

دراسة مدى تأثير استخدام الركام المعاد تدويره المعالج وغير المعالج على خواص الخرسانة

نوري محمد جمعة الباشا وعبدالممنع سالم عمر طرنبة

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا
البريدي الإلكتروني: nuri.elbasha@sabu.edu.ly

ABSTRACT

The recycling of concrete rubble can contribute in reducing the total environmental impact of the building sector. In this research, recycled coarse aggregate (RCA) obtained from destroyed buildings in Libya were used to produce a new concrete by replacing Natural aggregate (NA) by (RCA) in the concrete. The percentage of the replacement was (30%, 50%, 70%, 100%).

This study was conducted in two phases, the first phase was conducted without making any treatment for recycled coarse aggregate for producing a concrete. The second phase was treated by soaking recycled coarse aggregate in hydrochloric acid after dilution as an attempt to clean and remove the mortar attached to the aggregate surface (RCAT). The results obtained indicate that the workability, compressive strength and tensile strength of concrete decreases as the percentage of (RCA) in the mixture increases. A gradual improvement in results has been observed when using (RCAT). However, the results encourage using up to 50% of the recycled aggregate (RCA) and up to 70% of the aggregate soaked in hydrochloric acid for producing environmentally friendly concrete (Green concrete) in order to fulfill good concrete specifications.

الملخص

إن إعادة تدوير المخلفات الخرسانية واستخدامها كبديل للركام الناعم أو الخشن في الهياكل الخرسانية تعتبر طريقة واعدة للتغلب على استنزاف الموارد الطبيعية والتلوث البيئي وتحقيق الإستدامة للأجيال القادمة. تم في هذا البحث استخدام ركام خشن معاد تدويره (RCA) تم الحصول عليه من إعادة تدوير مخلفات خرسانية من مباني مدمرة في ليبيا، واستخدامه بنسب إستبدال مختلفة (30%، 50%، 70%، 100%) كبديل عن الركام الطبيعي (NA) في إنتاج خرسانة جديدة.

أجريت الدراسة على مرحلتين، الأولى تم فيها استخدام (RCA) دون إجراء أي معالجة عليه في إنتاج الخرسانة. المرحلة الثانية تم فيها معالجة الركام الخشن المعاد تدويره عن طريق النقع في حمض الهيدروكلوريك بعد تخفيفه كمحاولة للتنظيف وإزالة الملاط (الإسمنت القديم) المرتبط بسطحه (RCAT). أكدت النتائج الموثقة بهذا البحث إلى أن قابلية التشغيل ومقاومة الضغط والشد للخرسانة تتناقص كلما زادت نسبة (RCA) في الخلطة، من جانب آخر زادت قدرة الخرسانة على إمتصاص الماء وهذا بسبب وجود المونة الإسمنتية القديمة الملتصقة على سطح الركام الخشن، بينما لوحظ تحسن تدريجي في النتائج عند استخدام (RCAT). وخلص البحث إلى أنه يمكن قبول نسبة تصل حتى 50% من الركام (RCA) وإمكانية قبول نسبة تصل حتى 70% من (RCAT) في صناعة خرسانة صديقة للبيئة (الخرسانة الخضراء) من أجل التماشي مع مواصفات جيدة للخرسانة.

الكلمات المفتاحية: مخلفات الخرسانة؛ الركام المعاد تدويره؛ الركام المعاد تدويره المعالج؛ الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للركام؛ خرسانة صديقة للبيئة؛ الخرسانة الخضراء.

المقدمة

يتزايد استخدام الخرسانة في صناعة البناء يوماً بعد يوم إذ تعتبر من أكثر مواد البناء استخداماً على الإطلاق في جميع أنحاء العالم للمميزات الكثيرة التي تتمتع بها، الأمر الذي سيؤدي بالنتيجة إلى كميات كبيرة من النفايات الخرسانية الناتجة عن الهدم ومخلفات الحروب والذي أصبح تحدياً جديداً للبيئة والمجتمع، إذ تشير التقديرات إلى أن النفايات الخرسانية تبلغ حوالي 850 مليون طن سنوياً في أوروبا [1،2]. وفي ليبيا هدم الأبنية ومخلفات الحروب وإزالة العشوائيات يولد آلاف الأطنان من المخلفات الخرسانية، وقد وجد أن 65% من هذه المخلفات هي عبارة عن ركام خشن (حصى) [3]. ينتهي بها المطاف إلى مدافن النفايات بالإضافة إلى الكميات الكبيرة التي يتم إلّاؤها بطريقة غير مشروعة في مصبات الوديان والأراضي الزراعية، وهي مخلفات تحتوي أيضاً على مادة الإسمنت وعلى عناصر كيميائية تحتوي على الأكاسيد والسلوكيات مثل أكاسيد الكالسيوم والتي تصل نسبتها إلى 80% حسب نوع الأسمنت وهي نسبياً 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 وتفقد خصوبتها، كما تفقد المياه الجوفية مواصفاتها الصالحة للاستخدام [4]. بذلك سيتضح حجم الأثر البيئي التي تمثله هذه المخلفات والذي أصبح مصدر قلق عالمي يتطلب حلاً مستداماً، ففي ظل الاستنزاف المخيف للموارد الطبيعية على كوكب الأرض برزت الحاجة إلى العديد من التقنيات التي من خلالها يقلل استخدام هذه الموارد، فمن أهمها تقنية إعادة تدوير المخلفات الخرسانية للحصول على ركام يمكن استعماله مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة، الفكرة جاءت بعد الحرب العالمية الثانية نتيجة للدمار الهائل الذي أنتج كميات كبيرة من الأنقاض الخرسانية ولاقت نجاح واسع للاستفادة منها في مشاريع إعادة الإعمار للمنشآت والمدن السكنية المدمرة [5].

تم تعزيز واستخدام الركام المعاد تدويره (RCA) في البناء الجديد من قبل العديد من بلدان العالم حيث يعتبر استخدامه في الهياكل الخرسانية طريقة واعدة للتغلب على استنفاد الموارد الطبيعية والتلوث البيئي [6-7]. ويحقق استخدامه تخفيض ما يقارب 15%-20% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتوفير 60% من الموارد الطبيعية [8-9]. فاستخدامه أصبح سياسة تعتمدها وتصر عليها كثير من الدول المتقدمة وتعتبر هولندا والدنمارك رائدة فيها [10]. وعلى الرغم من أن العديد من دول العالم تشجع على استخدام تدوير المخلفات في البناء الجديد، إلا أن بعض الدول النامية مثل ليبيا لم تعط هذه القضية الاهتمام الكافي ولا توجد حتى إدارة للنفايات الصناعية الصلبة لأن الأجهزة المحلية تقتصر على تنظيف الشوارع ونقل المخلفات السكنية فينتهي بها المطاف بالتكدس في مداخل المدن وعلى جوانب الطرقات. ولأن إعادة التدوير واحدة من أفضل الطرق بالنسبة لنا في ليبيا للحصول على تأثير إيجابي، وتوفر لنا خياراً عملياً بديلاً في الوقت الحاضر، لأنها مدخل من مداخل الاستدامة ولها انعكاساتها الإيجابية على التكاليف بشتى أنواعها [11]، سنقدم في هذا البحث دراسة معملية عن تدوير مخلفات خرسانية من مباني مدمرة واستخدامها كركام خشن في صناعة خرسانة جديدة ودراسة مدى تأثير ذلك على خواص الخرسانة المنتجة منه.

أجريت العديد من الأبحاث والدراسات للبحث في خواص الركام المنتج من إعادة تدوير مخلفات الخرسانة (RCA)، ودراسة إمكانية استخدامه كبديل عن الركام الطبيعي (NA) في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة (RAC)، فتوصل الكثير من الباحثين إلى أن الركام المعاد تدويره (RCA) يختلف عن الركام الطبيعي (NA) بنواح عدة، أهمها أن الركام (RCA) له كثافة أقل بنسبة من 7%-9% من كثافة الركام (NA) [12،13]، وقدرته على امتصاص الماء أعلى من الركام (NA) بنسبة تتراوح ما بين 4%-7% [13-18]، كما أن له وزن نوعي يتراوح ما بين 2.40-2.46 وينقص بنسبة من 7.2%-9.4% عن الوزن النوعي للركام (NA) [14،15،19]. إن الاختلاف في خواص الركام المعاد تدويره (RCA) سببه وجود بقايا المونة الإسمنتية القديمة الملتصقة بسطحه فجعلت منه ركام

ذو قدرة عالية على الامتصاص وانخفاض في كثافته [10،20،21]، وبالتالي استخدامه 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 [22-25].

فعند استخدامه بنسبة استبدال كاملة تنخفض قابلية التشغيل بنسبة تصل حتى 40% بالمقارنة مع الخلطة المرجعية [24]، بينما تزيد القدرة على الامتصاص للخرسانة (RAC) بنسبة من 6.2%-8.4% وهو ما يمثل زيادة تصل إلى 35% عن الخرسانة المرجعية (CC) [26]. الخواص الميكانيكية للخرسانة (RAC) تتأثر سلباً أيضاً مع زيادة محتوى الركام (RCA) في الخلطة فعند استخدامه بنسبة استبدال كاملة تنخفض مقاومة الضغط بنسبة 20%-25% [27-28]، ويكون الانخفاض في مقاومة الشد بنسبة من 10.8%-20% [14،15،28]، وفي مقاومة الانحناء بنسبة 13% بالمقارنة مع الخرسانة (CC) [14،29]. مع ذلك فإن استخدامه بنسبة استبدال تصل حتى 30% في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة (RAC) يكون لها أداء وخواص مماثلة للخرسانة الأصلية (CC) [30-33].

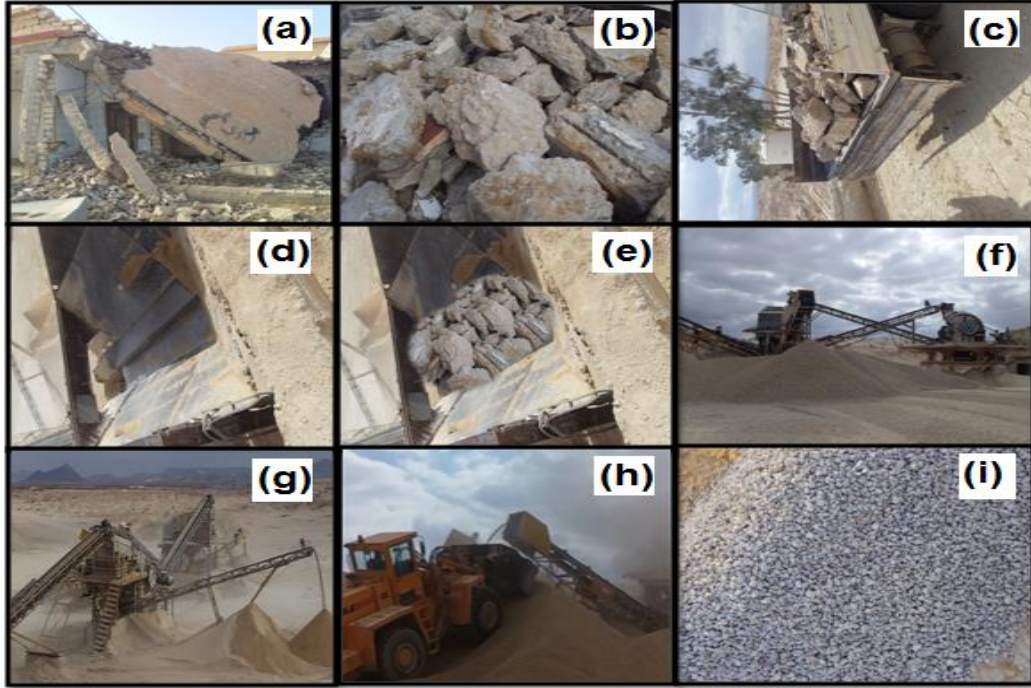
إن جودة الركام المعاد تدويره ونظافته سطحه ومصدره عامل مهم جداً ويؤثر بشكل كبير على جودة الخرسانة المنتجة منه، فالركام الأكثر نظافة يعطي خرسانة بجودة أعلى [10،34،35]. أوضح الكثير من الباحثين أن معالجة الركام المعاد تدويره كمحاولة للتخلص من الملاط المرتبط بسطحه، يمكن أن تؤدي إلى تنظيفه وتحسين جودته باستخدام عدة طرق مختلفة وبالتالي تتحسن خواص الخرسانة المنتجة منه [24،36،39]، إخضاع حبيبات الركام المعاد تدويره إلى التسخين والطحن والغربلة قبل استخدامه ساهم في انخفاض قدرته على امتصاص الماء بنسبة 23.64%-48.83% مقارنة مع الركام (RCA) الغير معالج [24،28]؛ كما أنتج خرسانة لها مقاومة تصل إلى 96% من خرسانة الركام الطبيعي [24]، وتزيد بنسبة 22.34% عن خرسانة الركام (RCA) الغير معالج [38]، بالإضافة إلى أن تقع الركام (RCA) قبل استخدامه في أحماض كيميائية كحمض (الهيدروكلوريك، الكبريتيك، والخليك) لمدة تصل إلى 24 ساعة، كافية لتضعيف بقايا المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطحه وتعتبر طريقة فعالة لجعل الركام المعاد تدويره يعطي أداء جيد على خواص الخرسانة المنتجة منه [37-42] حيث حققت الخرسانة المصنوعة من الركام المعالج كيميائياً بالغمر في حمض الهيدروكلوريك وحمض الكبريتيك زيادة في المقاومة بنسبة تراوحت ما بين 90%-95% من خرسانة الركام الطبيعي [24]، وتزيد بنسبة 34.07% عن خرسانة الركام (RCA) الغير معالج [38]، كما حققت زيادة كبيرة بنسبة تصل إلى 25% عن خرسانة الركام الطبيعي عند معالجة الركام بالغمر في حمض الخليك [40].

على الرغم من أن الأبحاث والدراسات حول استخدام الركام المعاد تدويره (RCA) في صناعة خرسانة صديقة للبيئة (RAC) مستمرة منذ الحرب العالمية الثانية، إلا أن تأثيره على خواص الخرسانة المنتجة منه يختلف باختلاف المواد الداخلة في الخلطة، وكذلك باختلاف الموقع الجغرافي والظروف البيئية بين بلد وآخر، إضافة إلى أن انخفاض الموارد الإجمالية الطبيعية والزيادة في توليد النفايات الخرسانية، جعل منه موضوع بحث ساخن في جميع أنحاء العالم [8]، وبالتالي سنقدم في هذه الدراسة معلومات مهمة عن أداء الخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج في ليبيا.

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 في ليبيا كما في الشكل (1)، حيث تم نقل المخلفات إلى شركة تكسير في منطقة وادي الحي (شركة السندان الذهبي) ليتم تدويرها بواسطة استخدام الآلات ميكانيكية مخصصة لهذا الغرض (الكسارات)، فبعد إدخالها في الكسارة تمت عملية إعادة التدوير لهذه المخلفات وأخذت نتيجة التدوير إلى المعمل، وهي عبارة عن ركام معاد تدويره ناعم، وركام خشن بأحجام مختلفة ذات مقاس (0.5،1،1.5) سم. كمرحلة أولى تم استخدامه مباشرة

كرام خشن دون إجراء أي تعديل عليه لإنتاج الخرسانة (RAC). وكمرحلة ثانية تم معالجة الركام المعاد تدويره كيميائياً قبل استخدامه كمحاولة لتنظيفه من بقايا المونة الإسمنتية القديمة الملتصقة على سطحه، وذلك عن طريق نقعه في حمض الهيدروكلوريك (HCl) بعد تخفيفه بالماء المقطر إلى تركيز 16.5% لمدة 24 ساعة، وتم غسله وشطفه جيداً بالماء لتنظيفه من أثر الحمض، ثم تم غمره في الماء المقطر حتى التشبع للتخلص من وجود المذيب الحمضي، ومن ثم استخدامه في إنتاج الخرسانة (RACT). تم بعد ذلك إجراء دراسة مدى تأثير استخدام الركام المعالج (RCAT) والغير معالج (RCA) على خواص الخرسانة كقابلية التشغيل، ومقاومتي الضغط والشد، والقدرة على امتصاص الماء.



الشكل 1: خطوات إعادة تدوير مخلفات الخرسانة.

المواد المستعملة في الخلطة الخرسانية

- **الإسمنت:** تم في هذه الدراسة استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي نوع (42.5N) المورد من مصنع البرج زليطن (شركة الاتحاد العربي للمقاولات) في جميع الخلطات، مطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم 2009/340م.
- **الركام الخشن المعاد تدويره (RCA):** وهو ركام المخلفات الخرسانية مصدره الأصلي ركام وادي الحي، وخواصه موضحة في الجدول (1)، حيث تم استخدامه بمقاس اعتباري 20 مم كركام متدرج طبقاً للمواصفات القياسية الليبية [43]، عن طريق خلط مقاساته المختلفة (0.5سم، 1سم، 1.5سم) بنسبة (0.25:0.50:0.25) على التوالي. الشكل (2-أ) يبين منحنى التدرج الحبيبي لركام المعاد تدويره.
- **الركام الخشن المعاد تدويره المعالج (RCAT):** بعد نقع الركام في الماء المقطر والتخلص من أثر وجود الأحماض، تم تجفيفه تحت أشعة الشمس بنفس الظروف التي تعرض لها الركام المعاد تدويره الغير معالج، وله خواص موضحة في الجدول (1). تم استخدامه في الخلطة بنفس تدرج الركام المعاد تدويره الغير معالج.
- **الركام الخشن الطبيعي (NA):** تم في هذا البحث استخدام الركام المورد من منطقة وادي الحي بمقاس اعتباري 20 مم، وخواصه موضحة في الجدول (1). حيث تم استخدامه في الخلطة بخلط

ثلاث أنواع مختلفة في المقاس (0.5 سم، 1 سم، 1.5 سم) بنسبة (0.25:0.55:0.20) على التوالي للحصول على خليط متدرج مشابه لتدرج الركام المعاد تدويره كما هو موضح في الشكل (2-ب) طبقاً للمواصفات القياسية الليبية [43].

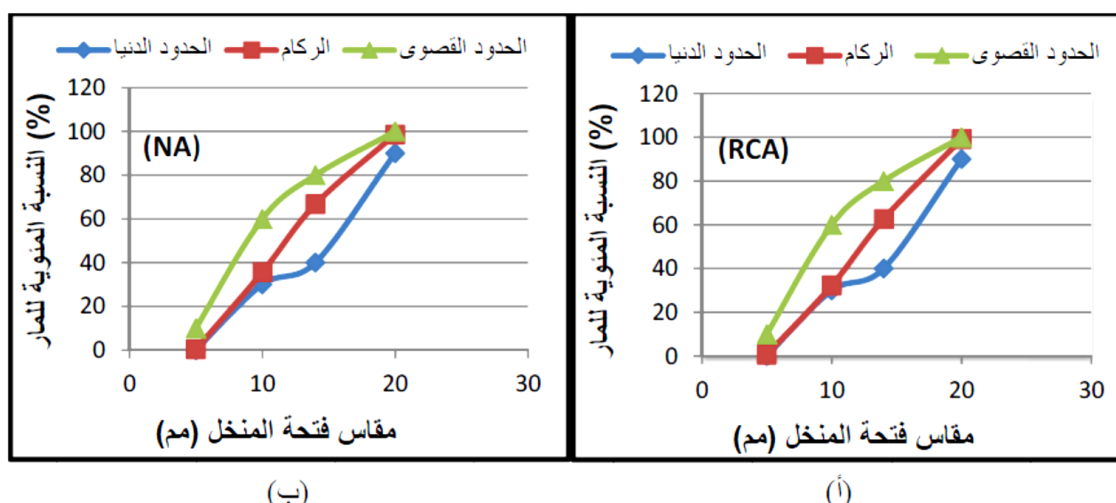
- **الركام الناعم (الرمل) (FA):** استخدم في هذه الدراسة رمل زليطن به وزن نوعي 2.616، بتدرج مطابق للمواصفات القياسية الليبية [43].
- **الماء:** تم استخدام مياه صالحة للشرب في جميع الخلطات، وبنسبة 50% من وزن الأسمنت، ولم يتم استخدام أي إضافات كيميائية.

عملية الخلط وإعداد العينات

بعد تصميم الخلطة المرجعية المحتوية على الركام الطبيعي (CC)، اشتملت هذه الدراسة على مجموعتين من الخلطات استخدمت فيها المواد بنفس كميات الخلطة المرجعية، والمتغير هو الركام الخشن كما هو موضح في الجدول (2)، حيث أن (RC-100، RC-70، RC-50، RC-30) هي الخلطات التي تحتوي على نسب الاستبدال بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) من الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج كبديل عن الركام الخشن الطبيعي (NA). المجموعة الأولى احتوت على أربع خلطات تم فيها استخدام الركام المعاد تدويره الغير معالج (RCA)، أما المجموعة الثانية فتم فيها استخدام الركام المعاد تدويره المعالج بواسطة حمض الهيدروكلوريك المخفف (HCl) كبديل عن الركام الطبيعي (NA).

الجدول 1: الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن بأنواعه طبقاً للمواصفة [44] ACI Education Bulletin E1-07.

نوع الركام	الركام الخشن الطبيعي (NA)	الركام الخشن المعاد تدويره (RCA)	الركام الخشن المعاد تدويره المعالج (RCAT)
نسبة الامتصاص (%)	3.034	5.730	5.604
الوزن النوعي (Gs)	2.556	2.416	2.463
معامل الصدم (%)	8.550	10.20	10.00
معامل التهشيم (%)	24.11	33.88	No test



الشكل 2: منحني التدرج الحبيبي لعينة الركام الخشن. (أ) الركام المعاد تدويره، (ب) الركام الطبيعي.

الجدول 2: مكونات الخلطات الخرسانية (CC)، (RAC)، (RACT) في المتر المكعب.

الركام الخشن المعاد تدويره (كجم)	الركام الخشن (NA) (كجم)	الركام الناعم (FA) (كجم)	W/C	الماء (W) (كجم)	الأسمنت (C) (كجم)	الخلطة
Mix 2 RCAT	Mix 1 RCA					
0	0	1100	0.5	225	450	CC- 0
330	330	770				RC-30
550	550	550				RC-50
770	770	330				RC-70
1100	1100	00				RC-100

النتائج والمناقشة

تأثير الركام الخشن المعاد تدويره المعالج ولير المعالج على قابلية التشغيل

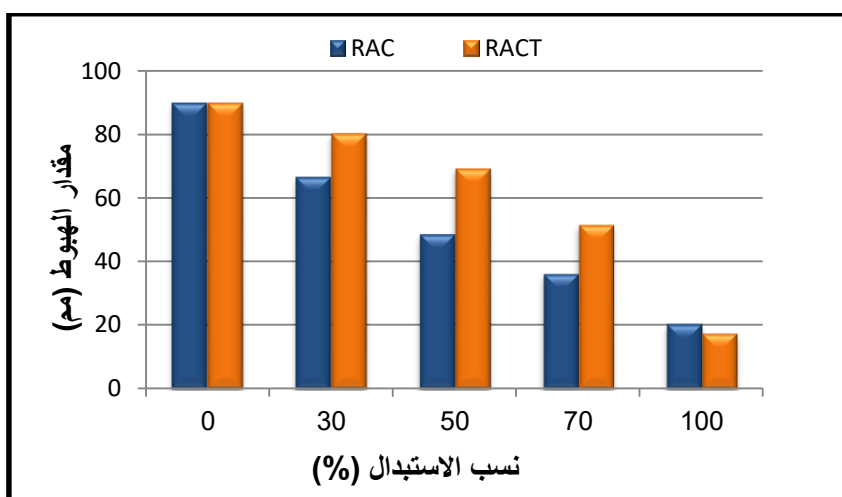
الجدول (3)، يبين نتائج مقدار الهبوط المتحصل عليها في المعمل بواسطة المخروط. فمن خلال النتائج تبين أن الهبوط للخلطة المحتوية على الركام المعاد تدويره الغير معالج (RAC) يقل كلما زادت نسبة الاستبدال في الخلطة بالمقارنة مع الخلطة المرجعية (CC). يعود سبب هذا الانخفاض التدريجي إلى وجود بقايا المونة الإسمنتية الملتصقة على سطحه تسببت في زيادة امتصاص الماء وبالتالي انخفاض مقدار الهبوط، وهي ما أكدتها المراجع [47-45]. في المقابل اختلفت مع نتائج أشارت 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 [49-48]، أو في حالة استخدام الركام المعاد تدويره وهو مشبع جاف السطح [50]. أما عند استخدام الركام المعالج كيميائياً (RCAT) أظهرت النتائج المبينة بالجدول (3)، تحسن ملحوظ في مقدار الهبوط للخلطة (RACT) بالمقارنة مع خلطة الركام المعاد تدويره الغير معالج (RAC)، وهذا ما يتفق مع نتائج الباحثين [24].

الجدول 3: نتائج اختبار الهبوط لخرسانة الركام المعاد تدويره الغير معالج (RAC) وخرسانة الركام المعاد تدويره المعالج (RACT) مع الخلطة المرجعية (CC).

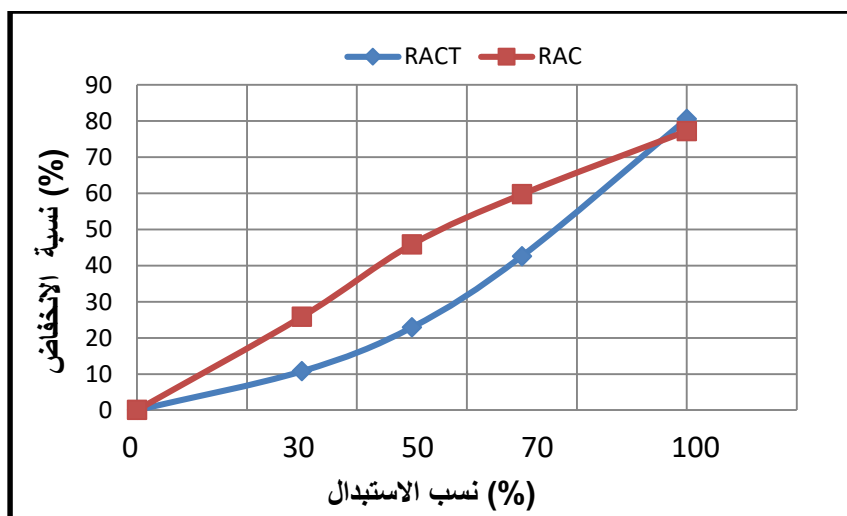
الخلطة	نسبة الاستبدال	مقدار الهبوط (مم) للخرسانة (RAC)	نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخلطة المرجعية (%)	مقدار الهبوط (مم) للخرسانة (RACT)	نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخلطة المرجعية (%)
CC-0	0%	90.00	---	90.00	---
RC-30	30%	66.75	(-) 25.83	80.33	(-) 10.74
RC-50	50%	48.75	(-) 45.83	69.42	(-) 22.87
RC-70	70%	36.25	(-) 59.72	51.67	(-) 42.59
RC-100	100%	20.50	(-) 77.22	17.50	(-) 80.56

فعند استخدام نسبة الاستبدال 30% من الركام (RCA) كان قياس مقدار الهبوط 66.75 مم، بينما لوحظ زيادة عند استخدام الركام المعالج كيميائياً (RCAT) إلى 80.33 مم، لوحظ أيضاً زيادة في مقدار الهبوط بمعدل 20.67 مم، 15.42 مم، عند استخدام نسب استبدال 50%، 70% على التوالي من الركام المعالج (RCAT) مقارنة مع الركام الغير معالج (RCA)، أما نسبة الاستبدال 100% نرجح أن يكون خطأ في التجربة. من الملاحظ أيضاً أن استخدام نسب استبدال تصل حتى 50%، 70% من (RCAT) كانت أفضل من استخدام 30%، 50% على التوالي من (RCA) كما يظهر ذلك في الشكل (3). وعلى الرغم من أن استخدام (RCA) يؤثر تأثير سلبي على قابلية التشغيل مقارنة مع

استخدام الركام الطبيعي (NA)، إلا أن معدل الانخفاض عند استخدام (RCAT) أفضل بكثير من (RCA) كما يظهر ذلك الشكل (4). هذا التحسن في النتائج يرجع إلى فاعلية حمض الهيدروكلوريك في تضعيف وتخفيف بقايا المونة الإسمنتية الملتصقة بسطح الركام المعاد تدويره والتي لها تأثير أساسي في زيادة نسبة امتصاص الماء وانخفاض قابلية التشغيل. وهذا ما تمت الإشارة إليه من قبل [24].



الشكل 3: مقارنة تأثير الركام المعاد تدويره المعالج للخرسانة (RACT)، والركام المعاد تدويره غير المعالج للخرسانة (RAC) على قابلية التشغيل.



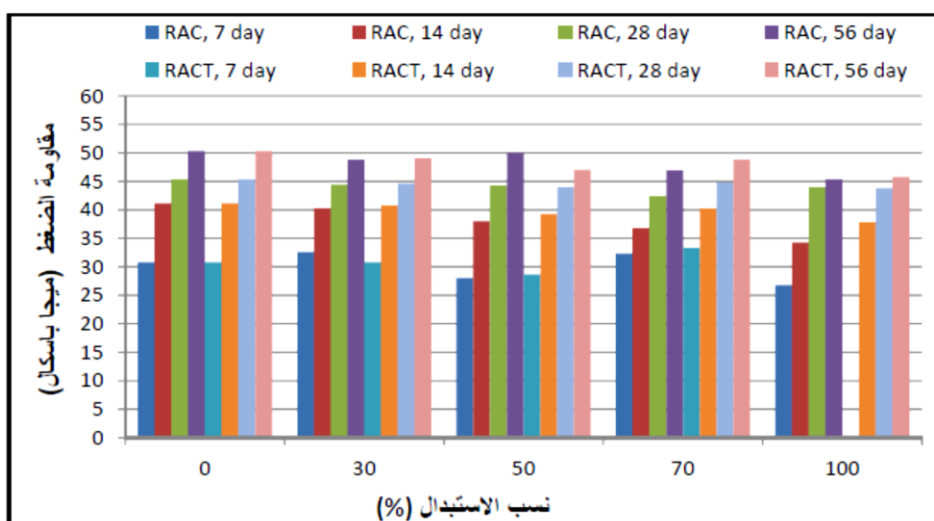
الشكل 4: الفرق في نسبة انخفاض مقدار الهبوط بين الخلطة الخرسانية (RAC)، والخلطة الخرسانية (RACT) مع الخلطة المرجعية (CC).

تأثير الركام الخشن المعاد تدويره المعالج والغير معالج على مقاومة الضغط من خلال مقارنة نتائج مقاومة الضغط للخرسانة المحتوية على الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج مع الخرسانة الاعتيادية (CC) باستخدام نسب استبدال مختلفة بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%)، نلاحظ بشكل عام من النتائج المبينة بالجدول (4)، أن المقاومة تزيد مع زيادة العمر في جميع الخلطات، مع ذلك فإن مقاومة الضغط للخرسانة المرجعية (CC) عند الأعمار 14، 28، 56 يوم، كانت أعلى من مقاومة الضغط لخرسانة الركام المعالج (RACT)، وخرسانة الركام الغير معالج (RAC)، وأن المقاومة تقل كلما زادت نسبة الاستبدال في أغلب الخلطات، وهذا بسبب وجود بقايا الإسمنت القديم المرتبط بسطح الركام المعاد تدويره الذي أنتج عنه زيادة في امتصاص الماء

وأضعف قوة الترابط بين الركam المعاد تدويره والمونة الإسمنتية الجديدة حتى بعد عملية المعالجة، فالواضح أن حمض الهيدروكلوريك لم يساهم في تنظيف وإزالة المونة الإسمنتية القديمة بشكل كامل فقد يرجع ذلك إلى نسبة التركيز. وهذا ما يتطابق مع نتائج دراسات سابقة [6، 24، 28]. وفي عمر 7 أيام لوحظ أن المقاومة عند استخدام (RCA)، (RCAT) كانت أعلى من الخرسانة المرجعية (CC) ببعض نسب الاستبدال كما هو موضح بالشكل (5)، لأن زيادة قدرة الركam المعاد تدويره على امتصاص الماء ساعدت على سرعة تفاعلات الإماهة مع الإسمنت وبالتالي أعطت مقاومة مبكرة خاصة مع زيادة كمية الإسمنت في الخلطة.

الجدول 4: نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الركam الغير معالج (RAC) وخرسانة الركam المعالج (RACT) مع الخلطة المرجعية (CC) عند الأعمار 7، 14، 28، 56 يوم.

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقاومة الضغط (ميغا باسكال) للخرسانة (RAC)				مقاومة الضغط (ميغا باسكال) للخرسانة (RACT)			
		عند 7 أيام	عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم	عند 7 أيام	عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم
CC-0	0%	30.76	41.16	45.33	50.30	30.76	41.16	45.33	50.30
RC-30	30%	32.62	40.31	44.44	48.80	30.79	40.76	44.63	49.02
RC-50	50%	28.04	37.99	44.30	49.96	28.62	39.25	43.94	47.05
RC-70	70%	32.29	36.80	42.43	46.91	33.34	40.18	44.78	48.88
RC-100	100%	26.75	34.24	43.95	45.36	--	37.79	43.81	45.76
الخلطة	نسبة الاستبدال	نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخلطة المرجعية (%) للخرسانة (RAC)				نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخلطة المرجعية (%) للخرسانة (RACT)			
		عند 7 أيام	عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم	عند 7 أيام	عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم
CC-0	0%	--	--	--	--	--	--	--	--
RC-30	30%	+6.05	-2.07	-1.96	-2.98	+2.05	-0.97	-1.54	-2.54
RC-50	50%	-8.84	-7.70	-2.27	-0.68	-6.95	-4.64	-3.07	-6.46
RC-70	70%	+4.97	-10.59	-6.40	-6.74	+8.39	-2.38	-1.21	-2.82
RC-100	100%	-13.04	-11.95	-3.04	-9.82	--	-8.19	-3.35	-9.02

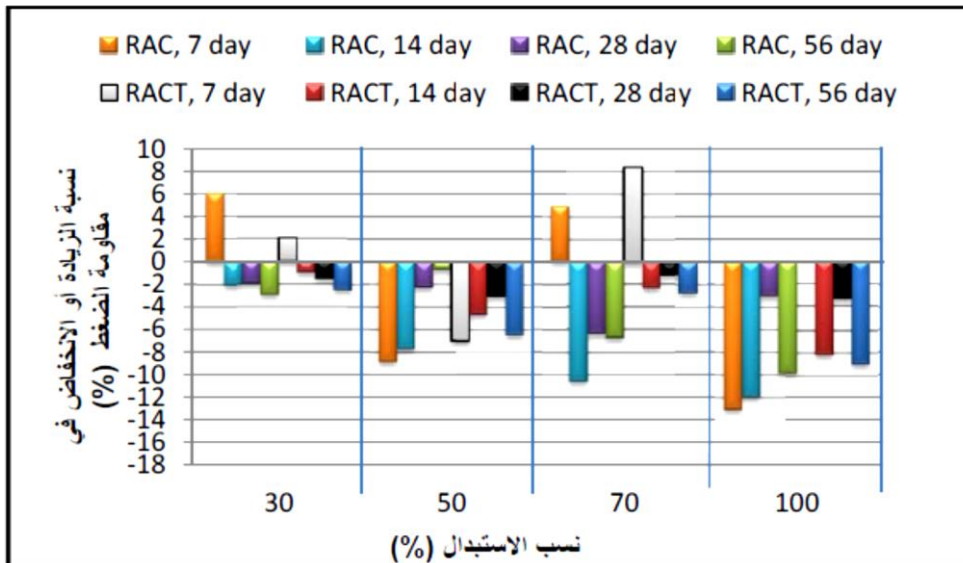


الشكل 5: مقارنة بين مقاومة الضغط للخرسانة (RAC)، والخرسانة (RACT) مع الخرسانة المرجعية (CC).

الملاحظ أيضاً من الشكل (5)، أن استخدام (RCAT) أعطى نتائج كانت أفضل بالمقارنة مع استخدام (RCA) كلما زاد العمر، وهذا نتيجة لتضعيف وتخفيف كمية المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطح الركam المعاد تدويره بواسطة المعالجة في حمض الهيدروكلوريك المخفف (HCL). فعند استخدام (RCA) بنسبة الاستبدال 30%، سجلت مقاومة الضغط قيم (40.31، 44.44، 48.80) ميغا باسكال، عند العمر 14، 28، 56 يوم، وزادت المقاومة بنسبة (1.12%، 0.43%، 0.45%) على التوالي عند استخدام (RCAT)، بينما كانت الزيادة بنسبة (9.185%، 5.54%، 4.20%) على التوالي عند استخدام نسبة الاستبدال 70%، ونتائج متقاربة جداً مع نسبة استبدال كاملة. تتفق هذه النتائج مع نتائج الدراسات [37، 38].

أبرز ما لوحظ أيضاً من خلال الشكل (6)، أن انخفاض المقاومة عند استخدام (RCA) لم يكن كبير ولا يتجاوز 3% عند استخدام نسبة استبدال تصل حتى 50% في الخلطة عند عمر متأخر، فقد يرجع السبب إلى زيادة كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية والذي له دور كبير في التأثير على مقاومة الضغط لهذا النوع من الخرسانة. وهذا ما يتوافق مع نتائج دراسة أكدت على أنه يجب أن تزداد كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية بنسبة 4-10% لتحقيق نسبة استبدال الركam المعاد تدويره من 50%-100% نتائج مشابهة للخرسانة المرجعية [27]. وقد يكون السبب أيضاً أن زيادة امتصاص الماء للركam المعاد تدويره بشكل عام يقلل من نسبة الماء للإسمنت مما يؤدي إلى مقاومة أعلى.

الملاحظ أيضاً أن انخفاض المقاومة عند استخدام (RCAT) لم يكن كبير ولا يتجاوز 3% عند استخدام نسبة استبدال تصل حتى 70% في الخلطة عند الأعمار 14، 28، 56 يوم فقد يرجع السبب إلى أن تضعيف وتقليل المونة الإسمنتية القديمة بواسطة حمض الهيدروكلوريك زاد من قوى التماسك بين الركam والمونة الإسمنتية الجديدة خاصة مع محتوى الإسمنت العالي في الخلطة. تختلف مع نتائج دراسة أكدت على أن استخدام الركam المعاد تدويره المعالج بحمض الخليك يعطي خرسانة لها مقاومة ضغط أعلى من الخرسانة الطبيعية بنسبة 25% [40]. أبرز ما لوحظ أيضاً أنه لا يوجد فرق كبير في النتائج بين استخدام (RCAT)، (RCA)، فقد يرجع ذلك إلى زيادة كمية الإسمنت في الخلطة، وبالتالي نتوقع أن يكون الفرق واضح في النتائج بين استخدام (RCAT)، و (RCA) عند تقليل كمية الإسمنت في الخلطة.



الشكل 6: نسبة الزيادة أو النقصان في مقاومة الضغط للخرسانة (RAC)، والخرسانة (RACT) بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية (CC).

تأثير الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج على مقاومة الشد

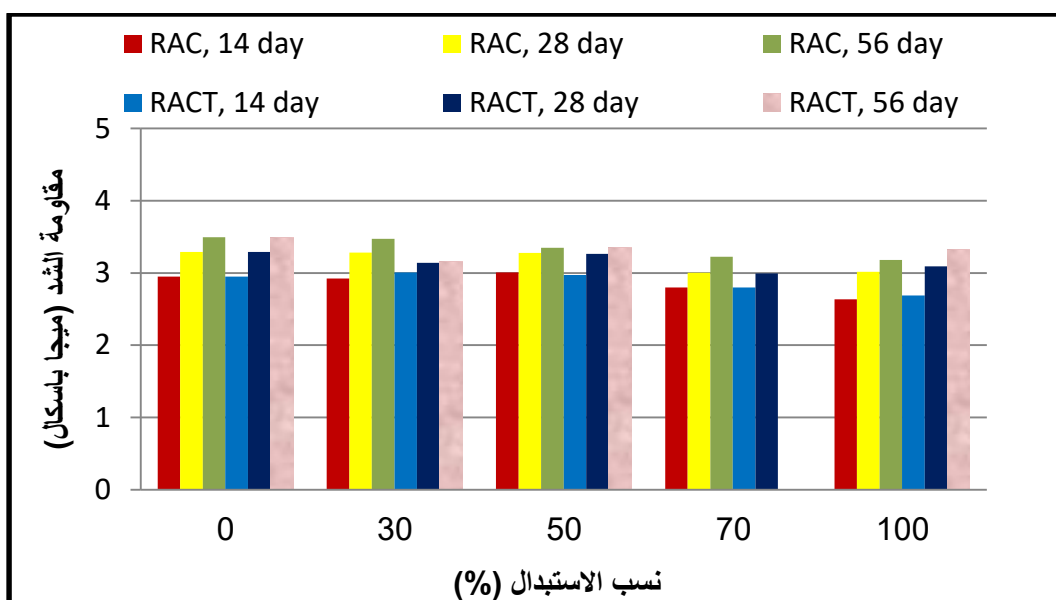
من النتائج المبينة بالجدول (5) اتضح أن مقاومة الشد تزداد مع زيادة فترة المعالجة في جميع الخلطات، ولها سلوك مشابه لسلوك مقاومة الضغط، حيث أن اضافة الركام المعاد تدويره قبل وبعد المعالجة كان له تأثير سلبي على مقاومة الخرسانة للشد. سجلت المقاومة عند الخلطة المرجعية (CC) قيم (2.948، 3.293، 3.495) ميغا باسكال، عند الأعمار 14، 28، 56 يوم على التوالي، ثم بدأت تنخفض تدريجياً بزيادة محتوى الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج في الخلطة. الأسباب التي أدت إلى هذا الانخفاض مماثلة للأسباب التي أثرت على مقاومة الضغط. فمن خلال الشكل (7)، عند استخدام نسبة الاستبدال 30% من (RCA) لم يلاحظ تأثير كبير يذكر على المقاومة، بينما كان الانخفاض بنسبة تراوحت ما بين 4% و 10% عند استخدام (RCAT) عند الأعمار 28، 56 يوم على التوالي، و تراوحت نسبة الانخفاض في المقاومة عند نسبة الاستبدال 50% ما بين 0 و 5% على التوالي لكلاً من الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج، أما نسب الاستبدال 70%، 100% فتراوحت نسبة الانخفاض ما بين 4% و 11% عند جميع الأعمار. يتطابق هذا الانخفاض التدريجي مع دراسة سابقة للباحثين [28، 51].

الجدول 5: نتائج مقاومة الشد لخرسانة الركام الغير معالج (RAC) وخرسانة الركام المعالج (RACT) مع الخلطة المرجعية (CC) عند الأعمار 14، 28، 56 يوم.

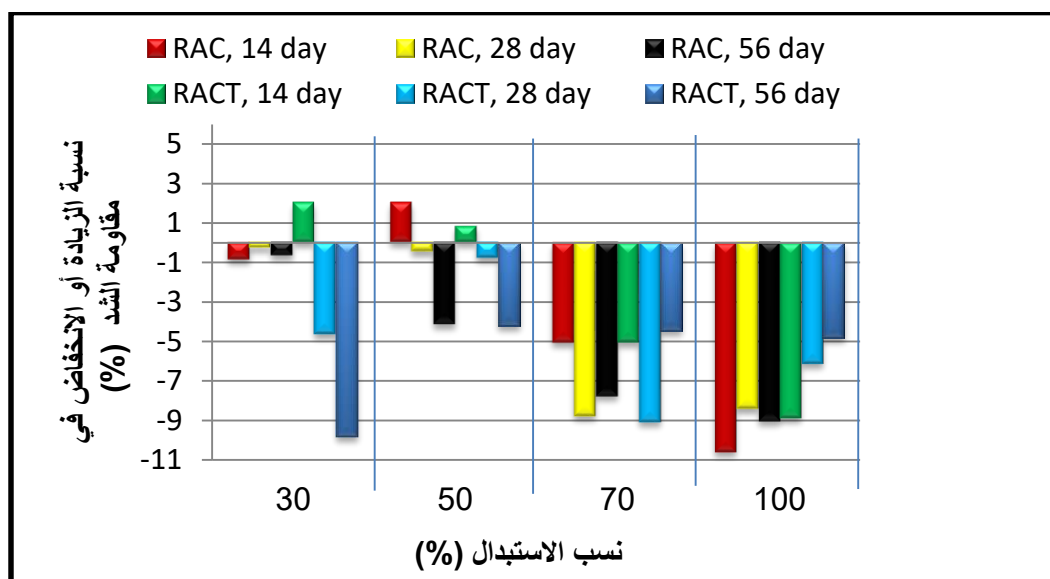
الخلطة	نسبة الاستبدال	مقاومة الشد (ميغا باسكال) للخرسانة (RAC)			مقاومة الشد (ميغا باسكال) للخرسانة (RACT)		
		عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم	عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم
CC- 0	0%	2.948	3.293	3.495	2.948	3.293	3.495
RC-30	30%	2.922	3.283	3.471	3.008	3.140	3.152
RC-50	50%	3.008	3.277	3.350	2.972	3.266	3.348
RC-70	70%	2.798	3.005	3.224	2.799	2.995	--
RC-100	100%	2.635	3.017	3.180	2.687	3.091	3.327
الخلطة	نسبة الاستبدال	نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخلطة المرجعية (%) للخرسانة (RAC)			نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخلطة المرجعية (%) للخرسانة (RACT)		
		عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم	عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم
CC- 0	0%	--	--	--	--	--	--
RC-30	30%	-0.882	-0.304	-0.687	+2.035	-4.646	-9.814
RC-50	50%	+2.035	-0.486	-4.149	+0.814	-0.820	-4.206
RC-70	70%	-5.088	-8.746	-7.754	-5.054	-9.050	--
RC-100	100%	-10.62	-8.381	-9.013	-8.853	-6.134	-4.807

من الشكل (8) نلاحظ أنه لا يوجد فرق كبير يذكر بين استخدام الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج عند أغلب الخلطات باستثناء نسب الاستبدال 100% فقد أظهر استخدام (RCAT) نتائج أفضل

بالمقارنة مع (RCA) بعد 56 يوم، كما يتضح أيضاً أن انخفاض المقاومة عند استخدام الركام المعاد تدويره المعالج والغير المعالج لم يكن كبير ولا يتجاوز 5% عند استخدام نسبة استبدال تصل 50% من (RCA)، واستخدام نسبة استبدال تصل 100% من (RCAT) عند عمر متأخر.



الشكل 7: مقارنة بين مقاومة الضغط للخرسانة (RAC)، والخرسانة (RACT) مع الخرسانة المرجعية (CC).



الشكل 8: نسبة الزيادة أو النقصان في مقاومة الشد للخرسانة (RAC)، والخرسانة (RACT) بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية (CC).

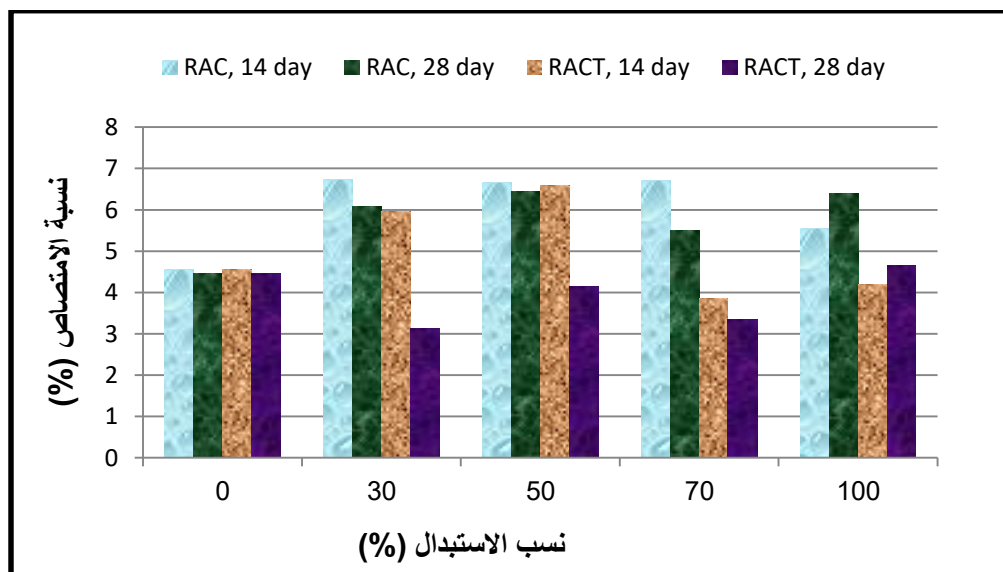
تأثير الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج على نسبة امتصاص الماء بالغمر نظافة وجودة الركام المعاد تدويره تلعب دوراً رئيسياً في التأثير على نسبة امتصاص الماء للخرسانة المصنوعة منه [10، 34، 35]، فالنتائج المبينة بالجدول (6) تؤكد مدى صحة ذلك. من خلال مقارنة نتائج اختبار نسبة امتصاص الماء للخرسانة الحاوية على الركام المعاد تدويره المعالج و الغير معالج بنسب استبدال بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) مع نتائج الخرسانة المرجعية

(CC) عند الأعمار 14، 28 يوم. بينت النتائج المتحصل عليها أن قدرة الخرسانة (RAC) على امتصاص الماء تزداد مع زيادة نسب الاستبدال.

الجدول 6: نتائج اختبار امتصاص الماء لخرسانة الركام غير المعالج (RAC) وخرسانة الركام المعالج (RACT) مع الخلطة المرجعية (CC).

نسبة الامتصاص (%) للخرسانة (RACT)		نسبة الامتصاص (%) للخرسانة (RAC)		نسبة الاستبدال	الخلطة
عند 28 يوم	عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 14 يوم		
4.460	4.565	4.460	4.565	%0	CC- 0
3.120	5.964	6.089	6.740	%30	RC-30
4.145	6.590	6.455	6.670	%50	RC-50
3.35	3.860	5.500	6.710	%70	RC-70
4.640	4.185	6.381	5.550	%100	RC-100

فعند استخدام، بنسب الاستبدال المذكورة سابقاً لوحظ زيادة بمعدل 2.105، %2.175، 985% على التوالي عند العمر 14 يوم، وزيادة بمعدل 1.629، %1.995، %1.04، 1.921% على التوالي عند العمر 28 يوم بالمقارنة مع خرسانة الركام الطبيعي (CC)، وهذا بسبب المسامية العالية ووجود بقايا المونة الإسمنتية القديمة على سطحه، يتطابق هذا مع دراسة الباحثون. أما عند استخدام الركام المعاد تدويره المعالج كيميائياً عن طريق النقع في حمض الهيدروكلوريك لمدة 24 ساعة كان التأثير إيجابياً على هذه الخاصية وانخفضت نسبة الامتصاص للماء بمعدل 0.776، %0.110، 2.850%، 1.365% على التوالي عند العمر 14 يوم، و بمعدل 1.741، %2.15، %2.31، 2.969% على التوالي عند العمر 28 يوم بالمقارنة مع خرسانة الركام المعاد تدويره الغير معالج (RAC) كما هو موضح بالشكل (9). وهذا ما يتفق مع نتائج دراسة تم فيها معالجة الركام المعاد تدويره عن طريق النقع في حمض الكبريتيك [24-28].



الشكل 9: مقارنة بين نسبة امتصاص الماء للخرسانة (RAC)، والخرسانة (RACT) مع الخرسانة المرجعية (CC).

الاستنتاجات والتوصيات

استناداً إلى نتائج البحث يمكن استخلاص النقاط التالية:

- بزيادة نسبة الركام المعاد تدويره في الخلطة تقل قابلية التشغيل للخرسانة (RAC)، والخرسانة (RACT) بنسبة كبيرة. مع ذلك الخلطات المحتوية على (RCAT) أعطت نتائج أفضل من الخلطة المحتوية على الركام (RCA). وللتغلب على هذه المشكلة يمكن استخدام ملدنات فائقة الأداء.
- تزداد مقاومة الضغط والشد لجميع الخلطات مع زيادة العمر، مع ذلك عند استخدام الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج تنخفض المقاومة تدريجياً مع زيادة نسبة الاستبدال.
- الانخفاض في مقاومة الضغط والشد لم يكن كبير ولا يتجاوز 3%، 5% على التوالي عند استخدام (RCA) بنسبة استبدال تصل حتى 50%، وبنسبة استبدال تصل حتى 70% عند استخدام (RCAT) كبديل عن الركام الطبيعي (NA).
- زيادة ملحوظة في القدرة على امتصاص الماء للخرسانة المحتوية على الركام المعاد تدويره الغير معالج (RAC)، وانخفضت للخرسانة المحتوية على الركام المعاد تدويره المعالج (RACT) في جميع نسب الاستبدال.
- نظافة وجودة الركام المعاد تدويره لها دور أساسي في انخفاض خواص الخرسانة المنتجة منه، فوجود المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطحه تسببت في زيادة نسبة امتصاص الماء وضعف قوة الترابط بين الركام المعاد تدويره والمونة الإسمنتية الجديدة.
- معالجة الركام المعاد تدويره عن طريق النقع في حمض الهيدروكليك ساهمت في تضعيف وجود الملاط المرتبط بالركام (RCA) وبالتالي حسنت خواص الخرسانة المنتجة منه، لكن ليس بصورة الملحوظة لعله يرجع ذلك لتركيز الحمض.
- يمكن استخدام نسبة تصل إلى 50% من الركام الخشن المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي من غير معالجة، واستخدام نسبة تصل 70% من الركام الخشن المعاد تدويره بعد المعالجة من أجل التماسي مع مواصفات جيدة للخرسانة (RAC) قريبة من الخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي (CC).
- نوصي بإجراء المزيد من الأبحاث والدراسات لتحسين سلوك هذا النوع من الخرسانة عن طريق استخدام إضافات كالألياف، والمواد البوزلانية وغيرها.
- بناءً على نتائج هذه الدراسة ننصح بتدوير المخلفات الخرسانية في ليبيا واستخدامها مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة بدلاً من نقلها إلى أماكن الطمر، حيث توجد كميات كبيرة من مخلفات البناء الناتجة عن الحروب.

المراجع

- [1] Y. Zhang, W. Luo, J. Wang, Y. Wang, Y. Xu, J. Xiao. "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 بشارت مقل "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] أحمد جميل إبراهيم " خواص الركام المعاد تصنيعه من الخرسانة " جامعة عمر المختار – كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية، المختار للعلوم العدد الخامس والعشرون، (2010)، 77.
- [6] S. Kazmi, M. Munir, Y. Wu, I. Patnaikuni, Y. Zhou, F. Xing "Effect of recycled aggregate treatment techniques on the durability of concrete: A comparative evaluation" *Construction and Building Materials* 264 (2020) 120284.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] د. قاسم الزحيلي. ط. تماضر مقل " دراسة تجريبية على الخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره " مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية. المجلد (3)، العدد (4)، (2014)، 256-255.
- [11] 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)، 874-851.
- [12] K. 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.
- [13] M.C. Limbachiya, T. Leelawat, & R.K. Dhir, (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. *Materials and Structures*, 33, 574–580.
- [14] S. 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.
- [15] J.M.V. Gomez-Soberon, "Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate - an experimental study." *Cement and Concrete Research*, (2002) 32: 1301-1311.
- [16] S.B. Huda, M.S. Islam, E. Slater, and M.S. Alam, "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.
- [17] M.B. Leite, J.G. Figueire do Filho, and P.R.L Lima, "Workability study of concretes made with recycled mortar aggregate." *Materials and Structures*, (2013) 46: 1765-1778.
- [18] C.S. Poon, Z.H. Shui, L. Lam, H. Fok, and S.C. Kou, "Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete." *Cement and Concrete Research*, (2004) 34: 31-36.
- [19] R. Nassar, and p. Soroushian, "Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement." *Construction and Building Materials*, (2012), 29: 368-377.
- [20] G. Murali, C.M. Vivek, G. Rajan, N. Janani, "Experimental Study On Recycled Aggregate Concrete". *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol 2, 2012, 407 -410.

- [21] M. Malesev, V. Radonjanin, S. Marinkovic, "Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production Sustainability", Vol. 2, (2010), 1204-1225.
- [22] P. Zhu, Y. Hao, H. Liu, D. Wei, S. Liu, L. Gu "Durability evaluation of three generations of 100% repeatedly recycled coarse aggregate concrete" *Construction and Building Materials* 210 (2019) 442-450.
- [23] F. R. salehlamein, Mochamad .Solikin, Ir.sriSunarjono. " Effect of Recycled Coarse Aggregate on Concrete Properties". *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Issn(Online): 2319-8753, Issn(Print): 2347-6710 Vol. 4, (2015), 19060-19067.
- [24] R. Purushothaman, R. R. Amirthavalli, and L. Karan "Influence of Treatment Methods on the Strength and Performance Characteristics of Recycled Aggregate Concrete" *American Society of Civil Engineers*, 27(5):04014168, (2015), 3-6.
- [25] M. Ashraf, Wagih, Z. Hossam, El-Karmoty, M. Ebid, H. Samir, Okba "Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete " *HBRC Journal* (2013) 9, 193-200.
- [26] C. Thomas, J. Setién, J.A. Polanco, P. Alaejos, M. Sánchez de Juan "Durability of recycled aggregate concrete" *Construction and Building Materials* 40 (2013) 1054–1065 .
- [27] M. Etxeberria, E. Vázquez, A. Marí, M. Barra, "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.
- [28] B. Manoj, and P. Saravanakumar, "Effect of Sulfuric Acid Treated Recycled Aggregates on Properties of Concrete" *International Journal of ChemTech Research*, Vol.8, (2015), pp 476-482
- [29] C.S. Poon, S.C. Kou, and L. Lam, 2002. " Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks." *Construction and Building Materials*, 16(5): 281-289.
- [30] S. Paul, "Mechanical Behaviour And Durability Performance of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate". *Master's Thesis .The Department of Civil Engineering of the University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa*, (2011), 128.
- [31] N. Oikonomou, "Recycled Concrete Aggregates". *Cement and Concrete Composites*, Vol27, (2005), 315-318.
- [32] S. P. Arredondo-Re , R. Corral-Higuera, J. M. Gómez-Soberón , D. C. Gámez-García, J. M. Bernal-Camacho, C. A. Rosas-Casarez and M. J. Ungsson-Nieblas. " Durability Parameters of Reinforced Recycled Aggregate Concrete: Case Study" *Applied Sciences*, 9,617; doi:10.3390/app9040617.(2019), 7-12
- [33] A. Shrimali, S. Digvijay, Chauhan, Dr. T. Gupta and Dr. Ravi K. Sharma. " Behavior of Concrete Utilizing Recycled Aggregate - A Review" *Issn: 2248-9622*, Vol. 7, (2017), 72-79.
- [34] P. Savva, S. Ioannou, K. Oikonomopoulou, D. Nicolaides and M. F. Petrou "A Mechanical Treatment Method for Recycled Aggregates and Its Effect on Recycled Aggregate-Based Concrete" *Materials* 2021, 14, 2186. <https://doi.org/10.3390/ma14092186>
- [35] D.G. Montgomery, "Workability and compressive strength properties of concrete containing recycled concrete aggregate". *Sustainable Construction*, (1998), 287-296.
- [36] H. K. A. Al-Bayati, L. Susan, Tighe "Utilizing a Different Technique for Improving Micro and Macro Characteristics of Coarse Recycled Concrete Aggregate" *Paper*

prepared for presentation at the Green Technology, Transportation Association of Canada, (2016), 15-16.

- [37] W.Y. Vivian, C.M. Tam, K.N.Le. Tam, "Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches" *Resources, Conservation and Recycling* 50, (2007), 82-101.
- [38] H. Shrinath, B. Kumar, Avinash, Sumit, L. Vinodkumar, "Influence of Treatment Methods on Recycled Aggregate Concrete made with Recycled Coarse Aggregate" *International Journal of Scientific Development and Research*, Vol. 1, (2016), 840-841.
- [39] B. Getahun "Evaluation of Recycled Aggregate for Using in Structural Concrete" September, A thesis submitted, Addis Ababa Science and Technology University College of architecture and civil engineering School of postgraduate studies, (2017), 27-35.
- [40] L. Wang, J. Wang , X. Qian, P. Chen, Y. Xu, J. Guo, "Influence of Surface Treatment of Recycled Aggregates on Mechanical Properties and Bond Strength of Self-Compacting Concrete" *sustainability*, doi:10.3390/su11154182, (2019), 7-11.
- [41] W. Tang, M. Khavarian, A. Yousefi, Ricky W. K. Chan and H. Cui "Influence of Surface Treatment of Recycled Aggregates on Mechanical Properties and Bond Strength of Self-Compacting Concrete" *sustainability*, doi:10.3390/su11154182, (2019), 7-11.
- [42] E. Guneyisi, M. Gesog˘lu, Z. Algin, H. Yazıcı "Effect of surface treatment methods on the properties of self-compacting concrete with recycled aggregates" *Construction and Building Materials* 64 (2014) 172-183.
- [43] المواصفة القياسية الليبية (2002). ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية: طريقة إجراء التحليل المنخلي رقم (49).
- [44] ACI Education Bulletin E1-07, Aggregates for Concrete, American Concrete Institute (2007).
- [45] C. Gao, L. Huang, L. Yan, R. Jin, H. Chen, "Mechanical properties of recycled aggregate concrete modified by nano-particles", *Construction and Building Materials* 241 (2020) 118030.
- [46] B.Naga N. Kumar, S. Sudheer kumar, V.Divya" Bearing Strength of Recycled Aggregate Fiber Reinforced Concrete" *Global Journal For Research Analysis*, Vol 6 (2017), 572-573.
- [47] B. Ali, L. A. Quresh. " Durability of recycled aggregate concrete modified with sugarcane molasses" *Construction and Building Materials* 229 (2019) 116913.
- [48] S. Kou, C. Poon, F. Agrela "Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures" *Cement and Concrete Composites* 33 (2011) 788-795.
- [49] A. Barbudo, J. De Brito, L. Evangelista, M. Bravo, F. Agrela. "Influence of water-reducing admixtures on the mechanical performance of recycled concrete" *Journal of Cleaner Production* xxx (2013) 1-6.
- [50] K. Kim, M. Shin, S. Cha " Combined effects of recycled aggregate and fly ash towards concrete sustainability" *Construction and Building Materials* 48 (2013) 499-507.
- [51] V. P. Kukadia "Influence of Aggregate's Treatment on Properties of Recycled Aggregate Concrete" *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, Volume 8, (2017), pp. 351-361.