

استخدام مسحوق مخلفات الآجر لتحسين خواص الخرسانة المدموكة بالهراسات

علي محمد منصور وسعيد الحرابي ومحمد مروان الفطي وأحمد عبد الناصر سويسي

قسم الهندسة المدنية كلية الهندسة جامعة طرابلس
E-mail: bomndi@yahoo.com

ABSTRACT

Roller Compacted Concrete is one of the important developments in the field of concrete technology that emerged during the last quarter of the last century. It is a concrete of non slump concrete placed using asphalt paving machines or bulldozers and compacted roller by vibrators or rollers with rubber wheel on successive layers. The layers thickness ranges from 300 to 900 mm in concrete mass dams structures and between 150 to 250 mm in paving concrete of heavy operating and roads. The saving in save cost is between 15-30% compared with conventional concrete and traditional placement methods.

Despite of all the developments in the field of roller compacted concrete its applications are limited in Arab world in general and Libya in particular. Like the developments of any other technology, this encourages the application of this concrete using local materials, and in order to achieve the desired objectives of this research, a laboratory study was conducted intending to make of concrete mixtures by using low cement concrete following the theory of soil compaction concept plus grinded powder residual of brick as an alternative of the fine materials with different proportions, due to the availability of these residuals which makes it necessary to study, and the possibility to take its advantage of improving the compressive strength and density properties of concrete from one hand and minimize the environmental damage resulting from the other hand.

The study concluded with a number of proposals and recommendations, the most important was to encourage the relevant authorities to take advantage of the features exhibited by this technique in some local applications like mass constructions and paving as well as focusing on the follow-up laboratory and site study of the local materials and their impact on the properties of these concretes.

المخلص

الخرسانة المدموكة بالهراسات (Roller Compacted Concrete) هي إحدى التطورات الهامة في مجال تقنية الخرسانة التي برزت خلال الربع الأخير من القرن الماضي. هذا النوع من الخرسانة عبارة عن خرسانة شبه جافة القوام تفرش باستخدام آلة رصف الخرسانة الإسفلتية وتدمك بواسطة الهراس الهزاز أو الهراس ذو العجلات المطاطية على طبقات متتالية يتراوح سمكها بين 300 إلى 900 مم في منشآت الخرسانة الكتلية كالسدود وبين 150 إلى 250 مم في خرسانة رصف المواقع ذات التشغيل الثقيل والطرق. تمتاز هذا النوع عن الخرسانة التقليدية بانخفاض تكاليفها ما بين 15 إلى 30% [2] مقارنة بالأسلوب التقليدي بالإضافة إلى سرعة الانجاز وسهولة التنفيذ. على الرغم من كل التطورات التي حصلت في مجال الخرسانة المدموكة بالهراسات فإن مجالات تطبيقها محدودة في الوطن العربي على وجه العموم وليبيا على وجه الخصوص شأنها شأن التطورات التقنية الأخرى الأمر الذي حدى بالباحث على الاستمرار في

دراسة تطبيق هذه الخرسانة باستخدام المواد المحلية. ولتحقيق الأهداف المرجوة من هذا البحث تم إجراء دراسة عملية كان الهدف منها تنفيذ خلطات ذات محتوى إسمنتي منخفض بإتباع نظرية مفاهيم دمك التربة مضافا إليها مسحوق مخلفات الأجر كبديل للمواد الناعمة (ذات القطر اقل من 0.125 مم) بنسب مختلفة وذلك لتوفر هذه المخلفات بكثرة مما يحتم دراستها وإمكانية الاستفادة منها في تحسين خاصيتي المقاومة والكثافة للخرسانة من جهة والتقليل من الأضرار البيئية الناتجة عنها من جهة أخرى.

وقد خلصت الدراسة إلى جملة من المقترحات والتوصيات كان من أهمها تشجيع الجهات ذات العلاقة للاستفادة من المميزات التي تتمتع بها هذه التقنية في بعض التطبيقات المحلية كالمنشآت الكتلية وأعمال الرصف وكذلك التركيز على متابعة دراسة المواد المحلية وتأثيرها على خواص هذه الخرسانة معمليا وحقليا.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة المدموكة بالهراسات؛ مسحوق مخلفات الأجر؛ مواد بوزولانية

المقدمة

الخرسانة المدموكة بالهراسات (Roller Compacted Concrete) (RCC) هي خرسانة ذات قوام شبه جاف وبنفس مكونات الخرسانة التقليدية لكنها تماثل الخرسانة التقليدية من حيث مكوناتها إلا إنها تختلف عنها بالنسبة لاستخدام المواد الناعمة (خلاف الإسمنت) والتي تصل إلى أكثر من 20% ويبرز الاختلاف أيضا في طريقة التنفيذ حيث تفرش هذه الخرسانة باستخدام آلة رصف الإسفلت أو المجراف وتدمك بواسطة الهراس الهزاز أو الهراس ذو العجلات المطاطية على طبقات يتراوح سمك كل منها من 300 إلى 900 مم في خرسانة السدود الكتلية ويتراوح ما بين 150 إلى 300 مم في خرسانة رصف المواقع ذات التشغيل الثقيل والطرق. ليس هناك تعريف محدد للخرسانة المدموكة بالهراسات حيث يختلف التعريف باختلاف الجهة المعرفة فالمعهد الأمريكي للخرسانة (ACI) في تقرير (116R-90) يعرفها علي أنها الخرسانة المدموكة بواسطة الهراس وهذه الخرسانة في حالتها غير المتصلدة يجب أن تكون قادرة علي تحمل وزن الهراس عند قيامه بعملية الدمك، بينما هيئة الأبحاث الفرنسية، (Ba Ca Ra) عرفت بأنها خرسانة الهدف منها إنشاء المنشآت الكتلية الكبيرة، وعملية مناولتها تكون باستخدام الآلات المستخدمة في أعمال الطرق وأعمال الردم [3].

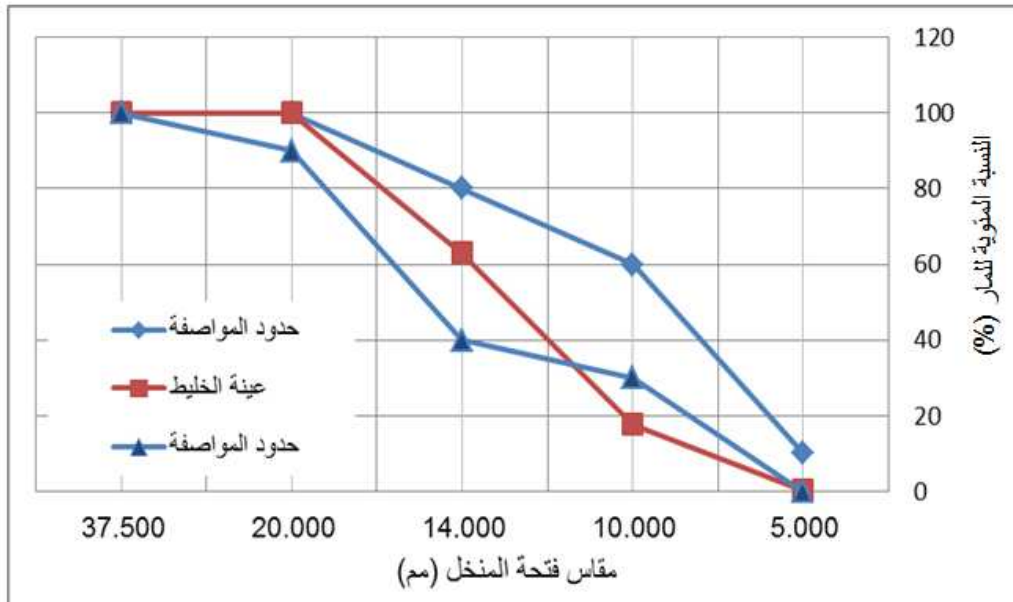
أهداف الدراسة

تعتبر هذه الدراسة جزءا من برنامج متكامل بدأ تنفيذه في ليبيا على مستوى الساحة الليبية للتعرف على خواص الخرسانة المدموكة بالهراسات وتطبيقاتها في مجال السدود باستخدام المواد المحلية من جهة [1,2,4,5] ومن جهة أخرى نظرا لما للإضافات المعدنية من تأثير إيجابي في تطوير هذه الخرسانة بتعويض نقص المواد الناعمة الناتجة عن قلة الإسمنت وخفض في حرارة التميؤ ومقاومة الانفصال الحبيبي وتحسين المتانة وتقليل التكلفة، وذلك باستخدام مسحوق طوب الأجر (Burnt Clay) كمواد بوزولانية تضاف إلى الخلطات الخرسانية المدموكة بالهراسات وخصوصا إن هذا المسحوق يتمتع بخواص المواد البوزولانية والتي لها خواص المادة الرابطة في وجود الاسمنت والماء حيث اثبت التحليل الكيميائي إن نسبة الاكاسيد المتوفرة في هذه المادة تقي بمتطلبات المواصفة الأمريكية [ASTM] [6] ذات العلاقة بالإضافة إلى أن النتائج المتحصل عليها من دراسات سابقة كانت مشجعة [7,8] ومن هذا المنطلق تتضمنت أهداف هذه الدراسة النقاط التالية:

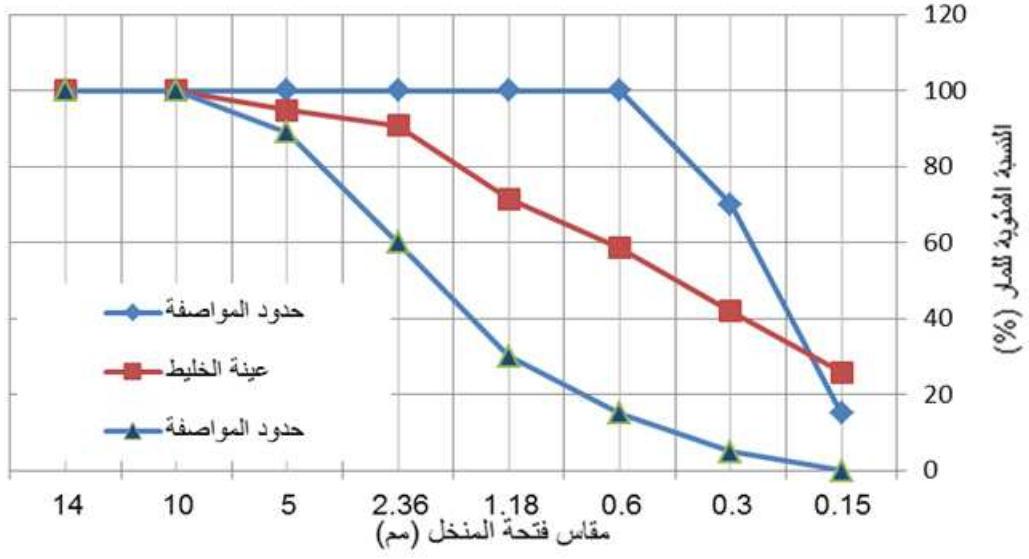
- التخلص من مخلفات طوب الآجر عن طريق إدخالها لدورة مواد البناء مرة أخرى.
- تحسين خواص الخرسانة المدموكة بالهراسات وذلك بإضافة مسحوق الآجر كبديل جزئي للمواد الناعمة.
- تنبيه الجهات ذات العلاقة بإمكانية الاستفادة من مخلفات طوب الآجر والحيولة دون التخلص منها بالطرق التقليدية والأضرار البيئية المترتبة على ذلك.
- عمل قاعدة بيانات ببناء منطلق للأبحاث العملية المستقبلية في هذا المجال.
- التعريف بالخرسانية المدموكة بالهراسات وتطبيقاتها وذلك لإمكانية الاستفادة منها.
- عمل مرجع باللغة العربية يهتم بالخرسانة المدموكة بالهراسات وذلك لقلّة المراجع العربية في مثل هذه المواضيع.

البرنامج العملي

- لتحقيق أهداف هذه الدراسة تضمن البرنامج العملي على عدة خطوات من أهمها:
- استجلاب مخلفات طوب الآجر وطحنها وتحويلها إلى مواد ناعمة.
- إجراء الاختبارات العملية للمواد الداخلة في الخلطة الخرسانية.
- إجراء خلطات خرسانية مدموكة باستخدام جهاز المطرقة الهزازة (Vibration Hammer).
- إجراء تجارب على العينات الخرسانية في حالتها المتصلبة لتحديد الكثافة الجافة والرطوبة ومقاومة الضغط ونسبة الامتصاص ومدى تأثير إضافة مسحوق الآجر على هذه الخواص معملياً تم إجراء عدة تجارب لتحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمواد الداخلة في تكوين الخرسانة المدموكة بالهراسات وكانت نتائج هذه الاختبارات مطابقة للمواصفات البريطانية (BS-1377) ويوضح الشكل (1) نتائج التحليل المنخلي للركام الخشن كما يوضح الشكل (2) نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم



شكل 1: منحنى التدرج الحبيبي لعينة الخليط للركام الخشن



شكل 2: منحنى التدرج الحبيبي لعينة الخليط للركام الناعم

فيما يتعلق بالمادة الناعمة فقد اعتمدت هذه الدراسة على اخذ كميات من مخلفات مصنع السوانى لصناعة طوب الآجر وتم طحن هذه المخلفات بمطاحن مصنع الحديد والصلب مصراته إلى درجة نعومة اقل من 75 ميكرومتر شكل (3).



شكل 3: مسحوق مخلفات الآجر

من خلال ما توصلت إليه التجارب العملية فإن نسب الركام و الإسمنت و الماء و المواد الناعمة (مسحوق طوب الأجر) في خلطة الخرسانة المدموكة بالهراسات المستخدمة في هذه الدراسة كانت على النحو التالي:

- نسبة الركام الخشن 65% من المجموع الكلي للركام في الخلطة.
- نسبة الركام المجروش 21% من المجموع الكلي للركام في الخلطة.
- نسبة الرمل الطبيعي 14% من المجموع الكلي للركام في الخلطة.
- نسبة الأسمت 5.5% من وزن الركام الجاف في الخلطة.
- نسبة الماء (4%، 5%، 6%، 7%) من وزن الخلطة لإتباع طريقة مفاهيم التربة (العلاقة بين الكثافة و المحتوي المائي).
- نسبة المود الناعمة (مسحوق طوب الأجر) مضافة كنسبة من وزن الاسمنت كانت (0%، 10%، 20%، 30%) و الجدول (1) يوضح أوزان عدد من الخلطات.

جدول 1: أوزان مكونات الخلطات

المواد	خلطة	خلطة	خلطة	خلطة
اسمنت (كجم)	120	120	120	120
ركام 1 (مقاس 20 مم) (كجم)	709.1	709.1	709.1	709.1
ركام 2 (مقاس 14 مم) (كجم)	709.1	709.1	709.1	709.1
ركام مجروش (كجم)	458.16	458.16	458.16	458.16
رمل طبيعي (كجم)	305.47	305.47	305.47	305.47
نسبة الماء (%)	7%	6%	5%	4%
ماء (كجم)	161.123	138.12	115.092	92.22
%	(كجم)	(كجم)	(كجم)	(كجم)
نسبة مسحوق طوب الأجر	0	0	0	0
	12	12	12	12
	24	24	24	24
	36	36	36	36

إعداد العينات

يتم تجهيز القوالب الاسطوانية القياسية (300×150) مم وذلك بتنظيفها وتزييت سطحها الداخلي بطبقة خفيفة من الزيت وتحديد وزنها الاسطوانة فارغة لاختبار الدمك بعد الانتهاء من عملية الخلط يتم وضع الخرسانة في القالب الاسطواني على ثلاث طبقات وتم توزيع الخليط بانتظام داخل الاسطوانة في كل طبقة بانتظام خلال السطح الداخلي، بعد ذلك يتم استخدام جهاز الدمك حيث توضع قاعدة الدمك على سطح الطبقة و يتم تشغيل الجهاز لمدة 60 ثانية (طبقة) للمواصفة البريطانية (BS 1377) [9]، حتى خروج العجينة الإسمنتية بين جدار القالب وقاعدة الدمك، وعند الانتهاء من الدمك بالجهاز يتم كشط الخرسانة الزائدة ويسوى سطح الخرسانة مع القالب ويوزن القالب ممتلئاً وبه الخرسانة ويدون الوزن، تم تعاد نفس العملية مع كل خلطة مع تغير

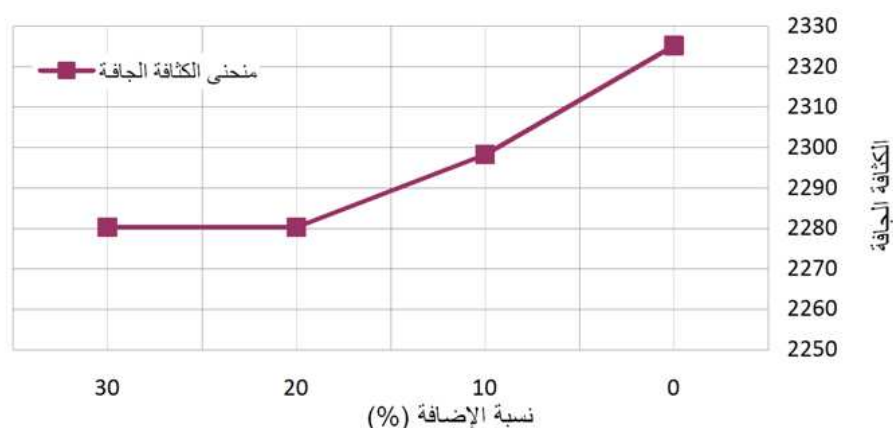
المحتوى الماء في كل خلطة. بالخطوات السابقة يكون إعداد العينات قد انتهى، ولكن للاستفادة من العينات لإجراء اختبار الضغط عليها يتم ترك العينات لمدة 24 ساعة في القوالب ثم توضع في الماء لغرض المعالجة تركها في القوالب لمدة 24 ساعة بعدها يتم فك القوالب و ترقيم العينات وذلك لغرض مقارنة نتائج الكثافة مع مقاومة الضغط لنفس محتوى الماء

نتائج اختبارات الخرسانة ومناقشتها

تم من خلال هذه الدراسة تم الحصول علي أقصى كثافة جافة وأقصى مقاومة ضغط عند نسبة ماء 5% من الوزن الكلي في كل الحالات وبالتالي المحتوى الأمثل للماء في هذه الدراسة هو 5%، كما لم تؤثر إضافة نسبة من مسحوق الأجر على نسبة الماء المثلى ولكنها أدت إلى نقص في قيمة الكثافة هذا النقص يزداد بزيادة مسحوق الأجر وذلك لأن نسبة النوعم تؤثر في الكثافة الجافة إلا أن مقاومة الضغط تزداد بزيادة مسحوق طوب الأجر والجدول (2) يبين نسب الإضافة المختلفة والكثافة الجافة عند المحتوى المائي الأمثل 5% والشكل (4) العلاقة يبين نسب الإضافة المختلفة والكثافة الجافة. بينما الجدول (3) والشكل (5) يبيننا قيم لمقاومة الضغط لعمر 7 و 28 يوم عند المحتوى المائي الأمثل 5%.

جدول 2: نسب الإضافة (مسحوق الأجر) المختلفة وقيم الكثافة الجافة عند المحتوى المائي الأمثل 5%

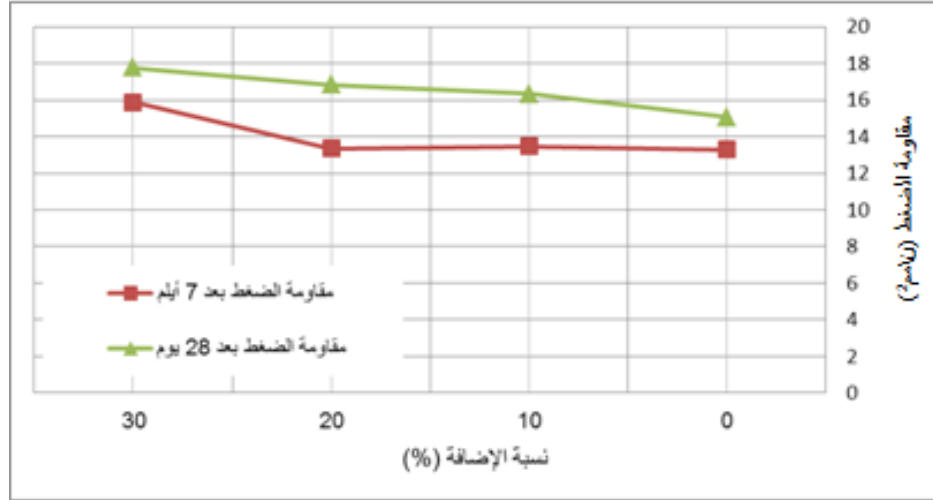
نسبة النقص إلى الخلطة التي لا تحتوي على الأجر %	الكثافة الجافة كجم/م ³	نسبة الإضافة (مسحوق الأجر) %
0	2325.24	0
1.16	2298.295	10
1.39	2280.314	20
1.39	2280.314	30



شكل 4: العلاقة بين نسب الإضافة المختلفة والكثافة الجافة

جدول 3: نسب الإضافة (مسحوق الأجر) المختلفة وأعلى قيم لمقاومة الضغط عند المحتوى المائي الأمثل 5%

نسبة الإضافة (مسحوق الأجر) %	مقاومة الضغط بعد 7 أيام ن/مم ²	مقاومة الضغط بعد 28 ن/مم ²	الزيادة في المقاومة نسبة إلى الخلطة التي لا تحتوي على الأجر %
0	13.29	15.07	0
10	13.46	16.33	8.36
20	13.34	16.84	11.74
30	15.88	17.77	17.92

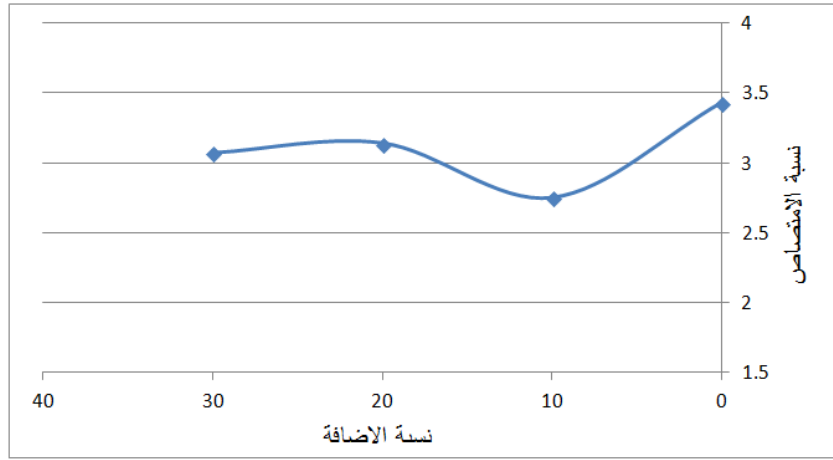


شكل 5: العلاقة بين أقصى مقاومة الضغط ونسب الإضافة المختلفة

ثم حساب نسبة الامتصاص للخرسانة المدموكة حيث الجدول (4) والشكل (6) يبيننا نتائج اختبار الامتصاص عند المحتوى المائي الأمثل 5% وهذه القيمة تعبر عن خرسانة متوسطة الامتصاص [10] كما لوحظ أن نسبة الامتصاص تقل بزيادة مسحوق الأجر.

جدول 4: نتائج اختبار الامتصاص عند المحتوى المائي الأمثل 5%

نسبة الإضافة %	وزن الاسطوانة مشبعة بالماء قبل التجفيف (كجم)	وزن الاسطوانة بعد التجفيف 48 ساعة (كجم)	نسبة الامتصاص %
0	13.1	12.65	3.43
10	12.75	12.4	2.75
20	12.75	12.35	3.14
30	13.05	12.65	3.07



شكل 6: العلاقة بين نسبة الإضافة ونسبة الامتصاص

مقارنة نتائج الدراسة مع دراسات أخرى

بمقارنة بالنتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة ومقارنتها بنتائج خرسانة بعض السدود المنفذة كما هو موضح بالجدول (5).

جدول 6: مقاومة الضغط لبعض سدود الخرسانة المدموكة بالهراسات [3].

مقاومة الضغط (MPa)					بوزولانا (kg/m ³)	الاسمنت (kg/m ³)	السد
365 يوم	180 يوم	90 يوم	28 يوم	7 يوم			
25.4	-	-	10.1	6.1	81	82	Camp dyer
-	-	11.4	8.8	-	0	66	Middle fork
30.5	-	22.2	18.8	7.5	75	76	Santa Cruz
-	-	21.4	18.1	-	62	125	Stacy spillway
8.6	6.8	-	2.4	1.5	77	71	Stagecoach
9.6	-	8.1	6.4	-	0	60	Urugua
26.1	-	18.3	12.8	6.9	0	104	Willow creek
-	-	-	17.8	15.9	36	120	الدراسة الحالية

الاستنتاجات

- اختصت هذه الدراسة بإمكانية إضافة مسحوق الأجر إلى الخلطات الخرسانية ذات المحتوي الأسمنتي والمائي المنخفضين مع محاولة الاستغناء عن المواد الناعمة المستوردة مثل السيكال والرماد المتطاير ومن خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:
- يمكن تحسين خواص الخرسانة المدموكة بالهراسات عند 28 يوم (زمن الدراسة) كسهولة الدمك والتجانس ومقاومة الضغط ومقاومة الانفصال الحبيبي بإضافة مسحوق الأجر.
- تزداد مقاومة الخرسانة زيادة طفيفة بزيادة نسبة مسحوق الأجر ومحتوي المونة الإسمنتية حيث يعتبر مسحوق الأجر مادة بوزولانية لها خاصية المواد الرابطة إضافة إلى مساهمته في زيادة محتوى المونة الأسمنتية مع ثبات كمية الاسمنت.

- بمقارنة النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة بنتائج خرسانة بعض السدود المنفذة يتضح فعالية المواد المضافة (مسحوق الآجر) كمواد بوزولانية.
- في هذه الدراسة تم الحصول على أقصى كثافة وأقصى مقاومة ضغط عند نسبة ماء 5% من الوزن الكلي في كل الحالات.
- تساهم عملية استخدام مخلفات الآجر كمادة بناء في تقليل التشوه والتلوث البيئي.

التوصيات

- بنا على نتائج هذه الدراسة تم اقتراح جملة من التوصيات أهمها:
- يجب الاستفادة من المميزات التي تتمتع بها الخرسانة المدموكة بالهراسات في بعض التطبيقات الخاصة بالمنشآت الكتلية و الرصف و ساحات التشغيل الثقيل.
- إجراء دراسة حقلية متكاملة على قطاع تجريبي لدراسة الخرسانة المدموكة بالهراسات بنطاق واسع.
- التوسع في دراسة الاستفادة من مسحوق مخلفات طوب الآجر كبديل جزئي لكمية الإسمنت بالخرسانة المدموكة بالهراسات وخاصة أنها تتمتع بخواص المواد البوزولانية.
- إجراء المزيد من الدراسات باستخدام المواد المحلية على نطاق واسع.
- يوصى باستخدام المحتوى المائي الأمثل لهذه الدراسة.
- دراسة خواص الخرسانة التي لم تدرس في هذا البحث كدراسة مقاومة الشد المباشر وغير المباشر وغيرها من الاختيارات.
- دراسة تأثير النسب المضافة من المسحوق من طوب الآجر على مقاومة الضغط للخرسانة المدموكة بالهراسات على المدى الطويل للهتسعين يوما فما فوق لله.
- دراسة تأثير الأحمال الناتجة عن الهراس للطبقات السفلية نتيجة دمك الطبقات العلوية.

المراجع

- [1] S.Y. Barony& J.M. Rouis& A.M.Ali& T.Sifaw (The potential of using local material in Rcc an experimental study) 1st International Concrete for technology and durability of concrete, Algiers, 2004.
- [2] T.S. Sifaw (Roller Compacted Concrete Technology & Application) MSc thesis in Civil Engineering – Alfateh University, Tripoli Libya (1999).
- [3] ACI 207 .5R (Roller Compacted Mass Concrete Dams) ACI materials march (1999).
- [4] S.Y. Barony& J.M. Rouis& A.M.Mansor,,& (Roller Compacted concrete RCC)Procedure 2nd National Conference on Building material Engineering,(2004),Khoms, Libya.
- [5] S.Y. Barony& A.M. Gilani& A.M.Mansor & J.M. Rouis,,& (Roller Compacted concrete Tensile strength)Proceedings of the 2nd International Conference on seismic refrofitting , Tabriz, Iran Nov-2009.

- [6] ASTM-C618 (Classification and Properties of fly-Ash and Row or Caleined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete 1989.
- [7] الصديق الزنداح وآخرون (الاستفادة من الخواص البوزولانية لبقايا طوب آجر السواني في صناعة الاسمنت المخلوط) المؤتمر العربي الخامس للهندسة الإنشائية ، طرابلس 1993.
- [8] علي محمد الترهوني وآخرون (استخدام مسحوق الأجر لتحسن خواص الخرسانة ذاتية الدمك)، مجلة البحوث الهندسية (جامعة طرابلس) العدد 16 مارس 2013.
- [9] British Standard BS 1377:1975 (Method of Tests for Soils for Civil Engineering Purposes, Test14.
- [10] A review of methods and experience, technical report of concrete society working party "permeabeability testing of site concrete" no,31,1989.