دراسة إضافة الألياف الزجاجية كبديل جزئي للإسمنت وتأثيره علي خواص الخلطة الخرسانة

م . طارق محمد علي العربي [1] م .عبدالعالي أبوبكر عمر عمار [2]
Tarik.aboshena@gu.edu.ly[1] Abdulali.ammar@gu.edu.ly [2]
[1و2] عضو هيئة تدريس، محاضر ، قسم الهندسة المدنية كلية الهندسة ، جامعة غريان

ملخـــص:

الخرسانة هي واحدة من أكثر المواد استخداماً في العالم،ولكنها تعاني من بعض العيوب مثل الضعف في مقاومة الشد و التصدع و التأكل. لتحسين أداء الخرسانة تم إضافة ألياف الزجاج إلي الخلطة الخرسانية، و التي تتكون من خيوط زجاجية رقيقة و قصيرة . الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية هي نوع من الخرسانة التي تحتوي علي نسبة معينة من الألياف الزجاجية بديلاً عن الإسمنت. في هذه الدراسة تمت إضافة الألياف بنسب (0.6%,0.9%و1.2%) ، هذه الألياف تعمل كتسليح داخلي للخرسانة لتحسين مقاومتها للشد والإنثناء و التصادم كما تقلل من نفاذية الخرسانة . وكانت الإختبارات التي تم إجرائها هي إختبار الهبوط، حساب الكثافة وإختبار الضغط للخرسانة أيضاً إختبار الشد الغير مباشر.

لـــوحظ من نتائج قابلية التشغيل بأن مقدار الهبوط يقل بزيادة نسبة ألياف الزجاج حيث قل مقدار الهبوط بمقدار 18mm كلما زادت نسب الألياف الزجاجية، ولم يحدث أي تتغير في كثافة الخرسانة عند إضافة نسب الألياف المذكورة. كما لوحظ في مقاومـــة الضغط للعينات الخرسانيـــة زيادة بمقدار 7% تقريبا في مقاومة الضغط عند نسبة 0.9% من وزن الإسمنت، حيث وصلت المقاومة إليN/mm^2 39.32 عند عمر 14 يوم، بينما قلت المقاومة عند نسبة 1.2% من وزن الإسمنت حيث قلت المقاومة إلي N/mm^2 34.43 ، ويمثل هذا النقصان بحوالي 12% عند عمر 28 يوم. أيضا بالنسبة لإختبار الشد الغير مباشر فقد زادة المقاومة عند نسبة 0.9% بمقدار20% حيت وصلت المقاومة الي N/mm^2 3.26 .

الكلمات المفتاحية : ألياف الزجاج ، مقاومة الضغط، ، الشد ، قابلية التشغيل ، الإسمنت

Summary:

Concrete is one of the most widely used materials in the world, but it suffers from some defects such as weak tensile resistance, cracking, and corrosion. To improve the performance of the concrete, glass fiber were added to the concrete mix, which contains short, thin glass filaments. Glass fiber reinforced concrete is a type of concrete that contains a certain percentage of glass fiber instead of cement. In this research fiber were added proportions (0%, 0.6%, 0.9% and 1.2%). These fibers work as internal reinforcement for the concrete to improve its resistance to tension, bending, and collision, and also reduce the specific gravity and permeability. The test that was conducted was the slump test. Resistance test density calculation, compression test for concrete and indirect tension test.

It was noted from the workability results that the amount of slump test decreases with an increase in the percentage of glass fibers, so that the amount of slump decreased by 18mm as the percentages increase. As for the change in density, no noticeable change occurred. It was also observed in the compressive strength of concrete samples that there was an increase of approximately 7% in compressive strength at 09% of the weight of cement, where the resistance reached 39.32N/mm^2 at the age of 14 days, while the resistance decreased at 1.2% of the weight of cement, where the resistance decreased to 34.43 N/mm^2. And this decrease represents about 18% at the age of 28 days. As for the indirect tensile test, the resistance increased at a rate of 0.9 by 20% where resistance reached 3.26 N/mm^2.

Keywords: fiberglass, compressive strength, tensile test, workability, cement.

1.مقدمة:

الخرسانة هي خليط من مواد أولية مكونة من الرمل والركام أي (كسر الأحجار) والإسمنت مع إضافة الماء إليهما وعند خلطها جيداً تتم عملية التماسك، وللخرسانة خصائص كثيرة تمتاز بها عن المواد الأخرى، فهي تأخذ شكلاً صلداً ومتيناً مع الزمن تدريجياً، وتبدأ بالشك الإبتدائي وتنتهي بالشك النهائي. تطورت الخرسانة على مر السنين لتصبح أحد أهم وأكثر المواد الإنشائية إستخدامًا في العالم، تميزت الخرسانة بقوتها ومتانتها وإستقرارها، مما جعلها المادة الأساسية للبناء في مختلف القطاعات، ومع ذلك، فإن الخرسانة العادية تعاني من بعض القضايا مثل الشروخ والتشققات التي يمكن أن تؤثر على قوتها وتحملها للأحمال [1].
مع تسارع الزمن وتطور تقنيات البناء بشكل سريع وفي إطار تطوير المواد الإنشائية التي تدخل في عملية البناء والتشييد القادم على مرحلة إعادة الإعمار، الأمر الذي يتطلب منا تقديم جميع الإمكانيات لإبتكار تقنيات ومواد بناء جديدة لإستخدامها في مجال البناء السريع والآمن، تتجه جميع الدول المتقدمة عمرانياً إلى إستخدام الألياف الطبيعية والصناعية لما لها من دور في تحسين مقاومة وديمومة العناصر الإنشائية التي تدخل في تركيبها ومعالجة العيوب الحاصلة في هذه العناصر والناجمة عن عمليات الإنكماش وقوى الضغط والشد والعوامل الجوية والمناخية كالماء والهواء والأحماض والقلويات حيث تعمل هذه الألياف بمختلف أصنافها على زيادة التلاحم والترابط في العناصر التي تدخل في تركيبها وتعتبر مادة منافسة لحديد التسليح وخاصة في العناصر المعرضة لأحمال صغيرة نسبياً والعديد من التطبيقات الهندسية الأخرى [2].

2.البرنامج العملي:

سيتم إضافة الألياف الزجاجية لإنتاج الخرسانة، بنسب مختلفة (0% و0.6% و0.9% و1.2%) إلى وزن الإسمنت، لمعرفة تأثيرها علي بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة من خلال هذه التجارب:

- إختبار الهبوط للخرسانة.
- إختبار التغير في الكثافة للخرسانة المتصلبة.
- إختبار مقاومة الضغط للخرسانة المتصلبة.
- إختبار مقاومة الشد للخرسانة المتصلبة.

1.2.المواد المستخدمة:

تتكون الخلطة الخرسانية من مواد أولية هي الإسمنت وركام خشن وركام ناعم وماء ، إن خليط هذه المواد هو عبارة عن خليط عجيني القوام بحيث تكون مواصفاته مطابقة للشروط الخاصة بخلط الخرسانة، وفي حالات أخرى تتم إضافة مكونات أخرى للخلطة وهي الإضافات، تستخدم الإضافات لتحسين بعض الخواص لإعطاء الخرسانة الطازجة أو الخرسانة المتصلبة خواصاً معينة وفيما يلي سيتم التطرق إلى المواد التي تم إستخدامها في هذه الدراسة [1].

1.1.2.الإسمنت البورتلاندي:

تم إستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي نوع (42.5N) المنتج محليًا من شركة الإتحاد العربي للمقاولات (مصنع البرج زليتن) طبقًا للمواصفات الليبية رقم (2009/340) في جميع الخلطات المتبعة في هذه الدراسة، تم إجراء

دراسات سابقة في معامل الكلية، تبين أن نتائج الإسمنت مطابقة للمواصفات الأمريكية والبريطانية ، ويوضح الجدول رقم (1) الخواص الفيزيائية للإسمنت [3].

الجدول رقم (1) نتائج إختبارات الإسمنت المستخدم

الإختبار	النتيجة	حدود المواصفة
زمن الشك الإيتدائي	160 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	225 دقيقة	لا يزيد عن 10 ساعات
النعومة	%9.25	لا تزيد عن %20
التمدد	1 مم	لا يزيد عن 10 مم
نسبة المحتوى المائي القياسي	%26.5	ما بين (25-30) %
مقاومة الضغط بعد 7 أيام	23.18 ن/مم^2	لا تقل عن 23 ن/مم^2
مقاومة الضغط بعد 28 يوم	41.85 ن/مم^2	لا تقل عن 39 ن/مم2

2.1.2. الركام الناعم:

تم إستخدام الركام الناعم من منطقة أبورشادة وكانت نتائج التحليل المنخلي ضمن الحدود المطابقة للمواصفات البريطانية (BS 882:1992)، يوضح الجدول (2) التحليل المنخلي لركام الناعم، والجدول رقم (3) يبين خواص الركام الناعم [4]:

الجدول رقم (2) نتائج إختبار التحليل المنخلي لركام الناعم

المنخل(mm)	وزن المحجوز(gm)	المحجوز الكلي(gm)	نسبة المحجوز(%)	نسبة المار(%)
5	0	0	0	100
2.36	11.8	11.8	0.59	99.41
1.18	79.2	91	4.56	95.44
0.6	84.5	175.5	4.23	95.77
0.3	1004.3	1179.8	59.08	40.92
0.15	565.6	1745.4	87.4	12.6
الوعاء	251.6	1997	1000	0

الجدول رقم (3) خواص العينة ونتيجة الإختبار للركام الناعم

الخواص	نتيجة الإختبار
الوزن النوعي الظاهري (Kn/m^3)	2.65
الكثافة الجافة (Kn/m^3)	2.58
الكثافة الرطبة (Kn/m^3)	2.6
نسبة الإمتصاص (%)	0.92
معامل النعومة (%)	1.56

3.1.2. الركام الخشن:

تم إستخدام ركام خشن رقم 1 و1.5 من محجر منطقة أبورشادة، تم الخلط بنسبة 1:1 وكانت نتائج إختبار التحليل المنخلي عند خلط الركام ضمن الحدود المطابقة للمواصفات البريطانية (BS 882:1992)، الجدول (4) يبين نتائج التحليل المنخلي للركام الخشن، والجدول رقم (5) يبين بعض خواص الركام الخشن [4].

الجدول رقم (4) نتائج إختبار التحليل المنخلي لركام الخشن بعد خلط بنسبة 1:1

mm	نسبة المار (%)	حدود المواصفات
37.5	100	100-90
20	66.5	70-35
14	51.73	55-25
10	22.08	40-10
5	0.96	5-0
الوعاء	0	---

الجدول رقم (5) بعض خواص للركام الخشن

الخواص	نتيجة الإختبار
الوزن النوعي الظاهري (Kn/m^3)	2.53
الكثافة الرطبة (Kn/m^3)	2.506
الكثافة الجافة (Kn/m^3)	2.489
نسبة الإمتصاص (%)	0.68

4.1.2.الألياف الزجاجية:

في هذه الدراسة تم إستخدام الألياف الزجاجية نوع (E-glass) وبطول 25 مم، وتم إضافتها إلى الخلطة بنسب (0.6%، 0.9% و1.2%) من وزن الأسمنت، والجدول رقم (6) يوضح خواص الألياف الزجاجية المستخدمة في الدراسة.

الجدول رقم (6) خصائص الألياف الزجاجية (ACI 5441.R-96 reapproved 2002)

الكثافة (g/cm3)	قوة الشد (Mpa)	معامل المرونة (Mpa)	التشوه (%)	طول الألياف (mm)	قطر الألياف (μ)
2.54	3450	71.7	4.8	25	18

2.2 تصميم الخلطات الخرسانية:

يقصد بتصميم الخلطات الخرسانية تعيين الكميات النسبية للمواد الداخلة في تكوين الخرسانة الطازجة (الأسمنت والرمل والركام والماء والإضافات إن وجدت) لتفي بأغراض إستعمالات معينة عند التصلد وذلك بأقل التكاليف وبإستخدام المواد المتوفرة ما أمكن [5].

1.2.2 طرق تصميم الخلطات الخرسانية:

أهم الطرق المتبعة في تصميم الخلطات الخرسانية

1- طريقة الإختبار (الطريقة الموضعية).

2- حساب مكونات الخلطة الخرسانية بواسطة الحجم المطلق.

3- طريقة بيان معهد الخرسانة بأمريكا.

تم في هذه الدراسة إستخدام "الطريقة الموضعية" في تصميم الخلطات الخرسانية، وتعتمد هذه الطريقة علي إختبار نسب وضعية معينة من الأسمنت والرمل والركام من واقع الخبرة العملية، وبالرغم من أن هذه الطريقة مستخدمة منذ أمد بعيد إلا أنها غير مرضية حيث لم يؤخذ في الإعتبار كمية الماء أو الإختلاف في نوع الركام وتدرجة الحبيبي ولذلك تستخدم هذه الطريقة في الأعمال الصغيرة والبسيطة، وفي بعض الأعمال المحلية.[5].

النسب الوضعية المستخدمة في المعادلة التالية:

الأسمنت	الركام الناعم	الركام الخشن
5-8 أكياس	$0.4m^3$	$0.8m^3$

كمية الإسمنت تكون ما بين (250-300) كجم في الخرسانة العادية و350 كجم في الخرسانة المسلحة، ونسبة الماء للأسمنت w/c ما بين 0.4 إلى 0.7 من وزن الأسمنت.

2.2.2 تصميم الخلطات الخرسانية المتبعة في الدراسة:

المعادلة المستخدمة في تحديد نسب الأوزان للخلطة الخرسانية

الأسمنت	الركام الناعم	الركام الخشن
300kg	$0.4m^3$	$0.8m^3$

تم إختيار وزن الأسمنت 300kg لكل متر مكعب في جميع الخلطات.

3. مناقشة نتائج الإختبارات المعملية:

1.3. نتائج إختبار الهبوط:

إختبار الهبوط Slump Test، يجرى للخرسانة الطازجة لمعرفة قوامها، وأتخذ الإختبار كمقياس لقابلية التشغيل للخلطات الخرسانية حيث تم إضافة الألياف الزجاجية بنسب (0.6%، 0.9%، 1.2%). وسجلت قيم الهبوط في جميع الخلطات، وتمت مقارنتها بالخلطة المرجعية الخالية من الألياف الزجاجية ويوضح الجدول رقم (7) نتائج إختبار الهبوط المتحصل عليها في الدراسة.

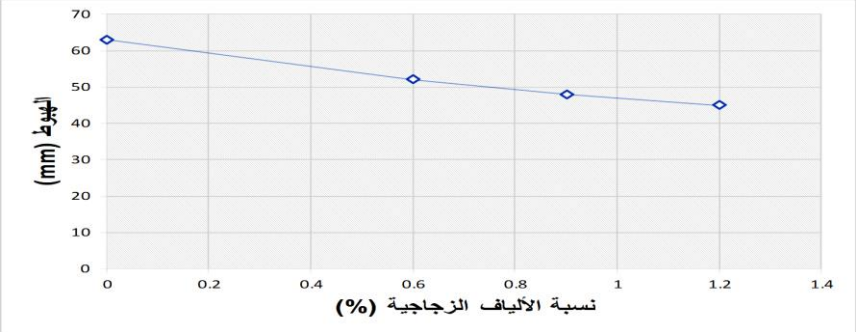
جدول رقم (7) نتائج إختبار الهبوط

رقم الخلطة	نسبة الألياف (%)	مقدار الهبوط (mm)	حدود المواصفة (mm)
M1	0	63	10 - 280
M2	0.6	52	10 – 280
M3	0.9	48	10 – 280
M4	1.2	45	10 - 280

2.3. أثر

الألياف الزجاجية على مقدار الهبوط:

من النتائج المتحصل عليها لمقدار الهبوط في الخلطة المرجعية كانت 63 mm، وعند إضافة الألياف الزجاجية بدأ مقدار الهبوط في النقصان، عند زيادة نسبة الألياف، حيث قل الهبوط بمقدار 16.13% ، 22.58% و27.42% عند النسب 0.6% ، 0.9% و1.2% على التوالي. كما هو مبين بالجدول رقم (7)، وهذا يتوافق مع دراسة (عابدين علي عابدين)[6] دارسة (Ali Jihad Hamad 2013)[8] حيث توصلوا إلى أن هناك إنخفاض في الهبوط عند زيادة نسبة الألياف، والشكل رقم (1) يبين العلاقة بين نسبة اللألياف الزجاجية وقيم الهبوط في الدراسة.



الشكل رقم (1) العلاقة بين نسبة الألياف الزجاجية والهبوط

3.3. التغير في الكثافة:

تم إجراء إختبار الكثافة لجميع الخلطات الجافة لجميع عينات الدراسة ومعرفة مدى تأثير الألياف الزجاجية على الكثافة، إن إضافة الألياف الزجاجية ليس له تأثيراً كبير على التغير في كثافة الخرسانة، حيث زادت الكثافة بمقدار 0.22% و3.72% عندا النسب 0.6% و0.9% وقلت في النسبة 1.2% بمقدار 0.16%. ويوضح الجدول رقم (8) نتائج إختبار التغير في الكثافة الجافة.

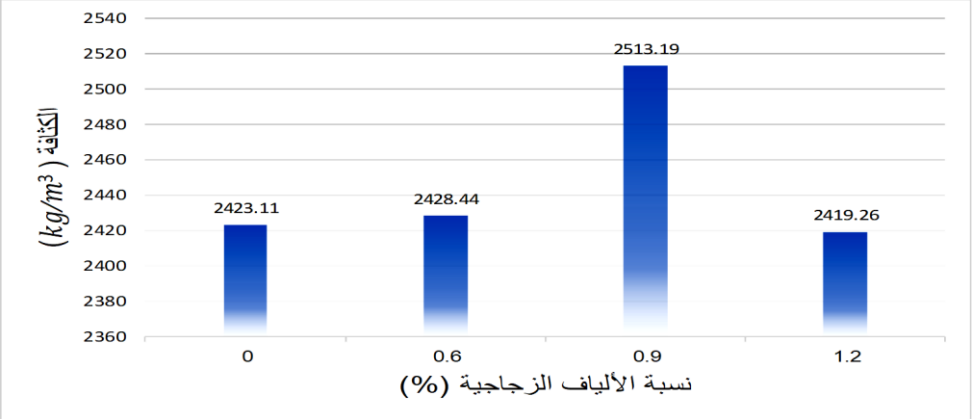
الجدول رقم (8) نتائج إختبار التغير في الكثافة

رقم الخلطة	نسبة الألياف (%)	كتلة العينة الجافة(kg)	حجم العينة (m^3)	الكثافة (kg/m^3)	نسبة التغير في الكثافة(%)
M1	0	8.178	0.003375	2423.11	100
M2	0.6	8.196	0.003375	2428.44	100.22
M3	0.9	8.482	0.003375	2513.19	103.72
M4	1.2	8.165	0.003375	2419.26	99.84

4.3.تأثير الألياف الزجاجية على الكثافة الجافة:

من خلال النتائج المتحصل عليها المدرجة بالجدول (8) تبين أن إضافة الألياف الزجاجية إلى الخرسانة لم تؤثر بشكل كبير على الكثافة، وكانت أقصى زيادة في الكثافة عند النسبة 0.9% حيث بلغت الزيادة إلى 3.7% مقارنة بالخطة المرجعية وهذا يتوافق مع دارسة (Ali Jihad Hamad 2013)[8] ودراسة (Babar Ali 2019)[9] الذي

أشاروا بأن إضافة الألياف الزجاجية في الخلطة تزيد الكثافة بنسب قليلة. والشكل رقم (2) يبين العلاقة بين نسبة الألياف الزجاجية والكثافة.



الشكل رقم(2) العلاقة بين نسبة الألياف الزجاجية والكثافة

5.3. نتائج إختبار مقاومة الضغط:

قوة مقاومة الإنضغاط للخرسانة تعتبر الدليل المهم للخرسانة وتستخدم كمؤشر لقياس قوة الخرسانة، تم إختبار قوة مقاومة الإنضغاط على مكعبات خرسانية بأبعاد (150×150×150) مم على عدد 36 مكعب وبعمر 7 أيام، 14 يوم و28 يوم من معالجتها في الماء، لجميع العينات الخرسانية ، وذلك لمعرفة قوة مقاومة الإنضغاط بإستخدام جهاز إختبار الإنضغاط، وذلك بتسليط قوة تحميل مباشرة على العينة حيث تم أخذ المتوسط لثلاثة عينات للحصول على القيمة الأكثر دقة لكل خلطة، حسب مدة المعالجة وفق المواصفة البريطانية (BS 1881part 116)، الجدول رقم (9) يمثل مقاومة الضغط النسبية للمكعبات المستخدمة في الدراسة.

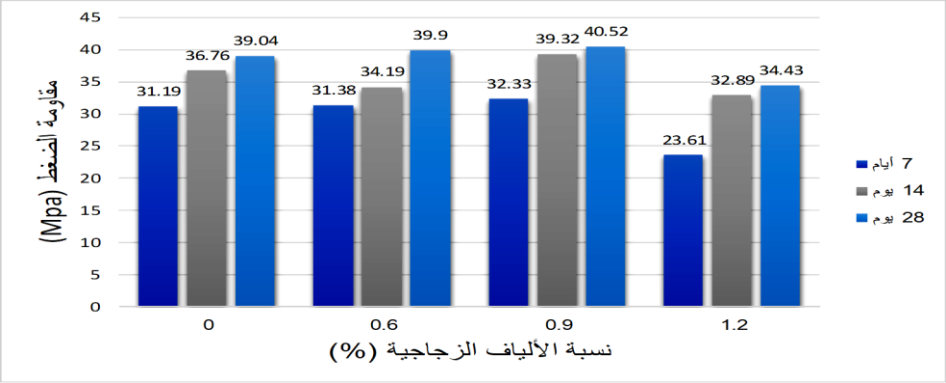
الجدول رقم (9) مقاومة الضغط النسبية للمكعبات

رقم الخلطة	نسبة الألياف (%)	مقاومة الضغط					
		7 أيام (%)	Mpa	14 يوم (%)	Mpa	28 يوم (%)	Mpa
M1	0	100	31.19	100	36.76	100	39.04
M2	0.6	100.61	31.38	93.01	34.19	102.2	39.9
M3	0.9	103.66	32.33	106.96	39.32	103.79	40.52
M4	1.2	75.7	23.61	89.47	32.89	88.19	34.43

6.3. أثر الألياف الزجاجية على مقاومة الضغط:

من خلال النتائج المتحصل عليها المدرجة في الجدول (9) ،إن إضافة الألياف الزجاجية إلى الخلطة أدى إلى تحسين مقاومة الخرسانة للضغط، فقد كانت القيمة الأعلى لمقاومة الضغط عند نسبة 0.9%، وكانت القيمة الأدنى عند النسبة

1.2%، وبالتالي تبين أن إضافة الألياف الزجاجية بنسبة 0.9% أدت إلى تحسين ملحوظ في مقاومة الخرسانة للضغط، بينما إستخدام نسب أعلى يؤدي إلى تقليل المقاومة، وهذا يوافق دراسة الباحث (سامر سامي مجيد 2012) [7] التي تشير إلى أن إضافة الألياف الزجاجية تحسن من مقاومة الضغط إلى نسبة 1% وعندا زيادة هذه النسبة تقل المقاومة. و الشكل (3) العلاقة بين نسبة الألياف ومقاومة الضغط.



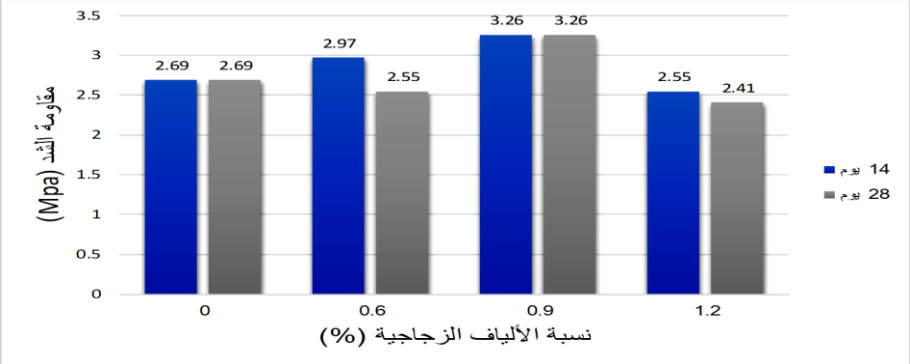
الشكل (3) العلاقة بين نسبة الألياف ومقاومة الضغط

7.3. نتائج إختبار مقاومة الشد الغير مباشر (الإنشطار):

تم إجراء الإختبار على عينات إسطوانية بأبعاد (150×300) مم لتحديد مقاومة الشد الغير مباشر على عدد 16 عينة إسطوانية وبعمر 14 يوم و28 يوم من معالجة الخرسانة، و الجدول رقم (10) يبين مقاومة الشد للأسطوانات. إن إضافة الألياف الزجاجية يحسن بنسب قليل خواص الميكانيكية (مقاومة الضغط والشد الغير مباشر) لجميع الأعمار، وكانت النسبة المثلى من الألياف هي 0.9% من وزن الإسمنت، وعند هذه النسبة كان التحسن في مقاومة الضغط بمقدار 3.66% و6.96% و3.79% في الأعمار 7 أيام و14 يوم و28 يوم على التوالي، وفي مقاومة الشد كان التحسن بمقدار 21.19 في العمرين 14 يوم و28 يوم. من خلال النتائج المتحصل عليها في الدراسة و المدرجة في الجدول رقم (10) تشير إلى أن إضافة الألياف الزجاجية إلى الخلطة لم تؤثر بشكل كبير على مقاومة الشد الغير مباشر فقد كانت أعلى قيمة عندا النسبة 0.9% حيث كانت نسبة الزيادة حوالي 20% مقارنة لخلطة المرجعية، وحدث إنخفاض عند النسبة 1.2% لم تؤثر مدة المعالجة على النتائج وكانت النتائج متشابهة في العمر 14 و28 يوم، وهذا يتوافق مع دراسة الباحث (سامر سامي مجيد 2012) [7] التي تشير إلى أن إضافة الألياف الزجاجية تحسن من مقاومة الشد إلى نسبة 1% وعند زيادة هذه النسبة تقل المقاومة. الشكل رقم (4) العلاقة بين نسبة الألياف ومقاومة الشد.

الجدول رقم (10) نتائج إختبار الشد الغير مباشر

رقم الخلطة	نسبة الألياف(%)	مقاومة الشد للأسطوانات			
		14 يوم	Mpa	28 يوم	Mpa
M1	0	100	2.69	100	2.69
M2	0.6	110.41	2.97	94.8	2.55
M3	0.9	121.19	3.26	121.19	3.26
M4	1.2	94.8	2.55	89.59	2.41



الشكل رقم (4) العلاقة بين نسبة الألياف ومقاومة الشد

4.التوصيات:

1- التأكيد من التوزيع الجيد للألياف الزجاجية في الخلطة الخرسانية لتحقيق تأثير موحد.
2- إضافة الملدنات الفائقة لتحسين قابلية التشغيل الخرسانة.
3- دراسة تأثير إضافة ألياف الزجاج مع مواد مضافة أخري مثل البوزلان أو الرماد المتطاير لتحسين خصائص الخرسانة.
4- إستخدام نوع الألياف المقاومة للقلويات (AR-GLASS).
5-دراسة التكاليف المرتبطة بإضافة ألياف الزجاج مقارنة بالتقنيات التقليدية وتحليل الفوائد من حيث الأداء والتكلفة>

5.المراجـــع:

[1] محمود إمام، ومحمد أمين، تكنلوجيا الخرسانة وخواص المواد واختباراتها والخرسانة وتصميم الخلطات الخرسانية"، رقم الإيداع 2007/3644.
[2] طالب الدكتوراه: م. إيهاب نواف ديب، إ. د. مروان خوري، "تحسين مقاومة المونة الإسمنتية للأحماض والقلويات بإستخدام ألياف الفيبر جلاس الزجاجية والملدنات"، جامعة البعث، 45.1 (2023).
[3] أسامة أبوبكر علي الشيباني، محمد نورالدين الدوكالي، تحت إشراف إبراهيم السنوسي، الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت المخلوط بمخلفات الأجر المحلي المطحون، كلية الهندسة جامعة غريان، 2019/2018.
[4] صالح نوري الهادي، بشير عبدالله بشير، عبدالمهيمن سليمان أبوكنيشة، "دراسة لجودة بعض مواد البناء المتوفرة محلياً في مدينة غريان والداخلة في تكوين الخرسانة" 2016.
[5] حمدي شهاب الدين، "تكنلوجيا خرسانة"، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة، جامعة الزقازيق، كتاب تكنولوجا الخرسانة 2020م.
[6] عابدين علي عابدين، محمد إسماعيل علي، محمد عبدالواحد إسماعيل، إ. د. سلمى يحي محمد محمود، "دراسة أثر إضافة الألياف الزجاجية على مقاومة الخرسانة للضغط"، جامعة العلوم والتقانة السودان، (2019).
[7] سامر سامي مجيد، منى مبارك، إيمان خالد، "دراسة تأثير الحرارة العالية على بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة ومونة الأسمنت المضاف إليهما غبار السليكا والخرسانة المدعمة بالألياف الزجاجية"، مجلة هندسة الرافدين، (2013).
[8] Eethar Thanon Dawood, and Ali Jihad Hamad, "High performance lightweight concrete reinforced with glass fibers", AL-Mansour Journal 20.1 (2013).

[9] Babar Ali, Liaqat A. Qureshi, Ali Raza, Muhammed A. Nawaz, Safi U. Rehman, Muhammed U. Rashid, "Influence of glass fibers on mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregates.", University of Engineering and Technology, Taxila, Pakistan, (2019).
[10] British Standard Institute, BS882: 1992,"Specification for Aggregate from Natural Sources for Concrete".
[11] American society for testing and materials (ASTM C143-C143M), (2015) "Test method for slump of hydraulic- Cement concrete".
[12] American society for testing and materials (ASTM C642-97), "Standard test Method for density, absorption, and voids in hardened concrete".
[13] British standard institution (BS EN 12390-3:2009), "Testing hardened Concrete, Compressive strength of test specimens".
[14] American society for testing and materials (ASTM C642-97), "Standard test Method for density, absorption, and voids in hardened concrete"