



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة ديالى  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء



# تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لمترابك بوليمري مدعم بحبيبات (ZnO) والياف النخيل المقطع

رسالة قَدِّمها إلى

مجلس كلية العلوم – جامعة ديالى و هي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في  
علوم الفيزياء

الطالب

اسماعيل صالح محمد

بكالوريوس علوم فيزياء 2001 م

بأشراف

أ.م.د. جاسم محمد منصور

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَءَايَةٌ لَهُمُ الْبُيُوتُ الَّتِي بَنَوْا لِنَفْسِهِمْ إِنَّهُم مُّؤْمِنُونَ  
فَإِذَا هُمْ مُّظْلِمُونَ ﴿٣٧﴾ وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا  
ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ ﴿٣٨﴾ وَالْقَمَرَ قَدَرْنَاهُ مَنَازِلَ حَتَّىٰ  
عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيمِ ﴿٣٩﴾ لَا الشَّمْسُ يَنْبَغِي لَهَا أَنْ تُدْرِكَ  
الْقَمَرَ وَلَا الْبُرُجُ سَابِقَ النَّهَارِ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ ﴿٤٠﴾

صدق الله العظيم

## الإهداء

إلى مَنْ تكون الجنة تحت أقدامها وقمري الذي ينير ظلمة الليل إلى المعطاء بدون مقابل التي آثرت نفسها بتضحياتها لترسم طريق سعادتي وجعلتني بداخل قلبها

(والدتي العزيزة وعائلتها)

إلى من سعى وشقى وترك ترف الحياة وراحتها وعمر الأرض ليمزج ترابها بمائها لينتج الجنان بإذن الله لأنعم بالراحة والهناء وعلمني ان التواضع طبع الاتقياء وعلمني ان اسير بطريق الحياة بحكمة وصبر.

(والذي رحمه الله وعائلته)

إلى مَنْ كان سوري العالي وقلعتي المحصنة التي احتمي فيها من مصائب الدنيا وسندي في الحياة (أخي وعائلته)

إلى مَنْ كانا سنداً لي وحبهم يجري في عروقي ويلهج بذكراهم فؤادي الى اجمل قدر في حياتي و سر قوتي

(أخواتي وأبنائهم)

إلى رفيقة دربي ونصفي الثاني زهرتي التي تحملت معي عناء الدراسة وأرتضت ان أكون طالب علم والتي حين أرى ابتسامتها المشرقة أنسى همومي وتعبي وأشعر بالسكينة تملأ وجداني. (زوجتي الغالية واهلها)

إلى من أرى المستقبل المشرق عندما انظر اليهم فلذات كبدي و سر سعادتي في الحياة.

(بناتي واولادي)

إلى من علمونا حروفا من ذهب وكلمات من درر إلى من صاغوا لنا علمهم حروفا ومن فكرهم منارة تنير لنا سيرة العلم والنجاح الى من يحملون رسالة الانبياء.

(اساتذتي الافاضل)

إلى الذين يبقون على العهد مهما طالت المسافات.

(اصدقائي)

إلى من سرنا سوياً ونحن نشق الطريق معاً نحو النجاح والإبداع إلى من تكاتفنا يداً بيد ونحن نقطف ثمار جهدنا.

(زملائي وزميلاتي )

إلى مَنْ قَطَعْنَا شوطاً طويلاً بالعمل معا

(رفقائي بالعمل)

أهدي اليهم ثمرة جهدي ..... اسماعيل

## شكر و عرفان

الحمد لله والشكر لله على فضله ومنته وتوفيقه لي لاتمام عمل هذه الرسالة، والذي لا يتم سعي وعمل إلا بفضلله، الحمد لله حمداً كثيراً، كما ينبغي ويليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه، الحمد لله حمد الشاكرين، نحمدك وننتي عليك الخير كله، و الصلاة و السلام على المبعوث رحمة للعالمين، سيد الخلق وإمام الأنبياء و المرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

اتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الفاضل مشرفي على الرسالة الاستاذ المساعد الدكتور (جاسم محمد منصور) لمنح ثقته بي ولما بذله من جهود مضمّنية في المتابعة والتوجيه العلمي وتذليل الصعوبات وتجاوز العقبات التي رافقت مراحل انجاز هذه الرسالة من خلال توجيهاته القيمة التي قدمها لي لإكمالها بأبهى صورها، وأقول له حقاً سعيت وكان السعي مشكوراً، سائلاً الله تعالى ان يمن عليه بالصحة والعافية وان يمد في عمره و يأخذ بيده لما فيه خير.

واتقدم بالشكر الجزيل الى التدريسية في قسم الفيزياء الأستاذة (هند وليد عبدالله) لما بذلته من جهود مضمّنية في توجيهي ومتابعة عملي لحين انجاز هذه الرسالة، وأقول لها حقاً سعيتي وكان السعي مشكوراً، سائلاً الله تعالى ان يمن عليها بالصحة والعافية وان يمد في عمرها ويأخذ بيدها لما فيه خير.

كما اود ان اتقدم بأسمى آيات الشكر والعرفان لعمادة كلية العلوم لإتاحتها لي فرصة اكمال دراسة الماجستير في هذه الكلية المرموقة و المتمثلة بالسيد عميد الكلية الاستاذ الدكتور (تحسين حسين مبارك) لمواقفه الابوية والعناية الكبيرة بطلبة الدراسات العليا، فله مني كل التقدير والاحترام.

و اقدم خالص شكري و امتناني لرئاسة قسم الفيزياء واساتذتي الافاضل و اخص بالذكر منهم الاستاذ الدكتور زياد طارق خضير والاستاذ اسعد احمد كامل والاستاذ الدكتور نبيل علي بكر والاستاذ الدكتور صباح انور سلمان والاستاذ فراس محمود هادي، والاستاذ المساعد الدكتور عمار عايش حبيب والأستاذة الدكتورة بثينة عبد المنعم ابراهيم ولهم الشكر الجزيل والامتنان لما غرسوه في عقولنا من افكار قيمة.

كما واشكر كل من مد لي يد العون والمساعدة من اساتذة ومعيدي القسم ومنهم الاستاذ المساعد الدكتور جاسم محمد الخالدي، ولانسن بالذكر شعبة الدراسات العليا في الكلية ومكتبة الكلية واذكر منها الاستاذ عدنان والاستاذ رأفت محمود، فلهم جميعاً جزيل الشكر والعرفان. وكذلك اشكر الاساتذة (كرار سعد محمود وعمر يوسف حمد ووسام ياس خضير) والى زملائي بالدراسة والعمل وأفراد اسرتي وكل من قدم لي خدمة سواء أكان ذلك بالعمل او معنوية او بالدعاء.

وفي الختام أقول لهم لكم مني كل الحب والود واسأل الله تعالى ان يحفظهم ويبارك بهم.

## إقرار الأستاذ المشرف

أقر أن هذه الرسالة والموسومة (تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية لمتراكب بوليمري مدعم ببعض المواد النانوية والمايكرولية) من اعداد الطالب (اسماعيل صالح محمد) قد جرت تحت اشرافنا في قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة ديالى، وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء.

التوقيع:

الاسم: د. جاسم محمد منصور

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة ديالى- كلية العلوم

التاريخ: 2021/6/

## توصية رئيس قسم الفيزياء

بناء على التوصية المقدمة من قبل الأستاذ المشرف أحيل هذه الرسالة الى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها.

التوقيع:

الاسم: د. عمار عايش حبيب

المرتبة العلمية: أستاذ

مساعد

العنوان: جامعة ديالى- كلية العلوم

التاريخ: 2021/6/

## الخلاصة

تم تحضير متراكبات الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية والنانوية والمتراكبات الهجينة من الايبوكسي وألياف النخيل باستخدام طريقة التشكيل اليدوي (ال قالب المفتوح) وبدرجة حرارة الغرفة، وتم تهيئة المصبوبات وتقطيع العينات بأبعاد قياسية لإستخدامها في الفحوصات وحسب (ASTM) المحددة لكل فحص، إذ تم دراسة تأثير إضافة دقائق أكسيد الخارصين النانوية والمايكروية و بكسور وزنية مختلفة (0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 wt%)، وكذلك دراسة تأثير إضافة ألياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة (0.5 wt%) إلى راتنجات الايبوكسي على الخصائص الميكانيكية (الشدة والانحناء والصلادة والصدمة) والخصائص الكهربائية (ثابت العزل الكهربائي وعامل الفقد العزلي) والخصائص الحرارية (معامل التوصيل الحراري)، باستخدام أجهزة القياس الميكانيكية بما في ذلك قوة الشد، والانحناء، وصلادة شور، والصدمة وقرص لي على التوالي، وكذلك تم إجراء فحص لإختبارات المورفولوجية للمجهر الالكتروني الماسح (FESEM-EDS) لدراسة البنية التركيبية لسطح الكسر الناتج من اختبار عينات الشد لمادة الايبوكسي النقية ومتراكباتها.

أظهرت نتائج الاختبارات الميكانيكية بأن قيمة كل من مقاومة الشد و اقصى اجهاد ومعامل يونك ومقاومة الانحناء تزداد عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين النانوية، وظهرت زيادة عما كانت عليه عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي النقي وشذت عن هذه الزيادة النسبة المنوية (0.7 wt%) عند إضافة الدقائق النانوية في فحص الانحناء، وكذلك أظهرت النتائج إن قيم الصلادة وقيم متانة الصدمة تزداد عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية وتزداد بنسبة اكبر ايضا عند اضافة دقائق أكسيد الخارصين النانوية لكافة العينات المصنعة، وكذلك أظهرت النتائج انه بأضافة الياف النخيل تزداد قيم الصلادة ونقصان قيم متانة الصدمة.

وأظهرت نتائج الفحوصات الكهربائية العزلية والمتمثلة بثابت العزل الكهربائي وعامل الفقد العزلي عند درجة حرارة الغرفة وضمن مدى التردد (100Hz-1MHz)، إن ثابت العزل الكهربائي وعامل الفقد العزلي يتناقصان مع زيادة التردد ولجميع العينات، وعند الترددات الواطنة امتلكت العينات جميعها قيم عالية لثابت العزل الكهربائي وعامل الفقد العزلي وبزيادة التردد يحصل نقصان كبير ومفاجئ في قيم ثابت العزل الكهربائي و عامل الفقد العزلي و ان قيمة ثابت العزل الكهربائي وعامل الفقد العزلي عند نفس التردد تزداد عند اضافة دقائق أكسيد الخارصين المايكروية والنانوية وعند اضافة وزيادة الكسر الوزني لكلا النوعين من الدقائق المايكروية والنانوية والياف النخيل.

أيضاً بينت نتائج الفحوصات الحرارية بأن قيمة معامل التوصيل الحراري للايبوكسي النقي تكون (0.40256 W/m.K) وتزداد قيمته إلى (0.57285 W/m.K) عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية وإلى (0.63898 W/m.K) عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين النانوية وإلى (0.63 W/m.K) عند التدعيم بألياف النخيل وإلى (0.67 W/m.K) عند التدعيم بمتراكبات هجينة من الياف النخيل ودقائق أكسيد الخارصين النانوية (Nano ZnO)، أما عند إضافة وزيادة الكسر الوزني من الدقائق المايكروية والنانوية فإن قيمة معامل التوصيل الحراري تبدأ بالتناقص، إلا إن قيمة معامل التوصيل الحراري تبقى اعلى من قيمتها في حالة الايبوكسي النقي.

بينت نتائج التصوير المجهرى (FESEM-EDS) لإختبارات المورفولوجية للمجهر الالكتروني الماسح لدراسة البنية التركيبية لسطح الكسر الناتج من اختبار عينات الشد لمادة الايبوكسي النقية و متراكباتها ان جسيمات أكسيد الخارصين موزعة بشكل متجانس لكلا نوعي الجسيمات وتكون بشكل افضل بالنسبة للجسيمات النانوية منها للجسيمات المايكروية مع بعض التكتلات والتي تكون بشكل اكبر في الجسيمات المايكروية، وإن الكسر الناتج من النوع الحدودي، وأن كل المواد المتراكبة لها بنية تشكيلية مستمرة، وذات اسطح خشنة بالنسبة للمتراكبات المدعمة بدقائق اوكسيد الخارصين المايكرووي وأقل خشونة الى ناعم بالنسبة للمتراكبات المدعمة بأوكسيد الخارصين النانوي مقارنة بمادة الاساس، مما يدل على الترابط الجيد بين مكونات المادة الاساسية النقية للايبوكسي والدقائق المضافة، وكذلك تبين إن نوع الكسر هو من النوع القصيف (Brittle Fructre) ولجميع أنواع العينات المدعمة بكلا نوعي الدقائق المضافة المايكروية والنانوية، وكذلك لجميع النسب.

## قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
	الخلاصة	
I	المحتويات	
V	قائمة الرموز	
VII	قائمة الجداول	
IX	قائمة الاشكال	
XIV	قائمة المختصرات	
	الفصل الاول (المقدمة و الدراسات السابقة)	
1	المقدمة	(1-1)
2	راتنج الايبوكسي	(2-1)
3	الخصائص الفيزيائية للإيبوكسي	(1-2-1)
6	او كسيد الخارصين (ZnO)	(3-1)
7	بعض الطرق الكيميائية لتصنيع او كسيد الخارصين	(1-3-1)
7	التركيب البلوري لاوكسيد الخارصين	(2-3-1)
9	تطبيقات او كسيد الخارصين	(3-3-1)
9	الالياف الطبيعية	(4-1)
10	الدراسات السابقة	(5-1)
20	الهدف من الدراسة	(6-1)
	الفصل الثاني (الجزء النظري)	
21	المقدمة	(1-2)
21	البوليمرات	(2-2)
21	تركيب البوليمر	(1-2-2)
22	العوامل المؤثرة في خصائص البوليمر	(2-2-2)
23	تصنيف البوليمرات	(3-2-2)
25	المواد النانوية	(3-2)
26	تصنيف المواد النانوية	(1-3-2)



27	المواد المترابطة	(4-2)
28	أنواع المواد المترابطة	(1-4-2)
29	المتغيرات المؤثرة في خصائص المواد المترابطة المدعمة بالدقائق	(2-4-2)
30	قاعدة الخلط	(3-4-2)
33	العوامل المؤثرة في سلوك المترابكات المدعمة بالألياف	(5-2)
34	الخصائص الميكانيكية	(6-2)
34	أختبار الشد	(1-6-2)
35	منحني (الاجهاد – الانفعال)	(1-1-6-2)
37	أختبار الانحناء	(2-6-2)
38	اختبار الصلادة	(3-6-2)
39	اختبار الصدمة	(4-6-2)
40	الخصائص الكهربائية (العزلية)	(7-2)
42	الخصائص الحرارية	(8-2)
42	التوصيلية الحرارية	(1-8-2)
44	الكسر	(9-2)
44	الكسر الهش	(1-9-2)
45	الكسر المطيلي	(2-9-2)
الفصل الثالث ( الجزء العملي)		
46	المقدمة	(1-3)
47	المواد المستخدمة	(2-3)
47	المادة الاساس	(1-2-3)
48	تركيب الايبوكسي	(2-2-3)
49	مواد التدعيم	(3-2-3)
49	الدقائق النانوية	(1-3-2-3)
50	الدقائق المايكروية	(2-3-2-3)
50	الألياف الطبيعية	(3-3-2-3)

51	تحضير العينات	(3-3)
51	تحضير العينات غير المدعمة	(1-3-3)
52	تحضير العينات المدعمة بالدقائق النانوية والمايكرولية والألياف الهجينة	(2-3-3)
53	تقطيع العينات	(4-3)
54	الاختبارات الميكانيكية	(5-3)
54	اختبار الشد	(1-5-3)
55	اختبار الانحناء	(2-5-3)
56	اختبار الصلادة	(3-5-3)
56	اختبار الصدمة	(4-5-3)
57	الفحوصات الكهربائية	(6-3)
58	الفحوصات الحرارية	(7-3)
58	فحص التوصيلية الحرارية	(1-7-3)
59	الفحص المجهرى الالكتروني الماسح (FESEM)	(8-3)
60	الفصل الرابع (النتائج و المناقشة)	
60	المقدمة	(1-4)
60	الخصائص الميكانيكية	(2-4)
60	نتائج اختبار الشد	(1-2-4)
60	نتائج اختبار الشد للعينات المدعمة بدقائق اوكسيد الخارصين المايكرولية والنانوية	(1-1-2-4)
66	نتائج اختبار الشد للعينات المدعمة بألياف النخيل والمتراكب الهجين.	(2-1-2-4)
69	نتائج اختبار الانحناء	(2-2-4)
76	نتائج اختبار الصلادة	(3-2-4)
76	نتائج اختبار الصلادة للعينات المدعمة بألياف النخيل والمتراكب الهجين ودقائق أوكسيد الخارصين المايكرولية والنانوية	(1-3-2-4)
79	اختبار الصدمة	(4-2-4)

79	نتائج اختبار الصدمة للعينات المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية ودقائق أكسيد الخارصين النانوية وألياف النخيل والمتراكب الهجين	(1-4-2-4)
83	الخصائص الكهربائية (العزلية)	(3-4)
83	نتائج فحص ثابت العزل الكهربائي	(1-3-4)
83	فحص ثابت العزل الكهربائي للعينات المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية ودقائق أكسيد الخارصين النانوية وألياف النخيل والمتراكب الهجين	(1-1-3-4)
86	نتائج فحص عامل الفقد العزلي	(2-3-4)
86	فحص عامل الفقد العزلي للعينات المدعمة بألياف النخيل والمتراكب الهجين ودقائق أكسيد الخارصين المايكروية ودقائق أكسيد الخارصين النانوية	(1-2-3-4)
88	نتائج فحص الخصائص الحرارية	(4-4)
88	نتائج فحص التوصيلية الحرارية	(1-4-4)
92	نتائج فحص (FESEM)	(5-4)
92	نتائج فحص (FESEM) لدقائق أكسيد الخارصين النانوية	(1-5-4)
94	نتائج فحص (EDS) لمنطقة الكسر نتيجة اختبار الشد للعينات	(2-5-4)
98	نتائج فحص (FE-SEM) لمنطقة الكسر نتيجة اختبار الشد للعينات	(3-5-4)
102	الاستنتاجات	(6-4)
103	التوصيات والمشاريع المستقبلية	(7-4)

## قائمة الرموز

الوحدات	Meaning	الرمز	معنى الرمز
g/cm <sup>3</sup>	Density of Matrix	$\rho_m$	كثافة المادة الأساس
g/cm <sup>3</sup>	Density of particle	$\rho_p$	كثافة الدقائق
g/cm <sup>3</sup>	Density of composite	$\rho_c$	كثافة المادة المترابطة
%	Weight Fraction for Matrix material	$W_m$	الكسر الوزني للمادة الأساس
%	Volume Fraction for Matrix material	$V_m$	الكسر الحجمي للمادة الأساس
%	Weight Fraction for reinforcement material	$W_p$	الكسر الوزني لمادة التقوية
%	Volume Fraction for reinforcement material	$V_p$	الكسر الحجمي لمادة التقوية
m <sup>3</sup>	Volume of composite material	$v_c$	حجم المادة المترابطة
m <sup>3</sup>	Volume of matrix material	$v_m$	حجم المادة الأساس
m <sup>3</sup>	Volume of reinforcement material	$v_p$	حجم مادة التقوية
m	Width	b	عرض العينة
m	Deflection	D	الانحراف
Mpa	Stress	$\sigma$	الاجهاد
m <sup>2</sup>	Original Cross – Sectional	A	مساحة المقطع العرضي
m	Strain	$\epsilon$	الانفعال
m	Elongation	$\delta$	الاستطالة
m	Final length	L	الطول النهائي
m	Initial length	$L_o$	الطول الابتدائي
M pa	Ultimate Tensile Test	UTS	أقصى اجهاد شد
m	Support Span	S	المسافة بين المسندين

N	Load	P	الحمل المسلط
G pa	Young's modulus	$Y_m$	معامل يونك
G pa	Young's modulus flexural	$E_{Ben}$	معامل المرونة الانحنائي
W/m. °C	Thermal conductivity	K	التوصيلية الحرارية
W/m <sup>2</sup> .°C	Thermal loss	e	الفقدان في الحرارة
Amp	Electric current	i	التيار الكهربائي
Volt	Voltage	v	فرق الجهد
Watt	Power	p	الطاقة المارة خلال ملف المسخن
W/m <sup>2</sup>	Thermal Flux	q	الفيض الحراري
m	Radius	r	نصف قطر العينة
m	Thickness of disks	$d_1, d_2, d_3$	سمك الاقراص
K	Temperatures Through the first ,second ,third disks	$T_1, T_2, T_3$	درجة الحرارة خلال القرص الاول، الثاني، الثالث
N/mm <sup>2</sup>	Shors hardness	Sh(D)	صلادة شور (D)

## قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
	الفصل الاول	
8	الخواص الاساسية لأكسيد الخارصين	(1-1)
	الفصل الثالث	
47	بعض خصائص الايبوكسي المستخدم	(1-3)
48	بعض خصائص الايبوكسي المستخدم بشكل عام	(2-3)
49	بعض خصائص دقائق اوكسيد الخارصين النانوية	(3-3)
50	بعض خصائص اوكسيد الخارصين المايكروية	(4-3)
53	انواع العينات المصنعة	(5-3)
54	الابعاد القياسية للعينات الخاصة لكل اختبار	(6-3)
62	الفصل الرابع	
65	قيم كل من مقاومة الشد واقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروي وبنسب وزنية مختلفة	(1-4)
66	قيم كل من مقاومة الشد واقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة	(2-4)
69	قيم كل من مقاومة الشد واقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية (0.5 wt%)	(3-4)
75	قيم كل من مقاومة الانحناء واقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية وبنسب وزنية مختلفة	(4-4)
75	قيم كل من مقاومة الشد واقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة	(5-4)
76	قيم كل من مقاومة الشد واقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين وبنسبة وزنية (0.5 wt%)	(6-4)
78	قيم الصلادة لمادة الايبوكسي والمتراكب المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين و بنسبة وزنية (0.5 wt %)	(7-4)
79	قيم الصلادة لمادة الايبوكسي مدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي (MPs and NPs of ZnO) وبنسب وزنية مختلفة	(8-4)

82	قيم الصدمة لمادة الايبوكسي والمتراكب المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية بنسب وزنية مختلفة.	(9-4)
82	قيم الصدمة لمادة الايبوكسي والمتراكب المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية بنسب وزنية مختلفة	(10-4)
83	قيم الصدمة لمادة الايبوكسي والمتراكب المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt%)	(11-4)
91	قيم معامل التوصيل الحراري لمادة الايبوكسي والمتراكب المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt%)	(12-4)
92	قيم معامل التوصيل الحراري لمادة الايبوكسي والمتراكبات المدعمة بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) والنانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة	(13-4)
92	حساب الحجم الحبيبي لدقائق أوكسيد الخارصين النانوية	(14-4)

## قائمة الاشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
	الفصل الاول (المقدمة والدراسات السابقة)	
3	هيكل الايبوكسي (Oxiran)	(1-1)
4	دور المصلبات بعملية ربط الجزيئات مع بعضها البعض من خلال تفاعل الإضافة	(2-1)
5	بلمرة مجاميع الايبوكسي باستخدام حوامض لويس	(3-1)
5	مكونات اهم انواع راتنج الايبوكسي	(4-1)
8	التركيب البلوري لأوكسيد الخارصين (ZnO)، (a) سداسي متراس (Wurtzite)، (b) مكعب خليط الخارصين (Zinc blend)، (c) مكعب ملح صخري (Rock salt)	(5-1)
	الفصل الثاني (الجزء النظري)	
22	أنواع السلاسل البوليمرية	(1-2)
25	انواع تراكيب السلاسل البوليميرية بالاعتماد على الخصائص التقنية	(2-2)
27	تصنيف المواد النانوية	(3-2)
28	تصنيف المواد المترابطة	(4-2)
31	التقوية بدقائق التنكستن وتأثيرها في معامل المرونة	(5-2)
32	تصنيف المترابكات الليفية	(6-2)
35	منحني (الاجهاد - الانفعال) لمادة بوليميرية	(7-2)
37	عينة اختبار الانحناء ثلاثي النقط	(8-2)
39	اداة الغرز بجهاز صلادة شور	(9-2)
44	مخطط جهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي)	(10-2)
45	a- الكسر الهش، b- الكسر المطيبي	(a, b-11-2)
	الفصل الثالث (الجزء العملي)	
49	التركيب الكيميائي للأيبوكسي	(1-3)
51	صورة لألياف النخيل	(2-3)
52	صورة القالب المستخدم في عمل العينات	(3-3)



53	نماذج من العينات المصنعة	(4-3)
55	صورة جهاز اختبار الشد	(5-3)
55	صورة جهاز الانحناء ثلاثي النقط	(6-3)
56	صورة جهاز اختبار الصلادة	(7-3)
57	صورة جهاز اختبار الصدمة	(8-3)
57	صورة جهاز (LCR Metter)	(9-3)
58	صورة جهاز فحص التوصيلية الحرارية (قرص لي)	(a-10-3)
58	شكل تخطيطي لجهاز التوصيل الحراري (قرص لي)	(b-10-3)
59	صور المجهر الإلكتروني الماسح (FESEM)	(a, b-11-3)
	الفصل الرابع ( النتائج و المناقشة)	
62	منحني (الاجهاد-الانفعال) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) وبنسب وزنية مختلفة	(1-4)
63	منحني (الاجهاد-الانفعال) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) وبنسب وزنية مختلفة	(2-4)
63	العلاقة بين قيم اعلى اجهاد والنسبة (wt%) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي	(3-4)
64	العلاقة بين معامل يونك والنسبة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروي	(a-4-4)
64	العلاقة بين معامل يونك والنسبة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بأوكسيد الخارصين النانوي	(b-4-4)
65	العلاقة بين معامل يونك والنسبة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي	(5-4)
67	منحني (الاجهاد-الانفعال) لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية (0.5wt%)	(6-4)
68	العلاقة بين قيم اعلى اجهاد والنسبة (0.5 wt%) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة باللياف النخيل والمتراكب الهجين	(7-4)
68	العلاقة بين معامل يونك والنسبة (0.5 wt%) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بالاللياف والمتراكب الهجين	(8-4)

71	العلاقة بين إجهاد (الثني- الانحراف) لمادة الأيوكسي والمواد المترابكة من الايوكسي ودقائق اوكسيد الخارصين المايكروية وبكسور وزنية مختلفة	(9-4)
72	العلاقة بين إجهاد (الثني- الانحراف) لمادة الأيوكسي والمواد المترابكة من الايوكسي ودقائق اوكسيد الخارصين النانوي وبكسور وزنية مختلفة	(10-4)
72	العلاقة بين أكبر قيم لإجهاد (الثني-الانحراف) لمادة الأيوكسي النقي والمترابك المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي وبكسور وزنية مختلفة	(11-4)
73	قيم معامل المرونة الانحنائي لمادة الأيوكسي والمواد المترابكة من الايوكسي النقي والمترابك المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي وبكسور وزنية مختلفة	(12-4)
73	العلاقة بين إجهاد (الثني- الانحراف) لمادة الأيوكسي والمواد المترابكة من الايوكسي والياف النخيل والمترابك الهجين وبكسر وزني (0.5 wt%)	(13-4)
74	العلاقة بين اعلى قيم إجهاد (الثني- الانحراف) لمادة الأيوكسي والمواد المترابكة من الايوكسي والياف النخيل والمترابك الهجين وبكسر وزني (0.5 wt%)	(14-4)
74	العلاقة بين معامل يونك لمادة الأيوكسي والمواد المترابكة من الايوكسي والياف النخيل والمترابك الهجين وبكسر وزني (0.5 wt%)	(15-4)
77	قيم الصلادة لمادة الايوكسي النقي والمدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين مع النسبة (0.5 wt%) وبالظروف المختبرية	(16-4)
78	قيم الصلادة لمادة الايوكسي النقي والمترابك المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروي (ZnO MPs) والنانوي (ZnO NPs) مع النسبة وبالظروف المختبرية.	(17-4)
81	الصدمة لمترابك الايوكسي المدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt%)	(18-4)
81	الصدمة لمترابك الايوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) ودقائق أوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) وبنسب وزنية مختلفة	(19-4)
84	ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمترابك الايوكسي المدعم بألياف النخيل	(20-4)

	والمترابك الهجين وبنسبة وزنية مختارة (0.5 wt%)	
85	ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) بنسب وزنية مختلفة	(21-4)
85	ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة	(22-4)
87	عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمترابك الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين وبنسبة وزنية مختارة (0.5 wt %)	(23-4)
87	عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) و بنسب وزنية مختلفة	(24-4)
88	عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة	(25-4)
90	معامل التوصيل الحراري لمترابك الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt %)	(26-4)
90	معامل التوصيل الحراري لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) بنسب وزنية مختلفة	(27-4)
91	معامل التوصيل الحراري لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة	(28-4)
93	صورة فحص SEM لاوكسيد الخارصين النانوي	(a, b-29-4)
93	الحجم الحبيبي لجسيمات أوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs)	(c -29-4)
94-95	(EDS) لسطح الكسر للايبوكسي النقي	(a -30-4)
96	صورة (EDS) لسطح الكسر لمترابك الايبوكسي المايكروي بنسبة (0.5 wt%)	(b -30-4)
96	صورة (EDS) لسطح الكسر لمترابك الايبوكسي المايكروي بنسبة (0.7 wt%)	(c -30-4)
97	صورة (EDS) لسطح الكسر لمترابك الايبوكسي النانوي بنسبة (0.5 wt%)	(d -30-4)
97	صورة (EDS) لسطح الكسر لمترابك الايبوكسي النانوي بنسبة (0.7 wt%)	(e -30-4)

99-100	فحص (FESEM) يوضح بنية الكسر الحاصل نتيجة الشد للعينات النقية والعينات المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروني وحسب النسبة المئوية للتدعيم الموضحة على كل صورة	(a,b,c-31-4)
100	فحص (FESEM) يوضح بنية الكسر الحاصل نتيجة الشد للعينات النقية والعينات المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروني وحسب النسبة المئوية للتدعيم الموضحة على كل صورة	(d,e -31-4)
101	فحص (FESEM) يوضح بنية الكسر الحاصل نتيجة الشد للعينات النقية والعينات المدعمة بأوكسيد الخارصين النانوي وحسب النسبة المئوية للتدعيم الموضحة على كل صورة	(a,b -32-4)
101	فحص (FESEM) يوضح بنية الكسر الحاصل نتيجة الشد للعينات النقية والعينات المدعمة بأوكسيد الخارصين النانوي وحسب النسبة المئوية للتدعيم الموضحة على كل صورة	(c,d -32-4)

## قائمة المختصرات

Name	الاختصار	الاسم
Epoxy Resin	EP	راتنج الايبوكسي
Zinc Oxid	ZnO	اوksيد الخارصين
Epoxy Resin+ Nano Zinc Oxid	EP+ ZnO NPs	الاييبوكسي المدعم بدقائق أوksيد الخارصين النانوية
Epoxy Resin+ Micro Zinc Oxid	EP+ ZnO MPs	الاييبوكسي المدعم بدقائق أوksيد الخارصين المايكروية
Palm Fibere	PF	الياف النخيل
Epoxy+ Palm Fibere	EP+PF	الاييبوكسي المدعم بالياف النخيل
Epoxy +(Palm Fibere + Nano Zinc Oxid)	EP +(PF+ ZnO NPs)	الاييبوكسي المدعم بألياف النخيل ودقائق أوksيد الخارصين النانوية
Composition of natural fibers	(NFCs)	المتراكبات التي تحوي الألياف الطبيعية
Scanning Electron Microscope	FESEM	المجهر الالكتروني الماسح

# الفصل الأول

المقدمة والدراسات

السابقة

## (1-1) المقدمة

## Introduction

برزت الحاجة إلى استعمال مواد جديدة تتلائم ومتطلبات الصناعة الحديثة، وهذه المواد يجب أن تكون ذات مميزات وخصائص ميكانيكية عالية جدا بحيث تكون خفيفة الوزن ومرنة وكذلك يجب ان تكون ملائمة للظروف البيئية المختلفة، لذلك تم تصنيع ما يسمى بالمواد المتراكبة (Composite Materials) وتعرف المواد المتراكبة على انها نظام مادي يتكون من خلط مادتين أو أكثر بطريقة معينة، وتختلف هذه المواد في الشكل وفي التركيب لكنها غير قابلة للذوبان في بعضهما البعض. لقد نجح الباحثون والعاملين في مجال الهندسة في جعل هذه المواد أخف وزنا وأقوى بتدعيم متراكبات ذات أساس بوليمري بالدقائق والألياف، إذ تتميز بكونها مقاومة للصدمة ومقاومة لأجهادات الشد وذات مقاومة ممتازة للتآكل وللعوامل البيئية (ضغط ودرجة حرارة ورطوبة وغيرها)، بالإضافة إلى صلابتها العالية وذات تمدد حراري منخفض وأيضا مقاومة للكلل [1].

وتوجد المواد المتراكبة بعدة أنواع فمنها ذات الأساس المعدني، التي تتميز بمتانتها العالية مثل الحديد والألمنيوم، لكن استعمالها محدود بسبب ثقل وزنها. ونوع آخر من المواد المتراكبة تكون ذات أساس سيراميكي وتتميز بتحملها لدرجات الحرارة العالية ولكن مقاومتها للصدمة ضعيفة. والنوع الثالث من المواد المتراكبة تكون ذات أساس من اللدائن (البوليمرات) فهي من أفضل الأنواع لأمتلاكها خصائص ومميزات جيدة [2].

إن كلمة بوليمر (Polymer) هي كلمة لاتينية الأصل تتكون من مقطعين الأول (Poly) ويعني المتعدد والثاني (Mer) ويعني الجزء، بمعنى ان كلمة بوليمر تعني المتعدد الأجزاء، ويرجع ذلك إلى أن جزيئة البوليمر هي جزيئة كبيرة تتكون من جزيئات اصغر من المواد الأساس بشكل سلسلة طويلة ترتبط مع بعضها البعض بواسطة الأواصر الكيميائية والقوى الثانوية الأخرى لتتشكل في هيئة سلاسل بشكل خطي (Linear) أو متفرع (Branched) أو متشابك (Cross linked) [3]، لذا أصبحت المواد البوليمرية في الوقت الحاضر من أكثر المواد استخداما، إذ تتميز المواد البوليمرية بخفة وزنها وسهولة تصنيعها وقلة كلفة انتاجها وقابليتها على التشكيل وقلة امتصاصيتها للرطوبة ودرجة عازليتها الكهربائية وكذلك الحرارية العالية وامكانية استعمالها في العديد من التطبيقات التي تتطلب مقاومة ميكانيكية واطئة ولا تحتاج إلى طاقة تصنيع عالية لإمكانية تشكيلها في درجات حرارة واطئة [4].

من المعروف أن معظم المواد البوليمرية تصنف من ضمن المواد العازلة وتكنولوجيا البوليمرات، قد تطورت بشكل سريع بسبب خصائصها المميزة، وكذلك الطلب المستمر لبدائل تملك خصائص تكنولوجية متنوعة بحيث تكون أفضل بكثير من تلك المواد الكلاسيكية، فضلا عن دخولها في مجالات التطبيق العملي كأستخدامها في تطبيقات العزل الكهربائي، إذ استثمرت في المواد الموصلة لضمان عدم تسرب التيارات الكهربائية، كما دخلت هذه المواد ضمن المواد الموصلة والمواد شبه الموصلة [5].

المواد المتراكبة النانوية (Nanocomposite Materials) تعدُّ من المواد المفضلة في مجال التكنولوجيا في الوقت الحاضر لما تمتلكه تقنية النانو من خصائص فريدة من نوعها نتيجة توافق العقل البشري مع تطورها المستمر في مجال صناعة المواد الفلزية والتراكيب الهندسية المصنعة بهذه التقنية، فمثلا دخلت في صناعة المركبات الجوية (المركبات الفضائية كالصواريخ والطائرات ومكوك الفضاء والأقمار الصناعية) نوع من المتراكبات التي تم انتاجها بإضافة ألياف الكربون (Carbon Fibers) للفلزات والمواد المعدنية المتنوعة كسبائك الألمنيوم، والتي تدخل بنسب مختلفة في بنية وتراكيب الهياكل المستخدمة لتصنيع تلك المركبات، إذ تقوم بعملية اضافة تغييرات بنيوية لتحسين الخصائص الميكانيكية للمادة الأساس المصنوعة منها السبيكة الفلزية لغرض حمايتها من التشويه والتلف نتيجة تعرضها لتقلبات الطقس المختلفة ودرجات حرارة مختلفة في أثناء دخولها لطبقات الجو المختلفة خلال رحلاتها الى الفضاء الخارجي [6].

## Epoxy Resin

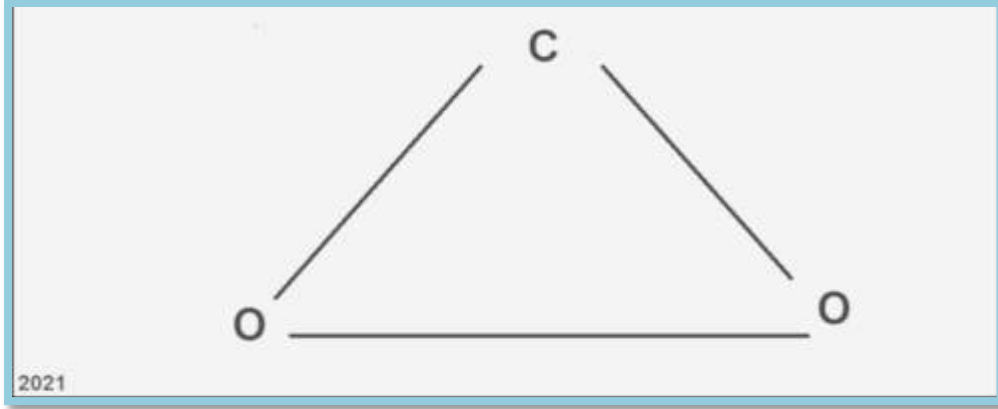
## (2-1) راتنج الأيبوكسي

راتنج الأيبوكسي عبارة عن سوائل عضوية ذات وزن جزيئي منخفض تحتوي على مجموعات إيبوكسيد وهو من البوليمرات المتصلدة بالحرارة والذي يعتبر من الراتنجات الأكثر استخدامًا، إذ يحتوي الإيبوكسيد في حلته على ثلاثة ذرات (ذرة واحدة من الأوكسجين وذرتان من الكربون). تفاعل الإبيكلوروهيدرين مع الفينولات أو الأمينات العطرية مما يؤدي إلى إنتاج معظم الإيبوكسيات. ولإنتاج الإيبوكسيات، مع مجموعة واسعة من خصائص اللزوجة والتأثير والتحلل يتم إضافة مواد التقوية، والملدنات أيضًا [7].

تعتمد الإيبوكسيات الشائعة على ديجليسيديل إيثر من (ثنائي الفينول-A) (Bisphenol A) diglycidyl ether) وهو جزيء عطري سلسلته قصيرة ينتهي عند كل طرف بمجموعة الإيبوكسي، وان جميع راتنجات الأيبوكسي تحتوي على هذه المجموعات الطرفية النهائية والتي



أثناء عملية المعالجة يمكن أن تترايط كيميائياً مع بعضها البعض ومع الجزيئات الأخرى لتشكيل شبكة كبيرة ثلاثية الأبعاد والشكل (1-1) يوضح هيكل الايبوكسي [8].



شكل (1-1): هيكل الايبوكسي (Oxiran) [8].

### Physical properties of epoxy

### (1-2-1) الخصائص الفيزيائية للإيبوكسي

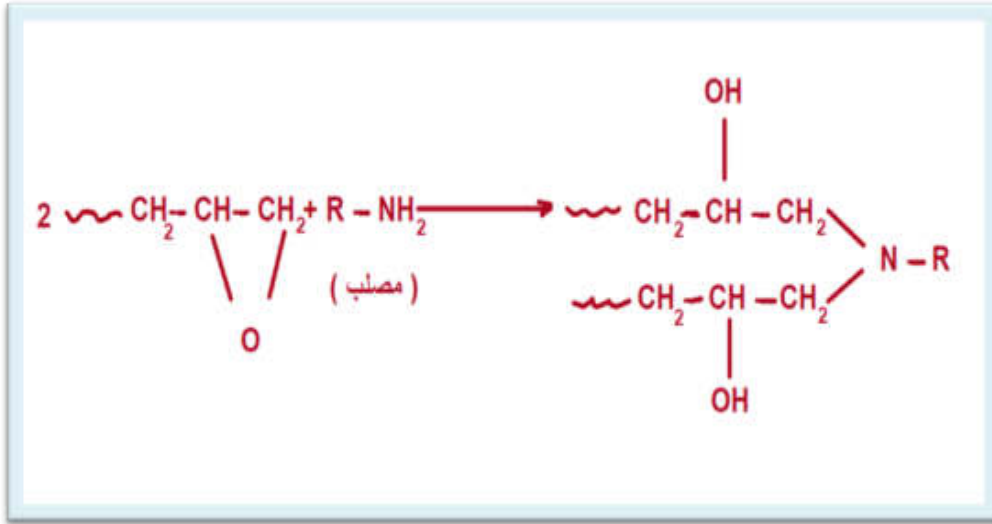
تمتلك راتنجات الايبوكسي خصائص فيزيائية متميزة والتي تشمل انكماش منخفض المعالجة، وأثناء المعالجة لا يوجد مواد متطايرة، والتوافق مع عدد كبير من المواد، والقوة والمتانة والالتصاق والتآكل والمقاومة الكيميائية والعزل الكهربائي بكثافة منخفضة [9].

يعد راتنج الايبوكسي من البوليمرات غير المطاوعة بالحرارة والتي يمكن تحويلها من سوائل ذات تركيب معقد (Thermosetting Resins) إلى مواد متصلبة وبعده طرائق فيزيائية وكيميائية مختلفة، وراتنج الايبوكسي يعتبر من أنواع الراتنجات المهمة والتي تستخدم في صناعات متنوعة، والمادة المصلادة المستخدمة في معالجتها لكي يتم تحويلها إلى راتنج لدن يتصلد بالحرارة هو البولي امين العضوي [10]. ويعد راتنج الأيبوكسي من المواد التي يمكن استخدامها في مجالات عدة ومن أهم استخداماتها في اللواصق والطلاء للتغطية والتي يمكن ان تعطي للمادة المضافة إليها صفات مميزة كالمتانة والليونة ومقاومة للمواد الكيماوية، وكذلك فإنها تملك مميزات أخرى مهمة كمقاومة تآكل واطئ ومعدل كلال ممتاز وتقلص قليل، وتمتاز المتراكبات المشكلة من راتنج الايبوكسي كمادة اساس بخاصية عزل كهربائي عالي [11].

لتحويل راتنجات الايبوكسي إلى بلاستيك إيبوكسي، من الضروري اختيار مادة مناسبة للتفاعل معها والمادة في هذا السياق تسمى مادة مصلبة. ومن الأمثلة على مجموعات المواد التي تعمل كمواد مقوية للإيبوكسي هي الأميدات والأمينات وحمض أنهيدريد وإيميدازول ومركب ثلاثي

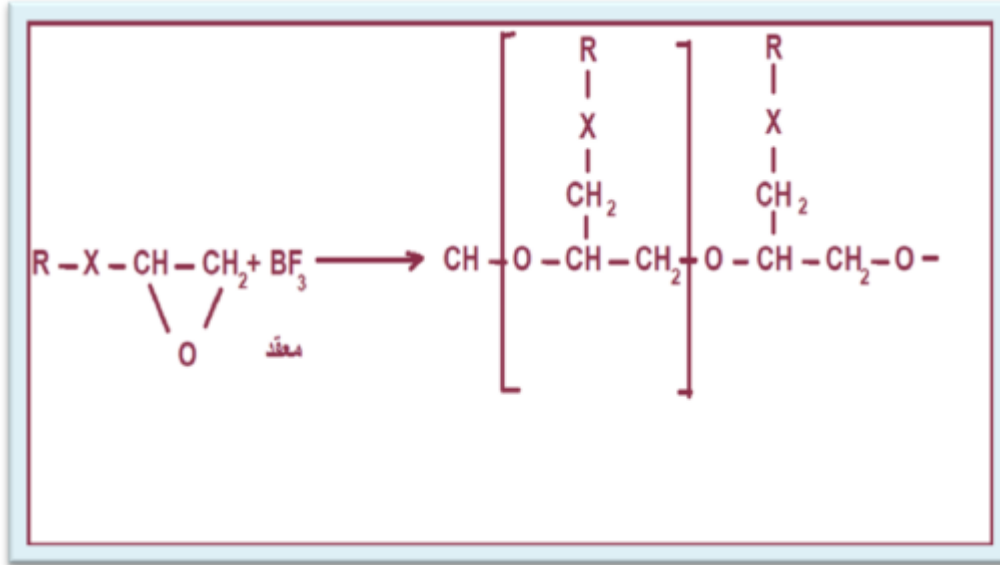
فلوريد البورون والفينولات والميركابتان (Mercaptan) للتصلب في درجة حرارة الغرفة، وفي المقام الأول تستخدم الأمينات والأميدات، وإلى حد ما الميركابتان. تتطلب أنواع المقويات الأخرى درجات حرارة أعلى من (150 °C) للتفاعل مع الإيبوكسي [12].

راتنجات الإيبوكسي (الإيبوكسيدات) في الكيمياء تعتمد على سهولة إضافة حلقات الأوكسيران (Oxirane Rings) إلى المركبات التي تحتوي على الهيدوجين الفعال، ولبناء الشبكات البوليمرية تتطلب مركبات تحتوي على مجموعتين من الإيبوكسيدات على الأقل، وتتكون في البداية من جزيئات لها أوزان جزيئية واطئة وللحصول على بوليمر يملك قوة ووزن جزيئي كما مطلوب يجب ان يضاف له المواد المصلبة ومن انواع المصلبات المستخدمة لذلك هي الامينات والايثرات، اذ تقوم هذه المصلبات بعملية ربط الجزيئات مع بعضها البعض من خلال تفاعل الإضافة إلى مجموعة الإيبوكسي كما مبين بالشكل (2-1) [13].



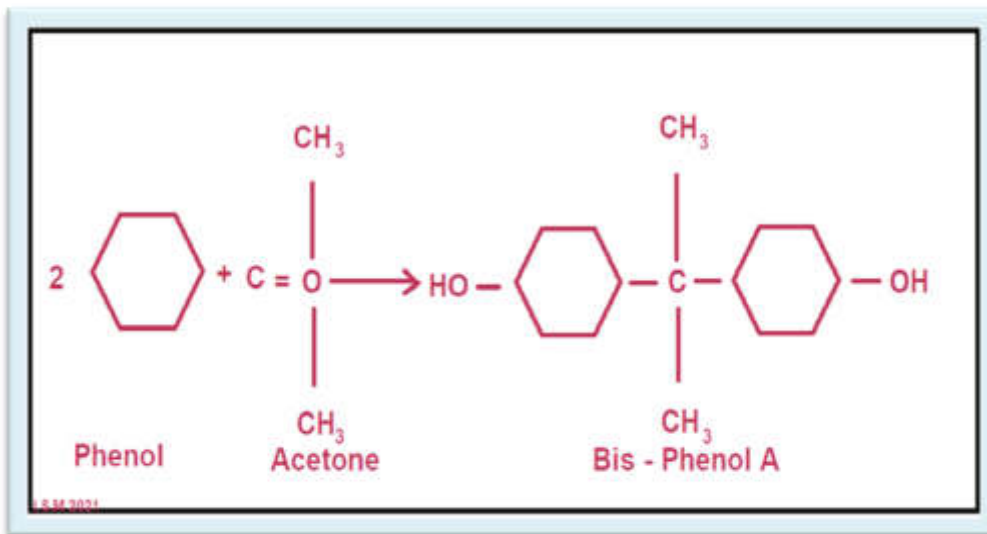
الشكل (2-1): دور المصلبات بعملية ربط الجزيئات مع بعضها البعض من خلال تفاعل الإضافة [13].

وبلمرة مجاميع الإيبوكسي تتم بصورة جيدة باستخدام حوامض لويس مثل ثلاثي فلوريد البورون ومعقداته، كما في التفاعل الموضح في الشكل (3-1).



الشكل (3-1): بلمرة مجاميع الايبوكسي باستخدام حوامض لويس [13].

راتنج الايبوكسي تتم عملية تصليبه بإحدى الطريقتين الطريقة الباردة أو الساخنة وحسب المادة المستخدمة ويجب ان يكون الناتج قليل التشققات وقابليته على الألتصاق جيدة ويملك خواص ميكانيكية جيدة أيضاً [14]. وهناك أمر مهماً يجب ملاحظته وهو إن في حال عدم السيطرة على عملية التصلب فان ذلك يؤدي إلى تحلل الايبوكسي، ومن أهم أنواع راتنج الايبوكسي هو المسمى (Bis-Phenol A) وهو مشتق من الفينول (Phenol) والأسيتون (Acetone) المبين في الشكل (4-1).



الشكل (4-1): مكونات اهم انواع راتنج الايبوكسي [15].

ويتفاعل الايبى كلوروهيدرين (Ephichlorohydrine) مع (Bis-Phenol A) لإنتاج نوع من الايبوكسي فتكون نهاية الجزيئة مكونة من مجموعة الايبوكسايد (Epoxide)، إذ تكون الأواصر في تركيبه الكيميائي من نوع الأواصر التساهمية (قوية) وإنَّ جزيئية مجموعة الايبوكسايد في نهايتها تعمل كحاجز يعطي المتانة أثناء عملية التصنيع مما يمكنه من الاستعمال في مجالات تصنيعية عدة ومنها الطلاء واللواصق [15].

## Zinc Oxide

## (3-1) اوكسيد الخارصين (ZnO)

تقنية النانو هي التكنولوجيا الناشئة في القرن الحالي وتعمل في جميع مجالات العلوم. وتبرز جسيمات اوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) باعتبارها واحدة من أكثر المواد تنوعاً في هذا المجال، نظراً لتنوع خصائصها ووظائفها وتطبيقاتها.

اوكسيد الخارصين مركب غير عضوي له الصيغة الجزيئية (ZnO) يظهر كمسحوق أبيض به بلورات سداسية عديمة اللون ويتحول إلى اللون الليموني الأصفر عند تسخينه ويعود إلى لونه الأبيض الأصلي عندما يبرد. ويتبخر عند درجات حرارة أعلى من (1300 °C) ويتصاعد عند درجات حرارة أعلى من (1800 °C) نتيجة لذلك لا توجد قابلية للذوبان في السائل ولكن هناك انتقال مباشر من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية [16]، ويعدُّ من المواد الواعدة جداً من تطبيقات نباتات اشباه الموصلات لأسباب عدة، نذكر منها وفرة في الطبيعة، وكلفته القليلة، واستقراره الحراري والكيميائية وعدم سميته وامتلاكه لمدى واسع من المقاومة الكهربائية ( $10^9 - 10^{-4}$  Ω.cm) وتبعاً لظروف التحضير وذو فجوة طاقة (3.37 eV) [17]، ويملك نفاذيه عالية في المنطقة المرئية وانعكاسيه عالية للاشعة تحت الحمراء [18]. يوجد (ZnO) في قشرة الأرض كمعدن للزنكيتة (Zincate)، ولكن في الغالب يتم إنتاج (ZnO) المستخدم للأغراض التجارية صناعياً. غالباً ما يُطلق عليه اسم أشباه الموصلات (II-VI) في علم المواد لأن الخارصين والأكسجين ينتميان إلى المجموعتين الثانية والسادسة من الجدول الدوري، ويحتوي على العديد من الخصائص الفريدة مثل الشفافية الجيدة، والتنقل العالي للإلكترون، والفجوة الواسعة في النطاق، والتألق القوي لدرجة حرارة الغرفة وتمثل هذه الخصائص تطبيقاتها في الأقطاب الكهربائية الشفافة المستخدمة في البلورات السائلة في شاشات العرض وفي النواذ التي تستخدم في توفير الطاقة الموفرة للطاقة والتطبيقات الإلكترونية الأخرى [19].

## (1-3-1) بعض الطرق الكيميائية لتصنيع اوكسيد الخارصين

**Some Chemical Methods for Manufacturing Zinc Oxide Particles**

1- التفاعل الكيميائي لمعدن الخارصين مع الكحول، إذ تستخدم الوسائط الكحولية في الغالب مثل الإيثانول أو الميثانول أو البروبانول لتصنيع الجسيمات الكيميائية (ZnO) النانوية [20].

2 - توليف نقل البخار، فان عملية نقل البخار هي الطريقة الأكثر شيوعاً لتصنيع الهياكل النانوية لأكسيد الخارصين [21].

3- طريقة التقنية المائية الحرارية، اذ تعدُّ من الطرق الصناعية البديلة والفعالة بسبب درجة حرارة العملية المنخفضة [22].

4- طريقة الترسيب وتتم باستخدام نترات الخارصين ومطول اليوريا كعامل ترسيب [23].

لكن بعض طرق التصنيع الكيميائي للجسيمات النانوية المذكورة لها عيوب كوجود بعض المواد الكيميائية السامة الممتصة على السطح، والتي قد يكون لها آثار ضارة في التطبيقات الطبية [24] وإنَّ الطريقة الأكثر اماناً لتصنيع جزيئات أكسيد الخارصين النانوية هي التوليف الأخضر (النباتي)، إذ تستفيد تقنيات التحضير الخضراء من مواد كيميائية خالية من الملوثات إلى حد ما للتراكيب النانوية. يشمل استخدام المذيبات الصديقة للبيئة والأمنة مثل المياه والمستخلصات الطبيعية، ومن مزايا الكيمياء الخضراء التقليل من مخاطر التلوث على مستوى المصدر ويتم تعزيزها لمنع النفايات بدلاً من معالجتها أو تنظيفها بعد تكوينها [25].

**(2-3-1) التركيب البلوري لأوكسيد الخارصين Crystal Structure of Zinc Oxide**

أوكسيد الخارصين يتبلور بثلاث صيغ كما موضحة في الشكل (1-5) هي [26]:

a- تركيب سداسي متراس (Wurtzite hexagonal structure).

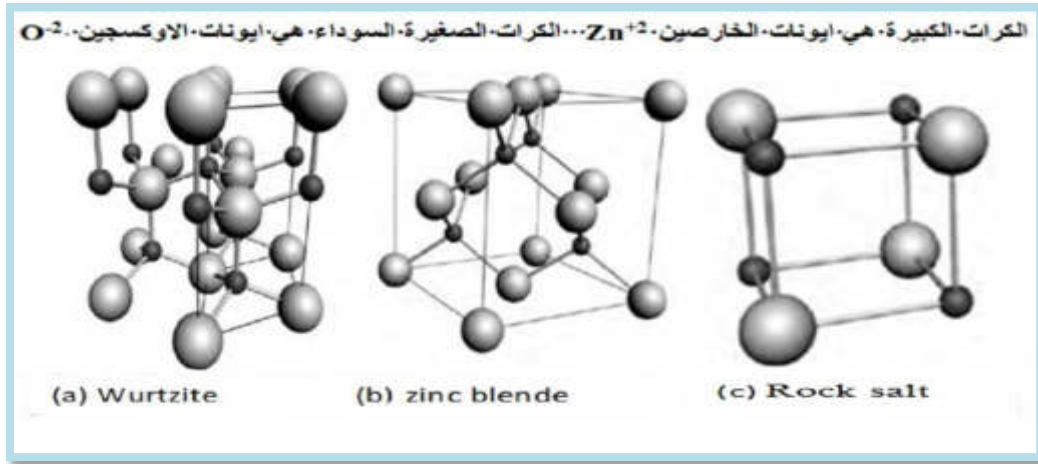
b- تركيب مزيج الخارصين (Zinc blend structure).

c- تركيب ملح الطعام [The Cubic rock salt (NaCl)] علماً أنَّ هذا النوع يكون نقيس ولا

يمكن الحصول عليه إلا بضغط عالي تقريبا (10 Gpa).

يُعد التركيب المتراس (Wurtzite) الأكثر استقراراً حرارياً تحت الظروف المحيطة، وهذا النوع من التراكيب يكون له خلية وحدة من النوع السداسي وتكون ثوابت الشبكة له هي

(a=3.25 Å) وكذلك (c=5.2 Å) وعليه تكون النسبة (c/a=1.60) وهي تكون مقارنة لقيمة النسبة المثالية للخلية السداسية (c/a=1.633)، كما موضحة في الجدول (1-1) [27].



الشكل (5-1): التركيب البلوري لأوكسيد الخارصين (ZnO)، (a) سداسي متراس (Wurtzite)، (b) مكعب خليط الخارصين (Zinc blend)، (c) مكعب ملح صخري (Rock salt) [28].

الجدول (1-1) الخواص الاساسية لاوكسيد الخارصين [29].

Property	Value
Lattice parameters at 27°C	a=0.32495 nm ; c=0.52069 nm
Density	5.606 gm/cm <sup>3</sup>
Melting point	1975°C
Thermal Conductivity	100 mW/cm K at 27°C
Static dielectric constant	8.656
Energy gap	3.37 eV, direct
Intrinsic carrier Concentration	<10 <sup>6</sup> cm <sup>-3</sup>
Electron effective mass	0.24m <sub>e</sub>
Electron Hall mobility at 27°C	200 cm <sup>2</sup> /Vs
Hall effective mass	0.59m <sub>e</sub>
Hole Hall mobility at 27°C	5-50 cm <sup>2</sup> /Vs
Effective mass	0.59
Thermal conductivity	0.6, 1- 1.2.W.deg <sup>-1</sup> /cm
Crystal structure	Wurtzite

التركييب النانوية لجسيمات (ZnO) النانوية لها خصائص فيزيائية رائعة. وجدير بالذكر أن يتقلص حجم مواد أشباه الموصلات باستمرار إلى نطاق نانومتر. فالتغيرات المعروفة باسم

"تأثيرات حجم الكم". على سبيل المثال، يؤدي الحبس الكمومي فيها إلى زيادة نطاق فجوة الطاقة لشبه أحادي البعد ( $Q_1D ZnO$ )، والتي تم تأكيدها من خلال التلألؤ الضوئي [30].

### 3-3-1) تطبيقات اوكسيد الخارصين Zinc Oxide Applications

يستخدم مسحوق أوكسيد الخارصين ( $ZnO$ ) بشكل كبير باعتباره مادة تضاف للعديد من المواد المصنعة لتقويتها والتي تنتج بشكل خاص لتكون ذات خواص مميزة بما في ذلك السيراميك [31]، والزجاج والأسمنت والمطاط، ومواد التشحيم والدهانات والمراهم والمواد اللاصقة والبلاستيك ومانعات التسرب والأصباغ والمواد الغذائية (مصدر مغذيات الخارصين) والبطاريات ومثبطات الحريق [32]. ويضاف الى الطلاء المستخدم كطبقة واقية ضد الرطوبة للعينات الخشبية التي تنشأ من نباتات الصنوبر (الصنوبر، التنوب) وكذلك الاشجار النفضية (الزان، السنديان)، وكذلك اصبح ( $ZnO$ ) مؤخرًا في دائرة الضوء للجهود البحثية المستحقة لفوائدها الهائلة مثل التكلفة المنخفضة والكفاءة العالية وكذلك ملائمة فجوة الحزمة وآليات التحفيز الضوئي ويفضل استخدامه في أنواع مختلفة من التطبيقات. مثل الأشعة فوق البنفسجية (UV) في اجهزة الليزر، مولدات الطاقة، الخلايا الشمسية، أجهزة استشعار الغاز، كطلاء في مقاومة الأشعة فوق البنفسجية الشفافة، طباعة ضوئية، تصوير كهربائي، كهروكيميائي وكهروميكانيكي أجهزة نانوية، كريم واقية من الشمس، مستحضرات التجميل، في الطب بالتئام الجروح، مضاد للبواسير، عامل مضاد للبكتيريا [33]، ومتوافق مع الجلد، يقاوم بشدة، مضاد للميكروبات، ويستخدم في واقية الشمس للوقاية من الأمراض الجلدية كمانع للأشعة فوق البنفسجية والعديد من التطبيقات الطبية الحيوية [34].

### 4-1) الالياف الطبيعية Natural Fiber

الالياف هي مواد شعيرية الشكل يكون مقطعها دائري تقريبا وتملك خواص ميكانيكية جيدة، وكذلك من الممكن ان تتخذ اشكالا عدة كأن تكون مربعة او مستطيلة او بشكل سداسي، وأن الغاية من استعمال الالياف هي لزيادة الخواص الميكانيكية للمواد المضافة اليها، وذلك لإمتلاكها متانة شد ومعامل مرونة عالٍ وتملك ايضا كثافة منخفضة [35].

هيمنت المواد المتراكبة الحاوية على الألياف الطبيعية على عالم علوم المواد والهندسة في الوقت الراهن بسبب الحاجة المتزايدة إلى المزيد من المواد الصديقة للبيئة للحد من التدهور البيئي، وانفاذ الأرض، إذ اصبحت الألياف الطبيعية في الوقت الحاضر محل عناية الباحثين بسبب تكلفتها

المنخفضة ووفرتها وسهولة تصنيعها، ويمكن اعتبارها من المواد الصديقة للبيئة عند استعمالها كعوامل تقوية في العديد من الراتنجات البوليمرية.

إنَّ العديد من الأعمال البحثية التي تم إجراؤها في جميع أنحاء العالم هي لزيادة الخصائص الحرارية والميكانيكية لهذه المتراكبات التي تحوي الألياف الطبيعية (NFCs)، وقد أثبتت إمكاناتها في مجموعة واسعة من التطبيقات بما في ذلك الطب الحيوي والتكنولوجيا الحيوية [36]، وتعد الألياف النباتية هي واحدة من المصادر الطبيعية الأكثر شعبية والأكثر وفرة للتعزيزات المستخدمة في تصنيع تلك المتراكبات، إذ تعطي البوليمرات الحيوية أو البوليمرات الاصطناعية المقواة بألياف نباتية أفضل نوعية من المتراكبات ذات الخصائص المميزة مثل الوزن الخفيف وقابلية التحلل الحيوي وقابلية التجديد، وكذلك يوفر التعزيز بشكل أساسي قوة وصلابة عالية للمادة المتراكبة [37].

يعدُّ الإيبوكسي واسع الانتشار من بين أكثر أنواع البوليمرات اختياراً لتصنيع المواد المتراكبة مع تقوية الألياف الطبيعية، لكن في بعض الأحيان يكون للإيبوكسي تأثيراً ضعيف القوة، وصلابة للكسر ضعيفة، والمقاومة المنخفضة لانتشار الشقوق المرهقة [38]، ويمكن زيادة صلابة وقوة الإيبوكسي عن طريق تقويته بمواد مختلفة مثل الألياف الزجاجية والألياف الطبيعية والتهجين باستخدام حشوات مختلفة مثل الكربون (C)، أو أكسيد الزنك (ZnO) إلخ. وهو نوع من المصفوفة التي يضاف على المتراكب خواصاً فيزيائية وميكانيكية محسنة بسبب دخول المتراكب للتطبيق في العديد من المجالات منها أنظمة النقل عالية الأداء، والصناعات الفضائية، وقطع غيار السيارات وأيضاً في مجال زراعة الأعضاء الاصطناعية في العلوم الطبية الحيوية [39]. يتم استخدام كل من الألياف الحيوانية والألياف النباتية كعوامل تقوية في تصنيع المواد المتراكبة، إذ تحتوي الألياف الحيوانية بشكل كبير على البروتين بينما السليلوز هو العنصر الأساسي المكون للألياف النباتية. تؤثر الألياف الطبيعية بشكل كبير على الخصائص الترابولوجية لهذه المتراكبات، إذ يمكن تعزيز الخواص الترابولوجية إلى حدٍ كبير عن طريق عمل التصاق السطح البيئي بين الألياف و المصفوفة [40].

## Literature Review

### (5-1) الدراسات السابقة

من خلال هذا الاستعراض سنتطرق الى بعض الدراسات السابقة المقاربة لدراسة عمل هذا البحث، إذ أجرى الباحثون بحوث نظرية وعملية عدة للمواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري المدعم بدقائق مختلفة الأحجام لتحسين خصائصها المختلفة، هذه البحوث تضمنت دراسات متنوعة



منها دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية وكذلك أيضا دراسة تأثير الظروف المحيطة بها المختلفة من (درجة الحرارة والمحاليل الكيميائية والرطوبة). ونذكر فيما يلي إشارة لبعض من هذه البحوث المنشورة:-

\*درس الباحث (Huang Fan) وآخرون في عام (2005)، نتائج عملية تحضير متراكب جديد من راتنجات الايبوكسي/الجسيمات النانوية المرنة ( $ENP_s$ ) بخلط راتنجات الايبوكسي مع مادتي نيتريل بوتادين كربوكسيلي (Carboxylic Nitrile-Butadiene) و ستايرين بوتادين فينيل بيريدين (Styrene Butadiene Vinyl-Pyridine) باستخدام طريقة الصب اليدوي واجريت فحوصات الصلابة والفحوصات الحرارية للعينات المحضرة، وأظهرت النتائج إن المتراكبات بنوعها تمتلك صلابة أعلى ومقاومة للحرارة بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي النقي والايوكسي المقوى باستخدام بولي منتهي بالكربوكسيل (بوتادين - أكريلونيتريل مشترك) (CTBN)، وكذلك أظهرت فحوصات (SEM) ان كلا نوعي المتراكبات المستخدمة في الدراسة لها متوسط حجم أقل من (100 nm) وتشير خصائص التشكل والواجهة للشبكة إلى أنه نظراً للتفاعل الكيميائي بين ( $ENP_s$ ) وراتنج الإيبوكسي والمزيد من الروابط الهيدروجينية بين مجموعات النتريل من مجموعات المطاط والهيدروكسيل لراتنج الإيبوكسي، قد يؤدي التفاعل الأقوى في الواجهة الأكبر إلى الخصائص الممتازة المرصودة لـ راتنجات الايبوكسي المقوى بـ ( $ENP_s$ ) [41].

\*درس الباحثان (Kirugulige and Tippur) في عام (2006)، سلوك الكسر الحجمي لصفائح الإيبوكسي المملوءة بالزجاج ذات الترتيب المتدرج مع تشققات حواف في البداية على طول التدرج تحت ظروف التحميل الديناميكي. وخضعت العينات ذات الكسر المتغير بشكل رتيب من التعزيز لتحميل مختلط بواسطة تأثير غريب الأطوار بالنسبة لمستوى الشق. وإستُخدمت الطريقة البصرية لإستشعار التدرج المترابط والتصوير عالي السرعة لرسم خريطة لتشوهات طرف الشق العابر قبل وبعد بدء الشق. تم فحص تكوينين، أحدهما به صدع على الجانب الأكثر صلابة من ورقة متدرجة والثاني به صدع على الجانب المتوافق، وكذلك تم اختبار عينة متجانسة لتوضيح الاختلافات في سلوك الكسر، إذ أظهرت نتائج الفحص ملاحظة اختلافات في كل من سلوكيات قبل وبعد حدوث الشق بفترات من وقت بدء الشق، ومسار الشق، وسرعة الشق، ووقت عامل شدة الإجهاد. بحيث عندما يقع الشق على الجانب المتوافق من العينة، فإنه يكون أقل بكثير مقارنةً عندما يكون في الجانب الأكثر صلابة. تُظهر سجلات المزج في وضع طرف الشق قيماً صغيرة ولكنها موجبة أثناء نمو الشق من الجانب الأكثر صلابة للعينة نحو الجانب المتوافق بينما يسود مزيج وضع صغير ولكن سلبي للتكوين المعاكس [42].

\*درس الباحث (Ahmed) في عام (2007)، الخواص الميكانيكية والحرارية لمترابك بوليمري من مادة الايبوكسي مدعم بدقائق جوز الهند، إذ تم استعمال ثلاثة أحجام دقائق مختلفة من هذه الدقائق على انفراد الأول وهو الناعم والذي تتراوح أقطار حبيباته بين (0.05-0.063 mm) والثاني وهو الوسط والذي تتراوح أقطار حبيباته بين (0.063-0.3 mm) والثالث وهو الخشن والذي تتراوح أقطار حبيباته بين (0.3-0.4 mm) وبنسبة وزنية تصل إلى (20 wt%) للدقائق المضافة إلى راتنج الايبوكسي. واستعملت طريقة الصب اليدوي لتحضير العينات، وقد بينت النتائج للفحوصات الميكانيكية والتي شملت (معامل المرونة والصلادة ومتانة الانحناء) أن لحجم دقائق الملاً تأثيراً في الخصائص الميكانيكية للمواد المترابكة المصنعة، إذ أن أعلى قيم لمتانة الانحناء امتلكتها عينات المترابك بالحجم الوسط للدقائق، وأظهرت نتائج الفحص للتوصيل الحراري أن لحجم الدقائق تأثيراً في التوصيل الحراري، إذ كان الأعلى مقداراً هو التوصيل الحراري للعينات الخشنة [43].

\* درس الباحث (Adnan) وجماعته في عام (2009)، الخواص الحرارية والكهربائية لمترابك بوليمري من راتنج الايبوكسي المدعم بدقائق اسود الكربون وبنسب وزنية تتراوح بين (0-20 wt%) للدقائق المضافة. وتم استخدام طريقة الصب اليدوي لتحضير العينات، إذ تم اجراء الفحوصات الكهربائية والحرارية وأظهرت النتائج ان مقاومة المترابك تنخفض عند حدوث تفرغ جهد عالي من خلال المترابك وبينت مترابكات الإيبوكسي-أسود الكربون اختلافات كبيرة عن راتنجات الايبوكسي النقي المقاسة في نطاق التردد، وكذلك تم العثور على عتبة ترشيح الموصلية الحرارية عند إضافة أسود الكربون في نطاق (1-2 wt%) وتبين أن مترابكات الإيبوكسي-أسود الكربون لها خصائص حرارية أفضل من الإيبوكسي النقي [44].

\*درس الباحث (Hichem Smaoui) وآخرون في عام (2009)، تأثير اضافة مادة نانوية من أكسيد الخارصين (ZnO) والخارصين (Zn) بنسبة (97 wt%) مع (OAI) بنسبة (3 wt%) الى راتنجات الايبوكسي (ER) واستخدمت طريقة السائل الهلامي (sol-gel) لتحضير العينات، إذ تم خلط هذين المكونين بعناية وبشكل متجانس بدون أي مذيب عند نسبة القياس الكيميائي وفي درجة حرارة الغرفة، وتم استخدام تقنيات التحليل الطيفي للاسترخاء العازل للنطاق العريض (DRS) (10<sup>-3</sup> to 10<sup>6</sup> Hz) وتقنيات تيارات إزالة الاستقطاب المحفزة حرارياً (TSDC) للتحقيق في ارتداء العازل الكهربائي والتنقل الجزيئي في المترابكات النانوية القائمة على راتنجات الايبوكسي (ER) المليئة بالجزيئات الموصلة النانوية المتكونة من (ZnO) و (Zn 97wt%,OAI) (3wt%) وتم إجراء القياسات العازلة في درجة حرارة الغرفة، إذ اظهرت نتائج تحليل البيانات التي

تم الحصول عليها أولاً من حيث سماحية العزل الكهربائي، ومن ثم تحويلها إلى المعامل الكهربائي لتسليط الضوء على عملية التوصيل، ووجد أن الاسترخاء البيئي يعتمد بشدة على وجود مادة الحشو من الجزيئات النانوية كما اظهرت النتائج انخفاض التنقل الجزيئي الكلي في حالة الزجاج في المركبات النانوية مقارنة بـ (ER) بينما يزداد التنقل في حالة المطاط الزجاجي، وكذلك أدى عدم التجانس الذي أدخلته جسيمات حشو النانو إلى زيادة كثافة شحنة الفراغ في متراكبات الإيبوكسي النانوية، وأن موصلية التيار المتردد لكل من مصفوفة (ER) والمتراكبات الإيبوكسية النانوية تعتمد على التردد، وكذلك يُظهر القانون الآسي ان هضبة التيار المستمر في نطاق التردد المنخفض وزيادة موصلية التيار المستمر في المركبات النانوية [45].

\*درس الباحث (B. Ramezanzadeh) وآخرون في عام (2011)، تأثير إضافة جزيئات ZnO النانوية على الخواص الميكانيكية وسلوك المعالجة لمتراكب الإيبوكسي النانوي، إذ تم تحضير المتراكبات النانوية باستخدام حمولات مختلفة من دقائق أكسيد الخارصين النانوية (Nano ZnO) المشتتة مسبقاً بمتوسط حجم (40 nm)، إذ تم الخلط بمعدل قص (2000 rpm) لمدة (20 min). تمت دراسة تضاريس السطح والتشكل للمتراكبات النانوية باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وفحوصات الخواص الميكانيكية للمتراكبات النانوية باستخدام التقنيات التحليلية بما في ذلك التحليل الحراري الميكانيكي الديناميكي وصلابة فيكرز الدقيقة، وكذلك تمت دراسة تأثير دقائق أكسيد الخارصين النانوية (Nano ZnO) على سلوك المعالجة لهذه المتراكبات النانوية باستخدام تقنيات المسعر التفاضلي المتساوي الحرارة وغير الحراري. إضافة إلى ذلك، تمت دراسة التركيبات الكيميائية للطلاء المحتوي على محتويات مختلفة من جزيئات أكسيد الخارصين النانوية باستخدام استنتاج تحويل فوربييه، إذ اظهرت النتائج أن دقائق أكسيد الخارصين النانوية (Nano ZnO)، يمكن أن تؤثر بشكل فعال على الخواص الميكانيكية لطلاء الإيبوكسي. بالإضافة إلى ذلك، تم الحصول على درجات معالجة منخفضة، وبالتالي كثافة تشابك عالية لطلاء الإيبوكسي المحتوي على جسيمات أكسيد الخارصين النانوية (Nano ZnO)، وكان هذا التأثير مختلفاً تماماً عند التحميل المنخفض والعالي للجسيمات [46].

\*درس الباحثان (Ahmed. J. Farhan and Harith. I. Jaffer) في سنة (2011)، تأثير إضافة نوعين من الحشوات (نشارة الخشب والقصب المفروم) الى راتنجات البولي استر غير المشبعة باستخدام طريقة القولية اليدوية لتحضير صفائح متراكبة من (البولي استر غير المشبعة (UPE)- نشارة الخشب والبولي استر غير المشبعة (UPE) - القصب المفروم)، وتمت دراسة الخواص الميكانيكية بما في ذلك قوة الانحناء ومعامل يونغ للعينات في الظروف الاعتيادية، إذ تم

عمر العينات في الماء لمدة (30) يوماً للعثور على زيادة الوزن من الماء للعينات، ولمعرفة تأثير الماء على قوة الانحناء ومعامل يونغ. أظهرت النتائج أن البولي استر غير المشبعة (UPE)-القصب المفروم، قد أكتسبت أعلى قيم لقوة الانحناء (24.5 MPa) و (5.1 GPa) لمعامل يونغ مقارنة بالمتراكبات الأخرى، وكذلك أظهرت النتائج أن العينات الرطبة لمتراكب نشارة الخشب كانت أقل قيم زيادة في الوزن (wt %) من الماء بنسبة (0.043 wt%) مقارنة بالمتراكبات الأخرى بعد الغمر، وأخيراً أظهرت النتائج انخفاضاً طفيفاً في قيم معامل يونغ لـ جميع العينات بعد الغمر مقارنة بالعينات قبل الغمر [47].

\*درس الباحث (Paula Judith Perez Espitia) وآخرون في عام (2012)، مراجعة طرق التوليف الرئيسية لجسيمات أكسيد الخارصين النانوية (Nano ZnO) والخصائص الرئيسية وآليات عمل مضادات الميكروبات بالإضافة إلى تأثير دمجها في المصفوفات البوليمرية، كما تمت مناقشة قضايا السلامة مثل طرق التعرض في المقياس النانوي وخصائص مضادة للميكروبات والتطبيقات المحتملة في حفظ الأغذية. تم دمج الجسيمات النانوية لأوكسيد الخارصين (Nano ZnO) في المصفوفات البوليمرية من أجل توفير نشاط مضاد للميكروبات بينت الدراسة ان جسيمات اوكسيد الخارصين النانوية (Nano ZnO) تعدُّ عامل مضاد للميكروبات واعد بسبب نشاطه ضد مجموعة واسعة من الكائنات الحية الدقيقة ومقاومة عالية لظروف المعالجة القاسية للجسيمات النانوية، وخصائص مضادة للميكروبات ضد مسببات الأمراض المنقولة بالغذاء. علاوة على ذلك، حافظت هذه الجسيمات النانوية على نشاطها المضاد للميكروبات حتى عند دمجها في المصفوفات البوليمرية، مما يشير إلى قدرتها على حفظ الطعام من خلال استخدامها كغلاف غذائي مضاد للميكروبات [48].

\*درس الباحث (Boon-Peng Chang) وآخرون في سنة (2012)، مقارنة على المواد المتراكبة بين البولي إيثيلين (polyethylene) عالي الوزن الجزيئي (UHMWPE) المقوى بأوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي (Micro and Nano ZnO) وبنسبة أحمال حشو مختلفة. تم تحضير المواد المتراكبة بنوعيتها باستخدام قالب ضغط ساخن و تمت مراقبة سلوكيات التآكل والاحتكاك باستخدام جهاز اختبار مثبت على قرص (POD)، إذ تم انزلاق العينات على شكل دبوس مقابل (400) كربيد حبيبي للأوراق الكاشطة التي تم لصقها على قرص صلب لا يصدأ تحت ظروف انزلاق جافة، وتم إجراء اختبار العينات بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لملاحظة توبوغرافية (شكل الأسطح)، إذ أظهرت النتائج التجريبية أن (UHMWPE) المقوى بأوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي (Micro and Nano ZnO) سيحسن أداء السلوك. وان

متوسط معامل الاحتكاك (COF) لكلٍ من المتراكبات (UHMWPE/ZnO) المايكروية والنانوية لأكسيد الخارصين كانت قابلة للمقارنة مع (UHMWPE) النقي وان فقدان الوزن بسبب التآكل للمواد المتراكبة لـ (Nano ZnO/UHMWPE) أقل مقارنة بـ (Micro ZnO/UHMWPE) و(UHMWPE) النقي وان الحشو الأمثل كان عند التحميل لمتراكبات (Nano ZnO/UHMWPE) بنسبة (10 wt%) [49].

\*درست الباحثة (Sweench) وجماعتها في عام (2013) الخصائص الميكانيكية والحرارية وبعض الخواص العازلة لمتراكب ذات أساس بوليمري من راتنج الايبوكسي المدعم بحشوة قشرة الكستناء وتمت عملية التصنيع للمتراكب بطريقة القولية اليدوية وبنسبة وزنية (5 wt%) لدقائق الكستناء المضافة وبحجم حبيبي (106  $\mu\text{m}$ ) حيث تمت دراسة كل من اختبار الشد والصلادة وممانعة الانحناء والصدمة والانضغاطية، وقد بينت النتائج زيادة في قيم الاختبارات المذكورة أعلاه مع إضافة النسبة من قشرة الكستناء بينما سجلت زيادة طفيفة لمعامل يونك للانحناء، وكذلك بينت النتائج ان للمتراكب سلوك عزل حراري وتناقص قوة العزل ومقاومة الحجم وزيادة ثابت العزل، وتم أيضاً تقدير قيم معامل يونج للانحناء واختبارات الصلابة كدالة لوقت الغمر في الماء في درجة حرارة الغرفة لمدة تصل إلى (8) أسابيع، وأشارت النتائج المتحصل عليها إلى أن المتراكب قد استجاب لامتناس الماء [50].

\*درست الباحثة (Camila Rodrigues Amaral) وآخرون في سنة (2014)، العلاقة بين الشبكة الهيكلية الإيثر ثنائي الجلي سايديل (Diglycidyl ether) من راتنجات الايبوكسي ثنائي الفينول (DGEBA)، المعدلة بواسطة اثنين من الأمينات الدهنية المتميزة هي رباعي إيثيلين ايبنتامين (tetra ethylene epentamine TEPA) وجيف امين (jeff amine D230) وفقاً لنسبة (30/70) من (الإيبوكسي/الأمين)، وتم تجفيف الراتينج سابقاً تحت التفريغ عند (80°C) ثم تم خلطه بنسب مختلفة (30/70) من عوامل أمين ومن ثم خلط بنسب متكافئة من (TEPA30) و (D230) وتم تحديد هذه الأوزان المكافئة للعوامل عن طريق المعايرة باستخدام تقنية قياس الجهد وتمت دراسة الخصائص الميكانيكية، كمصفوفة محتملة لتطبيقات المواد الكاشطة، إذ تم إجراء كلا الاختبارين للانشاء، لتحديد إجهاد الخضوع ومعامل المرونة، وكذلك اختبارات التأثير لتحديد صلابة الشق، وأظهرت النتائج ان متراكب (DGEBA-D230) قدم أعلى صلابة ولكن أقل إجهاد الخضوع، وأظهرت شبكة الايبوكسي هذه أيضاً تشوهاً بلاستيكيًا أكبر أثناء الكسر [51].

\*درست الباحثة (طيبة) في عام (2016)، تأثير اضافة أكسيد النحاس النانوي على بعض الخصائص الفيزيائية لخلائط الايبوكسي، اذ تم استعمال طريقة القلابة اليدوية في تحضير خلائط بوليمرية مكونة من راتنج الأيبوكسي مع راتنج البولي بيوتان بنسب وزنية (5, 10, 15, 20, and 25 wt%)، وتم اجراء الأختبارات الميكانيكية، وأظهرت النتائج العملية ان الخلائط المدعمة بأوكسيد النحاس النانوي تمتلك افضل الخصائص في الظروف الاعتيادية بالمقارنة مع بقية العينات المحضرة اذ كانت اعلى قيمة لمقاومة الصدمة والصلادة ومعامل يونك [52].

\*درس الباحث (A. Mohammed) وآخرون في سنة (2016)، تأثير إضافة الياف نخيل السكر الطبيعية الى بوليمر البولي يوريثين (polyurethane) مع اضافة نسب وزنية مختلفة (2-6 wt%) من هيدروكسيد الصوديوم لتعزيز التوافق بين المواد المخلوطة اذ تم دمج (30 wt%) من ألياف نخيل السكر و (70 wt%) من مركبات البولي يوريثين المتلدنة بالحرارة، إذ تم تثبيت السرعة بمعدل دورات (40 ro/min) عند درجة حرارة (200°C)، وتم إجراء فحوصات الشد ومعامل الشد للعينات المحضرة، واظهرت النتائج انه يمكن أن توفر معالجة الألياف معامل شد جيد قدره (440MPa) عند نسبة (2 wt%) من هيدروكسيد الصوديوم، وانفعال (41 wt%) عند نسبة (6 wt%) من هيدروكسيد الصوديوم مع المترالكب. ومع ذلك، انخفضت قوة الشد، إذ سجلت أعلى قيمة (5.59 MPa) عند نسبة (6 wt%) من هيدروكسيد الصوديوم. وفي الوقت نفسه ، فإنه تم العثور على معامل الشد والانفعال للمترالكبات لتكون أفضل بكثير من تلك غير المعالجة. في المقابل ، لم تتحسن قوة الشد [53].

\*درس الباحث (A. Atiqah) وآخرون في سنة (2018)، تحضير ودراسة تطوير مواد متراكبة من بوليمر البولي يوريثين (TPU) المدعم بألياف نخيل السكر الطبيعية (SPF)، إذ تم معالجة السطح بمادة السيلان بنسبة (2 wt%) لتحسين واجهة مصفوفة الألياف وتحميل الالياف بنسب مختلفة (0, 10, 20, 30, 40, and 50 wt%) باستخدام طريقة الخلط بالنوبان، متبوعة بالقلابة بالضغط الساخن ومن ثم التحلل المائي، تم اجراء الفحوصات الميكانيكية متمثلة بالشد، الإنثناء، تأثير الصدمة والخصائص الحرارية تم فحصها أيضاً عن طريق تحليل الجاذبية الحرارية (TGA) والتحليل الميكانيكي الديناميكي (DMA) إلى تقييم الاستقرار الحراري للمتراكبات المطورة. علاوة على ذلك، تم إجراء فحص المجهر الإلكتروني (SEM) لدراسة كسر العينات نتيجة تأثير الشد للمواد المتراكبة بهدف تقييم آثارها على معالجات سطح الألياف على الترابط البيئي للألياف والمصفوفة، اظهرت نتائج الاختبارات انه كانت المعالجة بمادة (silane) جيدة الترابط لألياف السليلوز بمصفوفة (TPU)، ومن ثم المساهمة في تعزيز الخواص الميكانيكية والحرارية

للمتراكبات. فكانت النتائج بقيم (17.22 MPa) للشد، (13.96 MPa) للانحناء، و (15.47  $\text{kJ/m}^2$ ) لمقاومة الصدمة مع نسبة تحميل (40 wt%) من ألياف النخيل علاوة على ذلك، تم عرض المتراكبات ذات المحتوى العالي من الألياف كقيم مرضية لمعامل التخزين والتدهور الحراري، بينما يتضح من صور SEM ان التصاقها البيئي جيد. [54].

\*درس الباحث (Vu Manh Tuong) وآخرون في عام (2019)، تأثير اضافة جسيمات أكسيد الخارصين الى راتنج الأيبوكسي بطريقة الطلاء بالرش البسيطة المتكونة من خطوتين لتحسين مقاومة الماء وثبات اللون للخشب عند طلاء الخشب نوع (*Styrax tonkinensis*).، تم إجراء فحوصات البنية المجهرية والتراكيب البلورية للطلاء من خلال تحليل المجهر الإلكتروني الماسح للانبعاثات الميدانية (FESEM) وتحليل الأشعة السينية (XRD) على التوالي، وأظهرت النتائج أن المتراكب المتكون من طلاء الأيبوكسي وأكسيد الخارصين (ZnO) الذي تم الحصول عليه لم يكن فقط شديد المقاومة للماء بمتوسط زاوية تلامس مائي (154.1°)، ولكنه حافظ أيضاً على مقاومة فائقة للماء بمتوسط زاوية ملامسة للماء (149.6°) بعد خمسة اختبارات نفث للماء، وكذلك تم تحسين ثبات اللون لعينات الخشب المطلي بنحو (50 wt%) مقارنة بعينات الخشب غير المطلي، أيضاً بالإضافة إلى ذلك، تم ضمان طلاء مستمر من متراكب الأيبوكسي وأكسيد الخارصين (ZnO) بهيكل هرمية دقيقة ونانوية تم إنشاؤها بواسطة هيكل (wurtzite) السداسي لجسيمات أكسيد الخارصين (ZnO) المايكروية والنانوية على الأسطح الخشبية [55].

\*درس الباحث (Ubair Abdus Samad) وآخرون في عام (2019)، تأثير اضافة نوعين من الجسيمات النانوية من (Ag) و (ZnO) النانوية الى طلاءات (EP-pack2) المدمجة مع البولييمر الموصل (PPy) من نوع بيسفينول A من راتنجات الأيبوكسي (DGEBA)، إذ تم استخدام عامل المعالجة (2,4,6-tris) (ثنائي ميثيل أمين ميثيل) الفينول (ARADUR 3282-BD) تحت قيم القياس المتكافئ الأمثل وتم تشيبت الجسيمات النانوية المختلفة بنسبة الوزن أولاً في مذيب بواسطة عملية الصوتنة ثم إضافتها إلى متراكب (EP-PPy)، وتمت معالجة جميع الألواح الفولاذية المطلية في درجة حرارة الغرفة في بيئة خالية من الغبار لمدة 7 أيام للحصول على طلاء صلب وسليم. تم فحص تشيبت الجسيمات النانوية من (ZnO) و (Ag) في الطلاء باستخدام الفحص المجهر الإلكتروني (SEM) وتكوينه من خلال تقنية الأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX). تم أيضاً إجراء الفحص بالتقنيات التقليدية والمسافة البادئة بالنانو لملاحظة تأثير محتوى التآزر لجسيمات (Ag) و (ZnO) على الصلابة ومعامل المرونة على نطاق النانو، وكذلك تم فحص سلوك التآكل للعينات المطلية عند درجة حرارة الغرفة في محلول كلوريد الصوديوم (3.5 wt%) باستخدام

التحليل الطيفي للمقاومة الكهروكيميائية (EIS) أظهرت الفحوصات ان المترابك المحضر بنوعيه (EP-ZnO and EP-Ag) تكون أكثر مقاومة للتآكل بشكل ملحوظ من تلك المحمية بطبقات الإيبوكسي التقليدية، وكشفت النتائج أيضاً أن بعض التراكيب يمكن أن تمنع تآكل الفولاذ ويمكن استخدام تراكيز صغيرة من هذه المواد لتحل محل مثبطات التآكل غير العضوية التقليدية المستخدمة حالياً في نظام الإيبوكسي، ومن ناحية أخرى، أظهرت المقارنة مع نتائج التآكل المتسارع التي تم الإبلاغ عنها سابقاً لطلاءات مختلفة والتي تم الحصول عليها باستخدام ظروف تجريبية متطابقة أن دمج الجسيمات النانوية والتآزر مع (Ag and ZnO) وإضافة (PPy) ينتج عنه فائدة من حيث الحماية من التآكل [56].

\*درس الباحث (T. ur Rahman) وآخرون في سنة (2019) تأثير إضافة ثلاثة جسيمات نانوية مختلفة بنسب متفاوتة (SiO<sub>2</sub> 30 nm, TiO<sub>2</sub> 25 nm and TiO<sub>2</sub>- SiO<sub>2</sub> 40 nm) الى راتنج الايبوكسي نوع (zepoxy 300) لتحضير نوعين من المترابكات النانوية وكان الهدف الرئيسي هو اكتشاف طبيعة العلاقة بين تيار التسرب والتفريغ الجزئي لبيان حالة العزل الكهربائي والتكوين الأمثل لنتائج في قيم PD و LC. تم اختبار جميع مترابكات (Zepoxy Filled Nano Composites) على (100kV) كمعدات اختبار وقد يصل الخطأ في القيم المختبرة إلى 1 (wt%) إذ أظهرت النتائج ان كل من جزيئات (SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>) النانوية تحسناً في خصائص المواد الأساسية مع زيادة النسبة المئوية بينما تحتوي جزيئات (TiO<sub>2</sub>) على سلوك معاكس. ويمكن الاستنتاج أن أحمال النانو المثلى لـ (SiO<sub>2</sub> 30 nm, TiO<sub>2</sub> 25 nm and TiO<sub>2</sub>- SiO<sub>2</sub> 40 nm) هي (0.6, 0.4 and 0.8 wt%) على التوالي وتحتوي عمليات تحميل الحشو المثالية على قيم دنيا لـ (LC) و (PD) للحصول على أفضل أداء للعزل. وبشكل عام، من بين جميع المترابكات النانوية الثلاثة التي تم اختبارها، أظهرت مركبات (TiO<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub>) النانوية أفضل أداء. بالإضافة إلى ذلك، فقد لوحظ وجود علاقة مباشرة قوية للغاية بين تيار التسرب (LC) والتفريغ الجزئي (PD) وكذلك تختلف القيم الملحوظة لـ (LC) و (PD) و بنسب مختلفة من الجسيمات النانوية على نطاق واسع ولكن في جميع الحالات، ترتبط (LC) و (PD) ارتباطاً مباشراً ببعضهما البعض عند مقارنتها بنسبة مئوية محددة [57].

\*درس الباحث (Gunti Rajesh) وآخرون في سنة (2019)، تأثير إضافة مادة نانوية الى مادة البولي استر المقوى بالالياف الطبيعية لتحضير مترابك نانوي باستخدام طريقة الصب اليدوي وتم تحضير عينات الاختبار للمترابك بنسب وزن متفاوتة من ألياف المدار القصيرة (Short-Madar Fiber) في مصفوفة البولي استر (Polyester) من (2.5-15 wt%) بفاصل (2.5 wt%) بدون



طبقة نانوية، ومن ثم تم اختبار العينات لخصائص الشد وأظهرت النتائج زيادة مقاومة الشد للمترابك مع زيادة تحميل الألياف بنسبة تصل إلى (10 wt%)، ومع إضافة المزيد من الألياف، كان هناك انخفاض في قوة الشد. وتم تحقيق أقصى قيمة بنسبة (10 wt%) من ألياف المدار و كانت (23.33 MPa) تمت زيادة مقاومة الشد للمترابك المقوى بألياف مدار مملوءة بالنانو إلى قيمة (25.16 MPa) حتى نسبة (10 wt%) تحميل من الألياف، ومن ثم مع إضافة مزيد من الألياف مع الصلصال النانوي، يتم نقصان قوة الشد، ولوحظ أيضًا أن هناك زيادة في معامل المترابك المقوى بألياف مدار إلى قيمة (520.2 MPa) حتى تحميل الألياف بنسبة (15 wt%) وزيادة معامل الشد للمترابكات المقواة بالألياف المملوءة بالنانو بقيمة (460.35 MPa) حتى تحميل الألياف بنسبة (15 wt%) وكانت أقل بنسبة (11.5 wt%) مقارنة بالمترابك الذي لا يحتوي على مادة النانو. لوحظ أن هناك انخفاض في نسبة الاستطالة عند الكسر لمترابك البولي استر المدعم بالألياف المدار بدون حشو نانو، إذ بلغت (43.7 wt%) وهو أعلى بكثير من المترابك المملوء بالنانو [58].

\*درس الباحثان (S. Mahesh Babu and M. Venkateswara Rao) في سنة (2019)، تأثير إضافة مسحوق البازلت (Basalt powder) إلى البوليستر (Epoxy and polyester) المعززة بالألياف الزجاجية (Glass fiber) لتحضير مواد مترابكة هجينة من الأيوكسي والبولي استر باستخدام طريقة القولية اليدوية (Hand layup process) وفقاً لمعايير (ASTM)، وتم إجراء اختبارات الشد، والانحناء، وطريقة قوة تأثير شاربي لاختبار الصلابة، وأظهرت النتائج أن إضافة مسحوق البازلت يحسن من الخواص الميكانيكية لمترابكات البوليستر الهجينة المقواة بالألياف الزجاجية الأساسية [59].

\*درس الباحث (A. Thiagarajan) وآخرون في سنة (2019)، تأثير إضافة جسيمات أكسيد الخارصين النانوية إلى راتنجات الإيبوكسي (Diglycidyl Ether of Bisphenol A) لتحضير مترابكات مدعمة بجسيمات أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية (1, 2, 3, and 5 wt%) باستخدام طريقة القولية اليدوية وتم عمل حصيرة من مادة الأيوكسي المقوى بالألياف الزجاجية قبل إضافة الجسيمات النانوية. تم إجراء فحوصات المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) واختبار الشد للعينات المحظرة، وأظهرت نتائج الفحوصات عملية التشكل السطحي وبين الفحص توزيع مادة (ZnO NPs) بصورة متجانسة مع بعض التكتلات في مصفوفة الأيوكسي وتم الكشف أيضاً عن الألياف الزجاجية، وكذلك تم التأكيد على أن إضافة جسيمات نانوية من أكسيد الخارصين

(ZnO) بنسبة (1 wt%) في راتنجات الإيبوكسي أظهرت زيادة بنسبة (20 wt%) في مقاومة الشد مقارنة براتنج الإيبوكسي [60].

## Aim of the Study

## (6-1) الهدف من الدراسة

تهدف الدراسة الحالية إلى:-

1- تحضير متراكبات من راتنج الايبوكسي المدعم بنوعين من مواد التدعيم (الدقائق المايكروية والنانوية)

2- دراسة تأثير الكسر الوزني ونوع مادة التدعيم على السلوك الميكانيكي في كل من خاصية (الشد والصلادة والانحناء والصدمة) وعلى الخصائص الكهربائية العزلية والخصائص الحرارية المتمثلة (بالتوصيل الحراري) لمتراكبات الايبوكسي المايكروية والنانوية.

3- دراسة طبيعة الكسر الناتج من اجهاد الشد للعينات باستخدام فحص (FE-SEM).

4- إيجاد أفضل نسبة من مادة تدعيم لراتنج الايبوكسي تعطي افضل خصائص فيزيائية لمتراكب الايبوكسي المايكروية والنانوية واستخدامها في عدة مجالات صناعية وفي مختلف الظروف وبأقل التكاليف، كاستخدامها في صناعة الاثاث.

5- إستخدام افضل نسبة تدعيم في تحضير متراكب هجين من راتنج الإيبوكسي وألياف النخيل والدقائق النانوية ودراسة خصائصها الميكانيكية والكهربائية العزلية والحرارية لاستخدامها في الصناعة مستغلين وفرة أشجار النخيل وكثرة مخلفاتها التي غالبا ما يتم التخلص منها بطريقة الحرق التي تؤدي الى مخلفات كاربونية مضرّة في البيئة.

الفصل الثاني

الجزء النظري

**Introduction****(1-2) المقدمة**

في هذا الفصل سنتناول الجانب النظري لموضوع الدراسة الحالية، إذ أن الإيضاحات العلمية أو المعادلات الرياضية الواردة فيه تم اعتمادها بصورة أو أخرى لتوضيح التطبيق العملي للنتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث.

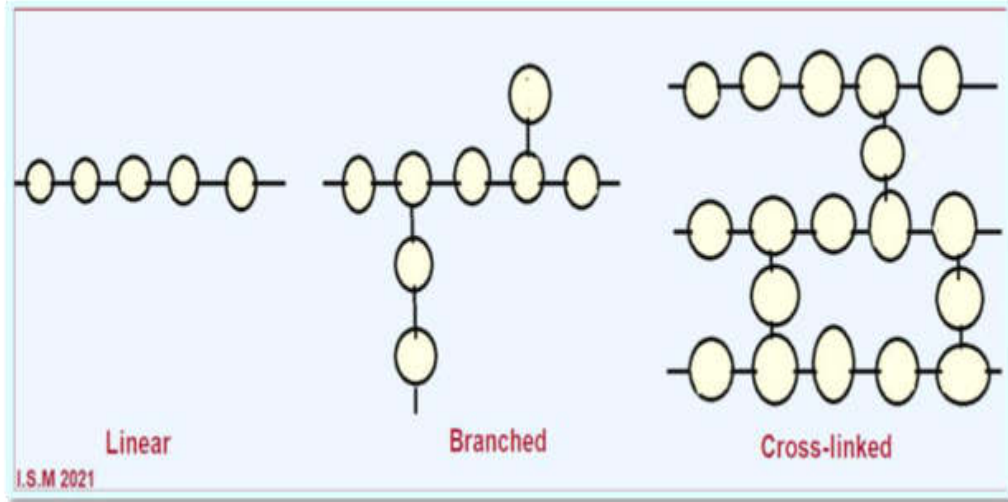
**Polymers****(2-2) البوليمرات**

أصبحت المواد البوليمرية في الوقت الحاضر من أكثر المواد استخداماً، كونها تعدُّ من المواد السهلة التصنيع والرخيصة الثمن وتملك خصائص ومواصفات مميزة، علماً أن أغلب المواد البوليمرية يمكن إدراجها ضمن المواد العازلة، وبسبب خواصها الجيدة تم إدراجها ضمن قائمة المواد المرشحة للدراسة والتي تستخدم كمادة أساسية في الصناعات الكهربائية والإلكترونية، إذ تمتاز هذه المواد بصورة عامة بمواصفات عزل كهربائي جيد جداً فضلاً عن أن بعضها تمتلك مواصفات عزل حراري لا بأس بها وكذلك امتيازها بمواصفات وخواص ميكانيكية وحرارية جاذبة، ومن أجل ذلك فإنَّ عملية تغيير خواصها الميكانيكية والكهربائية العزلية وخواص العزل الحراري يؤدي إلى الحصول على خواص جديدة مهمة وذات مردود ايجابي جيد في التطبيقات الصناعية المختلفة كصناعة الاجهزة الكهربائية او التقنيات الإلكترونية [61].

**Polymer's Structure****(1-2-2) تركيب البوليمر**

إن جزيئة البوليمر هي جزيئة كبيرة تتكون من جزيئات اصغر من المواد الأساس بشكل سلسلة طويلة ترتبط مع بعضها البعض بواسطة الأواصر الكيميائية والقوى الثانوية الأخرى، الجزيئة الأولية أو الابتدائية التي تبنى منها جزيئه البوليمر تدعى بالمونمر (Monomer) التي تعني أحادي الجزيئة، وهي مواد كيميائية بسيطة لها القابلية على التفاعل الكيميائي بشكل كبير عند تنشيطها، لتمثل الوحدة المتكررة (Repeating Unit)، وان عملية ارتباط هذه الجزيئات الابتدائية مع بعضها البعض يطلق عليها عملية البلمرة (Polymerization) وعدد الوحدات المتكررة يطلق عليها بدرجة البلمرة (Degree of Polymerization) ويرمز لها بالرمز  $D_p$ . وان البوليمر الذي تتكون جزيئاته من وحدات متكررة متشابهة يدعى بالبوليمر المتناسق (Consistent polymer)، والبوليمر الذي تكون جزيئاته من وحدات غير متشابهة فيسمى بالبوليمر المشترك (Copolymer)، وتتحد الوحدات الصغيرة المونيمرات (Monomers) بعضها مع البعض في السلاسل البوليمرية مكونة أشكالاً عدة للجزيئة الكبيرة [62]، فتكون متنوعة بأشكال مختلفة منها

الخطية (Linear) والمتفرعة (Branched) والسلمي (Ladder-Form) والمشطية (Comb-Form) والصليبي (Cruci-Form) والمتشابك (Crosslinked)، إنَّ هذه الأشكال جميعها تصف الهندسة البنائية للجزيئة البوليمرية والشكل (1-2) يبين بعض هذه السلاسل البوليمرية [63].



الشكل (1-2): أنواع السلاسل البوليمرية [63].

إنَّ للبوليمرات أهمية كبيرة لأنها تستعمل في تطبيقات عدة، وذلك لأسباب عدة، نذكر منها وزنها الخفيف وقلة كلفة إنتاجها وقابليتها على التشكيل وبعملية القابلة لا تتفاعل كيميائيا وإمكانية استعمال النوع الشفاف منها بدل الزجاج في عدة تطبيقات ودرجة عازليتها الكهربائية عالية ومقاومة للتآكل وغير صلدة، وكذلك لاتحتاج إلى طاقة تصنيع عالية لامكانية تشكيلها في درجات حرارة واطئة [64]. بالرغم من امتلاكها المميزات السابقة في نفس الوقت لها مساوئ تحد من استعمالها نذكر منها عدم امكانية تشكيلها في درجات الحرارة العالية، ومقاومتها الميكانيكية وللزحف واطئة، وكذلك ايضا معامل مرونتها قليل وذات متانة قليلة [65].

### (2-2-2) العوامل المؤثرة في خصائص البوليمر

#### Factors Affecting in the Polymer Properties

الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبوليمرات تحدد بثلاث عوامل رئيسة هي:-

#### Polymer Structure and Status

#### 1- تركيب البوليمر وحالته

إنَّ كَيفِيَّةَ اِرْتِبَاطِ الوَحْدَةِ المَتَكَرِّرَةِ المَكوْنَةِ للبوليمر و تَرتيبها ونوعية المَجاميع المَعوضَة والأواصر الكيمياءية ومن ناحية الانتظام الفراغي في حيز ثابت (انتظام وحداتها الأساس) أو عشوائيتها تعطي للبوليمر هوية خاصة تميز خواصه الفيزيائية والكيمياءية [66].

## 2- معدل الوزن الجزيئي Average Molecular Weight

تمتلك البوليمرات وزن جزيئي كبير نسبيا يميزها عن المواد الأخرى، إذ إن معظم خصائص المواد البوليمرية الفيزيائية تعتمد على أوزانها الجزيئية لذلك فإن البوليمر الواحد تتغير خصائصه الفيزيائية بتغير الوزن الجزيئي من قوة الشد والتمتانة والصفات الكهربائية والحرارية التي تحدد قابليته في الذوبان في المذيبات [67].

## 3- الأواصر الكيمياءية والقوى الرابطة Chemical Bonds and Binding Forces

الأواصر الكيمياءية والقوى الرابطة لجزيئات البوليمر تتحكم في خصائصه الفيزيائية وتقسّم على نوعين الأول الأواصر الكيمياءية الأساس (أيونية وتساهمية وهيدروجينية وفلزية.. الخ) والمسؤولة عن ارتباط الذرات المكونة لجزيئة البوليمر، وفي تكوين البوليمرات خاصة العضوية منها تغلب الأصرة التساهمية (Covalent Bond)، أما النوع الثاني فتتمثل بالقوى الثانوية (Secondary Forces) والتي تربط جزيئات البوليمر فيما بينها بنفس السلسلة أو بين السلاسل المختلفة والتي تؤدي إلى تشابك البوليمر وتماسكه وأهمها هي قوى فاندر فالز (Vander Waals Force) [68].

## 2-2-3) تصنيف البوليمرات Classification of polymers

يمكن تصنيف البوليمرات بالاعتماد على عدة عوامل نذكر منها :-

أولاً:- بالاعتماد على مصادر البوليمر

### Depending on the Origin of Polymer

البوليمرات بالاعتماد على مصادر ها تصنف إلى ثلاثة أصناف:-

#### 1- البوليمرات الطبيعية Natural Polymers

هي منتجات طبيعية حيوانية او نباتية كالسليولوز والمطاط وغيرها وتكون باهضة الثمن ويكون الحصول عليها صعب وهناك ثلاثة أنواع من البوليمرات الطبيعية وهي [69]:-

a- البروتينات

b- البولي سكريات.

c- البولي نيوكليونيدات.

## Synthetic Polymers

### 2- البوليمرات الصناعية

وتشمل الغالبية العظمى من البوليمرات المهمة التي تدخل في الصناعة، ويمكن تحضيرها من مركبات كيميائية بسيطة وتشمل البلاستيكيات و الأصماغ والألياف الصناعية وغيرها [70].

## Modified Natural Polymers

### 3- البوليمرات الطبيعية المحورة

هي بوليمرات بالاساس تكون طبيعية وتجري عليها بعض التعديلات، مثل تغير في تركيبها الكيميائي عن طريق إدخال مجاميع جديدة في البوليمر أو بتغيير في تركيب بعض المجاميع الفعالة الموجودة فيها أو بتطعيم بوليمر صناعي على آخر طبيعي وبالعكس، ومن الأمثلة على هذا النوع، القطن المطعم بألياف الاكريليك و خلات السليلوز و استرات السليلوز [71].

ثانياً:- بالاعتماد على الجوانب التكنولوجية

## Classification of Polymers Based on Technological Aspects

تصنف البوليمرات وفقاً لخواص البوليمرات الناتجة نسبة لتأثرها بالحرارة بعملية التسخين واستخداماتها العملية إلى ثلاثة أنواع [72]:-

### Thermoplastic

#### 1- بوليمرات المطاوعة للحرارة

هي بوليمرات خطية (Linear polymers) اذ تكون قليلة التفرع وتتكون من سلاسل طويلة جدا من الجزيئات المرتبطة مع بعضها بقوى فاندرفالز (Vander waals Force) الضعيفة نسبياً وهذه البوليمرات عند الضغط المنخفض ودرجة حرارة عالية تتشوه وتسيل كما في الشكل (a-2-2) [73].

### Thermosets Polymers

#### 2-البوليمرات المتصلدة حرارياً

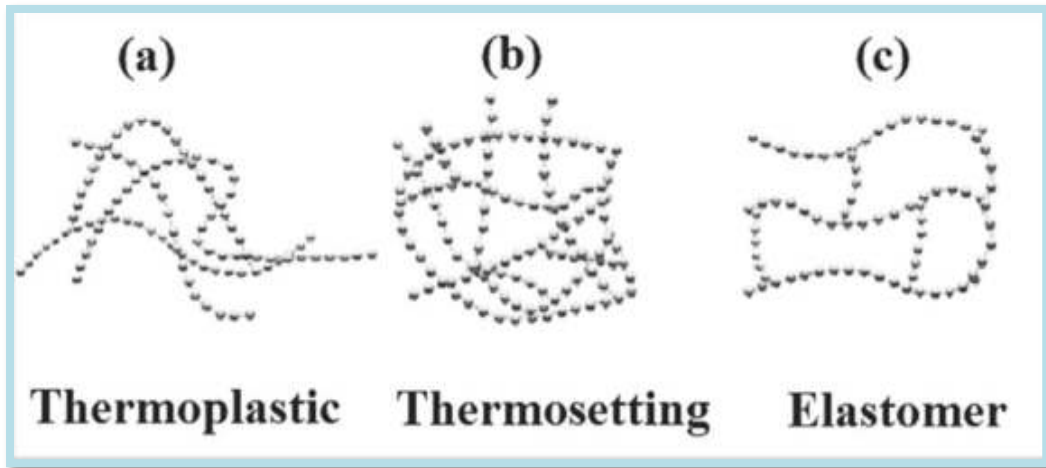
هي بوليمرات تكون جزيئاتها في حالة متشابكة ويعيق هذا التشابك تبلور الجزيئات ويعمل على زيادة الطاقة اللازمة لتحريك مقاطع سلاسل البوليمر، ولهذا السبب تكون غير متبلورة، كما في الشكل (b-2-2) [74]. هذه البوليمرات تمتلك درجة عالية من التشابك (Cross Linking)

وبذلك فهي مادة هشة وذات لدونة قليلة ولا يمكن اعادة تشكيلها بفعل الحرارة والضغط، ولبوليمرات المتصلدة حراريا تعتمد خواصها الميكانيكية على الوحدات المكونة للشبيكة وعلى طول الربط التقاطعي وكثافته، هذه الروابط كلما كانت قصيرة وكثيفة كلما أزداد البوليمر قوة وصلابة ويظهر استطالة صغيرة ومعامل مرونة عاليا ومن الأمثلة على هذا النوع هو راتنج الايبوكسي، وراتنج البولي استر، وراتنج الفينوليك [75].

### Elastomer Polymers

### 3- البوليمرات المطاطية

إنَّ للبوليمرات المرنة المتمثلة بالمطاط صفة متميزة كالاستطالة (Elongation) وقابليتها على التمدد والتقلص (Resilience)، كما في الشكل (2-2-c). تتميز البوليمرات المرنة بانخفاض درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) وتكون عادة تحت درجة استخدام البوليمر. من الامثلة عليها المطاط الطبيعي (Natural Rubber) والنيوبرين (Neoprene) والنتريل (Nitril) [76].



الشكل (2-2): انواع تراكيب السلاسل البوليميرية بالاعتماد على الخصائص التقنية [77].

### Nano materials

### (3-2) المواد النانوية

المواد النانوية يمكن تعريفها على أنها تلك المواد التي تتميز بصغر حبيباتها بحيث يصل مقياس بعد واحد من حبيباتها او جميع ابعاد دقائقها بين (1-100 nm)، وبسبب صغر أحجام تلك الدقائق أدى إلى أن يكون سلوك المادة المكونة منها مختلف عن المواد التقليدية التي يكون حجم جسيماتها كبير يصل الى المايكرومتر فأكثر، وتملك خصائص ومميزات لا يمكن ان تتوافر مجتمعة في المواد التقليدية، وتعدُّ المواد النانوية اللبنة الأساسية ومادة البناء الاساسية لهذا القرن الحالي والركن المهم من أركان تقنيات هذا العصر (تقنيات النانو وتكنولوجيا المعلومات



والانترنت والتكنولوجيا الحيوية) والتي تعد معيار تقدم الحضارة للأمم ومؤشرا لنهضتها [78].

## Classification of Nanomaterials (1-3-2) تصنيف المواد النانوية

### (One Dimension Nanomaterials (1D) -a المواد النانوية احادية الابعاد

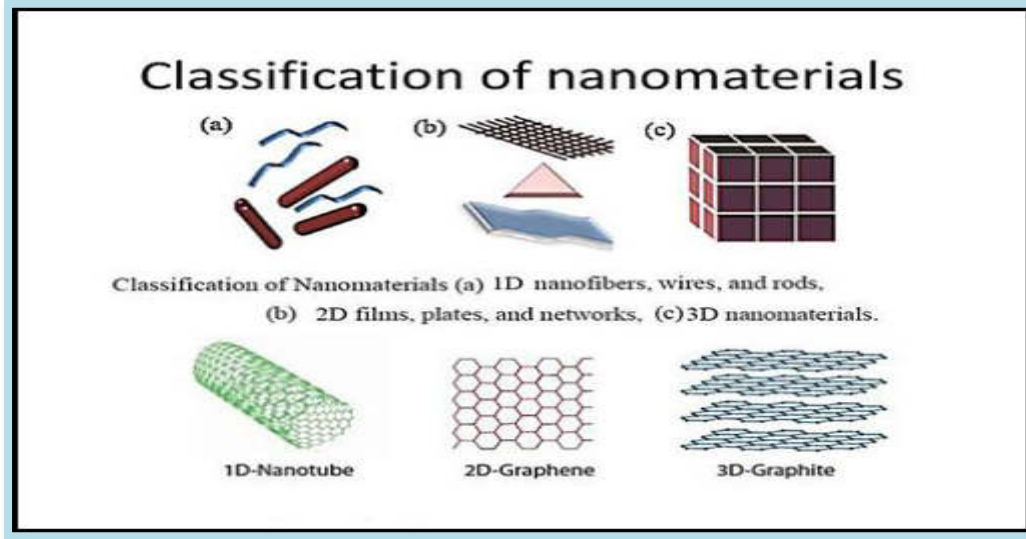
المادة التي تصنف ضمن هذه المواد يشترط فيها أن يقل مقياس أحد ابعادها الثلاثة عن مئة نانومتر، وتسمى بالمواد النانوية أحادية الأبعاد، ومن أمثلة هذه المواد الأغشية أو الرقائق كالمواد النانوية التي توظف في تصنيع مواد أشباه الموصلات المختلفة مثل رقائق السيليكون والجرمانيوم لتوظيفها في صناعة الخلايا الشمسية [79].

### Two Dimension Nanomaterials (2D) -b المواد النانوية ثنائية الابعاد

المادة التي تصنف ضمن هذه المواد يشترط فيها أن يكون مقياس بعدين من أبعادها أقل من (100nm). ومثال على نماذج هذه الفئة من المواد هي الأنابيب أو الاسطوانات النانوية (Nanotubes) ومنها أنابيب الكربون النانوية والأسلاك النانوية (Nano wires) وكذلك الألياف النانوية ومن المتوقع استخدام الأنابيب والأسلاك النانوية في تصنيع الكثير من الأجهزة كمكونات الخلايا الشمسية وأجهزة الاستشعار والشرائح الالكترونية والأجهزة الالكترونية الدقيقة [80].

### Three Dimension Nanomaterials (3D) -c المواد النانوية ثلاثية الابعاد

المادة التي تصنف ضمن هذه المواد فيشترط فيها أن يقل مقياس أبعادها الثلاثة عن ( 100 nm). وكمثال عليها هي الجسيمات النانوية والمواد السيراميكية فائقة النعومة و مساحيق الفلزات و التي توصف بأنها ثلاثية الأبعاد ، يدخل هذا النوع في العديد من المجالات والقطاعات منها قطاع الطب في صناعة الأدوية والأجهزة الطبية الحديثة لتحل بذلك محل المواد التقليدية، والتي تساهم في رفع كفاءة وجودة هذه المنتجات. و الشكل (2-3) يوضح تصنيف المواد النانوية [81].



الشكل (2-3): تصنيف المواد النانوية [81].

## Composite Materials

## (4-2) المواد المترابطة

تدعى المادة المترابطة عند اشتراك مادتين أو أكثر من المواد لايحدث تفاعل كيميائي بينهما ولكنها يرتبطان (يتأصران) فيزيائياً في تكوين مادة جديدة بحيث أن هذه المادة تمتلك خصائص ومواصفات تختلف وبشكل أفضل من خصائص ومواصفات المواد المكونة لها بشكل منفرد، وأن المادة المترابطة تتكون من طورين أو أكثر: الأول يسمى الطور غير المستمر (طور التدعيم) ويتميز بأن يكون أفسى وأقوى من الطور الثاني والذي يسمى بالطور المستمر (الطور الأساس) الذي يكون مطيلياً غالباً، وتستعمل المادة المترابطة القائمة على اساس بوليمري (PMC) في تطبيقات عدة متنوعة وخاصة في التطبيقات الهندسية، وذلك يعود إلى كونها تمتاز بأن، كثافتها وكلفت تصنيعها تكون واطئة، وغالبا ماتحتاج إلى إضافة مواد أخرى إليها لتحسين خصائصها لتلائم تلك التطبيقات، كالحشوات التي تضاف غالبا وبصورة رئيسية لتقليل الكلفة للمنتج النهائي، بينما المواد الأخرى المضافة كالدقائق مثلا تضاف لتحسين الخواص الميكانيكية، لذلك يمكن تحسين عدة خواص بوساطة التشكيل للمواد المترابطة كالمقاومة والجساءة ومقاومة التآكل والوزن وعمر الكلال ومقاومة البلى والسلوك المعتمد على درجة الحرارة والتوصيلية الحرارية والعزل الحراري والعزل الصوتي [82]، وان المواد المترابطة تسلك وتتصرف بالاعتماد على ثلاثة عناصر:

### Matrix Material

### 1- المادة الأساس

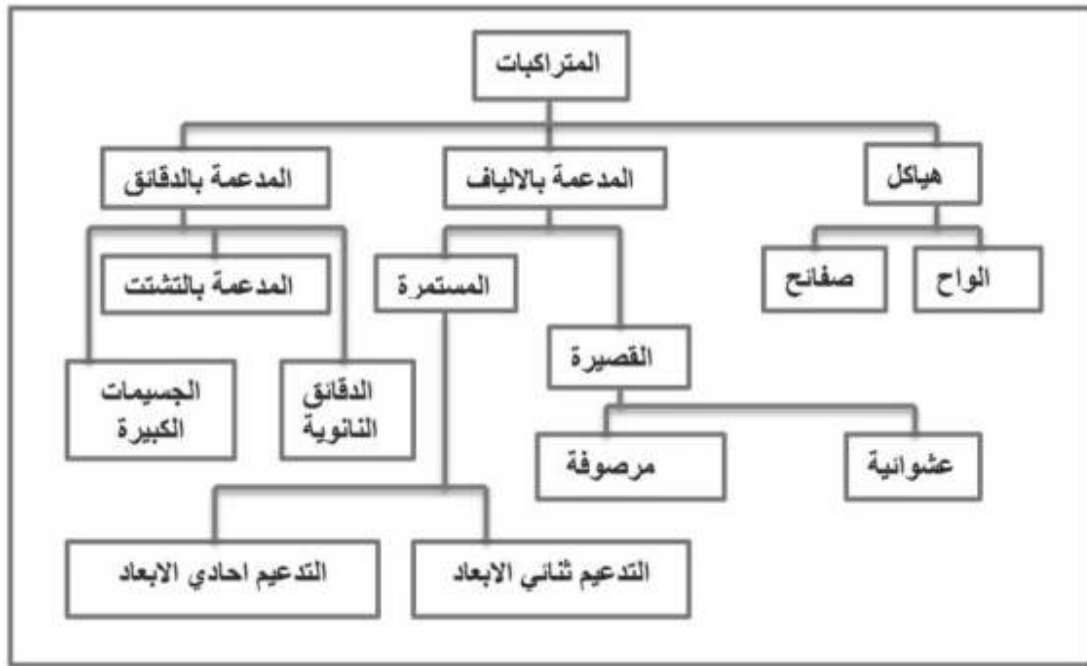
وهي أحد المكونات الأساسية للمادة المترابطة وتسمى أيضاً بالوسط الرابط، وان وظيفتها الأساسية هي العمل على ربط مادة التقوية بها، كذلك في حالة تأثير إجهاد على المادة المترابطة يؤدي

ذلك الى تشوه المادة الاساس وتعمل على توزيع الاجهادات على مواد الدعم المضافة، أي أنها تعمل على نقل القوى إلى مواد الدعم المضافة للمادة الاساس لغرض تقويتها، وهناك ايضا تقوم المادة الاساس بوظائف كالمحافظه على مواد التدعيم من الأكسدة والتآكل والظروف الجوية [83].

## Reinforcement Material

## 2- مادة التدعيم

وهي تلك المواد التي تضاف للمادة الأساس وتعمل على تقويتها، اذ إن الهدف الأساسي من استخدام مواد التدعيم هو زيادة متانة المادة الأساس، لذلك يجب أن تكون هذه المواد الداعمة أقوى (Stronger) وأكثر جساءة (Stiffer) من المادة الأساس نفسها، وان يكون وجودها عامل تعديل وتغيير بشكل ايجابي في ميكانيكية الكسر والفتل. هذه المواد تكون هشة (Brittle) بالرغم من إن خاصيتي المتانة العالية والجساءة تناقضان خاصية المطيلية (Ductility) [84]. والشكل (4-2) يوضح تصنيف المواد المترابكة [85].



الشكل (4-2): تصنيف المواد المترابكة [85].

## Types of Composite Materials

## (1-4-2) أنواع المواد المترابكة

المواد المترابكة تصنف وبحسب نوع التدعيم إلى:-

## Dispersion-Reinforced Composites

### 1- المتراكبات المدعمة بالتشتت

هي دقائق صغيرة وظيفتها هي أعاققة حركة الانخلاعات عند درجات الحرارة العالية وهذا النوع من هذه المواد ينتج من خلال توزيع أو تشتيت دقائق ذات احجام صغيرة ومستقرة في داخل المادة الأساس وبشكل عشوائي. وأكاسيد الفلزات هي مثال على هذه الدقائق، مثل أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) و الذي يتميز بالاستقرار الحراري [86].

## Particulate-Reinforced Composites

### 2- المتراكبات المدعمة بالدقائق

إنَّ المادة الأساس يتم تدعيمها بدقائق أو جسيمات ذات أقطار مايكروية أو نانوية، و يستعمل مواد دقائقية تسمى بالحشوات (Fillers) لتدعيم المادة الراتنجية، إذ يتم توزيع الحشوات في المادة الأساس بانتظام وبشكل متجانس مما يؤدي إلى زيادة جساءة المادة الأساس و تحسين ومقاومة الصدمة (Impact) والزحف (Creep) للمادة الأساس [87].

### (2-4-2) المتغيرات المؤثرة في خصائص المواد المتراكبة المدعمة بالدقائق

## Variables affecting the properties of fine-grained composite materials

إنَّ المواد المتراكبة المقواة بالدقائق يكون سلوكها الميكانيكي ناتج عن التفاعل أو التأثير المتبادل بين خصائص الأطوار المكونة للمادة المتراكبة والمتمثلة بـ [88]:

1- الراتنج.

2- مادة التقوية.

3- المنطقة البيئية.

أما متانة ومقاومة المادة المتراكبة المدعمة بالدقائق فتعتمد على متغيرات مثل [89]:

1- الكسر الحجمي للدقائق.والذي يعتمد بدوره على المكان أوالموقع التي تستعمل فيه المادة المتراكبة. ومقدار حجم الدقائق والصفات والخصائص المرغوب فيها للمنتج.ونوع المعاملة السطحية.

2- حجم الدقائق.

3- متانة الدقائق ومعامل المرونة.

4- مقدار الترابط بين المادة الأساس والدقائق.

5- متانة المادة الأساس.

### Rule of Mixture

### (3-4-2) قاعدة الخلط

تستطيع قاعدة الخلط أن تتنبأ بخواص المواد المترابطة المقواة بـ ( الدقائق أو الصفائح أو الألياف) وبالأعتماداً على الكسر الحجمي وخواص المواد الداخلة في صناعة المواد المترابطة [90].

وكثافة المادة المترابطة يمكن حسابها من خلال القانون الآتي:

$$\rho_c = \sum V_i \rho_i = V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2 + V_3 \rho_3 \dots V_i \rho_i \quad (1 - 2)$$

إذ أن:

$\rho_c$ : كثافة المادة المترابطة،  $\rho_1, \rho_2, \rho_n$ : كثافة كل عنصر

$V_1, V_2, V_n$ : الكسر الحجمي لكل عنصر.

تعتمد العلاقة الرياضية التي تربط بين مكونات المواد المترابطة فيما بينها والمقواة بالدقائق لأي صفة تحت الدراسة على الكسر الحجمي أو الكسر الوزني لجميع الأطوار المكونة للمادة المترابطة وكذلك قيم تلك الصفة لكل مكون على انفراد، وفي هذا المجال استنتج الباحثون إن هنالك حداً أعلى وحداً أدنى لمقدار قيم كل خاصية والمبينة في الشكل (2-5) الذي يمثل التقوية بدقائق التنكستن والمتمثلة قيمها بالعلاقتين (2-2) و(3-2) على التوالي [90].

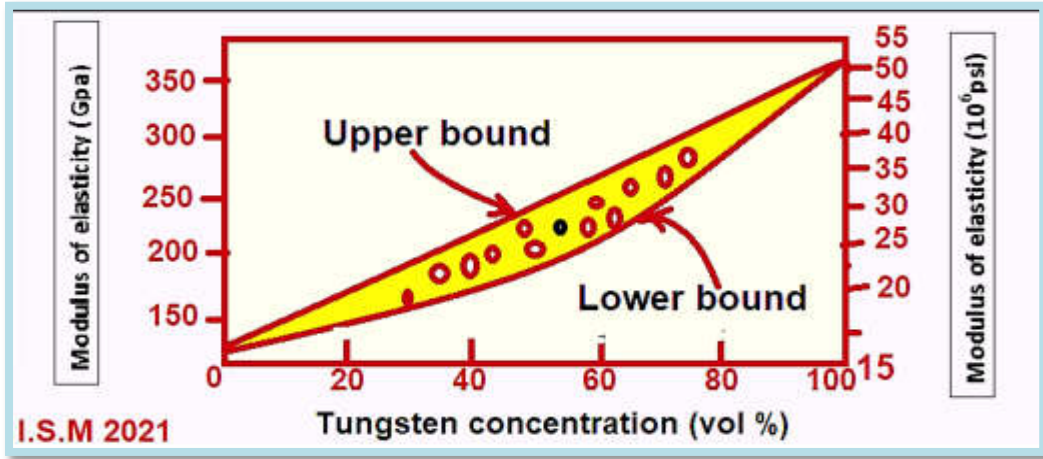
$$E_c = E_m V_m + E_p V_p \quad (2 - 2)$$

$$E_c = \frac{E_m \cdot E_p}{V_m E_p + V_p E_m} \quad (3 - 2)$$

حيث أن:

E : معامل المرونة

V : الكسر الحجمي، إذ ان (p, m, c): تمثل المادة المترابطة وطوري الأساس والدقائق على التوالي.



الشكل (2-5): مخطط التقوية بدقائق التنكستن وتأثيرها في معامل المرونة [90].

ويمكن حساب كمية المادة الاساس ومادة التدعيم كما يأتي [91]:

أ- بدلالة الكسر الحجمي:

$$V_P = \frac{V_P}{V_C} \times 100 \% \quad (4 - 2)$$

$$V_m = \frac{V_m}{V_C} \times 100 \% \quad (5 - 2)$$

حيث أن  $V_P$ ,  $V_m$ : الكسر الحجمي لكل من مادة الأساس ومادة التقوية.

$v_p$ ,  $v_m$ ,  $v_c$ : حجم كل من مادة المترابطة ومادة الأساس ومادة التقوية.

ب- بدلالة الكسر الوزني:

$$V_P = \frac{\rho_C}{\rho_P} W_P \times 100 \% \quad (6 - 2)$$

$$V_m = \frac{\rho_C}{\rho_m} W_m \times 100 \% \quad (7 - 2)$$

حيث أن:

$\rho_C$ ,  $\rho_P$ ,  $\rho_m$ : كثافة كل مادة الأساس ومادة التقوية والمادة المترابطة.

$W_p$ ,  $W_m$ : الكسر الوزني لكل من مادة الأساس ومادة التقوية.

وكذلك فان:

$$W_P = \frac{W_P}{W_C} \times 100 \% \quad (8 - 2)$$

$$W_m = \frac{W_m}{W_C} \times 100 \% \quad (9 - 2)$$

حيث أن:

$W_p$  ,  $W_m$  ,  $W_c$  : وزن المادة المترابطة والمادة الأساس ومادة التقوية.

وهنا يجدر الإشارة الى ملاحظة أن:

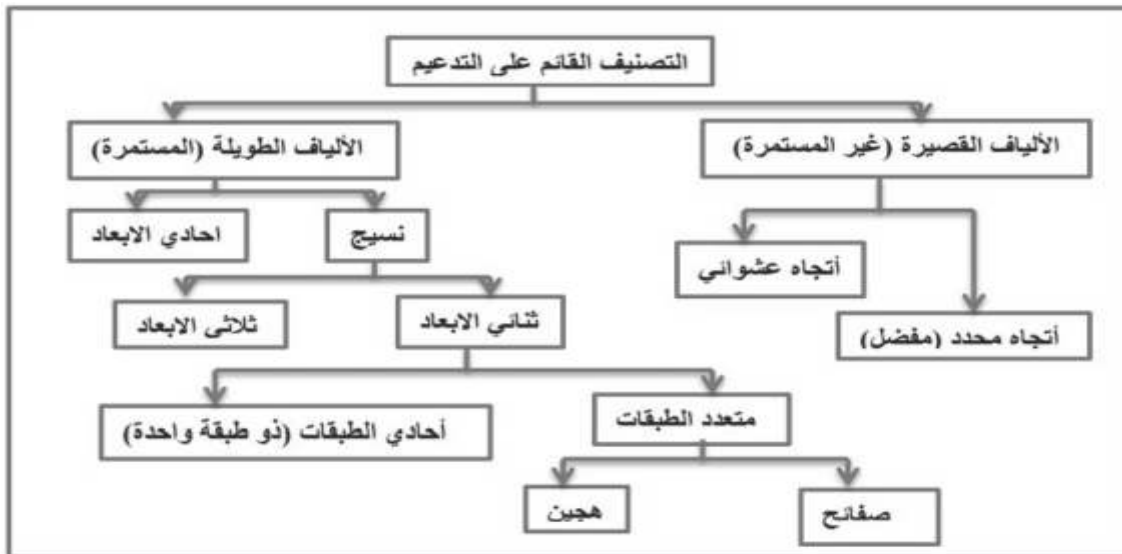
$$W_P + W_m = 1 \quad (10 - 2)$$

$$W_m + V_m = 1 \quad (11 - 2)$$

### Fibers-Reinforced Composites

### 3- المترابكات المدعمة بالألياف

والمواد المترابطة المدعمة بالألياف تتميز بأدائها العالي وذلك لأنّ المادة الأساس تملك معاملات ميكانيكية عالية من مرونة وشد والتي يكون عملها هو توزيع الحمل على الألياف، وكذلك تمنع نمو الشقوق الصغيرة (Cracks) والتي تحدث نتيجة الاجهادات الميكانيكية وأيضا مقاومتها للظروف البيئية وتحملها الحراري وأشكال الألياف تختلف فمنها المستمرة والمتقطعة أو قد تكون محاكاة بشكل حصيرة [92]. والمترابكات المدعمة بالألياف تصنف إلى مترابكات ذات طبقة واحدة او متعددة الطبقات كما في الشكل (6-2).



الشكل (6-2): تصنيف المترابكات الليفية [93].

## Hybrid Composites

## 4- المتراكبات الهجينة

المواد المتراكبة الهجينة مصطلح يطلق على المواد المتراكبة المتكونة من نوعين أو أكثر من مواد التدعيم ضمن المادة الأساس. إن سبب استخدام نوعين أو أكثر من المواد لتدعيم المواد المتراكبة الهجينة هو إمكانية الحصول على كلفة إقتصادية أقل والتي تعد عاملاً مهماً في الصناعات الكبيرة فمثلاً يمكن استعمال ألياف الكربون الباهظة الثمن وتدعيمها بألياف الزجاج الرخيصة الثمن. إن استخدامات المواد المتراكبة الهجينة بدأت بصناعات كبيرة كصناعة السيارات والأدوات الرياضية ومن ثم تطورت لتشمل بقية الصناعات كصناعة أجزاء من الطائرات وذلك لامتلاكها خصائص مثالية وهي [94]:

1- مقاومة عالية للكلال (High Fatigue Resistance).

2- مقاومة لدرجات الحرارة العالية (High Temperature Resistance).

3- مقاومة الظروف البيئية (Weathering Resistance).

4- مقاومة كيميائية عالية (High Chemical Resistance).

(2-5) العوامل المؤثرة في سلوك المتراكبات المدعمة بالألياف

## Factors Affecting In Fibers-Reinforced Composites

من العوامل المهمة والمؤثرة في المتراكبات المدعمة بالألياف هي [95]:

1- الكسر الحجمي.

2- طول الليف الفعال.

3- توجيه الألياف.

4- السطح البيني.

5- نوع الألياف المستخدمة للتدعيم.

والألياف تؤدي دوراً مهماً جداً في سلوك المتراكبات ولكن بشرط مراعاة عدة أمور منها [96]:-

a- معامل المرونة يجب إن يكون عالي لكي يكون التعزيز كفوءاً.



b- احتفاظها في أثناء التشكيل وبعده بقوتها ومثانتها.

c- مقاومتها القصوى العالية، d- يجب ان تكون سطوحها وأقطارها منتظمة.

## Mechanical Properties

## (6-2) الخصائص الميكانيكية

إن فهم التصرف الميكانيكي للمواد المستخدمة ضروري في تصميم الماكائن والأبنية لذلك فإن إنجاز التجارب في المختبر تعد الطريقة الوحيدة لمعرفة كيفية سلوك المواد عندما تتعرض للأحمال، وهذا يتضمن أخذ عينات صغيرة من المادة ووضعها في أجهزة الاختبار ومن ثم تسليط الأحمال عليها وبعدها قياس التشوهات الناتجة [97]. الخصائص الميكانيكية للمواد البوليمرية تعتمد على البنية الأساسية للجزيئات المكونة للسلاسل الرئيسية، باختلاف الروابط بين السلاسل، وكذلك بين الذرات والجزيئات سيؤدي إلى التغيير في هذه الخصائص، كما إن المؤثرات الخارجية مثل الرطوبة ودرجة الحرارة والإشعاع ستؤثر في البنية الأساسية للبوليمرات مما يؤدي إلى تغيير السلوكية الميكانيكية لها [98]. وسنتطرق إلى بعض الخصائص الميكانيكية الأساسية وهي الشد والصلادة وكذلك مقاومة الانحناء والصدمة.

## Tensile Test

## (1-6-2) اختبار الشد

يعدُّ اختبار الشد من الاختبارات الميكانيكية المهمة للمواد المتراكبة لمعرفة خصائصها الهندسية، وعن طريق هذا الاختبار نستطيع ان نحسب معامل المرونة (Elastic Modulus) أو معامل يونك (Young's Modulus) ونقطة الخضوع (Yield Point) و مقدار مطيلية المادة والأجهاد (Stress) والانفعال (Strain) فضلاً عن مقاومة المادة (Strength). هناك عوامل عدة تؤثر باختبار الشد وتتناسب معه تناسباً طردياً مثل، درجة الحرارة والوزن الجزيئي ودرجة التشابك (Cross-Linking) [99].

ويمكن حساب متانة الشد (Tensile Strength) من المعادلات الآتية :-

$$T.S_{\max} = \frac{F}{A} \quad (12-2)$$

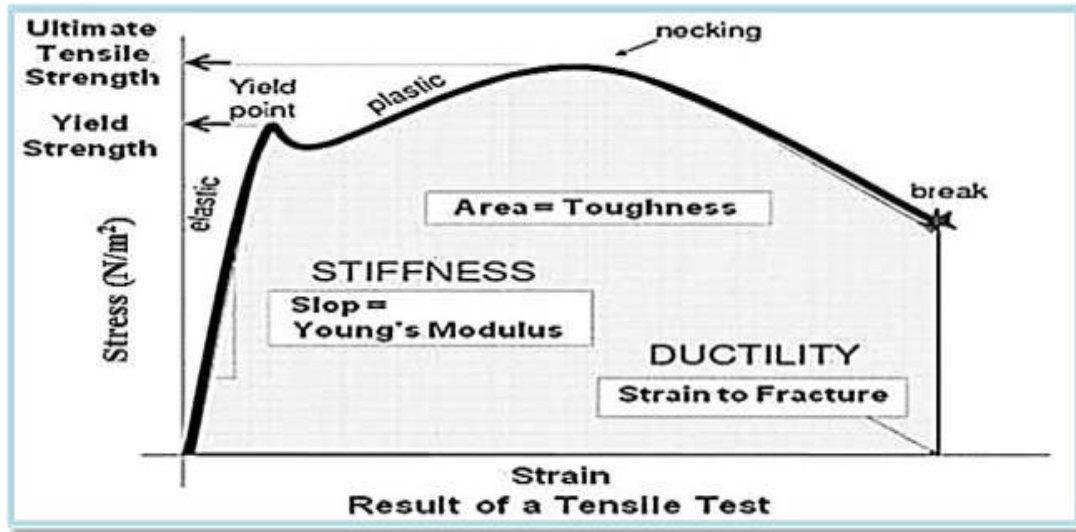
إذ أن:

$T.S_{\max}$ : أعلى متانة شد بوحدة (N/m<sup>2</sup>).

F: تأثير القوة المسلطة بوحدة (N)، A: مساحة المقطع للعينة بوحدة (m<sup>2</sup>) [100].

## (1-1-6-2) منحنى (الاجهاد-الانفعال) (Stress-Strain) Curve

عند تسليط حمل معين على عينة الاختبار ليكون منطبقاً على المحور الطولي للعينة فإنها سوف تعاني استطالة معينة حسب مقدار القوة المسلطة عليها وبذلك نحصل على منحنى هندسي يدعى بمنحنى (الاجهاد - الانفعال) والذي يبينه الشكل (7-2).



الشكل (7-2): منحنى (الاجهاد-الانفعال) لمادة بوليميرية [101].

يعرف الإجهاد (Stress) بأنه القوة المسلطة على وحدة المساحة العمودية أو نسبة الحمل المسلط على مساحة المقطع المستعرض للعينة، ويرمز للإجهاد بالرمز  $(\sigma)$  ووحدات قياس الإجهاد هي  $(N/m^2)$  ويقاس من خلال العلاقة (13-2) [101]:-

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (13-2)$$

إذ إن:

F: القوة المسلطة بوحدات (N).

A: مساحة مقطع العينة بوحدات  $(m^2)$ .

أما الانفعال (Strain)  $(\epsilon)$  فهو نسبة التغير في الطول إلى الطول الأصلي للعينة تحت الاختبار ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الآتية [102]:-

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (14-2)$$

إذ إن:

L: الطول النهائي للعينة بوحدات (m).

L<sub>0</sub>: الطول الأصلي للعينة بوحدات (m).

ΔL: مقدار التغير في الطول بوحدات (m).

إن النسبة بين الاجهاد المسلط إلى الانفعال المقابل له هي مقدار ثابت وذلك في حدود منطقة المرونة و يسمى بمعامل المرونة (Modulus of Elasticity) أو مايسمى بمعامل يونك (Young's Modulus) و يعطى بالمعادلة الآتية [103]:-

$$Y_m = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (15 - 2)$$

إذ إن: Y<sub>m</sub>: معامل يونك بوحدات (N/m<sup>2</sup>).

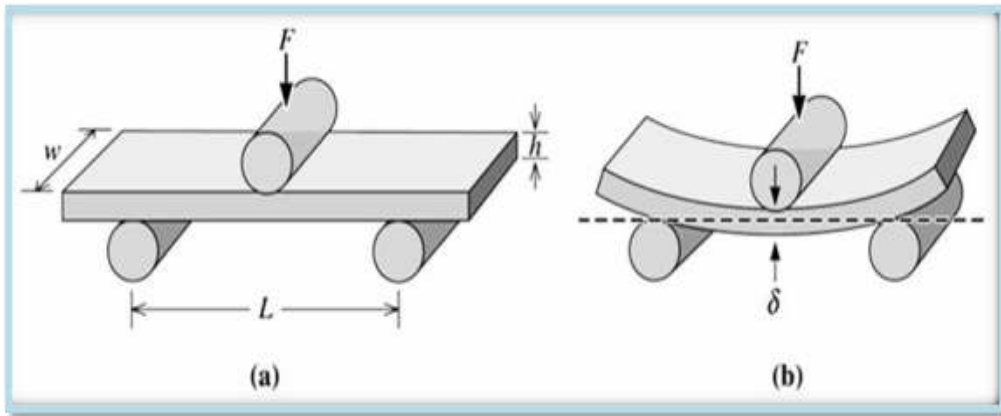
يمكن الاستفادة من منحنى (الإجهاد-الانفعال) في دراسة السلوك الميكانيكي للمادة وتحديد المتانة والمقاومة ومعامل المرونة، إذ يقسم منحنى (الإجهاد-الانفعال) إلى ثلاثة أجزاء، إذ يمثل الخط المستقيم منطقة المرونة (Elastic Region) ويتناسب مقدار تأثير الإجهاد مع الانفعال الناتج وميل هذا الجزء يمثل بمعامل يونك وضمن هذه المنطقة تستعيد المادة أبعادها وشكلها الأصلي عند زوال الإجهاد وتسمى هذه المنطقة بمنطقة العمليات العكوسة (Reversible) والتي تخضع لقانون هوك. بعد هذا الجزء تكون زيادة الانفعال غير خطية مع الإجهاد وأما أن تنكسر العينة إذا كانت متكونة من مادة هشة (Brittle) أو قد تخضع للإجهاد المؤثر عند نقطة تدعى بنقطة الخضوع (Yield Point) التي يقل عندها الإجهاد الذي تتحمله المادة. بعدها ستعاني المادة من تشوه لدن (Plastic Deformation)، ولا يزول هذا التشوه حتى عند رفع الإجهاد عن المادة بسبب نفاذ طاقة الإجهاد في فتح الأواصر التي تربط للسلاسل البوليميرية مع بعضها، وقد تكسر بعض من هذه الأواصر الرئيسية. وبسبب ترتيب السلاسل باتجاه الحمل الخارجي تحصل زيادة في الإجهاد، وهذه الزيادة تمثل أقصى مقاومة شد (Ultimate Tensile Strength) بعدها يقل الإجهاد تدريجياً بسبب تكسر الأواصر ضمن السلاسل الرئيسية حتى يحصل الفشل عند نقطة معينة.

إن منحنى (الإجهاد - الانفعال) يعتمد على عوامل عدة، منها ما يتعلق بظروف إجراء الأختبار مثل درجة الحرارة وسرعة الشد وسرعة الأختبار والضغط وعوامل أخرى تتعلق بتركيب البوليمر مثلا الوزن الجزيئي ودرجة التشابك... الخ [104].

## Bending Test

## (2-6-2) اختبار الانحناء

هي مقاومة المادة للثني ضد القوى المؤثرة على سطح المادة بصورة عمودية على محورها الطولي و يتضمن نوعين من الاجهادات المؤثرة على المادة في نفس الوقت مثل إجهاد الشد المؤثر في طبقات المقطع السفلي، وإجهاد الناتج من الضغط المسلط على طبقات المقطع العلوي، ومن الممكن ان تتغلب إحداه هذه القوى على القوة الأخرى وقد تتسبب في فشل المادة كلها، وهناك بعض العوامل المهمة والتي تؤثر بصورة مباشرة في هذا الاختبار وهي نوع ومعدل مقدار التحميل والمسافة بين المسندين وإبعاد مساحة المقطع العرضي للعينة وكما مبين في الشكل (8-2) [105].



الشكل (8-2): عينة اختبار الانحناء ثلاثي النقط [119].

إن أعظم إجهاد في ظروف فحص الثني ثلاثي النقاط والحاصل في منتصف المسافة بين المساند يمكن أن يحسب لأي نقطة واقعة على منحنى (الحمل - الانحناء) بواسطة العلاقة الآتية [106]:

$$\delta_{max} = \frac{3 f L}{2 w h^2} \quad (16 - 2)$$

إذ إن  $\delta_{max}$  : إجهاد الثني (Mpa) و  $L$  : المسافة بين المساند (mm) و  $w$  : عرض العينة (mm) و  $f$  : مقدار الحمل المسلط (N) و  $h$  : سمك العينة (mm)

إن مقدار الانحراف " Deflection " يتناسب بشكل طردي مع مقدار الحمل المؤثر فعندما يزال تأثير الحمل المسلط تسترجع المادة الى حالتها الأولى قبل تأثير الحمل وفي هذه الحالة

تخضع المادة لقانون هوك "Hook's Law" وان نسبة مقدار الحمل الى الانحراف  $\frac{load}{Deflection}$  هي مقدار ثابت يمثل بالميل "Slope"، إذ يمكن إيجاد قيمة معامل المرونة الانحنائي ( $E_{Bend}$ ) من العلاقة (17-2) وهو يمثل مقياس الصلابة خلال الجزء البدائي من عملية الثني [107].

$$E_B = \frac{m L^3}{4 w h^3} \quad (17 - 2)$$

إذ إن :-

$E_B$ : معامل المرونة في الانثناء (أو معامل الثني).

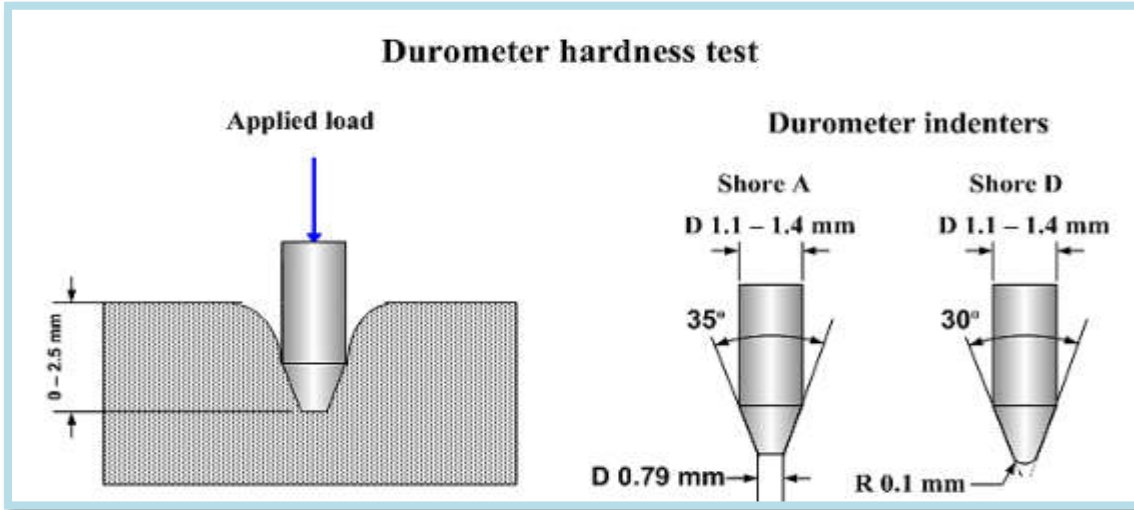
m: ميل الجزء الخطي من منحنى (الحمل-انحراف).

## Hardness Test

### (3-6-2) اختبار الصلادة

تعرف الصلادة عادة بأنها مقاومة سطح المادة للغرز (Indentation) ولكنها في الوقت نفسه تعطي فكرة جيدة ونسبية عن متانة وتماسك كتلة المادة أيضاً باستخدام أحمال صغيرة، وهو اختبار غير إتلافي لعدم اتلاف العينة (Nondestructive)، إذ لا تنكسر العينة عند الاختبار ولا تنتشوه بشكل كبير، ويكون التشوه الناتج بشكل ثقب صغير ويكون موقعه فوق سطح العينة. وفي دراستنا تم استخدام صلادة شور (Shore D)، والذي يستخدم لقياس البلاستيك الصلب، أما لقياس البلاستيك اللين فيستخدم عادة جهاز صلادة شور نوع (Shore A) [108].

يتم قياس صلادة البوليمرات المطاطية (Elastomer) بجهاز صلادة (A) و (D) الذي يحوي على أداة مدببة نقطية تغرز في العينة، وبتأثير حمل معين على المادة سوف تتغلغل أداة الغرز في داخل سطح المادة ويشير الجهاز الى قراءة في مؤشر العداد الرقمي المثبت في الجهاز ويمثل هذا الإنحراف مقدار الخدش لسطح المادة، يختلف قياس صلادة شور (A) عن (D) في شكل نهاية أداة الغرز كما في الشكل (2-9). يعطي جهاز صلادة شور دلالة واضحة عن خصائص البوليمر المطاطي في الشد، فكلما زادت استطالة العينة قبل الكسر قلت صلابتها، حيث تتميز بذلك البوليمرات ذات الصلادة المتوسطة (50-70 Shore A)، وتقل هذه الصلادة للبوليمرات الطرية أو الصلدة جداً [109].



الشكل (9-2): أداة الغرز بجهاز صلادة شور [109].

## Impact Test

## (4-6-2) إختبار الصدمة

يُعدُّ اختبار الصدمة من الطرق التي تعطي علاقة واضحة عن قوة المادة ومقاومتها للكسر تحت تأثير اجهادات بسرعه عالية. يعرف الكسر بأنه انفصال الجسم على قسمين أو أقسام عدة، وذلك بسبب تأثير قوى طبيعية خارجية ويتولد عن الانفصال سطوح جديدة. ان مقاومة الصدمة تعتمد على متغيرات عدة تتضمن نوع المادة ونظام الاجهاد (Stress System) و ظروف التصنيع و الظروف البيئية (Fabrication Condition) والشكل الهندسي للقطعة ( Geometry of Article) ومعدل الانفعال (Strain Rate) [110].

ويعتمد نوع الفشل الذي يحدث في المادة على عوامل عدة، وهي [111]:-

1- طبيعة المادة وتركيبها.

2- نوع الاجهاد (Type of Stressing).

3- معدل الاجهاد (The rate of Stressing).

4- درجة الحرارة (Temperature).

5- الوسط (Environment).

وهناك إختبارات قياسية عدة للصدمة المطبقة في الوقت الحاضر وهي:-

1- إختبار چاربي (Charpy Test): في هذا الاختبار يتم وضع العينة أفقياً وتضرب في وسطها بالمطرقة من خلف العينة بوزن معين.

2- إختبار آيزود (Izod Test): في هذا الاختبار يتم وضع العينة عمودياً في جهة معينة وتضرب العينة من نفس الجهة.

3- إختبار قياس الصدمة بطريقة الاجسام الساقطة (Falling Body Impact Test): هو اختبار لقياس الطاقة المطلوبة للكسر باستخدام أقتال بكتل مختلفة وبتأثير التعجيل الارضي (السقوط الحر) [112].

متانة الصدمة تحسب من المعادلة الآتية [113]:-

$$I.S = \frac{U}{A} \quad (18 - 2)$$

إذ أن:

$I.S =$  متانة الصدمة وتقاس بوحدات  $(KJ/m^2)$ .

$U =$  طاقة الكسر بوحدات  $(KJ)$ .

$A =$  مساحة المقطع بوحدات  $(m^2)$ .

## (7-2) الخصائص الكهربائية (العزلية) Dielectrical Properties

إنَّ ثابت العزل الكهربائي للمواد البوليميرية له أهمية خاصة، لأنَّ البوليميرات تدخل في مجال العزل الكهربائي في كثير من التطبيقات، ويقاس ثابت العزل الكهربائي في المكثفات من خلال قياس سعة المكثف الكهربائي بوجود المادة البوليميرية بأعتبارها وسط عازل إلى سعته بوجود الهواء فقط كوسط عازل [114]، لذلك تعتمد التوصيلية الكهربائية بشكل عام على حركة الالكترونات والايونات الحرة، إذ تعدُّ هذه الالكترونات او الأيونات مقيدة في المواد العازلة، بسبب الارتباط القوي بين الذرات بوساطة أو اصر تساهمية قوية [115].

وتعطى قابلية المادة للاستقطاب ومقدار خزنها للشحنة الكهربائية بوساطة السماحية النسبية (Relative Permittivity) أو بوساطة ثابت العزل  $(\epsilon_r)$  (Dielectric Constant). وتعرّف على انها النسبة بين السماحية بوجود المادة العازلة الى سماحية بوجود الفراغ وحسب المعادلة:

$$\frac{\hat{C}}{C_0} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r \quad (19 - 2)$$

فان نتيجة قياس سعة المتسعة ( $\hat{C}$ ) يستخدم لحساب ثابت العزل ( $\epsilon_r'$ ) ويعطى بالمعادلة (9-2):

$$\epsilon_r' = \frac{\hat{C} \cdot d_{dis}}{\epsilon_0 A} \quad (20 - 2)$$

ويمكن حساب عامل الفقد العزلي (Dielectric Loss) ( $\epsilon_r''$ ) بوساطة معادلة (20-2) [116]:-

$$\epsilon_r'' = \tan \delta \times \epsilon_r' \quad (21 - 2)$$

إذ أن:

$\tan \delta$ : عامل الفقد (Dissipation Factor).

ويعدُّ ثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon_r$ ) كمية غير حقيقية اي كمية عقدية (Complex) لها جزء حقيقي ( $\epsilon_r'$ ) ويعتبر مقياس للسعة والاستقطاب، ومن جزء خيالي ( $\epsilon_r''$ ) والذي يُعدُّ مقياس مقدار الفقد في العوازل، وتستعمل العلاقة (21-2) لقياس التوصيلية الكهربائية المتناوبة:

$$\sigma_{a.c} = \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r'' \quad (22 - 2)$$

ويمكن الحصول على علاقة تربط بين التوصيلية الكهربائية المتناوبة ( $\sigma_{a.c}$ ) وفقدان العازل ( $\epsilon_r''$ ) والتردد الزاوي ( $\omega = 2\pi f$ ) [117]. فالتوصيلية الكهربائية المتناوبة ( $\sigma_{a.c}$ ) للعازل تُعدُّ مقياس لمعدل الحرارة التي من المتوقع ان تتولد بسبب دوران ثنائيات الأقطاب في مواضعها، أو بسبب اهتزاز الشحنات الكهربائية عند تغير اتجاه المجال الكهربائي المتغير مع الزمن، لذلك يمكن اعتبار التوصيلية الكهربائية للمادة لها مركبتين:

$$\sigma = \sigma_{a.c} + \sigma_{d.c} \quad (23 - 2)$$

إذ أن:

$\sigma_{d.c}$ : التوصيلية الكهربائية في المادة للتيار المستمر.

$\sigma_{a.c}$ : التوصيلية الكهربائية في المادة للتيار المتناوب، والتي يعبر عنها بمقدار الفقد في العازل.

علماً إنَّ ثابت العزل الكهربائي يعتمد على الاستقطاب (Polarization)، الذي يحصل في داخل المادة العازلة، وكذلك فإن مقدار ثابت العزل الكهربائي للمادة العازلة يعتمد على درجة الحرارة،



وكذلك يعتمد على التردد ايضا، لذلك فان المجال الكهربائي المتغير نتيجة تغير تردد الفولتية المطبقة على المادة العازلة ينعكس تاثيره بمدى تأثير تردد الفولتية على الخصائص العزلية للمادة بواسطة التغيرات التي تطرأ على استقطابية المادة، وان هذا التغير يعتمد على نوع الاستقطاب [119, 118].

## Thermal Properties

## (8-2) الخصائص الحرارية

في الأونة الأخيرة أصبحت الاستخدامات العامة والهندسية للخلائط البوليمرية تعتمد بشكل كبير على الخصائص الفيزيائية. لذا وجب دراسة هذه الخصائص ومعرفتها بصورة جيدة بحيث يمكن إدخال بعض التغيرات الضرورية بغية تحسين تلك الخصائص، ومن هذه الخصائص الفيزيائية التي أعتنى بها عدد غير قليل من الباحثين هي التوصيلية الحرارية والتي يرمز لها (k)، وأن الهدف الاساسي من وراء دراسة الخصائص الحرارية، هو للتعرف على تصرف وطبيعة السلوك الحراري لهذه المواد، والتي يمكن من خلالها تحديد أدوارا مهمة ومناسبة لتلائم استخداماتها في المجالات العلمية المختلفة [120].

## Thermal Conductivity

## (1-8-2) التوصيلية الحرارية

تعد التوصيلية الحرارية احدى ظواهر الانتقال في المواد الصلبة، فالحرارة، كما نعرفها نوع من أنواع الطاقة شأنها شأن أنواع الطاقة الاخرى مثل الطاقة الكهربائية والطاقة الصوتية وغيرها، واذا توافرت حرارة فان ذلك يكون بقدر الشغل المبذول في توليدها. وتنتقل الحرارة من الموضع الساخن الى الموضع البارد ببعض أو بكل من الطرائق الآتية: التوصيل (Conduction) والحمل (Convection) والإشعاع (Radiation). هنا في هذه الدراسة سوف يتم تسليط الضوء على انتقال الحرارة بالتوصيل لأن انتقال الحرارة بالحمل لا يحدث الا في السوائل والغازات، إذ تكون الجزيئات حرة الحركة [120].

وبصورة عامة فإن طرائق قياس التوصيلية الحرارية (K) تختلف تبعا لنوع المادة، موصلة ام عازلة، فالمواد جيدة التوصيل الحراري مثل النحاس تقاس بطريقة سيرل (Searle's Method)، وحسب مبدأ قانون فورير (Fourier's Law)، اما المواد رديئة التوصيل الحراري كالبوليمرات بطريقة قرص لي (Lee's Disc Method)، اذ تقطع العينة بشكل قرص (S) ويوضع خلال الجهاز بين قرصين من النحاس (A,B)، اذ يمس القرص (B) المسخن الكهربائي (H) ومن ثم

يتبعه القرص (C) وبمرور كمية الحرارة خلال العينة والمتمثلة بالقرص (S)، إذ يتم حساب قيمة (K) من المعادلة (24-2) [121]:-

$$k \left\{ \frac{\{T_B - T_A\}}{d_S} \right\} = e \left[ T_A + \frac{r}{2} \left( d_A + \frac{d_S}{4} \right) T_A + \frac{d_S \cdot T_B}{2r} \right] \quad (24 - 2)$$

إذ أن:

e: تمثل مقدار كمية الطاقة الحرارية التي تمر عبر وحدة مساحة لمادة القرص في كل ثانية (W/m<sup>2</sup>. K) ويمكن ان تحسب من المعادلة (25-2):-

$$IV = \pi r^2 e (T_A + T_B) + 2\pi \cdot r \cdot e \left[ d_A T_A + \frac{d_S}{2} (T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C \right] \quad (25.2)$$

إذ أن:

T<sub>A</sub>, T<sub>B</sub>, T<sub>C</sub>: تمثل درجة حرارة الاقراص (A, B, C)، وبالتوالي وتقاس بوحدات (°C).

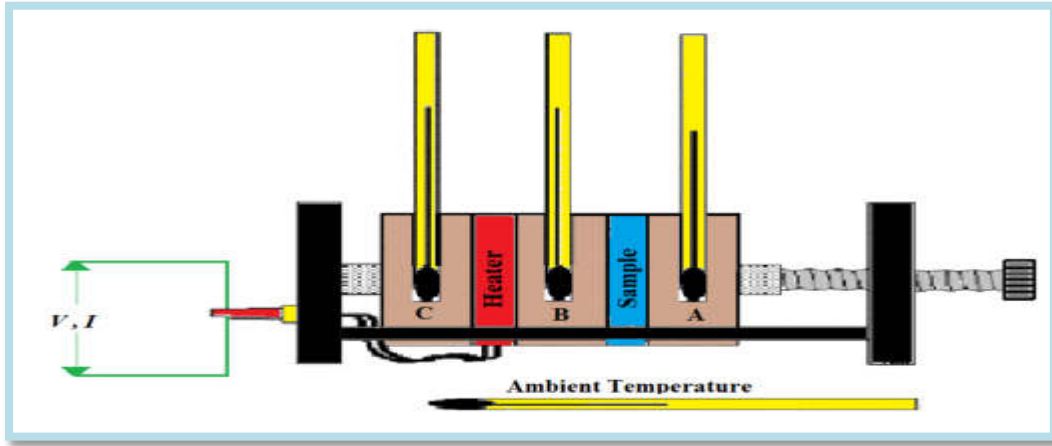
سُمك القرص (d) بوحدات (m).

نصف القطر للقرص (r) بوحدات (m).

التيار المار خلال ملف المسخن (I) بوحدات (Amper).

فرق الجهد المطبق على طرفي ملف المسخن (V) بوحدات (Volt).

الشكل (10-2) يوضح مخطط للجهاز الذي يمكن من خلاله قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي). وبصورة عامة تزداد التوصيلية الحرارية مع زيادة درجة الحرارة في منطقة دون درجة الانتقال الزجاجي (T<sub>g</sub>) ولكن فوق درجة الانتقال الزجاجي (T<sub>g</sub>) فان التوصيلية الحرارية تبدأ بالنقصان مع زيادة درجة الحرارة [122].



الشكل (10-2): مخطط جهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي) [122].

## The Fracture

## (9-2) الكسر

هو انفصال العينة إلى قسمين أو أكثر تحت تأثير قوة خارجية وتتضمن مرحلتين ، تكوين الشق (Crack Formation) ومرحلة انتشار الشق (Crack Propagation) وهناك عوامل عدة تؤثر في الكسر منها [123]:

- طبيعة المادة.
- طبيعة الإجهاد المؤثر.
- درجة الحرارة.
- معدلات الانفعال.
- سرعة الحمل المسلط.

اذ يعتمد شكل الشق على ميكانيكية الكسر ويمكن تصنيف الكسر إلى نوعين:-

1- الكسر الهش (Brittle Fracture).

2- الكسر المبطلي (Ductile Fracture).

## Brittle Fracture

## (1-9-2) الكسر الهش

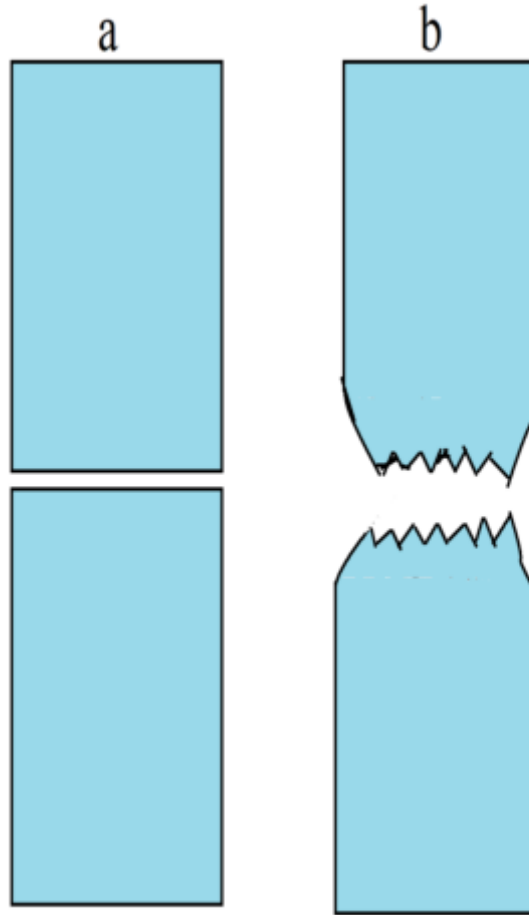
يُعدُّ هذا النوع من أخطر أنواع الكسور، لأنه يحدث بسرعة دون أن يسبقه تشوه لدن مرئي إذ يكون نمو الشق (Crack Propagation) بشكل سريع وإن اتجاها انتشار حركة الشق تكون

تقريباً متعامدة مع اتجاه إجهاد الشد المسلط على المادة، إذ يكون سطح الكسر مستوياً ولماعاً، كما في الشكل (a-11-2) [124].

### Ductile Fracture

### (2-9-2) الكسر المطيلي

إن هذا النوع من الكسر يكون أقل خطورة وأقل سرعة من النوع الأول، إذ يظهر تشوه لدن واضح قبل الكسر ويحدث هذا النوع من الكسر غالباً نتيجة تسليط إجهاد عالي على المادة يتميز هذا النوع من الكسر بكون نمو الشق بطيء، إذ تمتص العينة طاقة عالية قبل الكسر، كذلك يكون شكل الكسر ليفياً (Fibrous) ومعتماً (Dull) وبشكل (Cup – Cone) وكما مبين بالشكل (b-11-2) [125].



الشكل (11-2): a-الكسر الهش [124]، b-الكسر المطيلي [125].

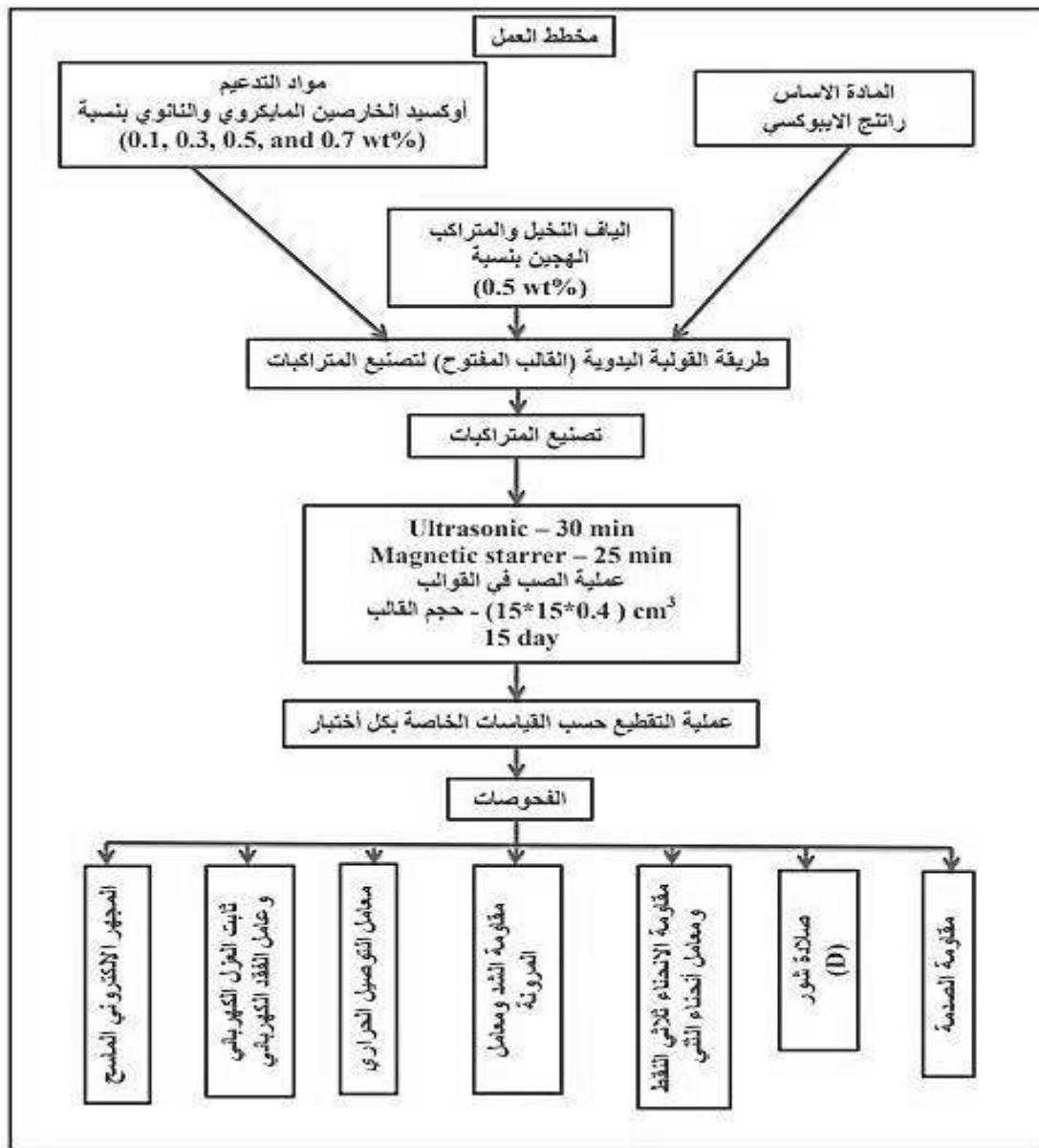
الفصل الثالث

الجزء العملي

## Introduction

## (1-3) المقدمة

هذا الفصل يتضمن الجانب العملي من البحث، والذي من خلاله يمكن التعرف على المواد الأولية التي تم استخدامها في تحضير المواد المترابكة الخاصة بالبحث ومعرفة بعض خصائصها ومميزاتها، وكذلك اختيار طريقة تحضير العينات ومعرفة انظمة القياس العالمية المتبعة في طريقة التحضير مع عرض لأشكال العينات وابعادها، إضافة إلى ذلك التعريف بالأجهزة المستخدمة لإجراء الاختبارات المعتمدة في البحث والمخطط (1-3) يوضح مخطط خطوات العمل والفحوصات.



مخطط (1-3): خطوات العمل والفحوصات.

**Materials Used****(2-3) المواد المستخدمة****Matrix Material****(1-2-3) المادة الاساس**

مادة الإيبوكسي المستعملة من نوع (Quikmast 105 Base) منخفضة اللزوجة والكثافة والمصنعة من قبل شركة (Fosroc Jordan) تُعدُّ هذه المادة احد أنواع الراتنجات المتصلدة بالحرارة و يضاف إليه مانسبته (1:3) كمادة مصلدة (Hardener) من نفس نوع الراتنج، والذي يتفاعل مع الايبوكسي في درجة حرارة الغرفة. ليتصلب راتنج الايبوكسي يحتاج إلى أكثر من (3) ساعات عند درجة حرارة الغرفة ولإتمام المعالجة (Full Curing) يترك لمدة اسبوعين وبعدها يتم تقطيع العينات ضمن المواصفات القياسية المناسبة لكل اختبار، والجدول (1-3)، يبين بعض خصائص الايبوكسي المستخدم المتكون من المادة الاساس والمصلد، والجدول (2-3) يوضح بعض خصائص الايبوكسي المستخدم بشكل عام، ولمعرفة تفاصيل اضافية عن مادة الايبوكسي المستخدم يمكن الدخول الى الموقع الالكتروني.

(<http://www.dcp.jo/index.php?p=prod420>)

الجدول (1-3): بعض خصائص الايبوكسي المستخدم.

Hardner	Physical Properties	Base	Physical Properties
Form	Liquid	Form	Liquid
Colour	Clear Yellowish Brownish	Colour	Pale Yellowish
Ph(concentrate)	1:1 Mixture	Ph(concentrate)	Not Applicable
Boiling Point (°C)	>200	Boiling Point (°C)	>200
Relative Density g/m <sup>3</sup>	0.925	Relative Density g/m <sup>3</sup>	1.16
Water Solubility	Insoluble	Water Solubility	Insoluble

الجدول (2-3): يبين بعض خصائص الايبوكسي المستخدم بشكل عام.

Test Method	Typical Results
Compressive strength (BS (6319), part 2:1983	70.0 MPa at 7 days at 25°C N/mm <sup>2</sup> 93.0 at 35°C
Tensile strength (BS 6319), part 7:1985	25.0 MPa at 25 °C
Flexural strength (ASTM C 580)	50.0 MPa at 7 days
Young's modulus in compression	16 GPa
Pot life	50-70 minutes at 25 °C
Density	1.1±0.05
Mixed viscosity	3-5 poise at 25 °C 1-2 poise at 35 °C

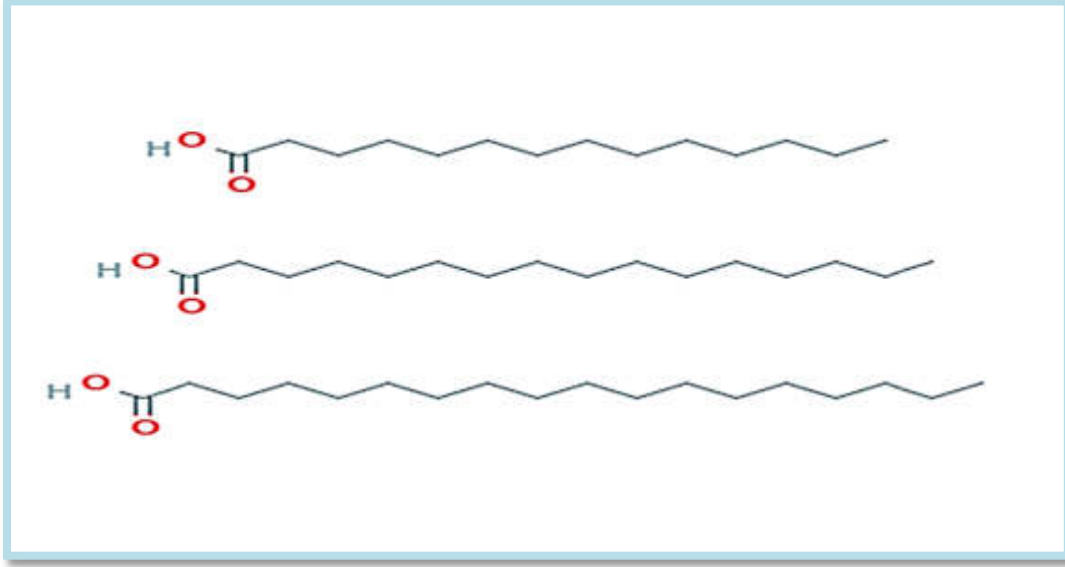
### Epoxy (Quickmast 105) Structure

### (2-2-3) تركيب الايبوكسي

إنَّ النوع التجاري من راتنجات الإيبوكسي نوع (Quickmast 105) هو عبارة عن نظام ذات مركبين منخفض اللزوجة لتطبيقات حقن الشقوق بجميع أنواع العناصر الإنشائية ، الخرسانية والبناء والطوب. يمتلك قوة التصاق ممتازة بالخرسانة والطوب والبناء وصمم للسماح باختراق الشقوق حتى (0.2 mm) وبعرض (0.2-10 mm) ويمكن استخدامه في ظروف رطبة أو جافة ويمتاز بامتلاكه زحف منخفض ولا يتقلص أو ينكمش ويظهر مقاومة كيميائية جيدة ومناسب للاستخدام عند ملامسته لمياه الشرب عند اختباره وفقاً للمواصفة (BS 6920). وصيغته الجزيئية (C<sub>48</sub>H<sub>96</sub>O<sub>6</sub>) ذات الوزن الجزيئي (MW: 769.3 g/mol) والشكل (1-3) يوضح التركيب الكيميائي وللمزيد من التفاصيل يمكن الدخول عبر الرابط التالي.

([https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalProperties/CB5123061\\_EN](https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalProperties/CB5123061_EN))





شكل (1-3): التركيب الكيميائي للايبوكسي نوع

(Quickmast 105-Base alkyl c<sub>12</sub>-c<sub>14</sub> glycidyl ether structure)**Reinforcement Material****(3-2-3) مواد التدعيم**

لتقوية المادة الأساس تستعمل مواد داعمة، وقد تكون مادة سيراميكية أو معدنية أو بوليمرية، و مواد التدعيم المستخدمة في هذا البحث:-

**Nano particles****(1-3-2-3) الدقائق النانوية**

في هذا العمل تم استخدام دقائق نانوية من مادة اوكسيد الخارصين النانوية (Nano particles of ZnO) المصنعة من قبل شركة (USA)، والموضحة بعض خصائصها في الجدول (2-3).

الجدول (3-3): بعض خصائص دقائق اوكسيد الخارصين (ZnO) النانوية.

Nano Particles	Purity (Assay)	Particle Size (nm)	Molecular Weight	Made in	CAS number	Density (g/cm <sup>3</sup> )
ZnO	99.5%	75	81.83	USA	1314-13-2	5.606

**Macro particles****(2-3-2-3) الدقائق المايكروية**

في هذا العمل تم استخدام دقائق مايكروية من مادة اوكسيد الخارصين المايكروية (micro ZnO) المصنعة من قبل شركة (Barcelona Espana)، والموضحة بعض خصائصها في الجدول (3-3).

الجدول (4-3): بعض خصائص اوكسيد الخارصين (ZnO) المايكروية.

Macro Particles	Purity (Assay)	Particle Size ( $\mu\text{m}$ )	Made in	Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
ZnO	99.9%	45 -60	Barcelona-Espana	5.606

**Natural Fibers****(3-3-2-3) الألياف الطبيعية**

تم في هذا البحث تم استخدام ألياف النخيل (Palm Fiber) كمواد تقوية تضاف للمادة الأساس وبحجم دقائق (45  $\mu\text{m}$ ) الموضحة في الشكل (2-3)، اذ تم الحصول على الالياف بحجمها الطبيعي من نخيل المنطقة الوسطى في محافظة ديالى/ العراق وتم تنظيفها من الاتربة والعوالق بالماء وتركها لمدة ثلاث اسابيع لضمان خلوها من الرطوبة بعدها تم تقطيعها على شكل صفائح صغيرة بمساحة (2  $\text{cm}^2$ ) لتسهيل عملية طحنها ومن ثم تم وضعها بجهاز الطحن المنزلي وبعدها تم نخلها في اناء النخل ذو الحجم (45  $\mu\text{m}$ ) الموجود بمختبر كلية العلوم /جامعة ديالى حيث اصبحت جاهزة للاستعمال.



شكل (2-3): ألياف النخيل.

### Samples Preparation

### (3-3) تحضير العينات

لتصنيع المواد المترابكة تستخدم العديد من الطرائق وتبعا لمجال استخدامها والكمية المراد تصنيعها، وفي هذا العمل تم استخدام طريقة القولية اليدوية (Hand Lay-Up) والتي تسمى أيضا بطريقة القالب المفتوح كونها من الطرائق الشائعة والسهلة والناجحة في تصنيع المترابكات البوليميرية.

#### (1-3-3) تحضير العينات غير المدعمة

### Preparation of Unsupported Samples

لتهيئة قالب صب العينات غير المدعمة استخدم لوح من الزجاج يعمل كقاعدة أساس للقالب بأبعاد  $(60 \times 60 \text{ cm}^2)$ ، و بواسطة اربع شرائح زجاجية بأبعاد  $(0.4 \times 3 \times 30 \text{ cm}^3)$  يتم لصقها بمادة الصمغ على اللوح الزجاجي لتكون بشكل هندسي ابعاده  $(0.4 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3)$  وكما موضح في الشكل (2-3) والذي يعمل كقالب تصب فيه العينات، ومن ثم يتم تنظيفها جيدا، ويستخدم ورق حراري شفاف مصنوع من بوليمر (PVA) يوضع فوق اللوح الزجاجي ليسهل عملية فصل العينات وعدم التصاقها بالزجاج. ويتم خلط مادة الايبوكسي ببيطيء مع المصلد بنسبة وزنية (1:3) حتى الوصول إلى مرحلة التجانس التام وبحسب الكمية المطلوبة لمقاسات القالب ثم يصب بهدوء

في القوالب المخصصة وبعد هذه العملية يترك الخليط ليحجف. و بعد جفاف العينات يتم فصلها عن القالب فتصبح جاهزة للتقطيع حسب المقاسات الخاصة بكل اختبار.



شكل (3-3): صورة القالب المستخدم في عمل العينات.

### (2-3-3) تحضير العينات المدعمة بالدقائق النانوية والمايكروية والهجينة

#### Preparation of Fibers and Micro and Nanoparticles-Reinforced Samples

بعد تهيئة القوالب يتم اضافة الدقائق المايكروية والنانوية إلى الإيبوكسي بكسور وزنية مختلفة (0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 wt%) من نسبة التدعيم، والمترابك الليفي الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt%) وبمعدل (0.25 wt%) من أكسيد الخارصين النانوي و(0.25 wt%) من الياف النخيل، وبعدها ولغرض تفتيت وتكسير تكتلات المواد (الدقائق) النانوية استخدم جهاز حمام الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Bath) المصنع من قبل شركة (Wise Clean) الانكليزية لمدة (25 Minutes) ولغرض التجانس التام يوضع الخليط على جهاز (Magnetic Stirrer) لمدة (30 Minutes)، لكي يتم التجانس عند خلط الدقائق و البوليمر (الإيبوكسي) ومن ثم يضاف المصلد (Hardener) للخليط ومن ثم يوضع الخليط مع المصلد على جهاز (Magnetic Stirrer) لعدة دقائق لضمان تجانس الخليط مع المصلد وبعدها يتم سكب الخليط في القوالب بهدوء وببطء لضمان عدم تكون فقاعات. الجدول (3-5) يبين انواع العينات التي تم تصنيعها.

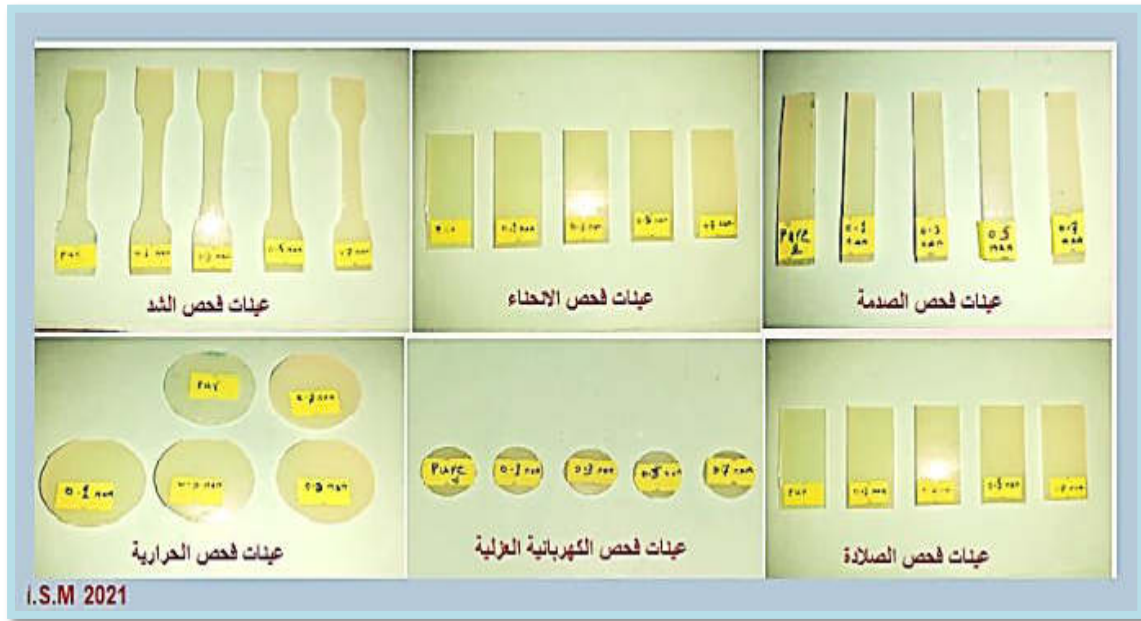
الجدول (3-5): انواع العينات المصنعة.

الرمز	اسم العينة
EP	الايوكسي النقي
EP + ZnO NPs	الايوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين النانوية
EP + ZnO MPs	الايوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية
EP + Palm Fibere	الايوكسي المدعم بألياف النخيل
EP + (Palm Fibere + ZnO NPs)	الايوكسي المدعم بألياف النخيل ودقائق أكسيد الخارصين النانوية

### Samples Cutting

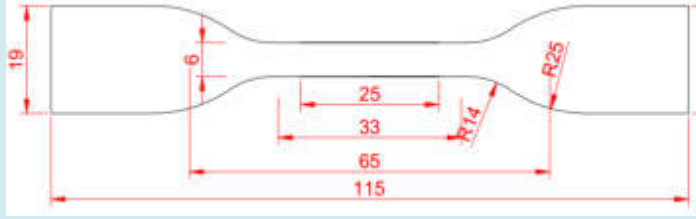
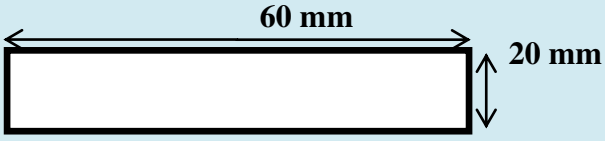

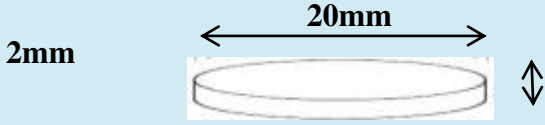
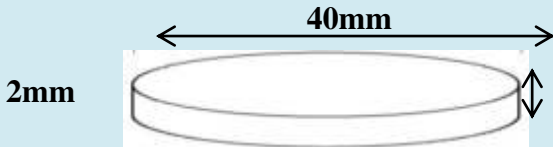
### (4-3) تقطيع العينات

بحسب الأبعاد القياسية الخاصة بكل اختبار تم تقطيع العينات التي تم تصنيعها في الفقرة السابقة والحصول على عينات بمواصفات قياسية وللتخلص من أي تشققات تم إجراء عملية التنعيم للحافات المقطعة وذلك بوساطة المبارد. الشكل (3-4) يوضح نماذج العينات المصنعة حسب (ASTM) الخاص بكل اختبار والجدول (3-6) يوضح الأبعاد القياسية للعينات الخاصة لكل اختبار.



الشكل (3-4): نماذج من العينات المصنعة.

الجدول (6-3): الأبعاد القياسية للعينات الخاصة لكل اختبار.

Test	Sample's Dimensions	Standard Specifications
Tensile		ASTM-D638
Hardness and Bending		According to specification of instrument
Impact		ISO-179
Dielectric constant		ASTM-D150
Thermal conductivity		According to specification of instrument

## Mechanical Tests

### (5-3) الاختبارات الميكانيكية

#### Tensile Test

#### (1-5-3) اختبار الشد

لغرض اجراء اختبار الشد للعينات المصنعة، استخدم جهاز اختبار الشد المصنع من قبل شركة (Laryee Technology) موديل (WDW-50) ذو المنشأ الصيني والموجود في الجامعة التكنولوجية- قسم هندسة المواد، وتم الاختبار بربط العينة في فكي الجهاز بمعدل (5 kN) و بسرعة شد (10 mm/min) وباستخدام الراسمة البيانية الملحقة مع الجهاز تم الحصول على (الحمل-الاستطالة) والتي من خلالها تم رسم منحنيات (الاجهاد-الانفعال) لغرض حساب متانة الشد

لجميع العينات المصنعة قبل وبعد التدعيم. الشكل (3-4) يظهر صورة جهاز اختبار الشد المستخدم أثناء فحص العينة.



الشكل (3-5): صورة جهاز اختبار الشد.

## Bending Test

## (2-5-3) اختبار الانحناء

تم إجراء اختبار ثلاثي النقط (Three Point Bending Test) باستعمال جهاز انسترون (Instron 1122) المصنع من شركة (Instron) وبمدى (1000 N) مزود بشاشة رقمية وكذلك راسم لتسجيل قيم الحمل المسلط على العينة والموضح صورته بالشكل (3-5) أثناء فحص العينة.



الشكل (3-6): جهاز الانحناء ثلاثي النقط.

تم تحضير عينات اختبار الانحناء ثلاثي النقط بأبعاده القياسية وعلى وفق المواصفات الأمريكية (ASTM-D 790-1984) وبطول (60 mm) وعرض (25 mm) وبسمك (4 mm).



إن طريقة إجراء الفحص تتم من خلال وضع العينة على نقطتي ارتكاز ومن ثم يتم تسليط الحمل بشكل عامودي على منتصف العينة وفي وسطها تقريبا، ويتم الحصول على النتائج بصورة مباشرة ومن خلال الراسم البياني للجهاز بهيئة شكل بياني (لحمل-الانحراف).

### Hardness Test

### (3-5-3) اختبار الصلادة

لاختبار الصلادة للعينات المصنعة أستخدم جهاز (Shore D) من نوع (Check-line dd-100) ذو المنشأ الأمريكي والموجود في الجامعة التكنولوجية-قسم هندسة المواد ذو مدى قياس  $(0-100 \text{ N/mm}^2)$ ، وهو عبارة عن جهاز يتحكم به يدويا، ويتكون من نابض يحوي في نهايته أداة غرز بشكل أبرة تخترق سطح العينة ويسجل الرقم الذي يظهر على الشاشة الموجودة في الجهاز. والشكل (6-3) يظهر صورة جهاز اختبار الصلادة (Shore D) المستخدم. اثناء فحص العينة.



الشكل (7-3): جهاز اختبار الصلادة.

### Impact Test

### (4-5-3) اختبار الصدمة

اختبار الصدمة يعد مقياسا لقوة المواد البوليمرية ومعرفة مدى مقاومتها للانكسار تحت تأثير إجهادات بسرعات عالية. ولغرض إجراء هذا الاختبار تم استخدام جهاز الصدمة من نوع Izod (Impact Test) والمصنع من قبل شركة (Time Groub) ذو المنشأ الصيني والموجود في الجامعة التكنولوجية-قسم هندسة المواد، والذي يتكون من بندول تثبت فيه المطرقة الخاصة بكسر العينات، إذ يحتوي الجهاز على مطارق بأحجام مختلفة طاقاتها (2, 4, 5, 10, and 20 J)، إذ يمكن استبدال مطرقة بأخرى وحساب الطاقة المطلوبة للكسر، وكانت قوة المطرقة (5.5J)



وبسرعة فحص مقدارها (4.3 m/s). الشكل (7-3) يبين صورة جهاز اختبار الصدمة المستخدم اثناء فحص العينة.



الشكل (8-3): جهاز اختبار الصدمة.

### (6-3) الفحوصات الكهربائية

### Electrical Tests

استخدم جهاز (LCR Metter) من نوع (Agilent Impedance Analyz 4294A) ذو المنشأ التايواني، والموجود في جامعة ديالى- كلية العلوم قسم الفيزياء. تم إجراء الفحوصات الكهربائية (العزلية) المتمثلة بثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon'$ ) وعامل الفقد العزلي ( $\epsilon''$ ) كدالة للتردد وبمدى تردد (10Hz-1MHz) وبدرجة حرارة الغرفة للعينات المصنعة. الشكل (8-3) يظهر صورة جهاز (LCR Metter) المستخدم.



الشكل (9-3): جهاز (LCR Metter).

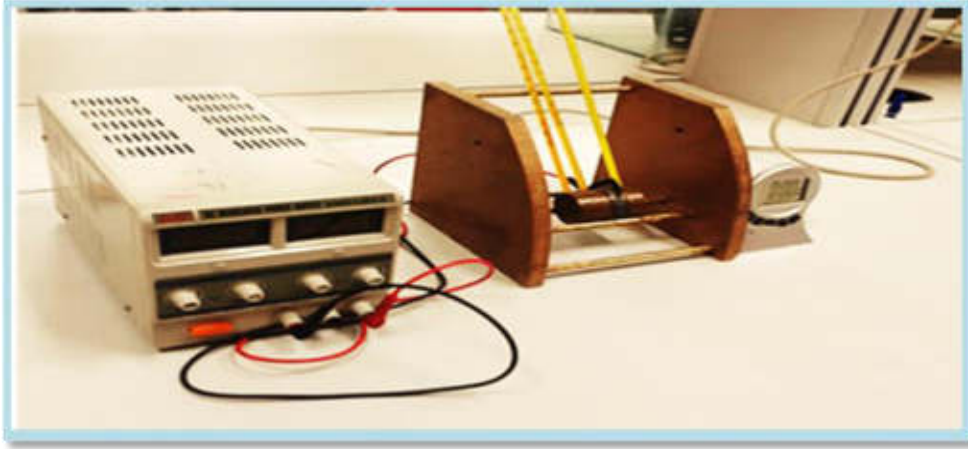
## Thermal Tests

## (7-3) الفحوصات الحرارية

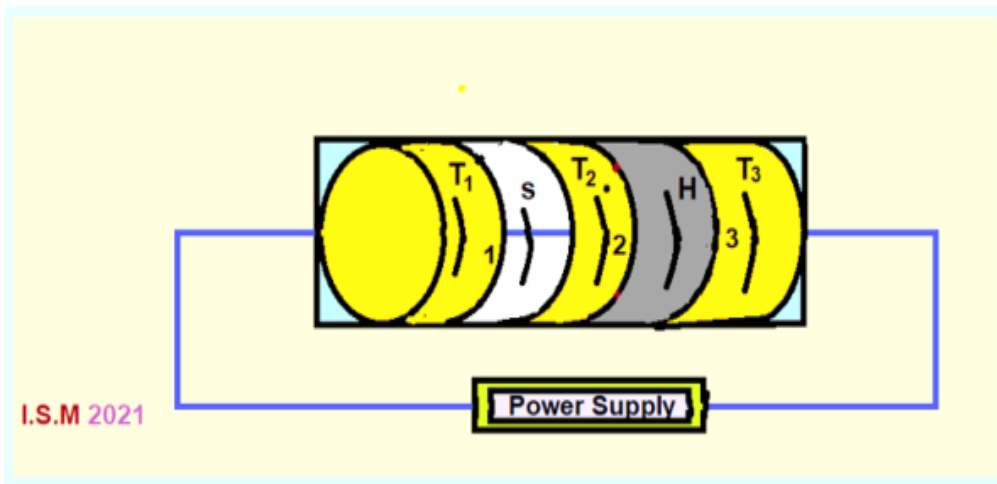
## Thermal Conductivity Test

## (1-7-3) فحص التوصيلية الحرارية

يمكن حساب التوصيلية الحرارية للعينات المصنعة باستعمال طريقة قرص لي ( Lee's Disc)، والخاصة بالمادة العازلة، وباستخدام الجهاز المصنع من قبل شركة ( Griffen and George) الانكليزية المبين في الشكل (a, b-10-3)، والذي تم بيان طريقة استخدامه وفحص العينات بالفصل الثاني.



الشكل (a-10-3): جهاز فحص التوصيلية الحرارية (قرص لي).



الشكل (b-10-3): شكل تخطيطي لجهاز التوصيل الحراري (قرص لي).

## (8-3) فحص المجهر الإلكتروني الماسح (FESEM)

## Electron Scanning Microscopy

لقد تم استعمال جهاز المجهر الإلكتروني لمسح الانبعاث الميداني (FESEM) للحصول على صور في منطقة الكسر الحاصل نتيجة تسليط جهودات الشد والشكل (3-11)- a يوضح صورة لجهاز المجهر الإلكتروني الماسح، b- شكل عرضي للمجهر الإلكتروني الماسح.



شكل (3 - 11): a- صورة للجهاز المجهر الإلكتروني الماسح، b- شكل عرضي للمجهر الإلكتروني الماسح (FE-SEM).

الفصل الرابع

النتائج

والحسابات

## Introduction

## (1-4) المقدمة

تم في هذا الفصل استعراض لكافة النتائج، التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة ومناقشتها واعطاء التفسيرات الخاصة بكل نتيجة، وقد تم توضيح كل النتائج بالجدول والرسومات البيانية لجميع الاختبارات والمتمثلة بالاختبارات الميكانيكية (الشد والانحناء والصلادة والصدمة) وكذلك الفحوصات الكهربائية (العزلية) المتمثلة بثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon'$ ) وعامل فقد العزلي ( $\epsilon''$ ) كدالة للتردد والفحوصات الحرارية المتمثلة بمعامل التوصيل الحراري والتوصيلية الحرارية وفحوصات المجهر الإلكتروني الماسح (FE-SEM) للعينات المحضرة.

## Mechanical Properties

## (2-4) الخصائص الميكانيكية

## Tensile Test Results

## (1-2-4) نتائج اختبار الشد

يعد اختبار الشد من الاختبارات الميكانيكية الضرورية والتي تعدُّ مقياساً لمدى قابلية المادة على مقاومة القوى المؤثرة عليها، والتي تحاول سحبها أو كسرها، تم إجراء اختبار الشد للعينات المحضرة من مادة الأيبوكسي (EP-105) قبل و بعد التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية والنانوية (ZnO MPs and ZnO NPs) كل على انفراد وبنسب وزنيه مختلفة (0.1, 0.3, 0.5, 0.7 wt% and) والتدعيم بألياف النخيل والمترابك الهجين بنسبة وزنية (0.5 wt%) مرة أخرى وكانت النتائج كما يأتي:-

(1-1-2-4) نتائج اختبار الشد للعينات المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) والنانوية (ZnO NPs).

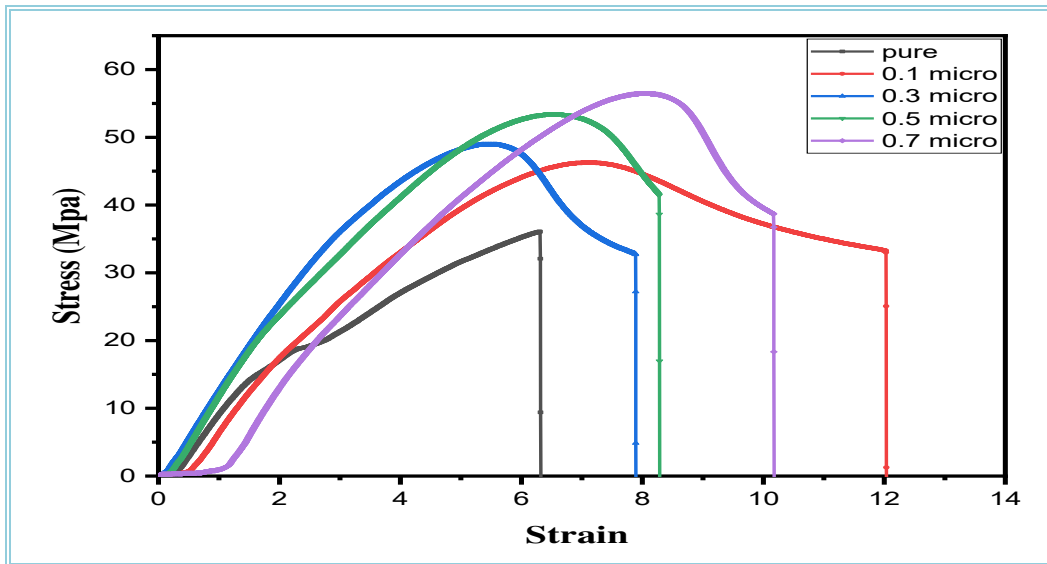
الشكلين (1-4) و(2-4) يوضحان منحنيات (الإجهاد-الانفعال) والشكل (3-4) يوضح قيم أعلى إجهاد مع النسبة المئوية لكل نوع من مادتي التدعيم لمترابكات الأيبوكسي المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) وأكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) والموضحة قيمها في الجدول (1-4) و(2-4) على التوالي، ومن خلال الأشكال نلاحظ أن قيمة كل من مقاومة الشد واقصى إجهاد ومعامل يونك تزداد عند إضافة دقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) والنانوية (ZnO NPs) بالمقارنة مع راتنج الأيبوكسي قبل التدعيم، وان هذه القيم تزداد بشكل أكبر مع زيادة تركيز الدقائق المايكروية والنانوية، وكذلك يلحظ من منحنى (الإجهاد-الانفعال) لراتنج الأيبوكسي قبل التدعيم، إنَّ العلاقة هي علاقة خطية إذ تتكون من منطقة تشوه مرن (Elastic Deformation) ومن هذه المنطقة تم حساب معامل المرونة الذي يمثل ميل الخط المستقيم، ومع زيادة الإجهاد المسلط بعد نقطة الخضوع (التي تعد الحد الفاصل بين منطقة

التشوه المرن ومنطقة التشوه اللدن) وباستمرار الإجهاد المسلط تتوسع التشققات (Cracks) لتؤدي إلى تكسرات (Fractures)، وقد يعزى سبب ذلك إلى تشابك السلاسل البوليمرية المكونة للعينة، فعند تسليط الإجهاد على العينة سيؤدي ذلك إلى حدوث انزلاقات في السلاسل البوليمرية وتحرك تلك السلاسل في مختلف الاتجاهات إلى حين حدوث التكسرات. أما عند التدعيم فإن المنحني يمر بمرحلة المرونة ثم اللدونة لكن بقيم إجهاد مختلفة عن ما هو عليه قبل التدعيم بمعنى آخر ستحتاج المادة إلى إجهاد أكبر لكي يحصل الكسر، إذ تقوم الدقائق المايكروية والنانوية على حد سواء بتوزيع الإجهاد إلى أنحاء العينة كافة، وباستمرار زيادة الإجهاد المسلط يبدأ نمو التشققات ومن ثم تتوسع لتؤدي إلى تكسر وتمزق في المادة الراتنجية للعينة، وهنا يبرز عمل الدقائق المايكروية والنانوية في عرقلة نمو تلك الشقوق الصغيرة. إن البوليمرات بعد التدعيم بالدقائق المايكروية والنانوية تكتسب مقاومة شد عالية بسبب انتقال الاجهادات عبر المادة البوليمرية الى الدقائق، وبصورة خاصة تكون فاعلية الدقائق أكبر بكثير عندما تكون متراصفة (Aligned) باتجاه مواز لإتجاه تسليط الحمل الشدي أكثر منها عندما تكون باتجاه عمودي عليه [126].

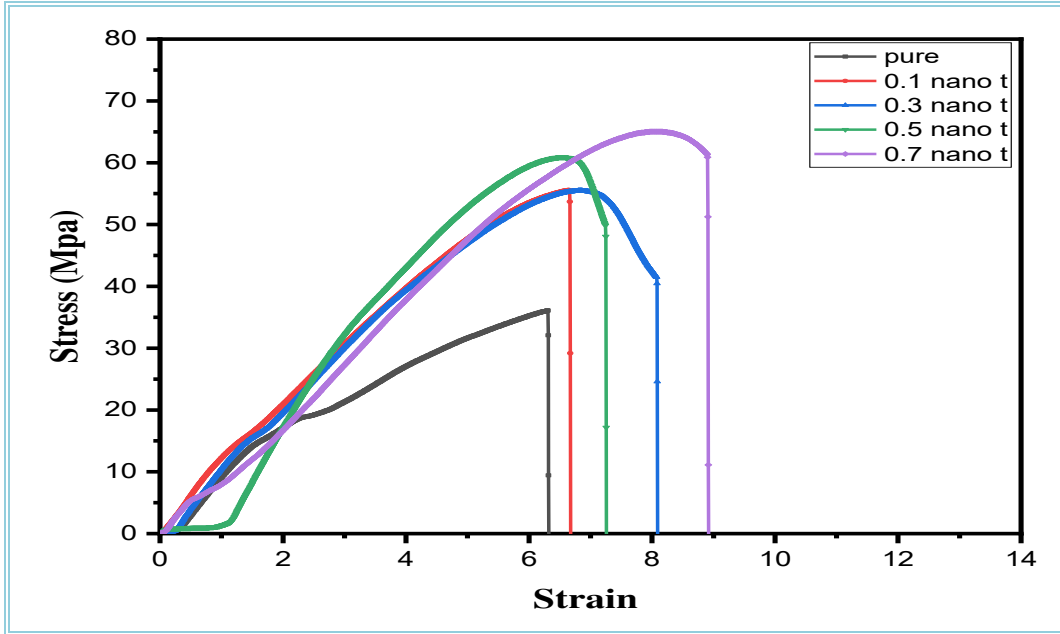
فعند تسليط اجهاد الشد باتجاه مواز لاتجاه اصطفاف الدقائق المايكروية نجد المتراكبات تتصرف كمادة ذات متانة عالية بسبب احتواء السلاسل البوليمرية على درجة عالية من التراصف (Alignment)، ونتيجة لعملية الشد والسحب فإنها تتعرض لإجهاد مواز لاتجاه تلك السلاسل، ونتيجة لذلك فإن الاواصر التساهمية القوية التي تربطها هي التي ستتحمل ذلك الاجهاد، بينما تتحمل قوى فان درفالز والواصر الهيدروجينية الضعيفة الاجهاد عندما يكون اجهاد انضغاط، وهذا يؤدي الى حدوث التليف (Fibrillation) والتعقد (Kinking) [127]. أما في حالة اضافة الدقائق النانوية وعند تسليط اجهاد الشد فأن هنالك اختلافا في ميكانيكية الانتشار والذي يمكن ان يعزى الى اختلاف طور التدعيم (الدقائق المايكروية والدقائق النانوية)، اذ نلاحظ زيادة في قيم المعلمات الميكانيكية لفحص الشد بعد التدعيم بالدقائق النانوية عما عليه في حالة الدقائق المايكروية والذي قد يعزى إلى قوة التلاصق البيئي في المنطقة البينية لدقائق (او كسيد الخارصين) النانوية من جهة وراتنج الإيبوكسي من جهة اخرى والذي يؤثر على التشوه البيئي مع زيادة الكسر الحجمي للدقائق النانوية بالإضافة الى تأثير التكتلات مما يؤدي إلى نقصان في نقل الحمل بين الدقائق النانوية والراتنج بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي وهذا واضح من خلال الشكل (3-4) الذي يوضح تغير اعلى قيم للاجهاد مع النسبة لكلا النوعين المايكروي والنانوي ومن الملاحظ من الشكل ان قيم اعلى قيمة اجهاد تكون اكبر في حالة التدعيم بالدقائق النانوية مما عليه في حالة التدعيم بالدقائق المايكروية [128]. ومن العلاقة بين الإجهاد والانفعال تمكنا من الحصول على قيم معاملات

المرونة (Elastic Modulus) للمادة الأساس ومتراكباتها، والمبينة بالشكلين (a,b-4-4) من خلال إيجاد الميل للسلوك الخطي وللنماذج جميعها، إذ نلاحظ من الشكل (a-4-4) الذي يبين العلاقة بين معامل المرونة (E) مع النسب الوزنية (Weight Percentage) للمادة المدعمة بالدقائق المايكروية إن معامل المرونة يزداد بعلاقة لا خطية مع زيادة النسب الوزنية للمادة المضافة من أكسيد الخارصين، وكذلك نلاحظ من الشكل (b-4-4) الذي يبين العلاقة بين معامل المرونة (E) مع النسب الوزنية (Weight Percentage) للمادة المدعمة بالدقائق النانوية إن معامل المرونة يزداد بعلاقة لا خطية مع زيادة النسب الوزنية للمادة المضافة من أكسيد الخارصين حتى يصل إلى نسبة (0.7 wt%)، إذ يلحظ عند هذه النسبة ما يشبه حد الإشباع في قيم معامل المرونة وهذا يعني تقليل حركة الدقائق ومن ثم تؤدي إلى تقليل الانفعال أي زيادة في هشاشة المادة البوليمرية، إذ إن هناك عدة عوامل قد تؤثر في قيم معامل المرونة للمادة المترابطة وهي، التجمع أو تراكم الحشوات ونوعية الالتصاق وخصائص المرونة وكذلك اللزوجة للمادة الأساس [129]

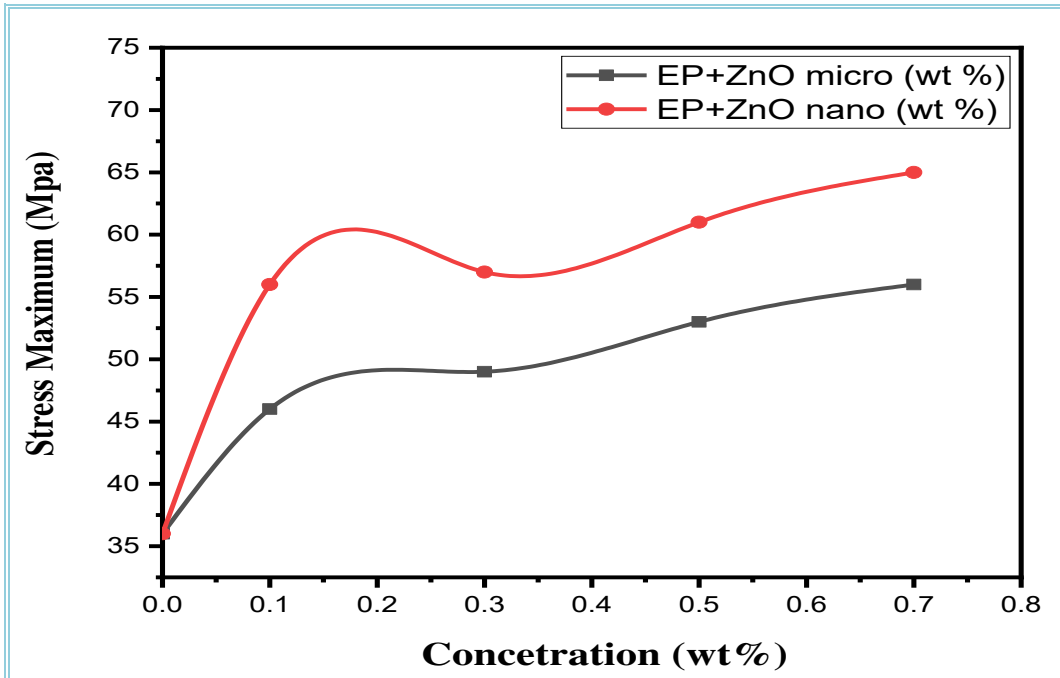
بالمقارنة في قيم معامل يونك لكلا النوعين من العينات المدعمة بالدقائق المايكروية والنانوية كما في الشكل (4-5)، حيث نلاحظ أن قيم معامل يونك للعينات المدعمة بالدقائق النانوية تكون أكبر من العينات المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية، ويرجع سبب ذلك إلى طبيعة التوافق والترابط الفيزيائي الكيميائي (Physicochemical Interaction) للدقائق النانوية والمادة الأساس الذي يؤدي دوراً أساسياً في تحديد السلوك الميكانيكي، إذ إن دقاتك أكسيد الخارصين النانوية تمتلك ترابط أعلى من دقاتك أكسيد الخارصين المايكروية [130].



شكل (1-4): منحنيات (الإجهاد- الانفعال) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) و بنسب وزنية مختلفة.

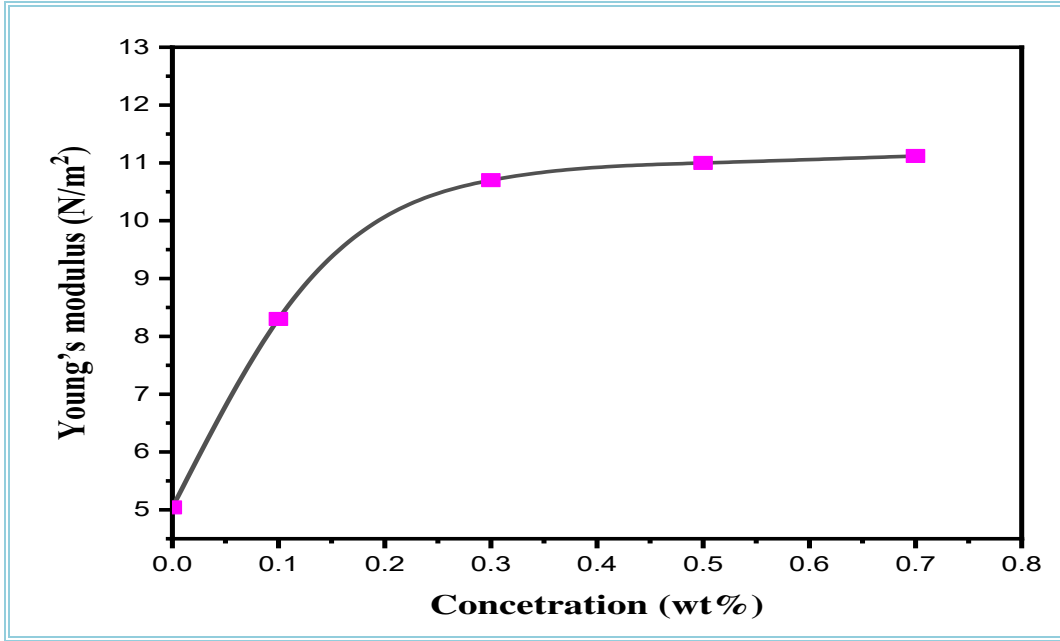


شكل (2-4): منحنيات (الإجهاد- الانفعال) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) وبنسب وزنية مختلفة.

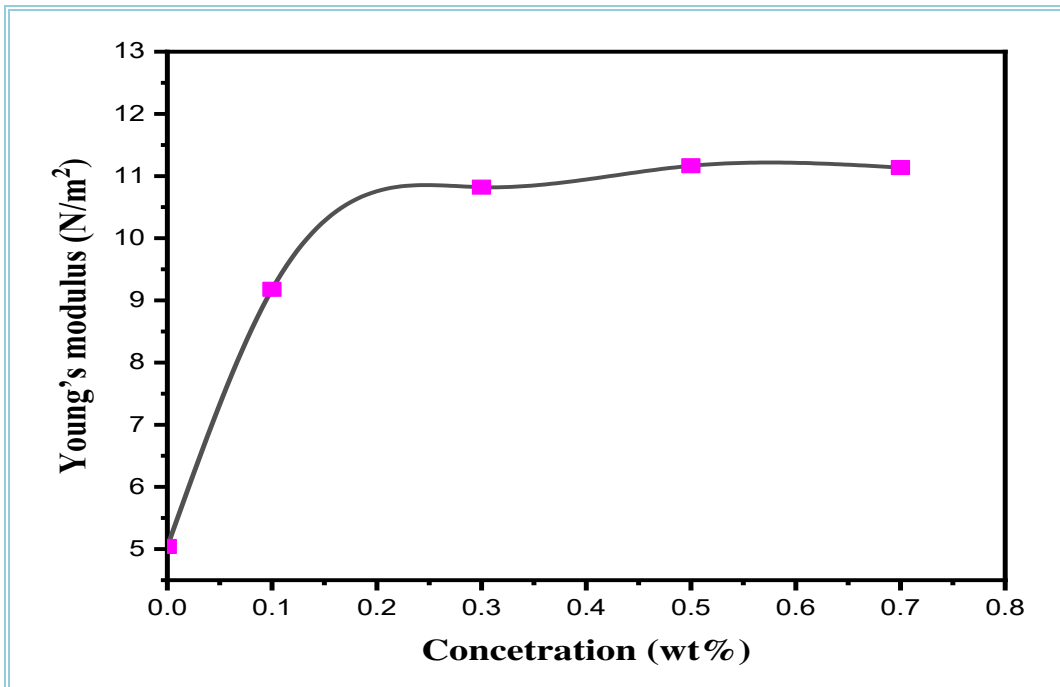


الشكل (3-4): العلاقة بين قيم اعلى اجهاد والنسبة (wt %) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي.

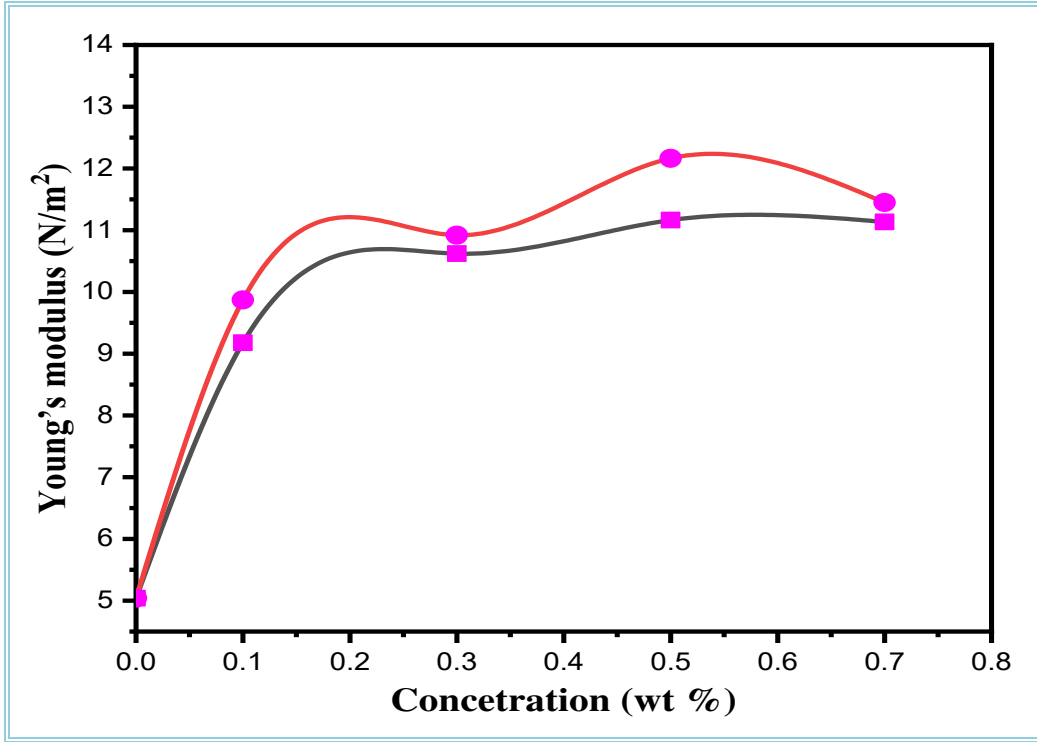




الشكل (a-4-4): العلاقة بين معامل يونك والنسبة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروبي.



الشكل (b-4-4): العلاقة بين معامل يونك والنسبة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بأوكسيد الخارصين النانوي.



الشكل (4-5): العلاقة بين معامل يونك والنسبة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي.

الجدول (4-1): قيم كل من مقاومة الشد و اقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية وبنسب وزنية مختلفة.

Samples (wt%)	Tensile Strength $\sigma$ UTS (MPa)	Ultimate Strain $\epsilon_f$ (%)	Young's Modulus Y.M(GPa)
pure	36	6.3	5.041
0.1 micro ZnO	46	6.5	8.3
0.3 micro ZnO	49	6	10.7
0.5 micro ZnO	53	7	11.0
0.7 micro ZnO	56	8	11.12

الجدول (2-4): قيم كل من مقاومة الشد وأقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة.

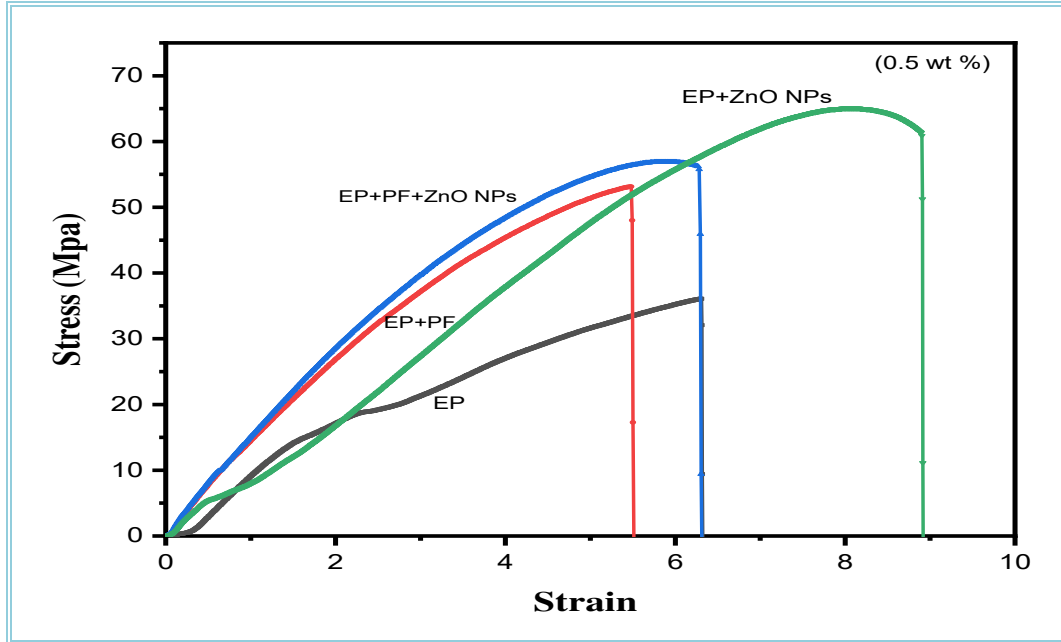
Samples (wt%)	Tensile Strength $\sigma$ UTS (MPa)	Ultimate Strain $\epsilon_f$ (%)	Young's Modulus Y.M (GPa)
pure	36	6.3	5.041
0.1 ZnO NPs	56	6.7	9.87
0.3 ZnO NPs	57	6.8	10.97
0.5 ZnO NPs	61	7	12.164
0.7 ZnO NPs	65	8	11.75

(2-1-2-4) نتائج اختبار الشد للعينات المدعمة بألياف النخيل والمتراكب الهجين.

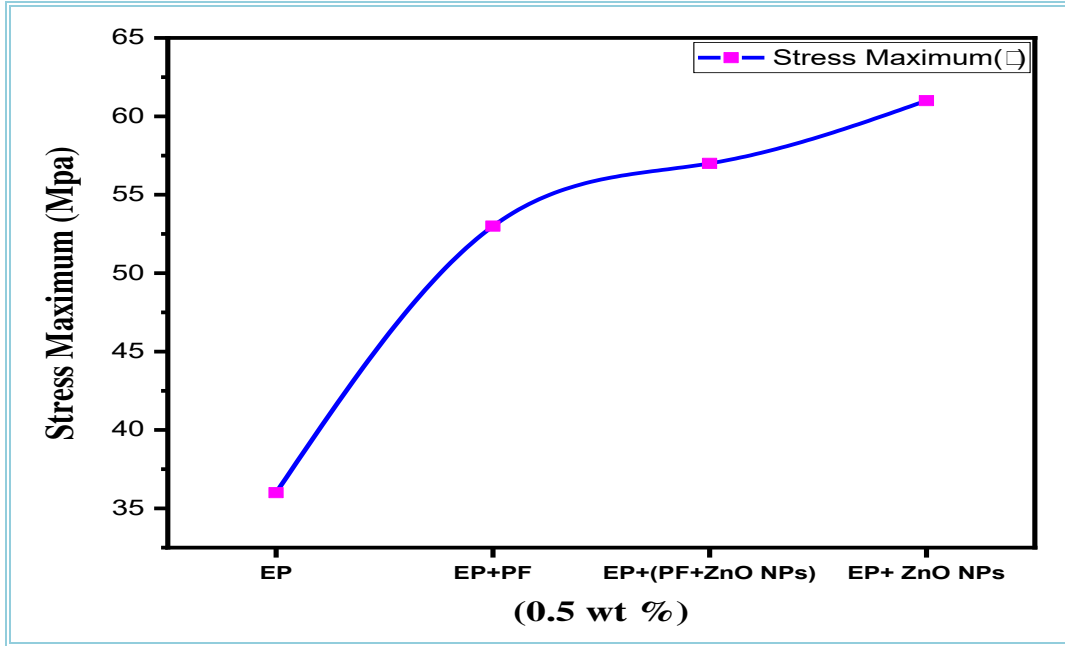
### Tensile Test Results For Samples for Tified with Palm and Hybrid Fibers

يبين الشكل (6-4) منحنى (الاجهاد-الانفعال) والشكل (7-4) الذي يوضح قيم أعلى اجهاد لمتراكب الإيبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية و بنسبة وزن (0.5 wt%) والموضحة قيمها في الجدول (3-4)، اذ نلاحظ إن قيمة كل من مقاومة الشد وأقصى انفعال تزداد بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي عند التدعيم بألياف النخيل وعند إضافة الياف النخيل ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية بنسبة وزن (0.5 wt%)، بينما نلاحظ من الشكل (8-4) الذي يوضح العلاقة بين معامل المرونة والنسبة المذكورة أعلاه أن قيمة معامل يونك تزداد أيضا بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي عند التدعيم بألياف النخيل والمتراكب الليفي الهجين المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين النانوية، هذا التصرف يعود إلى مساهمة كلا من ألياف النخيل ودقائق أوكسيد الخارصين النانوية في تحملها للقوى المؤثرة على المتراكب الهجين، وبما يناسب طبيعتها وكسرها الوزني ولهذا فان الألياف تؤدي دوراً أساسياً في تحمل الاجهادات بالإضافة الى أن دقائق أوكسيد الخارصين النانوية قد حسنت من قوى الترابط بين الليف والراتنج عند الكسر الحجمي (0.5 wt%) لدقائق أوكسيد الخارصين النانوية، فضلاً عن سهولة تغلغل هذه الدقائق داخل المادة الأساس وبين الألياف مما يخلق سطوح بينية تامة بينها، علاوة على مدى التوافقية بين المادة الأساس ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية من جهة وما بين الدقائق النانوية وألياف النخيل

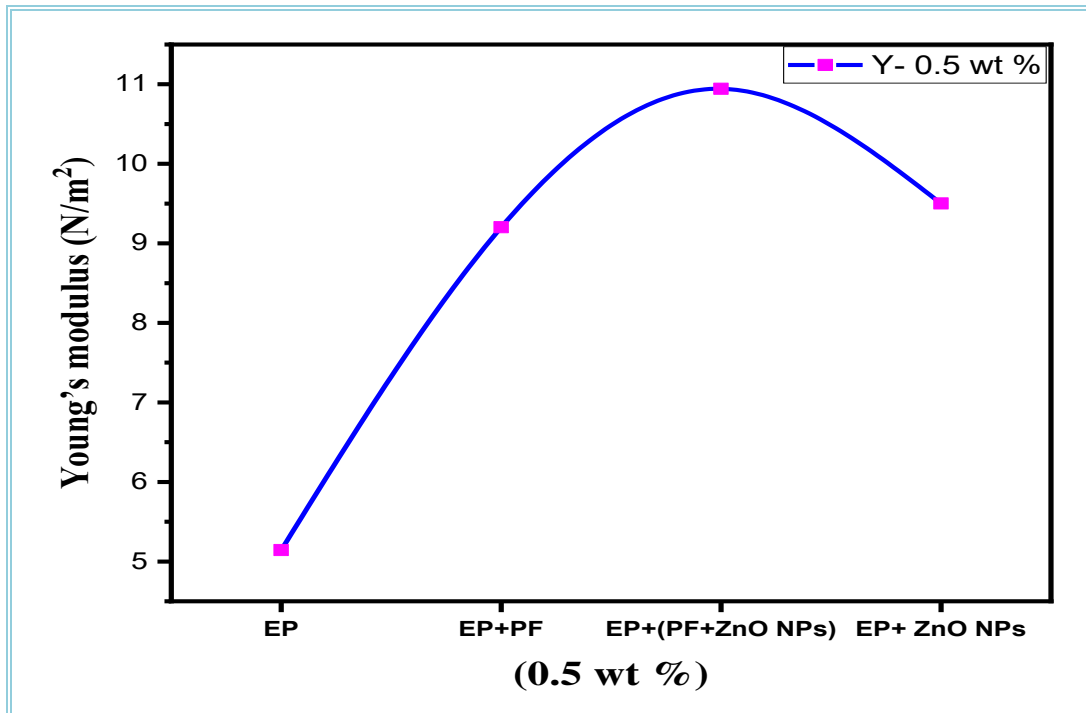
من جهة أخرى، وبالتالي سوف تنكسر المادة المترابكة الهجينة بإجهاد أكبر ومن جهة أخرى نلاحظُ توجه السلوك من المنطقة المرنة الى اللدنة عند ادخال المادة النانوية وهذا واضح في الشكل (3-4)، بينما نلاحظُ أنّ قيمة معامل يونك تزداد أيضاً بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي عند التدعيم باللياف النخيل والمترابك الهجين من الايبوكسي واللياف النخيل ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية، وهذا سببه التكتلات الناتجة عن تركيز الدقائق النانوية وميلها لإقامة رابطة قوية بينها وبين راتنج الإيبوكسي، وبذلك يكون الترابط كافي، وهذا ينسب الى طبيعة المادة الدقائقية (اوكسيد الخارصين النانوية) ومدى توافقها للميل الى الترابط البيني [131]. الجدول (3-4) يوضح قيم كل من مقاومة الشد واقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين.



شكل (4-6): منحنيات (الإجهاد- الانفعال) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بألياف النخيل والمترابك الهجين بنسبة وزنية (0.5 wt%).



الشكل (4-7): العلاقة بين قيم اعلى اجهاد والنسبة (0.5 wt %) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة باللياف النخيل والمتراكب الهجين.



الشكل (4-8): العلاقة بين معامل يونك والنسبة (0.5 wt %) لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بالاللياف والمتراكب الهجين.

الجدول (3-4): قيم كل من مقاومة الشد وقيم أقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية (0.5 wt%).

Samples (0.5 wt %)	Tensile Strength $\sigma$ UTS(MPa)	Ultimate Strain $\epsilon_f$ (%)	Young's Modulus Y.M (GPa)
EP	36	6.3	5.041
EP+PF	53	5.46	9.203
EP+(PF+ ZnONPs)	57	5.760	10.943
EP+ ZnO NPs	61	7	12.164

#### (2-2-4) نتائج فحص الانحناء The Result of Bending Test

اختبار مقاومة الانحناء يختلف عن اختبار الشد، وذلك لان طبيعة القوى المؤثرة في العينة تتأثر بقوتين ، ففي اختبار الانحناء يكون بدل من قوة الشد فقط ستكون اجهاد الشد والضغط معاً، وكذلك فأن مقاومة الانحناء تتأثر وبشكل كبير بالقوة التي تربط المادة الأساس ومادة التقوية، تم إجراء اختبار الانحناء للعينات المحضرة من مادة راتنج الأيبوكسي (EP) قبل وبعد إضافة دقائق مادة أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) والنانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة والياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية (0.5 wt%)

يوضح الشكل (9-4) مخطط (إجهاد الثني-انحراف) للاييبوكسي والمواد المتراكبة لجميع النسب الوزنية المطروحة خلال البحث وخلال الظروف المختبرية وبعد اضافة دقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs)، إذ يتبين من الشكل إنه عند اضافة وزيادة النسب الوزنية يزداد الانحراف وقيمة إجهاد الكسر وهذا يعود إلى قوة الترابط بين المادة الأساس ومادة التقوية [132]، والجدول (4-4). يوضح قيم كل من مقاومة الانحناء واقصى انفعال ومعامل يونك الانحنائي لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية وبنسب وزنية مختلفة.

الشكل (10-4) يوضح مخطط (إجهاد الثني-انحراف) للاييبوكسي والمواد المتراكبة لجميع النسب الوزنية قبل وبعد اضافة دقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs)، ويلحظ من خلال الشكل انه مع زيادة الكسر الوزني للدقائق المضافة سيؤدي إلى زيادة في الانحراف وإجهاد الكسر (أي زيادة مقاومة الانحناء) وبنسبة زيادة أكبر عن مثيلاتها في حالة إضافة دقائق مادة أكسيد

الخاصين المايكروية (Micro ZnO) [133]، والجدول (4-5) يوضح قيم كل من مقاومة الانحناء واقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة.

يوضح الشكل (4-11) مخطط لأعلى قيم إجهاد (الثنى-انحراف) للايبوكسي والمواد المترابطة ولجميع النسب الوزنية قبل وبعد إضافة دقائق مادة أوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) والنانوية (ZnO NPs) ومن خلال الشكل يلحظ زيادة طفيفة في الانحراف للمادة الأساس (الإيبوكسي) بعد إضافة الدقائق النانوية لأوكسيد الخارصين عن مثيلاتها عند إضافة الدقائق المايكروية لأوكسيد الخارصين ويعود سبب ذلك إلى زيادة كثافة الربط التشابكي للسلاسل البوليمرية وتراصف الدقائق النانوية أما المادة المترابطة فنلاحظ زيادة إجهاد الكسر بشكل ملحوظ مع زيادة النسب الوزنية نتيجة قوة الترابط ثم يعود للنقصان عند نسبة (0.7 wt%) في حالة إضافة الدقائق النانوية مع بقائها ضمن حدود الزيادة للنسب بعد الإضافة وقد يعزى سبب ذلك إلى تراكم الحشوة وقوة تلاحقها بالمادة الأساس [133].

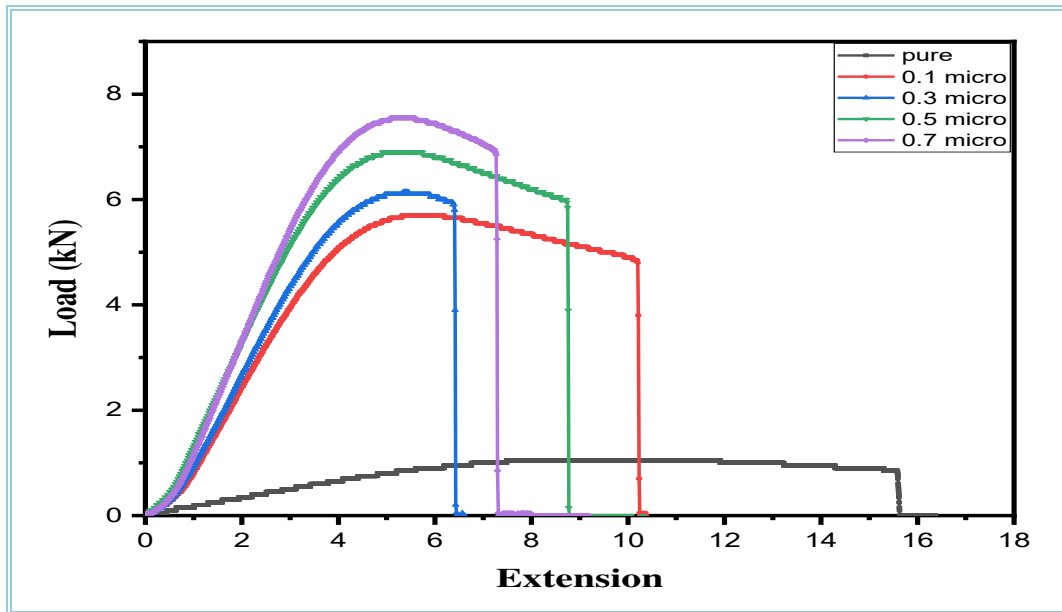
ومن علاقة (الحمل-انحراف)، وبتطبيق المعادلة (2-17) تم حساب معامل المرونة الانحنائي ( $E_B$ ) للمادة الأساس ومترابكاتها، والتي أظهرتها نتائج اختبار العينات، والتي يبينها الشكل (4-11)، وبتطبيق المعادلة (2-17)، إذ نلاحظ من الشكل السابق الذي يمثل العلاقة بين معامل المرونة الانحنائي والنسب الوزنية إن معامل المرونة الانحنائي يزداد مع زيادة نسبة التدعيم وبالعلاقة لا خطية وتشذ النسبة (0.7 wt%) في حالة التدعيم بالدقائق النانوية، وقد يعود سبب ذلك إلى تراكم الحشوات وإلى كون مطيليه المادة شبه الموصلة المضافة أقل من مطيليه المادة الأساس (الإيبوكسي)، وكذلك يبين الشكل إن التدعيم بالدقائق النانوية لاوكسيد الخارصين له تأثيراً في المواصفات الميكانيكية أكثر من تأثير النسب الوزنية المضافة من الدقائق المايكروية لاوكسيد الخارصين، إذ يلحظ اختلاف في قيم معاملات المرونة بشكل عام لكل من المادة الأساس والمترابكات مع ثبوت تغير معامل المرونة مع النسب الوزنية بعلاقة لا خطية حتى تصل أعلى نسبة (0.7 wt%) والتي تشذ عن بقية النسب مع بقائها ضمن حدود الزيادة بعد إضافة النسب، وهذا يفسر عدم التحلل الحراري للأواصر البوليمرية، ويعزى سبب ذلك إلى زيادة كثافة الربط التشابكي وكذلك قوة الترابط بين المادة الأساس ومادة التقوية التي لها الأثر الكبير في قيم معامل المرونة للمادة المترابطة [133,134].

يوضح الشكل (4-13) مخطط (إجهاد الثنى-انحراف) للايبوكسي والمواد المترابطة بعد إضافة الياف النخيل والمترابك الهجين للنسبة الوزنية (0.5 wt%) المطروحة خلال البحث

وخلال الظروف المختبرية والتي تم اختيارها كإفضل نسبة، إذ يتبين من الشكل إنه عند إضافة الياف النخيل والمترابك الهجين يزداد الانحراف وقيمة إجهاد الكسر وهذا يعود إلى قوة الترابط بين المادة الأساس ومادة التقوية من الألياف والمترابك الليفي الهجين [135]، والجدول (4-6) يوضح قيم كل من مقاومة الانحناء و أقصى انفعال ومعامل يونك لمترابك الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين وبنسبة وزنية (0.5 wt%).

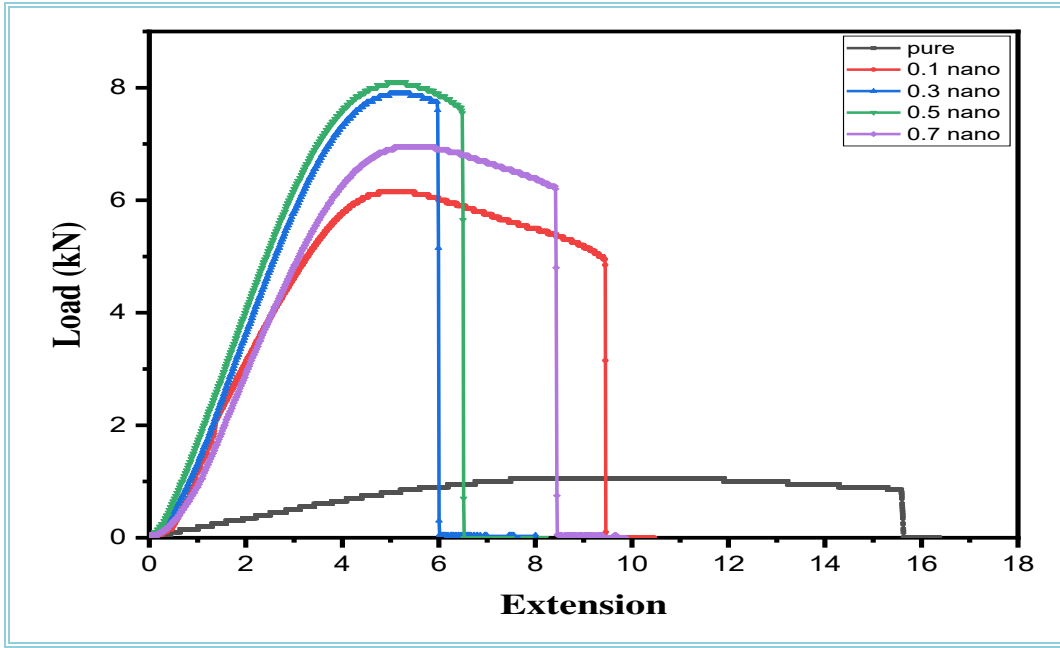
يوضح الشكل (4-14) مخطط (لأعلى إجهاد الثني-انحراف) للمواد المترابكة من الايبوكسي والياف النخيل والمترابك الهجين (EP+(PF+ ZnO NPs) وبنسبة وزنية (0.5 wt%) ومن خلال الشكل يلحظ زيادة في الانحراف للمادة الأساس (الايوكسي) بعد إضافة الألياف بنوعها مقارنة بالايوكسي النقي وقد يعود سبب ذلك إلى زيادة كثافة الربط ألتشابكي للسلاسل البوليمرية وترصف الالياف والدقائق النانوية [135].

الشكل (4-15) يوضح علاقة معامل المرونة الخاص بالانحناء ( $E_B$ ) للمادة الأساس ومترابكاتها الليفية التي بينتها نتائج فحص العينات، إذ نلحظ من خلال الشكل السابق الذي يمثل العلاقة بين معامل المرونة الانحنائي والايوكسي النقي وانواع المترابكات الهجينة زيادة معامل المرونة الانحنائي مع زيادة نسبة التدعيم وبالعلاقة لاختية وقد يعزى سبب ذلك الى زيادة كثافة الربط ألتشابكي وكذلك قوة الترابط بين المادة الأساس ومادة التقوية من الالياف والمترابك الهجين التي لها الأثر الكبير في قيم معامل المرونة للمادة المترابكة [135].



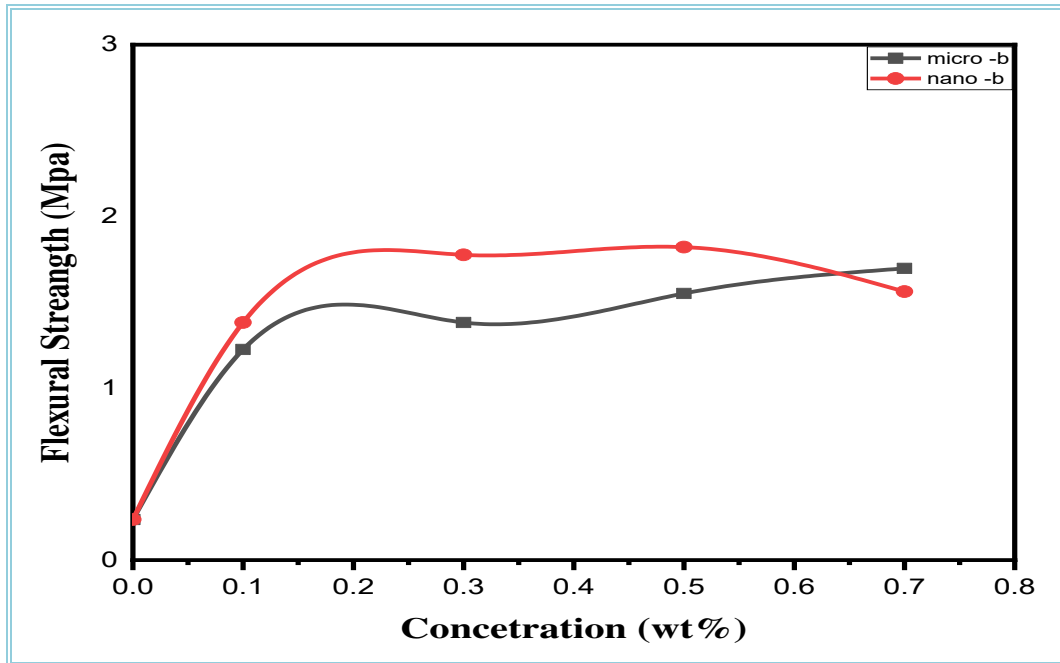
الشكل (4-9): العلاقة بين إجهاد (الثني-انحراف) للأيوكسي النقي والمواد المترابكة من الايبوكسي والدقائق المضافة من اوكسيد الخارصين المايكروية، وبكسور وزنية مختلفة وبالظروف المختبرية





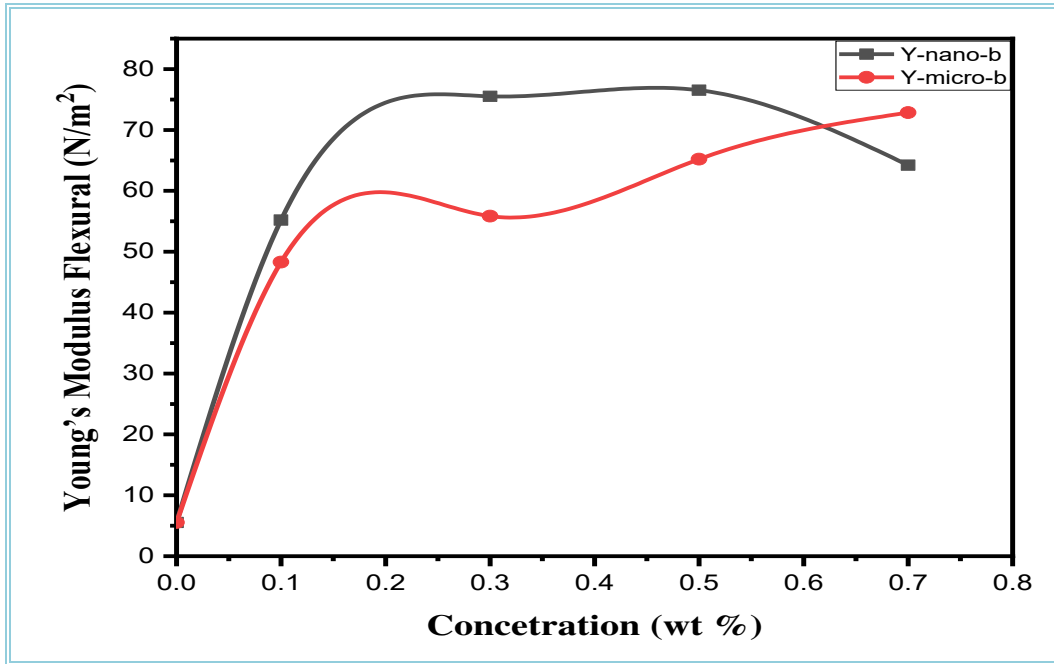
الشكل (4-10): علاقة إجهاد (الثنى- الانحراف) للأبيوكسي النقي والمواد المترابطة من الأبيوكسي والدقائق

المضافة من أوكسيد الخارصين النانوي وبنسب وزنية مختلفة وبالظروف المختبرية

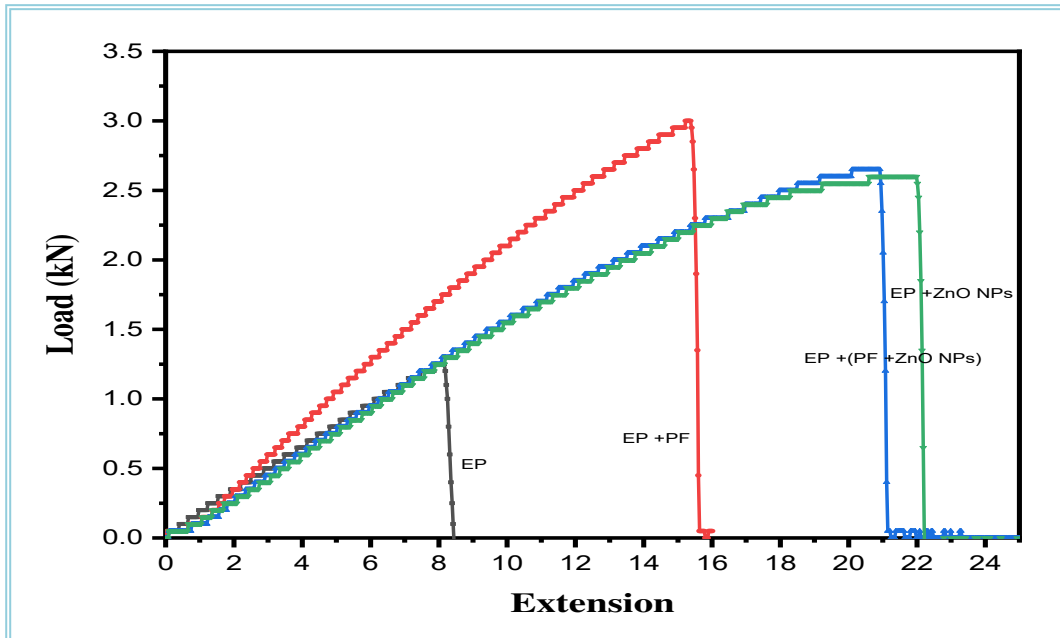


الشكل (4-11): العلاقة بين أكبر قيم لإجهاد (الثنى- الانحراف) لمادة الأبيوكسي النقي والمترابك المدعم بدقائق

أوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي وبكسور وزنية مختلفة وبالظروف المختبرية.

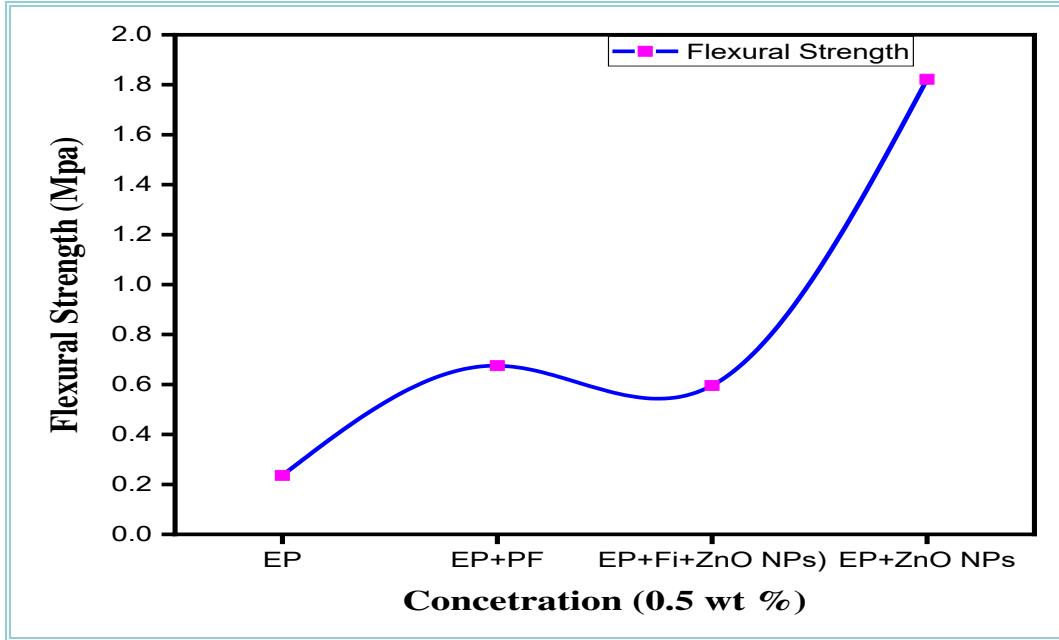


الشكل (4-12): قيم معامل المرونة الانحنائي لمادة الأيبوكسي والمواد المترابطة من الأيبوكسي النقي والمترابطة المدعم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروي والنانوي وبكسور وزنية مختلفة وبالظروف المختبرية.

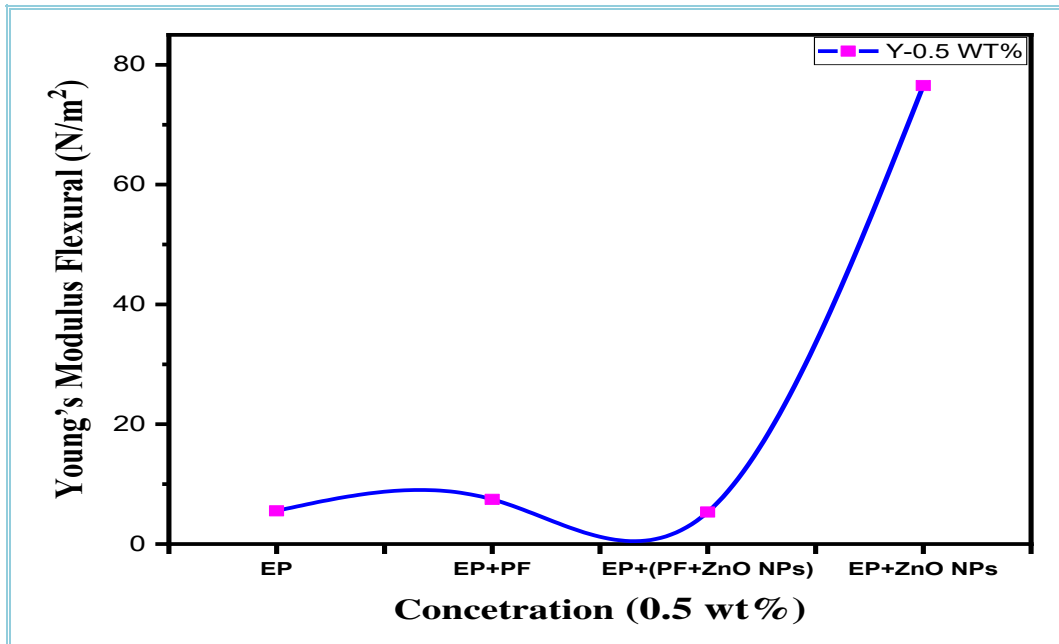


الشكل (4-13): علاقة إجهاد (الثنى-الانحراف) مع مادة الأيبوكسي النقي والمواد المترابطة من الأيبوكسي

واللياف النخيل والمترابطة الهجين وبكسر وزني (0.5 wt%) وبالظروف المختبرية.



الشكل (4-14): العلاقة بين اعلى قيم لإجهاد (الثنى-الانحراف) مع مادة الأيبوكسي النقي والمواد المترابطة من الأيبوكسي والياف النخيل والمترابك الهجين وبكسر وزني (0.5 wt%) وبالظروف المختبرية



الشكل (4-15): العلاقة بين معامل يونك لمادة الأيبوكسي والمواد المترابطة من الأيبوكسي

والياف النخيل والمترابك الهجين وبكسر وزني (0.5 wt%) وبالظروف المختبرية.

الجدول (4-4): قيم كل من مقاومة الانحناء و اقصى انفعال ومعامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية وبنسب وزنية مختلفة.

Samples (wt %)	Flexural Strength $\sigma_{UTS}(\text{MPa})$	Extension $\epsilon_f(\%)$	Young's Modulus Flexural Y.M(GPa)
pure	0.236	3.744	5.53
0.1 ZnO MPs	1.226	2.662	48.29
0.3 ZnO MPs	1.383	2.674	55.85
0.5 ZnO MPs	1.552	2.460	65.20
0.7 ZnO MPs	1.698	2.540	72.86

الجدول (5-4): قيم كل من مقاومة الانحناء و اقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة.

Samples (wt %)	Flexural Strength $\sigma_{UTS}(\text{MPa})$	Extension $\epsilon_f(\%)$	Young's Modulus Flexural Y.M(GPa)
pure	0.236	3.744	5.53
0.1 ZnO NPs	1.383	2.378	48.29
0.3 ZnO NPs	1.777	6.241	55.85
0.5 ZnO NPs	1.822	2.473	65.20
0.7 ZnO NPs	1.563	2.540	72.86

الجدول (6-4): قيم كل من مقاومة الانحناء و أقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين وبنسبة وزنية (0.5 wt%).

Samples (0.5 wt%)	Flexural Strength $\sigma_{UTS}$ (MPa)	Extension Strain $\epsilon_f$ (%)	Young's Modulus Flexural Y.M(GPa)
EP	0.236	3.744	5.53
EP+ PF	0.675	7.616	7.45
EP+ (PF + ZnO NPs)	0.596	10.052	5.33
EP+ ZnO NPs	1.822	2.473	76.54

### The Result of Hardness

### (3-2-4) نتائج اختبار الصلادة

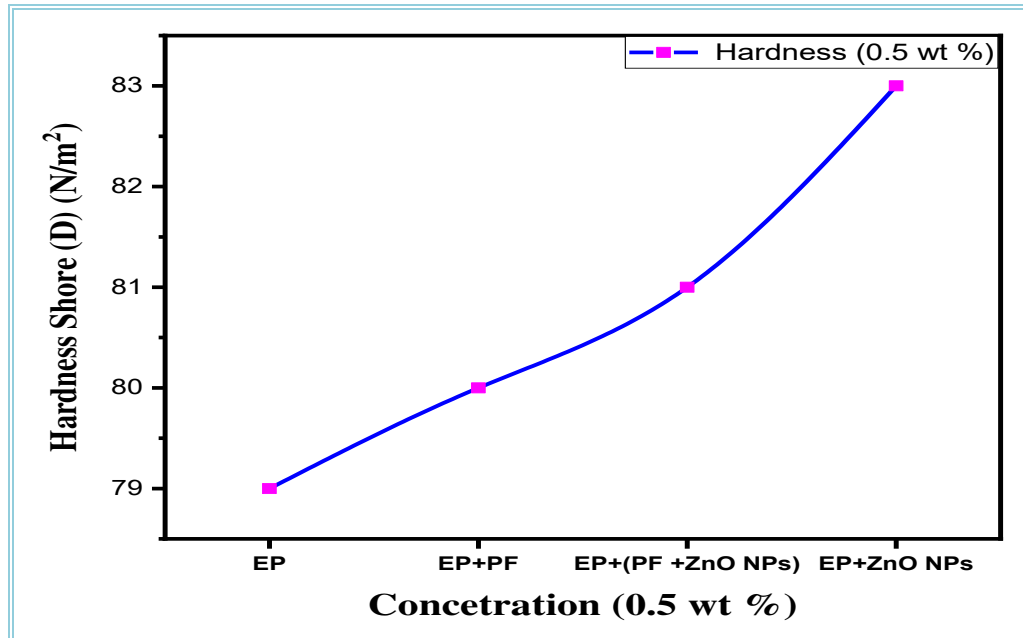
تعرف الصلادة بأنها الخاصية التي تعبر عن حالة سطح المادة، وفي بعض الاحيان يكون فحص الصلادة مجهرياً، إذ تم استخدام جهاز الصلادة نوع (Shore D) لأختبار العينات المحضرة من مادة الإيبوكسي قبل وبعد التدعيم بدقائق (أكسيد الخارصين المايكروية والنانوية) وبنسب وزنية مختلفة (0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 wt%) و كانت النتائج كما يأتي:-

### (1-3-2-4) نتائج اختبار الصلادة للعينات المدعمة بألياف النخيل والمتراكب الهجين

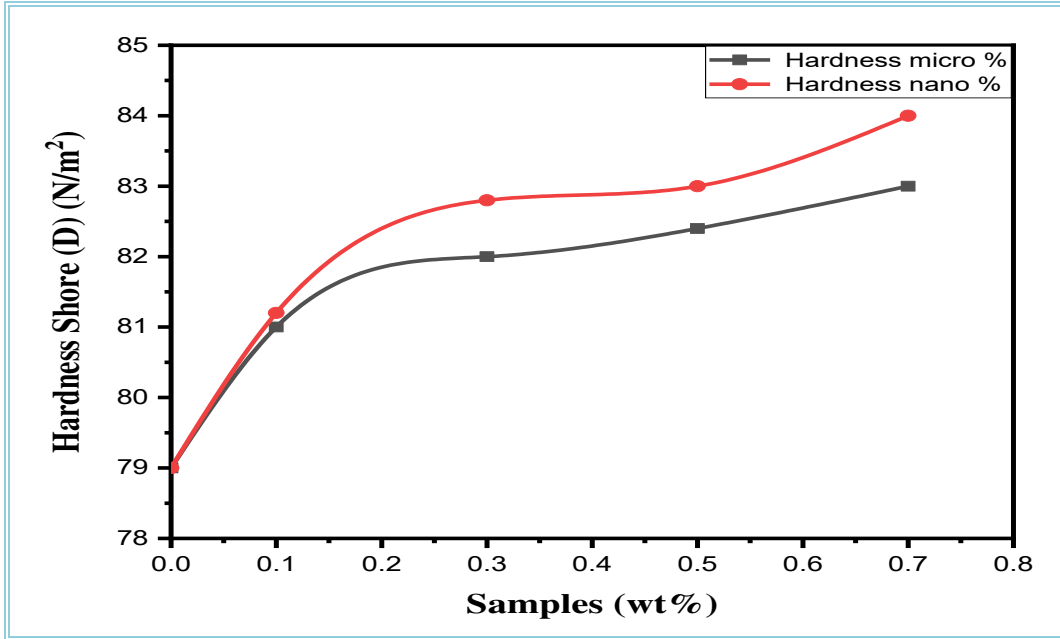
### ودقائق أكسيد الخارصين المايكروية والنانوية

تم اختبار الصلادة نوع (Shore D) للإيبوكسي EP قبل وبعد التقوية بالالياف والدقائق، وللحصول على دقة بالنتائج تم اعتماد المعدل لقراءتين لكل حالة. الشكلين (4-16) (4-17) يوضحان تأثير النسب الوزنية لالياف النخيل والمتراكب الهجين وللدقائق المضافة من مادة أكسيد الخارصين المايكروية والنانوية (ZnO MPs and NPs) على التوالي في قياسات الصلادة، إذ يتضح من الشكلين إن صلادة مادة الإيبوكسي تزداد بعلاقة لاخطية بإضافة كل نوع من أنواع التدعيم، إذ تعمل كل من ألياف النخيل والمتراكب الهجين والدقائق المايكروية والنانوية على زيادة مقاومة المادة ضد القوة المسببة للتشوه بالاعتماد على طريقة توزيع الالياف والدقائق ضمن المادة الأساس، فضلاً عن مشاركة الدقائق في المساهمة في تحمل القسم الأكبر من الاجهادات المسلطة

عليهما، وكذلك لأنّ الدقائق نفسها تمتلك متانة وصلادة عاليتين، كما يلحظ أنّ زيادة النسبة الوزنية من الدقائق النانوية المضافة، قد تسببت في زيادة الصلادة عمّا كانت عليه عند إضافة الدقائق المايكروية، وذلك بسبب زيادة المساحة التي شغلها الطور الدقائقي للطور البوليمري للمادة المتراكبة، وكذلك لطبيعة الدقائق النانوية المستخدمة والمتمثلة بالصلادة العالية والتي تعيق تشوه المادة الأساس، ومن جهة أخرى فإن نمط توزيع المادة المضافة في الأرضية (مادة الإيبوكسي) يؤدي إلى زيادة صلادة المادة المتراكبة المُنتجة [136]، بالإضافة إلى كون مادة أوكسيد الخارصين مادة شبه موصلة صلبة والمواد الشبه موصلة من هذا النوع تتميز بالصلادة العالية، لذا فإن إضافة الدقائق تزيد من صلادة المادة بسبب زيادة مقاومتها للتشوه. وذلك سببه أن الصلادة هي صفة سطحية، قد تؤثر في السطح أكثر من تأثيرها في التركيب الداخلي للأنموذج ومن ثم فإنّ تكسر أو تحلل الأواصر البوليمرية عند السطح قد يكون أكثر من الداخل لجميع العينات البوليمرية والمتراكبة [137]، والجدول (4-7) يوضح قيم الصلادة لمتراكبات الإيبوكسي المدعمة بألياف النخيل والمتراكب الهجين والجدول (4-8) يوضح قيم الصلادة لمتراكبات الإيبوكسي المدعمة بدقائق أوكسيد الخارصين والنانوي.



الشكل (4-16): قيم الصلادة لمادة الإيبوكسي النقي والمدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين مع النسبة (0.5 wt %) وبالظروف المختبرية.



الشكل (4-17): قيم الصلادة لمادة الايبوكسي النقي والمترابك المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي مع النسبة وبالظروف المختبرية.

الجدول (4-7): قيم الصلادة لمادة الايبوكسي والمترابك المدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين وبنسبة

وزنية (0.5 wt %).

Samples (0.5 wt %)	Hardness Shore (D) (N/mm <sup>2</sup> )
EP	79
EP+PF	80
EP+(PF+ ZnO NPs)	81
EP+ ZnO NPs	83

الجدول (4-8): قيم الصلادة لمادة الايبوكسي مدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي وبنسب وزنية مختلفة.

Samples EP + ZnO MPs	Hardness Shore (D) (N/mm <sup>2</sup> )	Samples EP + ZnO NPs	Hardness Shore (D) (N/mm <sup>2</sup> )
EP	79	EP	79
0.1 ZnO MPs	81	0.1 ZnO NPs	81.2
0.3 ZnO MPs	82	0.3 ZnO NPs	82.8
0.5 ZnO MPs	82.4	0.5 ZnO NPs	83
0.7 ZnO MPs	83	0.7 ZnO NPs	84

#### (4-2-4) اختبار الصدمة

#### Impact Test

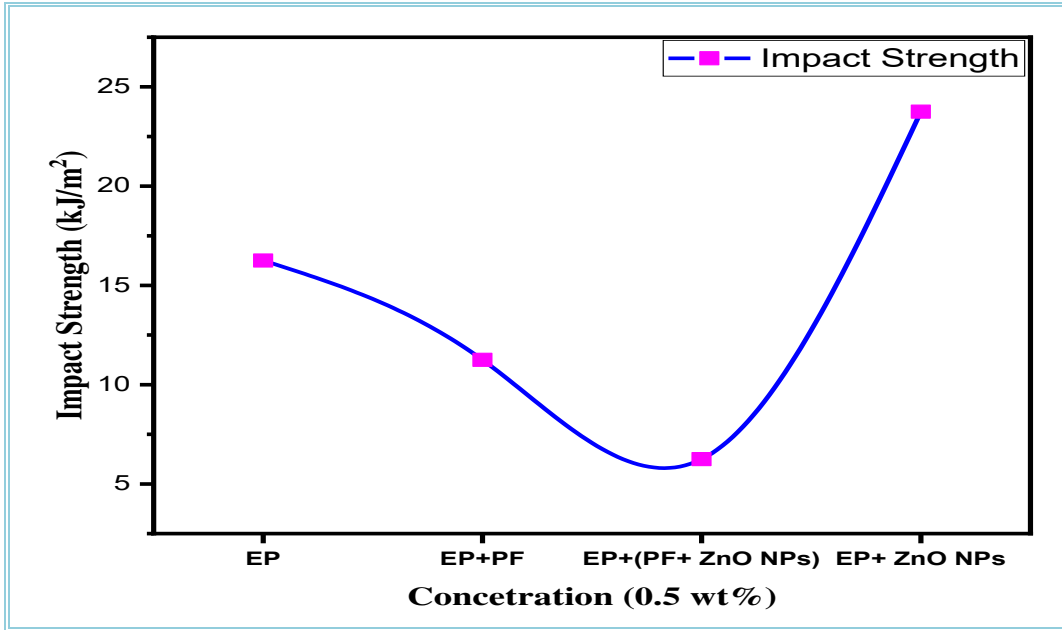
اختبار الصدمة تم إجراؤه بطريقة (Izod Impact Test) وتم احتساب مقاومة الصدمة للعينات المحضرة من مادة الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) ودقائق أوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) وبنسب وزنية مختلفة (0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 wt%) وكذلك بعد التدعيم بألياف النخيل والمترابك الهجين بنسبة (0.5 wt%) وكانت النتائج كما يأتي:-

(4-2-4-1) نتائج اختبار الصدمة للعينات المدعمة بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية ودقائق أوكسيد الخارصين النانوية وألياف النخيل والمترابك الهجين.

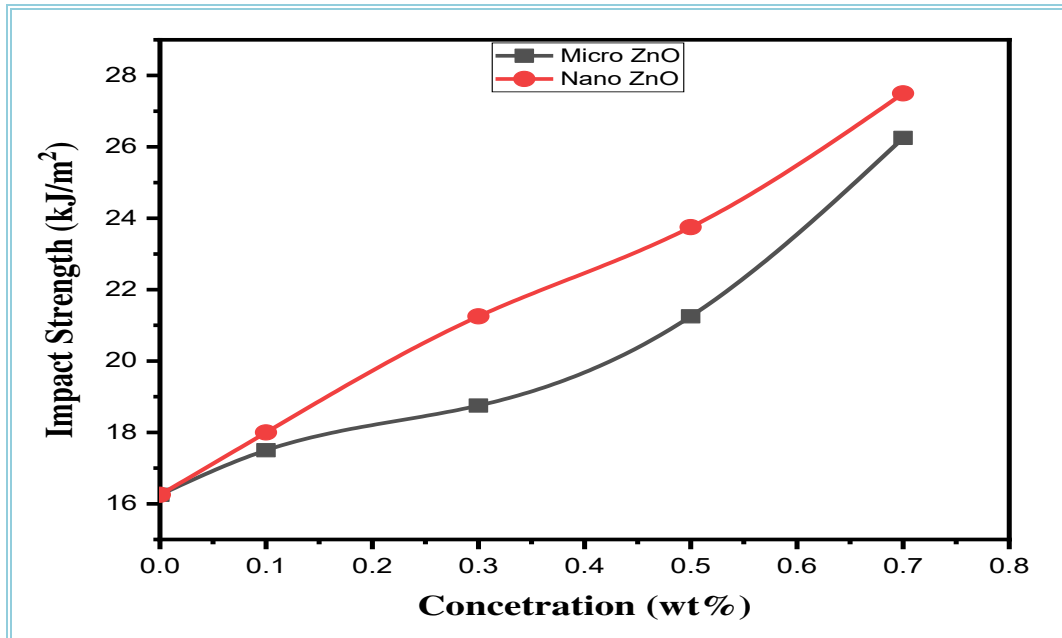
يبين الشكل (4-18) الطاقة الممتصة اللازمة للكسر للايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين وبنسبة وزنية (0.5 wt%)، والشكل (4-19) يبين تأثير اضافة الكسر الوزني على الطاقة الممتصة للايبوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية ودقائق أوكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة على التوالي، إذ نلاحظ أن الطاقة الممتصة اللازمة للكسر تقل عند التدعيم بألياف النخيل والمترابك الهجين ومن ثم نقصان مقاومة الصدمة لها، بسبب



إنخفاض قابلية رانتج الايبوكسي على الارتباط مع الياف النخيل والمتراكب الهجين [138]، بينما نلاحظ أن الطاقة الممتصة اللازمة للكسر تزداد عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية ودقائق أكسيد الخارصين النانوية وعند إضافة وزيادة الكسر الوزني لكلا النوعين من الدقائق المايكروية والنانوية ومن ثم زيادة مقاومة الصدمة لها، إذ تعمل كل من الدقائق المايكروية والدقائق النانوية على إعاقة حالة الكسر لكونها تتحمل الجزء الأكبر من الحمل المسلط على العينة نتيجة عمل مواد التدعيم كحاجز أمام الشق النامي خلال المادة المتراكبة، إذ ستعيق نمو الشق وهذا سيؤدي إلى تغير في شكل الشق واتجاهه بتحويله إلى مجموعة شقوق ثانوية، وإن هذا التغيير في شكل الشق واتجاهه أدى إلى زيادة المساحة السطحية للكسر والطاقة المصروفة، وهذه كلها عوامل أدت إلى زيادة مقاومة المادة، وهذه الحالة تحصل بشكل أفضل عندما يكون اتجاه صف الدقائق باتجاه القوة المسلطة مما يؤدي إلى تحمل إجهادات عالية ومن ثم إمتصاص الجزء الأكبر من الطاقة، وكذلك عندما يكون ترابط قوي للسطح البيني بين مواد التدعيم والمادة الأساس، مما يؤدي لأنتقال الكسر خلال السطح البيني حول الدقائق المايكروية والنانوية في حالة عدم تكسر الدقائق النانوية [139]. والجدولين (4-9) و(4-10) يوضحان قيم مقاومة الصدمة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) ودقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) على التوالي. والجدول (4-11) يوضح قيم مقاومة الصدمة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بألياف النخيل والمتراكب الهجين إذ نلاحظ أن قيم متانة الصدمة في حالة التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) أكبر بالمقارنة مع حالة التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) والالياف وقد يعزى سبب ذلك إلى طبيعة توافق هذا النوع من الدقائق النانوية مع الإيبوكسي [139].



الشكل (4-18): الصدمة لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt%).



الشكل (4-19): الصدمة لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية ودقائق أكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة.

الجدول (4- 9): قيم الصدمة لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية بنسب وزنية مختلفة.

Samples(% wt) (Micro)	Width d (m)	Thickness S (m)	Area A=S×d 10 <sup>-5</sup> (m <sup>2</sup> )	Impact Energy (Joule)	Impact Strength GC(kJ/m <sup>2</sup> )
EP	0.01	0.004	4	0.65	16.25
0.1 ZnO MPs	0.01	0.004	4	0.70	17.5
0.3 ZnO MPs	0.01	0.004	4	0.75	18.75
0.5 ZnO MPs	0.01	0.004	4	0.85	21.25
0.7 ZnO MPs	0.01	0.004	4	1.05	26.25

الجدول (4- 10): قيم الصدمة لمادة الايبوكسي والمتراكب المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية بنسب وزنية مختلفة.

Samples (Nano) (% wt)	Width d (m)	Thickness S (m)	Area A=S×d 10 <sup>-5</sup> (m <sup>2</sup> )	Impact Energy (Joule)	Impact Strength GC(kJ/m <sup>2</sup> )
EP	0.01	0.004	4	0.65	16.25
0.1 ZnO NPs	0.01	0.004	4	0.72	18
0.3 ZnO NPs	0.01	0.004	4	0.85	21.25
0.5 ZnO NPs	0.01	0.004	4	0.95	23.75
0.7 ZnO NPs	0.01	0.004	4	1.10	27.5

الجدول (4- 11): قيم الصدمة لمادة الايبوكسي والمترابك المدعم بألياف النخيل والمترابك الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt%).

Samples (0.5 wt %)	Width d (m)	Thickness S (m)	Area A=S×d 10 <sup>-5</sup> (m <sup>2</sup> )	Impact Energy (Joule)	Impact Strength GC(kJ/m <sup>2</sup> )
EP	0.01	0.004	4	0.65	16.25
EP+PF	0.01	0.004	4	0.45	11.25
EP+(PF+ ZnO NPs)	0.01	0.004	4	0.25	6.25
EP+ ZnO NPs	0.01	0.004	4	0.95	23.75

### (3-4) الخصائص الكهربائية (العزلية) Dielectrical Properties

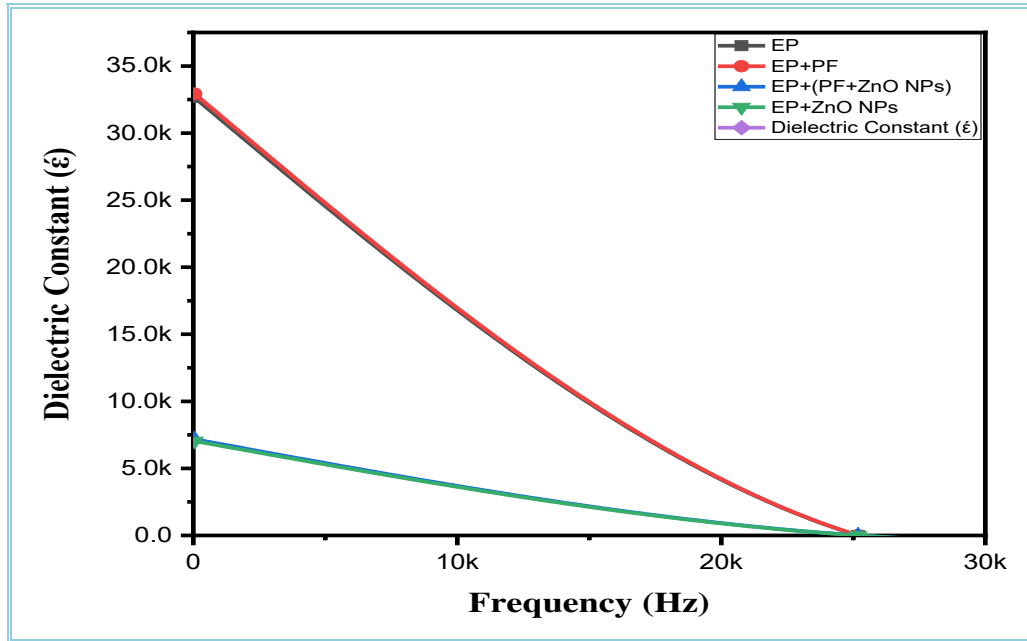
#### (1-3-4) نتائج فحص ثابت العزل الكهربائي

#### Dielectric Constant Test Results

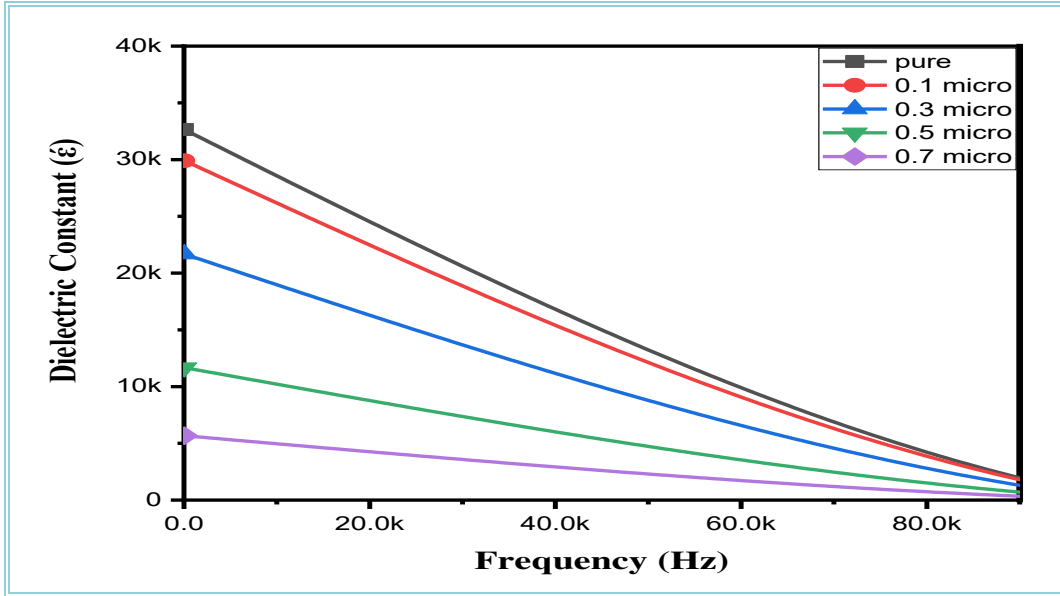
(1-1-3-4) فحص ثابت العزل الكهربائي للعينات المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) و دقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) والياف النخيل والمترابك الهجين.

تم قياس ثابت العزل الكهربائي لمترابكات الايبوكسي المدعمة بألياف النخيل والمترابك الهجين بنسبة وزنية (0.5 wt %) وبدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) وبدقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة (0.1, 0.3, 0.5, 0.7 wt%) عند درجة حرارة الغرفة وضمن مدى التردد (100Hz-1MHz)، من خلال الأشكال (4-20) و(4-21) و(4-22) يتضح نقصان في قيمة ثابت العزل الكهربائي مع زيادة التردد وللعينات جميعها، كما نلاحظ أنه عند الترددات الواطئة قد امتلكت العينات جميعها قيم عالية لثابت العزل الكهربائي وعند زيادة التردد سيتسبب في حصول نقصان كبير في قيم ثابت العزل الكهربائي، وعندما تكون ثنائيات الاقطاب عشوائية الترتيب تحت تأثير المجال الكهربائي الخارجي فإن المجال الكهربائي الخارجي يعمل على تدوير الثنائيات القطبية باتجاه موازي للمجال الكهربائي مما يؤدي إلى توليد مجال كهربائي معاكس للمجال الكهربائي الأصلي والذي يعمل على إضعاف المجال الكهربائي الأصلي، وبذلك يزداد ثابت العزل الكهربائي للمترابك. أما عند زيادة

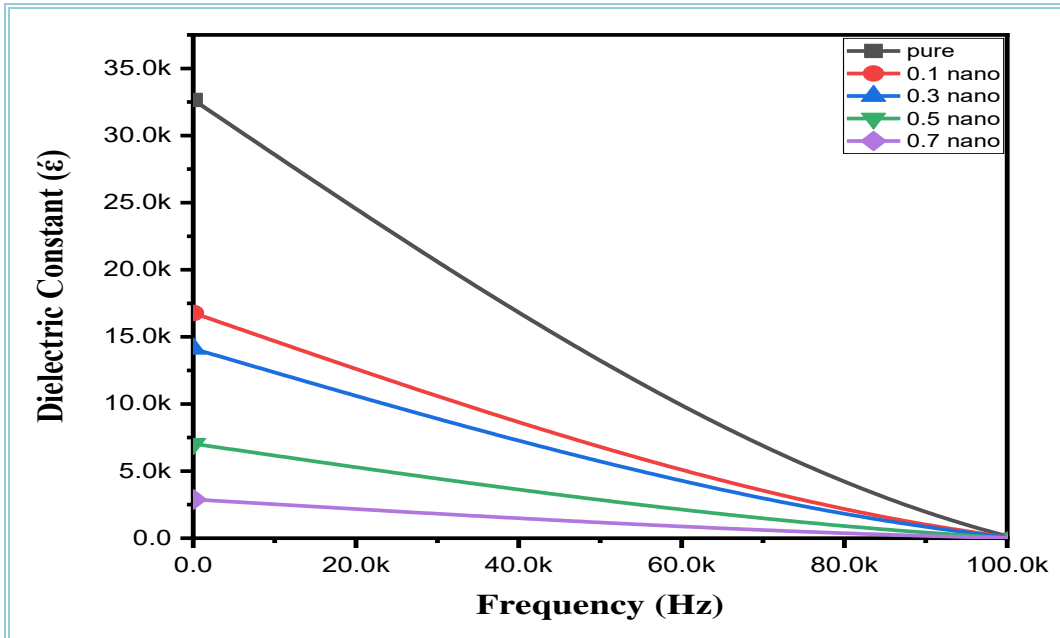
تردد المجال الكهربائي المسلط فإن ثابت العزل الكهربائي للمادة المتراكبة يقل، ونستطيع تفسير ذلك، بأنه عند الترددات الواطئة ستكون الفترة الزمنية كافية لثنائيات الأقطاب أن تعيد تنظيم الجزيئات وترتيبها، إذ تعمل على رصفهم باتجاه المجال الكهربائي، وأما عند الترددات العالية فإن الفترة الزمنية تكون قصيرة وأقل من الفترة الزمنية التي تحتاجها الجزيئات لكي تستطيع أن تعيد ترتيب نفسها مع اتجاه المجال الكهربائي الخارجي، وكذلك أيضا بسبب اختلاف أطوار المادة الأساس ومواد التدعيم (الدقائق المايكروية والدقائق النانوية) والتي ينتج عنها الاستقطاب البيئي أدت إلى جعل القيم عالية لثابت العزل الكهربائي عند الترددات الواطئة ، بالإضافة إلى أن الاستقطاب الناتج من الأقطاب الكهربائية له علاقة وثيقة في تكوين شحنة العينة الموجودة بين القطبين وهذا يعتمد على تركيب ومسافات العينة. ان قيمة ثابت العزل الكهربائي تعتمد على مساهمة أربعة أنواع من الاستقطاب (الالكتروني و الايوني و البيئي و التوجيه) ، ففي الترددات العالية فإن قيمة ثابت العزل الكهربائي تعتمد على الاستقطاب الايوني و الالكتروني فقط واللذان لهما القدرة في متابعة تناوب المجال الكهربائي المسلط وهذا يقود الى تناقص الاستقطاب ومن ثم نقصان ثابت العزل الكهربائي [140]. ونلاحظ أيضا من خلال الأشكال المذكورة إن قيمة ثابت العزل الكهربائي عند نفس التردد تزداد عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية والنانوية وعند إضافة وزيادة الكسر الوزني لكلا النوعين من الدقائق المايكروية والنانوية ، وبصورة عامة فإن هذه الزيادة في قيمة ثابت العزل الكهربائي قد يعزى إلى نقصان الأستقطابية [141].



الشكل (4- 20): ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين وبنسبة وزنية مختارة (0.5 wt%).



الشكل (4-21): ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) بنسب وزنية مختلفة.



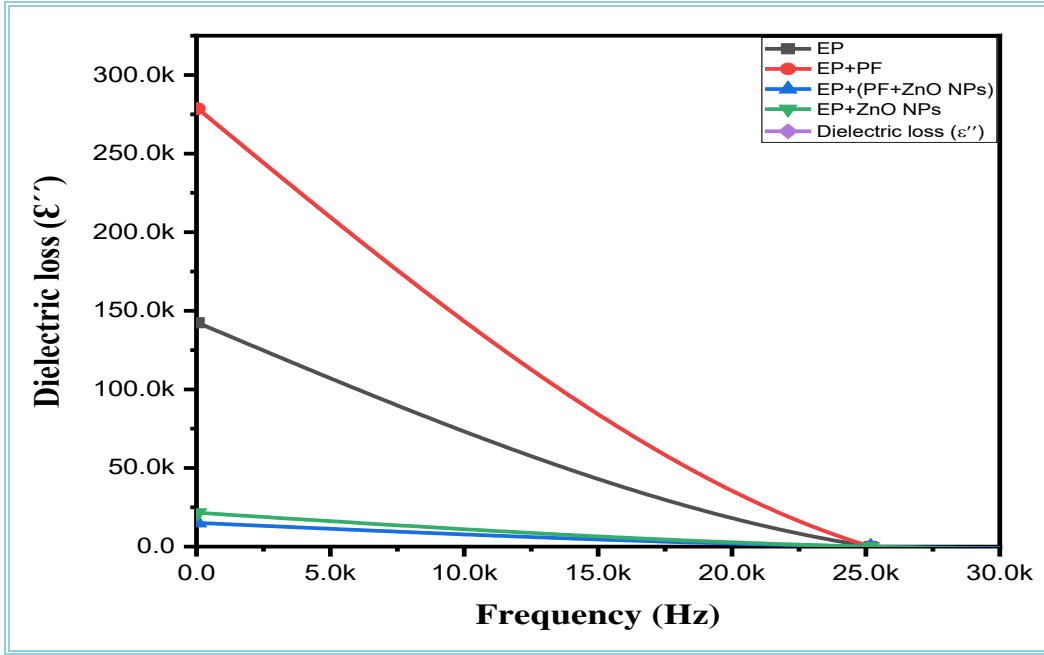
الشكل (4-22): ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة.

**(2-3-4) نتائج فحص عامل الفقد العزلي Dissipation Factor Test Results**

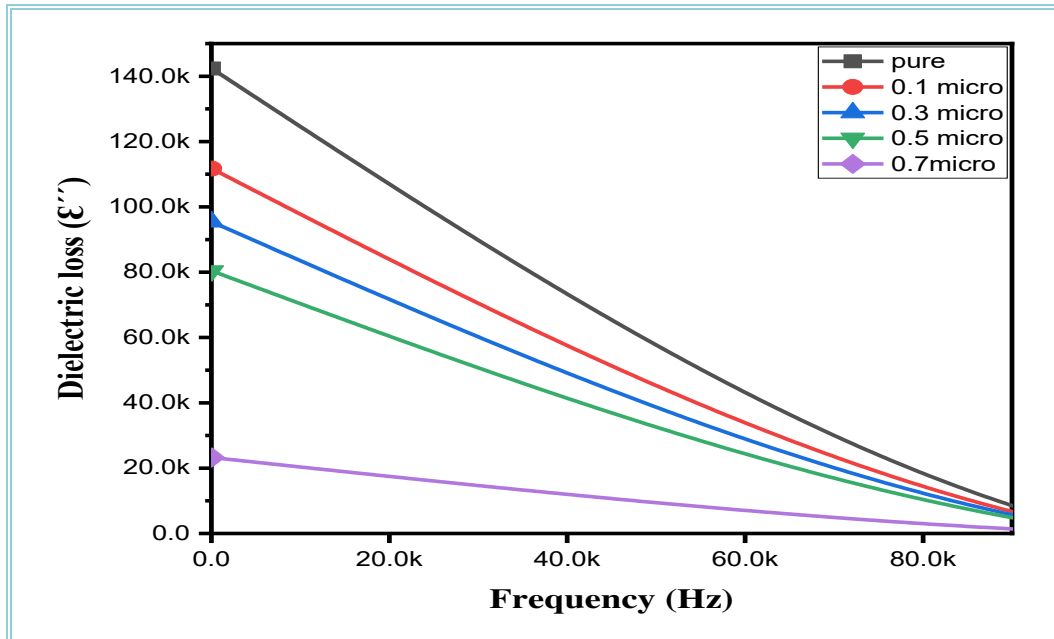
يعتمد تصرف البوليمر في المجال الكهربائي المتناوب على وضع ثنائيات الأقطاب فيما إذا كانت ضمن السلسلة البوليمرية أو في المجاميع الجانبية. ففي حالة راتنج الايبوكسي فإن ثنائي القطب يقع ضمن السلسلة و يتاح لمثل هذا الوضع ان ينظم نفسه عندما يمتلك الحركة الكافية. تم قياس عامل الفقد العزلي للعينات المحضرة من مادة الايبوكسي قبل و بعد التدعيم بدقائق أو أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) ودقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) و بنسب وزنية مختلفة (0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 wt%). وبعد التدعيم بألياف النخيل والمترابك الهجين وبنسبة وزنية (0.5 wt%) وكانت النتائج كما يأتي:-

**(1-2-3-4) فحص عامل الفقد العزلي للعينات المدعمة بألياف النخيل والمترابك الهجين وبدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) ودقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs)**

تم قياس عامل الفقد العزلي لمترابكات الايبوكسي المدعمة بألياف النخيل والمترابك الهجين وبدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) ودقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) و بنسب وزنية مختلفة عند درجة حرارة الغرفة و ضمن مدى التردد (-100Hz 1MHz)، ويتضح من خلال الأشكال (23-4) و(24-4) و(25-4) نقصان في قيم عامل الفقد العزلي مع زيادة التردد ولكل العينات، كما نلاحظ أيضاً أن قيم عامل الفقد العزلي تكون مرتفعة عند الترددات الواطئة ثم تبدأ بالنقصان مع زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط، وذلك بسبب تعزيز ناقلات الشحنة التي تأخذ مكانا عبر عرض منطقة مساحة الشحنة الكهربائية، ونقصان قيمة عامل الفقد العزلي عند الترددات العالية حتى تتساوى طاقة الإلكترون مع طاقة مستوى فيرمي، وكذلك أيضاً فإن سبب تغير عامل الفقد العزلي مع التردد يعزى إلى أن الثنائيات القطبية تمتص الطاقة من المجال الكهربائي في النظام من أجل التغلب على مقاومة المواد اللزجة التي تحيط بها أثناء الدوران، وهذه الطاقة الممتصة تقلل أو تزيد حاملات الشحنة المنتقلة بين الحدود في المتسعة مع زيادة التردد وبذلك فإن ثنائيات الأقطاب تحتاج إلى طاقة أعلى في النظام لتحصل على الأسترخاء وفي هذه الحالة يتناقص عامل الفقد العزلي [142]، ونلاحظ من خلال الأشكال المذكورة أعلاه إنَّ قيمة عامل الفقد العزلي عند نفس التردد تزداد عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية ودقائق أكسيد الخارصين النانوية وعند إضافة وزيادة الكسر الوزني لكلا النوعين من الدقائق المايكروية والنانوية، وأن سبب ذلك يعود إلى إن الثنائيات المستقطبة الناتجة من السطح البيئي بين المادة الأساس ومواد التدعيم قد ازدادت بشكل كبير [143].

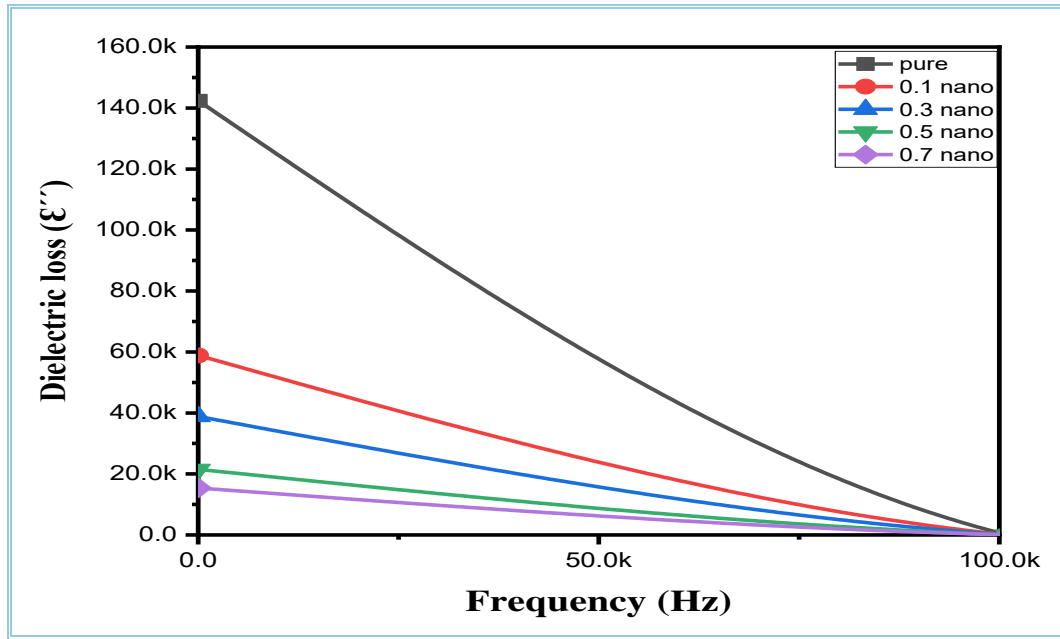


الشكل (23-4): عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين و بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt %).



الشكل (24-4): عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الزنك المايكروية (ZnO MPs) و بنسب وزنية مختلفة.





الشكل (4-25): عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) وبنسب وزنية مختلفة.

## Thermal Properties

## (4-4) الخصائص الحرارية

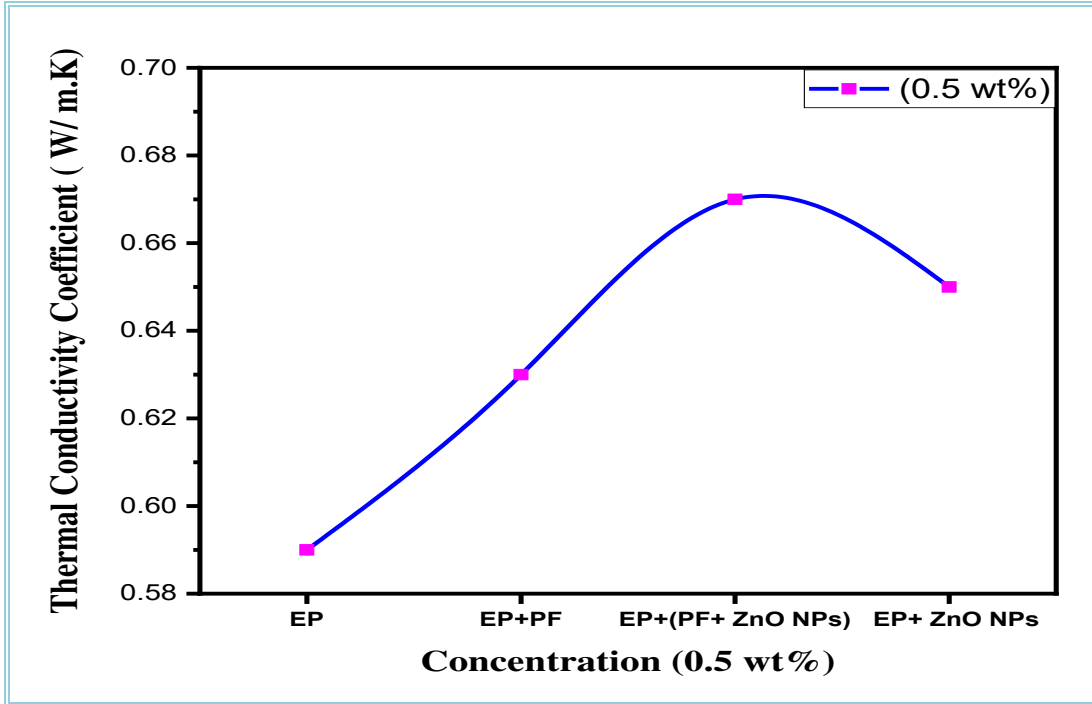
### (1-4-4) نتائج فحص التوصيلية الحرارية

## Thermal Conductivity Test Results

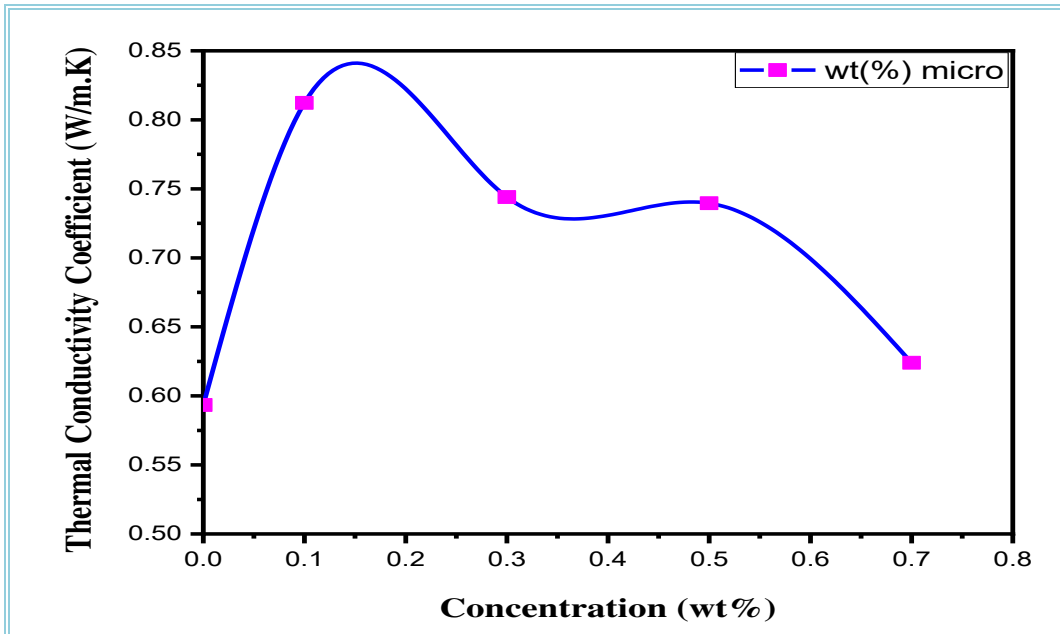
تم حساب معامل التوصيل الحراري (k) للعينات المحضرة من مادة الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بألياف النخيل والمتراكب الهجين وبنسبة وزنية (0.5 wt%) والدقائق المايكروية والنانوية من (ZnO) وبنسب وزنية مختلفة (0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 wt%) باستخدام طريقة قرص لي (Lee's Disc Method) وكانت النتائج كما يأتي:-

تم حساب التوصيلية الحرارية بتطبيق المعادلة (2-25) وحساب معامل التوصيل الحراري لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بألياف النخيل والمتراكب الهجين وبدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) ودقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) وبنسب وزنية مختلفة، ونلاحظ من خلال الأشكال (4-26)، (4-27)، (4-28) إن قيمة معامل التوصيل الحراري للإيبوكسي النقي تكون (0.59 W/m.K) وتزداد قيمته الى (0.63 W/m.K) عند التدعيم بألياف

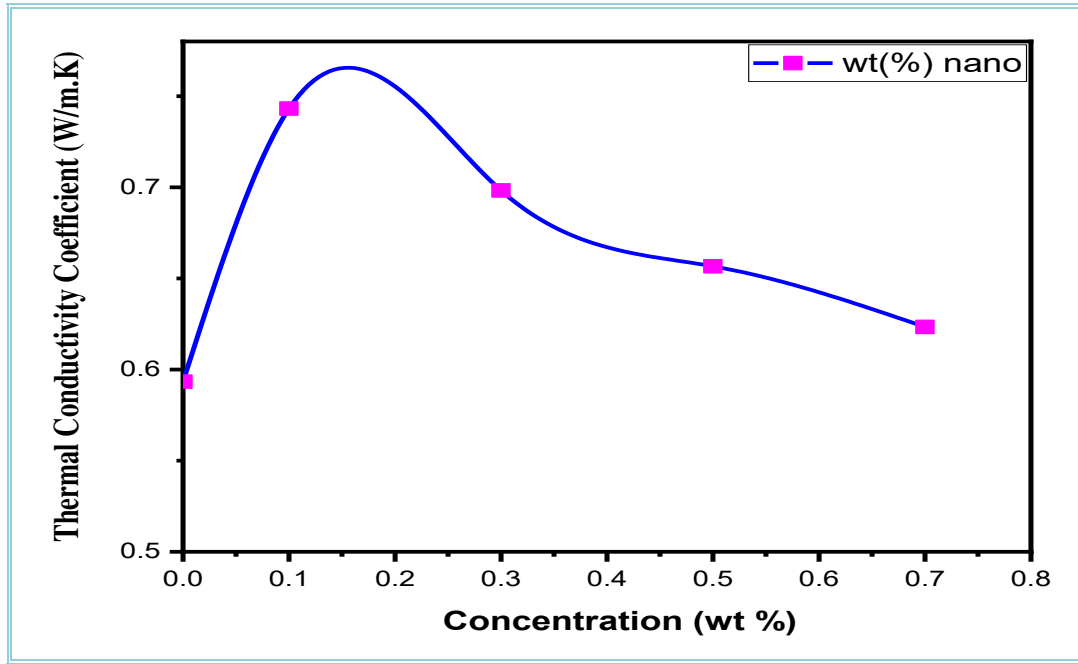
النخيل وإلى (0.67 W/m.K) عند التدعيم باللياف النخيل ودقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) وإلى (0.81 W/m.K) عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) وإلى (0.74 W/m.K) عند التدعيم بدقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) والسبب يعود إلى اختلاف معامل التوصيل الحراري لمواد التدعيم عن معامل التوصيل الحراري للإيبوكسي [144]، وكذلك بسبب ترتيب ألياف النخيل ودقائق أكسيد الخارصين، وكذلك اتجاهية صف الدقائق، أما عند إضافة وزيادة الكسر الوزني لدقائق أكسيد الخارصين بكلا نوعيها المايكروي والنانوي نلاحظ ان قيمة معامل التوصيل الحراري تبدأ بالتناقص بالمقارنة مع الايبوكسي قبل التدعيم، الا ان قيمة معامل التوصيل الحراري تبقى اعلى من قيمتها في حالة الايبوكسي النقي، وسبب ذلك هو إن الإهتزازات الهيكلية للراتنج تبدأ بالإنخفاض عند إضافة الدقائق النانوية إلى الراتنج، والتي تعمل على إعاقة الإهتزازات الهيكلية المسؤولة عن النقل الحراري في الراتنج وبالتالي نقصان قيمة معامل التوصيل الحراري، حيث تزداد نسبة العزل الحراري نتيجة لإعاقة الإهتزاز الهيكلية الداخلي من قبل الدقائق النانوية، بالإضافة إلى إن هذه الدقائق رديئة التوصيل للحرارة في الظروف الطبيعية نظراً لكونها من الأكاسيد السيراميكية [145]. وكذلك عند إضافة الدقائق النانوية وبسبب انتشارها الغير منتظم داخل المادة المترابكة بين الطبقات في بعض الحالات من النسب ادى الى تقليل احتمالية التشتت للفونونات بين طبقات المترابك وظهور مسارات اضافية للدقائق النانوية الشبه موصلة على وفق الشبكة البلورية لكل مادة نانوية اعتمادا على الشكل البلوري للمادة النانوية ومن ثم نقصان قيمة معامل التوصيل الحراري [146]. والجدول (4-12) يوضح قيم معامل التوصيل الحراري لمترابكات الايبوكسي المدعمة باللياف النخيل والمترابك الهجين، والجدول (4-13) يوضح قيم معامل التوصيل الحراري لمترابكات الأيبوكسي المدعمة بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية والنانوية.



الشكل (4-26): معامل التوصيل الحراري لمتراكب الايبوكسي المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt %).



الشكل (4-27): معامل التوصيل الحراري لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) بنسب وزنية مختلفة.



الشكل (4-28): معامل التوصيل الحراري لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة.

الجدول (4-12): قيم معامل التوصيل الحراري لمادة الايبوكسي والمتراكب المدعم بألياف النخيل والمتراكب الهجين بنسبة وزنية مختارة (0.5 wt %).

Samples (0.5 wt %)	Thermal Conductivity Coefficient K(W/m.K)
EP	0.59
EP+PF	0.63
EP+(Fi+ ZnO NPs)	0.67
EP+ ZnO NPs	0.65

الجدول (4-13): قيم معامل التوصيل الحراري لمادة الايبوكسي والمترابكات المدعمة بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) والنانوية (ZnO NPs) بنسب وزنية مختلفة.

Samples (micro) (wt %)	Thermal Conductivity Coefficient K(W/m.K)	Samples (Nano) (wt %)	Thermal Conductivity Coefficient K(W/m.K)
EP	0.593368	EP	0.593368
0.1 ZnO MPs	0.812245	0.1 ZnO NPs	0.74317
0.3 ZnO MPs	0.744046	0.3 ZnO NPs	0.698268
0.5 ZnO MPs	0.739596	0.5 ZnO NPs	0.656655
0.7 ZnO MPs	0.623973	0.7 ZnO NPs	0.623387

#### Examination Results (FESEM) نتائج فحص (FESEM) (5-4)

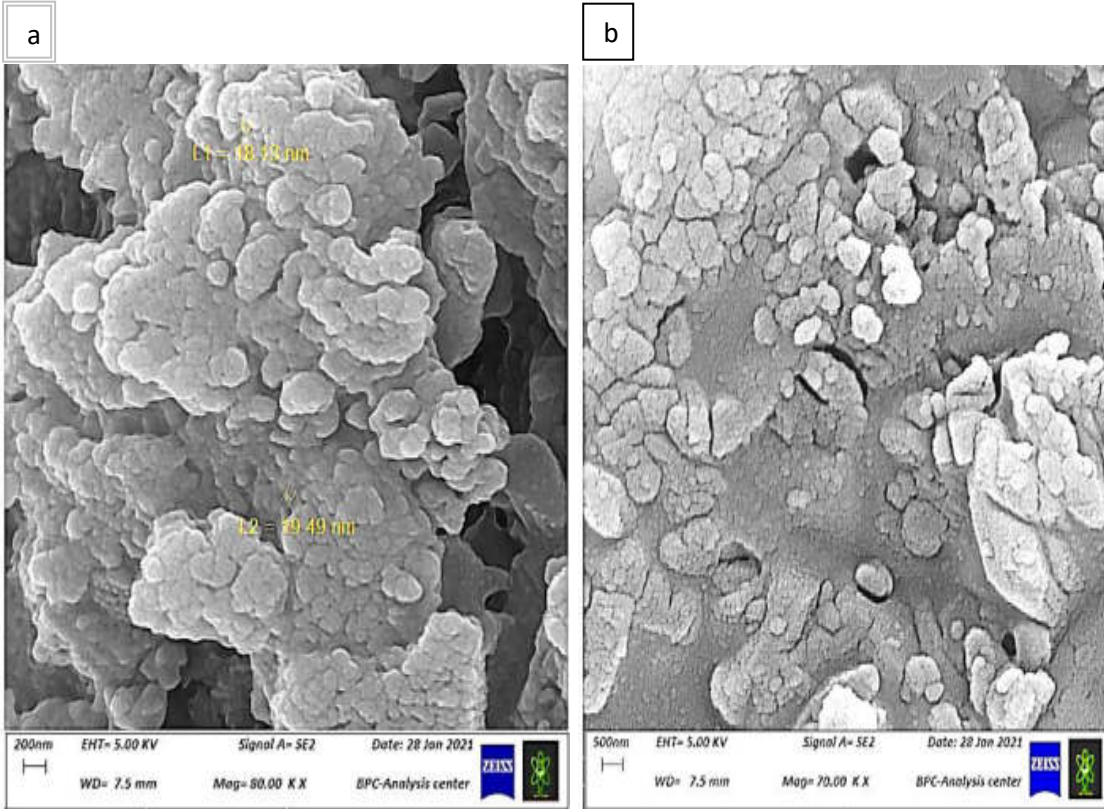
#### (1-5-4) نتائج فحص (SEM) لدقائق اوكسيد الخارصين النانوية.

#### Examination Results (SEM) for Zinc Oxide Nanoparticles

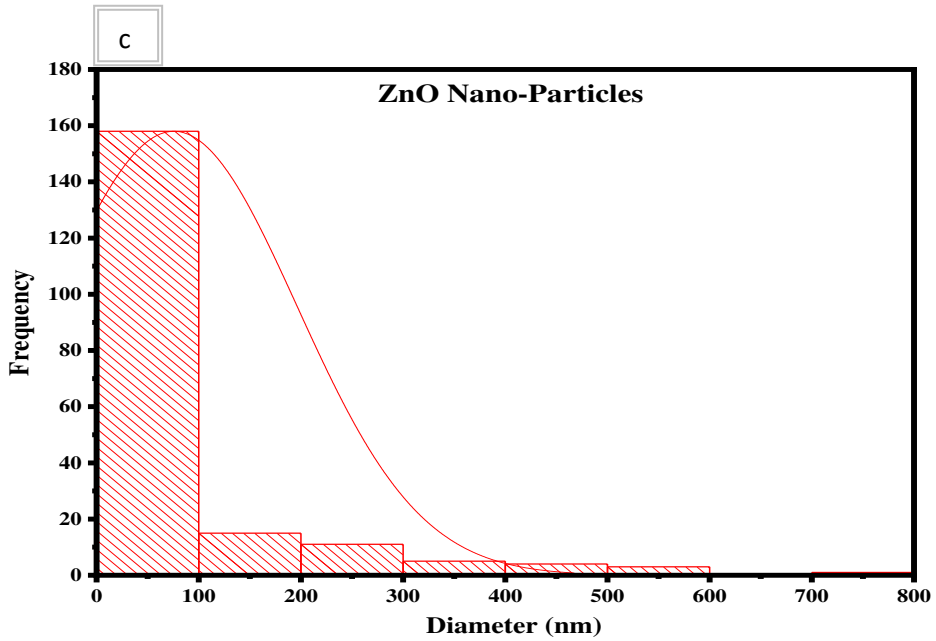
يبين الشكل (a, b-29-4) صور الفحص المجهر الإلكتروني (SEM) لدقائق أوكسيد الخارصين النانوية باستخدام مجهر المسح الإلكتروني (Scanning Electron Microscope)، ويتضح من الشكل إن الدقائق النانوية تكون على شكل مثلث تقريبا بحجم (18-19 nm) في نطاق (19-75 nm)، وتم اكتشاف القليل من الدقائق لتكون في عناقيد بسبب التكتل وتكون محددة جيدا والبعض منها هياكل على شكل حبيبات (مع تعديل نوع الزهرة) وهذا يتطابق مع صور البحوث المدروسة سابقا مما يؤكد إن هذه الدقائق هي دقائق نانوية [147]، وكذلك تم حساب الحجم الحبيبي لمايقارب (200 Granules) باستخدام برنامج (Image J) لأثبات إن دقائق أوكسيد الخارصين هي دقائق نانوية، وكما موضح في الجدول (4-14) والشكل (c-29-4).

الجدول (4-14): حساب الحجم الحبيبي لدقائق أوكسيد الخارصين النانوية.

Sample Name	Minimum Grain size (nm)	Maximum Grain size (nm)	Average Grain Size (nm)	Median Grain Size (nm)	Standard Deviation (nm)
ZnO	1.626	781.036	75.69369	25.111	120.43279



الشكل (a,b-29-4): يُظهر صور الفحص المجهر الإلكتروني (SEM) لدقائق أكسيد الخارصين النانوية

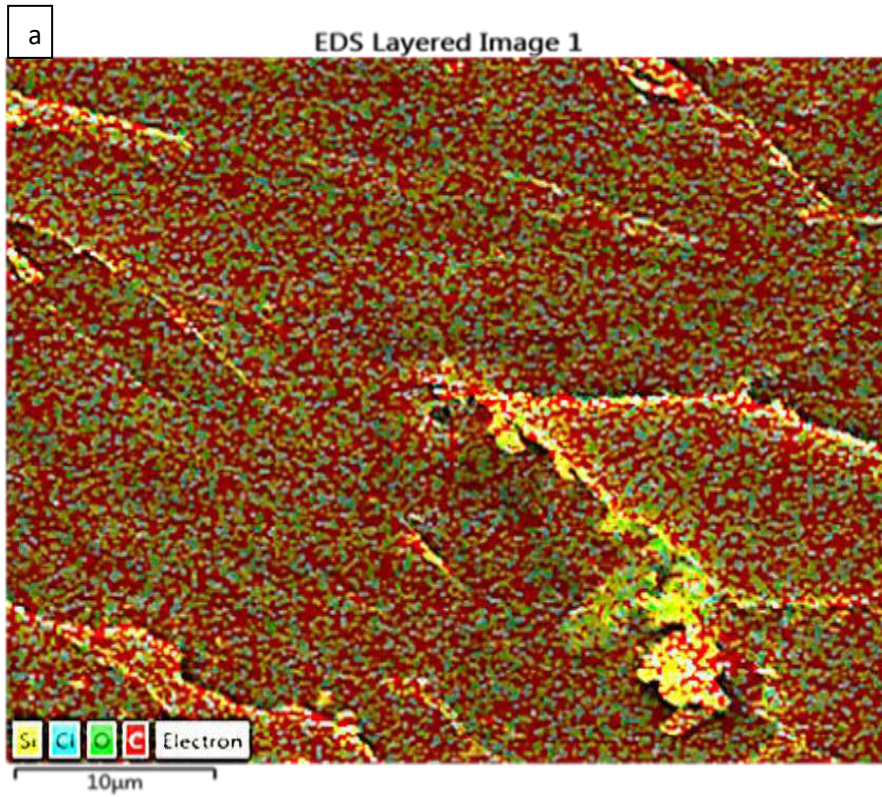


الشكل (c-29-4): يوضح الحجم الحبيبي لدقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs).

## (2-5-4) نتائج فحص (EDS) لمنطقة الكسر نتيجة اختبار الشد للعينات

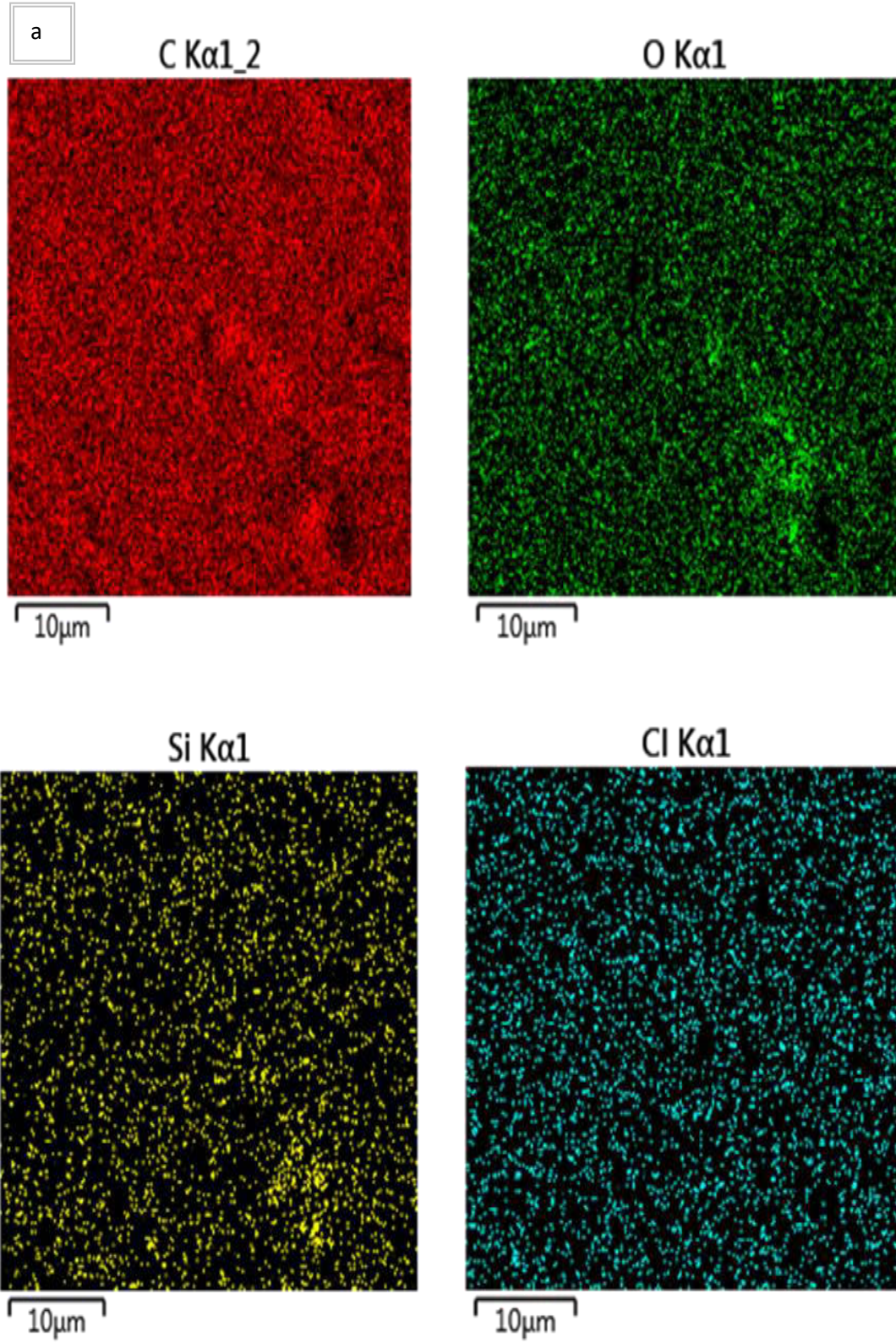
**The Results of the Examination (EDS) of the Fracture Area as a Result of the Tensile Test of the Samples**

تُبين الأشكال (a, b, c, d, e-30-4) نتائج التصوير المجهرى لفحص (EDS) لعينات مادة راتنج الإيبوكسي النقي ومترابطاته في منطقة الكسر الحاصل بسبب تأثيرات قوى الشد والتي توضح البنية التركيبية المجهرية لعينات الإيبوكسي والمترابطات إيبوكسي-أوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي (EP-Micro and Nano ZnO) وكيفية توزيع الدقائق المضافة بنوعها في بنية الإيبوكسي، بالمقارنة مع الإيبوكسي النقي شكل (a-30-4)، إذ يتبين من خلال الصور إن حبيبات أوكسيد الخارصين موزعة بشكل متجانس تقريبا لكلا النوعين وتكون بشكل أفضل بالنسبة للدقائق النانوية شكل ((b, c-30-4)) منها للجسيمات المايكروية شكل (d, e-30-4) مع بعض التكتلات والتي تكون بشكل أكبر في الجسيمات المايكروية، والسبب الرئيس للتوزيع المنتظم على سطح الراتنج يعود إلى طريقة الموجات فوق الصوتية المثلى وأيضا محتوى التحميل المنخفض للجسيمات [148].



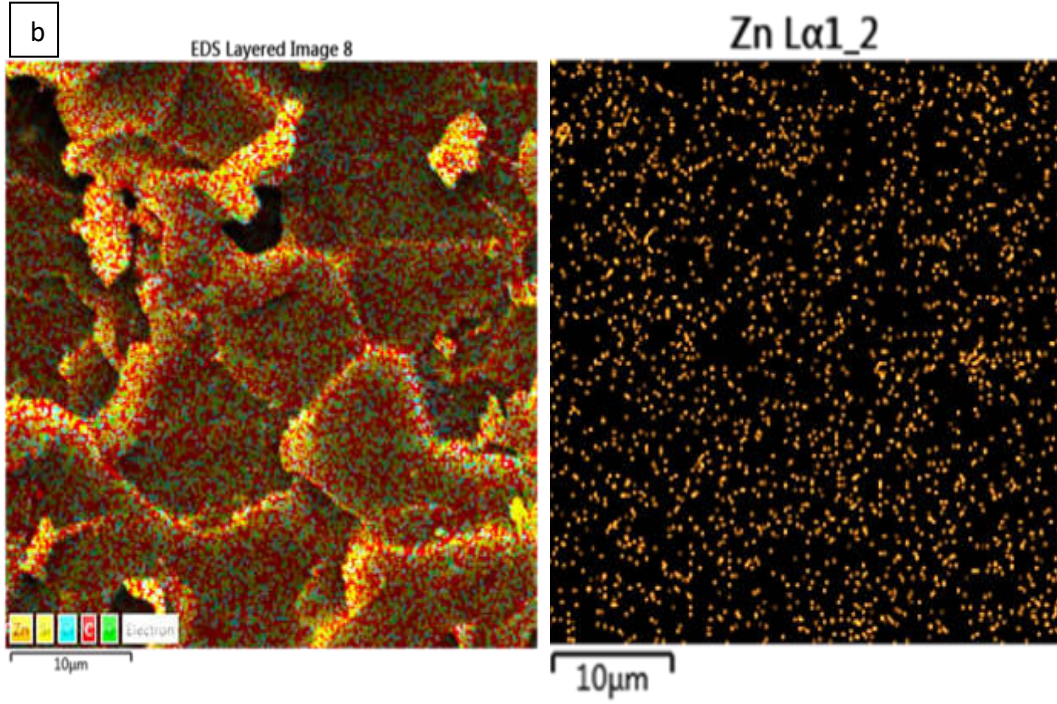
شكل (a-30-4): صورة (EDS) لسطح الكسر للإيبوكسي النقي.



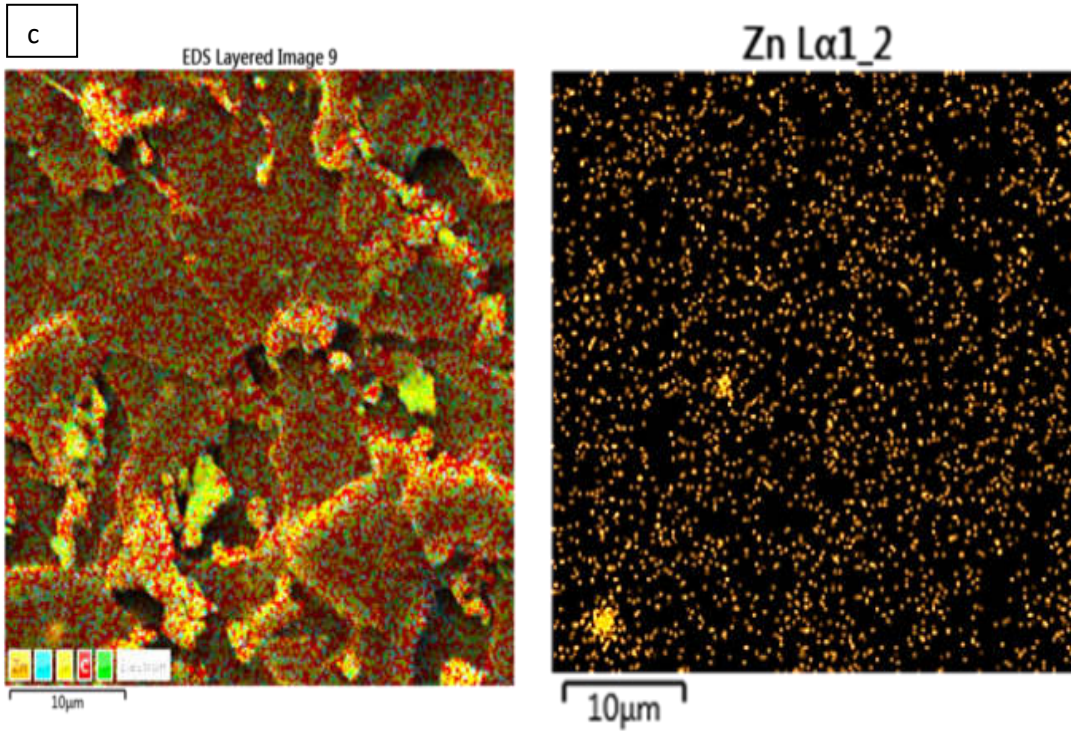


شكل (a-30-4): صورة (EDS) لسطح الكسر للايبوكسي النقي.



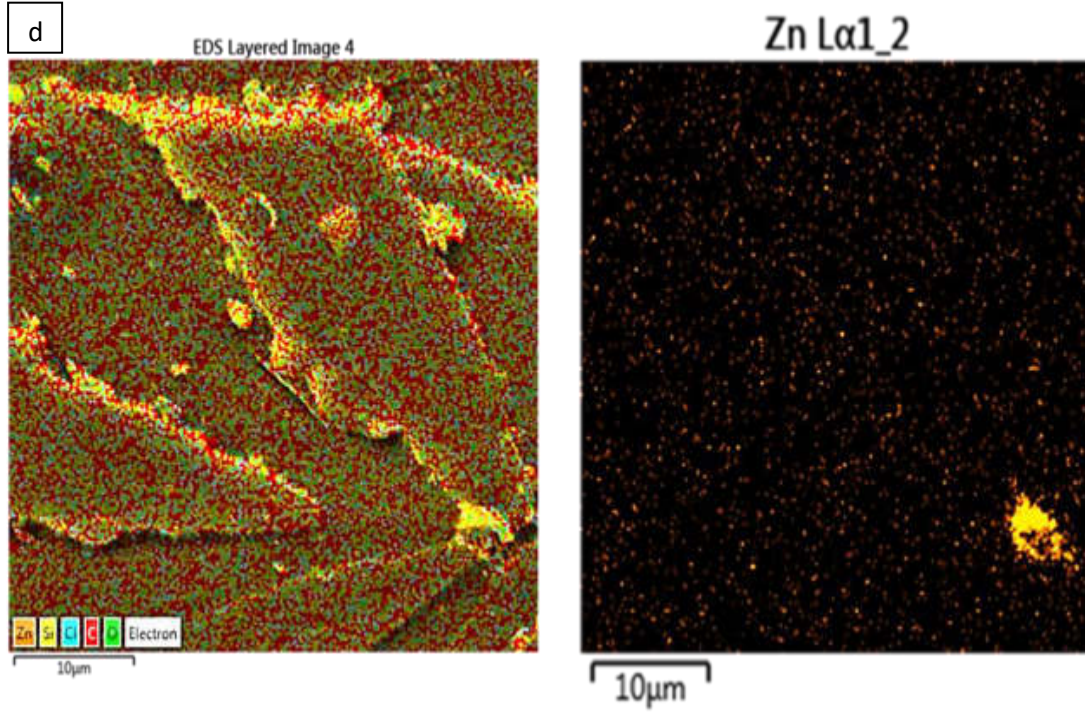


شكل (b-30-4): لسطح الكسر لمتراكب الايبوكسي المدعم بالدقائق النانوية بنسبة (0.5 wt%).

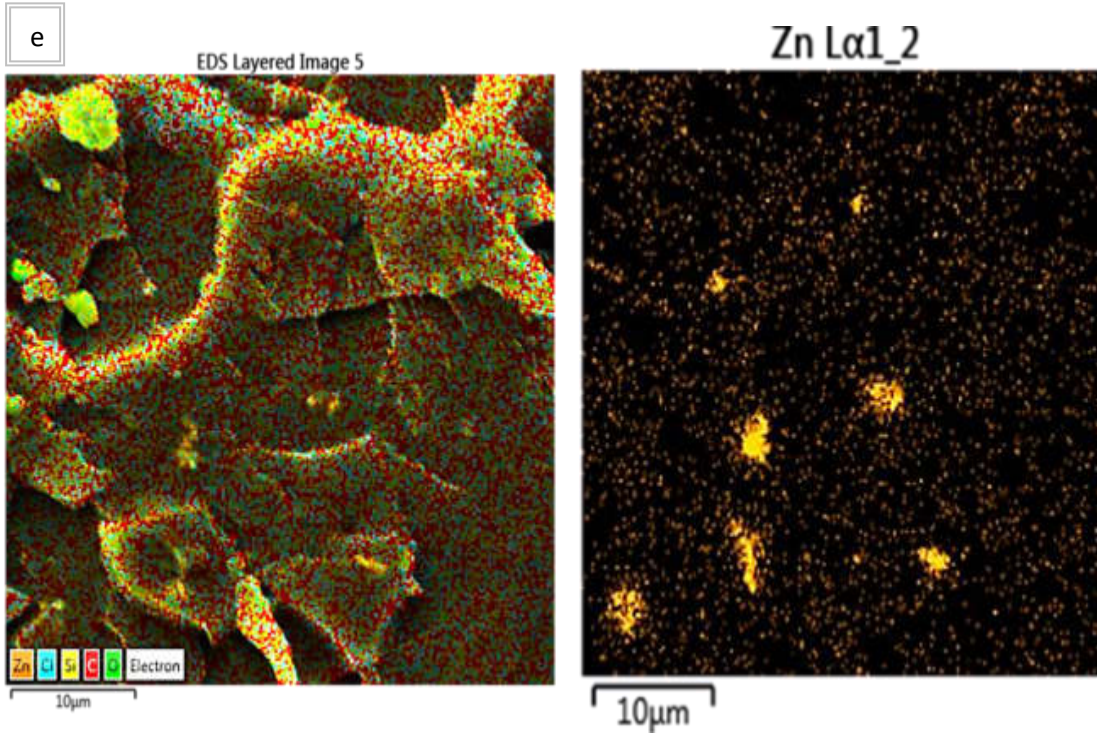


شكل (c-30-4): صورة (EDS) لسطح الكسر لمتراكب الايبوكسي المدعم بالدقائق النانوية بنسبة (0.7 wt%).





شكل (d-30-4): صورة (EDS) لسطح الكسر لمتراكب الايبوكسي المدعم بالدقائق المايكروية بنسبة (0.5 wt%).



شكل (e-30-4): صورة (EDS) لسطح الكسر لمتراكب الايبوكسي المدعم بالدقائق المايكروية بنسبة (0.7 wt%).

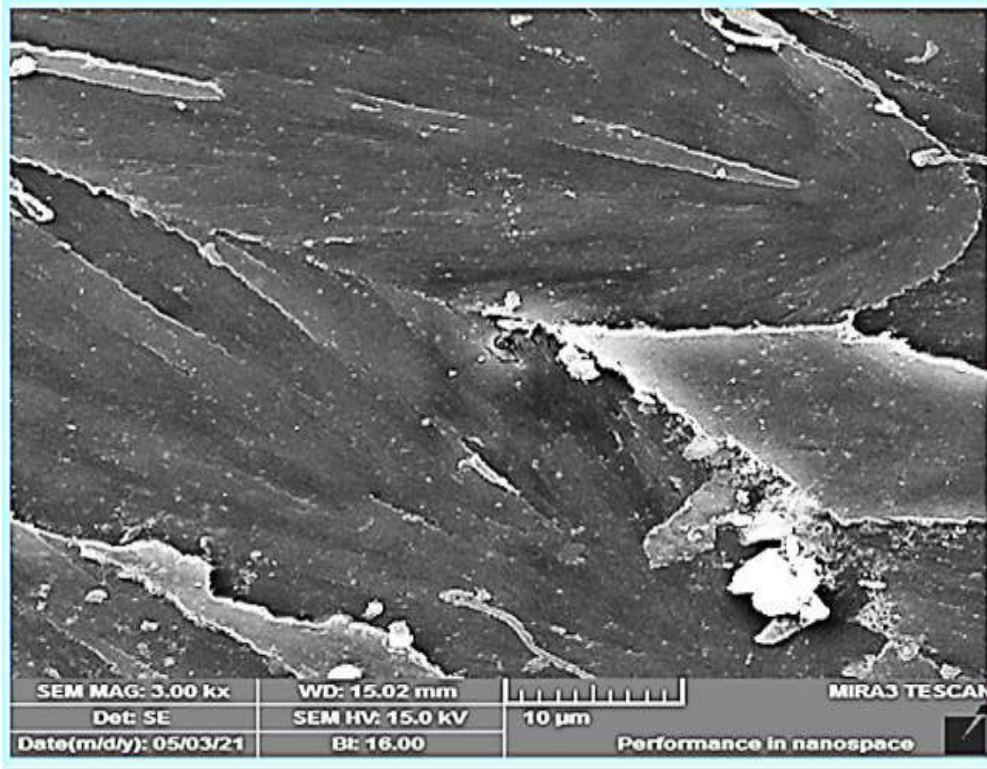
**(3-5-4) نتائج فحص (FE-SEM) لمنطقة الكسر نتيجة اختبار الشد للعينات****The Results of the Examination (FESEM) of the Fracture Area as a Result of the Tensile Test of the Samples**

تبين الأشكال (a, b, c, d-32,31-4) نتائج التصوير المجهرية (FE-SEM) لإختبارات المورفولوجية للمجهر الإلكتروني الماسح والمستخدم لدراسة البنية التركيبية لسطح الكسر الذي نتج من تأثير فحص عينات الشد لمادة الايبوكسي النقية وكذلك متراكباتها (ايبوكسي- اوكسيد الخارصين المايكروي والنانوي) (EP-Micro and Nano ZnO) المعززة بدقائق أوكسيد الخارصين النانوي والمايكروي كل على انفراد وبنسبة كسر (0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 %wt) لكل منهما، إذ تم استخدام المجهر الإلكتروني الماسح للانبعاثات الميدانية (FE-SEM) وبتكبيرات مختلفة، وتبين إن نوع الكسر هو من النوع القصيف (Brittle Fracture) ولجميع انواع العينات المدعمة بكل نوعي الدقائق المضافة المايكروية والنانوية، وكذلك لجميع النسب، وهذا النوع من الكسر يحدث بصورة مستقيمة ومفاجئة دون حدوث تعق للينة وتظهر حالة التجانس للعينات المذكورة، وكذلك يبين التصوير المجهرية (FE-SEM) إن الكسر من النوع الحدودي اذ تتحرك الشقوق وتنمو على حدود الحبيبات، إذ تبين الاشكال إن جميع المواد المتراكبة تكون لها بنية تشكليه ومستمرة أيضا، وذات أسطح خشنة بالنسبة للمتراكبات المدعمة بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروي كما في الشكل (b, c, d, e-31-4) وأقل خشونة الى ناعم بالنسبة للمتراكبات المدعمة بأوكسيد الخارصين النانوي الشكل (a, b, c, d-32-4) مقارنة بمادة الاساس شكل (a-31-4)، مما يشير إلى ان الترابط يكون جيد بين مكونات المادة الاساسية النقية للإيبوكسي والدقائق المضافة، وكذلك يلحظ من جهة أخرى ومن خلال التكبير أن اسطح الكسر للعينات المتراكبة المقواة بدقائق اوكسيد الخارصين النانوي والمايكروي تحتوي على دقائق تتجمع في الفراغات ضمن البنية المجهرية غير المتواصلة، كما يلحظ هنالك تشققات وفجوات مسامية تنمو ضمن البنية المجهرية للمادة المتراكبة المقواة بأوكسيد الخارصين النانوي والمايكروي بإتجاه معين مما يشير إلى اسلوب واحد لتبديد الطاقة والتي تؤدي إلى حصول الفشل في مناطق عالية الأنفعال [149].

كما هو موضح في الشكل (d, e-31-4). فإن إضافة مزيد من الدقائق المايكروية الى نسبة (0.5 and 0.7 wt%)، تصبح المسافة بين الجسيمات أقل مما عليه في حالة النسبة (0.1 and 0.3 wt%) مما يؤدي إلى تكوين عناقيد مستمرة كبيرة وغير متساوية، فإن هذه المجموعات ستتعارض مع مجموعات أخرى وتشكل فراغات في منطقة الواجهة المصادفة بشكل عام، كذلك

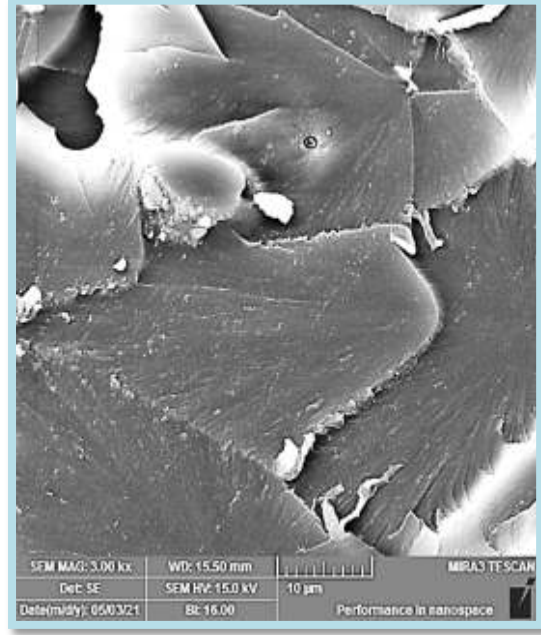
لوحظ ايضا أن هناك اختلافاً في حجم المجموعات مع تقليل المسافة بين الجسيمات، وهذا واضح جدا عند التحميل بالنسبة (0.7 wt%) اذ يتبين إنَّ هناك فراغات في منطقة الواجهة ومجموعات متصادمة عند سطح الراتنج [150]، وعند إضافة الدقائق النانوية إلى نسبة (0.1 and 0.3 wt%)، يلحظ من الشكل (a, b-32-4) أن هناك أختلاف في شكل وحجم الدقائق بسبب تفاعلها مع بعضها البعض وهناك مرئية تشكيل مجموعات عنقودية صغيرة، وكذلك أن قطر الدقائق النانوية يزداد قليلاً إلى مستوى ميكرون بسبب التصادم [151]، يُدرك أيضاً من الشكل أن إضافة نسبة (0.3 wt%) من الدقائق النانوية إلى الراتنج ينتج عنه تشتت جيد ويقلل من التكوين المحتمل للفراغات، ومن ثم تحسين قوة الترابط البيئي [152]. ويلحظ من الشكل (c, d-32-4) مع إضافة مزيد من الدقائق النانوية إلى نسبة (0.5 and 0.7 wt%) فإنَّ الدقائق النانوية تشغل مسافات قصيرة بين الجسيمات نظراً لقلّة مساحة السطح إلى نسبة الحجم في الراتنج والبدأ بالتكتل والتداخل مع بعضها البعض بسبب ارتفاع قوى فان در فالس التفاعلية [153,154].

a- pure

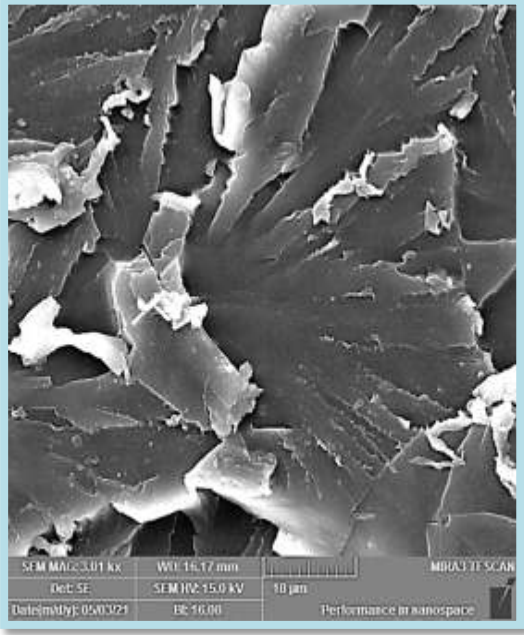




b-0.1 micro

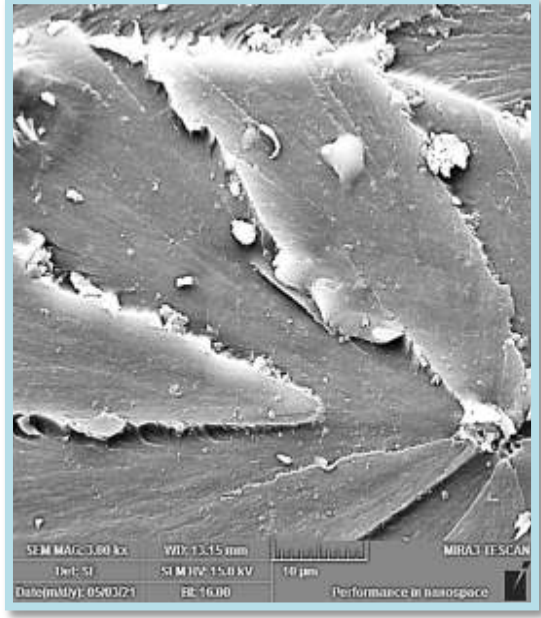


c-0.3 micro

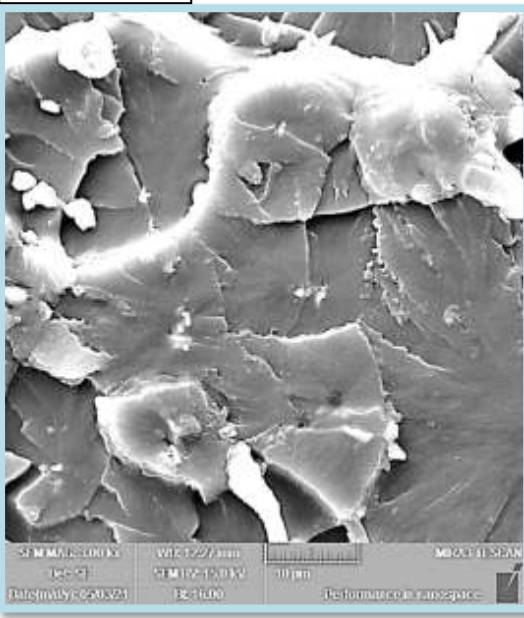


شكل (a,b,c-31-4): فحص (FE-SEM) يوضح بنية الكسر الحاصل نتيجة الشد للعينات النقية والعينات المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروي وحسب النسبة المئوية للتدعيم الموضحة على كل صورة.

d-0.5 micro

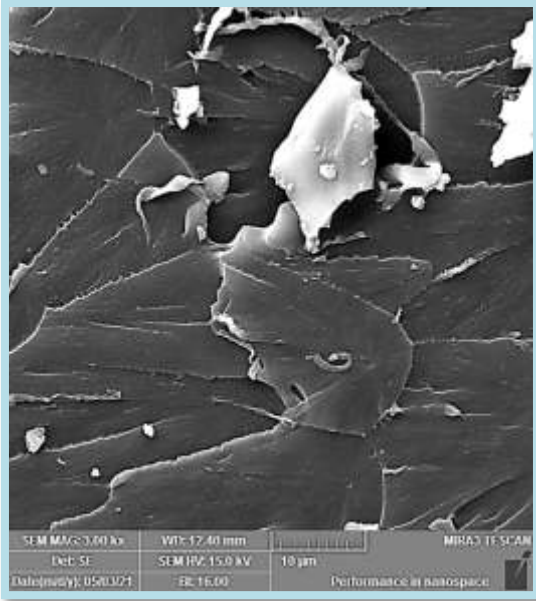


e-0.7 micro

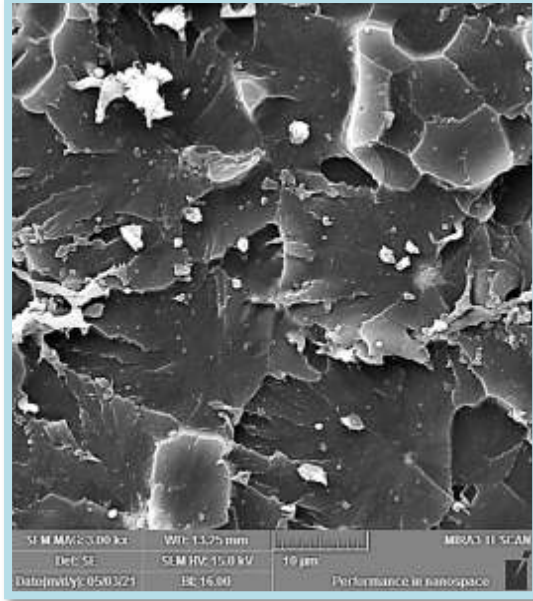


شكل (d, e -31-4): فحص (FE-SEM) يوضح بنية الكسر الحاصل نتيجة الشد للعينات النقية والعينات المدعمة بأوكسيد الخارصين المايكروي وحسب النسبة المئوية للتدعيم الموضحة على كل صورة.

a-0.1 nano

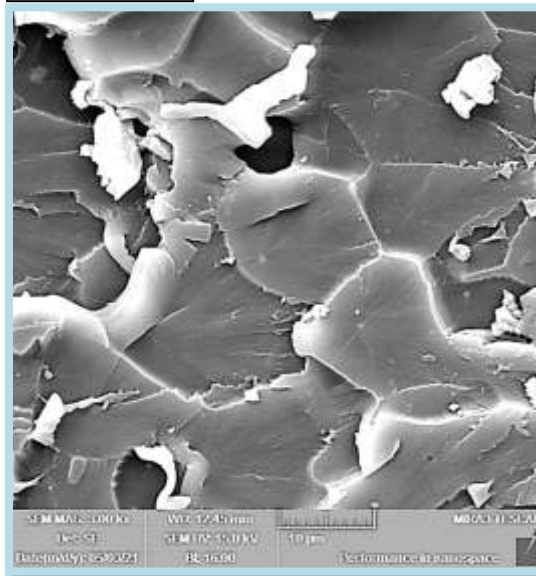


b-0.3 nano

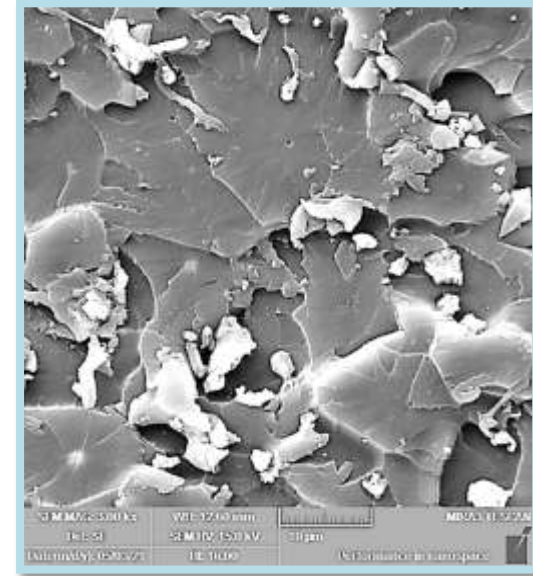


شكل (a, b-32-4): فحص (FE-SEM) يوضح بنية الكسر الحاصل نتيجة الشد للعينات النقية والعيّنات المدعمة بأوكسيد الخارصين النانوي وحسب النسبة المئوية للتدعيم الموضحة على كل صورة.

c-0.5 nano



d-0.7 nano



شكل (c,d-32-4): فحص (FE-SEM) يوضح بنية الكسر الحاصل نتيجة الشد للعينات النقية والعيّنات المدعمة بأوكسيد الخارصين النانوي وحسب النسبة المئوية للتدعيم الموضحة على كل صورة.

## Conclusions

## (6-4) الأستنتاجات

بعد إجراء الدراسة حول تدعيم راتنج الإيبوكسي بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية والنانوية وألياف النخيل الطبيعية ودراسة تأثير إضافة الدقائق (ZnO) المايكروية والنانوية والألياف على الخواص الميكانيكية ، الكهربائية العزلية ، الحرارية ، وبنية الكسر تم التوصل الى أهم الأستنتاجات الخاصة بهذه الدراسة وهي:-

## الخصائص الميكانيكية:

- ❖ لوحظ أنّ تأثير التدعيم بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية والنانوية أدى الى تحسين المعلمات الميكانيكية لراتنج الإيبوكسي مما يؤكد التأثير الإيجابي لعملية التدعيم.
- ❖ تميزت عينات الإيبوكسي المدعم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية والنانوية والألياف بأعلى قيم للمعلمات الميكانيكية عن مثيلاتها قبل التدعيم.
- ❖ بينت الدراسة إنّ التدعيم بإضافة دقائق أوكسيد الخارصين النانوية أفضل من التدعيم بدقائق أوكسيد الخارصين المايكروية لنفس النسب الوزنية.
- ❖ وجد إن التدعيم بأنواعه أدى الى زياده في قيم الصلادة وأغلب قيم الصدمة بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي قبل التدعيم.
- ❖ تنوع مادة التدعيم كمتراكب أدى الى ظهور سلوك ميكانيكي مميز بزيادة متانة المادة ومقاومتها للإجهادات الخارجية مما يعطينا تصور جديد في تطبيقات مميزة لمواد التدعيم الجديدة.
- ❖ لوحظ تحسن الخواص الميكانيكية عند التدعيم بألياف النخيل الطبيعية مما يفتح المجال لاستثمارها في التطبيقات العملية

## الخصائص الكهربائية العزلية :

- ❖ بينت الدراسة ان التدعيم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية (ZnO NPs) تميزت بأعلى قيم لكل من ثابت العزل الكهربائي وعامل فقد العزلي عن ما هو عليه في المترابكات المدعمة بدقائق اوكسيد الخارصين المايكروية (ZnO MPs) لراتنج الايبوكسي عند نفس التردد.

- ❖ أظهرت النتائج المختبرية ان قيمة كلاً من (ثابت العزل الكهربائي وعامل الفقد العزلي) تزداد مع زيادة النسبة الوزنية لمواد التدعيم عند نفس التردد لكافة العينات.
- ❖ نقصان الخصائص الكهربائية العزلية المتمثلة بـ (ثابت العزل الكهربائي وعامل الفقد العزلي) لكافة العينات المدعمة مع زيادة التردد ولجميع النسب الوزنية في الترددات الواطئه، بينما في الترددات العالية فإن هذه الخصائص العزلية لاتعتمد على التردد وتبقى ثابتة مما يشير الى إمكانية التطبيق بنسب وزنية مختلفة في التطبيقات التي تتطلب استقرار في الخصائص العزلية في الترددات العالية.

#### الخصائص الحرارية :

- ❖ بينت الدراسة تحسن في قيم معامل التوصيل الحراري لراتنج الأيبوكسي بعد عملية التدعيم لكافة المواد المدعمة.
- ❖ اضافة الدقائق النانوية (Nano ZnO) الى المترابك ادى الى نقصان قيمة معامل التوصيل الحراري للمترابك وزيادتها للمترابك المضاف اليه دقائق مايكروية (Micro Zno) رغم تناقصها ايضا بزيادة النسب الوزنية.
- ❖ لوحظ تحسن الخواص الحرارية عند التدعيم بألياف النخيل الطبيعية مما يفتح المجال لإستثمارها في التطبيقات العملية.

#### (7-4) التوصيات والإعمال المستقبلية Recommendations and Future

##### Actions

- ❖ دراسة خواص ميكانيكية أخرى مثل فحص (الزحف و الكلال و الانضغاطية) وكذلك دراسة اختبار التفكك الحراري TGA لعينات البحث.
- ❖ دراسة خواص الانتشارية وتأثير المحاليل (نوع المحلول، تركيز المحلول، زمن الغمر) في جميع النماذج الراتنجية قبل وبعد التدعيم بالدقائق المايكروية والنانوية والألياف.
- ❖ دراسة تأثير إضافة نسب اكبر من الدقائق المايكروية والنانوية على التوصيلية الكهربائية بهدف استخدامها ضمن اجزاء خلية شمسية بوليمرية.



- ❖ استعمال مواد تدعيم أخرى مثلاً (الياف سعف النخيل- كفلر- كاربون-قشور) ومقارنتها بعينات الدراسة.
- ❖ دراسة إضافة مواد نانوية اخرى على متراكبات الايبوكسي المدعمة بأالياف والدقائق النانوية وتأثير هذه الإضافة في الخواص الفيزيائية .
- ❖ دراسة زيادة نسبة التدعيم بالياف النخيل الطبيعية وامكانية تحسين خصائصها الميكانيكية لاستعمالها في التطبيقات العملية

## References

## المصادر

- [1] R. F. Gibson, “Principles of composite material mechanics”, 4th Edition, CRC press, U.S, 2016.
- [2] P. M. Visakh and A. O. Semkin, “High performance polymers and their Nanocomposites”, John Wiley & Sons, U.S, 2018.
- [3] M. Akay, “Introduction to polymer science and technology”, Bookboon, 2012.
- [4] T. Osswald and N. Rudolph, “Polymer rheology”, Carl Hanser, München, 2015.
- [5] R. O. Ebewele, “Polymer science and technology”, Book, CRC Press, 1st Edition, 2000.
- [6] M. Moniruzzaman and K. I. Winey, “Polymer nanocomposites containing carbon nanotubes”, Macromolecules, ACS Publications, vol. 39, no. 16, pp. 5194-5205, 2006.
- [7] A. J. Kinloch, M. L. Yuen, and S. D. Jenkins, “Thermoplastic-toughened epoxy polymers”, Journal of Materials Science, vol. 29, pp. 3781–3790, 1994.
- [8] J. P. Pascault and R. J. Williams, “Self-healing epoxy composites” Wiley-Vch Verlag Gmbh & Co. Kga, 2010.
- [9] R. A. Chowdhurya, M. V. Hosura, M. d. Nuruddina, A. T. Ashok, K.V. Boddub, and S. Jeelania, “Self-healing epoxy composites: preparation, characterization and healing performance”, Journal of Materials Research and Technology, vol. 4, no. 1, pp. 33-43, 2015.

- [10] U. Vietri, L. Guadagno, M. Raimondo, L. Vertuccio, and K. Lafdi, “Nanofilled epoxy adhesive for structural aeronautic materials”, *Composites Part B: Engineering*, vol. 61, pp 73-83, 2014.
- [11] L. T. Drzal, “The interphase in epoxy composites”, *Epoxy resins and composites*, *Advances in Polymer Science*, vol. 75, no. 2, pp 1-32, 1986.
- [12] B. Ellis, “Chemistry and technology of epoxy resins”, London: Blackie Academic & Professional, 1st. ed, pp. 24-26, 1993.
- [13] J. Pascault and R. J. J Williams, “Epoxy polymers: new materials and innovations”, John Wiley & Sons, 2009.
- [14] S. Han, W. G. Kim, H. G. Yoon, and T. J. Moon, “Curing reaction of biphenyl epoxy resin with different phenolic functional hardeners”, *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, vol. 36, Issue. 5, pp. 773-783, 1998.
- [15] Y. Sato, Y. Kondo, K. Tsujita, and N. Kawai, “Degradation behaviour and recovery of bisphenol-A from epoxy resin and polycarbonate resin by liquid-phase chemical recycling”, *Polymer degradation and stability*, vol. 89, Issue. 2, pp. 317-326, 2005.
- [16] Y. He, “Preparation of polyaniline/nano-ZnO composites via a novel Pickering emulsion route”, *Powder Technology*, vol. 147, Issue. 1-3, pp. 59-63, 2004.
- [17] S. Tewari and A. Bhattacharjee, “Structural, electrical and optical studies on spray-deposited aluminium-doped ZnO thin films”, *Pramana*, vol. 76, no. 1, pp. 153–163, 2011.
- [18] E. C. Díaz , V. P. Rodríguez, A. D. Moller , E. O. Borunda, R. C. Rodríguez, I. P. Quintana, and A. Iribarren, “Electrical, structural

- and optical properties of ZnO thin films grown by pulsed laser deposition”, *International Journal of Physical Sciences*, vol. 6, no. 18, pp. 4382-4387, 2011.
- [19] X. Wang, Y. Ding, C. J. Summers, and Z. L. Wang, “Large-scale synthesis of six-nanometer-wide ZnO nanobelts”, *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 108, no. 26, pp. 8773–8777, 2004.
- [20] U. Koch, A. Fojtik, H. Weller, and A. Henglein, “Photochemistry of semiconductor colloids. Preparation of extremely small ZnO particles, fluorescence phenomena and size quantization effects”, *Chemical Physics Letters*, vol. 122, pp. 507–510, 2000.
- [21] X. Y. Kong and Z. L. Wang, “Spontaneous polarization-induced nanohelices, nanosprings, and nanorings of piezoelectric nanobelts”, *Nano Letters*, vol. 3, no. 12, pp. 1625–1631, 2003.
- [22] C. Y. Lee, T. Y. Tseng, S. Y. Li, and P. Lin, “Effect of phosphorus dopant on photoluminescence and field-emission characteristics of Mg<sub>0.1</sub>Zn<sub>0.9</sub>O nanowires”, *Journal of Applied Physics*, vol. 99, no. 2, pp. 24303, 2006.
- [23] C. Chen, P. Liu, and C. Lu, “Investigation of photocatalytic degradation using nano-sized ZnO catalysts”, *Chemical Engineering Journal*, vol. 144, no. 3, pp. 509–513, 2008.
- [24] M. Hudlikar, S. Joglekar, M. Dhaygude, and K. Kodam, “Latex-mediated synthesis of ZnS nanoparticles: green synthesis approach”, *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 14, no. 5, pp. 1-6, 2012.
- [25] G. Alagumuthu and R. Kirubha, “Green synthesis of silver nanoparticles using *Cissus quadrangularis* plant extract and their

- antibacterial activity”, *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 2, no. 3, pp. 30–33, 2012.
- [26] T. K. Subramanyam, B. S. Naidu, and S. Uthanna, “Physical properties of zinc oxide films prepared by reactive magnetron sputtering at different sputtering pressures”, *Cryst. Res. Technol.*, vol. 35, no. 10, pp. 1193-1202, 2000.
- [27] U. Ozgur, “A Comprehensive review of ZnO materials and devices”, *J. of Appl. Phys.*, vol. 98, pp. 286-301, 2005.
- [28] J. K. Behere, “Synthesis and characterizations of ZnO nanoparticles”, M.Sc Thesis, National Institute of Technology, India, 2005.
- [29] Y. Caglar, M. Zor, M. Caglar, and S. Ilican, “Influence of the indium incorporation on the structural and electrical properties of zinc oxide films”, *J. Optoelectronics and Advanced Materials*, vol. 8, no. 5, pp. 1867–1873, 2006.
- [30] S. S. Kumar, P. Venkateswarlu, V. R. Rao, and G. N. Rao, “Synthesis, characterization and optical properties of zinc oxide nanoparticles”, *International Nano Letters*, vol. 3, no. 1, pp. 1-6, 2013.
- [31] S. Sabir, M. Arshad, and S. K. Chaudhari, “Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications”, *The Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.
- [32] N. Serpone, D. Daniele, and A. Angelo, “Inorganic and organic UV filters: their role and efficacy in sunscreens and sun care products”, *Inorganica Chimica Acta*, vol. 360, no. 3, pp. 794-802, 2007.

- [33] V. Parihar, M. Raja, and R. Paulose, "A brief review of structural, electrical and electrochemical properties of zinc oxide nanoparticles", *Reviews on Advanced Materials Science*, vol. 53, no. 2, pp. 119-130, 2018.
- [34] D. Krishnan, and T. Pradeep, "Precursor-controlled synthesis of hierarchical ZnO nanostructures, using oligoaniline-coated Au nanoparticle seeds", *Journal of crystal growth*, vol. 311, no. 15, pp. 3889-3897, 2009.
- [35] A. E. Naaman "High performance fiber reinforced cement composites", *High-performance construction materials: science and applications*. Singapore: World Scientific Publishing, pp. 91-153, 2008.
- [36] B. Deepaa, E. Abraham, B. M. Cherian, A. Bismarck, J. Blaker, L. A. Pothan, A. L. Leao, S. F. Souza, and M. Kottaisamy, "Structure, morphology and thermal characteristics of banana nanofibers obtained by steam explosion", *Bio resource Technology*, vol. 102, no. 2, pp. 1988-1997, 2011.
- [37] S. Dixit, R. Goel, A. Dubey, P. Shivhare, and T. Bhalavi, "Natural fibre reinforced polymer composite materials", *A Review Polymers from Renewable Resources*, vol. 8, no. 2, pp. 71-78, 2017.
- [38] J. Gao, J. Li, B. C. Benicewicz, S. Zhao, H. Hillborg, and L. S. Schadler, "The Mechanical properties of epoxy composites filled with rubbery copolymer grafted SiO<sub>2</sub>", *Polymers*, vol. 4, no. 1, pp. 187-210, 2012.

- [39] S. Parbin, N. K. Waghmare, S. K. Singh, and S. Khan, “Mechanical properties of natural fiber reinforced epoxy composites”, A review. *Procedia Computer Science*, vol. 152, pp. 375-379, 2019.
- [40] E. Omrani, P. L. Menezes, and P. K. Rohatgi, “State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fibers in the green materials world”, *Engineering Science and Technology: an International Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 717-736, 2016.
- [41] F. Huang, Y. Liu, X. Zhang, J. Gao, Z. Song, B. Tang, and J. Qiao, “Interface and properties of epoxy resin modified by elastomeric nano-particles”, *Science in China Series B: Chemistry*, vol. 48, no. 2, pp. 148–155, 2005.
- [42] M. S. Kirugulige and H. V Tippur, “Mixed-mode dynamic crack growth in functionally graded glass-filled epoxy”, *Exp. Mech*, vol. 46, no. 2, pp. 269–281, 2006.
- [43] احمد سرحان احمد، ”دراسة الخصائص الميكانيكية والحرارية لمتراكبات بوليمرية من قشور جوز الهند“، رسالة الماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، 2007.
- [44] A. A. Abdul Razak, N. J. Salah, and W. A. Kazem, “Electrical and thermal properties of epoxy resin filled with carbon black”, *Engineering and Technology Journal*, vol. 27, Issue. 11, pp. 2223-2232, 2009.
- [45] H. Smaoui, L. E. Mir, H. Guermazi, S. Agnel, and A. Toureille, “Study of dielectric relaxations in zinc oxide-epoxy resin nanocomposites”, *J. Alloys Compd.*, vol. 477, no. 1–2, pp. 316–321, 2009.
- [46] B. Ramezanzadeh, M. M. Attar, and M. Farzam, “Effect of ZnO

- nanoparticles on the thermal and mechanical properties of epoxy-based nanocomposite”, *J. Therm. Anal. Calorim*, vol. 103, no. 2, pp. 731–739, 2011.
- [47] A. J. Farhan and H. I. Jaffer, “Effect of water on some mechanical properties for sawdust and chopped reeds/UPE composites”, *Baghdad Sci. J*, vol. 8, no. 2, 2011.
- [48] P. J. Perez Espitia, N. F. Ferreira Soares, J. S. Reis Coimbra, N.J. Andrade, R. S. Cruz, and E. A. Alves Medeiros, “Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications”, *Food bioprocess Technol*, vol. 5, no. 5, pp. 1447–1464, 2012.
- [49] B. P. Chang, H. M. Akil, and R. B. M. Nasir, “Comparative study of micro-and nano-ZnO reinforced UHMWPE composites under dry sliding wear”, *Wear journal*, vol. 297, Issue. 1–2, pp. 1120–1127, 2013.
- [50] S. N. Rafeeq and S. M. Hussein, “Characteristic of hybrid chestnut shell fillers/epoxy composite”, *Engineering and Technology Journal*, vol. 31, no. 3-B, pp. 368–380, 2013.
- [51] C. R. Amaral, R. J. S. Rodríguez, M. L. T. Bessa, V. S. Cândido, and S. N. Monteiro, “Mechanical properties of DGEBA/TEPA modified epoxy resin”, *Materials Science Forum*, vol. 775, no. 776, pp. 588–592, 2014.
- [52] طيبة مجيد حميد، ”دراسة تأثير المواد النانوية على الخصائص الفيزيائية لخلائط الايبوكسي“، اطروحة دكتوراه مقدمة الى الجامعة التكنولوجية، بغداد، 2016.
- [53] A. Mohammed, D. Bachtiar, J. P. Siregar, and M. R. M. Rejab, “Effect of sodium hydroxide on the tensile properties of sugar palm



- fibre reinforced thermoplastic polyurethane composites”, *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 1765–1777, 2016.
- [54] A. Atiqah, M. Jawaid, S. M. Sapuan, and M. R. Ishak, “Mechanical and thermal properties of sugar palm fiber reinforced thermoplastic polyurethane composites: effect of silane treatment and fiber loading”, *J. Renew. Mater.*, vol. 6, no. 5, pp. 477–492, 2018.
- [55] V. M. Tuong, N. Van Huyen, N. T. Kien, and N. Van Dien, “Durable epoxy@ ZnO coating for improvement of hydrophobicity and color stability of wood”, *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 9, p. 1388, 2019.
- [56] U. Abdus Samad, M. A. Alam, E. S. Sherif, M. Alam, H. Shaikh, N. H. Alharthi, and S. M. Al-Zahrani, “Synergistic effect of Ag and ZnO nanoparticles on polypyrrole-incorporated epoxy/2pack coatings and their corrosion performances in chloride solutions”, *Coatings*, vol. 9, no. 5, p. 287, 2019.
- [57] T. ur Rahman, S. Amin, H. Shaukat, S. S. Haroon, I. A. Sajjad, and M. Awais, “Effect of nano filler concentration on leakage current and partial discharge properties of zepoxy nano composites”, *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 10, pp. 1–9, 2019.
- [58] G. Rajesh, M. V. Raghavendra Rao, K. Vijay, and S. Gopinath, “Evaluation of tensile properties of nanoclay-filled madar fiber-reinforced polyester hybrid composites”, *Advances in Manufacturing Technology*, Springer, pp. 1–8, 2019.
- [59] S M. Babu and M. V. Rao, “Experimental studies on the effect of basalt powder inclusion on mechanical properties of hybrid epoxy and polyester composites reinforced with glass fiber”, *Advances in Manufacturing Technology*, Springer, pp. 25–31, 2019.

- [60] A. Thiagarajan, K. J. Bose, K. Velmurugan, and V. S. Venkatachalapathy, “Study on tensile strength of GFRP nanocomposites by VARTM”, *Advances in Manufacturing Technology*, Springer, pp. 351–360, 2019.
- [61] أسماء عماد النعيمي، ”دراسة الخواص الكهربائية والبصرية للبوليمرات الخطية النقية والمشوبة بالمركبات [ ZnO,CuSO<sub>4</sub> ]“، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل، 2005.
- [62] P. C. Hiemenz, and T. P. Lodge, “Polymer chemistry”, CRC. press, 2007.
- [63] N. G. Mc Crum, C. P. Buckley, and C. B. Bucknall, “Principles of polymer engineering”, 2nd ed, Oxford, 1997.
- [64] وسام ياس خضير، ”تأثير اضافة بعض المواد النانوية على الخصائص الفيزيائية لمتراكبات بوليمرية مدعمة بالألياف الصناعية“، Diss، جامعة ديالى، 2019.
- [65] C. Sequeira and D. Santos, “Polymer electrolytes: fundamentals and applications”, 1st ed wood head, 2010.
- [66] F. Rodriguez, C. Cohen, C. Ober, and L. Archer, “Principle of polymer systems”, CRC Press, 2014.
- [67] اكرم عزيز محمد، ”كيمياء اللدائن“، جامعة الموصل، 1993.
- [68] انا تاكر، ترجمة أكرم عزيز محمد، ”الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات“، جامعة الموصل، 1984.
- [69] M. J. John and S. Thomas, “Natural polymers composites”, Royal Society of Chemistry, 2012.
- [70] D. Bhattacharyya and S. Fakirov, “Synthetic polymer-polymer composites”, Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2012.

- [71] O. Olatunji, “Natural polymers: industry techniques and applications”, Springer, 2015.
- [72] M. Vikas, “Barrier properties of polymer clay nanocomposites”, Nova Science Publishers, 2010.
- [73] H. Mark, “Physical chemistry of high polymeric systems”, Journal of Chemical education, 1950.
- [74] حسين محمد الخفاجي، ”دراسة الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة المقواة بقشور الالمنيوم“، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، قسم هندسة المكائن والمعدات، 1999.
- [75] R. Rethon, “Particulate-filled polymer composites”, Ismithers Rapra Publishing, 2nd ed, 2003.
- [76] P. A. Schweitzer, “Corrosion of polymers and elastomers”, CRC Press, 2006.
- [77] M. Ahmed, “Effect of recycling in post consumer polystyrene cups”, M.Sc Thesis, Plastics Technology, 2016.
- [78] S. J. Pearton, D. P. Norton, K. Ip, Y .W . Heo, and T. Steiner, “Recent progress in processing and properties of ZnO”, Superlattices and Microstructures, vol. 34, Issue. 1-2, pp. 3-32, 2003.
- [79] V. K. Thakur, M. K. Thakur and M. R. Kessler, “Handbook of composites from renewable materials, nanocomposites: science and fundamentals”, John Wiley \& Sons, 2017.
- [80] B. S. Mitchell, “An introduction to materials engineering and science for chemical and materials engineering”, 1st ed, John wiley and sons, Inc., Hoboken, New jersey, 2004.

- [81] T. Kumeria, A. Santos, and D. Losic, “Nanoporous alumina: fabrication, structure, properties and applications”, Springer Series in Materials Science, 2014.
- [82] T. W. Clyne and D. Hull, “Introduction to composite materials”, Cambridge university press, 2019.
- [83] عدنان رعد السامرائي، ”دراسة الخواص الفيزيائية لراتنج البولي استر غير المشبع المقوى بمواد طبيعية كبدائل صناعية“، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، 2004.
- [84] D. I. Bower, “An introduction to polymer physics”, American Journal of Physics, vol. 71, Issue. 3, 2003.
- [85] D. Gay and S. Hoa, “Composite materials: design and applications”, CRC press, 2nd ed, 2007.
- [86] R. Casati, “Aluminum matrix composites reinforced with alumina nanoparticles”, Springer International Publishing, 2016.
- [87] R. Jones, “Mechanics of composite materials”, 2nd ed, CRC press, 2018.
- [88] M. Biron, “Thermosets and composite”, Elsevier Science Ltd, 2003.
- [89] K. Chawla, “Composite materials: science and engineering”, Springer Science & Business Media, 2012.
- [90] سماره جاسم محمد الجبوري، ”دراسة بعض الخصائص الميكانيكية لمتراكب بوليمر – سيراميك“ ، رسالة ماجستير، علوم مواد، جامعة بغداد، 2008.
- [91] J. Besson, G. Cailletaud, J. L. Chaboche, and S. Forest, “Non-linear mechanics of materials”, Springer Science & Business Media, vol. 167, 2009.

- [92] P. K. Mallick, "Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design", 3rd ed, CRC press, 2007.
- [93] F. M. AL-Oqla, and M. S. Salit, "Materials selection for natural fiber composites", Woodhead Publishing, 2017.
- [94] V. K. Thakur, M. K. Thakur and R. K. Gupta, "Hybrid polymer composite materials: structure and chemistry", Woodhead Publishing, 2017.
- [95] F. K. Ko and Y. Wan, "Introduction to nanofiber materials", Cambridge University Press, 2014.
- [96] C. Caucheteur, H. Ottevaere, T. Nasilowski, K. Chah, G. Statkiewicz, W. Urbanczyk, F. Berghmans, H. Thienpont, and P. Mégret, "Superimposed bragg gratings written into polarization maintaining fiber for monitoring micro-strains", In Optical Fibers: Applications, International Society for Optics and Photonics, September, vol. 5952, p. 59520M, 2005.
- [97] J. F. Shackelford, "Introduction to material science for engineers", 8th ed, Upper Saddle River: Pearson education, p. 687. 2016.
- [98] I. Emri, "Rheology of solid polymers", Rheology Reviews, vol. 2005, p. 49, 2005.
- [99] W. Soboyejo, "Mechanical properties of engineer materials", CRC press, vol. 152, p. 608, 1st ed, 2002.
- [100] I. M. Ward and J. Sweeney, "Mechanical properties of solid polymers", 3rd ed, John Wiley & Sons, 2012.
- [101] A. P. Boresi, R. J. Schmidt, and O. M. Sidebottom, "Advanced mechanics of materials", vol. 6, New York: Wiley, 1985.

- [102] R. N. Yong, E. A. Fattah, and N. Skiadas, "Vehicle traction mechanics", Elsevier Science Publishers, 2012.
- [103] Y. Fukui, K. Takashima, and C. B. Ponton, "Measurement of young's modulus and internal friction of an in situ Al-Al<sub>3</sub>Ni functionally gradient material", Journal of materials science, vol. 29, no. 9, pp. 2281-2288, 1994.
- [104] F. Oleg and D. Beilin, "Advanced polymer concretes and componds", CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014.
- [105] J. M. Hodgkinson, "Mechanical testing of advance fiber composites", Woodhead Publishing Ltd & CRC Cambridge, England press LLC, 2000.
- [106] B. S. Mitcheu, "An introduction to material engineering and science" United states of America, 2004.
- [107] سيناى ابراهيم حسين الشمري، "قياس معامل يونك، متانة الصدمة والتوصيلية الحرارية لمتراكبات الايبوكسي والبولي استر غير المشبع المدعمة بطبقات هجينية بألياف الكفلر و الكربون"، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة بغداد، 2005.
- [108] R. Brown, "Hand book polymer testing", Marrcel Dekker, Inc, 1999.
- [109] W. D. Vian and N. L. Denton, "Hardness comparison of polymer specimens produced with different processes", West Lafayette, Indiana, 2018.
- [110] W. Bolton, "Engineering materials technology", Third edition ,Batterworth (Hienman), NewYork, 1998.
- [111] S. C. Tjong and Y. M. Mai, "Physical propertise and applications of polymer nanocomposites", Wood head Publishing Limited, 2010.

- [112] R. A. Donald and P. P. Phule, "The science of engineering of material", 4th ed, PWC, 2004.
- [113] N. G. Mccrum, C. P. Buckley and C. B. Bucknall, "Principle of polymer engineering", 2nd ed, John Wily and Sons, NewYork, 1997.
- [114] K. C . Kao, "Dielectric phenomena in solid", Academic press, 1st ed, 2004.
- [115] Z. Han and A. Fina, "Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites", Progress in Polymer Science, vol. 36, no. 7, pp. 914-944, 2011.
- [116] D. Q. Tan, "The search for enhanced dielectric strength of polymer-based dielectrics: A focused review on polymer nanocomposites", Journal of Applied Polymer Science, vol. 137, Issue. 33, pp. 49379, 2020.
- [117] Y. Thakura, B. Zhang, R. Dong, W. Lu, C.Iacob, J.Runt, J.Bernholc, and Q. M. Zhang, "Generating high dielectric constant blends from lower dielectric constant dipolar polymers using nanostructure engineering", Nano Energy, vol. 32, pp. 73-79, 2017.
- [118] E. Riande and R. D-Calleja, "Electrical properties of polymers", Marcel Dekker, Inc, CRC Press, 2004.
- [119] R. L. Sutherland, "Polarization and switching properties of holographic polymer-dispersed liquid-crystal gratings", I. Theoretical model, JOSA B, vol. 19, Issue. 12, pp. 2995-3003, 2002.
- [120] رفته عامر سلمان، "دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية لمركب بوليمر عضوي-بوليمر لا عضوي"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، كلية العلوم للبنات، 2012.

- [121] H. w. Abdalluh, O. A. Mahmood, A. J. Kadham Algidsawi, and A. J. Kadham, “The effect of thickness and number of layers on thermal conductivity and hardness properties of epoxy reinforcement fiber glass composite”, Journal of Babylon University/ pure and applied science, vol. 25, no. 3, pp. 1181-1187, 2017.
- [122] M. Meyers and K. Chawla, “Mechanical behavior of materials”, Cambridge University Press, 2008.
- [123] M. Ohring, “Engineering materials science”, Academic Press, 1995.
- [124] A. J. Kinloch and R. J. Young, “Fracture behaviour of polymers”, Springer Science & Business Media, B.V, 2013.
- [125] D. R. Askeland, P. P. Phulé, W. J. Wright, and D. K. Bhattacharya, “The science and engineering of material”, Springer, Dordrecht, 2003.
- [126] K. S. Mazdiyasni, “Fiber reinforced ceramic composites: materials, processing and technology”, General San Diego, California, William Andrew, 1990.
- [127] M .Elices and J. Llorca, “Fiber fracture”, Elsevier Science Ltd, 2002.
- [128] M. S. Bagheri, F. A. Ghasemi, I. Ghasemi and M. H. Saberria, “Analysis of the young’s modulus and impact strength of a-glass epoxy/nano-silica ternary nano-composites using surface response methodology”, Journal of Failure Analysis and Prevention, vol. 18, no. 6, pp. 1472-1483, 2018.
- [129] وسن جبار مناتي، ”دراسة السلوك الفيزيائي لمادة متراكبة بوليمرية دقائقية“، رسالة ماجستير، قسم علوم تطبيقية /جامعة تكنولوجيا، 2005.
- [130] عمر عبد الله الهزازي، ”كيمياء البوليمرات“، السعودية، جامعة أم القرى، 2008.



[131] S. Feli and M. M. Jalilian, “Experimental and optimization of mechanical properties of epoxy/nanosilica and hybrid epoxy/fiberglass/nanosilica composites”, Journal of Composite Materials, SAGE Publications Sage UK: London, England, vol. 50, no. 28, pp. 3891-3903, 2016.

[132] سعد ميخائيل ايليا، ”دراسة الخصائص الميكانيكية والتوصيلية الحرارية لمادة متراكبة ذات اساس بوليمري مقواة بدقائق الالمنيوم واوكسيد الالمنيوم“، رسالة ماجستير، هندسة المواد/الجامعة التكنولوجية، 2007.

[133] N.G. Mccrum, C.P.Buckley and C.B.Bucknall, “Principle of polymer engineering”, 2nd ed, John Wiely and Sons, New York, 1997.

[134] M. P. Groover, “Fundamental & modern manufacturing: Meterials, Processes and Systems”, Published by New Jersey: Prentice Hall, 1996.

[135] M. Jawaid and A. H. Khalil, “Effect of layering pattern on the dynamic mechanical properties and thermal degradation of oil palm-jute fibers reinforced epoxy hybrid composite”, BioResources”, vol. 6, no. 3, pp. 2309-2322, 2011.

[136] D. Chandramohan and K. Marimuthu, “Tensile and hardness tests on natural fiber reinforced polymer composite material”, IJAEST, vol. 6, no. 1, pp. 97-104, 2011.

[137] F. A. Cotton, G. Wilkinson, C. A. Murillo, M. Bochmann, and R. Grimes, “Advanced inorganic chemistry”,vol. 6, pp. 1455, Wiley New York, 1988.

[138] C. Dash, A. Das, and D. Kumar Bisoyi, “Influence of pretreatment on mechanical and dielectric properties of short sunn hemp fiber-

- reinforced polymer composite in correlation with fine structure of the fiber”, *Journal of Composite Materials*, vol. 54, no. 23, pp. 3313-3327, 2020.
- [139] G. Marom, E. Drukker, A. Weinberg, and J. Banbaji, “Impact behaviour of carbon/kevlar hybrid composites”, *Composites*, vol. 17, Issue. 2, pp. 150-153, 1986.
- [140] A. A. Kareem, J. M. Hassan and H. W. Abdulallah, “Effect of SiC Particles on dielectrically properties of epoxy reinforcement by (bi-directional) glass fiber”, *Journal of Material Sciences & Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 1–3, 2015.
- [141] M. Akram, A. Javed, and T. Z. Rizvi, “Dielectric properties of industrial polymer composite materials”, *Turk J Phys*, vol. 29, no. 6, pp. 355-362, 2006.
- [142] A. Prakash and A. Rajadurai, “Mechanical, termal and dielectric characterization of iron oxide particles dispersed glass fibers epoxy resin hybrid composite”, *Digest Journal of Nanomaterials \& Biostructures* ,vol. 11, Issue. 2, pp. 373-380, 2016.
- [143] H. Zhou, X. Sun, Y. Fan, Z. Dang, and J Zha, “Dielectric properties of epoxy/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanomposites derived from  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanoparticles”, *7th International Forum on Strategic Technology (IFOST)*, IEEE, vol. 75, pp. 1-4, 2012.
- [144] J. Y. Chen, “Activated carbon fiber and textiles”, *Woodhead publishing in textiles*, no. 189, 2016.
- [145] R. Kochetov, T. Andritsch, P. H. Morshuis, and J. J. Smit, “Thermal and electrical behaviour of epoxy-based microcomposites filled with

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  particles”, IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 1-5, 2010.
- [146] T. Ahmad, O. Mamat, and R. Ahmad, “Studying the effects of adding silica sand nanoparticles on epoxy based composites”, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Nanoparticles, vol. 2013, no.1, pp.5, 2012.
- [147] M. F. Khan, M. Hameedullah, A. H. Ansari, E. Ahmad, M. B. Lohani, R. H. Khan, and I. Ahmad, “Flowershaped ZnO nanoparticles synthesized by a novel approach at near-room temperatures with antibacterial and antifungal properties”, Int J Nanomed, vol. 9, pp. 853–864, 2014.
- [148] S. S. Lo, D. Huang, C. H. Tu, C. H. Hou, and C. C. Chen, “Raman scattering and band-gap variations of Al-doped ZnO nanoparticles synthesized by a chemical colloid process”, Journal of Physics D: Applied Physics, vol. 42, no. 9, pp. 095420, 2009.
- [149] B. N. J. Persson, “Fracture of polymers”, The Journal of chemical physics, vol. 110, Issue. 19, pp. 9713-9724, 1999.
- [150] S. Halder, T. Prasad, N. I. Khan, M. S. Goyat, and S. R. Chauhan, “Superior mechanical properties of poly vinyl alcohol-assisted ZnO nanoparticle reinforced epoxy composites”, Materials Chemistry and Physics, vol. 192, pp. 198-209, 2017.
- [151] D. G. Legrand, “Crazing, yielding, and fracture of polymers. I. ductile brittle transition in polycarbonate”, Journal of applied polymer science, vol. 13, no. 10, pp. 2129-2147, 1969.
- [152] V. P. Tamuzh, “Fracture and fatigue of polymers and composites (survey)”, Polymer Mechanics, vol. 13, no. 3, pp. 392-408, 1977.

- [153] A. Kinloch, “The application of fracture mechanics to polymers, adhesive and composites DR Moore”, Elsevier Ltd. and ESIS. All rights reserved, vol. 149, 2004.
- [154] B. Wetzel, P. Rosso, F. Hauptert, and K. Friedrich, “Epoxy nanocomposites—fracture and toughening mechanisms”, *Engineering fracture mechanics*, vol. 73, no. 16, pp. 2375-2398, 2006.

## ABSTRACT

The epoxy composites reinforced with zinc oxide micro and nanoparticles and the hybrid composites were prepared from epoxy and palm fibers, and the effect studied of adding zinc oxide micro and nano particles with different weight fractions (0.1, 0.2, 0.3, 0.5, and 0.7 wt%), and palm fibers at a selected percentage (0.5 wt%) to epoxy resin on mechanical properties (tensile, bending, hardness and impact), electrical properties (dielectric constant and dielectric loss factor) and thermal properties (thermal conductivity coefficient), using Open template method and by weight ratios of palm fiber, micro and nano of ZnO particles having an average size of, (45  $\mu\text{m}$ ), and (50 nm), respectively. The mechanical properties of prepared samples were studied using Mechanical measuring devices including tensile strength devices, bending, Impact, and Shore hardness effects of ZnO micro and nanoparticles on the curing behavior of these micro and nanocomposites were investigated utilizing the lee disc method. It was found that ZnO micro and nanoparticles can effectively influence on the mechanical and thermal properties of epoxy coating. In addition, as the results showed an improvement in the mechanical properties of the epoxy compound supported with nanoparticles better than the compound supported with micro-particles, while the results showed a decrease in the thermal conductivity of the epoxy compound supported by micro and nanoparticles with an increase in the weight ratios.

The results of the electrical dielectric tests, represented by the dielectric, constant and the dielectric loss, factor at room temperature and within the frequency range (100Hz-1MHz), showed that the dielectric constant and the dielectric loss factor decrease with increasing frequency for all samples, and at low frequencies all samples possessed High values of the dielectric constant and the dielectric loss factor, and with increasing

frequency, a large and sudden decrease occurs in the values of the dielectric constant and the dielectric loss factor, and the value of the dielectric constant and the dielectric loss factor at the same frequency increases when adding zinc oxide micro and nanoparticles, and when adding and increasing weight fraction of both types of nanoparticles and palm fibers.

The results of the thermal tests, also showed that the value of the thermal conductivity coefficient of pure epoxy was (0.40256 W/mK) and its value increases to (0.57285 W/mK) when reinforced with zinc oxide micro particles and to (0.63898 W/mK) when reinforced with zinc oxide nanoparticles and to ( 0.63 W/mK) when supporting with fibers and to (0.67 W/mK) when supporting with Hybrid Composite from palm fiber and zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs), but when increasing the weight fraction of micro and nanoparticles, the value of the thermal conductivity coefficient begins to decrease, but the value of The coefficient of thermal conductivity remains higher than its value in the case of pure epoxy.

The results of microscopic imaging (FESEM-EDS) of morphological tests for scanning electron microscope to study the structure of the fracture surface resulting from testing the tensile samples of pure epoxy and its compounds showed that the zinc oxide particles are dispersed and distributed homogeneously for both types of particles and are better for nanoparticles than for micro particles with some agglomerations are larger in micro particles, as well as the results of microscopic imaging of morphological tests for scanning electron microscopy to study the structural structure of the fracture surface, that the resulting fracture is of the boundary type, and that all the composite materials have a continuous morphological structure, with rough surfaces for the composites supported by oxide particles Micro-zinc is less rough to fine for composites reinforced with nano-zinc oxide compared to the base material, which

indicates the good bonding between the components of the pure base material of epoxy and the added particles, as well as by looking at the fracture surface at the fracture site, it appears that the fracture type is Brittle fracture. And for all types of samples supported by both types of added particles Micro and nanoscale, as well as for all ratios.



*Republic of Iraq  
Ministry of Higher Education  
And Scientific Research  
University of Diyala  
College of Science  
Department of Physics*



**Preparation and study of some physical and  
mechanical properties of a polymeric  
composite reinforced with granules (ZnO)  
and cut palm fibers.**

**A Thesis**

**Submitted to the Council of the College of Science-University  
of Diyala in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Physics**

**by**

**Ismail Salih Mohammed**

**B. Sc. in Physics (2001)**

**Supervised by**

**Assist. Prof. Dr. Jasim Mohammed Mansoor**

**2021 A.D**

**1442 A.H**