CC BY

College of Basic Education Research Journal

www.berj.mosuljournals.com

Improve mechanical and thermal properties To unsaturated polyester resin by adding iron residues

Ekhlass K. Hemadi
Deparetment of Chemistry,Education College for Girls,University of Mosul,Iraq
Kossay k.Al ahmady
Presidency of the Mosul University, Iraq
Ebtahag Z.Sulyman
Deparetment of Chemistry,Education College for Girls,University of Mosul,Iraq

Article Information

Article history:
Received: April 28.2024
Reviewer: May 22.2024
Accepted: June 2.2024

Keywords: polyester, iron filings, mechanical properties, compressive strength, impact strength, hardness, modulus of elasticity, thermal conductivity

Correspondence:

ekhlas.22gep1@student.uomosul.edu.iq[1]
prof.kossayalahmady@uomosul.edu.iq[2]
ebthalim@uomosul.edu.iq[3]

Abstract

The main goal of this research is to improve some of the mechanical properties of unsaturated polyester by using available and cheap particulate fillers, such as reinforcement with iron filing powder with a grain size of 75 microns. In this research, unsaturated polyester composites were prepared with iron waste (iron filings), and some mechanical and thermal properties were studied at certain weight percentages (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, and 50%). As supporting materials. A comparison was made between the polymeric composites before and after the reinforcement process, and it was found that at a percentage (30%) they had good mechanical properties, and these additions were made at different temperatures (8, 25, 50) °C. The results before and after the reinforcement process for polymeric composites showed that there was an increase in the values of mechanical properties (compressive strength, hardness, and impact resistance) with a decrease in the modulus of elasticity (Young's modulus). The treatment was carried out at temperatures of (8,50) ºC, and there was a varying increase and decrease in the values of mechanical properties. It was also found that thermal conductivity decreased when the temperature decreased and increased when the temperature increased.

ISSN: 1992 – 7452

تحسين الخواص الميكانيكية والحرارية لراتنج البولي استر غير المشبع بإضافة مخلفات الحديد

اخلاص قاسم حمادي
كلية التربية للبنات /قسم الكيمياء /جامعة الموصل

قصي كمال الدين الاحمدي
رئيس جامعة الموصل

ابتهاج زكي سليمان
كلية التربية للبنات /قسم الكيمياء /جامعة الموصل

الخلاصة

إن الهدف الأساس من هذا البحث هو تحسين بعض الخصائص الميكانيكية للبولي استر الغير مشبع باستخدام حشوات دقائقية متوفرة وزهيدة مثل التدعيم بمسحوق برادة الحديد ذات حجم حبيبي ٧٥ مايكرون . تم في هذا البحث تحضير متراكب البولي استر غير المشبع مع مخلفات الحديد (برادة الحديد) ودراسة بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية بنسب وزنية معينة (٥٪، ١٠٪ ، ١٥٪ ، ٢٠٪ ، ٢٥٪، ٣٠٪ ، 35 %40،%، 45%،50%) كمواد مدعمة . وقد تمت المقارنة بين المتراكبات البوليمرية قبل التدعيم وبعده حيث وجد ان نسبة (٣٠٪) كانت ذات خواص ميكانيكية جيدة وتمت هذه الاضافات عند درجات حرارية مختلفة (٨،٢٥،٥٠)° م. لقد اوجدت النتائج قبل التدعيم وبعده للمتراكبات البوليمرية ان هناك زيادة في قيم الخواص الميكانيكية (مقاومة الانضغاط، الصلادة ومقاومة الصدمة) مع وجود نقصان في معامل المرونة (معامل يونك). وتم اجراء المعالجة عند الدرجات الحرارية (٨،٥٠) °م فلقد وجد هناك ارتفاع وانخفاض في قيم الصفات الميكانيكية وبنسب متفاوتة. كما وجد أن التوصيل الحراري انخفض عند انخفاض الحرارة ويزداد بزيادتها.

الكلمات الدالة: البولي استر، برادة الحديد، الخواص الميكانيكية، مقاومة الانضغاط، قوة الصدمة، الصلادة، معامل المرونة، التوصيل الحراري.

المقدمة:

تعرف المواد المتراكبة على أنها مزيج من مادتين أو أكثر غير متجانسة لإنتاج مادة واحدة تعرف بالمتراكبات البوليمرية. بحيث تمتلك المادة الناتجة خواص أفضل من خواص المواد التي تدخل في تركيبها إذا كانت كل مادة منفصلة عن نفسها. الهدف من إنتاج المتراكبات البوليمرية هو الحصول على خواص عالية لا يمكن الحصول عليها باستخدام المواد التقليدية لأنها تمتلك خفة الوزن، والعزل الحراري والكهربائي، والمقاومة الميكانيكية والكيميائية، ومرونة التصميم، وغيرها من الصفات [١]. تعتمد المواد المتراكبة على شكل وحجم الجزيئات المضافة وطريقة توزيعها في مادة الأساس، بالإضافة إلى طبيعة الترابط بين الجزيئات والمادة الأساس، وكلها عوامل تؤثر على خصائص الطبقة النهائية من المادة المركبة[٢].

لقد بلغ حجم سوق المواد المتراكبة العالمية في عام ٢٠١١ ما مقداره ١٩.٦ بليون دولار، ويقدر أن يصل حجم السوق نفسه إلى ما يقرب من ٣٤.١ بليون دولار بحلول عام ٢٠١٨ ، وهذا يعادل معدل نمو سنوي لاستخدام المواد المتراكبة حيث يبلغ نحو 10.5%[٣].ان البولي استر غير المشبع يصنف من

البوليمرات المتصلبة حراريا (Thermosets) وهو اكثر مادة تستخدم عالميا [٤] ، ويستخدم أكثر من مليوني طن من هذه المواد سنوياً في المنتجات الهيكلية مثل الدبابات والأنابيب، وقطع غيار المركبات مثل أجسام السيارات، وأبخرة القوارب، ولوحات الطائرات [٥] وغيرها من الصناعات .

ولتحسين قوة وصلابة البوليمر بالمواد المالئة او ما يسمى بمواد التدعيم او الحشوات [٦]. وتكون مواد التدعيم على عدة أنواع فمنها العضوي أو غير العضوي، وفي الآونة الأخيرة انصب قدر كبير من التركيز على مواد التدعيم العضوية بسبب انخفاض تكلفتها ومدى توافرها النسبي ورخص ثمنها مقارنة بالمادة الأساس[7] حيث استخدمت عظام الحيوانات وقشور جلد الحيوانات وقشور البيض[8] والألياف النباتية[9] اما مواد التدعيم غير العضوية مثل مسحوق الزجاج[10] او تكون فلزية مثل برادة الحديد[11] ،او لدائنيه مثل البولي اثلين عالي الكثافة وواطئ الكثافة المواد التي تستخدم بشكل اقل من المواد العضوية فتستخدم لغرض إعادة تدويرها والتخلص منها بشكل او باخر لتقليل مخاطر التلوث[12]).وهناك عدد من الدراسات التي اتخذت من برادة الحديد كمواد تدعيم مع البولي استر منها .

لقد قام الباحثان [13] بتحسين متانة الكسر ومقاومة الصدمة للبولي استر غير المشبع بخلطه مع مواد مرنة ذات مجاميع وظيفية فعالة واظهرت النتائج ان المواد المرنة أفضل توافق مع البولي استر وكانت المتانة والصدمة قد تحسنت مقارنة مع المواد الغير معدلة.

درس الباحثين [14] تأثير جزيئات حشوات الحديد على البنية المجهرية وخواص متراكبات الالياف والبولي استر. أظهرت الدراسة فحص البنية المجهرية لمركبات جسيمات ألياف البولي استر المنتجة، وتم قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية مثل: الانكماش الخطي، الكثافة، المسامية، قوة الشد القصوى، قوة الانضغاط، الصلابة ومقاومة الصدمة، حيث بينت زيادة قيم الصلابة والمسامية الظاهرية والكثافة وزادت مقاومة الشد وقوة الانضغاط كما انخفضت طاقة الانكماش الخطي وقوة الصدمة.

طور الباحثين [١٥] استخدام طريقة لتحسين الصفات الميكانيكية وحل خطر التلوث باستخدام مصفوفة النايلون واضافة مواد تدعيم له مثل مسحوق الالمنيوم وبرادة الحديد وأشارت نتائج قوة الانضغاط وصلادة برينيل وقوة الصدمة الى زيادة قيمها بعد ادخال مواد الحشو عليها واستخدامها في مختلف التطبيقات وأن تطويرها سيقطع شوطاً كبيراً في الحد من التلوث.

لقد ذكر الباحث [١٦] ان استخدام البولي استر مع برادة الحديد يعمل على تحسين الصفات الميكانيكية مثل قوة الشد والاستطالة وقوة الصدمة وقوة الانضغاط عن الصفات الميكانيكية للبولي استر قبل التدعيم.

درس الباحثان [١٧] تحسين الخواص الميكانيكية والكهربائية لمركبات الإيبوكسي المقوى بالألياف الزجاجية وبرادة الحديد كمواد حشو وبالفعل زادت مقاومة الانضغاط ومقاومة الصلادة عند استخدام الالياف الزجاجية وبرادة الحديد كمواد تدعيم.

الجزء العملي:

أولا–المواد المستخدمة في البحث

١–المادة الأساس

مادة البولي استر غير المشبع وهوتركي المنشأ من شركة Akpa Kimya وذو كثافه (١.١٧) غرام/سم وهو سائل لزج شفاف في درجة حرارة الغرفة وأحد أنواع البوليمرات المتصلبة حرارياً (الثرموسيتات) التي تتحول إلى الحالة الصلبة عند إضافة المصلب والذي يحتوي على نوعين من المواد التي تساعد على التصلب وهو بيروكسيد اثيل مثيل كيتون (كبادئ لعملية البلمرة) وهو سائل عديم اللون والمادة الثانية هي (قصدير2–اثيل هكسانوات) وهو معجل لتفكك البادئ وهو سائل زيتي القوام ذو لون أرجواني. حيث يضاف المصلد الي البولي استر غير مشبع ويخلط بإضافة 100 غرام من الراتنج مع 2غرام من المصلب عند الانتهاء من إضافة المقسى والمحفز إلى مزيج الراتنج، تبدأ عملية المزج على الفور بوساطة المزج اليدوي لمدة دقيقتين الى ثلاث دقائق حتى يتجانس الخليط وعند تجاوز هذه المدة الزمنية يصبح الخليط لزجاً عالياً جداً كذلك ترتفع درجة حرارته مما يؤدي إلى تسارع عملية الذوبان وهذا يعيق عملية الصب وكذلك احتواء المنتج النهائي فقاعات هواء عالية. يتميز راتنج البولي استر غير المشبع بخصائص ميكانيكية وعزل كهربائي وحراري جيد.

٢–مادة التدعيم:

مسحوق مخلفات الحديد او برادة الحديد: Iron filings

برادة الحديد عبارة عن حبيبات دقيقة من الحديد لها مظهر يشبه المسحوق. تعتبر برادة الحديد منتجًا ثانويًا، أي أنها مخلفات صناعية ناتجة عن عملية حفظ أو حفر أو كشط قطع الحديد، أو نتيجة صقل المنتجات النهائية. لا يتجاوز طول الجزيئات أو الحبيبات الموجودة في مسحوق الحديد ٠.٣ ملم، وقد يصل طول أصغرها إلى بضعة ميكروميترات كحد أدنى. ونظرًا لزيادة مساحة سطح الحديد المعرض للتفاعل، فيفضل استخدامه في التفاعلات بهذه الصورة [18].

ثانيا- طريقة التحضير

يتم استعمال البولي استر غير مشبع بعد إضافة العامل المصلد بنسبه (٢:١٠٠) لكي يتحول الى مادة ذات قوام جيلاتيني تتصلب في درجة حرارة الغرفة (٢٥) °م. تحضر المواد المدعمة بمسحوق برادة

الحديد بنسب وزنيه مختلفة (٥٪،١٠٪،١٥٪، ٢٠ %٢٥٪، ٣٠٪، ٣٥٪، ٤٠٪، ٤٥٪، ٥٠٪) اتبعت تقنية القولبة اليدوية حيت يتم عمل قوالب خاصة لكل قياس. حيث يتم مزج البولي استر مع المصلب الارجواني وبعدها يتم وضع برادة الحديد وخلطهم جيدا الى ان يحدث تجانس بين البولي استر والمسحوق بعدها يتم وضع المصلد الشفاف والمزج بصورة بطيئة جدا لمدة ٣٠ ثانية الى دقيقة واحدة لكي لا يحدث فقاعات هوائية في داخل المواد المتراكبة وبعدها يوضع في القوالب حيث تترك ٢٤ ساعه لإتمام عمليه التصلب في درجه حرارة الغرفة والتداخل والتجانس التام بين الجزيئات ويتم دراسة تأثير الحرارة لبيان تأثير حرارة الشتاء والصيف على المتراكبات المحضرة لذا يتم وضع العينات بعد رفعها من القالب في درجات حرارة (٨،٥٠)°م .

ثالثا: الأجهزة المستخدمة وتحضير العينات:

١. جهاز اختبار مقاومة الانضغاط :Compressive Resistance Instrumental Test

الجهاز المستخدم للقياس مجهز من شركةCONTROLS ذو منشأ إيطالي وان عينات الاختبار تكون محضرة حسب المواصفات الامريكية (ASTM-D618) وتكون العينات ذات شكل أسطواني لكي تتحمل اقصى حمل لمقاومة الانضغاط. واستخدم مكبس هيدروليكي نوع (Testing Machine,Co.LTD) لتعيين اقصى حمل لقوة مقاومة الانضغاط الذي يتحمله النموذج.

جهاز اختبار مقاومة الصدمة :Impact Resistance Instrumental Test

الجهاز المستخدم من نوع Instrument IZODE Impact والمصنع من شركة (Tokyo Koki Seizosho, LTD) اما عينة الفحص فتكون ذات ابعاد (١٠*١٠*75) ملم حيث نقوم بعمل زاوية حز مقدارها (٤٥) درجة وعمق الحز في النموذج (2ملم) حسب المواصفات القياسية الامريكية (ASTM-D256-87) .

٣. جهاز اختبار قوة الصلادة:Hardiness Resistance Instrumental Test

ان جهاز فحص الصلادة (Durometer Shore) من نوع (Shore-D) والمجهز من شركة Germany-Wolpert يشبه البوصلة وهو عبارة عن ابرة تقع في المنتصف تكون طريقة الفحص عن طريق تثبيت الجهاز بصورة عمودية على العينة المراد فحصها وقياسها حتى تنغرز الابرة في سطح المادة ثم الانتظار لمدة ٣ ثوان ومن ثم نأخذ قيمة الصلادة التي يسجلها الجهاز. ولأجل الحصول على قيم صحيحة للقياس يجب ان تكون النماذج المقاسة ذات سطح مستوي لكي تنغرز ابرة الجهاز بصورة عامودية في النموذج.

٤. جهاز اختبار المرونة : Flexibility Instrumental Test

يعتمد اختبار المرونة على قياس كل من الاستطالة والاجهاد لذلك يجرى اختبار الاستطالة على العينات المحضرة ذات ابعاد السمك (١ سم) وطول العينة (٢٠ سم). حيث اعتمد المواصفات القياسية (ISOR527) في تحضير نماذج اختبار مقاومة الشد (كانت النماذج على شكل شرائح)، استخدم هذا الاختبار لمعرفة خواص المادة المركبة تحت تأثير حمل محوري باتجاهين واستخدم جهاز (machine Univeral test) المجهز من الشركة (ELE-England) في قياس هذه الخاصية وبمعدل حمل (100 TON).

٥. التوصيل الحراري: Thermal Conductivity

يتم استعمال جهاز قرص لي لغرض قياس التوصيل الحراري والذي تكون فيه النماذج بقطر (١١.٢٣) سم وسمك (١ سم).

النتائج والمناقشة:

من الخواص الميكانيكية المهمة التي تم دراستها في هذا البحث هي:

١- اختبار قوة الانضغاط :Compressive Resistance Test (C.S)

إن فحص قوة الانضغاط للمادة يعد من الفحوصات المهمة التي تعطي صورة واضحة حول قوة البوليمر ومدى تحمله لظروف الاستخدام. فهناك العديد من المواد قد تكون هشة (brittle) في حالة الشد ولكنها تبدو لدنة (ductile) في حالة الانضغاط .لذلك نجد أن فحص مقاومة قوة الانضغاط يستخدم في الغالب من اجل تحديد مقاومة الخضوع علاوة على مقاومة الانضغاط [١٩]. بصورة عامة فإن قوة الانضغاط تعرف بأنها أقصى إجهاد تتحمله المادة الصلبة دون حدوث كسر او تشوه تحت الضغط العمودي [٢٠]. ومن خلال هذا الاختبار يتم تقييم البنية الداخلية الهيكلية للمادة الخاضعة لإجراء القياس عليها [٢١].

تحسب مقاومة المادة للانضغاط قبل عملية التدعيم وبعده حسب المعادلة رقم (١) [٢٢]

$$C.S\ (Mpa)=force(N)/Area\ (m^2) \qquad (1)$$

مقاومة قوة الانضغاط. **C.S:**

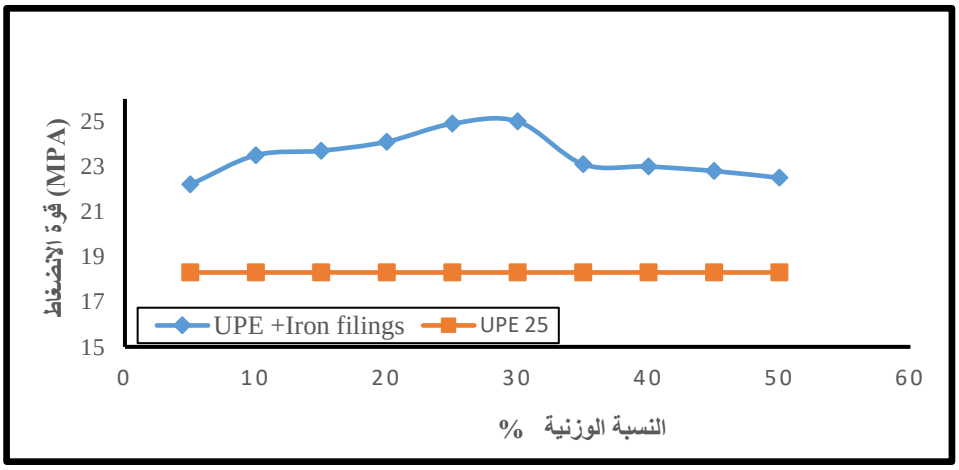
Force : القوة المسلطة تقاس بالنيوتن .

Area :مساحة مقطع العينة والتي تكون على شكل أسطوانة.

أظهرت نتائج قيم مقاومة الانضغاط عند درجة حرارة المختبر (٢٥°م) وبالاعتماد على المعادلة (١) ان المادة المدعمة ببرادة الحديد تمتلك مقاومة انضغاط أعلى من تلك التي بدون تدعيم، لان مادة التدعيم تتحمل معظم الجهد المسلط على المادة كما موضح في الجدول والرسم (١).

جدول (١) يوضح مقاومة الانضغاط للبولي استر غير المشبع
قبل وبعد التدعيم عند درجة حرارية (٢٥) °م

Wt.% 25°C	C.S (UPE)	C.S (UPE+Iron.F.)
5%	18.3	22.2
10%	18.3	23.5
15%	18.3	23.7
20%	18.3	24.1
25%	18.3	24.9
30%	18.3	25.0
35%	18.3	23.1
40%	18.3	23.0
45%	18.3	22.8
50%	18.3	22.5



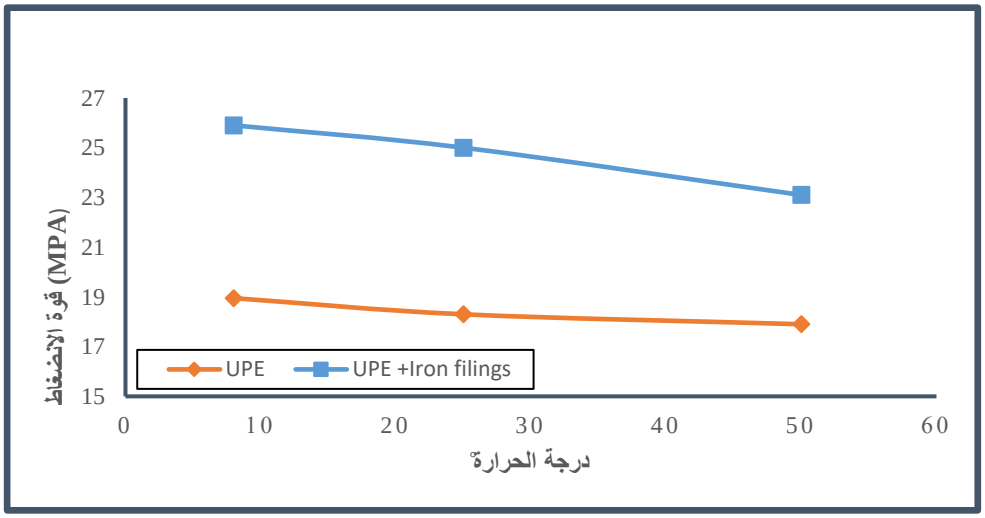
رسم (١) يوضح مقاومة الانضغاط للبولي استر غير المشبع
قبل التدعيم وبعده (٢٥) °م.

من النتائج والرسم أعلاه يلاحظ ان قيم مقاومة الانضغاط تقل كلما زادت درجة الحرارة عند (٥٠) °م وتزداد عند تبريد العينات الى (٨) °م (تناسب عكسي) والسبب يعود في ذلك هو ان العينات عند زيادة الحرارة يحدث لها مرونة بسبب ضعف قوة الترابط بين المواد المدعمة والبولي استر نتيجة تكسر الاواصر

بين السلاسل البوليمرية وهذا التكسر ينتج عنه الحركة الموضعية للسلاسل فيؤدي الى زيادة الحجوم الحرة غير المشغولة بجزيئات البوليمر فتقل الكثافة ونتيجة لقلة الكثافة يحدث ضعف في مقاومة الانضغاط للعينات فيحدث للعينات انكباس الى حد معين[٢٣] . اما عند تبريد العينات عند (٨) °م فان انخفاض الحرارة تؤدي الى تقييد حركة السلاسل ومن ثم يقل الحجم الحر غير المشغول بجزيئات البوليمر فتزداد الكثافة وبالتالي تزداد مقاومة العينات لقوة الانضغاط فتزداد مقاومة الانضغاط [٢٤].

جدول (٢) يوضح مقاومة الانضغاط للبولي استر غير المشبع قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) °م

Temperatures C̊	C.S UPE 30%	C.S (UPE+Iron.F.) 30%
٥٠ مْ	17.9	23.1
25 مْ	18.3	25.0
٨ مْ	18.95	25.9



رسم (٢) يوضح مقاومة الانضغاط للبولي استر غير المشبع قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) °م.

٢ ـ فحص اختبار مقاومة الصدمة: Impact Resistance Test

ان اختبار مقاومة الصدمة للبوليمرات من الفحوصات المعقدة جدا نظرا لتعدد فحوصات قوة التصادم وفي نفس الوقت تعد من الفحوصات الأساسية في مختبرات السيطرة النوعية ومختبرات التصاميم للحاجيات البلاستيكية ويعد اختبار جاربي واختبار ايزود من اهم الفحوصات في هذا المجال. وتعرف بانها قياس

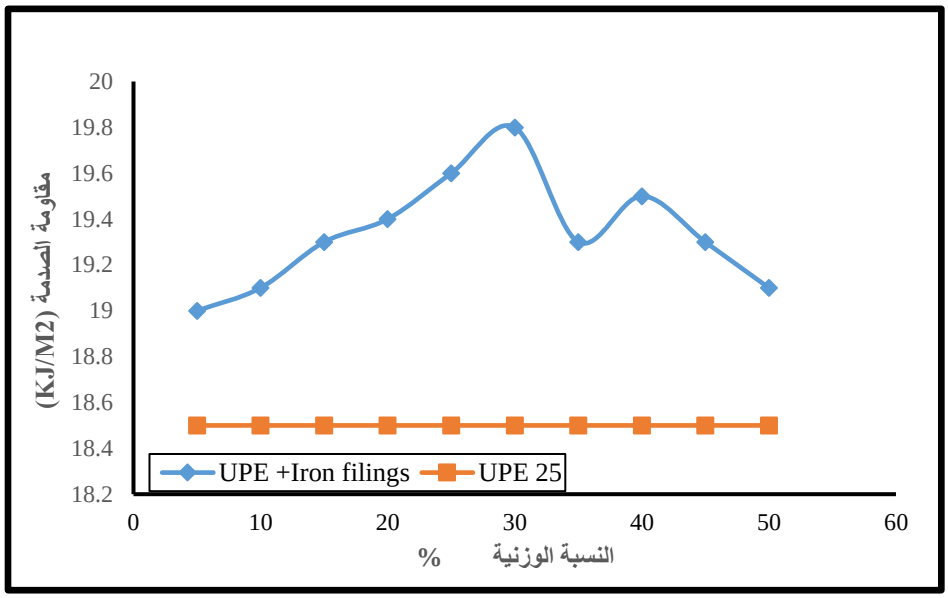
لقدرة المادة على مقاومة حدوث الكسر بتأثير قوة مسلطة بالكيلو جول او تقدر الجول ومن الممكن تحسين مقاومة العينات باستخدام المواد المدعمة (Fillers) التي تعمل كمالئات لسد الفراغات وتمنع من حدوث تشوهات العينة [25]. ان اختبار الصدمة مهم جدا من الناحية العملية لان من خلاله يمكن حساب الطاقة الممتصة اللازمة لتحطيم وكسر العينة المستخدمة في البحث حيث تعطي هذه القيمة مباشرة من جهاز الفحص والتي يمكن حسابها من خلال العلاقة التالية [26] [27].

$$\textbf{Impact strength (I.S)} = \frac{\textbf{Freature energy}}{\textbf{Area (m)}^2}$$

عند تعرض المواد غير المدعمة لاجهاد مفاجئ فانها تنكسر بسرعة نتيجة لتحطم الاواصر في السلسلة البوليمرية ولهذا نلجا الى تقوية هذه المواد بالمواد المدعمة لكي تعمل المواد المدعمة بالتداخل في السلسلة البوليمرية وبالتالي تزداد الطاقة اللازمة للكسر بسبب مرور المواد المتراكبة بمرحلتين هما : المرحلة الأولى تماسك وقوة الاواصر التي تربط بين الجزيئات داخل سلاسل البوليمر اما المرحلة الثانية فتتمثل بسحب وكسر المادة المدعمة داخل السلاسل حيث تكون الطاقة المصروفة لكسر أواصر المواد المدعمة اكبر من الطاقة المصروفة لكسر الاواصر في السلسلة البوليمرية قبل عملية التدعيم[28] .والجدول والرسم (٣) يوضحان مقاومة الصدمة للبولي استر غير المشبع قبل التدعيم وبعده عند درجة (٢٥) °م .

جدول (٣) يوضح مقاومة الصدمة للبولي استر غير المشبع
قبل التدعيم وبعده عند درجة (٢٥) °م.

Wt.% 25°C	I.S. (UPE) (KJ/m^2)	I.S (UPE+ Iron.F.) (KJ/m^2)
5%	18.5	١٩
10%	18.5	١٩,١
15%	18.5	١٩,٣
20%	18.5	١٩,٤
25%	18.5	١٩,٦
30%	18.5	١٩,٨
35%	18.5	١٩,٣
40%	18.5	١٩,٥
45%	18.5	١٩,٣
50%	18.5	١٩,١

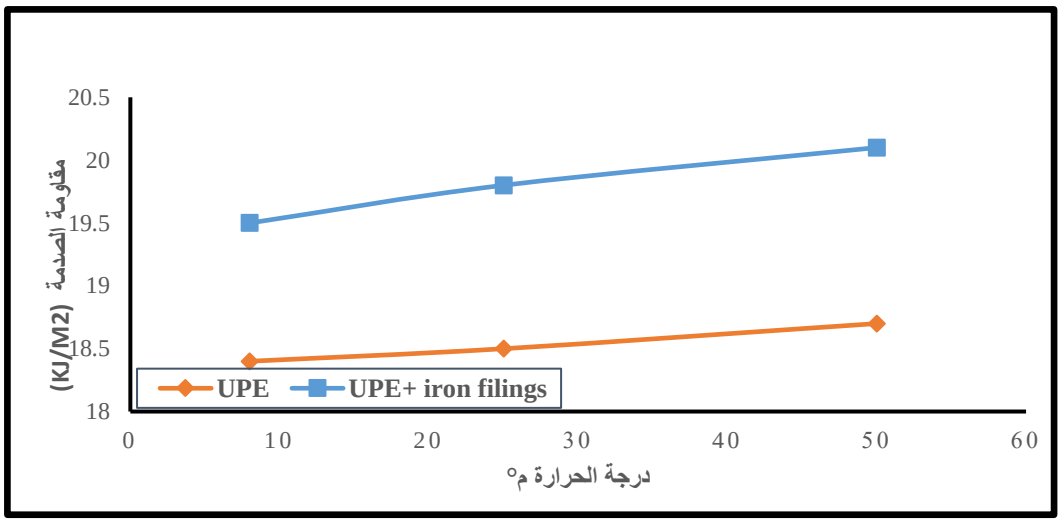


رسم (٤) يوضح مقاومة الصدمة للبولي استر غير المشبع قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) °م .

عند اجراء المعالجة الحرارية عند الدرجات الحرارية (٨،٥٠) °م للعينات ذات النسبة المئوية (٣٠٪) والتي هي احسن نسبة تم اختيارها من النسب الأخرى فان قيم مقاومة الصدمة تقل عندما تنخفض درجة الحرارة أي عند (٨) °م لتقييد حركة السلاسل البوليمرية وبالتالي لا يمكن ان تتحرك بسهولة ، ولكنها تزداد مع زيادة درجة الحرارة أي عند (٥٠) °م بسبب فك الاواصر بين جزيئات المتراكب وتزداد حركة السلاسل البوليمرية مما يعطيها إمكانية امتصاص جزء من الطاقة التي تؤدي الى توزيع وانتشار الطاقة اللازمة لحدوث الكسر على شكل انحلال ميكانيكي [29] [30] كما هو مبين في الجدول والرسم (٤) .

جدول (٤) يوضح مقاومة الصدمة للبولي استر غير المشبع
قبل التدعيم وبعده عند درجات حرارية (8،25،50) °م

Temperatures Ċ	I.S UPE (KJ/m^2) 30%	I.S (UPE+ Iron.F.) (KJ/m^2) 30%
8°م	18.4	19.5
25°م	18.5	20.0
50°م	18.7	20.5



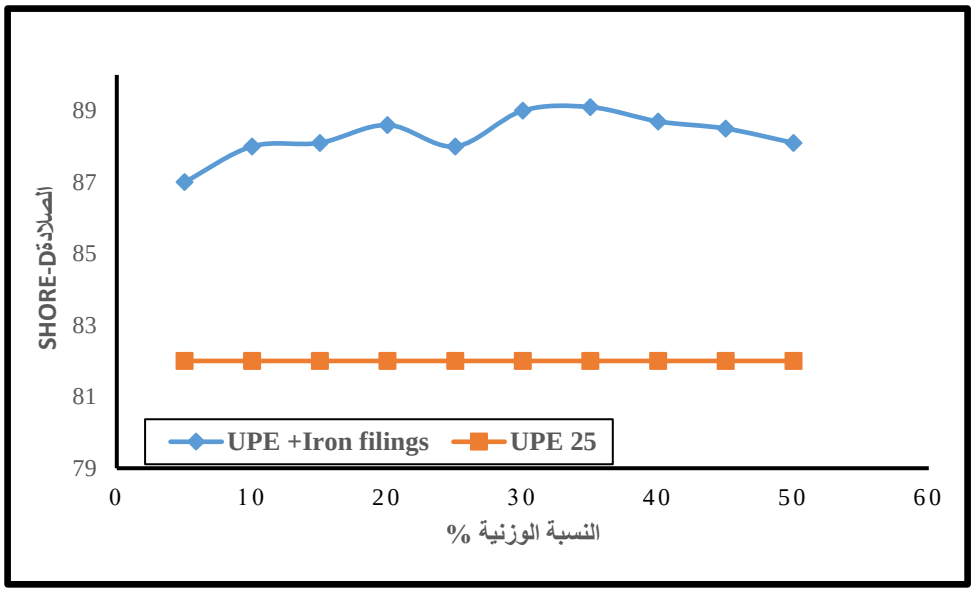
رسم (٤) يوضح مقاومة الصدمة للبولي استر غير المشبع قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) م°

٣- فحص اختبار الصلادة: Hardness Resistance Test

قد تتعرض المواد للخدش والاختراق اثناء استخدامها في المجالات التطبيقية من قبل معدات أصلد منها لذلك تعد خاصية الصلادة من الخواص الميكانيكية السطحية المهمة والتي تعطى بتعريف مبسط بأنها مقاومة سطح المادة للتشوه الدائم الذي يحدث من خلال طرق: القطع، التآكل، الاختراق، والخدش [٣١]. تستعمل تجارب الصلادة لقياس مقاومة المادة للتشوهات اللدنة في المناطق السطحية منها، وتستعمل رؤوس دقيقة من مواد صلدة كي تستطيع أن تتغلغل في المادة الصلدة، [٣٢]. وتعتمد صلابة المادة على المعالجة الحرارية ودرجة الحرارة المرتفعة بالإضافة إلى قوة الترابط بين الذرات أو الجزيئات ونوع السطح [٣٣]. يؤدي تقوية البولي استر غير المشبع بمسحوق برادة الحديد إلى زيادة قيم مقاومة الصلاده بسبب زيادة التشابك والتداخل بين البولي استر غير المشبع مع برادة الحديد وبسبب الارتباط المتقاطع الذي يقلل من حركة جزيئات البوليمر وبالتالي يزيد من الصلابة، مما يؤدي إلى زيادة المقاومة للتشوه [٣٤]. ويمكن ملاحظة ذلك من الرسم والجدول (٥).

جدول (٥) يوضح قوة الصلادة للبولي استر غير المشبع
قبل التدعيم وبعده عند درجة (٢٥) °م .

Wt.% 25°C	Hardness (UPE)	Hardness (UPE+ Iron.F.)
5%	82.0	٨٧
10%	82.0	٨٨
15%	82.0	٨٨,١
20%	82.0	٨٨,٦
25%	82.0	٨٨
30%	82.0	٨٩
35%	82.0	٨٩,١
40%	82.0	٨٨,٧
45%	82.0	٨٨,٥
50%	82.0	٨٨,١



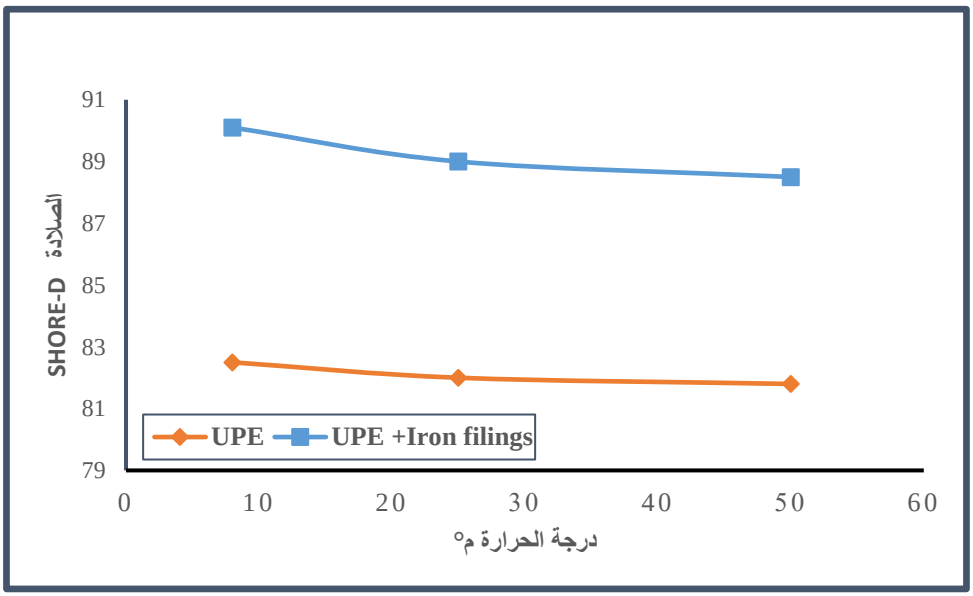
رسم (٥) يوضح الصلادة للبولي استر غير المشبع قبل التدعيم وبعده عند درجة (٢٥) °م

عند اجراء المعالجة الحرارية (٨،٥٠) °م على العينات ذات النسبة (٣٠٪) والتي تم اختيارها كأحسن نسبة مئوية من بقية العينات فنلاحظ ان قيم الصلادة عند ارتفاع درجة الحرارة الى ٥٠°م كانت اقل من ٢٥ **°م** لأن الزيادة في الحرارة تؤدي إلى زيادة ليونة المادة بسبب حركة الجزيئات وتفكك الروابط بينها وهذا يؤدي إلى انخفاض مقاومة الخدش والغرز [٣٥]. ولكن عند انخفاض درجة الحرارة الى ٨**°م** فنلاحظ زيادة

في قيم مقاومة الصدمة بسبب ان السلاسل البوليميرية مقيدة ولا يمكنها الحركة فتزداد مقاومة المادة للخدش والغرز. كما هو موضح في الرسم والجدول (٦).

جدول (٦) يوضح الصلادة للبولي استر غير المشبع قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) °م

Temperatures Ċ	Hardeness (UPE) 30%	Hardness(UPE+ Iron.F.) 30%
8°م	82.5	٩٠,١
25°م	82.0	٨٩
50°م	81.8	٨٨,٥



رسم (٦) يوضح الصلادة للبولي استر غير المشبع قبل وبعد التدعيم عند درجة حرارية (8،25،50) °م

4. اختبار المرونة او معامل يونك (Young's Modulus) :

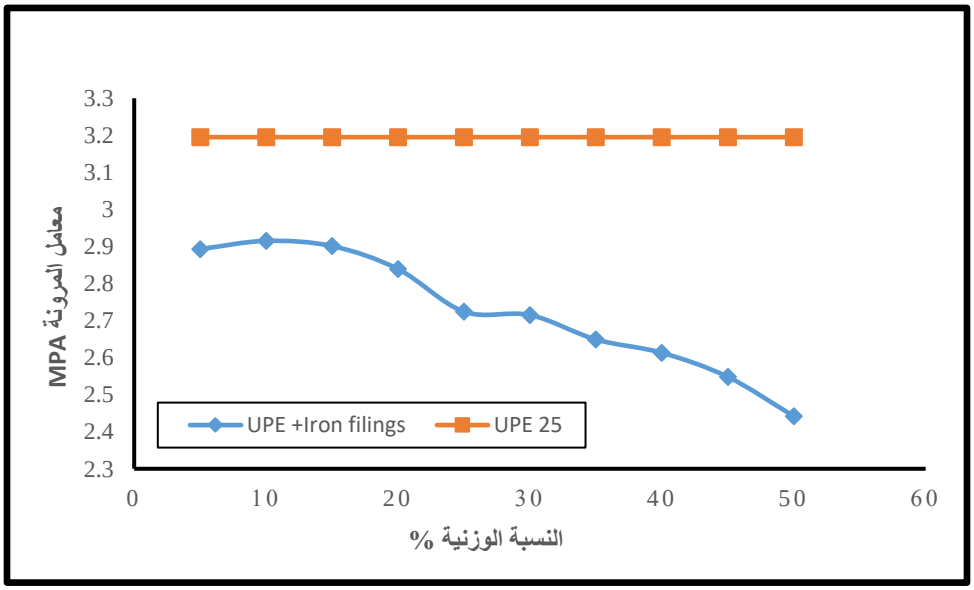
معامل المرونة، المعروف أيضًا باسم معامل يونغ، هو خاصية مادية تصف مقاومة المادة للتشوه. يتم تعريفه على أنه نسبة الإجهاد إلى الانفعال في المادة عندما تتعرض للحمل [٣٦]. عندما يتم تمدد مادة ما، أو ضغطها، أو تشوهها، فإنها ستظهر قدرًا معينًا من الإجهاد، وهو التغير الجزئي في البعد. يحدد معامل المرونة كيفية استجابة المادة لهذا التشوه. يعد فهم معامل المرونة أمرًا بالغ الأهمية للمهندسين وعلماء المواد، لأنه يساعدهم على تصميم الهياكل والمواد التي يمكنها تحمل أحمال وضغوط معينة مع الحفاظ على شكلها ووظائفها. بالإضافة إلى ذلك، فهي معلمة أساسية في تطوير المواد المتراكبة والمعادن،

التي تم تصميمها لتكون لها خصائص محددة لتطبيقات معين. حيث تعتبر الراتنجات مواد هشة لذا تكون مقاومة الشد لهذه المواد منخفضة جداً وعند إضافة مواد التدعيم فيمكن تحسين مقاومة الشد بشكل واضح وهذا من أجل أن تتحمل جزيئات مادة التدعيم الجهد المطبق، ومن خلال البحث تم الحصول على اعلى مقاومة شد بنسبة وزنية٣٠٪ عند درجة حرارة ٢٥°م كما موضح في الجدول والرسم (٧).

جدول (٧) يوضح معامل المرونة للبولي استر غير المشبع

قبل التدعيم وبعده عند درجة (٢٥) °م

Wt.% 25°C	Young's M (UPE) MPa	Young's M. (UPE+ Iron.F.) MPa
5%	3.195	٢,٨٩٣
10%	3.195	٢,٩١٥
15%	3.195	٢,٩٠١
20%	3.195	٢,٨٣٩
25%	3.195	٢,٧٢٤
30%	3.195	٢,٧١٥
35%	3.195	٢,٦٤٩
40%	3.195	٢,٦١٣
45%	3.195	٢,٥٤٨
50%	3.195	٢,٤٤٢

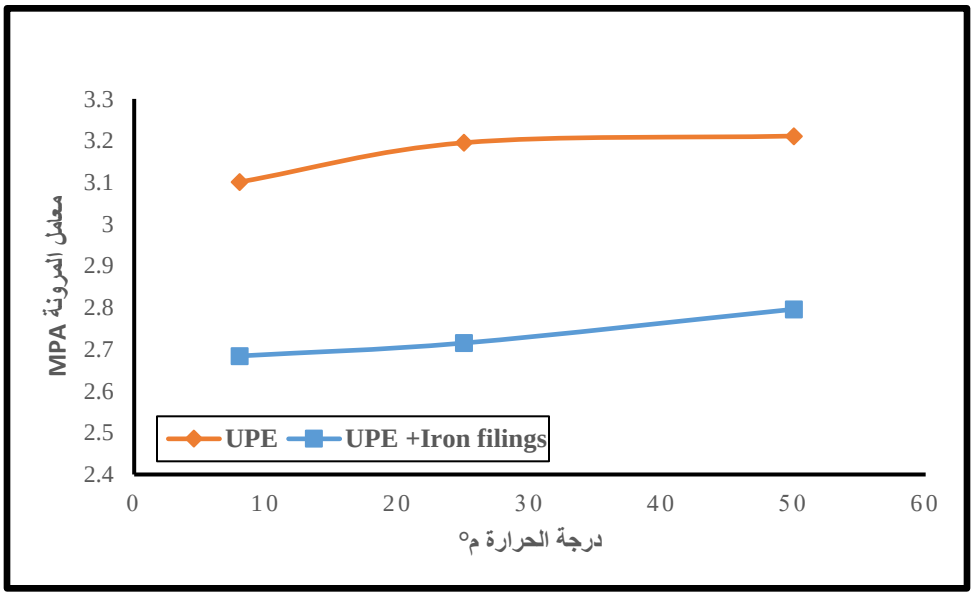


رسم (٧) يوضح معامل المرونة للبولي استر غير المشبع قبل التدعيم وبعده عند (٢٥) °م

عند المعالجة الحرارية (٨،٥٠) °م واختيار النسبة الوزنية ٣٠٪ نلاحظ قيم المرونة تنخفض عند درجة حرارة ٥٠ °م بسبب تفكك السلاسل البوليمرية نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وايضا عندما تنخفض درجات الحرارة أي عند درجة حرارة ٨ °م فيؤدي الى انخفاض في قيم المرونة بسبب تقيد الروابط وتحرك السلاسل البوليمرية مما يجعلها هشة [٣٧] [٣٨]، كما في الجدول والرسم (٨).

جدول (٨) يوضح معامل المرونة للبولي استر غير المشبع
قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) °م

Temperatures Ċ	Young's M(UPE) MPa 30%	Young's M.(UPE+ Iron.F.) MPa 30%
٨° م	3.101	٢,٦٨٤
25° م	3.195	٢,٧١٥
50° م	3.211	٢,٧٩٦



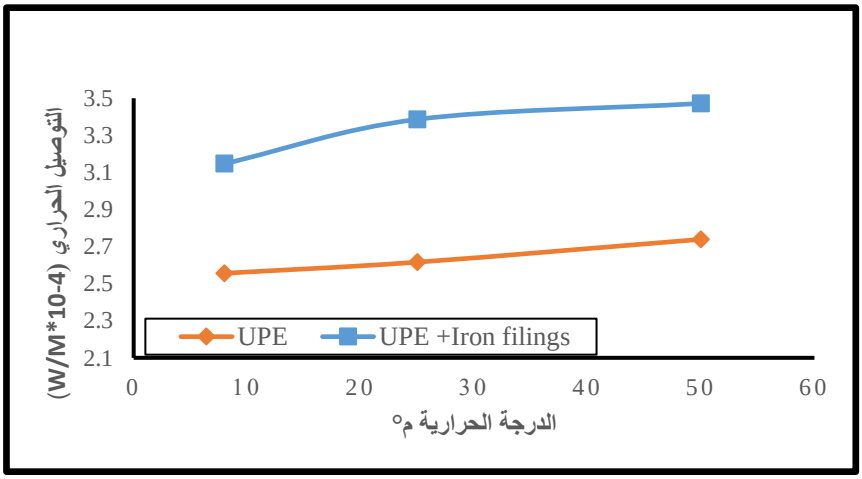
رسم (٨) يوضح معامل المرونة للبولي استر غير المشبع قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) °م.

٥ ـالتوصيل الحراري: Thermal Conductivity

يعرف التوصيل الحراري بانه قدرة المادة على نقل الحرارة لجسمين مختلفين في درجة حرارتهما أحدهما ذو حرارة اعلى من الجسم الاخر [٣٩]. اظهرت قيم التوصيل الحراري ارتفاعا ملحوظا بعد عملية تقوية البولي استر غير المشبع بمسحوق برادة الحديد عما كان قبل التدعيم، لان البوليمرات تحتوي على إلكترونات حرة في نقل الحرارة حيث تعتمد التوصيلية الحرارية على الاهتزازات الهيكلية في هيكل الجزيئة الداخلي، حيث تقل هذه الاهتزازات عند إضافة حشوات إلى البوليمر، والتي تعيق الاهتزاز وبالتالي تقل الموصلية [٤٠] [٤١].

جدول (٩) يوضح التوصيل الحراري للبولي استر غير المشبع
قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) °م

Temperatures C̊	T.C.(UPE) 30%	T.C. (UPE+ Iron.F.) 30%
8	$2.556*10^{-4}$	$٣,١٤٧*10^{-4}$
25	$2.616*10^{-4}$	$٣,٣٨٦*10^{-4}$
50	$2.739*10^{-4}$	$٣,٤٧٢*10^{-4}$



رسم (٩) يوضح التوصيل الحراري للبولي استر غير المشبع
قبل وبعد التدعيم عند درجات حرارية (8،25،50) °م

الاستنتاجات:

تم إضافة برادة الحديد كمواد تدعيم إلى البولي استر غير المشبع لغرض تحسين بعض الخواص الميكانيكية، حيث أدى ذلك الى الحصول على مجموعة من النتائج:

- لوحظ زيادة قيم الخواص الميكانيكية وهي (مقاومة الصدمة، الصلادة ومقاومة الانضغاط) مع نسب البرادة المضافة الى نسبة البولي استر وكانت أفضل نتائج الخواص الميكانيكية عند نسبة ٣٠٪ من برادة الحديد المضافة، ثم ينعكس تأثير الزيادة في نسب البرادة المضافة بعد ٣٠٪ حيث سيؤدي الى انخفاض في قيم الخواص الميكانيكية المسجلة للعينات. اما بالنسبة لعامل المرونة، فقد وجدنا ان إضافة برادة الحديد أدت الى انخفاض واضح في قيمه ليستقر تقريبا بعدها مع زيادة نسبة البرادة المضافة الى النسبة ٣٠٪ ثم لتنخفض مرة أخرى قيمة معامل المرونة مع زيادة نسبة البرادة المضافة للبولي استر.
- تزداد قيم مقاومة الصدمة عند معالجتها بدرجة حرارة ٥٠ °م لكن تنخفض عند ٨ °م.
- ان قيم (مقاومة الانضغاط والصلادة والمرونة) تنخفض عند معالجتها بدرجات حرارة (٥٠) °م والعكس عند تبريد العينات.
- انخفاض قيم التوصيل الحراري للبولي استر غير المشبع بعد التدعيم في درجة حرارة الغرفة ويقل بالتبريد ويزداد بزيادة درجة الحرارة.

المصادر:

١. أسية، مداح، بوعزيز، أمينة (٢٠١٩)"الدراسة المورفولوجية لنبات الليف وتحضير مواد مركبة ذات الأساس من البولي إستر غير المشبع " رسالة ماجستير جامعة محمد بو ضياف بالمسيلة، كلية العلوم، كيمياء عضوية، الجمهورية العربية الجزائرية الدمقراطية الشعبية.

2. Hamood, I. A. (2015). "Impact behavior of epoxy blends and composites " M.Sc. thesis, Department of Applied Sciences, University of Technology
3. Groover, M. P. (2011). Introduction to manufacturing processes. Wiley Global Education..
4. Asuke, F., Aigbodion, V. S., Abdulwahab, M., Fayomi, O. S. I., Popoola, A. P. I., Nwoyi, C. I., & Garba, B. (2012). Effects of bone particle on the properties and microstructure of polypropylene/bone ash particulate composites. Results in Physics, *2*, 135-141.
5. Adeosun, S. O., Akpan, E. I., & Akanegbu, H. A. (2015). Thermo-mechanical properties of unsaturated polyester reinforced with coconut and snail shells.

6. Koleva, D. A., & van Breugel, K. (2011). The synergy of electrochemistry and concrete material science in evaluating corrosion resistance of wastes-containing reinforced cement-based systems. In Advances in Composite Materials-Analysis of Natural and Man-Made Materials (pp. 363-388). Intech Open.
7. Asuke, F., Aigbodion, V.S., Abdulwahab, M., Fayomi, O.S.I., Popoola, A.P., Nwoyi, C.I., & Garba, B. (2012). Effects of bone particle on the properties and microstructure of polypropylene/bone ash particulate composites. Results in Physics , *2* , 135-141.

٨. جاسم، وداد حمدي، (٢٠١٦)، "تحضير متراكبات من الإيبوكسي ومسحوق قشور البيض لاستعمالها في طلاء السطوح"، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد ٢٩، العدد١.

٩. العالم، أنوار محمود أحمد حسين، (٢٠٢٢)، "تحضير متراكبات بوليمرية من البولي استر غير المشبع مع بعض أنواع الالياف ودراسة خواصها الميكانيكية والحرارية"، رسالة ماجستير علوم الكيمياء، كلية التربية للبنات، جامعة الموصل.

١٠. حياوي، يحيى إبراهيم عبد الرحمن، (٢٠١٨)، " تأثير التقوية بألياف ومساحيق الزجاج والكاربون على الخواص الفيزيائية لراتنج البولي استر غير المشبع "، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، جامعة تكريت.

١١. الأطرش، ميسم خالد محمد، (٢٠٢٢)، "دراسة حرارية وميكانيكية للمتراكبات البوليمرية المحضرة من الايبوكسي مع بعض مساحيق الفلزات"، رسالة ماجستير، قسم الكيمياء، جامعة الموصل، العراق.

12. Marwa H. Mohammed Ameen, Ebtahag .Z . Sulyman,, (2023).” Preparation of Polymeric Composites from Epoxy and High-Density Polyethylene and Study of Some of Their Mechanical “,Journal of Survey in Fisheries Sciences 10(1S), 5368-5378 .
13. A. Benny Cherian and Eby Thomas Thachil (2003) .“Journal of Elastomers and Plastics” Vol (35), No (4) p(367_389).
14. Madugu, I. A., Abdulwahab, M., & Aigbodion, V. S. (2009). Effect of iron fillings on the properties and microstructure of cast fiber–polyester/iron filings particulate composite. Journal of Alloys and Compounds, 476(1-2), 807-811.
15. Durowaye, S., Bolasodun, B., Kuforiji, C., & Odina, K. (2020). Effects Of aluminium dross and iron filings particulates on the mechanical properties of hybrid thermoplastic (nylon) matrix composites. Usak University Journal of Engineering Sciences, *2*(2), 86-99.

16. Ogundiji, O. E., & Oyatogun, G. M. (2022). Tensile and flexural properties of polyester composites reinforced by iron filings. Tribology and Materials, 1(4), 157-162.
17. Hatem Abushammala , Jia Mao. (2023) "Waste Iron Filings to Improve the Mechanical and Electrical Properties of Glass Fiber-Reinforced Epoxy (GFRE) Composites . J. Compos. Sci. , 7(3), 90 .
18. Ogundiji, O. E., & Oyatogun, G. M. (2022). Tensile and flexural properties of polyester composites reinforced by iron filings. *Tribology and Materials*, *1*(4), 157-162.
19. Seymour, R. B. (1999). " Polymer Composite", 1st edn, Utrecht, The Nether Land, pp. 165- 176.

٢٠. البكري، هدى عبد الرزاق يونس، (٢٠١٢)،" دراسة الخصائص الميكانيكية لمتراكب البولي استر غير المشبع المدعم بألياف الزجاج المحاكة عشوائياً وتأثير المحاليل الحامضية على بعض خصائصه الفيزيائية"، مجلة علوم الرافدين، (١)، المجلد٢٣, العدد ١.

٢١. ذنون، حسينة هادي، (٢٠١٢)."دراسة التأثير الحراري على الخواص الميكانيكية والحرارية لمتراكب البولي إستير غير المشبع المدعم بمسحوق الزجاج الاعتيادي "، مجلة علوم الرافدين، المجلد ٢٤، العدد٣.

٢٢. ديب، إيهاب نواف، خوري، مروان، (٢٠٢٣). "دراسة تأثير طول الليف ونسبة الالياف الزجاجية المستخدمة مع الملدنات في تحسين مقاومة المونة الاسمنتية للضغط والانعطاف"، مجلة جامعة البعث، المجلد (٤٥) العدد (١).

23. Mohmmed, S. D., Sulyman, E. Z., Saad-Aldeen, R. A., & Hammadi, E. Q. (2021). Study the mechanical and physical properties of an epoxy compound with Sulfur. Iraqi National Journal of Chemistry, *21*(3), 1-10.
24. Ameen, M. H. M., & Sulyman, E. Z. (2023). Preparation of Polymeric Composites from Epoxy and High-Density Polyethylene and Study of Some of Their Mechanical. Journal of Survey in Fisheries Sciences, 10(1S), 5368-5378.

٢٥. سليمان، خلدون جمال، أحمد، عدنان رعد، دباغ، بلقيس محمد ضياء، (٢٠٢٢)، "تأثير التدعيم بمواد نانوية على خصائص راتنج الايبوكسي المضاف اليه طور مطاطي"، مجلة كلية التربية، العدد (٢)، الجزء الاول.

٢٦. مكي، سمير عطا، أحمد، عدي حميد، عبد الله، مصطفى زيد، غني، بسمة علي، (٢٠١٢). " دراسة تأثير التدعيم ودرجة الحرارة في مقاومة الصدمة لخليط بوليمري " مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد ٢٥، العدد ٣.

٢٧. عبد الغني، سلام عبيد، (٢٠٢١)، "تحضير وتوصيف المركبات النانوية الهجينة القائمة على البوليمر للتطبيقات الهيكلية"، جامعة تكريت، كلية التربية للعلوم الصرفة، قسم الفيزياء.

٢٨. رسول، علي حسن، ضياء، بلقيس محمد، علي، سلام حسين، (٢٠١٠)، " تأثير درجة الحرارة والمحاليل الكيميائية على قيم معامل المرونة لمواد متراكبة هجينة " مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد ٢٨، العدد١٣، ص :٦٩٣.

٢٩. وعدالله، إسراء سعد، آل حليم ابتهاج زكي سليمان، (٢٠٢١) ،"تحضير متراكبات من البولي إستر غير المشبع ومسحوق الزجاج (الفلوروسنت) ،المجلة العراقية لبحوث السوق وحماية المستهلك المجلد ١٣العدد١،ص :١٣١ -١٣٩.

٣٠. الأطرش، ميسم خالد جاسم، ابتهاج، زكي سليمان، (٢٠٢٢) "دراسة حرارية وميكانيكية للمركبات البوليمرية المحضرة من الايبوكسي مع برادة الحديد"، المجلة الدولية للعلوم الصحية، ٦(س٤)، ٧٩٠٨-٧٩١٩.

٣١. محمد، أكرم عزيز، " كيمياء اللدائن", دار الكتب للطباعة والنشر. جامعة الموصل، العراق (1993).

٣٢. الصافي، رولا عبد القادر عباس (٢٠٠١). دراسة الخواص الحرارية والميكانيكية للنوفولاك ومركباته. رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية.

٣٣. حسين، مظفر يعقوب، حسين، رحيم جعفر، (2010)،"تحسين الخواص الميكانيكية والحرارية للبولي يورثان"، مجلة كلية التربية الأساسية، العدد61، ص: 837-821.

٣٤. حسن، أحمد غازي (٢٠١٧). دراسة تأثير إضافة السليكا على الخواص الميكانيكية لمتراكبات البوليستر المقواة بالألياف الزجاجية. مجلة القادسية للعلوم الهندسية ١٠(١):١٦-٢٩.

٣٥. الراوي، رؤى عصام، إبراهيم، ابتهاج زكي سليمان آل حليم، (٢٠١٩). "تحضير متراكبات بوليمرية من الايبوكسي وألياف الزجاج المحاكة عشوائيا ودراسة خواصها الميكانيكية"، مجلة علوم الرافدين، المجلد (٢٨)، العدد(٣)، ص : ١٠٥ – ١١٥.

٣٦. آل آدم، كوركيس عبد الله، كاشف الغطاء، حسين علي، (١٩٨٣). "تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات "، كلية العلوم، جامعة البصرة.

٣٧. داليا ربيع سعدال & ابتهاج زكي سليمان. (٢٠٢٣). "تحضير ودراسة بعض الخواص الميكانيكية والحرارية لمتراكب الأيبوكسي مع مطاط السليكون " College of Basic Education Researches Journal, 19(1)

38. Ahmed, A. M., & Sulyman, E. Z. (2022). Preparation and study of mechanical and thermal properties of polymeric composites of unsaturated and polyester cellulose fibers. International Journal of Health Sciences, (I), 9305-9321.
39. Ohki, Y., & Hirai, N. (2023). Thermal ageing of soft and hard epoxy resins. High Voltage, 8(1), 12-20.
40. Jassim, R. W., Sulyman, E. Z., & Hasan, A. K. (2023). Study Of Some Mechanical Properties Of The Prepared Polymeric Composites Unsaturated Polyester With Gyrex Clay. Journal of Survey in Fisheries Sciences, 7096-7102.