

دراسة تأثير مسحوق الزنك والسليكون النانوي على بعض خصائص الميكانيكية للخليط البوليمري

أ. د. حسنية هادي ذنون البياتي ، عبد الهادي نقي محمد علي
جامعة كركوك / كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم الفيزياء

الخلاصة:

تم تحضير مواد المتراكبة (A1 , A2 , A3) مكونة من الايبوكسي (Epoxy) نوع (سيكادور - 52) المدعم بمسحوق السليكا النانوي (SiO_2) بحجم حبيبي (20 - 30) nm ومسحوق الزنك النانوي (ZnO) بحجم حبيبي (20 - 30) nm وكذلك ألياف الكربون المحاكة بشكل حصيرة (C.F) بكسر حجمي (20%) .

كما اشتملت الدراسة اجراء بعض الاختبارات الميكانيكية المتمثلة بالشد والصلادة والانضغاطية والانحناء. أظهرت نتائج الدراسة بان تدعيم الايبوكسي بمسحوق السليكا والزنك النانوي وألياف الكربون قد حسن أغلب الخصائص الميكانيكية للمتراكبات A1 , A2 , A3 بالظروف الطبيعية. كما ان زيادة الكسر الحجمي للزنك قد أدى الى تحسين هذه الخصائص ، فقد وجد بان هنالك زيادة ملحوظة للمادة المتراكبة A2 لكل من معامل المرونة (باختبار الشد والانحناء) والانضغاطية والصلادة والتي كانت قيمها (101 , 57.61 , 937.92 , 291.52) على التوالي . وعند وجود المتراكبات في محيط ساخن وبدرجات حرارية ضمن المدى (20 - 60) درجة مئوية ، لوحظ انخفاضاً في قيم معامل المرونة والصلادة .
كلمات مفتاحية : المواد المتراكبة ، راتنج الايبوكسي ، الياف الكربون ، خواص الميكانيكية .

Abstract :

The composite materials, A3, A1, A2, consisting of epoxy (Sicador-52) reinforced with silica nano powder (SiO_2) with a granular size of (20-30) nm and zinc nano powder (ZnO) with a granular size of (20-30) nm were prepared. as well as woven carbon fiber (C. F) with a volume fraction (20%)

The study also included conducting some mechanical tests represented by tensile, hardness, compressibility and bending . The results of the study proved that the reinforcement of epoxy with silica powder, nano-zinc and carbon fibers improved most of the mechanical properties of composites A1, A2, A3 under normal conditions. Also, increasing the volume fraction of zinc has led to the improvement of these properties, it was found that there is a significant increase in the composite material A2 for each of the modulus of elasticity (by tensile and Bending test), compressibility and hardness, whose values were (2914.52, 937.92, 57.61, 101) respectively.

When the compounds were present in a hot environment with temperatures with in (20 - 60) $^{\circ}$ C, a decrease in the modulus of elasticity and hardness was observed .

Key Words : Composite material , Epoxy , Carbon fiber , mechanical properties .

◆ قامت الباحثة رنا في عام 2017 بدراسة بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية (الصدمة، الصلادة، متانة الانحناء، معامل التوصيل الحراري) وكذلك معامل الانتشار للماء في المترابك خليط من الأيوكسي والبولي يوريثان مدعم بدقائق السليكا النانوية بكسر وزني (2%) استخدمت تقنية القولبة اليدوية في تحضير النماذج. أوضحت النتائج أن متانة الصدمة تزداد بعد الغمر بالماء في حين تقل متانة الانحناء والصلادة والتوصيل الحراري [3].

◆ قامت الباحثة سهامة وآخرون في عام 2018 في هذه الدراسة بتحضير مجموعتين من المواد المترابكة النانوية بطريقة الصب اليدوي (Hand Lay-up) تتكون المجموعة الأولى من راتنج البولي استر غير المشبع مدعم بدقائق اوكسيد الزركونيوم النانوي (ZrO_2) وذات معدل حجم حبيبي (47.23nm) والمجموعة الثانية تتألف من راتنج البولي استر غير المشبع (UPE) مدعمة بالدقائق الهجينة النانوية من اوكسيد الزركونيوم وأوكسيد التيتانيوم وبنسبة ($70\%Y_2O_3 + 30\%ZrO_2$) وبمعدل حجم حبيبي (83.98nm) تضمنت الدراسة أيضاً تأثير الكسر الحجمي المختار (3% , 2.5% , 2% , 1.5% , 1% , 0.5%) لكلا مادتي التقوية على خواص الصلادة والخصائص الفيزيائية والحرارية (التوصيلية الحرارية، الانتشارية الحرارية، لكل النماذج أظهرت النتائج أن قيم كل من الصلادة والحرارة النوعية تزداد كلما ازداد محتوى دقائق التقوية في المترابك ولكلا المجموعتين. إما قيم التوصيلية الحرارية، الانتشارية الحرارية فتتخفف كلما ازداد محتوى دقائق التقوية وان راتنج البولي استر المدعم بالدقائق الهجينة النانوية يمتلك خصائص أعلى بالمقارنة مع نظيرتها من العينات المدعمة بدقائق الزركونيوم النانوي كذلك أن البنية التشكيلية الدقيقة لسطح الكسر تظهر تشكلاً متجانساً

المقدمة :

تعتبر المواد المترابكة ذات الاساس بوليمري من المواد الحديثة الأكثر استخداماً في حياتنا اليومية، نظراً لكونها تحمل صفات مميزة تؤهلها لتكون مادة أساسية في كثير من الصناعات الحديثة، التي تحتاج الى مواد لها مزيج من الخواص غير الاعتيادية والتي لا يمكن وجودها في المواد التقليدية مثل مواد المعادن والسيراميك والمواد البوليميرية، فان صنع مواد ذات مواصفات خاصة تلبي احتياجات تصميمية معينة اثار اهتمام المهندسين لسنوات عديدة فمثلاً مهندسو الطائرات يبحثون باستمرار عن تراكيب مواد كلها لها كثافة منخفضة ولكنها قوية وصلبة ومقاومة للصدمات والقشط وليس من السهولة تأكلها وهذا مزيج من الصفات التي لا يمكن جمعها بسهولة، فمثلاً غالباً ما يكون المواد ذات القوة لها كثافة عالية نسبياً وزيادة القوة والصلابة تؤدي الى انخفاض في قوة الصدمة [1].

واكتسبت المواد المترابكة المقواة بالالياف الكثير من الاهتمام وقد اثبتت نجاحاً في التطبيقات الفضائية، النقل، الصناعة المدنية والعسكرية، الصناعات الزراعية، الصناعات الطبية، السيارات الطائرات والصواريخ والاستخدامات البحرية [2].

وبما ان المواد المترابكة انتشرت بشكل واسع اخذت دوراً مهماً فلا بد من ان تجرى عليها بعض التغييرات والتطوير وبالاهم من ناحية التدعيم لاستخدامها في الصناعات التي يفشل استخدام المواد المترابكة الاحادية التدعيم لذلك كانت من الضروري العمل على انتاج مواد تحتوي على أكثر من مادة تدعيم تمكنها من تحسين خواص المنتج النهائي .

هناك العديد من الدراسات اهتمت بالاونة الاخيرة بتحضير مترابكات مقواة بمواد تقوية مختلفة منها :

● **الياف الكربون (Carbon Fibers)** تم استخدام الياف الكربون المحاكاة بشكل حصيرة (Woven Roven) نوع (Carbon) وبكثافة (1.8 g/cm^3) وهو صيني المنشأ.

● **مسحوق السليكا (SiO_2) (Silicon Dioxide Nano Powder)** تم استخدام مسحوق اوكسيد السليكا (SiO_2) الذي يعد من الاكاسيد السيراميكية بحجم حبيبي نانوي مقداره (20-30) nm ونقاوة (99.5%) صيني المنشأ وبكثافة مقداره (2.25 gm/m^3) كمادة التقوية للراتنج البوليمري المحضر.

● **مسحوق اوكسيد الزنك (ZnO) (Zinc Oxide Nano Powder)** تم استخدام مسحوق اوكسيد الزنك بحجم حبيبي نانوي (20-30) nm ونقاوة (99.8%) صيني المنشأ وبكثافة مقدارها (5.06 gm/cm^3) عند درجة 20°C وعديم الرائحة، ذات اللون الابيض كمادة تقوية. ويصنف اوكسيد الزنك من اشباه الموصلات ضمن المجموعة (II-VI) بين اشباه الموصلات الايونية والتساهمية.

2 - تحضير النماذج

تم تحضير المواد المترابطة ذات الاساس البوليمري من الايبوكسي المدعم بالياف الكاربون ومواد التقوية مسحوق الزنك النانوي ومسحوق السليكا النانوي ذات الحجم الحبيبي (20-30)nm لكليهما وبنسب مختلفة، بكسر حجمي 20% لجميع النماذج المحضرة (A1 , A2 , A3) والجدول (1) يوضح نسب مواد التقوية الداخلة في تكوين المترابطة المحضرة.

لكلا المجموعتين المترابطة، مما يدل على التوافق الجيد بين المادة الرابطة ودقائق التقوية النانوية. [4]

◆ درس الباحثان حسنية ونور الدين 2019 الخصائص الميكانيكية (الشد، والانحناء، والصدمة، والانضغاط، والصلادة)، والفيزيائية (الامتصاص، والتوصيلية الحرارية) لمترابطة من خليط الأيبوكسي والبولي أستر غير مشبع مقواة بألياف الزجاج ومسحوق الألومينا النانوي وعلى ضوء النتائج تبين إن تقوية الخليط بألياف الزجاج ومسحوق الألومينا النانوي قد حسن الخصائص الميكانيكية للمترابطة بالظروف الطبيعية وعند وجود المترابطة في جو ساخن لوحظ انخفاض في قيم معامل يونك وزيادة في مقاومة الصدمة زادت مع زيادة درجة الحرارة، أما قيم معامل الانتشارية للمترابطة الهجينة المغمورة في المحلول HCL أقل من قيم معامل الانتشارية للعينات المغمورة في NaOH، ووجد أيضاً بأن التقوية بألياف الزجاج والألومينا يؤدي إلى زيادة التوصيلية الحرارية وقيم تعتمد على نوع ونسب مواد التقوية المضافة إلى الخليط البوليمري، وعند وجود هذا المترابطة في جو ساخن ووجد بأن التوصيلية الحرارية تزداد مع زيادة درجة الحرارة [5].

1 - المواد المستخدمة في البحث

● راتنج الايبوكسي (Epoxy Resin) تم استخدام راتنج الايبوكسي من نوع سيكادور - 52 المنتج من شركة (Sika) التركية. وهو راتنج منخضة للزوجة، وكثافة 1.1 g/cm^3 عند درجة حرارة (20°C). ويتحول هذا الراتنج إلى مادة بوليمرية صلبة بإضافة المصلد إلى الراتنج بنسبة (2:1)، ويحدث التفاعل بينهما عند درجة حرارة الغرفة.

الجدول (1) يوضح نسب ومكونات المواد في المتراكبات المحضرة

Symbols of Composite	Percentage of each material in the composite
A	Epoxy
A1	Epoxy 80% + (Carbon 5% + Nano SiO ₂ 15%)
A2	Epoxy 80% + (Carbon 5% + Nano ZnO 15%)
A3	Epoxy 80% + (Carbon 5% + Nano SiO ₂ + 7.5% Nano ZnO 7.5%)

L_0 : الطول الابتدائي (mm)

إن مقاومة الشد لمنتجات تكون منخفضة جدا لانها من المواد الهشة وهذا ما نراه في سلوك النموذج (A) بشكل (1) وبعد إضافة الدقائق النانوية مع ألياف الكربون إلى راتنج الايبوكسي تحسنت مقاومتها للشد بصورة كبيرة حيث ان الجزء الاعظم من الاجهاد المسلط تتحمله الالياف و الدقائق مما يرفع مقاومة الشد للمادة وكما نلاحظ ذلك في سلوك النماذج (A1 , A2 , A3) ، بالشكل (1)، لان الالياف تتميز في مطيليتها المنخفضة [7] كما في الجدول (2) يوضح قيم معامل المرونة وقوة الشد ومتانة الكسر والمطيلية لمتراكبات المحضرة ونلاحظ اختلاف هذه القيم من نموذج الى الاخر حسب نوع مواد التقوية ونسبها في المادة المتراكبة المحضرة و المتراكبات (A1 , A2 , A3) لديها قوة شد أفضل بالمقارنة مع النموذج (A) وذلك لوجود ألياف الكربون والذي يعطي قوة وصلابة للمترابكات المحضرة، كذلك اظهرت نتائج اختبار الشد للنموذج (A2) المادة المتراكبة المدعمة بمسحوق الزنك وألياف الكربون لها مقاومة شد ومعامل المرونة أكبر من النموذج (A3) المدعمة بمسحوق الزنك ومسحوق السليكا وألياف الكربون وكذلك من النموذج (A1) المدعم بمسحوق السليكا وألياف الكربون. إن صفة المتانة التي تمتاز بها المواد المتراكبة المدعمة بمسحوق الزنك وألياف الكربون والمادة المتراكبة المدعمة بمسحوق

النتائج والمناقشة

1 - اختبار الشد :

يعد اختبار الشد من اكثر الاختبارات شيوعا في الاستخدام ، ومن أسهل الاختبارات الميكانيكية عند اجراء الفحص، ومن أسهلها في تحديد النتائج ، وان منحنى الإجهاد - الانفعال مهم بدراسة السلوك الميكانيكي للمادة وفي تحديد المتانة (Toughness) والمقاومة (resistance) ومعامل المرونة (Modulus of elasticity) وأقصى جهد تتحمله المادة وغيرها من المعلومات في التطبيقات الهندسية المختلفة [6] . وقد تم حساب معامل يونك باستخدام المعادلة الاتية :-

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (1)}$$

إذ ان :

E : معامل المرونة (N/m^2) وهو يمثل ميل الجزء المستقيم من المنحني (A) .

σ : الاجهاد المسلط على المادة .

ϵ : الانفعال

أما مطيلية المادة (Ductility) فتعطى بالعلاقة التالية:

$$\text{Ductility} = \frac{\Delta L}{L_0} \text{ (2)}$$

إذ ان :

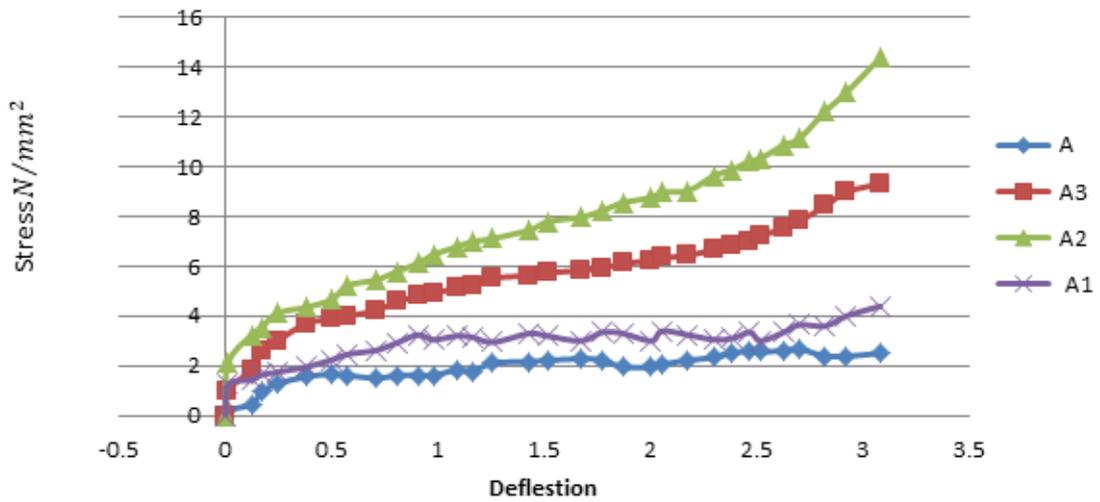
ΔL : التغير في الطول (mm) .

السليكا وألياف الكربون يعود إلى أن مسحوق الزنك ومرونة عاليتين بالإضافة إلى توزيعها المتجانس داخل ومسحوق السليكا وألياف الكربون لهم مقاومة شد الايوكسي مما يؤدي الى زيادة مقاومة الشد والمتانة. [8]

الجدول (2) يوضح قيم الخصائص الميكانيكية لكل النماذج المحضرة

Symbols of composite	E (MPa)	T . S (MPa)	F. S (MPa)	Ductility
A	69.35	9.81	9.22	0.288
A1	1552.75	12.64	11.92	0.244
A2	2914.52	20.233	18.984	0.128
A3	2341.67	14.368	14.121	0.225

أما الشكل (1) يوضح العلاقة بين قوة الشد والانحراف لكل النماذج بدرجة حرارة المختبر



الشكل (1) العلاقة بين قوة الشد والانحراف لكل النماذج بدرجة حرارة المختبر

لتعيين صلادة المواد واكثرها شيوعاً صلادة برينل و صلادة روكويل . لقد تم إجراء اختبار الصلادة على النماذج المستخدمة في البحث وقياس صلادة برينل باستخدام حمل (1.5 KN) وقطر كرة برينل (10mm) ومدة غرز (30 Sec) وبالاعتماد على المعادلة (3) تم

2 - اختبار الصلادة

ان الصلادة تعني مقياساً للتشوه اللدن الموضعي الذي تعاني منه المادة تحت تأثير الاجهاد الخارجي. [9] وتعرف الصلادة أيضاً على انها مقاومة المادة للخدش او النقر او الاختراق وهناك عدة مقاييس عالمية مختلفة

حيث أن :

H.Br : صلادة برينل

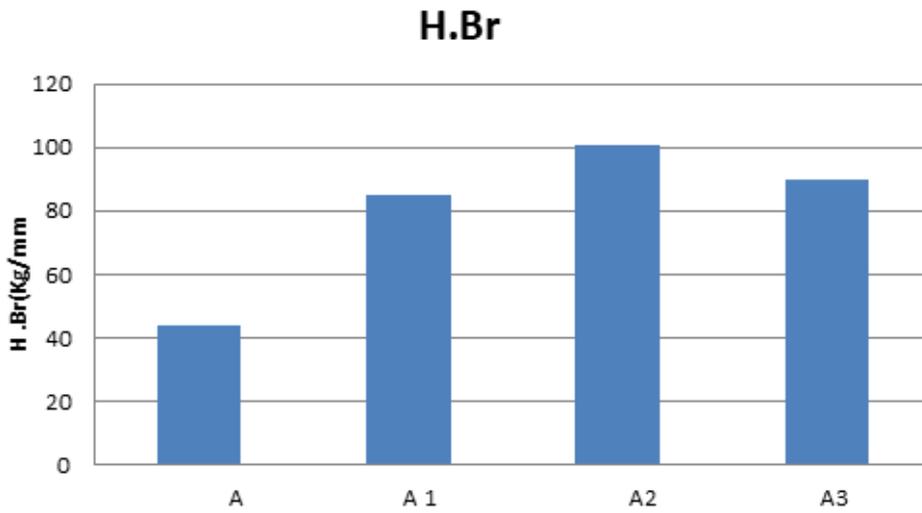
F: الحمل المسلط (N)

D : قطر أداة الغرز (m)

d : قطر الأثر على النموذج . (m)

حساب قيم الصلادة عند درجة حرارة المختبر لكل النماذج والشكل (2) يبين قيم صلادة برينل بدرجة حرارة المختبر لكل النماذج [10].

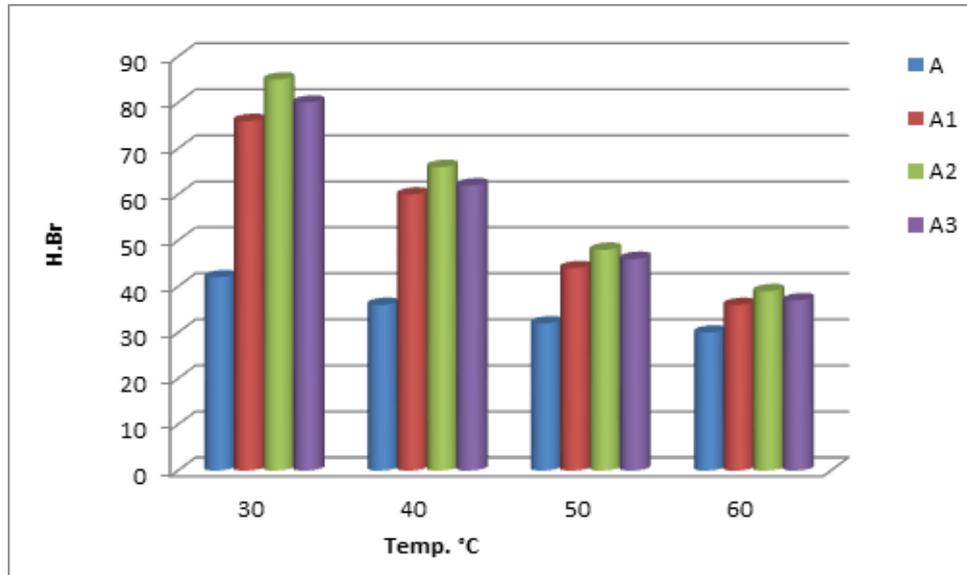
$$H. Br = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{-----(3)}$$



الشكل (2) صلادة المواد المتراكبة المحضرة بدرجة حرارة المختبر لكل النماذج

ومقاومتها للتشوه اللدن لأنه يعتمد على القوى التي تربط بين الذرات والجزيئات فكلما كان الربط قوي إزدادت قوة الصلادة [11]. أما الشكل (3) فهو يبين تأثير درجة الحرارة على صلادة النماذج فعند تعرض النماذج لدرجات حرارية ضمن المدى (30-60) درجة مئوية ، فإن قيم الصلادة انخفضت وبشكل كبير لان زيادة درجة الحرارة يؤدي الى زيادة ليونة المادة بسبب ارتخاء الاواصر بينها مما يؤدي الى تقليل مقاومتها للخدش والغرز . [12]

وأظهرت النتائج إن صلادة المواد المتراكبة (A1, A2, A3) أعلى من صلادة النموذج (A) وذلك بسبب وجود ألياف الكربون ومسحوق السليكا ومسحوق الزنك وتوزيعها في أرضية المادة الاساس. وأن المتراكب المقواة بألياف الكربون ودقائق الزنك (A2) صلادته أعلى من صلادة المتراكب (A3) المتكون من ألياف الكربون ودقائق الزنك ومسحوق السليكا وكذلك من المتراكب (A1) المكون من ألياف الكربون والسليكا لذا فإن لنوع الدقائق المضافة الى مادة الاساس تأثير كبير في صلادة مادة المتراكبة المحضرة. إن وجود مواد التقوية الألياف والدقائق معاً يرفع من قيمة الصلادة



الشكل (3) العلاقة بين صلادة برينل ودرجات الحرارة المختلفة لكل النماذج ضمن المدى (30-60) درجة مئوية

3 - اختبار الانضغاطية :

يمثل مدى تحمل المادة عند تعرضها للأحمال الساكنة المسلطة عليها قبل ان تتحطم أو تنكسر وتدعى هذه الأحمال بأحمال الانضغاط، وتقاس عادة في وحدات (MPa)، والقيم العالية تشير الى كبر قوى التماسك بين جزيئات المادة [13]. ويمكن تعريف مقاومة الانضغاط بأنها أعظم قيمة للإجهاد المسلط الذي تتحمله المادة الجاسئة تحت الضغط العمودي ومقاومة الانضغاط تعطى في العلاقة الآتية: [14]

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{-----} (4)$$

اذان «:

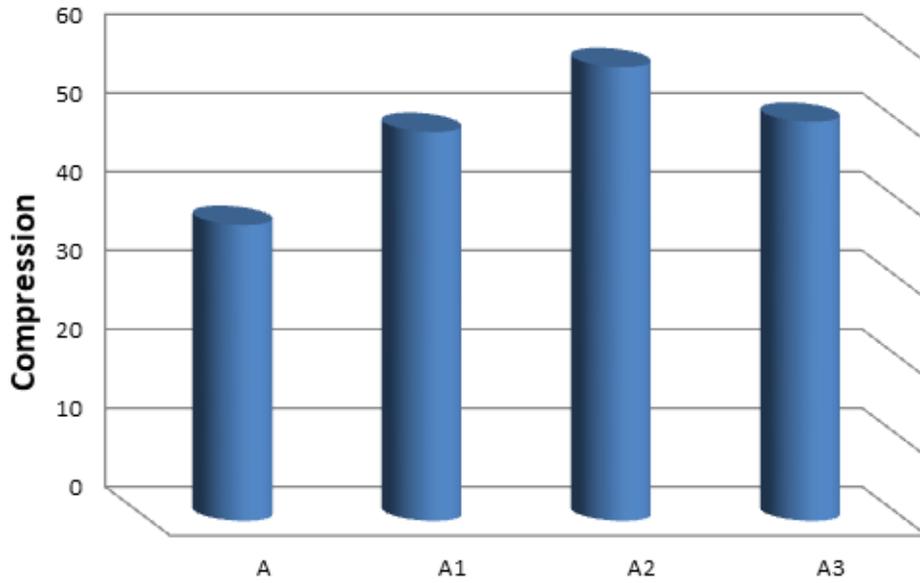
σ : مقاومة الانضغاط

F : الحمل المسلط (N)

A : مساحة المقطع العرضي (mm^2).

وأظهرت النتائج أن قيم مقاومة الانضغاطية للنماذج

(A1 , A2 , A3) المدعمة بالالياف والدقائق تمتلك مقاومة انضغاط أعلى من تلك التي بدون تدعيم (A)، والسبب أن الالياف تتحمل معظم الحمل المسلط على المادة [15] بالإضافة إلى ذلك وجود دقائق الزنك والسليكا في المادة ساعدت في زيادة مقاومة الحمل الانضغاطي لان الالياف تتحمل معظم الحمل المسلط على المادة فضلا عن وجود الدقائق مع الالياف فهي تصبح كمعوقات لنمو الشقوق والصدوع و حدوث الفشل. والشكل (4) و الجدول (3) يوضح قيم مقاومة الانضغاط للنماذج بدرجات الحرارة المختبر ونلاحظ أن قيم مقاومة الانضغاط للعينات المدعمة بدقائق الزنك وألياف الكربون (A2) هي أعلى من العينات المدعمة بدقائق الزنك ودقائق السليكا وألياف الكربون (A3) ومن العينات المدعمة بدقائق السليكا وألياف الكربون (A1)، لان الاجهاد يتوزع على مواد التقوية ومادة الاساس. [16]



الشكل (4) مقاومة الانضغاط المواد المترابطة المحضرة لكل النماذج بدرجة حرارة المختبر

الجدول (3) قيم مقاومة الانضغاط بدرجة حرارة المختبر لكافة النماذج

Symbols of Composite	Compression Strength (MPa)
A	37.545
A1	49.383
A2	57.619
A3	50.685

4 - اختبار الانحناء

$$E = \left\{ \left(\frac{M}{S} \right) \left(\frac{gL^3}{48I} \right) \right\} \text{----- (5)}$$

اذ ان :

M : الكتلة المسلطة على النموذج

g : التعجيل الارضي (m/s²)

L : المسافة بين نقطتي التحميل الارتكاز (m) ،

M/ S : يمثل الميل (Slope) المحسوب من منحنى

العلاقة بين الكتلة - والانحراف (Kg/ m)

S : مقدار الانحراف الناجم عن الحمل المسلط (m)

يعد اختبار الانحناء الهدف الرئيسي لمعرفة السلوك الخطي للمادة الواقعة تحت تأثير الحمل المسلط في الاتجاه العمودي على المستوي السطحي للنموذج ، ونلاحظ من الشكل (5) الذي يبين ان الانفعال يتناسب طرديا مع الاجهاد المسلط عليه ضمن حدود المرونة للعينات المحضرة بدرجة حرارة الغرفة وتم حساب معامل يونك من هذا الاختبار لجميع النماذج بالاعتماد على المعادلتين (5) ، (6) .

في درجة حرارة المختبر. نلاحظ أن العينات المدعمة بدقائق الزنك وألياف الكربون (A2) هي أعلى من العينات المدعمة بدقائق الزنك ودقائق السليكا وألياف الكربون (A3) ومن العينات المدعمة بدقائق السليكا وألياف الكربون (A1). حيث أن مبدأ التدعيم بالالياف والدقائق يجعل معامل المرونة للمادة أفضل وهذا ما أيده الباحثان (Panda and Sharma) [12].

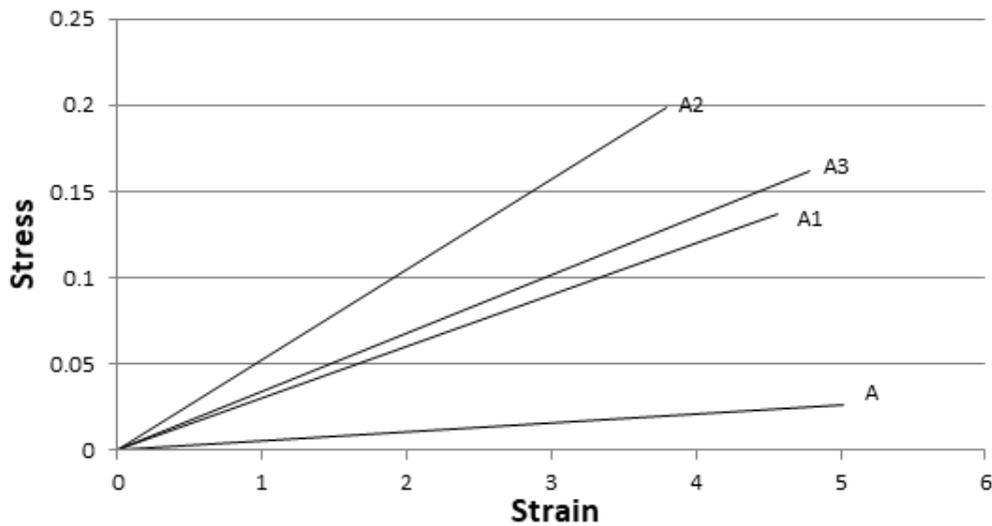
$$I = \frac{bd^3}{12} \quad (6)$$

اذان :

b : سمك النموذج (m)،

d : عرض النموذج (m)،

I : عزم الانحناء الهندسي والذي يعطى بالمعادلة .
والجدول (4) يمثل قيم معامل يونك لكل النماذج



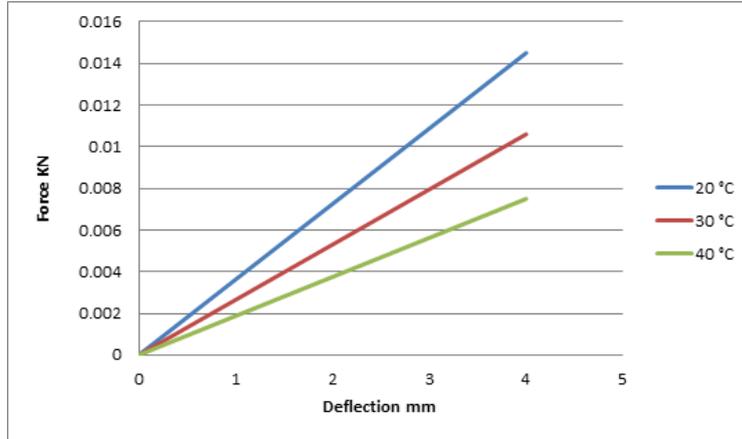
الشكل (5) يوضح منحنى الاجهاد - الانفعال للنماذج بدرجة حرارة الغرفة

جدول (4) قيم معامل المرونة لكل النماذج بدرجة حرارة المختبر

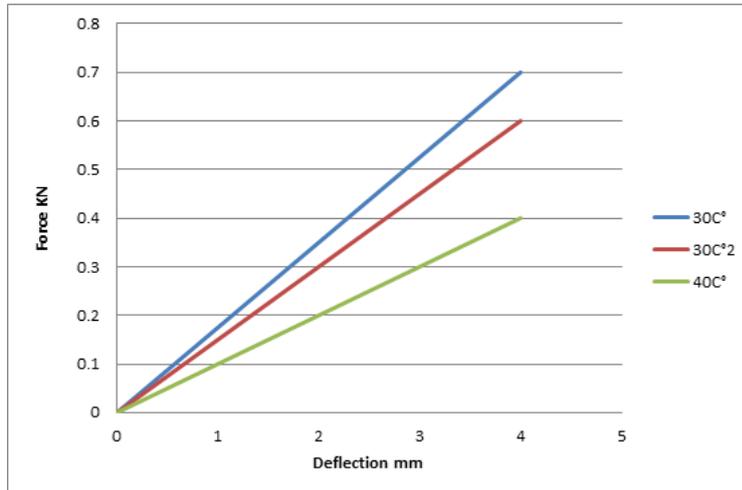
Symbols of composites	Young s modulus(GPa)
A	62.155
A1	520.22
A2	937.92
A3	752.35

درجة الحرارة وإن ميل النسبة بين القوى والانحراف يقل مع إزدياد درجة الحرارة والسبب في ذلك يعزى الى ضعف قوى الترابط بين جزيئات المادة فتصبح لينة ويحدث فيها إنفعال كبير يؤدي الى إنخفاض قيم معامل المرونة. [17]

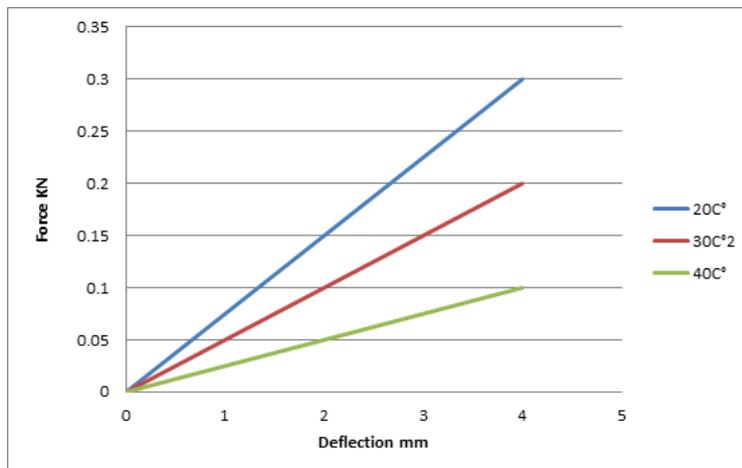
أما الأشكال (6-7-8-9-10) توضح شكل منحنى الاجهاد - الانفعال للنماذج المحضرة بدرجات حرارية مختلفة للمدى (20 - 40) درجة مئوية وإن قيم معامل المرونة لهذه النماذج قد إنخفضت مع إزدياد درجة الحرارة ، وإن الانحراف يتناسب طرديا مع



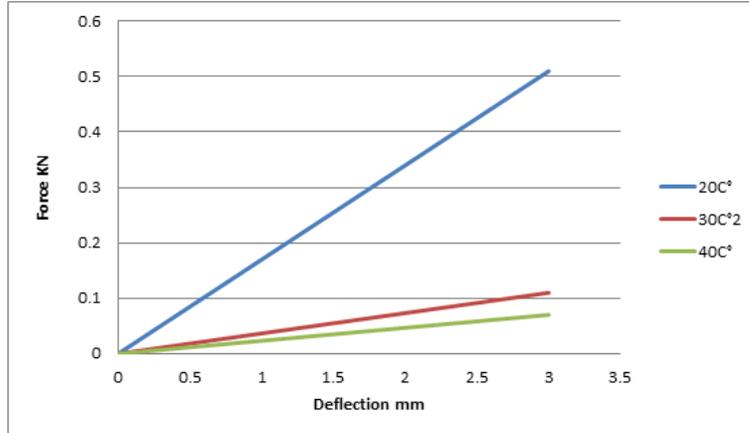
الشكل (6) العلاقة بين القوة والانحراف للنموذج (A) بدرجات حرارية مختلفة (20 - 40) درجة مئوية



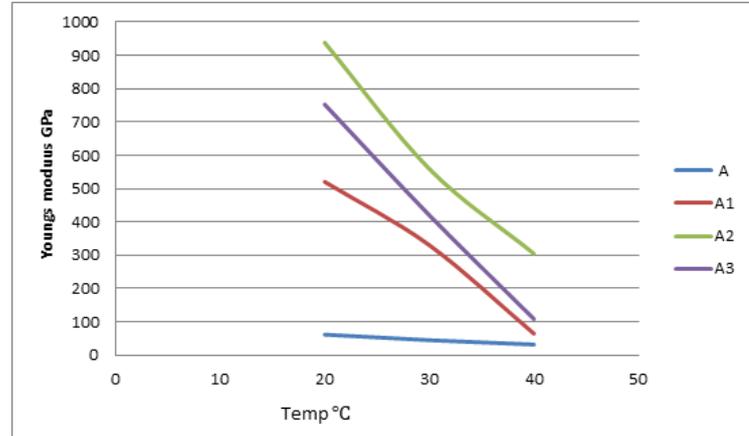
الشكل (7) العلاقة بين القوة والانحراف للنموذج (1A) بدرجات حرارية مختلفة (20 - 40) درجة مئوية



الشكل (8) العلاقة بين القوة والانحراف للنموذج (2A) بدرجات حرارية مختلفة (20 - 40) درجة مئوية



الشكل (9) العلاقة بين القوة والانحراف للنموذج (3A) بدرجات حرارية مختلفة (40 - 20) درجة مئوية



الشكل (10) يوضح تغيير معامل يونك مع درجات الحرارة المختلفة (40 - 20) درجة مئوية

3. أظهرت نتائج اختبار الصلادة لجميع النماذج في درجة حرارة المختبر بأن الصلادة قد تحسنت مع التقوية بألياف الكربون ومسحوق زنك النانوي ومسحوق السليكا النانوي، حيث ان وجود مواد التقوية يرفع من قيمة الصلادة نتيجة الزيادة في مقاومة المواد المترابطة للتشوه اللدن .
4. تقل الصلادة بزيادة درجة الحرارة فعندما تزداد درجة الحرارة تزداد ليونة المادة بسبب إرتخاء الاواصر بينها مما يؤدي إلى إضعاف مقاومتها للخدش والغرز .
5. نلاحظ أن زيادة الكسر الحجمي للزنك في المترابك ادى الى زيادة مقاومة الانضغاط معامل المرونة في اختبار الانحناء يقل كلما إرتفعت درجة الحرارة .

الاستنتاجات : (Conclusions)

- بعد إجراء البحث والدراسة حول آلية التقوية بالاليف والدقائق بنوعيهما الزنك النانوي والسليكا النانوي وتأثيرهما في الخواص الميكانيكية لراتنج الايبوكسي تم التوصل إلى أهم الاستنتاجات الخاصة بدراسة البحث :
1. إن تقوية الايبوكسي بألياف الكربون ومسحوق زنك ومسحوق سليكا النانوي بصورة عامة قد حسن الخواص الميكانيكية .
 2. نلاحظ إن المترابك (A2) يمتلك قوة الشد أفضل من بقية المترابكات .

Science , Vol 2 , No 1 , pp.(14-24) .

[8] سهامة عيسى صالح، كاظم مطر شبيب & قحطان عدنان حمد، (2010)، «دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات اساس بوليميري مقواة بالالياف والدقائق» مجلة الهندسة التكنولوجية المجلد 28 العدد 4 / ص (81-93) .

[9] اوهام محمد حميد، (2000)، «دراسة تأثير التدعيم بالألياف على بعض الخصائص الفيزيائية لمواد متراكبة» رسالة ماجستير، العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية.

[10] W . Bolton, (1998) , "Engineering Materials Technology" , 3rd ed, Member of reed Elsevier Group Butter .

[11] [هدى جبار عبد الحسين، (2008) «مقاومة البلى لخلائط بوليمرية متصلدة حرارياً»، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية.

[12] S . J. Pande and D . K . Sharma, (1984) , "Strength and Stiffness of Short Glass Fiber/Glass Particulate hybrid Composites " , fiber Science and Technology , Vol. 20 , No. 3, pp .(235-243) .

[13] S , L . Kakani , and A . Kakani , (2004) , " Material Science" . New Age International LTD, Publishers , pp (591-596).

[14] R . B . Seymour , , (1999) , " Polymer Composite" , 1st edn, Utrecht, The Nether Land, pp (165-176) .

[15] أنا. أ. تاكر، ترجمة اكرم عزيز محمد، (1984)، «الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات» جامعة الموصل .

[16] K . K , Chawla , (1987) , " Composite Materials" , springer-verlag, New York, Inc.

[17] بلقيس محمد ضياء، (1996)، «تسليح ودراسة راتنجي الالبوكسي والبولي أستر غير المشبع» رسالة دكتوراه، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية.

المصادر

[1] W . D . Callister , Jr . (2000) " Materials Science and Engineering , An Introduction " , John Wiley and Sons , Inc .

[2] K . Al . Rawi , H . Jaffar , H .W . Abdul-lah (2014) " Study of Fatigue and Bending Properties for Epoxy – Kevlar – Glass Fibers and Hybrid Composite " Baghdad Science Journal . Vol (11) . Issue (2) . pages (540 – 546) .

[3] رنا مهدي صالح، (2017)، «تأثير امتصاصية الماء على بعض الخصائص الميكانيكية والفيزيائية على خليط الأيبوكسي / بولي يوريثان المدعم بدقائق السيليكا النانوية»، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، بغداد ، العراق، المجلد 15، العدد 32 ، ص (92-98) .

[4] سهامة عيسى صالح، وليد بديوي صالح، حسام ساكن حمد، (2018)، «توصيف الخصائص الفيزيائية الحرارية والصلادة للمترابكات الهجينة النانوية لراتنج البولي أستر غير المشبع» المجلة العراقية للفيزياء، المجلد 16، العدد 37 ، ص (148-136) .

[5] حسنية هادي ذنون ونور الدين علي حسين (2019)، «الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمترابك من الإيبوكسي والبولي استر غير المشبع مقواة بألياف الزجاج ومسحوق الألومينا النانوي» مجلة التربية والعلم ، المجلد (28)، العدد (1) .

[6] Liyong Tong , Adrian , P. Mouritz , Michael . K. Bannister,(2002), "3D Fiber Reinforced Polymer Composites " , First Edition , Elsevier Science Ltd

[7] Ali AL-Mosawi , (2009), "Study of Some Mechanical Properties for Polymeric Composite Material Reinforced by Fibers " , Al-Qadessiyah Journal For Engineering