الخرسانة المصنعة من مخلفات البورسلين

م.م. ريام ضياء محمد حسن[1]، ا م.د. انسام علي هاشم[2*]،
ا.م. هدى زهير عبد الغني[3]، ا.م.د. اوراس خضير عبيس[4]

3،2،1 قسم تقنيات الهندسة المدنية ، المعهد التقني بابل ، جامعة الفرات الاوسط التقنية، بابل \ العراق
4 قسم ميكانيك القدرة، المعهد التقني بابل، جامعة الفرات الاوسط التقنية، بابل \ العراق

Concrete Made from Porcelain Waste

Assist. Lect. Riyam D. Mohammed Alkafaji [1],
Assist Prof. Dr. Ansam Ali Hashim [2*],
Assist Prof . Huda Zuhair Kubba[3],
Assist Prof. Dr. Oras Khudhayer obayes[4]

1,2,3 Department of Civil Engineering, Technical Institute of Babylon, Al-Furat Al-Awsat Technical University, Babylon / /Iraq
4 Department of Power Mechanical Engineering, Technical Institute of Babylon, Al-Furat Al-Awsat Technical University, Babylon / /Iraq
(1) riyam.hassan.iba100@atu.edu.iq, (2) ansamly2@atu.edu.iq, (3) inb.huda@atu.edu.iq, (4) Oras.obais@atu.edu.iq
*** Corresponding Author**

Abstract

This study aims to evaluate the feasibility of using porcelain tile waste as a component to replace fine aggregate in concrete mixes. This aims to achieve environmental, economic, and technical objectives in the construction sector. The study seeks to reduce waste generated from porcelain manufacturing and crushing, improve concrete properties, lower construction material costs, reduce carbon dioxide emissions from mining operations, and support the move towards sustainable construction in Iraq. Five mortar mixes were prepared by replacing natural fine aggregate with fine porcelain waste aggregate at different percentages: 0%, 7%, 14%, 21%, and 28%. The suitability of replacing natural fine aggregate with fine porcelain aggregate was verified by conducting a series of mechanical and physical tests on the mortar, such as determining workability, compressive strength, and flexural strength, in addition to calculating the amount of carbon dioxide emitted from each mix. The results showed that replacing natural fine aggregate with fine porcelain aggregate led to improved mechanical properties. Both compressive and flexural strength increased with increasing replacement percentages, while the carbon dioxide content decreased. The carbon dioxide emitted is significantly lower than in the reference mix. The study highlights the dual benefits of reducing construction costs and promoting sustainable waste management, making porcelain waste a promising material in the pursuit of green building practices—that is, sustainable construction through reducing environmental degradation and promoting the circular use of waste.

Keywords: Sustainability, Fine porcelain waste aggregate, Workability, Compressive strength, Flexural strength, Environmental assessment

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية استخدام احد انواع مخلفات البلاط وهو البورسلين كمكون كبديل للركام الناعم في الخلطات الخرسانية، وذلك لتحقيق أهداف بيئية واقتصادية وتقنية في قطاع البناء، حيث تسعى الدراسة الى تقليل النفايات الناتجة عن صناعة وتكسير البورسلين، تحسين خصائص الخرسانة، خفض تكلفة المواد الإنشائية، خفض انبعاثات ثاني اوكسيد الكاربون الناتج عن عمليات التعدين و دعم التوجه نحو البناء المستدام في العراق.تم اعداد خمس خلطات من الملاط عن طريق استبدال الركام الناعم الطبيعي بركام مخلفات البورسلين الناعم بنسب مختلفة وهي 0%، 7%، 14%، 21%، 28%. وتم التحقق من صلاحية استبدال الركام الناعم الطبيعي بركام البورسلين الناعم عن طريق اجراء مجموعة من الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية للملاط مثل تحديد قابلية التشغيل ومقاومة الضغط والانثناء ،اضافة الى حساب كمية ثنائي اوكسيد الكاربون المنبعث من كل خلطة .اظهرت النتائج ان استبدال الركام الناعم الطبيعي بركام البورسلين الناعم ادى الى تحسن الخصائص الميكانيكية حيث ازدادت كل من مقاومة الانضغاط والانثناء بزيادة نسبة الاستبدال كما قلت نسبة ثنائي اوكسيد الكاربون المنبعث بشكل كبير عن ماهي عليه في الخلطة المرجعية . تؤكد الدراسة على الفوائد المزدوجة المتمثلة في خفض تكاليف البناء وتعزيز الإدارة المستدامة للنفايات، مما يجعل نفايات البورسلين مادة واعدة في السعي نحو ممارسات البناء الأخضر، أي البناء المستدام من خلال الحد من التدهور البيئي وتعزيز الاستخدام الدائري للنفايات.

الكلمات المفتاحية: الاستدامة، ركام مخلفات البورسلين الناعم، قابلية التشغيل، مقاومة الانضغاط، مقاومة الانثناء، التقييم البيئي

1 – المقدمة

تعد الخرسانة مادة البناء الاكثر انتشارا على مستوى العالم نتيجة لقوتها ومتانتها وامكانية التحكم بخواصها الهندسية عن طريق التحكم في نوعية موادها الاولية ونسب خلطها المناسبة اضافة الى التحكم في صناعتها وصبها[1] . ونتيجة لصفاتها المتميزة فان استخدامها يتزايد باستمرار[2]. حيث لوحظ ان الاستهلاك السنوي للخرسانة يتجاوز 10 مليار طن في المجتمعات الصناعية المعاصرة ومع نمو سكان العالم من المتوقع ان يصل الاستهلاك السنوي للخرسانة الى نحو حوالي 18 مليار طن [3]. ان انتاج الخرسانة مسؤول عن مجموعة من القضايا البيئية المهمة ومنها الانبعاثات الكبيرة لثنائي اوكسيد الكاربون الناتجة من صناعة الاسمنت واستخراج الركام (الناعم والخشن على حد السواء. في ظل التحديات البيئية والاقتصادية التي تواجه قطاع البناء في العراق، تبرز الحاجة إلى حلول مبتكرة ومستدامة تساهم في تحسين جودة المنشآت وتقليل الأثر البيئي. من بين هذه الحلول، يأتي استخدام المواد المعاد تدويرها كخيار فعّال وواعد[4].

يزداد استخدام كاشي البورسلين بكثرة حاليا وتوسع انتاج البورسلين بأنواع واحجام مختلفة وذلك لما يتميز به كمؤشر على التكنولوجيا العالية بإعطائه جمالية بمستوى عالي وانخفاض في قابلية امتصاص الماء وله القابلية على مقاومة التأثيرات الكيميائية ومقاومة جيدة للانجماد [5]. كما يعتبر مادة لها القابلية على مقاومة التأثيرات الفيزيائية مثل الحرارة والرطوبة او تغير في درجات الحرارة العالية وعلى ضوء ذلك لا يحدث فيه وانكماش او انزلاق للقطع وبذلك فانه يمنع أي تسرب للمياه تحته. على ضوء هذه الخصائص التي تتميز بها هذه المادة فأنها تستخدم لتغليف الواجهات وكذلك اكساء الارضيات والجدران خصوصا لما لها من قابلية امتصاص منخفضة مما يجعلها سهلة الالتصاق والتثبيت اثناء البناء[6].

تُعد مخلفات البورسلين من النفايات الشائعة في مواقع البناء والمصانع، وغالبًا ما تُهمل أو تُرمى دون الاستفادة منها. مع ازدياد إنتاج واستهلاك البورسلين نتيجةً للتحديث والتوسع الحضري، بات التخلص غير السليم من هذه المواد مصدر قلق متزايد، مما يؤدي إلى

تدهور بيئي ومشاكل في إدارة النفايات [7]. إلا أن الدراسات الحديثة المحدودة أثبتت أن هذه المخلفات، بعد معالجتها، يمكن أن تُستخدم كمادة بديلة في الخلطات الخرسانية، مما يساهم في تحسين بعض الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة، مثل زيادة مقاومة الانضغاط وتقليل الكثافة لذا فإن إعادة استخدام مخلفات البورسلين في الخرسانة يُمكن أن يُحدث فرقًا كبيرًا في تقليل التكاليف، وتحسين الأداء، والحد من التلوث البيئي [8]، [9]، [10]، [11] ويوجد نقص ملحوظ في الدراسات المنشورة حول فعالية إعادة تدوير نفايات البورسلين المهملة التي تُلقى في المجتمعات المحلية. لذا تهدف هذه الدراسة إلى التحري عن امكانية هذا الاستخدام، وتقديم توصيات عملية لتطبيقه في مشاريع البناء المحلية، خاصة في المناطق الحضرية والصناعية.

2. المواد المستخدمة وطرق الفحص

1.2 الاسمنت

تم استخدام اسمنت بورتلاند كلسي اعتيادي (غير مقاوم للأملاح) يسمى محليا بـ (اسمنت كار وعلامته التجارية (CEM II /A-L 42.5 R). المطابق للمواصفات العراقية الخاصة بالسمنت البورتلندي م .ق. ع 1984/5 [12] .

2.2 الركام الناعم الطبيعي

تم استخدام الرمل كركام ناعم وتم تدريجه وفقا للمواصفات العراقية رقم 45 لسنة 1980 [13] وكان الرمل ضمن منطقة التدرج الثانية كما موضح في جدول (1).

جدول (1): تدرج الركام الناعم (الرمل)

رقم المنخل	المار التراكمي %	منطقة التدرج الثانية
4.75	100	100-90
2.36	93.5	100-75
1.18	73.1	90-55
0.6	58	59-35
0.3	17.5	30-8
0.15	3.6	10-0

3.2 الماء

استعمل ماء الشرب الاعتيادي لمدينة الحلة لتحضير جميع الخلطات في هذا البحث.

4.2 الملدن

ان صلابة وقوة الخرسانة والملاط الاسمنتي تتناسب بشكل عكسي مع كمية الماء المضافة للخلطة، وفي ذات الوقت لا يمكن الحصول على خلطة ذات قابلية تشغيل جيدة باستخدام نسبة ماء قليلة، لذا يفضل استخدام ملدنات تقليل الماء. تم استخدام ملدن نوع

(Glenium 54) لتحضير جميع خلطات الملاط. يصنف هذا الملدن الفائق حسب المواصفة الامريكية (ASTM C494) الى نوع (F).

5.2 ركام البورسلين الناعم

تفاصيل إدخال مخلفات البورسلين في مكونات الخرسانة

طريقة التحضير

1 - **جمع المخلفات:** تُجمع مخلفات البورسلين من مصانع البلاط أو مواقع الهدم.

2 - **الفرز والتنظيف:** تُزال الشوائب والمواد العضوية لضمان نقاء المادة.

3 - **الطحن:** تُطحن المخلفات إلى مسحوق ناعم باستخدام جهاز لوس انجلوس. واكمال التنعيم باستخدام طاحونه من الستنلس ستيل.

2. 6 تصميم الخلطات بمخلفات البورسلين

في هذه الدراسة تم اعتماد خمس خلطات للملاطات الاسمنتية وهي:

- الخلطة المرجعية الخالية من مخلفات البورسلين.
- اربع خلطات تحتوي على نسبة (7%، 14%، 21%، 28%) من ركام البورسلين الناعم كنسبة استبدال من وزن الرمل. ان نسبة الخلط المستخدمة للملاط الاسمنتى هي [اسمنت (1): رمل (3)] ونسبة الماء الى الاسمنت (W/C) مقدارها (42.0)، نسبة الملدن 1.5 % من وزن الاسمنت وكما مبينة بالجدول (2).

جدول (2): تفاصيل ونسب مكونات الملاط الاسمنتي لكل خلطة من الخلطات الخمس

رقم الخلطة	رمز الخلطة	نسبة الاستبدال %	الاسمنت (غم)	الرمل (غم)	مخلفات البورسلين (غم)	الماء (غم)	الملدن (غم)
1	CN0	0	1000	3000	0	420	15
2	CN7	7	1000	2790	210	420	15
3	CN14	14	1000	2580	420	420	15
4	CN21	21	1000	2370	630	420	15
5	CN28	28	1000	2160	840	420	15

الخلطة بالرمز (CNO) تشير الى الخلطة المرجعية الخالية من ركام مخلفات البورسلين الناعم، اما الرموز (CN28،CN21،CN14،CN7) فتشير الى الخلطات الحاوية على ركام البورسلين الناعم بنسبة (28%،21%،14%،7%) على التوالي.

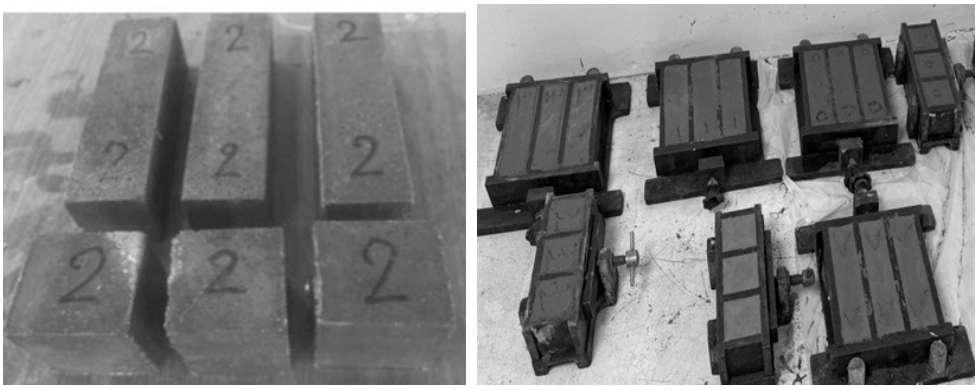
7.2 تهيئة القوالب

تم تهيئة قوالب الصب (المكعبات والمواشير) لفحص مقاومة الانضغاط ومقاومة الانثناء من خلال تنظيفها ودهنها بطبقة خفيفة من الزيت لتسهيل عملية فكها بعد التصلب كما موضح ادناه في الشكل (1).

شكل (1): قوالب فحص مقاومة الانضغاط ومقاومة الانثناء

8.2 الصب والرص

بعد اتمام عملية الخلط، تم صب نماذج المونة الاسمنتية في القوالب القياسية (مكعبات ومواشير)، بعد ذلك تم رصها باستخدام عصا الرص اليدوية، تم صب ثلاث قوالب بشكل مكعبات بأبعاد (5×5×5) سم3 وثلاث قوالب بشكل موشور بأبعاد (4×4×16) سم3 لكل خلطة من الخلطات وكما موضح في الشكل (2) لغرض إجراء فحص مقاومة الانضغاط والانثناء والكثافة وحساب انبعاثات ثنائي اوكسيد الكاربون بعمر 28 يوم.



شكل (2): ثلاثة نماذج (مكعبات وموشور) لكل خلطة من خلطات الملاط الاسمنتية

9.2 اسلوب الانضاج

تم فك القوالب بعد 24 ساعة من انتهاء عملية الصب، بعد ذلك تم غمر جميع النماذج في الماء بدرجة حرارة (24±2 درجة سيليزية) لحين وقت الفحص.

9.2 الفحوصات

1.9.2 فحص الهطول (الانسياب)

يعتبر من اهم وابسط الفحوصات ويستخدم لتحديد ومعرفة قوام الملاطات الاسمنتية الطازجة (الطرية) بتحديد مقدار ومدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص، وبالتالي يساعد على التأكد من انتظامية خلطات الملاط الاسمنتية وتجانسها وضبط جودتها قبل الصب مباشرة. تم اجراء فحص الهطول لجميع الخلطات المحضرة بعد اتمام عملية الخلط مباشرة، حيث اجري الفحص وفقا للمواصفة الامريكية ASTM C1437 .

2.9.2 فحص مقاومة الانضغاط

تم صب ثلاث مكعبات قياسية بأبعاد (5×5×5) سم3 لإتمام هذا الفحص واعتماد عمر 28 يوم لكل خلطة من خلطات الملاط الإسمنتية. لكل نسبة فُحِصَت ثلاثة مكعبات، واعتُمِد المتوسط الحسابي لتمثيل النتيجة.

3.9.2 فحص مقاومة الانثناء

تم صب ثلاث مواشير قياسية بأبعاد (4×4×16) سم3 لإتمام هذا الفحص واعتماد عمر 28 يوم لكل خلطة من خلطات الملاط الإسمنتية. لكل نسبة فُحِصَت ثلاثة مواشير، واعتُمِد المتوسط الحسابي لها لتمثيل النتيجة.

4.9.3 فحص الكثافة الظاهرية

أُجري اختبار الكثافة على نفس المكعبات التي رُغِبَ في قياس مقاومتها للضغط، وذلك بقياس وزن وحجم المكعبات بدقة وهي في حالة تشبع وجفاف. حُدِّدت الكثافة الظاهرية بقسمة وزن كل مكعب على حجمه. لكل نسبة فُحِصَت ثلاثة مكعبات، واعتُمِد المتوسط الحسابي لها لتمثيل النتيجة.

5.9.2 التقييم البيئي

لحساب تأثير الاحتباس الحراري للمخاليط التي تم تحضيرها، يُقسم مؤشر كثافة ثاني أكسيد الكربون (كجم/م^3. ميجا باسكال$^{-1}$) وهو كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من المادة الرابطة (الأسمنت) والركام الناعم الطبيعي، ركام البورسلين المعاد تدويره، الماء والملدن لكل وحدة حجم من الخليط على مقاومة الضغط المحددة للخليط بالميجا باسكال عند عمر معين (28) يومًا. تم الحصول على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من المواد المستخدمة في تكوين خلطات البورسلين المعاد تدويرها المُصاغة في هذه الدراسة من خلال مراجعة الدراسات السابقة واعتماد القيم المذكورة فيها، كما هو موضح في الجدول (3).

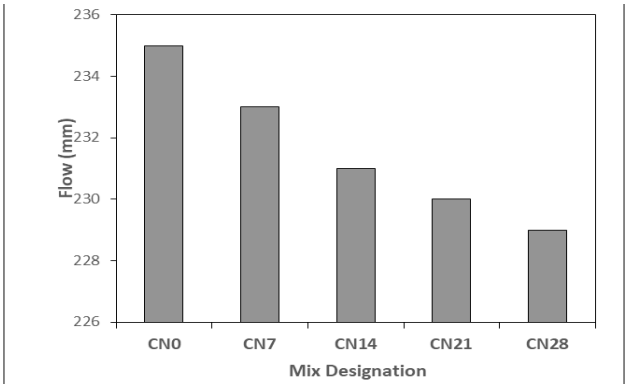
الجدول (3): إحصاءات الأثر البيئي لتصنيع مكونات ملاط البورسلين المعاد تدويره

المادة	كيلوغرام مكافئ من CO2	المصدر
أسمنت بورتلاند عادي	9.27×10−1	[14]
الركام الناعم (الرمل)	9.87×10−3	[15]
الركام الناعم المعاد تدويره	5.84×10−3	[16]
الماء	1.33×10−4	[17]
الملدن الفائق	10×10−3	[18]

3 .النتائج والمناقشة

1.3فحص الهطول

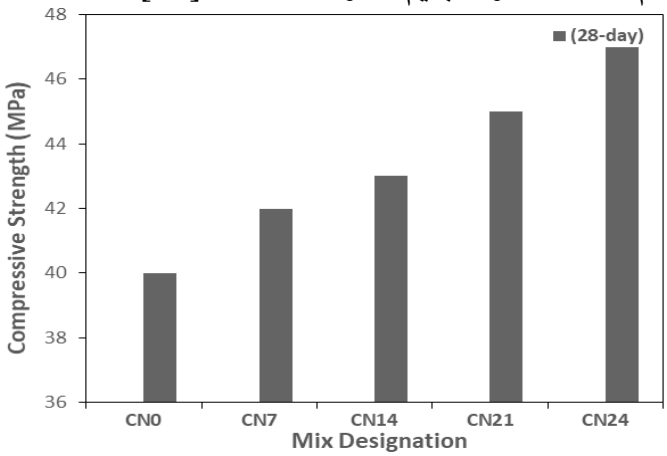
تم اجراء اختبار الهبوط لكل من الخلطة القياسية والخلطات التي تم فيها الاستبدال الجزئي للركام الناعم الطبيعي بركام البورسلين الناعم من البورسلين المعاد تدويره، كما هو موضح في الشكل (3) وفقا للمواصفة الأمريكية (7(ASTM C 143 . وذلك بعد اكمال عملية الخلط مباشرة. وقد تم تحديد قياس هبوط الخلطة المرجعية (CN0) حيث كانت (235) ملم. لاحقًا، عند بدء عملية الاستبدال، لوحظت نقصان ملحوظ وسريع في قيمة الهبوط ليصل الى (229) ملم عند نسبة استبدال 28%، مما يشير إلى أن ركام البورسلين الناعم يوثر سلبا على قابلية التشغيل ، بما يتوافق مع النتائج التي أوردها باحثون اخرون [19]. ويعود النقصان في قابلية التشغيل لخلطات الملاط بزيادة الاستبدال الجزئي للركام الناعم بركام البورسلين الناعم الى عدة اسباب منها الاشكال الزاوية لركام البورسلين الناعم وحوافه الحادة التي ادت الى حدوث احتكاك عالٍ مع بقية مكونات الخلطة، مما ادى الى انخفاض سيولة الخلطة، وهذا بدوره قلل كثيرا من هطول الخليط. اضافة الى ذلك فان الطبيعة المسامية لمسحوق ركام البورسلين وقدرة على امتصاص الماء العاليتين مقارنة بالركام الطبيعي ايضا ساهمتا بنقصان الهطول للخلطات وخاصة عند نسب الاستبدال العالية[20]، [21].



شكل (3): نتائج فحص الهطول للخلطة المرجعية وخلطات استبدال ركام البورسلين الناعم

2.3 مقاومة الانضغاط

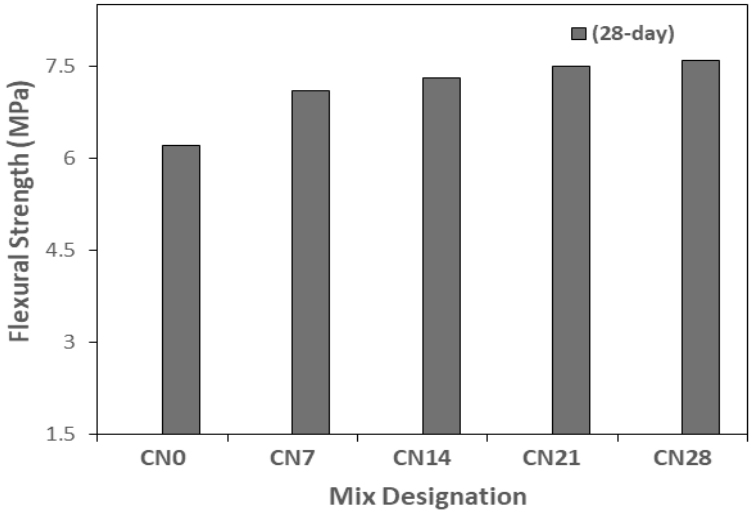
تم اجراء فحص مقاومة الانضغاط لكافة الخلطات وفقا للمواصفة البريطانية (BS1881–Part116). يوضح الشكل (4) نتائج اختبار مقاومة الانضغاط لعينات مكعبة (5 × 5 ×5) سم عند عمر 28، والتي خضعت للاختبار بمعدل تحميل (0.35) ميجا باسكال/ثانية. تم حساب كل نتيجة معروضة من متوسط ثلاث قراءات. كشفت النتائج أنه عند عمر 28 يومًا، سجلت قيم اختبار الانضغاط لعينات الملاط التي استبدل فيها الركام الطبيعي بركام البورسلين الناعم قيم مقاومة انضغاط اعلى من ماهي عليه في الخليط المرجعي وتزايدت القيمة تدريجيا بزيادة نسبة الاستبدال حيث سجل الخليط (CN28) قيمة مقاومة انضغاط تساوي (47) ميجا باسكال وهي اعلى بـ (17.5%) عما ماهي عليه في الخليط المرجعي حيث كانت قيمة مقاومة الانضغاط لها تساوي (40) ميجا باسكال. ان هذه الزيادة تدل على التأثير الايجابي لاستبدال الركام الناعم الطبيعي بركام البورسلين الناعم ويمكن تعليل سبب هذا التحسن الى فعالية دقائق البورسلين كونه مادة غير خاملة بفضل احتوائه على الالومينا والسليكا الفعالتين الفعاليتين مما يسهم في التفاعلات البوزولانية واكمال تفاعلات الإماهة. مضافا الى ذلك الصلادة العالية لبلاط البورسلين مقارنة بالركام الناعم الطبيعي الناتج من تصنيعه تحت ضغط عالي. ونتيجةً للأسباب التي تم ذكرها اظهرت خلطات الملاط التي استبدل فيها الركام الناعم الطبيعي بركام البورسلين الناعم تحسنا ملحوظا بقيم مقاومة الانضغاط[22] .



شكل (4): نتائج مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية وخلطات استبدال الرمل بمخلفات البورسلين

3.3 مقاومة الانثناء

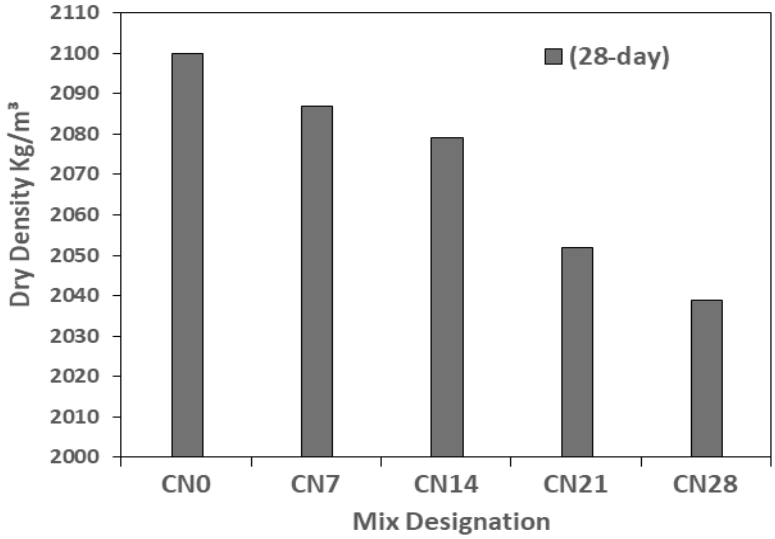
تم اجراء فحص مقاومة الانثناء بعد 28 يوم من المعالجة لعينات موشورية (4 × 4 × 16) سم مكعب، حيث تم تعريضها لمعدل تحميل قدره 1 ميجا باسكال\دقيقة اثناء الاختبار. الشكل (5) يوضح نتائج مقاومة الانثناء للخليط المرجعي والمخاليط الحاوية على ركام البورسلين الناعم كبديل جزئي للركام الناعم الطبيعي. يتضح من الشكل (5) ان مقاومة الانثناء لخلطات الملاط اتخذت مسارا مشابها لما هو عليه بالنسبة لمقاومة الانضغاط حيث ازدادت قيم مقاومة الانثناء تدريجيا بزيادة نسب استبدال الركام الناعم الطبيعي بركام البورسلين الناعم. حيث سجلت المخاليط (CN7، CN14، CN21، CN28) قيم مقاومة انثناء بلغت (7.2، 7.3، 7.5، 7.6) ميجا باسكال على التوالي وهي اعلى من ماهي عليه في الخليط المرجعي (CN0) والتي بلغت مقاومة الانثناء له (6.7) ميجا باسكال بـ (5. 14%، 7. 17%، 21%، 5.22%) على التوالي. ان هذا التحسن في مقاومة الانثناء و خاصةً عند نسبة استبدال 28% هو نتيجة للخصائص الكيميائية والفيزيائية التي يتميز بها البورسلين ومنها تركيبته الكيميائية التي يكون معظمها من السليكا والالومينا الغير متبلورة، مما يُسهّل التفاعل البو زولاني ويُعزز تكوين نواتج التفاعل الإسمنتي مثل سيليكات الكالسيوم المائية (C-S-H) والصلابة العالية التي يتميز بها، وبالتالي يُحسّن مقاومة الضغط والانثناء[23].



شكل (5): نتائج مقاومة الانثناء للخلطة المرجعية وخلطات استبدال الرمل بركام البورسلين الناعم

4.3 الكثافة الظاهرية

تم قياس الكثافة الظاهرية لكافة الخلطات التي تم اعدادها لعينات مكعبة (5 × 5 ×5) سم عند عمر 28. الشكل (6) يوضح نتائج الكثافة الظاهرية للخليط المرجعي والخلائط الحاوية على ركام البورسلين الناعم كبديل جزئي للركام الناعم الطبيعي. تتحدد الكثافة الظاهرية للملاط أو الخرسانة المتصلبة بعوامل عديدة، منها وجود فراغات هوائية محصورة أو مدمجة، وكمية وكثافة الركام، ونسبة الإسمنت والماء[24]. أظهرت النتائج انخفاضا ملحوظا في قيم الكثافة عند استبدال الركام الناعم الطبيعي جزئيا بركام البورسلين الناعم، وازداد الانخفاض بزيادة نسب الاستبدال. حيث سجل الخليط الحاوي على 28% ركام بورسلين ناعم كثافة ظاهرية مقدارها (2039) غم لكل سنتمتر مكعب وهي اقل من ماهي عليه للخليط المرجعي بـ (29 %) والتي تبلغ قيمة الكثافة الظاهرية له (2100)غم لكل سنتمتر مكعب. ويعود السبب لهذا الانخفاض الى انخفاض الكثافة النوعية والمسامية الاعلى لركام البورسلين مقارنة بالرمل العادي، مما يؤدي إلى خرسانة اقل كثافة[25] .

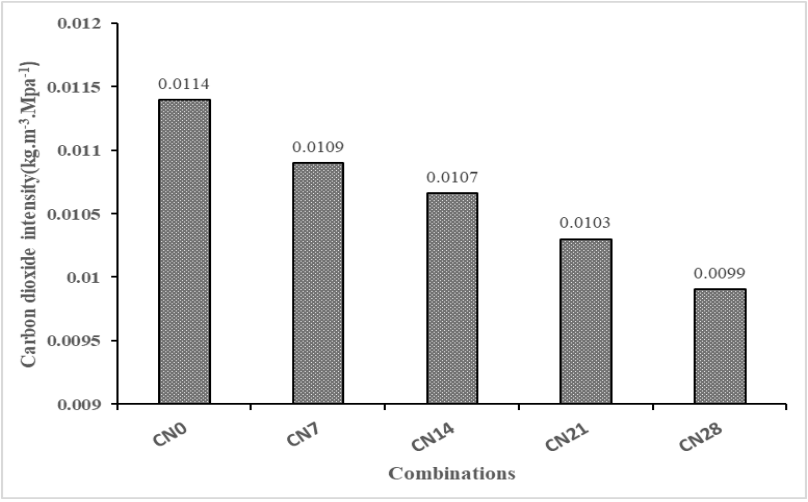


.

شكل (6): نتائج فحص الكثافة للخلطة المرجعية وخلطات استبدال الرمل بركام البورسلين الناعم

5.3 التقييم البيئي

لتقييم الأداء البيئي للتركيبات التي تم تحضيرها في هذه الدراسة، تم إجراء تقدير مبسط للكربون المتضمن (مقدر بالكيلوجرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل متر مكعب من الخرسانة) للرمل الطبيعي ومواد النفايات البديلة (ركام البورسلين الناعم). يوضح الشكل (7) كثافة ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من مخاليط الملاط الحاوية على ركام البورسلين الناعم كبديل جزئي للركام الناعم الطبيعي والخليط المرجعي. تنخفض شدة ثنائي اوكسيد الكاربون لمنبعثة لكل وحدة من مقاومة الضغط بزيادة نسب استبدال الركام الناعم الطبيعي بركام البورسلين الناعم، مقارنةً بمزيج الخرسانة المرجعي (CN0). وقد لوحظ أكبر انخفاض في كثافة ثاني أكسيد الكربون عند عمر 28 يومًا في مزيج الملاط الحاوي على 28 % وزنيًا ركام البورسلين الناعم، حيث كان أقل بنسبة 13% من مزيج الملاط المرجعي. وبالتالي، فإن ادخال ركام البورسلين المعاد تدويره في الخرسانة يقلل من العواقب البيئية الناجمة عن التخلص غير السليم، بالإضافة إلى تخفيف انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من قطاع البناء. تشير النتائج الموضحة في الشكل 7 إلى أن الاستبدال الجزئي للركام الناعم الطبيعي بركام البورسلين الناعم المعاد تدويره بنسبة استبدال 28 %، تُظهر كفاءة بيئية فائقة من حيث تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.



شكل (7): نتائج قياس شدة ثنائي اوكسيد الكاربون المنبعث للخلطة المرجعية وخلطات استبدال الرمل بمخلفات البورسلين

4. الاستنتاجات

سعت هذه الدراسة إلى استخدام مخلفات صناعية وهي مخلفات البورسلين كبديل جزئي للركام الناعم الطبيعي في الخرسانة، ليس فقط لتحسين خصائصها، بل أيضاً للحد من التلوث الناجم عن الكميات الهائلة من هذه المخلفات التي تُلقى يومياً في البيئة. ومن المزايا الإضافية لاستخدام هذه المخلفات أنها توفر مصدراً لمواد متوفرة بسهولة وبأسعار معقولة لاستخدامها في الخرسانة. ويمكن تلخيص نتائج هذا البحث بإيجاز على النحو التالي:

1) أشارت نتائج الاختبارات الميكانيكية، والتي شملت قياس مقاومة الانضغاط ، ومقاومة الانحناء للعينات باستخدام مسحوق ركام البورسلين الناعم إلى أن النسبة المثلى لتحسين الخصائص الميكانيكية هي 28%.
2) نتائج الكثافة الظاهرية الى أن استبدال الرمل بالبورسلين أدى إلى انخفاض واضح في كثافة الملاط حيث حقق الخليط الحاوي على 28% ركام بورسلين ناعم قيمة كثافة ظاهرية اقل ب 29% عن ماهي عليه في الخليط المرجعي.
3) قد يؤدي استبدال الرمل الطبيعي بنفايات البورسلين إلى تقليل البصمة الكربونية لخلطات الخرسانة بنسبة 13% عند استبدال الركام الناعم الطبيعي ب 28% من ركام البورسلين. ويُبرز هذا الانخفاض الميزتين المزدوجتين لاستخدام نفايات البناء والهدم: تقليل النفايات المُدفنة والتخفيف من الآثار البيئية المرتبطة باستخراج المواد الخام.
4) استخدام الخرسانة المصنعة من مخلفات البورسلين في العراق تحقق عدة فوائد اقتصادية وبيئية في السياق المحلي منها:
   - **الاستدامة البيئية:** العراق يعاني من تراكم نفايات البناء، واستخدام مخلفات البورسلين يساهم في تقليل هذه النفايات.
   - **خفض التكاليف:** توفر المواد محليًا يقلل من تكاليف النقل والشراء، خاصة في المناطق الحضرية مثل بغداد وبابل.

- **تحسين الأداء:** يمكن لركام البورسلين الناعم ان يحسن من الخواص الميكانيكية ويقلل الكثافة وانبعاثات ثنائي اوكسيد الكاربون بشكل ملحوظ.

التطبيقات المقترحة:

مدى ملاءمة الخرسانة بالبورسلين	نوع المشروع
ممتازة	الأرصفة والطرق المحلية
جيدة	الحواجز والحوائط الاستنادية
مناسبة	المباني السكنية منخفضة الارتفاع
فعالة	البنية التحتية
غير مفضلة (تحتاج مقاومة أعلى)	الجسور أو الأبراج العالية

5. المصادر

[1] A. A. Hashim and I. A. Najem, (2025), "Sustainable use of ground granulated blast-furnace slag as a partial substitute for cement: workability, mechanical properties, durability, and environmental impact," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, p. 12027.

[2] R. B. M. Taher, (2009), "تصنيع خرسانة خالية من الركام الناعم ودراسة إمكانية استخدامها بدلا من الاعتيادية," *Al-Mukhtar J. Sci.*, vol. 23, no. 1, pp. 49–67.

[3] A. A. Hashim, R. Anaee, M. S. Nasr, A. Shubbar, and T. S. Alahmari, (2025), "Mechanical properties, corrosion resistance and microstructural analysis of recycled aggregate concrete made with ceramic wall waste and ultrafine ceria," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 36, pp. 627–640.

[4] A. A. Hashim, R. Anaee, and M. S. Nasr, (2025), "Enhancing the sustainability, mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete using calcium-rich waste glass powder as a supplementary cementitious material: An experimental study and environmental assessment," *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 44, p. 101985.

[5] E. Sánchez, J. García-Ten, V. Sanz, and A. Moreno, (2010), "Porcelain tile: almost 30 years of steady scientific-technological evolution," *Ceram. Int.*, vol. 36, no. 3, pp. 831–845.

[6] Y. Yousefi and F. Tariku, (2022), "Hygrothermal Properties of Cladding Materials at Different Temperatures and Relative Humidities," in *International Conference on Building Energy and Environment*, Springer, pp. 613–622.

[7] K. Asante-Kyei, C. N. D. Dodoo, and A. Addae, (2025), "Resolving environmental impact of discarded ceramic artifacts on selected dumpsites in the Sekondi-Takoradi metropolis, Ghana," *Discov. Environ.*, vol. 3, no. 1, p. 129.

[8] K. A. Tariq, W. A. Adil, A. Salhi, and A. Waleed, (2026), "Experimental investigation of sustainable concrete production using ceramic waste powder as partial fine aggregate replacement," *Sci. Rep.*

[9] R. J. Daniel and S. P. Sangeetha, (2021), "Experimental study on concrete using waste ceramic as partial replacement of aggregate," *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 6603–6608.

[10] M. J. Taher, E. H. Abed, and M. S. Hashim, (2023), "Using ceramic waste tile powder as a sustainable and eco-friendly partial cement replacement in concrete production," *Mater. Today Proc.*

[11] K. Rashid, A. Razzaq, M. Ahmad, T. Rashid, and S. Tariq, (2017), "Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate," *Constr. Build. Mater.*, vol. 154, pp. 829–840.

[12] A. H. Allawi, A. I. AL-Hadithi, and A. S. Mohmoud, (2021), "Effects of waste plastic pet fibers on the fresh and hardened of normal concrete," *Iraqi J. Civ. Eng.*, vol. 15, no. 1, pp. 47–58.

[13] T. F. Abbas and Z. K. Abbas, (2023), "Manufacture of load bearing concrete masonry units using waste demolishing material," *J. Eng.*, vol. 29, no. 04, pp. 105–118.

[14] R. Kurda, J. D. Silvestre, and J. de Brito, (2018), "Toxicity and environmental and economic performance of fly ash and recycled concrete aggregates use in concrete: A review," *Heliyon*, vol. 4, no. 4.

[15] E. A. Khalil and M. N. AbouZeid, (2023), "Computation of the environmental performance of ready-mix concrete for reducing CO2 emissions: A case study in Egypt," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 144–148.

[16] B. Lei, L. Yu, Z. Chen, W. Yang, C. Deng, and Z. Tang, (2022), "Carbon emission evaluation of recycled fine aggregate concrete based on life cycle assessment," *Sustainability*, vol. 14, no. 21, p. 14448.

[17] A. A. Hashim, A. I. Al-Mosawi, and S. A. Abdulsada, (2025), "Investigating the mechanical properties, durability, microstructure, and embodied CO2 emissions of silica fume-infused sustainable concrete," *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, vol. 22, no. 4, p. e15136.

[18] D. J. M. Flower and J. G. Sanjayan, (2007), "Green house gas emissions due to concrete manufacture," *Int. J. life cycle Assess.*, vol. 12, pp. 282–288.

[19] M. T. Hasan, A. A. Abdul-Hamead, and F. M. Othman, (2025), "Sustainable Concrete Using Porcelain and Clay Brick Waste as Partial Sand Replacement: Evaluation of Mechanical and Durability Properties," *Constr. Mater.*, vol. 5, no. 4, p. 78.

[20] M. Roig-Flores *et al.*, (2023), "Utilisation of ceramic stoneware tile waste as recycled aggregate in concrete," *Buildings*, vol. 13, no. 8, p. 1968.

[21] G. J. Khoshnaw *et al.*, (2024), "Experimental investigation on pervious recycled aggregate concrete made of waste porcelain," *Civ. Eng. J.*, vol. 10, no. 09.

[22] Z. Keshavarz and D. Mostofinejad, (2019), "Porcelain and red ceramic wastes used as replacements for coarse aggregate in concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 195, pp. 218–230.

[23] W. E. Elemam, I. S. Agwa, and A. M. Tahwia, (2023), "Reusing ceramic waste as a fine aggregate and supplemental cementitious material in the manufacture of sustainable concrete," *Buildings*, vol. 13, no. 11, p. 2726.

[24] M. S. Nasr, I. M. Ali, A. M. Hussein, A. A. Shubbar, Q. T. Kareem, and A. T. AbdulAmeer, (2020), "Utilization of locally produced waste in the production of sustainable mortar," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 13, p. e00464.

[25] Z. N. Jawad and M. A. Hassan, (2023), "Mechanical evaluation of sustainable concrete production from porcelain waste," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, p. 12042.