Albahit Journal of Applied Sciences
"open-access, peer-reviewed biannual journal"
eISSN: 2708-8936, pISSN: 2708-244X
Volume 5, Issue 2, 2026
Page No: 167-184
***Website**: https://albahitjas.com.ly/index.php/albahit/en/index*

Effect of Partial Replacement of Coarse Aggregate with PVC Plastic Fibers on Some Properties of Concrete

Alhadi M. Alahdouri [1*] , Mustafa Abdulaziz Ali [2], Al-Sadiq Ali Al-Sadiq [3]
[1] Department of Architecture and Civil Engineering, College of Technical Sciences, Bani Walid, Libya
[2] Higher Institute of Engineering Technologies, Bani Walid, Libya
[3] Libyan Center for Engineering Research and Information Technology _ Bani Walid, Libya

[*]*Corresponding author:* alhadirajab@ctsbw.edu.ly

Received: 10-03-2026	**Accepted:** 28-04-2026	**Published:** 15-05-2026
Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:
Polymers are considered fundamental materials in modern industries due to their lightweight nature, flexibility, and high chemical resistance. Among the most prominent polymers is polyvinyl chloride (PVC), which is characterized by favorable mechanical and thermal properties as well as low cost. This study aims to evaluate the effect of partially replacing coarse aggregate in concrete mixtures with PVC fibers at substitution levels of 5% and 10% by weight of aggregate. A series of concrete mixtures were prepared with a design compressive strength of 25 N/mm². In these mixtures, part of the coarse aggregate was replaced with PVC fibers in the form of thin, fluffy wires at weight ratios of 5% and 10%. The results were compared with a reference mixture. After 28 days of curing, the compressive strength of the reference concrete was 36.4 N/mm². When 5% of the coarse aggregate was replaced with PVC fibers, the compressive strength was reduced to 28.93 N/mm². Interestingly, increasing the replacement ratio to 10% resulted in a higher strength of 31.7 N/mm². Although the compressive strength decreased compared to the reference mixture, it remained above the required design strength of 25 N/mm². A slight reduction in specimen weight was also observed with increasing replacement ratios. The reference specimen weighed 8.1 kg, while the weight decreased to 7.81 kg at 5% replacement and further to 7.76 kg at 10% replacement. These findings indicate that substituting PVC fibers for part of the coarse aggregate contributes to weight reduction, thereby enhancing the potential for use in structural applications that demand high mechanical performance with lower density. The significance of this research lies in highlighting the feasibility of using the studied fibrous form of PVC as an innovative additive to improve the properties of conventional concrete and to open new horizons in construction material technology, particularly in achieving sustainability. The study recommends conducting further investigations to explore additional replacement ratios and different treatment techniques to further enhance performance.

Keywords: Concrete – Polymers – Polyvinyl chloride (PVC) – Compressive strength – Sustainability.

تأثير الإحلال الجزئي للركام الخشن بألياف البلاستيك *PVC* على بعض خصائص الخرسانة

الهادي محمد الخضوري [1*]، مصطفى عبد العزيز علي[2] ، الصادق على الصادق [3]
[1] كلية العلوم التقنية، قسم الهندسة المدنية، بني وليد، ليبيا .
[2] المعهد العالي للتقنيات الهندسية ، بني وليد، ليبيا .
[3] مركز البحوث الهندسية بني وليد، ليبيا

الملخص
تُعد البوليمرات من المواد الأساسية في الصناعات الحديثة لما تتمتع به من خفة الوزن ومرونة ومقاومة كيميائية عالية، ومن أبرز هذه البوليمرات البولي فينيل كلورايد (PVC) الذي يتميز بخواص ميكانيكية وحرارية جيدة وتكلفة منخفضة، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إحلال ألياف البلاستيك (PVC) محل جزء من الركام الخشن في الخلطة الخرسانية بنسبتي (5%-10 %) من وزن الركام. تم إعداد مجموعة من الخلطات الخرسانية بمقاومة ضغط تصميمة مقدارها (25 نيوتن/مم²)، ثم أُحِلّ جزء من الركام الخشن بألياف (PVC) على هيئة ألياف منفوشة أي على شكل أسلاك رفيعة بنسب وزنية مختلفة (5% و10%) وتمت مقارنة النتائج مع الخلطة المرجعية، أظهرت النتائج بعد مضي 28 يومًا من صب المكعبات الخرسانية أن مقاومة الضغط للخرسانة المرجعية كانت (36.4 نيوتن/مم²)، وعند إحلال مادة (PVC) بدل الركام الخشن بنسبة 5% أنتج مقاومة ضغط مقدارها (28.93 نيوتن/مم²)، بينما ارتفعت بشكل أكبر عندما زادت نسبة إحلال (PVC) إلى 10%، حيث بلغت المقاومة (31.7 نيوتن/مم²) أي أن مقاومة الضغط للخرسانة انخفضت مقارنة بالخرسانة المرجعية، ولكنها بقيت أعلى من مقاومة التصميم المستهدفة (25 نيوتن/مم²)، كما لوحظ انخفاض طفيف في وزن المكعبات للعينات مع زيادة نسبة الإحلال، حيث بلغ وزن العينة المرجعية (8.1 كغم) بينما انخفض عند الإحلال الجزئي من وزن الركام الخشن بنسبة 5% إلى (7.81 كغم) وعند الإحلال بنسبة 10% انخفض الوزن إلى (7.76 كغم) ، تشير هذه النتائج إلى أن إحلال ألياف (PVC) محل جزء من الركام الخشن يسهم في تقليل الوزن، مما يعزز إمكانية استخدامها في التطبيقات الإنشائية التي تتطلب مواد ذات أداء ميكانيكي مرتفع وكثافة أقل، وتكمن أهمية هذا البحث في تسليط الضوء على جدوى الشكل الليفي المدروس للإحلال كإضافة مبتكرة لتحسين خصائص الخرسانة التقليدية وفتح آفاق جديدة في مجال تكنولوجيا مواد البناء لتحقيق خصائص أخرى مثل الاستدامة، وأوصت الدراسة بإجراء المزيد من الأبحاث من هذا النوع لتحديد الاستخدام الأمثل للبولي فينيل كلورايد في الخرسانة واستكشاف نسب إحلال إضافية وتقنيات معالجة مختلفة لتحسين الأداء بشكل أكبر.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة – البوليمرات -البولي فينيل كلورايد PVC – مقاومة الضغط – الاستدامة .

المقدمة:

تُعتبر الخرسانة من أكثر مواد البناء استخدامًا في العالم، نظرًا لخصائصها الميكانيكية العالية وتوفر مكوناتها، إلا أن الخرسانة التقليدية تعاني من ضعف في مقاومة الشد والتشققات الناتجة عن الانكماش والجفاف، ومع تطور المشاريع الهندسية وتزايد الحاجة إلى مواد أكثر متانة ومرونة، ظهرت تقنية إضافة بعض المواد الكيميائية او المواد المعاد تدويرها مثل الألياف البلاستيكية إلى الخرسانة كحل عملي لتحسين خواصها، تعمل هذه المضافات على تعزيز مقاومة الخرسانة للتشققات، وزيادة قدرتها على تحمل الصدمات وتقليل نفاذيتها، مما يرفع من كفاءتها في مواجهة الظروف البيئية القاسية، ولذلك تمثل دراسة استخدام المضافات في الخرسانة خطوة مهمة نحو تطوير مواد بناء أكثر استدامة وملاءمة لمتطلبات العصر الحديث، ومدى تأثيرها على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة مثل مقاومة الضغط والشد والمتانة كما تساعد الدراسات في تحديد النسب المثلى للمضاف لتحقيق أفضل أداء إنشائي، ويتيح ابتكار حلول جديدة لمشكلات واقعية مثل التشققات المبكرة أو النفاذية العالية، إضافة إلى ذلك تُسهم الدراسات في تعزيز الاستدامة من خلال استخدام مواد معاد تدويرها مما يقلل من الأثر البيئي لصناعة البناء، ولذلك فإن البحث العلمي لا يقتصر على الجانب الأكاديمي فحسب بل يُعد أداة عملية لتطوير الخرسانة وجعلها أكثر توافقًا مع متطلبات المشاريع الهندسية الحديثة.

أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والعملية، يمكن تلخيصها فيما يلي:

1. تقييم تأثير إحلال ألياف الـ(PVC) محل جزء من الركام الخشن في الخلطة الخرسانية، ودراسة انعكاس ذلك على مقاومة الضغط والخواص الميكانيكية للخرسانة.
2. تحليل التغير في الوزن والكثافة الناتج عن استخدام نسب مختلفة من ألياف الـ(PVC)، واستكشاف إمكانية إنتاج خرسانة أخف وزناً مع الحفاظ على أداء إنشائي مقبول.
3. تطوير مواد بناء مستدامة والاستفادة من إعادة تدوير البلاستيك وتقليل النفايات البيئية.
4. إثراء المعرفة الأكاديمية والهندسية وتوفير بيانات علمية جديدة يمكن أن تُستخدم في وضع مواصفات ومعايير للبناء الحديث.

أهمية الدراسة:

1. تسليط الضوء على إمكانية استخدام البوليمرات (PVC) كبديل جزئي للركام الخشن في الخرسانة، مما يفتح المجال أمام حلول مبتكرة في تكنولوجيا مواد البناء.
2. دعم التوجهات الحديثة نحو الاستدامة من خلال إعادة تدوير المواد البلاستيكية وتقليل النفايات، بما يتماشى مع التوجهات العالمية نحو الاقتصاد الدائري، واستخدامها في التطبيقات الإنشائية.
3. تقديم إضافة جديدة تختلف عن الدراسات السابقة التي اعتمدت في دراستها على أشكال أخرى للبوليمر (مسحوق أو حبيبات)، مما يبرز أهمية الشكل الليفي المدروس.

منهجية الدراسة:

أولا تصميم الخلطة الخرسانية وفق الخطوات التالية.

1 :تحديد مقاومة الضغط المطلوبة ودرجة التشغيل المطلوبة .

2 :اختيار المواد وتحديد خصائصها بعد اجراء التجارب اللازمة عليها.

- نوع الأسمنت قوته، نعومته.
- الركام الناعم (الرمل) :تدرجه، نظافته، امتصاصه للماء.
- الركام الخشن (الزلط) :الحجم، الشكل، التدرج.
- الماء :يكون صالح للخلط.

3 :تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C Ratio).

4 :تحديد كمية الأسمنت: حسب الكود المستخدم ASTM الذي ينص على أن أقل كمية من الأسمنت ≈ 300–350 كجم/م^3 للخرسانة العادية، أو على كمية ≈ 400–500 كجم/م^3 للخرسانة عالية المقاومة.

5: تحديد كمية الماء.

6 :تحديد نسب الركام (الرمل + الزلط).

7 :إجراء الخلط التجريبي.

حيث يتم خلط كميات صغيرة من المواد حسب التصميم ثم إجراء اختبار الهبوط.

8: تحضير عينات البولي فينيل كلورايد مع نسب متفاوتة (5% -10%) من وزن الركام.

9. اختبار مقاومة الضغط على المكعبات بعد 28 يومًا.

ثانيا طريقة تحضير الياف PVC مع الخلطة:

جدول (1) خطوات تحضير عينات البولي فينيل كلورايد PVC

الخاصية	القيمة /الطريقة	الملاحظة العلمية
الخلط	(الخلط الجاف)	الناعم + الخشن مع الإسمنت
اضافة الماء	تدريجياً	الوصول إلى قوام متجانس
طول الألياف	30مم – 75مم	الطول المستخدم في الخلطة
قطر الألياف	≈ 0.5 مم- 1.25مم	قطر مناسب يحقق نسبة طول/قطر جيدة.
نسبة الطول إلى القطر	≈ 60	قيمة مقبولة لضمان فعالية الألياف في تحسين مقاومة الشد.
المعالجة قبل الاستخدام	غسل وتجفيف	لضمان إزالة الشوائب وتحسين الالتصاق بالخرسانة.
طريقة الإضافة	تدريجية أثناء الخلط	لتقليل احتمالية التكتل وضمان توزيع متجانس.
زمن الخلط	2دقيقة قبل الإضافة + 3 دقائق بعد الإضافة	لضمان دمج الألياف بشكل جيد داخل الخلطة

الملاحظات	مراقبة التكتل وتصوير الألياف قبل وبعد الخلط	لتوثيق المنهجية بشكل أوضح.

والشكل (3) يوضح نوع وشكل البلاستيك (**PVC**) المستخدم في الدراسة.
بعد تحضير الخلطة وألياف PVC يتم عمل ثلاث خلطات كالتالي:
1. خلطة 1 مرجعية بدون ألياف.
2. خلطة 2 إحلال الياف البولي بنسبة 5% من وزن الركام.
3. خلطة 3 إحلال الياف البولي بنسبة 10% من وزن الركام.

ثالثا: الفحوصات:

مقاومة الضغط (كسر المكعبات بعد 28 يوم من المعالجة) وهو العمر القياسي لتقييم مقاومة الخرسانة.

رابعا: مناقشة النتائج والتوصيات.

الدراسات السابقة:

شهدت العقود الأخيرة اهتمامًا متزايدًا بتطوير الخرسانة عبر إدخال مواد مضافة مختلفة، مثل الألياف المعدنية والزجاجية والبلاستيكية وذلك بهدف تحسين خصائصها الميكانيكية والفيزيائية، وقد أظهرت العديد من الدراسات السابقة أن استخدام الألياف في الخرسانة يساهم في تقليل التشققات وزيادة مقاومة الانحناء وتحسين المتانة تحت الأحمال الديناميكية، ومع ذلك فإن نتائج هذه الدراسات تختلف باختلاف نوع الألياف نسبتها، وطريقة توزيعها داخل الخلطة الخرسانية، مما يبرز الحاجة إلى المزيد من الأبحاث المتخصصة ومن أبرز الدراسات التي تناولت موضوع إمكانية استخدام بدائل الركام الطبيعي في الخرسانة .

1. دراسة قام بها نورالدين الطوير وهبة الغواري كلية الهندسة جامعة المرقب ليبيا سنة 2023 بعنوان تأثير إضافة مخلفات البولي فينيل كلورايد على الخواص الميكانيكية للمونة الاسمنتية تبحث عن إعادة تدوير النفايات الصناعية لتقليل التأثير البيئي ويُعتبر البولي فينيل كلوريد (PVC) أحد أكثر المواد النفايات انتشاراً على مستوى العالم، وله تأثيرات بيئية كبيرة، ومن بين الطرق المتبعة لتقليل هذا التأثير إعادة تدوير نفايات الـ PVC في صناعة الخرسانة أو المونة، يهدف هذا البحث إلى إعادة استخدام نفايات الـ PVC الناتجة عن الورش التي تُصنّع الأبواب والنوافذ المصنوعة من مادة الـ.PVC ، تم جمع نفايات البولي فينيل كلوريد من أحد المصانع في مدينة الخُمس، ثم جرى غربلتها، وأُخذت العينات التي مرّت من المنخل رقم (4) واحتُجزت على المنخل رقم (10)، أُضيفت نسب متفاوتة من نفايات الـ PVC (0.1 ، 0.08 ، 0.06) من وزن الأسمنت إلى خلطات المونة، وأُجريت مجموعة من الاختبارات خلال هذه الدراسة شملت: محتوى الهواء في المونة الطازجة، اختبار الطاولة الانسيابية، الكثافة الجافة للمونة المتصلبة، مقاومة الانحناء والضغط الانكماش الحر وأخيراً سرعة النبضة فوق الصوتية، أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في العزل الصوتي وانخفاضاً في الكثافة الجافة للمونة، بينما كانت نتائج مقاومة الضغط والانحناء أقل قليلاً مقارنة بالمونة القياسية، بالإضافة إلى ذلك لوحظ انخفاض في قيم الانسيابية والانكماش الحر ومحتوى الهواء مع زيادة نسبة الـ PVC ومع ذلك فإن المونة الناتجة تُساهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية وتُبقي على الخصائص الميكانيكية لمونة الأسمنت في التطبيقات الإنشائية.

2. MECHANICAL PROPERTIES OF PVC FIBER REINFORCED CONCRETE—EFFECTS AND LENGTH OF FIBER CONTENT (2023). في هذه الدراسة تم إنتاج خلطات خرسانية بإضافة ألياف PVC مأخوذة من صفائح (CLEAR PVC) بطولين 20 مم و40 مم، وتم تغيير محتوى الألياف في مجال 0 – 1.5% WT من الأسمنت، وعند إضافة PVC بنسبة حتى 1%WT، أظهرت الخرسانة تحسناً ملحوظاً في مقاومة الضغط، ومقاومة الشد ومقاومة الانحناء والليونة، مقاومة الصدمات، أما عند زيادة الألياف إلى 1.5%WT، انخفضت بعض الخواص نتيجة لتراجع قابلية التشغيل بسبب كثافة الألياف وتجمعها داخل الخلطة، مما قد يُحدث فراغات هوائية أو توزيع غير متجانس، الخلاصة التي توصلت إليها الدراسة أن أفضل أداء ميكانيكي كان عند 1% WT.

3. دراسة معملية للخرسانة بالإحلال الجزئي للركام الخشن بمادة البولي فينيل كلورايد (PVC) للباحث (HABIB, LOUBANI) 2023. تبحث هذه الدراسة في استخدام البولي فينيل كلورايد (PVC) كبديل جزئي للركام في الخرسانة، حيث تم استبدال الركام الطبيعي بحجم متساوٍ من (PVC) المطحون، مع نسبة استبدال حجمية 10٪ و50٪ للركام الناعم ثم 10٪ و50٪ للركام الخشن، أجريت التجارب للتحقيق في كثافة الرطوبة وقابلية التشغيل (مقاسة باختبار الركود) وقوة الضغط ومعامل المرونة وامتصاص الماء للخرسانة. بعد التحقق من توزيع الجسيمات (التحليل المنخلي) والكثافة الرطبة وقابلية التشغيل وقوة الضغط، نظرًا لأن قوة ضغط خرسانة PVC الخشنة كانت أقل بكثير من قوة الخرسانة المرجعية، فقد تقرر مواصلة البحث باستخدام الاستبدالات الجزئية الدقيقة فقط، أظهرت النتائج أن كثافة الرطوبة للخرسانة تنخفض تدريجيًا مع زيادة محتوى PVC، وأن قابلية التشغيل تزداد مع زيادة PVC انخفضت قوة الضغط بنسبة 13-20% لخرسانة PVC الناعمة، وبنسبة 25-31% لخرسانة PVC الخشنة، مع زيادة محتوى PVC. كما لوحظ أنه مع زيادة محتوى PVC، انخفض معامل المرونة بنسبة 8.7% لخرسانة PVC الناعمة بنسبة 10% وبنسبة 30% لخرسانة PVC الخشنة بنسبة 50%، وانخفض امتصاص الماء بنسبة 27% لخرسانة PVC الناعمة بنسبة 10%، وبنسبة 36% لخرسانة PVC الناعمة بنسبة 50%، لا يُنصح باستبدال الركام بـ PVC لتحقيق قوة ضغط مرجعية تبلغ 40 نيوتن/مم²مع نسبة ماء إلى أسمنت، بعد دراسة احتمالات استخدام ركام PVC، تقرر العمل على نسبتي الاستبدال القصوى والدنيا الممكنتين 10% و50%.

4. كـذلك في دراسة لـ (AL KINDI1, DEVI, AL ABRI2, AL HASAN, AL HATALI, ARAVIND N) (2021) تُقدم دراسة تجريبية لإنتاج الخرسانة الإسمنتية البلاستيكية من البولي فينيل كلوريد (PVC)

الناتج عن صناعة معالجة البوليمر بأبعاد مختلفة، ولتعديل الخصائص الملموسة. تم استبدال كلوريد البولي فينيل جزئيًا بإسمنت بورتلاند العادي (OPC) بتغيير مؤلفاته من 15٪ إلى 35 ٪ بالوزن (أي 15٪ 20٪، 25٪، 30٪،35٪ OPC)، تم الاحتفاظ بفترة المعالجة لمدة 7 أيام بعد عملية الصب. تم اختبار الخرسانة الإسمنتية المنتجة من أجل قوة الضغط، كما تم إجراء اختبارات كثافة وامتصاص الماء على الخرسانة لتقييم تطبيق الخرسانة الإسمنتية البلاستيكية كمواد بناء، ومن تقنيات التوصيف الأخرى المستخدمة هي التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء (FTIR) وتحليل حيود الأشعة السينية (XRD)، وقد لوحظ أنه يمكن استبدال ما يصل إلى 15٪ من وزن البولي فينيل كلورايد بـ OPC الذي أظهر قوة ضغط أعلى (19.25 نيوتن/مم²) مقارنة بنسب الخليط الأخرى، تم الحصول على أقصى كثافة قدرها 2.051 جم/سم^3 في تكوين مزيج خرساني يتوافق مع بديل بنسبة 25٪ وقد لوحظ الحد الأقصى لنسبة امتصاص المياه (5.86٪) في استبدال النفايات البلاستيكية 35٪ توضح الدراسات أن المواد البلاستيكية النفايات تعتبر وسيلة فعالة من حيث التكلفة وقابلة للحياة ومستدامة لتقليل التلوث البيئي.

5. كذلك في دراسة أخرى لـ (ALAA, HAMZEH (2018), EFFECTS OF POLYVINYL CHLORIDE AS A PARTIAL AGGREGATE REPLACEMENT ON MECHANICAL PROPERTIES AND BEHAVIOR OF SELF COMPACTED CONCRETE تقول بأنه في جميع أنحاء العالم، يتم إنتاج أكثر من 22 مليون طن من كلوريد البولي فينيل (PVC) سنويًا، هذا المستوى الكبير من إنتاج PVC له تأثير سلبي على التلوث البيئي في المجتمع. لهذا السبب، في هذه الأطروحة، تم اختبار نفايات البلاستيك الخفيف الوزن من مادة(PVC) كبديل للركام الطبيعي بستة نسب مئوية مختلفة تبدأ من 0 و10 و20 و30 و40 و60٪، كما تناولت الدراسة أيضًا إنتاج الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) بنسبة ماء ثابتة تبلغ 0.45 باستخدام نسبة 1.7٪ (MASTER GLENIUM 27) من الخليط ودخان السليكا بنسبة 10٪ من وزن الأسمنت، تم اختبار قابلية تشغيل SCC باستخدام طرق L-BOX وV-FUNNEL FLOW TIME و SLUMP FLOW، أظهرت النتائج أن محتوى (PVC) حقق كفاءةً في استهلاك الطاقة (SCC) بنسبة 60% كما أظهرت أن استخدام نفايات البلاستيك كبديل جزئي للركام الطبيعي له تأثير سلبي على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة، بما في ذلك قوة الانحناء، وقوة الضغط الشد ، والوزن، وسرعة نبضات الموجات فوق الصوتية قبل التحلل وبعده.

الجانب العملي:

الاختبارات التي تم إجراؤها على المواد:

1.الاسمنت: تم الاعتماد في هذه الدراسة على الاسمنت البورتلاندي العادي من نوع 42.5N، وهو من أكثر الأنواع شيوعًا في الاستخدامات الإنشائية نظرًا لخصائصه الفيزيائية والميكانيكية المستقرة، وقد تم الحصول عليه من مصنع زليتن المحلي، وهو أحد المصانع الرائدة في ليبيا في إنتاج الإسمنت وفق معايير الجودة المعتمدة، ويبين الجدول (2) الخواص الفيزيائية للأسمنت مثل قيمة الوزن النوعي وزمن الشك الابتدائي والنهائي، بالإضافة إلى بعض الخصائص الأخرى ذات العلاقة بأداء الخرسانة، التي تمَّ الحصول عليها من معمل مراقبة الجودة في المصنع للأسمنت المستخدم.

جدول (2) يوضح الخواص الفيزيائية للإسمنت

النتائج	الوزن النوعي	زمن الشك الابتدائي	زمن الشك النهائي	ثبات الحجم	النعومة	مقاومة الضغط بعد 3 أيام	مقاومة الضغط بعد 28 يومًا
نتائج العينة	3.15	218دقيقة	250 دقيقة	0.9 مم	3201	37.2 نيوتن/مم^2	58.33 نيوتن/مم^2
حدود المواصفة **BS 12:1996**	-	≥ 45 دقيقة	≤ 10 ساعات	≤ 10 مم	≥ 2500	≥ 21 نيوتن/مم^2	≥ 39 نيوتن/مم^2

2.الركام الخشن: تم استخدام ركام خشن متدرج ذو مقاسه الاعتباري الأكبر (19 ملم)، خالٍ من الشوائب والمواد العضوية. يوضح الجدول (3) نتائج الاختبارات الخاصة بالركام الخشن المستخدم، مثل الوزن النوعي والامتصاص وفقًا لمتطلبات المواصفة الأمريكية ASTM C127، بالإضافة إلى نسبة المواد الناعمة طبقًا للمواصفة الأمريكية ASTM C117 أما الجدول (4) والشكل(1) فيعرضان نتائج التحليل المنخلي والتدرج الحبيبي للركام الخشن.

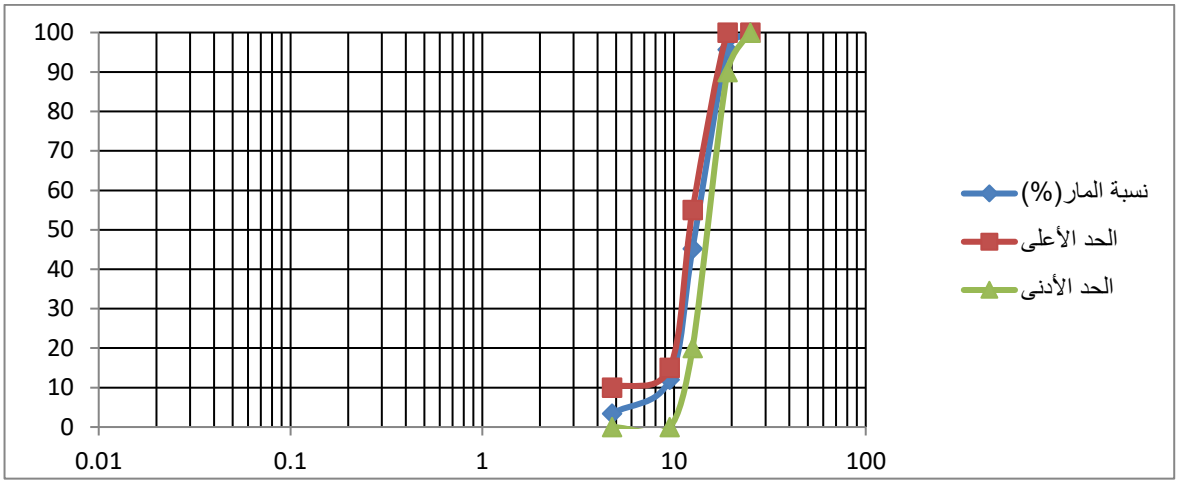
جدول (3) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

النتائج	الوزن النوعي الكلي (OD)	الوزن النوعي المشبع جاف السطح (SSD)	الوزن النوعي الظاهري	وزن وحدة الحجوم السائب (كغم/م^3)	وزن وحدة الحجوم المدموك (كغم/م^3)	نسبة الامتصاص (%)	محتوى الرطوبة (%)	معامل الصدم (%)	معامل التهشيم (%)	نسبة المواد الناعمة (%)
نتائج العينة	2.63	2.65	2.67	1436	1643	2.20	0.77	14.4	12.5	0.34
حدود المواصفة **ASTM C33**	2.30–2.90	2.30–2.90	2.30–2.90	1280–1920 كغم/م^3	1280–1920 كغم/م^3	0.5–4.0%	0–2%	≤ 30%	≤ 30%	≤ 1%

جدول (4) التحليل المنخلي للركام الخشن-حدود المواصفة (ASTM C33)

فتحة المنخل (مم)	نسبة المار(%)	الحد الأعلى	الحد الأدنى
25	100	100	100
19	92	100	90
12.5	40.2	55	20

0	15	12	9.5
0	10	3.4	4.75



شكل (1) التدرج الحبيبي للركام الخشن وحدود مواصفة (ASTM C33).

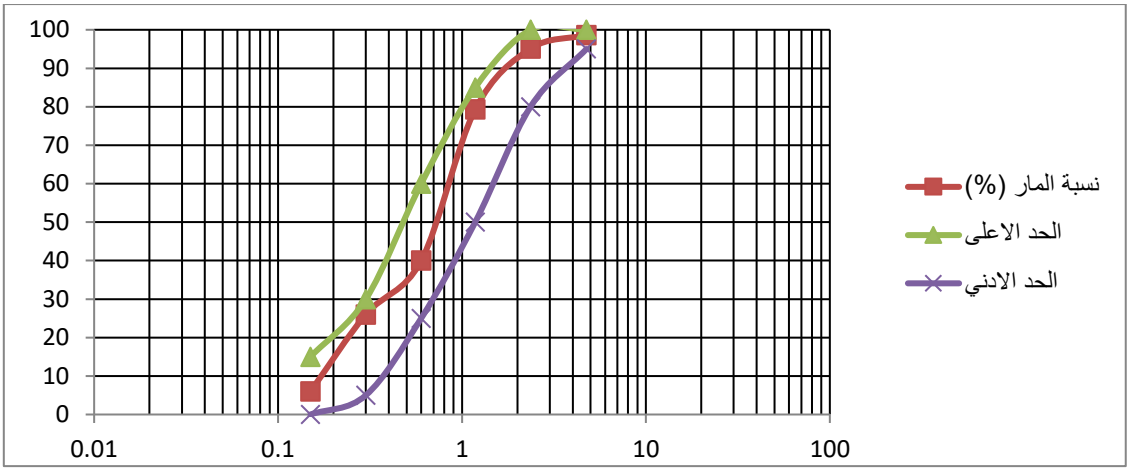
3-الركام الناعم: تم استخدام ركام ناعم خالي من الشوائب بعد أن تم إجراء الاختبارات عليه للتحقق من مطابقته للمواصفات القياسية، ويوضح الجدول (5) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم، بينما يبين الجدول (6) وكذلك الشكل (2) التحليل المنخلي والتدرج الحبيبي للركام الناعم وحدود المواصفة الامريكية ASTM C33

جدول (5) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم.

النتائج	الوزن النوعي الكلي (OD)	الوزن النوعي المشبع جاف السطح (SSD)	الوزن النوعي الظاهري	وزن وحدة الحجوم السائب (كغم/م³)	وزن وحدة الحجوم المدموك (كغم/م³)	معامل النعومة	نسبة الامتصاص (%)	محتوى الرطوبة (%)	نسبة المواد الناعمة (%)
نتائج العينة	2.64	2.68	2.70	1661	1772	2.52	0.644	0.46	3.22
حدود المواصفة **ASTM C33**	2.30–2.90	2.30–2.90	2.30–2.90	1280–1920 كغم/م³	1280–1920 كغم/م³	2–3.3	0.5–4%	0–10%	3–5%

جدول (6) التحليل المنخلي للرُّكام النَّاعم طبقا للمواصفة (ASTM C33)

فتحة المنخل (مم)	نسبة المار(%)	الحد الأعلى	الحد الأدنى
4.75	98.62	100	95
2.36	95.1	100	80
1.18	79.3	85	50
0.60	40	60	25
0.30	26	30	5
0.15	6	15	0



شكل (2) التدرج الحبيبي للركام الناعم وحدود المواصفة (ASTM C33)

4-ماء الخلط: اسْتُخْدِمَ لخلط ومعالجة الخرسانة ماء صالح للشرب، نظيف وخال من الأملاح والزيوت والمواد العضوية.

5-المادة البديلة (PVC) مادة البولي فينيل كلورايد: هو بوليمر حراري اقتصادي متعدد الاستخدامات يُستخدم في العديد من الصناعات مثل البناء أنابيب المياه، الأسلاك والكابلات وتعتبر من الخيارات الأولى في العديد من الصناعات بفضل خصائصها الفريدة كالمتانة والمرونة ومقاومتها التآكل فمادة البولي فينيل كلورايد متينة وقوية ويمكن أن تكون مرنة أو صلبة حسب الحاجة، تتحمل العديد من العوامل البيئية مثل الرطوبة ولا تتأثر بالمياه والأملاح والأحماض وتتحمل درجات حرارة عالية بدون أن تتأثر، وكذلك تتميز بخصائص عزل حرارية وكهربائية جيدة ولها قوة شد عالية (2.6 نيوتن/مم2) وكثافتها 1.38 جم/سم3 وهذا ما يجعلها مثالية للاستخدام في مجموعة متنوعة من التطبيقات، ويبين الشكل (3) مادة (PVC) وشكل الاسلاك المستخدمة في الخلطات.

شكل (3) نوع البلاستيك المستعمل في البحث (**PVC**).

تصميم الخلطات الخرسانية:

تم تصميم الخلطة الخرسانية باستخدام طريقة الحجم المطلق (Absolute Volume Method) والتي تعتبر من أكثر الطرق دقةً في تصميم الخلطات الخرسانية، وهذه الطريقة هي الموصي بها من قبل معهد الخرسانة الأمريكي (ACI 211.1-91)، وتعتمد هذه الطريقة على المبدأ القائل بأن "الحجم الكلي للمتر المكعب الواحد من الخرسانة يُساوي مجموع الحجوم المطلقة لمكوناته الصلبة والسائلة"، وبناءً على ذلك

يتم حساب الكميات الوزنية لكل مادة داخلة في الخلطة الخرسانية اعتمادًا على كثافتها النوعية، وذلك لضمان أن تكون الخلطة النهائية مساوية لحجم واحد متر مكعب من الخرسانة، كما تتميز هذه الطريقة بالدقة العالية مقارنة بطرق التصميم التقليدية الأخرى، خاصة في حالات استبدال المواد بمواد بديلة مثل المخلفات الصناعية أو الإنشائية، حيث تُمكن المصمم من التحكم الدقيق في كل مكوّن بما يتناسب مع خصائصه الفيزيائية، وتعتمد هذه الطريقة أيضا على الجداول المأخوذة من مجموعة كبيرة من التجارب العملية التي تعطي دقة عالية عند تصميم الخلطات الخرسانية، مع الأخذ بعين الاعتبار مجموعة من الحقائق والنقاط التي تختص بمواصفات الركام وطريقة تصنيع الخلطة مثل المقياس الاعتباري الاكبر للركام الخشن وكذلك التدرج الحبيبي، كذلك يمكن الاستعانة بالجداول الموجودة في المواصفات للوصول إلي كمية الاسمنت في المتر المكعب الواحد وكذلك نسبة الرمل إلي الركام الخشن، ومن تم يمكن تحديد نسب مكونات الخلطة الخرسانية وزنا وحجما علي أساس الحجم المطلق للمتر المكعب الواحد من الخرسانة والذي يساوي مجموع الحجوم المطلقة لمكوناتها (الإسمنت، الركام، الماء).

كما تقدر كمية الماء اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة طبقا لمحتوى الاسمنت في الخلطة والمقياس الاعتباري الاكبر للركام وهذه الكمية تفرض مباشرة طبقا للخبرات أو من الجدول (7) الموضح ادناه.

جدول (7) يوضح كمية الماء اللازم ومحتوى الاسمنت والمقياس الاعتباري الاكبر للركام

المقياس الاعتباري الاكبر للركام (ملم)	قيمة(م/س) لمحتوى الاسمنت (كغم) لكل متر مكعب خرسانة				
	200	250	300	350	400
10	0.70	0.60	0.50	0.475	0.40
20	0.65	0.55	0.45	0.425	0.385
40	0.61	0.48	0.425	0.385	0.37

المعادلات المستخدمة في التصميم:

تم في هذه الدراسة استخدام طريقة الحجم المطلق لعمل الخلطة الخرسانية، وباستخدام القانون التالي

Absolute volume = C/Gc +S/Gs + G/Gg + W/1.0 = 1000 Liters …… (1)

حيث أن:

C = وزن الأسمنت بالكيلوجرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة.

S = وزن الرمل بالكيلوجرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة.

G = وزن الزلط بالكيلوجرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة.

W = وزن الماء بالكيلوجرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة.

Gc, Gs, Gg = الوزن النوعي للأسمنت والرمل والزلط على التوالي.

في هذه الدراسة تم اعتماد نسب خلط للركام على النحو التالي رمل بنسبة 0.4 وزلط بنسبة 0.6، وذلك استنادًا إلى أن الركام المستخدم مناسب، مع تقليل كمية الماء إلى الحد الأدنى اللازم للحصول على قوام لدن ومتماسك، أما النسب الوزنية للماء فقد تم ضبطها بما يتناسب مع كمية الأسمنت من (0.4-0.7) بالوزن، أما كمية الاسمنت فيحددها نوع العمل اللازم له فيما إذا كانت غنية أو فقيرة حيث تتراوح كمية الاسمنت من 200 الي 400 كغم أي من 4: 8 أكياس للمتر المكعب الواحد، ويبين الجدول (8) كمية المواد المستخدمة في الخلطة، كما توضح الحسابات التالية الكمية اللازمة لكل المواد الداخلة في الخلطة.

إسمنت 325/ 3.15= 103.17 كغم

الماء = 325 × 0.405 =131.62 لتر

مكونات الخلطة كاملة = 1000 سم3

103.17+ 131.62 +ركام = 1000سم3

ركام =1000-(131.62+103.17) = 765.20

إذا كانت الخلطة بها 40% ركام ناعم و60% ركام خشن
ركام ناعم = 765.20 × 0.40 ×2.51 = 768.26 كغم
ركام خشن = 765.20 × 0.60 × 2.22 =1019.24 كغم
مجموع المواد في المتر المكعب الواحد من الخرسانة:
إسمنت = 325 كغم -ماء الخلط = 131.62 لتر
الركام الناعم = 768.26 كغم -الركام الخشن = 1019.24 كغم
ومن تم تكون كثافة الخرسانة 2244 كغم /م^3
بالتعويض في معادلة الحجم المطلق، من المعادلة ..... (1)
(3.15/325) + (1/131.62) + (2.51/768.26) + (2.22/1019.24) = 999.98 ≈ 1000سم^3

جدول (8) كميات المواد المستخدمة في الخلطة

المكوّن	الخلطة المرجعية	PVC 5%	PVC 10%
الأسمنت (كغم/م^3)	325	325	325
الماء (لتر)	132	132	132
نسبة الأسمنت إلى الماء	0.4	0.4	0.4
الركام الناعم (كغم/م^3)	770	770	770
الركام الخشن (كغم/م^3)	1020	969	918
كميةPVC	-	51	102
نوع الاستخدام	-	إحلال جزئي	إحلال جزئي

ومن خلال عدة تجارب سابقة من أجل عمل خلطة معملية صغيرة نستطيع أخذ نسبة 2% من وزن خلطة المتر المكعب الواحد ومن ثم تحويلها إلى الكمية المناسبة لغرض الحصول على المقدار الذي نحتاجه لصب 6 مكعبات قياسية (15×15×15 سم)، كالتالي.
اسمنت = 325 ×0.02 = 6.5 كغم
ماء الخلط = 131.62 ×0.02 = 2.6325 لتر
ركام ناعم = 768.26 ×0.02 = 15.365 كغم
ركام خشن = 1019.24 × 0.02 = 20.384 كغم
تم إعداد العينات التي تحتوي على إحلال جزئي للركام الخشن باستخدام نفس نسب الخلطة القياسية، مع اختلاف وحيد يتمثل في استبدال جزء من الركام الخشن بألياف بلاستيكية (PVC) تم تحديد حجم الركام المستبدل باستخدام أوعية قياسية معلومة الحجم للركام الخشن، ويتم الإحلال الجزئي للبلاستك من حجم الركام الخشن بنسبة (5% -10%) من ألياف PVC، تم أخذ نسبة 2% من خلطة المتر المكعب الواحد لتصميم الخلطات المستهدفة.

إعداد وخلط العينات الخرسانية:

تم خلط الخرسانة وفق الخطوات المعتمدة في البند (3.1.7) من المواصفة ASTM C192:

شكل (4) خلط العينات الخرسانية.

الاختبارات والمعالجات التي تم إجراؤها على الخرسانة الطازجة.

اختبار الهبوط (Slump Test)**:** يهدف هذا الاختبار إلى تحديد قوام الخلطة الخرسانية من خلال قياس مقدار هبوطها بعد تشكيلها، وذلك للتحقق من نسب ومكونات الخلطة، إذ أن أي تغيير في نسبة الأسمنت أو كمية الماء والركام ينعكس مباشرة على قيمة الهبوط.

تم إجراء الفحص باستخدام مخروط الهبوط القياسي وفقًا للمواصفة الأمريكية ASTM C143، ويُعد هذا الاختبار من أبسط وأدق الوسائل لضبط الجودة سواء في محطات الخلط أو في مواقع التنفيذ، وبعد الانتهاء من عملية الخلط والتأكد من مطابقة الخرسانة لاختبار الهبوط، جرى صب الخرسانة الطرية في قوالب مكعبة بأبعاد 150 × 150 × 150مم، وذلك طبقًا للمواصفة الأمريكية ASTM C192

شكل (5) مخروط الهبوط القياسي والقوالب المكعبـــة.

مُعالجة العينات الخرسانية:

بعد الانتهاء من صب الخرسانة ورضها في القوالب المكعبة والتسوية، توضع القوالب في درجة حرارة المعمل (25°م)، دون تعريضها للاهتـزاز أو التيارات الهوائية لمدة 24 ± 2 ساعة، وفقا ما نصت عليه المواصفة القياسية الامريكية ASTM C192. بعد مرور 24 ساعة تفك القوالب وترقم بأرقام لتمييزها وتوضع في أحواض الاماهة للمدة المقررة حسب المواصفة سابقة الذكر.

شكل (6) شكل المكعبات الخرسانية والترقيم والمعالجة.

الاختبارات التي تم إجراؤها على الخرسانة المتصلدة.

اختبار مقاومة الضغط: تعتبر مقاومة الضغط من أهم خواص الخرسانة فهي تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها ومقاومتها للضغط وهي المقاومة الأم للخرسانة حيث أن معظم الخواص والمقاومات الاخرى مثل الشد والانحناء والقص تزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس الصحيح لذلك يجري هذا الاختبار بغرض التحكم في جودة الخرسانة.

شكل (7) اختبار مقاومة الضغط.

تحليل النتائج:

أولا اختبارات الركام الخشن والناعم:

من خلال الفحوصات المختبرية للركام الخشن والناعم تبين أنه ضمن حدود المواصفات المعمول بها عالميا، وكما هو مبين في الجدول (4) والجدول (6) حيث ثم مقارنة النتائج المتحصل عليها بما ورد في المواصفة (ASTM 33).

ثانيا اختبارات الخرسانة الطازجة:

اختبار الهبوط (Slump Test):

أظهرت نتائج اختبار الهبوط أن قابلية التشغيل للخرسانة ازدادت مع زيادة نسبة الإحلال الجزئي بالبلاستيك، على الرغم من ثبات نسبة ماء الخلط إلى الأسمنت (w/c = 0.4) لجميع الخلطات، بالنسبة للخلطة المرجعية (دون إحلال) بلغت قيمة الهبوط 7سم، أما عند إحلال 5% من الركام الخشن بألياف PVC ارتفعت قيمة الهبوط إلى 8 سم، ومع زيادة نسبة الإحلال إلى 10% ازدادت قيمة الهبوط لتصل إلى 10سم، توضح هذه النتائج أن إضافة ألياف البلاستيك ساهمت في تحسين قابلية التشغيل للخرسانة حيث أدى الإحلال الجزئي

إلى زيادة سيولة الخلطة الخرسانية مع الحفاظ على نفس نسبة الماء إلى الأسمنت، مما يعكس تأثيرًا مباشرًا للبلاستيك على خصائص القوام واللدونة.
جدول (9) يبين قيمة الهبوط للخلطة المرجعية وللخلطات عند احلال نسب مختلفة من البلاستيك المستعمل(PVC)

نوع الخلطة	نسبة ماء الخلط w/c	قيمة الهبوط (سم)
خرسانة (خلطة مرجعية)	0.4	7
%5p.v.c		8
%10 p.v.c		10

ثالثا اختبارات الخرسانة المتصلدة:
مقاومة الانضغاط والتحليل الاحصائي: أظهرت نتائج فحوصات مقاومة الانضغاط للعينات عند عمر 28 يومًا كما هو موضح في الجداول والأشكال البيانية اللاحقة أن الخرسانة المرجعية (دون إحلال) سجلت أعلى قيمة لمقاومة الضغط مقارنة بجميع الخلطات الأخرى، مع ملاحظة أن جميع القيم المحققة تجاوزت المقاومة التصميمية المطلوبة، حيث بلغت مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (36.4 نيوتن/مم²) وعند إحلال 5% من الركام الخشن بألياف PVC انخفضت مقاومة الضغط الى(28.93 نيوتن/مم²) أما عند إحلال 10%، فقد بلغت قيمة المقاومة (31.7 نيوتن/مم²)، تؤكد هذه النتائج أن الخرسانة ذات الإحلال الجزئي بالبلاستيك يمكن أن تحقق مقاومة ضغط جيدة تتجاوز القيم التصميمية، رغم أن الخلطة المرجعية تبقى الأكثر تفوقًا من حيث القوة، الجداول والأشكال التالية توضح القيم التفصيلية لمقاومة الضغط لكل من الخرسانة الاعتيادية والخرسانة ذات الإحلال الجزئي والفروق الكمية والكيفية.
المتوسط الحسابي والتحليل الاحصائي لعينات الخلطة المرجعية:
جدول (10) المتوسط الحسابي لقيم مقاومة الضغط لعينات الخرسانة للخلطة المرجعية بعمر 28 يوم

No. Cube	قيمة الضغط (نيوتن/مم²) بعمر 28 أيام
1	36.9
2	38.4
3	34.00
المتوسط	36.43

جدول (11) التحليل الاحصائي لعينات الخرسانة للخلطة المرجعية

رقم المكعب	القيمة (نيوتن/مم²)	الفرق عن المتوسط	مربع الفرق
1	36.9	+0.47	0.22
2	38.4	+1.97	3.88
3	34.0	-2.43	5.90
المجموع			10.00

الحسابات:
المتوسط = 36.43 نيوتن/مم²
التباين (للعينة) = 10 ÷ (3-1) = 5.00
الانحراف المعياري (للعينة)= $\sqrt{5.00} \approx 2.24$ نيوتن/مم².
معامل الاختلاف (CV%)= 2.24 / 36.43 * 100 = 6.2%

وفقًا للمواصفات القياسية ASTM C39/C39M الخاصة باختبار مقاومة الضغط للخرسانة، يجب أن يكون معامل الاختلاف أقل من 10% لضمان تجانس النتائج وبما ان قيمة CV أقل من 10% (6.2%) فهذا يدل على أن النتائج متجانسة ومقبولة إحصائيًا ويمكن الاعتماد عليها في تقييم المقاومة.

المتوسط الحسابي والتحليل الاحصائي لعينات خلطة الاحلال 5%:

جدول (12) المتوسط الحسابي لقيم مقاومة الضغط لعينات الخرسانة خلطة الاحلال 5% بعمر 28 يوم

رقم المكعب(Cube No.)	قيمة مقاومة الضغط بعمر 28 يوم (نيوتن/ملم²)5% PVC –
1	28
2	27.7
3	31.1
المتوسط	**28.93**

جدول (13) التحليل الاحصائي لعينات الخرسانة خلطة الاحلال 5%.

رقم المكعب	القيمة (نيوتن/مم²)	الفرق عن المتوسط	مربع الفرق
1	**28.0**	**-0.93**	**0.86**
2	**27.7**	**-1.23**	**1.51**
3	**31.1**	**+2.17**	**4.71**
المجموع			**7.08**

الحسابات:

المتوسط =28.93

مجموع مربعات الفروق= 7.08

التباين (للعينة) 7.08 ÷ (3-1) =3.54

الانحراف المعياري (للعينة) =$\sqrt{3.54}$ ≈ 1.88 نيوتن/مم².

معامل الاختلاف (CV%) = 28.93/1.88 *100 = 6.5%

معامل الاختلاف (CV%) 6.5% وهو أقل من الحد المسموح به (10%)، يشير ذلك إلى أن العينات متجانسة وأن التشتت في النتائج محدود، مما يعكس جودة جيدة في عملية الخلط والدمك والمعالجة.

المتوسط الحسابي والتحليل الاحصائي لعينات خلطة الاحلال 10%:

جدول (14) المتوسط الحسابي لقيم مقاومة الضغط لعينات الخرسانة خلطة الاحلال 10% بعمر 28 يوم

No. Cube	قيمة الضغط (نيوتن/مم²) بعمر28 يوم 10%
1	**33.1**
2	**33.1**
3	**28.9**
المتوسط	**31.7**

جدول (15) التحليل الاحصائي لعينات الخرسانة خلطة الاحلال 10%

رقم المكعب	القيمة (نيوتن/مم²)	الفرق عن المتوسط	مربع الفرق
1	**33.1**	**+1.4**	**1.96**
2	**33.1**	**+1.4**	**1.96**
3	**28.9**	**-2.8**	**7.84**
المجموع			**11.76**

الحسابات:

المتوسط =31.7 نيوتن/مم².

التباين (للعينة) =11.76 ÷ (3-1)= 5.88

الانحراف المعياري (للعينة) = √5.88 ≈ 2.43 نيوتن/مم².

معامل الاختلاف (CV%) =2.43 / 31.7 * 100 = 7.7%

تشير هذه النتائج إلى أن التشتت محدود وأن العينات متجانسة، حيث إن معامل لاختلاف أقل من الحد المقبول عادةً (10%)، وبذلك يمكن اعتبار النتائج موثوقة وتعكس مقاومة الضغط الفعلية للخرسانة.

نتائج وزن العينات والتحليل الاحصائي:

يمكن حساب حجم المكعب من حاصل ضرب (.15 *.15 *.15) = 0.003375م^3 ومنه يمكن قسمة وزن العينة على حجم المكعب للحصول على الكثافة لكل عينة كما هو موضح في الجدول (16).

جدول (16) المتوسط الحسابي لوزن المكعبات لعينات الخرسانة (الخلطة المرجعية وخلطات الاحلال والكثافة

الخلطة	وزن المكعب (كجم)	الكثافة التقريبية (كجم/م^3)
المرجعية	**8.10**	**2400**
%5	**7.81**	**2314**
%10	**7.76**	**2299**

وهذه النتائج تشير الى انخفاض الكثافة مع زيادة النسبة وهذا امر منطقي بسبب انخفاض كثافة PVC مقارنة بالركام الطبيعي مما أدى إلى تقليل الكثافة الكلية للخرسانة.

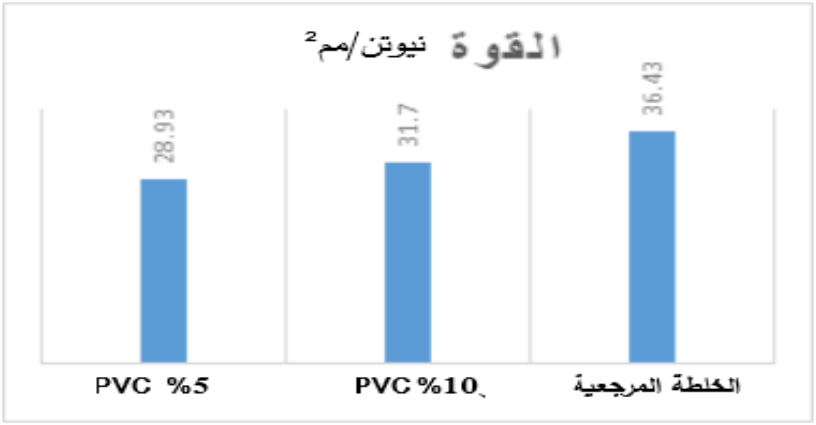
جدول (17) التحليل الاحصائي لأوزان العينات الخرسانة.

رقم العينة	الوزن (كجم	الفرق عن المتوسط	مربع الفرق
1	8.10	+0.19	0.0361
2	7.81	-0.10	0.0100
3	7.76	-0.15	0.0225
المتوسط	7.89	—	—
الانحراف المعياري(SD)	0.15	—	—
معامل الاختلاف(CV%)	1.90%	—	—

المتوسط العام لوزن العينات 7.89 كجم، والانحراف المعياري صغير (0.15 كجم)، مما يدل على تقارب النتائج، والأوزان متقاربة جدًا، حيث كان معامل الاختلاف (1.90%) أقل بكثير من الحد المسموح به (10%)، وبالتالي يعتبر التشتت في الأوزان مقبول نسبيا وفق ما تنص عليه المواصفة الامريكية ASTM C39.

والرسم البياني التالي يوضح تأثير إحلال نسب الـ PVC على مقاومة الخلطة حيث نلاحظ أن:

- عند إضافة 5% PVC انخفضت المقاومة إلى 28.93 نيوتن/مم² مقارنة بالخلطة المرجعية.
- عند زيادة النسبة إلى 10% PVC ارتفعت المقاومة قليلًا لتصل إلى 31.7 نيوتن/مم²، لكنها ما زالت أقل من الخلطة المرجعية.
- الخلطة المرجعية سجلت أعلى مقاومة بقيمة 36.43نيوتن/مم².



شكل (8) يوضح قيم مقاومة الضغط للخرسانة بعد 28 يوم للخلطة المرجعية وعند إضافة مادة (p.v.c).

مناقشة النتائج:

تم تصميم الخلطة الخرسانية على مقاومة ضغط 25 نيوتن/مم²، والنتائج التي تم الحصول عليها أظهرت أن مقاومة الضغط للخلطة المرجعية بلغت 36.4 نيوتن/مم² ووزن المكعب الخرساني الذي ابعاده (15 سم* 15سم* 15سم) 8.1 كغم، وعند إحلال نسبة 5% من الياف PVC انخفضت المقاومة إلى 28.93 نيوتن/مم² مقارنة بالخلطة المرجعية أي بمعدل انخفاض 20.6%، ولكنها بقيت أعلى من مقاومة التصميم المطلوبة C25، أما بالنسبة لوزن المكعب فكان 7.81 كغم أي بانخفاض قيمته 3.58% مقارنة بالخرسانة المرجعية، بينما عند زيادة النسبة الى 10% انخفضت قيمة المقاومة إلى 31.7 نيوتن/مم² أي بمعدل انخفاض قدره 13% مقارنة بالخرسانة المرجعية، ووزن المكعب 7.76 كغم أي بانخفاض قيمته 4.19% مقارنة بالخرسانة المرجعية، وعلى ضوء هذه النتائج يمكن القول بأن مقاومة الضغط للخرسانة قد انخفضت عند إحلال ألياف البولي فينيل كلورايد PVC ولكنها بقيت أعلى من المقاومة التي تم التصميم عليها 25 نيوتن/مم²، وكذلك حصول انخفاض طفيف في وزن المكعب مما يعني أن إدخال الألياف خفّض الكثافة الكلية للخرسانة فعند احلال نسبة 5% كانت كثافة المكعب 2314 كغم/مم³ وكذلك عند إحلال نسبة 10% كانت الكثافة 2299 كغم /مم³ وبمقارنة هذه النتائج بكثافة الخلطة المرجعية التي بلغت 2400 كغم /مم³، يتضح أن الكثافة تنخفض تدريجيًا مع زيادة نسبة إحلال الـ PVC هذا الانخفاض يعكس خفة الوزن الناتجة عن استبدال جزء من الركام الخشن بألياف بلاستيكية، وهو ما يتماشى مع الهدف من الدراسة، وأيضا جميع القيم ما زالت ضمن نطاق الكثافة المعتاد للخرسانة العادية (2300–2500 كغم/م³)، مما يعزز إمكانية استخدام هذه الخلطات في التطبيقات الإنشائية التي تتطلب وزنًا أقل مع الحفاظ على مقاومة ضغط مناسبة، أما بالنسبة لقابلية التشغيل لوحظ أن إدخال الألياف أثر على قابلية التشغيل لكنها بقيت ضمن الحدود المسموحة ويرجع ذلك لأن الألياف عادةً ما تزيد من لزوجة الخلطة نظرًا لعدم قدرة البلاستيك على امتصاص الماء مثل الركام الطبيعي فيزيد من انسيابها، حيث أشارت النتائج في اختبار الهبوط أن الخرسانة ما زالت ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات.

الاستنتاجات:

يمكن تلخيص ما توصلت إليه التجارب في عدة نقاط أساسية:

1. أظهرت النتائج أن إحلال ألياف PVC بنسبة 5% و10% أدت إلى انخفاض في مقاومة الضغط بعد 28 يومًا مقارنة بالخرسانة المرجعية (36.4 نيوتن/مم²) ولكنها بقيت اعلى من المقاومة

التصميمية المستهدفة (25 نيوتن/مم²) إلى 28.93 نيوتن/مم² عند إحلال نسبة 5% وعند إحلال نسبة 10% بلغت المقاومة 31.7 نيوتن/مم²، الا أن تأثيره على المتانة والبنية الداخلية للخرسانة يحتاج الى اختبارات اضافية.

2. وزن العينات انخفض بشكل طفيف، فعند إحلال نسبة 5% من الألياف انخفض الوزن الى 3.58% مقارنة بالخرسانة المرجعية أما عند زيادة نسبة الاحلال الى 10% من الالياف انخفض الوزن بنسبة 4.19% مقارنة بالخرسانة المرجعية وهو ميزة إضافية في التطبيقات التي تتطلب خفة الوزن.
3. إحلال ألياف PVC بنسبة 10% أظهرت أفضل أداء من حيث مقاومة الضغط والوزن مقارنة بنسبة إحلال ألياف PVC 5%.
4. بالمقارنة مع بعض الدراسات السابقة يتضح أن هناك علاقة غير خطية بين نسبة الألياف والمقاومة إذ أن تجاوز النسبة المثلى يؤدي إلى مشاكل في قابلية التشغيل نتيجة التكتل وصعوبة الدمج، وهو ما قد ينعكس سلبًا على جودة الخرسانة.
5. قابلية التشغيل عند استخدام الالياف بالنسب المذكورة بقيت مقبولة، مما يعني أن إدخال الألياف لا يعيق الاستخدام العملي للخلطة، مع التركيز على أهمية الموازنة بين المقاومة وقابلية التشغيل فالأداء الأمثل للخرسانة بالألياف يتحقق عند التوازن بين زيادة المقاومة الميكانيكية والحفاظ على قابلية التشغيل، مما يستدعي ضبط نسب الإحلال بعناية وفقًا لمتطلبات المشروع.

التوصيات:

1. دراسة تأثير إحلال الـ PVC على خصائص أخرى مثل مقاومة الانحناء، النفاذية، والمتانة، وعدم الاكتفاء بمقاومة الضغط فقط.
2. إجراء المزيد من الأبحاث لاستكشاف نسب إحلال إضافية لتحديد النسبة المثلى من ألياف PVC التي تحقق أفضل توازن بين مقاومة الضغط وقابلية التشغيل.
3. تجربة تقنيات معالجة مختلفة (مثل المعالجة الحرارية أو الكيميائية) لتحسين التماسك بين الألياف والخرسانة.
4. تعزيز الجانب البيئي عبر ربط النتائج بمفهوم إعادة تدوير البلاستيك وتقليل النفايات.

الخاتمة

إن إدماج المواد البلاستيكية المعاد تدويرها في صناعة الخرسانة يمثل خطوة واعدة نحو تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية في قطاع البناء، فالبلاستيك يُعد من أكثر النفايات انتشارًا وصعوبة في التحلل يمكن أن يتحول من عبء بيئي إلى مورد فعّال عند إعادة استخدامه كجزء من مكونات الخرسانة هذه الممارسة لا تسهم فقط في تقليل تراكم المخلفات البلاستيكية، بل قد تمنح الخرسانة خصائص إضافية مثل تحسين العزل الحراري وخفض الوزن النوعي في بعض التطبيقات، ومع ذلك فإن هذه الفوائد النظرية لا يمكن اعتمادها بشكل واسع إلا من خلال إجراء تجارب مخبرية وميدانية دقيقة، تدرس تأثير نسب الإضافة المختلفة على مقاومة الضغط، المتانة، قابلية التشغيل، وسلوك الخرسانة على المدى الطويل، إن نتائج هذه التجارب هي التي ستحدد مدى صلاحية الخرسانة البلاستيكية للاستخدام في المشاريع الإنشائية، وتفتح الباب أمام وضع مواصفات قياسية وتشجيع اعتمادها في السياسات الهندسية وبالتالي فإن الحث على أداء التجارب ليس مجرد توصية علمية، بل هو ضرورة عملية لضمان أن الاستفادة من البلاستيك في الخرسانة تتحقق بأمان وكفاءة، وتساهم في بناء مستقبل أكثر استدامة يجمع بين الأداء الهندسي والحفاظ على البيئة، ولذلك دائما ما يوصي بمثل هذا النوع من الدراسات.

المراجع

قائمة المصادر العربية:

1. أبوعودة، احمد، (2011) تكنولوجيا الخرسانة، الطبعة الاولي.
2. وزارة الإعمـــار والإسكـــان / الهيئة العامـــة للمبـــاني، الكـــود العـــراقي لمتطلبات الخرسانة المسلحة للمباني، الجمهورية العراقية (كود 1 / 1987).
3. إمام، محمود، (2010)، الخرسانة، الطبعة الاولى، مصر.
4. شهاب، حمدي، (2021)، تكنولوجيا الخرسانة، الطبعة الأولى، مصر.
5. المواصفات القياسية الأمريكية ASTM.
6. درويش، إبراهيم علي "الخرسانة موادها صناعتها وضبط جودتها وترميمها" 2000، شركة الجلال للطباعة، مصر.

قائمة المصادر الانجليزية:

1- Al Kindi, I, J, I; Devi, M, G; Al Abri, M; Al Hasan, S; Al Hatali, I, M, E;& Aravind, (2021), Sultan Qaboos University, Oman.
2- BSI. "BS 5328 Concrete Part 2", 2005.
3- Hamzeh, Alaa, (April 2018), Effects of Polyvinyl Chloride as a Partial Aggregate Replacement on Mechanical Properties and Behavior of Self Compacted Concrete, Gazimağusa, North Cyprus.
4- Loubani, Habib, (2023), Use of Polyvinyl chloride (PVC) as an aggregate for concrete, Madumita Sadagopan, Mikael Skrifvars, University of Boras, Swedish country.
5- Mohamedsalih, M, A; Radwan, A, E; Alyami, S; & Abd El Aal, A, K, (2024) the Use of Plastic Waste as Replacement of Coarse Aggregate in Concrete Industry, Najran University, Saudi Arabia.
6- Shady Omran1, Samson Sisupalan2 – Effect of replacing natural aggregate with plastic aggregate on the mechanical properties of
Arhaiem Hussain, Ahmed Meekaeil, & Ahmad Majed. (2026). Feasibility of Saline Water Utilization in Concrete Mixes: A Review. *Journal of Libyan Academy Bani Walid*, *2*(1), 208–217. https://doi.org/10.61952/jlabw.v2i1.443
Effect of Silica Fume Addition on The Mechanical Properties of Concrete. (2022). *Albahit Journal of Applied Sciences*, *3*(1), 01-05. https://albahitjas.com.ly/index.php/albahit/article/view/33
Recycling Building Demolition Waste as An Asphalt Binder Course in Road Pavements: A Case Study in Benghazi. (2020). *Albahit Journal of Applied Sciences*, *1*(1), 31-37. https://albahitjas.com.ly/index.php/albahit/article/view/7
Physical and Mechanical Properties of Expanded Polystyrene Lightweight Aggregate Concrete. (2020). *Albahit Journal of Applied Sciences*, *1*(1), 25-30. https://albahitjas.com.ly/index.php/albahit/article/view/6
Study of Seismic Isolation in Reinforced Concrete Buildings: Practical Application and Structural Behavior. (2026). *Albahit Journal of Applied Sciences*, *5*(2), 104-131. https://doi.org/10.65419/albahit.v5i2.141

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of ALBAHIT and/or the editor(s). ALBAHIT and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content