دراسة الأنقاض الخرسانية واحتمال إعادة تدويرها (دراسة ميدانية– بنغازي)

د. منال سالم ابومداس الفيتوري [1]، أ. محمد فتحي جمعة العريبي[2]

1 المعهد العالي للمهن الهندسية الماجوري , بنغازي، ليبيا ، بريد إلكتروني:Manal.abmadas@gmail.com

2 المعهد العالي لمهن البناء والتشييد –القوارشة , بنغازي، ليبيا ، بريد إلكتروني:moreebe@yahoo.com

هذه الدراسة تسلط الضوء علي إعادة استخدام المخلفات الخرسانية وتحديد الصعوبات التي تواجة إعادة تدويرها و مدي جدواها، فالكارثة التي حلّت على المباني والبنية التحية كبيرة و تشكل عائقا كبيرا لرجوع الكثير من اللاجئين والنازحين لمناطقهم ، إضافة إلى الأضرار الجسيمة التي أصابت البنية التحية بشكل جزئي أو كامل. فبتالي كمهندسين ليبيين إن نظرنا فقط لازالة الكمية الهائلة من الأنقاض التي تشكلت بسبب الحرب فأننا سنحتاج الى أجهزة ومعدات متطورة.هنا يكمن دور الخبراء لإنجاز دراسات متخصصة في مجال اعادة الاعمار. و خلال هذه الدراسة سوف نحاول تسليط الضوء علي امكانية اعادة تدوير مخلفات المباني الخرسانية. فقد أصبح إعادة التدوير جزء من الاعتبارات البيئية في صناعة البناء والتشييد. فحطام البناء والهدم (C&D) الناتج عن إنشاء أي مبنى أو تجديده أو هدمه. فقد لفتت هذه المخلفات في الآونة الأخيرة الانتباه مع تطورت المخاوف بشأن تأثيرها البيئي، لذلك من الضروري التفكير في الطرق الممكنة لكيفية إعادة تدويرها. وتتطرق هذه الدراسة إلى البحث في امكانية إنتاج ركام الخرسانة ومخلفات البناء المعاد تدويرها فقد تم استخدام حطام الخرسانة الناتج من بعض المباني السكنية بمنطقة الصابري وتحويلها الي ركام لصناعة الخرسانة ومقارنة الخرسانة الناتجة عن هذا الركام بالخرسانة القياسية وذلك بإجراء الاختبارات الأزمة من ثم اجراء التحليل للخروج بالنتائج بالإضافة للإجراء تحليل PESTEL.

كلمات مفتاحية: حطام البناء والهدم (C&D)، مخلفات الخرسانة، الركام، الطمر، ASTM C144 المواصفات القياسية لركام ومونة البناء، تحليل PESTEL.

1. مقدمة

تكمن اهمية البحث انه في ظل الاستنزاف المخيف للموارد الطبيعية على كوكب الارض برزت الحاجة إلى العديد من التقنيات التي من خلالها يمكن ان يقلل من استخدام هذه الموارد او يعاد استخدامها او إعادة تدويرها إلى مواد اخرى صالحة للاستخدام سواء في نفس المجال الذي اخذت منه او في مجال اخر. وإذا ما علمنا أن مخلفات البناء والهدم عند انتهاء العمر النافع للمباني والمنشآت تمثل 10 – 30 % من كمية المخلفات التي ترمى إلى اماكن الطمر الصحي فبذلك سيتضح حجم الاثر البيئي التي تمثله هذه المخلفات وقد وجد أن 65% من هذه المخلفات هي عبارة عن مخلفات خرسانية وركام خشن (حصى). وهذا يعني توجيه الاهتمام إلى ايجاد طريقة للحد من استنزاف المواد الأولية لصناعة الخرسانة، والتي ستكون بإحدى الطرق الثلاثة: (تقليل استخدام الخرسانة، إعادة استخدام نفس الخرسانة؛ وأخيراً إعادة تدوير الخرسانة) وهو موضوعنا هنا.

من الملاحظ أن الموضوع يأخذ أهمية استثنائية للدول التي تعاني من الحروب والأزمات التي تنتج أطناناً من مخلفات البناء والهدم نتيجة القصف بمختلف الأسلحة وحيث أن مدينتنا أخذت من الحروب حصة الأسد كان لزاماً علينا أن نفكر بالحلول السليمة لمثل هذه المشاكل. وجد من خلال الدراسات أنه يمكن إعادة تدوير 80–90% من مخلفات الهدم ومنها مخلفات الخرسانة. حيث ان عملية إعادة تدوير الخرسانة توفر الآتي:

- تقليل استخدام الموارد الطبيعية.
- تقليل كلفة انتاج ونقل هذه المواد الأولية.
- تقليل المواد التي تحول إلى أماكن الطمر.

ان عملية إعادة التدوير تكتنفها بعض المحددات الاقتصادية وبالتالي يجب الأخذ بعين الاعتبار القيمة الاقتصادية للتدوير وأيضاً تحتاج إلى توفر التقنية اللازمة لإعادة التدوير بالإضافة إلى خواص المادة المراد اعاد تدويرها. يمكن إعادة تدوير الخرسانة بإحدى طريقتين،

الأولى: باستخدامه كركام خشن وناعم في صناعة خرسانة جديدة، وهذا يحتاج بالضرورة إلى تكسيره بكسارات حسب حالة الخرسانة ومن ثمّ استخدامه في الخرسانة الجديدة. وتشير البحوث الحالية إلى امكانية قبول 30% من الركام المصنوع من مخلفات الخرسانة في الخرسانة الجديدة من أجل التماشي مع مواصفات جيدة للخرسانة.

أما الطريقة الثانية: فهي استخدامه في طبقة أساس الطرق. وعلى خلاف الطريقة الأولى فإن استخدام مخلفات الخرسانة في الطرق هو أكثر شيوعاً من استخدامه في الخرسانة الجديدة.

2. الدراسات السابقة

تتم إعادة تدوير المخلفات الخرسانية لإعادة استخدام الأنقاض الخرسانية كركام في الخرسانة. يكون للركام المعاد تدويره قوة سحق أقل ومقاومة صدمات و وزن نوعي أعلي و قيمة امتصاص أكبر مقارنة بالركام العادي. يتم إنتاج ملايين الأطنان من نفايات الخرسانة سنويًا في جميع أنحاء العالم للأسباب التالية:

- هدم المبانى القديمة.
- تدمير المباني والهياكل أثناء الكوارث والحروب.
- إزالة الخرسانة عديمة الفائدة من الهياكل والمباني وأرصفة الطرق وما إلى ذلك أثناء عمليات الصيانة.
- مخلفات الخرسانة الناتجة نتيجة اختبار المكعب والأسطوانة الخرسانية والطرق المتلفة لاختبار الهياكل القائمة وما إلى ذلك.

في أوروبا وكندا واليابان، يتم تنظيم عملية إعادة تدوير الخرسانة وغالبًا ما يتم فرضها. على وجه الخصوص أظهر الباحثون الألمان إنه في إعادة تدويره الخرسانة لا يؤثر الركام على معظم خصائص أداء الخرسانة، على الرغم من أنه يميل إلى زيادة انكماش التجفيف والزحف، وتقليل معامل المرونة، اما كندا، فقد جعلت إعادة التدوير تصل إلى 75٪ من نتائج الهدم بانواعة. واظهرت دراساتهم انه لا يتطلب هذا البرنامج أي معالجة للخرسانة بخلاف الانفصال عن غيرها من حطام الهدم. اما اليابان، تم نشر مشروع المواصفة القياسية لاستخدام الخرسانة المعاد تدويرها في عام 1977 واوصو بالطرق التالية للتعامل مع هذه المواد:

- يجب فصل حطام البناء والهدم إلى مواد قابلة لإعادة التدوير وغير قابلة لإعادة التدوير.
- يجب إعادة تدوير الحطام الخامل (الخرسانة والطوب والكتل الخرسانية والتربة غير الملوثة والصخور والحصى) وإعادة استخدامها كمواد تعبئة نظيفة.

3. منهجية البحث

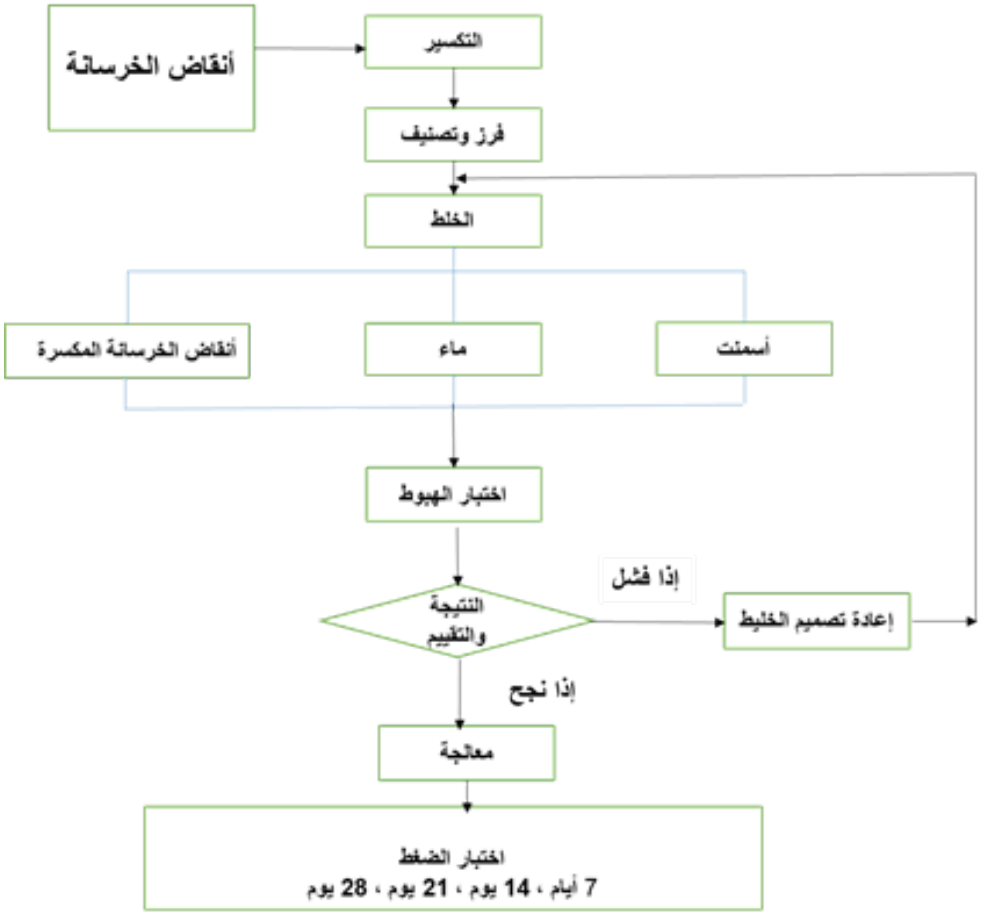
يظهر الرسم في الشكل 1 المنهجية المتبعة خلال هذا البحث حيث تم اعداد هذه الدراسة للمساعدة في تقليل مشكلة صناعة البناء والتشييد فيما يتعلق بإدارة المخلفات. اعتبر الباحثون أن هذه المشكلة هي السبب الرئيسي لغرض هذه الدراسة، قام الباحثون بجمع قطع من الحطام الخرساني غير الملوث من بعض المباني السكنية المهدمة بمنطقة الصابري. تم سحق هذه القطع من الأنقاض يدويًا باستخدام مطرقة تم خلط الأنقاض الخرسانية المسحوقة المتدرجة بالماء والأسمنت بنسبة 1: 3 من الأسمنت إلى الحطام الخرساني المكسر. بعد خمس دقائق من الخلط، تم إجراء اختبار الهبوط على الخليط مع إضافة الماء حتى يتم الحصول على التدفق المطلوب، وتم اختبار عشر عينات للاختراق. كذلك اجري اختبار الضغط في اليوم السابع والرابع عشر والحادي والعشرين والثامن والعشرين من أجل الحصول على مقاومة الانضغاط. تم اختبار مزيج الركام التقليدي بنفس الطريقة. وبالتالي تم تقييم نجاح او فشل الخليط.

تم إجراء العديد من الاختبارات التي استخدمت كأساس لهذه الدراسة وهذه هي التالية:

(أ) تحليل التدرج (المناخل).

(ب) اختبار الهبوط .

(ج) اختبار الضغط.



الشكل (1) يوضح منهجية البحث.

4. الاختبارات والمناقشة

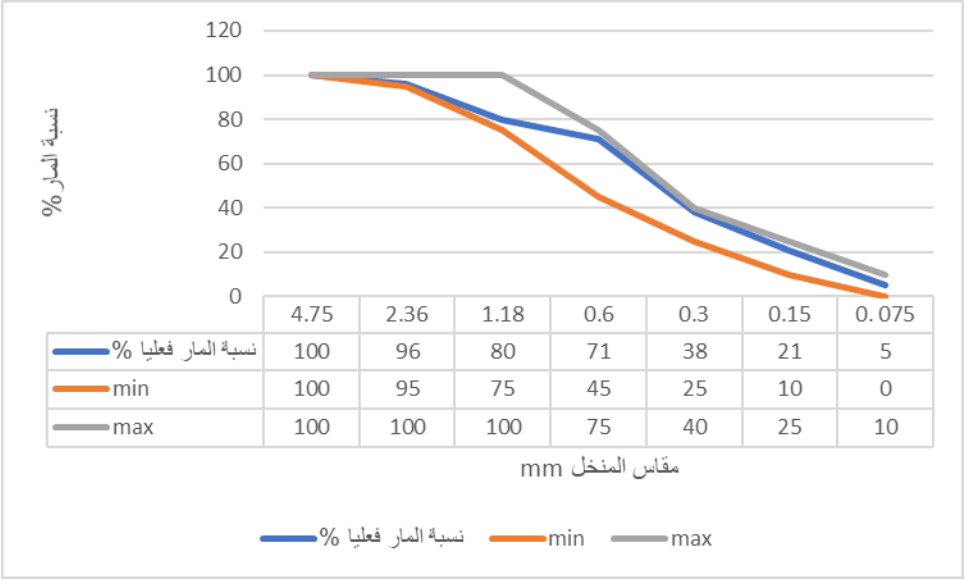
I. اختبارتحليل المناخل:

يوضح الجدول 1 نتيجة تحليل المناخل للحطام الخرساني المكسر المتدرج وفقًا للمواصفة ASTM C144.

الجدول (1) تحليل المناخل للحطام الخرسانة المهشمة.

مقاس المنخل mm	نسبة المار وفقا للمواصفات %	نسبة المار فعليا %
4.750	100	100
2.360	100 -95	96
1.180	100 -75	80
0.600	75 -45	71
0.300	40 -25	38
0.150	25 -10	21
0. 075	10 -0	5

ومن خلال النتائج نلاحظ ان نسبة المار للركام الحطام كانت ضمن المواصفات القياسية والشكل (2) يوضح العلاقة بين نسبة المار ومقاس المناخل مقارنة بنسبة المار التي حددتها المواصفات القياس



الشكل (2) يوضح نتائج التحليل المنخلي للركام الحطام.

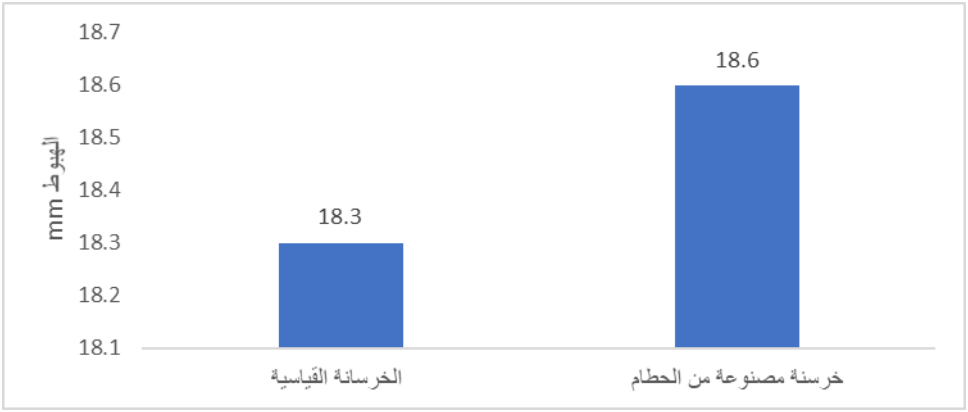
II. اختبار الهبوط للخليط القياسي وخليط الخرسانة المهشمة

كما هو موضح في الجدول 2، يبلغ متوسط الهبوط في الخليط القياسي 18.3mm، في حين أن خليط الحطام الخرساني يحدث له هبوط قيمتة 18.6mm. في هذا الاختبار، يكون الفرق بين قيم الهبوط هو 0.3 mm فقط.

الجدول (2) الهبوط في الخرسانة القياسية والخرسانة المصنوعة من الحطام.

متوسط هبوط الخرسانة القياسية	متوسط هبوط الخرسانة المصنوعة من الحطام
mm18.3	mm18.6

من الجدول (2) نجد ان الهبوط المتوسط للخرسانة الطرية للركام العادي والركام الحطاملنفس الخلطة كانت تقريبا متساوية وان الفرق هو 0.3 mm و وفقا للمواصفات القياسية فأن الخرسانة جافة لان الهبوط أقل من 20 mm وان نوع الهبوط حقيقي.



الشكل (3) نتائج اختبار الهبوط للخرسانة الطرية

III. اختبار الضغط

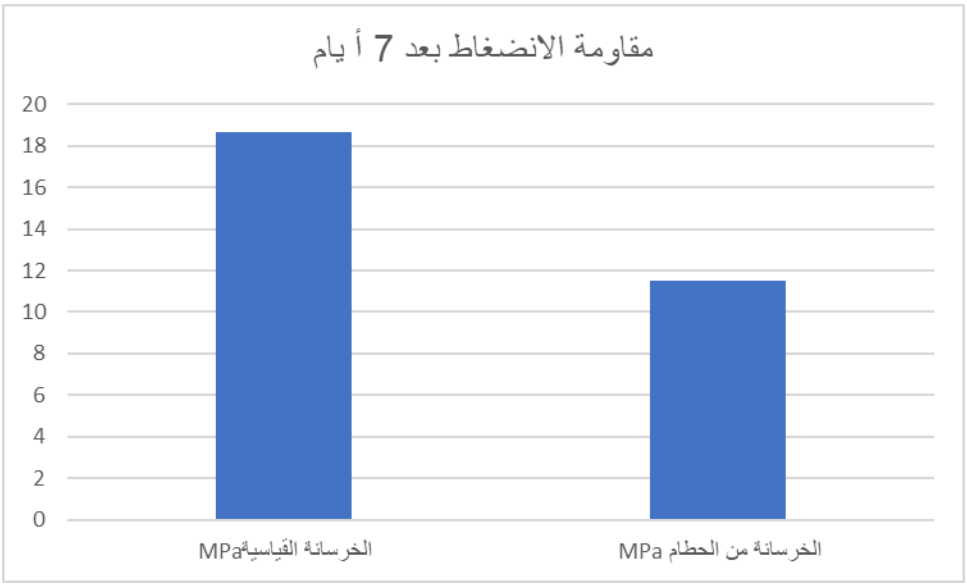
القيم الموضحة في الجدول 3 هي الحمل (KN) وقوة الانضغاط (MPa) لعشر عينات من خلطة الخرسانة القياسية وكذلك عشر عينات لخلطة الخرسانة المكونة من الحطام الخرساني علما بانه تم استخدام المكعبات القياسية.

الجدول(3) يوضح قيم مقاومة الانضغاط لاختبارات الخرسانة القياسية والخرسانة من الحطام بعد 7 أيام.

بعد 7 ايام			
الخرسانة القياسية	مقاومة الانضغاط MPa	الخرسانة من الحطام	مقاومة الانضغاط MPa
1	17.92	1	11.45

2	20.63	2	9.93
3	15.25	3	12.63
4	23.92	4	10.10
5	12.96	5	13.23
6	18.63	6	12.92
7	21.15	7	11.61
8	22.64	8	9.98
8	16.78	9	10.15
10	12.94	10	13.10
المتوسط	18.67	المتوسط	11.51

من الجدول (3) نلاحظ ان مقاومة الانضغاط المتوسطة للخرسانة القياسية لعدد عشر مكعبات كانت 18.6 Mpa و ان المقاومة المتوسطة للخرسانة من الحطام كانت 14.51 Mpa و بالتلي فإن الخرسانة من الحطام اضعف من الخرسانة القياسية بتقريبا 7.16 Mpa ، و الشكل (4) يبين مقاومة الانضغاط لنوعي الخرسانة بعد 7 أ يام .

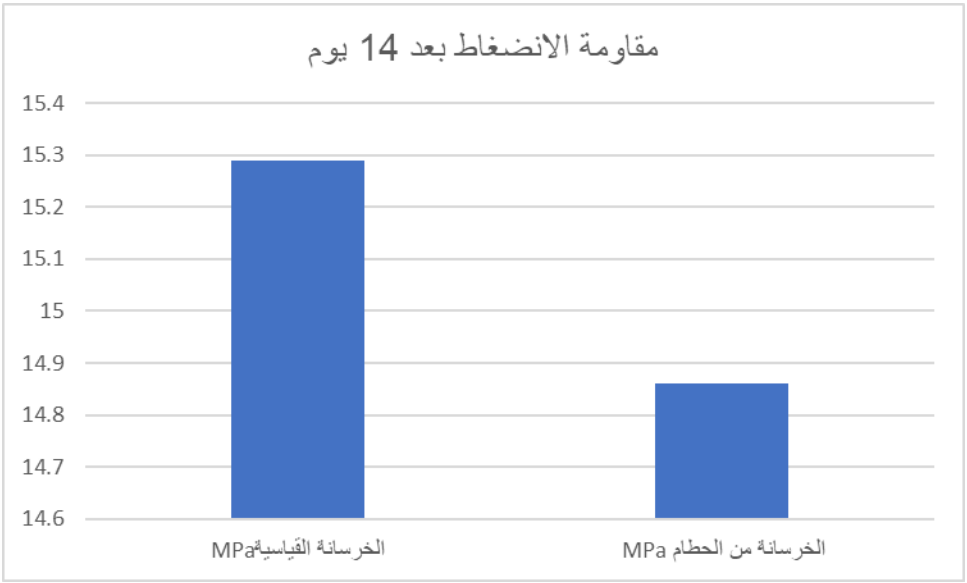


الشكل (4) يبين مقاومة الانضغاط لنوعي الخرسانة بعد 7 أ يام .

الجدول(4) يوضح قيم مقاومة الانضغاط لاختبارات الخرسانة القياسية والخرسانة من الحطام بعد 14 يوم.

بعد 14يوم			
الخرسانة القياسية	مقاومة الانضغاط MPa	الخرسانة من الحطام	مقاومة الانضغاط MPa
1	15.98	1	15.46
2	13.96	2	13.69
3	16.67	3	15.82
4	15.93	4	12.94
5	16.99	5	14.62
6	16.21	6	13.62
7	14.52	7	14.94
8	13.12	8	15.66
8	15.61	9	16.11
10	13.96	10	15.69
المتوسط	15.29	المتوسط	14.86

أما النتائج كما في الجدول (4) توضح مقاومة الانضغاط بعد 14 يوم للخرسانة القياسية و الخرسانة من الحطام و كان الفرق صغير جدا بين النوعين وشبة معدوم كما في الشكل (5)

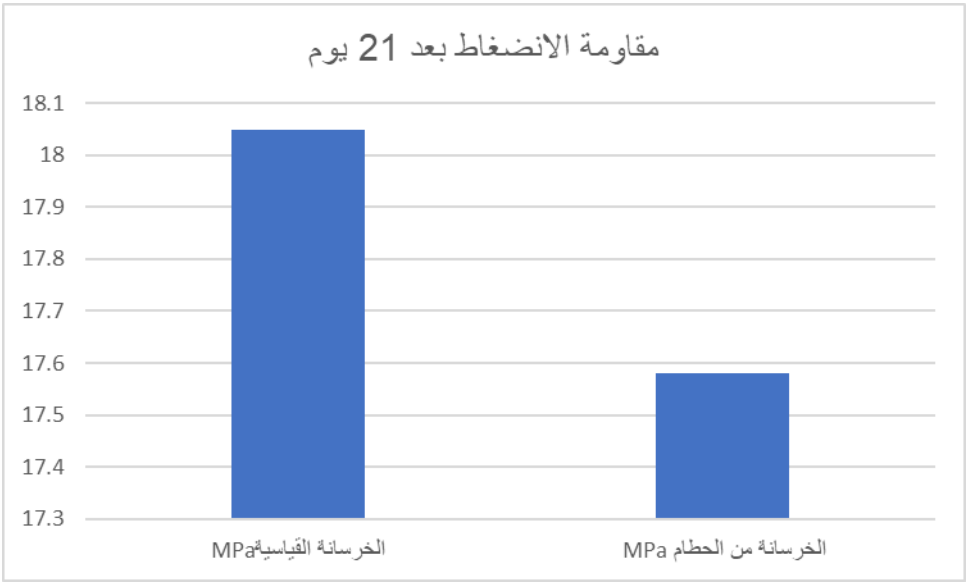


الشكل (5) يوضح مقاومة الانضغاط بعد 14 يوم للخرسانة القياسية و الخرسانة من الحطام.

الجدول(5) يوضح قيم مقاومة الانضغاط لاختبارات الخرسانة القياسية والخرسانة من الحطام بعد 21 يوم.

بعد 21 يوم			
الخرسانة القياسية	مقاومة الانضغاط MPa	الخرسانة من الحطام	مقاومة الانضغاط MPa
1	14.66	1	15.63
2	15.98	2	14.29
3	19.99	3	19.61
4	19.22	4	19.82
5	18.69	5	15.73
6	20.22	6	18.36
7	21.63	7	20.96
8	19.45	8	19.34
9	14.98	9	17.13
10	15.71	10	14.68
المتوسط	18.05	المتوسط	17.58

أما بالنسبة لنتائج الاختبار بعد 21 يوم فهي كما في الجدول (5) و تعتبر أيضا شبة متساوية لنوعي الخرسانة و يوضحها الشكل (6).

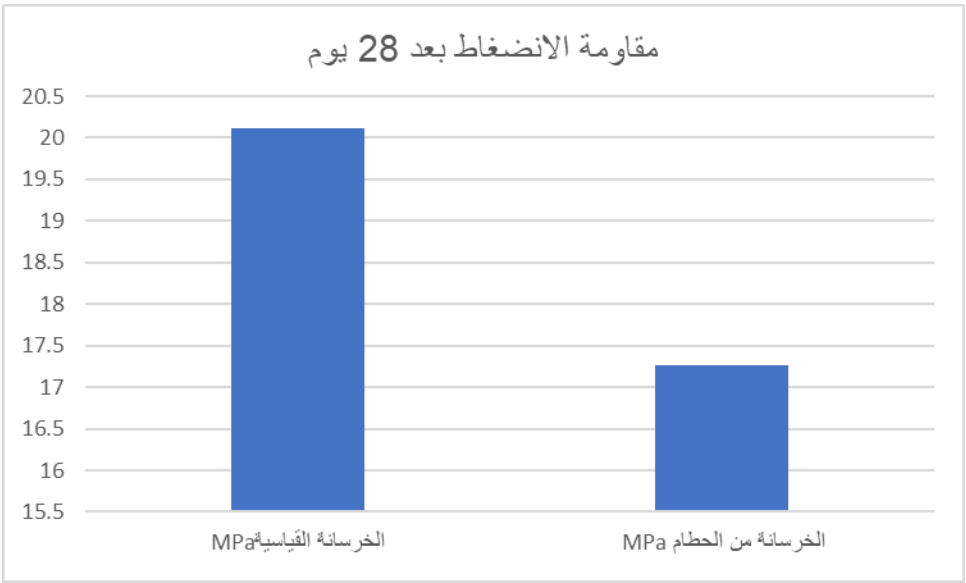


الشكل (6) يوضح مقاومة الانضغاط بعد21 يوم للخرسانة القياسية و الخرسانة من الحطام.

الجدول(6) يوضح قيم مقاومة الانضغاط لاختبارات الخرسانة القياسية والخرسانة من الحطام بعد 28 يوم.

بعد28 يوم			
الخرسانة القياسية	مقاومة الانضغاط MPa	الخرسانة من الحطام	مقاومة الانضغاط MPa
1	20.21	1	18.84
2	23.26	2	14.66
3	22.05	3	18.61
4	19.89	4	15.64
5	16.98	5	14.32
6	18.64	6	16.95
7	18.97	7	17.32
8	19.26	8	19.02
9	20.52	9	18.45
10	21.34	10	18.88
المتوسط	20.11	المتوسط	17.27

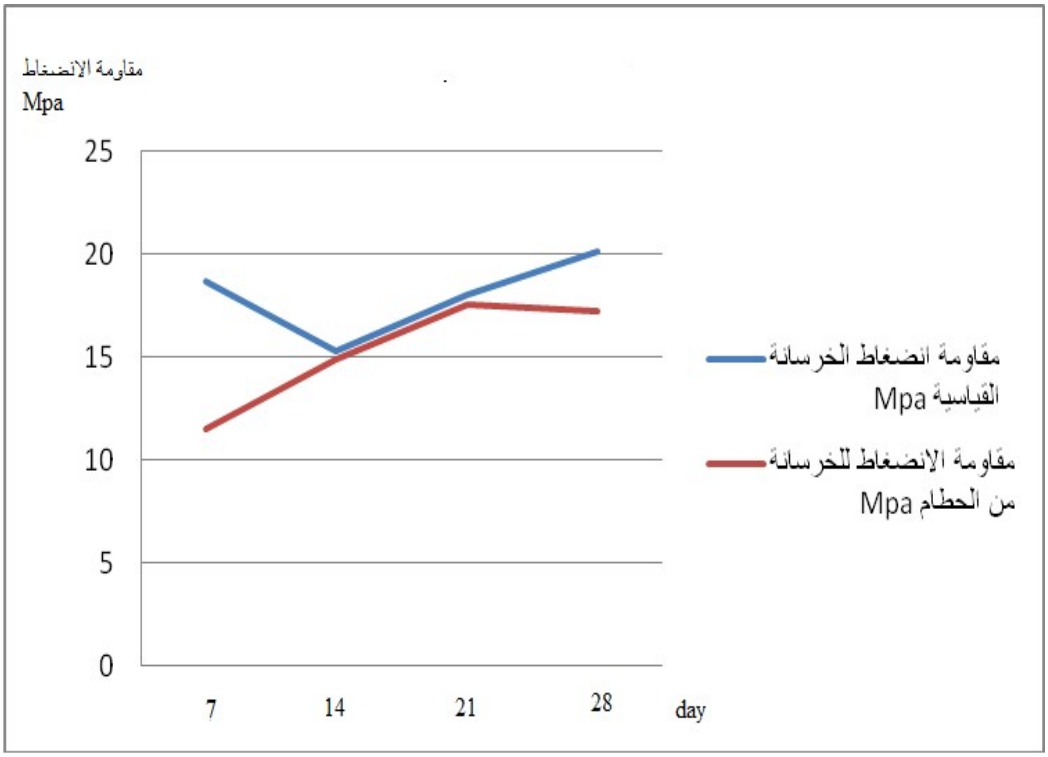
و بدراسة النتائج بعد 28 يوم نجد أن الفرق بين مقاومة الانضغاط للخرسانة القياسية و الخرسانة من الحطام هو Mpa2.84 و الشكل (7) يوضح النتائج.



الشكل (7) يوضح مقاومة الانضغاط بعد 28 يوم للخرسانة القياسية و الخرسانة من الحطام.

و بالاطلاع علي نتائج الاختبارات لمقاومة الانضغاط ببخرسانة القياسية والخرسانة من الحطام بعد 7، 14 ، 21، 28 يوم ، نجد أ؟ن الخرسانة القياسية تكون مقاومة الانضغاط لها أكبر في عمر 7 أيام وتقل بعمر 14 يوم ثم تتزايد ببطء مع عمر 21،28 يوم كما في الشكل (8) .

اما الخرسانة من الحطام فنجد أن مقاومتها للانضغاط في تصاعد حتي عمر 21 يوم ثم تقل بعمر 28 يوم ،و إجمالا فأن مقاومة الانضغاط في عمر 7 و28 يوم تكون فيها اختلاف لنوعي الخرسانة القياسية و الخرسانة من الحطام اما في عمر 14 و 21 يوم فهي شبه متساوية لنوعي الخرسانة.



الشكل (8) يبين مقاومة الانضغاط للخرسانة القياسية والخرسانة من الحطام بمختلف الاعمار .

و لدراسة جدوي استخدام حطام الخرسانة وإعادة تدويرة في صناعة خرسانة جديدة تم اجراء تحليل PESTEL كما في الجدول (7) لمعرفة العناصر السياسية ،الاقتصادية، الاجتماعية، التكنولوجية،البيئية و القانونية لجدوي عملية استخدام حطام الخرسانة القديمة في تصنيع خرسانة جديدة.

الجدول (7) يوضح تحليل PESTE للاستخدام للخرسانة المعاد تدويرها .

العناصر السياسية Political Factors	العناصر الاقتصادية Economic Factors	العناصر الاجتماعية Socio-Cultural Factors
• يعد البناء السكني باعتباره أحد الاتجاهات الرئيسية لاستراتيجية واعادة الاعمار وخاصة في فترة مابعد الحرب وما نتج عنها من دمار	• تكلفة التخلص من بقايا الهدم أقل من إعادة التدوير. • عدم وجود سوق مستقر وسريع الاستجابة لإعادة تدوير بقايا الهدم. • تصور المستهلك السلبي للمواد المعاد تدويرها.	• ضعف المعرفة بشأن إعادة تدوير النفايات / إعادة استخدامها • انخفاض مستوى الدافع لفرز المخلفات / إعادة التدوير / إعادة استخدام الثقافة الدارجة لتصميم البناء بالاساليب القديمة
العناصر التكنولوجية **Technological Factors**	**العناصر البيئية** **Environmental Factors**	**العناصر القانونية** **Legal Factors**
• عدم وجود معدات متخصصة وبأسعار معقولة لإعادة استخدام المواد في الموقع. عدم وجود مصانع لإعادة التدوير	• الطرق الحالية للتخلص من حطام المباني (عادة ما لا يسمح بها القانون) في بعض الدول المتقدمة لما لها من تأثيرات سيئة على البيئة	• عدم وجود قوانين ولوائح قوية ضد التخلص من مخلفات الهدم • عدم وجود حوافز لإدارة مخلفات الهدم

5. الخلاصة والتوصيات

الخرسانة هي المادة الوحيدة التي لا تواجه منافسة كبيرة من المواد المعاد تدويرها الأخرى. وبالتالي، هناك قدرة كافية لإعادة تدوير الخرسانة المحطمة. بيئيا، إعادة تدوير الخرسانة هي الطريقة المفضلة عن القائها في المكب، يتلخص البحث فيما يلي ما يلي:

(أ) الركام من حطام الخرسانة يمتص كمية أكبر من ماء الخلط للخرسانة.

(ب) مقاومة الخرسانة المصنوعة من الحطام الخرساني مقاومتها للضغط منخفضة في اليوم السابع من المعالجة.

(ج) الخلطة الخرسانية من الحطام الخرساني، مع نسبة 1: 3 من الأسمنت إلى بقايا الخرسانة المحطمة ذات الهبوط الكبير، تشغيلية مقبولة مثل خليط الخرسانة القياسية من نفس النسب.

يبدو أن الركام الخرساني المعاد تدويره له خصائص مرضية حيث يمكن أن يحل العديد من المشاكل الأساسية المتعلقة بنقص مواد البناء في الطرق والبناء الخرساني. بالإضافة إلى ذلك، كذلك نقص الموارد الطبيعية، من المرجح أن يزداد الطلب على الركام الخرساني المعاد تدويره، مما يجعل إعادة تدوير الخرسانة البديل الأفضل اقتصاديًا وبيئيًا. وايضا يمكن أن تستعمل في اماكن مثل قاعدة الطريق، يوصى، في المرحلة الأولى من إعادة تدوير الأنقاض الخرسانية، بالنظر في استخدام هذه المواد في بناء الطرق والتطبيقات الرئيسية المقترحة للخرسانة المعاد تدويرها هي:

- اعمال الردم اجمالا.
- قاعدة أو ردم مشاريع الصرف الصحي.
- المواد الفرعية أو السطحية في بناء الطرق.
- الطرق الزراعية والريفية
- مواد الفراش تحت أو بالقرب من مياه الصرف الصحي تحت الأرض أو أنابيب المياه.

ومع ذلك، فإن اختبارات الأداء الميداني ضرورية في مرحلة لاحقة لقياس قيمة معامل التشوه، والذي يعتبر مؤشراً لقدرة تحمل طبقات الرصف.

6. المراجع

[1] T. U. Ganiron, Jr., “Influence of polymer fiber on strength of concrete”, International Journal of Advanced Science and Technology, vol. 55, (2013),

[2] ASTM C 136 – 95a, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate, Annual Book of ASTM, International Standard Worldwide, (2009).

[3] Irving Kett. Engineered Concrete, Mix Design and Test Methods, 2nd Edition.

[4] Nyi Hla Nge, 2008. Essentials of Concrete Inspection Concrete Mix Designs and Concrete Quality Control. 1 st Edition.

[5] Abou-Zeid, M.N., Shenouda, M.N., McCabe, S.L., and El-Tawil, F.A. (2005). “Reincarnation of Concrete,” Concrete International, V. 27, No.2, February 2005

[6] Ajdukiewicz, A., and Kliszczewica, A. (2002). “Influence of Recycled Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPS,” Cement and Concrete Composites, V. 24, No. 2, 2002,

[7] Karlsson M. "Reactivity in Recycled concrete Aggregate", 1, available via internet at the web site: http://www.vbt/bme.hu/phdsymp/2nd phd/proceedings/ Karlsson., 1998.

[8] Boltryk M., Malaszkiewicz D. and Pawluczk E. " Basis Technical properties of Recycled Aggregate concrete", available via internet at the web site: http://www.vgtu.lt/leidniai /lidykla/mbm-2007/1pdf/ boltryk_ mal 2.pdf., 2007.

[9] Poon C.S., kou S. and Lam L. " Use of Recycled Aggregates in Molded Concrete Bricks and Blocks", available via internet at the web site: http://www.cedd.gov.hk/eng/services/recycling/doc/use _rec_agg.