



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

## تأثير اضافة بعض المواد النانوية على الخصائص

### الفيزيائية لمتراكبات بوليمرية مدعمة بالألياف الصناعية

رسالة مقدمة الى

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

يقدمها

**وسام ياس خضير ويس**

بكالوريوس علوم فيزياء ٢٠٠٣م

بإشراف

أ.م.د زياد طارق خضير

أ.د صباح انور سلمان

٢٠١٩ هـ

١٤٤٠ هـ

(بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ)

﴿بَلْ هُوَ آيَاتٌ بَيِّنَاتٌ فِي

صُدُورِ الَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ

وَمَا يَجِدُ بِآيَاتِنَا إِلَّا

الظَّالِمُونَ﴾

صدق الله العظيم

(العنكبوت: ٤٩)

## الامضاء

إلى ينبوع الحنان وشمعتي المقدسة التي تنير عتمة الليل الى من لا ينتهي عطاؤها  
التي حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها.

(والدتي العزيزة).

إلى من سعى وشقى لأنعم بالراحة والهناء الذي علمني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة  
وصبر.

(والدي رحمه الله)

الى من كان سندي في الحياة و السور العالي والحصن المنيع الذي الود به عن  
مصائب الدنيا.

(اخي الكبير رحمه الله)

إلى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكراهم فؤادي الى اجمل قدر في حياتي و  
سر قوتي.

(أخواتي وأخواني)

الى وردتي التي أنسى همومي وتعبي وأشعر بالسكينة تملأ وجداني حينما أرى  
ابتسامتها المشرقة.

(زوجتي الحبيبة)

الى فلذات كبدي و سر سعادتي في الحياة.

(اولادي)

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)

الى الذين يبقون على العهد مهما طاللت المسافات.

(اصدقائي)

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

(زميلاتي و زملائي)

اهدي اليهم ثمرة جهدي المتواضع ..... وسام

## شكر و تقدير

الحمد لله الذي ما ختم جهد و لا تم سعي الا بفضل، الحمد لله حمدا يليق بجلال وجهه و عظيم سلطانه، الحمد لله حمد الشاكرين، نحمدك ونثني 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 لأساتذتي الافاضل المشرفين على الرسالة و هم الاستاذ الدكتور ( صباح انور سلمان) و الاستاذ المساعد الدكتور (زياد طارق خضير) لما بذلاه من جهود مضية في المتابعة و تذليل الصعوبات و تجاوز العقبات التي رافقت مراحل انجاز هذه الرسالة من خلال توجيهات قيمة قدمها لإكمالها بأبهى صورها، و اقول لهم حقاً سعيتما فكان السعي مشكوراً، سائلاً الله تعالى ان يمن عليهما بالصحة و العافية و ان يمد في عمرهما و يأخذ بيدهما لما فيه خير.

كما اود ان اتقدم بأسمى آيات الشكر و العرفان 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 و الاهتمام الكبير بطلبة الدراسات العليا، فله مني كل التقدير و الاحترام.

و اقدم خالص شكري و امتناني لرئاسة قسم الفيزياء واساتذتي الافاضل و اخص بالذكر منهم الاستاذ اسعد احمد كامل و الدكتور نبيل علي بكر و الدكتور كريم هنيكش حسن و الاستاذ فراس محمود هادي و الاستاذ فيصل غازي حمودي، ولهم الشكر الجزيل و الامتنان لما غرسوه في عقولنا من افكار قيمة.

كما و اشكر كل من مد لي يد العون و المساعدة من اساتذة ومعيدي القسم و منهم الدكتور عمار عايش و الست هند وليد عبد الله و الاستاذ رافد محمود، و الاستاذ انور و لا انسى بالذكر شعبة الدراسات العليا في الكلية و اخص فيها الست هدى زكي و مكتبة الكلية و اذكر منها الاستاذ عدنان و الاستاذ رافت، فلهم جميعاً جزيل الشكر و العرفان.

و اتوجه بخالص شكري و تقديري الى زميلاتي و زملائي طلبة الدراسات العليا الذين زودوني بكل المعلومات التي احتجت اليها في دراستي و منهم (مريم عبد الستار و فيصل ليث و علي عبد

الستار و دعاء نصيف و ميس اديب و سلمى سلمان و هدى تركي) و القائمة تطول و ليعذرنى  
منهم من فاتنى ذكره.

و فى الختام اتقدم بالشكر الجزيل لأفراد اسرتى زوجتى و اخوتى و اخواتى جميعا لمساندتهم لى  
طيلة فترة دراستى، و لهم منى كل الحب و الود و اسأل الله تعالى ان يمدهم بالصحة و العافية.

وسام

## الخلاصة

تم تحضير متراكبات الايبوكسي المدعمة باللياف الكربون و اليف الزجاج و بكسر حجمي (25%) وتم دراسة تأثير اضافة دقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية كمتراكب هجين و بكسور وزنية مختلفة ((0.1,0.3,0.5,0.7)wt%) على الخصائص الميكانيكية (الشد والصلادة والصدمة) والخصائص الكهربائية (ثابت العزل الكهربائي و عامل الفقد العزلي) والخصائص الحرارية (التوصيلية الحرارية و درجة الانتقال الزجاجي و درجة الانصهار البلورية).

وقد تم استخدام طريقة التشكيل اليدوي لتصنيع متراكبات الايبوكسي المدعمة بثلاث طبقات من الاليف (الكربون و الزجاج) بشكل حصيرة منتظمة (0-90) والمتراكبات النانوية الهجينة بدرجة حرارة الغرفة. تم تهيئة المصبوبات وتقطيع العينات بأبعاد قياسية لاستخدامها في الفحوصات وحسب (ASTM) المحددة لكل فحص.

أظهرت نتائج الاختبارات الميكانيكية بأن قيمة كل من مقاومة الشد و اقصى انفعال و معامل يونك تزداد بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي عند التدعيم بألياف الكربون و اليف الزجاج بينما عند إضافة دقائق الألومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية تبدأ بالنقصان مع زيادة تركيز الدقائق النانوية. اما كل من قيم الصلادة و قيم متانة الصدمة فأنها تزداد عند التدعيم باللياف الكربون و اليف الزجاج و تزداد ايضا عند اضافة و زيادة الكسر الوزني لدقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية لكافة العينات المصنعة.

و اظهرت نتائج الفحوصات الكهربائية العزلية و المتمثلة بثابت العزل الكهربائي و عامل الفقد العزلي عند درجة حرارة الغرفة و ضمن مدى التردد (100Hz-1MHz)، أن ثابت العزل الكهربائي و عامل الفقد العزلي يقلان مع زيادة التردد ولجميع العينات، و عند الترددات الواطئة امتلكت العينات جميعها قيم عالية لثابت العزل الكهربائي و عامل الفقد العزلي وبزيادة التردد يحصل نقصان كبير ومفاجئ في قيم ثابت العزل الكهربائي و عامل الفقد العزلي و ان قيمة ثابت العزل الكهربائي و عامل الفقد العزلي عند نفس التردد تزداد عند التدعيم باللياف الكربون و اليف الزجاج و عند اضافة و زيادة الكسر الوزني لكلا النوعين من الدقائق النانوية.

بينت نتائج الفحوصات الحرارية بأن قيمة معامل التوصيل الحراري للايبوكسي النقي تكون (0.40256W/m.K) و تزداد قيمته الى (0.57285W/m.K) عند التدعيم باللياف الكربون و الى (0.63898W/m.K) عند التدعيم باللياف الزجاج، اما عند اضافة و زيادة

الكسر الوزني لكلا النوعين من الدقائق النانوية فان قيمة معامل التوصيل الحراري تبدأ بالتناقص بالمقارنة مع قيمتها عند التدعيم باللياف الكربون و اليف الزجاج، الا ان قيمة معامل التوصيل الحراري تبقى اعلى من قيمتها في حالة الايبوكسي النقي. اما قيمة درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي النقي تكون ( $66.7^{\circ}\text{C}$ )، وبعد التدعيم باللياف الكربون نلاحظ نقصان قيمة درجة الانتقال الزجاجي الى ( $61^{\circ}\text{C}$ )، ثم بعدها تزداد قيمة درجة الانتقال الزجاجي عند اضافة دقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسبة وزنية ( $0.1\text{wt}\%$ )، و عند زيادة الكسر الوزني لكلا النوعين من الدقائق النانوية نلاحظ ان قيمة درجة الانتقال الزجاجي تبدأ بالتناقص، و تختفي درجة الانتقال الزجاجي عند النسبة الوزنية ( $0.3\text{wt}\%$ ) لدقائق الالومينا النانوية. اما قيمة درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي النقي بعد التدعيم باللياف الزجاج فنلاحظ انها تزداد الى ( $67.5^{\circ}\text{C}$ )، ثم بعدها تقل قيمة درجة الانتقال الزجاجي عند اضافة دقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسبة وزنية ( $0.1\text{wt}\%$ )، و عند زيادة الكسر الوزني لكلا النوعين من الدقائق النانوية نلاحظ ان قيمة درجة الانتقال الزجاجي تبدأ بالزيادة. اما قيمة درجة الانصهار البلورية للايبوكسي النقي تكون ( $199.8^{\circ}\text{C}$ )، و عند التدعيم باللياف الكربون واليف الزجاج و عند اضافة و زيادة الكسر الوزني لدقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية نلاحظ أن قيمة درجة الانصهار البلورية تبدأ بالنقصان بشكل غير منتظم بالمقارنة مع الايبوكسي النقي.

## قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
	الخلاصة	
I-III	المحتويات	
IV-V	قائمة الرموز	
VI	قائمة الجداول	
VII-X	قائمة الاشكال	
<b>الفصل الاول (المقدمة و الدراسات السابقة)</b>		
1	المقدمة	(1-1)
2	البوليمرات	(2-1)
3	تصنيف البوليمرات	(3-1)
11	راتنج الايبوكسي	(4-1)
13	المواد المترابطة	(5-1)
13	المادة الأساس	(1-5-1)
14	مادة التدعيم	(2-5-1)
15	أنواع المواد المترابطة	(6-1)
17	المترابكات الهجينة	(7-1)
18	العوامل المؤثرة في سلوك المترابكات المدعمة بالألياف	(8-1)
24	المواد النانوية	(9-1)
25	تصنيف المواد النانوية	(10-1)
27	دقائق الالومنيا	(11-1)
27	دقائق السيليكا	(12-1)
29	الألياف الزجاجية	(13-1)
30	استخدامات الألياف الزجاجية	(14-1)
31	الياف الكربون	(15-1)
32	الدراسات السابقة	(16-1)
36	الهدف من الدراسة	(17-1)
<b>الفصل الثاني (الجزء النظري)</b>		
37	المقدمة	(1-2)
37	الخصائص الميكانيكية	(2-2)

37	أختبار الشد	(1-2-2)
38	منحني (الاجهاد-الانفعال)	(1-1-2-2)
40	اختبار الصلادة	(2-2-2)
42	اختبار الصدمة	(3-2-2)
44	الخصائص الكهربائية (العزلية)	(3-2)
51	الخصائص الحرارية	(4-2)
51	التوصيلية الحرارية	(1-4-2)
54	درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ )	(2-4-2)
55	درجة الانصهار البلورية ( $T_m$ )	(3-4-2)
	الفصل الثالث ( الجزء العملي)	
56	المقدمة	(1-3)
56	المواد المستخدمة	(2-3)
56	المادة الاساس	(1-2-3)
57	مواد التدعيم	(2-2-3)
58	تصنيع العينات	(3-3)
58	تصنيع العينات غير المدعمة	(1-3-3)
59	تصنيع العينات المدعمة بالألياف	(2-3-3)
59	تصنيع العينات المدعمة بالألياف و الدقائق النانوية	(3-3-3)
60	تقطيع العينات	(4-3)
61	الاختبارات الميكانيكية	(5-3)
61	اختبار الشد	(1-5-3)
62	اختبار الصلادة	(2-5-3)
63	اختبار الصدمة	(3-5-3)
63	الفحوصات الكهربائية	(6-3)
64	الفحوصات الحرارية	(7-3)
64	فحص التوصيلية الحرارية	(1-7-3)
65	فحص المسعر الحراري التفاضلي	(2-7-3)
	الفصل الرابع (النتائج و المناقشة)	
67	المقدمة	(1-4)
67	الخصائص الميكانيكية	(2-4)

67	اختبار الشد	(1-2-4)
74	أختبار الصلادة	(2-2-4)
79	اختبار الصدمة	(3-2-4)
84	الخصائص الكهربائية (العزلية)	(3-4)
84	ثابت العزل الكهربائي	(1-3-4)
87	عامل فقد العزلي	(2-3-4)
90	الخصائص الحرارية	(4-4)
90	التوصيلية الحرارية	(1-4-4)
94	فحص (DSC)	(2-4-4)
	الفصل الخامس (الاستنتاجات و المشاريع المستقبلية)	
109	الاستنتاجات	(1-5)
110	التوصيات والمشاريع المستقبلية	(2-5)

## الرموز

وحدة القياس	المعنى	الرمز
-	الكسر الوزني للالياف	$\psi$
N	وزن الالياف	$W_f$
N	وزن المادة الاساس	$W_m$
N	وزن المادة المتراكبة	$W_c$
$g / cm^3$	كثافة الالياف	$\rho_f$
$g / cm^3$	كثافة المادة الاساس	$\rho_m$
$g / cm^3$	كثافة المادة المتراكبة	$\rho$
-	الكسر الحجمي للالياف	$V_f$
-	الكسر الحجمي للمادة الاساس	$V_m$
-	الكسر الحجمي للمادة المتراكبة	$V$
$m^3$	حجم الالياف	$v_f$
$m^3$	حجم المادة الاساس	$v_m$
m	الطول الحرج لليف	$L_c$
m	نصف قطر الليف	$r_f$
$N/m^2$	الإجهاد المسلط على الليف	$\sigma_f$
$N/mm^2$	اقصى متانة شد	$T.S_{max}$
N	القوة عند الفشل	$F$
$mm^2$	مساحة المقطع العرضي للعينة عند الفشل	$A$
$N/m^2$	الاجهاد	$\sigma$
-	الانفعال	$\epsilon$
mm	الطول النهائي للعينة	$L$
mm	الطول الاصلي للعينة	$L_0$
mm	التغير بالطول	$\Delta L$
$N/m^2$	معامل يونك	$Y_m$
$KJ/m^2$	متانة الصدمة	$I.S$
KJ	طاقة الكسر	$U$
Kg	كتلة الثقل	$m$
$m/sec^2$	التعجيل الارضي (9.806)	$g$
m	مسافة السقوط	$h$
Coulomb	الشحنة الكهربائية	$q$
Volt	فرق الجهد الكهربائي	$v$
Farad	سعة المتسعة	$C$

$C^2/Nm^2$	السماحية الكهربائية للفراغ ( $8.85 \times 10^{-12}$ )	$\epsilon_0$
$W/m.K$	معامل التوصيل الحراري	$k$
$^{\circ}C$	تمثل درجة حرارة القرص (C and B ,A)	$T_A, T_B, T_C$
$W/m^2.K$	كمية الطاقة	$e$
$m$	سمك القرص	$d$
$m$	نصف قطر القرص	$r$
$^{\circ}C$	التيار الكهربائي المار في ملف المسخن	$I$
$^{\circ}C$	درجة الانتقال الزجاجي	$T_g$
$^{\circ}C$	درجة الانصهار البلورية	$T_m$
$g/mol$	معدل الوزن الجزيئي	$\overline{M}_w$
Coulombs	الشحنة المخزونة	$q_i$
$m$	المسافة الفاصلة بين اللوحين	$d_{dis}$
$m^2$	المساحة السطحية	$A$
Farad	السعة بوجود الفراغ	$C_0$
Farad/m	سماحية المادة العازلة	$\epsilon$
Farad	السعة بوجود العازل	$C'$
-	ثابت العزل الكهربائي	$\epsilon_r$
-	عامل الفقد العزلي	$\epsilon_r$
-	ظل زاوية الفقد	$Tan \delta$
$S/m$	التوصيلية الكهربائية للمادة	$\sigma^*$
$S/m$	التوصيلية الكهربائية المتناوبة للمادة	$\sigma_{a.c}$
$S/m$	التوصيلية الكهربائية المستمرة للمادة	$\sigma_{d.c}$
$V/m$	شدة المجال الكهربائي المسلط	$E$
-	ثابت الاستقطابية الالكترونية	$\alpha_e$
-	ثابت الاستقطابية الايونية	$\alpha_i$
-	ثابت الاستقطابية الاتجاهية	$\alpha_d$
$D$	عزم ثنائي القطب الالكتروني	$\overline{m}_e$
$D$	عزم ثنائي القطب الايوني	$\overline{m}_i$
$D$	عزم ثنائي القطب الاتجاهي	$\overline{m}_d$
$D$	عزم ثنائي القطب البيني	$\overline{m}_s$
$J/K$	ثابت بولتزمان	$K_B$
$K$	درجة الحرارة المطلقة	$T$
$C/m^2$	الاستقطاب الايوني	$\overline{P}_i$

$C/m^2$	الاستقطاب الالكتروني	$\vec{P}_e$
$C/m^2$	الاستقطاب الاتجاهي	$\vec{P}_d$
$C/m^2$	استقطاب الشحنة الفراغية	$\vec{P}_s$

## قائمة الاشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
7	أنواع السلاسل البوليمرية في البوليمرات المشتركة	(1-1)
8	أنواع سلاسل البوليمرات بالاعتماد على شكلها الهندسي	(2-1)
11	انواع تراكيب السلاسل البوليمرية بالاعتماد على الخصائص التقنية	(3-1)
12	مجموعة الاوكسيران	(4-1)
12	طريقة تحضير راتنج الايبوكسي	(5-1)
14	تصنيف المواد المترابطة	(6-1)
16	تصنيف المترابكات الليفية	(7-1)
16	إشكال وطرائق ترتيب الألياف	(8-1)
18	الأشكال المختلفة لمواد التدعيم الأحادية والهجينة	(9-1)
21	تغيير المتانة للمترابك تبعاً لتوجيه الألياف	(10-1)
22	a-السطح البيني بين ألياف الزجاج و الراتنج b- تأثير زاوية ترطيب الليف	(11-1)
23	آليات الالتصاق بين الراتنج والألياف	(12-1)
26	تصنيف المواد النانوية	(13-1)
28	a- التركيب البلوري للألومينا b- التركيب البلوري للسيليكا	(14-1)
	الفصل الثاني ( الجزء النظري)	
40	منحني (الاجهاد – الانفعال) لمادة بوليمرية	(1-2)
41	اداة الغرز بجهاز صلادة شور	(2-2)
50	الشكل (3-2): a- أنواع الاستقطاب b- العلاقة بين الاستقطاب و التردد	(3-2)
52	انتقال الحرارة من الوجه الساخن الى الوجه البارد	(4-2)
53	مخطط جهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي)	(5-2)
54	العلاقة بين درجة الانتقال الزجاجي والوزن الجزيئي	(6-2)
	الفصل الثالث ( الجزء العملي)	

57	a- الياف الزجاج. b- الياف الكربون	(1-3)
60	نماذج من العينات المصنعة	(2-3)
62	صورة جهاز اختبار الشد	(3-3)
62	صورة جهاز اختبار الصلادة	(4-3)
63	صورة جهاز اختبار الصدمة	(5-3)
64	صورة جهاز (LCR Metter)	(6-3)
64	صورة جهاز فحص التوصيلية الحرارية (قرص لي)	(7-3)
66	صورة جهاز (DSC)	(8-3)
66	مخطط جهاز (DSC)	(9-3)
<b>الفصل الرابع ( النتائج و المناقشة )</b>		
69	منحني (الاجهاد-الانفعال) لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(1-4)
70	منحني (الاجهاد-الانفعال) لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الكربون و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(2-4)
72	منحني (الاجهاد-الانفعال) لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الزجاج و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(3-4)
73	منحني (الاجهاد-الانفعال) لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الزجاج و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(4-4)
76	الصلادة لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(5-4)
76	الصلادة لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الكربون و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(6-4)
77	الصلادة لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الزجاج و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(7-4)
78	الصلادة لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الزجاج و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(8-4)
80	الصدمة لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(9-4)
81	الصدمة لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الكربون و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(10-4)
82	الصدمة لمتراكب الايبوكسي المدعم بالياف الزجاج و دقائق الالومينا	(11-4)

	النانوية بنسب وزنية مختلفة	
83	الصدمة لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(12-4)
85	ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(13-4)
85	ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(14-4)
86	ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(15-4)
86	ثابت العزل الكهربائي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(16-4)
88	عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(17-4)
88	عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(18-4)
89	عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(19-4)
89	عامل الفقد العزلي كدالة للتردد لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(20-4)
91	معامل التوصيل الحراري لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(21-4)
92	معامل التوصيل الحراري لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(22-4)
93	معامل التوصيل الحراري لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق الالومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة.	(23-4)
93	معامل التوصيل الحراري لمتراكب الايبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة.	(24-4)
99	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايبوكسي النقي	(25-4)
99	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايبوكسي المدعم باللياف الكربون	(26-4)
100	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايبوكسي المدعم باللياف الكربون و (0.1wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Nano)	(27-4)
100	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايبوكسي المدعم باللياف الكربون و (0.3wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Nano)	(28-4)

101	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الكربون و (0.5wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Nano)	(29-4)
101	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الكربون و (0.7wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Nano)	(30-4)
102	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الكربون و (0.1wt% SiO <sub>2</sub> Nano)	(31-4)
102	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الكربون و (0.3wt% SiO <sub>2</sub> Nano)	(32-4)
103	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الكربون و (0.5wt% SiO <sub>2</sub> Nano)	(33-4)
103	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الكربون و (0.7wt% SiO <sub>2</sub> Nano)	(34-4)
104	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و	(35-4)
104	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و (0.1wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Nano)	(36-4)
105	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و (0.3wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Nano)	(37-4)
105	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و (0.5wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Nano)	(38-4)
106	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و (0.7wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Nano)	(39-4)
106	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و (0.1wt% SiO <sub>2</sub> Nano)	(40-4)
107	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و (0.3wt% SiO <sub>2</sub> Nano)	(41-4)
107	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و (0.5wt% SiO <sub>2</sub> Nano)	(42-4)
108	مخطط (DSC) الحراري الوزني للايوكسي المدعم باللياف الزجاج و (0.7wt% SiO <sub>2</sub> Nano)	(43-4)

## قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
30	تراكيب وخصائص الألياف الزجاجية	(1-1)
32	خصائص الأنواع الثلاثة لألياف الكربون	(2-1)
56	بعض خصائص الأيبوكسي المستخدم	(1-3)
57	بعض خصائص الياف الزجاج وكاربون	(2-3)
58	بعض خصائص دقائق السيليكا النانوية و الألومينا النانوية	(3-3)
60	أنواع العينات المصنعة	(4-3)
61	الأبعاد القياسية للعينات الخاصة لكل اختبار	(5-3)
69	قيم كل من مقاومة الشد و أقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الأيبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق الألومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(1-4)
70	قيم كل من مقاومة الشد و أقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الأيبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(2-4)
73	قيم كل من مقاومة الشد و أقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الأيبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق الألومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(3-4)
74	قيم كل من مقاومة الشد و أقصى انفعال و معامل يونك لمتراكب الأيبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(4-4)
77	قيم الصلادة لمتراكبات الأيبوكسي المدعمة باللياف الكربون و دقائق الألومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(5-4)
78	قيم الصلادة لمتراكبات الأيبوكسي المدعمة باللياف الزجاج و دقائق الألومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(6-4)
80	قيم الصدمة لمتراكب الأيبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق الألومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(7-4)
81	قيم الصدمة لمتراكب الأيبوكسي المدعم باللياف الكربون و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(8-4)
82	قيم الصدمة لمتراكب الأيبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق الألومينا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(9-4)
83	قيم الصدمة لمتراكب الأيبوكسي المدعم باللياف الزجاج و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(10-4)
92	قيم معامل التوصيل الحراري لمتراكبات الأيبوكسي المدعمة باللياف الكربون و دقائق الألومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(11-4)

94	قيم معامل التوصيل الحراري لمتراكبات الايبوكسي المدعمة باللياف الزجاج و دقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(12-4)
95	قيم درجة الانتقال الزجاجي لمتراكبات الايبوكسي المدعمة باللياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(13-4)
96	قيم درجة الانصهار البلورية لمتراكبات الايبوكسي المدعمة باللياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(14-4)
97	قيم درجة الانتقال الزجاجي لمتراكبات الايبوكسي المدعمة باللياف الزجاج و دقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(15-4)
98	قيم درجة الانصهار البلورية لمتراكبات الايبوكسي المدعمة باللياف الزجاج و دقائق الالومينا النانوية و دقائق السيليكا النانوية بنسب وزنية مختلفة	(16-4)

## Introduction

## (1-1) المقدمة

نظراً لمتطلبات الصناعة الحديثة فقد برزت الحاجة إلى استعمال مواد جديدة ذات خصائص ميكانيكية عالية جداً بحيث تكون هذه المواد خفيفة الوزن و ذات متانة ومرونة بالإضافة إلى مقاومتها للظروف البيئية المختلفة، لذلك تم تصنيع ما يسمى بالمواد المتراكبة (Composite Materials). تعرف المواد المتراكبة على أنها نظام مادي يتكون من خليط أو مزيج من مكونين أو أكثر من المواد، والتي تختلف في الشكل وفي التركيب لكنها غير قابلة للذوبان في بعضهما البعض. لقد نجح المهندسون والباحثون في جعل المواد أخف وزناً وأقوى باستخدام متراكبات ذات أساس بوليمري مدعمة بالألياف، إذ تتميز بكونها ذات مقاومة لأجهادات الشد ومقاومة للصدمة وذات مقاومة ممتازة للتآكل وللعوامل البيئية (ضغط ودرجة حرارة ورطوبة وغيرها)، بالإضافة إلى صلابة عالية وتمدد حراري منخفض ومقاومة للكلال [1].

تطورت تكنولوجيا البوليمرات سريعاً بسبب الخصائص المميزة لها و الحاجة الماسة إلى بدائل ذات خصائص تكنولوجية مختلفة أفضل من بعض المواد التقليدية، فضلاً عن تطبيقاتها العملية كما في التطبيقات الكهربائية مثلًا، إذ استعملت قابلية عزلها الكهربائية العالية في حماية التيارات الكهربائية في الموصلات من التسرب، وحماية المجالات العالية من الانهيار، كما دخلت هذه المواد ضمن المواد شبه الموصلة والموصلة [2].

والمواد المتراكبة تكون على عدة أنواع فمنها ذات الأساس المعدني مثل الحديد والألمنيوم، إذ تتميز بمتانتها العالية، ولكن ثقل وزنها جعلها محدودة الاستعمال. والنوع الأخر من المواد المتراكبة ذات الأساس السيراميكي و التي تتحمل درجات الحرارة العالية ولكن مقاومتها للصدمة ضعيفة. أما المواد المتراكبة ذات الأساس اللدائي فتعد من أفضل الأنواع وذلك لما تتميز به من صفات ميكانيكية عالية فضلاً عن سهولة تصنيعها [3].

تعد المواد المتراكبة النانوية (Nanocomposite Materials) واحدة من أهم فئات المواد المتقدمة كنتيجة لتوافق العقل البشري مع التكنولوجيات الحديثة في مجالات إنتاج الفلزات والمواد الهندسية. فمثلاً إن إنتاج المتراكبات الداخلة في صناعة المركبات الجوية (الطائرات و الصواريخ ومكوك الفضاء والمركبات الفضائية والأقمار الصناعية) تتم بإضافة ألياف الكربون (Carbon Fibers) لسبائك الألمنيوم والتيتانيوم الفلزية المستخدمة في صناعة أجسام وهياكل المركبات بنسب حجمية مختلفة

تعمل على تحسين وتطوير الخصائص الميكانيكية لمادة الأساس للسبيكة الفلزية ووقايتها من خطر الانهيار عند تعرضها للضغوط الجوية المختلفة وعند درجات حرارة متباينة أثناء رحلاتها بالفضاء الخارجي (Outer Space) وأن المواد المضافة تعمل على زيادة مقاومة السبيكة ضد عوامل الصدأ خلال فترة وجودها في ظروف بيئية وجوية قاسية [4].

## Polymers

### (2-1) البوليمرات

البوليمر كلمة لاتينية تتكون من المقطع (Poly) ويعني متعدد والمقطع (mer) وتعني الوحدة، لذا فإن البوليمر يعني متعدد الوحدات، وتتكون البوليمرات من سلاسل من الجزيئات الكبيرة عن طريق ارتباط عدد من الجزيئات الصغيرة و التي تعرف بالمونوميرات (monomers)، وتدعى عملية ارتباط هذه الجزيئات الصغيرة مع بعضها بعملية البلمرة (Polymerization) [5]. وترتبط الجزيئة في السلسلة البوليمرية الرئيسية بأواصر تساهمية (Covalent Bonds)، وقد يحدث أن ترتبط السلاسل البوليمرية الرئيسية بأواصر تساهمية كما هو في البوليمرات غير المطاوعة للحرارة في حين ترتبط بعض سلاسل الجزيئة الرئيسية للبوليمرات المطاوعة للحرارة بقوى فان درفالز (Vander Waal's Forces) والتي تدعى بالقوى الثانوية (Secondary Forces) [6].

تحضر البوليمرات مختبريا وصناعيا من موادها الأولية أو بتحويل بوليمرات أخرى بطرائق تعتمد على طبيعة نظام البلمرة وتصنف تفاعلات البلمرة الى تفاعلات إضافة (Addition) وتكثيفية (Condensation) [7].

إن البوليمرات ذات درجة البلمرة الكبيرة (Degree of Polymerization) تعرف بالبوليمرات ذات الوزن الجزيئي العالي (High Polymers)، أما البوليمرات ذات درجة البلمرة الصغيرة فتعرف بالبوليمرات ذات الوزن الجزيئي الواطئ (Oligomers) [8].

تتميز البوليمرات عن السبائك والمعادن بانها اقل كثافة ومتانة وذات موصلية حرارية قليلة ومعامل التمدد الحراري لها اقل بكثير من المعادن ولها القدرة على العزل الكهربائي وذات مقاومة لأغلب الحوامض والقواعد [9].

تستعمل البوليمرات في العديد من التطبيقات ولعدة أسباب منها [10]:-

- 1- قليلة الكلفة.
  - 2- تمتلك قابلية على التشكيل.
  - 3- يمكن استعمال البوليمرات الشفافة بدل الزجاج في بعض التطبيقات.
  - 4- امتصاصيتها للرطوبة قليلة.
  - 5- لا تتفاعل كيميائياً مع القلوية.
  - 6- يمكن استعمالها في التطبيقات التي لا تتطلب مقاومة ميكانيكية عالية.
  - 7- ذات عازلية كهربائية جيدة.
  - 8- تحتاج إلى طاقة تصنيع قليلة لأنه يمكن تشكيلها في درجات حرارة واطئة.
  - 9- خفيفة الوزن.
  - 10- مقاومة للتآكل ولا تكون صلدة.
- وعلى الرغم من المميزات السابقة التي تمتلكها البوليمرات إلا أن لها بعض المساوئ و التي تحدد من استعمالها منها [11]:-

- 1- لا يمكن تشكيلها في درجات حرارة مرتفعة.
- 2- لا تمتلك مقاومة ميكانيكية عالية.
- 3- معامل المرونة والمتانة لها قليل.
- 4- ذات مقاومة واطئة للزحف.

## Polymers Classification

## (3-1) تصنيف البوليمرات

يمكن تصنيف البوليمرات بالاعتماد على عدة عوامل:-

أولاً:- بالاعتماد على مصادر البوليمر

## Depending on the Origin of Polymer

تصنف البوليمرات بالاعتماد على مصادرهما إلى ثلاثة أصناف:-

### Natural Polymers

#### 1- البوليمرات الطبيعية

هي منتجات طبيعية نباتية أو حيوانية كالسيلولوز والمطاط وغيرها وتكون غالبية الثمن ويصعب الحصول عليها وهناك ثلاثة أنواع من البوليمرات الطبيعية وهي [12]:-

a- البولي سكريات.

b- البروتينات.

c- البولي نيوكليونيدات.

### Modified Natural Polymers

#### 2- البوليمرات الطبيعية المحورة

هي بوليمرات طبيعية تجري عليها بعض التعديلات كتغير في تركيبها الكيميائي بوساطة إدخال مجاميع جديدة في البوليمر أو تغير تركيب بعض المجاميع الفعالة الموجودة فيها أو بتطعيم بوليمر طبيعي على آخر صناعي والعكس صحيح، ومن أمثلة هذا النوع القطن المطعم بألياف الاكريليك و خلات السليلوز و استرات السليلوز [13].

### Synthetic Polymers

#### 3- البوليمرات الصناعية

هي الغالبية العظمى من البوليمرات المهمة صناعياً، تحضر من مركبات كيميائية بسيطة وتشمل البلاستيكيات والألياف الصناعية و الأصماغ وغيرها [14].

ثانياً:- بالاعتماد على التركيب الكيميائي

## Depending on the chemical composition

يمكن تصنيف البوليمرات بالاعتماد على تركيبها الكيميائي إلى ثلاثة أصناف:-

## Organic Polymers

### 1- البوليمرات العضوية

تشمل هذه البوليمرات مركبات تحتوي على ذرات الهيدروجين والنيتروجين و الاوكسجين والكبريت وذرات الهالوجينات، فضلاً عن ذرات الكربون، إذ تكون هذه الذرات جزءاً مهماً من العامود الفقري للبوليمرات في مركبات كثيرة و مثال على ذلك الايبوكسي و الذي يكتب بالصيغة الجزيئية  $(C_{21}H_{25}ClO_5)$  [15].

## Semi-Organic Polymers

### 2- البوليمرات شبه عضوية

تشمل هذه البوليمرات مركبات تحتوي سلسلتها الرئيسية على ذرات عناصر اخرى فضلاً عن الكربون او قد تتكون السلسلة الرئيسية من ذرات لا عضوية لكن تفرعاتها الجانبية تحتوي على ذرات الكربون متصلة اتصالاً مباشراً بالسلسلة الرئيسية، ان الذرات التي تستبعد في هذا النوع من البوليمرات هي ذرات النتروجين و الاوكسجين والكبريت والهالوجينات مثل كاربيد السيليكون Sic [16].

## Inorganic Polymers

### 3- البوليمرات اللاعضوية

تشمل هذه البوليمرات مركبات لا وجود لذرات الكربون فيها، إذ تتميز هذه المركبات بأن الأواصر التي تربط ذرات سلسلتها الرئيسية أقوى بكثير من الأواصر التي تربط السلاسل الجزيئية فيما بينها، كذلك تمتلك هذه المركبات تركيباً شبيكياً ثلاثي الأبعاد (Three-Dimensional Network) ومثال على هذا النوع من البوليمرات هو اوكسيد المغنيسيوم  $(MgO)$  [17].

### ثالثاً:- بالاعتماد على التجانس في البوليمرات

## Depending on the Homogeneity of Polymers

ان الخصائص الفيزيائية للبوليمرات لا تعتمد على الوزن الجزيئي و الشكل فقط و لكن ايضا على الاختلافات في السلسلة الجزيئية [18]. اذ يمكن تصنيف البوليمرات الى اربعة اصناف بالاعتماد على التجانس:-

## Homo Polymers

### 1- البوليمرات المتجانسة

هي البوليمرات التي تتكون من نوع واحد من الوحدات التركيبية، إي إن جميع صيغ جزيئاتها

متشابهة وتأتي من مونومر واحد مثل البولي اثيلين  $(C_2H_4)_n$  [19].

## Copolymers

### 2- البوليمرات المشتركة

تتكون سلاسل البوليمر من أكثر من نوع واحد من الوحدات التركيبية. إذ تتكون نتيجة استعمال أكثر من مونومر واحد، استعملت البوليمرات المشتركة بوصفها وسيلة للسيطرة على المادة الناتجة. و من أمثلتها (polyethylene-vinyl acetate (PEVA), nitrile rubber). والبوليمرات المشتركة تصنف على أساس طريقة ترتيب المونومر على طول سلسلة البوليمر إلى اربعة انواع وكما مبين في الشكل (1-1) و هي [20]:-

### Random Copolymers

#### a- البوليمرات المشتركة العشوائية

تسمى أيضا (Statistical Copolymers)، إذ إن الوحدات التركيبية (المونومرات) تتوزع بشكل عشوائي على طول سلسلة البوليمر مثل Poly (Styrene-Co-Butadiene-Co-Acrylonitrile).

### Alternative Copolymers

#### b- البوليمرات المشتركة المتناوبة

تسمى أيضا (Regular Copolymers)، إذ تتناوب الوحدات التركيبية المختلفة في السلسلة البوليمرية مثل Poly(Ethylene-ALT-Carbonmonoxide).

### Block Copolymers

#### c- البوليمرات المشتركة القولية

تكون الوحدات التركيبية مرتبة على هيئة قوالب (Block)، إذ إن قالب المونومر الأول يرتبط إلى قالب المونومر الثاني مثل Poly(Butadiene-b-Acrylonitrile).

### Graft Copolymers

#### d- البوليمرات المشتركة المطعمة

يتكون هذا النوع من سلسلة رئيسة متكونة من وحدات تركيبية متماثلة وترتبط بهذه السلاسل الرئيسية تفرعات جانبية متكونة من نوع آخر من الوحدات التركيبية و التي تمثل (Copolymers) المطعمة مثل (High-Impact Polystyrene (HIPS)) بولي إستيارين عالي قوة التصادم والذي يتم تحضيره ببلمرة النمو المتسلسل بتكون الشقوق الحرة لمونومير إستيارين في وجود كمية محددة من بوليمر

بيوتادايين.

### Composite Polymers

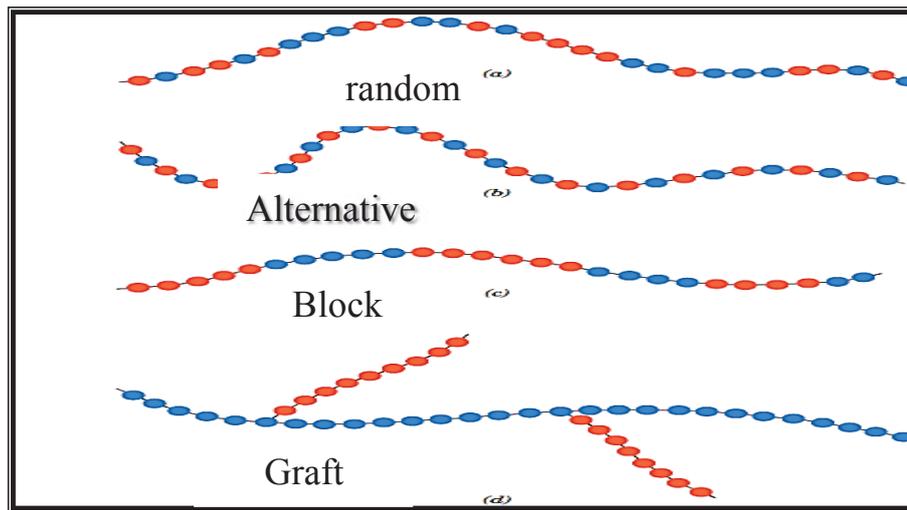
### 3- البوليمرات المركبة

يقصد بالبوليمرات المركبة المواد البوليمرية التي تتكون من نوعين من المكونات أو أكثر، وتكون عادةً متضمنة على طورين أو أكثر أي أنها غير متجانسة في المدى المجهرى على الأقل مثل البولي إيثيلين.

### Polymer Blends

### 4- الخلائط البوليمرية

يتكون هذا الصنف من البوليمرات من مزج نوعين أو أكثر من البوليمرات مزجاً فيزيائياً، اذ يكون للمزيج الناتج خصائص ميكانيكية مرغوبة مثل البولي ستيرين القابل للتمدد.



الشكل (1-1): أنواع السلاسل البوليمرية في البوليمرات المشتركة [21].

رابعا:- بالاعتماد على الشكل الهندسي لجزيئات البوليمر

### Depending on the Geometric Shape of Polymer Molecules

من حيث الشكل الهندسي لجزيئات البوليمر فأنها تصنف الى اربعة اصناف وكما مبين في الشكل (2-1) و الاصناف هي [22]:-

## Linear Polymer

### 1- البوليمر الخطي

قد تكون جزيئات البوليمر مرتبطة مع بعضها بشكل خطي فيدعى البوليمر عندئذ بالبوليمر الخطي كما في الشكل (a-2-1).

## Branched Polymer

### 2- البوليمر المتفرع

إذا كانت الجزيئة البوليمرية متفرعة فيدعى البوليمر عندئذ بالبوليمر المتفرع كما في الشكل (b-2-1).

## Cross-Linked Polymers

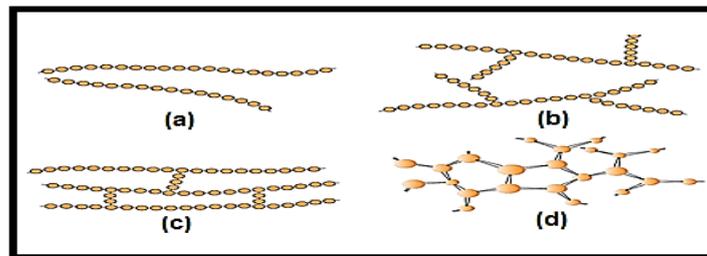
### 3- البوليمر المتشابك

قد تختلف هذه التفرعات في أطوالها وفي بعض الأحيان تكون هذه التفرعات متشابكة مع بعضها فيدعى بالبوليمر المتشابك كما في الشكل (c-2-1).

## Network Polymer

### 4- البوليمرات الشبكية

إن المونيمر متعدد الوظائف (Multi-Functional) يعمل على تكوين أو تشكيل أو اصر تساهمية تصنع شبكة ثلاثية الأبعاد. يتميز هذا النوع من البوليمرات بأنه عالي التشابك (High-Cross Linked) ويمتلك خصائص ميكانيكية وحرارية مميزة وأكثر صلابة عند درجات الحرارة العالية [23]. ينشأ هذا النوع من البوليمرات إما بوساطة تشكيل تشابك مستعرض للسلاسل الخطية بمرحلتين وإما مباشرة بمرحلة واحدة لتشكل أكثر أو أقل ترابط للسلاسل عشوائيا وبمدى غير محدد كما في الشكل (d-2-1). ومن أمثلة هذا النوع من البوليمرات الايبوكسي (Epoxy) والبولي فورمال ديهيدد (Polyformaldehyde).



الشكل (2-1): أنواع سلاسل البوليمرات بالاعتماد على شكلها الهندسي [21].

## خامساً:- بالاعتماد على الجوانب التكنولوجية

**Classification of Polymers Based on Technological Aspects**

تصنف البوليمرات وفقاً لخواص البوليمرات الناتج بالنسبة لتأثره بعملية التسخين و استخداماتها العملية إلى ثلاثة أنواع [24]:-

**1- البوليمرات المطاوعة للحرارة Thermoplastic Polymers**

هي بوليمرات ذات سلاسل خطية طويلة أو قليلة التفرع، إذ ترتبط هذه السلاسل الطويلة بواسطة قوى ضعيفة تدعى قوى فاندرفالز كما في الشكل (1-3-a)، إذ تستعمل هذه البوليمرات في درجات حرارة أقل من درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) (Glass Transition Temperature) [25]. يتضمن هذا الصنف البوليمرات التي تتغير صفاتها بتأثير الحرارة، فبالحرارة تتحول إلى منصهرات، وعندما تقترب درجة الحرارة من درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) تصبح مرنة ثم تزداد مرونتها بتحويلها إلى منصهرات لزجة، وعند خفض درجة الحرارة تسترجع حالتها الصلبة القوية، تستغل هذه الخاصية في عمليات تصنيع هذا الصنف المهم من البوليمرات [26].

هذه البوليمرات تستمد متانتها وجساعتها من خصائص المونومرات المكونة لها ووزنها الجزيئي العالي، وما يميزها عن البوليمرات المتصلبة حرارياً هو إمكانية إعادة تدويرها (Recycled) واستخدامها مرة أخرى. أما استعمالها كمادة أساس في المتراكبات فيتم عن طريق تقويتها بالألياف العشوائية القصيرة في المنتجات المصنوعة بطريقة الحقن، وكأمثلة عن هذا الصنف من البوليمرات: (البولي بروبيلين Poly Propylene) و(بولي كلوريد الفايثيل Poly Vinyl Chloride) وغيرها [27].

**2- البوليمرات غير المطاوعة للحرارة Thermosetting Polymers**

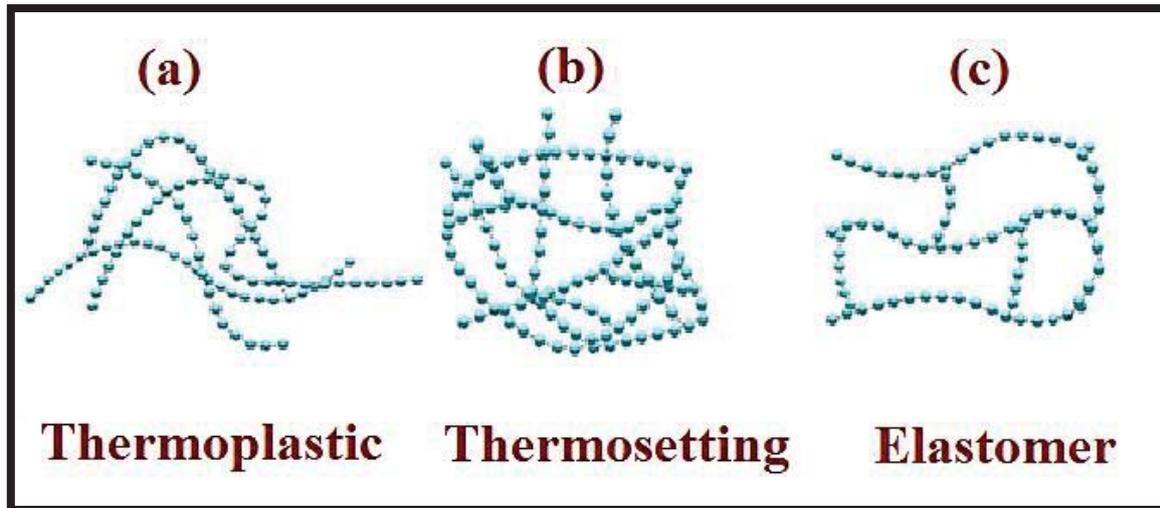
هي بوليمرات ذات جزيئات متشابكة، إذ يؤدي التشابك إلى إعاقة إعادة تبلور الجزيئات وزيادة الطاقة اللازمة لتحريك مقاطع السلاسل لذلك تكون هذه البوليمرات ذات درجة انتقال زجاجي ( $T_g$ ) عالية، إذ ترتبط جزيئات البوليمر في هذا النوع بأواصر تساهمية قوية ضمن الربط التقاطعي (Cross-Linking) ويحصل تكوين سلاسل بوليمرية ذات تراكيب شبكية ثلاثية الأبعاد كما في الشكل

(b-3-1)، لذا فإن هذه المواد لا يمكن إعادة تشكيلها مرة أخرى وتعتمد الخصائص الميكانيكية لهذه البوليمرات على طول الربط وكثافته (كثافة التشابك)، وكلما كانت الروابط قصيرة وكثيفة ازدادت قوة البوليمر وصلابته وظهر استطالة قليلة ومعامل مرونة عالي [23]. إن من أهم خصائص هذه المواد إنها غير دائبة و غير قابلة للانصهار وريئة التوصيل للحرارة والكهربائية، إذ تكمن أكثر خصائص هذه المواد أهمية هي في استجابتها للحرارة، إذ تفقد متانتها في درجة التحلل الحراري (Heat Distortion Temperature) ولهذا لا يمكن تصنيعها بالصهر، إذ تتلف وأحيانا تتفحم عند التسخين. تنتج هذه المواد من خلط مركبين هما الراتنج و المصلد (Resin and Hardener) بعملية تدعى المعالجة (Curing) التي يمكن الحصول عليها بدرجة حرارة الغرفة أو بالتسخين، إذ يتحول الخليط إلى مادة صلبة ومن أمثلة هذا النوع من البوليمرات الايبوكسي و البولي استر و راتنج الفينوليك [28].

### Elastomer Polymers

### 3- البوليمرات المطاطية

للبوليمرات المرنة المتمثلة بالمطاط صفة متميزة كالاستطالة (Elongation) وقابليتها على التمدد والتقلص (Resilience) كما في الشكل (c-3-1). ان قابلية هذا الصنف من البوليمرات لإظهار صفات المرونة تعتمد على مرونة الجزيئات ذات السلاسل الطويلة الموجودة في وضعيات ملتفة على بعضها بصورة عشوائية بحيث ان معدل المسافة بين نهايتي جزيئة البوليمر اقل بكثير من المسافة عندما تكون الجزيئة في الوضعية الممتدة. هناك انواع مختلفة من البوليمرات المستعملة صناعياً بمثابة بوليمرات مرنة. 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) [29].



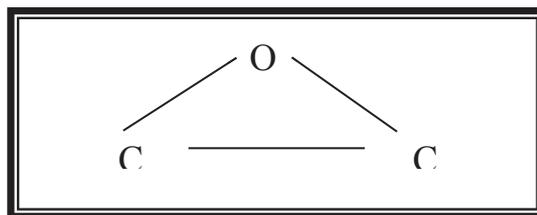
الشكل (3-1): انواع تراكييب السلاسل البوليميرية بالاعتماد على الخصائص التقنية [30].

## Epoxy Resin

## (4-1) راتنج الايبوكسي

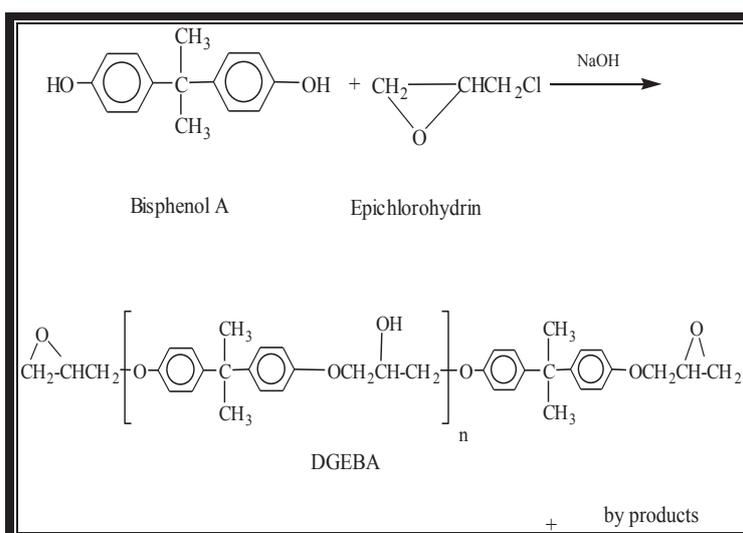
هو بوليمر معقد سائل يمكن تحويله إلى مادة صلبة بطرائق فيزيائية وكيميائية، ويعد راتنج الايبوكسي من أهم أنواع الراتنجات المستعملة في الصناعة ويستعمل في معالجة تصلد البولي امين العضوي لتحويله إلى راتنج لدن يتصلد بالحرارة [31].

ويعد راتنج الايبوكسي من المواد المتعددة الاستعمال ويكمن الاستعمال الرئيس لهذا الراتنج في التغطية التي تعطي متانة ومطاطية ومقاومية للكيميائيات، و من أهم مميزاته الانكماش المنخفض و قوة الكلال الجيدة و معدل زحفه الواطئ و حماية تأكله الجيدة و تعددية الاستعمال في المعالجة مما لا يمكن الوصول إليه من أي بوليمر آخر وكذلك يستعمل للطلاء واللواصق [32]، و تتميز المتراكبات المشكلة لراتنج الايبوكسي بخاصيتها الجيدة للعزل الكهربائي لقلة الالكترونات الحرة بسبب التركيب الكيميائي للراتنجات، ولكن مرونتها الواطئة و هشاشتها العالية و حساسيتها للرطوبة تسبب تقييداً في الاستعمال [33]. راتنج الايبوكسي مادة بوليميرية متصلدة حرارياً يحتوي على مجموعة واحدة أو أكثر من الايبوكساييد (Epoxide) و ايسط صيغة له هو الاوكسييران (Oxirane)، إذ يمثل ذرة اوكسجين مرتبطة مع ذرتين كاربون مرتبطين ببعضها كما في الشكل (4-1) [34].



الشكل (1-4): مجموعة الاوكسيران [34].

ترتبط مجموعة الايبوكسي مع الجزيئات الأخرى لتشكيل شبكة ثلاثية الابعاد ذات ربط تشابكي (Cross Linked Network)، أما العملية التي يحصل بواسطتها الترابط الكيميائي فتعرف بالمعالجة، إذ يكون تفاعل المعالجة باعثاً للحرارة و ذلك بسبب زيادة الوزن الجزيئي للمادة الأساس الذي يعد دالة لمدى التفاعل، إذ انه بتفاعل جزيئات المصلد مع الراتنج تتكون جزيئات كبيرة والتي تعطي زيادة ملحوظة في اللزوجة في درجة الحرارة، إذ يتحول بعدها الراتنج الى الحالة الجيلاتينية (Gel)، وفي النهاية يتصلب ويتميز هذا التفاعل بكونه غير مصحوب بنواتج متطايرة [23-34]. وهناك طريقتان لتحضير راتنج الايبوكسي الأولى بواسطة تفاعلات التكثيف (Condensation) والثانية بالإضافة (Addition)، فباستعمال تفاعل التكثيف تستخدم أشهر طريقة لتحضير راتنج الايبوكسي وهي بتفاعل مركب (Epichlorohydrin) مع (Bisphenol A)، ومن مميزات هذا التفاعل انه تتم المعالجة الحرارية بدرجة حرارة (120-175 °C) و من دون نواتج عرضية كما في الشكل (1-5) [35].



الشكل (1-5): طريقة تحضير راتنج الايبوكسي [35].

## Composite Materials

### (5-1) المواد المترابطة

مع تطور علم المواد الذي له الأثر في نمو واستيعاب نظام جديد ومهم يتضمن الإشارة إلى معظم المواد الهندسية، زاد الاهتمام بهذا النظام المرن وأصبح معدل التقدم فيه يزداد بسرعة كبيرة جداً، و الذي يتمثل بالمواد المترابطة.

يمكن تعريف المواد المترابطة على أنها مزيج غير متجانس (Heterogeneous Mixtures) أو متغاير الخصائص لاثنتين أو أكثر من الأطوار المتجانسة التي ترتبط مع بعضها البعض. وعن طريق هذه المواد يتم الحصول على تنظيم معين للخصائص لا يمكن أن نحصل عليه من المواد لو كانت منفصلة، ونتيجة لذلك امتد واتسع استعمال المترابكات في القرن الأخير.

ومن الناحية العملية تعرف المواد المترابطة على أنها تلك الأنظمة الصلبة الناتجة عن اشتراك مادتين أو أكثر لا تتفاعل كيميائياً ولكنهما يتأصران فيزيائياً أي لهما مميزات مثالية من الناحية العملية وهي الكثافة القليلة والمتانة العالية للمنتج المصنع. إن سلوك المواد المترابطة وتصرفاتها يعتمد على ثلاثة عناصر [36]:

1- المادة الأساس (Matrix Material).

2- مواد التدعيم (Reinforcement Materials).

3- السطح البيني (Interface).

أما الخصائص التي يمكن تحسينها بواسطة التشكيل للمواد المترابطة فهي المقاومة والجساءة ومقاومة التآكل ومقاومة البلى والوزن وعمر الكلال والسلوك المعتمد على درجة الحرارة والعزل الحراري والتوصيلية الحرارية والعزل الصوتي [37].

## Matrix Material

### (1-5-1) المادة الأساس

تعمل على ضم وربط مادة التدعيم (كالألياف و الدقائق)، إذ تلتصق معها بقوة وتعمل على تثبيتها وتحافظ عليها من التلف، والمادة الأساس إما تكون معدنية و أما لدائنية و أما سيراميكية. وتعد اللدائن من أكثر أنواع البوليمرات الشائعة الاستعمال وذلك لما تمتلكه من خصائص ميكانيكية جيدة والمواد

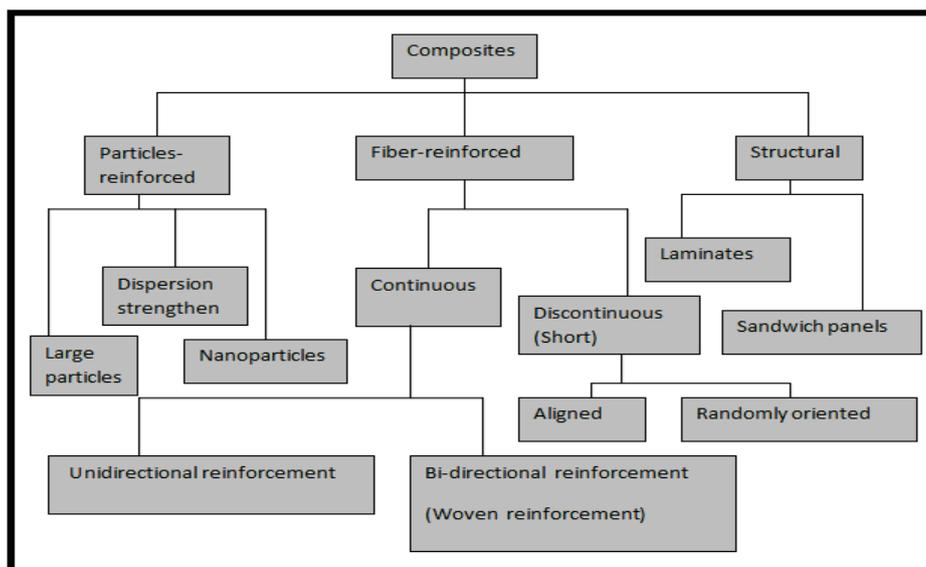
الاساسية الداخلة في صناعة اللدائن هي الراتنجات (Resins) [38].

## Reinforcement Material

### (2-5-1) مادة التدعيم

اذا كان الهدف من وجود مادة التدعيم هو زيادة متانة المادة الاساس، فيجب ان تكون اقوى (Stronger) واكثر جساءة (Stiffer) من المادة الاساس، وان يغير وجودها من ميكانيكية الكسر والفشل ويعدلها باتجاه ايجابي. وبالرغم من ان خاصيتي المتانة العالية والجساءة تناقضان خاصية المطيلية (Ductility) فان هذه المواد تكون هشّة (Brittle).

تعتبر المتانة صفة عامة في مواد التدعيم، اذ ان هذه المواد في الغالب تستخدم بهيئة اليف (Fibers) لان العيوب تؤثر بصورة ملحوظة على متانتها، وكون الشكل الهندسي (Geometry) للألياف افضل من الاشكال الدقائقية (Particulate) والقشرية (Flakes) من حيث انه يقلل المساحة المعرضة للعيوب. بالإضافة لذلك فان ما يعرف بالنسبة الباعية (Aspect Ratio) وهي نسبة (الطول / السمك) و التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار للحصول على توزيع متساو للحمل على جميع عناصر التدعيم (الالياف) [39]، فيما يقوم التدعيم بالدقائق والقشور باغراض وظيفية (Functional) اكثر من كونها بنائية (Structural)، كاستعمالها في الاجزاء الصناعية المقاومة للحرارة او اجزاء المكائن الكهربائية وغيرها [35]. الشكل (6-1) يوضح تصنيف المواد المترابكة [40].



الشكل (6-1): تصنيف المواد المترابكة [41].

## Types of Composite Materials

## (6-1) أنواع المواد المترابكة

تصنف المواد المترابكة بحسب نوع التدعيم الى:-

### Dispersion-Reinforced Composites

### 1- المترابكات المدعمة بالتشتت

هي دقائق صغيرة تعمل على أعاقه حركة الانخلاعات عند درجات الحرارة العالية وهي ذات أقطار بنحو (0.1 Micron)، و تخلط بدقة في المادة الأساس و تعمل على زيادة حد المرونة لأنها تقلل من الاجهادات المسلطة على المادة الأساس [42]. ومثال على هذه الدقائق هي اكاسيد الفلزات مثل اوكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) و الذي يتميز بالاستقرار الحراري [40,43].

### Particulate-Reinforced Composites

### 2- المترابكات المدعمة بالدقائق

يتم تدعيم المادة الأساس بدقائق أو جسيمات ذات أقطار مايكروية، و التدعيم في المادة الراتنجية يتم باستعمال مواد دقائقية تسمى بالحشوات (Fillers)، يتم توزيع الحشوات في المادة الأساس بشكل متجانس ومنتظم مما يؤدي إلى زيادة جساءة المادة الأساس و تحسين مقاومة الزحف (Creep) ومقاومة الصدمة (Impact) للمادة الأساس [44].

### Fibers-Reinforced Composites

### 3- المترابكات المدعمة بالألياف

تتميز المواد المترابكة المدعمة بالألياف بأدائها العالي وذلك بسبب امتلاكها معاملات ميكانيكية عالية من مرونة وشد في المادة الأساس و التي تعمل على توزيع الحمل على الألياف، فضلا عن منع نمو الشقوق الصغيرة (Cracks) و التي تحدث نتيجة الاجهادات الميكانيكية وكذلك مقاومتها للظروف البيئية وتحملها الحراري، وتختلف أشكال الألياف فمنها المتقطعة و المستمرة أو تكون محاكة بشكل حصيرة [45]. وقد تصنف المترابكات المدعمة بالألياف الى (كما في الشكل (7-1)):-

### Single-Layer Composites

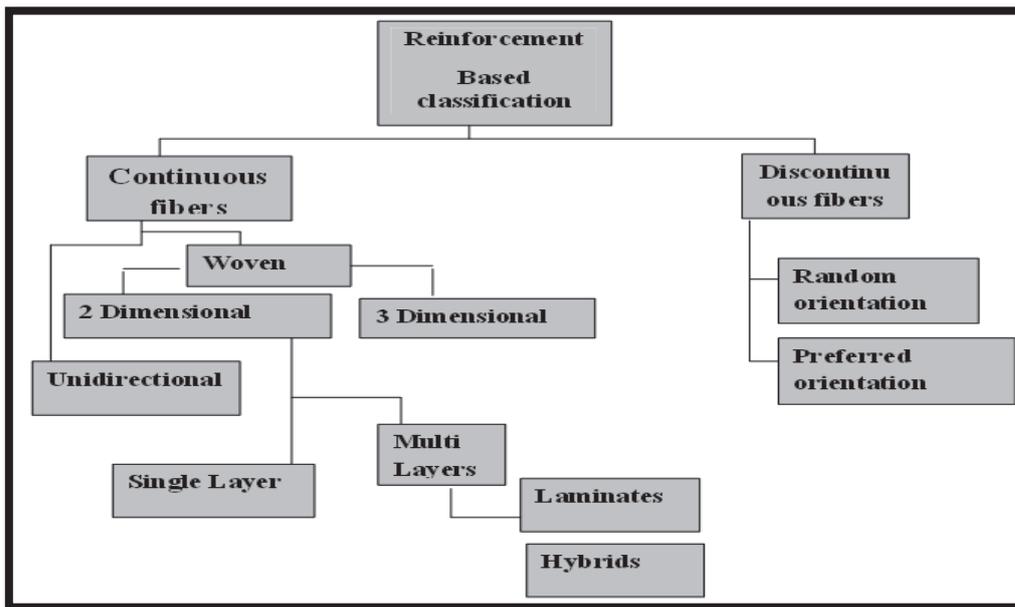
### a- مترابكات ذات طبقة واحدة

تتكون من طبقات مميزة لكل واحدة منها الخصائص والاتجاه نفسه، وعندما تكون مستمرة (Continuous Fibers) تدعى بالمترابكات ذات الاتجاه الواحد (Unidirectional) [46].

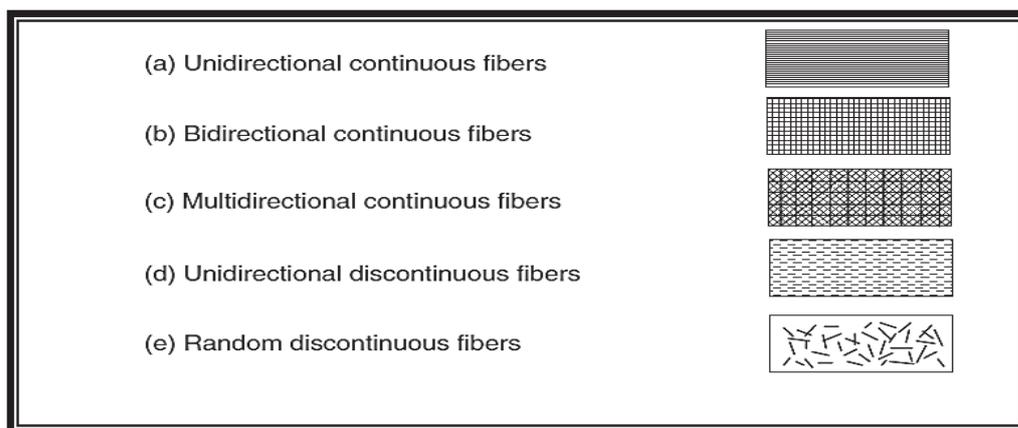
## Multi-Layers Composites

## b- متراكبات متعددة الطبقات

تتكون من عدد من الطبقات كل طبقة تعد متراكباً ذا طبقة منفردة ويمكن ترتيبها بحسب الأنموذج المراد استخدامه [46]، والشكل (8-1) يوضح أشكال مختلفة للألياف. ومن أكثر الألياف شيوعاً في الاستخدام هي ألياف الزجاج و الكفلر و الكربون والبورون بوصفها أليافاً عضوية فضلاً عن الألياف المعدنية مثل ألياف النحاس والحديد و الألمنيوم [47].



الشكل (7-1): تصنيف المتراكبات الليفية [41].



الشكل (8-1): اشكال وطرائق ترتيب الألياف [48].

## Hybrid Composites

### (7-1) المتراكبات الهجينة

إن مصطلح المواد المتراكبة الهجينة يطلق على المواد المتراكبة التي تتكون من نوعين أو أكثر من مواد التدعيم ضمن المادة الأساس. إن مصطلح الهجين (Hybrid) يطلق على المتراكبات المتقدمة التي تتكون من مزيج متنوع من مواد التدعيم كأن تكون المادة الأساس مدعمة بالألياف والدقائق معاً وذلك للحصول على مادة جديدة ذات صفات جيدة، مثل المقاومة أو المتانة المتوازنة وانحناء متوازن. أن الغرض من استخدام نوعين أو أكثر من مواد التدعيم في المواد المتراكبة الهجينة هو إمكانية السيطرة على الكلفة الاقتصادية التي تعد عاملاً مهماً في الصناعات الكبيرة فمثلاً يمكن الاستعانة بألياف الزجاج الرخيصة الثمن مع ألياف الكربون الباهظة الثمن. إن استخدامات المواد المتراكبة الهجينة بدأت بصناعة السيارات والأدوات الرياضية ثم تطورت لتشمل صناعة أجزاء من الطائرات وذلك لامتلاكها خصائص مثالية و هي [49]:

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).

ومن الممكن تصنيف المتراكبات الهجينة بالنسبة لتركيبها كالاتي [50]:-

## Sandwich Hybrids

### 1- الهجائن الشطائرية

تعرف ايضاً بهجائن (القشرة-اللب Shell-Core) والتي تكون فيها احدى مادتي التدعيم محشورة بين طبقتين من مادة التدعيم الاخرى.

## Interplay, Laminated Hybrids

### 2- الهجائن الطبقيّة او الصفائحية

تتكون من نوعين مختلفين أو أكثر من طبقات المتراكبات ذات الاتجاه الواحد مرصوفة بترتيب معين (ترصف فيها الطبقات بصورة متعاقبة).

### Interplay or Tow by Tow Hybrids

### 3 - الهجائن ضمن الطبقة

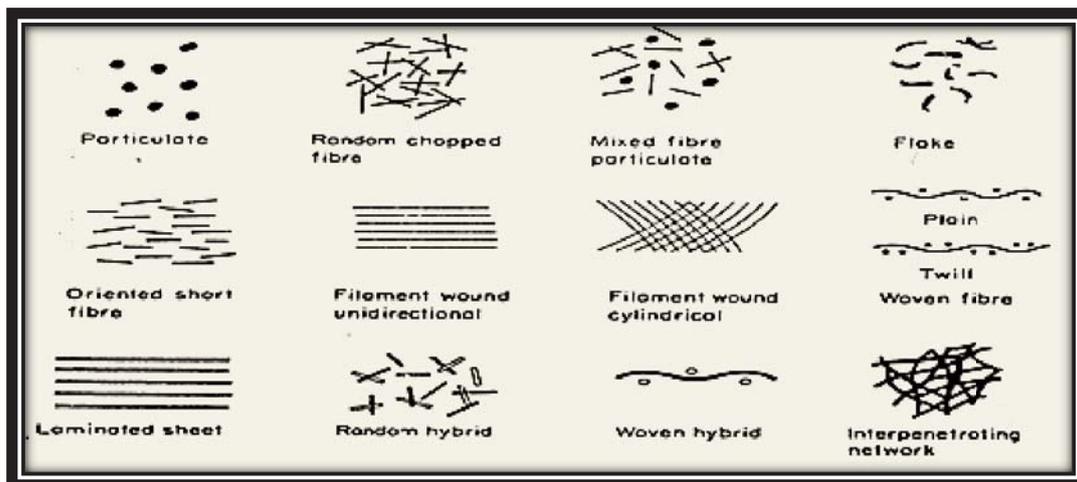
في هذه الهجائن تخلط جديلة احدى المواد مع جديلة من مادة اخرى بطريقة معينة او بطريقة عشوائية.

### Intimately Mixed Hybrids

### 4- الهجائن المخلوطة جيداً

تصنع هذه الهجائن بخلط الالياف جيداً لضمان عدم وجود تركيز ل احد الالياف في منطقة معينة.

5- الانواع الاخرى من الهجائن كتلك التي تصنع من الاضلاع (Ribs) و الحجابات الرقيقة (Thin Veils) او التي تنتج عن مزج الانواع المذكورة آنفاً.



الشكل (1-9): الأشكال المختلفة لمواد التدعيم الأحادية والهجينة [50].

### (8-1) العوامل المؤثرة في سلوك المتراكبات المدعمة بالألياف

### Factors Affecting In Fibers-Reinforced Composites

من العوامل المهمة والمؤثرة في المتراكبات المدعمة بالألياف هي [51]:

1- الكسر الحجمي.

2- طول الليف الفعال.

3- توجيه الألياف.

4- السطح البيني.

5- نوع الألياف المستخدمة للتدعيم.

وفيما يأتي شرح مفصل لكل عامل:

## 1- الكسر الحجمي وقانون الخلانط Volume Fraction and Law of Mixtures

يعد الكسر الحجمي من المواضيع المهمة الواجب دراستها في المواد المتراكبة، إذ يعرف بأنه الكمية النسبية لمختلف المكونات في المادة المتراكبة، وغالباً ما يعبر عنه بنسبة حجم التدعيم إلى الحجم الكلي للمادة المتراكبة، والتعبير عن مكونات المادة المتراكبة حجماً يكون مناسباً بسبب سهولة ربطه بمفهوم مشاركة الحمل ضمن المادة المتراكبة، إلا أنه من الصعب قياس حجم المكونات خلال التصنيع، بينما يكون قياس وزنها أسهل، لذلك يكون استعمال الكسر الوزني (Weight Fraction) شائعاً أيضاً [52].

ويمكن الربط بين الكسر الوزني والكسر الحجمي بالمعادلات الآتية [50]:-

$$W_c = W_f + W_m \dots\dots\dots(1-1)$$

$$\frac{W_f}{W_c} = \psi \dots\dots\dots(2-1)$$

$$V_f = \frac{\frac{\psi}{\rho_f}}{\frac{\psi}{\rho_f} + \frac{W_m}{\rho_f}} \times \frac{\rho_f}{\psi} \dots\dots\dots(3-1)$$

$$V_f = \frac{1}{1 + \frac{W_m}{\rho_m} \times \frac{\rho_f}{\psi}} \dots\dots\dots(4-1)$$

$$V_f = \frac{1}{1 + \frac{1-\psi}{\psi} \times \frac{\rho_f}{\rho_m}} \dots\dots\dots(5-1)$$

إذ إن:  $W_c$ ,  $W_m$ ,  $W_f$  : وزن الألياف والمادة الأساس والمادة المتراكبة على التوالي.

$\psi$ : الكسر الوزني للألياف في المادة المتراكبة.

$\rho_m$ ,  $\rho_f$ : كثافة الألياف والمادة الأساس على التوالي.

$V_f$ : الكسر الحجمي.

إذ تتأثر خصائص المواد المتراكبة بصورة كبيرة بخصائص مكوناتها وتوزيعها والتفاعل فيما بينها،

إذ أنه يمكن أن تتأثر بمجموع خصائص المكونات للكسر الحجمي، أو يمكن أن تتفاعل هذه المكونات فيما

بينها لتعطي خصائص لم تكن متوقعة لمجموع الكسر الحجمي البسيط، وبصورة أساسية فإن المواد المترابطة تسلك سلوك المادة الأساس عند احتوائها على ألياف بكسر حجمي قليل، بينما تسلك سلوكاً شبيهاً بالألياف عند احتوائها على ألياف بكسر حجمي عالٍ، لذلك عند القيم الواطئة للكسر الحجمي فإن خصائص المادة الأساس يمكن أن تحدد سلوك المادة المترابطة [49].

يعبر عن نسب الألياف والمادة الأساس في المادة المترابطة بدلالة الكسر الحجمي الذي يشغله كل منهما إلى الحجم الكلي للمادة المترابطة ( $v$ ) بالمعادلات الآتية [50]:-

$$V_f = \frac{v_f}{v} \dots \dots \dots (6-1)$$

$$V_m = \frac{v_m}{v} \dots \dots \dots (7-1)$$

إذ إن:  $V_m, V_f$  يمثلان الكسر الحجمي لكل من الألياف والمادة الأساس على التوالي.

$v_m, v_f$ : حجم الألياف و المادة الأساس على التوالي

$$V_m = 1 - V_f \dots \dots \dots (8-1)$$

وبقسمة المعادلة (1-1) على الحجم الكلي للمادة المترابطة ( $v$ ) نستنتج تعبيراً لكثافة المادة المترابطة ( $\rho$ ) بدلالة كثافة كل من المادة الأساس ( $\rho_m$ ) والألياف ( $\rho_f$ )، وباستخدام المعادلة (1-4) و (1-5) نتوصل إلى العلاقة (8-1):

$$\rho = V_f \rho_f + (1 - V_f) \rho_m \dots \dots \dots (9-1)$$

وتعرّف العلاقة (9-1) بقانون الخلط (Rule of mixtures) وتصح للخصائص الفيزيائية الأخرى للمادة المترابطة.

## Effective Fiber Length

## 2- طول الليف الفعّال

في المواد المترابطة المدعمة بالألياف يصبح التدعيم غير فعال إذا لم يؤخذ بالحسبان طول الليف والذي يجب أن يكون أكبر من طول معين يسمى بالطول الحرج (Critical Length) والذي يعتمد على قطر الليف ونهاياته (أو قابلية شدّ الليف)، أي منطقة القوة الرابطة بين ألياف والراتنج، و يمكن حسابه على وفق المعادلة الآتية [50]:-

$$L_c = \frac{r_f \sigma_f}{2\tau_m} \dots \dots \dots (10-1)$$

إذ إن:

$L_c$ : الطول الحرج للليف،  $r_f$ : نصف قطر الليف،  $\sigma_f$ : الإجهاد المسلط على الليف.

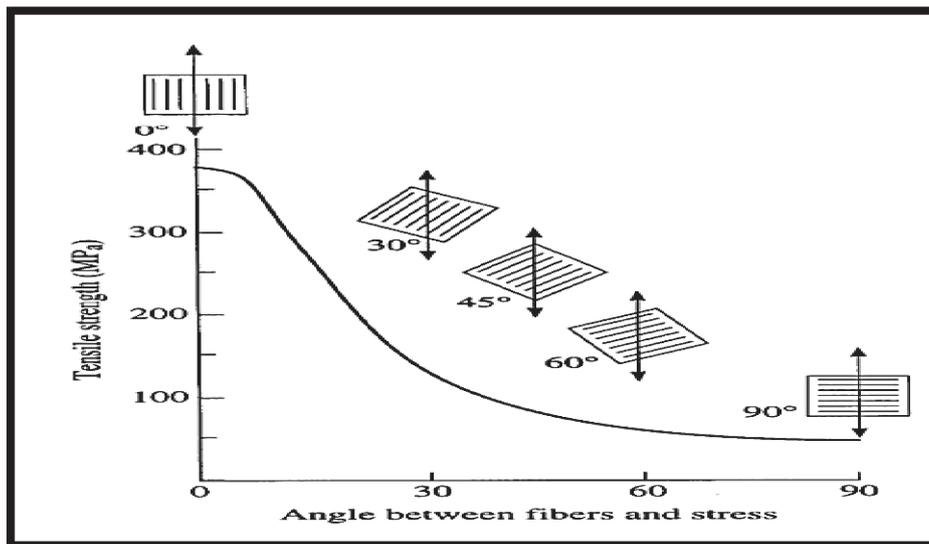
$\tau_m$ : إجهاد القص (Stress Shear) بموازاة الليف المقاوم للسحب.

فعندما تكون الألياف قصيرة وغير مستمرة تكون خصائص المترابك غير خاضعة لقانون الخلط (Rule of Mixture) ومن ثم قد تتعرض هذه الألياف إلى الكسر في إثناء التحميل، وعند فحص الاجهادات الناشئة عند نهايتي الليف المغمور في المادة الأساس يلاحظ هبوط إجهاد الشد عن القيمة الاعتيادية إلى الصفر عند نهاية الليف (جهة الكسر)، في حين يزداد إجهاد القص للسطح البيني عن قيمته الاعتيادية إلى أعلى قيمة له [53].

### Fibers Routing

### 3- توجيه الألياف

إن اتجاهية الألياف لها دور مهم في مقدار معامل المرونة، فإذا تم تسليط حمل على المترابك باتجاه موازي لاتجاه الألياف يكون معامل المرونة كبيراً، وإذا كان الحمل المسلط عمودياً على اتجاه الألياف فانه معامل المرونة يقل [54]، إما عندما يكون ترتيب الألياف عشوائياً فان المتانة تكون متساوية في جميع الاتجاهات تقريباً [51,53]، ويستعمل غالباً هذا الترتيب في صناعة القوارب وهياكل الخزانات، والشكل (10-1) يوضح تغيير متانة المترابك تبعاً لتوجيه الألياف.



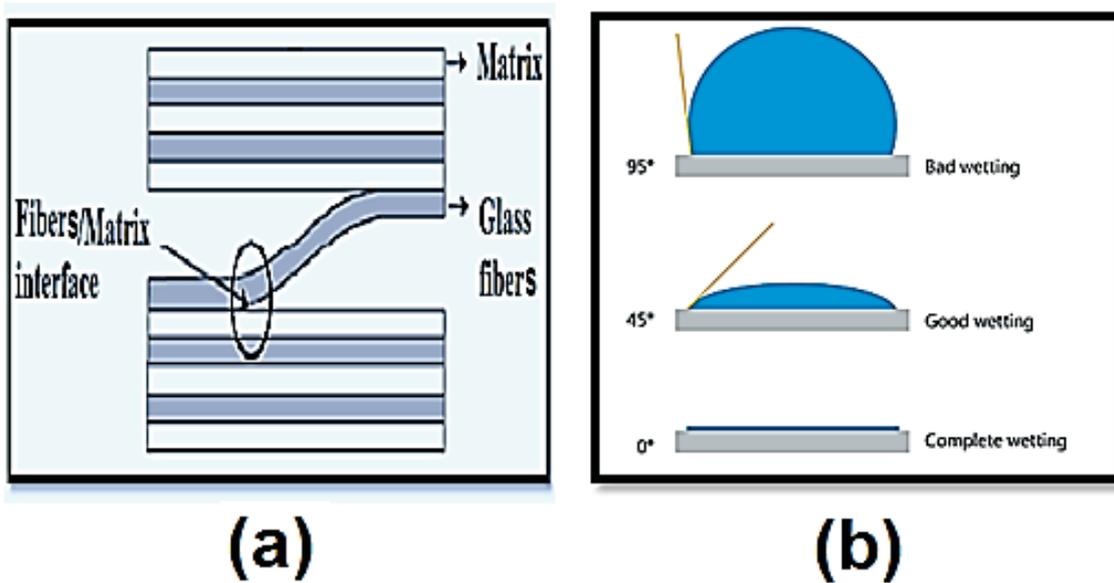
الشكل (10-1): تغيير المتانة للمترابك تبعاً لتوجيه الألياف [50].

### Interface

### 4- السطح البيني

يتكون السطح البيني نتيجة الالتصاق بين الليف والمادة الأساس والمنطقة القريبة لهما. وتعد مقاومة قص الطبقات الداخلية مقياساً جيداً لمقاومة ربط السطح البيني وتحسينه. إذ أن الترابط بين مادة التدعيم

والمادة الأساس هو العامل الرئيس في تحديد السلوك الميكانيكي للمادة المترابطة في أثناء التحميل [56] كما في الشكل (11-1a) بالإضافة الى تأثير زاوية ترطيب الليف و الموضحة في الشكل (11-1b).



الشكل (11-1): a- السطح البيني بين ألياف الزجاج والراتنج  
b- تأثير زاوية ترطيب الليف [55].

إن آلية نقل القوى من المادة الأساس إلى مواد التدعيم تعتمد على قوة الربط بين هذه المواد وبانعدام الربط لا يحصل نقل للقوى من المادة الأساس، ومن الضروري معرفة الاحتمالات المختلفة لأنواع الربط وذلك من أجل السيطرة على درجة الربط بين المادة الأساس ومواد التدعيم. يمكن تصنيف أنواع الربط للسطح البيني الى [56]:-

### Mechanical Bonding

### a - الربط الميكانيكي

يعمل الراتنج على ترطيب سطح الليف بشكل تام و هذا النوع من الربط يعتمد بشكل أساسي على طبيعة سطح الليف [57] كما في الشكل (11-12a).

### Electrostatic Attraction

### b- الجذب الكهروستاتيكي

إن قوة الجذب بين سطحين تحدث عندما يكون احد السطحين ذا شحنة موجبة والسطح الآخر ذا شحنة سالبة، إذ أن قوة السطح البيني تعتمد على السطح الأكثر كثافة للشحن [58] كما في الشكل (11-12b).

**Inter Diffusion**

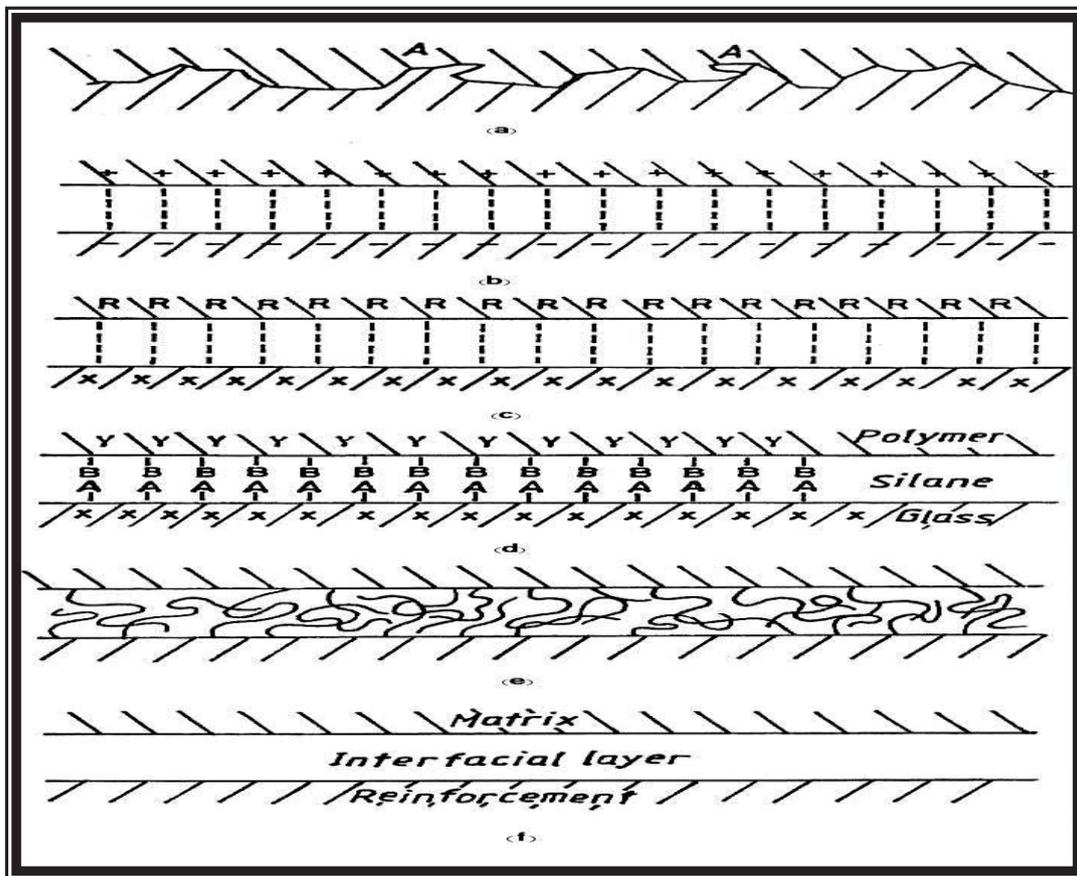
**c - الانتشار البيني**

يتشكل الترابط بين كلا السطحين البوليمرين بانتشار الجزيئات لأحد السطوح إلى داخل الشبكة الجزيئية لسطح البوليمر الأخر وتدعى هذه الظاهرة بالالتصاق الذاتي [57] كما في الشكل (c-12-1).

**Chemical Bonding**

**d - الربط الكيميائي**

يتكون هذا النوع عن طريق القوى الجزيئية ويعتمد بشكل أساسي على طبيعة الأواصر، فالتاصر الكيميائي يتشكل بين المجموعة الكيميائية عند سطح الليف والمجموعة الملائمة من المادة الأساس كما في الشكل (d-12-1)، وفي اغلب الأحيان يحدث ازدواج كيميائي على سطح الليف ويصعب السيطرة على خاصية سيلان الألياف (Fibers Silane) [59] كما في الشكل (c,d-12-1).



الشكل (12-1): آليات الالتصاق بين الراتنج والألياف [50].

**Type of Fibers Reinforcement Used**

**5- نوع الألياف المستخدمة للتدعيم**

يوجد نوعان أساسيان من الألياف هما الألياف الطبيعية مثل ألياف الجوت و القطن والالياف

الصناعية مثل ألياف الزجاج و الكربون والكفلر، وتأخذ ألياف التدعيم أشكالاً مختلفة منها الحزم المستمرة والألياف المحاكاة بشكل حصيرة (Woven Roving) أو الألياف المنقطعة بأطوال مختلفة، يمكن تعريف الألياف على أنها تراكيب خيطية متعددة الأجزاء أو سلسلة من المواد على درجة عالية من التبلور [60].

والألياف الصناعية غالباً ما تدخل في تدعيم المواد المتراكبة التي تتم صناعتها من مجاميع الاميدات (Amid Groups) مثل ألياف الزجاج والكفلر والكربون والبورون. وتمتلك الألياف ميزة خفة الوزن والكثافة الواطئة ويمكن تصنيعها لمختلف الأشكال والأحجام، حيث تصنع الألياف على شكل خيوط (Yarns) ذات أقطار مايكروية ولأطوال قصيرة وطويلة [61]. وتؤدي الألياف دوراً مهماً جداً في سلوك المتراكبات ولكن مع مراعاة الشروط الآتية [62]:-

a- يجب إن تكون ذات معامل مرونة عالي لكي يكون التعزيز كفوءاً.

b- احتفاظها بقوتها ومتانتها في أثناء التشكيل وبعده.

c- مقاومتها القصوى العالية.

d- سطوحها وأقطارها منتظمة.

## Nanomaterials

## (9-1) المواد النانوية

يمكننا تعريف المواد النانوية بأنها تلك الفئة المتميزة من المواد المتقدمة التي يمكن إنتاجها بحيث تتراوح مقاييس أحد أبعادها أو أبعاد حبيباتها الداخلية بين (1-100) nm، وقد أدى صغر أحجام ومقاييس تلك المواد إلى أن تسلك سلوكاً مغايراً للمواد التقليدية كبيرة الحجم التي تزيد أبعادها على (100 nm)، إذ تتوفر فيها صفات وخصال شديدة التمييز لا يمكن أن توجد مجتمعة في المواد التقليدية. إن المواد النانوية هي مواد البناء للقرن الحادي والعشرين ولبناته الأساسية، والركن المهم من أركان تكنولوجيا القرن الحادي والعشرين (تكنولوجيا النانو والتكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات) التي تعد معياراً لتقدم حضارة الأمم ومؤشراً لنهضتها. وتتنوع المواد النانوية من ناحية المصدر، إذ تختلف باختلاف نسبها كأن تكون مواد عضوية أو غير عضوية أو مواد طبيعية أو مصنعة. هذا وتعد جميع أنواع المواد الهندسية المعروفة مثل العناصر الفلزية وسبائكها (Metal and Metal Alloys) و أشباه الموصلات (Semiconductors) والأكاسيد والمعادن

(Oxides and metals) مواد نانوية ومن مصادر طبيعية ومصنعة. أن فكرة استخدام تقنية النانو تتلخص في إعادة ترتيب الذرات التي تتكون منها المواد، وكلما تغير الترتيب الذري للمادة كلما تغير الناتج منها إلى حد كبير. تعتمد خصائص هذه المنتجات على كيفية ترتيب هذه الذرات، فإذا قمنا بإعادة ترتيب الذرات في الفحم يمكننا الحصول على الماس، أما إذا قمنا بإعادة ترتيب الذرات في الرمل وأضافنا بعض العناصر القليلة يمكننا تصنيع رقائق الكمبيوتر. ان ما يعكف عليه العلم الآن هو تغيير طريقة ترتيب الذرات بناء على مقياس النانو، و بالتالي فإن ما كان يحلم به العلماء قبل قرون بتحويل المعادن الرخيصة إلى ذهب مثلا سيكون ممكنا، لكن الواقع أن الذهب سيفقد قيمته في هذه الحالة. واليوم تأتي تقنية النانو لتحل بديلاً عن الميكرو حيث يمكن تصنيع الأجهزة الكهروميكانيكية والإلكترونية النانوية، وتقليل حجم جميع تلك الأجهزة المستخدمة بمقدار ألف مرة عن حجم أجهزة الميكرو مما يؤدي إلى تغيير خصائص تلك الأجهزة إلى الأفضل [44].

## Classification of Nanomaterials (10-1) تصنيف المواد النانوية

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

تقع تحت هذه الفئة جميع المواد التي يقل احد مقاييس ابعادها عن (100nm). وسميت هذه الفئة بالمواد النانوية احادية الابعاد (اي التي لها بعد نانوي واحد فقط). ومن امثلة هذه المواد الرقائق او الاغشية (Thin Layers) مثل المواد النانوية الموظفة في اعمال طلاء الاسطح (Surface Nanocoating) و التي تستخدم مثلا في طلاء اسطح المنتجات الفلزية بفرض حمايتها من التآكل بالصدأ، او تلك الافلام رقيقة السمك (Thin Films) المستخدمة في تغليف المنتجات الغذائية بهدف وقايتها من التلوث والتلف. كذلك تصنع مواد اشباه الموصلات المختلفة مثل رقائق السيليكون لتوظيفها في صناعة الخلايا الشمسية [60].

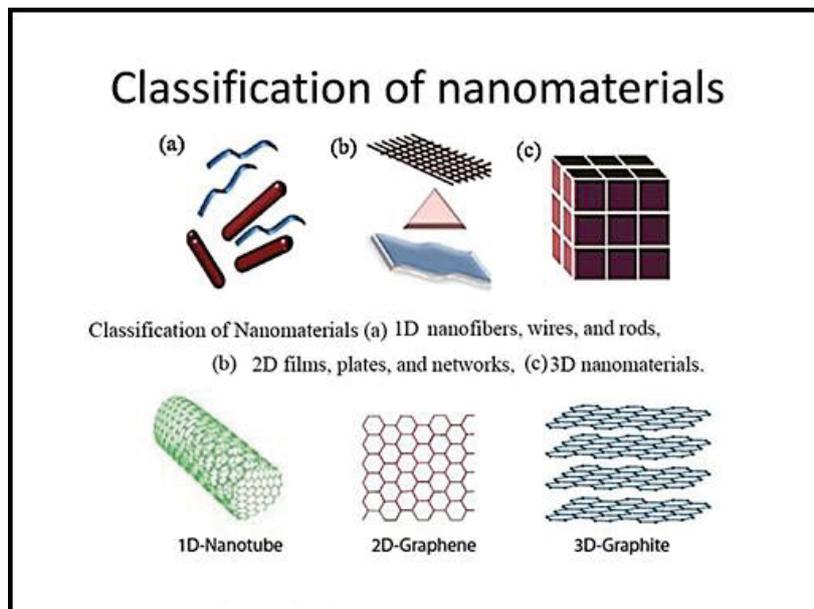
### Two Dimension Nanomaterials (2D) b- المواد النانوية ثنائية الابعاد

يشترط في مجموعة هذه الفئة من المواد النانوية ان يقل مقياس بعدين من ابعادها عن (100nm). وتعد الانابيب او الاسطوانات النانوية (Nanotubes) ومنها انابيب الكربون النانوية والالياف النانوية وكذلك الاسلاك النانوية (Nanowires) نماذج مهمة لتلك الفئة من المواد. ولم يكن غريبا ان ترشح انابيب الكربون النانوية لان توظف كمواد داعمة ومقوية لقوالب الفلزات لرفع قيم صلابتها وتحسين

خصائصها الميكانيكية، وعلى الاخص رفع مقاومتها للانهييار، كما انها تجمع خصائص فريدة اخرى مثل القدرة الفائقة على التوصيل الحراري والكهربائي. علاوة على خصائصها الكيميائية المتميزة. ومن المتوقع استخدام الانابيب والاسلاك النانوية في تصنيع مكونات الخلايا الشمسية والشرائح الالكترونية واجهزة الاستشعار والاجهزة الالكترونية الدقيقة [64].

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

تعتبر الجسيمات النانوية و مساحيق الفلزات والمواد السيراميكية فائقة النعومة امثلة لهذه الفئة من المواد التكنولوجية المهمة التي توصف بانها ثلاثية الابعاد، ومن الجدير بالذكر ان هذه الفئة من المواد النانوية ثلاثية الابعاد سواء كانت على هيئة حبيبات ام مساحيق فائقة النعومة تنصدر قائمة الانتاج العالمي من المواد النانوية بوجه عام وذلك نظرا لتعدد استخداماتها في المجالات والتطبيقات التكنولوجية الحديثة. فعلى سبيل المثال تتوافر الآن في الاسواق مساحيق حبيبات نانوية لأكاسيد الفلزات ذات اهمية اقتصادية كبيرة حيث تدخل اكاسيد الفلزات مثل اوكسيد السيليكون ( $SiO_2$ ) و اوكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ) و اوكسيد الالمنيوم ( $Al_2O_3$ ) في قطاع صناعة الالكترونيات ومواد البناء وصناعة البويات والطلاء، وكذلك في صناعة الادوية والاجهزة الطبية الحديثة لتحل بذلك محل المواد التقليدية، والتي تساهم في رفع كفاءة وجودة هذه المنتجات. و الشكل(1-13) يوضح تصنيف المواد النانوية [43].



الشكل (1-13): تصنيف المواد النانوية [43].

## Alumina Particles

### (11-1) دقائق الالومينا

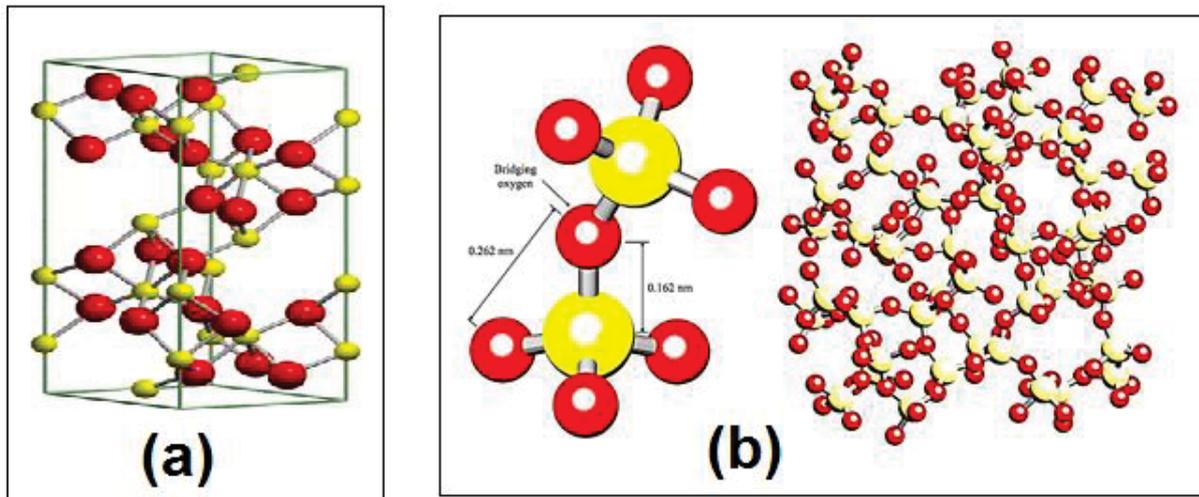
الالومينا أو اوكسيد الألمنيوم هو مركب كيميائي له الصيغة  $Al_2O_3$ ، يتمتع اوكسيد الألمنيوم بخصائص فريدة جعلته من أهم المواد الهندسية في أواخر القرن العشرين ومنها الاستقرار الكيميائي وحرارة انصهار مرتفعة جدًا وقساوة عالية ومقاومة عالية للتآكل من الأملاح والقلويات والأحماض، الأمر الذي أتاح استخدامه في مجالات عديدة وخاصة في صناعة السيراميك ومواد الصقل وفي صناعة البصريات (نظرًا لشفافية أغشيته) وأيضًا كوسيط في بعض التفاعلات الكيميائية. وكما نعلم أن المواد الهندسية النانوية تبدي خصائص فائقة وهامة، لذلك اتجهت الأبحاث العلمية مؤخرًا نحو تحضير الالومينا النانوية. كما و يستخدم سيراميك الالومينا كعوازل كهربائية بسبب مقاومته الكهربائية العالية. و بالنسبة لمعظم التطبيقات التي لا يتم استخدام الالومينا النقية فيها، تضاف السيليكات بين حبيبات الالومينا النقية لتقليل درجة حرارة التليد و تُعرف هذه المواد باسم (Debased Alumina) والتي عادة ما تكون أكثر قدرة على التوصيل (مقاومة أقل) من الالومينات النقية [63]. هنالك عدة انواع من الالومينا و التي تختلف عن بعضها من حيث الحجم الحبيبي و التشكيل و نسبة اضافة الشوائب الى الالومينا النقية (a-  $Al_2O_3$ ). اما من حيث التركيب البلوري فتقسم الالومينا الى عدة اطوار وهي ( $\chi$ ), eta ( $\eta$ ), gamma ( $\gamma$ ), kappa ( $\kappa$ ), theta ( $\theta$ ), Alfa ( $\alpha$ ), delta ( $\delta$ )، و تسمى بنماذج الانتقال للالومينا و تنشأ من التحلل الحراري لثلاثي هيدروكسيد الالمنيوم ( $Al(OH)_3$ ) (Aluminum Trihydroxides) تحت ظروف مختلفة، والطور ( $\alpha-Al_2O_3$ ) هو الأكثر استقرارا من المركبات التي تشكلت بين الالومنيوم والأكسجين، ويعتبر الناتج النهائي من المعالجة الحرارية [64]. و الشكل (14-1-a) يوضح التركيب البلوري للالومينا [66].

## Silica Particles

### (12-1) دقائق السيليكا

هي ثاني اوكسيد السيليكون و يرمز لها بالرمز  $SiO_2$ ، تتميز بأنها مادة بلورية صلبة القوام لونها ابيض و كثافتها ( $2.634 \text{ g/cm}^3$ ) و تعتبر من أكثر المركبات وفرة في الطبيعة و احدى اهم المكونات الرئيسية للقشرة الارضية، و لها عدة تسميات اخرى منها ثنائي اوكسيد السيليكون (IV) و اوكسيد السيليكون و الكوارتز سداسي التركيب البلوري. توجد السيليكا بأشكال بلورية مختلفة ثلاثية الابعاد و هي مواد صعبة الانصهار مثل: الكوارتز (Quartzite) و التريديمايت (Tridymite) و الكريستوبالايت (Cristobalite)، كل منهم يوجد بشكلين معدلين هما الشكل الفا الثابت في درجات الحرارة المنخفضة و الشكل بيتا الثابت في درجات الحرارة المرتفعة [65]. بالاضافة الى ذلك توجد سيليكات عديمة الشكل

وهي شكل غير بلوري يحوي على % (3-12) من الماء بالاضافة الى وجود سيليكات خفيفة التبلور. الشكل الغير بلوري للسيليكا يدعى (Fused Silica) والذي يتميز بمعامل تمدد حراري واطيء جداً ( $0.55 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) بالمقارنة مع الأشكال البلورية. للسيليكا كثافة ودرجة حرارة انصهار اقل من الالومينا وهي من العوازل الكهربائية الممتازة، وتستخدم سوية مع الالومينا مكونين المولاييت ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ )، تشمل استخدامات السيليكا كافة الصناعات الزجاجية بالإضافة إلى استخدامها في صناعة الألياف البصرية (Optical Fibers) والمواد الحرارية، تؤدي إضافة السيليكا إلى تقليل الانكماش وتقليل اللدونة مما يؤدي إلى خروج الغازات دون تأثير على شكل الجسم السيراميكي، وتتحد السيليكا مع اكاسيد المعادن القاعدية ليكون الزجاج، ويعتبر الكوارتز المطحون أكثر استخداماً من الأنواع الأخرى من مصادر  $\text{SiO}_2$  وذلك لسهولة تحوله إلى صيغ بلورية أخرى أثناء الحرق (التردماييت إلى الكريستوبلايت)، ويتم الحصول على قطع صغيرة من  $\text{SiO}_2$  بتكسير الكتل الكبيرة مثل الكوارتزاييت بواسطة الصدمة الحرارية بعد التسخين لدرجة حرارة ( $900^\circ\text{C}$ ) حيث تتحول إلى اللون الأبيض. ويعتبر الفلنت (Flint) احد مصادر الكوارتز المهمة والتي تضاف إلى الخامات الأخرى لتحسين خصائص الصلادة والشفافية. أما رمل السيليكا (Silica Sand) فانه رمل نقي يحتوي على نسبة اكبر من (99 %) من  $\text{SiO}_2$  والأقل منه نقاوة يكون بسبب وجود بعض الاكاسيد مثل  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  أو  $\text{TiO}_2$ . و الشكل (b-1-14) يوضح التركيب البلوري للسيليكا [66].



الشكل (14-1): a- التركيب البلوري للالومينا  
b- التركيب البلوري للسيليكا [66].

### (13-1) الألياف الزجاجية

#### Glass Fibers

هي ألياف غير عضوية صناعية، تتميز عن بقية الألياف بكثرة استعمالها وذلك لما تتمتع به من خصائص ميكانيكية وكهربائية جيدة مقارنةً بكلفتها الواطئة، وعبر تجارب أجريت في عام (1931) إذ تمكنت شركتان أمريكيتان هما شركة زجاج إيلينوي أوينز وشركة كورننج للأعمال الزجاجية من تطوير طرائق عملية لصناعة الألياف الزجاجية بكميات تجارية [67]، وتخضع تقنية الألياف الزجاجية لمنظومة أفران خاصة بمعمل منصهرات الزجاج، توضع أكاسيد السيليكا ( $\text{SiO}_2$ ) مع اوكسيدات من بورون الكالسيوم (Calcium Boron) في حاويات مصنوعة من البلاتين أسفلها ثقوب دقيقة ضيقة يتم الحصول منها على خيوط رفيعة تلف هذه الخيوط بوساطة بكرات تدور بسرعة عالية تتراوح بين  $(1000-2000) \text{ rad/min}$  [50].

إن هذه الألياف تتميز بكونها غير متبلورة (Amorphous) ولكن تطمح الشركات المنتجة إلى أن تجعل منها متبلورة ولكن هذا مقابل الانخفاض في متانة وقوة الليف [62]. إذ توجد ثلاث أنواع من ألياف الزجاج وهي [68]:-

#### 1- (C- glass)

هذا النوع بوصفه رمزا لمقاومة التآكل (Corrosion) فله مقاومة كيميائية أكبر من الألياف الزجاجية من نوع E ولكنها اقل متانة وأعلى ثمناً منها.

#### 2- S-Glass (High Strength)

هو الأعلى ثمناً من بين الأنواع الثلاثة، ولكن ما يميزها هو امتلاكها لمعامل مرونة عال ومقاومة كبيرة لدرجات الحرارة العالية، ولهذا النوع استعمال محدود وخاصة استعماله في صناعة الطائرات إذ إن أدائه العالي يبرر كلفته الإضافية.

#### 3- E-Glass (Electric Grade)

هو الشكل الأكثر شيوعاً بسبب سهولة وسلاسة سحبه في أثناء التصنيع و متانته العالية و جساوته (Stiffness) وخصائصه في العزل الكهربائي ومقاومة الظروف الجوية و رخيص الثمن. الجدول (1-1) يوضح التراكيب والخصائص لكل نوع [69].

الجدول (1-1): تراكيب وخصائص الألياف الزجاجية [69].

Composition (%)	E- glass	C-glass	S-glass
SiO <sub>2</sub>	52.4	64.4	64.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.4	4.1	25.0
CaO	17.2	13.4	
MgO	4.6	3.3	10.3
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0.8	9.6	0.3
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.6	4.7	-
BaO	-	0.9	-
Properties			
Density (mg/m <sup>3</sup> )	2.60	2.49	2.48
Thermal conductivity coefficient (Wm <sup>-1</sup> k <sup>-1</sup> )	13	13	13
Tensile strength (GPa)	3.45	3.30	4.60
Young's modulus (GPa)	76.0	69.0	85.5
Tmax (°C)	550	600	650

## Uses of Glass Fibers

## (14-1) استخدامات الألياف الزجاجية

تستخدم الألياف الزجاجية في مجالات عديدة منها [70]:-

- 1- تستخدم الأنسجة المصنوعة من الألياف الزجاجية في عمليات العزل الكهربائي.
- 2- تستخدم الألياف الزجاجية على شكل واسع في مرشحات الهواء.
- 3- تستخدم ألياف الزجاج في العزل الحراري والصوتي، لأن الهواء المحجوز بين الألياف يجعل منها مادة عازلة جيدة.
- 4- تستخدم لدائن الألياف الزجاجية المدعمة في صناعة هياكل السيارات والقوارب، وفي إطارات النوافذ وأجزاء من المركبات الفضائية.
- 5- تستخدم الألياف الزجاجية في تدعيم اللدائن وتكون مغزولة أو مخلوطة معها أو مجدولة في خيوط

منفردة. وبناء على الشكل المستعمل منها، يتوقف نوع وسعر المنتجات النهائية.

6- تستخدم الألياف الزجاجية في تدعيم أنابيب ال (GRP) ويتم ذلك بوضع طبقات من الألياف الزجاجية على كامل الأنبوب لزيادة المقاومة الميكانيكية ضد الضغوط الناجمة عن الضغط الداخلي والضغط الخارجي وعن الحمولات الخارجية الناتجة عن العمل والتجهيزات وعن الحمولات الحرارية، ويتم الحصول على الطبقة بتطبيق صفوف مستمرة من الألياف الزجاجية من نوع (Filament Winding of roving 2400 Tex or 4800 Tex) و المشبعة بالراتنج تحت شد مراقب وذلك على البطانة السابقة المعالجة جزئياً لزيادة صلابة الأنبوب بالكامل.

7- من أهم الاستخدامات الحديثة للألياف الزجاجية هي في الخرسانة المسلحة لتسهم بشكل عام في الإنشاء العصري اقتصادياً وتقنياً وجمالياً في جميع أنحاء العالم.

## Carbon Fibers

### (15-1) الياف الكربون

هي عبارة عن خيوط رفيعة جداً تتكون في معظمها من عنصر الكربون و ذات اقطار تتراوح بين  $(5-10)\mu\text{m}$ ، و تسمى ايضاً بالياف الكرافيت (Graphite Fibers) او كرافيت الكربون (Carbon) Graphite، و تستعمل في العديد من التطبيقات الهندسية و تدعيم المتراكبات ذات الاساس البوليمري، من اهم العوامل التي تحدد خصائص الياف الكربون هي درجة كربنتها أي نسبة الكربون فيها بالإضافة الى اتجاه الالياف. تحتوي الياف الكربون على الاقل على (92%) من عنصر الكربون بالوزن و الذي تحصل عليه من الانحلال الحراري للمواد الخام الداخلة في صناعتها و منها البولي أكريلونيتريل (Polyacrylonitrile) و هي من البوليمرات العضوية، وتتميز بسلاسل طويلة من الجزيئات التي ترتبط معا من قبل ذرات الكربون. فعندما تكون المعاملة الحرارية بين  $1000\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$  تسمى عندها الياف الكربون و اذا كانت المعاملة الحرارية اكثر من  $(2000\text{ }^\circ\text{C})$  تسمى عندها الياف الكرافيت [71]. تتميز الياف الكربون بمقاومة عالية لقوى الشد و تعتبر قوية جداً مقارنة بحجمها و وزنها لكون ذراتها ترتبط ببعضها في بلورات متوازية مع محور الالياف، و يمكن اعتبارها النوع الاقوى من الالياف في الوقت الحالي مقارنة بالياف الزجاج مثلاً. اذ تمتلك الياف الكربون معامل مرونة و مقاومة اجهادات عالية جداً و مقاومة عالية للمركبات الكيميائية مع تمدد بسيط و موصلة للكهربائية و مقاومة للتآكل بالإضافة لكثافتها الواطئة فهي اقل بكثير من كثافة الفولاذ و قساوة الياف الكربون ضعف قساوة الفولاذ مما يجعلها مثالية للتطبيقات التي تتطلب وزناً منخفضاً. نظراً لخصائصها الجيدة فقد تم استخدامها في العديد من الصناعات منها المركبات الفضائية و السيارات والصناعات الكيميائية و الطاقة

النوعية و غيرها. و تصنف الياف الكربون اما بحسب معامل المرونة او بحسب القوة او بحسب المعالجة الحرارية النهائية [72]، و الجدول (2-1) يبين خصائص الانواع الثلاث الرئيسية لالياف الكربون.

الجدول (2-1): خصائص الانواع الثلاث لالياف الكربون [72].

Carbon Fibers Type	Heat-Treatment Temperature (°C)	Crystallite Orientation	Long-Distance Order
Type I high modulus	>2000	Mainly parallel to the fiber axis	High
Type II high strength	1500	Mainly parallel to the fiber axis	Low
Type III	<1000	Random	Very low

## Literature Review

### (16-1) الدراسات السابقة

يتناول هذا الجانب من الفصل عرضا لبعض البحوث والدراسات السابقة التي تم إنجازها في مجال بحثنا، ومن أبرز هذه الدراسات:

❖ درس الباحث (Hamed et al.) عام (2009) متانة الشد لمتراكبات الايبوكسي المدعم بمسحوق الالمنيوم والياف (الزجاج – الكفلر – PVC) كمتراكب هجين باستخدام طريقة التشكيل اليدوي وبكسور وزنية (20 wt % و 40 wt %) من الألياف ومسحوق الألومنيوم وبشكل (10 wt % ألياف و 10 wt % مسحوق الألومنيوم) و (20 wt % ألياف و 20 wt % مسحوق الألومنيوم) و لكافة الألياف المستخدمة، حيث بينت نتائج الدراسة زيادة في قوة الشد للمواد المترابطة عند زيادة الكسر الوزني من (20 wt %) إلى (40 wt %) لمواد التدعيم، و ان العينات المدعمة بألياف الكفلر لها قوة شد أعلى من جميع العينات الاخرى وبكلا الكسرين الوزنيين [73].

❖ درس الباحث (Kochetov et al.) عام (2010) الخصائص الحرارية والكهربائية لمتراكبات الالبيوكسي المدعم بدقائق  $Al_2O_3$  بكسور وزنية wt% (5,10,20,30,40,50,60) ودقائق  $SiO_2$  بكسور وزنية wt% (2,30,40) باستخدام طريقة القوالب اليدوية، و اظهرت النتائج تحسن في التوصيلية الحرارية بالمقارنة مع الالبيوكسي النقي و ان المساحية النسبية عند التدعيم بدقائق  $SiO_2$  عند الكسر الوزني (60 wt%) اصبحت اقل من واحد عن الالبيوكسي النقي [74].

❖ قام الباحث (Ana M, et al.) عام (2011) بدراسة تأثير اضافة انابيب الكربون النانوية في الخصائص الحرارية والكهربائية و الميكانيكية لمتراكبات البولي (ether ether ketone) / صفائح الألياف الزجاجية)، اذ اظهرت الاختبارات الميكانيكية تحسينات كبيرة في الصلابة والقوة والمتانة عند اضافة الانابيب الكربونية النانوية، اما اختبار المسعر الحراري التفاضلي فقد بين انخفاض في درجة التبلور ( $T_c$ ) و تباين ملحوظ في السلوك الكهربائي عند التدعيم بأنابيب الكربون النانوية [75].

❖ درس الباحث (Abdullah et al.) عام (2011) تأثير إضافة دقائق الألومينا على الخصائص الميكانيكية للمتراكبات ذات الأساس من البولي أستر غير المشبع المدعم بألياف الزجاج غير المستمرة باستخدام طريقة القوالب اليدوية، و اظهرت الدراسة ان إضافة ألياف الزجاج بشكل منفرد وألياف الزجاج مع دقائق الألومينا إلى المادة البوليمرية أدى إلى تحسين الخصائص الميكانيكية كالصدمة والصلادة والانحناء. حيث ان الصلادة قد زادت مع زيادة الكسر الوزني للعينات المدعمة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا بكسور وزنية wt % (3,5,7) وأعطت نتائج أفضل من العينات المدعمة بألياف الزجاج بشكل منفرد ولنفس الكسور الوزنية. و ان الطاقة الممتصة أعطت أفضل نتائج للعينات المدعمة بألياف الزجاج ودقائق الألومينا بكسور وزنية wt % (3,5,7) بالمقارنة مع العينات المدعمة بألياف الزجاج فقط ولنفس الكسور الوزنية [76].

❖ قام الباحث (Ahmad et al.) عام (2012) بدراسة تأثير اضافة دقائق رمل السليكا النانوية (Sand Silica) في الخصائص الفيزيائية والسلوك الميكانيكي والحراري والمجهري لراتنج الالبيوكسي، اذ بينت فحوصات (SEM) ظهور مناطق بيضاء ومكتلة على أسطح الكسر والتي تشير إلى أن جزيئات رمل السليكا النانوية لا تتشتت بشكل متجانس في الالبيوكسي، هذا وقد لوحظت درجة التبلور ( $T_c$ ) في المتراكبات النانوية من خلال تحليل (DSC)، اما الخصائص الفيزيائية للمتراكبات النانوية فقد بينت زيادة في كثافة المتراكب (الإيبوكسي- $SiO_2$ ) من ( $1.175 \text{ gm/cm}^3$ ) إلى ( $1.244 \text{ gm/cm}^3$ )، اما الخصائص الميكانيكية للمتراكبات النانوية فقد بينت انخفاض في قيم معامل يونك مع إضافة دقائق السليكا النانوية [77].

❖ درس الباحث (Panda et al.) عام (2013) الخصائص الميكانيكية والحرارية والكهربائية لمتراكبات الايبوكسي الهجينة المدعم بألياف الزجاج ودقائق نتريد الالمنيوم (AIN). لوحظ أنه مع زيادة نسبة دقائق نتريد الالمنيوم الى (10wt%) فإن هنالك زيادة كبيرة في التوصيل الحراري والصلابة الميكروية، ولكن هناك انخفاض في قوة الشد. اما الفحوصات الكهربائية فقد أظهرت أقصى قوة انهيار عزلية مقدارها (30.26 kV/mm) وكان الحد الأدنى للمقاومة الحجمية هو  $(7.5 \times 10^{14} \Omega \text{ cm})$ ، هذا وقد درست تضاريس السطح للدقائق بواسطة المجهر الالكتروني الماسح (SEM) لبيان الفراغات وتوزيع الدقائق في المادة المتراكبة [78].

❖ درس الباحث (Mohanty et al.) عام (2014) الخصائص الميكانيكية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بألياف الزجاج و الياف الكربون و دقائق الالومينا النانوية كمتراكبات هجينة وبكسور حجميه مختلفة بأربعة انواع، النوع الاول تدعيم راتنج الايبوكسي بدقائق الالومينا النانوية بكسور وزنية (1-5 wt%) و النوع الثاني والثالث فقد تم تدعيم راتنج الايبوكسي بالألياف بكسر وزني (1-5 wt%) من الياف الزجاج العشوائي تارة" والياف الكربون تارة" اخرى، اما النوع الرابع للنماذج المصنعة كان كمتراكب هجين (راتنج الايبوكسي المدعم بدقائق الالومينا النانوية بكسر وزني (2wt%) مع النوعين من الالياف المستخدمة)، اذ أظهرت نتائج الدراسة تحسن في قيمة معامل الاستطالة الطولي عند اضافة الدقائق لراتنج الايبوكسي، اما قيم معامل متانة الشد ومعامل يونك فكانت افضل لنماذج المتراكب الهجين مقارنة مع بقية النماذج المصنعة [79].

❖ درس الباحث (Kareem et al.) عام (2015) تأثير اضافه دقائق كاربيد السليكون وبحجم حبيبي  $(0.1,3,40) \mu\text{m}$  على الخصائص الكهربائية العزلية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بألياف الزجاج المحاكة بشكل (0-90) وبكسور وزنية (10,20,30,40) wt% باستخدام طريقة التشكيل اليدوي. تم قياس الخصائص العزلية في مدى الترددات (10-2000) kHz في درجة حرارة الغرفة، وأظهرت النتائج التجريبية أن ثابت العزل الكهربائي يتناقص مع زيادة التردد، هذا وقد بينت النتائج ايضا ازدياد كل من التوصيلية الكهربائية المتناوبة وثابت العزل الكهربائي بزيادة الكسر الوزني لمادة التدعيم [80].

❖ قام الباحث (Feli et al.) عام (2016) بدراسة الخصائص الميكانيكية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بألياف الزجاج و لمتراكبات الايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية و لمتراكبات الايبوكسي الهجينة المدعم بألياف الزجاج و دقائق السليكا النانوية، اذ كانت دقائق السليكا النانوية بحجم حبيبي (20-30)nm وبكسور وزنية (1,3,5,7) wt%، اظهرت نتائج الدراسة ان قيم معامل يونك ومتانة الشد

واجهاد الخضوع تقل بينما قيمة الاستطالة حد الكسر تزداد عند الكسر الوزني (1wt%) لدقائق السيليكا النانوية. اما عند بقية الكسور الوزنية فلو حظ العكس، اذ ان قيم معامل يونك ومتانة الشد واجهاد الخضوع تزداد بينما قيمة الاستطالة حد الكسر تقل [81].

❖ درس الباحث (Jadah et al.) عام (2016) تأثير اضافة جسيمات السيليكا النانوية على بعض الخصائص الميكانيكية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بستة طبقات من الزجاج المتكسر باستخدام طريقة القولية اليدوية و بكسور وزنية wt% (1,3,5,7). اذ اظهرت النتائج زيادة في تأثير الصدمة عند الكسر الوزني (1wt%) من السيليكا النانوية، بينما تقل عند الكسر الحجمي (3wt%) من السيليكا النانوية [82].

❖ درس الباحث (Ömer et al.) عام (2017) تأثير اضافة دقائق السيليكا النانوية بكسور وزنية wt% (0.5,1,1.5,2,2.5,3) لمتراكبات الايبوكسي المدعم بالزجاج باستخدام طريقة القولية اليدوية، حيث اجري لهذه المتراكبات جميعها فحص الصدمة باستخدام نوع (Charpy Impact Test)، اظهرت النتائج تحسن في قيمة متانة الصدمة بعد التدعيم، اذ كانت طاقة امتصاص الصدمة عند الكسر الوزني (1.5 wt%) الاعلى بالمقارنة مع بقية الكسور الوزنية [83].

❖ درس الباحث (Alsaadi et al.) عام (2018) تأثير اضافة السيليكا النانوية على الخصائص الميكانيكية و الحركية لمتراكبات الايبوكسي المدعم باللياف الكربون و الكفلر، و كانت الكسور الوزنية لدقائق السيليكا النانوية المضافة هي wt% (0.5,1,1.5,2.5,3)، و اظهرت النتائج تحسن قوة الشد بنسبة (20%) في محتوى السيليكا النانوية عند الكسر الوزني (3% wt)، و زيادة في متانة الثني بنسبة (35.7%) لعينات الايبوكسي المدعم باللياف الكربون و الكفلر [84].

❖ درس الباحث (Gokuldass et al.) عام (2019) السلوك الميكانيكي لمتراكبات هجينة من (الايوكسي المعدل بالمطاط المايكروي/الزجاج - الكفلر) و المدعم بالسيليكا النانوية، اذ تم نسج الالياف بالطريقة اليدوية و تم تحضير المتراكبات باستخدام طريقة القولية اليدوية. اذ كانت نسبة التعديل للايبوكسي بنسبة (9wt%) من المطاط المايكروي و نسبة (11wt%) من السيليكا النانوية. و بينت نتائج الفحص ان اضافة المطاط المايكروي يقلل من قوة الشد و معامل يونك و لكنه يعمل على تحسين متانة الكسر، اما اضافة السيليكا النانوية بنسبة (11wt%) عملت على زيادة قوة الشد و الانثناء، و ان اعلى شد كان بين (162-275) MPa [85].

## The Aim of the Study

## (17-1) الهدف من الدراسة

تهدف الدراسة الحالية الى:-

- 1- تحضير متراكبات هجينة من راتنج الايبوكسي المدعم بنوعين من مواد التدعيم (الياف و دقائق النانوية).
- 2 - دراسة تأثير الكسر الوزني و نوع مادة التدعيم على السلوك الميكانيكي في كل من خاصية (الشد و الصلادة و الصدمة) وعلى الخصائص الكهربائية العزلية و الخصائص الحرارية المتمثلة ب (التوصيل الحراري و درجة الانتقال الزجاجي و درجة الانصهار البلورية) لمتراكبات الايبوكسي الهجينة النانوية.
- 3- ايجاد افضل مادة تدعيم لراتنج الايبوكسي تعطي افضل خصائص فيزيائية لمتراكب الايبوكسي الهجين النانوي ليتم استخدامه في مجالات صناعية واسعة في مختلف الظروف و بأقل التكاليف.