

دراسة معملية عن تأثير استخدام الركام المعاد تدويره على مقاومة الضغط والشد للخرسانة

د. محمد العربي المحروق
جامعة صبراتة، قسم الهندسة
المدنية، صبراتة، ليبيا
mhmdmahroug2020@gmail.com

أ.د. نوري محمد الباشا
جامعة صبراتة، قسم الهندسة المدنية،
صبراتة، ليبيا
nelbasha@sub.edu.ly

م. عبدالمنعم سالم طرنية
جامعة صبراتة، قسم الهندسة المدنية،
صبراتة، ليبيا
munem2426@gmail.com

أن أحر الإحصائيات تشير أن تلك المخلفات ينتهي بها المطاف إلى مدافن النفايات بالإضافة إلى الكميات الكبيرة التي يتم إلحاقها بطريقة غير مشروعة في مصبات الوديان والأراضي الزراعية، وهي مخلفات تحتوي على مادة الإسمنت وبالإضافة إلى ذلك تحتوي أيضاً على عناصر كيميائية مثل أكاسيد الكالسيوم والتي تصل نسبتها إلى 80% حسب نوع الإسمنت وهي نسبياً تكون أكاسيد حية غير مطفاة 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 موصافها الصالحة للاستخدام [4]. بذلك يتضح حجم الأثر البيئي التي تمثلها 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، حيث جاءت هذه الفكرة 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 (RA) 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، فاستخدامه أصبح سياسة تعتمدها وتركز عليها كثير من الدول المتقدمة وتعتبر هولندا والدنمارك من الدول الرائدة في ذلك [8-10]. على الرغم من أن العديد من دول العالم تشجع على استخدام تدوير المخلفات في البناء الجديد، إلا أن بعض الدول النامية لم تعط هذه القضية الاهتمام الكافي لها ولا توجد أي مؤسسة مختصة تعنى بإدارة النفايات الصناعية الصلبة وذلك لأن الأجهزة المحلية في هذه الدول تقتصر على تنظيف الشوارع ونقل المخلفات السكنية فينتهي بها المطاف بالتكدس في 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)، فتوصل الكثير من الباحثين إلى أن الركام المعاد تدويره (RA) يختلف عن الركام الطبيعي (NA) بنواح عدة، أهمها أن الركام (RA) له كثافة أقل بنسبة تتراوح بين (7-9)% من كثافة الركام (NA) [12، 13]، بينما قدرته على امتصاص الماء أعلى من الركام (NA) بنسبة تتراوح بين (4-7)% [12-13]، كما أن له وزن نوعي يتراوح بين 2.40-2.46 ويقل بنسبة من (7.2-9.4)% عن الوزن النوعي للركام (NA) [5، 14، 19]. إن الاختلاف في خواص الركام المعاد تدويره (RA) سببه وجود بقايا المونة الإسمنتية القديمة الملتصقة بسطحه فجعلت منه ركام ذو قدرة عالية على الاتصاف 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 الاتصاف للخرسانة (RAC)

المخلص-إن استخدام الركام المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي الناعم أو الخشن في الهياكل الخرسانية، تعتبر طريقة واعدة للتغلب على استنفاد الموارد الطبيعية والتلوث البيئي الناتج عن تكديس المخلفات الخرسانية في الأراضي الزراعية ومكبات الوديان، كما يوفر لنا خياراً عملياً بديلاً في الوقت الحاضر، لأنه يحقق مبدأ الاستدامة، والذي له انعكاساته الإيجابية على التكاليف بشتى أنواعها. تم في هذا البحث استخدام ركام خشن معاد تدويره ناتج من إعادة تدوير مخلفات خرسانية من مباني مدمرة في ليبيا، واستخدامه بنسب استبدال مختلفة بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) كبديل عن الركام الطبيعي (NA) في إنتاج خرسانة جديدة. استخدم في هذه الدراسة نوعين من الركام المعاد تدويره، وذلك لدراسة مدى التأثير على مقاومة الضغط والشد للخرسانة المنتجة منهم. كمرحلة أولى تم استخدام الركام المعاد تدويره (RA) دون إجراء أي تعديل عليه في إنتاج الخرسانة (RAC)، والمرحلة الثانية تم فيها استخدام الركام المعاد تدويره المعالج (RAT) باستخدام تقنية الغمر في حمض الهيدروكلوريك المخفف (HCL) كمحاولة للتنظيف وإزالة المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطحه وذلك لإنتاج الخرسانة (RACT). النتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى أن مقاومة الضغط والشد للخرسانة (RAC) تتناقص كلما زادت نسبة الركام (RA) في الخلطة بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية (CC)، بينما لوحظ تحسن طفيف في النتائج عند استخدام الركام (RAT) المعالج كيميائياً. مع ذلك تشير النتائج إلى إمكانية قبول نسبة استبدال تصل حتى 50% من الركام (RA) في صناعة خرسانة صديقة للبيئة من أجل التماسك مع مواصفات جيدة للخرسانة، في حين يمكن الاعتماد على نسبة 70% من الركام (RAT) لإنتاج الخرسانة، مع مراعاة كمية المواد الداخلة في الخلطة. بناءً على نتائج هذه الدراسة نصح بإعادة تدوير المخلفات الخرسانية في ليبيا، واستخدامها مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة بدلاً من نقلها إلى أماكن الطمر أو تكديسها على جوانب الطرقات ومداخل المدن، حيث توجد كميات كبيرة من مخلفات البناء الناتجة عن الحروب.

1. المقدمة

إن استخدام الخرسانة في صناعة البناء يتزايد يوماً بعد يوم إذ تعتبر من أكثر مواد البناء استخداماً على الإطلاق في جميع أنحاء العالم للمميزات الكثيرة التي تتمتع بها، الأمر الذي سيؤدي إلى تزايد كميات كبيرة من النفايات الخرسانية الناتجة عن الهدم ومخلفات الحروب والذي أصبح تحدياً جديداً للبيئة والمجتمع، حيث تشير التقديرات إلى أن النفايات الخرسانية تبلغ حوالي 850 مليون طن سنوياً في أوروبا [1، 2]، وأن 65% من مخلفات هدم الأبنية هي عبارة عن ركام خشن (حصى) [3].

استلمت الورقة بالكامل في 30 أكتوبر 2021 وروجعت في 11 نوفمبر 2021 وقبلت للنشر في 6 نوفمبر 2021،

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 18 نوفمبر 2021.

إن إعادة التدوير هي عملية بسيطة نسبياً وتشبه في سلوكها طريقة تكسير الركام الطبيعي، حيث تم في هذه الدراسة إعادة تدوير كمية من المخلفات الخرسانية، وذلك عن طريق أخذ عينات خرسانية بأحجام مختلفة تراوحت ما بين (10-40) سم من أكثر من مبنى عشوائي مدمر، وتم بعد ذلك نقل المخلفات إلى شركة تكسير في منطقة وادي الحي (شركة السندان الذهبي) ليتم تدويرها بواسطة استخدام آلات ميكانيكية خاصة (الكسارات) موضحة بالشكل (1).



الشكل (1): آلات ميكانيكية (كسارات الحجاره).

فيعد إدخالها في الكسارة تمت عملية إعادة التدوير لهذه المخلفات وأخذت نتيجة التدوير إلى المعمل، وهي عبارة عن ركام معاد تدويره ناعم، وركام خشن عبارة عن خرسانة مفتتة تتكون من شظايا ركام مغلفة بعجينة الإسمنت القديمة (الملاط)، وبأحجام مختلفة ذات مقاس (0.5، 1، 1.5) سم كما موضح ذلك بالشكل (2).



الشكل (2): حبيبات الركام المتحصل عليها من تكسير مخلفات الخرسانة (الركام المعاد تدويره).

□ المرحلة الأولى: تم استخدام الركام الخشن المعاد تدويره مباشرة دون إجراء أي تعديل عليه (RA) لإنتاج خرسانة جديدة ودراسة مدى تأثيره على خواص الخرسانة المنتجة من (RA).

□ المرحلة الثانية: تم في هذه المرحلة معالجة الركام المعاد تدويره كيميائياً (RAT) كمحاولة لتنظيفه من بقايا المونة الإسمنتية القديمة الملتصقة على سطحه، وذلك عن طريق نقعه في حمض الهيدروكلوريك (HCL) لمدة 24-ساعة، بعد تخفيفه بالماء المقطر إلى تركيز 16.5%. بعد ذلك تم غسله وشطفه جيداً بالماء لتنظيفه من أثر الحمض، وغمره في الماء المقطر حتى التشبع للتخلص من وجود المذيب الحمضي، ومن ثم استخدامه في إنتاج خرسانة جديدة ودراسة مدى تأثيره على هذا النوع من الخرسانة (RACT).

بعد تصميم الخلطة المرجعية المحتوية على الركام الطبيعي (CC)، اشتملت هذه الدراسة على مجموعتين من الخلطات تم فيها استخدام المواد بنفس كميات الخلطة المرجعية، حيث كان الركام هو المتغير كما موضح في الجدول (1). نتيجة لذلك فإن الخلطات (RC-30، RC-50، RC-70، RC-100) قد احتوت على نسب الاستبدال بالوزن (30%، 50%، 75%، 100%) من الركام المعاد تدويره المعالج والغير المعالج كبديل عن الركام الطبيعي (NA). المجموعة الأولى احتوت على أربع خلطات تم فيها استخدام الركام المعاد تدويره (RA) بعد الحصول عليه مباشرة من عملية إعادة التدوير دون إجراء أي تعديل عليه، أما المجموعة الثانية قد استخدم الركام المعاد تدويره المعالج بواسطة حمض الهيدروكلوريك المخفف (HCL) كبديل عن الركام الطبيعي (NA). وقد تمت عملية

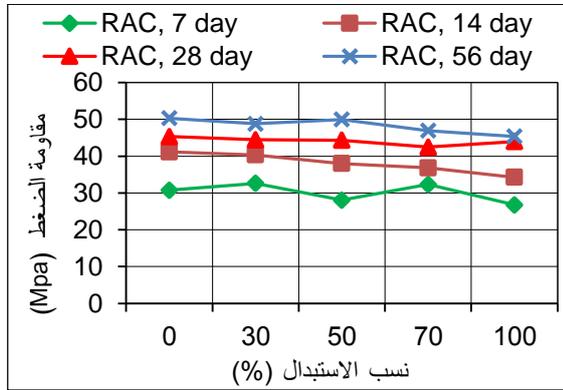
بنسبة تتراوح بين (6.2-8.4)% وهو ما يمثل زيادة تصل إلى 35% عن خرسانة الركام الطبيعي (NAC) [26]. الخواص الميكانيكية للخرسانة (RAC) تتأثر سلباً مع زيادة محتوى الركام (RA) في الخلطة فعند استخدامه بنسبة استبدال كاملة تنخفض مقاومة الضغط بنسبة (20-25)% [27، 28]، ويكون الانخفاض في مقاومة الشد بنسبة من (10.8-20)% [14، 15، 28]، وفي مقاومة الانحناء بنسبة 13% بالمقارنة مع الخرسانة (NAC) [14، 29]. مع ذلك فإن استخدامه بنسبة استبدال تصل حتى 30% في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة (RAC) يكون لها أداء وخواص مماثلة للخرسانة الأصلية (NAC) [30-33]. إن جودة الركام المعاد تدويره ونظافة سطحه ومصدره عامل مهم جداً ويؤثر بشكل كبير على جودة الخرسانة المنتجة منه، فالركام الأكثر نظافة يعطي خرسانة بجودة أعلى [10، 34، 35]. أوضحت العديد من الدراسات أن معالجة الركام المعاد تدويره كمحاولة للتخلص من الملاط المرتبط بسطحه، يمكن أن تؤدي إلى تنظيفه وتحسين جودته باستخدام عدة طرق مختلفة وبالتالي الحصول على خرسانة ذات مواصفات جيدة [24]، [36-39]. فإخضاع حبيبات الركام المعاد تدويره إلى التسخين والطحن والغزلة قبل استخدامه ساهم في انخفاض قدرته على امتصاص الماء بنسبة (23.64-48.83)% مقارنة مع الركام (RA) الغير معالج [24، 28]، كما أنتج خرسانة لها مقاومة تصل إلى 96% من خرسانة الركام الطبيعي [24]، وتزيد بنسبة 22.34% عن خرسانة الركام (RA) الغير معالج [38]. بالإضافة إلى ذلك فإن عمر الركام (RA) قبل استخدامه في أحماض كيميائية كحمض (الهيدروكلوريك، الكبريتيك، الخليك) 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 المصنعة من الركام المعالج كيميائياً بالغمر في حمض الهيدروكلوريك وحمض الكبريتيك زيادة في المقاومة بنسبة تراوحت بين (90-95)% من خرسانة الركام الطبيعي [24]، وزادت بنسبة 34.07% عن خرسانة الركام (RA) 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 (RA) 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. ونظراً إلى انخفاض الموارد الإجمالية الطبيعية والزيادة في توليد النفايات الخرسانية، جعل منه موضوع بحث واهتمام لدى العديد من الباحثين. ولأن إعادة التدوير واحدة من أفضل الطرق بالنسبة لدولة نامية مثل ليبيا للحصول على تأثير إيجابي، وخياراً عملياً بديلاً في الوقت الحاضر، لأنها مدخل من مداخل الاستدامة ولها انعكاساتها الإيجابية على التكاليف بشتى أنواعها. 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 منها.

2. أهمية الدراسة

تعتبر الخرسانة في ليبيا من مواد البناء الأكثر استخداماً، وبالتالي فإن مخلفات المباني الناتجة عن الهدم والحروب في ظل الظروف الراهنة، نتج عنه كم هائل من النفايات الخرسانية التي يجب العمل على الاستفادة منها، حتى يتحقق بذلك النفع البيئي والاقتصادي والاجتماعي معاً. ويتم ذلك من خلال إجراء أبحاث علمية معملية تبين مدى إمكانية الاستفادة من هذه النفايات، واستغلالها بالشكل المفيد والصحيح. وبالتالي تتوفر بيانات ومعلومات قد تشجع الحكومة مستقبلاً على تقديم التسهيلات والتجهيزات اللازمة لاستخدام الركام المنتج من تدوير مخلفات الخرسانة مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة. وذلك لتوفير خياراً عملياً بديلاً في الوقت الحاضر، لأنه يحقق مبدأ الاستدامة، والذي له انعكاساته الإيجابية على التكاليف بشتى أنواعها. جاءت هذه الدراسة من أجل معرفة تأثير استخدام الركام المعاد تدويره على مقاومة الضغط والشد.

3. البرنامج العملي

النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة أن مقاومة الضغط للخرسانة تزداد بزيادة العمر، وانخفاض المقاومة عند استخدام الركام المعاد تدويره الغير معالج لم يتجاوز 3% عند نسب استبدال تصل حتى 50% من (RA) عند الأعمار 28، 56 يوم كما يظهر ذلك في الشكل (3). فقد يعزى ذلك السبب إلى زيادة كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية والذي له دور كبير في التأثير على مقاومة الضغط لهذا النوع من الخرسانة. وهذا ما يتطابق مع نتائج دراسة سابقة أكدت أنه يجب أن تزداد كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية بنسبة 4-10% لتحقيق نسب استبدال الركام المعاد تدويره من (50-100)% لإنتاج خلطة مشابهة للخرسانة المرجعية [27].



الشكل (3): تأثير الركام المعاد تدويره (الغير معالج) (RAC) على مقاومة الضغط عند الأعمار 7، 14، 28، 56 يوم.

2.1.4 تأثير استخدام الركام المعاد تدويره (المعالج) (RAT) على مقاومة الضغط:

من النتائج الموضحة في الجدول (3)، نلاحظ أن مقاومة الخرسانة المرجعية كانت أعلى من مقاومة الخرسانة المحتوية على الركام المعاد تدويره المعالج، وتقل تدريجياً مع زيادة نسبة استبدال (NA) بالركام (RAT) عند الأعمار 14، 28، 56 يوم.

الجدول (3): نتائج اختبار مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (المعالج) (RAT) عند الأعمار 7، 14، 28، 56 يوم مع خرسانة الركام الطبيعي (CC).

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقاومة الضغط (MPa) للخرسانة (RAT) ونسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخرسانة المرجعية (%).			
		7 أيام	14 يوم	28 يوم	56 يوم
CC-0	0%	30.76	41.16	45.33	50.30
	30%	32.62	40.31	44.44	48.80
RC-30	50%	28.04	37.99	44.30	49.96
	70%	32.29	36.80	42.43	46.91
RC-50	70%	32.29	36.80	42.43	46.91
	100%	26.75	34.24	43.95	45.36
RC-70	70%	32.29	36.80	42.43	46.91
	100%	26.75	34.24	43.95	45.36
RC-100	70%	32.29	36.80	42.43	46.91
	100%	26.75	34.24	43.95	45.36

عند عمر 7 أيام سجلت مقاومة الضغط للخرسانة المرجعية عند 30.76MPa بزيادة 8.39% عند نسب استبدال تصل 70% للخرسانة (RAT). يعزى سبب الزيادة مدى فاعلية حمض الهيدروكلوريك في تخفيف المونة الإسمنتية القديمة وجعل التماسك جيداً مع المونة الإسمنتية الجديدة خاصة مع محتوى الإسمنت العالي في الخلطة والذي ينتج عنه حرارة عالية تعجل في عملية التميؤ. كما لوحظ أيضاً أن مقاومة الضغط لجميع الخلطات تزداد بزيادة فترة المعالجة في الماء، وأن الخلطة المرجعية سجلت أعلى قيم لمقاومة الضغط (41.14MPa، 45.33MPa، 50.33MPa) عند عمر 14، 28، 56 يوم على التوالي. فعند استخدام نسبة الاستبدال 30% ومن خلال المنحنيات الموضحة بالشكل (4) كانت قيم مقاومة الضغط للخرسانة (RACs) قريبة جداً من مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (CC)، حيث سجلت قيم (49.02MPa، 44.63MPa، 40.76MPa) على التوالي. من جانب آخر، وعند نسب الاستبدال (50%، 70%، 100%) انخفضت مقاومة الضغط بنسبة تراوحت في حدود (2-9)% بعد 14 يوم، (-1-4)% بعد 28 يوم و(10-2)% بعد 56 يوم فقد يكون هذا الانخفاض ناتج

الخلط باستخدام خلاطة كهربائية نظيفة السطح الداخلي وذلك بعد ترطيبها بالماء وتجفيفها حتى لا يحدث فقد في مياه الخلط، حيث أجريت هذه العملية بخلط المواد الجافة أولاً ثم يليها إضافة الماء تدريجياً. والجدول (1) يبين مكونات الخلطة بالوزن مع نسب الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج.

الجدول (1): مكونات الخلطات الخرسانية (CC)، (RAC)، (RAC) في المتر المكعب.

الخلطة	الإسمنت (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	450	225	0.5	640	770	330
RC-50	450	225	0.5	640	550	550
RC-70	450	225	0.5	640	330	770
RC-100	450	225	0.5	640	0	1100

4. النتائج والمناقشة

1.4 مقاومة الضغط:

1.1.4 تأثير استخدام الركام المعاد تدويره (الغير معالج) (RAC) على مقاومة الضغط:

قيم مقاومة الضغط المتحصل عليها معملياً للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره الغير معالج (RAC)، بدلاً عن استخدام الركام الطبيعي بنسب استبدال بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) تمت مقارنتها مع نتائج خرسانة الركام الطبيعي (CC) كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2): نتائج اختبار مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (الغير معالج) (RAC) عند الأعمار 7، 14، 28، 56 يوم مع خرسانة الركام الطبيعي (CC).

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقاومة الضغط (MPa) للخرسانة (RAC) ونسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخرسانة المرجعية (%).			
		7 أيام	14 يوم	28 يوم	56 يوم
CC-0	0%	30.76	41.16	45.33	50.30
	30%	32.62	40.31	44.44	48.80
RC-50	50%	28.04	37.99	44.30	49.96
	70%	32.29	36.80	42.43	46.91
RC-70	70%	32.29	36.80	42.43	46.91
	100%	26.75	34.24	43.95	45.36
RC-100	70%	32.29	36.80	42.43	46.91
	100%	26.75	34.24	43.95	45.36

لوحظ أن قيم مقاومة الضغط بعد مرور 7 أيام زادت عند استخدام نسب الاستبدال 30%، 70% بنسبة 6.05%، 4.97% على التوالي بالمقارنة مع خرسانة الركام الطبيعي، فقد يفسر ذلك إلى أن زيادة امتصاص الماء للركام المعاد تدويره ساعدت على سرعة تفاعلات الإماهة مع الإسمنت والحصول على مقاومة مبكرة. من جانب آخر، عند الإعمار 14، 28، 56 يوم فإن قيم المقاومة للعينة المرجعية كانت أكبر من قيم المقاومة للعينات التي تحتوي على نسب الاستبدال المختلفة المذكورة أعلاه (41.16MPa، 45.33MPa، 50.33MPa) على التوالي، وبعد استخدام الركام المعاد تدويره بنسب استبدال أكبر لوحظ انخفاض تدريجي في مقاومة الضغط، يرجع سبب ذلك إلى وجود بقايا المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطح الركام المعاد تدويره والذي أثر سلباً على جودة الركام، وبالتالي ضعفت قوى تماسك الركام مع المونة الإسمنتية الجديدة. أظهرت هذه النتائج والبيانات تشابهاً مع دراسات أخرى [14، 27، 43]، فبعد مرور 14 يوم وصلت مقاومة الضغط للخرسانة المرجعية (CC) إلى قيمة 41.16MPa في حين لوحظ انخفاض تدريجي في المقاومة عند زيادة نسبة (RA) في الخلطة الخرسانية (40.31MPa، 37.99MPa، 36.80MPa، 34.24MPa) على التوالي لنفس نسب الاستبدال المذكورة أعلاه، وبمعدلات انخفاض (2.07-11.95)%. الملاحظ أن استخدام نسبة استبدال 30% لم يكن لها تأثير يذكر على مقاومة الضغط، حيث كانت نسبة الانخفاض لا تتجاوز 1% عند هذا العمر وهذا ما يتفق مع عدة نتائج لدراسات سابقة [44-30]. أظهرت

على (RA) والركام المعاد تدويره كيميائياً (RAT) إذا ما تم تقليل كمية الإسمنت.

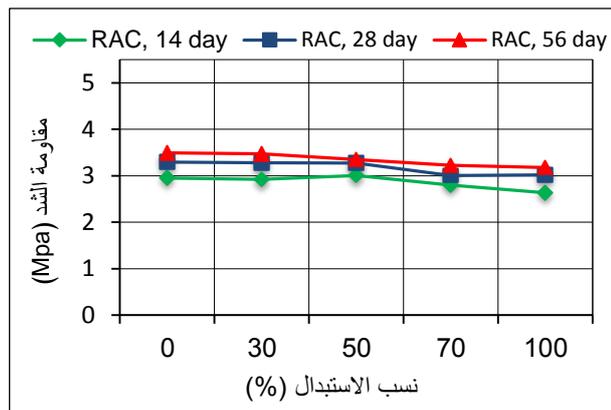
2.4. مقاومة الشد:

1.2.4. تأثير استخدام الركام المعاد تدويره (الغير معالج) (RA) على مقاومة الشد:

يتضح من النتائج المبينة بالجدول (4) 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 يتفق مع المرجع [45]. حيث وصلت المقاومة 3.293MPa للعيبة المرجعية عند العمر 28 يوم، ولم يكن هناك تأثير كبير يذكر 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). الشكل (5) يوضح تأثير الركام المعاد تدويره للخرسانة (RAC) على مقاومة الشد.

الجدول (4): نتائج اختبار مقاومة الشد للخرسانة المصنعة من الركام المعاد تدويره (الغير معالج) (RAC) عند الأعمار 14، 28، 56 يوم.

الخلطة	نسب الاستبدال	مقاومة الشد (MPa) للخرسانة (RAC) ونسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخرسانة المرجعية (%)		
		عند 14 يوم	عند 28 يوم	عند 56 يوم
CC-0	0%	2.948 %0.00	3.293 %0.00	3.495 %0.00
RC-30	30%	2.922 -0.882%	3.283 -0.304%	3.471 -0.687%
RC-50	50%	3.008 +2.035%	3.277 -0.486%	3.350 -4.149%
RC-70	70%	2.798 -5.088%	3.005 -8.746%	3.224 -7.754%
RC-100	100%	2.635 -10.62%	3.017 -8.381%	3.180 -9.013%



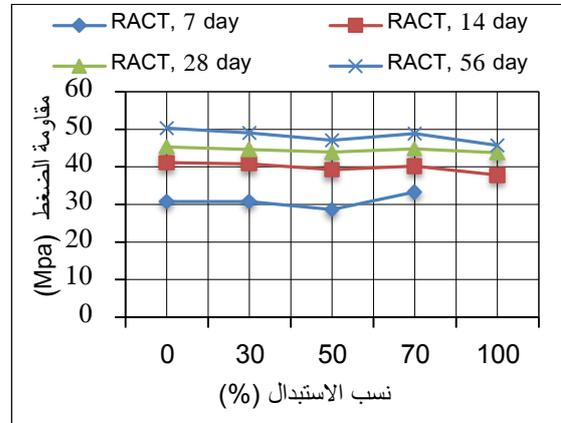
الشكل (5): تأثير الركام المعاد تدويره (الغير المعالج) (RAC) على مقاومة الشد عند الأعمار 14، 28، 56 يوم.

وعند 56 يوم زادت المقاومة إلى 3.495MPa للعيبة المرجعية، بينما كانت المقاومة (3.180MPa) للعينات المحتوية على (RA) بنسب استبدال (30%، 50%، 70%، 100%)، وبمعدلات انخفاض تساوي (0.687%، 4.149%، 7.754%، 9.013%) على التوالي.

2.2.4. تأثير استخدام الركام المعاد تدويره (RAT) على مقاومة الشد:

الجدول (5) يوضح مقارنة نتائج مقاومة الشد للخرسانة المحتوية على الركام المعاد تدويره (المعالج) (RAT) بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية (CC). الملاحظ أن المقاومة تزداد مع زيادة فترة المعالجة في جميع الخلطات، حيث أن مقاومة العينة المرجعية كانت أعلى من مقاومة الخرسانة (RAT) بجميع نسب الاستبدال المستخدمة في هذه الدراسة كما هو موضح بالشكل (6)، وتلك النتائج كانت متوافقة مع دراسات سابقة على تأثير استخدام الركام المعاد تدويره (المعالج) [45، 46]. ومن جهة أخرى، عند عمر 14، 28 يوم كانت المقاومة 2.948MPa

عن وجود بقايا من الملاط حتى بعد عملية المعالجة ويتركز عالي، وهذا ما أكدت عليه دراسة سابقة [24]. الملاحظ أن انخفاض المقاومة عند استخدام (RAT) لم يتجاوز 3% عند استخدام نسبة استبدال تصل حتى 70% في الخلطة عند الأعمار 14، 28، 56 يوم فقد يرجع السبب إلى ضعف وتقليل المونة الإسمنتية القديمة بواسطة حمض الهيدروكلوريك الذي زاد من قوى التماسك بين الركام والمونة الإسمنتية الجديدة خاصة مع محتوى الإسمنت العالي في الخلطة. وعلى العكس من ذلك وفي دراسة أخرى أجريت للبحث في تأثير استخدام الركام المعاد تدويره المعالج بحمض الخليك بنسبة استبدال كاملة، فإن مقاومة الضغط المسجلة كانت أعلى من الخرسانة الطبيعية بنسبة 25% [40].



الشكل (4): تأثير الركام المعاد تدويره (المعالج) (RAC) على مقاومة الضغط عند الأعمار 7، 14، 28، 56 يوم.

3.1.4. مقارنة بين تأثير استخدام الركام (RAT)، والركام (RA) 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 (2، 3) أن مقاومة الضغط للخرسانة المرجعية (CC) عند الأعمار 14، 28، 56 يوم كانت أعلى من مقاومة الضغط لخرسانة الركام المعالج (RAT)، وخرسانة الركام الغير معالج (RAC). وهذا بسبب وجود بقايا الإسمنت القديم المرتبط بسطح الركام

المعاد تدويره والذي أنتج عنه ضعف قوة الترابط بين الركام المعاد تدويره والمونة الإسمنتية الجديدة حتى بعد عملية المعالجة. من خلال نتائج البحث يتبين أن حمض الهيدروكلوريك لم يساهم في تنظيف وإزالة المونة الإسمنتية القديمة بالشكل المطلوب وهذا ما يتطابق مع نتائج دراسات سابقة [6، 24، 28]. نلاحظ أيضاً من الشكل (3، 4) إن استخدام (RAT) أعطى نتائج أفضل بالمقارنة مع استخدام (RA) كلما زاد العمر، وهذا نتيجة لتضعيف وتخفيف كمية المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطح الركام المعاد تدويره بواسطة المعالجة بحمض الهيدروكلوريك المخفف (HCL). فعند استخدام (RA) بنسبة الاستبدال 30% سجلت مقاومة الضغط قيم (48.80MPa ، 44.44MPa ، 40.31MPa) عند عمر 14، 28، 56 يوم على التوالي بينما ازدادت مقاومة الضغط بنسبة (1.12%، 0.43%، 0.45%) عند استخدام (RAT). من جانب آخر، كانت الزيادة بنسبة (9.185%، 5.54%، 4.20%) على التوالي عند استخدام نسبة الاستبدال 70% ومتقاربة جدا مع نتائج مقاومة الضغط للخرسانة عند نسبة استبدال 100% وهذه يتوافق مع دراسات سابقة [37، 38]. من خلال النتائج، عند عمر 7 أيام لوحظ إن مقاومة الضغط للخرسانة عند استخدام (RA) و(RAT) كانت أعلى من الخرسانة المرجعية (CC) في بعض نسب الاستبدال كما هو موضح بالشكل (3، 4) وذلك نظراً لزيادة قدرة الركام المعاد تدويره على امتصاص الماء مما ساعد على سرعة تفاعلات الإماهة مع الإسمنت وبالتالي أعطت مقاومة مبكرة خصوصاً مع الزيادة في كمية الإسمنت في الخلطة. لوحظ من خلال النتائج الأولية التقارب في قيم مقاومة الضغط للخرسانة باستخدام (RA) و(RAT). وعلى العكس من ذلك، احتمالية وجود اختلاف في نتائج مقاومة الضغط عند استخدام الركام المعاد تدويره دون إجراء أي تعديل

5. الخلاصة والتوصيات

من خلال نتائج هذه الدراسة تبين أن معالجة الركام المعاد تدويره عن طريق النقع في حمض الهيدروكلوريك لم تعطي نتائج بالصورة المطلوبة، حيث لم يسجل فرق كبير بين استخدام الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج، فقد يرجع ذلك إلى زيادة كمية الإسمنت في الخلطة وبالتالي عند استخدام كمية إسمنت أقل نتوقع أن يكون هناك فرق واضح في النتائج. كما لوحظ أيضاً أن مقاومة الضغط والشد تنخفض تدريجياً مع زيادة نسبة استبدال الركام الطبيعي بالركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج، وهذا بسبب وجود بقايا المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطحه والذي أنتج عنها ضعف قوة الترابط مع المونة الإسمنتية الجديدة في حين لم يتجاوز الانخفاض 3%، 5% على التوالي عند استخدام (RA) بنسبة استبدال تصل حتى 50%، وبنسبة استبدال 70% عند استخدام (RAT) وبالتالي يمكن استخدام نسبة من الركام الخشن المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي من غير معالجة (50%)، واستخدام نسبة من الركام الخشن المعاد تدويره بعد المعالجة (70%) من أجل التماسي مع مواصفات جيدة للخرسانة، وقريبة من الخرسانة المصنعة من الركام الطبيعي (CC) بعد إجراء هذه السلسلة من التجارب التي تحاول تسليط الضوء على استخدام الركام الخشن المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي 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.

• قائمة الرموز والمصطلحات

NA: Natural Coarse Aggregate.
RA: Recycled Aggregate
RAT: Recycled Aggregate Surface Treated.
CC: Control Concrete.
NAC: Normal Aggregate Concrete
RAC: Recycled Aggregate Concrete.
RACT: Recycled Aggregate Concrete Surface Treated.
W/C: Water Cement Ratio.

الشكر والتقدير

نتقدم بخالص الشكر والامتنان إلى الأخوة مجموعة صوان القابضة (شركة الزهراء علامة الندى) بإدارة المهندس رشيد صوان وأتحد الصناعة الليبية بإدارة الأستاذ علي نصير على ما قدموه من مساعده خلال العمل بهذا البحث.

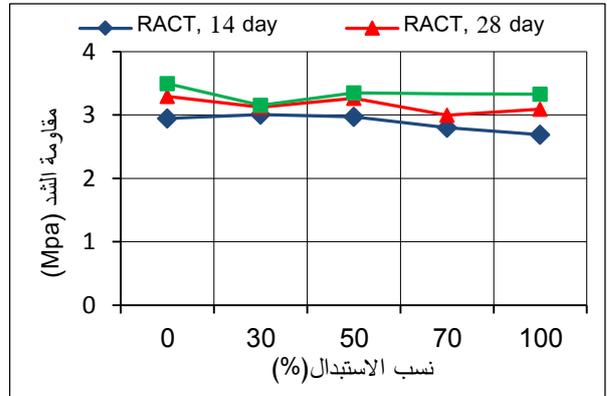
المراجع

- [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, (working paper 2/2011) id=12683 accessed on Jul.17.2017. <http://www.lunduniversity.lu.se/o.o.i.s?>
- [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 مقبل "أكوام مخلفات البناء العشوائية تشوه الطرقات الفلسطينية في غياب التشريعات الصارمة" المجلة الإلكترونية أفاق 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] Syed Minhaj Saleem Kazmi, Muhammad Junaid Munir, Yu-Fei Wu, Indubhushan Patnaikuni, Yingwu Zhou, Feng Xing "Effect of recycled aggregate treatment techniques on the durability of concrete: A comparative evaluation" Construction and Building Materials 264 (2020) 120284.

3.293MPa على التوالي للعينات المرجعية حيث أنه لم يكن هناك تأثير كبير عند استخدام نسبة استبدال حتى 50% من (RAT)، بينما انخفضت بنسبة 8.853%، 6.134% على التوالي عند استخدام نسبة استبدال كاملة (100%). زادت المقاومة إلى 3.495MPa للعينات المرجعية عند 56 يوم، وللعينات المحتوية على (RAT) (3.152MPa، 3.348MPa، 3.327MPa) بنسب استبدال (30%، 50%، 100%) على التوالي، وكانت معدلات الانخفاض في المقاومة للخرسانة (RACs) (9.814%، 4.206%، 4.807%) على التوالي بالمقارنة مع الخلطة المرجعية، والشكل (6) يوضح تأثير الركام المعاد تدويره (المعالج) (RACT) على مقاومة الشد.

الجدول (5): نتائج اختبار مقاومة الشد للخرسانة المصنعة من الركام المعاد تدويره (المعالج) (RACT) عند الأعمار 14، 28، 56 يوم.

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقاومة الشد (MPa) للخرسانة (RACT) نسبة الزيادة (+) أو النقصان (-) مقارنة مع الخرسانة المرجعية (%).		
		14 يوم	28 يوم	56 يوم
CC-0	0%	2.948	3.293	3.495
RC-30	30%	3.008	3.140	3.152
RC-50	50%	2.972	3.266	3.348
RC-70	70%	2.799	2.995	--
RC-100	100%	2.687	3.091	3.327
		-8.853%	-6.134%	-4.807%



الشكل (6): تأثير الركام المعاد تدويره (المعالج) (RACT) على مقاومة الشد عند الأعمار 14، 28، 56 يوم.

3.2.4 مقارنة بين تأثير استخدام الركام المعاد تدويره المعالج (RAT) والغير معالج (RA) على مقاومة الشد:

أظهرت النتائج المتحصل عليها بالجدول (4، 5) زيادة ملحوظة في مقاومة الشد مع تزايد فترة المعالجة في جميع الخلطات، حيث كان إضافة الركام المعاد تدويره قبل وبعد المعالجة له تأثير سلبي على مقاومة الخرسانة للشد. فقد سجلت الخلطة المرجعية (CC) قيم (2.948MPa، 3.293MPa، 3.495MPa) لمقاومة الشد عند الأعمار 14، 28، 56 يوم على التوالي بينما انخفضت بشكل تدريجي عند زيادة محتوى الركام المعاد تدويره (المعالج والغير معالج) في الخلطة. بالإضافة إلى ذلك، فإن الأسباب التي أدت إلى هذا الانخفاض كانت مماثلة للأسباب التي أثرت على مقاومة الضغط فمن خلال الشكل (5، 6) عند استخدام نسبة الاستبدال 30% من (RA) لم يلاحظ أي تأثير يذكر على مقاومة الشد، بينما كان الانخفاض بنسبة تراوحت ما بين (10-4%) عند استخدام (RAT) عند الأعمار 28، 56 يوم على التوالي. من جهة أخرى، تراوحت نسبة الانخفاض في مقاومة الشد عند نسبة الاستبدال 50% ما بين (5-0%) على التوالي لكلاً من الركام المعاد تدويره المعالج والغير معالج، أما نسب الاستبدال (70-100%) فكانت نسبة الانخفاض ما بين (4-11%) عند جميع الأعمار. يتطابق هذا الانخفاض التدريجي لمقاومة الشد مع دراسة سابقة للباحثين [28، 47].

- [29] Poon, C.S., Kou, S.C., and Lam, L. 2002. "Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks" Construction and Building Materials, 16(5): 281-289.
- [30] Paul, S. "Mechanical Behaviour And Durability Performance of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate". Master's Thesis .The Dep. Of Civil Engineering of the University of Stell., South Africa, (2011), 128.
- [31] Oikonomou, N. "Recycled Concrete Agg." Cement & Concrete Composites", Vol27, (2005), 315–318.
- [32] S. P. Arredondo-Re, R. Corral-Higuera, J. M. Ungsson-Nieblas. "Durability Parameters of Rein. Recycled Aggregate Concrete: "Applied Sciences, 9,617; doi: 10.3390 app 9040617.(2019), 7-12.
- [33] Ashish Shrimali, Digvijay S. Chauhan, Dr. Trilok Gupta and Dr. Ravi K. Sharma. "Behavior of Concrete Utilizing Recycled Aggr. – A Review" Issn: 2248-9622, Vol. 7, (2017), 72-79.
- [34] Pericles Savva, Socrates Ioannou, Konstanz "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] Montgomery, D. G. "Workability and comp. strength properties of concrete containing recycled concrete aggregate". Sustainable Construction, (1998), 287-296.
- [36] Hanaa Khaleel Al. Al-Bayati, Susan L. Tighe "Utilizing a Different Technique for Improving Micro and Macro Characteristics of Coarse Recycled Concrete Aggregate", Trans- portation Association of Canada, (2016), 15-16.
- [37] Vivian W.Y. Tam , K.N. Le "Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches" Resources, Conservation and Recycling 50, (2007), 82–101.
- [38] Shrinath.H, Bharat Kumar, Avinash, "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] Biniyam Getahun " Evaluation of Recycled Aggregate for Using in Structural Concrete" September, A thesis submitted, Addis Ababa Science & Technology University College of architecture and civil engineering School of post graduate studies, (2017), 27-35.
- [40] Liang Wang, Jialai Wang , Xin Qian, Peiyuan Chen, Ying Xu, Jinxing Guo "Influence of Surface Treatment of Recycled Aggregates on Mechanical Properties and Bond Strength of Self-Compacting Concrete" doi:10.3390/su11154182, (2019), 7-11.
- [41] W. Tang, M. Khavarian, Ali Yousefi, W. K. Chan "Influence of Surface Treatment of Recycled Aggregates on Mechanical Properties and Bond Strength of Self-Compacting Concrete" sustain ability, doi:10.3390/su11154182, (2019), 7-11.
- [42] Erhan Guneyisi, Mehmet Gesog'lu, Zeynep Algin, Halit 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] Suraya Hani Adnan Yee Loon Lee, Ismail Abdul Rahman, Mia W. "Compressive strength of recycled aggregate concrete with various percentage of recycled aggregate" publication /301680302.
- [44] Nik. D. Oik. "Recycled concrete aggregates" Cement & Concrete Composites 27 (2005) 315–318.
- [45] Chang G., Liang H., Libo Yan , R. Jin, H. Chen "Mechanical properties of recycled aggregate concrete modified by nano-particles" Construction and Building Materials 241 (2020) 118030.
- [46] Manoj. B and Saravanakumar.P "Effect of Sulfuric Acid Treated Recycled Aggregates on Properties of Concrete" International Journal of ChemTech Research, Vol.8, (2015), pp 476-482.
- [47] V. P. Kukadia "Influence of Aggregate's Treatment on Properties of Recycled Aggregate Concrete" International Journal of Civil Eng. and Tech. (IJCIET), Volume 8, (2017), pp. 351–361.
- [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 المتجهة من ركام معاد تدويره" مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الهندسية. المجلد (3)، العدد (4)، (2014)، 255-256.
- [11] د. عبد الرزاق ضيف الله. أ. إبراهيم ابريدان "تقنية تدوير الأنقاض الخرسانية في ليبيا بين ميزة توفير التكاليف -بالذات البنينة منها- والمعوقات" المؤتمر العلمي الدولي الرابع لكلية الاقتصاد والتجارة (2020)، 874-851.
- [12] 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.
- [13] Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. Materials and Structures, 33, 574–580.
- [14] Sumaiya Binte Huda. "Mechanical & Durability Properties of Recycled & repeated Recycled Coarse Aggregate" Master's Thesis, The University of British Columbia, February (2014), 41-59.102.
- [15] Gomez-Soberon, J.M.V. 2002. "Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate experimental study" Cement and Concrete Research, 32: 1301–1311.
- [16] Huda, S.B., Islam, M.S., Slater, E., and Alam, "Green concrete from industrial wastes: a sustainable constr. material." First Intl Conference on Concrete Sustainability 2013, Tokyo, Japan, 27-29 May 2013, Ref. 0084, 8p.
- [17] Leite, M.B., Figueire do Filho, J.G., and Lima, P.R.L. 2013. "Workability study of concretes made with recycled mortar aggregate" Materials and Structures, 46: 1765-1778.
- [18] Poon, C.S., Z.H. Shui, Z.H., Lam, L., Fok, H., and Kou, S.C. 2004. "Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete." Cement and Concrete Research, 34: 31-36.
- [19] Nassar, R. and Soroushian, P. 2012. "Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement." Construction and Building Materials, 29: 368-377.
- [20] MURALI, G.; C.M.; RAJAN, G.; "Experimental Study On Recycled Aggregate Concrete". Inter. Journal of Engineering Research and Applications, Vol 2, 2012, 407-410.
- [21] Malessev, M, Radonjanin, V., Marinkovic, S. "Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production Sustainability", Vol. 2, (2010), 1204-1225.
- [22] 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.
- [23] Fathei Ramadan salehlamein, Mochamad Solikin . "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] Revathi Purushothaman; Ramesh Ruthirapathy "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] Ashraf M. Wagih, Hossam Z. El-Karmoty, Magda Ebid, Samir H. Okba "Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete " HBRC Journal (2013) 9, 193–200.
- [26] C. Thomas, J. Setián, J.A. Polanco, P. Alaejos, M. Sanchez de Juan "Durability of recycled aggregate concrete" Construction and Building Materials 40 (2013) 1054–1065.
- [27] Etxeberria.M, Vázquez.E. "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] Manoj. B and Saravana kumar.P "Effect of Sulfuric Acid Treated Recycled Aggregates on Properties of Concrete" International Journal of ChemTech Research, Vol.8, (2015), pp 476-482.