

Improving the Thermal Conductivity of Unsaturated Polyester by Adding Fillers

Dr. Rami George*
Dr. Rami Mansour**
Badeaa Daood***

(Received 16 / 1 / 2022. Accepted 5 / 6 / 2022)

□ ABSTRACT □

The research aims to study the possibility of improving the thermal conductivity of unsaturated polyester (UPR). To achieve this goal, different types of fillers were used, such as: (titanium oxide, calcium carbonate, black carbon and copper powder). The thermal conductivity coefficient was measured using HTC Liner Heat Conduction device, after preparing the samples in the laboratory.

The results of the tests showed that the best thermal conductivity value was that containing 6% calcium carbonate, 1.5% black carbon and 12% copper powder, and The thermal conductivity value has increased by 89% compared to the conductivity of pure UPR.

Keywords: unsaturated polyester, fillers, thermal conductivity.

* Professor - the Department of Mechanical Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia – Syria- email: dr.ramigeorge@gmail.com

** Professor - the Department of Mechanical Design and Production Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia – Syria- email: rami.h.mansour@tishreen.edu.sy

*** Postgraduate Student (Master) - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University – Lattakia- Syria- email: badeaa.jamil.daood.92@gmail.com

تحسين الايصالية الحرارية لمادة البوليستر غير المشبع بإضافة مواد مائنة

د. رامي جورج*

د. رامي منصور**

بدبعة داوود***

(تاريخ الإيداع 16 / 1 / 2022. قُبِلَ للنشر في 5 / 6 / 2022)

□ ملخص □

يهدف البحث إلى دراسة امكانية تحسين الايصالية الحرارية لمادة البوليستر غير المشبع (UPR) Unsaturated polyester resin. لتحقيق ذلك الهدف تم استخدام أنواع مختلفة من المواد المائنة مثل: (أكسيد التيتانيوم وكربونات الكالسيوم وهباب الفحم وبودرة النحاس) تم قياس معامل الايصالية الحرارية باستخدام جهاز انتقال الحرارة الخطي (HTC) Liner Heat Conduction وذلك بعد تحضير العينات مخبرياً. أظهرت نتائج الاختبارات أن أفضل قيمة للإيصالية الحرارية هي للعينه الحاوية على 6% كربونات الكالسيوم و1.5% هباب الفحم و 12% بودرة النحاس وقد ازدادت قيمة معامل الموصلية الحرارية بمقدار 89% بالمقارنة مع ايصالية ال UPR النقي.

الكلمات المفتاحية: البوليستر غير المشبع، مواد مائنة، الايصالية الحرارية.

** أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية -إيميل

dr.ramigeorge@gmail.com

** أستاذ - قسم هندسة التصميم والانتاج الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية -

إيميل rami.h.mansour@tishreen.edu.sy

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين -اللاذقية -سورية -إيميل

badeaa.jamil.daood.92@gmail.com

مقدمة:

تشغل المواد البلاستيكية مكانة هامة في حياة الانسان في وقتنا المعاصر، ويعود السبب في ذلك لانخفاض ثمنها وللتنوع الواسع بالمنتجات التي يمكن الحصول عليها ولسهولة تصنيعها. تعتبر البوليميرات المتصلبة حرارياً مثل الايبوكسي والبوليمر غير المشبع الأكثر استخداماً في التطبيقات الصناعية نظراً لخصائصها الممتازة، مثل الاستقرار الحراري والخواص الميكانيكية والكثافة المنخفضة والمقاومة الكهربائية [1]. حيث تعتبر هذه المواد بطبيعتها ضعيفة للتوصيل الحراري ولهذا السبب فإن التطبيقات التي تتطلب خصائص فيزيائية محددة مثل نقل الحرارة لا تحبذ استخدام مثل هذه المواد [2,3]. إلا أنه يمكن التغلب على هذه المشكلة الأساسية باستخدام مواد مالئة نانوية [4]. حيث أصبح بالإمكان بعد استخدام المواد المالئة تغيير خصائص التلدن الحراري بشكل أساسي بهدف تحسين أدائها العام [5,6].

جذبت الجزيئات النانوية الموجودة ضمن مجموعة البوليميرات اهتماماً متزايداً بسبب الخصائص الميكانيكية والبصرية والكهربائية والحرارية الفريدة التي تقدمها مقارنة بالبوليميرات الصافية [4,5].

أجريت الكثير من الأبحاث النظرية والتجريبية بهدف تحسين الايصالية الحرارية لمادة البوليمر غير المشبع، بعضها درس استخدام جزيئات الغرافيت الممدد كمادة مالئة مع البوليمر غير المشبع حيث لاحظوا الوصول الى موصلية حرارية عالية عند اضافة نسبة 7% بالوزن من الغرافيت الممدد الى البوليمر غير المشبع [7]، ومنهم من درس استخدام أكسيد الألمنيوم لتعزيز صلابة الكسر للبولي استر حيث لوحظ بالبداية تدهور في صلابة الكسر عند إضافة جزيئات أكسيد الألمنيوم غير المعالج ولكن عندما تم استبدالها بجزيئات أكسيد الألمنيوم ذات المقاس الميكروي والنانوي لوحظ زيادة بصلابة الكسر بنسبة 100% تقريباً [8].

وبعضها درس تأثير اضافة البوراكس الى البوليمر غير المشبع حيث لاحظوا تحسن ملحوظ في الخواص الميكانيكية والحرارية عند الاضافة الوزنية لمسحوق البوراكس بالنسبة لمادة البوليمر غير المشبع النقية [9]. والبعض الاخر درس تأثير إضافة بودرة كربونات الكالسيوم النانوية للبوليمر غير المشبع حيث لاحظوا أن الخصائص الميكانيكية والحرارية للمركبات النانوية $CaCO_3$ / UPR أفضل من تلك الموجودة في UPR النقي [10]. ومنهم من درس تأثير جزيئات الكربون النانوية بإضافته الى البوليمر غير المشبع بأوزان مختلفة حيث لاحظوا تحسن التوصيل الحراري للبوليمر غير المشبع وخفض امتصاصيته للماء [11].

هدفت أبحاث أخرى الى زيادة الايصالية الحرارية لمركبات البوليمر غير المشبع وذلك بإضافة جزيئات النحاس إما بنسبة متغيرة وزنياً [12] أو بتغير حجم الجزيئات [13].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في دراسة امكانية الحصول على مادة أساسها البوليمر ذات معامل موصلية حرارية عالية نسبياً عن طريق اضافة عدد من المواد المالئة بغية استخدامها في تصنيع الصفيحة الماصة للإشعاع الشمسي في اللاقط الشمسي البلاستيكي الذي سيصنع لاحقاً ويهدف الحصول على لاقط شمسي بلاستيكي ذو مردود مقبول وبكلفة منخفضة ومن ثم مقارنة مردود هذا اللاقط البلاستيكي مع اللاقط النحاسي التقليدي.

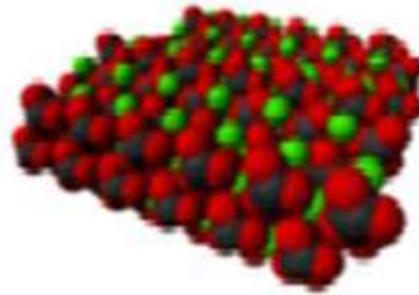
طرائق البحث ومواده:

1. **المادة البوليميرية الرابطة:** تم استخدام البوليستر غير المشبع UPR للاستخدام العام كمادة رابطة انتاج المملكة العربية السعودية والمتوفرة في السوق المحلية.
TOPAZ-1600 AT (H.G.T) (MARBLE GRADE (LOW EXOTHERM) PRE-ACCELERATED)
 2. **المادة البادئة أو المقسية:** وهي الميثيل ايثيل كيتون بيروكسيد Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP) وتضاف الى مادة البوليستر غير المشبع بنسبة 1% لحدوث التفاعلات في المزيج المستخدم وتحقيق التصلب المطلوب بالمنتج النهائي.
 3. **المادة المائلة:** تم استخدام أنواع مختلفة من المواد المائلة وهي:
- ❖ **أوكسيد التيتانيوم:** أوكسيد التيتانيوم TiO₂ مجهز من قبل شركة (BASF Aktiengesllshaft) على هيئة مسحوق ناعم بحجم حبيبي (5 μm) درجة انصهاره 1843 C°.
- ويوضح الجدول (1) بعض خواصه:

الجدول 1 خواص أوكسيد التيتانيوم.

White	Color اللون
1870	Melting Point (C°) درجة الانصهار
2972	Boiling Point (C°) درجة الغليان
79.87	Molecular Weight (g/mol) الوزن الجزيئي
4.23	Density (g/cm ³) الكثافة

- ❖ **كربونات الكالسيوم:** وهو عبارة عن مسحوق أبيض الشكل (1) له قابلية محدودة للذوبان في الماء قابليته للاشتعال أو الانفجار محدودة جداً وتكاد تكون مهملة.



الشكل 1 بنية كربونات الكالسيوم.

ويوضح الجدول (2) بعض خواصه:

الجدول 2 خواص كربونات الكالسيوم.

Molar mass الكتلة المولية	100.0869 g/mol
Density الكثافة	2.711 g/cm ³ (calcite) 2.83 g/cm ³ (aragonite)
Melting point درجة الانصهار	825 °C (aragonite) 1339 °C (calcite)
Boiling point درجة الغليان	Decomposes (يتحلل)
Flash point درجة الوميض	825 C° (1.517 F°, 1.098 K)

❖ **بودرة النحاس:** بودرة النحاس (Copper Metal Powder) مجهزة من قبل شركة (TITAN BIOTECH LTD) على هيئة مسحوق ناعم بحجم حبيبي (1 µm) درجة انصهاره 1085 C° وبين الشكل (2) مسحوق بودرة النحاس:



الشكل 2 بودرة النحاس.

ويوضح الجدول (3) بعض خواصها:

الجدول 3 خواص بودرة النحاس.

Molecular Weight (g/mol) الوزن الجزيئي	63.55
Appearance المظهر الخارجي	Reddish Metal معدن محمر
Melting Point (C°) درجة الانصهار	1085
Boiling Point (C°) درجة الغليان	2562
Density (g/cm ³) الكثافة	8.96

❖ **هباب الفحم:** عبارة عن مادة تنتج عن احتراق غير كاف من المنتجات الثقيلة للبترو (النفط)، وهو شكل من أشكال الكربون غير المتبلور الذي يحتوي نسبة مرتفعة من مساحة السطح الى الحجم. تقليدياً يستخدم هباب الفحم (N220) كعامل تقوية (تسليح) في الاطارات (tires). تم استخدام هباب الفحم ذو حجم حبيبات (30- 50) nm انتاج شركة (Al Dewania) لصناعة الاطارات في العراق.

تحضير العينات:

- تم تحضير قوالب لتشكيل عينات اسطوانية بقطر داخلي 25 mm وبسماكة (0.9 – 1.1) mm.

- تم مزج المواد المألثة وهي: أوكسيد التيتانيوم TiO_2 وكربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وبودرة النحاس Copper Metal Powder وهباب الفحم، بنسب وزنية مختلفة وبشكل منفصل مع المادة الرابطة (البوليستر غير المشبع) باستخدام خلاط كهربائي، وبعدها تم اضافة المادة المقسية (MEPK) بنسبة 1% حتى حدوث التجانس بكتلة المزيج.
- تم صب المادة البوليميرية المركبة بعد عملية المزج الجيد في القوالب المحضرة وتركها حتى حدوث التصلب ضمن درجة حرارة الغرفة.

القسم التجريبي:

تمّ قياس معامل التوصيل الحراري عن طريق جهاز انتقال الحرارة الخطي (HTC) Liner Heat Conduction الموجود في مخبر انتقال الحرارة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين المبين في الشكل (3) حيث يتألف الجهاز من قسمين:

- القسم الإلكتروني: لإعطاء القراءات بشكل لحظي بالإضافة إلى جميع الحسابات والنتائج.
- القسم العملي: يتكون من جزأين علوي وسفلي، العلوي يحوي على وشيعة كهربائية للتسخين وحساسات لقراءة درجات الحرارة (T_1, T_2, T_3) في نقاط مختلفة أعلى العينة والمتوسط الحسابي بينها هي T_4 ، والسفلي يحوي على مجرى لدارة ماء مفتوحة للتبريد بالإضافة إلى حساسات لقراءة درجات الحرارة (T_6, T_7, T_8) في نقاط مختلفة أسفل العينة، والمتوسط الحسابي بينها هي T_5 . بين الجزأين توضع العينة المراد اختبارها وهي عبارة عن قرص بسماكة $(0,9 \div 1.1mm)$ وقطره 2.5 cm، ثم يمرر تيار في وشيعة الجزء العلوي، ويمرر ماء في مجرى.

الجزء السفلي وتقرأ قيمة عامل التوصيل الحراري من القسم الإلكتروني، أو تحسب بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta T}$$

$$Q = V \cdot I$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$\Delta T = T_3 - T_6$$

I شدة التيار بالأمبير.

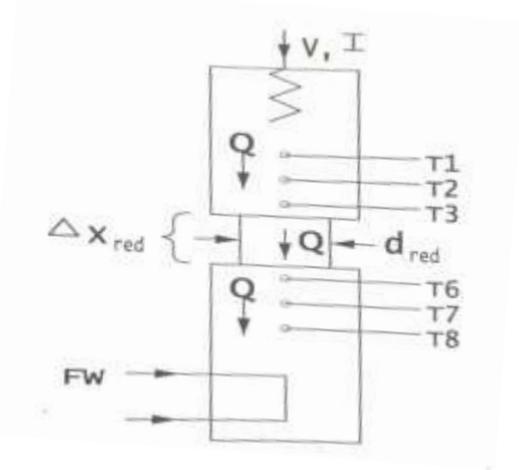
V فرق الكمون بالفولط.

D قطر العينة بالمتر.

ΔX سماكة العينة بالمتر.

Q كمية الحرارة المنتقلة بالواط وتساوي الى الطاقة الكهربائية المقدمة.

λ معامل التوصيل الحراري W/mc°



الشكل 3 جهاز قياس الإيصالية.



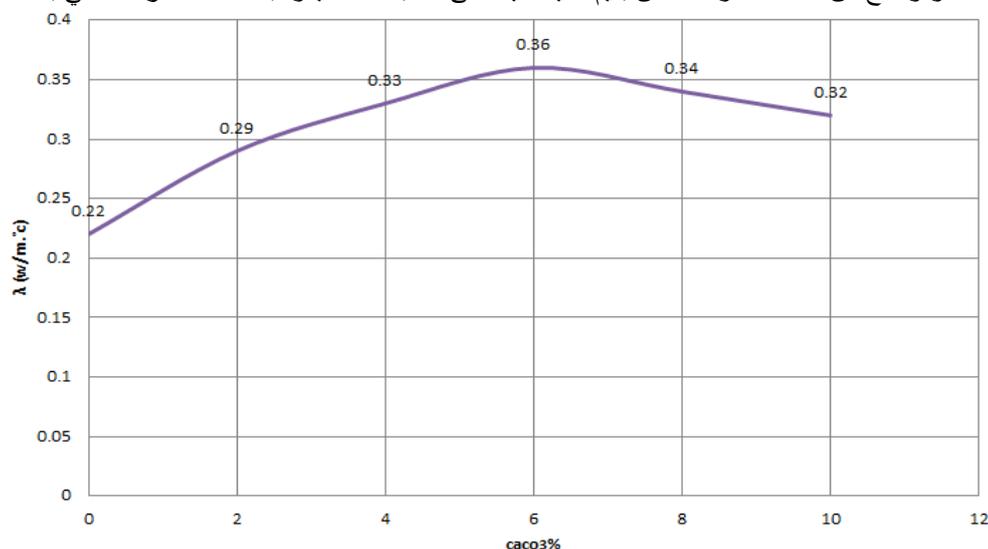
الشكل 4 بعض العينات المصنعة

النتائج والمناقشة:

تنتمي المواد البلاستيكية بشكل عام إلى المواد العازلة حرارياً بسبب القيم المنخفضة لإيصاليتهما الحرارية. تشير الدراسات المرجعية إلى أن مواد الإضافة مهما بلغت نسبتها فإنها تؤثر بشكل أو بآخر بالخواص الفيزيائية - الميكانيكية والحرارية لهذه المواد. وانطلاقاً من الهدف الأساس لهذا البحث وهو تصنيع ألواح بلاستيكية ماصة للحرارة بهدف استخدامه في تصنيع لاقط شمسي بلاستيكي ليكون بديلاً عن الألواح النحاسية فقد تم اختيار مادة البوليمر غير المشبع UPR بسبب سهولة تصنيعها بطرق تكنولوجية عديدة ورخص ثمنها وتوفرها بالأسواق المحلية.

استناداً إلى الدراسات المرجعية المبينة في البحث يمكن تحسين خواص الإيصالية الحرارية لمادة UPR باستخدام أنواع مختلفة من المواد المألثة، وقد تم وضع مخطط نهجي لتحسين خصائص الإيصالية الحرارية لمادة UPR باستخدام مواد مألثة متوفرة بالسوق المحلية مثل كربونات الكالسيوم - أكسيد التيتانيوم - هباب الفحم - بودرة النحاس. وعلى الرغم من وجود مواد عديدة أخرى يمكنها أن تحسن من الإيصالية إلا أنه تم اعتماد هذه المواد بناءً على الدراسات المرجعية.

أظهرت نتائج اختبارات الإيصالية الحرارية التي أجريت على عينات مصنوعة من UPR بدلالة نسبة مادة كربونات الكالسيوم المضافة المنحني المبين بالشكل (5) الذي يبين تغير الإيصالية الحرارية بدلالة نسبة كربونات الكالسيوم المضافة. كما هو واضح من الشكل حدوث تحسن بقيم الإيصالية حتى النسبة 6% ليعود بعد ذلك مسار المنحني بالانخفاض.

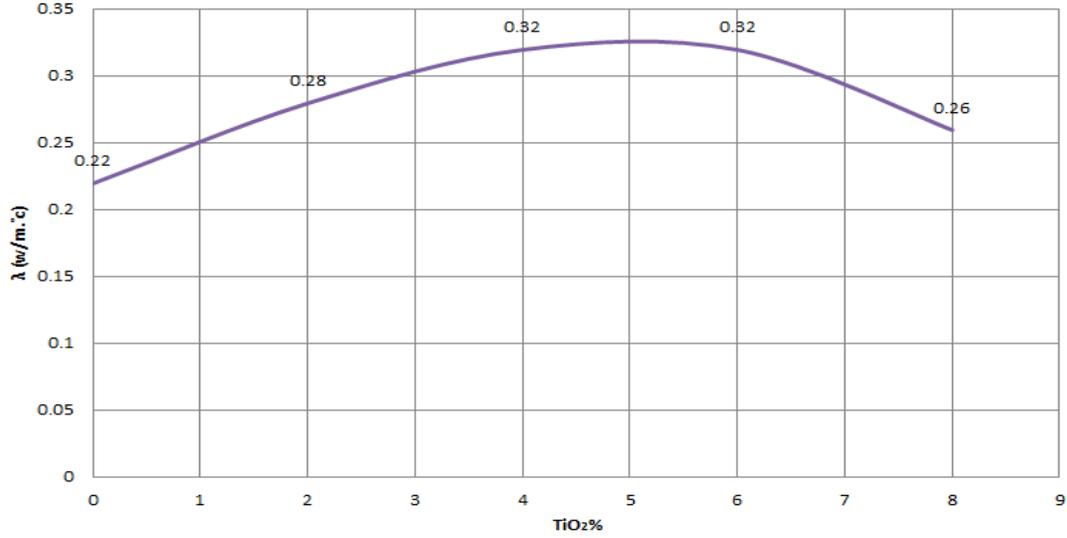


الشكل 5 منحني تغير قيم الإيصالية الحرارية لمركبات UPR بدلالة النسبة المئوية للمادة المانعة (كربونات الكالسيوم).

تلعب عملية التوزيع الجيد لجزيئات كربونات الكالسيوم دوراً أساسياً في تقييم الخاصية المدروسة. فكما هو معلوم أن البودرة المضافة CaCO₃ تميل إلى التكتل عند اضافتها لمادة UPR السائلة عند تجاوز نسب معينة، ولهذا السبب فإن زيادة نسبة كربونات الكالسيوم عن النسبة 6% قد تسبب بحدوث التكتلات غير المرغوبة التي أدت إلى تخفيض تجانس المنتج النهائي، وبالتالي انخفاض بقيم معامل الموصلية الحرارية.

تلعب التكلفة الاقتصادية دوراً مقررراً في اختيار المواد المانعة ولهذا السبب أجريت مقارنة مع أكسيد التيتانيوم TiO₂ التي يعتبر نسبياً أكثر تكلفة بالمقارنة مع كربونات الكالسيوم.

يظهر الشكل (6) منحني تغير الإيصالية الحرارية لمركبات UPR الحاوية على نسب مختلفة من أكسيد التيتانيوم، وكما هو واضح من الشكل حدوث تحسن واضح بقيم معامل الموصلية الحرارية حتى النسبة 5% لتعود قيم معامل الموصلية الحرارية بعد ذلك بالانخفاض نلاحظ من الشكل (6) أيضاً وبالمقارنة مع الشكل السابق (5) أن قيم الإيصالية عن إضافة كربونات الكالسيوم أعلى منها بالمقارنة مع القيم عند إضافة أكسيد التيتانيوم.

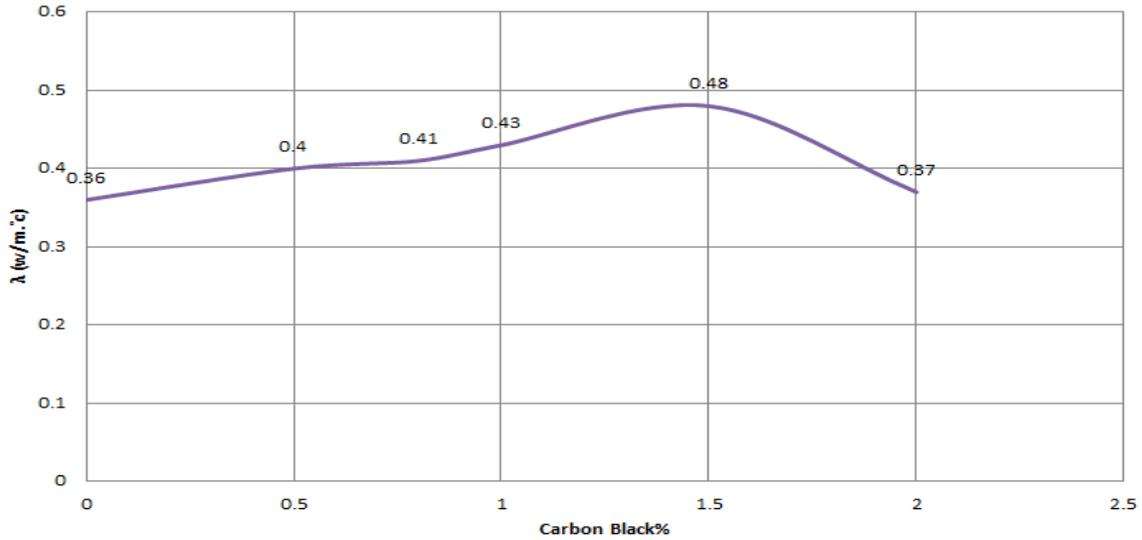


الشكل 6 منحنى تغير قيم الايصالية الحرارية لمركبات (UPR) بدلالة النسبة المئوية للمادة المالئة (أكسيد التيتانيوم).

بناءً على النتائج المبينة بالشكلين (6 , 5) فقد تم اعتماد النسبة 6% كربونات الكالسيوم لتضاف إلى مادة الأساس البوليميرية كنسبة ثابتة في البحث.

استناداً للهدف الأساسي للبحث وهو إنتاج لوح ماص للأشعة الشمسية من مادة UPR فإن إضافة دقائق هباب الفحم بهدف إكساب اللون الأسود لتحسين امتصاصيتها للإشعاع الشمسي يعتبر أساسياً ضمن المزيج المراد تحضيره. وقد أظهرت الدراسات المرجعية [14,11] تحسن بقيم الايصالية الحرارية عند إضافة هباب الفحم.

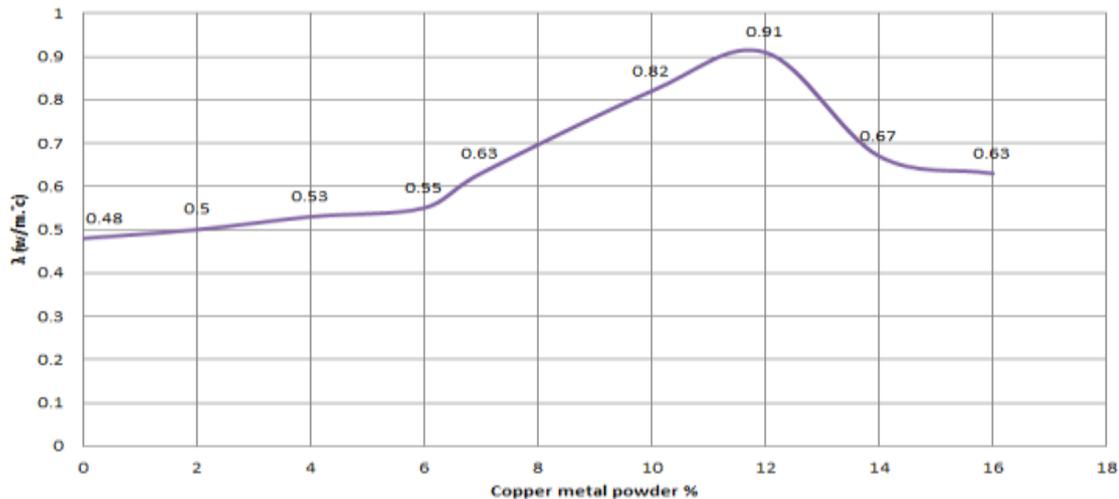
يبين الشكل (7) منحنى تغير الايصالية للمادة المركبة (UPR + 6 %CaCO₃) بدلالة نسبة هباب الفحم المضاف ويلاحظ من هذا الشكل حدوث تحسن في قيم الايصالية بزيادة نسبة هباب الفحم حتى النسبة 1.5 % لتعود بعدها قيم الايصالية بالانخفاض ولهذا السبب سوف نعتمد هذه النسبة لتصبح أساساً في الخلطة، إلا أن قيم الايصالية



الشكل 7 منحنى تغير قيم الايصالية الحرارية لمركبات (UPR+6%CaCO₃) بدلالة النسبة المئوية لهباب الفحم.

المطلوبة لازالت بعيدة المنال بالمقارنة مع الألواح الماصّة النحاسية المستخدمة في صناعة اللواقط الشمسية التقليدية. ينبغي الإشارة هنا إلى الصعوبات التي اعترضت عملية مزج هباب الفحم التي أقطار جزيئاته من مرتبة النانو متر ($50 \div 35$ nm) بالطريقة الميكانيكية إلا أن تم التغلب على هذه الصعوبة بإضافة النسب المدروسة بالتدرج والتحرك بخلاط ميكانيكي بسرعة 1500 r.p.m لمدة 3 دقائق عند كل إضافة لهباب الفحم كي يتمكن من تحقيق التوزع الأمثل لجزيئات هباب الفحم ضمن مادة الأساس.

وانطلاقاً من النتائج التي توصلنا إليها سوف نقوم بإضافة بودرة النحاس التي واستناداً للدراسات المرجعية [12] تشير إلى تحسن قيم الإيصالية عن إضافة بودرة النحاس لمادة UPR كمادة مألثة ضمن التركيبة النهائية. أظهرت نتائج قياس الإيصالية لمركبات UPR الحاوية على النسب (UPR + 6% CaCO₃ + 1.5 Black Carbon) التي أعطت قيم عظمى للإيصالية المبينة في المنحنيات (7, 5) المنحني المبين بالشكل (8) الذي يمثل منحنى تغير قيم الإيصالية الحرارية بدلالة نسبة بودرة النحاس المضافة، وكما هو واضح من الشكل حدوث تحسن بقيم الإيصالية بزيادة نسبة النحاس المضاف حتى النسبة 12% لنلاحظ بعد ذلك حدوث انخفاض بقيم الإيصالية بعد هذه النسبة.



الشكل 8 منحنى تغير قيم الإيصالية الحرارية لمركبات البولي استر غير المشبع الحاوية على نسب ثابتة من 6 % كربونات الكالسيوم و Black Carbon 1.5 % بدلالة النسبة المئوية لبودرة النحاس المضافة.

تعتبر إضافة نسبة النحاس العظمى التي تحقق أفضل قيم للإيصالية من القيم الأساسية في التركيبة التي سنعتمدها عند تصنيع اللوح الماص. وقد كان متوقعاً استمرار زيادة الإيصالية الحرارية بزيادة نسبة بودرة النحاس المضافة إلا أن النتائج التجريبية أظهرت عكس ذلك لأن صعوبة مزج بودرة النحاس ذات الكثافة العالية بالمقارنة مع كثافة كافة المواد الأخرى الداخلة بتركيب المزيج حدّ بشكل كبير استخدام النسب العليا لصعوبة الحصول على خليط متجانس، كما بينت التجربة أن عدم الاستخدام المباشر لهذا المزيج، بعد الخلط المباشر للمواد الداخلة بتركيبه، سيجعل مادة بودرة النحاس تترسب في أسفل القالب عند التشكيل بتأثير الاختلاف بقيم الكثافات بين مكونات المزيج. علماً أن كثافة بودرة النحاس المستخدمة هي 8.96 g/cm^3 .

الاستنتاجات والتوصيات:**الاستنتاجات:**

1. يمكن تحسين معامل التوصيل الحراري لمركبات البوليستر غير المشبع من خلال الاضافة المباشرة لكل من كربونات الكالسيوم وهباب الفحم وبودرة النحاس
2. تحسن قيم الايصالية الحرارية لمادة UPR من القيمة $0.22 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ للبولي استر النقي لتصبح قيمة الايصالية العظمى للمركب ($\text{UPR} + 6\% \text{ CaCO}_3 + 1.5\% \text{ Black Carbon} + 12\% \text{ Cu}$) مساوية $0.91 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ أي بمعدل زيادة مقدارها أكثر من أربع أضعاف.

التوصيات:

1. اتمام البحث في تأثير مواد الإضافة المستخدمة بالبحث على الخواص الميكانيكية
2. دراسة تأثير الأشعة الشمسية على عمر مثل هذه المركبات طالما أنها ستتعرض للتأثير المباشر لأشعة الشمس.

References:

- [1] HONGWEI. H , KAIXI. L, WANG. J, GUOHUA. S, YANQIU. L, and WANG. J. *Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites* . Mat.& Des. 32, (2011) , (4521–4527).
- [2] ABDUL RAZAK. A. A, SALAH. N. J, ABDUL KAZEM. W. *Electrical and thermal properties of epoxy resin filled with carbon black*. Eng.& Tech. J. , Vol.(27), No.11, (2009), (2223-2232).
- [3] PROLONGO. S. G, GUDE. M. R., URENA. A. *Water uptake of epoxy composites reinforced with carbon nanofillers* . Composites: Part A 43, (2012), (2169–2175).
- [4] SENGUPTA. R, BHATTACHARYA. M, BANDYOPADHYAY. S, and BHOWMICK. A. K. *A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites*. Prog. in Poly. Sci., (2011) , Vol (36).
- [5] LAINE. R. M, CHOI. J, and LEE. I. *Organic-inorganic nanocomposites with completely defined interfacial interactions*. Adv. Mate. No.(11) ,(2001), Vol.(13) .
- [6] YIU-WING. M, and ZHONG-ZHEN. Y. *Polymer nanocomposites*. Cambridge CB1 6AH, England (2006).
- [7] BING. N , YANG. J , GAO. H , XIE. H , WEI. Y. *Unsaturated polyester resin supported form-stable phase change materials with enhanced thermal conductivity for solar energy storage and conversion*. Renewable Energy 173 , (2021), (926-933).
- [8] ZHANG. M, SINGH. R. P. *Mechanical reinforcement of unsaturated polyester by AL₂O₃ nanoparticles*. Materials Letters 58, (2004), (408– 412).
- [9] ORHANA. R, AYDOGMUSA. E, TOPUZA. S, and ARSLANOGLU. H. *Investigation of thermo-mechanical characteristics of borax reinforced polyester composites*. Journal of Building Engineering, October (2021), Volume 42.
- [10] RAJENDRAN. B, MUTHUSAMY. S, and CHINNASWAMY. Th. V. *Mechanical and thermal properties of unsaturated polyester/calcium carbonate nanocomposites*. Journal of Reinforced Plastics and Composites 30(18), (2011), (1549–1556).
- [11] HAMZA. M. S, MAJEED. A. H , KAREEM. H. R . *Enhancing Thermal and Water Absorption Properties of Unsaturated Polyester and Epoxy by Nanocarbon Black Powder*. Eng. &Tech. Journal, No.12, (2013) , Vol.31, Part (A).

[12] BASKARAN. R, VINAYAGAMOORTHY. S, MURUGESAN. A, Gandhi. S. *Effect of copper slag particles on mechanical and thermal properties of unsaturated polyester resin composites*. Advances in Polymer Science and Technology: An International Journal , (2017), 7(1) : 1-6

[13] KEMAL. Y, and ÖZER. T. *Thermal and Electrical Conductivity of Unsaturated Polyester Resin Filled with Copper Filler Composites*. International Journal of Polymer Science, Article ID 8190190, (2018), 10 pages.

[14] ZWEID. M. N, UBAID. A. Q, and KAMES. A. S. *Study of Thermal Conductivity and Hardness Test of Carbon Black / Polymer Micro Composite*. Journal of Physics, (2021).