

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي
بشرى حسني موسى

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق

سيراميكي

بشرى حسني موسى

قسم العلوم التطبيقية، فرع علم المواد، الجامعة التكنولوجية

الخلاصة

تم في هذا البحث تحضير مادة متراكبة ذات أساس بوليمري وهو خليط من راتنج البولي استر غير المشبع (UPE) ومطاط (نترايل - بيوتاديين) (NBR) وقد تم التدعيم بمسحوق الزجاج والذي أضيف بكسور حجمية مختلفة V_f (10, 15, 20) وجرى المقارنة مع الخليط البوليمري قبل التدعيم وقد تم الخلط باستخدام طريقة القلوبة اليدوية . حيث أجريت عليها اختبارات فيزيائية تضمنت حساب معامل التوصيل الحراري وكما تم إجراء اختبار الامتصاصية لحساب معامل الانتشار لجميع النماذج وذلك بعد غمرها في الوقت نفسه ولفترة زمنية معينة بحدود (7 أسابيع) في محاليل كيميائية مختلفة مثل (H₂O ، HCL بتركيز 0.5 N ، C₃H₆O) ، حيث وجد إن إضافة مسحوق الزجاج الى الخليط البوليمري (UPE/NBR) تؤدي إلى زيادة التوصيلية الحرارية ، كما وجد إن أعلى قيمة لمعامل الانتشارية ظهرت في محلول الأسيتون وان أقل قيمة لمعامل الانتشارية ظهرت في الماء.

Abstract

In this research we prepared composites material based on polymeric material which it blend of unsaturated polyester resin (UPE) and nitrile butadiene rubber (NBR) and reinforced by glass powder as a filler which added with different volume fraction (10,15,20)% V_f and compare it with blend alone by lay-up method .We studied physical tests such as thermal conductivity and sorption test to find diffusion coefficient for all samples after immersion it in same time for specific time (7 week) in different chemical solution such as (H₂O ، HCL with concentration 0.5 N ، C₃H₆O), the result show that the addition of glass powder to (UPE/NBR) blend lead to increase of thermal conductivity , and it was found the maximum value of diffusion coefficient in acetone solution and the minimum value of diffusion coefficient in water.

المقدمة:

شهد النصف الثاني من القرن العشرين توسعا كبيرا في إنتاج واستعمال المواد المتراكبة على نطاق واسع حيث تدرجت استعمالاتها من الأدوات الرياضية إلى المواد المتراكبة الهندسية التي تستعمل في صناعات الفضاء ومثل هذه المواد فهي دائماً في تماس مباشر مع السوائل والأبخرة سواء منها المائية أو العضوية ، لذلك فان هنالك مشاكل سواء تظهر متعلقة بنفاذية المواد المتراكبة لهذه المحيطات [1]. وتختلف البوليمرات عن المواد الفلزية والسيراميكية بقابليتها على امتصاص الماء أو المحاليل ولذلك توجد صعوبات أحياناً عند تصنيع حاويات لحفظ المحاليل من هذه المواد [1]. إن عمليات الامتصاص الحاصلة لجميع أنواع البوليمرات عند تعرضها للرطوبة من الغلاف الجوي المحيط بها أو عند غمرها بالماء أو المحاليل تتبع قانون فك للانتشار والمقصود بذلك إن كتلة الماء أو المحلول الممتص تزداد خطياً مع الجذر التربيعي للزمن بصورة تدرجية وتبطيء حتى الوصول إلى حالة الإشباع [2] فالمحلول الممتص يتركز ضمن المادة الأساس مما يسبب في انتفاخ في الراتنج ويؤدي إلى التغيير في أبعاده لان هذه المحاليل تمثل عوامل ملدنة للمادة الراتنجية [2].

حيث إن الانتشار يشير إلى حركة الذرات في المواد الصلبة وبالتالي فان السيطرة التركيبية في المواد الصلبة يتم إنجازها بخصائص مثالية تعتمد على معدل الانتشار. إن عملية الانتشار Diffusion تعرف على إنها العملية التي بواسطتها تنقل المادة من موقع إلى موقع آخر في النظام نتيجة للحركة الجزيئية العشوائية ، ويحصل الأنتشار فيزيائياً نظراً لكون الجزيئات في الحالة السائلة في حالة حركة مستمرة فان ذلك يؤدي إلى نشوء ظاهرة الانتقال أو الانتشار الجزيئي وهذا ما عبر عنه العالم فك بقانونه الأساسي الأول للانتشار (Fick's Law of Diffusion) وينص على إن معدل انتشار الذرات في المادة يمكن قياسه بوساطة التدفق (flux) (J) الذي يعرف بانه عدد الذرات المنتشرة عبر وحدة المساحة في وحدة الزمن وكما يأتي [1] :

$$F_x = -D \left(\frac{d_c}{d_x} \right) \quad \dots\dots (1)$$

J: يمثل تدفق الجزيئات Flux of Molecules بوحدهات (atom /cm².sec).

D: معامل الانتشار Diffusion Coefficient.

$\frac{d_c}{d_x}$
تدرج التركيز بوحدهات (atoms/cm³.cm)

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي

قانون فـك الأول يطبق للانتشار في الحالة المستقرة بمعنى أن التركيز لا يتغير مع الزمن [1].

ويمكن حساب معامل الإنتشار (D) (m²/sec) من العلاقة البيانية بين الريح في الوزن مقابل الجذر التربيعي للزمن والذي يحسب من قانون فـك الثاني وكالاتي [1] :

$$D = \pi \left(\frac{Kb}{4M_{\infty}} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

حيث إن b : سمك العينة (mm).

K : ميل الجزء الخطي من المنحنى بين الريح بالوزن مع الجذر التربيعي للزمن.

M_∞ : المحتوى المائي عند الوصول إلى حالة الإشباع (أي أعلى قيمة للريح في الكتلة) (g).

إن قانون فـك الثاني يصف الانتشار في الحالة غير المستقرة أي إن التركيز يتغير مع الزمن [1][3].

ولغرض حساب النسبة المئوية للريح بالكتلة % Weight Gain للعينات الموضوعة في المحاليل التي تم ذكرها ، تم استخدام العلاقة الآتية [1] :

$$\text{Weight Gain \%} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \% \dots\dots (3)$$

حيث إن :

M₀ : كتلة العينة قبل الغمر مقاسة بـ (g).

M₁ : كتلة العينة بعد الغمر مقاسة بـ (g).

لقد اجريت دراسات عديدة حول تأثير منطقة السطح البيني بين المادة الاساس والحشوة بامتصاص الماء ، حيث ان الحركة الجزيئية للجزيئات المايكروية Macromolecules للمادة الاساس البوليمرية تكون مقيدة نتيجة لامتزازها على سطح الحشوة ، والتي يمكن تمييزها عن طريق العيوب الدقيقة الموجودة في البنية الداخلية للبوليمر مثل : الشوائب والشقوق المايكروية والفجوات وعن طريق تركيز الاجهادات. في حالة امتصاص الماء فانه ينتج عنه التحطم الجزئي Partial disruption للأواصر ما بين الحشوات والمادة الاساس وتكوين فجوات اضافيه مملوءة بالماء[4]. تعد المواد البوليمرية من المواد الرديئة التوصيل للحرارة وتعرف التوصيلية الحرارية على إنها مقياس لقابلية المادة لتوصيل الحرارة حيث تنتقل الحرارة بألية مختلفة تتم بموجات مرنة

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي

Elastic Waves ناتجة عن تذبذب الجزيئات ، التي تنقل هذه الذبذبة إلى الجزيئات التي تجاورها نتيجة إرتباطها معاً بالأواصر ،

وبذلك تنتقل الذبذبة من الطرف الساخن إلى الطرف البارد بهيئة موجات مرنة مكممة تعرف بالفونونات [5]. Phonon

و يتم حساب قيمة التوصيلية الحرارية K من المعادلة الآتية [6]:

$$K\left(\frac{T_B - T_A}{d_s}\right) = e\left[T_A + \frac{2}{r}\left(d_A + \frac{1}{4}d_s\right)T_A + \frac{1}{2r}d_s T_B\right] \quad \dots (4)$$

حيث إن e: تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية (W/m².Ko) وتحسب من العلاقة

الآتية [6]:

$$I.V = \pi^2 e(T_A + T_B) + 2\pi e\left[d_A T_A + d_s \frac{1}{2}(T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C\right] \quad \dots (5)$$

حيث إن (TA, TB, TC): تمثل درجة حرارة الأقراص (A, B, C) على التوالي.

d : سمك القرص (mm) ، r : نصف قطر القرص (mm).

I : التيار المار (Amp) ، V : الفولتية المجهزة (Volt).

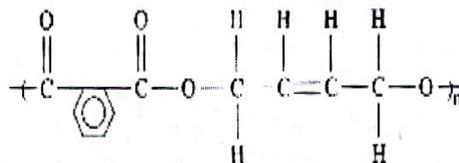
الجزء العملي:

المواد الأولية المستخدمة:

أستخدم راتنج البولي أستر غير المشبع (UPE) كمادة أساس والمواقع الفعالة في البولي أستر هي أصرة الكاربون المزدوجة

(كاربون-كاربون) ولأنه يطلق على هذه الاصرة بالاصرة غير المشبعة فان بولي استرات غير المتصلدة حرارياً المحتوية على

هذه الاواصر يطلق عليها بولي استرات غير المشبعة وهي اسم اخر للبولي استرات المتصلدة حرارياً وتركيبه الكيميائي كالآتي [7].

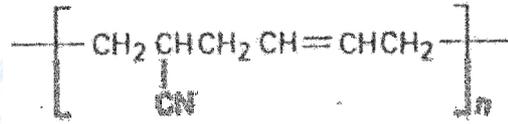


Unsaturated polyester with active C=C site

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي

شكل (1) يوضح صيغة البولي أستر غير المشبع [7]

وهو سائل شفاف قابل للمعالجة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة عند درجة حرارة الغرفة عن طريق إضافة محلول مصلد (Hardener) ويوجد المادة المحفزة كعامل مساعد (Catalyst) أضيف مركب بيروكسيد ميثيل اثيل كيتون كمادة مصلدة وينسبة (2g) مادة مصلدة لكل (100g) راتنج. تم استخدام مطاط النتريل (NBR) كمادة ثانية إضافة إلى (UPE) في تكوين الخليط البوليمري وهو مادة صلبة تم إذابتها في التلوين لبعض أيام حيث يصبح في النهاية مادة سائلة لزجة. والتركيب الكيميائي لمطاط النتريل وكما موضح أدناه



شكل (2) يوضح صيغة مطاط النتريل [8].

وبما ان البولي استر يمتاز بالهشاشية. فقد لوحظ ان تشتت دقائق المطاط مع الأساس الزجاجي يحسن هذه الخاصية بسبب ان دقائق المطاط تستطيع ان تمتص وتشتت الطاقة . لذلك تم خلط مطاط النتريل بيوتادين (NBR) مع (UPE) [9]. تم استخدام مسحوق سيراميكي وهو مسحوق الزجاج وبحجم (35µm) والذي تم اضافته إلى الخليط البوليمري (UPE/NBR) حيث استخدم كمادة مدعمة للخليط البوليمري. والجدول (1) يوضح تركيب المسحوق السيراميكي. استخدمت رغوة السيليكا Foam silica المسماه تجارياً بالايروسيل (Aerosial 200) كأضافات بوليمرية ذات كثافة مقدارها (2 gm/m³) وحجم حبيبي (0.12µm) ومساحة سطحية (200m²/gm) للحصول على توزيع متجانس لمسحوق الزجاج في الخليط البوليمري حيث لهذه المادة دور كبير في السيطرة على اللزوجة ومنع ترسيب مسحوق الزجاج .

تحضير العينات :

حضرت العينات بطريقة القولية اليدوية (Hand Lay-Up) لأنها من الطرق الشائعة والناجحة في تحضير المتراكبات. حيث يتم تحضير الخليط البوليمري من UPE و NBR بنسبة 70% من UPE و 30% من NBR حيث يتم أولاً خلط راتنج

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي

UPE ومصدلة جيداً بواسطة قضيب زجاجي ويضاف إليه قليل من الكوبلت الذي يعمل كمعجل للتصليد ثم يضاف إليه مطاط NBR تدريجياً مع الاستمرار بعملية الخلط إلى يتم الحصول على خليط متجانس وعند بدأ عملية التفاعل لوحظ ارتفاع درجة حرارة ناتج التفاعل مما يدل على انه تفاعل باعث للحرارة وبعد ذلك يتم إضافة مسحوق الزجاج بالتدرج إلى الخليط البوليمري وبكسور حجمية Vf كما يلي (20%)، (15%)، (10%) ثم تضاف رغوة السيليكا. وكل المتراكبات تخلط جيداً وتصب بصورة تدريجية في قالب معدني وبأبعاد (25x25cm) بعد أن يتم تنظيفه وتجفيفه ويغشى بالفابلون اللاصق لسهولة إخراج المصبوبات وللحصول على سطوح منتظمة ، وبعد عملية الصب يتم ترك المصبوبة بدون تحريك لمدة (24) ساعة حتى تتصلب تماما بعملية المعالجة Curing لإتمام عملية التفاعلات التشابكية ومن ثم يتم تقطيع القوالب حسب مواصفات قياسية للعينات الخاصة بكل اختبار، ثم تجرى عملية تنعيم باستعمال ورق كاربيد السيليكون بدرجات نعومه مختلفة للتخلص من العيوب.

الفحوصات الفيزيائية:

1- اختبار الامتصاصية :

تم استخدام عينات بشكل متوازي مستطيلات بأبعاد (10,10,4 mm) وحسب المواصفات القياسية ASTM-D570. حيث تم غمر العينات في محاليل كيميائية مختلفة مثل (H₂O ، HCL بتركيز 0.5 N ، C₃H₆O) وجميعها بدرجة حرارة الغرفة وبعد فترة زمنية مقدارها (7 أسابيع) استخرجت جميع العينات من القناني وبعد مرور كل أسبوع وبعد أن يتم تجفيفها يتم وزن كل منها باستعمال الميزان الحساس ، وتم تكرار العملية الأخيرة لفترات متساوية لدراسة الاختلاف الحاصل في الكتلة قبل وبعد الغمر . ثم يتم قياس معامل الانتشارية.

2- اختبار التوصيلية الحرارية

تم استخدام قرص لي Lee's Disc لحساب معامل التوصيل الحراري وبأبعاد : قطر القرص (40mm) وسمك العينة (4mm) علما ان التيار المار قدره (2.25 Amp) والفولتية المستخدمة (6V).

النتائج والمناقشة:

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي

يوضح الشكل (3) العلاقة بين قيم التوصيلية الحرارية والكسور الحجمية للمواد المتراكبة. لقد أوضحت النتائج إن قيم التوصيلية الحرارية تزداد تدريجياً عند زيادة الكسور الحجمية للسيليكا مقارنة مع المادة النقية ، وهذا يرتبط بوجود الترابط بين مكونات المادة المتراكبة التي تسلك كحامل لنقل الحرارة عبر المادة كما في الجدول (2) [10]. ومن الملاحظ إن قيم التوصيلية الحرارية للعينات اقل من (0.5W/m.Co) التي تعكس المقاومة العالية لهذه المواد لانتقال الحرارة وهذا يعني ملائمتها للاستخدام كمواد عازلة حرارياً [11]. وقد تمت دراسة سابقة بتحضير متراكبة البولي أستر غير المشبع المدعم بالسيليكا الغروي وبكسور حجمية مختلفة للسيليكا وتم فحص طبيعة السطح ، مقاومة الشد ومتانة الانحناء بالإضافة الى دراسة تأثير المحاليل الأكاله وقد لوحظ ان امتصاص المحاليل تزداد بزيادة نسبة الحشوة. وقد لوحظ ان معامل انتشارية يقل ومعامل الامتصاص يزداد مع زيادة نسبة الحشوة. [12].

وقد لوحظ انه عند غمر النماذج في المحاليل (H₂O ، HCL بتركيز 0.5 N ، C₃H₆O) إن وزن النماذج يزداد مع زمن التغطيس ويعود ذلك الى ان المادة الراتنجية عندما تكون في حالة تماس مباشر مع سائل (خصوصاً عندما يكون الوزن الجزيئي للسائل واطناً) ، فان جزيئات السائل سوف تحاول المرور سريعاً خلال طور البوليمر مبتدئة بملء الفجوات الدقيقة . وتتضمن هذه العملية ابتعاد السلاسل البوليمرية عن بعضها . وقد تبين بعد فترة زمنية مقدارها (7 اسابيع) حدوث نقصان في وزن العينات واستمرار هذه النقصان مع زيادة الزمن ، يعزى ذلك الى حقيقة ان البوليمر المنتفخ في بعض الحالات قد يؤدي الى تكوين ضغط كاف لتحطيم الأواصر الكيميائية بين الذرات في السلسلة البوليمرية وبذلك تتفكك السلسلة البوليمرية إلى جزيئات ذات وزن جزيئي واطيء نتيجة حدوث ظاهرة المج البوليمري Desorption . أما في حالة المواد المتراكبة فقد وجد إن تحلل المادة الأساس سوف يعمل على تحطيم وفك الروابط البينية بين المسحوق السيراميكي والمادة الأساس وبذلك تكون هذه المناطق مراكز يتغلغل من خلالها المحلول داخل المادة المتراكبة. ولذلك نجد ان اغلب الأحيان تكون قابلية امتصاص المادة المتراكبة أكبر من المادة الراتنجية غير المدعمة وخاصة في درجات الحرارة العالية [3] . ومن العلاقة (3) تم حساب النسبة المئوية لامتصاصية جميع النماذج المغمورة في المحاليل المذكورة سابقاً . وقد تم رسم المنحنيات التي تمثل العلاقة بين النسبة المئوية للريح بالكتلة Weight Gain % مع جذر الزمن (\sqrt{Time}) التي توضحه الأشكال (4)،(5)،(6) . ومن خلال تطبيق العلاقة (2) يتم حساب معامل الانتشار (D) لجميع النماذج المغمورة في المحاليل الكيميائية وكما موضح في الجدول (3). كما أثبتت النتائج إن أعلى قيمة للانتشارية في الماء H₂O عند نسبة pure (UPE/NBR) وان أعلى قيمة للانتشارية في محلول

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي

حامض الهيدروكلوريك HCL وبتركيز (0.5N) عند نسبة (UPE/NBR)+glass powder (15 %Vf) وان أعلى قيمة للانتشارية في كحول الأسيتون عند نسبة (UPE/NBR)+glass powder (15 %Vf). إن تأثير الماء عند منطقة السطح البيني يكون مهماً جداً حيث انه يتسبب في إضعاف المادة الأساس على طول فترة التعرض وذلك لأنه يحل محل المادة الأساس في هذه المنطقة. إذ إن انتشار الماء في المادة البوليمرية يؤدي إلى حدوث تغيرات للمادة مثل التلدين Plasticisation والتشققات Cracking والتصدع Crazing أو التحلل المائي Hydrolysis ، إذ يعد الماء سائلاً اعتيادياً إلا انه يكون أكثر تعقيداً في التركيب والسلوك من الملدنات العضوية المستعملة لتحسين الخصائص ، حيث ان معظم البوليمرات لاتذوب في الماء وإنما تمتص نسبة معينة منه وبإلزام على درجة الامتصاص فان خصائص البوليمر ربما تتأثر بدرجة كبيرة أو اقل [2] [1].

وقد وجد ان أقل قيمة لمعامل الانتشارية كانت للمترابك (UPE/NBR)+glass powder (10 %Vf) ولجميع محاليل الماء كما في الشكل (5) والسبب في ذلك يعود الى إن التركيب الكيميائي للبولي أستر الذي يمتلك شبكة تشابك ثلاثية الأبعاد ، وهذا النوع من الشبكة يمكن تميزه بمقاومة للمحاليل الكيميائية وهذه القابلية بمقاومة للمحاليل الكيميائية تتعلق بعوامل تجسمية Steric factors التي تجمع مجاميع الأستر القطبية داخل نظام التشابك [13].

References

- [1] J.Comyn, "Polymer Permeability", Elsevier Applied Science Publishers LTD, London and New York, 1985.
- [2] وسن جبار المناتي ، "دراسة السلوك الدائقي لمادة مترابكة بوليمرية دقائقية" ، رسالة ماجستير ، قسم العلوم التطبيقية – الجامعة التكنولوجية-2005 .
- [3] A.Apicella, et al., "Composite", Vol.13, No.4,P.P (406-410) ,1982.

- [4] G.C.Papanicolaou & R.Mercogliano," The effect of water & temperature on the flexural properties of particulate composites" , Plastics & Rubber Processing & applications, Vol.6, No.3.PP. (229-234), 1986.
- [5] R.A Flinn and P.K.Trojan, "Engineering materials and their application", 3 rd ed , Houghton Mifflin Company ,(1986).
- [6] Antony MeB. Collicu and Derek J.Powney , "The Mechanical and Thermal Properties of Materials ",Great Britian , First Ed., 1973.
- [7]A.B. Strong , "Plastic Materials and Processing " , 2 nd ed , Brigham Young University , (2000).
- [8]George T. A ., " Shreve's Chemical Process Industries " , 5 th ed , Ma Grew _ Hill Inc., New York , (1984).
- [9] S.Chuayjuljit , P.Siridamrong & V. Pimpan . " J . of applied Polymer Science " , V . 94 , No.4 , PP.(1496-1503), 2004.
- [10] McIvor S.D., Darpy M.I & others," J .of Materials Science " , Vol.25 ,No.7 ,PP. (3127-3132), 1990.
- [11] Piorkowska E. & Galeski A., "International Polymers Science & Technology " , V.12, No.10 , PP .(102-107) ,1985.
- [12] P. Singh , A. Kaushik , " Journal of Reinforced Plastics and Composites", V. 25, No. 2, PP.(119-140), 2006.

Components	Wt%
SiO ₂	71.30
Na ₂ O	11.30
CaO	8.39

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي

الأكاسيد الداخلة في تركيب مسحوق

Al ₂ O ₃	2.24
MgO	0.09
Fe ₂ O ₃	0.43
Other Oxides	6.25

الجدول (1) يوضح النسب الوزنية الزجاج .

الجدول (2) يوضح قيم معامل التوصيل الحراري لخلائط (UPE/NBR) المدعمة بحشوة السيليكا (SiO₂) ويكسور حجمية مختلفة (0, 10, 15, 20) % Vf .

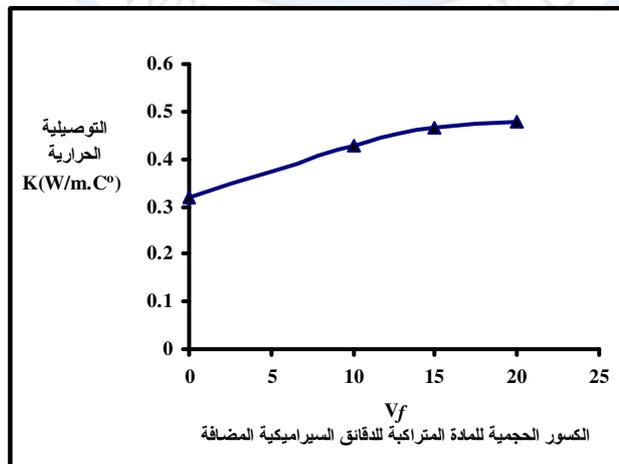
Volume Fraction of Sample (Vf)	Thermal Conductivity K (W / m .Co)
Pure (UPE/NBR) blend	0.3203
(UPE/NBR) + glass powder (10% Vf)	0.426
(UPE/NBR) + glass powder (15% Vf)	0.464
(UPE/NBR) + glass powder (20% Vf)	0.479

الجدول (3) يوضح قيم معامل الانتشار لخلائط (UPE/NBR) المدعمة بحشوة السيليكا (SiO₂) ويكسور حجمية مختلفة (0, 10, 15, 20) % Vf

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي

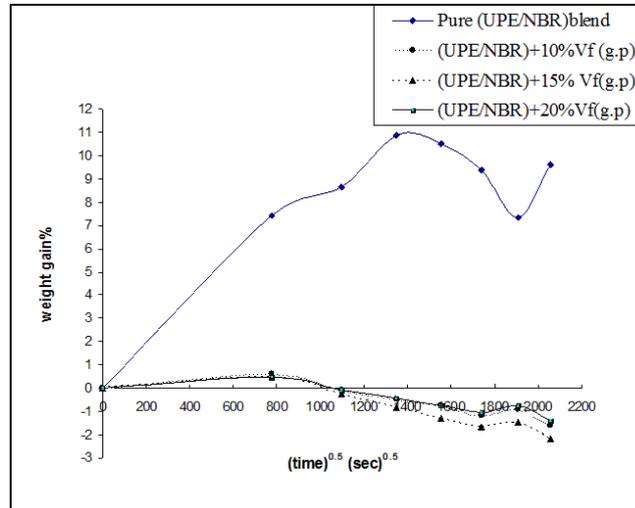


نوع المادة	معامل الانتشار ($D \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$)		
	H2O	HCL(0.5N)	C3H6O
Pure (UPE/NBR) blend	1.578	2.633	5.08
(UPE/NBR) + glass powder (10%Vf)	0.46	4.898	4.465
(UPE/NBR) + glass powder (15%Vf)	1.24	5.369	5.557
(UPE/NBR) + glass powder (20%Vf)	1.31	5.181	5.155



الشكل (3) يوضح العلاقة بين قيم التوصيلية الحرارية والكسور الحجمية للمادة المتراكبة.

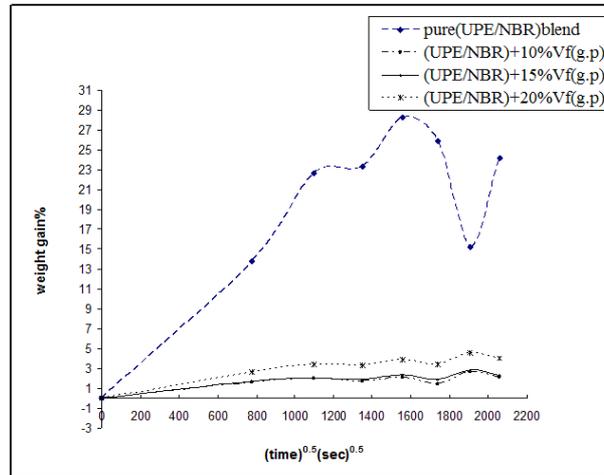
دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي



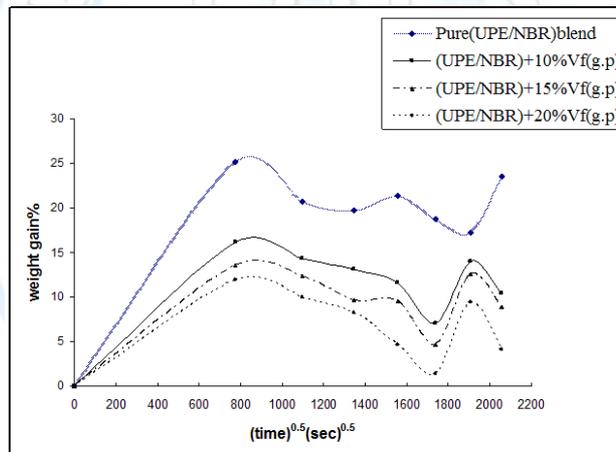
الشكل (4) العلاقة بين النسبة المئوية لامتصاصية لخلائط (UPE/NBR) المدعمة بمسحوق الزجاج وبكسور حجمية مختلفة

% Vf (0, 10, 15, 20) المغمورة في حامض الهيدروكلوريك (HCL) وبتركيز (0.5N) مع الجذر التربيعي للزمن.

دراسة خاصة الانتشارية والتوصيلية الحرارية لخليط من UPE/NBR مدعم بمسحوق سيراميكي



الشكل (5) العلاقة بين النسبة المئوية لامتصاصية لخلائط (UPE/NBR) المدعمة بمسحوق الزجاج وبكسور حجمية مختلفة % Vf (0, 10, 15, 20) المغمورة في الماء الاعتيادي (H₂O) مع الجذر التربيعي للزمن.



الشكل (6) العلاقة بين النسبة المئوية لامتصاصية لخلائط (UPE/NBR) المدعمة بمسحوق الزجاج وبكسور حجمية مختلفة % Vf (0, 10, 15, 20) المغمورة في كحول الاسيتون مع الجذر التربيعي للزمن.