دراسة عملية لحساب الموصلية الحرارية لنشارة الخشب

م.م.هيثم كامل داود
قسم الهندسة الميكانيكية / جامعة الانبار

الخلاصة :

نظرا للاهتمام المتزايد في ترشيد استهلاك الطاقة داخل الأبنية اتجه بعض الباحثين إلى دراسة الخصائص الحرارية للمواد العازلة، تم دراسة الأداء الحراري لنشارة الخشب بصورة عملية للتعرف على إمكانية استخدامها كمادة عازلة.

بينت الدراسة أن مادة نشارة الخشب يمكن استخدامها كعازل حراري في الأبنية وذلك لانخفاض موصليتها الحرارية كما أنها مادة رخيصة الثمن لكونها ناتج عرضي في صناعة الخشب. لوحظ في هذه الدراسة زيادة الموصلية الحرارية بزيادة فرق درجات الحرارة عبر جانبي العينات.

بينت النتائج أن قيمة العزل الحراري تزداد كلما قلت كثافة العينة حيث يؤدي نقصان الكثافة إلى زيادة حجم الفجوات الهوائية (التي تؤدي إلى إعاقة سريان الحرارة عبر هذه الفجوات) وبالتالي إلى زيادة قيمة العزل الحراري. كذلك تم دراسة تأثير إضافة المادة الرابطة إلى عينات الدراسة وتبين أن الموصلية الحرارية تزداد عند إضافة المادة الرابطة لنفس الكثافة، حيث كانت أوطأ موصلية حرارية $0.18W/m^oC$ عند أوطأ كثافة $100kg/m^3$ في حالة عدم وجود مادة رابطة، فيما كانت أعلى موصلية $0.285W/m^oC$ عند أعلى كثافة $250kg/m^3$ مع وجود مادة رابطة بنسبة 40%.

الكلمات الدالة: المواد العازلة، الموصلية الحرارية، نشارة الخشب، مواد مركبة.

Abstract:

The thermal performance of saw dust was studied experimentally to investigate its validity of usage as thermal insulator. The sawdust has low thermal conductivity and cheap in price since it is carpentry waste material. The thermal conductivity is a function of temperature differences, between specimen sides, and its increases as the temperature difference increases.

The results showed that the insulation value increases as the density of the samples decreases; this is due to the increase of the volume of air voids and hence increasing of thermal insulation material because of low thermal conductivity of air which resist the flow of the heat through the void. The effect of binders was studied and it showed that the thermal conductivity increases as the binding material increases for the same density, the lowest value of thermal conductivity was $0.18W/m^oC$ at lowest density $100kg/m^3$ without using binder and the highest value of thermal conductivity was $0.285W/m^oC$ at highest value of density $250kg/m^3$ with 40% of binding material.

Key words: *Insulation materials, Thermal conductivity, Wood, Composite material.*

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات
A	المساحة	m^2
L	السمك	m
K	الموصلية الحرارية	W/m°C
Q	كمية الحرارة المنتقلة	W
R_1	نصف القطر الداخلي للعازل	m
R_2	نصف القطر الخارجي للعازل	m
R-value	قيمة المقاومة الحرارية	°C / w
T	درجة الحرارة	°C
ΔT	تغير في درجة الحرارة	°C
ΔX	التغير في السمك	m

المقدمة:

تتم عملية انتقال الحرارة بوجود فرق في درجات الحرارة يؤدي إلى انتقال الحرارة من جسم معين أو إلية وكلما زاد الفرق زادت الحرارة المنتقلة. إن انتقال الحرارة يكون بعدة وسائل حيث تنتقل الحرارة بالتوصيل خلال المادة الصلبة وبالحمل خلال المائع وإذا كانت درجات الحرارة عالية بما فيه الكفاية فسيكون من خلال التبادل الإشعاعي. ويمكن تقليل الحرارة المنتقلة بتلك الطرق بوضع حواجز Barriers في مسار تدفق الحرارة وتسمى هذه الحواجز بالعوازل الحرارية (Thermal insulation). وتعرف بأنها مادة أو مجموعة مواد موصليتها الحرارية واطئة ومصنوعة من مواد مركبة بطريقة تحقق منظومة ذات موصلية حرارية أوطأ تستخدم لمنع تدفق الحرارة من والى الجسم. هناك العديد من العوازل ومنها العوازل النسيجية Fiber، المساحيق Powder، والقشرية Flake علية فان استخدام العوازل الحرارية يقلل من فقدان الطاقة من الجسم سواء كانت حرارية أو غير حرارية حيث تنتقل الحرارة خلال المادة العازلة بالتوصيل و بالحمل والإشعاع خلال الفجوات الهوائية (air spaces) الساكنة. ويمكن تصنيف العوازل اعتمادا على تركيبها الداخلي إلى أربع مجاميع وهي [1]:

1- العوازل الليفية Fibrous insulation

وهي عبارة عن مجموعة من الألياف ذات قطر صغير مجتمعة تشغل حيز معين من الهواء. وتصنف إلى:

عضوية مثل الصوف أو أي شعر للحيوانات، القطن، الخشب، القماش....الخ

غير عضوية مثل الألياف المعدنية، ألياف السيراميك (يمكن استخدامها كعازل في ظروف حرارية بحدود 1750^oC)، الألياف الزجاجية (يمكن استخدامها كعازل في ظروف حرارية من -30^oC إلى 450^oC).

الصوف المعدني يمكن استخدامه كعازل للتطبيقات ذات الدرجات الحرارية العالية والتي قد تصل إلى 1100^oC.

2- العوازل ذات التركيب ألخلالي Cellular insulation

وهي مجموعة من العوازل تستخدم داخل البيت أو خارجه وفي السقوف وحتى في الأرضيات ضمن ظروف حرارية من(180^oC- إلى 650^oC) كالفلين.

3- العوازل ذات التركيب الحبيبي Granular insulation

والتي تمتاز بان تركيبها مكون من عقد صغيرة تتخللها فجوات مثل سيليكات الكالسيوم والتي تخلط مع ألياف عضوية أو غير عضوية مما يودي إلى تكوين شكل صلب وقوي ويعمل في ظروف حرارية من (150^oC إلى 850^oC) وان لسيليكات الكالسيوم القابلية على امتصاص الماء في حال ملامستها الرطوبة من دون تلف في عملها كعازل.

4- العوازل العاكسة Reflective insulation

يستخدم هذا النوع من العوازل لعكس (صد) الحرارة المنتقلة أو لتقليلها.

خصائص المواد العازلة Properties of insulation:

1. الموصلية الحرارية (Thermal Conductivity)

تعتبر الموصلية مقياس لقابلية المادة العازلة على العزل حيث أن المادة ذات الموصلية الأقل للحرارة تعتبر أفضل العوازل. أن قيمة الموصلية الحرارية للعوازل تزداد بازدياد درجة الحرارة لذلك تستخدم قيمة الموصلية الحرارية في درجة حرارة الغرفة للانتفاع من العوازل. إن معظم العوازل تمتلك تركيب مسامي وتتألف من دمج مواد صلبة وتحتوي على فجوات تمتلئ بالهواء أو أي غاز أخر ويحدث انتقال الحرارة خلال هذه العوازل بواسطة التوصيل خلال المواد الصلبة زائد التوصيل أو الحمل إضافة إلى الإشعاع خلال الفجوات. وتعتمد الموصلية الحرارية للمواد العازلة على:(كثافة – قطر – ترتيب) الخلايا والألياف. سمك جدار الخلية. خصائص الإشعاع لسطح الخلية. نوع الغاز داخل فجوات الخلية. معدن الواجهة. نوع الربط. درجة الحرارة .

2. قيمة المقاومة للعوازل (The R-Value of insulation)

مقاومة العوازل هو مصطلح يعبر عن المقاومة الحرارية للمادة العازلة مقسومة على وحدة المساحة وكلما ازدادت قيمة المقاومة زادت كفاءة العازل على العزل. بالنسبة للعوازل المستوية يمكن الحصول على المقاومة الحرارية R-Value بالقسمة البسيطة لسمك العازل (L) على الموصلية الحرارية (k) [1] .

$$(1)\ R-Value=\frac{L}{K}$$

وللعوازل الاسطوانية باستخدام العلاقة :

$$R-Value=\frac{\ln(R_2/R_1)}{(2\pi KL)}$$

(2)

حيث يشير R_1 نصف القطر الداخلي للعازل و R_2 نصف القطر الخارجي للعازل.

عندما نجد (R-Value) فان نسبة الحرارة المنتقلة خلال العازل تحسب من المعادلة:

$$Q=\frac{\Delta T}{R-Value\times A} \qquad (3)$$

البحوث والدراسات السابقة

هناك العديد من البحوث والدراسات التي تناولت موضوع العوازل الحرارية في التطبيقات الهندسية لمعرفة الظروف الحرارية لكل من العوازل المدروسة. إن استخدام العوازل يعد احد الطرق المهمة في برامج ترشيد استهلاك الطاقة، خصوصا والعالم يشهد أزمات ارتفاع أسعار الوقود وما يترتب على ذلك من مشاكل للدول عموما بالإضافة إلى مشاكل التلوث. تعتبر مسالة ترشيد استهلاك الطاقة فرصة لكسب الوقت لتطوير مصادر بديلة للطاقة التقليدية وتشير العديد من الدراسات والبحوث إلى انه بالإمكان توفير كميات كبيرة من الطاقة بتطبيق برامج ترشيد الاستهلاك واهم هذه البرامج استخدام العوازل لتقليل الخسائر بالطاقة كما في عزل الشبابيك والأبواب وأنابيب التدفئة والتبريد وعزل الأرضيات والجدران والسقوف [2].

إن استخدام العوازل ولد الحاجة لدراسة خصائص هذه المواد للتعرف على ميزاتها ومساوئها عند استخدامها في تطبيق معين. إن أداء العوازل يعتمد على درجة الحرارة للأسطح المحيطة، انبعاثيتها، كثافة العازل، المحتوى الرطوبي بالإضافة إلى الأحمال المسلطة على هذه العوازل والاهتزازات التي يتعرض لها العازل [3].

كما قدم الباحث فاضل [4] (1997) دراسة لكفاءة العزل الحراري لمادة التبن، حيث أجرى الباحث مجموعة من التجارب العملية لدراسة العزل الحراري لمادة التبن في حالة استعمالها كحشوه سائبة أو بعد إضافة مادة رابطة إليها. بينت النتائج أن زيادة فرق درجات الحرارة على جانبي عينة التبن يسبب زيادة الموصلية الحرارية أي انخفاض قابلية العزل الحراري للمادة. أما عن تأثير الكثافة فقد تبين أن زيادة كثافة العينة تؤدي إلى زيادة الموصلية الحرارية وبشكل واضح. بينت الدراسة أن تأثير المادة الرابطة لنسبة بحدود (10%) تؤدي إلى انخفاض الموصلية الحرارية عن قيمتها للحشوه السائبة، أما في حالة زيادة المادة الرابطة فتزداد الموصلية الحرارية بشكل طردي.

درس الباحث (Oto) وآخرون [5] (2002) المادة العازلة (Climatex) في الأبنية الحديثة وتتكون هذه المادة من المخلفات الناتجة من صناعة الخشب (النشارة) إضافة إلى مادة الاسمنت بنسبة وزنيه (60%). تم في هذه الدراسة إجراء العديد من التجارب لدراسة مميزات ومساوئ هذه المادة و كيفية تحسين خصائصها أثناء الاستخدام في الأبنية الحديثة. وجد عمليا أن الموصلية الحرارية لهذه المادة منخفضة $0.42W/m^oC$. بينت الدراسة تأثير المحتوى الرطوبي على الموصلية الحرارية حيث انه يؤدي إلى زيادة الموصلية الحرارية. كذلك بينت الدراسة أن السعة الحرارية لهذه المادة (1560 J/kg^oC)وهي أعلى بمقدار (50%) من قيمة السعة الحرارية للصوف المعدني (mineral wool).

قدم الباحثان (Abdou and Budaiwi) [6] (2005) يتم إيجاد العزل الحراري لمادة العزل صوف خشبِ (Wood wool) باستخدام الموصلية الحرارية حيث تعتمد على كثافةِ المادّةَ، مسامية، محتوى الرطوبةِ، واختلاف متوسطِ درجةِ حرارة، حيث توجد الموصلية الحرارية عمليا عند درجة حرارة (24°C). بموجب المواصفة الأمريكية (ASTM standards). تم دراسة تأثير تغيير متوسط درجة الحرارة على الموصلية الحرارية عند فيض حراري متغير. قارن الباحثين النتائج مع الباحث (Budaiwi et al. 2002) فوجدا تقارب جيد بينهما. كذلك قورنت النتائج مع مواد أخرى مثل (, mineral wool, rock wool, polyethylene, polyurethane, and polystyrene) فوجد تقارب جيد بالأداء الحراري.

توصل الباحث (Kawasaki) وآخرون [7] (2006) إلى طريقة تصنيعية جديدة للألواح العازلة و المصنوعة من مخلفات صناعة الخشب وتتضمن هذه التقنية ضغط هذه الألياف بدون مادة رابطة ومن ثم إدراجها (wrapping) مع طبقة رقيقة من البلاستك. تم في هذه الدراسة صناعة ألواح بمدى كثافة ($120 - 180\ kg/m^3$) وبأسماك مختلفة. بينت الدراسة أن زيادة كثافة اللوح تؤدي إلى زيادة الموصلية الحرارية، كما أن زيادة فرق درجات الحرارة والمحتوى الرطوبي يؤدي إلى زيادة الموصلية الحرارية وبصورة خطية.

قدم الباحثين (Kawasaki and Kawai) [8] (2006) دراسة تناولت الخواص الحرارية (الموصلية، المقاومة، والانتشارية الحرارية) لمادة (Plywood sandwich) عند قيم متغيرة للكثافة تراوحت بين ($340kg/m^3$- $410kg/m^3$). تم التوصل إلى أن الموصلية الحرارية تزداد مع زيادة كثافة العينة وانخفاض في قيمة كل من الانتشارية والمقاومة الحرارية.

درس الباحثان) [9] Kruger and Adriazola (2009) (الأداء الحراري لمجموعة من الأخشاب بخواص معينة مقترحة للدراسة على شكل نماذج بالأبعاد 1m×1m×1m. تم تقييم الأداء الحراري للنماذج تحت الشروط المناخية للبرازيل (خطّ عرض °25.5S ، ارتفاع 917m فوق مستوى البحر)، أشتمل البحث على الخطواتِ التالية:

- يقاس الفيض الحراري خلال كل نموذج على حده.
- يتم قياس توزيع درجات الحرارة داخل كل نموذج تحت الظروف المناخية للبرازيل وفي فصلي الصيف والشتاء.

تم في هذه الدراسة مقارنة توزيع درجات الحرارة داخل نماذج الخشب المقترحة للدراسة مع نماذج من طابوق البناء (مادة سيراميكية) وكذلك مواد عازلة تستخدم في البناء. تم قياس درجات الحرارة باستخدام مزدوج حراري بمقياس رقمي، كذلك يتم قياس الإشعاع الشمسي المستخدم كفيض حراري باستخدام مقياس شمسي (Solar-meter) تجريبيا".

يهدف البحث الحالي إلى دراسة عملية للموصلية الحرارية لمادة نشارة الخشب عند مديات متغيرة لدرجات الحرارة والكثافة و المادة الرابطة. كذلك دراسة تأثر الموصلية الحرارية لمادة الخشب عند استعمال ألياف النخيل معها كمادة مركبة (composite material) على شكل طبقات وبنسب معينة.

الجانب العملي:

يبين الشكل (1) صورة توضيحية لجهاز قياس الموصلية الحرارية من إنتاج شركة هيلتون الانكليزية .يتكون الجهاز من ثلاث أجزاء رئيسية.

1- المسخن الحراري (Electrical Heater): وهو عبارة عن قضيب (rod) من البراص بقطر (25 mm) مثبت به مسخن كهربائي.

2- نموذج عينة الاختبار: وهي عبارة عن اسطوانة مجوفة من البلاستك المضغوط طولها (30mm) وقطرها (25 mm).

3- المبرد (Cooler): وهو الجزء المستخدم لامتصاص الحرارة (Heat Sink). مصنوع من البراص ويتم تبريده بالماء لامتصاص الحرارة من المسخن الحراري خلال نموذج عينة الاختبار الذي يحتوي على المادة المراد اختبارها.

يتكون الجهاز المستخدم في هذه الدراسة من عمود متعدد المقاطع لدراسة التوصيل الحراري بالاتجاه الطولي(One-Dimensional). حيث يتم التحكم بتزويد الحرارة لعنصر التسخين عن طريق لوحة سيطرة تحوي على عداد رقمي لغرض قراءة درجة الحرارة في نقاط معينة مثبتة على الجزء المسخن والمبرد من العامود. يتكون المسخن الحراري من مقطع التسخين (1) مثبت فيه المسخن الكهربائي(2) ، أما المبرد فيمثل الجزء النهائي من العمود (3) وهو مفصول بذاته ويعمل كحوض لامتصاص الحرارة Heat Sink يتم تبريده بالماء (4). ويتم ربط العينة بمصدر التسخين و مقطع امتصاص الحرارة لتكوين عمود مستمر(5)، عند ربط هذه المقاطع يتكون عمود طويل وكما موضح في الشكل(2). يمكن قياس درجة الحرارة باستخدام مزدوج حراري من نوع (T) (Copper-Constantan) مع مقياس درجة الحرارة الرقمي بدقة قياس (±1%). تم استخدام ميزان كهربائي حساس بدقة (0.0001g) لقياس وزن العينات المطلوبة من نشارة الخشب والمادة الرابطة وكذلك ألياف النخيل.

طريقة أجراء التجارب العملية

أجريت التجارب العملية على مرحلتين:

المرحلة الأولى:

تم اخذ عينات من نشارة الخشب بكثافات ($100,150,200,250\ kg/m^3$) بدون استخدام مادة رابطة، وتم حساب الموصلية الحرارية لكل عينة عند أربع مستويات للتسخين (5, 10, 15, 20W) ، ومن ثم أخذت عينات من نشارة الخشب بنفس الكثافات أعلاه وباستخدام مادة رابطة (الغراء الأبيض) مع تغيير نسبة المادة الرابطة (10%, 25%,40%) عند كل قيمة من قيم الكثافات أعلاه. وكذلك تم حساب الموصلية الحرارية عند أربع مستويات تسخين كما مبين في الشكل رقم (3).

المرحلة الثانية:

تم اخذ عينات من نشارة الخشب بكثافة ($200\ kg/m^3$) وباستخدام مادة رابطة بنسبة (10%) مع مادة ألياف النخيل وبنسب (10%, 20%, 30%) من وزن العينة. وتم حساب الموصلية الحرارية لكل عينة عند أربع مستويات للتسخين (5, 10, 15, 20W) وكما مبين في الشكل رقم (4).

النتائج والمناقشة

إن النتائج التي تم الحصول عليها من التجارب العملية والتي تهدف إلى قياس الموصلية الحرارية لمادة نشارة الخشب من خلال تغيير فرق درجات الحرارة على جانبي العينة عن طريق تغيير القدرة الكهربائية المجهزة (5, 10, 15, 20W) والكثافة ($100,150,200,250\ kg/m^3$) ونسبة المادة الرابطة (10%, 25%,40%) مبينة في الأشكال من (5) إلى (8) حيث تبين التغير في الموصلية مع الفرق في درجات الحرارة. وقد تم حساب الموصلية الحرارية باستخدام قانون فوريير للتوصيل.

$$k = \frac{Q\Delta x}{A\Delta T} \qquad (4)$$

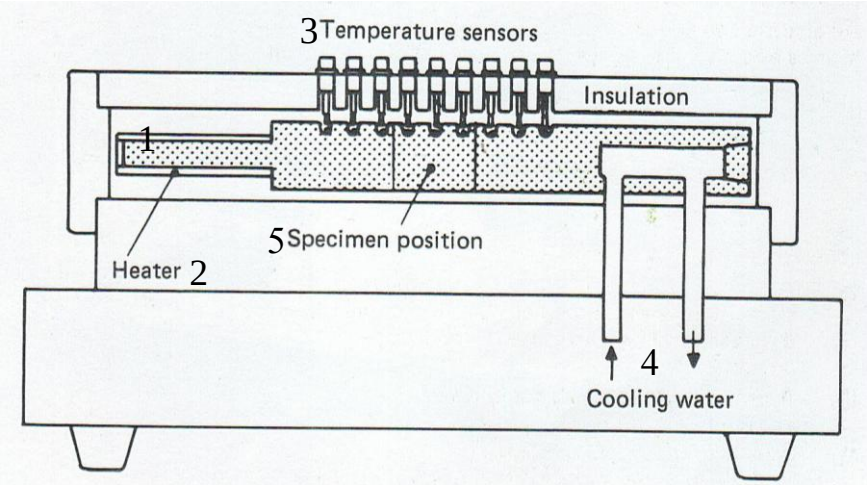
يلاحظ من الأشكال ادناه أن الموصلية الحرارية تزداد مع زيادة فرق درجات الحرارة، إذ أن زيادة الموصلية الحرارية مع زيادة فرق درجات الحرارة لا يتفق مع قانون فوريير للتوصيل والذي ينطبق بصورة صحيحة للمادة المتجانسة (Homogenous material) حيث يكون انحدار درجات الحرارة داخل المادة المتجانسة بشكل خطي، أما بالنسبة للمواد العازلة (نشارة الخشب) فان طرق انتقال الحرارة فيها تتداخل وانحدار الحرارة لا يكون بشكل خطي (متغير) لذلك يكون من الصعب إيجاد تحليل فيزياوي معين لسلوك هذا النوع من المواد العازلة .

من خلال الأشكال أعلاه تبين أن الموصلية الحرارية لنشارة الخشب بدون مادة رابطة تكون اقل مما لو كان هناك ماده رابطة عند نفس الكثافة، كذلك نلاحظ أن الموصلية الحرارية تزداد لنشارة الخشب مع زيادة المادة الرابطة. كذلك تبين الأشكال أعلاه أن الموصلية الحرارية تزداد بزيادة الكثافة في حالة وجود أو عدم وجود المادة الرابطة، حيث كانت أوطأ موصلية حرارية في حالة عدم وجود مادة رابطة عند كثافة مقدارها ($100\ kg/m^3$) هي (0.18 W/m°C) أما أعلى موصلية حرارية كانت عند كثافة مقدارها ($250\ kg/m^3$) ومادة رابطة (40%) هي (0.285 W/m°C)

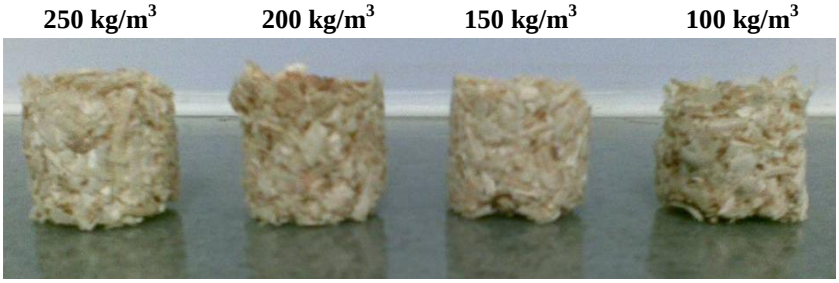
يبين الشكل (9) كيفية تغير الموصلية الحرارية مع الكثافة للعينات عند نسب مادة رابطة تتراوح بين (0%-40%)، ويتضح من الشكل زيادة الموصلية الحرارية بزيادة الكثافة، حيث كلما زادت كثافة العينة صغر حجم الفجوات الهوائية الفاصلة بين جزيئات نشارة الخشب وكما نعلم أن الفجوات الهوائية هي موصل رديء للحرارة وصغرها يعني زيادة التوصيل الحراري. كذلك يبين الشكل ان الموصلية الحرارية للعينات بدون مادة رابطة (0%) تكون اقل من الموصلية الحرارية في حالة استخدام مادة رابطة عند نفس الكثافة. نسبة الزيادة في الموصلية الحرارية في حالة العينات بوجود مادة رابطة عن العينات في حالة عدم وجود مادة رابطة (23.4%).

أما الشكل (10) يبين تغير الموصلية الحرارية لنشارة الخشب عند إضافة ألياف النخيل بالنسب التالية (10%, 20%,30%) على شكل طبقات بوجود المادة الرابطة وعند كثافة مقدارها ($200\ kg/m^3$) ، إذ تبين أن الموصلية الحرارية تزداد مع زيادة نسبة إضافة ألياف النخيل، وذلك بسبب صغر الفجوات الهوائية المتكونة داخل العينة. إذ كانت أعلى موصلية حرارية (0.284 W/m°C) عند إضافة نسبة ألياف النخيل بمقدار(30%)، وأوطأ موصلية حرارية (0.228 W/m°C) عند إضافة نسبة ألياف النخيل بمقدار (10%).

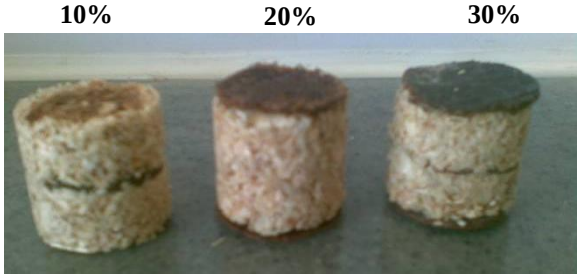
شكل رقم (1) يبين صورة توضيحية لجهاز قياس الموصلية الحرارية



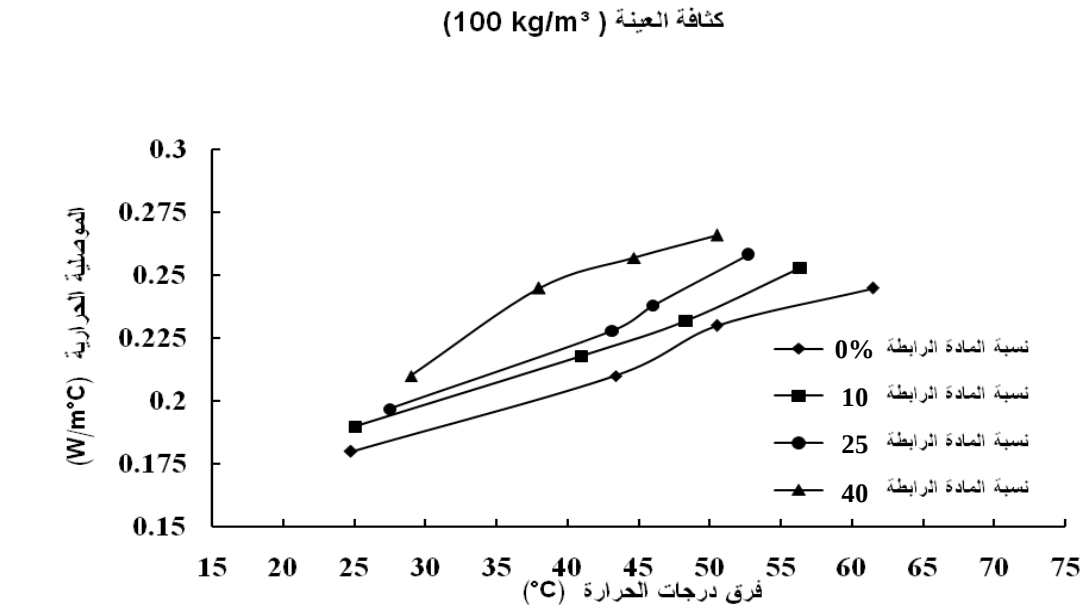
شكل رقم (2) يبين مخطط لجهاز قياس الموصلية الحرارية



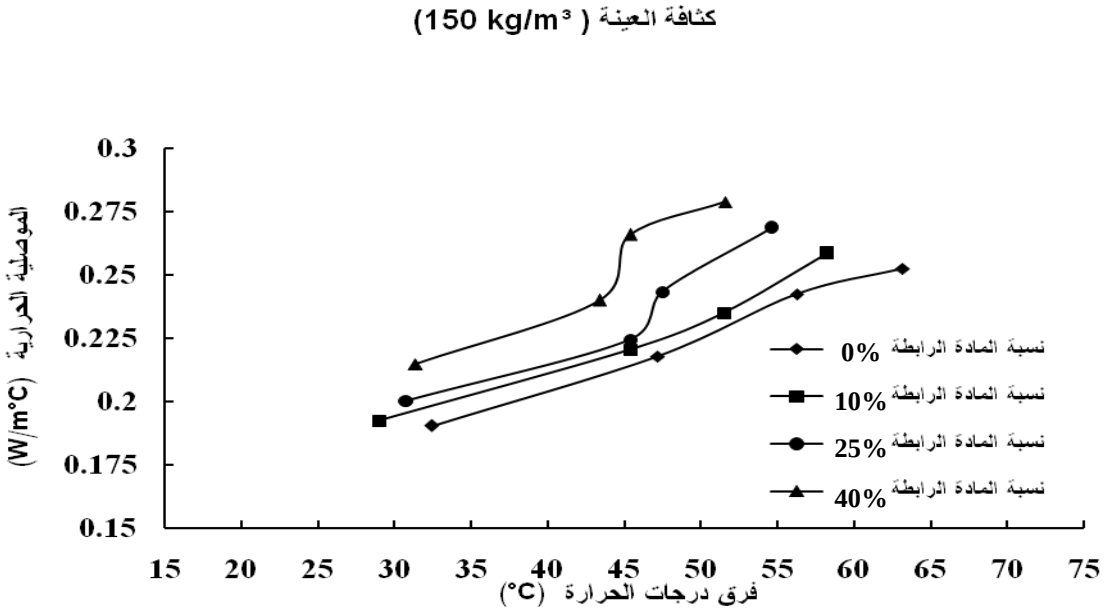
شكل رقم (3) يبين نماذج من عينات نشارة الخشب



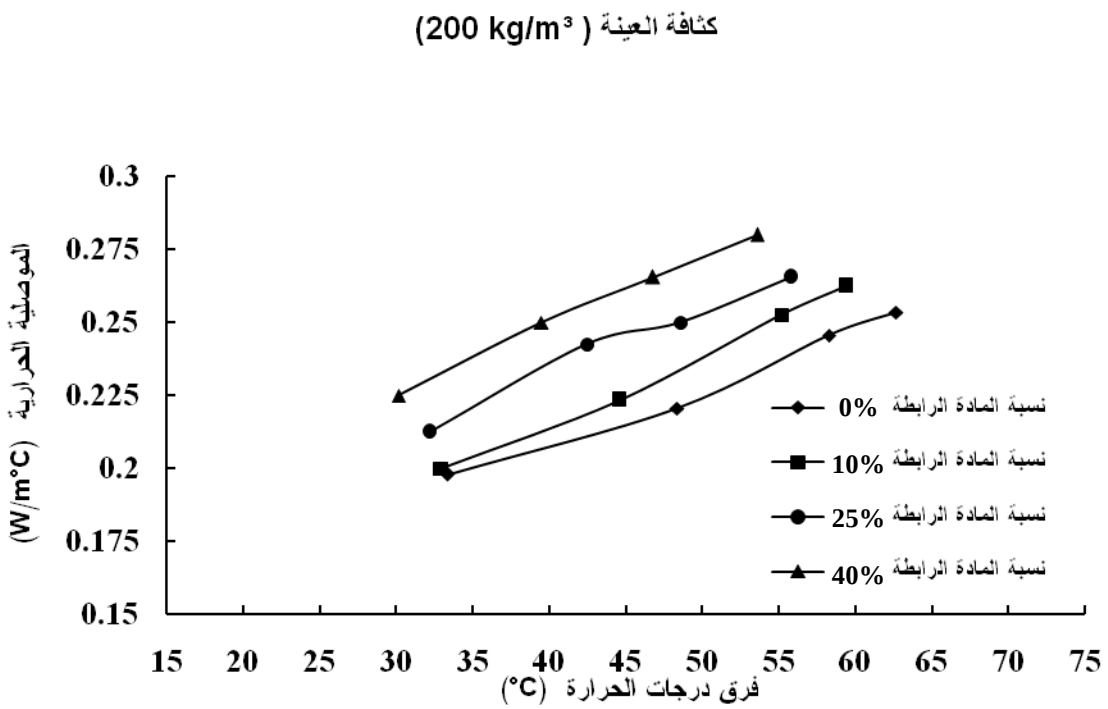
شكل رقم (4) يبين نماذج من عينات نشارة الخشب مع ألياف النخيل



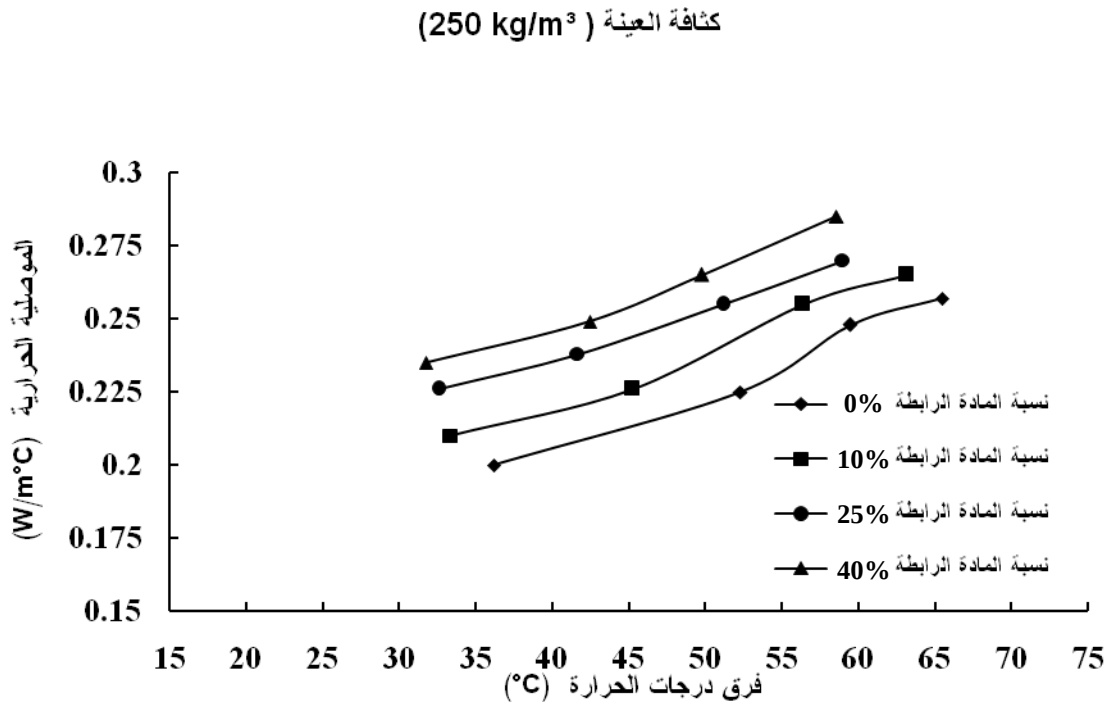
الشكل (5) يبين العلاقة بين الفرق في درجات الحرارة و الموصلية الحرارية.

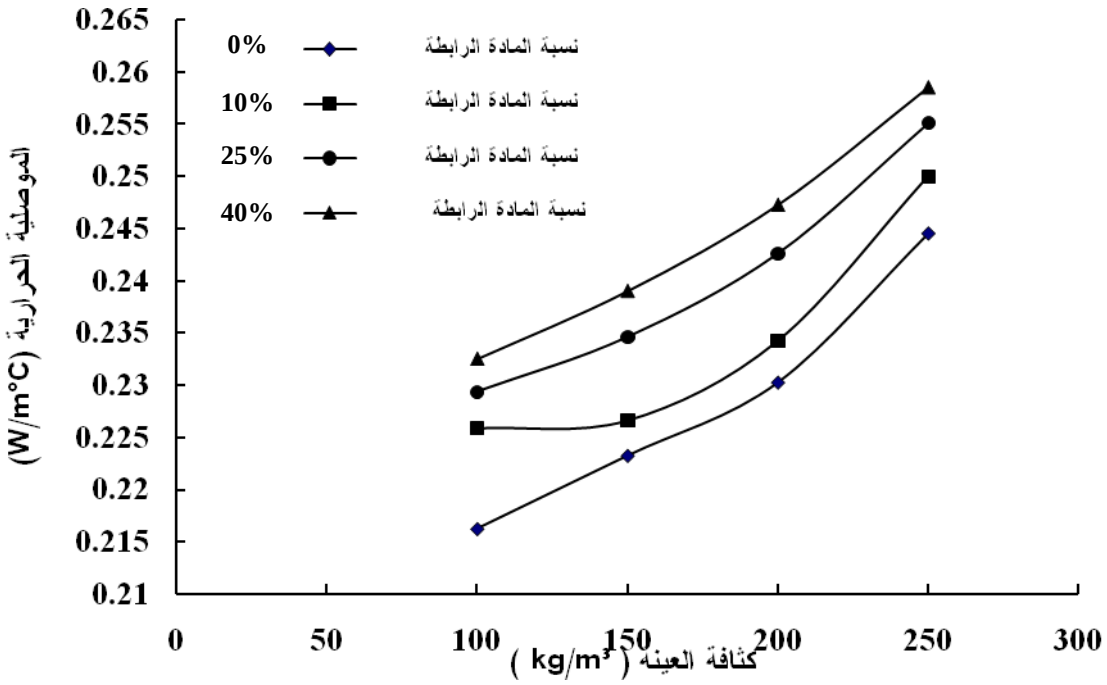


الشكل (6) يبين العلاقة بين الفرق في درجات الحرارة و الموصلية الحرارية.



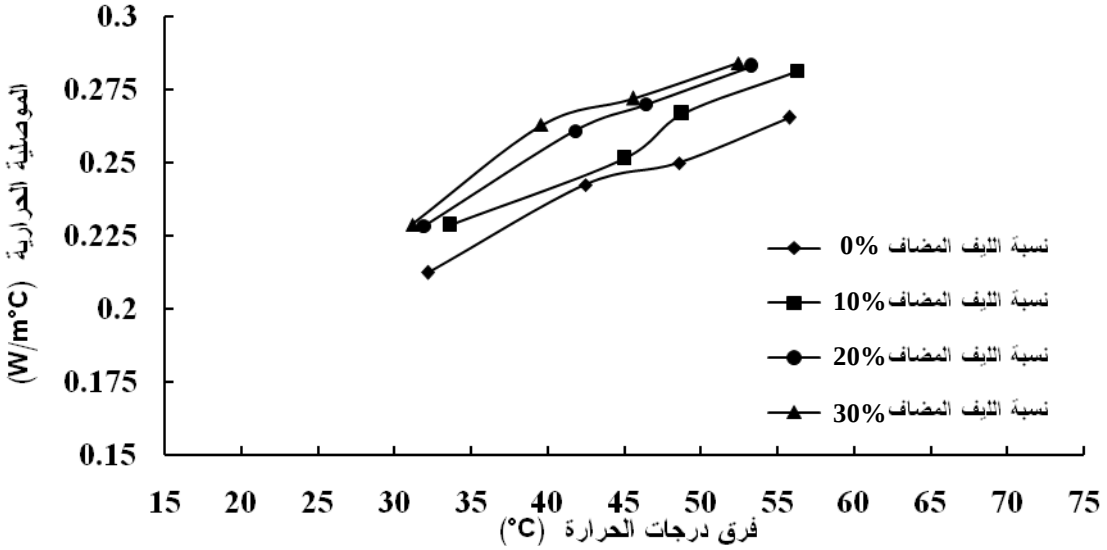
الشكل (7) يبين العلاقة بين الفرق في درجات الحرارة و الموصلية الحرارية.





الشكل (9) يبين العلاقة بين الكثافة و الموصلية الحرارية.

كثافة العينة (200 kg/m³)



الشكل (10) يبين العلاقة بين الفرق في درجات الحرارة و الموصلية الحرارية.

الاستنتاجات

1- الموصلية الحرارية لمادة نشارة الخشب تتأثر بتغيير فرق درجات الحرارة.

2- تزداد الموصلية الحرارية لمادة نشارة الخشب مع إضافة نسبة من المادة الرابطة والكثافة.

3- عند إضافة مادة ألياف النخيل إلى نشارة الخشب، تزداد الموصلية الحرارية للمادة العازلة.

4- يمكن استخدام مادة نشارة الخشب كمادة عازلة مناسبة في الكثير من التطبيقات الهندسية .

المصادر

[1] Cengel Yunus A. "Heat transfer a practical approach" Exclusive rights by the McGraw-Hill companies, Inc, 1998.

[2] العزاوي، الدكتور عبد الرسول حمودي والمهندس محمد عبد الغني " ترشيد استهلاك الطاقة" الطبعة الأولى، دار مجدلاوي للنشر والتوزيع ، الأردن، 1996.

[3] Eugere A. Avallone & Theodore B." Standard handbook for engineers" Tenth edition, McGraw Hill, 1997.

[4] فاضل، عبيد طلك "دراسة كفاءة العزل الحراري لمادة التبن" مجلة جامعة الانبار (العلوم الصرفة والتطبيقية) المجلد 1، العدد 1، 1997.

[5] Oto B., Tomas F., and Jiri Z. "Utilization of the new thermal insulation material Climatex in new modern buildings" VI. Polish research-technical conference ENERGODOM 2002.

[6] Abdou Adel A. and Budaiwi Ismail M., "Comparison of Thermal Conductivity Measurements of Building Insulation Materials under Various Operating Temperatures ", Journal of Building Physics, Vol. 29, No. 2, pp. 171-184, 2005.

[7] Kawasaki T., Zhang M. Wang Q., Komatsu K., and Kawai S. "Elastic module and stiffness optimization in four-point bending of wood based sandwich panel for use as structural insulated walls of floors" Journal of wood science, Vol. 52, No. 4, 2006.

[8] Kawasaki T. and Kawai S. "Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated walls and floors" Journal of wood science, Vol. 52, No. 1, 2006.

[9] Kruger E.L. and Adriazolaa M., "Thermal analysis of wood-based test cells" Construction and Building Materials, Elsevier Ltd All rights reserved, 2009.