

إعادة تدوير مخلفات البناء بمدينة الزاوية لخدمة التنمية المستدامة

م. عبدالمنعم سالم طرنبة¹، أ.د. نوري محمد الباشا²، د. محمد العربي المحروق³، أ. عبدالخالق سالم الباشا⁴

¹طالب دراسات عليا، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا

^{2,3}عضو هيئة تدريس، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا

⁴عضو هيئة تدريس، المعهد العالي لشؤون المياه بالعجيلات

العنوان البريدي للمرسل: munem2426@gmail.com

ملخص البحث

التنمية المستدامة هي عملية تكاملية مستمرة، هدفها تلبية متطلبات الواقع الحالي دون إهمال قدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها ولاسيما الأهداف التي لها صلة بالمحافظة على البيئة. والمخلفات الخرسانية الناتجة عن أعمال الهدم من أهم التحديات التي تواجه البيئة والمجتمع، وهي تحتوي على مادة الإسمنت وعناصر كيميائية مثل الأكاسيد وهي نسبيا تكون أكاسيد حية غير مطفأة تتفاعل بوجود الرطوبة والهواء، وهي ضارة جداً بالتربة والمياه الجوفية في حال تسربها، بذلك يتضح حجم الأثر البيئي التي تمثله هذه المخلفات والذي يتطلب حلاً مستداماً (تقنية إعادة تدوير المخلفات). تهدف هذه الدراسة الى استخدام ركام خشن معاد تدويره (RA) والمتحصل عليه من إعادة تدوير مخلفات مباني مدمرة ببلدية الزاوية في صناعة عينات خرسانية صديقة للبيئة (RAC) بنسب إستبدال مختلفة (30%، 50%، 70%، 100%) كبديل عن استخدام الركام الطبيعي، وذلك للتحقق من مدى إمكانية استخدام هذا النوع من الخرسانة (RAC) بالمقارنة مع خواص الخرسانة الطبيعية (NAC). نتائج هذه الدراسة أظهرت أن استخدام (RA) يؤثر على خواص الخرسانة (RAC) وأنه كلما زادت نسبة الاستبدال انخفضت خواص الخرسانة (RAC) مقارنة مع الخرسانة (NAC) كقابلية التشغيل ومقاومة الخرسانة للضغط. ومع ذلك لم يكن الإنخفاض كبير عند استخدام نسبة استبدال تراوحت بين (0-50)%، وهي نسبة تشجع على استخدام هذا النوع من التقنية.

الكلمات الدالة: مخلفات الخرسانة، الركام المعاد تدويره، خرسانة صديقة للبيئة، التنمية المستدامة.

Research summary

Sustainable development is an ongoing complementary process, aimed at meeting the requirements of current realities without neglecting the ability of future generations to meet their needs, especially goals related to environmental conservation. The concrete waste resulting from demolition works are one of the most important challenges facing the environment and society, They contain cement and chemical elements such as oxides, which are relatively undiluted living oxides that react with moisture and air, and very harmful to soil and groundwater if they leak, thus making it clear the size of the environmental impact represented by such waste, which requires a sustainable solution (waste recycling technology). This study aims to use recycled coarse aggregate (RA) obtained from recycling the waste of destroyed buildings in Zawiyah municipality in the manufacture of environmentally friendly concrete samples (RAC) with different replacement ratios (%100) (%30, %50, %70, as an alternative to the use of natural aggregate, this is to check the extent to which this type of concrete (RAC) can be used compared to the properties of natural concrete (NAC). The results of this study showed that the use of (RA) affects the properties of concrete (RAC) and increasing the replacement rate decreased the properties of concrete (RAC) compared to concrete (NAC), as the workability and concrete strength to compression. However, the decrease was not significant when using a replacement rate ranging from (0–50)%, which encourages the use of this type of technology.

Keywords: concrete waste, recycled aggregate, environmentally friendly concrete, sustainable development

1- المقدمة

تعتبر التنمية المستدامة عملية تكاملية مستمرة، هدفها تلبية متطلبات الواقع الحالي دون إهمال قدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها، ولاسيما الأهداف التي لها صلة مباشرة بالمحافظة على البيئة والمجتمع. فالمخلفات الخرسانية الناتجة عن الهدم ومخلفات الحروب تعتبر من أهم التحديات التي تواجه البيئة والمجتمع، وقد وجد أن 65% من هذه المخلفات هي عبارة عن ركام خشن (حصى) [1]، 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 والسلبيات مثل أكاسيد الكالسيوم 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 [2]. لذلك يتضح 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 تقنية إعادة تدوير المخلفات الخرسانية للحصول على ركام يمكن استعماله مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة، وهي فكرة لاقت نجاح واسع للاستفادة منها في تقليل استخدام هذه الموارد، ويتحقق بذلك التوازن البيئي، وتلبية متطلبات الواقع الحالي، وتحقيق الاستدامة للأجيال القادمة.

إن استخدام الركام المتحصل عليه من إعادة تدوير المخلفات الخرسانية (Recycled Aggregate) في البناء الجديد يعتبر سياسة تصر عليها الكثير من الدول المتقدمة، ويعتبر طريقة واعدة للتغلب على استنفاد الموارد الطبيعية والتلوث البيئي [3، 4]. ويحقق استخدامه تخفيض ما يقارب 15%-20% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتوفير 60% من الموارد الطبيعية [5، 6]. أجريت العديد من الدراسات للبحث في خواص الركام المنتج

من إعادة تدوير مخلفات الخرسانة (RA)، ودراسة إمكانية استخدامه كبديل عن الركام الطبيعي (Natural Aggregate) في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة (Recycled Aggregate Concrete)، فتوصل الكثير من الباحثين إلى أن استخدام الركام المعاد تدويره (RA) يختلف عن استخدام الركام الطبيعي (NA) بنواحي عدة، أهمها أن استخدامه بنسبة استبدال كاملة تتخفف قابلية التشغيل للخلطة الخرسانية بنسبة تصل حتى 40% بالمقارنة مع الخلطة المرجعية المحتوية على الركام الطبيعي [7]، بينما تزيد القدرة على الامتصاص للخرسانة (RAC) بنسبة من 6.2% - 8.4% وهو ما يمثل زيادة تصل إلى 35% عن خرسانة الركام الطبيعي (Natural Aggregate Concrete) [8]. كما أن أهم الخواص الميكانيكية للخرسانة (RAC) تتأثر سلبياً أيضاً مع زيادة محتوى الركام (RA) في الخلطة فعند استخدامه بنسبة استبدال كاملة تتخفف مقاومة الضغط بنسبة 20% - 25% [9, 10]. مع ذلك استنتج الكثير من الباحثين أن استخدامه بنسبة استبدال تصل حتى 30% في إنتاج الخرسانة (RAC) يكون لها أداء وخواص مماثلة للخرسانة الأصلية (NAC) [11-14].

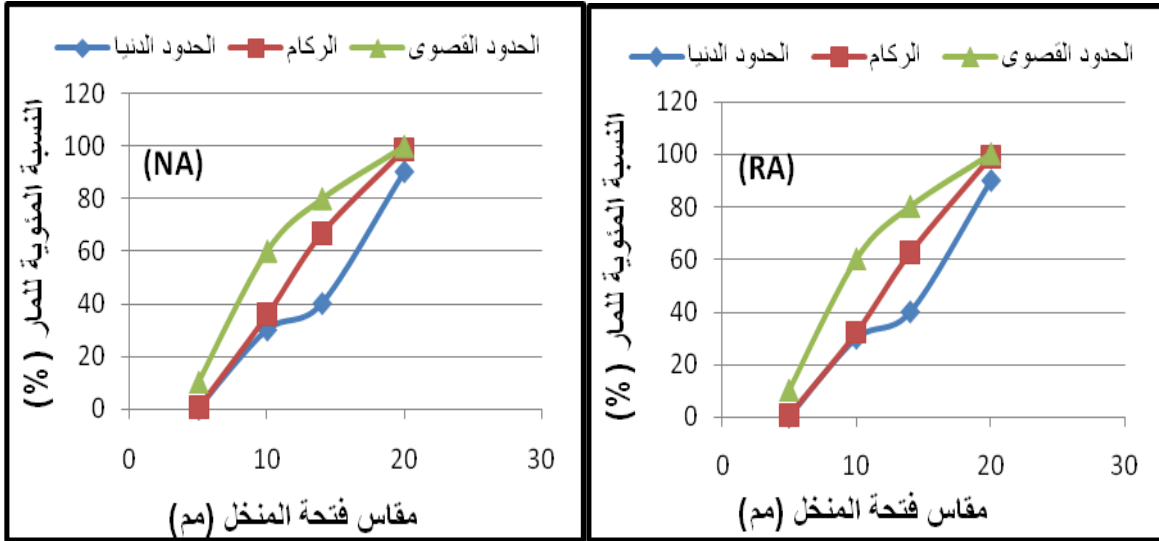
2-أهمية الدراسة

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 والإقتصادي والاجتماعي معاً. ويتم ذلك من خلال إجراء أبحاث علمية معملية تبين مدى إمكانية الاستفادة من هذه النفايات، واستغلالها بالشكل المفيد والصحيح. وبالتالي تتوفر بيانات ومعطيات قد تشجع 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 فبعد إدخالها في الكسارة تمت عملية إعادة التدوير لهذه المخلفات وأخذت نتيجة التدوير إلى المعمل، وهي عبارة عن ركام معاد تدويره ناعم، وركام خشن. وبعد إجراء اختبار التخليل المنخلي للركام الخشن المعاد تدويره والتأكد من مطابقته للمواصفات القياسية الليبية كما هو موضح بالشكل (1-أ) [15]، ويتدرج مشابه لتدرج الركام الخشن الطبيعي كما هو مبين بالشكل (1-ب)، تم استخدامه كركام خشن في إنتاج خرسانة جديدة ودراسة مدى تأثيره على خواص الخرسانة المنتجة منه (RAC) كقابلية التشغيل، ومقاومة الضغط وفقاً لطريقة الاختبار IS-516 [16].

الجدول (1) يوضح الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن الطبيعي والمعاد تدويره.



(ب)

(أ)

الشكل (1): منحني التدرج الحبيبي لعينة الركام الخشن. (أ) الركام المعاد تدويره، (ب) الركام الطبيعي.

الجدول (1) : الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن بأنواعه.

نوع الركام	الركام الطبيعي (NA)	الركام المعاد تدويره (RA)	حدود المواصفة
نسبة الامتصاص (%)	3.034	5.730	0.5% - 4% [17]
الوزن النوعي (Gs)	2.556	2.416	2.30 - 2.90 [17]
معامل الصدم (%)	8.550	10.20	$\geq 45\%$ [15]
معامل التهشيم (%)	24.11	33.88	$\geq 45\%$ [15]

1-3 عملية الخلط وإعداد العينات

بعد تصميم الخلطة الخرسانية المرجعية المحتوية على الركام الطبيعي (NAC) وفقا لخلطة الباحثان (Barai & Mukharjee) [18]، تم استبدال الركام الطبيعي (NA) بالركام المعاد تدويره منذ المخلفات الخرسانية (RA) لإنتاج خرسانة جديدة (RAC) بنسب استبدال مختلفة بالوزن كما هو موضح في الجدول (2)، حيث أن (RC-30، RC-50، RC-70، RC-100) هي الخلطات التي تحتوي على نسب الاستبدال بالوزن (30%، 50%، 75%، 100%) من الركام المعاد تدويره (RA) كبديل عن الركام الطبيعي (NA).

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

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

4- النتائج والمناقشة

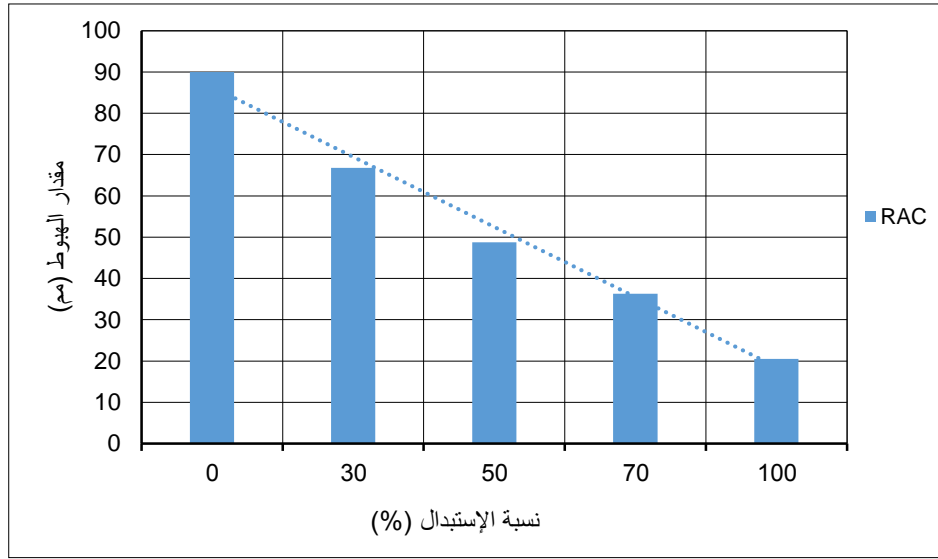
1-4 قابلية التشغيل (Workability):

الجدول رقم (3) يبين نتائج اختبار الهبوط التي تم الحصول عليها بعد الخلط مباشرة 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 (NAC) المصنوعة من الركام الطبيعي. من جانب آخر، عند استخدام نسبة استبدال 30% انخفض الهبوط بنسبة 25.83%، بينما كان الانخفاض (45.83%، 59.72%)، نسبة استبدال 77.22% عند استبدال 50%، 70%، 100% على التوالي.

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

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقدار الهبوط (mm)	نسبة الانخفاض في مقدار الهبوط (%)
NAC	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

يمكن تفسير سبب هذا الانخفاض التدريجي في قابلية التشغيل كما يظهر ذلك في الشكل (2)، إلى نظافة وجودة الركام المعاد تدويره، حيث وجود بقايا المونة الإسمنتية الملتصقة على سطح الركام المعاد تدويره تسببت في زيادة امتصاص الماء وبالتالي انخفضت قابلية التشغيل، ويتطابق ذلك مع نتائج الدراسات السابقة [19، 20]. وعلى العكس من ذلك، اختلفت تلك النتائج مع دراسة أشارت إلى زيادة قابلية التشغيل بزيادة نسبة الاستبدال مقارنة مع الخلطة المرجعية في حالة استخدام الركام المعاد تدويره وهو في الحالة المشبعة [21].



الشكل (2): تأثير الركام المعاد تدويره على قابلية التشغيل للخرسانة (RAC).

2-4 مقاومة الضغط (Compressive strength):

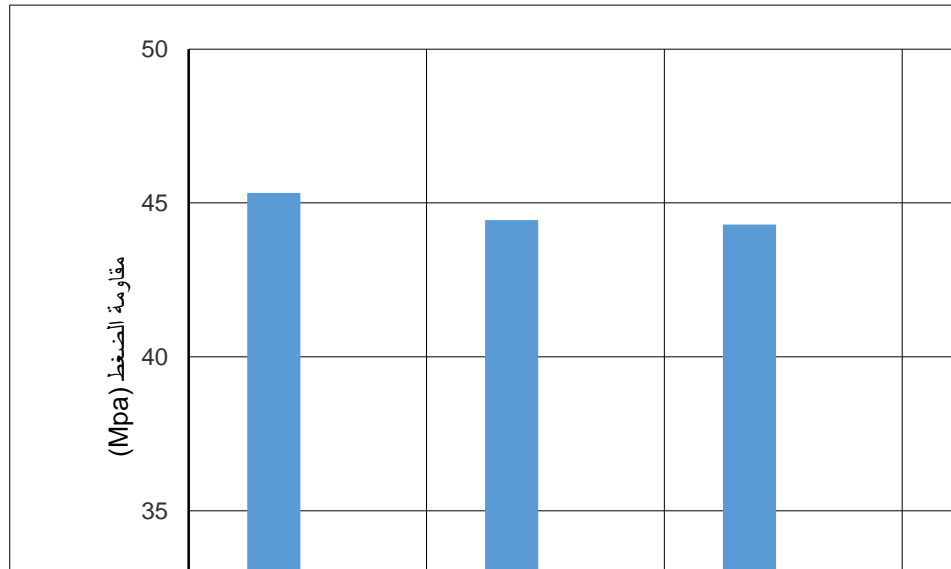
يظهر الجدول (4) قيم مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (RAC) بدلاً عن استخدام الركام الطبيعي بنسب استبدال بالوزن (30%، 50%، 70%، 100%) حيث تمت مقارنتها مع نتائج خرسانة الركام الطبيعي (NAC).

الملاحظ أن قيم المقاومة للعينة المرجعية كانت أكبر من قيم المقاومة للعينات التي تحتوي على نسب الاستبدال المختلفة المذكورة أعلاه، حيث وصلت قيم المقاومة للخرسانة الأصلية بعد 28 يوم إلى 45.33MPa، وبعد استخدام الركام المعاد تدويره لوحظ انخفاض تدريجي في مقاومة الضغط مع زيادة نسبة الاستبدال وانخفضت بنسبة تراوحت ما بين 1%-3% عند استخدام نسبة استبدال تصل حتى 50%، وبين 3%-7% عند نسب الاستبدال 70%، 100% على التوالي. ويرجع سبب هذا الانخفاض إلى وجود بقايا المونة الإسمنتية القديمة المرتبطة بسطح الركام المعاد تدويره والذي أثرت على جودة الركام وبالتالي ضعفت قوى تماسك الركام مع المونة الإسمنتية الجديدة وهو يتطابق مع نتائج دراسات سابقة [9، 22].

الجدول (4): نتائج اختبار مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من الركام المعاد تدويره (RAC) عند العمر 28 يوم.

الخلطة	نسبة الاستبدال	مقاومة الضغط (MPa) عند 28 يوم	نسبة الانخفاض في مقاومة الضغط (%)
NAC	%0	45.33	--
RC-30	%30	44.44	1.96
RC-50	%50	44.30	2.27
RC-70	%70	42.43	6.40
RC-100	%100	43.95	3.04

فمن خلال الشكل (3)، نلاحظ أن انخفاض مقاومة الضغط عند استخدام الركام المعاد تدويره لم يكن كبير ولا يتجاوز 3% عند استخدام نسبة استبدال تصل حتى 50% بعد 28 يوم، فقد يرجع السبب إلى أن كمية الإسمنت المستخدمة في هذه الدراسة كانت عالية وبمقدار 450 كجم. تتشابه هذه النتائج مع نتائج دراسة أخرى أكدت أنه يجب أن تزداد كمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية بنسبة 5-10% ليحقق استخدام الركام المعاد تدويره بنسب استبدال من 50%-100% نتائج مشابهة للخرسانة المرجعية [9].



الشكل (3): تأثير الركام المعاد تدويره للخرسانة (RAC) على مقاومة الضغط عند العمر 28 يوم.

استناداً إلى نتائج البحث يمكن استخلاص النقاط التالية:

1- زيادة نسبة الركام المعاد تدويره في الخلطة تقل قابلية التشغيل للخرسانة (RAC)، وللتغلب على هذه المشكلة يمكن استخدام ملدنات فائقة.

2- تنخفض مقاومة الضغط للخرسانة (RAC) تدريجياً مع زيادة نسبة الاستبدال، مع ذلك فإن الانخفاض في المقاومة لم يتجاوز 3% عند استخدام (RA) بنسبة استبدال تصل حتى 50% كبديل عن الركام الطبيعي (NA).

3- نظافة وجودة الركام المعاد تدويره له دور أساسي في انخفاض قابلية التشغيل ومقاومة الضغط للخرسانة.

4- يمكن استخدام نسبة تصل إلى 50% من الركام الخشن المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي، من أجل التوافق مع مواصفات جيدة للخرسانة (RAC) وقريبة من الخرسانة المصنوعة من الركام الطبيعي (NAC).

بناءً على نتائج هذه الدراسة ننصح بتدوير المخلفات الخرسانية في ليبيا واستخدامها مجدداً في صناعة الخرسانة بدلاً من نقلها إلى أماكن الطمر، ليتحقق بذلك النفع البيئي وتلبية احتياجات السكان الحاليين والأجيال القادمة وهو ما يخدم التنمية المستدامة.

نوصي بإجراء المزيد من الأبحاث والدراسات لتحسين سلوك هذا النوع من الخرسانة عن طريق استخدام الركام المعاد تدويره وهو في الحالة المشبعة جافة السطح، أو إضافة كمية الماء التي يمتصها الركام المعاد تدويره، بالإضافة إلى استخدام إضافات كالألياف، وغيرها.

6-المراجع

[1]. 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>

- [2]. 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>
- [3]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. Revathi Purushothaman; Ramesh Ruthirapathy Amirthavalli; and Lavanya 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.
- [8]. C. Thomas , J. Setién, J.A. Polanco, P. Alaejos, M. S. Jnchez de Juan "Durability of recycled aggregate concrete" *Construction and Building Materials* 40 (2013) 1054–1065 .
- [9]. 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.

- [10]. 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
- [11]. Paul, S. "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.*
- [12]. Oikonomou, N. "Recycled Concrete Aggregates". Cement & Concrete Composites, Vol27, (2005), 315–318.
- [13]. 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
- [14]. Ashish Shrimali, Digvijay S. Chauhan, Dr. Trilok Gupta and Dr. Ravi K. Sharma. " Behavior of Concrete Utilizing Recycled Aggregate – A Review" *Issn : 2248–9622, Vol. 7, (2017), 72–79.*
- [15]. المواصفة القياسية الليبية (2002). ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية: طريقة إجراء التحليل المنخلي رقم (49).
- [16] IS–516, Method of Tests for Strength of Concrete, Indian Standard, 1959, pp. 1–30.
- [17] ACI Education Bulletin E1–07, Aggregates for Concrete, American Concrete Institute (2007).
- [18]. Bibhuti Bhusan Mukharjee, Sudhirkumar V. Barai "Influence of Nano–Silica on the properties of recycled aggregate concrete" Construction and Building Materials 55 (2014) 29–37.

- [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>.