تأثير إضافة حبيبات مواد عازلة الحرارة إلى الخرسانة المستخدمة في البناء على الموصلية الحرارية ومقاومة الانضغاط [+]

THE EFFECT OF ADDING THERMAL INSULATING GRAINS TO CONCRETE ON THERMAL CONDUCTIVITY AND COMPRESSIVE STRENGTH

فارس موسى روفا [*]

المستخلص:

يتضمن البحث الحالي اختبارات عملية لخصائص العزل الحراري لمزيج من خرسانة البناء ومادة عازلة حراريا ، وتم تنفيذ العمل بمرحلتين ، في المرحلة الأولى تم صب خمسة قوالب خرسانية بأبعاد (٣٠٠ ملم x ٣٠٠ ملم x ٤٠ ملم) تحتوي على الفلين بشكل حبيبات وبنسب حجميه (١٥%، ٢٠%، ٢٥%،٣٠%،٣٥%) من الحجم الكلي للقالب ومن ثم اختبار الموصلية الحرارية و تكرار الاختبارات عند قيم مختلفة لدرجات الحرارة ، وفي نفس الوقت تم صب خمسة مكعبات قياسية بأبعاد (١٥٠ملمx ١٥٠ملمx ١٥٠ملم) بنفس الخلطات السابقة لاختبار مقاومة الانضغاط لكل نموذج . وقد تم تكرار العمل السابق في المرحلة الثانية ولكن بإضافة حبيبات الأسبست إلى الخرسانة كمادة عازلة بدلا من الفلين.تم عرض نتائج الموصلية الحرارية للمزيج بشكل منحنيات عند درجات حرارية ونسب حجمية مختلفة للمادة العازلة وتم استخلاص العلاقات الرياضية التالية باستخدام البرنامج الإحصائي (SPSS , version 15) وكالاتي:

(للقوالب الخرسانية التي تحتوي على الفلين) $k = 0.555 + 0.007\ T_{av} - 1.532\ Ø$

(للقوالب الخرسانية التي تحتوي على الاسبست) $k = 0.565 + 0.011\ T_{av} - 1.021\ Ø$

وقد تراوحت قيمة الموصلية الحرارية للقوالب التي تحتوي على الفلين مابين(٠,٢٢ – ٠,٦٥) واط/متر.°م وكانت أقل من نظيراتها التي تحتوي على نفس النسب الحجمية من الاسبست ولنفس ظروف الاختبار التي تراوحت قيمتها مابين(٠,٤٤ – ٠,٩) واط/متر.°م . كما تم عرض نتائج مقاومة الانضغاط للمكعبات بشكل منحنيات وقد تراوحت قيمتها للنماذج التي تحتوي على الفلين مابين (١٢-٣٢)نيوتن/ملم^2 وهي أقل من نظيراتها التي تحتوي على الأسبست التي تراوحت قيمتها مابين (٢٥-٤٠)نيوتن/ملم^2.

Abstract:

The present study comprises experimental tests to determine the mechanical and thermal properties of concrete and thermal insulating material mixture. The work was carried out in two stages , at first stage five concrete blocks with dimensions of (300mm x 300 mm x 50mm) were molded containing grains of corks with volumetric percentage of insulation of (15%,20%,25%,30%,35%). Then the thermal conductivity of the specimens has been tested at different temperatures. At the same time five standard cubes with dimensions (150mm x 150mm x 150mm) have been molded from the same previous mixtures, and the compressive strength test was done for each sample. The

[+] تاريخ استلام البحث ٢٠٠٨/١١/٢ ،تاريخ قبول النشر ٢٠٠٩/٧/٢٣ .

[*] مدرس /الكلية التقنية/كركوك .

previous work-steps have been repeated for the second stage associated with the addition of asbestos grains to concrete as insulating material instead of cork. The results of thermal conductivity were shown in curves at different temperatures and volumetric percentages, and were statistically processed using (SPSS, version 15) program, then the following relationships has been established:

$$k = 0.555 + 0.007\ T_{av} - 1.532\ Ø \quad \text{(for concrete blocks which contains cork)}$$

$$k = 0.565 + 0.011\ T_{av} - 1.021\ Ø \quad \text{(for concrete blocks which contains asbestos)}$$

The values of the thermal conductivity of the blocks that contains cork were ranged between (0.22-0.65)W/m.^{o}C, those values were less than the others which contains same percentage volume of asbestos under the same tests conditions, which ranged between (0.44-0.9)W/m.^{o}C. The results of compressive strength of the concrete cubes have been shown as curves, it shows that the values for the specimens which contain cork were ranged between (12-32) N/mm^2, which are less in values than those of the equivalent specimens which contain asbestos in which the values ranged between (25-40) N/mm^2.

المقدمـــة:-

لقد حرص الإنسان منذ أقدم العصور على توفير بيئة ملائمة للسكن ، كما طور معالجاتـــه للظـــروف البيئيـــة المحيطة به من خلال التجارب المستمرة و الخبرة المتراكمة في ممارسة البناء فاستطاع أن يتعرف علـــى خـــصائص مواد البناء ثم أستخدمها بأقصى فعالية لتلبية احتياجاته ومتطلباته ، لأن البيئة الداخلية للبناء مهمة جداً لراحـــة الإنـــسان وهذه البيئة تعتمد على عدة عوامل ويعد الإخلال بأحد هذه العوامل إخلال بتوازن هذه البيئة، وتأتى درجة الحرارة فـــي مقدمة العوامل التي يجب التحكم بها ضمن مديات شعور الإنسان بالراحة والتي هـــي مـــا بـــين (٢٤-٢٦)^{o}م صـــيفا و(٢٢-٢٤)^{o}م شتاءا [1]

ومن الملاحظ أن المناخ الاستوائي والمداري كما هو الحال بالنسبة للعراق ولدول الخليج العربي يمتـــاز بكونـــه مناخ قاسي تتفاوت فيه درجة الحرارة صيفاً وشتاء تفاوتاً كبيراً مما يؤثر بشكل ملحوظ على عناصر المبنى حيث يكون الفرق بين درجتي حرارة داخل وخـــارج المبنى كبير جداً ، لذلك اقتضت الحاجة إلى استخدام أجهزة تكييـــف الهـــواء للتحكم بظروف الراحة والحصول على درجة الحرارة المناسبة ضمن الحيز الداخلي للبناء وعلى مدار السنة تقريبـــا . ونظراً لكون أجهزة التكييف تمثل حملاً أساسياً لا يستهان به وتستحوذ على الاستهلاك الأعظم من الطاقة الكهربائية في هذه الدول حيث تشير إحصائيات الأبحاث بأن تكييف الهواء يشكل (٧٠%)من كامل الطاقة الكهربائيـــة المـــستهلكة خلال فترة (٨ -١٠) أشهر سنوياً [2] . كما أن انخفاض تسعيرة أجور الطاقة الكهربائية مقارنة بتكلفـــة الإنتـــاج الحقيقية في بعض البلدان ومنها العراق يؤدي إلى ارتفاع الطلب على الطاقة لأن هذه الأجور تشكل نسبة قليلة من دخل الفرد مما أدى إلى عدم اهتمامه بترشيد الطاقة الكهربائية.

ولأجل تقليل العبأ على محطات إنتاج الطاقة وشبكات التوزيع يتطلب التفكير في استخدام المواد العازلة ضـــمن تراكيب الأبنية والتي يعتبر استخدامها أهم تقنيات ترشيد استهلاك الطاقة كونها تتميز بمعامل توصيل حراري منخفض وذلك لتقليل كمية الحرارة المنتقلة خلال الجدران والسقوف واحتفاظ المبنى بدرجة الحرارة الملائمة لفترة مناســـبة دون الحاجة إلى تشغيل أجهزة التكييف لفترات زمنية طويلة أو التعويض عنها باستخدام أجهزة تكييف ذات قدرات صـــغيرة، وبالتالي تقليل تكاليف استهلاك الطاقة والأجهزة المستخدمة لأغراض التدفئة والتبريد ، وفي ذات الوقت التقليـــل مـــن

التأثير الصحي والنفسي على الإنسان بسبب الضوضاء الناتجة عن تشغيل تلك الأجهزة وكذلك الاقتصاد بالكلفة وإطالة عمر الأجهزة وتحسين مستوى الراحة لمستخدمي المبنى وتحقيق المسكن الوظيفي الملائم.

وقد برزت أهمية العزل الحراري بشكل مكثف مع نشوء أزمة الطاقة في السبعينات من القرن الماضي نتيجة ارتفاع أسعار النفط ولجوء الدول المستهلكة وبالأخص الصناعية إلى البحث عن البدائل والوسائل الرامية إلى الحد من الاستهلاك وترشيده حتى يكون في إطار الاستخدام الأمثل للموارد فكان العزل الحراري من أبرز هذه الوسائل لما له من مردود اقتصادي إيجابي على المستهلك والدولة ، وقد بادرت العديد من الدول بسن تشريعات ووضع لوائح لجعل استخدام العزل الحراري إلزامياً في كل المباني ، حيث لوحظ من خلال الأبحاث السابقة أن تطبيق استخدام العزل الحراري يساهم في تخفيض الطاقة الكهربائية المستهلكة في أجهزة التكييف بمعدلات كبيرة تتراوح ما بين (٣٠-٤٠%) إذا طبق على أساس علمي وتقنى سليم حيث يعمل العزل الحراري على الحد من تسرب الحرارة عبر الجدران والسقوف المعرضة للشمس والتي تمثل حوالي (٦٥%) من الحمل الحراري للمبنى المراد إزاحته بأجهزة التكييف [3]

فلو استعرضنا البحوث السابقة في هذا المجال يتوضح بان معظمها ركزت على استخدام المواد العازلة وخصوصا المسامية منها والتي تتميز بقدرتها على حفظ الطاقة عن طريق إعاقة انتقال الحرارة خلال الجدار الإنشائي ، كما تمتص الاهتزازات والضوضاء وتمنع تكثف الرطوبة ، حيث اعتبرها (Russell, 1935) [4] مزيجا من الغازات والمادة الصلبة وقد توصل إلى طريقة تحليلية لحساب الموصلية الحرارية لهذه المواد بدلالة مساميتها والموصلية الحرارية لمكوناتها الغازية والصلبة . كما أجرى عدد آخر من الباحثين ومنهم (Luikov,1968 وآخرون) [5] ، (Zanker, 1970) [6] ، دراسات عملية ونظرية للموصلية الحرارية للمواد الحبيبية والخلوية للمساحيق وتأثير كل من خشونة السطح والمسامية والإشعاعية ودرجة الحرارة وضغط الغاز وشكل الهيكل التركيبي للمادة المسامية وحصلوا على توافق كبير عند مقارنتهم للنتائج النظرية والعملية. أما (Shirtliffe,1980) [7] فأجرى دراسات وبحوث عديدة على انتقال الحرارة في المواد العازلة الليفية وتوصل إلى عدة نماذج رياضية لعلاقة الموصلية الحرارية مع النسبة الحجمية لكل من المادة الليفية والفجوات الغازية التي بداخلها ، وأجرى (Roels, 2004 وآخرون) مقارنة للخواص المختلفة لعدد من المواد المسامية المستخدمة في البناء ،[8] (Koronthalyova and Matiasovsky, 2003) [9] فقد درس الموصلية الحرارية لمركب سيليكات الكالسيوم مع أستخدام مواد ليفية لغرض الاستخدام في البناء.

وقد أجرى عدد من الباحثين محاولات لتقليل معامل التوصيل الحراري للخرسانة بإضافة مواد عازلة بنسب وزنيه أو حجميه مختلفة ودرسوا الخواص الحرارية والميكانيكية للمزيج، فقد درس (ادم، ١٩٩٧) [10] تأثير نسبة القصب المضاف للاسمنت 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 مختبريا وبأبعاد (29 cm x 29 cm) ، وقد استنبط معادلة تجريبية للموصلية الحرارية بدلالة النسبة الحجمية للقصب والمحتوى الرطوبي ومتوسط درجة حرارة العينة . أما (نواف، ١٩٩٧) [11] فاستخدم جهاز قياس الموصلية الحرارية ذو الطريقة الغير المستقرة لدراسة تأثير إضافة مواد سليلوزية بنسب وزنيه تراوحت مابين (0.0-10.0)% إلى عجينة الاسمنت على معامل التوصيل الحراري ومقاومة الشد والانضغاط ، واثبت بان قيمة هذه الخواص الحرارية والميكانيكية تقل بزيادة النسب ألوزنيه للمواد المضافة ، كما أوصى باستخدام نشارة الخشب كأفضل مادة عازلة لما توفره من تحسن في الخواص الميكانيكية والحرارية . وقد استطاع (رياض، ١٩٩٧) [12] من إيجاد بديل للعوازل المستوردة مستخدما الفحم وبعض المواد الرابطة كالجبس والاسمنت وباستخدام عينات بأبعاد (40 cm x 25 cm x 7 cm) وحصل على عازل ذو موصلية حرارية تراوحت قيمته مابين (٠,٠-٠,٢) واط /متر.^{o} م ، وبكثافة (٦٥٠)

كغم/ م^3 ، وحصل على موافقة جهاز التقييس والسيطرة النوعية بعد إجراء الفحوصات اللازمة كمقاومة الشد والانضغاط ومعامل التوصيل الحراري في مختبرات المركز. وقد درس كل من (كاظم وحذامة ، ١٩٩٨) [13] تأثير إضافة بذور زهرة الشمس إلى الاسمنت البورتلاندي بنسب وزنيه تراوحت مابين (٠,٠- ٠,٧)% على الموصلية الحرارية ومقاومتي الشد والانضغاط وحصلوا على انخفاض بالموصلية الحرارية إلى (٠,٧) من القيمة الأصلية قبل الإضافة. أما (احمد ، ٢٠٠١) [14] فقد استخدم القصب أيضا كعازل حراري ودرس تأثير كل من سمك العازل وكثافته ونوع المادة الرابطة ومتوسط درجة حرارة العينة على معامل التوصيل الحراري و قارن النتائج العملية مع التحليل النظري باستخدام برنامج (ANSYS) معتمدا طريقة العناصر المحددة ، وحصل على معامل توصيل حراري تراوحت قيمته مابين(٠,٠٤-٠,٠٩) واط /متر.^{o} م .

إن المعيار الأساسي لاختيار مواد العزل الحراري هو أن تكون ذو معامل توصيل حراري منخفض إضافة إلى عدة خصائص وعوامل يلزم معرفتها عند اختيار أي عازل لتطبيق معين ، فيجب أن تتميز بمتانة وقدرة على التحميل بحيث يمكن استخدامها لدعم وتحميل المباني والمنشات بالإضافة إلى هدفها الأساسي وهو العزل الحراري ، كما يفضل أن تتميز المادة العازلة بقدرتها على امتصاص الصوت وتشتيته وامتصاص الاهتزازات ، لذا فان معرفة الخصائص المرتبطة بهذا الجانب قد يفي بتحقيق هدفين بوسيلة واحدة ، كما أن العامل الاقتصادي يلعب دورا هاما حيث أن تكلفة المادة العازلة لها تأثير كبير في اتخاذ القرار لاختيار المادة العازلة المناسبة.

إضافة إلى ما ذكر في أعلاه فان هناك نقاط أخرى يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار في اتخاذ القرار لاختيار المادة العازلة المثلى ، فمثلا أن زيادة قابلية المادة على امتصاص الرطوبة يؤثر سلبيا على خصائص المادة المطلوب استخدامها من حيث المقاومة الحرارية والامتصاص والنفاذية. كما أن بعض العوازل تتعرض للتلف بسبب البكتريا والعفن والحريق، وبعض منها تعرض الإنسان للخطر وتسبب الحساسية في الجلد والعينين والالتهابات الرئوية.... الخ ، مما يستوجب معرفة التركيب الكيماوي لها لتجنب الأخطار [15]

من المعروف أن انتقال الحرارة في المواد الصلبة ومنها الجدران والسقوف للأبنية يتم بطريقة التوصيل الحراري، وبصورة عامة هناك طريقتان لقياس الموصلية الحرارية للمواد ، الطريقة الأولى وهي أيجاد الموصلية الحرارية في الحالة المستقرة أما الطريقة الثانية فهي أيجاد الموصلية الحرارية في الحالة الغير المستقرة أو الانتقالية . إن اختيار الطريقة المناسبة لإيجاد الموصلية الحرارية لأي مادة يعتمد على الانتشارية الحرارية للمادة وعادة تستخدم الطريقة الانتقالية للمواد التي تحتوي على نسبة عالية من الرطوبة في تركيبها مثل الأطعمة الرطبة ، أما بالنسبة لتراكيب الجدران والسقوف فيتم اعتماد الطريقة الأولى وهي الحالة المستقرة لحساب الموصلية الحرارية لها . إن الأساس النظري لقياس الموصلية الحرارية في الحالة المستقرة يعتمد على مبدأ واحد وهو قانون فورير لانتقال الحرارة بالتوصيل الحرار [1]

$$Q = - k A dT / dx$$

وهذا القانون يعبر عن كمية الحرارة المنتقلة خلال الجدار المتكون من طبقة واحدة وباتجاه واحد في الحالة المستقرة. يهدف البحث الحالي إلى دراسة إمكانية تقليل معامل التوصيل الحراري للخرسانة المستخدمة في البناء التي تتميز برداءة سلوكها وتصرفها الحراري وذلك من خلال إضافة مادة عازلة حراريا بشكل حبيبات كخليط متجانس مع الخرسانة وبنسب حجميه مختلفة مع الأخذ بنظر الاعتبار محاولة الإبقاء على خواص الخرسانة من المتانة وقوة تحمل الانضغاط ضمن الحدود المسموح بها وفق المعايير القياسية للهندسة المدنية. وقد تم اختيار كل من الفلين(cork) وكذلك الأسبست(asbestos) كعوازل حرارية أستخدم كل منهما على انفراد كخليط مع الخرسانة وبنسب حجميه مختلفة ومن ثم احتساب الموصلية الحرارية وقوة تحمل الأنضغاط لكل حالة.

العمل التجريبي:-

في هذا البحث تم استخدام جهاز قياس الموصلية الحرارية لمواد البناء المصنع من قبل شركة (Gunt) الألمانية موديل (WL376) ، يحتوي الجهاز على حجرة اختبار العينة بأبعاد (٣٠٠ملم x٣٠٠ملم) وبارتفاع قابل للتغيير حسب سمك العينة بحيث لا يتجاوز(٥٠)ملم ،وهذه الحجرة معزولة بالأسبست والصوف الزجاجي ، تمثل القاعدة السفلية للجهاز الصفيحة الباردة ، أما العلوية فتمثل الصفيحة الساخنة فتحتوي على ملف سخان كهربائي مثبت على الصفيحة من الجهة المعاكسة للعينة ، وتتراوح السعة الحرارية للسخان بين (٢٠)واط/دقيقة إلى (٥٠٠) واط /دقيقة وترتبط هذه الصفيحة من الأعلى بعمود لولبي ينتهي بمقبض يدوي يتحكم برفع وخفض الصفيحة الساخنة لكي تلامس عينة الاختبار داخل الحجرة. أما الواجهة الأمامية للحجرة فيتم التحكم بغلقها وفتحها من خلال غطاء الحجرة الذي يتم إحكام قفله بواسطة أربعة صامولات مثبتة عند الزوايا الأربعة لغطاء الحجرة.

يحتوي الجهاز على متحسسات لدرجات الحرارة بمديات تتراوح مابين (٢٠)° م و (٨٥)° م ، ويتم قياس درجات الحرارة من خلال المزدوجات الحرارية نوع (Pt100) ، كما يحتوي الجهاز في الخلف على منظومة العقل الالكتروني(PC) لاستملاك البيانات وبرمجتها ونقلها إلى الحاسبة الالكترونية الملحقة مع الجهاز والتي تحتوي على برنامج التشغيل الخاص به (Software program) والذي أعد من قبل الشركة المصنعة للجهاز كما تحتوي واجهة الجهاز على زر التشغيل الرئيسي وآخر لتشغيل السخان الكهربائي .

في هذا البحث تم أجراء استقصاء تجريبي لدراسة إمكانية استخدام مواد عازلة ضمن تركيبة الخرسانة المستخدمة في البناء لتقليل الموصلية الحرارية لها وبالتالي تقليل الحرارة المنتقلة ضمن جدران وسقوف الأبنية والاقتصاد بالطاقة المصروفة لتكييف هذه المباني في الصيف والشتاء. إن الخرسانة هي مادة إنشائية تتكون من مزيج متجانس من جسيمات حبيبية صلدة متنوعة المقاسات تعرف بالركام(الرمل والحصى) ،يثبتها هيكل رابط ولاصق من الأسمنت المتصلد بفعل الماء ، وقد تم استخدام ركام نظيف وصلب وخالي من الطين الذي يؤثر سلبيا على صفات التصلب وجودة الخرسانة مع استخدام ماء نقي خالي من الأحماض والأملاح . أما بالنسبة للمواد المضافة كعوازل فقد وقع الاختيار على استخدام كل من الفلين والاسبست وذلك لتوفرهما ولامتلاكهما معاملات توصيل حرارية منخفضة حيث تم استخدامهما بشكل حبيبات يتم خلطها مع الخرسانة.

ولغرض تحضير العينات المستخدمة في أجراء الاختبارات المطلوبة تم تصنيع خمسة قوالب من الخشب الصاج الصقيل السميك كل منها ذو خمسة أوجه ومفتوح من الأعلى لصب الخرسانة الكونكريتية وبأبعاد (٣٠٠ ملم x ٣٠٠ ملم x ٤٠ ملم) . تم تحضير المواد اللازمة وهي الإسمنت والرمل والحصى والفلين والاسبست ، وتهيئة العدد المطلوبة لخلط المواد بالإضافة إلى أسطوانة مدرجة لتحديد أحجام المواد وميزان دقيق لغرض وزن المواد ، وغرابيل خاصة لتحديد أقطار المواد الداخلة في الخرسانة من الحصو والمواد العازلة.

تم تقسيم العمل إلى مرحلتين ، المرحلة الأولى تم تحضير خمسة قوالب خرسانية بإضافة الفلين إلى الخرسانة بنسب مختلفة ومن ثم إجراء الاختبارات اللازمة لإيجاد معامل التوصيل الحراري لكل منها وبدرجات حرارية متفاوتة ، وفي المرحلة الثانية تم تحضير خمسة قوالب أخرى ولكن في هذه المرة بإضافة الأسبست كمادة عازلة وتكرار نفس العمل السابق للمرحلة الأولى ، ومن ثم إجراء المقارنة بينها ، ويوضح الشكل رقم (١) القوالب الخرسانية التي تم اختبار معامل التوصيل الحراري لها.

تضمنت عملية تهيئة القوالب ، تحديد كميات المواد الأولية وأختيار النسب المناسبة للخلط وحسب المواصفات القياسية الخاصة بالهندسة المدنية وهي ١ سمنت/ ٢ رمل / ٣ حصى ، ثم احتساب وزن كل منها وخلطها ومزجها

جيدا بعد إضافة الماء ، ثم تهيئة المادة العازلة بشكل حبيبات تتراوح أقطارها من (١٠–١٥) ملم باستخدام غرابيل خاصة . ويتم تزييت تجويف القوالب بطبقة خفيفة من الزيت لمنع التصاق الخرسانة ثم تصب الخرسانة في القوالب الخمسة وتضاف المادة العازلة إلى كل قالب مع الخلط وبنسب حجميه متفاوتة من قالب إلى آخر وكالاتي (١٥%،٢٠%،٢٥%،٣٠%،٣٥ %) من حجم القالب. بعد إتمام جفاف القوالب الخرسانية ، تخرج من القالب الخشبي وتوضع مغمورة في الماء لمدة (٢٨) يوم ،مع تبديل الماء كل سبعة أيام لضمان عدم تكون الفطريات، حيث أن الخرسانة تكتسب أكثر من (٨٠%)من متانتها خلال هذه الفترة والنسبة المتبقية مع مرور الزمن [16]، بعدها يتم أجراء اختبار الموصلية الحرارية لها .

ولغرض معرفة مدى صلاحية الخرسانة الجديدة للبناء فقد تم أجراء اختبارات فحص مقاومة الانضغاط لأنها المعيار في تحديد جودة الخرسانة استنادا إلى المواصفات القياسية للهندسة المدنية[17] ، ولأجل ذلك تم صب عشرة مكعبات خرسانية قياسية بأبعاد (١٥٠ملم x ١٥٠ملم x ١٥٠ملم) من نفس الخلطات خمسة منها تحتوي على الفلين والخمسة المتبقية تحتوي على الاسبست ولنفس النسب الحجمية للقوالب الخاصة بفحص الموصلية الحرارية ، وبعد تماسك الخرسانة تم وضع النماذج في الماء لمدة (٢٨) يوم ، ثم فحصت مقاومة الانضغاط للنماذج في جهاز فحص مقاومة الانضغاط لحين تصدع القالب وعادة تستغرق فترة التحميل مابين دقيقتين إلى ثلاثة ، ويوضح الشكل رقم (٢) إحدى العينات المعدة لفحص مقاومة الانضغاط .

<u>النتائج والمناقشة</u>:

تم إجراء فحوصات الموصلية الحرارية لمجموعتين من القوالب الخرسانية المتصلدة ، المجموعة الأولى تحتوي على الفلين كمادة عازلة وبنسب حجميه متفاوتة للقوالب الخمسة تراوحت مابين (١٥ % ، ٢٠ % ، ٢٥ % ، ٣٠ % ،٣٥ %) من الحجم الكلي لكل قالب ، أما المجموعة الثانية من القوالب فهي مماثلة لقوالب المجموعة الأولى ، إلا أنها تحتوي على الاسبست كمادة عازلة حراريا .

أجريت الاختبارات للقوالب العشرة باستخدام جهاز قياس الموصلية الحرارية عند قيم مختلفة لدرجة حرارة كل من الصفيحتين الباردة والساخنة حيث تراوحت قيمة درجة حرارة الصفيحة الباردة مابين (١٠ – ٢٠) ^{o}م بينما تراوحت درجة حرارة الصفيحة الساخنة مابين (٣٠ – ٨٠) ^{o}م ، وفي كل اختبار تم تثبيت درجات الحرارة للصفيحتين الباردة والساخنة وبعد الوصول إلى الحالة المستقرة يتم عرض نتائج الموصلية الحرارية والمقاومة الحرارية وكمية الحرارة المتدفقة على شاشة الحاسوب للبرنامج الخاص بتشغيل الجهاز .

تم رسم البيانات باستخدام برنامج EXCEL بشكل مخططات بيانية ، فالشكل رقم (٣) ، والشكل(٤) يمثل كل منهما العلاقة بين معدل درجة حرارة العينة التي تراوحت قيمتها مابين (٢٠ – ٤٥)^{o} م وبين الموصلية الحرارية للنموذج ، ويلاحظ وجود خمسة منحنيات تمثل نتائج الاختبارات لخمسة عينات حسب النسبة الحجمية للمادة العازلة في النموذج والتي هي (١٥ % ، ٢٠ % ، ٢٥ % ، ٣٠ % ،٣٥ %) ، وتوضح هذه المنحنيات بأن هناك علاقة طردية غير خطية بين الموصلية الحرارية ومعدل درجة حرارة العينة (متوسط درجة الحرارة للصفيحتين) وشكل هذه المنحنيات هو ذات وتيرة واحدة ، فكلما زادت درجة حرارة العينة كلما زادت الموصلية الحرارية لها ، وهذا السبب يعزى إلى أن زيادة معدل درجة الحرارة العينة يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية لجزيئات المادة الصلبة وزيادة الطاقة الحرارية المنتقلة وبالتالي زيادة معامل التوصيل الحراري لها.

كما توضح كل مجموعة من المنحنيات الخمسة في الشكلين رقم (٣)، ورقم (٤) أن هناك علاقة عكسية بين قيمة الموصلية الحرارية والنسبة الحجمية للمادة العازلة ، فالعينة التي تحتوي على أقل نسبة حجميه وهي (١٥%) للمادة العازلة في الخرسانة لها معامل توصيل حراري أكبر وتقل قيمة الموصلية الحرارية مع زيادة النسبة الحجمية للمادة العازلة في الخرسانة بحيث تكون قيمتها أقل ما يمكن للنموذج الذي يحتوي على النسبة الحجمية (٣٥%).

ان أقل قيمة للموصلية الحرارية التي تم الحصول عليها كانت عند ظروف أقل معدل لدرجة حرارة العينة (٢٠)^{o}م وأكبر نسبة حجمية (٣٥%) لكلا المجموعتين وهي (٠,٢٢) واط/متر.^{o}م (٠,٤٤) واط/متر.^{o}م للقوالب الخرسانية التي تحتوي على الفلين والاسبست على التوالي. أما أكبر قيمة للموصلية الحرارية فكانت عند ظروف أعلى معدل لدرجة حرارة العينة (٤٥)^{o} م وأكبر نسبة حجمية (٣٥%) لكلا المجموعتين وهي (٠,٦٥) واط/متر.^{o}م (٠,٩) واط/متر.^{o}م للقوالب الخرسانية التي تحتوي على الفلين والاسبست على التوالي. ولو اجرينا مقارنة مع الموصلية الحرارية للخرسانة الخالية من المواد العازلة نلاحظ بأنها أقل بكثير من قيمة الموصلية الحرارية للاخيرة التي تتراوح قيمتها مابين (١,١٣) واط/متر.^{o}م للخرسانة الاعتيادية إلى (١,٤) واط/متر.^{o}م للخرسانة العالية الكثافة [10]

تمت معاملة النتائج إحصائيا باستخدام برنامج (SPSS , version 15) وذلك لاستخلاص العلاقة بين معامل التوصيل الحراري ومعدل درجة حرارة العينة بالدرجات المئوية والنسبة الحجمية للمادة العازلة في المزيج وقد تم الحصول المعادلات التالية علما بان نسبة الخطأ لا تتجاوز (١%):-

١- المعادلة بالنسبة للخرسانة التي تحتوي على الفلين $k = 0.555 + 0.007\ T_{av} - 1.532\ Ø$

٢- المعادلة بالنسبة للخرسانة التي تحتوي على الأسبست $k = 0.565 + 0.011\ T_{av} - 1.021\ Ø$

كما تم إجراء فحوصات مقاومة الأنضغاط لمجموعتين من المكعبات الخرسانية المتصلدة ، المجموعة الأولى تحتوي على الفلين كمادة عازلة وبنسب حجميه متفاوتة للمكعبات الخمسة تراوحت مابين (١٥ % ، ٢٠ % ، ٢٥%، ٣٠ % ،٣٥ %) من الحجم الكلي ، أما المجموعة الثانية من المكعبات فهي مماثلة للمجموعة الأولى ، إلا أنها تحتوي على الاسبست كمادة عازلة حراريا .

يوضح الشكل رقم (٥) العلاقة بين مقاومة الانضغاط للعينة والنسبة الحجمية للمادة العازلة في الخرسانة ويتضمن الشكل منحنيين أحدهما خاص بالعينات التي تحتوي على الفلين كمادة عازلة والآخر يخص العينات التي تحتوي على الاسبست ، ويوضح كلاهما بأن العلاقة عكسية بين نسبة الانضغاط مع النسبة الحجمية حيث تقل مقاومة الانضغاط كلما زادت النسبة الحجمية للمادة العازلة في الخرسانة ولكلا المنحنيين ، كما يوضح الشكل بأن أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط للفلين تساوي (٣٢) نيوتن/ملم^{٢} للعينة التي تحتوي على أقل نسبة حجمية للمادة العازلة وهي (١٥%) ، وأقل قيمة لها كانت (١٢) نيوتن/ملم^{٢} عند أكبر نسبة حجمية وهي (٣٥%) ، وهذه القيم هي أقل من نظيراتها التي تحتوي على الاسبست التي بلغت قيمة الانضغاط (٤٠)نيوتن/ملم^{٢} للعينة التي تحتوي على أقل نسبة حجمية ، أما أقل قيمة لها فكانت (٢٥)نيوتن/ملم^{٢} للعينة التي تحتوي على أكبر نسبة حجمية ، وعند مقارنتها مع قيمة الانضغاط للخرسانة الخالية من المادة العازلة يتبين بأن معظمها أمينة من ناحية استخدامها في البناء علما بأن الحد الأدنى لقيمة مقاومة الانضغاط للخرسانة المستخدمة في المنشات التي تتعرض إلى اجهادات عالية كأعمدة هياكل الأبنية المتعددة الطوابق يجب أن لا تقل عن (١٧,٢) نيوتن/ملم^{٢} [8].

تم دراسة العلاقة بين الموصلية الحرارية للقوالب الخرسانية لكلا المجموعتين مع مقاومة الانضغاط لنظيراتها من المكعبات الخرسانية التي تحتوي على نفس النسب الحجمية من المادة العازلة ، و يوضح الشكل رقم (٦) العلاقة بينهما حيث يتضمن الشكل منحنيان أحدهما للعينات التي تحتوي على الفلين والثاني للعينات التي تحتوي على الاسبست

، كما يوضح المنحنيين أن العلاقة طردية بين الموصلية الحرارية ومقاومة الانضغاط ، إضافة لذلك فـــان الموصـــلية الحرارية ومقاومة الانضغاط للنماذج التي تحتوي على الأسبست هي أعلى من نظيراتها التي تحتوي على نفس النسب الحجمية من الفلين.

<u>الاستنتاجات:</u>

من هنا نستنتج أن إضافة المادة العازلة للخرسانة يقلل من الموصلية الحرارية (يزيد من العزل الحراري) وفـــي نفس الوقت يقلل من مقاومة الانضغاط للخرسانة المتصلدة ، وقد تراوحت قيمة الموصلية الحرارية للنماذج التي تحتوي على الفلين مابين(٠,٢٢ – ٠,٦٥) واط/متر.^{o}م وهي أقل من نظيراتها التي تحتوي على نفس النسب الحجمية مـــن الاسبست ولنفس ظروف الاختبار والتي تراوحت قيمتها مابين(٠,٤٤ – ٠,٩) واط/متر.^{o}م. وهذه القيم هي اقـــل مـــن الموصلية الحرارية للخرسانة الاعتيادية التي تتراوح مابين (١,١٣) واط/متر.^{o}م إلى (١,٤) واط/متـــر.^{o}م للخرســـانة العالية الكثافة . وقد تم استخلاص علاقة رياضية بين الموصلية الحرارية للمزيج ومتوسط درجة حرارة العينة والنسبة الحجمية للمادة العازلة في المزيج باستخدام البرنامج الإحصائي (SPSS , version 15)وكالاتي :

(للقوالب الخرسانية التي تحتوي على الفلين) $k = 0.555 + 0.007\ T_{av} - 1.532\ Ø$

(للقوالب الخرسانية التي تحتوي على الاسبست) $k = 0.565 + 0.011\ T_{av} - 1.021\ Ø$

أما بالنسبة لمقاومة الانضغاط فهي أعلى بالنسبة للنماذج التي تحتوي على الأسبست من نظيراتها التي تحتـــوي على الفلين حيث تراوحت قيمتها بالنسبة للنماذج التي تحتوي على الفلين مابين (١٢–٣٢)نيوتن/ملم^{٢} ،أما بالنسبة للنماذج التي تحتوي على الأسبست فكانت مابين (٢٥–٤٠)نيوتن/ملم^{٢} ، وبذلك فمعظمها أمينة من ناحية استخدامها في البناء مع الأخذ بنظر الاعتبار بأن الحد الأدنى لقيمة مقاومة الانضغاط للخرسانة المستخدمة في المنشات التـــي تتعـــرض إلـــى اجهادات عالية كأعمدة هياكل الأبنية المتعددة الطوابق يجب أن لا تقل عن (١٧,٢) نيوتن/ملم^{٢} .

وأخيرا أوصي باستخدام هذه الخلطات في البناء علما بان الخلطة الأكثر ملائمة للاستخدام لجميع المنشات ومنها الأبنية التي تتعرض للاجهادات العالية هي التي تحتوي على الفلين بنسبة (20%) حيث تبلغ قيمة مقاومة الانـــضغاط لهذه الخلطة (٢٥)نيوتن/ملم^{٢} ، وان الموصلية الحرارية لها تتراوح مابين (٠,٣٣–٠,٥٤) واط/متر.^{o}م عنـــد درجـــات الحرارة المختلفة، اضف لذلك فان الفلين متوفر ورخيص الكلفة مقارنة بالاسبست، كما أوصي بإجراء بحوث بإضـــافة المادتين سوية لتحسين مقاومة الانضغاط للخلطات التي تحتوي على الفلين بنسب أعلى من (٢٠%) وكذلك اختيار مواد عازلة أخرى كمضافات للخرسانة وأجراء المقارنات.

.

الرموز والمصطلحات:-

الرمز	المعنى	الوحدة
Q	كمية الحرارة المنتقلة خلال عينة الاختبار	W
k	الموصلية الحرارية لعينة الاختبار	$W/m.^oK$
A	المساحة السطحية العمودية لانتقال الحرارة خلال عينة الاختبار	m^2
dT	الفرق بدرجة الحرارة بين الصفيحة الساخنة والباردة	^oC , ^oK
dx	سمك عينة الاختبار	m
T_{av}	معدل درجة حرارة عينة الاختبار	^oC
Ø	النسبة الحجمية للمادة العازلة في الخرسانة	---

المصـــادر:

1. Ashrae handbook fundamentals , 1981.

٢. اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، "ملامح قطرية وإقليمية لمؤشرات التنمية المستدامة لقطاعات مختارة في منطقة الاسكوا (ESCWA) / قطاع الطاقة ، نيويورك ، الأمم المتحدة ، ٢١ كانون الأول ٢٠٠٥ (E/ESCWA/SCU/2005/7)

٣. المجموعة الإحصائية لمنطقة اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا – العدد ٢٥ .

4. Russell, H. W.,"Principles of Heat Flow in Porous Insulators", *Journal of American Ceramic Society*, vol. 18 , no. 1, pp. 1-5 , 1935.
5. Luikov, A. V., Shashkov, A. G, Vasliev, and Fraiman, Y. E., "Thermal Conductivity of Porous Systems", *Int. Journal Heat and Mass Transfer*, vol. 11, pp. 117- 140, 1968.
6. Zanker, A., "Thermal Conductivity Calculation of Porous Media by Means of Homographs", *Int. Journal Heat and Mass Transfer* , vol. 13 , pp. 1359-1363, 1970 .
7. Shirtliffe, C. J., "Effect of Thickness on the Thermal Properties of Thick Specimens of Low Density Thermal Insulation", Thermal Insulation Performance, *ASTM* , PP. 36-50 ,1980
8. Roels S. Carmeliet and others Interlaboratory "Comparison of Hygric Properties of Porous Building Materials", *Journal of Thermal Envelope and Building Science*. vol. 27 , pp. 307-325, 2004.
9. Koronthalyova, O. and Matiasovsky, P." Thermal Conductivity of Fiber Reinforced Porous Calcium Silicate Hydrate-Based Composites", *Journal of Thermal Envelope and Building Science*. 27(1): 71-89, 2003.

١٠. شموئيل خوشابا ادم ، " *دراسة عملية ونظرية للخواص الحرارية والصوتية لألواح القصب الاسمنتية* "، رسالة دكتوراه فلسفة في الهندسة الميكانيكية – جامعة الموصل (١٩٩٧) .

١١. نواف بلو الحديدي ، " *تاثير المواد السليلوزية على الخواص الحرارية والميكانيكية للسمنت البورتلاندي* " ، رسالة ماجستير في الفيزياء ، جامعة الموصل ، ١٩٩٧.

١٢.رياض حنا لطفي شعان ، " عازل نينوى الحراري "، مركز التقييس والسيطرة النوعية ، ١٩٩٧.

١٣.كاظم احمد محمد وحذامة احمد محمد ، تأثير قشور بذور زهرة الشمس على الموصلية الحرارية للسمنت البورتلاندي الاعتيادي: ، جامعة الموصل .J.Edu. and Sci المجلد ٣٣ ، ١٩٩٨ .

١٤. احمد حسن احمد ،" *ايجاد مواد عازلة لجدران وسقوف المخازن المبردة باستخدام بدائل وطنية*"، رسالة ماجستير–في الهندسة الميكانيكية – حراريات –جامعة تكريت، ٢٠٠١.

15. Hamilton, A. and Hall, C. "Physicochemical Characterization of a Hydrated Calcium Silicate Board Material", *Journal of Building Physics*. 29(1): 9-19, 2005.

١٦. د.ارتين ليفون و زهير ساكو *" إنشاء المباني والمواد الإنشائية"* ، جامعة بغداد ، ١٩٨٦.

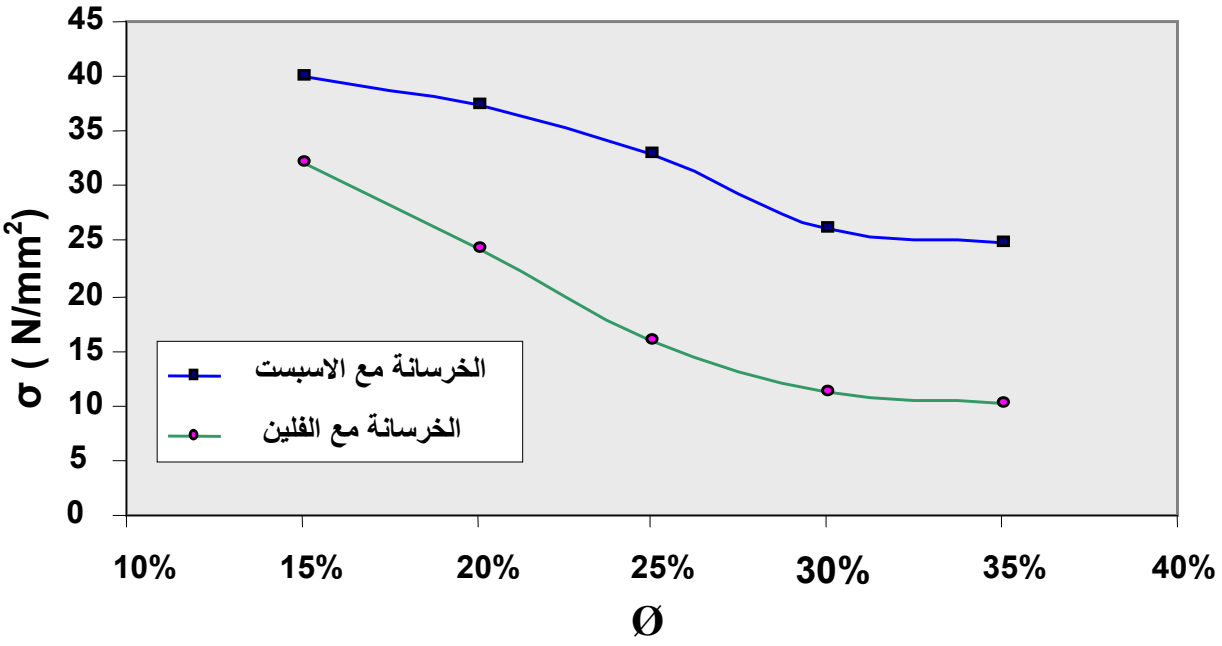
17. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05),Chapter 1, p. 9.

شكل رقم (١) يوضح نماذج القوالب الخرسانية التي تم اختبار معامل التوصيل الحراري لها

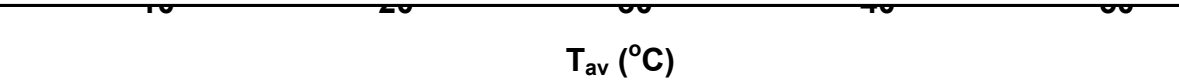
١- القوالب الخرسانية التي تحتوي على الفلين.

٢-القوالب الخرسانية التي تحتوي على الاسبست.

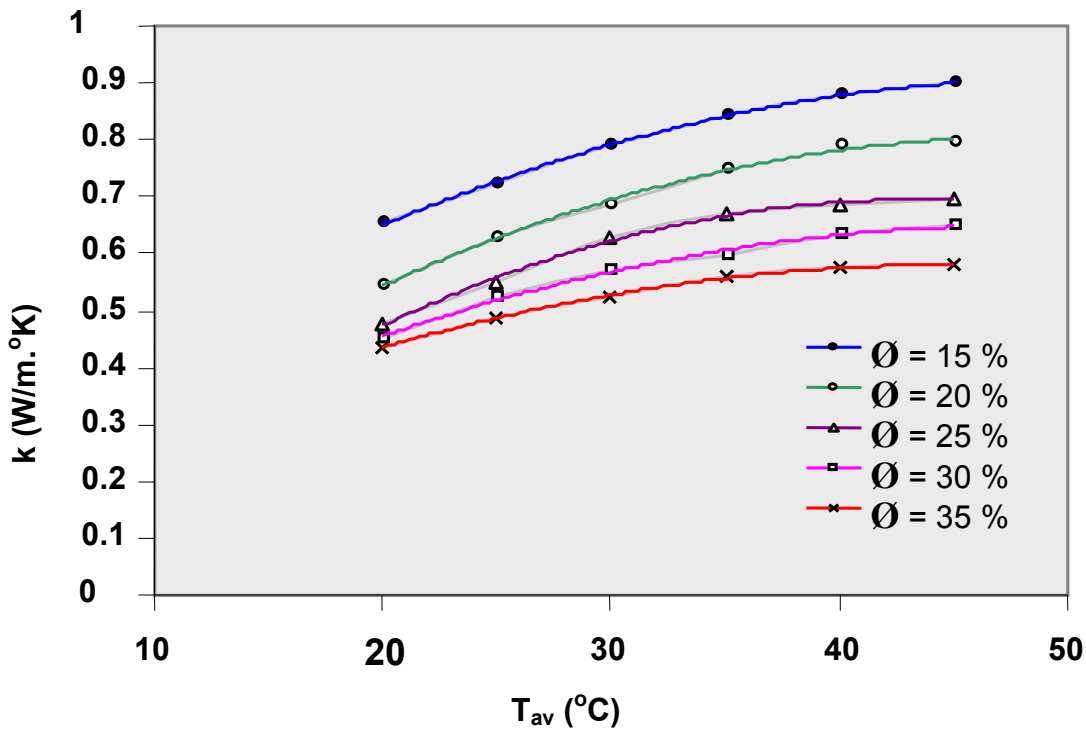
شكل رقم (٢) صورة توضح إحدى العينات المهيئة لفحص مقاومة الانضغاط



شكل رقم (5) العلاقة بين مقاومة الانضغاط لعينة الاختبار مع النسبة الحجمية للمادة العازلة



شكل رقم (3) العلاقة بين الموصلية الحرارية لخليط الخرسانة والفلين مع معدل درجة حرارة عينة الاختبار



شكل رقم (4) العلاقة بين الموصلية الحرارية لخليط الخرسانة والاسبست مع معدل درجة حرارة عينة الاختبار