تأثير إضافة مخلفات مصانع الرخام كبديل للرخام الخشن للخرسانة المستخدمة في البناء على مقاومة الضغط والموصلية الحرارية

أيمن ساسي القطوس
قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة – جامعة نالوت

فيصل صالح ورغ
قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة – جامعة نالوت

أمحمد رمضان بلغو
قسم الإنشاء والعمارة
المعهد العالي للعلوم والتقنية بنالوت

الملخص :

إن إعادة تدوير مخلفات مصانع الرخام واستعمالها كبديل للركام الخشن في أعمال الخرسانة يساهم بشكل كبير في تقليل الآثار البيئية للمخلفات، ولذلك برزت أهمية دراسة استخدام هذه المخلفات للحصول على خرسانة ذات مواصفات جيده مواكبة للتطور في مجال الإنشاء من ناحية العزل الحراري ومقاومة الضغط. اختصت هذه الدراسة باستبدال الركام الخشن الاعتيادي بركام مخلفات الرخام وبنسب حجمية (50 % , 100%) إضافة لإعداد خلطة مرجعية. تم دراسة الخواص اللدنة للخرسانة وأجريت اختبارات الهبوط، وكذلك اختبارات الخرسانة المتصلدة بعد 28 يوم من المعالجة بالماء والمتمثلة في اختبار مقاومة الضغط والموصلية الحرارية. حيث أشارت نتائج الاختبارات إلي زيادة الخواص الميكانيكية للخرسانة بزيادة ركام مخلفات الرخام, حيث سجلت مقاومة الضغط للخلطة المرجعية 36.99 ميجا باسكال, وكانت نسبة الزيادة في مقاومة الضغط حوالي 27.3% عند إحلال الرخام بنسبة 100% محل الركام الخشن وبقيمة قدرها 50.87 ميجا باسكال, بينما قلت مقاومة الضغط للخرسانة بنسبة 27.6% عند نسبة إحلال 50% من الرخام محل الركام الخشن وبقيمة قدرها 28.98 ميجا باسكال .أما بالنسبة لاختبارات الموصلية الحرارية للخرسانة ونظرا لعدم توفر أجهزة خاصة لقياس الموصلية الحرارية تم الاستعانة بأجهزة بسيطة من ابتكار الباحثين لإجراء الاختبارات، حيث قلت قيمة الموصلية الحرارية عند الحالة الرطبة بنسبة (6% و1%) عن الخلطة المرجعية عند إحلال ركام الرخام (100% و 50%) بينما في الحالة الجافة لوحظت زيادة الموصلية الحرارية بنسبة (3.6% و1.2%) عن الخلطة المرجعية عند إحلال (100% و50%) رخام كبديل للركام الخشن.

الكلمات الدالة: خرسانة، مخلفات معامل الرخام، مقاومة الضغط، الموصلية الحرارية.

Abstract:

The recycling of waste from marble cutting factories and using it as an alternative to coarse aggregates in concrete works significantly contributes to reduce the environmental effects of the waste, along with as a result it required to study the importance of using such this kind of wastes to obtain on concrete with featured specifications in line with the development in the field of construction in terms of thermal insulation and pressure resistance has emerged. This study concerns with replacing the ordinary coarse aggregate with aggregate from marble cutting waste, with volumetric ratios (50% and 100%) over and above preparing a reference mixture. The plastic properties of the concrete were studied and the slump test was conducted, as well as the tests for the hardened concrete after 28 days of water treatment, represented by the compression strength test and thermal conductivity. Where the test results indicated an increase in the mechanical properties of concrete with an increase in the aggregate of marble cutting waste, where the compression strength of the reference mixture was recorded as 36.99 MPa, and the percentage of increase in the pressure resistance was about 27.3% when replacing the rough aggregate with 100% marble cutting with a value of 50.87 MPa, while it decreased the pressure resistance of concrete by 27.6% at a rate of replacement of 50% of marble cutting waste in place of coarse aggregate with a value of 28.98 MPa. Whilst for thermal conductivity tests of concrete and due to the lack of particular devices to measure thermal conductivity, simple procedure invented by were used to conduct the test, Whereas, the thermal conductivity value at the wet stage was reduced by (6% and 1%) than the reference mixture when substituting marble aggregates (100% and 50%), while in the dry state an increase in thermal conductivity was observed by (3.6% and 1.2%) over the reference mixture at Substitution (100% and 50%) of marble as an alternative to coarse aggregate.

Key words: concrete, marble cutting wastes, compression strength, thermal conductivity.

المقدمة:

تعد مادة الخرسانة من أجود المواد التي يمكن أن تفي باحتياجات قطاع الإنشاءات من الوحدات السكنية البسيطة إلى الهياكل الكبيرة المعقدة، ويعزا ذلك إلى انتشار الإنشاءات باستعمال الخرسانة لأنه لا توجد مادة بديلة يمكن أن تستوعب وتخدم الانتشار العمراني الكبير الذي يحدث في العالم. وأيضا لأن مادة الخرسانة يمكن أن تصنع بمهارة بسيطة وبدائية. وكذلك للميل الملحوظ في الفترة الأخيرة إلى التوجه الراسي في الإنشاء بدلا من التوجه الأفقي لاستغلال المساحات، ومن المعروف أن أنشطة صناعة البناء تستهلك الكثير من المواد الخام وتولد كميات هائلة من النفايات، ولهذا فان لصناعة الإنشاءات الدور الضخم في إحداث الكم الهائل من النفايات التي في الغالب يتم نقلها إلى المكبات والمقالب العمومية مما يجعلها مواد غير مصاحبة للبيئة وهذا يزيد وبشكل كبير من حجم التكاليف المستخدمة للتخلص منها[1] . إن إعادة التدوير والاستخدام للنفايات ومخلفات مصانع صناعة الرخام الناتجة من عمليات قص ونشر وتهذيب وتسوية سطوح الرخام في هذه المعامل والتي تعتبر نفايات صلبة كبيرة مختلفة الأحجام[2] . حيث يتم التخلص من تلك النفايات باستخدام بعضها في صناعة الخرسانة كبديل للركام الخشن والأعمال الإنشائية المختلفة، مما يؤدي إلى تقليل التكاليف واستغلال الموارد المحلية ويساهم بشكل كبير في تقليل الآثار البيئية لهذه المخلفات وصولا إلى صناعة خرسانة قادرة على تقليل الآثار السلبية على البيئة وتسمى (الخرسانة الخضراء) وهي خرسانة تستخدم في صناعتها مواد بناء صديقة لها تأثير محدود على البيئة وقليلة التكلفة. وقد شهد قطاع البناء تطورا هائلا خاصة في مجال مواد البناء ومنها الخرسانة التي تتميز بسهولة العمل بها وقدرة تحملها ولكن صاحب تلك المواد بعض السلبيات المرتبطة بخصائصها, فالخرسانة المسلحة سريعة التوصيل للحرارة, وكذلك سريعة الفقدان للحرارة مما يجعل استخدامها في بناء المباني بدون عوازل حرارية أو أجهزة تكييف غير مريح للقانطين في المبنى, علي العكس في حالة استخدام مواد البناء التقليدية (الطين والحجر), التي لها خاصية عالية في تخزين الطاقة الحرارية من البيئة المحيطة وتباطؤ كبير في معدل توصيلها وذلك مقارنة بالتقنيات المعاصرة والغير معزولة حراريا. ونظرا لما يسود ليبيا من مناخ حار في فصل الصيف وباردا في فصل الشتاء مما يؤثر على المبنى، ويستوجب ضرورة الاستعانة بالأجهزة الميكانيكية لتهيئة درجات الحرارة المناسبة داخل المبنى، لذا فأن عدم عزل المباني جيدا يؤدي إلي زيادة الأعباء المادية على المواطن. ومن هنا تبرز أهمية دراسة مواد الخرسانة ومقارنة مكوناتها المصنعة محليا للحصول علي خرسانة ذات مواصفات جيدة للمساهمة في توجه ليبيا نحو التطور العمراني والإنشائي، وقد شهدت ليبيا في العقود الثلاثة الأخيرة نهضة عمرانية

واسعة انتشرت خلالها الأبنية الحديثة بمختلف أنواعها، وقد ترافق ذلك مع زيادة ملحوظة في استهلاك الوقود والطاقة الكهربائية لإغراض التدفئة والتكييف. ويهدف تخفيض التنامي المتسارع للطلب على أحمال الطاقة حماية البيئة من التلوث الناتج عن انبعاثات غازات الدفيئة نتيجة لحرق الوقود الخاص بإنتاج الطاقة الكهربائية، ولتحقيق متطلبات الارتياح الحراري في الأبنية بات من الضروري تطوير علم تقنية الخرسانة ومواد البناء لتحسين الخصائص الحرارية للعناصر الإنشائية والنوافذ والأبواب، والاستفادة من الطاقة النظيفة والمجانية للشمس. وتركزت الأبحاث في مجال علم تكنولوجيا الخرسانة على تصميم خلطات خرسانية ذات مقاومة ضغط عالية وخصائص جيدة من حيث العزل الحراري ويرجع ذلك للتوفير الهائل في الطاقة المستخدمة لغرض عملية التدفئة والتبريد للمباني. حيث تقدر نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة في الصيف لتبريد المباني حوالي (66 %) من كامل الطاقة الكهربائي [3] . كما تقدر الحرارة التي تخترق الجدران والسقوف في أيام الصيف بنسبة (60–70) % من الحرارة المراد تقليلها بأجهزة التكييف، أما الباقي فيأتي عن طريق النوافذ وفتحات التهوية [3]. فالعزل الحراري الجيد يقلل من استخدام أجهزة التكييف مما يقلل من التأثير الصحي والنفسي على الإنسان بسبب الضوضاء الناتجة عن تشغيل تلك الأجهزة. كما يعمل العزل الحراري الجيد على حماية وسلامة المبنى من تغيرات الطقس والتقلبات الجوية حيث أن فرق درجات الحرارة الناتج من ارتفاع الحرارة بسبب أشعة الشمس نهارا، وانخفاضها ليلا، وتكرار حدوث ذلك، يؤدي إلي إحداث اجهادات حرارية تجعل طبقة السطح الخارجي للمبنى تفقد الكثير من خواصها الطبيعية والميكانيكية، وبالتالي ظهور تشققات وشروخ في هيكل المبنى[4].

وقد أجرى عدد من الباحثين عدة أبحاث وتجارب ومحاولات لتقليل معامل التوصيل الحراري للخرسانة بإضافة مواد للخرسانة لغرض العزل الحراري بنسب وزنيه أو حجميه من مكونات الخلطة الخرسانية ودرسوا الخواص الحرارية والميكانيكية للخلطات المصممة، وخاصة من حيث كون هذه المواد عبارة عن مخلفات لبعض العمليات الإنتاجية وذلك للحصول في نفس الوقت على خرسانة خضراء صديقة للبيئة. فقد درس (البياتي وآخرون) [5] تأثير إضافة ألياف الألمنيوم المأخوذة من مخلفات معامل الألمنيوم على معامل التوصيل الحراري للخرسانة، وتمت الدراسة باستخدام خلطة مرجعية بدون مضاف الألمنيوم لغرض المقارنة مع باقي الخلطات التي تحتوي على مضاف الألمنيوم لثلاث نسب هي 3% و 5% و10% من وزن الاسمنت وقد اثبتوا أن التوصيلية الحرارية تعتمد بالدرجة الأولى على كثافة الخرسانة حيث تزداد بزيادتها، فالكثافة قلت بمقدار (7–20)% مع زيادة نسبة المضاف ومعامل التوصيل الحرارة يقل كذلك بحدود (17–45) % لارتباطه بالكثافة

وكذلك مقاومة الضغط تقل بإضافة ألياف الألمنيوم بحدود (30–54)%. أما (قيس,2011) [4]فقد درس تأثير كمية ألياف الكربون المضافة للخلطة الخرسانية على الموصلية الحرارية ومقاومة الضغط للخرسانة، فقد تم تحضير نماذج خرسانية مستطيلة المقطع لإجراء اختبار الموصلية الحرارية بالإضافة إلى مكعبات قياسية لفحص مقاومة الضغط, حيث تم إضافة شرائح ألياف الكربون المقطعة بنسب (0%, 0.45%, 1.1%, 1.6%) من وزن الاسمنت المخصص للخلطة, وقد أظهرت نتائج اختبارات الموصلية الحرارية لوقت اختبار مقداره (390) دقيقة لكل نموذج أن هنالك زيادة في عازليه الخرسانة المضاف إليها شرائح ألياف الكربون وتزداد بزيادة كمية الألياف المضافة كما كان هنالك نقصان في مقاومة الضغط للخرسانة مع زيادة كمية الألياف حيث تراوح هذا النقصان ما بين (6.4–28.5)% من نسبة مقاومة الضغط للخرسانة المرجعية. أما(فارس، 2011) [6] فقد درس تأثير إضافة حبيبات مواد عازلة الحرارة إلى الخرسانة المستخدمة في البناء على الموصلية الحرارية ومقاومة الضغط، حيث تم تنفيذ العمل بمرحلتين، ففي المرحلة الأولى تم صب خمسة قوالب خرسانية بأبعاد (300 x 300 x 40) ملم تحتوي على الفلين بشكل حبيبات وبنسب حجميه (15%،20%، 25%،30%،35%) من الحجم الكلي للقالب ومن ثم اختبار الموصلية الحرارية و تكرار الاختبارات عند قيم مختلفة لدرجات الحرارة، وفي نفس الوقت تم صب مكعبات قياسية بنفس الخلطات لاختبار مقاومة الضغط لكل نموذج، وقد تم تكرار العمل السابق في المرحلة الثانية ولكن بإضافة حبيبات الأسبست إلى الخرسانة كمادة عازلة بدلا من الفلين، فقد تراوحت قيمة الموصلية الحرارية للعينات التي تحتوي على الفلين ما بين (0.22 – 0.65) واط/متر. مْ وكانت أقل من نظيراتها التي تحتوي على نفس النسب الحجمية من الاسبست ولنفس ظروف الاختبار التي تراوحت قيمتها ما بين (0.44 – 0.9) واط/متر. مْ، وكذلك تراوحت نتائج مقاومة الضغط للمكعبات التي تحتوي على الفلين ما بين (12–32) نيوتن/ملم^2 وهي أقل من نظيراتها التي تحتوي على الأسبست التي تراوحت قيمتها مابين (25–40) نيوتن/ملم^2. أما (ادم، 1997) [7] فقد درس تأثير نسبة القصب المضاف للإسمنت وحجمه وكثافة الألواح وكمية الرطوبة فيه على معامل التوصيل الحراري للمزيج وذلك باستخدام جهاز قياس من نوع الصفيحة الساخنة ذو العينتين، حيث استخدم عينات مصنعة مختبرينا وبأبعاد (29 cm x 29 cm) وقد استنبط معادلة تجريبية للموصلية الحرارية بدلالة النسبة الحجمية للقصب والمحتوى الرطوبي ومتوسط درجة حرارة العينة. أما (كاظم وحذامة، 1998) [8] فقد درسوا تأثير إضافة بذور زهرة الشمس إلى الاسمنت البورتلاندي بنسب وزنية تراوحت ما بين (0–0.7) % على الموصلية الحرارية ومقاومتي الشد والضغط وحصلوا على

انخفاض بالموصلية الحرارية إلى0.7% من القيمة الأصلية قبل الإضافة. أما (نواف، 1997) [9] فاستخدم جهاز قياس الموصلية الحرارية ذو الطريقة الغير المستقرة لدراسة تأثير إضافة مواد سليلوزية بنسب وزنيه تراوحت مابين (0- 10)% إلى عجينة الاسمنت على معامل التوصيل الحراري ومقاومة الشد والضغط، واثبت بان قيمة هذه الخواص الحرارية والميكانيكية تقل بزيادة النسب الوزنية للمواد المضافة، كما أوصى باستخدام نشارة الخشب كأفضل مادة عازلة لما توفره من تحسن في الخواص الميكانيكية والحرارية. وان للرطوبة الممتصة من قبل الخرسانة تأثيرا كبيرا على قيمة التوصيلية الحرارية التي تزداد بزيادتها وان محتوي رطوبيا بمقدار (20 %) يضاعف تقريبا قيمة التوصيلية الحرارية للخرسانة [1] .أما بالنسبة لدراسة كون الرخام نوع من أنواع المخلفات الصناعية والتي من الممكن استخدامها لإنتاج خرسانة صديقة للبيئة فقد درس (الطوير وآخرون، 2017)[10] الخواص الميكانيكية لركام الرخام لاستخدامه كبديل للركام الخشن في الخرسانة وكانت النتائج في حدود المواصفات وكذلك بالنسبة لمقاومة الضغط فقد لوحظ أن الخرسانة الحاوية على ركام مخلفات ورش تقطيع الرخام أعطت قيم لمقاومة الضغط تعادل المقاومة المتحصل عليها في الخلطات المصنعة من الركام المحلي (التفجير والحرث).

الجدير بالذكر انه لا توجد أجهزة خاصة لقياس الموصلية الحرارية وكل الدراسات السابقة تمت بابتكار أجهزة بسيطة محلية الصنع أي تم تصنيعها بداخل المؤسسة العلمية من قبل الباحثين ماعدا (فارس،2011) فقد استخدم جهاز ألماني الصنع خاص بقياس الموصلية الحرارية والذي وللأسف لا يتوفر في كل مؤسساتنا العلمية.

مشكلة البحث:

1- إن جزءا كبيرا من الطاقة المستهلكة في المباني تذهب لإغراض التبريد والتدفئة ويمكن تقليل الطاقة المستهلكة عن طريق استخدام أنظمة عزل حراري جيدة في المباني بإعادة تدوير مخلفات المواد المصنعة.

2- إعادة التدوير والاستخدام لمخلفات عمليات صناعة الرخام كركام خشن في إنتاج الخرسانة ومحاولة التقليل من الآثار السلبية للمخلفات على البيئة.

الهدف من البحث:

1- الحصول على خرسانة ذات مقاومة ضغط عالية .

2- الحصول على خرسانة صديقة للبيئة وذلك باستخدام مخلفات صناعية كبديل للركام الخشن .

3- الحصول على خرسانة ذات عزل حراري جيد .

4- إعادة استخدام مثل هذه المخلفات يقلل من استهلاك المواد الخام الطبيعية وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة اللازمة للتصنيع وعمليات الإنتاج.

طريقة البحث:

تم تقسيم البحث إلي قسمين :

1- الدراسة النظرية لاستقساء المعلومات حول الموضوع وتعزيزه بدراسات سابقة .

2- الدراسة المعملية وتم الاعتماد على الاختبارات المعملية على المواد وكذلك على الخرسانة.

الجانب العملي:

تضمن هذا الجزء من البحث إجراء كافة الاختبارات المعملية، حيث تم صب عينات لمكعبات قياسية بأبعاد (150x150x150) ملم لاختبار مقاومة الضغط و الموصلية الحرارية (العزل الحراري) بعد إجراء كامل الاختبارات المعملية المتوفرة لمواد الخلط (الاسمنت والركام الناعم والخشن والرخام) من حيث الوزن النوعي للركام الناعم والاسمنت وكذلك التدرج الحبيبي للركام الناعم والخشن والرخام واختبار تحديد زمني الشك الابتدائي والنهائي للاسمنت واختبار الهبوط للخرسانة والجدير بالذكر بان جميع الفحوصات المعملية للمواد الداخلة في الخلطات الخرسانية والفحوصات الخاصة بالخرسانة قد أنجزت في معمل الخرسانة بالمعهد العالي للعلوم والتقنية بنالوت ما عدا اختبار التوصيلية الحرارية فقد تم في معامل كلية الهندسة بجادو من قبل الباحثين.

المواد المستعملة:

1. الاسمنت: تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي المنتج من قبل شركة الاتحاد العربي للمقاولات وتم إجراء كافة التجارب المعملية عليه، وكانت النتائج كما موضح في جدول رقم (1) ومطابقة للمواصفات القياسية البريطانية (BS4550, 1978).[16] .

الجدول (1) : الاختبارات المعملية للإسمنت المستخدم

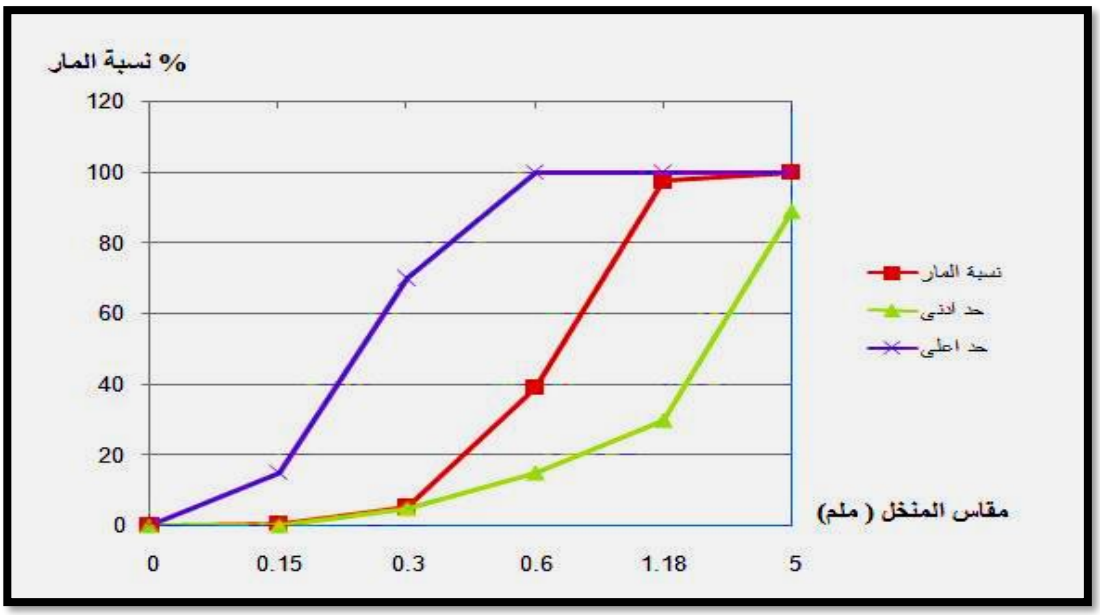
ت	الخاصية	النتائج	المواصفات القياسية البريطانية
1	الوزن النوعي	3.12	**(3.16 – 3.12)**
2	زمن الشك الابتدائي	158 دقيقة	**45 دقيقة كحد ادني**
3	زمن الشك النهائي	270 دقيقة	**10 ساعات كحد أقصى**
4	القوام	6 ملم	**من (5 – 7) ملم**
5	**النعومة**	**%5**	**لا يزيد عن 10%**

2. الماء:

تم استعمال الماء الصالح للشرب في خلط كافة الخلطات الخرسانية وكذلك للمعالجة، حيث تراوحت درجة حرارته درجة حرارة الغرفة (20°– 30°) وكذلك نسبة الأملاح الذائبة فيه لا تتجاوز 500 ملي غرام لكل لتر ومطابقة للمواصفات القياسية الليبية [11] (LQS294, 1988).

3. الركام الناعم:

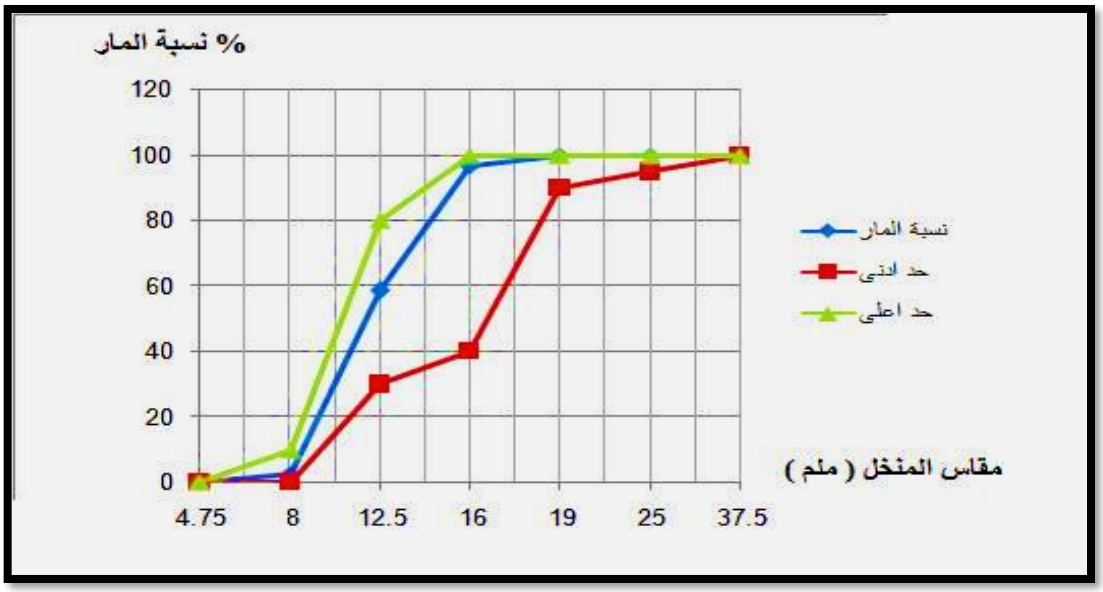
تم استخدام ركام ناعم (قزا) وهو من إنتاج محاجر مدينة نالوت ، وتم إجراء كل من اختبار الوزن النوعي والتدرج الحبيبي لهذا الركام ، وكانت النتائج في حدود المواصفات البريطانية وبقيمة 2.65 للوزن النوعي حيث حدود المواصفات القياسية البريطانية (BS812, 1990) [15]. وكذلك كانت نتائج اختبار تحديد التدرج الحبيبي كما هو موضح في الشكل رقم (1) ومطابقة للمواصفات القياسية البريطانية (BS882, 1992) [13][14].



الشكل رقم (1) : التدرج الحبيبي للركام الناعم

3.الركام الخشن :

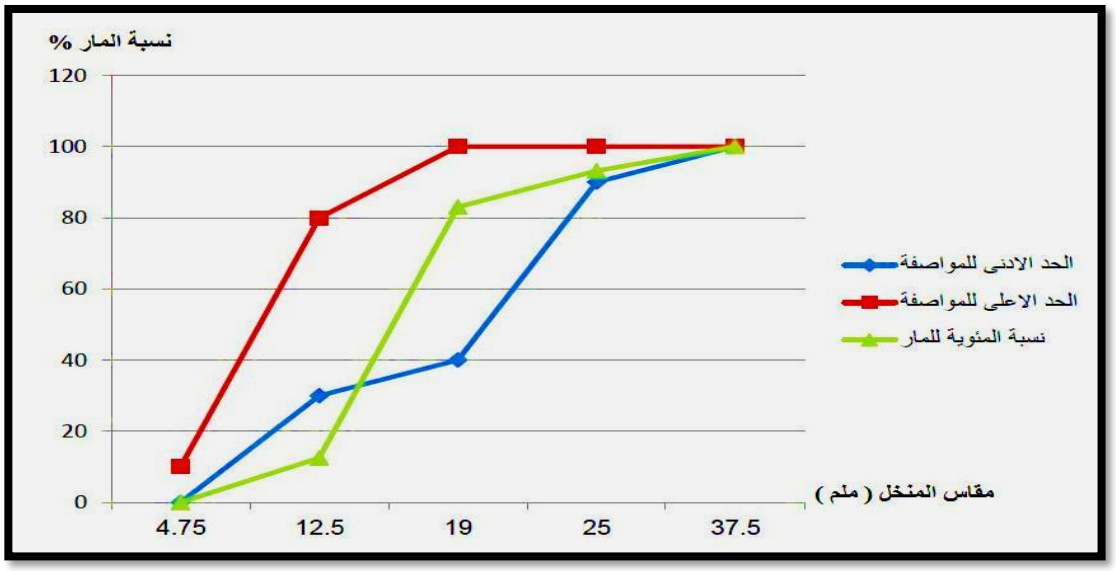
تم استخدام ركام خشن (شرشور) من إنتاج كسارات مدينة نالوت وتم إجراء اختبار تحديد التدرج الحبيبي وكانت النتائج في حدود المواصفات البريطانية BS882, 1992) [13]. كما هو موضح في الشكل رقم (2).



الشكل رقم (2) : التدرج الحبيبي للركام الخشن

4.الرخام:

تم استخدام رخام من نوع جرانيت حلايبي من بقايا ورش تقطيع الرخام بمدينة نالوت وقد تم تكسيرها يدويا بالمطرقة حتى أصبح على هيئة حبيبات بمقاسات مقاربة للركام الخشن وتم إجراء له اختبار التدرج الحبيبي الخاص بالركام الخشن نظرا لعدم وجود اختبار للتدرج الحبيبي خاص بالرخام وكانت النتائج وكما موضح في شكل رقم (3) وتقريبا في حدود المواصفات القياسية البريطانية الخاصة للركام الخشن ويعزى عدم التطابق لاستخدام طرق بدائية لتكسير قطع الرخام.



الشكل رقم (3) : التدرج الحبيبي للرخام

النماذج:

تم تصميم الخلطات الخرسانية بطريقة الحجم المطلق، حيث تم افتراض نسبة الماء إلى الاسمنت بقيمة 50 % وأن مقاومة الضغط 30 ميجا باسكال، واستخدم في هذا البحث قوالب قياسية بإبعاد (150x150x150) ملم وبثلاث **أنواع من الخلطات:**

الخلطة الأولى M1 (المرجعية) بدون إضافة للرخام.

الخلطة الثانية M2 بإضافة الرخام بنسبة 50% كنسبة وزنيه من مجموع الركام الخشن.

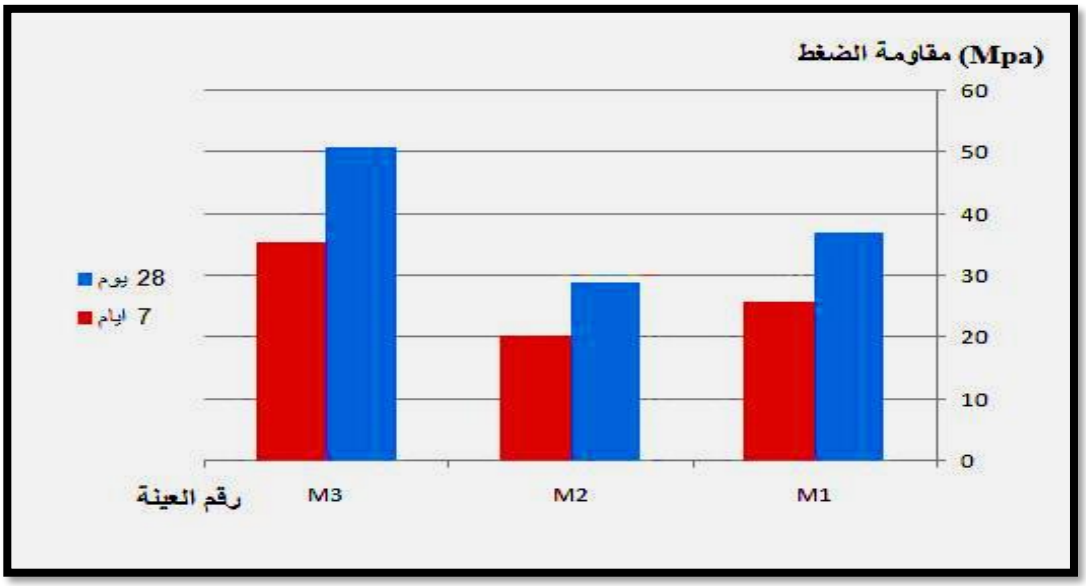
الخلطة الثالثة M3 بإضافة الرخام بنسبة 100% كنسبة وزنيه من مجموع الركام الخشن.

تم تجهيز القوالب ووزن مواد الخلط وتم الخلط باستخدام خلاطه ميكانيكية واجري اختبار الهبوط لكل الخلطات وكانت النتائج في حدود المواصفات، كذلك تمت معالجة العينات لمدة 28 يوم ومن ثم أجريت اختبارات مقاومة الضغط والتوصيل الحراري.

النتائج:

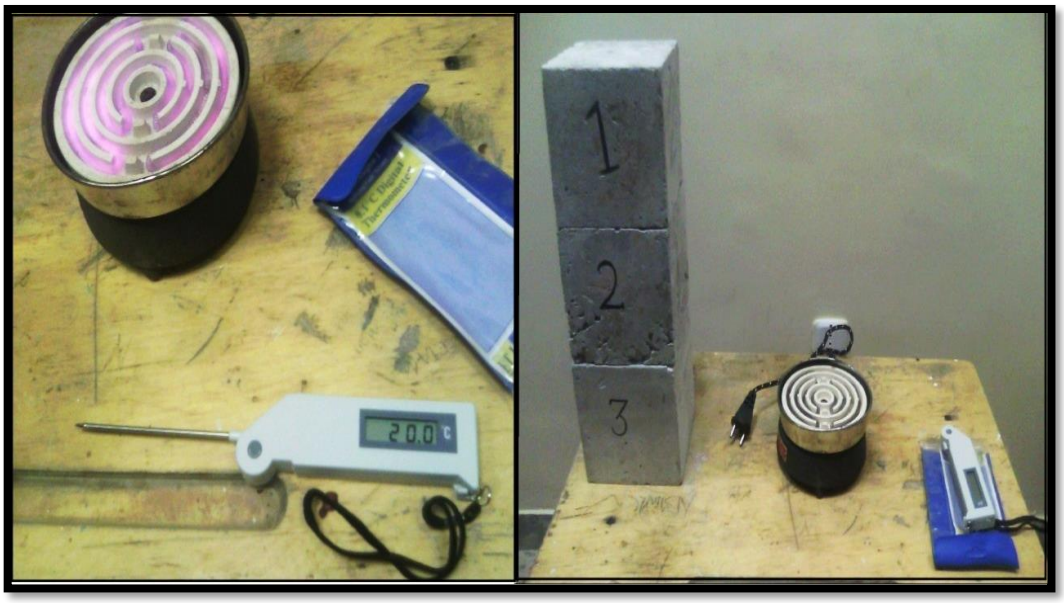
بالنسبة لمقاومة الضغط فقد أظهرت النتائج تفاوتا في تغير واستبدال نوع الركام الخشن حيث كانت أعلى نتيجة لمدة 28 يوم من المعالجة للخرسانة المحتوية على نسبة 100 % من الرخام كبديل للركام الخشن وسجلت 50.87 ميجا باسكال وتليها الخرسانة التي ليس بها أي إضافات وبمعدل 36.99 ميجا باسكال، أما الخرسانة المحتوية على نسبة 50% من الركام الخشن و50%

من الرخام فقد سجلت اقل قيمة لمقاومة الضغط وكانت 28.98 ميجا باسكال كما موضح في الشكل (4).



الشكل رقم (4) : نتائج مقاومة الضغط للعينات بعد 7 و28 يوم

أما بالنسبة لاختبار قياس التوصيل الحراري للعينات فقد ابتكرت طريقة من قبل الباحثين لقياس انتقال الحرارة داخل الوسط الخرساني وبأجهزة بسيطة كما موضحة بالشكل (5), حيث تم استخدام نفس المكعبات المستخدمة لاختبار مقاومة الضغط لهذا الغرض, وذلك بعمل ثقب بمركز المكعب وبعمق 75 ملم وذلك لضمان ثبات مسمار جهاز قياس درجة الحرارة في العينة أثناء القياس وكذلك لضمان انتقال الحرارة في الوسط الخرساني للجزء الأخر من العينة, وباستخدام جهاز حساس لقياس الحرارة من نوع (Thermapen 1) حيث تبلغ دقة قياسه 0.1 درجة مئوية ومابين (+200 ~ – 50) وكذلك مصدر حراري بقدرة 500 وات.

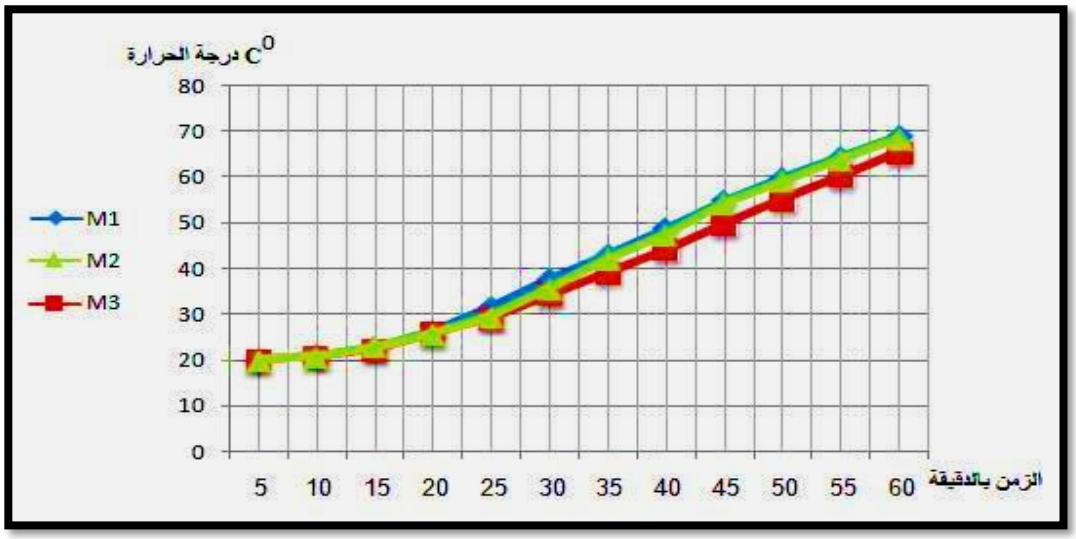


الشكل (5) : الأجهزة المستخدمة لقياس التوصيل الحراري للعينات

لقد تم قياس درجة حرارة العينة قبل الاختبار ثم وضعها على المصدر الحراري كما هو موضح في الشكل (6) وتسجيل قراءات لدرجات الحرارة للعينات لفترات زمنية ثابتة (5 دقائق) ولمدة ساعة كاملة, حيث تمت العملية بمرحلتين ففي المرحلة الأولي كانت العينات رطبة (الرطوبة الطبيعة للمنطقة) واجري الاختبار على العينات وكانت درجة حرارة العينات (حرارة الغرفة) في ذاك الوقت 20 درجة مئوية, أما المرحلة الثانية فكانت العينات جافة وقد اجري الاختبار على العينات وكانت درجة حرارة العينات (حرارة الغرفة) في ذاك الوقت14 درجة مئوية.

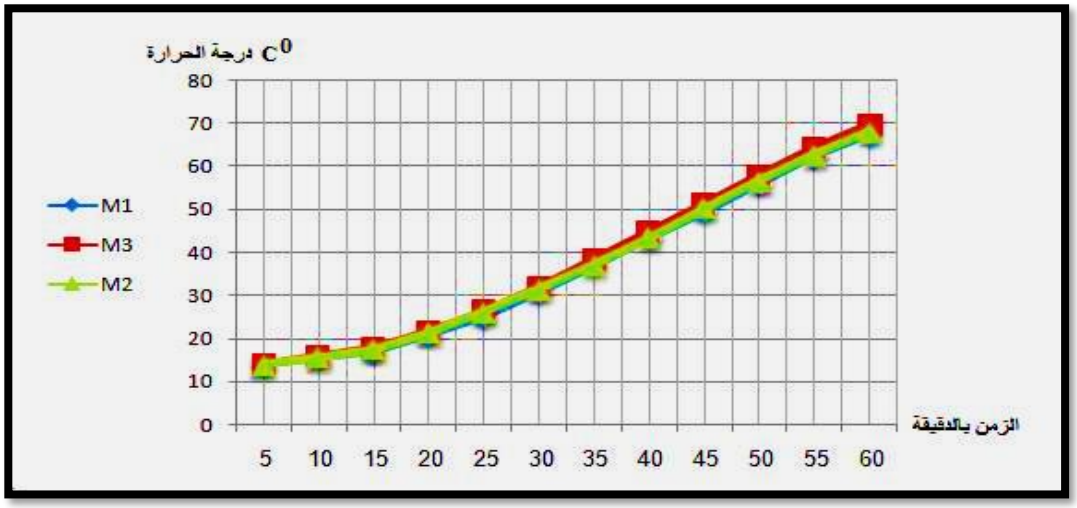
الشكل (6) : قياس درجات الحرارة للعينات

لقد أظهرت النتائج للعينات في الحالة الرطبة أن الخلطات المحتوية على الرخام كبديل للركام الخشن وبنسبة 100 % أقل توصيلا للحرارة ويليها الخلطات المحتوية على نسبة 50% من الركام الخشن و50% من الرخام تم تليها الخلطات التي ليس بها أي إضافات وبمعدل لا يتجاوز 3 درجات مئوية وكما موضح في شكل (7).



الشكل (7) : قياس درجات الحرارة للعينات في الحالة الرطبة

وقد أظهرت النتائج للعينات في الحالة الجافة أن الخلطات الغير محتوية على الرخام كبديل للركام الخشن اقل توصيل للحرارة ويليها الخلطات المحتوية على نسبة 50% من الركام الخشن و50% من الرخام تم تليها الخلطات المضاف إليها الرخام وبنسبة 100 %وبمعدل لا يتجاوز 3 درجات مئوية وكما موضح في شكل (8).



الشكل (8) : قياس درجات الحرارة للعينات في الحالة الجافة

مناقشة النتائج:

إن ما تمت ملاحظته من خلال في النتائج المتحصلة عليها من الاختبارات السابقة يعزز استنتاجات الدراسات السابقة فكل الدراسات أكدت أن كل المواد المضافة للخلطات الخرسانية والتي تزيد من العزل الحراري لها أثار سلبية من ناحية خاصية مقاومة الضغط[4] [5]. فيقل مقاومة الضغط بازدياد خاصية العزل ويرجع ذلك لانخفاض الكثافة للعينات، فكل المواد المضافة للخلطات ذات الكثافة المنخفضة تقلل من كثافة العينات الخرسانية وبالتالي تزيد من خاصية العزل وتقلل من خاصية مقاومة الضغط، أما بالنسبة للنتائج التي تم دراستها في هذا البحث فان إضافة الرخام للخلطات الخرسانية لا يحدث أي تغير لكثافة الخرسانة ويرجع ذلك لتقارب كثافة الركام والرخام وعندما تم وزن العينات كانت متقاربة في الوزن وفي حدود 7.5 كيلو غرام، ولذلك لم يكن هناك فارق

في التوصيلية الحرارية وكان الفرق في كمية الحرارة الممتصة خلال الوسط الخرساني لكل الخلطات شبه متساوي وبمعدل 3 درجات مئوية وهي ليست بالفارق الكبير.

وكذلك لوحظ أن للرطوبة تأثير في انتقال الحرارة فكما أوضحت الدراسات السابقة فان للرطوبة تناسب طرديا مع الموصلية الحرارية فبزيادتها تزداد التوصيلية الحرارية للعينات، وهذا ما تم التوصل إليه فقد لوحظ أن العينات الرطبة لها توصيلية أعلى للتوصيلية الحرارية ولو بشكل قليل وخاصة في حالة وجود الركام بنسبة 100% من المجموع الكلي للركام الخشن.

أما بالنسبة لمقاومة الضغط فقد لوحظ أن إضافة الرخام كبديل للركام الخشن وبنسبة 100% يزيد من مقاومة الضغط وهذا لا يتناسب مع الدراسة السابقة والتي أكدت أن الخرسانة الحاوية على ركام مخلفات ورش تقطيع الرخام لها مقاومة ضغط تعادل المقاومة المتحصل عليها في الخلطات المصنعة من الركام المحلي، ولعل ذلك يرجع لاختلاف نوع الرخام المضاف للخلطات بين الدراستين.

الاستنتاجات:

1. إضافة الرخام كبديل للركام الخشن وبنسبة 100% يزيد من مقاومة الضغط.

2. إضافة الرخام كبديل للركام الخشن وبنسبة 50% يقلل من مقاومة الضغط.

3. إضافة الرخام كبديل للركام الخشن وبنسبة 100% يقلل من التوصيلية الحرارية في الحالة الرطبة للعينات.

4. تؤثر الرطوبة في التوصيلية الحرارية للركام حيث تزداد التوصيلية بزيادة المحتوى المائي للعينات.

قائمة المصادر والمراجع:

1. عماد دوحه والعجيلي الغبار، نفايات مواد البناء ومدى الحد منها في الصناعة الإنشائية، المؤتمر الهندسي الثاني لنقابة المهن الهندسية بالزاوية، ديسمبر 2019م.

2. المؤتمر الثاني للعلوم الهندسية والتقنية (جامعة صبراتة، ليبيا) أكتوبر 2019م.

3. اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا،" ملامح قطرية وإقليمية لمؤشرات التنمية المستدامة لقطاعات مختارة في منطقة (ESCWA) قطاع الطاقة" نيويورك، الأمم المتحدة، 2005 .

4. قيس فاضل حسن، دراسة تأثير كمية ألياف الكربون المضافة على الموصلية الحرارية ومقاومة الضغط للخرسانة، كلية التقنية كركوك، 2011م.

5. محمد قادر البياتي وآخرون، دراسة إضافة نواتج مخلفات معامل الألمنيوم على معامل التوصيل الحراري للخرسانة، مجلة ديالي للعلوم الهندسية، المجلد السادس (العدد الأول)، 2013م.

6. فارس موسى روفا، دراسة تأثير إضافة حبيبات مواد عازلة الحرارة إلى الخرسانة المستخدمة في البناء على الموصلية الحرارية ومقاومة الانضغاط، مجلة التقني، المجلد الرابع والعشرون العدد 2، 2011م .

7. شموئيل خوشابا ادم، دراسة عملية ونظرية للخواص الحرارية والصوتية لألواح القصب الإسمنتية، رسالة دكتوراه فلسفة في الهندسة الميكانيكية، جامعة الموصل، 1997م.

8. كاظم احمد محمد وحذامة احمد محمد، تأثير قشور بذور زهرة الشمس على الموصلية الحرارية للإسمنت البورتلاندي العادي، جامعة الموصل .Sci.&J.Edu المجلد 33، 1998م.

9. نواف بلو الحديدي، تأثير المواد السليلوزية على الخواص الحرارية والميكانيكية للإسمنت البورتلاندي، رسالة ماجستير في الفيزياء، جامعة الموصل، 1997م.

10. نور الدين محمد الطوير وآخرون، دراسة إمكانية استخدام مخلفات ورش الرخام كركام خشن لإنتاج الخرسانة العادية، المؤتمر الاقتصادي الأول للاستثمار والتنمية في منطقة الخمس، 2017م.

11.المواصفات القياسية الليبية رقم 294 لسنة (1988) الخاصة بالمياه المستخدمة في الخرسانة، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية – طرابلس.

12- Sagmeister B. "Heat Insulating from No Fines Lightweight Concrete" http://www.baustoffchemie.de/en/db/lightweight-concrete/, 2001.

13- BS 882, (1992) "Specification for aggregates from natural sources for concrete ". British Standers institution. 389 Chiswik high road. London. W44AL. UK.

14- Neville, A. & Brooks, J.," Concrete technology" 2nd ed.UK: Longman Group 2010.
15- BS 812, (1990) "Methods for Sampling and Testing of Mineral Aggregate, Sand and Fillers". "British Standers institution".
16- BS 4550, (1978)." Methods of testing cement"."British standard Institution".