

دراسة تأثير إضافة أكسيد أنتيمون الرباعي على الموصلية الحرارية لراتنج الإردايت المقوى
بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه⁺

**Study the Effect of Antimony Tetroxide Addition on Thermal Conductivity
for Araldite Resin Reinforced by Biaxial Glass Fibers**

علي إبراهيم الموسوي *

المستخلص .

تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة مادة معيقة للهب وهي أكسيد أنتيمون الرباعي على الموصلية الحرارية لمادة مركبة مكونة من راتنج الإردايت المقوى بألياف الزجاج بشكل ظفائر محاكاة ثنائية الإتجاه (90°- 0°) نوع (E-Glass) ذات كثافة سطحية (300g\m³) حيث تم إضافة الأوكسيد بنسب مختلفة (30%, 20%, 10%) ودراسة مدى تأثير الموصلية الحرارية بهذه الإضافات حيث إستُخدمت معادلة فورير لحساب التغير في قيمة معامل التوصيل الحراري (k) لهذه المادة المركبة قبل وبعد إضافة المادة المعيقة للهب وكما موضح في المخططات البيانية التي تمثل العلاقة بين معامل التوصيل الحراري (k) ودرجة حرارة الإختبار .
الكلمات الدالة : مادة معيقة للهب ، الموصلية الحرارية ، مادة مركبة .

Abstract

This research studied the effect of flame retardant material addition which is antimony Tetroxide on thermal conductivity for composite material consist of araldite resin reinforced by biaxial woven roving E-type glass fibers (90°-0°) with density (300 g/m²) where we added a different percentage from antimony Tetroxide (10%,20%,30%) and study the effect on thermal conductivity , and we used Fourier equation to calculate the thermal conductivity coefficient (k) for this composite material before and after addition of flame retardant material illustrated in diagrams which represent the relation between thermal conductivity coefficient (k) with temperature.

Keywords:- Flame Retardant Material , Thermal Conductivity , Composite Material .

المقدمة (Introduction) .

لقد أظهرت النتائج المستخلصة من الإختبارات الحرارية بأنه عند وجود إنحدار في درجة حرارة جسم ما فسوف يحدث إنتقال للطاقة الحرارية من منطقة درجة الحرارة العالية إلى منطقة الحرارة الواطئة ، وتسمى هذه الحالة بإنتقال الطاقة الحرارية بواسطة التوصيل (Conduction) وإن معدل إنتقال الحرارة لوحدة المساحة يتناسب مع معدل إنحدار درجة الحرارة الإعتيادي [١] . يمكن توصيل الطاقة الحرارية في الأجسام الصلبة بصيغتين الأولى عن طريق إهتزاز الشبكة البلورية والثانية بإنتقال الإلكترونات الحرة ، وهذان النوعان من التوصيل يحدثان في المواد المعدنية ، أما في المواد

⁺تاريخ استلام البحث ٢٠٠٨/٨/١٦ ، تاريخ قبول النشر ٢٠٠٩/٣/١٩ .

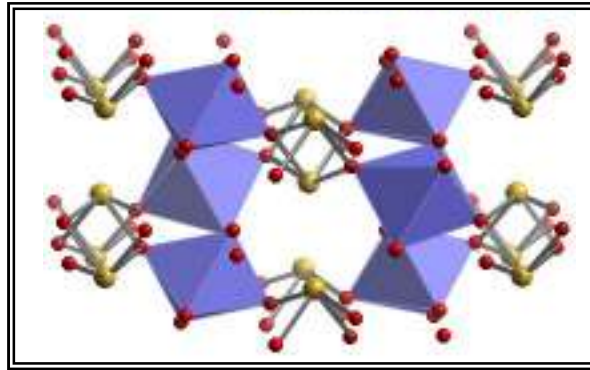
* مدرس مساعد / المعهد التقني - بابل .

المركبة فيكون التوصيل الحراري معتمداً على توجيه الألياف حيث تُظهر المواد المركبة موصلية حرارية أقوى بالإتجاه الطولي للألياف وموصلية أضعف بإتجاه السمك [٢].

يمكن تغيير الموصلية الحرارية في المواد المركبة بواسطة إضافة الحشوات (Fillers) إليها ، وهي مواد معدنية أو لا معدنية تضاف بنسب مختلفة لتغيير خواص المواد المركبة والحصول على خواص جديدة . ومن الخواص التي يتطلب تغييرها وحسب الحاجة هي المقاومة، الجساءة، المتانة، المقاومة الحرارية والكهربائية وغيرها من الخواص ، ومن أكثر الحشوات من أكثر الحشوات إستخداماً هي أكاسيد المعادن [٣] .

أوكسيد الأنتيمون الرباعي (Antimony Tetroxide) .

يعتبر أوكسيد الأنتيمون الرباعي (Sb_2O_4) من المواد المعيقة للهب غير العضوية (Inorganic Flame Retardant Materials) ، والذي ينتج من تسخين أوكسيد الأنتيمون الثلاثي أو الخماسي أو معدن الأنتيمون إلى درجة حرارة ($900^{\circ}C - 800^{\circ}C$) . يكون أوكسيد الأنتيمون الرباعي أبيض اللون ولا يذوب في الماء ويتم إضافته إلى المواد اللدائنية على شكل حشوات لإحداث تغييرات في معاملات توصيلها الحراري أو يتم إضافته بشكل طبقة خارجية لحمايتها من اللهب المباشر. يفقد أوكسيد الأنتيمون الرباعي الأوكسجين عند تسخينه بشدة (حوالي $1060^{\circ}C$) متحولاً إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2O_3). أوكسيد الأنتيمون الرباعي هو أوكسيد مزدوج متكون من أوكسيد الأنتيمون الثلاثي و أوكسيد الأنتيمون الخماسي [٤]. عند درجة حرارة ($900^{\circ}C$) يكون تركيب أوكسيد الأنتيمون الرباعي متضمناً شبكة من أوكسيد الأنتيمون الثلاثي وأوكسيد الأنتيمون الخماسي المنصهرين (Fused) . الشكل رقم (١) يوضح التركيب البلوري لأوكسيد الأنتيمون الرباعي والجدول رقم (١) يوضح بعض الخواص الفيزيائية والحرارية لهذا الأوكسيد .



الشكل رقم (١)

التركيب البلوري لأوكسيد الأنتيمون الرباعي

الجدول رقم (١) الخواص الفيزيائية والحرارية لأوكسيد الأنتيمون الرباعي

Property	Formation Temperature($^{\circ}C$)	Density (g/cm^3)	Melting Point($^{\circ}C$)
Values	800-900	٦,٥٩	1060(break)

المواد المركبة (Composite Materials) .

عُرفت تقنية تصنيع المواد المركبة بأبسط صورها منذ قرون عدة حيث إستخدمها البابليون في بناء بيوتهم عن طريق خلط نشارة الخشب بمادة الطين لتقويته ، و يمكن تعريف المادة المركبة على إنها مادة تتكون من طورين أو أكثر مرتبة أو مرتبطة فيزيائياً أو كيميائياً ، وتمتلك المادة المركبة خواص لا تشبه المواد التي تتركب منها . و لتصنيع مادة مركبة يجب توفر مادتين هما :-

١- المادة الأساس (Matrix Material).

تكون مواد الأساس أما مواد معدنية (Metallic Materials) متكونة من المعادن وسبائكها وتتميز بثقل وزنها وممانتها العالية ، أو قد تكون مواد سيراميكية (Ceramic Materials) والتي تمتاز بخفة وزنها ومقاومتها المرتفعة لدرجات الحرارة العالية ولكنها ضعيفة المقاومة لقوى الصدم. كذلك تكون المادة الأساس مواد بوليميرية (Polymeric Materials) وهي الأكثر إستعمالاً وإنتشاراً لما تتميز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة [٤]. ومن الأمثلة على المواد البوليميرية هو راتنج الإردايت و راتنج البولي أستر.

٢- مادة التقوية (Reinforcing Material) .

يجب توفر ميزتين أساسيتين في هكذا مواد وهي المقاومة العالية والمطيلية المنخفضة حتى تستطيع تقوية المواد الأساس . هناك عدة طرق للتقوية منها التقوية بالدقائق (Reinforcing by Particulate) والتي تكون بقطر أكبر من (1µm) وبأشكال مختلفة منها الإبرية والكروية والقشرية ، كذلك تتم التقوية بالنتشت (Reinforcing by Dispersed) ويكون قطر الدقائق أقل من (0.1µm) . أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً فهي التقوية بالألياف (Reinforcing by Fibers) نظراً لما تتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية ، وتكون الألياف بأنواع وأشكال مختلفة فمنها ما يكون بشكل مستمر أو مقطّع أو بشكل ظفائر محاكاة [٤].

المواد المستخدمة في البحث .

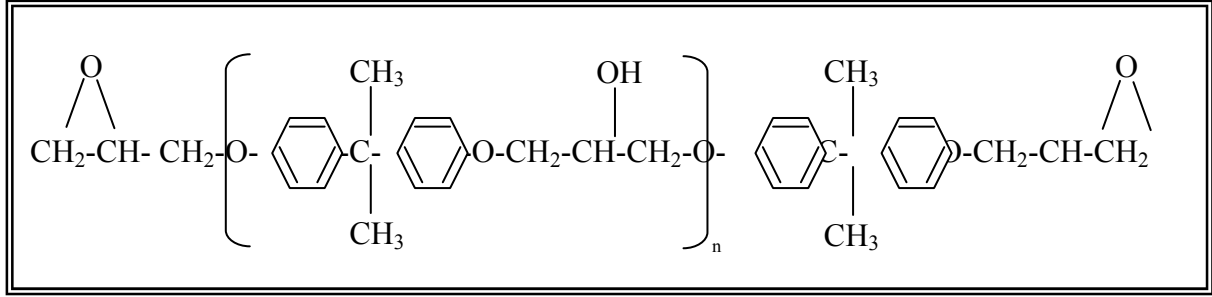
تم في هذا البحث إستخدام المواد التالية :

١- أكسيد الأنتيمون الرباعي (Antimony Tetroxide) .

تم إضافة أكسيد الأنتيمون الرباعي كحشوة إلى المادة المركبة بنسب وزنية مقدارها (10%,20%,30%) .

٢- راتنج الإردايت (Araldite Resin) .

تم إستخدام راتنج الإردايت (CY223) وهو أحد أنواع راتنج الإيبوكسي المحسنة ويكون بشكل سائل لزج شفاف كثافته (1.15g/cm³-1.2g/cm³) . الشكل رقم (٢) يوضح تركيبه الكيميائي .



الشكل رقم (٢)

التركيب الكيميائي لراتنج الإردايت [٢]

٣- ألياف الزجاج (Glass Fibers) .

تمتلك الألياف الزجاجية الكثير من الخواص الفيزيائية والكيميائية الجيدة ومنها إمتلاكها لدرجة إنصهار عالية ومقاومة كيميائية جيدة . هنالك أنواع عدة من الألياف الزجاجية حيث تكون بشكل ظفائر محاكة (Woven Roving) أو بشكل ألياف مقطعة (Chopped Strand) أو بشكل نسيج زجاجي (Glass Fabric) أو على شكل خيوط وأشربة . في هذه البحث تم إستخدام حصيرة من ألياف الزجاج ثنائية الإتجاه (0°- 90°) نوع (E-Glass) في تقوية راتنج الإردايت وهي ذات كثافة سطحية (300g/m³). الجدول رقم (٢) يوضح مكونات هذا النوع من الألياف .

الجدول رقم(٢) مكونات ألياف الزجاج ونسبها المئوية[٥]

Compound	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O & K ₂ O	MgO	CaO ₂	TiO ₂	FeO	Fe
Content %	52-56	12-16	5-10	0-2	0-5	16-25	0-1.5	0-0.8	0.1

تحضير المادة المركبة .

تتكون المادة المركبة من (40%) نسبة وزنية من راتنج الإردايت و(60%) نسبة وزنية من ألياف الزجاج ثنائية الإتجاه ، تم تهيئة قطع دائرية من الألياف الزجاجية وبقطر(25mm) ، أما راتنج الإردايت فقد تم خلطه بالمادة المصلدة (HY953) وهو مادة سائلة تضاف بنسبة (٢٥%) إلى الراتنج ويخلط جيداً بعدها يُضاف إلى الخليط نسب مختلفة من أكسيد الأنتيمون الرباعي(10% , 20% , 30%) ، وتخلط هذه المواد جيداً ثم تكبس سوية مع الألياف .

تحضير عينات إختبار الموصلية الحرارية .

تكون هذه العينات بقطر(25mm) وسمك (3mm) وهي تحضر كالاتي : يتم وضع كمية من راتنج الإردايت المخروط بالمادة المصلدة وأكسيد الأنتيمون الرباعي على سطح القالب الداخلي ثم توضع عليها طبقة من ألياف الزجاج ثنائية الإتجاه وتكرر هذه العملية لحين الوصول إلى السمك المطلوب بعدها تكبس هذه الطبقات وتترك في القالب لتتصلب بشكل نهائي .

قياس الموصلية الحرارية(Thermal Conductivity Measurement) .

عند وجود فرق حراري بين سطحين سوف تنتقل الحرارة من السطح ذو درجة الحرارة الأعلى إلى السطح ذو درجة الحرارة الواطئة ، وتُعرف هذه الظاهرة بالمُوصليّة الحرارية . وعلى هذا الأساس يمكن تعريف المُوصليّة الحرارية على إنها معدل إنسياب الحرارة عبر وحدة المساحة خلال وحدة الزمن عند وجود إنحدار حراري بين سطحين مقداره

درجة مئوية واحدة [٦] .

يمكن استخدام قانون فوريير (Fourier Law) في حساب معامل التوصيلية الحرارية (k) وينص هذا القانون على :-

حيث :-

$$Q = -k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right)$$

Q = كمية الحرارة المارة بوحدة الزمن وتقاس بوحدهات (W)

k = معامل التوصيلية الحرارية ويقاس بوحدهات (W/m.°C)

A = مساحة مقطع انسياب الحرارة وتقاس بالمتر المربع (m²)

$\left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right)$ = التدرج الحراري نسبة للمسافة ويقاس بوحدهات (°C/m)

الشكل رقم (3) يوضح جهاز قياس التوصيلية الحرارية (Heat Conduction Unit) والمصنع من قبل شركة (P.A.Hilton Ltd England). يعتمد مبدأ عمل هذا الجهاز على تسليط قدرة كهربائية لتسخين العينة الموجودة داخل الجهاز وهي عينة قرصية الشكل . بعد ذلك تقوم محار ير إلكترونية موزعة على جانبي العينة وكل محرار يبعد عن الآخر بمسافة (10mm) تقوم بقياس التغير في درجات الحرارة على جانبي العينة .

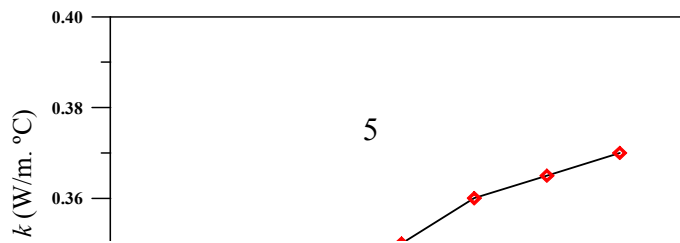


الشكل رقم (٣)

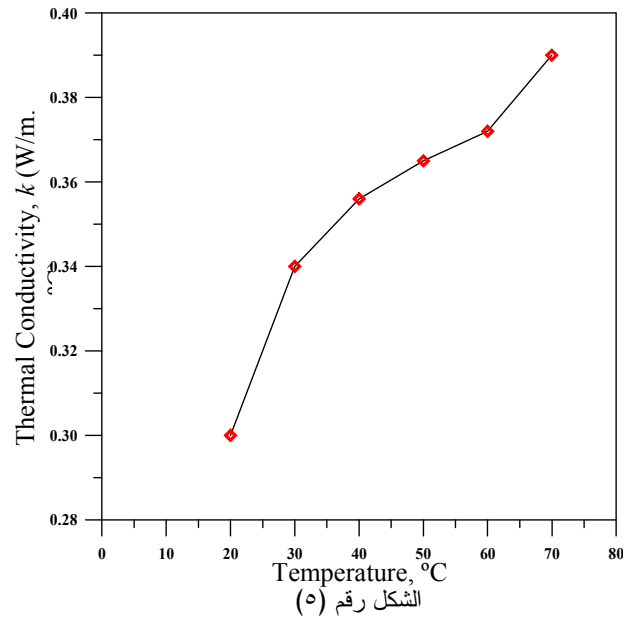
جهاز قياس التوصيلية الحرارية

النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

إن الهدف من إجراء إختبار التوصيلية الحرارية هو لمعرفة مدى السلوك الحراري لأوكسيد الأنثيمون الرباعي في درجات الحرارة الواطنة حيث يعتبر هذا الأوكسيد من المواد المعيقة للهب التي تستخدم في التطبيقات التي تتعرض لدرجات الحرارة العالية ، حيث نلاحظ في الشكل رقم (٤) والذي يمثل العلاقة بين معامل التوصيلية الحرارية (k) ودرجة حرارة الإختبار للمادة المركبة المكونة من راتنج الإرلدايت المقوى بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه بأن التوصيلية الحرارية لهذه المادة المركبة تبدأ بالإرتفاع مع زيادة درجة الحرارة المسلطة من قبل جهاز التوصيلية الحرارية وبشكل بطيء وتدرجي ويرجع السبب في ذلك إلى إن ألياف الزجاج تعمل على زيادة التوصيل الحراري للمادة المركبة بسبب قابلية الألياف على التوصيل الحراري مقارنة مع المادة الأساس .



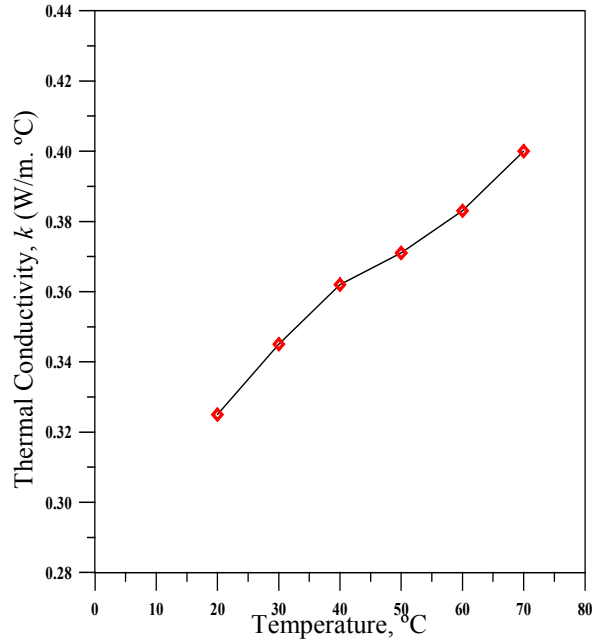
تبدأ الموصلية الحرارية للمادة بالزيادة بإضافة أكسيد الأنثيمون الرباعي إلى المادة المركبة والذي يعتبر من المواد المعيقة للهب وهذا ما نلاحظه من الشكل رقم (٥) والذي يمثل الموصلية الحرارية للمادة المركبة مضافاً إليها (١٠%) من أكسيد الأنثيمون الرباعي (Sb_2O_4) ويرجع السبب في هذا السلوك إلى كون أكسيد الأنثيمون الرباعي من المواد المعيقة للهب والعازلة في درجات الحرارة العالية ولكنه في درجات الحرارة الواطئة يعمل على توصيل الحرارة مثل سلوك أغلب العوازل الحرارية في هذه الدرجات الواطئة ، إضافة إلى وجو ألياف التقوية التي تعمل سوية مع أكسيد الأنثيمون الرباعي على رفع قيمة معامل التوصيل الحراري للمادة المركبة .



الموصلية الحرارية لراتنج الإردايت المقوى بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه مضافاً إليه (١٠%) أكسيد الأنثيمون

وبزيادة نسبة أكسيد الأنثيمون الرباعي المضافة إلى (٢٠%) يزداد التوصيل الحراري مع إرتفاع درجة الحرارة

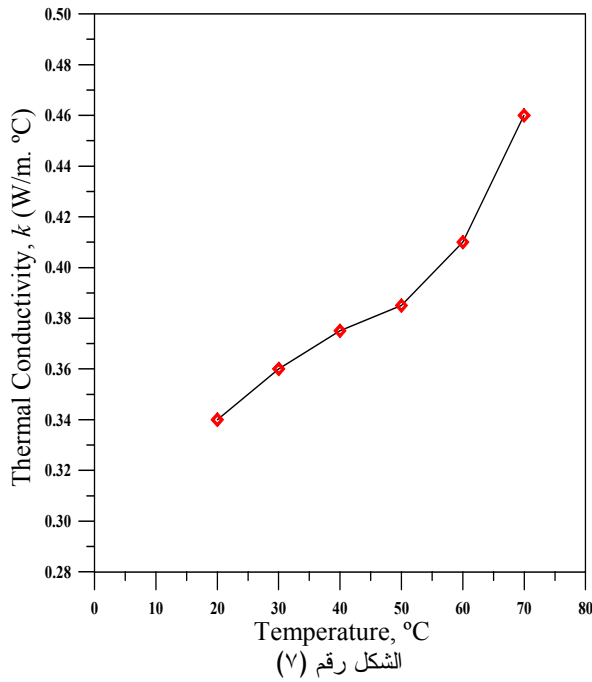
ولنفس السبب السابق حيث تزداد نسبة ذرات أكسيد الأنتيمون الرباعي المهتزة والتي تعمل على نقل الحرارة بشكل أكبر داخل المادة المركبة إلى جانب ألياف الزجاج وهذا واضح في الشكل رقم (٦) .



الشكل رقم (٦)

الموصلية الحرارية راتنج الإرلدابت المقوى بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه مضافاً إليه (٢٠%) أكسيد

إن معدل التوصيل الحراري في راتنج الإرلدابت المقوى بألياف الزجاج يزداد وبشكل كبير عند زيادة نسبة الأوكسيد المضافة إلى (٣٠%) وكما في الشكل رقم (٧) والسبب يرجع إلى كون أكسيد الأنتيمون الرباعي هو مادة موصلة في درجات الحرارة المنخفضة على الرغم من كونه مادة عازلة في درجات الحرارة العالية .



الشكل رقم (٧)

الموصلية الحرارية راتنج الإرلدابت المقوى بألياف الزجاج ثنائية الإتجاه مضافاً إليه (٣٠%) أكسيد

الإستنتاجات (Conclusions) :

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها من إختبار الموصلية الحرارية والموضحة في المخططات البيانية بين معامل الموصلية الحرارية ودرجة الحرارة ، نستنتج الآتي :

١- تزداد الموصلية الحرارية للمادة المركبة بإرتفاع درجة الحرارة بسبب قابلية ألياف الزجاج للتوصيل الحراري .

٢- إرتفاع قيمة التوصيل الحراري للمادة المركبة بإضافة أوكسيد الأنتيمون الرباعي إليها وتزداد هذه الموصلية بزيادة نسبة الأوكسيد المضافة بسبب كون أوكسيد الأنتيمون الرباعي هو موصل للحرارة في درجات الحرارة الواطئة على الرغم من إنه مادة عازلة في درجات الحرارة العالية حيث ينعكس هذا السلوك في درجات الحرارة المنخفضة .

المصادر (References) :

١- د. برهان محمود العلي، أحمد نجم الصبحة، بهجت مجيد مصطفى ”أساسيات إنتقال الحرارة“ ، جامعة الموصل ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي ، ١٩٨٨ .

٢- علي هوبي حليم ” تحسين خواص المواد اللدائنية المقساء“ ، رسالة ماجستير، كلية الهندسة ، جامعة بابل ، العراق ، ١٩٩٩ .

٣- د. قحطان خلف الخزرجي ، علي إبراهيم الموسوي " دراسة تأثير أوكسيد المغنيسيوم عل الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع " ، مجلة جامعة بابل ، العلوم الهندسية ، المجلد ٩ ، العدد ٥ : ٨٥٩-٨٦٦ ، ٢٠٠٤ .

٤- الموسوي ، علي إبراهيم مسلم . ” دراسة إستخدام مادة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي كمادة معيقة للهَب “ ، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة بابل ، العراق ، ٢٠٠٣ .

5- George Lubin “*Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics Composite*”, First Edition , 1975.

6- F.P.Incropera and D.P. DeWitt “*Introduction to Heat Transfer*”,Third Edition, John Wiley & Sons , 1996.