دراسة تجريبية حول إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره وقشور الدرفلة لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة.

فيصل العطشان[1]، عبدالمجيد التلماتي[2]، يونس الحسناوي[3]، ناهد أحمد[3]، رندا حسن[3]، رجاء عبد الدائم[3]

[1]قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية الهندسية هون ليبيا. f.alatshan@ceh.edu.ly
[2]قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية الهندسية هون ليبيا. a.altlomate@ceh.edu.ly
[3]قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية الهندسية هون ليبيا

الملخص

خلال العقود القريبة الماضية أصبح العالم أكثر توجها نحو مراعات الجوانب البيئية في المشاريع الهندسية. حيث أن تصميم المنتجات لم يعد يعتمد فقط على جانبي الأمان والإقتصاد، بل دخل عامل جديد ومهم وهو عامل الإستدامة. في الدول المتقدمة، يتم مراعات الجوانب البيئية والاجتماعية في التصاميم الهندسية بحيث يتم التوازن بين تحقيق إإحتياجات الأجيال الحالية من جانب، وعدم المساس بحصة الأجيال القادمة من الموارد الطبيعية من جانب اخر، الأمر الذي يمكن تحقيقه بتطبيق ما يعرف بهندسة الاستدامة.

يدرس هذا البحث في امكانية إنتاج خرسانة أكثر إستدامة وصديقة للبيئة بإستعمال بعض المخلفات المتوفرة محليا في ليبيا. في البداية، تم إستعراض مجموعة من الأبحاث والدراسات السابقة في هذا المجال والتي بينت إمكانية توظيف كثير من المخلفات المتوفرة محلياً في الخرسانة. بالنسبة للجانب العملي، تم إختيار الركام الخرساني المدور وقشور الدرفلة كبدائل للركام والإسمنت في الخرسانة قيد البحث. ولدراسة سلوك الركام والخرسانة من خلال مجموعة من الإختبارات القياسية فقد تم إضافة كل من الركام المعاد تدويره (كبديل عن وزن الركام الطبيعي) وقشور الدرفلة (كبديل عن وزن الإسمنت) بنسب مختلفة في خلطات خرسانية، وقد أظهرت النتائج أنه بتوظيف المخلفات المذكورة، يمكن فعليا إنتاج خرسانة ذات جودة عالية تصل مقاومة انضغاطها إلى 50 MPa على المدى المتوسط بعمر 60 يوم وبخصائص قريبة لجودة الخرسانة المرجعية.

الكلمات الدلالية: خرسانة، إستدامة، إعادة تدوير، ركام، قشور الدرفلة.

1. مقدمة

من المعروف أن الخرسانة هي ثاني أكثر مادة يستهلكها الإنسان بعد الماء. فيمكننا أن نجد الخرسانة في كل مكان في المدارس والبيوت والمصانع والمكاتب والسدود ومهابط الطائرات وغيرها. نظراً لهذا الدور الذي تلعبه الخرسانة في الوقت الحاضر أصبح من الضروري التركيز على هذه الصناعة وإيجاد طرقٍ تمكننا من الحصول على خرسانة ذات مواصفات تتناسب مع متطلبات المنشأ والظروف الجوية. هذه المنشآت يجب أيضا أن تتناغم مع المتطلبات البيئية والإجتماعية والإقتصادية وليس المتطلبات المعتادة فقط. وللوصول إلى ذلك يجب تطبيق مفهوم هندسة الإستدامة والأبنية الخضراء. ويمكن تعريف هندسة الإستدامة بأنها الخطوات اللازمة للحفاظ على البيئة والترشيد في إستهلاك الطاقة والموازنة مع المتطلبات الإقتصادية والإجتماعية، مع الأخذ بعين الإعتبار فرص التنمية في الوقت الحاضر والمستقبل وضمان حقوق الأجيال القادم (حامد 2011).

في هذا البحث تم التركيز على عامل الإستدامة البيئي أكثر من العوامل الإجتماعية والإقتصادية، حيث نسعى للحصول على خرسانة ذات خواص جيدة عن طريق توظيف بعض المخلفات المتوفرة محلياً وبأساليب إعادة الإستخدام أو إعادة التدوير للتقليل من الأضرار البيئية. فقد أصبحت عمليات إعادة التدوير (Recycling) تحظى اليوم بإهتمام كبير جداً في معظم دول العالم وذلك لما يمثله تطبيق هذا المفهوم من أهمية اقتصادية وضرورة بيئية لأي مجتمع، خاصة بعد أن أثبتت الدراسات والأبحاث العلمية بأن مخزون الأرض من الثروات الطبيعية يتم إستنزافه غالباً بطرق لا يتم فيها مراعاة التوازن البيئي. فالموارد الطبيعية للأرض أصبحت تستهلك بمعدل يؤكد مقولة "إننا نعيش لليوم وعلى أجيال المستقبل أن تدفع الثمن وتتحمل العواقب."

أن إعادة التدوير والتقليل من الإستهلاك ربما هما شيئان من مجموعة أشياء أخرى قد تشكل الطريقة المثلى لمعالجة ما لحق بالأرض من دمار طيلة سنوات عديدة، فعلى سبيل المثال إعادة تدوير الكثير مما نستخدم أو نستهلك بدلاً من التخلص منها كنفايات وعدم إستعمالها مرة أخرى يُعد عاملاً رئيسياً في الحد من ظاهرة أصبحت حالياً مصدر قلق للجميع وهي ظاهرة إرتفاع درجة حرارة الأرض .(Global Warming) فكلنا نسمع كثيرا عن الزيادة القياسية في درجة حرارة الأرض خلال العقود الأخيرة والذي يعزى بشكل رئيسي إلى الأنشطة البشرية المتزايدة والتي لا تراعي سلامة الكوكب. لهذا يمكن القول أن عمليات إعادة الإستخدام أصبحت مهمة جداً كأداة للتقليل من الإنبعاثات السامة والخطرة في الهواء الجوي ولحماية مواردنا الطبيعية. وحسب مجلس الأعمال العالمي للتنمية المستدامة (WBCSD 2012) فإن صناعة الإسمنت مسؤولة عن 5% من إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالإنسان. وهذا الأمر يشير الي أن أي تقليل من إستهلاك الإسمنت سينعكس بشكل مباشر على إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى لها تأثير سلبي على البيئة. إحدى الطرق للتقليل من إستهلاك الإسمنت في العالم هو اللجوء الى إستخدام مواد أخرى كبديل كامل أو جزئي للإسمنت مثل غبار السيلكا والغبار المتطاير والخبث ورماد قش الأرز وغبار أفران الإسمنت والزجاج المطحون وغيرها الكثير من المواد التي أثبتت فعاليتها لتكون بديل أكثر إستدامة من الإسمنت (Alatshan et al 2013).

في الآونة الأخيرة لوحظ زيادة في المخلفات الناتجة عن هدم الخرسانة، فمنذ نهاية العقد الأخير من القرن العشرين تزايدت حركة هدم وإعادة إعمار المباني مما أدى إلى تراكم كميات كبيرة من المخلفات والتي تشكل الخرسانة جزءاً كبيراً منها. حيث يتم التخلص من هذه المخلفات عن طريق تجميعها في مدافن خاصة مما يمثل ضرراً بيئياً من حيث إهدار الموارد الطبيعية (طيب 2012). ويتصدر الركام قائمة كميات الموارد الطبيعية التي يستهلكها الإنسان على كوكب الأرض والذي يعتبر المكون الذي يشغل الحجم الأكبر من الخرسانة (Elazhari et al 2013). يُعد العامل الإقتصادي في تنفيذ الأبنية من العوامل الأساسية، حيث أن التكلفة الإقتصادية لمواد البناء أصبحت العامل الأساسي في إرتفاع كلفة البناء خاصة في الوقت الحالي والذي يترافق مع الإزدياد في سعر الطاقة والذي يؤدي بدوره إلى إرتفاع أسعار مواد البناء الأساسية مثل حديد التسليح والأسمنت والركام. إن في استخدام مخلفات هدم الأبنية يمثل عاملاً رئيسياً في تشييد الأبنية بكلفة أقل، إذ من الممكن إستخدام غالبية حديد التسليح بعد الهدم بعد مطابقتها بالمواصفات المطلوبة، وكذلك فإن مشتقات صناعة الخرسانة والبلاط والرخام وكسر الخرسانة المسلحة والعادية يمكن أن تستخدم مرة ثانية بدلاً من هدره وبالتالي سينعكس ذلك على كلفة الإنتاج إيجابيا ويؤدي إلى الوفر الاقتصادي والبيئي (فرج وأحمد 2008).

ثمة قلق شديد بدء يبرز لم يعد بالإمكان تجاهله، حول مشكلات التلوث البيئي من جهة، وإستنزاف الموارد الطبيعية من جهة

أخرى. فلابد من الإهتمام بهذا الأمر بشكل ملائم، إذ أنه ما لم تحل المشكلة، فإنها تمثل تهديداً واضحاً لمستويات المعيشة. والأهم من ذلك الغلاف الخارجي الذي تعتمد عليه دعائم الحياة على كوكب الأرض. وبناء عليه فقد وضعت الدول المتقدمة تكنولوجياً شروطاً صارمة تحدد أساليب إستخدام مواد البناء الصلبة المستهلكة وإعادة تدويرها بالشكل الصحيح، فمثلاً: في الولايات المتحدة الأمريكية، هناك 38 ولاية تستخدم الناتج عن الخرسانة المعاد تدويرها لعمل الطبقات السفلية من الطرق و11 ولاية أخرى تستخدم الركام الخرساني المعاد تدويره لإنتاج خرسانة جديدة. في هولندا، تم منع وجود مكبات للمخلفات الخرسانية فكل المخلفات الخرسانية يتم إعادة تدويرها. وفي فنلندا، فُرضت تشريعات صارمة لإعادة تدوير مخلفات الهدم والبناء في مواقع هدمها. وفي الباكستان عام 2005، تم الإستعانة بالخبرة البلجيكية لتشجيع إعادة إستخدام وتدوير حطام المباني. وغيرها الكثير من دول العالم التي تركز على مجال إعادة تدوير مخلفات المباني بشكل رئيسي مثل البرازيل واليابان واستراليا وجنوب أفريقيا. عربياً، في الإمارات العربية المتحدة وقطر يوجد إهتمام كبير بتدوير الخرسانة وبدأت الدولتان في تطوير برامج الركام المعاد تدويره (كمال 2010) (WBCSD 2009).

في ليبيا، ونظرا لإتساع الرقعة الجغرافية، فإن البلاد تحتوي على عدد كبير من المحاجر المنتشرة عبر مساحتها (329 محجر ركام كبير و84 محجر للرمل (عبدالصمد والسوايح 2010). أثبتت الدراسات المحلية الضرر البيئي الكبير والناجم عن صناعة المناجم في ليبيا، حيث تتحول مناطق المحاجر إلى أراضي غير صالحة لأي نشاط يذكر والتي كان من الممكن أن تكون صالحة لنشاطات زراعية أو سكنية أو سياحية أو غيره (عبدالصمد وأبوعصارة 2012). في عام 2011 ونتيجة للضرر الذي لحق بالعديد من المباني أثناء حرب التحرير وبعدها في ليبيا، تم تقدير أن كميات نفايات الإنشاءات في الدولة بأكثر من 80 مليون طن وهو رقم يفوق كمية نفايات الإنشاءات التي أنتجتها 15 دولة أوروبية مجتمعة في ذلك العام. هذه الإحصاءات بالإضافة إلى الآثار السلبية لصناعة المحاجر في ليبيا تعزز الفرضية نحو البحث عن مصادر بديلة للركام تقلل من الأثر البيئي وتلبي متطلبات السوق المتوقعة.

الحل الأمثل لهذه المشكلة البيئية ليس بإستبدال الخرسانة بمواد أخرى، ولكن بالحد من الأثر البيئي الناتج من شيوع إستخدام الخرسانة والإسمنت. وسوف يؤدي أي تقليل لكل طن من إستهلاك الخرسانة إلى الحد من الأثر البيئي وإلى فوائد بيئية كبيرة بسبب الإنتاج الكمي الهائل للخرسانة. وللتحرك باتجاه تحقيق هدف التنمية المستدامة، لابد من تحقيق التوازن بين جانبين على القدر نفسه من الأهمية في تلبية احتياجات المجتمع وهما البنية التحتية لدعم مستوى المعيشة المقبول بالنسبة لمعظم سكان العالم، ولحماية البيئة فلابد من إعادة توجيه صناعة الخرسانة لأنها تلعب دوراً مهماً في تطوير البنية التحتية ومستهلك رئيسي للموارد الطبيعية في الأرض من خلال إعتماد تكنولوجيا صديقة للبيئة. وبعبارة أخرى، يمكن حل المشكلة في تطوير الخرسانة الخضراء (Green Concrete) لتطبيق الاستدامة في صناعة الخرسانة.

البحث يهدف لإنتاج خرسانة أكثر إستدامة في ليبيا باستخدام الركام المعاد تدويره عند أضافته بنسب وزنيه مختلفة كبديل للركام الطبيعي و دراسة تأثير إستخدام قشور الدرفلة في الخلطة الخرسانية كبديل للإسمنت بنسب وزنيه مختلفة على المدى المتوسط 60 يوم.

2. الدراسات السابقة

تتجه الدول المتقدمة في وقتنا الحاضر لإيجاد وسائل عديدة للتدبير الإقتصادي في جميع ميادين الحياة ومن ضمنها قطاع البناء

والإنشاءات، فمنذ أن أصبحت الخرسانة مادة البناء الأساسية إزداد الإتجاه لإيجاد أنواع مختلفة من الخرسانة تتمتع برخص ثمنها وتكون ذات خصائص مميزة أخرى كالعزل الحراري وخفة الوزن. تم في هذا البحث إستعراض عدد من الدراسات التي تبين إمكانية إضافة مجموعة من المخلفات المتوفرة في ليبيا وذلك لتحسين خواص الخرسانة. إن إضافة مخلفات يمكن وصفها بالصناعية مثل برادة الحديد (حمه 2010) يؤدي إلي تحسين مقاومة الإنحناء وكثافة الخرسانة، وتقلل من مقاومة الإنضغاط. أما بإضافة مفروم الإطارات المستهلكة (جمعة وأخرون 2011)كبديل للركام التقليدي فيمكن إنتاج خرسانة ذات وزن أخف وأكثر مرونة دون إغفال التأثير السلبي على مقاومة الضغط والزيادة في نسبة الإمتصاص للماء. كذلك، فإن إضافة خبث أفران صهر الحديد (جهاد 2011) (الأميري ومطر 2010) (مزغيش وأخرون 2004) (كريم وأخرون 2011) (الراوي والأميري 2010)كجزء مستبدل عن الركام الخشن في الخرسانة يؤدي إلى تحسن مقاومتي الضغط والشد للخرسانة وإنخفاض في الإنكماش، إلا أن صدأ الحديد يضل التحدي الأكبر لإستغلال الخبث كبديل عملي.

أما بالنسبة للمخلفات الزراعية، فنلاحظ أن إضافة رماد قش الأرز (حسن وأخرون 2012) كنسبه من وزن الإسمنت في الخلطة الإسمنتية يؤدي إلى تحسين مقاومة الإنضغاط وكذلك يقلل من نسبة المياه القياسية لخلط الإسمنت. وإضافة كلاً من نشارة الخشب (النعمان وأخرون 2004) وألياف النخيل (مرخوفي 2004) كبديل نسبي من وزن الخرسانة يعمل على تحسن في مقاومة الإنحناء ومقاومة الشد غير المباشر للخرسانة، إلا إنه يؤدي إلى خفض مقاومتها للضغط.

بالتركيز على مخلفات البناء والهدم، فقد لوحظ على وجه العموم من خلال الدراسات السابقة (مرزا 2009) (Elazhari et al 2013) إنخفاض في الخواص الميكانيكية للخرسانة الحاوية على هذه المخلفات. على الرغم من ذلك، فقد أثبتت الدراسات أنه بإستخدام إضافات خاصة يمكن إنتاج خرسانة ذات خواص مقاربة لخواص الخرسانة التقليدية.

عموما، يمكن القول إن مجال إستغلال مخلفات البناء في صناعة الخرسانة يحظى بإهتمام بحثي كبير خلال السنوات الأخيرة، بالرغم من أن بعض هذه الإضافات لا يؤدي إلى إنتاج خرسانة بنفس المواصفات المعتادة. ولكن يظل العامل البيئي هو الدافع الأكبر لتطوير هذه التقنية وإستغلالها بشكل جدي في سوق العمل كما هو الحال في كثير من دول العالم المتقدم.

3. البرنامج العملي

1.3 المواد المستخدمة

- **الإسمنت:** تم إستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي نوع 42.5 إنتاج مصنع البرج للإسمنت بمدينة زليتن، الشائع الإستخدام محلياً والمصنع طبقاً للمواصفات القياسية الليبية رقم2009/340م.
- **الركام الناعم (الرمل):** تم إستخدام رمال رسوبية مصدرها محجر ودان بمنطقة الجفرة. الجدولان 1 و2 يعرضان التدرج الحبيبي ونتائج الإختبارات الفيزيائية للرمل على الترتيب.

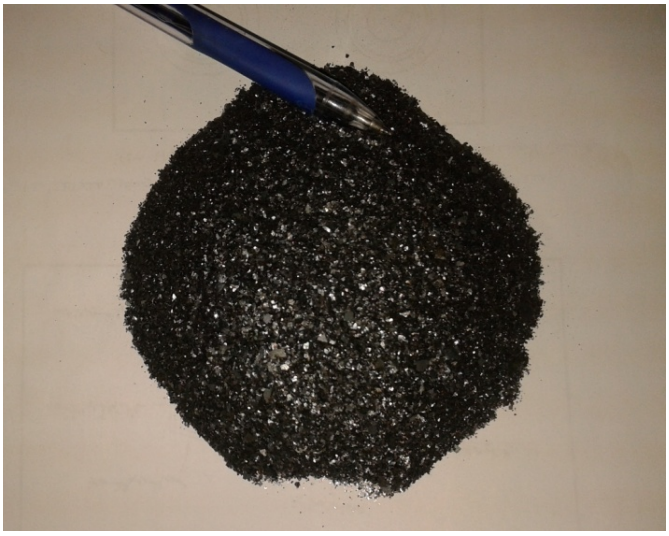
جدول 1: التدرج الحبيبي للرمل

فتحة المنخل(مم)	نسبة المار%
2.5	100
1.25	99.4
0.63	84.6
0.31	44
0.16	14.6
القاعدة	0

جدول2: الخواص الفيزيائية للرمل المستخدم

الخاصية	النتائج
محتوى الرطوبة (%)	0.17
معامل الدمك (%)	2.83
الوزن النوعي	2.65
حد السيولة (%)	16.34

- **الركام الخشن**: تم في هذا البحث إستخدام نوعان من الركام الخشن (طبيعي ومعاد تدويره). تم إستخدام نفس التدرج للركام الطبيعي والركام المعاد تدويره وضمن حدود المواصفات البريطانية، وكان المقاس الإعتباري الأكبر لهما يساوي 20مم.
  - بالنسبة للركام الخشن الطبيعي فهو عبارة عن صخور كسر أحجار بازلتية مصدرها محجر سوكنه البركاني بمنطقة الجفرة .
  - أما الركام المعاد تدويره فهو ناتج من عمليات تكسير خرسانات قديمة، حيث تم الحصول عليه بأخذ كتل خرسانية من ثلاث مواقع مختلفة في منطقة الجفرة وهي: القيادة العسكرية سابقا، مخازن الذخيرة، القاعدة الجوية، وهى من المباني العسكرية المتضررة نتيجة حرب التحرير. وقد تم تكسير هذه الكتل يدويا ثم بإستخدام الكسارة الآلية للوصول للمقاس المطلوب ثم تم غسل عينات الركام المعاد تدويره لإزالة المواد والأتربة العالقة، وتجفيفها بفرن درجة حرارته 100 – 110مْ.
- **الماء** : أستخدمت المياه الصالحة للشرب والمتوفرة في المدينة والمطابقة للمواصفات القياسية الليبية (م ق ل 294 : 1988).
- **قشور الدرفلة (Mill Scale)**: كما موضح بالشكل 1، قشور الدرفلة هي عبارة عن مسحوق من قشور الحديد ذات لون معدني (أسود رمادي) ذو لمعة ظاهرة، حيث تتكون القشور أثناء مرحلة الدرفلة وتقدر بحوالي 11000 طن سنويا أي حوالي 14% من إجمالي الفاقد لمصانع الشركة الليبية للحديد والصلب بمصراتة، وأغلب مكوناته من أكاسيد الحديد، وماء وزيوت معدنية (عبدالرحمن 2013). تم تحليل عينة عشوائية للقشور المستعملة في الدراسة وكانت نتائج إختبارات المواصفات الكيميائية والتدرج الحبيبي له كما هو موضح في الجدولان 3 و4.



شكل1: قشور الدرفلة

جدول 3: المواصفات الكيميائية لقشور الدرفلة المستعملة

العناصر	المتوسط
إجمالي الحديد	67.00
اوكسيد السليكون SiO_2	3.37
اوكسيد الالومنيوم AlO_3	1.10
اوكسيد الكالسيومCaO	2.45
فسفور P	0.08
كبريتS	0.05
اوكسيد المنجنيز MnO	0.57
ماء H_2O	%5 أقصى حد
زيت Oil	%0.9 أقصى حد

جدول4: التدرج الحبيبي لقشور الدرفلة

النسبة	المقاس
%90	0 مم – 12 مم
%10 أقصى حد	اكبر من 12 مم

2.3 الإختبارات والنتائج

إختبارات الخواص الفيزيائية للركام:

تم إجراء إختبار التدرج الحبيبي، إختبار الوزن النوعي للركام، إختبار نسبة الامتصاص، إختبار مقاومة الركام للصدم وإختبار مقاومة الركام للتهشيم. الشكل (2) يوضح نتائج هذه الإختبارات. تبين من نتائج إختبار الوزن النوعي للركام المعاد تدويره بمختلف مصادره أنه جيد وضمن حدود المواصفات القياسية البريطانية، على عكس الركام الطبيعي المستخدم في منطقة الجفرة حيث كان وزنه النوعي أعلى من حدود المواصفات بنسبة مؤثرة. كذلك تبين من مقارنة نتائج إختبار نسبة الإمتصاص للركام الخشن أن الركام الطبيعي أعطى نتائج جيدة على خلاف الركام المعاد تدويره الذي أعطى نسبة إمتصاص عالية والسبب في ذلك على الأرجح يعود إلى أن سطح حبيبات الركام المعاد تدويره يحتوي على طبقة من المونة الإسمنتية والتي تعمل على إمتصاص نسبة عالية من الماء. كذلك وعلى الرغم من أن نتائج إختباري معامل الصدم ومعامل التهشيم للركام الطبيعي أفضل إلا أن نتائج الإختبارين كانت جيدة ومطابقة للمواصفات لجميع عينات الركام المعاد تدويره.

إختبارات الخرسانة المتصلده:

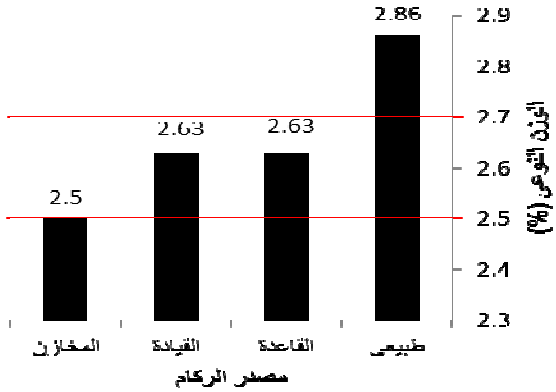
تم تصميم وتحديد نسب المكونات وتحضير جميع الخلطات كما هو مبين في الجدول 5. كذلك تم إجراء إختبار مقاومة الضغط للخرسانة حسب المواصفات البريطانية (BS 1881 part116: 1983) بإستخدام جهاز ضغط (ELE-ADR2000)، وإختبار مقاومة الخرسانة للإنحناء حسب المواصفات القياسية البريطانية (BS 1881 part116: 1983) وإختبار سرعة إنتشار الموجات فوق الصوتية بالطريقة المباشرة.

يوضح الشكل (3) نتائج إختبار مقاومة الخرسانة للضغط لعمر60 يوم، حيث تبين من النتائج إن إضافة نسب مختلفة من الركام المعاد تدويره لم تقلل من مقاومة الخرسانة للضغط بشكل كبير وإنما كانت النتائج قريبة جداً لمقاومة الخرسانة المرجعية، حيث أنه عند إضافة نسبة 10% من الركام المعاد تدويره سجلت الخرسانة مقاومة ضغط 49.42 نيوتن/مم^2، وعند إضافة نسبة 30% كانت مقاومة الضغط تساوي 50 نيوتن/مم^2، وعند إضافة 60% أعطت مقاومة ضغط 46.19 نيوتن/مم^2 بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية التي سجلت مقاومة ضغط 50.6 نيوتن/مم^2. كما تبين من النتائج أيضا أن مقاومة الضغط للخرسانة الحاوية على نسب مختلفة من الركام المعاد تدويره بإضافة النسب المختلفة من قشور الدرفلة حيث أن مقاومة الضغط إنخفضت لجميع الخلطات بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية. أما تأثير إضافة نسب مختلفة من قشور الدرفلة على الخرسانة الخالية من الركام المعاد تدويره فتبين من النتائج أنه بإضافة نسبة 2% من قشور الدرفلة إنخفضت مقاومة الضغط للخرسانة مقارنة مع الخلطة المرجعية، وكما لوحظ زيادة في مقاومة الضغط عند زيادة نسبة قشور الدرفلة إلى 6%، 10% حيث وصلت قيمة مقاومة الضغط عند إضافة نسبة 10% من قشور الدرفلة 49.32 نيوتن/مم^2 بالمقارنة مع مقاومة الخرسانة المرجعية التي سجلت قيمة 50.6 نيوتن/مم^2 أي أنه كلما زادت نسبة إضافة قشور الدرفلة كلما زادت مقاومة الضغط للخرسانة .

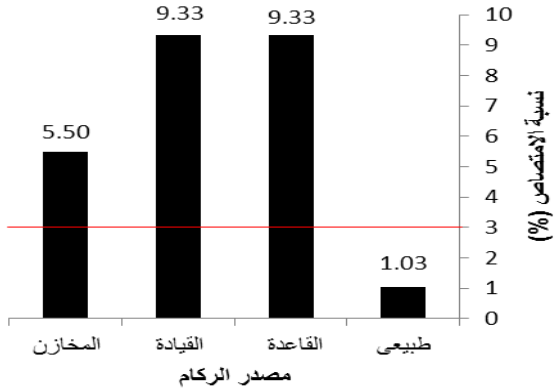
بعد إجراء إختبار مقاومة الخرسانة للإنحناء تم التوصل إلى النتائج الموضحة بالشكل (4)، والتي تبين إن مقاومة الإنحناء إزدادت للخرسانة الحاوية على نسبة 6% من قشور الدرفلة ونسبة 30% من الركام المعاد تدويره بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية بعمر28 يوم، ويفسر ذلك إلى كون قشور الدرفلة سوف تعمل على مقاومة إجهادات الشد حيث تعمل كمبدأ التسليح في

الخرسانة. وكما لوحظ إنخفاض في مقاومة الخرسانة للإنحناء للخرسانة الحاوية على نسبة 30% من الركام المعاد تدويره بدون إضافة قشور الدرفلة بالمقارنة مع الخلطة المرجعية .

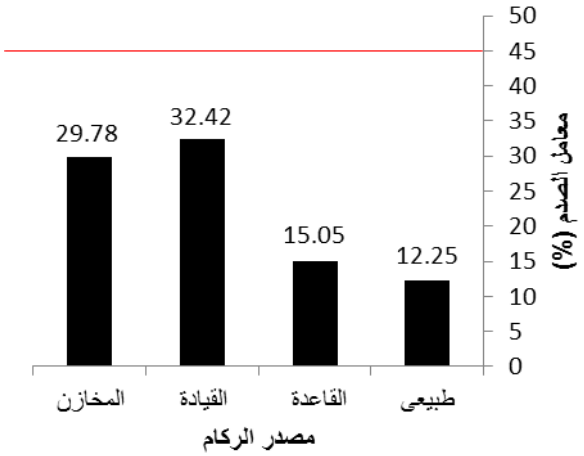
بشكل عام، تبين من نتائج إختبار سرعة إنتشار الموجات فوق الصوتية والموضحة بالشكل (5) أن السرعة تزداد مع زيادة عمر الخرسانة. ومن المعروف أنه تتحسن خواص الميكانيكية للخرسانة بزيادة سرعة إنتشار الموجات فوق الصوتية بها (إمام و أمين 2007). الأمر الذي يدعم ديمومية الخرسانة المنتجة بإستخدام الركام وقشور الدرفلة. كما يتضح أيضا أن الخلطات الخرسانية الحاوية على قشور الدرفلة تزداد فيها السرعة بشكل أكبر من الخلطات التي تحتوي على ركام معاد تدويره، ويرجح أن يكون السبب في ذلك إلى أن قشور الدرفلة مادة مكونة من مركبات موصلة وهي الحديد والتي قد يكون لها دور في زيادة سرعة الموجات على عكس الركام المعاد تدويره والذي يسبب في زيادة مسامية الخرسانة وذلك بدورة يقلل من سرعة إنتشار الموجات فوق الصوتية.. وبنفس سلوك خرسانة المكعبات تبين من نتائج سرعة إنتشار الموجات فوق الصوتية للكمرات الخرسانية زيادة في سرعة انتشار الموجات مع زيادة عمر الخرسانة حتى 28 يوم.



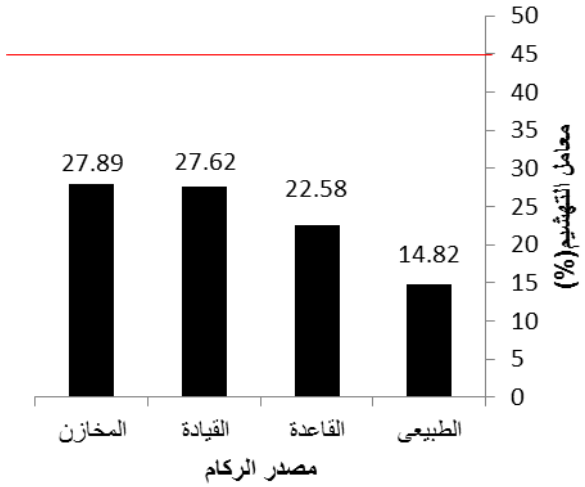
(A) الوزن النوعي لمختلف أنواع الركام



(B) نسبة الإمتصاص لمختلف أنواع الركام



(C) مقاومة الصدم لمختلف أنواع الركام

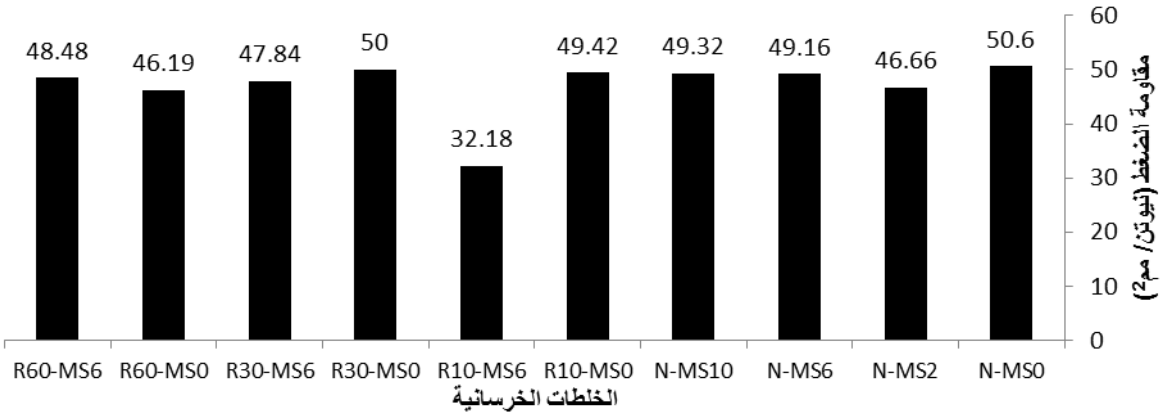


(D) مقاومة التهشيم لمختلف أنواع الركام

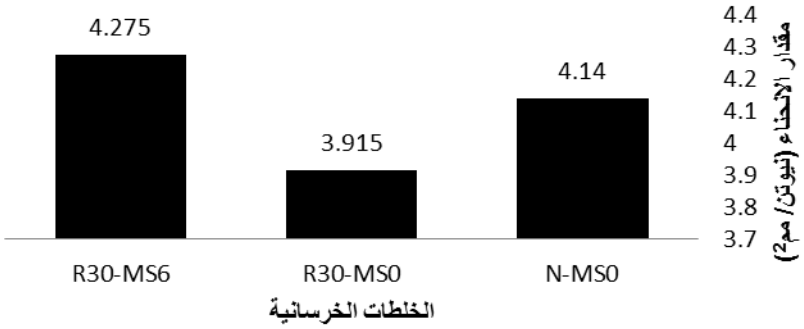
شكل 2: مقارنة الخواص الفيزيائية لمختلف أنواع الركام

جدول 5: نسب الخلط للمكعبات الخرسانية

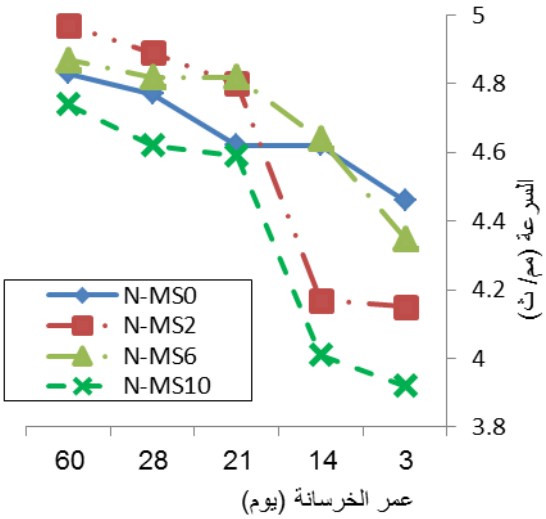
الخلطة الخرسانية	قشور الدرفلة (%)	ماء/إسمنت (%)	الركام المدور (%)	المكونات (كجم/م3)			
				الركام الطبيعي	الركام المدور	الرمل	الإسمنت
N-MS0	0	0.6	0	1280	0	640	350
N-MS2	2	0.6	0	1280	0	640	343
N-MS6	6	0.6	0	1280	0	640	329
N-MS10	10	0.6	0	1280	0	640	315
R10-MS0	0	0.6	10	1152	128	640	350
R10-MS6	6	0.6	10	1152	128	640	329
R30-MS0	0	0.6	30	896	384	640	350
R30-MS6	6	0.6	30	896	384	640	329
R60-MS0	0	0.6	60	512	768	640	350
R60-MS6	6	0.6	60	512	768	640	329



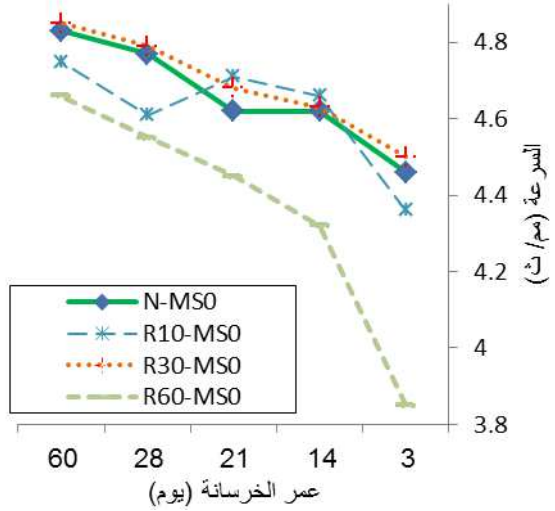
شكل3: نتائج إختبار مقاومة الضغط



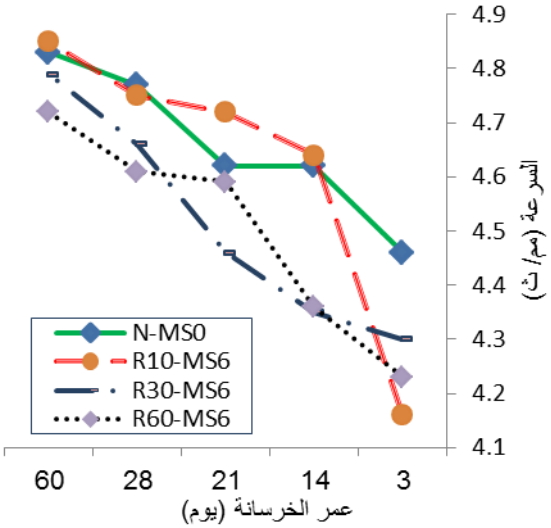
شكل4: نتائج إختبار مقاومة الإنحناء



(A) سرعة إنتشار الموجات للخرسانة الحاوية على قشور الدرفلة



(B) سرعة إنتشار الموجات للخرسانة الحاوية على ركام مدور



(C) سرعة إنتشار الموجات للخرسانة الحاوية على ركام مدور وقشور الدرفلة

شكل 5: نتائج اختبار سرعة الموجات فوق الصوتية

4. الإستنتاجات :

1- تبين من الدراسات والأبحاث السابقة والتي تم تفحصها في هذا البحث أنه يمكن إستخدام مخلفات طبيعية وصناعية ومخلفات البناء والهدم بشكل جدي في صناعة الخرسانة.

2- إضافة الركام المعاد تدويره بنسبة 30% كبديل من وزن الركام الطبيعي في الخلطة الخرسانية أعطت أفضل النتائج لمقاومة الضغط .

3- إضافة قشور الدرفلة للخرسانة الحاوية على ركام معاد تدويره كبديل للإسمنت، بمختلف النسب لا يقلل من مقاومة الضغط للخرسانة بشكل كبير، وتعطي نتائج مقاربة لمقاومة الخرسانة المرجعية.

4- أداء قشور الدرفلة مع الركام الطبيعي كبديل للإسمنت أفضل منه مع الركام المعاد تدويره في الخرسانة بالنسبة لمقاومة الضغط، حيث أعطت النسبة 10% من قشور الدرفلة نتائج أفضل من النسب الأقل. فبزيادة نسبة القشور إزدادت المقاومة.

5- حسنت إضافة قشور الدرفلة من مقاومة الإنحناء، وأعطت الخرسانة الحاوية على نسبة 6% من قشور الدرفلة كبديل للإسمنت، ونسبة 30% من الركام المعاد تدويره كبديل للركام الطبيعي أعلى مقاومة إنحناء بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية.

بالإستناد على نتائج إختبار الموجات فوق الصوتية نجد أن إضافة قشور الدرفلة والركام المعاد تدويره لا تؤثر سلباً على ديمومية الخرسانة حتى عمر 60 يوم.

5. التوصيات :

من خلال نتائج البحث والإطلاع على الدراسات والأبحاث التي تخص موضوع البحث، نوصي بما يلي:

1- الإستثمار وإستغلال الركام المعاد تدويره في إنتاج الخرسانات العادية لما لهذا الأمر من دور بيئي إيجابي و فعال ولتوفر كميات هائلة من أنقاض المباني في ليبيا.

2- إتخاذ إجراءات وطرق خاصة عند القيام بتصميم الخلطات الخرسانية، نتيجة لإرتفاع نسبة إمتصاص الركام المعاد تدويره للماء.

3- نوصي بإجراء مزيد من الدراسات والبحوث حول:

i. إضافة نسب أخرى من الركام المعاد تدويره وبتدرجات مختلفة إلى الخرسانة كبديل عن الركام الخشن والناعم.
ii. اختبار نسب أعلى من 10% من قشور الدرفلة في الخرسانة كبديل للإسمنت.
iii. إجراء إختبارات أخرى لم يتم إجراؤها مثل مقاومة الشد غير المباشر ومقاومة الإنفلات وغيرها .
iv. إجراء إختبارات للخرسانة بالإضافات المستخدمة على مدى طويل من الزمن.

المراجع

الطاهر محمد حسن، ناجي محمد خليل، الحرّة محمد عبد الله، مريم قاسم فضل، وداد محمد طاهر، 2012، "إستخدام مخلفات رماد قش الأرز في تحسين الخصائص الأسمنتية للإسمنت البورتلاندى العادي"، مجلة جامعة سبها للعلوم البحتية والتطبيقية ، المجلد 11 العدد 1، ليبيا.

إنتصار قدوري جمعة، عبير فؤاد حسين، بيداء قتيبة، 2011، "تأثير مفروم الإطارات المطاطية على بعض خواص الخرسانة"، مجلة التقني، المجلد 24

العدد 8، ISSN: 1818653X، بغداد.

بيان سالم النعمان، إياد عبد الحميد صليبي، عبد القادر إسماعيل عبد الوهاب الحديثي، 2004، "بعض الخواص الخرسانية لخرسانة نشارة الخشب"، المجلة العراقية للهندسة المدنية، جامعة الأنبار.

حسن سالم عبد الرحمن، 2013، "إمكانية الإستفادة من بعض مخلفات صناعة الحديد والصلب"، تقرير الشركة الليبية للحديد والصلب.

رياض شفيق الراوي، عباس سالم عباس الأميري، 2010، "دراسة خواص خبث الصلب العراقي كركام ناعم في الخرسانة"، مجلة تقنية البناء، العدد 18.

سوسن عبد الكريم جهاد، 2011، "دراسة بعض الخواص الهندسية للخرسانة الحاوية على الخبث"، مجلة التقني، المجلد 25 العدد1، ISSN:1818653X، بغداد.

شيلان محمود حمه، 2010، "بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة العادية و البوليمرية الحاوية على برادة الحديد"، مجلة الأنبار للعلوم الهندسية، المجلد 3 العدد1.

عباس سالم عباس الأميري، سهيله غازي مطر، 2010، "إستخدام الخبث المحلي كركام خشن في الخرسانة"، الندوة العلمية لهندسة الإنشاءات المشاكل والحلول، سوريا.

عبد الحكيم أحمد حامد، 2011، "مفهوم هندسة الإستدامة."

عبد الصمد، ابوعصارة، 2012، "الآثار البيئية لاستغلال المحاجر في شمال غرب ليبيا، ندوة حول معالجة الآثار البيئية للاستغلال المنجمي بالدول العربية"، الرباط.

عبد الصمد، السوايح، 2010، "الحصر والتقييم الرقمي لمحاجر ليبيا، المؤتمر العربي الحادي عشر للثروة المعدنية"، طرابلس.

فائز عبد الله مرزا، 2009، "تأثير إستخدام غبار السيليكا على الخواص الميكانيكية للخرسانة المنتجة من الركام المعاد تدويره، دراسات"، العلوم الهندسية، المجلد 36 العدد 2، المملكة العربية السعودية.

فؤاد فروج فرج، عمر أسعد أحمد، 2008، "إعادة تدوير مخلفات البناء الصلبة واستخدامها في صناعة مواد البناء، المؤتمر الأول للتشييد في المناطق الصحراوية"، سبها، ليبيا، ص.(150-148)

محمد عادل طيب، 2012، "دراسة حول حماية البيئة من خلال إعادة تدوير الركام في الخلطات الإسفلتية، جامعة تركيب، كلية الهندسة."

محمد كمال، 2010، "إعادة تدوير الخرسانة من أجل تحقيق التنمية المستدامة"، مجلة الأهرام اليوم، مصر.

محمود إمام، محمد أمين، 2007، خواص المواد والإختبارات، الطبعة الأولى, معهد مصر العالي للهندسة والتكنولوجية بالمنصورة.

مرخوفي عبدا لمالك، 2004، "المساهمة في دراسة خصائص وتشوهات خرسانة ألياف النخيل في المناطق الجافة والحارة" (أطروحة ماجستير)، جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

مزغيش ب، ملاس م، شبيلي ر، زغيشي ل، 2004، "دراسة اسمنت الخبث والخرسانة المنتجة على أساسه"، جامعة محمد خيضر، بسكره، الجزائر.

هادي عطية كريم، حامد ستار متعب، ضياء حنتوش عودة، حسين صاحب حسن، 2011، "دراسة تحسين بعض الخواص الميكانيكية للإسمنت البورتلاندى العراقي بإضافة مخلفات صناعية"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29 العدد 14.

Alatshan Faesal, Shaladi Ramzi, Fidelis Mashiri, 2013, "Sustainable concrete: Overview of recent developments and applications", Twelfth Arab Structural Engineering Conference, Tripoli, Libya

Elazhari S. A., Emad Ben Zara, Hani Ghrooda 2013, "Recycle material of the damaged buildings", Twelfth Arab Structural Engineering Conference, Tripoli, Libya

WBCSD, 2009, World Business Council for Sustainable Development, "The Cement Sustainability: Recycling Concrete; Initiative World", ISBN: 978-3-940388-49-0.

WBCSD, 2012, "The Cement Sustainability Initiative: Progress report", World Business Council for Sustainable Development.