

امكانية استخدام مخلفات ورش الرخام كركام خشن لإنتاج الخرسانة العادية

د. نور الدين محمد الطوير

قسم الهندسة المدنية/ كلية الهندسة/ الخمس/ جامعة المرقب
nmaltwair@elmergib.com

م. عبد السلام ابراهيم الفرد

قسم الهندسة المدنية/ كلية الهندسة/ الخمس/ جامعة المرقب
abdusalamelFarid@gmail.com

أ. اسماعيل الدين محمد الطوير

كلية الاقتصاد والتجارة/ جامعة المرقب
m_s_201475@yahoo.com

الملخص

إن مخلفات صناعة الرخام لها تأثير سلبي على البيئة التي ترمى بها باعتبارها نفايات صناعية ولا يستعمل منها إلا القدر القليل في بعض الأشغال. فهذه الكميات الكبيرة من المخلفات قد تقلل مسامية التربة ونفاذيتها لامتناس الماء مما يسبب بعض أمراض الجهاز التنفسي للسكان القريبين من المنطقة ويسبب تلوث المياه الجوفية. كما يؤثر ذلك سلبا على المظهر الطبيعي للمنطقة. لذا تطرقت هذه الدراسة الى استخدام مخلفات ورش الرخام كركام خشن بديل للركام المحلي في تصنيع الخرسانة العادية. حيث تم تقييم مدى صلاحية استخدام ركام مخلفات الرخام من خلال عدد من الاختبارات المتمثلة في الاختبارات الميكانيكية و الفيزيائية للركام المدروس، إضافة الى اختبارات الخرسانة المعروفة مثل تحديد الخواص التشغيلية و مقاومة الضغط. النتائج التي تم الحصول عليها شجعت على استخدام مخلفات الرخام كركام خشن في الخرسانة العادية. فقد وجد أن الخواص الميكانيكية لركام الرخام كانت ضمن حدود المواصفات. أما بالنسبة لمقاومة الضغط فقد لوحظ أن الخرسانة الحاوية على ركام مخلفات ورش الرخام اعطت قيم لمقاومة الضغط تعادل المقاومة المتحصل عليها في الخلطات المصنعة من الركام المحلي (التفجير والحرق). بناءً على هذه النتائج ينصح باستخدام ركام مخلفات ورش صناعة الرخام كبديل للركام المحلي وذلك وفقا لحدود هذا البحث.

الكلمات الدالة: ركام مخلفات صناعة الرخام، الخرسانة العادية، الخواص الميكانيكية و الفيزيائية للركام ، مقاومة الضغط.

المقدمة

إن المخلفات الصلبة والتي تسبب العديد من المشاكل، يزداد البحث عن طرق التخلص منها حول العالم. ففي بعض المدن، المناطق الصناعية والسكنية والتجارية تكون مختلطة، وبالتالي يحصل تداخل لمشاكل النفايات الصناعية مع المنطقة السكنية، هذا بسبب أن المناطق الصناعية الواقعة داخل أو في حدود المدينة لا تملك مرافق كافية بحيث يمكن تنظيم الصناعات من جمع ومعالجة والتخلص من النفايات السائلة والصلبة، ففي بعض الدول النامية مثل ليبيا لا توجد إدارة للنفايات الصلبة الصناعية لأن الأجهزة المحلية (جهاز البلدية) مقتصر فقط على تنظيف الشوارع و نقل المخلفات السكنية فقط. وهذا الامر قد يزيد من تقاوم مشكلة تكديس النفايات الصناعية الصلبة حول مواقع المصانع .

إن آلاف الأطنان المكدسة من مخلفات صناعة الرخام بمدينة الخمس بقدر ما هي مادة للرخام من أهمية استراتيجية بقدر ما لها (مخلفات صناعة الرخام) من تأثير سلبي تأثيرها السلبي على المنطقة التي ترمى بها باعتبارها إلى غاية الساعة نفايات صناعية ولا يستعمل منها إلا القدر القليل في بعض الأشغال مثل صناعة البلاط. إن هذه الكميات الكبيرة من المخلفات قد تسبب مشاكل بيئية أثناء رميها في منطقة النفايات بجوار مصانع صناعة الرخام حيث يقلل مسامية التربة ونفاذيتها لامتصاص الماء وبالتالي زيادة مشكلة تشبعها بماء (التغدق)، مما يسبب بعض أمراض الجهاز التنفسي للسكان القريبين من المنطقة ويسبب تلوث المياه الجوفية ويؤثر سلبا على المظهر الطبيعي للمنطقة.

يقدر الطلب على الركام المستخدم في الإنشاءات حول العالم بحوالي 26.8 بليون طن سنويا (Fredonia)،(2007) ، فالركام يمثل حوالي 70-80% من اجمالي حجم مكونات الخلطة الخرسانية. على الصعيد المحلي، تشهد ليبيا تطوراً في الابنية سواء على المستوى الحكومي او الخاص، وهذا أدى الى زيادة كبيرة في استخدام الركام الطبيعي. ففي منتصف القرن العشرين بدأ البحث و الاهتمام ينصب حول استخدام مواد غير مكلفة اقتصاديا في مراحل إنتاج و صناعة الخرسانة. احدى هذه الصناعات التي شملها هذا الاهتمام هو صناعة الركام من مصادر غير تقليدية على سبيل المثال المخلفات الصناعية و بقايا مواد البناء ومخلفات تصنيع مواد البناء. ان استخدام مثل هذه المواد يمكن ان يزداد اذا استخدمت كركام ناعم او خشن في المونة الاسمنتية و الخرسانة، فاستخدام مواد النفايات يمكن أن يحل مشاكل نقص الركام في مختلف مواقع البناء. و من جهة أخرى، تكلفة مواد البناء تتزايد يوما بعد يوم بسبب ارتفاع الطلب، وندرة المواد الخام، وارتفاع أسعار الطاقة. من المنظور الاقتصادي في استهلاك الطاقة والمحافظة على الموارد الطبيعية، فإن استخدام مكونات بديلة لمواد البناء هو الآن مصدر اهتمام عالمي. لهذا، يتعين البحث ويتوجه نحو استكشاف مصادر جديدة لإنتاج مواد البناء تحقق الاستدامة وتكون صديقة للبيئة.

في هذه الدراسة تم استخدام مخلفات صناعة الرخام المتوفرة بعدد من ورش الرخام بمدينة الخمس كمادة بديلة للركام المحلي المكون للخرسانة بهدف التقليل من تكلفتها، حيث إن عملية التفجير للركام الطبيعي تأخذ وقتا وزيادة في التكلفة مقارنة بالركام المتحصل عليه من تكسير مخلفات صناعة الرخام ناهيك عن المزايا المتعلقة بالجانب البيئي.

الدراسات السابقة

إن استخدام ركام الرخام في الخرسانة يعتبر من الأبحاث الجديدة في حقل تكنولوجيا الخرسانة . والبحوث المتعلقة بهذا الموضوع تكاد تكون معدومة. ومن ضمن الدراسات القليلة التي تم إجراؤها الدراسة التي قام بها Hebhou et al.(2011) حيث درسوا امكانية استخدام مخلفات ركام الرخام كبديل لركام الطبيعي لإنتاج خرسانة ذات خواص

جيدة. حيث استخدمت تم استخدام ثلاثة خلطات خرسانية. الخلطة الأولى تم فيها احلال الركام الطبيعي الخشن بركام الرخام الخشن ، وفي الخلطة الثانية تم استبدال الرمل الطبيعي بركام الرخام الناعم. أما في الخلطة الثالثة فتم استخدام كلا من الركامين (الناعم و الخشن) بدلا من الركام الطبيعي المكون للخلطة حيث كانت نسب الإحلال 25% ، 50% ، 75% ، 100%. وفي كل الخلطات تُبنت نسبة الماء إلى الإسمنت بحيث كانت 0.5. نتائج هذه الدراسة أوضحت إمكانية استخدام مخلفات الرخام في الخرسانة وذلك يؤدي يؤدي إلى تحسين بعض خواص الخرسانة مثل مقاومة الضغط والشد عندما تكون نسب الإحلال 25% ، 50% ، 75% ، إضافة إلى ذلك لوحظ أن نسبة الهواء المحبوس كانت أقل عندما كانت نسبة الإحلال بين 25 - 75%. أما تشغيلية الخرسانة فتقل قلت كلما زادت نسبة الإحلال. وفي دراسة أخرى قام بها (Corinaldesi et. Al. (2010) بينوا تبين أن إحلال 10% من مخلفات ركام الرخام المستخدم كرمل أعطي أعلى مقاومة ضغط عند نفس درجة التشغيلية. إن استخدام مخلفات الرخام لم يقتصر فقط على الخرسانة بل تم استخدامه في الأنواع الأخرى من مواد البناء، حيث بينت الدراسة التي قام بها (Saboy et. al. (2007) أن استخدام مسحوق الرخام بنسبة تتراوح (15-20%) في صناعة السيراميك الأحمر يمكن أن يحسن الخواص الميكانيكية لطوب السيراميك. وفي دراسة أخرى قام بها (Akbulut et. al. (2007) أوضحت أن الخواص الفيزيائية لركام مخلفات الرخام كانت ضمن الحدود المنصوص عليها ويمكن أن تستخدم في طبقات الرصف الإسفلتية الخفيفة والمتوسطة. أما من الناحية الجدوى الاقتصادية قد وجد أن عند استخدام مخلفات ورش صناعة الرخام في الخرسانة تحقق عائد اقتصادي مقارنة بالأنواع الأخرى من الركام التقليدي المعروف على الصعيد العالمي مثل الركام المتحصل عليه من الصخور النارية و الرسوبية و المتحولة. فاستخدام ركام الرخام كجزء من مكونات الخلطة الخرسانية يوفر حوالي 22% من تكلفة المتر المكعب مقارنة مع تكلفة الخرسانة المحتوية على الركام التقليدي، حيث كان فرق التكلفة متمثلاً في تكلفة تفجير و حرث ونقل الصخور الأصلية للركام الى الكسارات، وهذه المرحلة من تصنيع الركام لا يتضمنها تصنيع ركام الرخام (Sudarshan and Vyas, 2016).

البرنامج العملي

المواد المستخدمة

الإسمنت: استخدم الإسمنت البورتلاندي العادي من إنتاج مصنع الاتحاد العربي للإسمنت (زليتين)، وخواصه الفيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية (BS812، 1992). يوضح الجدول (1) التحليل الكيميائي والفحوصات الفيزيائية للإسمنت.

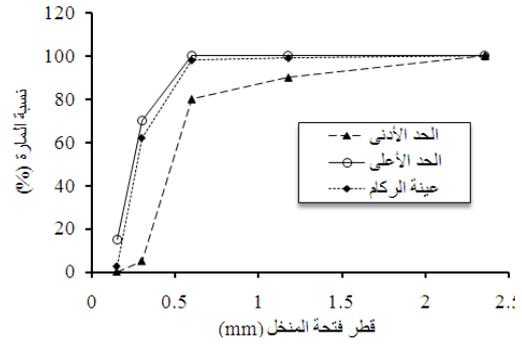
الجدول 1. نتائج الفحوصات الكيميائية و الفيزيائية للإسمنت.

الخواص الفيزيائية		الخواص الكيميائية	
النتائج	الاختبارات المعملية	النسبة المئوية (%)	التركيب الكيميائي
0.3	نسبة الماء القياسية	0.3	الفاقد عند الحرق
205	زمن الشك الابتدائي (minutes)	20.14	SiO ₂
330	زمن الشك النهائي (minutes)	2.99	Fe ₂ O ₃
1.00	ثبات الحجم (mm)	5.91	Al ₂ O ₃
26	مقاومة الضغط بعد 3 أيام (MPa)	62.9	CaO
44	مقاومة الضغط بعد 28 يوم (MPa)	1.59	MgO
3.15	الوزن النوعي	2.13	SO ₃
2977	المساحة السطحية (g/cm ²)	0.19	Na ₂ O
-	-	0.97	K ₂ O
-	-	2.40	أكسيد الكالسيوم الحر

الركام الناعم

الجدول 2. التركيب الكيميائي والخواص الفيزيائية للرمال

الخواص الكيميائية	
النوع	التركيب الكيميائي
النسبة المئوية %	
98.8	SiO ₂
0.4	Fe ₂ O ₃
0.15	Al ₂ O ₃
0.3	CaO
الخواص الفيزيائية	
2.66	الوزن النوعي
7.3	نسبة الشوائب %

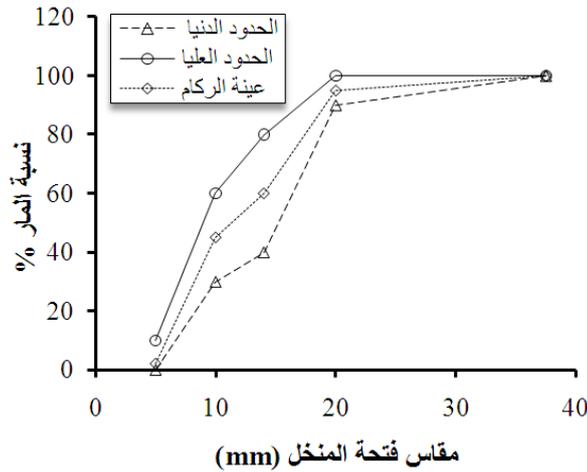


الشكل 1: التدرج الحبيبي للرمال الناعم وفقا للمواصفات البريطانية.

هذا النوع من الركام تم توريده من مدينة زليتن وهو رمل طبيعي خال من الشوائب وخواصه الفيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية (BS882، 1992). الشكل (1) يوضح نتائج التحليل المنخلي لركام الناعم. والجدول (2) يوضح التركيب الكيميائي و الخواص الفيزيائية للركام الناعم.

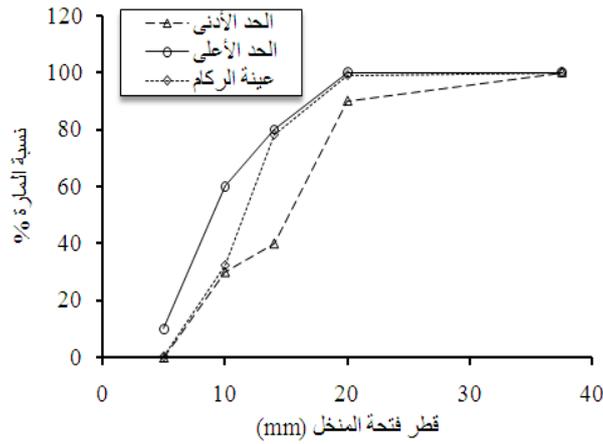
الركام الخشن

ركام التفجير: حصى مكسر ناتج من عمليات التفجير في مقالع مدينة الخمس، ذو مقاس اعتباري اقصى 19 مم، مطابق للمواصفات البريطانية (BS812، 1992)، الشكل (2) يوضح نتائج التحليل المنخلي لركام التفجير.



الشكل 2: التدرج الحبيبي لركام التفجير وفقا للمواصفات البريطانية.

ركام الحرت: حصى مكسر ناتج من عمليات الحرت للصحور الغير قاسية في مقالع مدينة زليتن، ذو مقاس اعتباري اقصى 19 مم، مطابق للمواصفات البريطانية (BS882، 1992)، الشكل (3) يوضح نتائج التحليل المنخلي لركام الحرت.

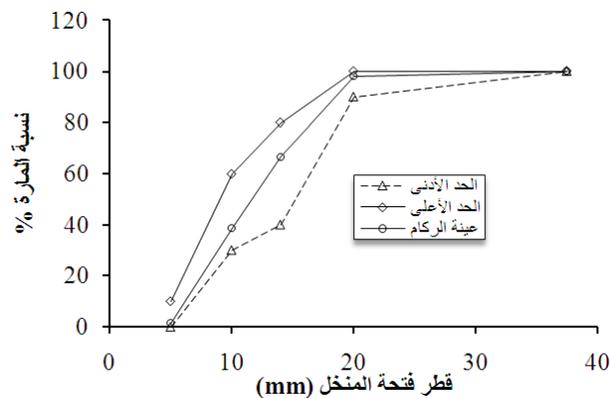


الشكل 3: التدرج الحبيبي لركام الحرت وفقا للمواصفات البريطانية.

ركام مخلفات الرخام : مخلفات ركام الرخام تم توريدها من ورش صناعة الرخام بمدينة الخمس، حيث تم إحضارها بأحجام كبيرة وبأوزان متفاوتة. كُسرت في البداية إلى أحجار أصغر بالطريقة اليدوية عن طريق المطرقة من ثم استخدمت آلة تكسير الركام للحصول على ركام تدرجه مماثل لتدرج الركام التقليدي وكما هو موضح في الشكل (4). الشكل (5) يبين نتائج التحليل المنخلي لركام مخلفات الرخام حسب المواصفات البريطانية (1992،BS882).



الشكل 4: ركام مخلفات الرخام ; (a) قبل التكسير، (b) بعد التكسير.



الشكل 5: التدرج الحبيبي لركام الرخام وفقا للمواصفات البريطانية.

ماء الخلط: أستخدم ماء صالح للشرب للخلط و معالجة الخرسانة وهو مطابق للمواصفات الليبية (LQS 294 1988).

الخلطات الخرسانية

الجدول (3) يوضح مكونات الخلطات الخرسانية المستخدمة في هذه الدراسة. جميع مكونات الخلطات كانت متساوية في الوزن ولكن الاختلاف كان في نوعية الركام المستخدم. و نظراً لاختلاف الوزن النوعي لأنواع الركام الخشن المدروس فقد تم اخذ نسب مكونات الركام الخشن كنسبة من حجم الاسمنت.

الجدول 3. نسب مكونات خلطة الخرسانة عالية المقاومة.

الماء (Kg)	الركام الناعم - الرمل (Kg/m ³)	الركام (Kg/m ³)	الاسمنت (Kg/m ³)	الخلطة
200	703	1147	500	M1
200	703	1161	500	M2
200	703	1120	500	M3
200	703	1142	500	M4

حيث تم استخدام اربعة خلطات (M1، M2، M3،M4). الخلطة M1 تحتوي على ركام الحرث، M2 تحتوي على ركام التفجير، M3 تحتوي على ركام الرخام أما الخلطة M4 فتحتوي على نسب متساوية من جميع انواع الركام المدروس، بحيث كانت نسبة كل ركام في هذه الخلطة الثلث. هذه الخلطات تم تصميمها بموجب طريقة المعهد الأمريكي للخرسانة (ACI 211.1)،(1991).

الفحوصات المخبرية

اختبار الوزن النوعي للركام الخشن: تم إجراء الفحص بموجب المواصفات البريطانية رقم (BS 812، 1995)، و يهدف هذا الاختبار لتحديد الوزن النوعي والذي يستخدم في تصميم الخلطات الخرسانية وكذلك تصنيف الركام. كما تمت من خلال هذا الاختبار المقارنة بين انواع الركام المدروس وفقاً للوزن النوعي.

إيجاد سعة الامتصاص للركام الخشن: هذا الفحص تم إجراءه طبقاً للمواصفات البريطانية رقم (BS812، 1995)، و يهدف إلى تحديد نسبة الامتصاص لبيان كمية الماء التي يمتصها الركام وكذلك إيجاد المحتوى المائي في الركام. كما تمت من خلال هذا الاختبار المقارنة بين انواع الركام المدروس وفقاً لسعة الامتصاص.

اختبار وزن وحدة الحجم للركام الخشن: يهدف هذا الاختبار لإيجاد وحدة الوزن والفراغات في الركام، وتستعمل وحدة الوزن من أجل اختيار نسب الخلط في الخلطات الخرسانية، كما تستعمل لإيجاد العلاقة بين الكتلة والحجم، أي يستعمل لتحويل الكتلة إلى حجم وبالعكس. هذا الاختبار تم بموجب المواصفات البريطانية رقم (BS 812، 1995). نتائج هذا الاختبار تمت مقارنتها بالنسبة للركام المدروس.

اختبار معامل التهشيم: يهدف هذا الاختبار لتحديد مقاومة الركام للتهشيم، الذي يعتبر ذو أهمية كبرى في الخرسانة خاصة في الرصف والطرق المعرضة للتآكل والبري والاحتكاك، الأمر الذي يستوجب تحديد هذه المقاومة وتقييمها. هذا الفحص تم إجراؤه بموجب المواصفات البريطانية رقم (BS 812، 1990).

اختبار معامل الاهتراء (لوس أنجلوس): يهدف هذا الاختبار لقياس مقاومة الركام ذو الحبيبات المتوسطة والكبيرة للاهتراء عند تعرضه للصدم. أنجز هذا الاختبار طبقاً لمواصفات الجمعية الأمريكية للفحص و المواد رقم (ASTM C535، 2012).

اختبار الهطول للخرسانة الطازجة: يهدف هذا الاختبار لقياس قوام الخرسانة عن طريق معرفة هبوطها. تم الفحص بموجب المواصفة الجمعية الأمريكية للفحص والمواد رقم (ASTM C143، 2012).

اختبار تحديد مقاومة الضغط: في هذا الفحص استخدمت عينات مكعبة بأبعاد $15 \times 15 \times 15$ سم³، وتمت معالجة العينات في الماء عند درجة حرارة تتراوح بين (20-25 م°). لكل خلطة خرسانية تم صب 3 مكعبات بموجب المواصفة البريطانية رقم (BS 1881، 1983). اختبار العينات تم عند عمر 3، 7، 28 يوم.

تحليل و مناقشة النتائج

لقد بينت نتائج الاختبارات التي شملتها هذه الدراسة الاختلافات بين انواع الركام المدروس سواء بالنسبة لخواص الركام الميكانيكية او تأثيره على خواص الخرسانة المصنعة من الانواع المدروسة من الركام.

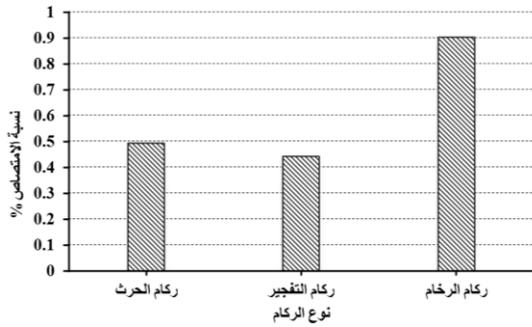
الشكل (6) يبين الوزن النوعي للركام المدروس. من الواضح من الشكل أن الوزن النوعي لركام مخلفات الرخام يقل بشكل ضئيل عن الوزن النوعي لباقي أنواع الركام. حيث كان الوزن النوعي للركام المدروس 2.69، 2.72، 2.61 لركام الحرت و التقجير و ركام الرخام على التوالي. وهذا راجع الى أن ركام الرخام يختلف من ناحية التركيب البنيوي. بصفة عامة يعتمد الوزن النوعي للركام على الوزن النوعي لمركباته وعلى حجم الفجوات به.

الشكل (7) يبين نسبة الامتصاص لجميع أنواع الركام المدروس. من خلال هذا الشكل يمكن ملاحظة أن ركام الرخام كانت نسبة امتصاصه عالية مقارنة بباقي أنواع الركام. نسبة الزيادة في الامتصاص لركام الرخام مقارنة بركام الحرت تقدر بحوالي 80% وعن ركام التقجير 100%. إن السبب في ذلك قد يعود الى زيادة المسامات ضمن نسيج ركام الرخام. حيث أن الفراغات في الركام تزيد من قدرته على الامتصاص للماء والسوائل لأنها تتغلغل في تلك المسامات معتمدة على مقياس تلك المسامات واستمراريتها أو انعزالها وعلى حجمها الكلي.

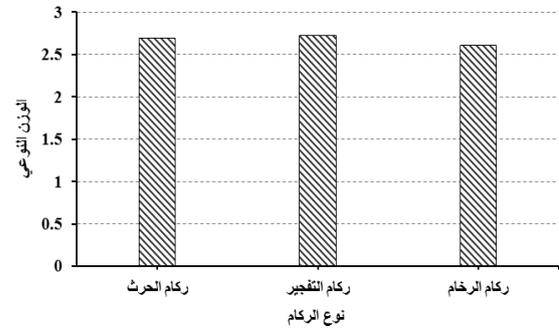
بالمقارنة بين الركام المدروس من خلال وزن وحدة الحجم مبنية في الشكل رقم (8)، يلاحظ أن ركام الرخام له وزن وحدة حجوم في المتوسط بين ركام الحرت و التقجير حيث يعتبر وزنه الحجمي من تصنيف الركام متوسط النقل. إن ارتفاع الوزن الحجمي للركام بصفه عامه يمكن ان يكون راجعا الى الشكل الزاوي و السطح الغير منتظم الذي يسمح بوجود فراغات اكبر بين حبات الركام. فالوزن الحجمي للركام يعبر عن وزن محتوى الركام الذي يشغل حجما محددًا بما فيه من فراغات بين حبيبات الركام.

الشكلين (9) و (10) يبينان معاملات التهشيم و الاهتراء للركام المدروس. من خلال نتائج اختبار معامل التهشيم للركام وجد أن معامل التهشيم لركام الرخام كان أقل من معامل التهشيم لركام الحرت بنسبة 8.8% وأعلى من

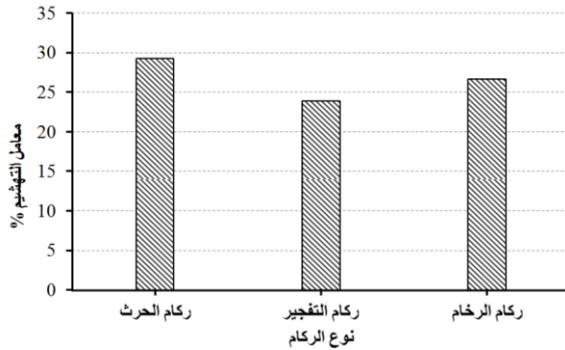
معامل التهشيم لركام التفجير بنسبة 11.6% . وبقياس معامل الاهتراء لجميع أنواع الركام وجد أن ركام الرخام له معامل اهتراء أعلى من ركام الحرث بنسبة 5.88% وأعلى من ركام التفجير بنسبة 27.8%. إن انخفاض هذه المعاملات يعكس قدرة الركام على مقاومة التآكل و الصدم و الاحتكاك الذي بدوره يساهم في مقاومة الخرسانة خصوصا تلك المستخدمة في الطرق و الارضيات المعرضة الى حركة مرورية ثقيلة.



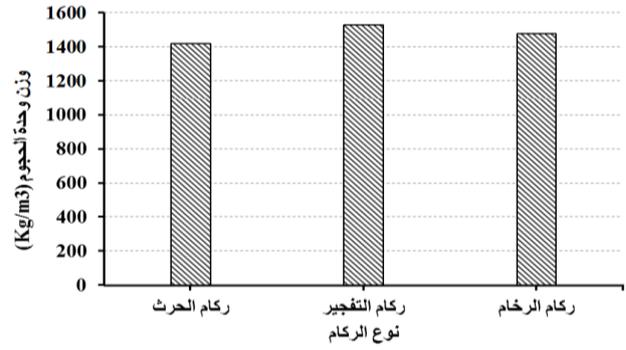
الشكل 7. نسبة الامتصاص للركام المستخدم.



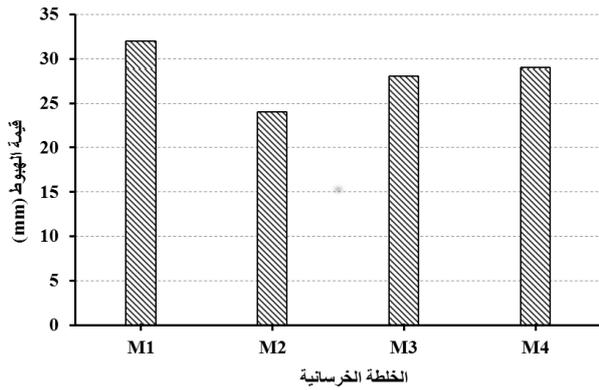
الشكل 6. الوزن النوعي للركام المستخدم.



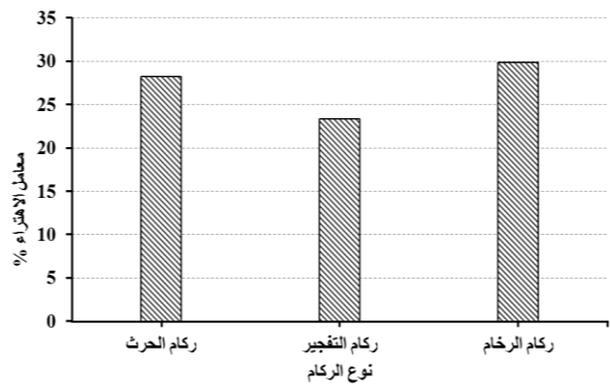
الشكل 9. معامل التهشيم للركام المدروس.



الشكل 8. وزن وحدة الحجم للركام المستخدم.



الشكل 11. مقدار الهبوط للخلطات الخرسانية الطرية المدروسة.

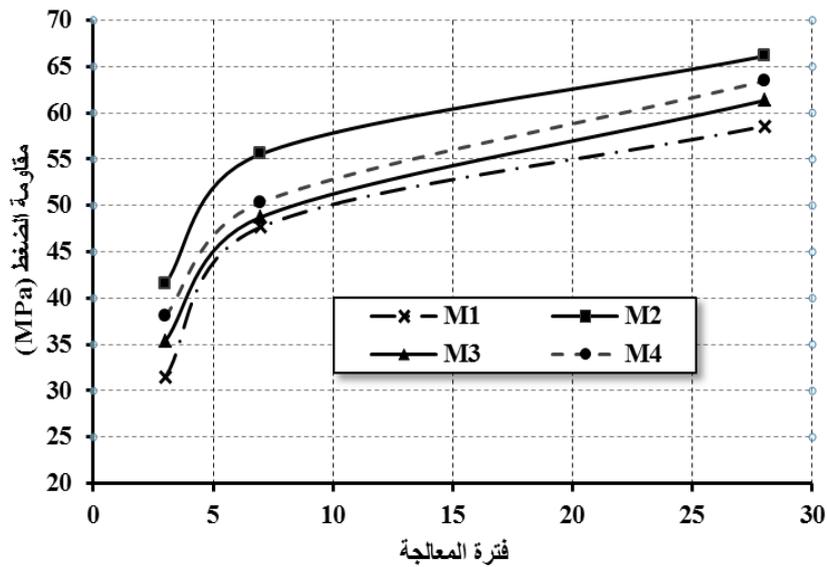


الشكل 10. معامل الاهتراء للركام المدروس.

إن أساس تقييم قابلية التشغيل و تأثير تغيير نوع الركام عليها قد اعتمد على فحص الهبوط. الشكل (11) يوضح النتائج المستخلصة من الفحص على كافة الخلطات. وجد أن قيمة الهبوط تتراوح ما بين (2.4cm – 3.2cm)

حيث كانت قيمة الهبوط للخلطة M3 والتي تحتوي على ركام الرخام تقل عن الهبوط في الخلطة M1 بنسبة 12% وتزيد عن الهبوط في الخلطة M2 بنسبة 16.6% وتقل عن الهبوط في الخلطة M4 بنسبة 3.44%. إن انخفاض قيمة الهبوط قد يرجع الى أن الركام المكسر خصوصاً ركام الرخام ذو خشونة عالية والذي إلى كمية أعلى من الماء للحصول على نفس الهطول (قابلية التشغيل).

الشكل (12) يوضح تأثير الركام المدروس على مقاومة الخرسانة العادية. الملاحظ أنه عند جميع الاعمار التي اختبرت عندها مقاومة الضغط (3، 7، 28 يوم)، مقاومة الضغط تزداد و بشكل ملحوظ بالنسبة للخرسانة المحتوية على ركام التفجير (M2) يلي ذلك الخرسانة التي تحتوي على الركام الخليط (M4) ثم الخرسانة التي تحتوي على ركام الرخام (M3) يليها الخرسانة التي تحتوي على ركام الحرت (M1). إن سبب الاختلاف في مقاومة الضغط لركام الرخام مقارنة بباقي الانواع الأخرى من الركام يعود الى الاختلاف في الخواص الميكانيكية. ففي العموم يمكن القول ان الخواص الميكانيكية لركام الرخام تعتبر افضل من الخواص الميكانيكية لركام الحرت الامر الذي أدى الى التفوق الملحوظ في المقاومة. فالخواص الميكانيكية الفائقة للركام تعكس اداء الخرسانة مما يحسن بشكل كبير من مقاومة الانضغاط. من خلال نفس الشكل يمكن ملاحظة أن عملية خلط الركام المدروس تحسن من مقاومة الضغط للخرسانة بشكل كبير عند جميع الاعمار، وهذا يتيح الحصول على مقاومة جيدة عند التفاوت في الخواص الميكانيكية لعدة انواع من الركام، ويسمح كذلك بإدماج مخلفات مواد البناء في تكوين الخرسانة.



الشكل 12. تأثير الركام المدروس على مقاومة الضغط للخرسانة بعد 3، 7، 28 يوم.

الاستنتاجات

اعتماداً على النتائج العملية التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة وبعد مناقشة هذه النتائج يمكن أن نستخلص الاستنتاجات التالية:

- نتائج الاختبارات العملية المتعلقة بالخصائص الهندسية للركام المدروس أظهرت قبول ركام مخلفات الرخام لتكوين الخلطات الخرسانية العادية، حيث وجد أن قيم التدرج الحبيبي، الوزن النوعي، الامتصاص، وزن وحدة الحجم، معاملات التهشيم و الاهتراء لها تأثير إيجابي مقارنة بالركام المتوفر محلياً في مدينة الخمس. هذا من شأنه زيادة مقاومة الخرسانة للأحمال التي تتعرض لها و تحسين مقاومتها لعوامل البري و العوامل الجوية المختلفة و تحمل الخرسانة مع الزمن و التغيرات الحجمية للخرسانة كلها تعتبر محققه بمثل هذه الخصائص

- التي يتميز بها ركام مخلفات الرخام.
- إن عملية إدماج ركام مخلفات الرخام كأحد مكونات الخلطة للخرسانة العادية تقود الى زيادة ملحوظة في المقاومة، حيث تم الحصول على مقاومة 61 MPa عند خلطه بنسبة 100% و 63 MPa عند خلطه مع الركام المحلي بنسبة 33.33% بعد 28 يوم من المعالجة و هذه المقاومة تعتبر ممتازة جدا في الظروف العادية.

التوصيات

- بناءً على ما تم الحصول عليه من نتائج في هذه الدراسة، يوصى بالعمل على الاستفادة من مخلفات الرخام في مدينة الخمس و غيرها من المدن الأخرى كمضاف إلى الخرسانة المصنوعة من المواد المحلية على هيئة ركام خشن وذلك لتحسين خواصها.
- نوصي جهات الاختصاص بالعمل على الحد من مشكلة تكديس مخلفات ورش الرخام من خلال إنشاء كسارة مركزية بكل منطقة بحيث تورد مخلفات الرخام و المخلفات الأخرى لمواد البناء الى هذه الكسارة ومن ثم تكسيها بأحجام تتناسب و احتياجات الطلب، و بالتالي التقليل من المشاكل المتعلقة بالتكلفة و البيئة.

الشكر و التقدير

الباحثون يتقدمون بخالص الشكر و الامتنان الى الاخوة الفنيين العاملين بكل من، مصنع اسمنت المرقب، مصنع اسمنت لبدة و مصنع العوارض الخرسانية بالخمس على ما قدموه من مساعدة خلال العمل بهذا البحث.

المراجع

- ACI Committee 211.1-91 (2009)، "Standard practice for selecting proportions for normal heavy weight and mass concrete"، ACI manual of concrete practice، Part 1.
- Akbulut H، Gurer C. (2007)، "Use of Aggregate Produced From Marble Quarry Waste In Asphalt Pavements"، Building and Environments، 42 (7) pp:1921-1930.
- ASTM C535 (2012). "Standard test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregate by abrasion and Impact in the Los Angeles machine". American Society for Testing and Materials.
- ASTM C143/143M (2012)، "Standard Test method for slump of Portland cement concrete". American Society for Testing and Materials.
- BS 812: Part 103 (1992)، "Method for determination of particle size distribution"، British Standard Institution.
- BS 812: Part 110 (1990)، "Method for determination of aggregate impact". British Standard Institution.
- BS 812: Part 2 (1995). "Methods for determinations of density and absorption". British Standard Institution.
- BS 882: Part 30 (1992). "Aggregate from natural sources for concrete". British Standard Institution.
- BS 1881: Part 108 (1983)، "Method for making test cubes from fresh concrete". British Standard Institution.
- Corinaldesi V، Giacomo G، Tarun R. (2010)، "Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete"، Construction and Building Materials، 24 (2) pp: 113-117.
- Fredonia، F. (2007)، "World Construction Aggregates"، Industry study with forecasts for 2011 and 2016، The Fredonia Group، USA.

Hebhoub H.، Aoun H.، Belachia M.، Houari H.، Ghorbel E. (2011)؛ "Use of Waste Marble Aggregate in Concrete"، Construction and Building Materials، 25 (8) pp: 1167-1171.

Saboy F.، Vavier G.، Alexander J. (2007)؛ "Use of the Powder Marble By- product to Enhance the Properties of Brick Ceramic"، Construction and Building Materials ، 21 (5) pp: 1950 – 1960.

Sudarshan D. K.، Vyas A.K. (2016)؛ "Impact of marble waste as coarse aggregate on properties of lean cement concrete"، Case Studies in Construction Materials، 4 (3) pp:85–92.