دراسة تأثير إضافة مسحوق مخلفات زجاج السيارات كبديل جزئي للركام الناعم على خواص الخرسانة الطازجة و المتصلدة

م.طارق محمد العربي
Tarik.aboshena@gu.eu.ly
عضو هيئة تدريس كلية الهندسة غريان

م.العربي سليمان ابوكنيشة
Aarapiysoliman@gmail.com
باحث كلية الهندسة غريان

الملخص
يعتبر الزجاج من المواد التي لا تتحلل مع الزمن ولذلك تشغل مخلفات الزجاج حيزاً كبيراً و لا يمكن التخلص منها بسهولة ،لذا أصبحت عملية إعادة تدوير الزجاج هامة جداً بسبب الزيادة الكبيرة في نسبة المخلفات وتأثيرها الضار على البيئة و الإنسان . حيث تضمنت هذه الدراسة تأثير مخلفات زجاج السيارات كمسحوق عن طريق استبداله بجزء من الركام الناعم على خواص الخرسانة الطرية و المتصلبة ، حيث تم إعداد أربعة خلطات خرسانية بنسب مختلفة من مخلفات الزجاج (0%، 15 %، 20% ،25 %) كبديل جزئي للركام الناعم ، حيث تم تعيين قابلية التشغيل للخرسانة الطرية ، وتعين الكثافة للخرسانة المتصلبة، وتم دراسة الخصائص الميكانيكية للخرسانة المتصلبة وهي مقاومة الانضغاط والشد الغير مباشر ومقاومة الإنحناء وبأعمار (28،14،7) يوم، للخرسانة المضاف إليها مخلفات الزجاج ومقارنة النتائج مع الخرسانة الخالية من مخلفات الزجاج.
أظهرت النتائج أن زيادة نسبة مخلفات الزجاج تؤدي إلى زيادة في قيم الهبوط، مما يحسن من قابلية تشغيل الخرسانة الطرية، تأثرت الكثافة بشكل متباين، حيث انخفضت عند نسبة 15% ثم زادت عند نسبتي 20% و25%، أظهرت مقاومة الضغط تحسنًا عند نسبتي 15% و20%، لكنها انخفضت عند نسبة 25%. بالنسبة لمقاومة الشد غير المباشر، انخفضت عند نسبة 15% وتحسنت قليلاً عند نسبتي 20% و25%. أما مقاومة الانحناء، فقد انخفضت بشكل ملحوظ عند نسبة 15% وتحسنت قليلاً عند نسبتي 20% و25%.
بناءً على هذه النتائج، يوصى باستخدام مخلفات الزجاج بنسب تتراوح بين 15% و20% لتحسين بعض الخصائص الميكانيكية للخرسانة، مع الحاجة لإجراء دراسات إضافية لتحديد التأثيرات الطويلة الأمد وتحسين تصميم الخلطات. تقدم هذه الدراسة إطارًا لتحسين استخدام مخلفات الزجاج في صناعة الخرسانة بطرق توازن بين الأداء الميكانيكي والاستدامة البيئية.
الكلمات المفتاحية: مخلفات الزجاج، الركام الناعم، الخرسانة الطرية

ABSTRACT
This study aims to evaluate the impact of using waste glass rom cars on the mechanical properties of ordinary concrete and its effect on the properties of fresh and hardened concrete. Four concrete samples with different percentages of glass waste from cars (0%, 15%, 20% and 25%) were prepared as a partial replacement for fine aggregates. The workability of fresh concrete was determined, and the density of hardened concrete was determined. The mechanical properties of hardened concrete were studied, which are compressive strength, indirect tensile strength and flexural strength at ages (28, 14, 7) days, for concrete with added glass waste and comparing the results with concrete free from glass waste.
The results showed that increasing the glass waste ratio leads to an increase in slump values, improving the workability of fresh concrete. Density was variably affected, decreasing at 15% then increasing at 20% and 25%. Compressive strength showed improvement at 15% and 20% but decreased at 25%. As for indirect tensile strength, it decreased at 15% and slightly improved at 20% and 25%. Flexural strength, on the other hand, decreased significantly at 15% and slightly improved at 20% and 25%.
Based on these results, the use of glass waste in the range of 15-20% is recommended to improve some of the mechanical properties of concrete, with the need for additional studies to determine long-term effects and improve mix designs. This study provides a framework for improving the use of glass waste in concrete manufacturing in a way that balances mechanical performance and environmental sustainability.

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

1. المقدمة

تعد الخرسانة من أهم مواد البناء الشائعة في تنفيذ المنشآت المختلفة، وهي عبارة عن خليط من مواد أولية مكونة من الأسمنت والماء والركام (الناعم والخشن). بخلط هذه المكونات مع بعضها جيداً تتم عملية تفاعل الأسمنت وينتج عنه حرارة تؤدي إلى تصلد الخرسانة تدريجياً وإكسابها خاصية مقاومة الضغط وجودة هذه الخرسانة تتأثر بعدة عوامل منها طريقة الخلط والمناولة والصب .تم تطوير صناعة الخرسانة على نطاق واسع خلال العقود الماضية في سبيل الحصول على خرسانة ذات جودة عالية وبأقل التكاليف وكذلك للتغلب على القيود المفروضة على استخدامات الخرسانة التقليدية، وتختلف تقنيات الخرسانة التي تم تطويرها وإنتاجها تماماً عن الخرسانة التقليدية[1].

يعتبر إعادة تدوير مخلفات الزجاج إحدى الركائز الأساسية لعملية الاستدامة والحل الأمثل للتعامل مع هذه المخلفات هي إعادة تدويرها واستخدامها مرة أخرى كمواد أولية أو كمحسنات بحيث يتم الحد من استنزاف الموارد الطبيعية للمواد الخام، يركز البحث على إعادة تدوير منتجات الزجاج واختيار أفضلها كبديل عن الركام في الخلطات الخرسانية من خلال صناعة جديدة يمكن أن تساهم في تحقيق القيمة النفعية وبالشكل الذي يضمن عملية إدارة مستدامة للنفايات الزجاجية. لهذا تأتي فكرة استخدام مخلفات الزجاج كبديل جزئي لرمل في الخلطات الخرسانية، حيث تعتبر مخلفات الزجاج من المواد التي يمكن إعادة تدويرها واستخدامها بطرق متعددة، إلا أن نسبة كبيرة منها ما زالت تلقى في المكبات، مما يسبب تلوثًا بيئيًا، استخدام هذه المخلفات في إنتاج الخرسانة يمكن أن يساهم في حل جزء من مشكلة النفايات الزجاجية ويقلل من استهلاك الرمل الطبيعي، بالإضافة إلى تحسين بعض خصائص الخرسانة.

2. البرنامج العملي :

تتكون الخلطة الخرسانية من مواد أولية هي الإسمنت وركام خشن وركام ناعم وماء الخلط وخليط هذه المواد هو خليط عجيني القوام بحيث تكون مواصفاته مطابقة بشروط 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 استخدامها في هذه الدراسة [2].

1.2 المواد المستخدمة :

المواد المستخدمة في تصنيع الخلطات الخرسانية هي الاسمنت والركام الناعم والركام الحشن والماء وزجاج السيارات كبديل جزئي للركام الناعم .

1.1.2 الأسمنت 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 معمل الكلية تبين أن النتائج الأسمنت مطابقة للمواصفات الأمريكية والبريطانية. ويوضح الجدول (1) الخواص الفيزيائية للإسمنت [2].

الجدول (1) الخواص الفيزيائية للإسمنت المستخدم في هذه الدراسة

الإختبار	النتيجة	حدود المواصفة
زمن الشك الإبتدائي	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	23.18ن/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

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

2.1.2 الركام الناعم المستخدم في الخلطة الخرسانية

تم استخدام الركام الناعم الموجود في منطقة أبورشادة ضمن الحدود الادارية لمدينة غريان وكانت نتائج التحليل المنخلي مطابقة للمواصفات البريطانية (BS 882:1992) [3]. ويوضح الجدول (2) نتائج التحليل المنخلي لركام الناعم.

الجدول (2) نتائج اختبار التحليل المنخلي لركام الناعم

المنخل (mm)	وزن المحجوز (gm)	المحجوز الكلي (gm)	نسبة المحجوز (%)	نسبة المار (%)	حدود المواصفة
5	0	0	0	100	100
2.36	11.8	11.8	0.59	99.41	100-80
1.18	79.2	91	4.56	95.44	100-70
0.6	84.5	175.5	4.23	95.77	100-55
0.3	1004.3	1179.8	59.08	40.92	70-5
0.15	565.6	1745.4	87.4	12.6	15-0
الوعاء	251.6	1997	1000	0	

3.1.2 الركام الخشن المستخدم في الخلطة الخرسانية

تم استخدام ركام خشن رقم 1 و1.5من محجر منطقة أبورشادة، وتم الخلط بنسبة 1:1 وكانت نتائج اختبار التحليل المنخلي عند خلط الركام ضمن الحدود المسموح بها حسب المواصفات البريطانية (BS 882:1992) [3]. والجدول (3) يبين نتائج التحليل المنخلي للركام الخشن، والجدول (4) يبين بعض خواص الركام الخشن.

الجدول (3) نتائج إختبار التخليل المنخلي لركام الخشن بعد خلط بنسبة 1:1

المنخل (mm)	نسبة المار (%)	حدود المواصفة
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 (4) بعض خواص للركام الخشن

الخواص	نتيجة الإختبار
الوزن النوعي الظاهري	2.53
الكثافة الرطبة	2.506
الكثافة الجافة	2.489
نسبة الإمتصاص (%)	0.68

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

4.1.2 ماء الخلط:
يعتبر الماء عنصراً أساسياً في تكوين الخلطات الخرسانية ،تنص المواصفات على أن الماء المستخدم في الخرسانة يجب أن يكون نظيف وخالي من الشوائب والمواد الضارة مثل الأملاح والأحماض والقلويات والمواد العضوية والمواد الناعمة سواء كانت ذائبة أو عالقة، ويجب أن تكون مطابقة للمواصفات العالمية للماء المستخدم في الخلطات الخرسانية وبشكل عام فإن الماء الصالح للشرب يحققها، لذلك تم إستخدام ماء صالح للشرب في إنتاج الخلطات الخرسانية.

5.1.2 الزجاج المستخدم في الخلطات :
في هذه الدراسة، تم استخدام مخلفات زجاج السيارات كبديل جزئي للركام الناعم في الخلطات الخرسانية وبنسب (0%، 15%، 20%، 25%) تم الحصول على مسحوق الزجاج من مخلفات زجاج السيارات، تم عملية إعداد مسحوق الزجاج بعدة مراحل تشمل جمع زجاج السيارات، وغسله وتجفيفه لإزالة الشوائب والملوثات، ثم تكسيره وطحنه الي جزيئات صغيرة للحصول على مسحوق ناعم، ثم نخله للحصول على حجم حبيبات متجانس. ويوضح الشكل (1) مسحوق الزجاج المستخدم في الدراسة.

شكل(1) مسحوق الزجاج المستخدم في الدراسة

2.2 تصميم الخلطات الخرسانية:
يقصد بتصميم الخلطات الخرسانية تعيين الكميات النسبية للمواد الداخلة في تكوين الخرسانة الطازجة (الإسمنت والرمل والركام والماء والإضافات إن وجدت) لتفي بأغراض استعمالات معينة عند التصلد وذلك بأقل التكاليف وباستخدام المواد المتوفرة ما أمكن [4].

1.2.2 الطريقة المتبعة في تصميم الخلطات الخرسانية
تم استخدمت الطريقة الحجمية لتحديد كميات مكونات الخلطة للمتر المكعب من الخرسانة.
النسب الحجمية المستخدمة في المعادلة التالية:

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

تم اختيار وزن الإسمنت 300kg لكل متر مكعب في جميع الخلطات.

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

1. تحديد أوزان المواد الداخلة في تصميم الخلطات الخرسانية

ويوضح الجدول (5) مكونات ونسب الخلطة الخرسانية المستخدمة لكل متر مكعب.

الجدول (5) مكونات ونسب الخلطة الخرسانية المستخدمة لكل متر مكعب

نسبة الماء للإسمنت	0.5
وزن الإسمنت kg/m^3	300
وزن الماء kg/m^3	150
وزن الركام الناعم kg/m^3	637.3
وزن الركام الخشن kg/m^3	1143.2

2. تحديد نسب الخلط لكل خلطة بدراسة

تم أستخدم الطريقة الموضعية لتحديد كميات مكونات الخلطة الخرسانية (الأسمنت، والركام الناعم، والركام الخشن، والماء)، تم تنفيذ عدد 4 خلطات خرسانية، منها 3 خلطات تحتوي على مسحوق الزجاج وبنسب (15%، 20%، 25%)من وزن الركام الناعم، بالإضافة إلى خلطة خالية من مسحوق الزجاج والتي إعتبرت الخلطة المرجعية للمقارنة .تم صب عدد 9 مكعبات و4 أسطوانات وكمرة في كل خلطة من الخلطات الأربعة.

حجم المكعب = $(0.15\times0.15\times0.15) = 0.003375$ م^3.

حجم الأسطوانة = $(0.3\times0.15^2\times3.14\times0.25) = 0.0053$ م^3.

حجم الكمرة = $(0.75\times0.15\times0.15) = 0.016875$ م^3.

الحجم الكلي لكل خلطة = $(0.016875\times1+0.0053\times4+0.003375\times9) = 0.06845$ م^3.

سعة الخلاطة المستخدمة لا تسمح بخلط هذا الحجم مرة واحدة تم تقسيم الخلط إلى مرحلتين.

حجم الخلطة الواحدة = $(2/0.06845) = 0.034225$ م^3.

تضاف ضائعات بمقدار 10% للخلطة.

حجم الخلطة الواحدة المستخدمة = $(1.1\times0.034225) = 0.03765$ م^3.

وزون الأسمنت المستخدمة في كل خلطة = $(0.03765\times300) = 11.3$ كجم.

وزن الركام الناعم المستخدم في كل خلطة = $0.03765\times637.3 = 24$ كجم.

وزن الركام الخشن المستخدم في كل خلطة = $0.03765\times1143.2 = 43$ كجم.

كمية الماء المستخدم في كل خلطة = $(11.3\times0.5) = 5.65$ لتر.

الجدول (6) تفاصيل تصميم الخلطات الخرسانية

رقم الخلطة	نسبة الزجاج (%)	وزن الزجاج (kg)	وزن الإسمنت (kg)	وزن الركام الناعم (kg)	وزن الركام الخشن (kg)	وزن الماء (L)	المحتوى المائي (w/c)
M1	%0	---	11.3	24	43	5.65	0.5
	%0	---	11.3	24	43	5.65	0.5
M2	%15	3.6	11.3	20.4	43	5.65	0.5
	%15	3.6	11.3	20.4	43	5.65	0.5
M3	%20	4.8	11.3	19.2	43	5.65	0.5
	%20	4.8	11.3	19.2	43	5.65	0.5
M4	%25	6	11.3	18	43	5.65	0.5
	%25	6	11.3	18	43	5.65	0.5

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

3.عرض ومناقشة النتائج المتحصل عليها من التجارب المعملية

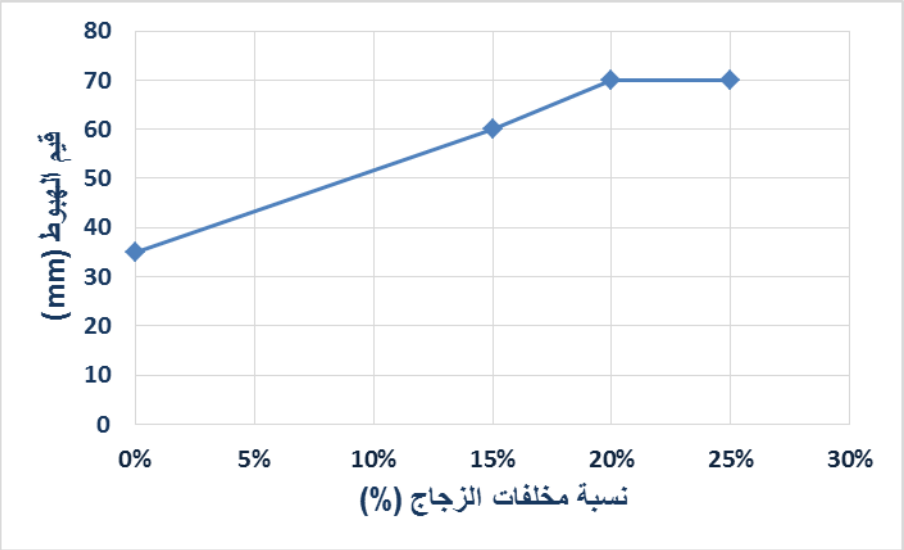
1.3 نتائج اختبار الهبوط(Slump Test):-

اختبار الهبوط يجرى للخرسانة الطازجة لمعرفة قوامها وأتخذ الاختبار كمقياس لقابلية التشغيل للخلطات الخرسانية حيث تم إضافة مخلفات الزجاج بنسب (15%، 20%، 25%) كبديل جزئي لركام الناعم، وسجلت قيم الهبوط في جميع الخلطات وتمت مقارنتها بالخلطة المرجعية الخالية من مخلفات الزجاج ويوضح جدول (7)نتائج اختبار الهبوط المتحصل عليها.

جدول (7) نتائج اختبار الهبوط

رقم الخلطة	نسبة الزجاج (%)	مقدار الهبوط (mm)	حدود المواصفة (mm)
M1	0	35	10 - 280
M2	15	60	10 - 280
M3	20	70	10 - 280
M4	25	70	10 - 280

من خلال نتائج الهبوط المتحصل عليها، يمكن ملاحظة مقدار الهبوط بالجدول (7) تبين أن بإضافة مخلفات الزجاج أدى إلى زيادة في مقدار الهبوط، أي أن قابلية التشغيل تزداد مع زيادة نسبة مخلفات الزجاج، والشكل (2) يوضح العلاقة بين نسبة مخلفات الزجاج وقيم الهبوط.



الشكل (2) العلاقة بين نسبة مخلفات الزجاج وقيم الهبوط

2.3 نتائج اختبار الكثافة (Density Test):-

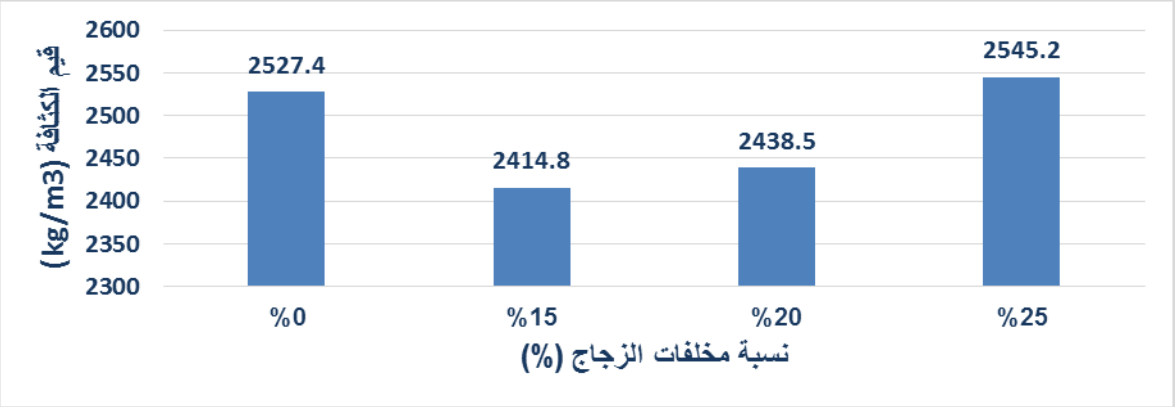
ان الهدف من تعيين التغير في الكثفات الخرسانية هو معرفة مدى تأثير مخلفات الزجاج على الكثافة، والكثافة هي العامل الأساسي الذي له علاقة بوزن الخرسانة حيث خفت وزن الخرسانة تعتمد على كثافتها فكلما انخفضت الكثافة قل الوزن ويوضح الجدول(8) نتائج اختبار الكثافة الجافة، كما يوضح الشكل (3) العلاقة البيانية بين كثافة العيينة ونسبة الزجاج وان زيادة نسبة الزجاج المستبدل تودي الى تقليل الكثافة .

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

الجدول (8) نتائج إختبار التغير في الكثافة

رقم الخلطة	نسبة الزجاج (%)	كتلة العينة الجافة (kg)	حجم العينة (m^3)	الكثافة (kg/m^3)	نسبة التغير في الكثافة (%)
M0	0	8.53	0.003375	2527.4	100
M1	15	8.15	0.003375	2414.8	95.5
M2	20	8.23	0.003375	2438.5	96.5
M3	25	8.59	0.003375	2545.2	100.7

من خلال النتائج المتحصل عليها المدرجة بالجدول (8) تبين أن إضافة مخلفات الزجاج إلى الخرسانة لم تؤثر بشكل كبير على الكثافة، وكانت أقصى زيادة في الكثافة عندا النسبة 25% حيث بلغت الزيادة إلى 0.7% مقارنة بالخطة المرجعية .



الشكل (3) العلاقة بين نسبة مخلفات الزجاج وقيم الكثافة

3.3 نتائج اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength Test):-

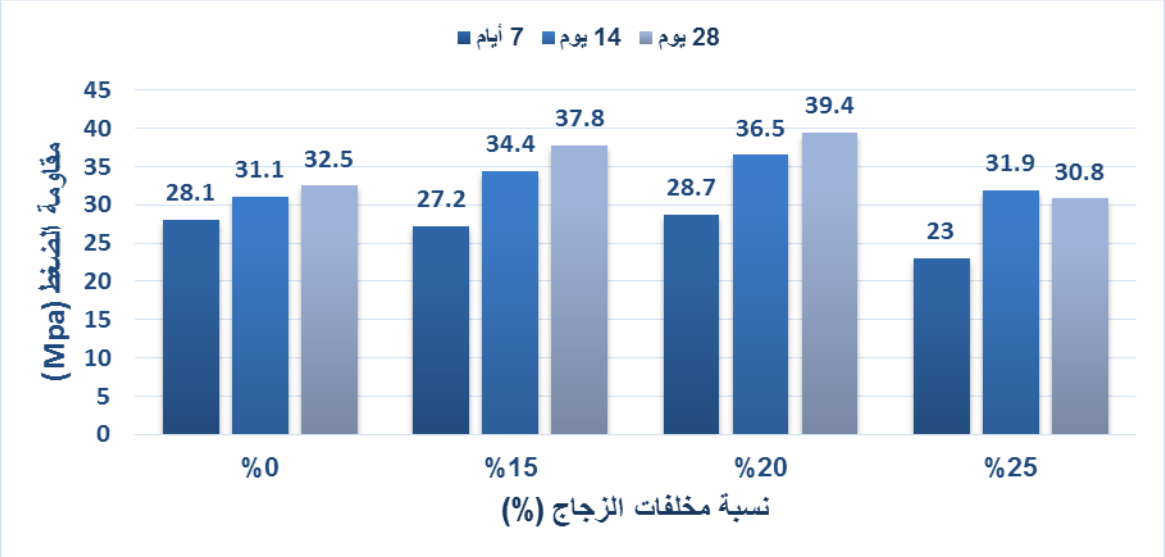
قوة مقاومة الإنضغاط للخرسانة تعتبر الدليل المهم للخرسانة وتستخدم كمؤشر لقياس قوة الخرسانة، تم اختبار قوة مقاومة الإنضغاط على مكعبات خرسانية بأبعاد (150×150×150) مم على 36 مكعب وبعمر 7 أيام، و14 يوم، و28 يوم من معالجتها في الماء، لجميع الخلطات الخرسانية لمعرفة قوة مقاومة الإنضغاط بعد إخراجها من ماء المعالجة باستخدام جهاز اختبار الإنضغاط 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)، ويعرض الجدول (9) كافة نتائج اختبار الضغط.

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

الجدول (9) نتائج إختبار الضغط

رقم العينة		مقاومة الضغط(Mpa)			متوسط مقاومة الضغط(Mpa)		
		7 أيام	14 يوم	28 يوم	7 أيام	14 يوم	28 يوم
M1	1	26.6	28.3	33.6	28.1	31.1	32.5
	2	27.1	27.8	37.1			
	3	30.7	37.2	26.8			
M2	1	27.4	33.5	37.5	27.2	34.4	37.8
	2	27.1	36.7	39.2			
	3	27	32.9	36.7			
M3	1	29.2	37.8	37.5	28.7	36.5	39.4
	2	28.6	34.2	39.3			
	3	28.2	37.5	41.5			
M4	1	20.7	27.3	32.4	23	31.9	30.8
	2	20.5	35.8	39.8			
	3	27.8	32.5	20.1			

من خلال النتائج المتحصل عليها المدرجة في الجدول (9) إلى أن إضافة مخلفات الزجاج إلى الخلطة فقد أدى إلى تحسين مقاومة الخرسانة لضغط، فقد كانت القيمة الأعلى لمقاومة الضغط عندا نسبة 20%، وكانت القيمة الأدنى عندا النسبة 25%، وبتالي تبين أن إضافة مخلفات الزجاج بنسبة 20% أدت إلى تحسين ملحوظ في مقاومة الخرسانة للضغط بينما إستخدام نسب أعلى يؤدي إلى تقليل المقاومة.



الشكل (4) العلاقة بين نسبة مخلفات الزجاج ومقاومة الضغط

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

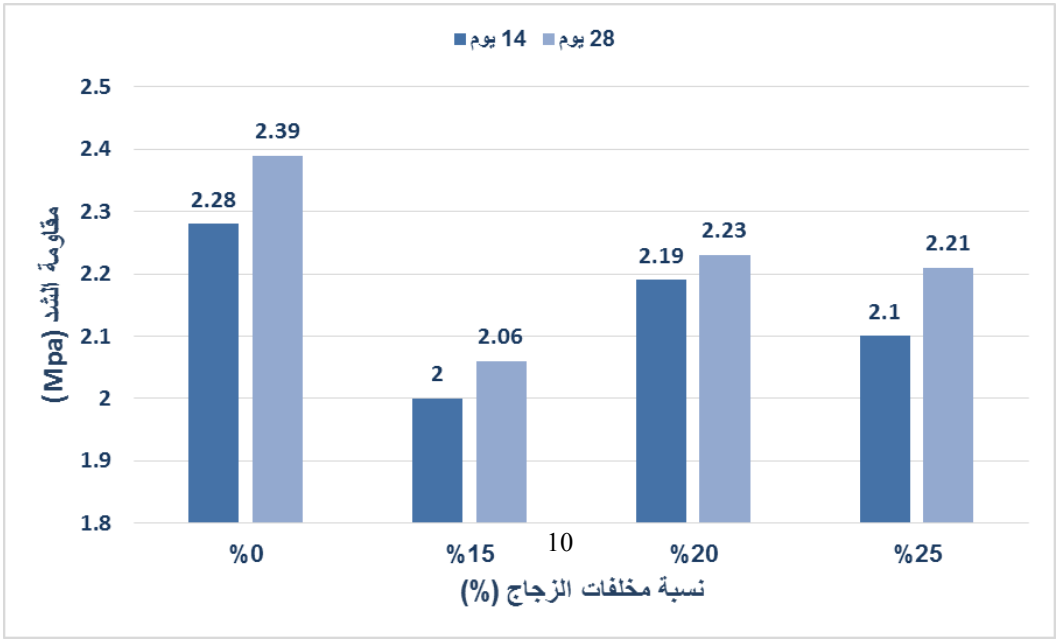
4.3 نتائج اختبار الشد الغير مباشر (Indirect tensile strength test):-

تم إجراء الاختبار على عينات أسطوانية بأبعاد (150×300) مم لتحديد مقاومة الشد الغير مباشر على 16 عينة أسطوانية وبعمر 14 يوم، و28 يوم حيث تم أخذ المتوسط لعينتين لكل خلطة ويوضح الجدول (10) متوسط نتائج اختبار الشد الغير مباشر (الانشطاري) للأسطوانات بعد 14،28 يوم من المعالجة.

الجدول (10) نتائج اختبار الشد الغير مباشر

رقم العينة		مقاومة الشد(Mpa)		متوسط مقاومة الشد(Mpa)	
		14 يوم	28 يوم	14 يوم	28 يوم
M1	1	2.1	2.35	2.28	2.39
	2	2.45	2.43		
M2	1	1.98	1.82	2	2.06
	2	2.02	2.29		
M3	1	2.12	2.17	2.19	2.23
	2	2.26	2.28		
M4	1	2.37	2.26	2.1	2.21
	2	1.82	2.16		

من خلال النتائج المتحصل عليها المدرجة في الجدول (10) تشير إلى أن إضافة المخلفات الزجاجية إلى الخلطة أدي إلى تقليل مقاومة الشد الغير مباشر فقد كانت أعلى قيمة عندا النسبة 0% وكان الفرق في النتائج متشابه في العمر 14 و28 يوم، أشارت الدراسات السابقة إلى تحسن ملحوظ في مقاومة الشد غير المباشر عند استخدام بدائل أخرى للرمل، أظهرت نتائج هذه الدراسة أن إضافة مخلفات الزجاج لم يساهم بشكل كبير في تحسين مقاومة الشد غير المباشر، قد يكون هذا الاختلاف إلى عدة عوامل، منها نوعية المخلفات الزجاجية المستخدمة، وطريقة تحضير العينات، وكذلك الظروف البيئية المحيطة بالاختبارات.



الشكل (5) العلاقة بين نسبة مخلفات الزجاج ومقاومة الشد

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

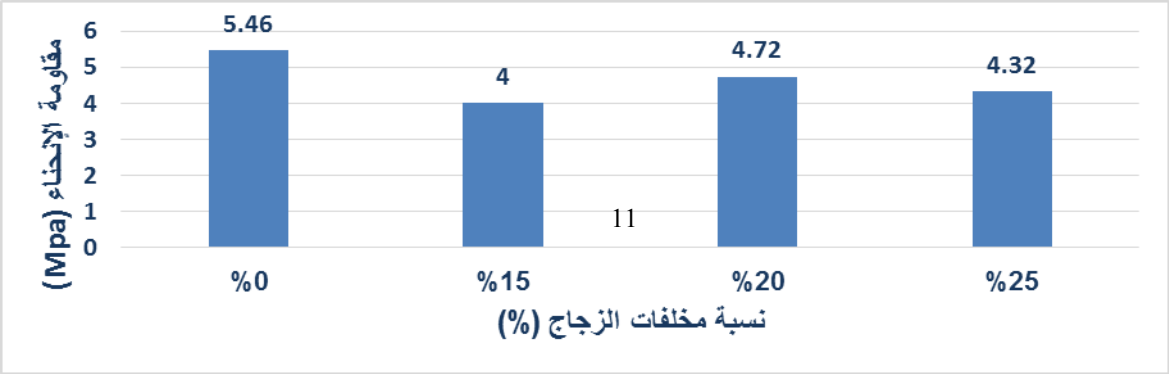
6.3 نتائج اختبار الانحناء (Flexural Strength Test):

اختبار مقاومة الانحناء للخرسانة Flexural strength هو طريقة معملية تستخدم لقياس مقاومة الخرسانة للتشوه عند تطبيق قوى الانحناء عليها، يتم استخدام هذا الاختبار لتقييم قوة الانحناء الخرسانية ولفهم سلوك الخرسانة تحت أحمال الانحناء. يعتبر هذا الاختبار مهماً لتصميم العناصر الخرسانية مثل الأعمدة والجدران والبلاطات، تم إجراء الاختبار على كمرات خرسانية بأبعاد (150×150×750) مم لتحديد مقاومة الانحناء للخرسانة المتصلدة وذلك طبقا للمواصفات البريطانية (3-BS EN 12390)، حيث تم تعيين مقاومة انحناء 4 كمرات خرسانية وبعمر 28 يوم، ويوضح الجدول (11) نتائج اختبار مقاومة الانحناء للكمرات بعد 28 يوم من المعالجة.

الجدول (11) نتائج اختبار مقاومة الإنحناء

رقم الخلطة	نسبة الزجاج (%)	مقاومة الانحناء (Mpa)
M1	%0	5.46
M2	%15	4
M3	%20	4.72
M4	%25	4.32

من خلال النتائج المتحصل عليها المدرجة في الجدول (11)، تبين كلما زادت نسبة مخلفات الزجاج في الخلطة الخرسانية كلما قلت نسبة مقاومتها للانحناء فكانت أعلى نسبة عندا الخلطة المرجعية، بينما كان الانخفاض كبير في مقاومة الانحناء عند نسبة 15%، أشارت نتائج الدراسات السابقة إلى تحسين طفيف في مقاومة الانحناء عند استخدام مخلفات الزجاج ، لم تظهر هذه الدراسة نفس التحسن، قد يكون هذا الاختلاف ناتجاً عن اختلاف في تركيبة الخرسانة المستخدمة، أو نوع المخلفات الزجاجية، أو طرق الاختبار المختلفة. وكانت هدة النتائج مقاربة للدراسات السابقة [5]



الشكل (6) العلاقة بين نسبة مخلفات الزجاج ومقاومة الانحناء

4. الخلاصة:

من خلال دراستنا في كلا جانبيها النظري والعملي ومن خلال النتائج المتحصل عليها من الإختبارات المحددة في الدراسة يمكن تلخيص الدراسة على هيئة نقاط :

- **الهبوط:** زادت قيم الهبوط بزيادة نسبة مسحوق مخلفات الزجاج، مما يشير إلى تحسين قابلية التشغيل للخرسانة.
- **الكثافة:**لم تأثرت الكثافة بشكل متباين مع استبدال مخلفات الزجاج، حيث انخفضت قليلاً عند نسبة 15% ثم زادت عند نسبتي 20% و25%.
- **مقاومة الضغط:** تحسنت مقاومة الضغط عند نسبتي 15% و20% من مخلفات الزجاج، لكنها انخفضت عند نسبة 25% بعد فترات زمنية مختلفة.
- **مقاومة الشد غير المباشر:** انخفضت مقاومة الشد غير المباشر عند نسبة 15%، لكنها تحسنت قليلاً عند نسبتي 20% و25% مقارنة بنسبة 15%.
- **مقاومة الانحناء:** انخفضت مقاومة الانحناء بشكل ملحوظ عند نسبة 15% وتحسنت قليلاً عند نسبتي 20% و25%، لكنها بقيت أقل من مقاومة الخرسانة بدون مخلفات الزجاج.

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025

5. التوصيات:

بناءً على النتائج المذكورة، يمكن تقديم التوصيات التالية:

- **استخدام معتدل لمخلفات الزجاج:** يوصى باستخدام مخلفات الزجاج بنسبة تتراوح بين 15% و20% في مكونات الخرسانة، حيث أظهرت هذه النسب تحسنًا في بعض الخصائص الميكانيكية مثل مقاومة الضغط.
- **اختبار متقدم:** ينبغي إجراء اختبارات إضافية لتحديد التأثيرات الطويلة الأمد لمخلفات الزجاج على الخرسانة، بما في ذلك دراسات حول التفاعل الكيميائي بين مكونات الخرسانة ومخلفات الزجاج.
- **التطبيقات المحددة:** يمكن استخدام الخرسانة المحتوية على مخلفات الزجاج في تطبيقات تتطلب قابلية تشغيل أعلى ولكن بمتطلبات أقل لمقاومة الانحناء، مثل الأرصفة والممرات.
- **تحسين الخلطات:** العمل على تحسين تصميم خلطات الخرسانة المحتوية على مخلفات الزجاج لتقليل التأثير السلبي على مقاومة الشد والانحناء.
- **دراسة التكاليف:** إجراء تحليل للتكلفة والفائدة لاستخدام مخلفات الزجاج في الخرسانة، بما في ذلك التأثيرات البيئية والاقتصادية.

6. المراجع

[1] حكيم عبد القادر السموعي، علي سعيد البادن، ألاء الرحمن محمد أبوراوي، دراسة عن تقنيتي الخرسانة ذات المرحلتين وخرسانة الصخور المملؤة بالخرسانة، مجلة البحوث الهندسية، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، 2016.

[2] أسامة أبوبكر علي الشيباني، محمد نورالدين الدوكالي، تحت إشراف إبراهيم السنوسي، الخصائص الفيزيائية الميكانيكية للإسمنت المخلوط بمخلفات الأجر المحلي المطحون، كلية الهندسة جامعة غريان، 2019/2018.

[3] British Standard institute ,BS882 1992, "specification for Aggregates from Natural Sources for Concrete".

[4] حمدي شهاب الدين، "تكنلوجيا خرسانة"، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة، جامعة الزقازيق.

[5] Muhammad Israr Pashtoon, Shafiullah Miakhil, Mohammad Mukhlis Behsoodi, Waste Glass “An Alternative of Cement and Fine Aggregate in Concrete", Lecturer, Civil Engineering Department, Alfalah University, Afghanistan, 2023.

قُبلت للنشر على موقع الكلية بتاريخ 20 - يونيو 2025
Accepted for publishing on 20th June 2025