المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام وتأثيرها على الخصائص الميكانيكية للخرسانة

أ . محمد بشير أبوهدمة **أ . إبراهيم حسين بلاش**

m.abohedmh@ceh.edu.ly **a.blash@ceh.edu.ly**

كلية التقنية الهندسية – هون كلية التقنية الهندسية - هون

الملخـــــص

تعتمد صناعة البناء والتشييد بشكل كبير على الإسمنت في تنفيذ الأبنية والبنية التحتية ، ونتيجة لارتفاع أسعار هذه المادة في السنوات الأخيرة في العالم بشكل عام وليبيا بشكل خاص لأسباب مختلفة أهمها الأسباب الاقتصادية , ركزت بعض الدراسات على خفض أسعار هذه المادة وذلك بخفض تكاليف إنتاجها ن طريق خفض تكاليف طاقة احتراق الكلنكر بإستبدال جزء من الكلنكر عالي الكلوريد بمواد أخرى تكون مناسبة ولا تحتاج إلى المزيد من المعالجة الحرارية , في حين ركزت بعض الدراسات الحديثة على إستبدال الإسمنت في الخرسانة بمواد مالئة ناعمة خاملة غير فعالة مع الخسارة في مقاومة الضغط كالمواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام الخشن (غبرة الركام) .

وتتلخص الدراسة المعملية في إمكانية إنتاج الخرسانة بإستبدال جزء من الإسمنت بالمواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام الخشن المارة من منخل رقم 200 بنسب [10% ، 20% ، 30% ، 40% من وزن الإسمنت] . وقد أظهرت النتائج المتحصل عليها إمكانية إنتاج خرسانة بمقاومة ضغط مقبولة مع نسبة إضافة إلى غاية 30% الأمر الذي يعني إمكانية الإستفادة من هذه المواد والحفاظ على البيئة في الوقت نفسه .

الكلمات المفتاحية : الخرسانة , مقاومة الضغط , الإسمنت , غبرة الركام , البيئة .

ABSTRACT

Construction industry depends on the cement in the implementation of the building and infrastructure, and as a result of the rise in cement prices in the period benevolent in the world in general and Libya in particular, for various reasons the most important is the economic crisis. Some studies have focused on reducing the price of this substance by reducing its production costs, which in turn will reduce the clinker burning energy costs, by replacing a part of the high-chloride clinker with other appropriate materials, which do not require further heat treatment. While some recent studies have focused on the replacement of cement in concrete by filler material soft and inert ineffective with some loss in compressive strength. The present paper is briefly focusing on the ability of producing concrete by replacing a part of cement by soft substances that associated with the production of rough aggregate with different percentages [10%, 20%, 30% & 40%] of cement weight. The results obtained showed the possibility of the production of concrete with an acceptable compressive strength with an additive ratios up to 30%. In addition, the advantage of the rough aggregate will help having more clean.

Keywords : concrete, compressive strength, cement, soft substances, environment.

مقدمة

يعتبر الرومان أول من استعمل الخرسانة العادية في التاريخ من حوالي ألفي عام وقد استعملت في معظم أبنيتهم لسهولة تشكيلها وإمكانية تنفيذها بعمالة مدربة تدريباً بسيطاً . تطورت الخرسانة تطوراً هائلاً منذ أن استخدمت لأول مرة كمادة إنشاء وشمل هذا التطور كل جوانبها فقد تطورت أساليب التصميم ونظرياته من المرونة واللدونة وتحسنت طرق التنفيذ والصيانة وكذلك ظهرت أحدث أنواع الآلات والمعدات المستعملة في الصناعة، وتعددت الأنواع المختلفة من الخرسانة تبعاً لمكوناتها ومتطلباتها بل أن التطور قد تعدى كل ذلك إلى ثورة في نواحي التطبيق والاستعمال بصورة لم يسبق لها مثيل فأخذت الخرسانة صوراً وأشكال جديدة معقدة وغير مألوفة تجدها في كل مكان وفي جميع النشاطات [1] .

نتيجة لحركة الإعمار التي شهدتها ليبيا في السنوات الأخيرة , والتي صاحبها إزدياد الطلب على مواد البناء وبالأخص الركام الخشن الأمر الذي أدى إلى زيادة المخلفات المصاحبة لإنتاجه في ساحات الإنتاج مسببةً أضرار بيئية مما استوجب ضرورة إيجاد طريقة سليمة لتخلص من هذه المخلفات من خلال إدخالها دورة مواد البناء مرة أخرى [2].

شكل 1 : المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام

أهداف الدراسة

الهدف من هذه الورقة هو دراسة مدى إمكانية إستخدام المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام الخشن كمواد ناعمة تضاف إلى الخلطات الخرسانية كنسبة من وزن الأسمنت، ولإستغلال المواد المحلية في تطوير الخرسانة للرفع من قدرتها على سهولة الإنسياب ومقاومة إنفصال مكوناتها بالإضافة للرغبة في إيجاد بدائل محلية للمواد المستوردة ، بحيث تتضمن أهداف هذه الدراسة النقاط التالية :

- دراسة خواص الخرسانة وذلك بإضافة المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام الخشن (غبرة الركام) كمادة ناعمة.
- التخلص من هذه المخلفات عن طريق إعادة إستخدامها في إنتاج الخرسانة، الأمر الذي يساعد في خفض تكاليف الخلطة الخرسانية .
- تنبيه الجهات ذات العلاقة بإمكانية الإستفادة من مخلفات الركام والحيلولة دون التخلص منها بالطرق التقليدية والأضرار البيئية المترتبة على ذلك .

البرنامج العملي للدراسة

لتحقيق أهداف الدراسة المشار إليها سلفاً تضمن البرنامج العملي القيام بعدة خطوات وهي :

- استجلاب عينات من المواد الناعمة والمتمثلة في غبرة الركام من المحاجر .
- إجراء الإختبارات المعملية على المواد المكونة للخلطة الخرسانية ومقارنة نتائجها بحدود المواصفات ذات العلاقة .
- تنفيذ خلطات خرسانية بإضافة نسب مختلفة من المادة الناعمة إلى مكونات الخرسانة .

- تنفيذ مجموعة من الإختبارات المعملية والتي من شأنها تحديد ودراسة خواص الخرسانة في حالتها الطازجة والمتصلدة .
- دراسة وتحليل النتائج المتحصل عليها من الإختبارات المنفذة ومقارنتها بالمواصفات ذات العلاقة .
- الوصول إلى توصيات من شأنها التشجيع على إستخدام المواد المستهدفة وإستمرار الدراسات في هذا الشأن .

المواد المستخدمة

الخرسانة هي عبارة عن خليط غير متجانس من الركام (الناعم + الخشن) والأسمنت والماء , وفي هذه الدراسة تم إستخدام مياه صالحة للشرب مصدرها شبكة المياه العامة لمدينة هون (صالحة للإستخدام في الخلطات الخرسانية) , وأستخدم سمنت البورتلاندي العادي (Portland Cement) طبقاً للمواصفة الليبية (1997/340) [3] من إنتاج مصنع البرج زليطن وإجراء الإختبارات اللازمة وتبين من النتائج أن الأسمنت مطابق للمواصفات الأمريكية (ASTM) [4] , والجدول 1 يبين نتائج الإختبارات للأسمنت . أما الركام فقد تم إستخدام ركام خشن (الحصى) تم جلبه من الكسارات الموجودة في منطقة الـــ (جبال السوداء) جنوب منطقة الجفرة حيث إستخدم ركام شامل بدمج 40 % من ركام بقطر 8 ملم و 40 % بقطر 1 ملم و 20 % بقطر 2 ملم , أما بالنسبة للركام الناعم (الرمل) فقد أستخدم رمل مصدره منطقة زلة شرق الجفرة , ولأن نتائج التحليل المنخلي لنوعي الركام (الكبير + الصغير) لم تكن ضمن المواصفات والحدود الموصى بها لهذا السبب قمنا بتصميم التدرج الحبيبي لكي نتحصل على نتائج تكون مطابقة للمواصفات البريطانية (BS 882) [5] والشكل 2 , 3 يوضحان نتائج التحليل المنخلي للركام , كذلك تم إجراء إختبار تعيين الوزن الحجمي والوزن النوعي للركام (الكبير + الصغير) وفقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM C127 & C128) [6] [7] , والنتائج موضحة في الجدول 3,2 .

أما فيما يتعلق بالمواد الناعمة (غبرة الركام) فقد تم استجلابها من نفس الكسارات التي أستجلب منها الركام الخشن , بعد ذلك تم إجراء إختبارات المعملية عليها لتعيين حد اللدونة والسيولة وفقاً للمواصفـــات البريطـــانية (BS 1377 Part 2 :1990) [8] والنتائج موضحة في الجدول 4 .

جدول(1) : نتائج إختبارات الإسمنت

الإختبار	المواصفات	الحدود	النتيجة
صلاحية الإسمنت في الموقع	ASTM C150 [4]	-	الإسمنت صالح للأستعمال
نعومة الإسمنت بإستخدام المناخل	ASTM C786 [5]	لا يزيد عن 22%	6.8 %
القوام القياسي للعجينة الإسمنتية	ASTM C187 [6]	33 – 35 ملم	33 ملم

جدول(2) : نتائج الوزن النوعي والحجمي للركام الكبير

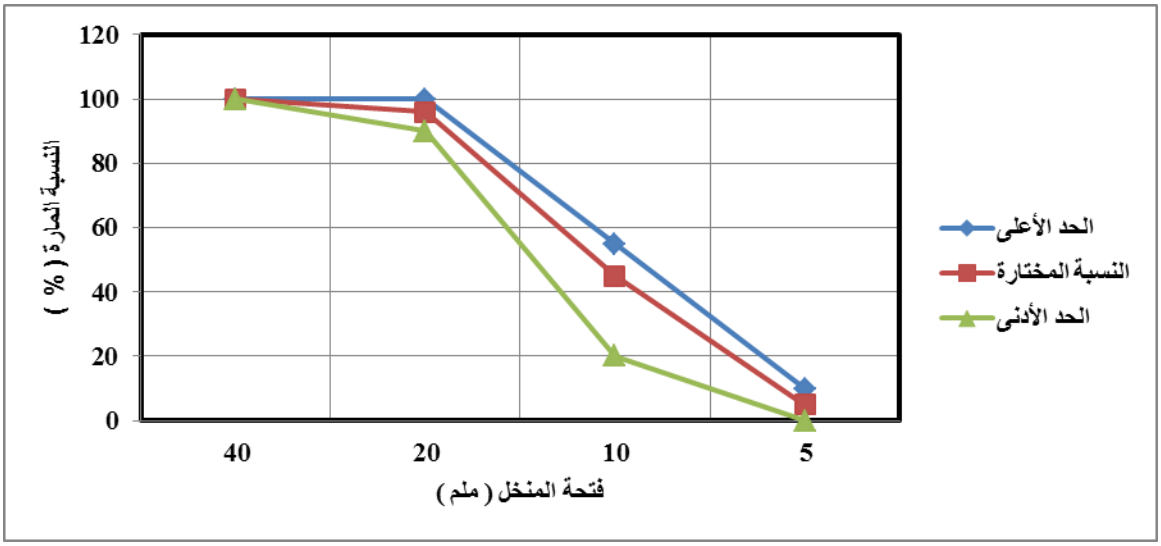
الإختبار	المواصفات	الحدود	النتيجة
الوزن النوعي	ASTM C127 [9]	2.9 – 2.6	2.61
الوزن الحجمي	ASTM C29 [10]	-	1383 كجم /م^3

جدول(3) : نتائج الوزن النوعي والحجمي للركام الصغير

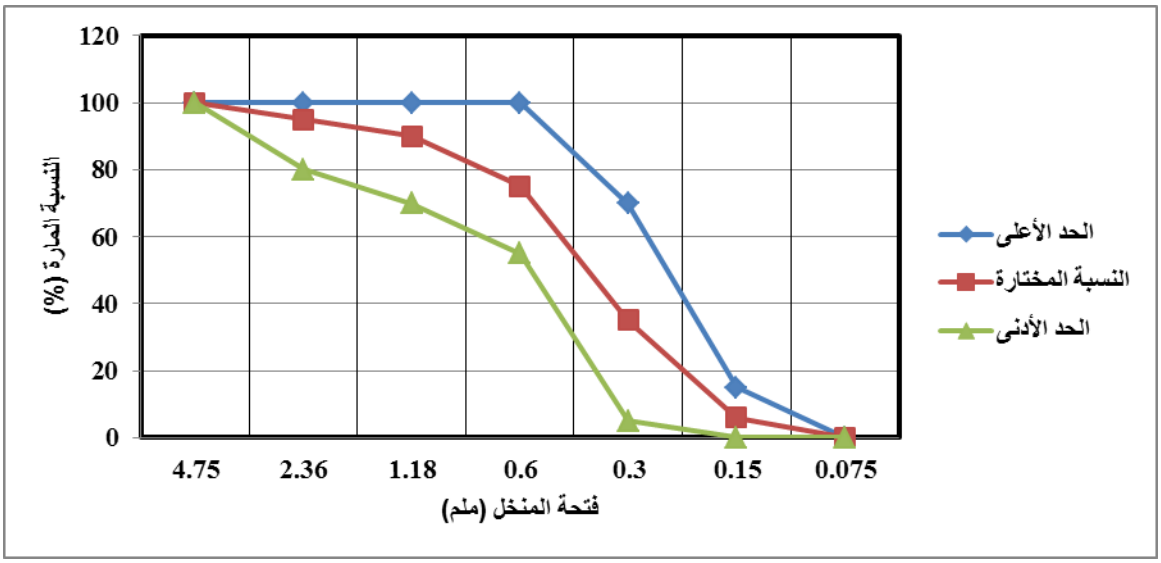
الإختبار	المواصفات	الحدود	النتيجة
الوزن النوعي	ASTM C128 [11]	2.9 – 2.6	2.69
الوزن الحجمي	ASTM C29	-	1036 كجم /م^3

جدول(4) : نتائج إختبار المادة الناعمة (غبرة الركام)

حد اللدونة (PL) [8]	حد السيولة (LL) [8]	PI = PL – LL [8]	تصنيف المادة [8]
%26.653	%22.173	%4.48	طمي



شكل 2 : التدرج الحبيبي للركام الكبير



شكل 3 : التدرج احبيبي للركام الصغير

وقد تم تصميم الخلطة الخرسانية في هذه الدراسة بالطريقة الوصفية وتعتمد هذه الطريقة على تحديد نسب مكونات الخلطة الخرسانية إستناداً لخلطات سابقة , حيث يتم إختيار نسب معينة من الإسمنت والرمل والركام ويتم عمل خلطات خرسانية صغيرة وإجراء بعض التعديلات حتى نصل إلى الخلطة المناسبة , بعد ذلك يتم الإستبدال الجزئي من وزن الإسمنت بالمادة الناعمة بنسب مختلفة (10% , 20% , 30% , 40%) بعد نخلها على منخل رقم 200 بالإضافة إلى العينة المرجعية (0%) وتم إجراء الإختبارات للخرسانة في حالتها الطازجة والمتصلدة . الجدول (5) يوضح أوزان مكونات الخلطات الخرسانية وعدد المكعبات المنفذة .

جدول(5) : أوزان مكونات الخلطة الخرسانية لكل خلطة

العينة	الإضافة(kg)	الإسمنت(kg)	الماء(kg)	الركام(kg)	الرمل(kg)	عدد المكعبات
% 0	0	15.6	7.8	42.5	21.25	9
R10	1.56	14.04	7.8	42.5	21.25	9
R20	3.12	12.48	7.8	42.5	21.25	9
R30	4.68	10.92	7.8	42.5	21.25	9
R40	6.24	9.36	7.8	42.5	21.25	9

الإختبارات على الخرسانة الطازجة والمتصلدة

أجريت إختبارات على الخرسانة وهي في حالتها الطرية والمتمثل في إختبار الهبوط (Slump Test) , أما الإختبارات التي تم إجراؤها على الخرسانة وهي في الحالة المتصلدة فهي إختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength) وأختبار قياس سرعة الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Pulse Velocity) بأستخدام الأجهزة المبينة في الجدول (6) .

جدول(6) : إختبارات الخرسانة

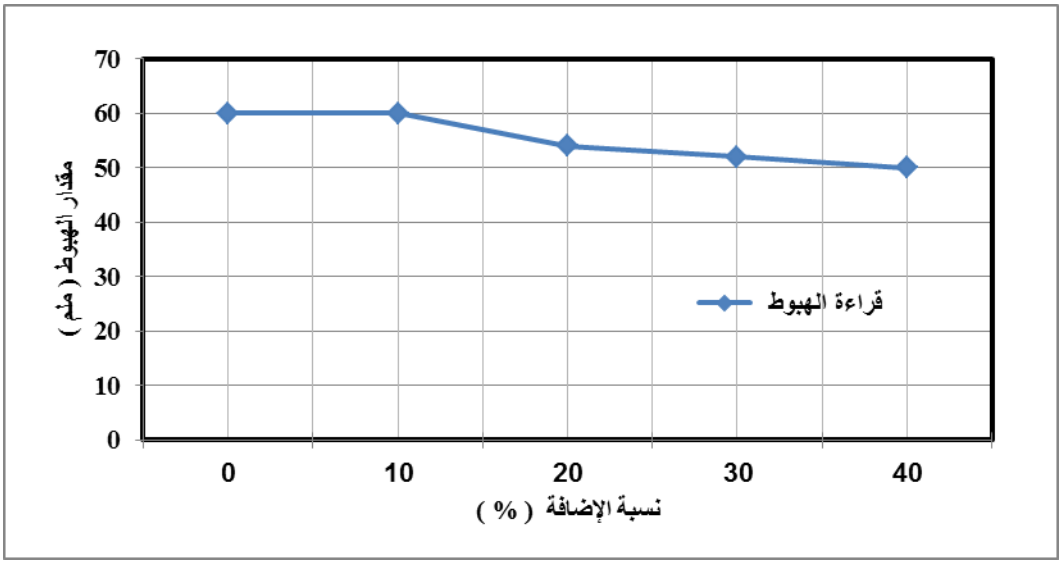
اسم الأختبار	الغرض من الأختبار	المواصفة التي تم وفقها إجراء الإختبار	شكل جهاز الأختبار
إختبار الهبوط Slump Test	تحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص	المواصفة الأمريكية (ASTM C 143) [12]	
إختبار مقاومة الضغط Compressive Strength	التحكم في جودة إنتاج الخرسانة	المواصفة البريطانية (BS 1881 Part 116:1983) [13]	
إختبار قياس سرعة الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Pulse Velocity	قياس كثافة المادة المختبرة وخواص المرونة لها من خلال سرعة النبضات خلالها	المواصفة الأمريكية (ASTM C 597) [14]	

نتائج إختبارات الخرسانة في الحالة الطازجة ومناقشتها

يتبين من النتائج الموضح في الجدول 7 عدم تأثر قيمة الهبوط للخلطة الخرسانية بنسبة إضافة للمواد الناعمة (10%) مقارنة بالخلطة القياسية حيث كانت قيمة الهبوط متساوية لكل منهما ومقداره 60 ملم , أما بالنسبة للخلطة الخرسانية بنسبة إضافة (20%) للمواد الناعمة يقل مقدار الهبوط ليصبح 54 ملم وهو تغير ليس بالكبير إذا ماقورن بالخلطة القياسية , أما بالنسبة للخلطة الخرسانية بنسبة إضافة للمواد الناعمة (30%) يقل مقدار الهبوط ليصبح مقداره 52 ملم ويزداد النقصان في قيمة الهبوط مع زيادة نسبة المادة الناعمة (40%) ليصبح مقداره 50 ملم وهي أقل قيمة للهبوط إذا ماقورنت بالخلطة القياسية المرجعية . الأمر يعود إلى أن زيادة نسبة المادة الناعمة في الخلطة يؤدي إلى زيادة لزوجتها وبالتالي ينعكس على الهبوط بإستثناء نسبة الإضافة (10%) والتي لم تتأثر فيها قيمة الهبوط حيث كانت نفس القيمة بالنسبة للخلطة القياسية والذي يوضح عدم تاثر الهبوط للخلطة الخرسانية عند هذه النسبة . وبشكل عام يتبين أن التغير في الهبوط لباقي الخلطات (أي الخلطات بنسب إضافة للمواد الناعمة 20% و 30% و 40%) هو تغير طفيف إذا ماقورن بالخلطة القياسية المرجعية كما هو موضح في الشكل 4 .

الجدول (7) : قيم الهبوط لمختلف الخلطات

نوع الخلطة	مقدار الهبوط (ملم)
القياسية	60
R10	60
R20	54
R30	52
R40	50



شكل 4 : نتائج إختبار الهبوط

نتائج إختبارات الخرسانة في الحالة المتصلدة ومناقشتها

أظهرت نتائج إختبار مقاومة الضغط للعينات بعمر 28,14,7 يوم والموضحة في الجدول 4 إنخفاض في مقاومة الضغط بالنسبة لجميع الخلطات مقارنةً بالخلطة القياسية الأمر الذي يعني أن إضافة هذه المادة تؤثر على مقاومة الضغط للخرسانة بشكل سلبي , حيث كانت مقاومة الضغط عند نسبة إضافة (10%) بعد 28 يوم 42.71 ميجاباسكال وهي أقصى قيمة لمقاومة الضغط بعد 28 يوم , وعند نسبة إضافـة (20%) كانت مقاومة الضغط بعد 28 يوم 35.37 ميجاباسكال , وانخفضت مقاومة الضغط بعد 28 يوم عند نسبة إضافة (30%) بشكل طفيف لتصبح 34.58 ميجاباسكال , وعند نسبة إضافة (40%) تنخفض مقاومة الضغط بعد 28 يوم لتصبح 28.23 ميجاباسكال , وهي أقل قيمة لمقاومة الضغط بعد 28 يوم في هذه الدراسة .

الأمر الذي يفسر بأن زيادة نسبة المادة الناعمة (غبرة الركام) يؤثر بشكل سلبي على التماسك بين العجينة الإسمنتية والركام الخشن وهو ماينعكس على مقاومة الضغط للخرسانة فتقل بزيادتها في الخلطة الخرسانية كما هو موضح في الشكل 5 .

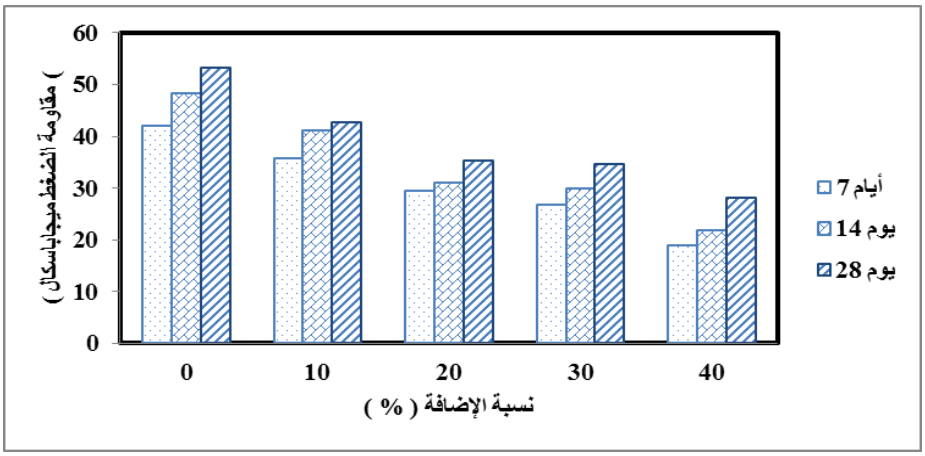
كذلك يتبين من نتائج إختبار الموجات فوق الصوتية الموضحة في الجدول 10 على الرغم من تقاربها بأن سرعتها تزداد بزيادة نسبة المادة الناعمة في الخلطة كما هو موضح في الشكل 6 , الأمر الذي يؤدي إلى زيادة نسبة الفراغات في الخلطة والعائد إلى عدم التماسك بين العجينة الإسمنتية والركام الخشن وهو ما يفسر الإنخفاض في مقاومة الضغط لكل الخلطات الخرسانية بعمر 28,14,7 يوم .

الجدول (9) : نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة بعمر7 ، 14 ، 28 يوم

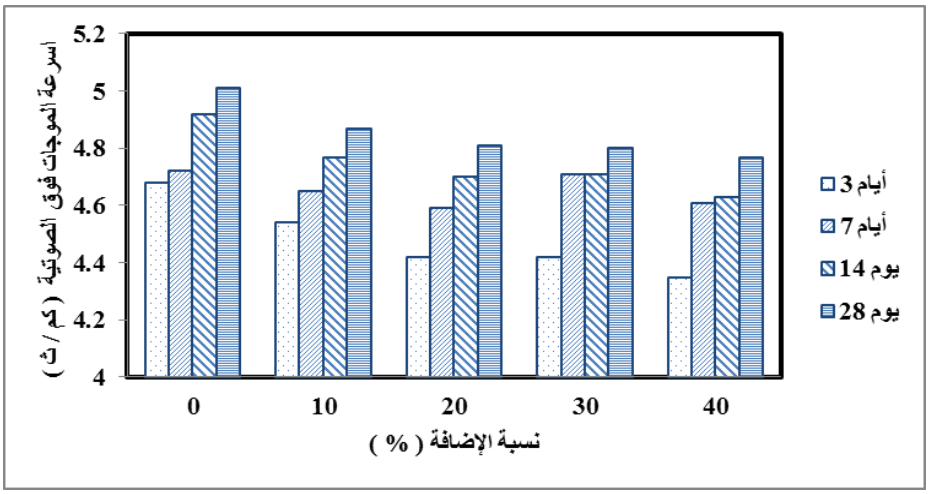
نوع الخلطة	مقاومة الضغط للخرسانة (ميجاباسكال) عند عمر		
	7 أيام	14 يوم	28 يوم
القياسية	42.07	48.34	53.23
R10	35.71	41.21	42.71
R20	29.54	31.09	35.37
R30	26.85	29.99	34.58
R40	18.86	21.75	28.23

جدول (10) : نتائج إختبار الموجات فوق الصوتية للخرسانة بعمر 3 ، 7، 14، 28 يوم

نوع الخلطة	سرعة الموجات فوق الصوتية (كم/ثانية) عند عمر			
	3 أيام	7 أيام	14 يوم	28 يوم
القياسية	4.68	4.72	4.92	5.01
R10	4.54	4.65	4.77	4.87
R20	4.42	4.59	4.70	4.81
R30	4.42	4.71	4.71	4.80
R40	4.35	4.61	4.63	4.77



شكل 5 : نتائج إختبار مقاومة الضغط بعمر 7 , 14 , 28 يوم



شكل 6 : نتائج إختبار الموجات فوق الصوتية بعمر 3 , 7 , 14 , 28 يوم

الخلاصة

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير الإستبدال الجزئي للأسمنت بالمواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام في الخلطة الخرسانية وبناءاً على النتائج المتحصل عليها يمكن أن تستلخص الآتي :

- تتناقص قيمة الهبوط في الخلطة الخرسانية الطازجة بزيادة نسبة المادة الناعمة في الخلطة الخرسانية.
- تتناقص مقاومة الضغط للخرسانة بزيادة نسبة المادة الناعمة في الخلطة الخرسانية , حيث كانت مقاومة ضغط 42.71 ميجاباسكال بعد 28 يوم عند إضافة المادة الناعمة بنسبة 10% أي بنسبة إنخفاض 20% من المقاومة المرجعية , ثم إنخفضت مقاومة الضغط 35.37 ميجاباسكال بعد 28 يوم عند نسبة إضافة 20% أي بنسبة إنخفاض 34% من المقاومة المرجعية , ثم حصل أنخفاض طفيف جداً في مقاومة الضغط 34.58 ميجاباسكال عند نسبة إضافة 30% أي بنسبة إنخفاض 35% من المقاومة المرجعية , ثم حصل إنخفاض في مقاومة الضغط إلى 28.23 ميجاباسكال بعد 28 يوم عن عند نسبة إضافة 40% أي بنسبة إنخفاض 47 % من المقاومة المرجعية .

- في هذه الدراسة تم الحصول على أقصى مقاومة ضغط عند نسبة إضافة للمواد الناعمة (10%) من وزن الإسمنت في الخلطة الخرسانية .
- تساهم عملية إستخدام المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج للركام (غبرة الركام) في تقليل تكلفة التخلص منها كما تساهم في تقليل تكلفة الخرسانة بشكل عام , بالإضافة إلى التقليل من التلوث البيئي .

التوصيات

- إمكانية إستخدام المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام كبديل للمواد الناعمة الأخرى المستوردة المكلفة .
- التوسع في إجراء المزيد من الدراسات لإستخدام مخلفات مواد البناء في الخرسانة .
- دراسة تأثير الإستبدال على خواص الخرسانة الأخرى كمقاومة الشد والإنحناء والنفاذية في الأبحاث المستقبلية .
- يوصى بإستخدام نسبة الإضافة الأمثل في هذه الدراسة .
- إستخدام هذه الخرسانة في رصف الأرضيات وعمل أحواض الزهور والنوافير .

المراجع

[1] محمود إمام , " الخرسانة, الخواص, الجودة والإختبارات ", الإصدار الأول, 5 - 50 – ISBN 977-5069 , جامعة المنصورة , مصر, 2002 .

[2] علي محمد الترهوني, الصادق عبيد, محمد الشيباني, وعبدالعزيز الصادق إمبارك, " تحسين خواص الخرسانة ذاتية الدمك بإستخدام المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام ", مجلة البحوث الهندسية العدد 18, جامعة طرابلس, ليبيا, 2013.

[3] المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية, " المواصفة القياسية الليبية رقم 340 للإسمنت البورتلاندي " , ليبيا, 1997 .

[4] America Society for Testing and Materials," Annual Book of American Standards for Testing and Materials ", Part 2, Vol.4,2004.

[5] America Society for Testing and Materials," ASTM C150: Standard Specification for Portland Cement ", 2007.

[6] America Society for Testing and Materials," ASTM C786: Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement and Raw Materials ",1996.

[7] America Society for Testing and Materials," ASTM C187: Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement ", 1990.

[8] British Standard Institution, " BS 1377 Part 2 : Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes ", 1990.

[9] America Society for Testing and Materials," ASTM C127: Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates ", 1985.

[10] America Society for Testing and Materials, " ASTM C29: Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Concrete ", 1985.

[11] America Society for Testing and Materials, " ASTM C128: Standard Test Method for Testing for Specific Gravity and Absorption Capacity of Fine Aggregates ", 1985.

[12] America Society for Testing and Materials, "ASTM C143: Standard Test Method for Slump of Hydraulic - Cement Concrete ", 2003.

[13] British Standard Institution, " BS 1881 Part 116: The Compressive Strength of Cubic Concrete Specimens ", 1983.

[14] America Society for Testing and Materials, " ASTM C597: Standard Test Method for Pules Velocity Through Concrete ", 2016.