

## الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات من الايبوكسي والبولي استر غير المشبع مقواة بألياف الزجاج ومسحوق الالومينا النانوي

نورالدين علي حسين

د.حسنيه هادي ذنون

قسم الفيزياء / كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة الموصل

تاريخ القبول

تاريخ الاستلام

2014/04/02

2014/01/08

### ABSTRACT

Hybrid composites were prepared by two step. First step, different ratios of the base material represented by the blend of Epoxy and unsaturated Poly Ester (Ep/UPE) to determine the best blending ratio by means of studying the tensile strength and homogeneity of the samples. second step: preparing hybrid composites (*B1*, *B2* and *B3*) after specifying the blend ratio of the basic material (*B*) and then mix it with various reinforcing materials, as E-glass fibers woven roven mat and Nano alumina particles with a grain size of (30 nm), with volume fraction 30%. Studying involved tensile strength and homogeneity tests and some mechanical tests (bending, impact, compression and hardness) also, some physical tests such as (absorption and thermal conductivity) in natural conditions, as well as studying the hot environment effect on the behavior of the prepared composites.

The best (optimum) mixing ratios of these blend have been selected is (Epoxy95%, UPE5%)، And Reinforcing this blend with E-glass fiber and Nano Alumina leads to improves mechanical properties at room temperature ,when the composites exist in hot environmental conditions ranged from (25-55)°C, which lead to decrease Young's modulus, but increase the impact strength as the temperature increase with different percentage depending on the ratio of the reinforcement material add to the blend.

About the physical properties, it was noticed that the type of the solution and its concentration effect the absorption of the composites, that was identified by the calculating diffusion coefficient values (*D*) for all the samples. The lowest value of the diffusion coefficient was for submersed samples in HCl solution, while the highest value was for the samples

submersed in NaOH solution. It was also found that the reinforcing with glass fibers and Alumina powder leads to an increase in the thermal conductivity with varying values depending on the type and ratios of the reinforcements added to the polymer blend. The effect of the reinforcing on thermal conductivity of the samples in hot environment ranged from (30-70)°C, Found that the thermal conductivity increases largely for both samples B3, B2 with increasing temperature.

**key words :**Hybrid ,Epoxy ,polyester ,Mechanical properties, physical properties, blend polymer.

الخلاصة :

تم تحضير مواد متراكبة هجينة (hybrid) على مرحلتين: المرحلة الاولى: أخذ نسب مختلفة للمادة الاساس التي هي خليط من الايبوكسي والبولي استر غير المشبع (Ep,UPE) لتحديد أفضل نسبة خلط وذلك من خلال دراسة متانة الشد والتجانس للنماذج المحضرة. المرحلة الثانية: تحضير مواد متراكبة هجينة (B1,B2,B3) وذلك بعد تحديد أفضل نسبة خلط للمادة الاساس (B) ثم خلطها بمواد تقوية مختلفة، وهي الياف زجاج نوع E-glass المحاكاة بشكل حصيرة ومسحوق الالومينا النانوي ذات الحجم الحبيبي (30nm) بكسر حجمي 30%.

شملت الدراسة إجراء اختبار الشد والتجانس وبعض الاختبارات الميكانيكية (الانحناء، الصدمة، الانضغاط، الصلادة) وكذلك بعض الاختبارات الفيزيائية (الامتصاصية والتوصيلية الحرارية) بالظروف الطبيعية وكذلك دراسة التأثير الحراري على سلوك هذه المتراكبات.

تبين بأن أفضل نسبة خلط لخليط الايبوكسي والبولي استر غير المشبع هو (Ep95%,UPE5%). وان تقوية هذا المزيج بألياف الزجاج ومسحوق الالومينا النانوي أدى الى تحسين الخصائص الميكانيكية للمتراكبات المحضرة بالظروف الطبيعية، وعند وجود المتراكبات في جو ساخن درجة حرارته ضمن المدى (25-55) C°، لوحظ انخفاض قيم معامل يونك بارتفاع درجة الحرارة بالوقت الذي مقاومة الصدمة زادت مع زيادة درجة الحرارة وبدرجات متفاوتة تعتمد على نسب مواد التقوية المضافة الى الخليط البوليمري.

اما بالنسبة إلى الخصائص الفيزيائية فقد لوحظ بأن لنوع المحلول وتركيزه تأثير على امتصاصية المتراكبات وتم ملاحظة ذلك من خلال قيم معامل الانتشارية (D) المحسوبة لكل النماذج، قيم معامل الانتشارية كانت للمتراكبات الهجينة المغمورة في المحلول HCl اقل من قيم معامل الانتشارية للعينات المغمورة في المحلول NaOH. وجد ايضا بأن التقوية بألياف الزجاج والألومينا يؤدي إلى زيادة التوصيلية الحرارية وقيم متفاوتة تعتمد على نوع ونسب مواد التقوية المضافة الى الخليط البوليمري.

تم ملاحظة تأثير عملية التقوية على التوصيلية الحرارية للنماذج عند درجات حرارية مختلفة للمدى  $^{\circ}C (30-70)$ ، ووجد بان التوصيلية الحرارية للنموذجين  $B2, B3$  تزدادان وبشكل كبير مع زيادة درجة الحرارة.

**كلمات دالة:** هجين، ايبوكسي، بولي استر، الخصائص الميكانيكية، الخصائص الفيزيائية، الخليط البوليمري.

### المقدمة :

تعتبر المواد المتراكبة من اكثر المواد استخداماً في حياتنا اليومية، نظرا لكونها تحمل صفات مميزة توصلها لتكون مادة اساسية في الكثير من الصناعات الحديثة. ان التطور التكنولوجي يعتمد على التقدم في حقل المواد ونتيجة لهذا التطور ظهرت الحاجة للتعويض عن المواد التقليدية المستعملة مثل المعادن في الصناعة ب مواد بديلة تحمل خصائص هندسية جيدة لاستعمالها في التطبيقات المختلفة [1]. على الرغم من كون المعادن وكل السبائك تمتاز بانها قوية ومتينة الا انها تفتقر الى انخفاض الكثافة بينما تعد البوليمرات مواد منخفضة الكثافة الا انها تفتقر الى القوة والمتانة لذلك كان ابتكار المواد البوليمرية المتراكبة بمثابة الخطوات الاولى من اجل بلوغ تلك الخصائص المثالية المرغوب فيها في اغلب الصناعات [2]. أزداد الاهتمام بالمواد المتراكبة بالسنوات الأخيرة كمادة هندسية وذلك لخواصها الفريدة، وقد أثبتت هذه المواد نجاحاً في الاستخدامات الفضائية، النقل، الصناعات المدنية والعسكرية، الصناعات الزراعية، الصناعات الطبية. المواد المتراكبة عبارة عن عملية دمج وربط بين مادتين او اكثر. المواد التي تنشأ بواسطة الترابط لنوعين او اكثر من المواد تمتلك خصائص تختلف عن خصائص كل مادة على حدة [3].

وبما أن المواد المتراكبة انتشرت بشكل واسع وأخذت دورا مهما فلا بد من أن تجرى عليها بعض التغييرات والتطوير وبالأخص من ناحية التدعيم لاستخدامها في الصناعات التي يفشل فيها استخدام المواد المتراكبة الأحادية التدعيم لذلك كان من الضروري العمل على إنتاج مواد تحتوي على أكثر من مادة تدعيم تمكنها من تحسين خواص المنتج النهائي. هناك العديد من الدراسات اهتمت بالآونة الاخيرة بتحضير متراكبات هجينة مقواة ب مواد تقوية مختلفة منها:

درست الباحثة (هبة جمعة جعفر، 2010) تأثير التدعيم بالألياف على خواص التخميد لمتراكبات بوليميرية أجريت هذه الدراسة باستعمال راتنجي الايبوكسي والبولي استر غير المشبع كمادة اساس للمواد المتراكبة، تم استعمال ألياف الكاربون والزجاج والنحاس بشكل الياف مستمرة وقصيرة كمواد تدعيم وبنسب وزنية 1%، 2%، 3%، إذ تضمن مشروع البحث دراسة بعض الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة في الظروف الطبيعية حيث تم دراسة خاصية إخماد الاهتزاز،

ودراسة الانحراف والجبساءة والتردد الطبيعي وزمن الذبذبة. وقد أظهرت نتائج البحث ان قيم الجبساءة والتردد الطبيعي والاحماد وزمن الذبذبة تزداد مع زيادة النسبة الوزنية للمواد المدعمة المستعملة في هذا البحث، أما الانحراف فأن قيمته تقل مع الزيادة في الكسر الحجمي لمادة التدعيم [4].

وحضرت الباحثة ( بشرى حسني موسى ، 2011 ) خليط بوليمري من راتنج الايبوكسي والبولي استر غير المشبع كمادة اساس (Ep,UPE) بنسبة وزنيه % (90,10)، وقد استعملت الياف الزجاج المحاكة بشكل حصيرة نوع E-glass كمادة تدعيم بكسر حجمي للألياف قدره %30 باستخدام القولية اليدوية. وقد أجريت على المواد المذكورة اعلاه اختبار الصدمة واختبار صلادة شور نوع D مع مقارنة نتائج خليط (EP,UPE) مع المتراكب المدعم بألياف الزجاج، ودراسة تأثير عمر النماذج في المحلول الحامضي H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> والقاعدي NaOH وبعيارية قدرها (0.1N) لكلا المحلولين وبدرجة حرارة الغرفة لمدة (28) يوم، بعدها لوحظت تأثيرات الغمر على قيم الصلادة ومقاومة الصدمة، وقد وجدت ان التدعيم بألياف الزجاج يؤدي الى زيادة كل من مقاومة الصدمة وصلادة شور للمادة المتراكبة في الظروف الطبيعية قبل الغمر. اما تأثيرات الغمر فقد اظهرت النتائج نقصان في قيمة الصلادة لجميع النماذج في كلا المحلولين وزيادة في مقاومة الصدمة في المحلول الحامضي لجميع النماذج وحصول نقصان في مقاومة الصدمة للخليط بمفرده ومتراكبة المدعم بألياف الزجاج عند الغمر بالمحلول القاعدي [5].

درس الباحث (Jianing Gao, 2012) الخصائص الميكانيكية لمتراكب الايبوكسي المدعم بالمطاط والمخلوط مع السليكا SiO<sub>2</sub> وقد لاحظ ان متانة الكسر تزداد مع وجود مادتي التدعيم في الايبوكسي [6].

إن الهدف من البحث هو تحضير عوازل حرارية يمكن استخدامها لأغراض مختلفة من متراكبات بوليميرية هجينة من خليط الايبوكسي والبولي استر غير المشبع المدعم بألياف الزجاج المحاكة بشكل حصيرة نوع (E-glass) ومسحوق الالومينا النانوي ذات الحجم الحبيبي 30nm بكسر حجمي %30، ومن ثم دراسة خصائصها الميكانيكية والفيزيائية.

المواد وطرق البحث :

### 1- مواد البحث

- راتنج الايبوكسي نوع (NITOPRIME 25 BASE) المنتج من الشركة (forsroc Jordon). وهو بشكل راتنج شفاف متوسط اللزوجة، ذو كثافة 1.2

$g/cm^3$  عند درجة حرارة  $20^\circ C$ ، يتحول إلى مادة بوليمرية صلبة بإضافة المصلد بنسبة جزء واحد إلى جزئيين من الايبوكسي.

- راتنج البولي استر غير المشبع والمصنع من قبل شركة سعودية (SIR) كأحد مكونات المادة الاساس عبارة عن سائل لزج شفاف عند درجة حرارة الغرفة، ذو كثافة قدرها  $1.15 gm/cm^3$  يتحول من الحالة السائلة الى الحالة الصلبة وذلك بإضافة المصلد (MEKP) اليه والمصنع من قبل نفس الشركة المذكورة اعلاه والمصلد عبارة عن مثيل اثيل كيتون بيروكسايدي (Methyl Ethyl Keton Peroxide) والذي يكون على شكل سائل شفاف يضاف الى راتنج البولي استر غير المشبع بنسبة 2% عند درجة حرارة الغرفة.
- الياف زجاجية صناعية نوع E-glass المحاكاة بشكل حصيرة (woven roven)، كثافته  $2.6 gm/cm^3$ .
- مسحوق الالومينا النانوي ذات الحجم الحبيبي (30nm) صيني المنشأ ذات كثافة  $3.9 gm/cm^3$ .

## 2- تحضير نماذج البحث

تم تحضير مخاليط بوليمرية من (Ep , UPE) وبالنسب الوزنية التالية (5%, 95%)، (10%, 90%) ، (15%, 85%) ، (20%, 80%). وكان الهدف من هذه الخطوة هو الحصول على افضل متانة شد وافضل تجانس، (لان لهاتين الصفتين تأثير على نسبة الخلط للخليط البوليمري) وبعد تحديد افضل نسبة تم تحضير نموذج من هذا الخليط بدون تدعيم (B). (السؤال الذي يطرح نفسه هو لماذا تم استخدام فحص الشد وفحص التجانس لتحديد افضل نسبة خلط ولم نعتمد على فحص الشد فقط) يعتبر فحص الشد احدى الطرق الشائعة لتحديد افضل نسبة خلط لكن ما لاحظناه ان الآراء تضاربت في تحديد افضل نسبة خلط للبوليمرين باستخدام هذه الطريقة، هنالك من وجد ان افضل نسبة (EP90%, UPE10%) [5]، وهنالك من وجد ان افضل نسبة خلط (EP%95, UPE5%) [7] ونحن مع من اكد ان افضل نسبة خلط البوليمرين هي النسبة (EP95%, UPE5%) ولكن بعد استخدام طريقة اخرى هي فحص التجانس مضافة الى فحص الشد للتأكيد على ان افضل نسبة خلط للخليط البوليمري هو (EP95%, UPE5%).

تم تحضير ثلاثة انواع من المترابكات البوليمرية الهجينة (B1, B2, B3) مقواة بألياف الزجاج ومسحوق الالومينا النانوي بكسر حجمي 30% باستخدام القوالب اليدوية ومكونات نسب مواد التقوية في المترابكات المحضرة موضحة بالجدول (1). وبالاعتماد على الطريقة الوزنية تم تحديد نسب المكونات الداخلة في تحضير النماذج [8].

جدول (1) رموز وأنواع المواد المتراكبة الهجينة المحضرة.

| Symbols of Hybrid composites | Percentage of each material in the hybrid composites |
|------------------------------|--|
| <b>B</b>                     | Blend (Epoxy 95%+UPE 5%)                             |
| <b>B1</b>                    | Blend 70% +E.glass30%                                |
| <b>B2</b>                    | Blend 70% + (E.glass15%+Al2O315%)                    |
| <b>B3</b>                    | Blend 70% + (E.glass22.5%+Al2O37.5%)                 |

### النتائج والمناقشة

#### اختبار متانة الشد والتجانس

إن لنسب البوليمرات الداخلة في تكوين الخليط البوليمري تأثير كبير على متانة وتجانس الخليط، لذا فإن الغاية من اجراء هذه الخطوة هو لتحديد أفضل نسبة خلط. لقد أظهرت نتائج اختبار الشد بعد قياس متانة الشد (T.S) لكل النماذج ( والمدونة قيمها في الجدول (2) ) التي حضرت والمبين نسبها في فقرة تحضير المخاليط.

جدول (2) قيم اجهاد الشد (T.S) ونسب الخلط للخليط البوليمري ايبوكسي/ بولي استر بنسب

#### مختلفة

| نسبة الخلط             | (Ep ,UPE)% | (95,5)% | (90,10)% | (85,15)% | (80,20)% |
|------------------------|------------|---------|----------|----------|----------|
| Tensile strength (MPa) |            | 8.5     | 5.45     | 5.6      | 3.36     |

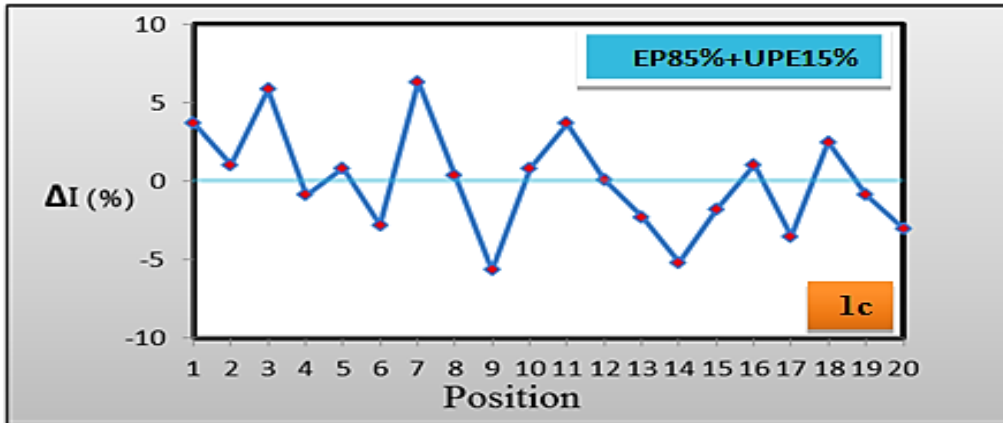
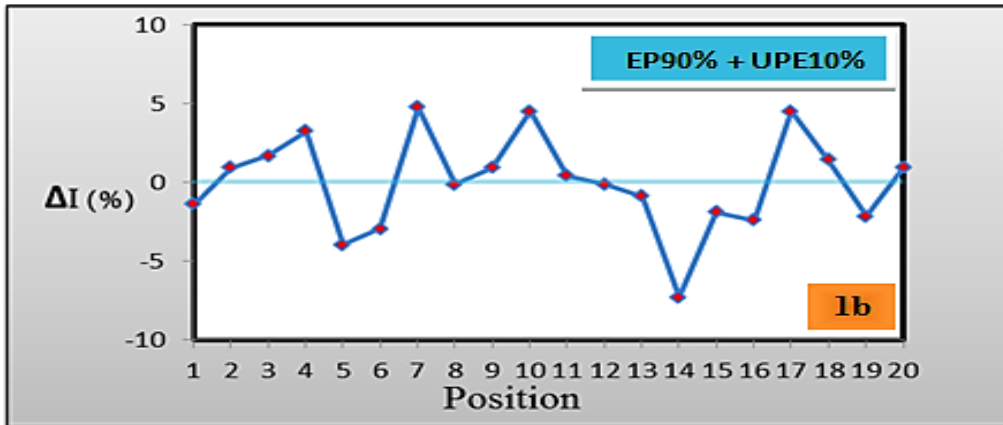
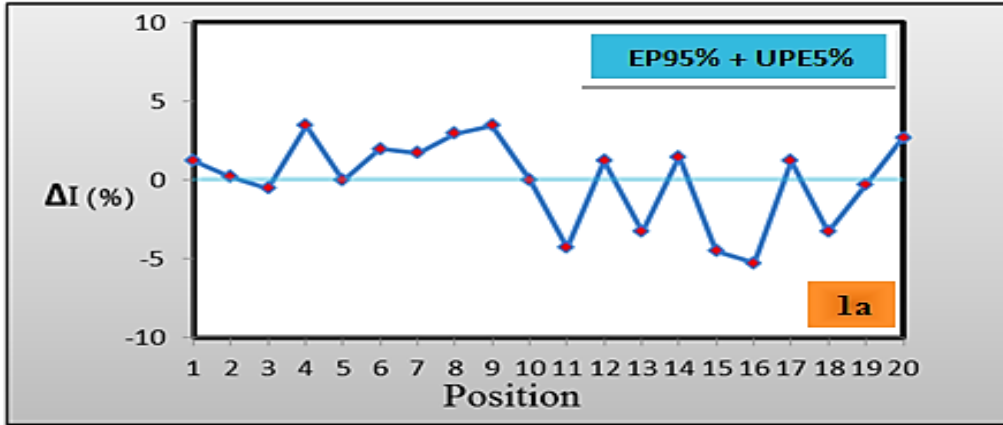
بعد تطبيق اختبار التجانس على كل النماذج فقد تم حساب النسبة المئوية للفرق في الشدة  $\Delta I$  عند كل موقع بالاعتماد على المعادلة رقم (1)، أن المادة تكون أكثر تجانساً حين تقترب قيم  $\Delta I$  من الصفر [9].

$$\Delta I(\%) = \frac{I' - I}{I} \times 100 \% \quad \dots \dots \dots (1)$$

إذ أن: I : قيمة الشدة النافذة عند كل موقع على النموذج.

I' : معدل شدة الإشعاع النافذ من النموذج

ومن النتائج المستحصلة من هذا الاختبار لكل النماذج والموضحة في الاشكال (1a,1b,2c) تبين ان أفضل تجانس (اقل لا تجانس) كانت عند النسبة (UPE5%,Ep95%). وعند المقارنة بين النتائج المستحصلة من كلا الاختبارين تبين ان افضل نسبة للخليط البوليمري ايبوكسي/بولي استر غير مشبع هو (UPE5%,Ep95%).



الشكل (1a,b,c) النسب المئوية للفرق في الشدة  $\Delta I$  مع الموقع  
ولنسب مختلفة من الايبوكسي والبولي استر.

وعند المقارنة بين النتائج المستحصلة من كلا الاختبارين (الشد والتجانس) تبين ان هناك توافق ما بين الطريقتين في تحديد افضل نسبة للخليط البوليمري ايبوكسي/ بولي استر غير المشبع.

الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للمتراكبات الهجينة الخاصة بالبحث وكما يأتي:

• الاختبارات الميكانيكية وتشمل ما يأتي:

### 1- اختبار الانحناء :

إن الهدف من هذا الاختبار لمعرفة السلوك الخطي للمواد الواقعة تحت تأثير أحمال مسلطة بالاتجاه العمودي على سطح النموذج وقياس معامل المرونة ( $E$ ) للنماذج بالظروف الطبيعية. والشكل (2a) يبين ان الانحراف يتناسب طردياً مع الحمل المسلط عليه ضمن الحدود المرنة، فعند زوال الحمل المسلط تسترجع المادة حالتها الاصلية. وان ميل النسبة بين الكتلة والانحراف مقدار ثابت [10]. وقد تم حساب معامل المرونة بالاعتماد على المعادلة (2).

$$E(N/m^2) = \frac{gL^3}{4db^3} \cdot (M/S) \dots\dots\dots (2)$$

حيث:

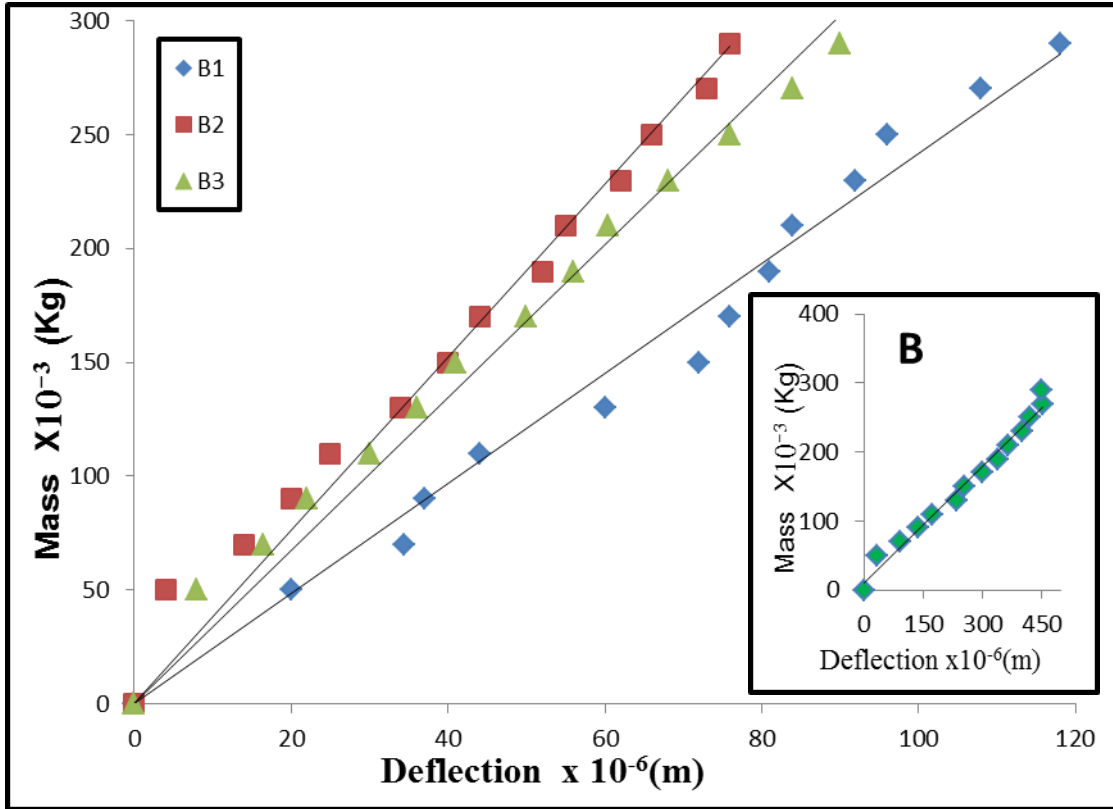
$g$ : التعجيل الارضي ( $m/sec^2$ )،  $L$ : المسافة بين نقطتي الارتكاز ( $m$ )، ( $M/S$ ): يمثل ميل الجزء الخطي للعلاقة بين الكتلة - والانحراف ( $kg \cdot m^{-1}$ )،  $S$ : الانحراف الناجم عن الحمل المسلط ( $m$ )،  $b$  = سمك الأنموذج ( $m$ )،  $d$  = عرض الأنموذج ( $m$ ).

إذ نلاحظ من الجدول ان النماذج ( $B1, B2, B3$ ) تمتلك معامل مرونة اعلى من معامل مرونة للنموذج غير المقواة ( $B$ ) والموضحة خصائصه اسفل الشكل (1) الزاوية اليمنى. وان قيمة معامل المرونة للمتراكب ( $B2$ ) هي افضل من قيمة معامل المرونة للنماذج ( $B1, B3$ ) وقد يعود ذلك لامتلاك مسحوق الالومينا معامل مرونة عالية والتي تصل 400GPa [11]، وكلما زادت نسبة  $Al_2O_3$  النانوي زادت معامل المرونة للمتراكب.

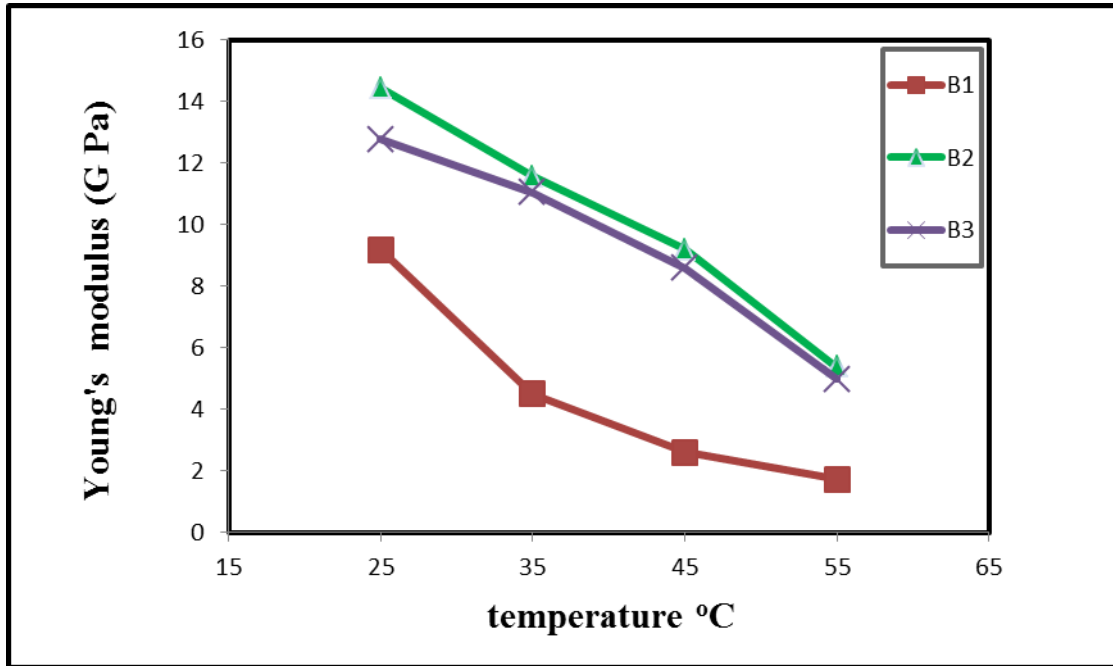
وعند تعريض النماذج لدرجات حرارية مختلفة  $(25 - 55)^\circ C$  ولمدة 45 دقيقة عند كل حالة (حتى يصل الى حالة الاتزان الحراري)، تبين ان قيم معامل المرونة قد انخفضت، لان الحرارة تعمل على اضعاف قوى الترابط بين السلاسل الجزئية للمادة الاساس وبالتالي تصبح ليينة ويحدث فيها انفعال كبير يؤدي الى انخفاض في قيم معامل المرونة، وكذلك الى الاختلاف في معامل التمدد الحراري للمادة الاساس ومسحوق الالومينا يؤدي الى خلق اجهادات داخلية تقلل من جساءة المادة [10] والشكل (2b) يوضح تغير سلوك هذه المتراكبات مع زيادة درجة الحرارة.

وان مقدار الانخفاض بقيم معامل يونك للنموذجين  $B2, B3$  المدعمن بالمسحوق النانوي واللياف الزجاج هي اقل من مقدار الانخفاض في قيمة معامل يونك للنموذج  $B1$  المدعم بألياف الزجاج مع ازدياد درجة الحرارة، ويعود السبب الى وجود الالومينا وكلما زادت نسبة الالومينا قل الانخفاض في قيمة معامل يونك.





الشكل (2a) العلاقة بين الكتلة والانحراف لكل النماذج بدرجة حرارة المختبر



الشكل (2b) تغير معامل يونك مع درجة الحرارة

## 2- اختبار الصدمة :

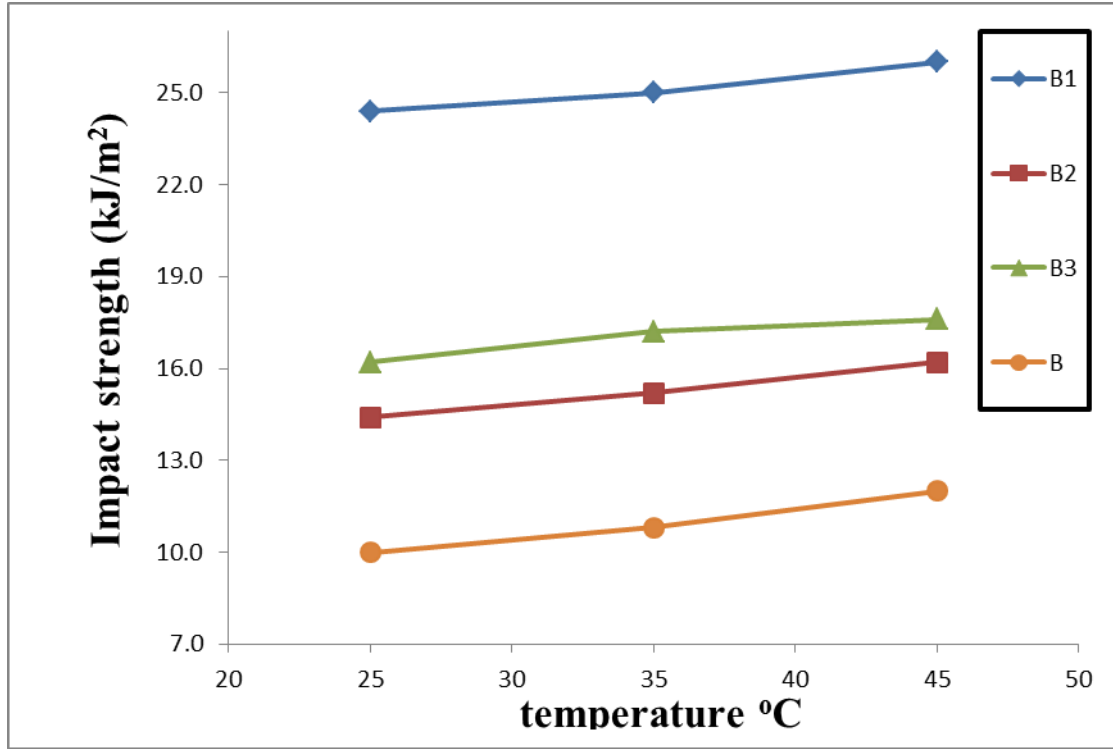
يحدث الفشل في المواد البوليمرية غير المقواة المعرضة لأحمال مفاجئة بتحطيم القوى التي تربط الجزئيات والذرات مع بعضها بفعل الاجهاد المفاجيء وعند التقوية بالألياف والمساحيق، نلاحظ ان الطاقة اللازمة للكسر تزداد، فقبل حدوث الفشل في المادة المتراكبة تمر المادة المتراكبة المعرضة لإجهاد الصدم بمرحلة كسر اواصر البوليمر ومن ثم كسر الالياف او سحبها وتكون الطاقة المصروفة لكسر الالياف او سحبها وكذلك السطوح المحيطة بالدقائق اكبر من الطاقة المصروفة لكسر اواصر البوليمر [10].

لقد اظهرت نتائج اختبار الصدمة لكل المتراكبات بدرجة حرارة الغرفة ان مقاومة الصدمة التي تم حسابها بالاعتماد على المعادلة (3) [12] قد تحسنت مع التقوية بالألياف ومسحوق الالومينا.

$$Impact\ Strength = \frac{\text{energy of fracture}(J)}{\text{area of cross section.}(m^2)} \dots\dots\dots (3)$$

والشكل (3a) يؤكد ما ذكر اذ ان النماذج B1,B2,B3 تمتلك مقاومة صدمة اعلى من مقاومة الصدمة للنموذج غير المقواة وان مقدار الزيادة في مقاومة الصدمة كانت 1.62%، 1.5%، 2.5% للنماذج B1,B2,B3 على التوالي نسبة الى النموذج غير المقواة B، وان مقدار هذه الزيادة في مقاومة الصدمة يعود الى ان الالياف ومسحوق الالومينا النانوي في المتراكبات المحضرة تتحمل الجزء الاكبر من الحمل الصدمي، لأنها تعمل كمعوقات ومصدات للكسر مما يؤدي الى زيادة مقاومة الصدمة للنماذج المقواة، كذلك نلاحظ من الشكل (3a) انه كلما زادت نسبة الالياف الزجاجية في المتراكبات الهجينة زادت مقاومة الصدمة وان وجود مسحوق الالومينا في المتراكب يعمل على اعاقه حركة الشقوق فيقلل من قيمة الانفعال الا انها تنخفض مع زيادة الكسر الحجمي للألومينا، ربما يعود ذلك الى ضعف الارتباط بين مادة الاساس ومادة التقوية وكذلك كسرها الحجمي وحجمها الحبيبي ونظام توزيعها ضمن مادة الاساس. وهذا يتفق مع جاء به الباحث [13]، والصور الفوتوغرافية الموضحة في الشكل (3b) تبين حالة الكسر الحاصل في كل النماذج، ومنها نستدل ان الكسر الحاصل هو كسر هش وليس مطيلي.

كذلك في الشكل (3a) نلاحظ تأثير تغير درجة حرارة النماذج على قيم مقاومة الصدمة، فهي تزداد كلما ارتفعت درجة الحرارة لكل النماذج المقواة وغير المقواة، وان مقدار الشغل اللازم لإحداث الكسر في المتراكبات الهجينة B1,B2,B3 هي اكبر من مقدار الشغل المبذول لإحداث الكسر في العينة B.



الشكل (3a) تغير قيم مقاومة الصدمة لكل النماذج وبدرجات حرارية مختلفة (25-45)°C



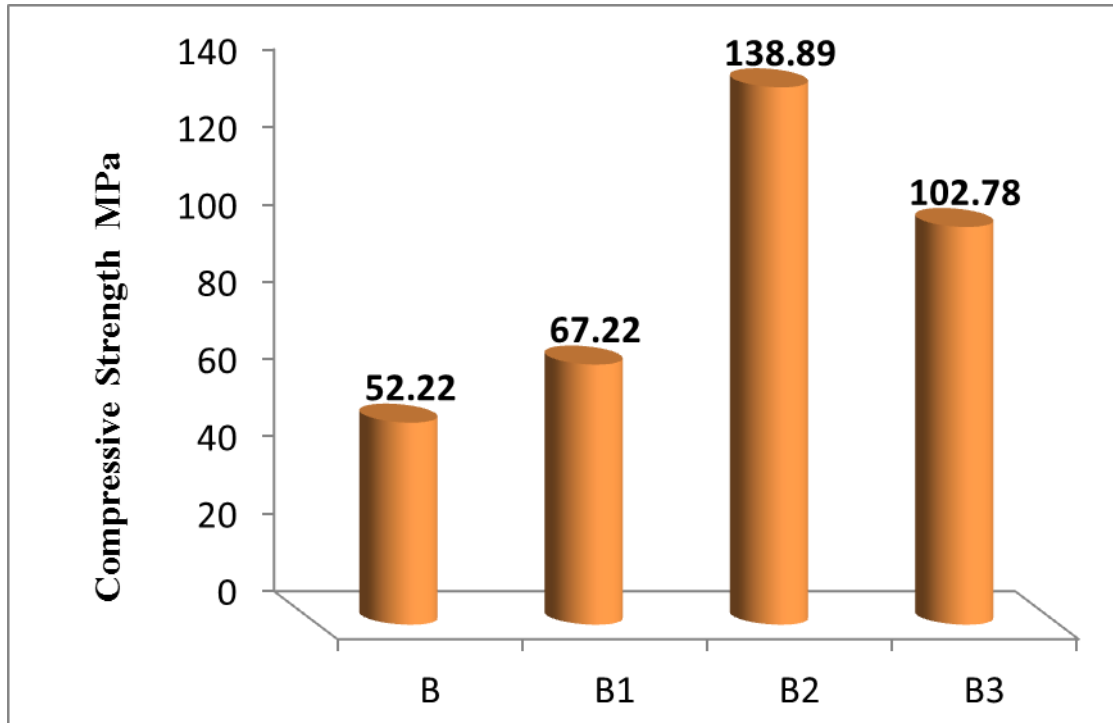
الشكل (3b) حالة الفشل الحاصل في المادة لكل النماذج في اختبار الصدمة

### 3- اختبار الانضغاط :

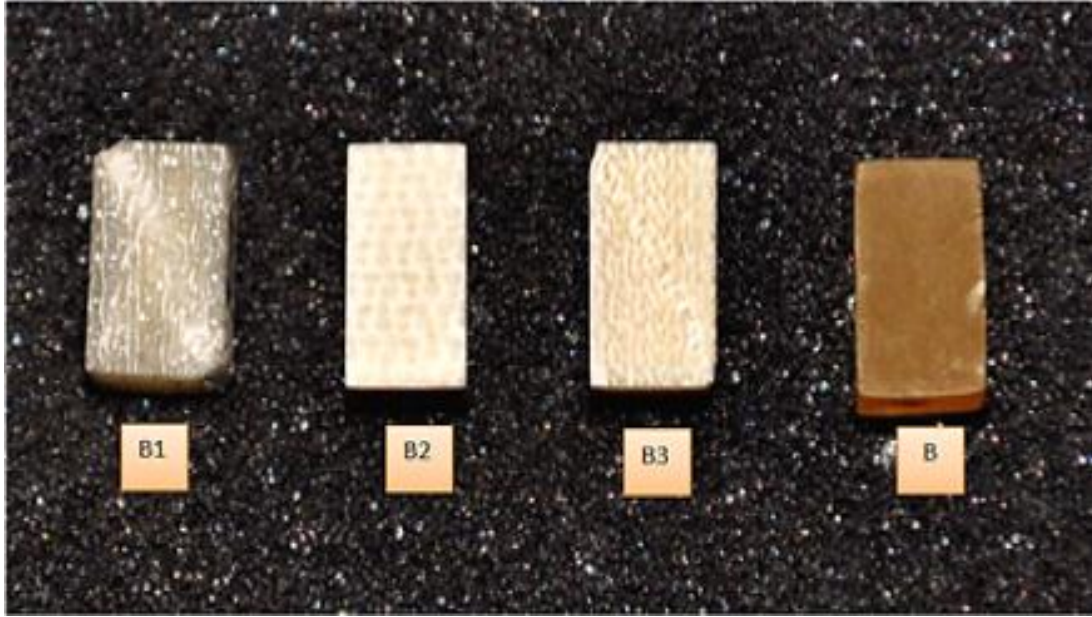
من العلاقة (4) تم حساب إجهاد الانضغاط (C.S) بدرجة حرارة الغرفة لكل النماذج.

$$C.S(Pa) = \frac{Force(N)}{area(m^2)} \dots\dots\dots(4)$$

لقد أظهرت نتائج فحص الانضغاط ومن خلال الشكل (4a)، ان النماذج B1, B2, B3 المقواة بألياف الزجاج والألومينا تمتلك إجهاد انضغاط اعلى من النموذج (B) غير المقواة، وان إجهاد الانضغاط للنموذجين B3, B2 المقواة بألياف الزجاج والألومينا معا اعلى من إجهاد الانضغاط للنموذج B1 المقواة بألياف الزجاج فقط، هذا يعني ان لوجود الالومينا تأثير على إجهاد الانضغاط للمتراكب فكلما زادت نسبة الالومينا نلاحظ زيادة في قيم إجهاد الانضغاط عند الكسر لان وجود الالومينا يعمل على اعاقه حركة الشقوق فيقلل من قيمة الانفعال وعلى العكس كلما زادت نسبة الياف الزجاج وقلت نسبة الالومينا فيقل إجهاد الانضغاط، ويعود ربما الى ضعف قوة الترابط بين الياف الزجاج والمادة الاساس للمتراكب [13,10]. والشكل (4b) يوضح حالة الفشل الحاصل لكل النماذج.



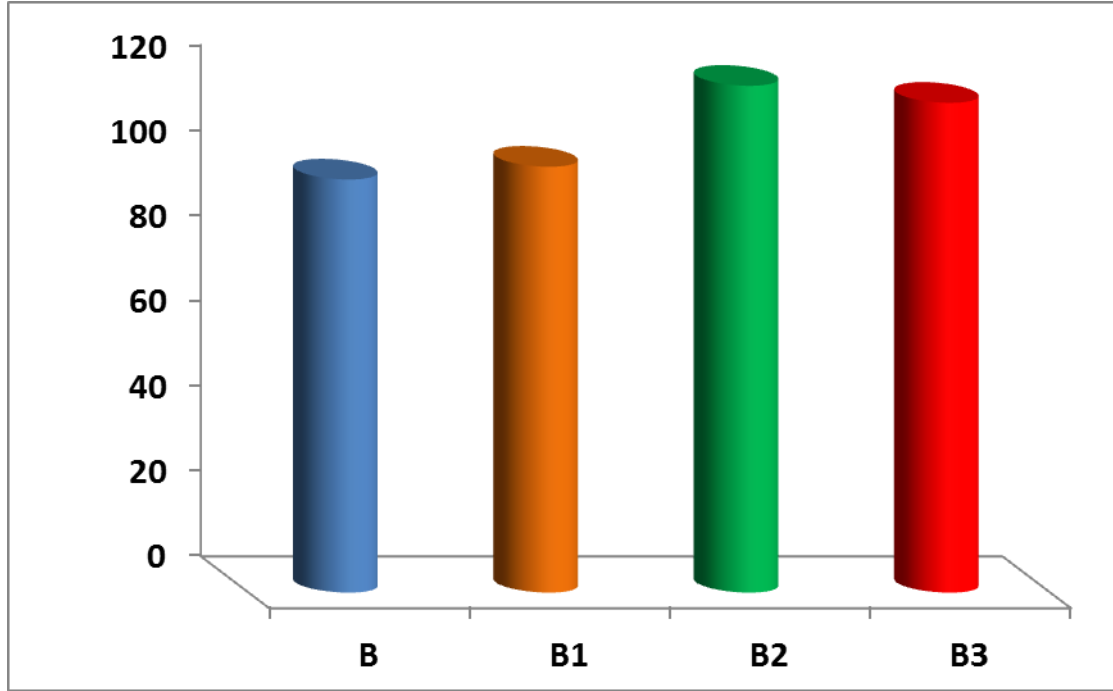
الشكل (4a) قيم الانضغاط لكل النماذج عند درجة حرارة الغرفة



الشكل (4b) يوضح حالة الفشل الحاصل في المادة لكل النماذج في اختبار الانضغاطية

#### 4- اختبار الصلادة HRR

أظهرت نتائج اختبار الصلادة روكيل [1] لكل النماذج بدرجة حرارة الغرفة ان الصلادة تحسنت مع التدعيم بألياف الزجاج ومسحوق الالومينا النانوي (علما ان الصلادة هي مقياس التشوه اللدن). لذا وجود مواد التقوية كالألياف والدقائق ترفع من قيمة الصلادة نتيجة الزيادة في مقاومة المتراكبات للتشوه اللدن، لأنه يعتمد على القوى التي تربط بين الجزيئات والذرات، فكلما كان الربط اقوى تزداد قيمة الصلادة [13,14] والشكل (5) يوضح قيم الصلادة لكل النماذج بدرجة حرارة الغرفة، ونلاحظ من الشكل ان الصلادة تزداد للمتراكبات الهجينة، وان قيم الصلادة ترتفع كلما زادت النسبة الوزنية للالومينا في المتراكب الهجين.



الشكل (5) يمثل قيم الصلادة لكل النماذج عند درجة حرارة الغرفة

• الخصائص الفيزيائية

1-الانتشارية

ان عملية الامتصاص تحدث في البوليمرات عند غمرها في المحاليل الكيميائية، فهي تخضع لقوانين فيك للانتشار (Fick's laws)[15]. فالمحلول الممتص يسبب انتفاخ للبوليمر ويؤدي إلى تغير في ابعاده وبالتالي على معدل انتشار المحلول داخله، لذلك اجري اختبار الانتشارية لمعرفة مدى تأثير المتراكبات المحضرة عند غمرها بالمحاليل الكيميائية (الامتصاص ينتج عنه التكرس الجزئي للأواصر بين مواد التقوية والمادة الاساس وتكوين فجوات مملوءة بهذه المحاليل وبالتالي الى زيادة الامتصاصية). تم حساب النسبة المئوية للريح بالوزن للنماذج المغمورة في المحلولين NaOH, HCl وبتراكيز مختلفة (0.5,1,1.5)N بالظروف الطبيعية بالاعتماد على العلاقة (5).

$$\text{Weight Gain} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

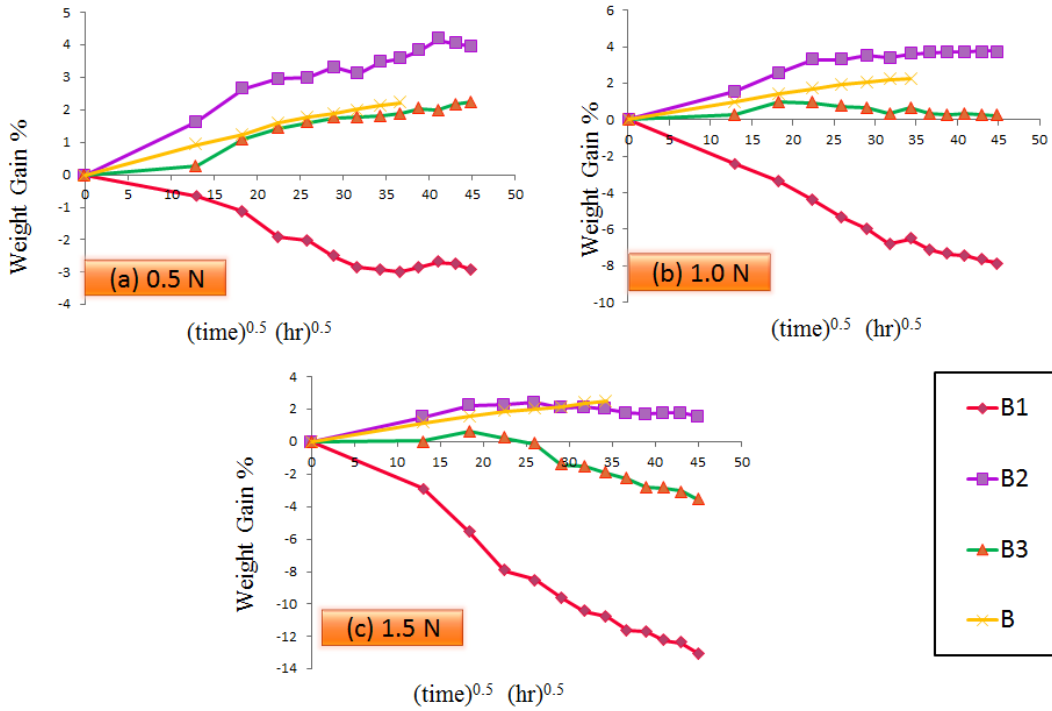
$M_1$  : كتلة العينة قبل الغمر مقاسه بـ (gm)،  $M_2$ : كتلة العينة بعد الغمر مقاسه بـ (gm).  
ثم يتم رسم العلاقة بين النسبة المئوية للريح بالوزن مع الجذر التربيعي للزمن.

والأشكال (6a,b,c,d,e,f) توضح العلاقة بين النسبة المئوية للرياح بالوزن مع الجذر التربيعي للزمن وبالاعتماد على المعادلة (6) [15] تم حساب معامل الانتشار (D) لجميع النماذج والمبينة قيمهم في الجدول (4).

$$D = \pi \left( \frac{Kb}{4M_{\infty}} \right)^2 \dots\dots\dots(6)$$

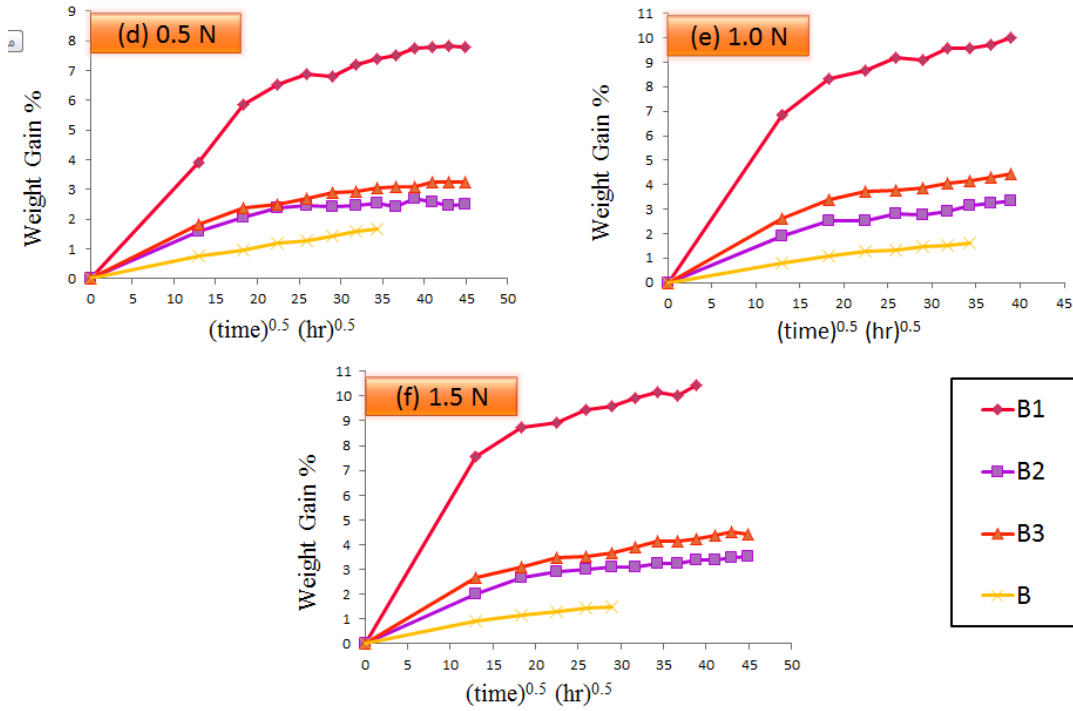
حيث ان

K: ميل الجزء الخطي من منحنى الريح بالوزن مع الجذر التربيعي للزمن، b: سمك النموذج (mm)،  $M_{\infty}$ : أعلى قيمة للرياح في الكتلة.



الشكل (6a,b,c) النسبة المئوية للرياح بالكتلة للنماذج المغمورة في المحلول الحامضي HCl مع الجذر التربيعي للزمن وبتراكيز مختلفة





الشكل (6d,e,f) النسبة المئوية للرياح بالكتلة للنماذج المغمورة في المحلول القاعدي NaOH مع الجذر التربيعي للزمن وبتراكيز مختلفة

جدول (4) معامل الانتشار للنماذج المغمورة في المحلول الحامضي HCl والقاعدي NaOH وبتراكيز مختلفة بالظروف الطبيعية

| Type of Materials | $D \times 10^{-12} \text{ (m}^2/\text{sec)}$ |              |              |              |              |              |
|-------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | HCl  |              |              | NaOH         |              |              |
|                   | (0.5 N)                                      | (1 N)        | (1.5 N)      | (0.5 N)      | (1 N)        | (1.5 N)      |
| <b>B</b>          | <b>1.103</b>                                 | <b>1.220</b> | <b>1.396</b> | <b>1.258</b> | <b>1.575</b> | <b>1.890</b> |
| <b>B1</b>         |  |              |              | <b>2.178</b> | <b>2.939</b> | <b>3.119</b> |
| <b>B2</b>         | <b>1.557</b>                                 | <b>1.726</b> | <b>3.369</b> | <b>2.205</b> | <b>2.326</b> | <b>2.471</b> |
| <b>B3</b>         | <b>0.678</b>                                 | <b>2.557</b> | <b>1.972</b> | <b>2.290</b> | <b>2.327</b> | <b>2.490</b> |

وقد لوحظ عند غمر النموذج B في المحلولين الحامضي والقاعدي ولكل التراكيز ان وزن النموذج يزداد مع زمن الغمر ويعود ذلك الى ان السائل على تماس مباشر مع المادة، لذا فان



الجزئيات تحاول المرور خلال طور البوليمر مبتدئة بملئ الفجوات الدقيقة تتضمن هذه العملية ابتعاد السلاسل البوليمرية عن بعضها مما يؤدي الى انتفاخ المادة (Swelling) نتيجة حدوث ظاهرة المجر البوليمري (يعني ان المحلول الممتص من قبل المادة سوف يتركز ضمن الطور الاساس (البوليمر) مؤديا الى تحطم الروابط البينية ونمو الفراغات بين جزئيات البوليمر وتكوين قنوات لنفوذ المحلول من خلالها بسبب انفصال الروابط البينية ) [16,17]. اما في حالة النماذج  $B1, B2, B3$  وبصورة عامة فقد وجد ان وزن النماذج يزداد مع زمن الغمر ولكن بشكل اكبر عند مقارنته مع النموذج B وذلك لتكسر الأواصر وتحطم الروابط البينية بين مواد التدعيم والمادة الاساس، وبذلك تكون هذه المناطق مراكز يتغلغل من خلالها المحلول الكيميائي داخل المادة المتراكبة الهجينة. لذلك نلاحظ ان قابلية امتصاص المادة المتراكبة الهجينة هي اكبر من قابلية امتصاص المادة الاساس غير المقواة.

ان تأثير المحلول الحامضي HCl وبكل التراكيز على النموذج B1 كان مهما جدا، حيث لوحظ ان وزن النموذج يقل مع مرور الوقت منذ البداية، وان المادة بدأت تتفكك في المحلول وبدأ المحلول يتغلغل وبشكل سريع داخل النموذج مما أدى الى تكوين ضغط كافي أدى الى تحطم الاواصر الكيميائية بين ذرات وجزئيات المادة الاساس وكذلك السطوح البينية بين الألياف والدقائق والمادة الأساس وحدثت تشققات وتصدع داخل المتراكب مما أدى الى انخفاض في قيمة الريح بالكتلة مع مرور الزمن فالأشكال (6a,b,c) توضح ذلك. وكلما زادت النسبة الوزنية للألومينا وقلت النسبة الوزنية لألياف الزجاج في المتراكبات زادت مقاومة المادة للوسط الحامضي. لذلك كل المتراكبات الهجينة تبدي مقاومة جيدة للوسط الحامضي وبكل التراكيز ما عدا B1، ويعزى ذلك الى ان المادة المتراكبة مدعمة بألياف الزجاج فقط.

أما بالنسبة للمحلول القاعدي NaOH نلاحظ ان وزن النماذج زاد مع زيادة زمن الغمر ولكل المتراكبات ولكن بمقدار اكبر عند مقارنته مع المتراكبات المغمورة في المحلول الحامضي وخاصة عند التراكيز العالية، وكذلك المتراكب B1 لم يتفكك (يتحلل) في المحلول القاعدي كما هو الحال في المحلول الحامضي، فالمتراكب B1 الذي يمثل المتراكب الهجين المقوى بألياف الزجاج اعطى اعلى امتصاصية في المحلول القاعدي وبكل التراكيز بينما المتراكب الهجين B2 يبدي مقاومة عالية للوسط القاعدي.

وبصورة عامة عند المقارنة بين سلوك النماذج في المحلولين الحامضي والقاعدي، فان المحول القاعدي NaOH أكثر تأثيرا من المحول الحامضي HCl على النماذج ويمكن ملاحظة ذلك من خلال الإمعان بالأشكال (6a,b,c) والأشكال (6d,e,f). والجدول (4-4)، إذ نلاحظ ان معامل الانتشار للنموذج غير المقواة والمقواة بالألياف والدقائق في الوسط القاعدي هي اعلى من قيم معامل الانتشار للنموذج غير المقواة والمقواة بالألياف والدقائق في الوسط الحامضي،

وكذلك نلاحظ ان المتراكبات الهجينة تبدي مقاومة عالية للوسط الحامضي HCl والوسط القاعدي NaOH وكلما زاد نسبة الألومينا في المتراكب الهجين زادت مقاومة المادة المتراكبة للأوساط الحامضية والقاعدية.

## 2- التوصيلية الحرارية

تم قياس التوصيلية الحرارية باستخدام قرص لي [18] لكل النماذج في الظروف الطبيعية بالاعتماد على المعادلتين (7) و(8).

$$K \left( \frac{T_B - T_A}{d_S} \right) = e \left[ T_A + \frac{2}{r} (d_A + \frac{1}{4} d_S) T_A + \frac{1}{2r} d_S T_B \right] \dots \dots (7)$$

$$I.V = \pi r^2 e (T_A + T_B) + 2\pi r e [d_A T_A + d_S \frac{1}{2} (T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C] \dots \dots (8)$$

حيث إن :

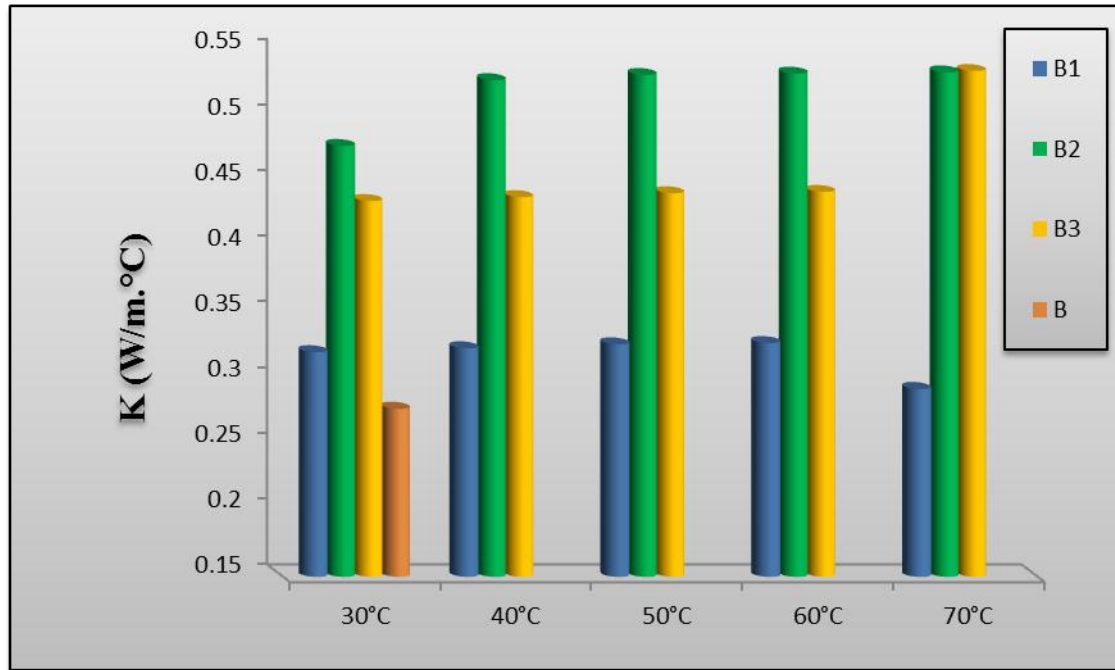
$e$ : تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )،  
 $(T_A, T_B, T_C)$ : تمثل درجة حرارة الأقرص النحاسية ( $A, B, C$ ) على التوالي،  $d$ : سمك الأقرص النحاسية والنموذج  $s$  ( $mm$ )،  $r$ : نصف قطر الأقرص النحاسية والنموذج  $s$  ( $mm$ )،  
 $I$ : التيار المار ( $Amp$ )،  $V$ : الفولتية المجهزة ( $Vol$ t).

ومن خلال النتائج المستحصلة والموضحة في الشكل (7) وجد بان تدعيم الخليط البوليمري يؤدي الى زيادة التوصيلية الحرارية. فقيمة  $K$  للنموذج غير المقوى هي  $0.278 W/m \cdot ^\circ C$  عند درجة حرارة الغرفة في حين قيمتها تغيرت مع تقوية الخليط البوليمري بالألياف والدقائق فوصلت الى القيمة  $(0.321, 0.478, 0.436) W/m \cdot ^\circ C$  للمتراكبات ( $B1, B2, B3$ ) على التوالي بالظروف الاعتيادية، ويعود حقيقة الى ان الياف الزجاج ومسحوق الالومينا تمتلكان خصائص حرارية أعلى من الخصائص الحرارية للخليط البوليمري غير المقوى [8,2] (اعتمادا على نوع التدعيم وقابلية التوصيل الحراري).

إن وجود الالومينا النانوي في المتراكب الهجين  $B2, B3$  يعمل على تقليل درجة التشابك بين السلاسل الجزئية التي تعطىها حرية أكبر في الحركة وبالتالي تزداد قابليتها على الحركة الاهتزازية مما يؤدي الى زيادة التوصيلية الحرارية للمتراكب. بالإضافة إلى ذلك فإنه يعمل على تراص مكونات المادة المتراكبة وتقليل عدد الفراغات التي يمكن أن تتكون خلال تصنيع المادة المتراكبة [19] وبالتالي زيادة التوصيلية الحرارية. كذلك لوحظ أن زيادة نسبة مسحوق الالومينا في المتراكب الهجين يؤدي إلى زيادة التوصيلية الحرارية وهذا ما أكده K.Devendra, (T.Rangaswamy) [20]. عند دراستهما تأثير نسبة مسحوق الالومينا على التوصيلية الحرارية للمتراكبات.

أما تأثير تغير درجة الحرارة على قيمة  $K$  فهي تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة لكل النماذج المقواة، وتعزى الزيادة في قيمة  $K$  إلى أن جزيئات المادة دائمة الحركة وتزداد هذه الحركة إذا ارتفعت درجة الحرارة، لأن الطاقة الداخلية للنماذج تزداد وبالتالي تؤدي إلى زيادة سعة اهتزاز هذه الجزيئات حول مواضع استقرارها فتصطدم بالجزيئات المجاورة فتجعلها تهتز بسعة أكبر مما كانت عليه سابقاً.

وبصورة عامة من الملاحظ أن قيم التوصيلية الحرارية للنماذج هي لا تتعدى  $0.535 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  التي تعكس المقاومة العالية لهذه المترابكات للانتقال الحراري مما يعني ملائمتها للاستخدام كعوازل حرارية [17,21]. كذلك نلاحظ من الشكل (7) أن قيمة  $K$  للنموذج  $B1$  قد انخفضت عند درجة حرارة  $70^\circ\text{C}$ ، وقد يعود هذا الانخفاض في قيمة  $K$  إلى احتمالية حدوث تغير في خواص المادة المترابكة الهجينة (بعد عبورها درجة الانتقال الزجاجي).



الشكل (7) قيم التوصيلية الحرارية للمترابكات الهجينة بدرجات حرارية مختلفة للمدى  $30-70^\circ\text{C}$

### الاستنتاجات (Conclusions)

- 1- بالإمكان استخدام فحص التجانس لتحديد أفضل نسبة خلط بشكل دقيق دون اللجوء إلى اختبار الشد (باعتقادي هي أدق في تحديد أفضل نسبة خلط للخليط البوليمري).

- 2- تحسين قيم معامل يونك كلما زادت النسبة الوزنية للألومينا وكذلك انخفاض قيم معامل المرونة مع ارتفاع درجة الحرارة.
- 3- المتراكبات المقواة بألياف الزجاج أعطت أعلى قيمة لمقاومة الصدمة وازدادت كلما ارتفعت درجة الحرارة ضمن المدى  $(25-45)^{\circ}\text{C}$ .
- 4- كلما زادت النسبة المئوية لمسحوق الألومينا النانوي في المتراكب الهجين زادت قيم الانضغاطية وقيم الصلادة للمتراكب.
- 5- لا يصلح المتراكب الهجين المقواة بألياف الزجاج للاستخدام في وسط حامضي.
- 6- التوصيلية الحرارية للمتراكبات الهجينة زادت مع التدعيم بالألياف ومسحوق الألومينا النانوي، وان قيمها لا تتعدى  $0.535 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  مما يعني ملائمتها للاستخدام كعوازل.

## References :

## المصادر :

- [1] K. K. Chawla "Composites materials", Springer-Verlag, New York Inc.,(1987).
- [2] رولا عبدالخضر عباس "دراسة الخصائص الحرارية والميكانيكية لمادة النوفلاك ومتراكبها " رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية،(2001).
- [3] نصري صالح محمد، " السلوك الميكانيكي للمواد المركبة البوليمرية ومركباتها الهجينة المدعمة المدعمة بحبيبات (النحاس - الكربون - الكرافيت)"، الجامعة التكنولوجية، (2007).
- [4] هبة جمعة جعفر، " تأثير التدعيم بالألياف على خواص التخميد لمتراكبات بوليمرية "، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية،(2010).
- [5] بشرى حسني موسى" دراسة بعض الخواص الميكانيكية وتأثيرات الغمر بالمحاليل لخليط من الايبوكسي والبولي استر غير المشبع المدعم بألياف الزجاج" مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29، العدد 10،(2011).
- [6] Jianing Gao " The Mechanical Properties of Epoxy Composites Filled with Rubbery Copolymer Grafted SiO<sub>2</sub>"No.4,PP.( 187-210)2012.
- [7] Park S-J , Park W-B & Lee J-R, " Roles of Unsaturated Polyester in the Epoxy Matrix System", polymer Journal , Vol. 31 , No. 1, pp (28-31),1999.
- [8] William.D.Callister, "Materials science & Engineering an Introduction", Joan Wiley& Sons, Inc, 7th Ed, (2007).
- [9] غسان سعدالله عبد القادر،،"دراسة التجانس والخصائص الميكانيكية لمتراكبة ذات اساس سبيكة (Al-Mn)"، رسالة ماجستير، كلية التربية، جامعة الموصل (2012).
- [10] د.علي حسن رسول ود.بلقيس محمد ضياء ود.سلام حسين علي، "تأثير درجة الحرارة والمحاليل الكيميائية على قيم معامل المرونة لمواد متراكبة هجينة" مجلة الهندسة والتكنولوجيا،

المجلد 28، العدد 13، ص 693، (2010)..

- [11] H.Unal, "Influence of Filler Addition on the Mechanical Properties of Nylon-6 Polymer " ,Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol.23 , No.5, pp.(461-469) , (2004).
- [12] Crawford R.J. , " Plastic Engineering", 2nd edition, Pergamum Press, New York, (1987).
- [13] Dr.najat J.Saleh,Samir Nassaf Mustafa,"Astudy of Mechanical Thermal and Physical Properties of polymer Blend with Iraq Kaolin filler " Eng & Tech, Vol.29,No.11, pp.(2114-2131), (2011).
- [14] هدى جبار عبد الحسين "مقاومة البلى لخلائط بوليمرية متصلدة بالحرارة " رسالة ماجستير، علوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، (2008).
- [15] Husnia H. Thanon" Investigation of physical and thermal properties for novolac hybrid composites". Ph.D. Thesis, Applied Science Department, Technology University of Baghdad, (2006).
- [16] A.Apicella,et al.,"Composites",Vol.13,No.4,p.p(406-410),(1982).
- [17] بشرى حسني موسى " دراسة خاصية الانتشارية والتوصيلية الحرارية UPE/NBR مدعم بمسحوق سراميكي"، مجلة ديالى للعلوم الصرفة،المجلد 29، العدد 4،ص(148-136)،(2010).
- [18] ببلي ف. ترجمة الدكتور حسين باقر رحمة الله، "مبادئ هندسة المواد" جامعة البصرة،(1985).
- [19] S.M Lulkarni,D.Anura dha,C.R.L. Murthy and Kishore, (2002), "Analysis of Filler – Fiber Interaction NDE" , Bulletin of Materials cience ,Vol 25,No.2, p.p(137-140).
- [20] K.Devendra, T.Rangaswamy,(2012) "Evaluation of Thermal Properties of E-Glass/ Epoxy Composites Filled By Different Filler Materials" International Journal Of Computational Engineering Research (ijceronline.com) Vol. 2, Issue.5,p.p(1709-1714).
- [21] Piorkowska E. & Galeski A., "International Polymers Science & Technology ", V.12, No.10 ,PP.(102-107) ,(1985).