Journal of Alasmarya University: Basic and Applied Sciences
Vol. 6, No. 5, December 2021, Special Issue for Forth Conference on Engineering Science and Technology (CEST-2021)
مجلة الجامعة الأسمرية: العلوم الأساسية والتطبيقية
المجلد 6 ،العدد 5، ديسمبر 2021، عدد خاص بالمؤتمر الرابع للعلوم الهندسية والتقنية (CEST-2021)

دراسة مدى إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة

عبدالمنعم سالم طرنبة[1]، محمد علي عبدالقادر[2]، نوري محمد الباشا[3]، محمد العربي المحروق[4،*]

[1]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا، *munem2426@gmail.com*

[2]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا، *mohamedsalem7402426@gmail.com*

[3]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا، *nelbasha@sub.edu.ly*

[4]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا، *mhmdmahroug2020@gmail.com*

الملخص

تعتبر المخلفات الخرسانية الناتجة عن الهدم ومخلفات الحروب من أهم التحديات التي تواجه البيئة والمجتمع وهي مخلفات تحتوي على ركام خشن (حصى) ومادة الإسمنت، وعناصر كيميائية تحتوي على الأكاسيد والسلكيات التي تصل نسبتها إلى 80%، وهي نسبيا تكون أكاسيد حية غير مطفأة تتفاعل بوجود الرطوبة والهواء، لأنها غير مكتملة التفاعل وتعتبر ضارة جداً بالتربة والمياه الجوفية في حال تسربها. لذلك يتضح حجم الأثر البيئي التي تمثله هذه المخلفات والذي يعتبر مصدر قلق يتطلب حلًا مستدامًا. ففي ظل الاستنزاف المخيف للموارد الطبيعية على كوكب الأرض برزت الحاجة إلى تقنية إعادة تدوير هذه المخلفات واستخدامها مجدداً ليتحقق بذلك التوازن البيئي والاستدامة من خلال تلبية متطلبات الواقع الحالي دون إهمال قدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها. تم في هذه الدراسة استخدام ركام خشن معاد تدويره (RA)، من إعادة تدوير مخلفات مباني مدمرة، وذلك لصناعة خرسانة صديقة للبيئة (RAC) بنسب استبدال مختلفة بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) كبديل عن الركام الطبيعي (NA)، وذلك للتحقق من مدى إمكانية استخدام هذا النوع من الخرسانة (RAC) بالمقارنة مع الخرسانة الطبيعية (CC). نتائج هذه الدراسة أظهرت أن استخدام (RA) يؤثر على خواص الخرسانة (RAC)، وأنه كلما زادت نسبة الاستبدال انخفضت خواص الخرسانة (RAC) مقارنة مع خواص الخرسانة العادية (CC)، ومع ذلك لم يكن الانخفاض كبير عند استخدام نسبة استبدال تراوحت بين (0–50%)، وهي نسبة تشجع على استخدام هذا النوع من الركام (RA) في إنتاج الخرسانة (RAC) ليتحقق بذلك النفع البيئي وتلبية احتياجات السكان الحاليين والحفاظ على احتياجات الأجيال القادمة.

الكلمات الدالة:
الركام المعاد تدويره.
خرسانة صديقة للبيئة.
خواص الخرسانة.
مخلفات الخرسانة.

**البريد الإلكتروني للباحث المراسل:* mhmdmahroug2020@gmail.com

1. المقدمة

كمية النفايات الخرسانية الناتجة عن الهدم ومخلفات الحروب تتزايد يوما بعد يوم في جميع أنحاء العالم وهي تعتبر من أهم التحديات التي تواجه البيئة والمجتمع، حيث تشير التقديرات إلى أن النفايات الخرسانية تبلغ حوالي 850 مليون طن سنويًا في أوروبا [1،2]. حيث أن 65% من هذه المخلفات هي عبارة عن

ISSN: 2706-9524 (Print) ISSN: 2706-9532 (Online)

ركام خشن (الحصى) [3]. كل الدراسات السابقة تشير الى أن أغلب تلك المخلفات ينتهي بها المطاف إلى مدافن النفايات بالإضافة إلى الكميات الكبيرة التي يتم إلقاؤها بطريقة غير مشروعة في مصبات الوديان والأراضي الزراعية. بالإضافة الى ذلك هذه المخلفات تحتوي أيضاً على مادة الإسمنت وعناصر كيميائية أخرى المتكونة من الأكاسيد والسلكيات مثل أكاسيد الكالسيوم والتي تصل نسبتها إلى 80% حسب نوع الإسمنت وهي نسبيا تكون أكاسيد حية غير مطفأة تتفاعل بوجود الرطوبة والهواء، لأنها غير مكتملة التفاعل وهي ضارة جداً بالتربة والمياه الجوفية في حال تسربها لأنها تغلق مسامات التربة وتفقدها خصوبتها كما تفقد المياه الجوفية مواصفاتها الصالحة للاستخدام [4]. من الملاحظ أن حجم الأثر البيئي التي تمثله هذه المخلفات والذي يعتبر مصدر قلق يتطلب حلًا مستدامًا، ففي ظل الاستنزاف المخيف للموارد الطبيعية على كوكب الأرض برزت الحاجة إلى العديد من التقنيات التي من خلالها يقلل استخدام هذه الموارد والتي من أهمها تقنية إعادة تدوير المخلفات الخرسانية للحصول على ركام يمكن استعماله مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة. لذلك فأن الموضوع يأخذ أهمية استثنائية للدول التي تعاني من الحروب والأزمات التي تنتج أطناناً من مخلفات البناء والهدم نتيجة القصف بمختلف الأسلحة وحيث أن منطقتنا العربية أخذت من الحروب حصة الأسد كان لزاماً علينا أن نفكر بالحلول السليمة لمثل هذه المشاكل ويتحقق بذلك التوازن البيئي وتلبية متطلبات الواقع الحالي وتحقيق الاستدامة للأجيال القادمة.

تم تعزيز واستخدام الركام المعاد تدويره (RA) المتحصل عليه من عملية إعادة تدوير المخلفات الخرسانية في البناء الجديد في العديد من دول العالم حيث يعتبر استخدامه في الهياكل الخرسانية طريقة واعدة للتغلب على استنفاد الموارد الطبيعية والتلوث البيئي [5]. ويحقق استخدامه تخفيض ما يقارب 15%-20% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتوفير 60٪ من الموارد الطبيعية [6 ،7]، وله انعكاساته الإيجابية على التكاليف بشتى أنواعها [8].

وعلى الرغم من أن العديد من دول العالم تشجع على استخدام تدوير المخلفات في البناء الجديد إلا أن بعض الدول النامية لم تعطي هذه القضية الاهتمام الكافي وذلك لعدم وجود إدارة خاصة بالنفايات الصناعية الصلبة حيث أن الأجهزة المحلية تقتصر على تنظيف الشوارع فقط ونقل تلك المخلفات الى مداخل المدن وعلى جوانب الطرقات.

أجريت العديد من الأبحاث والدراسات للبحث في خواص الركام المنتج من إعادة تدوير مخلفات الخرسانة (RA)، ودراسة إمكانية استخدامه كبديل عن الركام الطبيعي (NA) في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة (RAC). حيث توصل الكثير من الباحثين إلى أن الركام المعاد تدويره (RA) يختلف عن الركام الطبيعي (NA)لأسباب عديدة أهمها أن الركام (RA) له كثافة أقل بنسبة من 7%-9% من كثافة الركام (NA) [10،9]، وقدرته على امتصاص الماء أعلى من الركام (NA) بنسبة تتراوح ما بين 4%-7% [10-13]، كما أن له وزن نوعي يتراوح ما بين 2.40-2.46 وينقص بنسبة من 7.2%-9.4% عن الوزن النوعي للركام (NA) [11،14]. ومن الأسباب الأخرى لاختلاف خواص الركام المعاد تدويره (RA) عن نظيره الركام الطبيعي (NA) وجود بقايا المونة الإسمنتية القديمة الملتصقة بسطحه فجعلت منه ركام ذو قدرة عالية على الامتصاص وانخفاض في كثافته [15]. لذلك فأن استخدام المخلفات الخرسانية كبديل عن الركام الطبيعي (NA) في إنتاج خرسانة جديدة (RAC) يكون له تأثير سلبي على خواص الخرسانة المنتجة منه خاصة مع زيادة محتواه في الخلطة الخرسانية [16].

2. الهدف من الدراسة

تهدف هذه الدراسة في المساهمة للحد من مشكلة التلوث في ليبيا وأيضاً تقليل مساحات الأراضي اللازمة لطمر النفايات الخرسانية وذلك بإعادة تدوير المخلفات الخرسانية من المباني المدمرة واستخدامها كركام لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة كمدخل من مداخل الاستدامة لانعكاساتها الإيجابية على التكاليف بجميع أنواعها. كما تهدف هذه الورقة الى دراسة مدى تأثير استخدام تلك المخلفات على خواص الخرسانة المنتجة وبالتالي توفير بيانات ومعطيات قد تشجّع الحكومة مستقبلاً على تقديم التسهيلات والتجهيزات اللازمة لاستخدام الركام المنتج من تدوير المخلفات الخرسانية.

3. البرنامج العملي

تم في هذه الدراسة إعادة تدوير كمية من المخلفات الخرسانية عن طريق أخذ عينات خرسانية بأحجام مختلفة من أكثر من مبنى عشوائي مدمر ببلدية الزاوية. حيث تم نقل المخلفات إلى شركة تكسير في منطقة وادي الحي (شركة السندان الذهبي) ليتم تدويرها بواسطة استخدام آلات ميكانيكية مخصصة لهذا الغرض (الكسارات). فبعد إدخالها في الكسارة وإتمام عملية إعادة التدوير لهذه المخلفات تم أخذ نتيجة التدوير بأحجام مختلفة ذات مقاس (0.5، 1، 1.5) سم إلى المعمل لاستخدامها كركام خشن في إنتاج خرسانة جديدة ودراسة مدى تأثيرها على خواص الخرسانة المنتجة منها(RAC) كقابلية التشغيل، ومقاومتي الضغط والشد، ونسبة امتصاص الماء بالغمر.

(b) (a)

شكل1 حبيبات الركام الخشن مختلفة الأنواع (a) حبيبات الركام الطبيعي (NA)، *(b) حبيبات الركام المعاد تدويره* (RA).

1-3 المواد المستعملة في الخلطة الخرسانية

1-1-3 الإسمنت

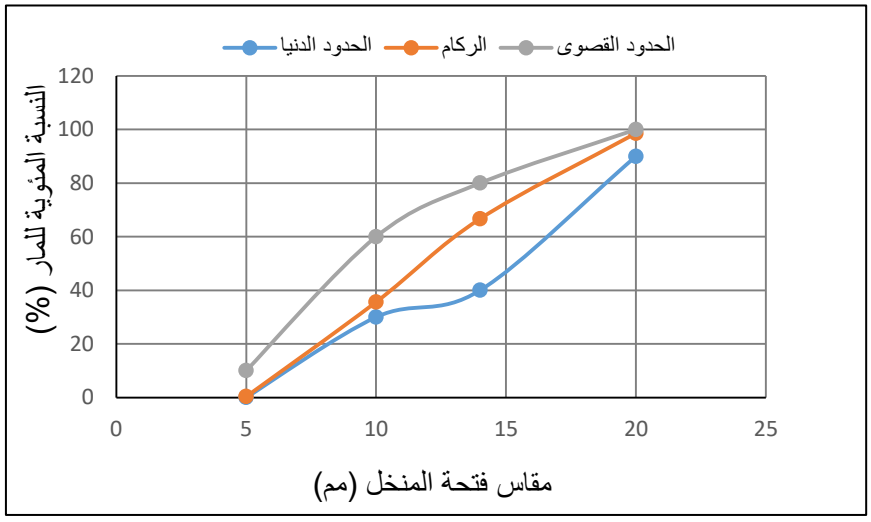
تم توريد واستخدام إسمنت بورتلاندي عادي نوع (42.5N) من إنتاج مصنع البرج زليتن (شركة الاتحاد العربي للمقاولات) في جميع الخلطات حسب المواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 2009م.

2-1-3 الركـــام:

تم استخدام الركام الخشن والناعم في الخلطة الخرسانية، حيث تم إجراء الاختبارات اللازمة للتأكد من مطابقتها للمواصفة القياسية الليبية [17]، والمواصفة الأمريكية (ACI Education Bulletin E1-07) [18].

1-2-1-3 الركام الخشن الطبيعي (NA):

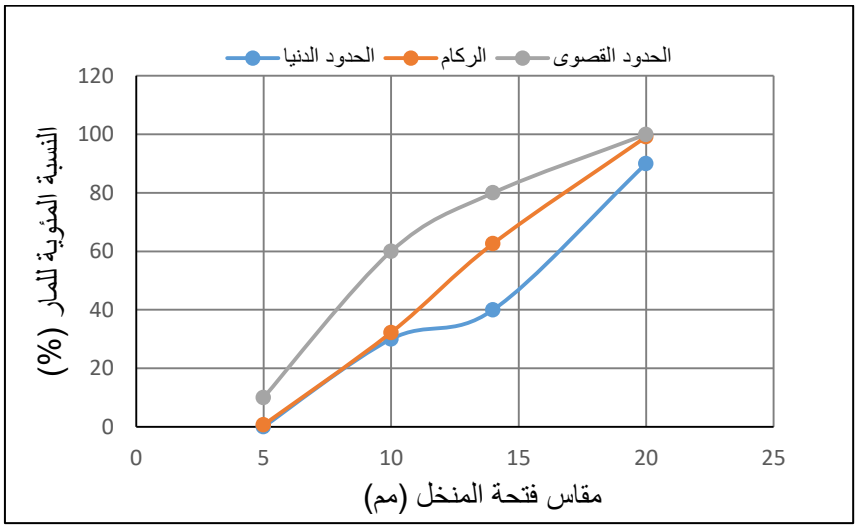
تم في هذا البحث استخدام الركام المورد من منطقة وادي الحي بمقاس اعتباري 20مم تقريبا، وهو ركام حبيباته غير منتظمة الشكل وبه حبيبات ذات حواف كروية كما هو مبين بالشكل (a/1). حيث تم استخدامه كركام متدرج طبقاً للمواصفات القياسية الليبية [17]، وذلك عن طريق خلط مقاساته المختلفة (0.5، 1، 1.5) سم بنسبة (0.25: 0.55: 0.20) على التوالي. الشكل (2) يبين منحنى التدرج الحبيبي للركام.



شكل 2 منحنى التدرج الحبيبي لعينة خليط الركام الخشن الطبيعي / وادي الحي (NA).

2-2-1-3 الركام الخشن المعاد تدويره (RA):

تم الحصول على هذا النوع من الركام عن طريق تدوير أنقاض المخلفات الخرسانية الناتجة من تكسير مباني عشوائية مدمرة مصدره الأصلي ركام وداي الحي كما موضح في الشكل (b/1)، حيث تم استخدامه بمقاس اعتباري 20 مم وذلك بخلط ثلاث أنواع مختلفة في المقاس (0.5، 1، 1.5) سم بنسبة (0.25: 0.50: 0.25) على التوالي، للحصول على خليط متدرج مشابه لتدرج الركام الخشن الطبيعي ومطابق للمواصفات القياسية الليبية [17]. الشكل (3) يبين منحنى التدرج الحبيبي للركام.



شكل 3 منحنى التدرج الحبيبي لعينة خليط الركام الخشن المعاد تدويره (RA).

3-2-1-3 الركام الناعم (FA):

تم استخدم رمل طبيعي مورد من منطقة زليتن وبتدرج مطابق للمواصفات القياسية الليبية والجدول (1) يوضح الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم والخشن.

3-1-3 الماء:

تم استخدام مياه صالحة للشرب في جميع الخلطات وبنسبة 50% من وزن الإسمنت، وبدون أي إضافات كيميائية.

جدول 1. الخواص الفيزيائية للركام الناعم، والخشن طبقا للمواصفة ACI Education Bulletin E1-07 *[33].*

نوع الركام	الركام الطبيعي (NA)	الركام المعاد تدويره (RA)	الركام الناعم (FA)
نسبة الامتصاص (%)	3.034	5.730	---
الوزن النوعي (GS)	2.556	2.416	2.616
معامل الصدم (%)	8.550	10.20	---
معامل التهشيم (%)	24.11	33.88	---

2-3 عملية الخلط وإعداد العينات

بعد تصميم الخلطة الخرسانية المرجعية المحتوية على الركام الطبيعي (CC)، تم استبدال الركام الطبيعي (NA) بالركام المتحصل عليه من إعادة تدوير المخلفات الخرسانية (RA) لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة (RAC). الجدول (2) يوضح الخلطات الخرسانية (RC-30، RC-50، RC-70، RC-100) المستعملة في هذه الدراسة والتي تحتوي على نسب الاستبدال بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) من الركام المعاد تدويره (RA) كبديل عن الركام الطبيعي (NA). وقد تمت عملية الخلط باستخدام خلاطة كهربائية نظيفة السطح الداخلي لخلط المكونات والمحافظة على نسب وزمن الخلط وذلك بعد ترطيبها بالماء

وتجفيفها حتى لا يحدث فقد في المياه المستعملة، وتم خلط المواد الجافة أولاً ثم يليها إضافة الماء تدريجيا والجدول (2) يبين مكونات الخلطات بالوزن مع نسب الركام المعاد تدويره.

جدول 2. مكونات الخلطات الخرسانية (CC)، (RAC) *في المتر المكعب.*

الخلطة	الأسمنت (C) (Kg)	الماء (W) (Kg)	W/C	الركام الناعم (FA) (Kg)	الركام الخشن (NA) (Kg)	الركام الخشن المعاد تدويره (RA) (Kg)
CC- 0	450	225	0.5	640	1100	0
RC-30				640	770	330
RC-50				640	550	550
RC-70				640	330	770
RC-100				640	00	1100

4. النتائج والمناقشة

4-1 قابلية التشغيل (Workability):

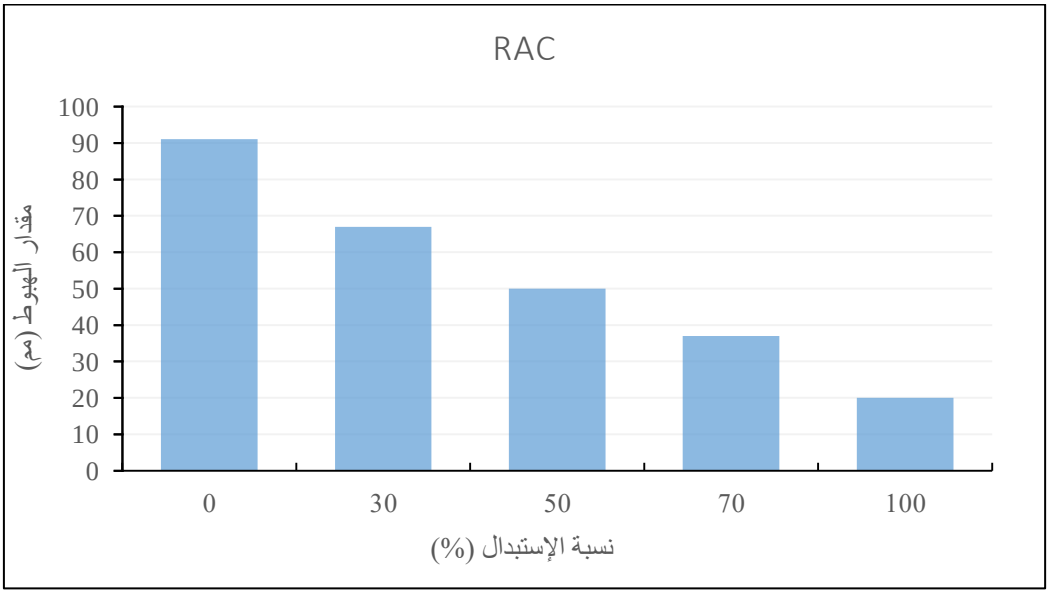
الجدول رقم (**3**) يبين نتائج اختبار الهبوط التي تم الحصول عليها بعد الخلط مباشرةً في المعمل بواسطة المخروط. الملاحظ أن استبدال الركام الطبيعي (NA) بالركام المعاد تدويره (RA) له تأثير سلبي على قابلية التشغيل للخرسانة (RAC)، حيث أنه كلما زادت نسبة الاستبدال لوحظ انخفاض ملحوظ في الهبوط للخرسانة (RAC) بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية (CC) المصنوعة من الركام الطبيعي.

جدول 3. نتائج اختبار الهبوط للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (RAC).

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقدار الهبوط (mm)	نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخلطة المرجعية (%)
CC- 0	%0	90.00	---
RC-30	%30	66.75	(-) 25.83
RC-50	%50	48.75	(-) 45.83
RC-70	%70	36.25	(-) 59.72
RC-100	%100	20.50	(-) 77.22

لوحظ أيضا أنه عند استخدام نسبة استبدال قليلة 30% انخفض معدل الهبوط بنسبة 25.83%، بينما كان الانخفاض (45.83%، 59.72%، 77.22%) عند استبدال 50%، 70%، 100% على التوالي. يمكن تفسير سبب هذا الانخفاض التدريجي في قابلية التشغيل كما يظهر ذلك في الشكل (4)، إلى نظافة وجودة الركام المعاد تدويره، لوجود بقايا المونة الإسمنتية الملتصقة عل سطحه مما تسبب في زيادة امتصاص

الماء وبالتالي انخفاض في قابلية التشغيل، وهو ما تطابق مع نتائج لأبحاث سابقة [19، 20]. في المقابل أشارت نتائج أخرى إلى زيادة قابلية التشغيل بزيادة نسبة الاستبدال مقارنة مع الخلطة المرجعية، وذلك عند زيادة كمية الماء الحر المطلوب إضافته أثناء الخلط للتعويض عن قيم امتصاص الماء الأعلى للركام المعاد تدويره [20]، وفي حالة استخدام الركام المعاد تدويره وهو مشبع جاف السطح [21].



شكل 4 تأثير الركام المعاد تدويره على قابلية التشغيل للخرسانة (RAC).

2-4 مقاومة الضغط (Compressive strength):

يظهر الجدول (**5**) قيم مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (RAC) بدلاً عن استخدام الركام الطبيعي بنسب استبدال بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) حيث تم مقارنتها مع نتائج خرسانة الركام الطبيعي (CC).

الملاحظ أن قيم المقاومة بعد مرور 7 أيام زادت عند استخدام نسب الاستبدال 30%، 70% بنسبة 6.05%، 4.97% على التوالي بالمقارنة مع خرسانة الركام الطبيعي، وقد يفسر ذلك إلى أن زيادة امتصاص الماء للركام المعاد تدويره ساعد على سرعة تفاعلات الإماهة مع الإسمنت والحصول على مقاومة مبكرة، وعند الأعمار 14، 28، 56 يوم فقد كانت قيم المقاومة للعينة المرجعية أكبر من قيم المقاومة للعينات التي تحتوي على نسب الاستبدال المختلفة المذكورة أعلاه(41.14MPa، 45.33MPa، 50.33MPa) على التوالي. بعد استخدام الركام المعاد تدويره لوحظ انخفاض تدريجي في مقاومة الضغط مع زيادة نسبة الاستبدال، قد يرجح سبب ذلك الانخفاض إلى وجود بقايا المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطح الركام المعاد تدويره مما أثر ذلك على جودة الركام وبالتالي ضعف قوى التماسك بين الركام والمونة الإسمنتية الجديدة. أظهرت هذه النتائج مدى التقارب مع نتائج دراسة أخرى [22].

جدول 5. نتائج اختبار مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (RAC) (7، 14، 28، 56 يوم)

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقاومة الضغط للخرسانة (RAC) (MPa)				نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخرسانة المرجعية (%)			
		7 أيام	14 يوم	28 يوم	56 يوم	7 أيام	14 يوم	28 يوم	56 يوم
CC- 0	%0	30.76	41.16	45.33	50.30	--	--	--	--
RC-30	%30	32.62	40.31	44.44	48.80	+6.05	-2.07	-1.96	-2.98
RC-50	%50	28.04	37.99	44.30	49.96	-8.84	-7.70	-2.27	-0.68
RC-70	%70	32.29	36.80	42.43	46.91	+4.97	-10.59	-6.40	-6.74
RC-100	%100	26.75	34.24	43.95	45.36	-13.04	-11.95	-3.04	-9.82

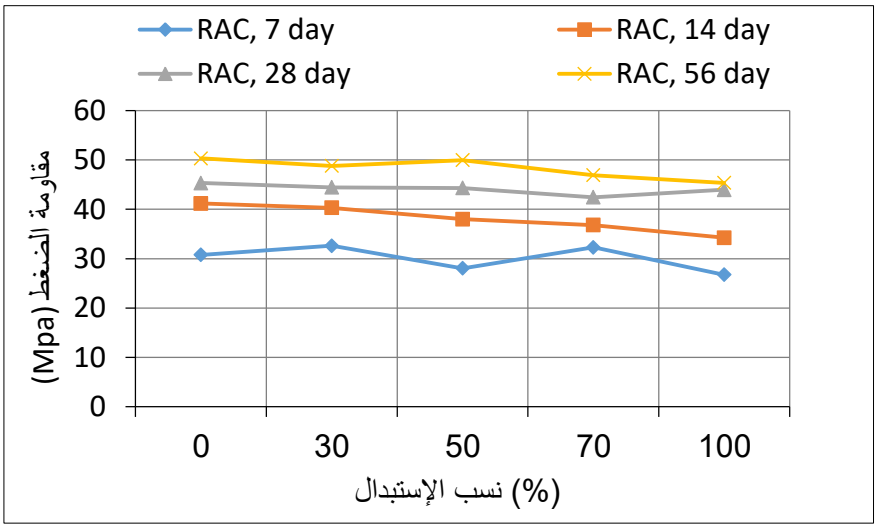
فبعد مرور 14 يوم وصلت المقاومة إلى 41.16MPa للخرسانة المرجعية ولوحظ انخفاض تدريجي في المقاومة مع زيادة نسبة (RA) في الخلطة (40.31MPa، 37.99MPa، 36.80MPa، 34.24MPa) على التوالي لنفس نسب الاستبدال المذكورة أعلاه، وبمعدلات انخفاض تراوحت من 2.07% إلى 11.95%.

من خلال النتائج الواردة تبين أن استخدام نسبة استبدال 30% لم يكن لها تأثير ملحوظ على المقاومة فكانت نسبة الانخفاض لا تتجاوز 3% عند هذا العمر وهو ما يتطابق مع نتائج أبحاث سابقة [23].

أظهرت هذه النتائج أن مقاومة الضغط التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة عند عمر 28 يوم كانت 45.33MPa للخرسانة المرجعية وانخفضت بنسبة (1.96%، 2.27%، 6.40%، 3.04%) على التوالي مع زيادة نسبة الاستبدال المذكورة سابقاً، بينما كانت نسبة الانخفاض (2.98%، 0.68%، 6.74%، 9.82%) على التوالي عند عمر 56 يوم بالمقارنة مع مقاومة الضغط للخرسانة الطبيعية التي وصلت إلى 50.30MPa كما هو موضح من خلال الشكل (5).

أبرز ما لوحظ من النتائج المتحصل عليها أن مقاومة الضغط للخرسانة تزداد بزيادة العمر، وأن انخفاض المقاومة عند استخدام الركام المعاد تدويره لم يتجاوز 3% عند استخدام نسبة استبدال تصل حتى 50% عند الأعمار 28، 56 يوم كما يظهر ذلك في الشكل (5)، وذلك بسبب زيادة كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية والذي له دور كبير في التأثير على مقاومة الضغط لهذا النوع من الخرسانة. وهذا ما يتشابه مع نتائج دراسة أخرى أكدت على أنه يجب أن تزداد كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية بنسبة 4-10% لتحقق نسبة استبدال الركام المعاد تدويره من 50%-100% نتائج مشابهة للخرسانة المرجعية [24].

ومن جانب أخر، أظهرت هذه النتائج اختلافا مع دراسة سابقة تم فيها استخدام الإسمنت بكمية 230 كجم/متر^3 في الخلطة الخرسانية [25]، وذلك بسببً أن زيادة امتصاص الماء للركام المعاد تدويره بشكل عام يقلل من نسبة الماء للإسمنت مما يؤدي إلى مقاومة أعلى.



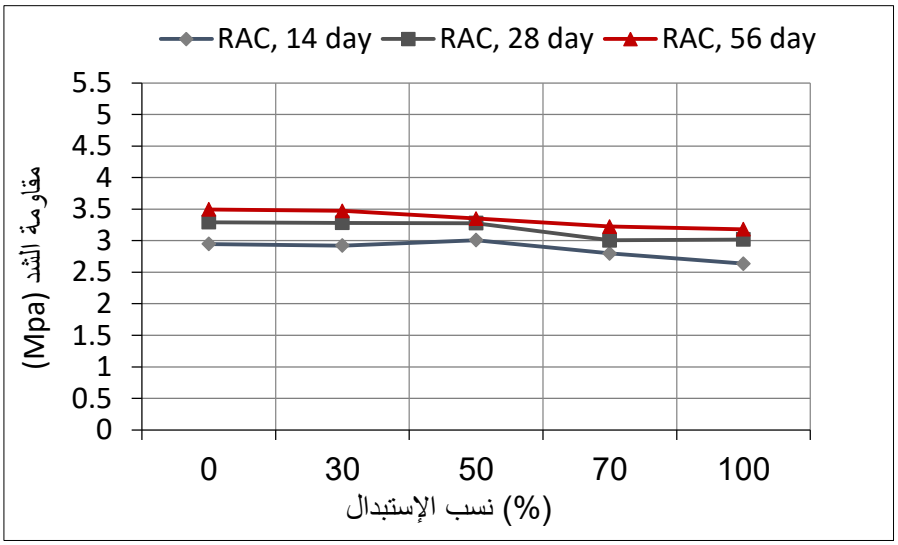
شكل 5 تأثير الركام المعاد تدويره للخرسانة (RAC) *على مقاومة الضغط عند الأعمار 7، 14، 28، 56 يوم.*

3-4 مقاومة الشد (Tensile Strength):

يتضح من النتائج المبينة بالجدول (5) أن السلوك على الشد مماثل للسلوك على الضغط حيث تنخفض مقاومة الشد كلما زادت نسبة الركام المعاد تدويره (RA) في الخلطة بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية (CC)، وهذا ما يتطابق مع نتائج سابقة [19، 20]. حيث وصلت المقاومة 3.293MPa للعينة المرجعية عند العمر 28 يوم، ولم يكن هناك أي تأثير عند استخدام نسب استبدال تصل حتى 50%، بينما انخفضت بنسبة (8.746%، 8.381%) عند استخدام نسب (70%، 100%) على التوالي بسبب وجود الملاط المرتبط بسطح الركام (RA). من الملاحظ أنه في عمر 56 يوم زادت المقاومة إلى 3.495MPa للعينة المرجعية، وكانت (3.471MPa، 3.350MPa، 3.224MPa، 3.180MPa) للعينات المحتوية على (RA) بنسب الاستبدال (30%، 50%، 70%، 100%)، وبمعدلات انخفاض (0.687%، 4.149%، 7.754%، 9.013%) على التوالي. الشكل (6) يوضح تأثير الركام المعاد تدويره للخرسانة (RAC) على مقاومة الشد.

جدول 5. نتائج اختبار مقاومة الشد للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (RAC) *عند الأعمار 14، 28، 56 يوم.*

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقاومة الشد للخرسانة (RAC) (MPa)			نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخرسانة المرجعية (%)		
		14 يوم	28 يوم	56 يوم	14 يوم	28 يوم	56 يوم
CC- 0	%0	2.948	3.293	3.495	--	--	--
RC-30	%30	2.922	3.283	3.471	-0.882	-0.304	-0.687
RC-50	%50	3.008	3.277	3.350	+2.035	-0.486	-4.149
RC-70	%70	2.798	3.005	3.224	-5.088	-8.746	-7.754
RC-100	%100	2.635	3.017	3.180	-10.62	-8.381	-9.013



شكل 6 تأثير الركام المعاد تدويره للخرسانة (RAC) *على مقاومة الشد عند الأعمار 14، 28، 56 يوم.*

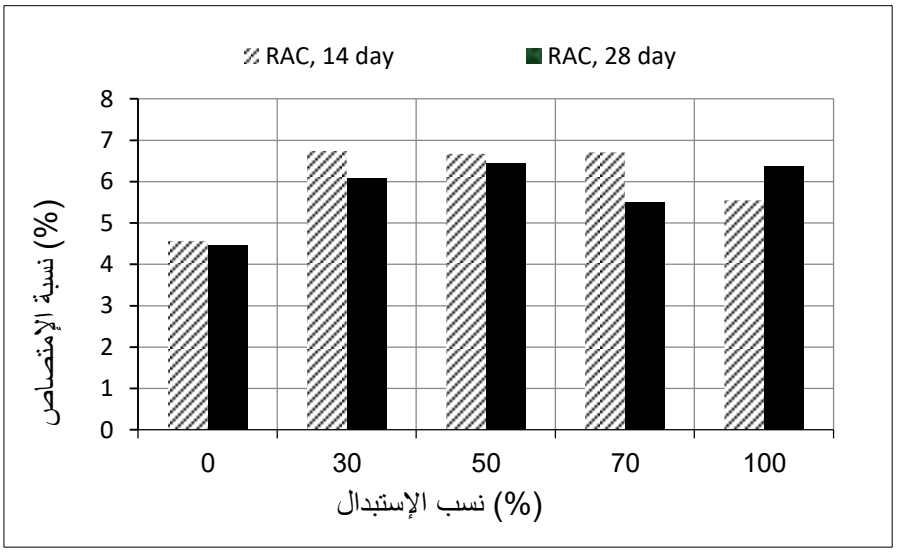
4-4 امتصاص الماء بالغمر(Water Absorption):

الجدول (6) يوضح المقارنة بين نتائج اختبار نسبة امتصاص الماء للخرسانة المحتوية على الركام المعاد تدويره (RAC) بنسب استبدال بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) مع نتائج الخرسانة المرجعية (CC). من خلال النتائج المتحصل عليها تبين أنه تزداد القدرة على امتصاص الماء للخرسانة (RAC) بزيادة نسب الاستبدال، وذلك بسبب المسامية العالية للركام (RA)، ويأتي هذا التوافق مع نتائج دراسة سابقة [20].

جدول 6. نتائج اختبار نسبة امتصاص الماء للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (RAC).

الخلطة	نسبة الاستبدال	نسبة الامتصاص (%) للخرسانة (RAC)	
		عند 14 يوم	عند 28 يوم
CC- 0	%0	4.565	4.460
RC-30	%30	6.740	6.089
RC-50	%50	6.670	6.455
RC-70	%70	6.710	5.500
RC-100	%100	5.550	6.381

بالإضافة الى ذلك، عند استخدام نسب الاستبدال المذكورة أعلاه لوحظ زيادة بمعدل 2.175%، 2.105%، 2.145%، 0.985% على التوالي عند عمر 14يوم، وزيادة بمعدل 1.629%، 1.995%، 1.04%، 1.921% على التوالي عند عمر 28 يوم كما يظهر ذلك في الشكل رقم (7). وهذا ما يتفق مع دراسة تم فيها استخدام نسب استبدال كاملة من الركام المعاد تدويره ولوحظ مقدار الزيادة في نسبة امتصاص الماء بمعدل 2.20% عند عمر 28 يوم، وبمعدل 1.90% عند عمر 90 يوم [20].



شكل 7 تأثير الركام المعاد تدويره على نسبة امتصاص الماء للخرسانة (RAC).

5. الاستنتاجات والتوصيات

وفقا إلى نتائج البحث يمكن استخلاص النقاط التالية:

1. بزيادة نسبة الركام المعاد تدويره في الخلطة تقل قابلية التشغيل للخرسانة (RAC)، وللتغلب على هذه المشكلة يمكن استخدام ملدنات فائقة.
2. تزداد مقاومة الضغط والشد لجميع الخلطات مع زيادة العمر، وعلى الرغم من ذلك عند استخدام الركام المعاد تدويره تنخفض المقاومة تدريجياً مع زيادة نسبة الاستبدال.
3. الانخفاض في مقاومة الضغط والشد لم يكن كبير ولا يتجاوز 3%، 5% على التوالي عند استخدام (RA) بنسبة استبدال تصل حتى 50% كبديل عن الركام الطبيعي (NA).
4. زيادة ملحوظة في القدرة على امتصاص الماء للخرسانة المحتوية على الركام المعاد تدويره (RAC)، في جميع نسب الاستبدال.
5. نظافة وجودة الركام المعاد تدويره لها دور أساسي في انخفاض وزيادة خواص الخرسانة المنتجة منه، ونتيجة لوجود المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطحه زادت نسبة امتصاص الماء مما يؤدي إلى ضعف قوة الترابط بين الركام المعاد تدويره والمونة الإسمنتية الجديدة.
6. يمكن استخدام نسبة تصل إلى 50% من الركام الخشن المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي، للحصول على مواصفات جيدة للخرسانة (RAC) وقريبة من الخرسانة الناتجة من الركام الطبيعي (CC).
7. بناءً على نتائج هذه الدراسة ننصح بتدوير المخلفات الخرسانية في ليبيا واستخدامها مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة بدلاً من نقلها إلى أماكن الطمر، ليتحقق بذلك النفع البيئي وتلبية احتياجات السكان الحاليين والحفاظ على احتياجات الأجيال القادمة.
8. نوصي بإجراء المزيد من الأبحاث والدراسات لتحسين سلوك هذا النوع من الخرسانة عن طريق استخدام إضافات كالألياف، والمواد البوزلانية وغيرها.

المراجع

[1]. Zhang Y, Luo W, Wang J, Wang Y, Xu Y, Xiao J. A review of life cycle assessment of recycled aggregate concrete. Constr Build Mater 2019;209:115–25.

[2] N. Tojo, C. Fischer, Europe as a Recycling Society. European Recycling Policies in relation to the actual, 2011. ETC/SCP Working Paper, (ETC/SCP working paper 2/2011). http://www.lunduniversity.lu.se/o.o.i.s? id=12683&postid=2303681 (accessed on Jul. 17, 2017).

[3] . د. محمد المحسن " إعادة تدوير مخلفات الخرسانة " جامعة البريمي (سلطنة عمان)، المجلة الإلكترونية منظمة المجتمع العلمي العربي 2016م، متاح على الرابط: https://arsco.org/article-detail-383-8-0.

[4]. ميساء بشارات مقبل " أكوام مخلفات البناء العشوائية تشوه الطرقات الفلسطينية في غياب التشريعات الصارمة " المجلة الإلكترونية آفاق البيئة والتنمية 2019م، متاح على الرابط: https://www.maan-ctr.org/magazine/article/2340/.

[5]. M.J. Munir, S.M.S. Kazmi, Y.-F. Wu, I. Patnaikuni, J. Wang, Q. Wang, "Development of a unified model to predict the axial stress-strain behavior of recycled aggregate concrete confined through spiral reinforcement", Eng. Struct. 218 (2020) 110851.

[6]. H. Guo, C. Shi, X. Guan, J. Zhu, Y. Ding, T.-C. Ling, H. Zhang, Y. Wang, "Durability of recycled aggregate concrete" – A review, Cem. Concr. Compos. 89 (2018) 251–259.

[7]. J.J. Xiao, W.G. Li, Y.H. Fan, X. Huang, An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996-2011), Constr. Build. Mater. 31 (2012) 364-383.

[8]. د. عبدالرزاق ضيف الله. أ. إبراهيم ابريدان " تقنية تدوير الأنقاض الخرسانية في ليبيا بين ميزة توفير التكاليف - بالذات البيئية منها - والمعوقات" المؤتمر العلمي الدولي الرابع لكلية الاقتصاد والتجارة (2020)، 851-874.

[9]. Katrina McNeil, and Thomas H.-K. Kang "Recycled Concrete Aggregates: A Review" International Journal of Concrete Structures and Materials Vol.7, March (2013), pp.61–69.

[10]. Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. Materials and Structures, 33, 574–580.

[11]. Sumaiya Binte Huda. " Mechanical And Durability Porperties of Recycled And repeated Recycled Coarse Aggregate". Master's Thesis, The University of British Columbia, The College of Graduate Studies (Civil Engineering). February (2014), 41-59.102.

[12]. Gomez-Soberon, J.M.V. 2002. "Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate – an experimental study." Cement and Concrete Research, 32: 1301–1311.

[13].Huda, S.B., Islam, M.S., Slater, E., and Alam, M.S. 2013. "Green concrete from industrial wastes: a sustainable construction material." First Intl Conference on Concrete Sustainability 2013, Tokyo, Japan, 27-29 May 2013, Ref. 0084, 8p.

[14] . أحمد جميل إبراهيم " خواص الركام المعاد تصنيعه من الخرسانة " جامعة عمر المختار – كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية ، المختار للعلوم العدد الخامس والعشرون، (2010)، 77.

[15]. د. قاسم الزحيلي. ط. تماضر مقبل " دراسة تجريبية على الخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره" مجلة جامعة تشرين للبحوث والدارسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية. المجلد (3)، العدد (4)، (2014)، 255-256.

[16]. Pinghua Zhu, Yali Hao, Hui Liu , Da Wei, Shaofeng Liu, Lei Gu "Durability evaluation of three generations of 100% repeatedly recycled coarse aggregate concrete" Construction and Building Materials 210 (2019) 442–450.

[17] . المواصفة القياسية الليبية (2002). ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية: طريقة إجراء التحليل المنخلي رقم (49).

[18]. ACI Education Bulletin E1-07, Aggregates for Concrete, American Concrete Institute (2007).

[19]. Chang Gao, Liang Huang , Libo Yan , Ruoyu Jin, Haoze Chen "Mechanical properties of recycled aggregate concrete modified by nano-particles" Construction and Building Materials 241 (2020) 118030.

[20]. Babar Ali, Liaqat Ali Qureshi "Durability of recycled aggregate concrete modified with sugarcane molasses" Construction and Building Materials 229 (2019) 116913.

[21]. Kyuhun Kim, Myoungsu Shin , Soowon Cha "Combined effects of recycled aggregate and fly ash towards concrete sustainability" Construction and Building Materials 48 (2013) 499–507.

[22]. Suraya Hani AdnanYee Loon Lee, Ismail Abdul Rahman, Mia Wimala "Compressive strength of recycled aggregate concrete with various percentage of recycled aggregate" https://www.researchgate.net/publication/301680302.

[23]. Nik. D. Oikonomou "Recycled concrete aggregates" Cement & Concrete Composites 27 (2005) 315–318.

[24]. Etxeberria.M, Vázquez.E, Marí.A, Barra.M, "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete" Cement and Concrete Research, Vol 37,(2007), 735-742.

[25]. Park, S. "Recycled Concrete Construction Rubble as Aggregate For New Concrete". Building Research Association of New Zealand, No. 86, 1999, 4-7.

Study of the Possibility of using Recycled Aggregates in the Production of Environmentally Friendly Concrete

Abdulmunem Salim Itrubah[1], Mohamed Ali Abdulqader [2], Nuri Mohamed Elbasha[3], Mohamed Elarbi Mahroug[4,*]

[1]*Sabratha University, Sabratha, Libya, munem2426@gmail.com*
[2]*Sabratha University, Sabratha, Libya, mohamedsalem7402426@gmail.com*

[3]*Sabratha University, Sabratha, Libya, nelbasha@sub.edu.ly*

[4]*Sabratha University, Sabratha, Libya, mhmdmahroug2020@gmail.com*

ABSTRACT

Concrete waste resulting from demolition and war remnants is considered one of the most important challenges facing the environment and society, It is waste that contains coarse aggregate (gravel), cement, and chemical elements containing oxides and silica, which amount to 80%, and they are relatively live, unextinguished oxides that interact in the presence of moisture and air, because they are incompletely interacted and are considered very harmful to soil and groundwater in the event of their leakage. Therefore, it is clear that the environmental impact of these wastes is a concern that requires a sustainable solution. In light of the frightening depletion of natural resources on the planet, the need arose for the technology of recycling these wastes and using them again to achieve environmental balance and sustainability by meeting the requirements of the current reality without neglecting the ability of future generations to meet their needs. In this study, recycled coarse aggregate (RA), from recycled building waste, was used to make environment-friendly concrete (RAC) with different replacement percentages by weight (30%, 50%, 70%, 100%) as an alternative to natural aggregates (NA), in order to verify the feasibility of using this type of concrete (RAC) compared to natural concrete (NAC). The results of this study showed that the use of (RA) affects the properties of concrete (RAC), and that the greater the replacement ratio, the lower the properties of concrete (RAC) compared to the properties of ordinary concrete (NAC), however, the decrease was not significant when using a replacement ratio that ranged between (0-50%), a percentage that encourages the use of this type of aggregate (RA) in the production of concrete (RAC) to achieve environmental benefit and meet the needs of the current population and preserve the needs of future generations.

***Keywords**:*

Recycled aggregates.
Eco-friendly concrete.

Concrete properties.

Concrete waste.

[*]*Corresponding Author Email:* ***mhmdmahroug2020@gmail.com***