مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٧) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (7) 2026

تأثير نسبة استبدال الحصويات المدورة على الخصائص الفيزيائية للخلطات البيتونية

أ. د. هيثم حسين شاهين*

د. قينان عبد الكريم ابراهيم**

م. أريج غسان خضور***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/١٢/١١ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٦/٤/١٦)

□ ملخّص □

في ظل الاستنزاف المخيف للموارد الطبيعية على كوكب الأرض برزت الحاجة إلى العديد من التقنيات التي يتم من خلالها إما تقليل استخدام هذه الموارد أو إعادة استخدامها أو تدويرها إلى مواد أخرى صالحة للاستخدام سواء في نفس المجال الذي أخذت منه أو في مجال آخر. حالياً تسعى معظم البلدان المتقدمة في مجال إدارة أنقاض البناء والهدم إلى تقليل كمياتها أولاً ومن ثم إمكانية إعادة الاستخدام والتدوير وما بقي منها إلى المطامر الصحية كحل نهائي.

يبدو الوضع ذا أهمية كبيرة في سوريا باعتبارها تعرضت لحرب مدمرة نتج عنها كميات هائلة من أنقاض البناء والهدم حيث وجب التفكير بالحلول السليمة لإدارة الأنقاض وإعادة استخدامها وتدويرها لعملية إعادة الإعمار تم من خلال هذا البحث دراسة الخصائص الفيزيائية للحصويات المعاد تدويرها المأخوذة من الأنقاض وهي: الوزن الحجمي، المقاومة على الضغط البسيط، نسبة التشرب حيث تم تحضير النماذج المخبرية من البيتون مع وبدون الحصويات المعاد تدويرها بنسب استبدال مختلفة:

(١٥-٣٠-٤٥-٧٥-١٠٠)% ، وتم تصميم خلطة بيتونية بالاعتماد على نتائج التحليل الحبي للحصويات والخصائص المقاسة لها وفق البرتوكولات المعتمدة في الكود السوري. وبناءاً على نتائج البحث: فقد أعطت الحصويات المعاد تدويرها قيماً مقبولة للمقاومات في البيتون عند استخدامها بنسب مختلفة من أجل اسمنت عيار ($400\ Kg/m^3$) وهذا يفسح مجالاً للتفكير باستخدامها في بيتون المنشآت المدنية وخاصة عند نسبة الاستبدال المقترحة (١٥-٣٠%).

الكلمات المفتاحية: الحصويات المعاد تدويرها، مخلفات البناء والهدم، المقاومة على الضغط البسيط، معدل التشرب.

* أستاذ – قسم الهندسة البيئية–كلية الهندسة المدنية–جامعة اللاذقية–اللاذقية–سورية.

** مدرس – قسم هندسة النظم البيئية– المعهد العالي لبحوث البيئة –جامعة اللاذقية–اللاذقية–سورية.

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) قسم هندسة النظم البيئية–المعهد العالي لبحوث البيئة–جامعة اللاذقية–اللاذقية–سورية.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٧) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (7) 2026

The Effect of the Replacement Ratio of Recycled Aggregates on the Physical Properties of Concrete Mixtures

Prof. Dr. Eng. Haitham Shahin*
Dr. Eng. Kinan Ibrahim **
Eng. Areej Khaddour***

(Received 11/12/2025. Accepted 16/4/2026)

□ ABSTRACT □

In light of the alarming depletion of natural resources on planet Earth, the need has arisen for many technologies through which the use of these resources is either reduced, or they are reused or recycled into other usable materials, whether in the same field from which they were taken or in another field. Currently, most developed countries in the field of managing construction and demolition debris seek to reduce its quantities first, and then the possibility of reuse and recycling, and what remains of it to sanitary landfills as a final solution. Reuse differs from recycling, as reuse does not require any processing to transform it into a useful product. All usable items are first inspected, then used in their designated place without any processing or energy. For example, whole bricks, after being inspected outside the rubble, are then used directly in building partition walls. This situation seems of paramount importance in Syria, as it has been subjected to a devastating war, resulting in enormous quantities of construction and demolition rubble. It is therefore necessary to consider sound solutions for managing, reusing, and recycling rubble for the reconstruction process. This research studied the physical properties of recycled aggregates taken from rubble, namely bulk density, simple compressive strength, and absorption rate. Laboratory samples of concrete were prepared with and without recycled aggregates (at different replacement percentages: 15%, 30%, 45%, 75%, and 100%). A concrete mix was designed based on the results of the particle size analysis of the aggregates and their measured properties, according to the protocols adopted in the Syrian code. Based on the research results, recycled aggregates gave acceptable values for resistance in concrete when used in different proportions for 400 grade cement. This opens the door to considering their use in concrete for civil structures, especially at a replacement rate of (15-20) %.

Keywords: Recycled aggregates, Construction and Demolition waste, compressive strength, absorption rate.

* Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Latakia University, Latakia, Syria.
**Lecturer, Department of Environmental Systems Engineering, Higher Institute for Environmental Research, Latakia University, Latakia, Syria.
***Master's Student, Department of Environmental Systems Engineering, Higher Institute for Environmental Research, Latakia University, Latakia, Syria.

1- مقدمة:

في ظل التوسع العمراني المتسارع وازدياد مشاريع الهدم والبناء أصبحت أنقاض البناء والهدم من أبرز مصادر النفايات الصلبة التي تشكل عبئاً بيئياً واقتصادياً متنامياً، وتتمثل هذه الأنقاض في مخلفات الخرسانة والطوب والأسفلت والأخشاب والمعادن وغيرها من المواد الناتجة عن أنشطة التشييد أو الترميم أو الإزالة مع محدودية مواقع الطمر الصحي وما يرافقها من آثار سلبية على التربة والمياه والهواء برزت إعادة التدوير أنقاض البناء كخيار استراتيجي لتحقيق مبادئ التنمية المستدامة (شاهين، ٢٠٢٥).

تتضمن مخلفات البناء الهدم المواد النظيفة القابلة للتدوير: كالبيتون المسلح المكسر بدون حديد تسليح حجارة صخور اسفلت الإكساء المسترجع والرمل وتختلف هذه المخلفات من موقع بناء إلى آخر (بنود وآخرون، ٢٠١٨).

تأتي أهمية هذا البحث في تسليط الضوء على أبرز التجارب القانونية والتنظيمية التي اعتمدتها دول العالم في إدارة نفايات أنقاض البناء والهدم وبالتالي التوصل لحلول لإدارة الكميات الكبيرة للأنقاض المنتشرة على كامل مساحة البلد ومعالجة العشوائيات وتحسين الصحة العامة وجودة الحياة للسكان (UNEP,2016، Utilization Annual Report Zhang, H., et al. 2023).

تعتمد الطرق العالمية لزيادة الالتزام بإدارة أنقاض البناء فرض ضرائب على الطمر وتقديم حوافز مالية للمشاريع التي تستخدم مواد معاد تدويرها (Muller, A., & Winkler, J. 2020).

تشمل التحديات: ضعف التنفيذ نقص الموارد البشرية والفنية وعدم وضوح الصلاحيات بين الجهات المختصة مما يعوق فاعلية القوانين رغم وجودها في معظم الدول (UNEP,2016).

تسهم القوانين المنظمة لإدارة أنقاض البناء في تقليل استنزاف الموارد الطبيعية وخفض كميات النفايات المرسلة إلى المكبات وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية المرتبطة باستخراج وتصنيع المواد الأولية وعليه تحظى إعادة التدوير باهتمام متزايد من الباحثين وصناع القرار نظراً لدورها الفعال في دعم الاقتصاد الدائري وتحسين كفاءة استخدام الموارد وتعزيز الاستدامة البيئية ((2022) .Ali, M., & Khan, A).

يتضمن الإطار الأوروبي للتعامل مع الأنقاض إلزام الدول الأعضاء بإعادة تدوير ما يزيد عن ٧٠% من نفايات البناء والهدم، وقد اعتمدت بعض الدول الأوروبية تشريعات وطنية مثل قانون KRWG في ألمانيا لتعزيز الاقتصاد الدائري (European Commission,2020). اعتمدت اليابان قانون إعادة تدوير مواد البناء في عام ٢٠٠٠ والذي يفرض على مشاريع البناء الكبيرة فرز وإعادة تدوير مواد البناء مثل الخرسانة والخشب والمعادن كما تعتمد اليابان على نظام مراقبة الكتروني لتتبع النفايات من المصدر إلى المعالجة (Japanese Ministry of Environment,2019). تغيب في معظم الدول النامية التشريعات الملزمة لإدارة أنقاض البناء لكن بعض المبادرات ظهرت مثل برنامج وزارة البيئة في **مصر** وتجارب محلية في الهند والمغرب مدعومة بمنظمات مثل البنك الدولي لتطوير منظومات التدوير (World Bank,2022).

في الولايات المتحدة الأمريكية يتم تدوير (١٤٠) مليون طن من البيتون سنوياً، وبالتالي، وهذا ما يحقق توفيراً يصل إلى (٦٠%) من خلال استخدام حصويات البيتون المعاد تدويرها بدلاً من الحصويات الطبيعية في مشاريع البناء.

أثبتت معظم الدراسات أنه يمكن إعادة تدوير من (**٩٠-٨٠%**) من مخلفات البناء والهدم (بنود والصالح ،٢٠١٨).

وتعد الخطوة الأولى للإدارة السليمة معرفة كميات المخلفات الناتجة عن المشاريع العمرانية والمدنية وأنواعها ونسبتها ومن ثم التخطيط لإدارتها بطريقة فعالة.

تشكل نفايات البناء والهدم ١٠-٣٠% من إجمالي النفايات الصلبة المتولدة في أي مجتمع (Ram & Kalidindi,2017).

2- أهمية البحث وأهدافه:

يسهم البحث في حل مشكلة الكميات الكبيرة للأنقاض المنتشرة على كامل مساحة البلد، ويوفر بدائل جديدة في مواد الخلطات البيتونية من المواد المدورة، وبالتالي تخفيض الكلف والموارد المالية على المدى الطويل. ومن الناحية البيئية يحمي الموارد الطبيعية كالصخور والمقالع من الاستنزاف الجائر.

وبالتالي فإن الهدف الأساسي لهذا البحث هو دراسة الخصائص الفيزيائية للحصويات المعاد تدويرها المأخوذة من الأنقاض / مدينة طرطوس وفق البرتوكولات المعتمدة في الكود السوري ليتم بناءاً على النتائج التوصل إلى تصنيف أو معايير للأنقاض وبالتالي تحديد مجالات استخدامها في الأعمال المدنية وفق نسب الاستبدال المقترحة.

3- طرائق البحث ومواده:

3-1- بروتوكول التجارب:

أولاً: تمت في البداية تمت زيارة الأحياء المدمرة والمشاريع قيد الإنشاء والاطلاع عليها، ثم تم احضار مخلفات البناء ضمن أكياس من عدة أحياء من المحافظات إلى مخبر مواد البناء – نقابة مهندسين طرطوس (الأنقاض بيتونية فقط).

ثم تم فرز الأنقاض البيتونية بطريقة يدوية وإزالة الشوائب والحديد ثم تم تكسيرها يدوياً باستخدام المطرقة إلى عينات بقطر أعظمي لا يتجاوز ٢٥ مم حسب الكود العربي السوري ثم نخلها وغسلها وتجفيفها بالفرن، ويوضح الشكل الأنقاض البيتونية بعد تكسيرها.



الشكل (١) الأنقاض البيتونية بعد تكسيرها باستخدام المطرقة

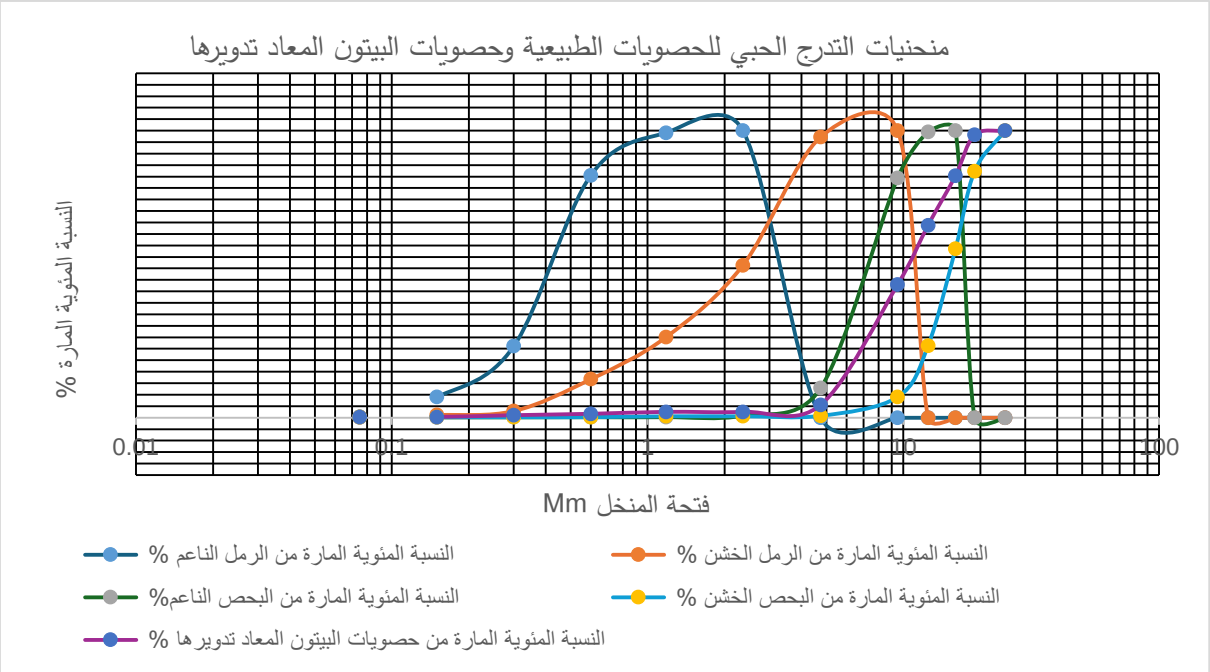
ثانياً: تم توصيف الحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها قبل صب العينات عن طريق إجراء مجموعة من التجارب لأجل معرفة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المواد ومنها: التحليل الحبي ومعامل

النعومة وقياس الوزن النوعي والحجمي والمكافئ الرملي وتجربة معامل الاهتراء (لوس انجلس)، ويوضح الجدول نتائج تجربة التحليل الحبي:

الجدول (١) نتائج التحليل الحبي لكافة الحصويات الطبيعية والمعاد تدويرها

فتحة المنخل Mm	النسبة المئوية المارة من الرمل الناعم %	النسبة المئوية المارة من الرمل الخشن %	النسبة المئوية المارة من البحص الناعم %	النسبة المئوية المارة من البحص الخشن %	النسبة المئوية المارة من حصويات البيتون المعاد تدويرها %
25	–	–	–	100	100
19	–	–	–	85,83	98,52
16	–	–	100	58,83	84,30
12,5	–	–	99,59	25,08	67,03
9,5	–	100	83,52	7,20	46,33
4,75	–	97,73	10,31	0,66	4,40
2,36	100	53,09	0,74	0,51	2,01
1,18	99,20	28,03	0,2	0,51	1,98
0,6	84,42	13,41	0,19	0,20	1,30
0,3	24,94	2,33	0,14	0,20	0,82
0,15	7,25	0,92	0,12	0,20	0,20
0,075	0,25	0,22	0,05	0,20	0,20
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ثم تم رسم منحني التدرج الحبي للحصويات المعاد تدويرها والحصويات الطبيعية



الشكل (٢) منحنيات التدرج الحبي لخليط البحص والحصويات المعاد تدويرها

ثالثاً: لتصميم الخلطة تم صب عينات مكعبية بأبعاد (١٠×١٠×١٠) سم، وبنسب استبدال مختلفة للحصويات المعاد تدويرها من أجل دراسة تأثير استخدام الحصويات المعاد تدويرها من محتوى الركام المحلي من الخرسانة المتصلبة مسبقاً على إنتاج خرسانة جديدة من حيث: المقاومة على الضغط البسيط والهبوط وقابلية التشغيل والتشرب، ليتم تصنيفها بعد مقارنة النتائج مع تجارب محلية وعالمية.



الشكل (٣) شكل العينات البيتونية

3-2- تحضير النماذج المخبرية من البيتون مع وبدون الحصويات المعاد تدويرها:

لتحضير النماذج المخبرية من البيتون، مع وبدون الحصويات المعاد تدويرها، تم تصميم خلطة بيتونية بالاعتماد على نتائج التحليل الحبي للحصويات والخصائص المقاسة لها.

تم اختيار ستة أنواع من الخرسانة وفقاً المبادئ التالية:

- تم أخذ نفس المحتوى من الاسمنت لجميع الخلطات ($400\ Kg/m^3$)
- تم أخذ التدرج الحبي اعتماداً على نتائج تجربة التحليل الحبي.
- تم أخذ نفس حجم الحصويات الأعظمي.

- نوعية وكمية الركام الناعم نفسه إذ يوصى بعدم استخدام الحصويات الناعمة المدورة في تصميم الخلطات بسبب قدرتها العالية على امتصاص الماء فهي تتمع بصفة الامتصاص العالية، ولذلك، يجب أن تكون الحصويات الناعمة حصراً من مصادر طبيعية غير مدورة حيث تم اعتماد (٢٦١,٣٣) كغ من مصدر طبيعي (وزنها الطبيعي لم يجر عليها أي تعديل)
- وبالتالي، كمية ونوعية الركام الخشن (البحص) هي المتفاوتة، وهذا محقق كون منحني التدرج الحبي لحصويات البيتون المعاد تدويرها وقع بين منحني البحص الخشن والناعم



الشكل (٤) العينات البيتونية المحتوية على الركام المعاد تدويره

بعد تصميم الخلطة المرجعية المحتوية على الركام الطبيعي (NAC) تم استبدال الركام الطبيعي (NA) بالركام المعاد تدويره من المخلفات الخرسانية (RA) لإنتاج خرسانة جديدة (RAC) بنسب استبدال مختلفة هي:

(RC−15,RC−30,RC−45,RC−75,RC−100) من الركام المعاد تدويره (RA) كبديل عن الركام الطبيعي (NA).

(NAC يشير الرمز إلى الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصويات طبيعية، اما الرمز RAC−30 فيشير إلى الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصويات بيتونية معاد تصنيعها بنسبة استبدال ٣٠ % من الحصويات الطبيعية وهكذا).

الخلطة الأولى: تتكون من ١٠٠% حصويات طبيعية، و٠% حصويات معاد تدويرها وبالتالي هي الخلطة المرجعية وتم إطلاق الاسم (NC) عليها.



الشكل (٥) الخلطة الأولى

وهكذا لبقية نسب الاستبدال.

٣-٣ التجهيزات والمواد المستعملة:

▪ **الاسمنت:** يتم تصنيع الأسمنت من الحجر الكلسي والغضار، وهي مواد تحتوي على أكاسيد الكالسيوم، والألمنيوم والحديد. إن أكثر أشكال الأسمنت العروفة هي الأسمنت البورتلاندي، حيث يشكل من ٥-٢٠% من الحجم الكلي للخرسانة. وقد تم استخدام الصنف الأول من الاسمنت البورتلاندي العادي المنتج محلياً في معمل الاسمنت في طرطوس ذي الصنف ٣٢,٥ ميغا باسكال.

▪ **الرمل:** تم استخدام الرمل القرواني مصدرة مدينة القريتين في محافظة حمص، في جميع الخلطات البيتونية المستخدمة في هذا البحث. وكانت أهم الخواص الفيزيائية له: التدرج الحبي mm (5-0)، والمكافئ الرملي ٨٣%، ومعامل النعومة ٣,٠٥.

▪ **الحصويات** : تم استخدام حصويات طبيعية مصدرها كسارات مدينة حسياء في مدينة حمص، والحصويات المدورة الناتجة عن اعادة تدوير البيتون، حيث تم في هذا البحث اعتماد حصويات بيتونية مختارة هي عبارة عن أنقاض بيتونية فقط، تم الحصول عليها من عدد الأحياء المهدمة في محافظة طرطوس، و تم إحضارها إلى مخبر مواد البناء في نقابة مهندسي طرطوس، وتكسيرها يدوياً باستخدام المطرقة وكان المقاس الاعتباري للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها يساوي ٢٥ مم والتوزيع الحجمي للحبيبات مطابق للشروط و المواصفات وفق الكود العربي السوري والمواد الغريبة / الشوائب والمعادن زجاج بيتومين مواد ناعمة فكانت أصغر من ١% حجماً.

4- النتائج والمناقشة:

4-1- الخواص الفيزيائية:

تختلف الخواص الفيزيائية للحصويات الطبيعية عن الخواص الفيزيائية للحصويات المعاد تدويرها فالوزن الحجمي لحصويات البيتون المعاد تدويرها أقل من الوزن الحجمي للحصويات الطبيعية.

نسبة امتصاص الحصويات البيتون المعاد تدويرها أكبر من نسبة الامتصاص للحصويات الطبيعية ويرجع ذلك إلى المونة الاسمنتية العالقة (الملاط الأسمنتي) على سطح حصويات البيتون المعاد تدويرها، حيث إن مسامية المونة سمحت للمياه باختراق المسام، وبالتالي، زيادة كمية المياه الممتصة وتقليل الوزن الحجمي لها (مازن القطان وآخرون،٢٠١١).

٤-٢-الوزن الحجمي للبيتون:

الوزن الحجمي أو الكثافة الظاهرية لمواد البناء يُعتبر من أهم الخصائص الفيزيائية التي تحدد مدى ملاءمة المادة للاستخدام في الإنشاءات.

يعتمد هذا المقياس على قياس الكثافة لتحديد قدرة المواد على تحمل الأحمال، وتحديد الكميات اللازمة لتنفيذ المشاريع الإنشائية.

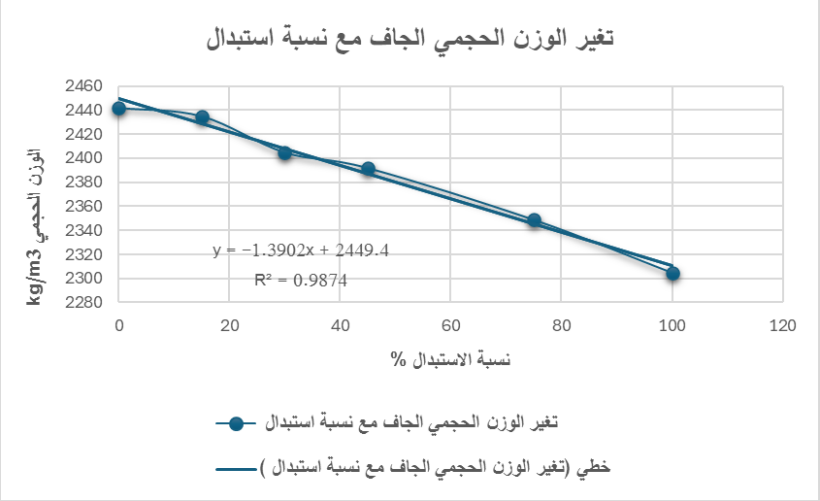
يوضح الجدول (٢) قيم الأوزان الحجمية في الحالة الجافة عند عمر ٢٨ يوماً للعينات المعتمدة في هذا البحث.

الجدول (٢) قيم الأوزان الحجمية لعينات البيتون وفق نب الاستبدال المقترحة في الحالة الجافة عند عمر ٢٨ يوماً.

نسبة الاستبدال %	0	15	30	45	75	100
الوزن الحجمي الجاف على عمر٢٨ يوماً ومن أجل أسمنت عيار 400 Kg/ m^3	2442	2435	2405	2392	2349	2305

يُلاحظ انخفاض قيم الوزن الحجمي مع تزايد نسبة استبدال الحصويات الطبيعية بحصويات البيتون المعاد تدويرها، والسبب يعود إلى المونة الإسمنتية العالقة على سطحها (المحسن ،٢٠١٤، القطان وآخرون،٢٠١١).

يبين الشكل (٥) العلاقة بين نسبة الاستبدال والوزن الحجمي الجاف عند عمر ٢٨ يوماً، ويوضح انخفاض الوزن الحجمي الجاف مع تزايد نسبة الاستبدال بحصويات البيتون المعاد تدويرها، حيث انخفض الوزن الحجمي الجاف للبيتون بمقدار يعادل (٥,٥%) عن البيتون الطبيعي عند نسبة استبدال للحصويات المدورة ١٠٠%. ويعود ذلك إلى أن الوزن الحجمي لبيتون المبنى المهدم أقل من الوزن الحجمي لبيتون الحصويات الطبيعية، كما أنه أكثر مسامية مما زاد من نسبة التشرب أيضاً. وهذه النتيجة تتوافق مع (الزحيلي، مقبل ٢٠١٤، والقطان، قاسم، محمود ٢٠١١).



الشكل (٦) العلاقة بين نسبة الاستبدال والوزن الحجمي الجاف عند عمر ٢٨ يوماً.

٤-٣-المقاومة على الضغط البسيط:

يوضح الجدول قيم المقاومات على الضغط للعينات المكعبية على عمر ٧ و٢٨ يوماً من أجل اسمنت عيار

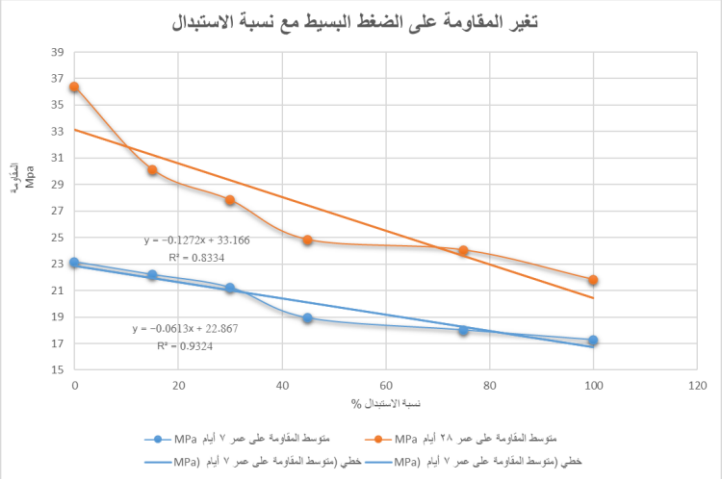
400 Kg/m^3 للبيتون ذي الحصويات المعاد تدويرها بالنسب% (١٠٠-٧٥-٤٥-٣٠-١٥) على التوالي مقارنة مع البيتون ذي الحصويات الطبيعية.

الجدول (٣) قيم المقاومة على الضغط البسيط لعينات البيتون على عمر ٧أيام و٢٨ يوم

نسبة الاستبدال %	متوسط المقاومة على عمر ٧ أيام MPa	متوسط المقاومة على عمر ٢٨ أيام Mpa	نسبة المستبدل / الطبيعي على عمر ٧ أيام %	نسبة المستبدل / الطبيعي على عمر ٢٨ أيام %	نسبة المقاومة عند ٧ أيام على المقاومة عند ٢٨ يوم
0	23,17	36,43	1,00	1,00	1,50
15	22,22	30,17	0,95	0,82	1,35
30	21,25	27,86	0,91	0,76	1,31
45	18,96	24,87	0,81	0,68	1,31
75	18,05	24,09	0,77	0,66	1,33
100	17,32	21,86	0,74	0,60	1,26

يُلاحظ انخفاض قيم المقاومة مع ازياد نسبة الاستبدال.

يوضح الشكل (7) العلاقة بين نسبة الاستبدال والمقاومة على الضغط البسيط عند عمر ٢٨ يوماً.



الشكل (7) العلاقة بين نسبة الاستبدال والمقاومة على الضغط البسيط عند عمر ٢٨ يوما

نلاحظ من النتائج أن الاستبدال الكلي للحصويات الطبيعية حافظ على مقاومة بيتون قريبة جداً من مقاومة البيتون العادي، حيث إن المقاومة بقيت في حدود ٢٠ ميغا باسكال. تُعد هذه النتيجة على درجة عالية من الأهمية وتفتح المجال أمام عمليات استبدال بشكل واسع، تجدر الإشارة إلى الانتباه إلى عدم تبدل الخصائص الأخرى بشكل فائق الأهمية، وهذا يتوافق مع (Zhang, H., et al. 2023– Muller, A., & Winkler, J. 2020).

من خلال التجارب والتحاليل المكررة على الخلطات البيتونية بنسب الاستبدال المقترحة تبين أنه عند نسبة استبدال (٣٠–١٥) % لم تتأثر الخواص الفيزيائية للخلطة وبسبب بعض الظروف التقنية وجودة الخلطات نرتأى اعتماد نسبة الاستبدال ١٨% وهذا ما يعطي أمان للاستخدام في الأبنية المدنية غير العالية ويتماشى مع التشريعات والقوانين في بلدان الدول النامية وهذا يتوافق مع معظم الدراسات المرجعية العالمية التي اقترحت نسبة استبدال تتراوح من (٥٠–٢٥) %.

أظهرت معظم الدراسات أن استخدام الركام المعاد تدويره بنسبة ٢٥–٥٠% يمكن أن يعطي نتائج مقبولة في الأبنية منخفضة الارتفاع (اللحام، ليلى ٢٠١٢؛ الزحيلي، مقبل ٢٠١٤؛ غالب، القادري، الأهدل ٢٠٢٥).

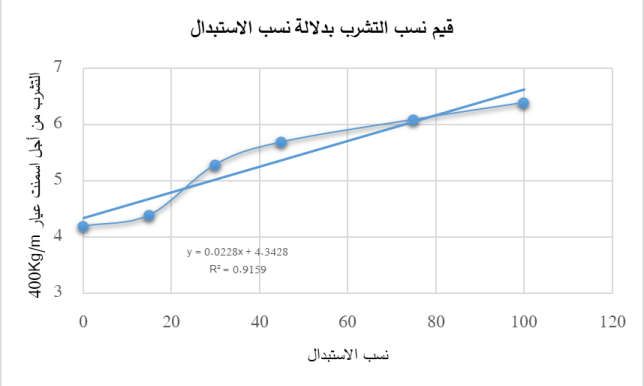
٤–٤–نسبة التشرب:

يعد معدل التشرب مؤشراً ممتازاً على سرعة تغلغل الماء إلى داخل الخرسانة وهو عامل حاسم في تقييم مقاومتها ومتانتها، يوضح والجدول (٤) قيم نسب التشرب بدلالة نسب الاستبدال للعينات المعتمدة في هذه الدراسة

الجدول (٤) قيم نسب التشرب بدلالة نسب الاستبدال

نسبة الاستبدال %	0	15	30	45	75	100
التشرب من أجل أسمنت عيار 400 Kg/ m^3	٤,٢	٤,٤	٥,٣	٥,٧	٦,١	٦,٤

ويوضح الشكل (٨) قيم نسب التشرب بدلالة نسب الاستبدال:



الشكل (٨) قيم نسب التشرب بدلالة نسب الاستبدال

يُلاحظ الازدياد في كمية التشرب بمقدار٤٣%، بين عينات الحصويات الطبيعية والعينات التي تم فيها الاستبدال للحصويات الطبيعية بشكل كلي وذلك لنفس السبب امتصاص الحصويات المعاد تدويرها للماء يعود إلى المونة الإسمنتية العالقة على سطحها (الزحيلي، مقبل ،٢٠١٤).

لذلك يُنصح بإجراء البحوث بإضافة مواد تسمح بالتكتيم لمنع الامتصاص الكبير للمياه وبالتالي تحقيق أكبر نسبة اكتناز وأقل مسامية بحيث يصبح التشرب محدوداً (غالب، القادري، الأهدل (٢٠٢٥)).

5- الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن تسجيل الاستنتاجات التالية:

١) أعطت نسبة الاستبدال للحصويات المعاد تدويرها ١٥-٣٠%، قيماً مقبولة للمقاومات في البيتون مما يتيح تطبيق نسبة استبدال ١٨% في المنشآت المدنية غير العالية.

2) الخشونة العالية لسطح الركام المعاد تدويره تساهم في تحسين التماسك بدين الركام والمونة، لكنها تتطلب كمية ماء إضافية لتعويض امتصاصه العالي.

٣) ينخفض الوزن الحجمي الجاف مع تزايد نسبة الاستبدال بحصويات البيتون المعاد تدويرها، حيث انخفض الوزن الحجمي الجاف للبيتون ذي الحصويات المعاد تدويرها، بنسبة ١٠٠% بمقدار يعادل ٥,٥% عن البيتون الطبيعي.

4) ازدادت نسبة التشرب بمقدار٤٣% بين عينات الحصويات الطبيعية، والعينات التي تم فيها الاستبدال للحصويات الطبيعية بشكل كلي، وذلك بسبب امتصاص الحصويات المعاد تدويرها للماء نتيجة وجود الملاط الملتصق بها.

يوصى في هذا البحث:

1) أخذ كافة الاحتياطات الصحية والبيئية أثناء عمليات فرز وطحن مخلفات الأنقاض لمنع انتشار الغبار وذرات الاسمنت بهواء موقع العمل أو الأماكن القريبة منه ومنع انتشار الغازات الملوثة للهواء والبيئة المحيطة والتلوث بالضوضاء.

2) إجراء بحوث بإضافة مواد تسمح بالتكتيم لمنع الامتصاص الكبير للمياه وبالتالي تحقيق أكبر نسبة اكتناز وأقل مسامية ويصبح التشرب محدوداً.

3) دراسة الأثر البيئي لعملية تدوير مخلفات الأبنية وانسجامها مع معايير الاستدامة والعمارة الخضراء، من أجل تحقيق متطلبات الكود الأخضر للبناء (SGBC) ونظم معايير البناء الأخضر (LEED).

6- المراجع

المراجع العربية:

١. اللحام، ليلى (٢٠١٢). تقنية إعادة استخدام الخرسانة الناتجة من عملية هدم الأبنية الجامعة الافتراضية السورية، دمشق، سوريا.

٢. بنود عبد الحكيم والصالح فاطمة (٢٠١٨). نظام مقترح للإدارة البيئية لمخلفات البناء والهدم: قسم هندسة المواصلات والنقل في كلية الهندسة المدنية بجامعة حلب. مجلة جامعة الفرات، سلسلة العلوم الهندسية.

٣. د. قاسم الزحيلي، م. تماضر مقبل، "دراسة تجريبية على الخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، ٢٠١٤.

٤. شاهين ٢٠٢٥. دليل الإدارة البيئية لمخلفات الهدم والبناء. مؤسسة زايد الدولية للبيئة– دبي – الامارات العربية المتحدة.

٥. شاهين هيثم، حربا كوكب، جعفر رائد (٢٠١٩). معالجة المخلفات الصلبة. الفصل الرابع/أنقاض البناء والهدم. منشورات جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

٦. غالب، القادري، الأهدل (٢٠٢٥). إعادة تدوير مخلفات البناء لتحويل التحديات البيئية إلى فر ص هندسية واستخدامه كمواد أساسية في الخرسانة، مجلة جامعة السعيد للعلوم التطبيقية.

٧. مازن طه القطان، م. إيمان قاسم، م. حسان محمود، " استخدام مخلفات البناء في الخلطة الخرسانية"، المعهد التقني في الموصل ٢٠١١.

المراجع الأجنبية:

1. ENUP (Environmental Protection Agency) (2016) Construction and Demolition (C&D) Debris, Basic Information. File://G.\ EPA Construction.

2. RAM, V. G.؛ Kalidindi, S. N. ٢٠١٧،Estimation of construction and demolition waste using waste generation rates in Chennai, India. Waste Management & Research,35(6) 2017, 610-617.

3. German Federal Ministry for the Environment (BMUV). (2020). Recycling in Road Construction Projects.https://www.bmuv.de.

4. Ali, M., ؛ Khan, A. (2022). Recycling construction waste in Shanghai: A zero-waste pilot. Journal of Cleaner Production, 410, 137081.

5. Muller, A., ؛ Winkler, J. (2020). Recycling of Construction and Demolition Waste in Germany. Journal of Environmental Engineering.
6. Shanghai Urban Management Bureau (2022). Construction Waste Resource.
7. UNEP Pakistan (2016). Sustainable Cities Report: Case Studies from Islamabad and Lahore.
8. European Standard EN 206:2013 – Concrete – Specification, performance, production, and conformity.
9. Utilization Annual Report Zhang, H., et al. (2023). Circular construction in Shenzhen: pilot housing projects using recycled aggregates. Resources, Conservation and Recycling, 190, 106798.
10. World Bank (2022). Construction and Demolition Waste Management in East Asia: Practices and Innovations.
11. Ministry of the Environment, Japan,2019.
12. Koln Recycling GmbH 2021. Construction and Demolition Waste Management. https://www.koeln-recycling.de.
13. Japanese Ministry of Environmental Protection Department (2019), HKSAR.Waste Disposal Ordinance and Construction Waste Management.
14. European commission Standard EC 206:2019 – Concrete – Specification, performance, production, and conformity