دراسة تأثير الاستبدال الجزئي للإسمنت بغبرة الرخام على مقاومة الضغط للخرسانة

أ. محمد بشير أبو هدمة* m.abohedmh@ceh.edu.ly
أ. إبراهيم حسين بلاش* a.blash@ceh.edu.ly
د.فرحات غريبي فرحات* Farhat.g.Farhat@gmail.com
محمد صلاح أبو هدمة* Mohamed.salah1235@outlook.com
مراد أبوبكر الأغا* morad55593@gmail.com
هبة على حامد* heabaali4114@gmail.com

* **كلية التقنية الهندسية - هون**

الملخص
تهدف هذه الورقة لدراسة إمكانية الاستبدال الجزئي للإسمنت بالمواد الناعمة المصاحبة لقص وتشكيل الرخام (غبرة الرخام) في الخلطة الخرسانية وتأثيرها على مقاومة الضغط للاستفادة منها عن طريق إدخالها مرة ثانية في دورة مواد البناء بدلاً من رميها في الأماكن المفتوحة مما يسبب في إلحاق الضرر بالبيئة .
ولتحقيق الهدف المرجو من هذه الدراسة تم تنفيذ عدة خلطات بنسب مختلفة من غبرة الرخام وهي (0% ، 25% ، 30% ، 35% ، 40% ، 45% ، 50%) من وزن الإسمنت ودراسة مدى تأثيرها على خواص الخرسانة في الحالتين الطازجة والمتصلدة .
أشارت النتائج المتحصل عليها انخفاض في مقاومة الضغط بزيادة نسبة غبرة الرخام ، وقد خلصت الدراسة إلى جملة من المقترحات والتوصيات والتي من أهمها تشجيع الجهات ذات العلاقة للاستفادة من هذه المادة وكذلك التركيز على متابعة الأبحاث في هذا المجال .
الكلمات المفتاحية : الخرسانة ، الخرسان الخضراء ، مقاومة الضغط ، غبرة الرخام ، البيئة .

Abstract

This paper aims to study the possibility of partial replacement of marble powder with cement in concrete mix and its effect on compressive strength to making use of this material by using it again in building materials cycle instead of being thrown in open areas in an environmentally harmful way.
To achieve this target , concrete mixes were carried out with different percentages of marble powder , which are (0% , 25% , 30% , 35% , 40% , 45% , 50%) of cement weight and study effect on concrete's characteristics in fresh and hardened case.
The results indicates to lose of compressive strength with increasing marble powder percentage in concrete mix . The study concluded with a number of proposals and recommendations, the most important was to encourage the relevant authorities to take advantage of this material as well as focusing on the follow – up researches in this field.
Keywords: concrete, green concrete, compressive strength, marble powder, environment.

1 المقدمة

لقد بدأ العالم الآن يركز على أهمية الطبيعة وضرورة الحفاظ عليها وتم اعتماد هذا المبدأ في كثير من المجالات منها مجال الخرسانة الخضراء .
الخرسانة الخضراء هو مفهوم يعبر عن استخدام مواد صديقة للبيئة في تصنيع الخرسانـــة ، ويتم إنتاجها عن طريق استخدام النفايـات كبديل جزئي أو كلي لأحد مكونات الخلطة الخرسانية لتجنب عبئ التخلص منها ، وللتقليل من إستهلاك الطاقة أثنـاء عملية الإنتاج ، وبذلك تقل تكلفة إنتاج الخرسانة مثل استخدام المواد غير العضوية المتبقية مثل غبار الحجر، الخرسانة المكسرة ، النفايات الرخامية كركام أخضر في صناعة الخرسانة ، بالإضـافة إلى ذلك استبدال الإسمنت بكميـات كبيرة من الرماد المتطاير ، غبار السليكا ، بودرة الرخام من أجل تطوير إسمنت أخضر جديد [1] .

2. مشكلة البحث

تعتبر مخلفات مصانع الرخام من أحد أخطر الملوثات الصناعية للبيئة والصحة ، حيث أن غياب طرق هندسية بيئية للتخلص السليم منها ورميها بشكل عشوائي يتسبب بالكثير من المشاكل البيئية والصحية ، لذلك ركزت هذه الدراسة على دراسة تأثير الاستبدال الجزئي لبودرة الرخام بالإسمنت وذلك لأجل المحافظة على البيئة من أثر أضرار المخلفات الخام والاستفادة منها لتخفيض تكلفة الخرسانة.

3. أهداف الدراسة

الهدف من المشروع هو دراسة مدى إمكانية استخدام المواد الناعمة المصاحبة والناتجة عن قص وتشكيل الرخام بحيث تضاف إلى الخلطات الخرسانية كنسبة من وزن الإسمنت وذلك لاستغلال هذه المخلفات في تصنيع الخرسانة وبذلك يتم التخلص منها بطريقة مناسبة ومحافظة على البيئة وترتكز هذه الأهداف على الآتـي :

- دراسة خواص الخرسانة و ذلك بإضافة المواد الناعمة الناتجة عن قص الرخام (بودرة الرخام).
- التخلص من هذه المخلفات عن طريق إعادة استخدامها في إنتاج الخرسانة مما يساعد في خفض تكاليف الخلطة الخرسانية.
- تنبيه الجهات ذات العلاقة بإمكانية الاستفادة من مخلفات الرخام و الحيلولة دون التخلص منها بالطرق التقليدية والتي تعتبر مضرة بالبيئة.

4. المواد المستخدمة

1. الأسمنت :

لأهمية الإسمنت في الخلطة الخرسانية حيث يعتبر من أهم المواد اللاحمة لما له من خاصية التماسك والتلاصق سواءً في الهواء أو تحت الماء ، لذلك تم استخدام إسمنت بورتلاند عادي (Portland Cement) طبقاً للمواصفة القياسية الليبية (2009/340م) [2] ، وسيتم عرض الاختبارات التي أجريت على الإسمنت في الجدول 1:

جدول 1 : نتائج اختبارات الأسمنت

الاختبار	المواصفات	النتيجة	الحدود
صلاحية الإسمنت في الموقع	ASTM C150 [3]	صالح للاستعمال	-
القوام القياسي للعجينة الإسمنتية	ASTM C187 [4]	34 ملم	33 – 35 ملم

1. الركام الكبير (الخشن) :

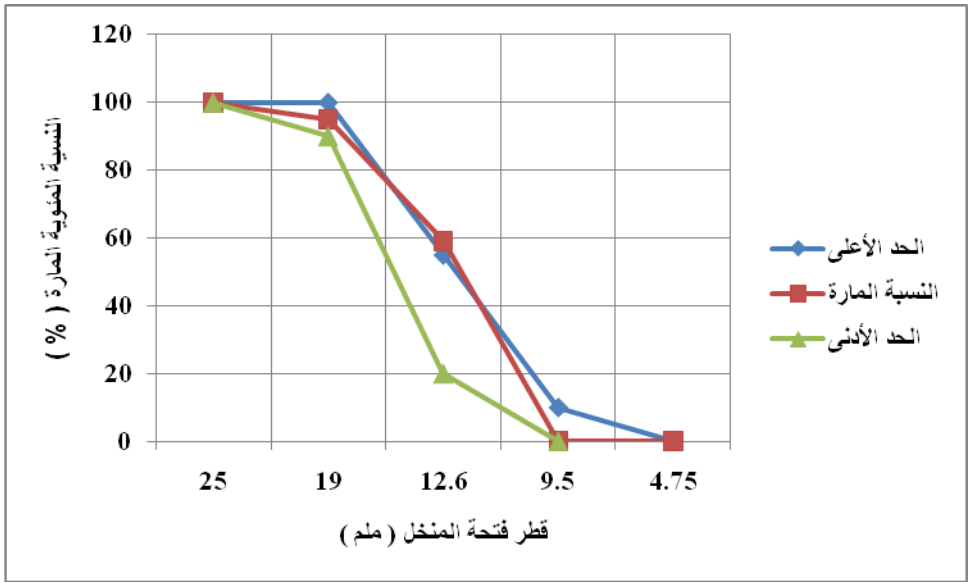
مصدر الركام في الدراسة هو إحدى الكسارات الواقعة في مدينة سوكنه بمنطقة الجفرة وتم إحضاره بمقاسات مختلفة والجداول 2 ، 3 يبين نتائج الاختبارات للركام الكبير.

جدول 2 : نتائج إختبارات الركام الكبير

الاختبار	المواصفات	النتيجة	الحدود
الوزن النوعي	ASTM C127[5]	2.57	2.8 – 2.5
الوزن الحجمي	ASTM C29 [6]	1302 كجم / م^3	-
نسبة الفراغات		% 41.53	-
نسبة الامتصاص		% 1.09	-

جدول 3 : نتائج اختبارات التحليل المنخلي للركام الكبير [7]

قطر المنخل (ملم)	وزن المحجوز (جرام)	نسبة المحجوز (%)	النسبة المئوية للمحجوز التراكمي (%)	النسبة المئوية المارة للتراكمي (%)
25.00	0.000	0.000	0.000	100.000
19.00	250.000	5.000	5.000	95.000
12.60	1770.600	35.412	40.412	59.588
9.50	1983.700	39.674	80.086	19.914
4.75	933.200	19.864	99.950	0.050
2.36	2.500	0.050	100.000	0.000
Pan	0.000	0.000	0.000	0.000
المجموع	4940	100	325.448	274.552



شكل 1 التدرج الحبيبي للركام الكبير

2. الركام الصغير (الناعم) :

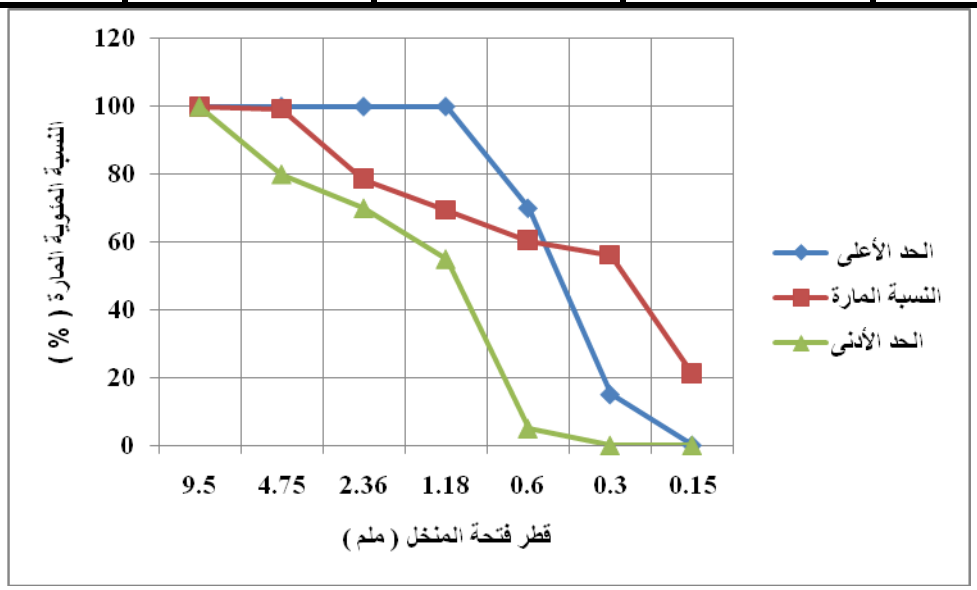
مصدره مدينة زله وتم جلبه من أحد محاجر مدينة هون بمنطقة الجفرة ، والجدول 4 يبين نتائج الاختبارات للركام الصغير .

جدول 4 : نتائج إختبارات الركام الصغير

الإختبار	المواصفات	النتيجة	الحدود
الوزن النوعي	**ASTM C128 [8]**	**2.676**	**2.8 – 2.5**
الوزن الحجمي	**ASTM C29 [6]**	**1302 كجم / م^3**	**-**

جدول 5: نتائج إختبارات التحليل المنخلي للركام الصغير [12]

قطر المنخل (ملم)	وزن المحجوز (جرام)	نسبة المحجوز (%)	النسبة المئوية للمحجوز التراكمي (%)	النسبة المئوية المارة للتراكمي (%)
9.50	0.000	0.000	0.000	100.000
4.75	20.000	0.667	0.667	99.333
2.36	621.560	20.719	21.385	78.615
1.18	277.460	9.249	30.634	69.366
0.60	266.160	8.872	39.506	60.494
0.30	131.760	4.392	43.898	56.102
0.15	1052.860	35.095	78.993	21.007
Pan	630.200	21.007		
المجموع	3000.00	100.00	215.083	484.917



شكل 2 التدرج الحبيبي للركام الصغير

3. الماء :

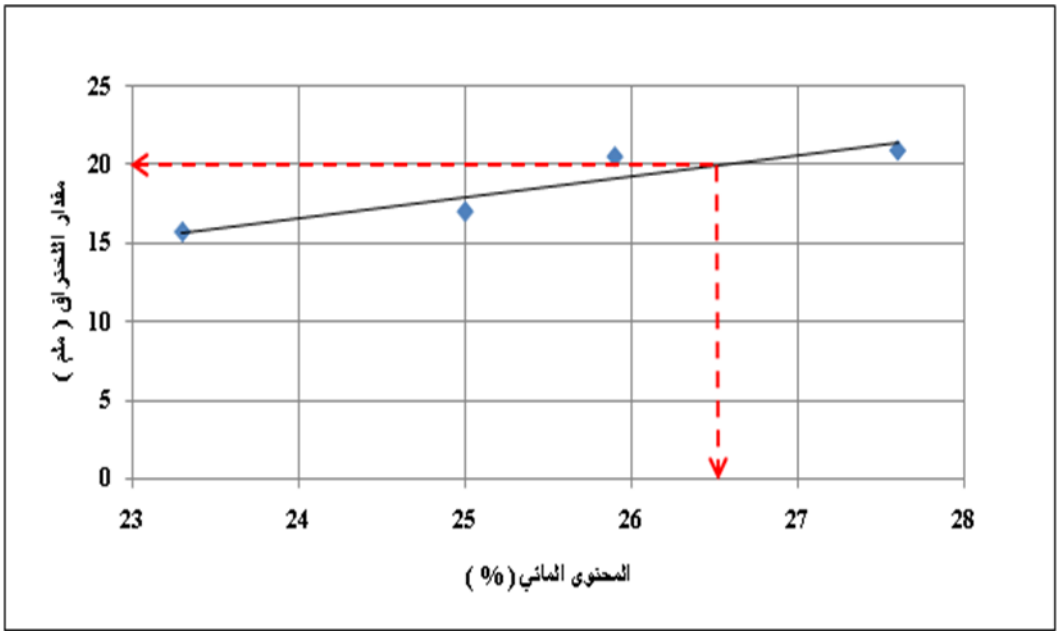
الماء المستعمل في هذه الدراسة مياه صالحة للشرب مصدرها شبكة المياه العامة لمدينة هون (صالحة للإستخدام في الخلطات الخرسانية).

4. غبرة الرخام :

تم إجراء اختبارات تعيين حد السيولة واللدونة وكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول 6 .

جدول 6 : نتائج اختبارات حد السيولة واللدونة

الاختبار	المواصفات	النتيجة
حد السيولة	ASTM D 4318-00 [9]	% 26.5
حد اللدونة		% 24.93
تصنيف المادة		طمي



شكل 3 منحنى حد السيولة

5. تصميم الخلطة الخرسانية

تم تصميم الخلطة الخرسانية وفقاً لطريقة معهد الخرسانة الأمريكي ACI 211.91[10] ، وبهذه الطريقة تم تحديد نسب الخلط للمواد مع إضافة حوالي 15% لتعويض الفاقد اثناء عملية الخلط وكانت نسب مكونات الخلطة الخرسانية موضحة في الجدول 7 .

جدول 7 : نسب مكونات الخلطة

	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	حجم المكعبات + 15 %
	الوزن كجم	427.080	859.320	205.000	591.643	237.917	0.035
الخلطة القياسية 0 %	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	غبرة الرخام
	الوزن كجم	14.918	30.017	7.161	20.667	8.311	0.0000
نسبة 25 %	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	غبرة الرخام
	الوزن كجم	11.189	30.017	7.161	20.667	8.311	3.730
نسبة 30 %	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	غبرة الرخام
	الوزن كجم	10.443	30.017	7.161	20.667	8.311	4.476
نسبة 35 %	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	غبرة الرخام
	الوزن كجم	9.697	30.017	7.161	20.667	8.311	5.221
نسبة 40 %	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	غبرة الرخام
	الوزن كجم	8.951	30.017	7.161	20.667	8.311	5.967
نسبة 45 %	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	غبرة الرخام
	الوزن كجم	8.205	30.017	7.161	20.667	8.311	6.713
نسبة 50 %	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	غبرة الرخام
	الوزن كجم	7.459	30.017	7.161	20.667	8.311	7.459
ألأجمالي	المادة	الإسمنت	الركام الكبير	الماء	الرمل	الكولينة	غبرة الرخام
	الوزن كجم	70.863	210.120	50.126	144.668	58.175	33.566

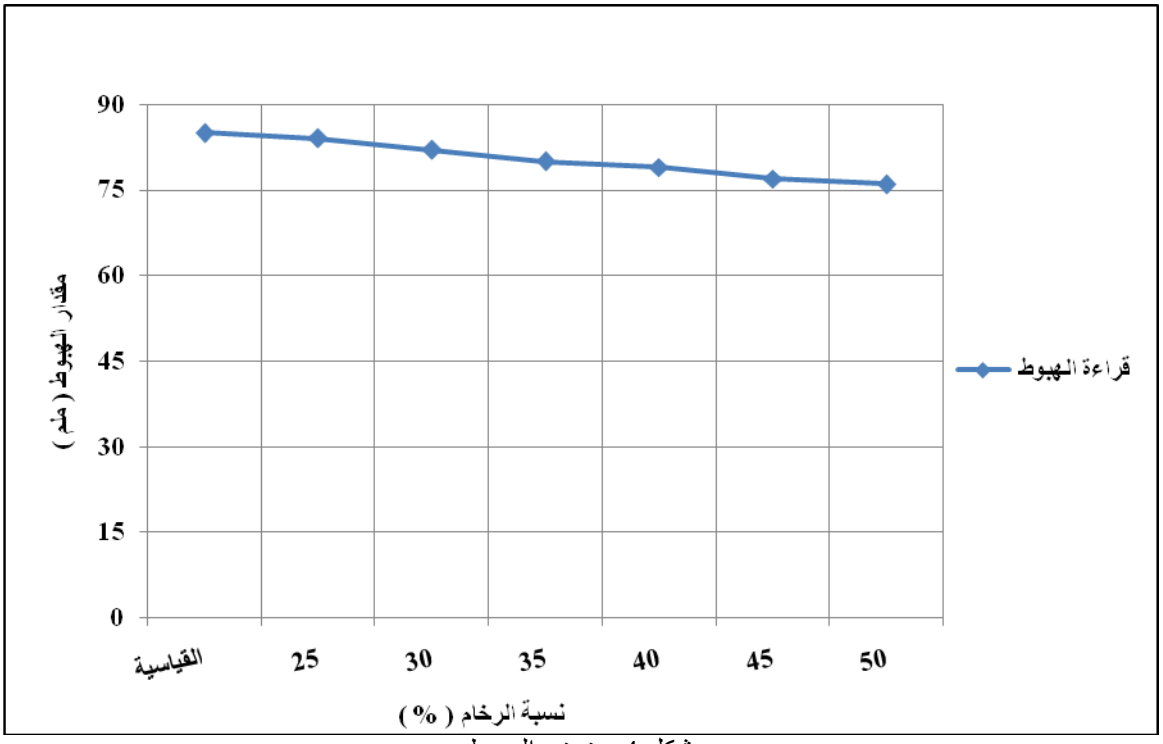
6. نتائج اختبارات الخرسانة الطازجة ومناقشتها

- **اختبار الهبوط**

تم إجراء اختبار الهبوط وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C143 [11] وكانت النتيجة كما في الجدول 8 ، حيث لوحظ أن مقدار الهبوط يزداد بزيادة نسبة المادة الناعمة (بودرة الرخام) في الخلطة الخرسانية وذلك بسبب انخفاض نسبة الإسمنت في الخلطة الخرسانية والذي يعمل كمادة لاحمة لمكونات الخلطة وبالتالي فإن هذا يؤدي إلى انخفاض درجة التشغيلية لها .

جدول 8 : نتائج الهبوط

نسبة غبرة الرخام (%)	القياسية	25	30	35	40	45	50
الهبوط (ملم)	85	84	82	80	79	77	76



شكل 4 منحنى الهبوط

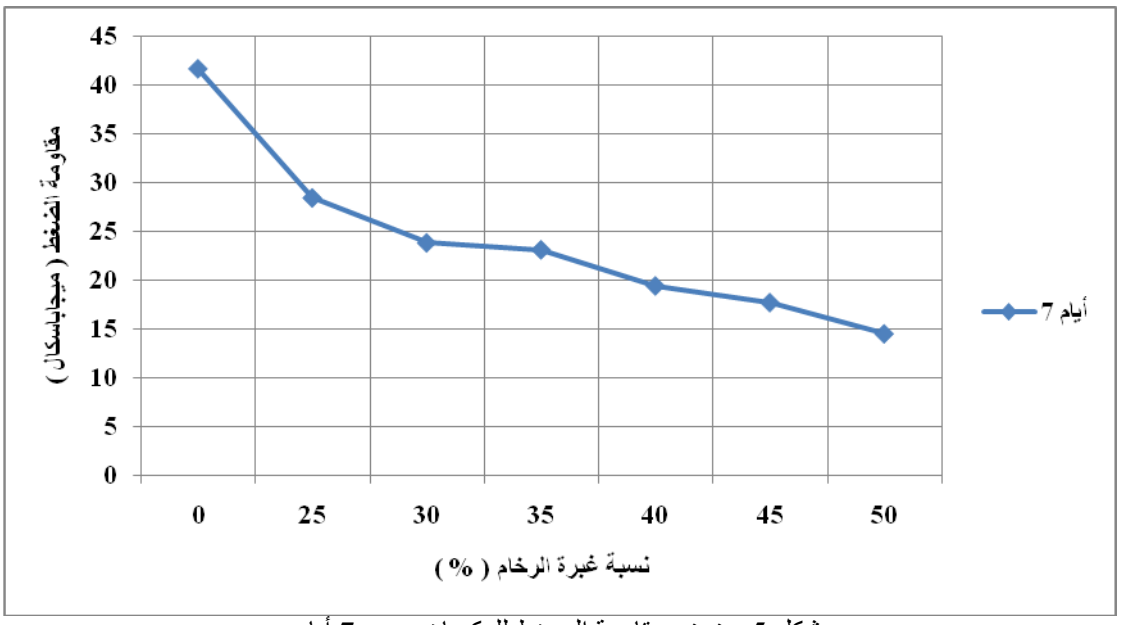
7. نتائج اختبارات الخرسانة المتصلدة ومناقشتها

- **إختبار مقاومة الضغط :**

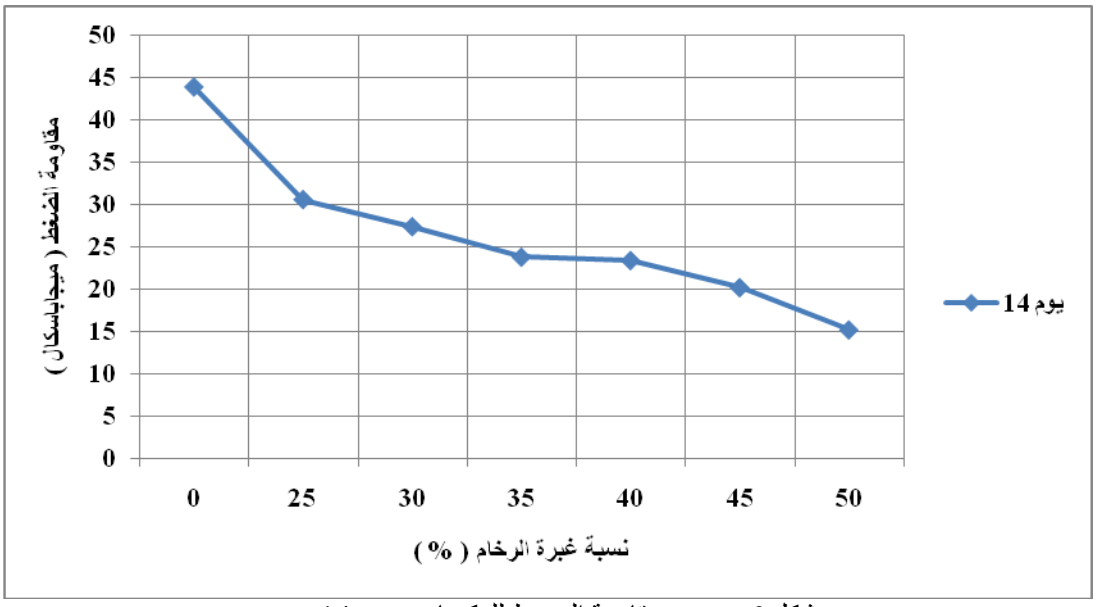
تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة القياسية البريطانية BS 1881 [12] ، والنتائج المتحصل عليها كما هي موضحة في الأشكال 5 ، 6 ، 7 . يبين الشكل 5 مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية بعمر 7 أيام وهي (41.7 ، 28.5 ، 23.9 ، 23.2 ، 19.5 ، 17.8 ، 14.6) ميجا باسكال لنسب إضافة (0% ، 25% ، 30% ، 35% ، 40% ، 45% ، 50%) على التوالي ، ويبين الشكل 6 مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية بعمر 14 يوم هي (43.9 ، 30.6 ، 27.4 ، 23.8 ، 23.4 ، 20.1 ، 15.2) ميجاباسكال لنفس نسب الإضافة في حين كانت نتائج مقاومة الضغط للمكعبات بعمر 28 يوم كما تبين من الشكل 7 هي (51.2 ، 33 ، 32.3 ، 30.4 ، 30.3 ، 21.4 ، 19.5) ميجاباسكال .

من خلال الأشكال السالف ذكرها أعلاه يتضح جلياً مقاومة الضغط تزداد بازدياد عمر الخرسانة وتقل بازدياد نسبة غبرة الرخام لجميع الخلطات ولكل الأعمار مقارنةً بالخلطة المرجعية (0%) ، حيث أن أفضل نسبة إضافة كانت 25% والتي أعطت مقاومة ضغط مقدارها 33 ميجاباسكال بعمر 28 يوم ثم تليها نسبة إضافة 30% والتي أعطت بدورها مقاومة ضغط مقدارها 32.3 ميجاباسكال لنفس العمر ، في حين كانت النتائج متقاربة جداً عند نسب إضافة 35% ، 40% حيث

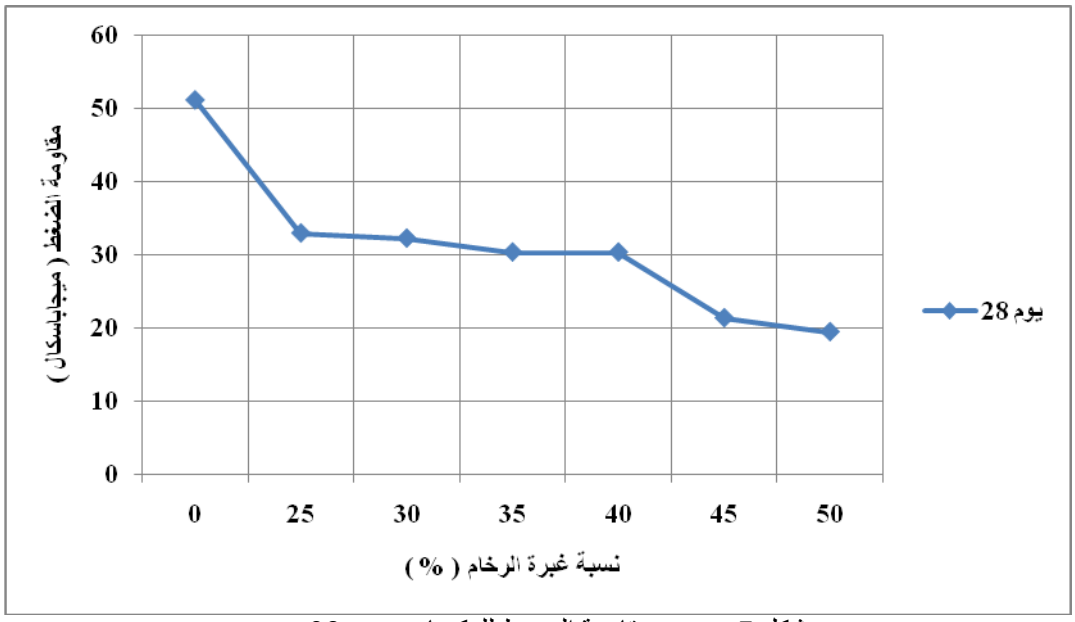
كانت مقاومة الضغط بعمر 28 يوم 30.4 ، 30.3 ميجاباسكال على التوالي ، وأقل النتائج لمقاومة الضغط بعمر 28 يوم هي 21.4 ، 19.5 ميجاباسكال لنسب إضافة 45% ، 50% على التوالي وهما متقاربتين إلى حد ما .
الأمر الذي يدل على أن زيادة نسبة غبرة الرخام في الخلطة الخرسانية يؤثر بشكل سلبي على التماسك بين مكوناتها وهو ما ينعكس بصورة سلبية على مقاومة الضغط للخرسانة .



شكل 5 منحنى مقاومة الضغط للمكعبات بعمر 7 أيام



شكل 6 منحنى مقاومة الضغط للمكعبات بعمر 14 يوم



شكل 7 منحنى مقاومة الضغط للمكعبات بعمر 28 يوم

8. الخلاصة

نتيجةً للاستبدال الجزئي للإسمنت بالمواد الناعمة ودراسة تأثيراتها على الخرسانة الطازجة والمتصلدة يمكن أن نستلخص الآتي :

1. تتناقص قيمة الهبوط في الخلطة الخرسانية الطازجة مع زيادة نسبة المادة الناعمة (غبرة الرخام).
2. تتناقص قيمة مقاومة الضغط للخلطة الخرسانية مع زيادة نسبة المادة الناعمة (غبرة الرخام) .
3. نسبة الإضافة المثلى هي 25% والتي حققت أعلى مقاومة ضغط للخرسانة بعمر 28 يوم .
4. أقل قيم لمقاومة الضغط للخرسانة بعمر 28 يوم وذلك عند نسب إضافة 45% ، 50% على .

التوصيـــات

1. استخدام نسبة الاستبدال الجزئي للإسمنت بالمواد الناعمة بحيث لا تتعدى 30% .
2. دراسة تأثير الاستبدال على خواص الخرسانة الأخرى كمقاومة الشد ومعامل المرونة والنفاذية في الأبحـــاث المستقبلية .
3. استخدام هذه الخرسانة في رصف الأرضيات وعمل أحواض الزهور والنافورات والديكورات بشكـــل عام .
4. توفر هذه الطريقة وسيلة علمية جيدة للتخلص من هذه المواد عن طريق دفنها في الخرسانة وبالتالي التقليل من التشوه والتلوث البيئي .

المراجع

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

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

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

[4] America Society for Testing and Materials, " ASTM C187 : Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste " , 2002.

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

[6] America Society for Testing and Materials, " ASTM C29: Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Concrete ", 1985.
[7] British Standard Institution, " BS 882 : 1992 , Specification of Aggregate from Natural Sources for Concrete " , London , 1983 .
[8] America Society for Testing and Materials, " ASTM C128: Standard Test Method for Testing for Specific Gravity and Absorption Capacity of Fine Aggregates ", 1985.
[9] America Society for Testing and Materials , ″ D 4318 : Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of soils ″ , 2000.
[10] American Concrete Institute ," ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal , Heavyweight , and Mass Concrete ″ , 1991 .
[11] America Society for Testing and Materials, "ASTM C143: Standard Test Method for Slump of Hydraulic - Cement Concrete ", 2003.
[12] British Standard Institution, " BS 1881 Part 116: The Compressive Strength of Cubic Concrete Specimens ", London , 1983.