



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة ديالى  
كلية العلوم

دراسة تأثير إضافة اوكسيدي التيتانيوم والخاصين نانوية التركيب  
على بعض الخصائص الفيزيائية للمتراكبات البوليميرية

رسالة مقدمة الى  
مجلس كلية العلوم / جامعة ديالى  
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

من قبل  
نظيمه جاسم محمد  
( بكالوريوس علوم فيزياء 1998 )

بإشراف  
أ.م.د. الفت احمد محمود

2021 م

1443 هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ نَرْفَعُ دَرَجَاتٍ مِّنْ نَّشَأٍ <sup>فِي</sup> وَفَوْقَ كُلِّ ذِي عِلْمٍ عَلِيمٌ ﴾

صدق الله العلي العظيم

يوسف : الآية 76

## الأهداء

- الى ..... من يسر الامور وصاحب الفضل (الله عزوجل)
- الى ..... من علمنا السعي لطلب العلم (رسولنا الكريم محمد صلى الله عليه واله وسلم)
- الى ..... بلدي الحبيب مهد العلم والحضارات (العراق)
- الى ..... من تدعمني بدعائها ونذرت عمرها في اداء رسالة (امي الحنوز)
- الى ..... من علمني العطاء دون الانتظار واحمل اسمه بعز وافتخار اسأل الله ان يسكنه فسيح جناته (والدي العزيز)
- الى ..... رفقني دربي وسندي في حياتي (زوجي الحنوز)
- الى ..... من ارى التفاؤل في اعينهم ومحبتكم تنورت ايامي (اخواني واخواتي)
- الى ..... مستقبلي ومن يحمل افكاري (اولادي وبناتي)

## شكر وتقدير

وأنا اختتم بحثي ، أحمد الله الذي وفقني في إتمامه، اقدم الشكر الجزيل إلى المشرف على رسالتي الاستاذة الدكتورة الفاضلة (أ.م. د. الفت احمد ) على الإرشاد والمتابعة و تسهيل كل العقبات خلال مراحل انجاز هذا البحث ، كذلك اوجه شكري و امتناني الى عمادة كلية العلوم المتمثلة بعميد الكلية الاستاذ الدكتور الفاضل (أ. د. تحسين حسن مبارك ) ورئاسة قسم الفيزياء واساتذته الأفاضل، واتقدم بخالص الشكر والتقدير لجميع موظفي مكتبة الكلية قسم الفيزياء لما ابدوه من مساعدة في استعارة الكتب و الأطاريح طول مدة البحث ، كما اتقدم بالشكر و التقدير إلى الاستاذ الفاضل الدكتور (أ.م. د. خالد خضير عباس) مدير المختبرات/ كلية الهندسة قسم المواد /الجامعة التكنولوجيا لتسهيل جميع العقبات لإتمام هذا البحث ومن الوفاء تقديم الشكر لأفراد عائلتي لما عانوه معي طيلة الدراسة واعداد الرسالة ووقوفهم معي فجزاهم الله خير الجزاء، واتقدم بفائق الشكر والتقدير والاحترام الى زملائي و زميلاتي طلبة الدراسات العليا الذين ساندوني في دراستي ومنهم ( علي عبد الستار و سلمى سلمان و ضحى صبيح) .

## الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة الدقائق النانوية المتمثلة بدقائق ثنائي أكسيد التيتانيوم (TiO<sub>2</sub>NPs) النانوية ودقائق أكسيد الخارصين النانوية (ZnONPs) وبكسور وزنية مختلفة (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1) wt% على بعض الخواص الميكانيكية المتمثلة (الصدمة والانضغاطية) وبعض الخواص الفيزيائية المتمثلة بالخواص الحرارية (معامل التوصيل الحراري (K)، درجة الانتقال الزجاجي (T<sub>g</sub>) والخواص الكهربائية (التوصيلية الكهربائية المتناوبة) والخواص التركيبية والمورفولوجية (FTIR, FE-SEM, AFM) لمتراكبات بوليميرية أساسها راتنج الايبوكسي كمادة أساس فضلا عن تحضير متراكبات هجينة من نفس الدقائق النانوية المذكورة بالاعتماد على راتنج الايبوكسي كمادة أساس، وقد تم استعمال طريقة الصب اليدوي لتصنيع متراكبات الايبوكسي المدعمة بدقائق ثنائي أكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق أكسيد الخارصين النانوية بدرجة حرارة الغرفة. تم تهيئة العينات وتقطيعها بأبعاد قياسية لإجراء الفحوصات وحسب (ASTM) المحدد لكل فحص. أظهرت نتائج الفحوصات الميكانيكية ان كل من متانة الصدمة والانضغاطية تزداد بالمقارنة مع راتنج الايبوكسي عند إضافة الكسر الوزني لدقائق ثنائي أكسيد التيتانيوم ودقائق أكسيد الخارصين النانوية لكافة العينات التي تم تحضيرها.

وبينت نتائج الفحوصات الحرارية ان قيمة معامل التوصيل الحراري للايبوكسي النقي هي (0.0016 k(W/m.k)) وتزداد هذه القيمة بزيادة الكسر الوزني لدقائق ثنائي أكسيد التيتانيوم ودقائق أكسيد الخارصين لكافة المتراكبات حيث بلغت قيمة معامل التوصيل الحراري لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد التيتانيوم (0.003 (W/m.k)) ولمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق أكسيد الخارصين (0.002 (W/m.k)) والمتراكب الهجين (0.004 (W/m.k))، اما فحص المسعر الحراري التفاضلي (DSC) بين ان درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي النقي بلغت (53°C) وهذه القيمة قد ازدادت لمتراكبات الايبوكسي كافة حيث بلغت اعلى قيمة لدرجة الانتقال الزجاجي (67 °C) لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي أكسيد التيتانيوم النانوية.

ومن خلال نتائج الفحوصات الكهربائية المتناوبة المتمثلة بالتوصيلية الكهربائية المتناوبة وضمن مدى الترددات (50Hz-1M Hz) وبدرجة حرارة الغرفة زيادة التوصيلية الكهربائية المتناوبة للمتراكبات كافة بزيادة التردد. كما بينت نتائج فحص تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء (FTIR)

للايبوكسي النقي بعد التدعيم بنسب وزنية مختلفة من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية هناك أواصر تمتد بالحركة وأخرى تبقى ثابتة . بينت نتائج التصوير المجهرى (FE-SEM) الاختبارات الموروفولوجية المجهر الالكتروني الماسح بانبعاث المجال لدراسة البنية التركيبية للدقائق النانوية المستخدمة كمادة تدعيم وهي دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية ان هذه الدقائق امتلكت شكلا كرويا وحجما حبيبيا حيث بلغ معدل الحجم الحبيبي لدقائق  $TiO_2NPs$  (60nm) اما دقائق ZnONPs بلغ معدل الحجم الحبيبي لها (82nm) .

اما نتائج فحص (AFM) بينت ان كلا من قيم الخشونة وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة تزداد عند اضافة دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية و تتناقص عند التدعيم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية بينما تظهر نتائج الفحص زيادة غير منتظمة لقيم الخشونة وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة لمترالكب الايبوكسي الهجين ( EP+[ $TiO_2NPs/ZnO NPs$ ] ) .

## قائمة المحتويات

| الصفحة   | الموضوع   | التسلسل |
|--|---|---------|
|  | الخلاصة   |         |
| I-III  | المحتويات   |         |
| IV-V   | قائمة الرموز  |         |
| VI   | قائمة المختصرات                                       |         |
| VII  | قائمة الجداول   |         |
| VIII-XI  | قائمة الاشكال   |         |
| <b>الفصل الاول ( المقدمة والدراسات السابقة )</b> |   |         |
| 1  | المقدمة   | (1-1)   |
| 3  | الدراسات السابقة                                      | (2-1)   |
| 7  | الهدف من الدراسة                                      | (3-1)   |
| <b>الفصل الثاني ( الجزء النظري )</b>             |   |         |
| 8  | المقدمة   | (1-2)   |
| 8  | المواد المترابطة                                      | (2-2)   |
| 9  | مكونات المواد المترابطة                               | (3-2)   |
| 9  | المادة الاساس   | (1-3-2) |
| 9  | مواد التدعيم (التقوية)                                | (2-3-2) |
| 9  | تصنيف المواد المترابطة                                | (4-2)   |
| 9  | تصنيف المادة المترابطة بالاعتماد على<br>المادة الاساس | (1-4-2) |
| 12   | تصنيف المواد المترابطة على اساس التدعيم               | (2-4-2) |
| 14   | المفاهيم الأساسية للبوليمرات                          | (5-2)   |
| 18   | تصنيف البوليمرات                                      | (6-2)   |
| 18   | المصدر المأخوذ منه البوليمر                           | (1-6-2) |
| 18   | الطبيعة الكيميائية للبوليمرات                         | (2-6-2) |
| 19   | التصنيف التكنولوجي للبوليمرات                         | (3-6-2) |
| 20   | بالاعتماد على تجانس البوليمرات                        | (4-6-2) |
| 22   | الخصائص العامة لراتنج الايبوكسي                       | (7-2)   |
| 24   | المواد النانوية                                       | (8-2)   |
| 26   | ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوي                       | (1-8-2) |

|                                    |   |            |
|------------------------------------|---|------------|
| 27                                 | او كسيد الخارصين النانوي                  | (2-8-2)    |
| 28                                 | المتراكبات الهجينة                        | (9-2)      |
| 28                                 | قاعدة الخلائط                             | (10-2)     |
| 29                                 | الخصائص الميكانيكية                       | (11-2)     |
| 29                                 | اختبار الصدمة                             | (1-11-2)   |
| 32                                 | اختبار مقاومة الانضغاطية                  | (2-11-2)   |
| 33                                 | الخصائص الفيزيائية                        | (12-2)     |
| 33                                 | الخصائص الحرارية                          | (1-12-2)   |
| 33                                 | التوصيلية الحرارية                        | (1-1-12-2) |
| 35                                 | درجة الانتقال الزجاجي                     | (2-1-12-2) |
| 36                                 | الخصائص الكهربائية                        | (2-12-2)   |
| 42                                 | الخصائص التركيبية والمورفولوجية           | (13-2)     |
| 43                                 | تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء (FTIR)   | (1-13-2)   |
| 44                                 | المجهر الإلكتروني الماسح (FE-SEM)         | (2-13-2)   |
| 44                                 | مجهر القوة الذرية (AFM)                   | (3-13-2)   |
| <b>الفصل الثالث (الجزء العملي)</b> |   |            |
| 46                                 | المقدمة                                   | (1-3)      |
| 47                                 | المواد المستعملة                          | (2-3)      |
| 47                                 | المادة الاساس                             | (1-2-3)    |
| 47                                 | مواد التدعيم                              | (2-2-3)    |
| 48                                 | الأجهزة المستخدمة وطريقة تحضير النماذج    | (3-3)      |
| 48                                 | الأجهزة المستخدمة                         | (1-3-3)    |
| 51                                 | تحضير العينات                             | (2-3-3)    |
| 52                                 | الآلية التقطيع                            | (3-3-3)    |
| 52                                 | الاختبارات                                | (4-3)      |
| 52                                 | الاختبارات الميكانيكية                    | (1-4-3)    |
| 54                                 | الاختبارات الفيزيائية                     | (5-3)      |
| 54                                 | اختبار التوصيلية الحرارية                 | (1-5-3)    |
| 56                                 | اختبار درجة حرارة الانتقال الزجاجي        | (2-5-3)    |
| 57                                 | الاختبارات الكهربائية                     | (3-5-3)    |
| 58                                 | الفحوصات التركيبية والمورفولوجية          | (6-3)      |
| 58                                 | فحص تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء (FTIR) | (1-6-3)    |

|     |   |         |
|-----|---|---------|
| 59  | فحص المجهر الإلكتروني الماسح بانبعثات المجال (FE-SEM)       | (2-6-3) |
| 60  | فحص مجهر القوة الذرية (AFM)                                 | (3-6-3) |
|     | <b>الفصل الرابع (النتائج والمناقشة)</b>                     |         |
| 62  | المقدمة   | (1-4)   |
| 62  | الخصائص الميكانيكية   | (2-4)   |
| 62  | نتائج اختبار مقاومة الصدمة                                  | (1-2-4) |
| 64  | نتائج اختبار مقاومة الانضغاطية                              | (2-2-4) |
| 66  | الخصائص الحرارية  | (3-4)   |
| 66  | نتائج فحص التوصيلية الحرارية                                | (1-3-4) |
| 68  | نتائج فحص درجة الانتقال الزجاجي                             | (2-3-4) |
| 78  | الخصائص الكهربائية  | (4-4)   |
| 78  | نتائج فحص التوصيلية الكهربائية المتناوبة                    | (1-4-4) |
| 82  | الخصائص التركيبية والمورفولوجية                             | (5-4)   |
| 82  | نتائج تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء (FTIR)               | (1-5-4) |
| 86  | نتائج فحص المجهر الإلكتروني الماسح بانبعثات المجال (FE-SEM) | (2-5-4) |
| 91  | نتائج فحص مجهر القوة الذرية (AFM)                           | (3-5-4) |
|     |   |         |
| 99  | الاستنتاجات   | (6-4)   |
| 100 | المشاريع المستقبلية   | (7-4)   |

## قائمة الرموز

| وحدة القياس                      | المعنى                               | الرمز  |
|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| KJ/m <sup>2</sup>                | متانة الصدمة                         | I.S  |
| KJ                               | طاقة الكسر                           | U  |
| m <sup>2</sup> , mm <sup>2</sup> | مساحة المقطع                         | A  |
| Kg                               | كتلة الثقل                           | m  |
| m/sec <sup>2</sup>               | التعجيل الارضي                       | g  |
| m                                | مسافة السقوط                         | h  |
| N                                | القوة عند الكسر                      | F <sub>fractur</sub>                             |
| N                                | اقصى حمل مسلط                        | P  |
| mm                               | طول العينة                           | L  |
| mm                               | قطر العينة                           | D  |
| J                                | كمية الحرارة المنتقلة                | Q  |
| W/K.m                            | معامل التوصيل الحراري                | K  |
| ° C                              | درجة حرارة القرص (A,B,C)             | T <sub>A</sub> , T <sub>B</sub> , T <sub>C</sub> |
| W.m <sup>2</sup> /K              | كمية الطاقة                          | e  |
| m                                | نصف قطر القرص                        | r  |
| Ampere                           | التيار الكهربائي المار في ملف المسخن | I  |
| volt                             | فرق الجهد الكهربائي                  | V  |
| -                                | الانفعال عند لحظة النشوء             | com ε  |
| N/ mm <sup>2</sup>               | مقاومة الانضغاط                      | C.S  |
| ° C                              | درجة حرارة الانتقال الزجاجي          | T <sub>g</sub>                                   |
| g/mol                            | معامل الوزن الجزيئي                  | wM   |
| Coulombs                         | الشحنة الكهربائية                    | q  |
| Farad                            | سعة المتسعة                          | C  |
| Farad/ m                         | سماحية الفراغ                        | ε <sub>o</sub>                                   |
| m                                | المسافة بين اللوحين                  | d  |
| Farad                            | السعة بوجود مادة عازلة               | C  |
| S/m                              | ثابت العزل الكهربائي                 | ε <sub>r</sub>                                   |
| S/m                              | مقياس الفقد العزلي                   | ε <sub>r</sub>                                   |
| Farad/m                          | ظل زاوية الفقد                       | tanδ   |
| S/m                              | التوصيلية الكهربائية للمادة          | σ  |
| S/m                              | التوصيلية الكهربائية المتناوبة       | a..cσ  |

|          |                               |             |
|----------|-------------------------------|-------------|
| S/m      | التوصيلية الكهربائية المستمرة | $d.c\sigma$ |
| Farad/ m | سماحية المادة العازلة         | $\epsilon$  |
| Hz       | التردد الزاوي                 | $\omega$    |
| V/m      | شدة المجال الكهربائي المسلط   | $\vec{E}$   |
| V/m      | الاستقطابية الالكترونية       | $\alpha_e$  |
| D        | عزم ثنائي القطب الالكتروني    | $\vec{m}_e$ |
| V/m      | الاستقطابية الايونية          | $\alpha_i$  |
| D        | عزم ثنائي القطب الايوني       | $\vec{m}_i$ |
| V/m      | الاستقطابية الاتجاهية         | $\alpha_d$  |
| D        | عزم ثنائي القطب الاتجاهي      | $\vec{m}_d$ |
| J/K      | ثابت بولتزمان                 | $K_B$       |
| K        | درجة الحرارة المطلقة          | $T$         |
| C/m      | الاستقطاب الالكتروني          | $\vec{P}_e$ |
| C/m      | الاستقطاب الايوني             | $\vec{P}_i$ |
| C/m      | الاستقطاب الاتجاهي            | $\vec{P}_d$ |
| C/m      | استقطاب الشحنة الفراغية       | $\vec{P}_s$ |

## قائمة المختصرات

| المختصر              | المعنى                                 |
|----------------------|--|
| EP                   | رانتج الايبوكسي                        |
| TiO <sub>2</sub> NPs | دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية |
| ZnONPs               | دقائق اوكسيد الخارصين النانوية         |
| PMC                  | المتراكبات البوليمرية                  |
| MMC                  | المتراكبات المعدنية                    |
| CMC                  | المتراكبات السيراميكية                 |
| DSC                  | المسعر الحراري التفاضلي                |
| FTIR                 | تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء       |
| FE- SEM              | المجهر الإلكتروني الماسح بانبعث المجال |
| AFM                  | مجهر القوة الذرية                      |

## قائمة الجداول

| الصفحة | العنوان   | الجدول |
|--------|---|--------|
| 47     | خصائص الايبوكسي المستخدم  | (1-3)  |
| 48     | خصائص دقائق اوكسيد الخارصين ( $ZnO$ ) ثنائي اوكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ) النانوية  | (2-3)  |
| 63     | قيم مقاومة الصدمة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بكل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية والمترابك الهجين و بنسب مختلفة   | (1-4)  |
| 65     | قيم مقاومة الانضغاطية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بكل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية والمترابك الهجين $EP+[TiO_2/ZnO]$   | (2-4)  |
| 67     | قيم معامل التوصيل الحراري لمتراكبات الايبوكسي قبل وبعد إضافة الدقائق النانوية ( $TiO_2, ZnO$ ) وبنسب مختلفة   | (3-4)  |
| 69     | قيم درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) للأيبوكسي قبل وبعد التدعيم بالدقائق النانوية ( $TiO_2, ZnO$ ) بنسب مختلفة   | (4-4)  |
| 79     | قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية وبنسب مختلفة  | (5-4)  |
| 80     | قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية بنسب مختلفة   | (6-4)  |
| 81     | قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمتراكب الايبوكسي الهجين $EP+[TiO_2/Zn O]$ بنسب مختلفة   | (7-4)  |
| 83     | قيم الاعداد الموجية لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية بنسب مختلفة  | (8-4)  |
| 84     | قيم الاعداد الموجية لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية بنسب مختلفة  | (9-4)  |
| 85     | قيم الاعداد الموجية لمتراكب الايبوكسي الهجين $EP+[TiO_2/ZnO]$ بنسب مختلفة   | (10-4) |
| 91     | قيم خشونة السطح والحجم الحبيبي وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة للايبوكسي النقي قبل وبعد التدعيم بدقائق كل من ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية والمترابك الهجين وبنسب مختلفة. | (11-4) |

## قائمة الاشكال

| الصفحة | العنوان  | الشكل  |
|--------|--|--------|
| 13     | امثلة متنوعة للترتيب الهندسي للمترابكات                            | (1-2)  |
| 15     | البوليمرات الخطية  | (2-2)  |
| 16     | البوليمرات المتشابكة   | (3-2)  |
| 16     | البوليمرات المتفرعة  | (4-2)  |
| 17     | البوليمرات السلمية   | (5-2)  |
| 17     | البوليمرات الشبكية   | (6-2)  |
| 21     | انواع السلاسل في البوليمرات المشتركة                               | (7-2)  |
| 22     | مجموعة الاوكسيران  | (8-2)  |
| 23     | تحضير راتنج الايبوكسي  | (9-2)  |
| 25     | تصنيف المواد النانوية  | (10-2) |
| 26     | اشكال التركيب البلوري لأوكسيد التيتانيوم                           | (11-2) |
| 27     | التركيب البلوري ZnO  | (12-2) |
| 31     | مخطط جهاز اختبار مقاومة الصدمة                                     | (13-2) |
| 35     | رسم توضيحي لجهاز (قرص لي)  | (14-2) |
| 36     | العلاقة بين درجة الانتقال الزجاجي والوزن الجزيئي للبوليمر          | (15-2) |
| 41     | انواع الاستقطاب (a) الإلكتروني (b) الأيوني (c) الاتجاهي (d) البيئي | (16-2) |
| 43     | منطقة الطيف (IR) لمجاميع مهمة في البوليمر                          | (17-2) |
| 44     | مخطط المجهر الإلكتروني الماسح                                      | (18-2) |
| 45     | رسم توضيحي لمجهر القوة الذرية                                      | (19-2) |
| 46     | مراحل خطوات البحث المختلفة   | (1-3)  |
| 48     | صورة كل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية | (2-3)  |
| 49     | صورة الميزان الإلكتروني الحساس                                     | (3-3)  |
| 50     | صورة الخلاط المغناطيسي   | (4-3)  |
| 50     | حمام الموجات فوق الصوتية   | (5-3)  |
| 51     | صورة القالب المستعمل   | (6-3)  |
| 53     | جهاز اختبار مقاومة الصدمة  | (7-3)  |
| 53     | عينات اختبار مقاومة الصدمة   | (8-3)  |
| 54     | جهاز مقاومة الانضغاطية   | (9-3)  |
| 54     | عينات اختبار مقاومة الانضغاطية                                     | (10-3) |
| 55     | جهاز اختبار التوصيلية الحرارية                                     | (11-3) |
| 55     | عينات اختبار التوصيلية الحرارية                                    | (12-3) |
| 56     | صورة جهاز (المسعر الحراري التفاضلي) DSC                            | (13-3) |
| 57     | مخطط جهاز (المسعر الحراري التفاضلي) DSC                            | (14-3) |
| 57     | عينات اختبار التحول الزجاجي  | (15-3) |
| 58     | جهاز اختبار التوصيلية الكهربائية المتناوبة                         | (16-3) |
| 58     | عينات اختبار التوصيلية الكهربائية                                  | (17-3) |

|    |   |        |
|----|---|--------|
| 59 | صورة جهاز FTIR  | (18-3) |
| 59 | مخطط جهاز FTIR  | (19-3) |
| 60 | صورة جهاز المجهر الإلكتروني الماسح بانبعثات المجال FE-SEM   | (20-3) |
| 61 | صورة جهاز مجهر القوة الذرية (AFM)   | (21-3) |
| 64 | مقاومة الصدمة لمتراكبات الايبوكسي المدعم بكل من بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية والمترابك الهجين (EP+TiO <sub>2</sub> /ZnO) وبنسب وزنية مختلفة       | (1-4)  |
| 65 | مقاومة الانضغاطية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية والمترابك الهجين (EP+TiO <sub>2</sub> /ZnO) وبنسب مختلفة | (2-4)  |
| 67 | التوصيلية الحرارية للإيبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية (TiO <sub>2</sub> NPs)  | (3-4)  |
| 68 | التوصيلية الحرارية للإيبوكسي المدعم بدقائق (ZnONPs) النانوية  | (4-4)  |
| 68 | التوصيلية الحرارية للهجين [EP+(TiO <sub>2</sub> /ZnO)]  | (5-4)  |
| 70 | درجة الانتقال الزجاجي لراتنج الايبوكسي  | (6-4)  |
| 70 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الإيبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.2%)  | (7-4)  |
| 71 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الإيبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.4%)  | (8-4)  |
| 71 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الإيبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.6%)  | (9-4)  |
| 72 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الإيبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.8%)  | (10-4) |
| 72 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الإيبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (1%)  | (11-4) |
| 73 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (0.2%)  | (12-4) |
| 73 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (0.4%)  | (13-4) |
| 74 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الإيبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (0.6%)  | (14-4) |
| 74 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الإيبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (0.8%)  | (15-4) |
| 75 | درجة الانتقال الزجاجي لمتراكب الإيبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (1%)  | (16-4) |
| 75 | درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة (0.2%)   | (17-4) |
| 76 | درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة (0.4%)   | (18-4) |
| 76 | درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة الوزنية (0.6%)   | (19-4) |
| 77 | درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة (0.8%)   | (20-4) |
| 77 | درجة الانتقال الزجاجي عند النسبة الوزنية (1%)   | (21-4) |
| 79 | التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية   | (22-4) |

|    |  |         |
|----|--|---------|
| 80 | التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق<br>او اكسيد الخارصين النانوية               | (23-4)  |
| 81 | التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمترابك الايبوكسي الهجين  | (24-4)  |
| 84 | طيف (FTIR) لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق او اكسيد التيتانيوم<br>النانوية بنسب مختلفة                     | (25-4)  |
| 85 | طيف (FTIR) لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق او اكسيد الخارصين<br>النانوية بنسب مختلفة                       | (26-4)  |
| 86 | طيف (FTIR) لمترابك الايبوكسي الهجين [EP+TiO <sub>2</sub> /ZnO] بنسب<br>مختلفة                              | (27-4)  |
| 87 | صورة FE-SEM دقائق ثنائي او اكسيد التيتانيوم النانوية بقوة تكبير<br>(100nm)                                 | (28-4)  |
| 87 | صورة FE-SEM دقائق ثنائي او اكسيد التيتانيوم النانوية بقوة تكبير<br>(200nm)                                 | (29-4)  |
| 88 | صورة FE-SEM دقائق ثنائي او اكسيد التيتانيوم بقوة تكبير (2μm)   | (30-4)  |
| 88 | صورة FE-SEM دقائق ثنائي او اكسيد التيتانيوم النانوية   | (31-4)  |
| 89 | صورة FE-SEM دقائق او اكسيد الخارصين النانوية بقوة<br>تكبير (100nm)   | (32-4)  |
| 89 | صورة FE-SEM دقائق او اكسيد الخارصين النانوية بقوة<br>تكبير (200nm)   | (33-4)  |
| 90 | صورة FE-SEM دقائق او اكسيد الخارصين النانوية بقوة تكبير ( 2<br>μm)   | (34-4)  |
| 90 | صورة FE-SEM دقائق الخارصين النانوية  | (35-4)  |
| 92 | صورة AFM ايبوكسي نقي 2D,3D   | (36-4)  |
| 93 | صورة AFM مترابك الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي او اكسيد التيتانيوم<br>النانوية عند النسبة (3D,2D(0.2wt%)    | (37-4)  |
| 94 | صورة AFM لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي او اكسيد<br>التيتانيوم النانوية عند النسبة (3D,2D (0.8 wt%) | (38-4)  |
| 95 | صورة AFM مترابك الايبوكسي المدعم بدقائق الخارصين النانوية<br>عند النسبة (3D,2D (0.2wt%)                    | (39-4)  |
| 96 | صورة AFM مترابك الايبوكسي المدعم بدقائق او اكسيد الخارصين<br>النانوية عند النسبة (2D,3D (0.8wt%)           | (40-4)  |
| 97 | صورة AFM مترابك الايبوكسي الهجين عند النسبة الوزنية<br>2D,3D (0.2wt%)                                      | (41-4)  |
| 98 | صورة AFM مترابك الايبوكسي الهجين عند النسبة (3D,2D<br>(0.8wt%)   | (42-41) |



الفصل الاول

المقدمة والدراسات

السابقة

## (1-1) المقدمة

## Introduction

في ظل مواكبة التطور التكنولوجي في وقتنا الحالي في مختلف المجالات ادت متطلبات التكنولوجيا والصناعات الحديثة الى ان تتطلع بشغف إلى أنواع حديثة من المواد يطلق عليها المواد المتقدمة (Advanced- materials) ذات تكلفة واطنة من الناحية الاقتصادية وبذلك تم انتاج المواد المتراكبة [1] .

إن المواد المتراكبة بشكل عام دخلت في مجال الصناعة بشكل ينافس المواد الأخرى كالفلزات وسبائكها بسبب امتلاك المواد المتراكبة الخواص الكهربائية والميكانيكية العالية التي تناسب الكثير من الصناعات [2]. ويمكن تعريف المواد المتراكبة على أنها مزيج غير متجانس (Heterogeneous Mixtures) او متباين الخصائص لاثنتين او اكثر من الاطوار المتجانسة التي ترتبط مع بعضها البعض ، ومن خلال هذه المواد يتم الحصول على تنظيم معين للخصائص لا يمكن ان نحصل عليه فيما لو كانت كل مادة منفردة لذاتها ، ولذلك ازداد استعمال المتراكبات في القرن الاخير . ومن جانب اخر يمكن ايضا ان نعرف المواد المتراكبة بانها فئة من المواد تتكون من مزج مادتين او اكثر بنسب وزنية او حجمية معينة من مادة او اكثر تعرف بالمواد المطعمة او المشوبة الى المادة الأساس، لا تتفاعلا كيميائيا ولكنهما يتاصران فيزيائيا اي ان لهما صفات مثالية من الناحية العملية وهي الكثافة قليلة والمتانة العالية للمنتج المصنع ،اذ تخطت المواد الداعمة خلطا جيدا مع المادة الاساس للحصول على مادة لها خصائص أفضل من المواد الداخلة في تركيبها فيما لو كانت كل مادة منفردة لذاتها[3]. والمواد المتراكبة تصنف حسب مادة الاساس منها ما يكون اساسها فلزي او معدني او اساسها سيراميكي او على شكل متراكبات بوليمرية ، وتعد المواد المتراكبة ذات الاساس البوليمري من المواد الحديثة التي تلعب دور رئيسي في اغلب التطبيقات الهندسية والتكنولوجية ، إذ أن استخدام هذه المواد يجب ان يرافقه امتلاكها متانة جيدة كي تقاوم الظروف الخارجية المؤثرة بها مثل درجة الحرارة والضغط والرطوبة وغيرها ، لذلك ازداد إقبال العلماء والباحثين المختصين لتحضير مثل هذه المواد ودراسة خواصها تبعا لخواص المواد الداخلة في تحضيرها[4] . وتعد المواد المتراكبة نانوية الحبيبات والتي تعرف باسم المتراكبات النانوية (Nanocomposite materials) من أهم فئات المواد المتقدمة التي تم تصنيعها، ولقد زادت تقنية النانو من اهمية البوليمرات في الصناعة . كما انها تجمع بين الوزن الخفيف والخواص الميكانيكية العالية ، مما يؤهله لاستخدامها في التطبيقات عالية الأداء إذ يمكننا تعريف مركب النانو على أنه مادة صلبة متعددة الأطوار حيث يكون لإحدى هذه الاطوار أبعاد واحدة أو أكثر بمقياس نانو اقل من 100 نانومتر ويمكن ان يكون هذا التعريف اكثر شمولاً لأنه يشمل الغرويات، المواد الهلامية ، والبوليمرات المشتركة . والطور النانوي يختلف في الخصائص بسبب الاختلافات في

التركيب والكيمياء وتقنيات تصنيع المواد النانوية هي التقنيات من الأعلى الى الأدنى (Top-Down) التي يتم فيها تكسير المواد الكبيرة الاصلية من أجل الحصول على مواد بحجم النانو وذلك بعدة طرق منها القطع والطحن والحفر الضوئي ، والتقنية الاخرى هي من الأدنى الى الأعلى (Bottom-Up) تبني الذرات والجزيئات وبشكل مرتب حتى نصل الى الحجم النانوي المطلوب حيث تتميز بصغر المواد الناتجة مثل تقنية المحلول الغروي (Sol-Gel technology) [5,6]. وتتميز المواد النانوية بخصائص مثل القوة العالية، والوزن الخفيف، وكذلك التفاعل الكيميائي الممتاز، والحجم الصغير جداً، فضلاً عن المساحة السطحية العالية ، والاستقرار العالي [7].

والمترابكات النانوية ذات الأساس البوليمري من المواد المتقدمة التي أصبحت تستعمل على مدى واسع في مختلف التطبيقات الهندسية والصناعية مثل تصنيع أجزاء من هياكل السيارات والطائرات والرادارات وكذلك ايضاً في مجال طب الاسنان وبعض مكونات الكمبيوتر المحمول وذلك بسبب الخصائص الفيزيائية الجيدة منها قابلية عزلها الكهربائية العالية في حماية التيارات الكهربائية في الموصلات من التسرب، ولكلفتها الواطئة مقارنة مع السبائك والمعادن الاخرى [8,9].

والخواص النهائية للمادة المترابكة تتأثر بالعديد من العوامل منها شكل وحجم الدقائق المضافة وطريقة توزيعها داخل المادة الاساس ومنطقة السطح البيئي وطبيعة الترابط بين المادة الاساس والدقائق المضافة لها [10].

عند تحضير المادة المترابكة يشترط أن لا يحدث تفاعل بين المادة الأساس واي من مواد التدعيم وان تحتفظ بخواصها الاصلية وهي منفردة ، إذ أن خواص المادة المترابكة هي دالة لخواص مكوناتها (شكل دقائق مادة التدعيم وحجمها وتوزيعها واتجاهها )، إذ أظهرت الدراسات ان التوزيع غير المتجانس للجسيمات النانوية داخل المادة الاساس لا يؤدي الى تحسين واضح في بعض الخواص الفيزيائية للمترابكات النانوية [11].

ان مصطلح الاضافات او مواد التدعيم يستخدم لوصف المواد التي تنتشتت طبيعياً في المادة الاساس دون ان تؤثر في التركيب الجزيئي للمادة الأساس [12] . وتعمل مواد التدعيم ايضاً على تقوية المادة الأساس ، فقد تكون معدنية او سيراميكية او بوليميرية ، حيث انها تمتاز بكونها ذات مقاومة عالية ومطيليتها عالية أو واطئة حسب نوع المادة والغرض المستعمل لأجله ،وتكون إما بشكل دقائق ( Particles ) أو ألياف (Fibers) أو حشوات (Fillers) أو قشور (Flakes). وتختلف مصادر مواد التدعيم فمنها ما يأتي من المواد المعدنية الطبيعية او المواد العضوية وغير العضوية التركيبية [13].

وهناك عدد كبير من فئات البوليمر التي يمكن استخدامها في تصنيع المواد المترابطة ، ويعتمد اختيار نوع البوليمر تبعا للعديد من الأمور ، بما فيها التكلفة وطريقة التصنيع والعرض ، وقد تم في هذه الدراسة اختيار راتنج الايبوكسي كونه متاح محليا وقليل التكلفة ومقاوم للتآكل فضلا عن توافقه مع عدد كبير من المواد ومنها الدقائق النانوية التي تم استخدامها والمتمثلة بكل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية [14]. ثنائي اوكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ) هو نوع من الدقائق النانوية التي تستخدم بكثرة في الدهانات ومستحضرات التجميل والأصباغ ، يوجد في الطبيعة بثلاثة اطوار وهي معروفة ( brookite, rutile, antase ) وايضا يعتبر مادة فعالة تدخل في صناعة الخلايا الشمسية وفي الطلاءات المضادة للانعكاس [15]. اما بالنسبة لدقائق اوكسيد الخارصين النانوية اكتسبت اهتماما كبيرا في الميادين العلمية والطبية ويرجع ذلك الى خواصها الكيميائية والفيزيائية مثل معامل الارتباط الكهروكيميائي العالي والاستقرار الضوئي والكيميائي العالي [16]. وهو من أشباه الموصلات الأكثر استخداما في مجالات مختلفة مثل شاشات العرض المسطحة والاجهزة الصوتية الكهربائية، وأجهزة تجميع الطاقة بما في ذلك الخلايا الشمسية والمولدات النانوية ، والكهر ومغناطيسية وما الى ذلك بسبب الاستقرار الكيميائي والحراري العالي ، والخصائص الإلكترونية والكهربائية الضوئية [17]. ولم يقتصر استخدام اوكسيد الخارصين النانوي على هذه المجالات فحسب بل كان عنصرا هم في المجال الطبي وخاصة في السنوات الأخيرة الماضية حيث شهدت تطور ملحوظ في استعمال مجال تكنولوجيا النانو في الطب ، واصبح الطلب متزايدا على الدقائق النانوية الصديقة للبيئة من أكاسيد المعادن للتطبيقات الصيدلانية ، ومن بين العديد من اشباه الموصلات ، تعتبر اكاسيد المعادن ، ولاسيما اوكسيد الخارصين ، امنة بايولوجيا ، وفعالة من حيث التكلفة ، وغير سامة ، كذلك يستخدم في صناعة الأدوية ومستحضرات التجميل [18].

## Literature Survey

## (2-1) الدراسات السابقة

في هذا البند سيتم عرض البحوث والدراسات السابقة التي تم إنجازها في مجال بحثنا ومن ابرز تلك الدراسات:

- قام الباحث (Wenhu et al.) في عام ( 2012 ) بتحضير المترابكات النانوية (EP-ZnO) ودراسة الخواص العزلية لراتنج الايبوكسي واطهرت النتائج الدراسة ان مترابكات الايبوكسي ليس لها فرق كبير في المقاومة مقارنة براتنج الايبوكسي وان الثوابت العزلية لمترابكات الايبوكسي كبيرة مقارنة مع راتنج الايبوكسي النقي وقد ثبت ان إضافة حشو النانو المشتت جيدا له تأثير إيجابي على تحسين الخواص العزلية لراتنج الايبوكسي [19].

- درس الباحث ( Ghosh et al. ) في عام (2012) تأثير إضافة نسب وزنية من دقائق ( $TiO_2NPs$ ) وبنسب وزنية مختلفة wt% (0,2,4,6,8,10,15,20) على الخصائص الحرارية والمورفولوجية للمترابك ( $EP-TiO_2$ ) ، حيث تم استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية لتشتيت الدقائق النانوية في مصفوفة راتنج الايبوكسي وظهرت نتائج فحص مجهر القوى الذرية صور لمترابك الايبوكسي المدعم  $TiO_2$  تشتت جيد للدقائق النانوية عند النسبة (10 wt%) وتحسن في درجة الانتقال الزجاجي والاستقرار الحراري [20] .
- درس الباحث (Rajabi et al.) في عام (2013) تأثير إضافة كل من ( $micro TiO_2$  و  $nano TiO_2$ ) وبنسب وزنية مختلفة wt% (2.5,5,7.5) على الاستقرار الحراري لمترابكات الايبوكسي حيث بينت هذه الدراسة انه كلما زاد تركيز مواد التدعيم المضافة لراتنج الايبوكسي والمشتتة جيدا داخل مصفوفة الايبوكسي بطريقة الموجات فوق الصوتية او باستعمال قضيب زجاجي زاد الاستقرار الحراري وزادت ( $T_g$ ) [21].
- قام الباحث ( Tsonos et al. ) في عام (2015) بدراسة تأثير جزيئات ZnO النانوية على الخصائص العازلة / الكهربائية والحرارية لمترابكات الايبوكسي حيث تم قياس الخصائص العازلية باستخدام مدى الترددات Hz (107-1-10) ومدى درجة الحرارة (160-30) درجة مئوية وتم استخدام تقنيات القياس بالمسح التفاضلي DSC والتحليل الحراري التفاضلي TGA فيما يتعلق بالاستقرار الحراري للنظام المدروس .تم تسجيل اربع اليات استرخاء متميزة في اطياف جميع الانظمة قيد الدراسة نسبة الى استرخاء الموصلية ، والاستقطاب البيني (1P) ، وانتقال الزجاج الى المطاط لمصفوفة البوليمر الرئيسية ، حيث ان اضافة ZnO يؤدي الى انخفاض كثافة الارتباط المتبادل لمصفوفة الايبوكسي مما يؤدي الى زيادة الحجم الحر الجزيئي والتنقل الجزيئي المقابل ، تؤدي التفاعلات القوية بين مصفوفة الحشو والإيبوكسي الى تقليل تنقل جزء من سلاسل البوليمر في واجهات المكونات .انتقال الزجاج الى المطاط لمصفوفة البوليمر وزيادة الاستجابة الحرارية والعازلة [22].
- درس الباحث (Abd Allah et al.) عام (2016) بدراسة الخواص العزليه للمترابكات النانوية الإيبوكسي  $TiO_2:MgO$  ولمدى من الترددات ( $10^2-10^6Hz$ ) وبدرجة حرارة الغرفة . المترابكات تم تحضيرها بنسب حجميه (1.0,05.0,0). وقد أظهرت الدراسة ان قيمة الممانعة تقل بزيادة التردد وكذلك ثابت العزل بجزيه الحقيقي والخيالي [23].

- درس الباحث (براء واخرون) عام (2017) تأثير التدعيم بمسحوق ثاني أكسيد التيتانيوم النانوي (nano-TiO<sub>2</sub>) ومسحوق اوكسيد الخارصين النانوي (nano-ZnO) وكلاهما بحجم حبيبي (10-30) nm وخليط المسحوقين (TiO<sub>2</sub>+ZnO) وبنسبة تركيز (2wt.%)، في الخواص الميكانيكية والحرارية لمتراكبات بوليمرية اساسها راتنج الايبوكسي والمحضرة بطريقة القولية اليدوية. حيث اجريت للنماذج المحضرة اختبارات مقاومة الانضغاط والصلادة والتوصيل الحراري وبينت نتائج الاختبارات ان إضافة المساحيق السيراميكية المذكورة ادت الى تحسن في الخصائص الميكانيكية ، اذ امتلك المتركب الحاوي على خليط المواد النانوية اعلى مقاومة انضغاط واعلى معامل مرونة واعلى صلادة ، يليه المتركب (EP + ZnO) كما امتلك المتركب الهجين اقل معامل توصيل حراري (K) [24].
- درس الباحث (Prasob et.al.) في عام (2018) الخواص الميكانيكية والاهتزاز الحر لدقائق ZnO, TiO<sub>2</sub> المضاف معها نسيج الجوت لتدعيم راتنج الايبوكسي بدرجة حرارة الغرفة ودرجات الحرارة تحت الصفر من (-40, -20 and 27 °C) ، حيث يتم تصنيع العينة بإضافة مواد التدعيم ZnO, TiO<sub>2</sub> وبنسب وزنية مختلفة (2%, 4%, 6%) باستخدام طريقة الصب اليدوي، تم استخدام تقنية شعاع (اوبرست) وفقا لمواصفات ASTM E 756 التي تعطي منهجية لإيجاد خصائص الاهتزاز الحر مثل التخمد وخصائص التردد الطبيعي بتردد اقل باستخدام مطرقة الصدمة ، تم دراسة الخواص الميكانيكية الساكنة مثل قوة الشد ، قوة الانضغاط ، قوة الانحناء ، قبل وبعد اضافة مواد التدعيم وفي درجة حرارة الغرفة ودرجة الحرارة تحت الصفر ، تم ايجاد درجة الانتقال الزجاجي (T<sub>g</sub>) للمتركب من منحنيات (DTA) . يتم تحديد امتصاص الماء للعينة ، اظهرت النتائج ان الخواص الميكانيكية تتحسن بعد اضافة مواد التدعيم [25].
- قام الباحث (Abd) عام (2019) بدراسة تأثير أوكسيد الزنك النانوي على الخواص الحرارية لراتنج الإيبوكسي حيث تمت اضافة اوكسيد الزنك النانوي بنسب (2%,4%,6%,8%,10%) لراتنج الإيبوكسي وبينت الدراسة ان التوصيلية الحرارية زادت مع زيادة نسبة التركيز للمادة المضافة [26].
- قام الباحث (كنعان) من العام نفسه (2019) بتحضير جزيئات نانوية لثاني اوكسيد التيتانيوم .حيث تم تشخيص الجزء باستخدام العديد من (FT-IR) التقنيات مثل طيف الاشعة تحت الحمراء ومجهر القوة (SEM) المجهر الالكتروني الماسح وبينت الدراسة ان ثابت العزل الحقيقي والخيالي فد انخفض من (24.9)الى(7.5) ولوحظ ان الترددات المنخفضة تساعد في تصنيع الاجهزة الكهربائية [27].

- قامت الباحثة (Majeed et al.) من نفس العام (2019) بدراسة تأثير خلط دقائق  $TiO_2$  النانوية مع راتنجات الايبوكسي وتتميز بمسح المجهر الإلكتروني (SEM)، XRD، FTIR لحجمين من الجسيمات من 25,50, nm حيث تم قياس التوصيلية الحرارية مع وبدون راتنجات الايبوكسي ؛ أظهرت النتائج أن التوصيلية الحرارية زادت مع زيادة تركيز الجسيمات النانوية [28].
- درس الباحث (Thipperudrappag et al.) عام (2020) تأثير دمج دقائق اوكسيد الخارصين ZnO النانوية في نسب مختلفة في مركبات الايبوكسي المقواة بالألياف الزجاجية (GFR) من خلال تقييم الخصائص الحرارية والميكانيكية مثل قوة الشد ، الانحناء، مقاومة الصدمة للمتراكبات المصنعة لتقييم تأثير الجسيمات النانوية ZnO على الثبات الحراري للمتراكب حيث يتم تحميل جسيمات ZnO النانوية بنسب وزنية مختلفة (1-5wt%) ويتم تشتيتها بشكل موحد في راتنجات الايبوكسي من خلال طريقة الموجات فوق الصوتية وباستخدام طريقة الصب اليدوي للعينات وبينت الدراسة ان ZnO له تأثير سلبي على قوة الانحناء ، وقوة الشد ، بينما له تأثير ايجابي على مقاومة الصدمة للمتراكب (GFR epoxy -ZnO) وزيادة في التوصيلية الحرارية لمتراكبات (GFR epoxy-ZnO) النانوية عند النسبة الوزنية المضافة (2 wt%) لدقائق اوكسيد الخارصين ZnO، بينما عند النسب الوزنية المضافة (5 wt%) كان هناك انخفاض في الاستجابة الحرارية للمتراكب النانوي [29]
- درس الباحث (Abass et al.) في عام (2021) تأثيرات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية على القوة الميكانيكية للمواد المترابطة الهجينة من الايبوكسي المقواة بالكاربون أحادي الاتجاه والألياف الزجاجية ،تم تشتيت ( $TiO_2$ ) في الايبوكسي وبنسب وزنية مختلفة (1,3,5) wt% عن طريق الموجات فوق الصوتية ، تم تحضير المواد المترابطة قيد الدراسة عن طريق تقوية المتراكب النانوي الناتج عن طريق ثلاث طبقات مختلفة من ألياف الكربون أحادية الاتجاه والألياف الزجاجية ثنائية الاتجاه باستخدام تقنية الصب اليدوي ، تم اجراء اختبارات الشد والصلابة وكذلك اختبار خشونة السطح اثناء العمل التجريبي . لقد لوحظ ان قوة الشد لمتراكبات الايبوكسي المقواة بالألياف تزداد مع زيادة النسب الوزنية المضافة من الالياف والدقائق النانوية ( $TiO_2$ ) تصل الى قيمة قصوى عند النسبة الوزنية المضافة (3wt%) وبعد ذلك تنخفض القيمة ، يزداد معامل المرونة ومقاومة التوتر والصلابة لمتراكبات الايبوكسي المقواة بالألياف مع زيادة اضافة الألياف [30].

- درس الباحث (Thakor et al.) ايضا من نفس العام (2021) تأثير إضافة مواد تدعيم غير عضوية والمتمثلة بالدقائق النانوية ( $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2, \text{ZnO}$ ) على الخواص الكهربائية العزلية لراتنج الايبوكسي ونسب وزنية wt% (0.5,1,1.5) حيث تم استخدام مدى من الترددات يتراوح (1KHz-2MHz) وبدرجة حرارة ثابتة (300.15 K) ولوحظ ان ثابت العزل بجزأيه الحقيقي والخيالي يقل بزيادة التردد اما التوصيلية الكهربائية المتناوبة فانها تزداد بزيادة التردد لجميع مترابكات الايبوكسي [31].

### The Aim of the

### (3-1) الهدف من الدراسة

#### study

- 1 – تصنيع مترابك نانوي مكون من ( $\text{EP}+\text{TiO}_2 \text{ NPs}$ ), ( $\text{EP}+\text{ZnO NPs}$ ) ومترابك هجين ناتج من ( $\text{EP}+\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ ) وبنسب وزنية مختلفة.
- 2 - تحسين بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لراتنج الايبوكسي من خلال اضافة الاكاسيد المتمثلة بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين ( $\text{TiO}_2, \text{ZnO}$ ) النانوية والهجين المكون من مزج الدقائق النانوية المذكورة لراتنج الايبوكسي وبنسب وزنية مختلفة.
- 3 – ايجاد احسن مادة تدعيم لراتنج الايبوكسي لتعطي افضل خصائص ميكانيكية وفيزيائية لمترابك الايبوكسي الهجين النانوي لكي يتم استخدامه في ميادين صناعية واسعة وفي مختلف الظروف وبكلفة قليلة.



الفصل الثاني

الجزء النظري

## (1-2) المقدمة

## Introduction

تعتبر المتراكبات البوليميرية المدعمة ذات شهرة واسعة في مجال الصناعة ،حيث تعد بدائل عن المواد التقليدية (الفلزات والسيراميك والبوليمر) لعدة اسباب منها خفة وزنها وامكانية تصنيعها وتشكيلها ، لذلك زاد الاهتمام بها وبشكل ملحوظ من قبل الباحثين والعاملين في مجال الصناعة ، ومن تطبيقاتها القوارب والسفن الفضائية والاستخدامات الطبية . وتعتبر المواد المتراكبة مواد متعددة الأطوار (Multiphase) تمتلك نسبة مميزة من مواصفات المكونات بحيث تعطي مزيج لمتراكب نهائي ذو صفات مرغوبة وتتجاوز غير المرغوب منها ، حيث ان صفات المواد المتراكبة هي دالة لصفات مكوناتها ونسبتها والشكل الهندسي لها . تعتبر المواد المتراكبة الهجينة (الهجائن Hybrids) من المواد الجديدة التي يتم تصنيعها من مزج نوعين او كما في الخلائط البوليميرية (Polymer Blends) ولها عدة تطبيقات منها ما يتم استخدامه في وسائل النقل الجوي و المعدات الرياضية و الاطراف الصناعية الخفيفة (Orthopaedic Components) [32].

## (2-2) المواد المتراكبة

## Composite Materials

وهي مواد يتم الحصول عليها من خلال اضافة نسب وزنية او حجمية معينة من مادة او اكثر تعرف بالمواد الداعمة الى المادة الاساس [4]. تعتبر المواد المتراكبة مزيج بين اثنين او اكثر من المواد التركيبية احدهما هو طور التدعيم (Reinforcement Phase) ، ويكون اما بشكل ألياف او دقائق او صفائح ،والمادة الاساس (Matrix) وتعطي مادة التدعيم صفات مختلفة متميزة عن تلك المواد الاساسية للمتراكب . ان مادة التدعيم والمادة الاساس تكون اما معدنا او سيراميك او بوليمرا . وتتصف مواد التدعيم بكونها قوية وتمتلك كثافة واطئة ، في حين ان المادة الاساس تكون مطيلية ومتينة ، لذا فان المواد المتراكبة تتوفر فيها قوة مادة التدعيم ومتانة المادة الاساس ، وتعتمد الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المتراكبة على مجموعة عوامل تشتمل على الخواص النوعية للمادة الاساس وطور التدعيم ، وخصوصا الكسر الحجمي وقوة الترابط بين الطورين . وبشكل عام فان المواد المتراكبة افضل من اي المكونات الفردية فيما يخص مقاومتها وقوة التصلب او التوصيل الحراري [33,34].

## Components of Composite Materials (3-2) مكونات المواد المتراكبة

تتكون المواد المتراكبة من عنصرين اساسين وهما:

### Matrix Material (1-3-2) المادة الأساس

وهي المادة التي تعمل على ربط مواد التدعيم ونقل القوى اليها ، ويطلق عليها احيانا بالمادة الرابطة ، التي تكون اما فلزا او سيراميك او بوليمرا. وتعتبر المادة الاساس الطور المستمر في المادة المتراكبة . ان التعبير الدقيق المتكامل للمواد المتراكبة وتركيبها الكيميائي ونوع اطوارها يأتي من التطبيق المطلوب، وهذا ساعد في اختيار المادة الاساس . ومن مميزات المادة الاساس هو ربط مادة التقوية مع بعضها ، وكذلك نقل الإجهاد وتوزيعه على مادة التقوية ، وايضا حماية مادة التقوية من تلف السطح الناتج عن مؤثرات ميكانيكية او تفاعل كيميائي مع الوسط الخارجي المحيط بها [35].

### Reinforcement Materials (2-3-2) مواد التدعيم (التقوية)

هي المواد التي تعمل على تقوية المادة الاساس وتمتلك مقاومة عالية (High-Strength) ومطيلية واطئة (Low Ductility)، وتكون على عدة أشكال أما بشكل ألياف (Fibers) أو دقائق (Particles) أو حشوات (Fillers) أو قشور (Flakes) أو بشكل شبكة من مواد زجاجية أو فلزية أو كاربونية ، بهدف إنتاج المواد المتراكبة [36].

## Classification of Composite Materials (4-2) تصنيف المواد المتراكبة

تصنف المواد المتراكبة على اساس النظام الهندسي لطور التدعيم (Reinforcement) وتصنيف يعتمد على المادة الاساس (Matrix) [37].

### (1-4-2) تصنيف المادة المتراكبة بالاعتماد على المادة الأساس:

## Classification of Composite Materials Based on the Matrix

### Materials

#### a - مواد متراكبة ذات اساس معدني (MMCs)

### Composite Material Basis Metal

هي مواد اساسها سبائكي او معدني نقي حيث ان هذه المتراكبات تدعم بمواد على شكل الياف او دقائق او شعيرات من اجل الحصول على متراكبات ذات صفات ميكانيكية جيدة مناسبة للتطبيقات المختلفة وتكون المادة الاساس فلزية ذات مطيلية (Ductile) ويتم صنع هذه المواد المتراكبة من صهر

المادة الاساس وخطها مع طور التدعيم او تكون المادة الاساس بشكل مسحوق وتمزج مع مادة التدعيم ويكيسان سوية في قوالب خاصة او استخدام الطلاء الكهربائي لمادة التدعيم بواسطة المادة الاساس ومن مميزات هذا النوع هو الكثافة العالية ومقاومة عالية ومعامل تمدد حراري واطى وموصلية حرارية عالية ولها مقاومة قص وانضغاط عاليتان، ومن الامثلة على هذه المتراكبات استخدام ألياف البورون في أساس من الألمنيوم ، وتطبيقات المتراكبات ذات الأساس الفلزي ليست واسعة الانتشار مقارنة باللدائن المدعمة ومن تطبيقاتها استخدامها في رؤوس المكابس في المحركات الأوتوماتيكية ، وريش مراوح التوربينات الغازية ، وقبب الرادارات [38]. وايضا يستعمل هذا النوع من المتراكبات في صناعة السيارات والمحركات ، ويتم التدعيم بأحد اطوار التدعيم على شكل ألياف مثل ألياف كاربيد السليكون او التدعيم بالحبيبات السيراميكية ، وتتميز هذه المتراكبات بإمكانية استعمالها في درجات الحرارة العالية التي تتجاوز (1000°C) [39] .

#### b – مواد متراكبة ذات اساس سيراميكي (CMCs)

##### Composite Material Basis Ceramic

تستخدم هذه المتراكبات بشكل الخرسانة المسلحة . وتمتلك مقاومة شد واطئة واستخداماتها تكون محددة على التراكيب الخاضعة الى الانضغاط ، والسيراميك مشهور بمقاومته للتأكسد عند درجات الحرارة العالية ، ومقاوم للزحف، فإذا أمكن السيطرة على سلوكه الهش ، فسيصبح مناسباً بصورة جيدة للاستخدام في الاجزاء المعرضة للحرارة في توربينات الطائرات . وهناك العديد من الامثلة عليها منها متراكبات نتريد السيليكون ( $Si_3N_4$ ) المقوى بكاربيد السيليكون (SiC)، ومتراكبات الزجاج المقوى بألياف الكربون . والسطح البيني يشتمل ارتباطاً ميكانيكياً مع بعض القوى المتولدة من الانتشار البيني بين الليف والمادة الاساس . وهذه المتراكبات تمثل نوعاً جديداً نسبياً من المواد ، التي احدثت ثورة في مجال صناعة السيراميك والمواد المتراكبة [38]. تكون المادة الاساس في هذا النوع من المتراكبات مادة سيراميكية حيث يتم التدعيم فيها باستخدام الحبيبات والألياف القصيرة او ما يدعى (Whiskers) كالألياف المصنعة من نتريد البورون وكاربيد السليكون . ومن مميزات هذا النوع من المتراكبات هو قابليتها على تحمل اجهادات عالية كذلك تمتلك متانة عالية ومعامل تمدد حراري قليل ومقاومة تأكسد عالية ، وتحمل درجات الحرارة المرتفعة لذا يمكن استخدامها في تطبيقات تصل فيها درجات الحرارة الى اكثر من (1500°C) [39].

C – مواد متراكبة ذات اساس بوليمري (PMCs)

Composite Material Basis Polymer

تكون هذه المواد ذات اساس بوليمري وهي من اكثر الانواع انتشارا في الاونة الاخيرة حيث استخدمت في عدة تطبيقات منها تصنيع القوارب وصولا الى تصنيع اجزاء الطائرات لما تمتاز به من خفة الوزن والمتانة العالية ، مما ادى الى الحصول على مواد مثالية واطئة الكلفة وذات استهلاك قليل للطاقة ، ونتيجة ذلك فقد اكتسبت الراتنجات المسلحة شهرة كبيرة بكونها مادة حديثة تدخل في الصناعة ، وتعتبر بدائل عن المواد التقليدية وسبائكها في الكثير من الاستخدامات. تتكون هذه المواد من الخلط مع البوليمر ولها خواص ممتازة في درجة حرارة الغرفة الاعتيادية ، وهي سهلة التصنيع وذات تكلفة قليلة وتستخدم بكميات ضخمة [40] . والمادة الاساس البوليمرية عادة ما تدعم بالألياف وذلك لما تتميز به الألياف من خصائص ومميزات تختلف عن مواد التقوية الاخرى [41] . وبسبب كون البوليمرات تمتاز بكونها منخفضة الكثافة ، وأنها تفتقر الى القوة والمتانة لذا يتم إضافة بعض المكونات الى البوليمر المتجانس وتصنيع البوليمرات المتراكبة من اجل تغير بعض خصائصه وإدخال صفات جديدة عليه نذكر منها [42]:

- 1 – تقليل نفاذية البوليمر للغازات والسوائل .
  - 2 – زيادة مقاومة الصدمة للبوليمر (Impact Strength).
  - 3 - تقليل كلفة البوليمر.
  - 4- زيادة الصلابة (Stiffness) للبوليمر وقوته (Strength) وثبات أبعاده (Dimension Stability).
- ان خواص المتراكبات البوليمرية تحددها خواص المكونات المضافة للبوليمر وطبيعة دقائقها وطبيعة التداخل بين البوليمر والمواد المضافة ، وكذلك النسبة المئوية الوزنية للمواد المضافة ، والتي لها تأثير كبير في تحديد الخواص الميكانيكية و الفيزيائية للمواد المتراكبة البوليمرية [41] . ومن محاسن المواد المتراكبة [43] : انها ذات قوة وصلابة عاليين نسبة الى الكثافة وذات مقاومة جيدة للكلال وعزلها الحراري جيد ولا تستخدم في درجات حرارية عالية.

## (2-4-2) تصنيف المواد المتراكبة على اساس التدعيم : Classification of Composite Materials Based on the Reinforcement

اما التصنيف على اساس طور التدعيم ، يعتمد بشكل اساسي على الشكل الهندسي للتدعيم وتصنف المواد المتراكبة الى خمس مجاميع [44]:

### a – المواد المتراكبة المدعمة بالتشتت

#### Dispersion Reinforced Composite Materials

هي مواد ناتجة من تشتت جسيمات مستمرة تمتلك حجوم صغيرة في المصفوفة الاساس ويمكن ان تعرف بانها جسيمات صغيرة تعمل عند درجات الحرارة العالية على اعاقه حركة الانخلاعات واقطارها بحدود (0.1 Micron) وتوزيع الجسيمات المشتتة في المصفوفة الاساس للمادة المتراكبة غير منتظم لذا فان خواص المادة ومقاومتها متشابهة في كل الاتجاهات وتتميز الجسيمات بصلادتها واستقرارها الحراري العالي وعدم الذوبان في المادة الاساس اوكسيد الفلزات مثل اوكسيد الالمنيوم  $Al_2O_3$  [45].

### b – المواد المتراكبة المدعمة بالدقائق

#### Particles Reinforced Composite Materials

يكون هذا النوع مشابه للمواد المتراكبة المدعمة بالتشتت وتختلف عنها بان قطر الدقائق فيها اكبر من (1Micron) والتراكيز الحجمية % (20-40) ان التدعيم بهذه الطريقة يعتمد على قوة الترابط بين الدقائق والمادة الاساس وللحصول على مواد متراكبة متجانسة يجب ان تكون هذه الدقائق موزعة بالتجانس داخل المادة الاساس وتكون على انواع مختلفة كروية او قشرية او ابرية او خطية وكذلك فان تحسين خواص المواد المتراكبة يعتمد على خواص الحشوات نفسها مثل استخدام دقائق الكربون لتدعيم المطاط وكريات الزجاج والتي تستخدم مع البولييمرات [46,47].

### C – المواد المتراكبة المدعمة بالألياف

#### Fibers Reinforced Composite Materials

هذا النوع من التدعيم له اهمية في تحسين الصفات الميكانيكية بصورة عامة وكذلك زيادة مقاومة الشد بشكل خاص وذلك بسبب كون الالياف تحمل الجزء الكبير من الحمل الخارجي المسلط وذلك بسبب مقاومتها العالية بينما المادة الاساس تعمل على نقل الاجهاد الى الالياف والالياف اما تكون طويلة او قصيرة في المادة الاساس وترص بنفس الاتجاه او عشوائيا ومن مميزات التدعيم بالألياف انها تعمل على زيادة مقاومة الشد والصدمة وتحسن الصفات الميكانيكية بصورة عامة ومادة الليف قد تكون فلزية مثل اسلاك النحاس او سيراميكية مثل اليف الزجاج او بوليميرية مثل اليف الكربون [48].

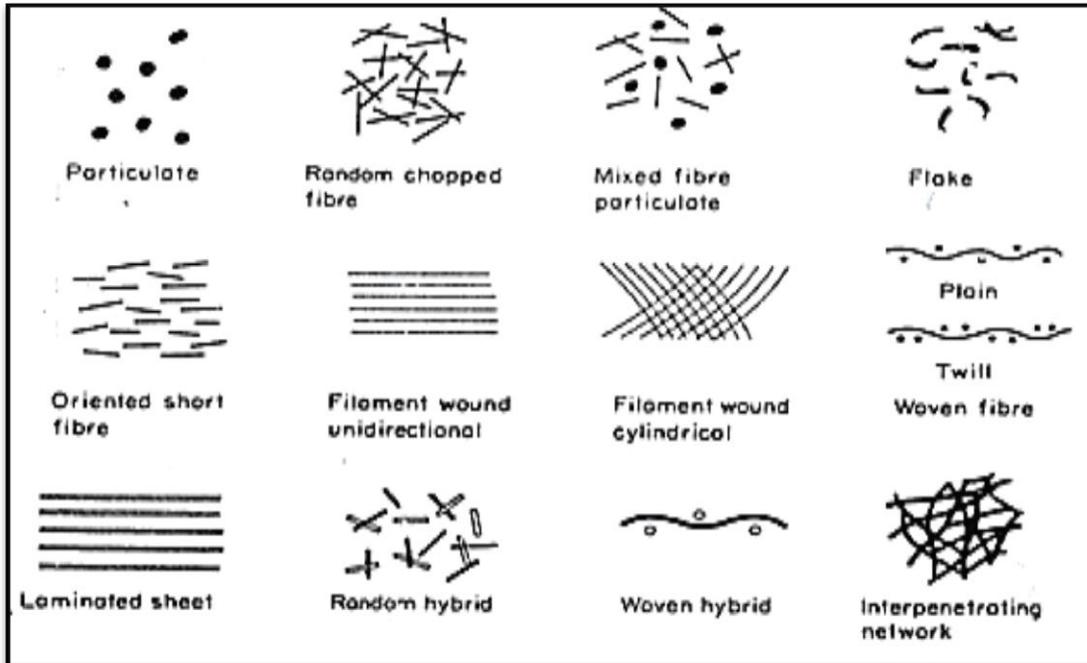
### Laminates Composite Materials

### d – المواد المترابطة الصفائحية

تعتبر من الانواع المهمة من المواد المترابطة، وتتكون من طبقتين أو اكثر موضوعة إحداها فوق الأخرى وباتجاه معين وترتبطان معا بالمادة الأساس ، وتتألف المترابكات الصفائحية اما من عدة طبقات للمادة نفسها ، مثل الصفائح اللدائنية المدعمة بالألياف ، ولكن بتوجيه مختلف للألياف في الطبقات المتناوبة ، او تتألف من طبقات من مواد مختلفة مرتبطة معا ،مثل البوليمر والمعدن [49].

### f – المواد المترابطة الليفية الهجينة Hybrid Fibrous Composite Materials

هي أنظمة جديدة من المترابكات تعمل على ربط نوعين مختلفين أو أكثر من الألياف في مادة الوسط نفسها، أو نوع واحد من الألياف يتناول أساسين مختلفين مرتبطين في نظام واحد، ويمكن للتعريف ان يتسع ليضم مواد تقوية متعددة . والهدف من جميع الأنواع المختلفة من المواد الأساس أو مواد التدعيم أو كلاهما سوية هو الحصول على موازنة جيدة للخصائص بشكل عام وإمكانية توحيدها في مادة واحدة ، وتشكيل مادة جديدة تحتفظ بمميزات موادها الأساس ، وجعلها مناسبة للتطبيقات المطلوبة التي صممت لأجلها ، ومن هذه العوامل الكلفة والوزن والسلوك ما بعد الفشل وتجنب تصنيع مواد مترابطة هجينة أضعف من موادها الأساس أو لتحسن خاصية معينة ، مثل مقاومة الصدمة، مقاومة الانضغاطية بدون خسارة كبيرة في باقي الخصائص مثل الصلابة والقوة [49] . والشكل(1-2) يبين امثلة مختلفة للترتيب الهندسي للمترابكات.



الشكل (1-2): امثلة متنوعة للترتيب الهندسي للمترابكات [49].

## The Basic Concepts of Polymer (5-2) المفاهيم الأساسية للبوليمرات

البوليمرات عبارة عن جزيئات كبيرة تم تكوينها عن طريق ربط اعداد كبيرة من جزيئات صغيرة تسمى المونومرات (Monomers) الذي يمثل الوحدة الاساسية لبناء البوليمر . والبوليمر كلمة لاتينية الأصل تتركب من مقطعين (poly) متعدد والمقطع (mer) يعني الوحدة أو الجزء لذلك فإن كلمة بوليمر (Polymer) يقصد بها متعدد الأجزاء أو متعدد الوحدات. ومن الامثلة على تسمية البوليمر ، بولي أثلين وبولي حامض الاكريك وغيرها . والبوليمرات أما طبيعية مثل المطاط الطبيعي والحرير أو تكون مصنعة مثل المطاط الصناعي والبولي أثلين . ويتم الحصول على البوليمرات المصنعة بتفاعلات كيميائية تدعى بالبلمرة (polymerization) . وتعرف البلمرة بانها عملية الربط بين وحدات كيميائية صغيرة تسمى المونومرات (monomers) لتكوين جزيئات كبيرة تدعى البوليمر (Polymer) ، فالبوليمرات هي مركبات كيميائية عملاقة تتكون من عدد كبير من المجاميع الذرية المرتبطة ببعضها بأواصر كيميائية مكونة سلاسل طويلة [50,51]. ان الاواصر التساهمية تربط الجزيئات البوليميرية مع بعضها بالإضافة الى وجود قوى جزيئية داخلية تسمى قوى فاندر فالز ، تكون هذه القوى بين السلاسل البوليميرية او بين أجزاء السلسلة الواحدة ، ولها تأثير على معظم خصائص البوليمرات الميكانيكية والفيزيائية .

والوزن الجزيئي للبوليمر (W) = درجة البلمرة (n) × الوزن الجزيئي للوحدة المتكررة (M)

ان جزيئة البوليمر هي ذات وحدات متشابهة او مختلفة التركيب، فالبوليمر ذو الوحدات المتشابهة يدعى البوليمر المتجانس (Homo polymer) اما البوليمر ذو الوحدات المختلفة فيدعى البوليمر المشترك (Copolymer). وتتميز البوليمرات عن المعادن بكونها اقل كلفة ومتانة وذات موصلية حرارية قليلة ومعامل التمدد الحراري لها اقل بكثير من المعادن وايضا تمتلك القدرة على العزل الحراري وهي مقاومة لأغلب القواعد والحوامض [52].

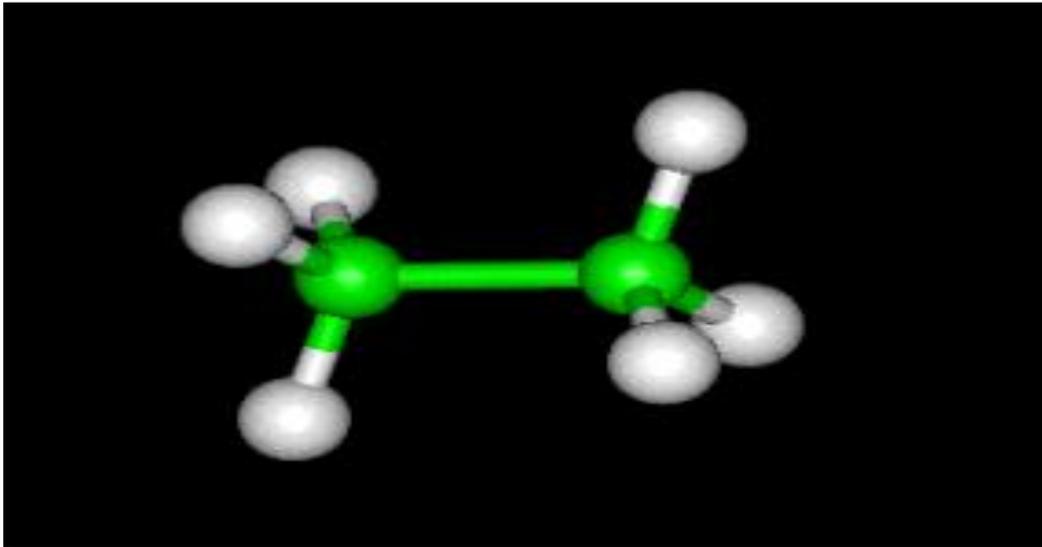
واسباب استعمال البوليمرات في الكثير من التطبيقات [53] هي:

- قابليتها على التشكيل .
- سهولة القوالب .
- امتصاصيتها للرطوبة قليلة .
- عازلية كهربائية جيدة .
- خفيفة الوزن .
- مقاومة للتآكل و لا تكون صلبة .
- يمكن تشكيلها في درجات حرارة واطئة .

- لها مقاومة كيميائية اكثر من المعادن ، وعند تعرضها لفترة طويلة إلى الأشعة فوق البنفسجية وبعض المذيبات فان ذلك يتسبب في تحليل (Degradation) خصائص البوليمر.
  - قليلة التكلفة.
- يمكن ان نقسم البوليمرات بالاعتماد على شكل السلاسل الى [54,55] :-

## 1 - البوليمرات الخطية (Linear Polymers)

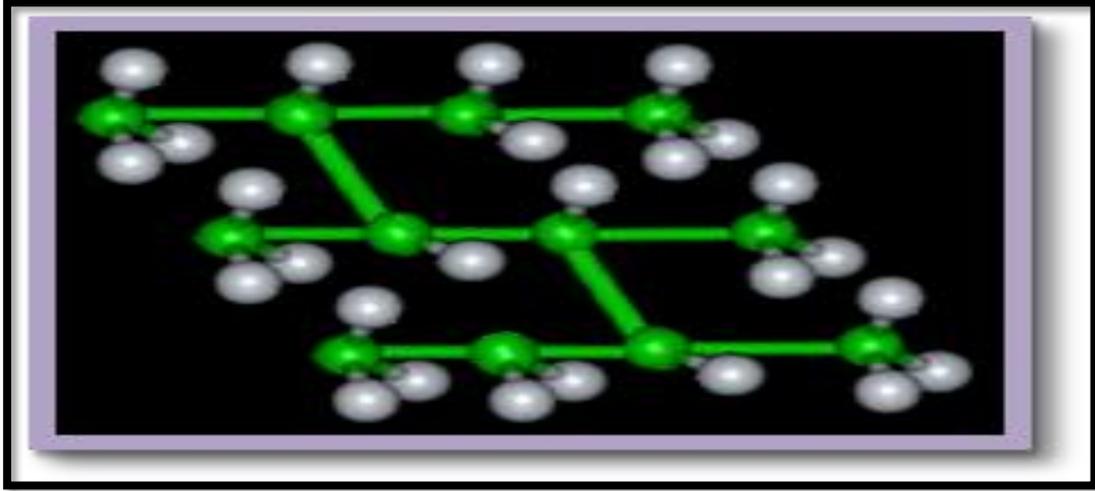
تكون فيها الوحدات التركيبية مرتبطة ببعضها بشكل خطي مستمر وتكون القوى بين الاواصر هي قوى فاندرفالز وهذه البوليمرات لها القابلية على التبلور اكثر من باقي الانواع الاخرى وتمتلك خواص ميكانيكية مرغوبة مثل النايلون وبولي أثلين وبولي كحول الفاينيل .



(2-2): البوليمرات الخطية [56]

## 2 – البوليمرات المتشابكة (Cross-linked Polymer)

هي البوليمرات التي تكون فيها قوى الربط هي القوى التساهمية بين السلاسل والكثير من انواع المطاط له هذا التركيب ودرجة التشابك لها تأثير على خصائص البوليمر الميكانيكية والفيزيائية كلما زادت درجة التشابك قلت الصفات المطاطية. في حين اذا لم تكن درجة التشابك كبيرة فتكون من خلال ربط السلاسل مع بعضها بواسطة سلاسل جانبية لتكون شبكة ثنائية الابعاد.

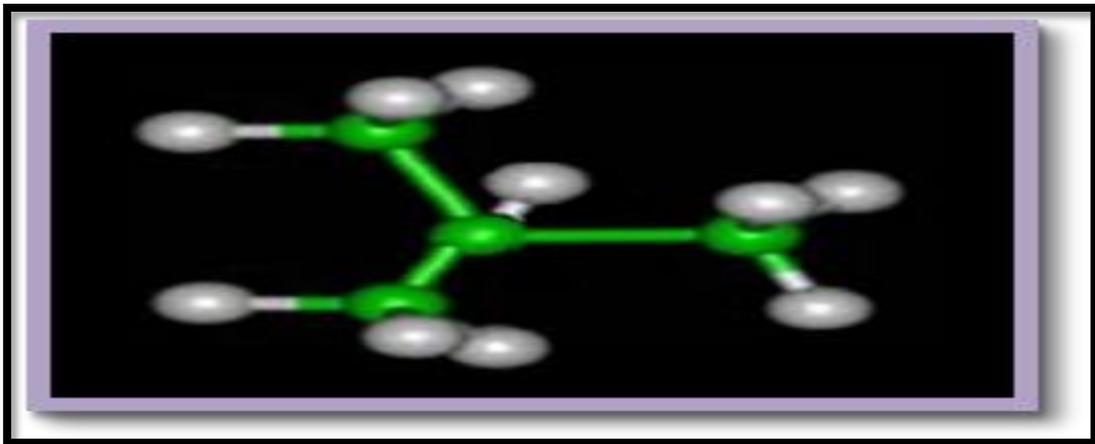


(3-2) :البوليمرات المتشابكة [56]

### 3- البوليمرات المتفرعة

#### (Branched Polymers)

تتكون من تفرعات جانبية تتشابه في تركيبها وترتبط بالسلسلة الرئيسية ان هذه التفرعات يمكن ان تحصل في البوليمرات الخطية ومنها البولي بروبيلين والبولي ستايرين . وتنتج البوليمرات المتفرعة من استخدام مونيمرات متعددة المجاميع الفعالة او بسبب حدوث التفاعلات الجانبية ، وتمتاز بكون كفاءة التعبئة منخفضة بالمقارنة مع السلاسل الخطية ، اي ان كثافتها واطئة.

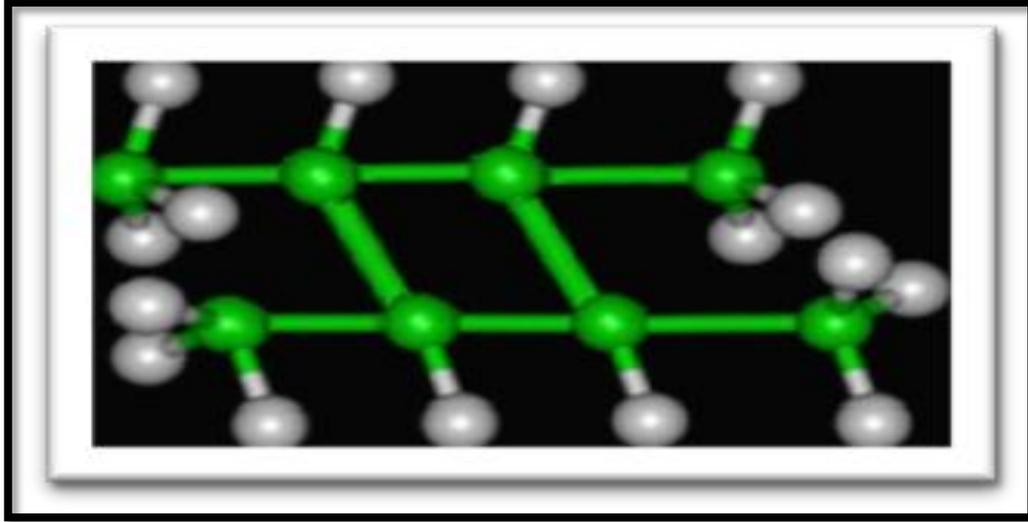


(4-2) :البوليمرات المتفرعة [56]

4- البوليمرات السلمية

(Ladder Polymers)

تتكون من سلسلتين من البوليمرات الخطية المربوطة بشكل منتظم وتكون هذه البوليمرات اقل صلادة من البوليمرات الخطية.

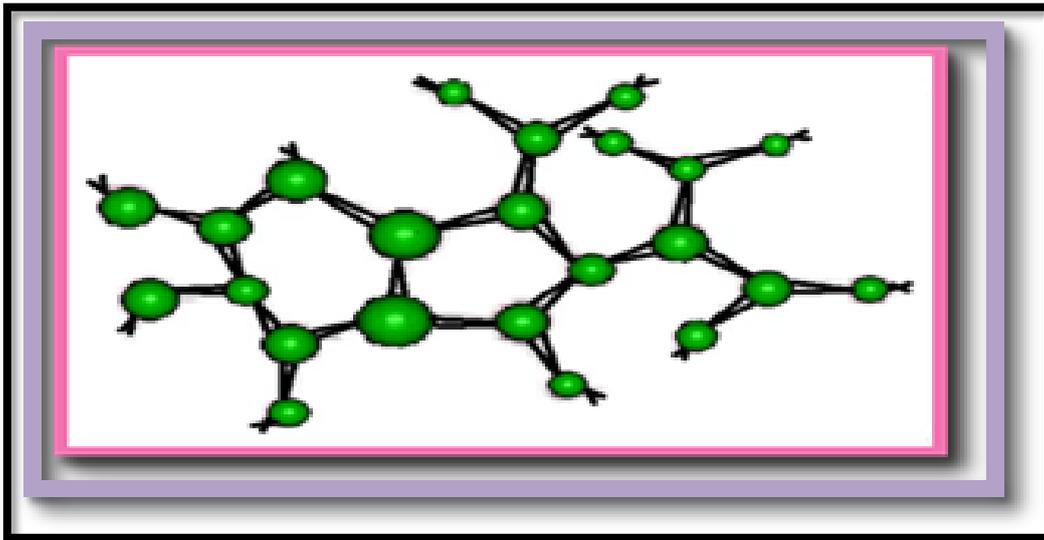


(5-2): البوليمرات السلمية [56]

5- البوليمرات الشبكية

(Network Polymers)

تكون هذه الشبكة ثلاثية الابعاد تحتوي على درجة تشابك كبيرة لتكسب البوليمرات صلادة وقوة والتي تحترق بدلا من ان تنصهر مثل الايبوكسي.



(6-2): البوليمرات الشبكية [56]

## Classification of Polymers

## (6-2) تصنيف البوليمرات

### (1-6-2) المصدر المأخوذ منه البوليمر

### Based on Sources of Polymer

تصنف البوليمرات حسب مصادرها إلى [41]:-

**a- البوليمرات الطبيعية (Natural Polymers):** وهي منتجات طبيعية نباتية أو حيوانية من الامثلة: عليها السليلوز، القطن، المطاط الطبيعي، الصمغ العربي، الحرير، الصوف، الجلد وغيرها.

**b- البوليمرات المصنعة (Synthetic Polymers):** وهي تشمل البوليمرات التي يتم الحصول عليها من مركبات كيميائية بسيطة وتشمل الاغلبية العظمى من البوليمرات المهمة صناعيا. ومن الامثلة عليها: البلاستيكات المختلفة والمطاط الصناعي والألياف الصناعية وغيرها.

**c- البوليمرات الطبيعية المحورة (Modified Natural Polymers):** هي بوليمرات طبيعية تجري عليها بعض التحويلات بعدة طرق اما أدخل مجاميع جديدة من البوليمر، او تغير بعض المجاميع الفعالة الموجودة فيه بتطعيم بوليمر طبيعي على بوليمر صناعي وبالعكس مثال على ذلك: القطن المطعم بألياف الاكريلك، خلات السليلوز.

### (2-6-2) الطبيعة الكيميائية للبوليمرات

### Depending on the chemical Nature of Polymers

وتضم [41]:

**a- البوليمرات العضوية (Organic Polymers):** هي البوليمرات التي يتم تحضيرها من مركبات عضوية او تنتج من مصدر عضوي مثل املاح البولي اسيد العضوية.

**b- البوليمرات غير العضوية (Inorganic Polymers):** هي البوليمرات التي تنتج من مركبات غير عضوية، وتكون مقاومتها عالية للحرارة ولفعال المواد الكيميائية كبولي اوكسيد السيليكون.

**c- البوليمرات العضوية غير عضوية (Organic-Inorganic Polymers):** هي البوليمرات التي تتركب من وحدات تركيبية تحتوي على بعض العناصر المعدنية بالإضافة الى وجود بعض المجاميع العضوية ومن مميزاتها هو مقاومتها الجيدة للحرارة مثل بوليمرات السيليكون.

(3-6-2) التصنيف التكنولوجي للبوليمرات

Based on the Technological Aspects of Polymers

وتضم:

a- البوليمرات المطاوعة للحرارة

Thermoplastics Polymer

يتناول هذا الصنف البوليمرات التي تتغير صفاتها بتأثير الحرارة وتتحول الى منصهرات ، وعند اقتراب درجة الحرارة من درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) تصبح مرنة بعدها تزداد مرونتها وصولا الى تحولها إلى منصهر لزج، وبانخفاض درجة حرارة المنصهر تسترجع وضعها الاصلي مرة ثانية. وتستثمر هذه الخاصية في عمليات تصنيع هذا النوع من البوليمرات ، من الامثلة عليها: البولي أثلين (Polyethylene) والبولي بروبيلين (Polypropylene) والبولي ستايرين (Polystyrene) [57].

وتمتاز البوليمرات المطاوعة للحرارة بميزات منها [58]:

- 1 – لها صلادة عالية.
- 2 – تمتلك قابلية للتمدد والاستطالة .
- 3 – لها مقاومة عالية لإجهادات الكسر.
- 4 – تكون خواصها متباينة (Anisotropic)، حيث تعتمد على الظروف خلال عملية الصب أو التجميد (Solidification).

b – البوليمرات المتصلدة حراريا

Thermosets Polymers

هي البوليمرات التي تتألف من جزيئات متشابكة ، وأغلب هذه المواد تكون بشكل راتنجات سائلة تتحول الى مواد صلبة أكثر هشاشة من البوليمرات المطاوعة للحرارة بالتشابك الكيميائي، والتي يمكن الحصول عليها بدرجة حرارة معينة ومن الامثلة عليها راتنج الايبوكسي (Epoxy Resin) وراتنج البولي أستر (Polyster Resin) [59] .

ومن مميزات البوليمرات المتصلدة حراريا [60]:

- 1 – الاستقرار الحراري العالي بسبب الربط التشابكي الكثيف.
- 2 – تمتلك درجات انتقال زجاجي عالية ( $T_g > 300^\circ\text{C}$ ).
- 3 – رديئة التوصيل الحراري والكهربائي،
- 4 – رديئة الذوبان في المذيبات الشائعة ، ولكن تميل إلى الانتفاخ في المذيبات القوية .
- 5 – تمتلك قوة (Strong) وجساءة (Stiffness) .

## Elastomers Polymers

## c – البوليمرات المرنة المطاطية

تكون هذه البوليمرات ذات سلاسل خطية طويلة بالإضافة إلى وجود تشابك قليل في السلاسل البوليميرية ، وتمتاز بقابليتها على التمدد والتقلص ، وتعتبر مواد بلاستيكية ولكن تتميز بمواصفات المطاط، ودرجة انتقالها الزجاجي منخفضة ( $T_g$ ) ، وتستطيع استرجاع أبعادها الأصلية بعد زوال الاجهاد ، ان قابلية هذا النوع لإظهار مميزات المرونة تتركز في تركيب الجزيئات البوليميرية التي لها سلاسل طويلة مرنة موجودة في صور ملتفة على بعضها بصورة غير منتظمة اذ أن متوسط المسافة بين طرفي جزيئية البوليمير أقل بكثير من المسافة عندما تكون في صورة مستقيمة ومثال عليها البولي يورثان (Polyurethane) [61] وتتميز بصفتين هما [62]:

1 – درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) اقل من درجة حرارة الاستعمال.

2 – جزيئاتها تكون ذات التواء عال جدا.

## Fibers

## d- الألياف

يمتاز هذا النوع من البوليمرات بمواصفات خاصة مثل المتانة والقوة والقابلية على التبلور ، وتتمتع بخواص ميكانيكية وفيزيائية جيدة وكذلك تحملها لدرجات الحرارة [ $160^\circ\text{C} < T_g < 260^\circ\text{C}$ ] وتكون سلاسلها خيطية مرتبة مما يكسبها مقاومة حرارية وميكانيكية جيدة ، وتضم البوليمرات المستعملة لصناعة الخيوط المستخدمة في صناعة الأقمشة والفرش ، ومن الامثلة عليها السليلوز والنايلون والأكريلك والبولي أستر الخيطية [63].

## (4-6-2) بالاعتماد على تجانس البوليمرات

### Based on the Homogeneity of Polymers

وتشمل [57]:

#### Homo Polymer

#### a – البوليمرات المتجانسة

تكون فيها الوحدات التركيبية من نوع واحد ، فمثلا البولي اثلين يحتوي على نوع واحد من الوحدات التركيبية وهي وحدات الأثيلين ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ ) ، كما موضح في الشكل (a-7-2).

## Copolymers

### b – البوليمرات المشتركة

تتألف السلاسل البوليمرية من عدة أنواع من الوحدات التركيبية ، اذ تتكون نتيجة استخدام أكثر من مونومر واحد ، مثل ستارين –بيوتادين ( $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ ) اذ استخدم كوسيلة للسيطرة على المادة الناتجة . وتصنف البوليمرات المشتركة بالاعتماد على طريقة ترتيب المونومر على طول سلسلة البوليمر الى [64,65] :

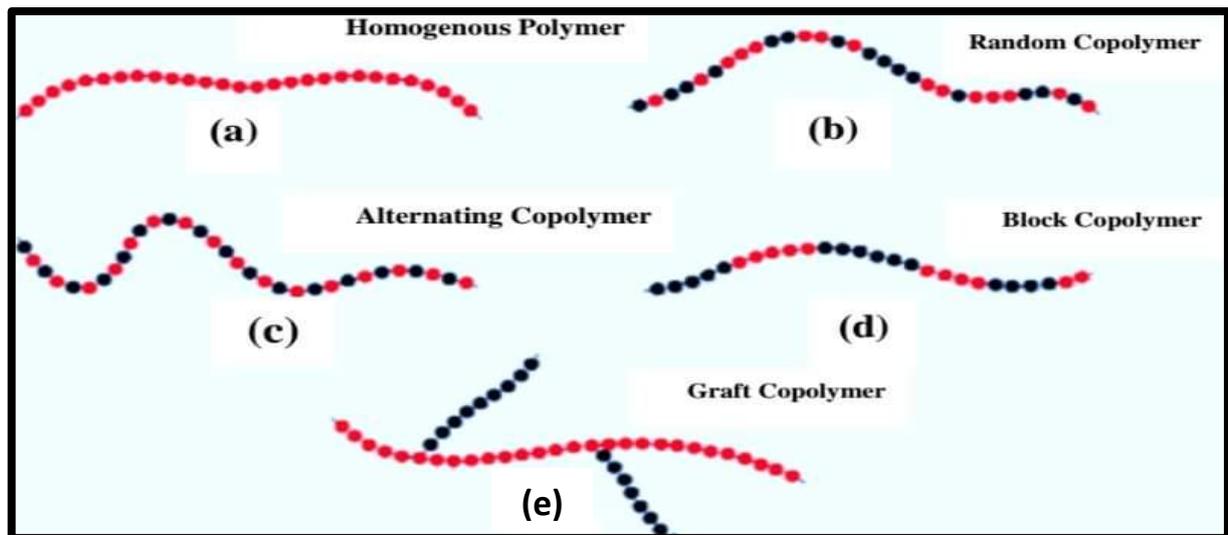
#### 1 – البوليمرات المشتركة العشوائية Random Copolymers: وتدعى أيضا

(Statistical Copolymers)، حيث ان الوحدات التركيبية (المونومرات) موزعة بشكل غير منظم على طول سلسلة البوليمر مثل Poly(Styrene-Co-butadiene-Co-acrylonitrile)، كما هو في الشكل (b-7-2).

2 – البوليمرات المشتركة المتناوبة (Alternative Copolymers): وتدعى ايضا Regular Copolymers) اذ تتناوب الوحدات التركيبية المختلفة في السلسلة البوليمرية مثال عليها Poly(Ethylene- ALT-Carbonmonoxide)، كما في الشكل (c-7-2).

3 – البوليمرات المشتركة القولية (Block Copolymers): تتكون من وحدات تركيبية منظمة ومرتبطة على شكل قوالب (Block) اذ ان قالب المونومر الاول يرتبط بقالب المونومر الثاني كما في Poly(Butadiene-b-acrylonitrile)، كما في الشكل (d-7-2).

4 – البوليمرات المشتركة المطعمة (Grafted Copolymers): تكون السلاسل الجانبية للمونومر الأول مرتبطة بالسلسلة الرئيسية للمونومر الثاني مثل Poly(Styrene-g-acrylonitrile) كما في الشكل (e-7-2)



الشكل (7-2): انواع السلاسل في البوليمرات المشتركة [13]

c- البوليمرات المركبة

Composite Polymers

تتكون من نوعين او أكثر من المكونات ، وتكون عادة متضمنة على طورين اي أنها غير متجانسة (Heterogeneous) في المدى المجهرى على الاقل .واضافة مكونات اخرى الى البوليمر يعمل على تغيير بعض خصائصه وذلك بأدخال صفات جديدة الى البوليمر كالبولي إيثيلين المقوى بألياف الزجاج .

d- خلائط البوليمر

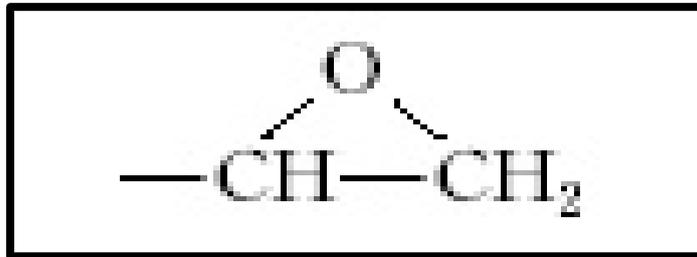
Polymer Blend

تتكون من مزج نوعين او اكثر من البوليمرات مزجا فيزيائيا ،حيث يكون للمزيج المتكون خواص ميكانيكية مختلفة . وتشتمل على طورين او أكثر مثل البولي ستيرين القابل للتمدد .

(7-2) الخصائص العامة لراتنج الايبوكسي

(Epoxy Resin)

في الدراسة الحالية تم استخدام راتنجات الإيبوكسي ، ينتمي راتنج الإيبوكسي الى مجموعة الراتنجات المتصلبة بالحرارة التي تتميز بعدم إمكانية إعادة تشكيلها بالحرارة بعد تحولها الى مادة صلبة بسبب تكون سلاسل بوليميرية طويلة متشابكة مع بعضها وهذا يدعى بالربط التشابكي (Cross Linking) [6]. ويحتوي الإيبوكسي على مجموعتين او اكثر من مجاميع الإيبوكساييد (Epoxyde) التي تتكون من ذرة اوكسجين مرتبطة مع ذرتي كاربون مرتبطتين ببعضهما وهذه الصيغة تسمى الاوكسيران (Oxirane) كما مبين في الشكل (8-2) [66].

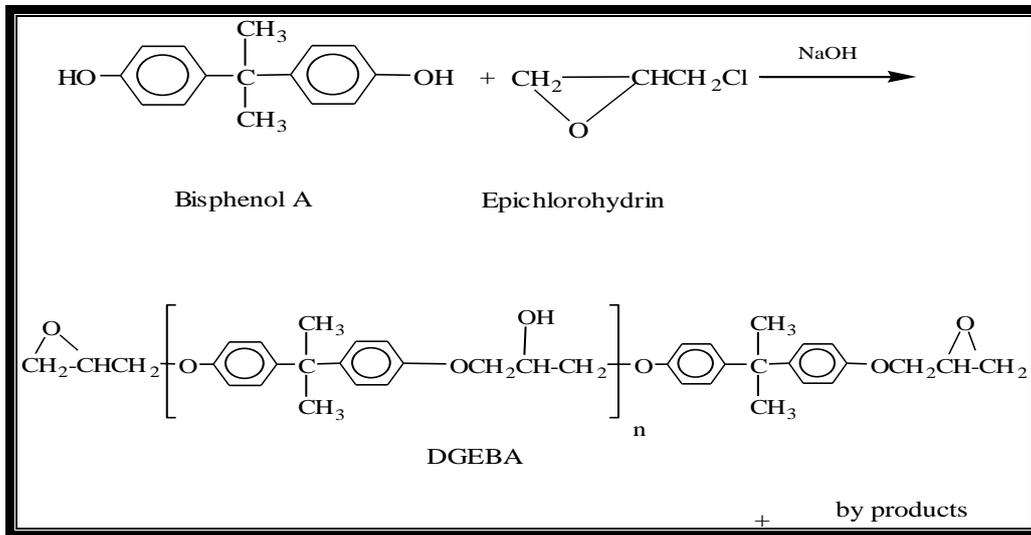


الشكل (8-2): مجموعة الاوكسيران [66]

ترتبط مجموعة الإيبوكسي كيميائيا مع الجزيئات الاخرى لتشكيل شبكة ثلاثية الابعاد ذات ريط تشابكي (Cross Linked Network)، بعملية المعالجة حيث يكون التفاعل باعنا للحرارة بسبب زيادة الوزن الجزيئي للمادة الاساس وهو دالة لمدى التفاعل ،حيث تتفاعل جزيئات المصلد مع الراتنج لتكون جزيئات كبيرة وبالتالي تعطي زيادة ملحوظة في اللزوجة ،حيث يتحول بعدها الراتنج الى الحالة الجيلاتينية (Gel) وفي النهاية يتصلب وهذا التفاعل غير مصحوب بنواتج [6,66] .

ان راتنج الايبوكسي له الكثير من الاستعمالات حيث يستعمل في الطلاء واللواصق وإكساء السطوح وفي الصناعات المعدنية حيث يمتلك مطاطية ومقاومة للمواد الكيماوية ومقاومة الحرارة وتقلصه القليل بعد المعالجة [67].

وهناك طريقتان لتحضير راتنج الايبوكسي وهي تفاعلات الاضافة (Addition) وتفاعلات التكثيف (Condensation) وباستعمال تفاعل التكثيف تستعمل طريقة تفاعل مركب (Epichlorohydrin) مع (Bisphenol A) لتحضير راتنج الايبوكسي وهي طريقة مشهورة ،وتتم المعالجة الحرارية بدرجة حرارة (120-175C<sup>0</sup>) من غير ظهور نواتج عرضية كما في الشكل (2-9) [68].



الشكل (2-9): تحضير راتنج الإيبوكسي [68]

يمتاز راتنج لايبوكسي بالمميزات الاتية [69] :

- يمتلك مقاومة كيميائية جيدة .
- امتلاكه مقاومة كهربائية والصلادة العالية ما يجعله مفضلا في صناعة الأغشية لحماية الحاويات المعدنية.
- يمتلك خصائص تلاحقيه فريدة بسبب التركيب الكيماوي لراتنج الايبوكسي وخاصة مجاميع البولي إيثرات التي تعد اساس راتنجات الايبوكسي .
- تتفاعل راتنجات الايبوكسي مع المصلدات في اثناء المعالجة (Curing) ويكون هذا التفاعل غير مصحوب بانبعث الماء او تحرر اي منتجات ثانوية مما يجعل التقلص في الحجم قليلا جدا وأقل من (2%) وبالتالي يكتسب الراتنج قوة وخصائص ميكانيكية عالية .

- تحتوي راتنجات الايبوكسي على مجموعة من الايبوكسايد تعمل بصفة حاجز يعطي المتانة اثناء عملية التصنيع ما يجعله يستعمل في مجالات تصنيعه مثل الطلاء واللواصق . تستخدم راتنجات الايبوكسي وبشكل واسع كمواد لاصقة في البناء والترميم والصيانة المنزلية مثل اكساء السطوح وفي الصناعات المعدنية ، وكذلك يتم استخدام عامل محفز للراتنج هو المصلد مما يجعله يعمل كمادة لاصقة ، كما ان راتنجات الايبوكسي لها خصائص مميزة تجعلها مرنة ومفيدة في نفس الوقت . وهناك استخدامات اخرى للأيبوكسي المعتمدة على المادة المصنعة فهي تضم الطلاءات والمواد اللاصقة والمواد المترابكة لأنه يمتلك جساءة عالية ومقاومة للمواد الكيماوية والمذيبات ومقاومة الحرارة وتقلصه القليل بعد المعالجة ولا ينتج اي نواتج عرضية عند المعالجة ، كما في ألياف الكربون وألياف الزجاج المدعمة، التي يتم استخدامها في أجنحة الطائرات وابدان السيارات وهايكل بعض الاجهزة الكهربائية وغيرها من الاستخدامات [70,71] .

## Nanomaterials

## (8-2) المواد النانوية

هي المواد التي يمكن انتاجها بحيث يكون مقاييس احد ابعادها او ابعاد حبيباتها الداخلية (1- 100) nm وبسبب صغر حجمها يكون لها سلوكا مختلفا عن سلوك المواد التقليدية ذات الاحجام الكبيرة التي تكون ابعادها أكبر من (100) nm اذ تتوفر فيها خصائص من المستحيل ان تتوفر مجتمعة في المواد التقليدية وتتنوع المواد النانوية حيث تختلف باختلاف نسبها كان تكون مواد عضوية او غير عضوية او مواد طبيعية او مصنعة . وفكرة استخدام الية النانو تلخص في إعادة ترتيب الذرات التي تتكون منها المواد ، حيث ان تغير الترتيب الذري للمادة يؤدي الى تغير الناتج منها الى مقدار كبير وحلت الية النانو في الوقت الحاضر لتحل بديلا عن المايكرو اذ يمكن تشكيل الاجهزة الالكترونية والكهروميكانيكية النانوية وتقليل حجم كل الاجهزة التي يتم استخدامها بما يعادل الف مرة عن حجم اجهزة المايكرو مما يقود الى تغيير صفات هذه الاجهزة [72] . وتصنف المواد النانوية الى كل من [73]:

اولا : المواد النانوية ذات البعد الواحد

### One Dimension Nanomaterials (1D)

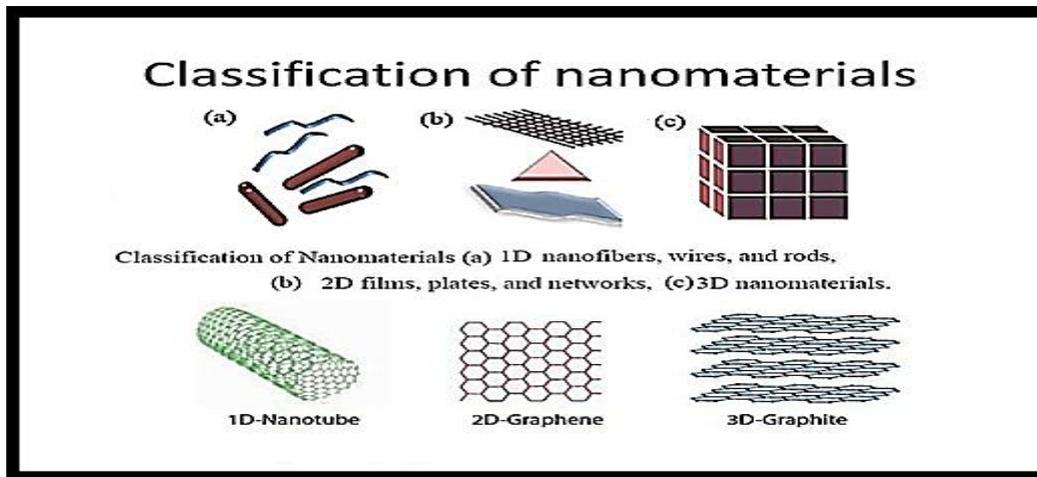
وهي المواد التي لها بعد نانوي واحد فقط تقع في هذه الفئة جميع المواد التي يقل احد مقاييس ابعادها عن (100nm) من امثلة هذه المواد الرقائق او الاغشية مثل المواد النانوية المستعملة في اعمال طلاء الاسطح (Surface Nano coating) مثلا طلاء اسطح المنتجات الفلزية من اجل حمايتها من التآكل بالصدا(ويمكن صناعة مواد اشباه الموصلات المختلفة مثل رقائق السيليكون لتوظيفها في صناعة الخلايا الشمسية).

### ثانيا: المواد النانوية ذات البعدين Two Dimension Nanomaterials (2D)

هي المواد التي يقل مقياس بعدين من ابعادها عن (100nm) من الامثلة عليها انابيب الكربون النانوية والالياف النانوية وكذلك الاسلاك النانوية (Nano wires) ولها القدرة على التوصيل الحراري والكهربائي ومن المتوقع استعمال الاسلاك النانوية في تصنيع مكونات الخلايا الشمسية واجهزة الاستشعار والاجهزة الالكترونية الدقيقة.

### ثالثا : مواد نانوية ثلاثية الابعاد Three Dimension Nanomaterials (3D)

وهي المواد التي تكون على هيئة حبيبات أو مساحيق فائقة النعومة مثل اكاسيد الفلزات التي تدخل في مجال صناعة الالكترونيات وصناعة الطلاء والأجهزة الطبية وصناعة الأدوية ومن هذه الأكاسيد أكسيد الخارصين (ZnO) وثنائي أكسيد التيتانيوم (TiO<sub>2</sub>) وأوكسيد السيليكون(SiO<sub>2</sub>) والشكل (2-10) يوضح تصنيف المواد النانوية.



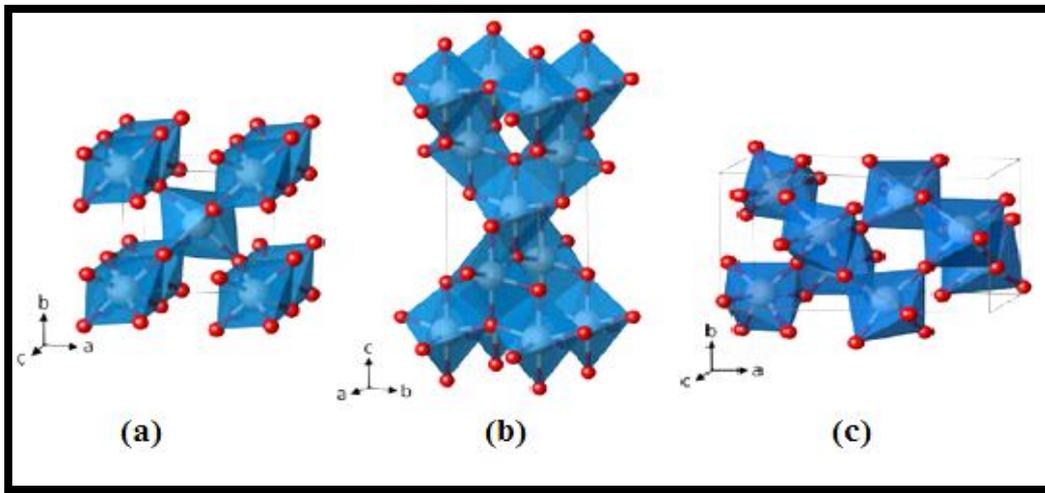
الشكل (2-10): تصنيف المواد النانوية [74]

## (1-8-2) ثنائي أكسيد التيتانيوم النانوي Titanium dioxide Nanoparticles

ثنائي أكسيد التيتانيوم أو تيتانيا هو أكسيد يتكون طبيعياً للتيتانيوم وله الصيغة الكيميائية  $TiO_2$  عندما يستخدم كخضاب فإنه يسمى التيتانيوم الأبيض. ويستعمل في مدى واسع من التطبيقات مثل الخلايا الشمسية [15,75]. وهناك عدة طرق لتحضير أكسيد التيتانيوم النانوي منها طريقة تصنيع المواد النانوية باستخدام الموائع (Sol-gel) وطريقة الحفر بالليزر (Laser ablation in liquid) [76]. والتركيب البلوري لثنائي أكسيد التيتانيوم النانوي يكون على ثلاثة أشكال هي:

a- Rutile b- Anatase c- Brookite

كما في الشكل (11-2):



الشكل (11-2): أشكال التركيب البلوري لثنائي أكسيد التيتانيوم [77]

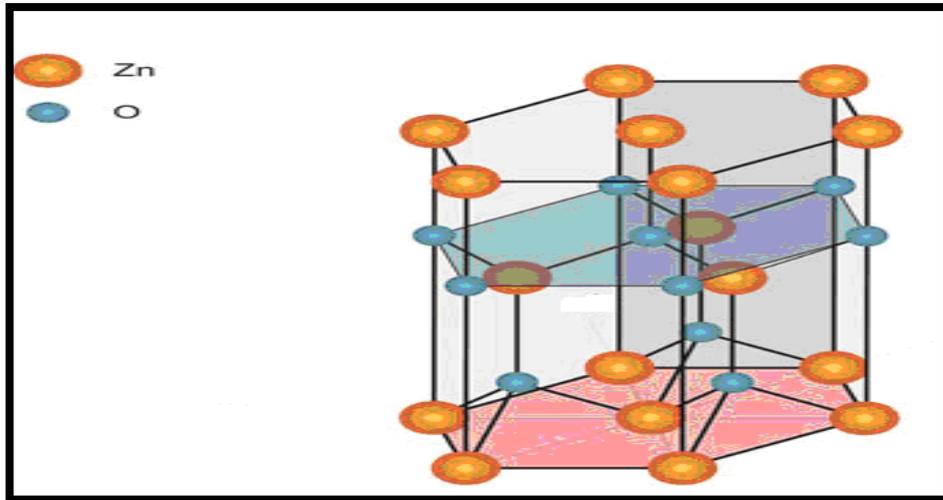
ان ثنائي أكسيد التيتانيوم موجود بالطبيعة بطورين رئيسيين هما Rutile-  $TiO_2$  ذو الطور Rutile و Anatase-  $TiO_2$  يكونان أكثر استقراراً من باقي الأطوار وأكثر شيوعاً أما Brookite فهو نادر الوجود في الطبيعة ، ثاني أكسيد التيتانيوم هو مادة شبه موصلة من نوع (n-type) أي ان حاملات الشحنة الاغلبية هي الالكترونات ، ويمتلك  $TiO_2$  فجوة طاقة واسعة تتراوح بين  $3.04-3.46$  eV وله مقاومة نوعية تقدر  $10^{12} \Omega.cm$  عند درجة حرارة (25) درجة مئوية كما له شفافية عالية في الطيف المرئي.

وقد نال ( $TiO_2$ ) اهتماماً واسعاً في السنوات الاخيرة بسبب استخداماته في الاجهزة الالكترونية الدقيقة كالمتسعات والبوابات الكترونية ، كذلك له الكثير من تطبيقات الطاقة الشمسية ولا سيما المجمعات الضوئية-الحرارية الشمسية اذ ان هذه التطبيقات تتطلب كفاءة عالية ومدى جيد من الإستقرارية [78].

## Zinc Oxide Nanoparticles

## (2-8-2) اوكسيد الخارصين النانوي

اوكسيد الزنك مركب شبه موصل معدن متحد مع الاوكسجين، وله الصيغة الكيميائية  $ZnO$  ، له تركيب سداسي (Hexagonal) ذو فجوة طاقة  $3.3\text{ eV}$  [79]. والاصرة التي تربط بين الذرات اصرة تساهمية ، ولكن المساهمة الايونية في الاصرة تكون اكبر وصفة الاستقطاب اقوى وهو مركب لونه ابيض يصفر عند التسخين بسبب تشوهات الشبكة البلورية كما انه اوكسيد امفوتيري [80]. ويعتبر  $ZnO$  من اكاسيد التوصيل الشفافة الذي يمتاز بنفاذية عالية في المنطقة المرئية للطيف ، كذلك امتلاكه توصيلية كهربائية جيدة للنوع السالب منه (n-type) ويعود ذلك الى وجود عيوب موضعية طبيعية ذات طاقة واطئة مثل ذرات زنك بينية وفراغات اوكسجينية او وجود الهيدروجين [81]. وهو مادة غير سامة ، عديم الرائحة قليل الذوبان بالماء وذو نفاذية عالية للضوء المرئي ومتوفر في الطبيعة والشبكة البلورية السداسية  $ZnO$  السداسية Hexagonal متكونة من ذرات خارصين كبيرة وذرات اوكسجين صغيرة كما في الشكل (2-12). ومن صفات اوكسيد الخارصين  $ZnO$  المستخدم في هذا البحث : انه من اشباه الموصلات المركبة من والذي يتميز بارتفاع التوصيلية والنفاذية البصرية ويستعمل في الكثير من التطبيقات منها الترانزستورات والحاسبات الرقمية والمنتسعات والمقاومات .



الشكل (2-12) التركيب البلوري  $ZnO$  [82]

## Hybrid Composites

### (9-2) المترابكات الهجينة

هو مصطلح يطلق على المواد المترابكة التي تتكون من نوعين او اكثر من مواد التدعيم ضمن المادة الاساس .والحصول على مادة جديدة ذات صفات جيدة مثل المقاومة او المتانة المتوازنة ،والغرض من تكوين المواد الهجينة هو للسيطرة على الكلفة الاقتصادية ،وبدأت المترابكات الهجينة بصناعة السيارات وبعدها تطورت الى صناعة اجزاء من الطائرات فهي تمتلك مقاومة عالية للكلال ومقاومة لدرجات الحرارة العالية بالإضافة لمقاومتها للظروف البيئية [83]. ويمكن تصنيف المترابكات الهجينة بالنسبة لتركيبها [84] الى:

## Sandwich Hybrids

### 1-الهجائن الشطائرية

هي الهجائن العروفة ايضاً بهجائن (القشرة –اللب-Shell-Core) وتكون فيها احدى مادتي التدعيم محشورة بين طبقتين من مادة التدعيم الاخرى .

## Interplay or Laminted Hybrids

### 2- الهجائن الطبقيّة او الصفائحية

تحتوي على نوعين مختلفين او اكثر من طبقات المترابكات ذات الاتجاه الواحد مرصوفة بترتيب معين.

## Interplay or Tow by Tow Hybrids

### 3-الهجائن ضمن الطبقيّة

يتم فيها خلط جديدة احدى المواد مع جديدة من مادة اخرى بطريقة معينة او بطريقة عشوائية.

## Intimately Mixed Hybrids

### 4-الهجائن المخلوطة جيداً

تتم بخلط الالياف جيداً من اجل ضمان عدم وجود تركيز لاحد الالياف في منطقة معينة. وكذلك هناك هجائن تصنع من الاضلاع (Ribs) والحجابات الرقيقة (Thin Veils).

## Rule of Mixtures

### (10-2) قاعدة الخلط

قاعدة الخلط يمكن أن تتنبأ بخواص المواد المترابكة المدعمة ب ( الدقائق أو الألياف أو الصفائح) اعتماداً على الكسر الحجمي (الوزني) وخواص المواد المستخدمة في تحضير المادة المترابكة . ويمكن حساب كمية المادة الأساس ومادة التدعيم كما يأتي [58] :

1 – بدلالة الكسر الحجمي:

$$V_p = \rho_c / \rho_p W_p \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

$$V_m = \rho_c / \rho_m W_m \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

إذ ان :

$V_p, V_m$  : الكسر الحجمي لكل من المادة الأساس والتدعيم على التوالي.

$\rho_p, \rho_m, \rho_c$  : الكثافة لكل من المادة المترابطة والأساس والتدعيم على التوالي .

$W_p, W_m$  : الكسر الوزني لكل من المادة الأساس والتدعيم على التوالي .

2 – بدلالة الكسر الوزني :

$$W_p = W_p / W_c \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

$$W_m = W_m / W_c \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4-2)$$

إذ ان :

$W_p, W_m, W_c$  : وزن كل من المادة المترابطة ومادة الأساس ومادة التدعيم على التوالي ، وهنا يجب

ملاحظة ما يأتي :

$$W_p + W_m = 1 \quad \dots\dots\dots(5-2)$$

$$V_p + V_m = 1 \quad \dots\dots\dots(6-2)$$

## Mechanical Properties

## (11-2) الخصائص الميكانيكية

ان من مميزات المواد البوليميرية المترابطة هو تمتعها بخواص ميكانيكية منفردة مثل مرونتها وقوتها العالية ، ويتم اختيار البوليمر المناسب لاختبارات معينة على اساس مدى مقاومة البوليمر لأشكال الاجهادات المختلفة التي يمكن ان تكون اجهادات قوى ساكنة مثل الانضغاطية او متحركة كما في اختبار الصدمة او تكون ثابتة كما في اختبار الزحف ومن ضمن هذه الاختبارات [41] . هي:

### Impact Test

### (1-11-2) اختبار الصدمة

اختبار الصدمة هو من الطرق التي تظهر العلاقة بين قوة المادة ومقاومتها للكسر تحت تأثير اجهادات بسرعات عالية . اذ ان الكسر يعرف على انه انفصال الجسم الى قسمين بسبب تسليط قوى طبيعية خارجية ينتج عن هذا الانفصال سطوح جديدة . ومن الاسباب التي تحول دون اجراء اختبارات الكسر عديدة منها :

- 1 – تأثير الظروف المحيطة في متانة المادة .
- 2 - تأثير التغيرات التركيبية المايكروية (Micro structural) على متانة المادة .

ان بداية الكسر في اختبار الصدمة يبدأ بتكوين الشق (Crack Initiation) الذي بعد ذلك يبدأ بالامتداد [85].

ان الكسور بصورة عامة هي نوعان :

1 - الكسور الهشة (Brittle Fractures) .

2 - الكسور المطيلية (Ductile Fractures) .

ويعتبر النوع الاول من الكسور من الكسور الخطرة لأنها تحدث بصورة مفاجئة دون المرور بالتشوه اللدن. اما النوع الثاني يكون اقل خطورة لان هذا النوع من الكسور يحدث بصورة بطيئة ويمكن ملاحظتها. ودرجة الكسر تعتمد بالأساس على القيم النسبية لقوة القص وقوة التماسك للمادة ، اذا كانت التماسك اقل من قوة القص عندئذ تنهار المادة بطريقة هشة اما اذا كانت قوة التماسك اكبر من قوة القص تصبح المادة مطيلية وتشوه بصورة لدنة. والمواد المتصلدة حراريا تظهر كسرا هشاً بينما المواد المطاوعة للحرارة تظهر كسرا مطيلياً [85].

ان الفشل الذي يحدث في المادة يعتمد على مجموعة عوامل [85] هي:

1 - نوع الاجهاد (Type Stressing) .

2 - معدل الاجهاد (The rate of Stressing) .

3 - درجة الحرارة (Temperature) .

4 - الظروف البيئية (Environment) .

5 - طبيعة المادة وتركيبها .

ويوجد عدة إختبارات للصدمة في الوقت الحالي وهي [86, 87] :

1 - إختبار چاربي ( Charpy Test ) : تقنية الإختبار هي وضع العينة أفقياً وتضرب في وسطها بالمطرقة بوزن معين

2 - إختبار قياس الصدمة بطريقة الاجسام الساقطة (Falling Body Impact) : في هذا الإختبار يتم قياس الطاقة اللازمة للكسر باستخدام أثقال بكتل مختلفة وبتأثير التعجيل الارضي.

3 - إختبار أيزود (Izod Test) : هو وضع العينة بصورة عمودية في جهة معينة وتضرب من نفس الجهة وهو الإختبار الذي تم إنجازه في هذه الدراسة .

في إختبار (Izod, Charpy) يتم السماح لبندول ذي وزن معلوم بالسقوط من ارتفاع (h<sub>0</sub>) ليصدم بعينة الإختبار في أوطاً نقطة من تارجه ليتم قياس بعدها الارتفاع (h) وهو الارتفاع الذي يصله البندول بعد اصطدامه بعينة الإختبار ، حيث يمثل قياساً لطاقة الكسر ، فاذا كانت هذه الطاقة كبيرة ، يكون مقدار الفقدان كبيراً ، وبذلك يصبح الارتفاع (h) الذي يصله البندول بعد اصطدامه بعينة الإختبار قليلاً، وفي

الوقت ذاته يسجل المؤشر على الطاقة المطلوبة للكسر لتتقسم على مساحة المقطع فنحصل على قيمة المتانة للكسر ان من مساوي اختبار الصدمة بالبندول هي ان طاقة السقوط الزائدة عن الطاقة المطلوبة للكسر تحفظ في عينة الاختبار ذاتها ، وبهذا فقد نحصل على قيمة عالية للطاقة التي يتم قياسها . في إختبار(Charpy) لا نحتاج لتثبيت العينة في موضعها ( كما هو الحال في عينة اختبار Izod) حيث انها تستعمل بسهولة للاختبار في درجات حرارة مختلفة، وبذلك حل اختبار (Charpy) حاليا محل إختبار (Izod) [85] .

متانة الصدمة تحسب بالمعادلة الآتية [13] :

$$I.S = U / A \quad \dots\dots\dots(7-2)$$

اذ ان :

I.S : متانة الصدمة بوحدات (KJ / m<sup>2</sup>) .

U : طاقة الكسر بوحدات (KJ) .

A : مساحة المقطع بوحدات (m<sup>2</sup>) .

اما بخصوص إختبار الصدمة بالوزن الساقط ، يتم بإسقاط أداة صدم ( Impactor ) من ارتفاع معين بحرية [88,89] ، ويتم حساب طاقة الكسر (E) في هذه الحالة من المعادلة الآتية [13] :

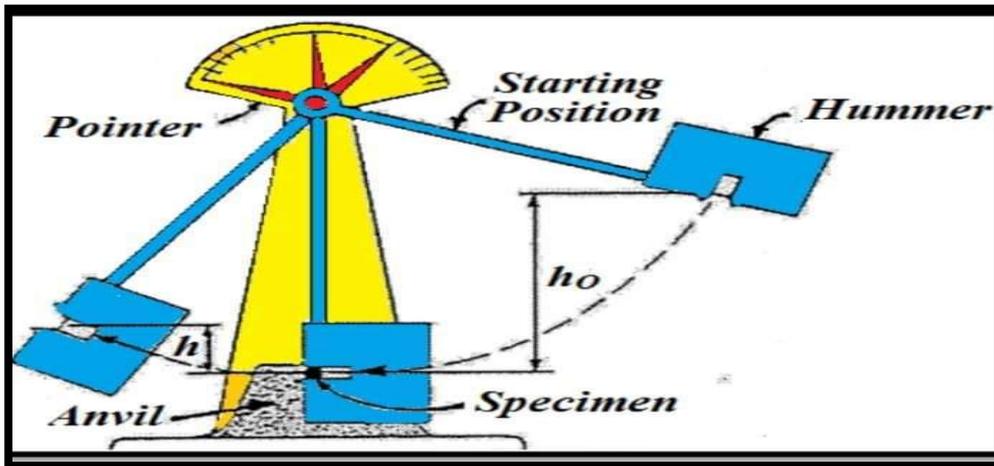
$$E= mg h \quad \dots\dots\dots(8-2)$$

اذ ان :

m : كتلة الثقل بوحدات (kg) .

g : تعجيل الجاذبية الارضي (9.806 m / sec<sup>2</sup>)

h : طول مسار السقوط بوحدات (m)



الشكل (13-2): مخطط جهاز اختبار مقاومة الصدمة [90]

## Compression Strength Test إختبار مقاومة الإنضغاطية (2-10-2)

مقاومة الانضغاط هي اعظم إجهاد تقاومه المادة الجسوءة (Rigid Material) تحت الضغط العمودي ، ويتم قياس هذه المقاومة عن طريق قسمة الحمل المسلط على وحدة المساحة للمقطع العرضي الابتدائي للحمل [91] ، وتعطى مقاومة الانضغاط بالمعادلة [92]:

$$C.S = P / A \quad \dots\dots\dots(9-2)$$

اذ ان :

C.S : مقاومة الانضغاط بوحدات (MPa).

P : الحمل المسلط بوحدات (N).

A : مساحة العينة بوحدات (mm<sup>2</sup>).

يستعمل هذا الاختبار بشكل واسع لفحص المواد الهشة ، مثل الزجاج ، الكونكريت ، الراتنجات المتصلدة بالحرارة مثل الايوكسي تمتاز بمقاومة انضغاط عالية مقارنة لإجهادات الشد ويعود السبب في ذلك لوجود الاجهادات المتولدة نتيجة لوجود الشقوق في المادة ، حيث ان مقاومة الشد لهذه المواد تعتمد على توزيع العيوب في داخل المادة ، حيث تعمل هذه العيوب بوصفها مناطق لتركيز الاجهادات وتنمو بالاتجاه العمودي لقوة الشد لذلك يمكن ان نلاحظ ان لهذه المواد مقاومة عالية للانضغاط ، ويمكن تعريف اجهاد الانضغاط على انه مقاومة الانضغاط عند الفشل او نقطة الخضوع للانضغاط [93]. ان ميكانيكية التدعيم بالدقائق ذي تأثير مهم لتحسين الخصائص الميكانيكية للبوليمرات وذلك من خلال الاعتماد على مجموعة متغيرات هي ( الطبيعة الكيميائية للبوليمر والحشوة ، بنية وتركيب الحشوة ، الالتصاق بين البوليمر وسطح الحشوة ، القولية وظروف التصلد للبوليمر [94]. فاذا كان السطح البيئي قويا فان متانة الانضغاط سوف تزداد بشكل ملحوظ وتصل تقريبا الى متانة الشد ، بينما اذا كان السطح البيئي ضعيفا فان المادة المدعمة سوف تنفصل عن المادة الاساس ومتانة الانضغاط لا تصل الى مستوى متانة الشد [93].

تم قياس مقاومة الانضغاط للعينات بطريقة الانضغاط القطري والتي تدعى مقاومة الانضغاط بالطريقة البرازيلية ، وهي طريقة غير مباشرة لقياس متانة الانضغاط ، حيث يتم وضع العينة القرصية الشكل بين طرفي المكبس الهايدروليكي وبشكل رأسي ويتم تسليط الحمل بالتدرج وتحسب متانة الانضغاط في هذه الحال بتطبيق المعادلة الاتية [95]:

$$C.S = 2 F_{fracture} / \pi D h \quad \dots\dots\dots(10-2)$$

حيث ان :

C.S : مقاومة الانضغاط بوحدات (MPa).

$F_{fracture}$  : القوة عند الكسر بوحدات (N).

h : سمك العينة بوحدات (mm).

D : قطر العينة (mm) .

## Physical Properties

### (12-2) الخصائص الفيزيائية

ان من اهم الخصائص الفيزيائية التي تم دراستها هي :

## Thermal Properties

### (1-12-2) الخصائص الحرارية

الهدف من دراسة الخصائص الحرارية هو التعرف على السلوك الحراري للمواد المترابكة من اجل

ان يحدد لها ادوار مناسبة في المجالات العلمية .

## Thermal Conductivity

### (1-1-12-2) التوصيلية الحرارية

التوصيلية الحرارية (k) هي مقياس لمعدل نقل الحرارة خلال المواد . ان الية التوصيل الحراري تختلف باختلاف حالات المادة كأن تكون (صلبة ، سائلة ، غازية ) والذي من خلاله تصنف المادة على أنها موصلة او عازلة للحرارة . وبشكل عام فإن التوصيل الحراري للمادة الصلبة اعلى مما هو عليه في السوائل وهذا أعلى من توصيلية الغازات . والطاقة الحرارية تنتقل عبر المادة بأليات مختلفة : تنتقل الطاقة الحرارية عن طريق هجرة الإلكترونات الحرة و الفونونات التي هي عبارة عن كم الطاقة الاهتزازية للشبيكة. تكتسب إلكترونات التكافؤ الطاقة وتتجه نحو المناطق الأكثر برودة من المواد وتنقل طاقتها إلى ذرات أخرى. وان كمية الطاقة تعتمد على عدد الإلكترونات وهذه بدورها تعتمد على نوع المادة ، وعيوب الشبيكة ، ودرجة الحرارة بالإضافة إلى ذلك الاهتزازات الحرارية الناتجة من الذرات تنقل الطاقة خلال المادة [96] . وطرق انتقال الحرارة في المواد المترابكة هي (التوصيل والحمل والاشعاع)، حيث ان كل طريقة تساهم في انتقال الحرارة حيث ان احدهما مكمل للآخرى للمحافظة على السريان المتواصل لانتقال التدفق الحراري ، اذ ان التدفق الحراري يتخذ مسارا ملتويا بسبب حركته في اطوار متباينة (الوسط والمواد المضافة) [97]. وحركة الموجات المرنة تعاني إعاقة من قبل السطح البيئي بين مادة الاساس (الوسط) ومادة التدعيم المضافة، وان انتقال الحرارة بشكل موجة مرنة تكون عملية معقدة نتيجة عدم التواصل في البنية والتحول من بنية لأخرى مختلفة عنها [97]. فالموجة تفقد جزء من طاقتها عند السطوح البيئية الموجودة بين المادة الاساس ومادة التدعيم والجزء الاخر يضيع عند

انتقال الموجة من مادة الى اخرى مختلفة عنها، وظاهرة التوصيل الحراري هي الظاهرة التي يتم من خلالها سريان الحرارة خلال المواد من المنطقة التي لها درجة حرارة عالية الى المنطقة ذات درجة الحرارة الاقل اذ ان كمية انتقال الحرارة يمكن التعبير عنها بوساطة معادلة فوريير [96].

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (11-2)$$

حيث ان :

Q : هي كمية الحرارة المنتقلة خلال وحدة مساحة مقطع النموذج لوحدة زمن (J/S) .  
 k : التوصيلية الحرارية ويختلف باختلاف المادة، اما وحدات التوصيلية الحرارية (k) هي (W/m.k).  
 A : مساحة المقطع العمودي على اتجاه انتقال الحرارة ويقاس بوحدات (m<sup>2</sup>) .  
 dT/ dx : يمثل معدل انتقال الحرارة لوحدة المسافة (الانحدار الحراري) .  
 والإشارة السالبة تدل على الانتقال الحراري من المناطق الاعلى درجات حرارة الى المناطق الاقل درجات حرارة.

وبشكل عام تختلف طرائق قياس التوصيلية الحرارية (k) باختلاف نوع المادة :

- 1- تقاس التوصيلية الحرارية لمادة جيدة التوصيل الحراري كالنحاس مثلا باستخدام قانون فوريير (Fouiers Law) والذي يمثل مبدا القياس بطريقة سيرل .
- 2- تقاس الحرارة للمادة عديمة التوصيل الحراري بهيئة قرص كالمواد التي تمتلك الاساس البوليمري باستخدام قرص لي (Lees Disc Method) المشار اليه في الشكل (2-14) حيث يتم وضع الانموذج (S) بين قرصين مصنوعين من النحاس (A,B) ويمس القرص (B) المسخن الكهربائي (h) ثم يليه القرص (C) ومن خلال الاعتماد على كمية الحرارة المنتقلة خلال النموذج المصنع المتمثلة بالقرص (S) نعتمد القانون الاتي في حساب التوصيلية الحرارية (k) [98]:

$$k \{ (T_B - T_A) / d_s \} = e [ T_A + r/2 ( d_A + d_s / 4 ) T_A + d_s T_B / 2r ] \dots\dots\dots (12-2)$$

اذ ان :

e : هي كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية (W/m<sup>2</sup>.K) وتحسب من المعادلة الاتية :

$$IV = \pi r^2 e (T_A + T_B) + 2\pi r e [ d_A T_A + d_s / 2 (T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C ] \dots\dots\dots (13 -2)$$

اذ ان :

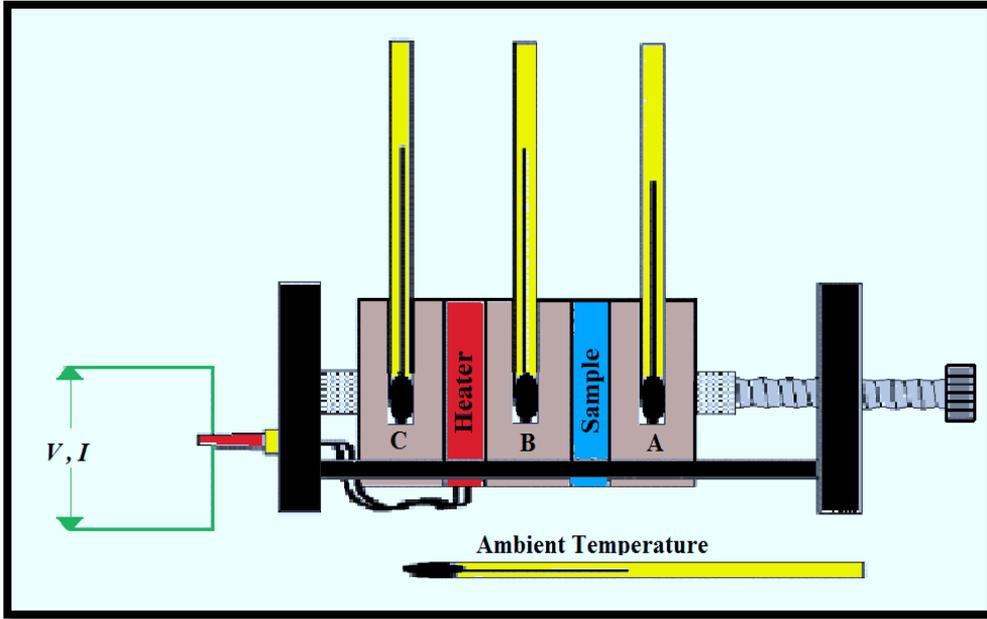
T<sub>A</sub>, T<sub>B</sub>, T<sub>C</sub> : ترمز لدرجة حرارة الاقراص (A, B, C) على التوالي .

d : يرمز لسمك القرص بوحدات (m)

r : يرمز لنصف قطر القرص بوحدات (m)

I : التيار المار في الدائرة الكهربائية بوحددة (A)

V : الفولتية الكهربائية المسلطة بوحددة (V)



الشكل (14-2) رسم توضيحي لجهاز (قرص لي) [99]

## Glass-Transition Temperature (2-1-12-2) درجة الانتقال الزجاجي

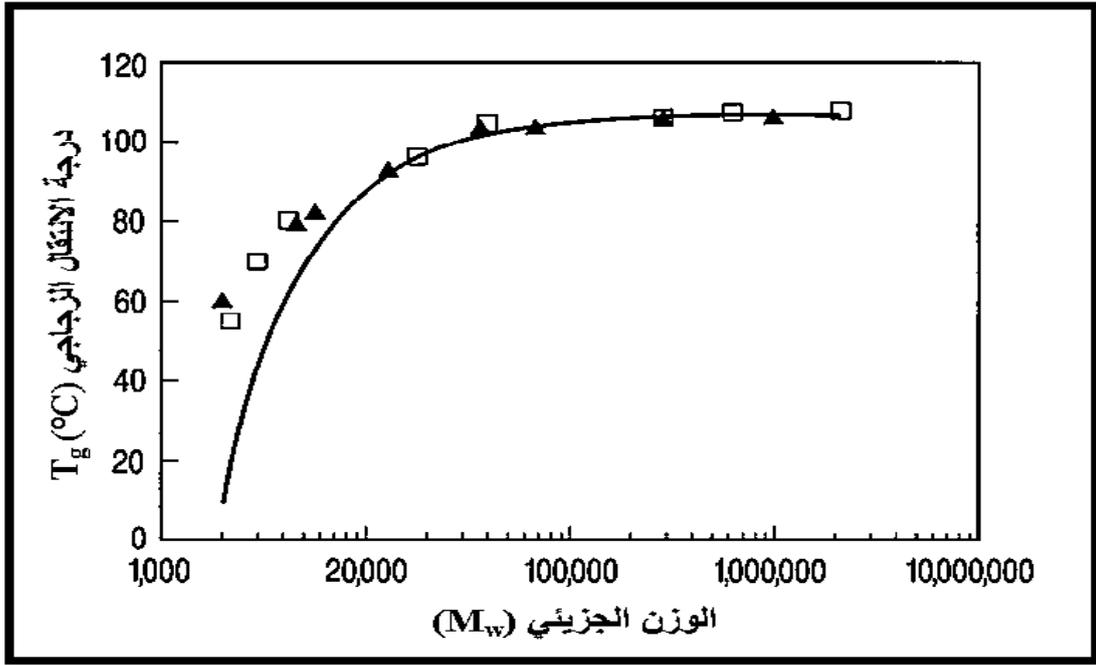
يمكن تعريفها بانها الدرجة الحرارية التي يتحول عندها البوليمر من مادة صلبة الى مادة مرنة وفوق درجة الانتقال الزجاجي حيث يكون البوليمر مرنا (Flexible) [100]. واللدائن لها العديد من التحولات (Transitions) المختلفة الناجمة عن ارتفاع درجة الحرارة ، إذ أن درجة الحرارة الأقل من درجة التحول الزجاجي ( $T_g$ ) تكون المادة اللدائنية صلبة قوية. تتحول عند الانتقال الى مادة لدائنية لينة ومرنة وبعدها تتحول الى الحالة المطاطية في حالة اللدائن الغير مطاوعة للحرارة [100,101]. درجة الانتقال الزجاجي تعتمد على حركة جميع الذرات والجزيئات في المادة اللدائنية حيث كلما تعقد الربط وازدادت قوة الاواصر وزاد الوزن الجزيئي امتلكت المادة اللدائنية درجة انتقال زجاجي ( $T_g$ ) اعلى ، اذ ان درجة الانتقال الزجاجي للبوليمر ترتبط مع معدل الوزن الجزيئي له في المعادلة التالية [102] :

$$T_g = 373 - 1 \times 10^5 / \bar{M}_w \quad \dots\dots\dots(14-2)$$

إذ ان :

$\bar{M}_w$  : معامل الوزن الجزيئي.

$T_g$  : درجة الانتقال الزجاجي



الشكل (2-15): العلاقة بين درجة الانتقال الزجاجي والوزن الجزيئي للبوليمر [103]

## Electrical Properties

## (2-12-2) الخصائص الكهربائية

ان ثابت العزل الكهربائي في البوليمرات له اهمية كبيرة حيث ازدادت اهميته باستخدام البوليمرات لكونها مواد عديمة التوصيل الكهربائي لأنها ذات اهمية في التطبيقات الهندسية، ويمكن قياس ثابت العزل من سعة المكثف الكهربائي بوجود الوسط البوليمري كوسط عازل الى سعة المكثف الكهربائي بوجود الهواء فقط [104]. ان التوصيلية الكهربائية بشكل عام تعتمد على وجود الايونات والالكترونات الحرة وحركتها، ففي المواد العازلة تكون حركة هذه الايونات والالكترونات مقيدة بسبب قوة ارتباط الذرات والتي يكون عن طريق اواصر تساهمية قوية، اي ان الالكترونات ليست حرة الحركة [105]. ونتيجة هذا الارتباط للمواد العازلة ومنها البوليمرات سيؤدي الى ان تكون فجوة الطاقة واسعة مما يجعل التوصيلية الكهربائية واطئة، وهذه التوصيلية تختلف مع اختلاف البوليمرات حيث ان البوليمرات ذات الربط التشابكي ترتفع قيمة التوصيلية الكهربائية بمقدار معين نتيجة الربط التشابكي الذي يمكن الالكترونات من الحركة بسهولة [106].

عند وضع فرق جهد كهربائي على لوحين من مادة موصلة معزولين عن بعضهما بواسطة الفراغ (Vacuum) سوف نحصل على شحنة كهربائية مدخرة في الدائرة الكهربائية وان قيمة هذه الشحنة المدخرة بين اللوحين الموصلين تسمى السعة (Capacitance) ويرمز لها (C) وتتناسب مع الفولتية بواسطة القانون الاتي [107]:

$$q = \dot{C} V \quad \dots\dots\dots (15-2)$$

اذ ان :

q : كمية الشحنة الكهربائية بوحدات (Coulomb).

V : فرق الجهد الكهربائي خلال اللوحين الموصلين بوحدات (Volt).

$\dot{C}$  : السعة الكهربائية بوحدات (Coulomb/Volt) .

وان مقدار هذه السعة تعتمد على المادة الموجودة بين اللوحين الموصلين والمسافة الفاصلة بينهما وكذلك الحجم والشكل الهندسي للوحين الموصلين ، فاذا كان الفاصل هو الفراغ فان السعة تعطى في المعادلة التالية:

$$C_0 = \epsilon_0 (A/d) \quad \dots\dots\dots (16-2)$$

اذ ان :

$\epsilon_0$  : سماحية الفراغ وتساوي  $(8.85 \times 10^{-12})$  بوحدات (Farad/m).

A : المساحة السطحية للوح الموصل بوحدات  $(m^2)$

d : المسافة التي تفصل اللوحين الموصلين بوحدات (m)

فاذا كانت المادة الفاصلة بين اللوحين الموصلين عازلة سيحصل استقطاب في العازل ويسمح بمرور شحنة اخرى مما يؤدي الى زيادة سعة المتسعة وحسب القانون الاتي:

$$\dot{C} = \epsilon (A/d) \quad \dots\dots\dots (17-2)$$

اذ ان :

$\epsilon$  : سماحية المادة العازلة بوحدات (Farad/m).

$\dot{C}$  : السعة بوجود مادة عازلة بوحدات (Farad).

وان قابلية المادة على الاستقطاب وتخزين الشحنات الكهربائية تعطى من خلال السماحية النسبية (Relative Permittivity) او (Dielectric Constant) ثابت العزل ويمكن تعريفها بانها النسبة بين سماحية المادة العازلة الى سماحية الفراغ [108].

$$\frac{\dot{C}}{C_0} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r \quad \dots\dots\dots (18-2)$$

والسعة المقاسة  $\dot{C}$  للمتسعة تستخدم لحساب ثابت العزل ( $\epsilon_r'$ ) وذلك من خلال القانون الاتي:

$$\epsilon_r' = \dot{C} d / \epsilon_0 A \quad \dots\dots\dots (19-2)$$

وان عامل الفقد ( $\epsilon_r''$ ) (Dielectric Loss) يحسب من خلال القانون الاتي [104] :

$$\epsilon_r'' = \tan \delta * \epsilon_r' \quad \dots\dots\dots (20-2)$$

اذ ان :

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

يتبين لنا من خلال الشرح السابق ان ثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon_r$ ) هو كمية عقدية (Complex) تمتلك جزء حقيقي ( $\epsilon'_r$ ) وهو مقياس السعة والاستقطاب وجزء خيالي ( $\epsilon''_r$ ) وهو مقياس الفقد في العوازل. ان ثابت العزل الكهربائي يعتمد على الاستقطاب (Polarization) الذي يحصل في داخل المادة العازلة وهناك مجموعة من العوامل التي يعتمد عليها مقدار ثابت العزل وهي:

## Temperature

## 1 – درجة الحرارة

يتناقص مقدار ثابت العزل الكهربائي بزيادة درجة الحرارة للمواد العازلة اللاقطبية لان نسبة عدد الجزيئات لوحدة الطول تتناقص بسبب التمدد الحراري لتلك المواد ، اما المواد العازلة القطبية فان ثنائيات الاقطاب تدور بسهولة عند زيادة درجة الحرارة وهذا يعمل على زيادة قيمة ثابت العزل الكهربائي لتلك المادة ، وعند ارتفاع درجة الحرارة باستمرار فان درجة ثنائيات الاقطاب تقل نتيجة الاهتزازات الحرارية مما يسبب نقصان في مقدار ثابت عزلها الكهربائي [109] .

## Frequency

## 2 - التردد

المجال الكهربائي المتناوب والمتمثل بتردد الجهد الكهربائي المطبق على المادة العازلة ينعكس تأثيره على مقدار تأثير استقطابية المادة العازلة على الخصائص العزلية للمادة من خلال التغيرات في استقطابية المادة حيث ان نوع الاستقطاب يؤثر على استقطابية المادة وكما يأتي [109] :

## Electronic Polarization

## اولا: الإستقطاب الإلكتروني

وهو إجهاد في الذرة ، يحصل نتيجة تشويه في توزيع الشحنة الكهربائية كما هو موضح في الشكل (16a-2) ناتج عن تسليط مجال كهربائي خارجي ، فيقوم بإزاحة الإلكترونات الموجودة في أغلفة الذرة ازاحة باتجاه مخالف للمجال الكهربائي بينما تبقى نواة الذرة مع اتجاه المجال الكهربائي نفسه ، فيتولد الإستقطاب بسبب وجود ثنائيات قطبية محتثة ، والاستقطاب الالكتروني لا يعتمد على درجة الحرارة، لهذا النوع من الاستقطاب يعرف بالاستقطاب البصري، بسبب تولده عند الترددات العالية (الترددات البصرية) ، او الاشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet Ray) [110,111]. وان عزم ثنائي القطب المتولد من الاستقطاب الالكتروني ( $\vec{m}_e$ ) يتناسب طرديا مع شدة المجال الكهربائي المطبق ( $\vec{E}$ )، المعادلة التالية توضح ذلك :

$$\vec{m}_e = \alpha_e \vec{E}_e \quad \dots\dots\dots(21-2)$$

حيث ان :

$\alpha_e$ : يمثل ثابت الاستقطابية الالكترونية .

ويحدث الاستقطاب الالكتروني في فترة زمنية قصيرة (s)  $10^{-15}$  [112].

### Ionic Polarization

### ثانيا: الاستقطاب الأيوني

هو إجهاد الكتروني يحصل في مركب كيميائي يمتلك الصفة الايونية كما في الشكل (2-16b) ويتولد الاستقطاب الايوني عند وجود المادة تحت تأثير مجال كهربائي ، حيث يقوم المجال الكهربائي بتغيير طول الاواصر الايونية من خلال تحريك الأيون الموجب الى اليمين نحو المجال الكهربائي والأيون السالب نحو اليسار، وتبعاً لذلك فإن صافي عزم ثنائي القطب في الجزيئة وان عزم ثنائي القطب ( $\vec{m}_i$ ) يتناسب طردياً مع شدة المجال الكهربائي كما في القانون الاتي [109]:

$$\vec{m}_i = \alpha_i \vec{E} \quad \dots\dots\dots(2-22)$$

حيث ان :

$\alpha_i$ : يمثل ثابت الاستقطابية الأيونية.

وان الاستقطاب الايوني لا يعتمد على درجة الحرارة ، ويعرف باستقطاب الأشعة تحت الحمراء (Infrared Polarization) ، او الاستقطاب الذري، حيث انه يتولد نتيجة الازاحة النسبية الحاصلة في الذرات نفسها داخل الجزيئة، وفي مدى التردد الواطئ (Low Frequency) ولا يمكن فصل الاستقطاب الذري عن الاستقطاب الالكتروني إلا في حالة الجزيئة احادية الذرة (Mono atomic Molecule) لان الاستقطاب الأيوني لا يحصل في مثل هذه الجزيئات وان المدة الزمنية المستغرقة لتكوين ثنائيات الأقطاب هي (s)  $10^{-12} - 10^{-13}$  [106].

### Orientational Polarization

### ثالثا: الاستقطاب الاتجاهي

ان هذا النوع من الاستقطاب يحصل في الجزيئات التي لها عزم ثنائي القطب الدائم حتى في حالة عدم وجود المجال الكهربائي والشكل (2-16c) يوضح ذلك وتسمى هذه الجزيئات بالجزيئات القطبية (Polar Molecules) او المواد الثنائية القطبية ، ان الجزيئات المنفردة في هذه المواد تمتلك عزوما دائمية وصافي الاستقطاب يكون صفراً، نتيجة كون العزوم الجزيئية مختلفة الاتجاهات مما يسبب إلغاء عزومها، وعند تسليط مجال كهربائي على المواد الثنائية القطبية فان الثنائيات ستميل مع اتجاه المجال الكهربائي حيث يقوم المجال بمراصفة الثنائيات القطبية باتجاهه [110,111] . وبزيادة درجة الحرارة

تزداد صعوبة التحكم في توجيه الجزيئات من قبل المجال الكهربائي لذلك فالاستقطاب الاتجاهي ( $\vec{m}_d$ ) يعتمد على درجة الحرارة كما في القانون الاتي [112]:

$$\vec{m}_d = \sqrt{3\alpha_d k_B T} \quad \dots\dots(23-2)$$

حيث ان:

$\alpha_d$ : يمثل ثابت الاستقطابية الاتجاهية.  
 $k_B$ : يمثل ثابت بولتزمان ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )  
 $T$ : درجة الحرارة المطلقة.

### Interfacial Polarization

### رابعا : الاستقطاب البيني

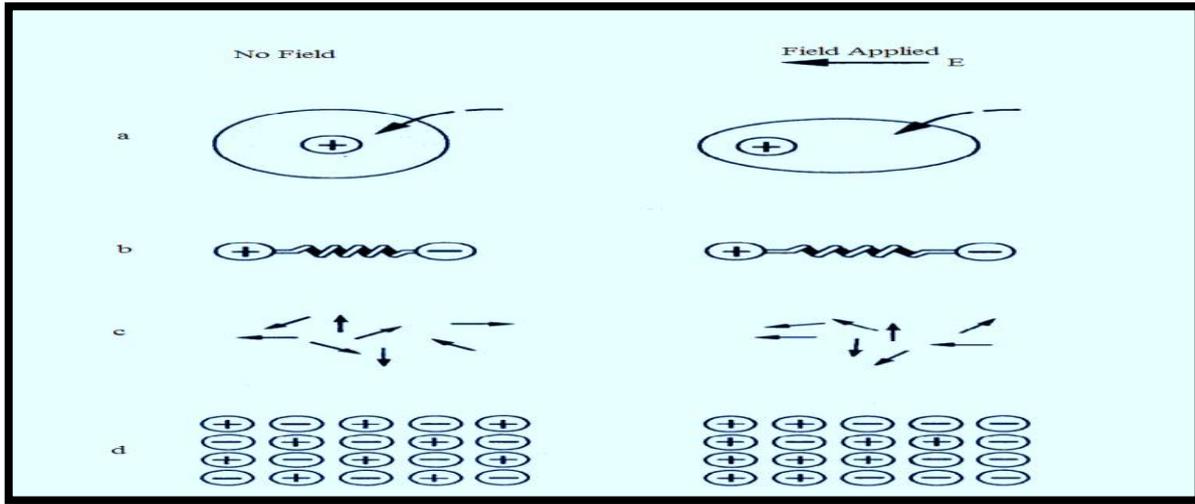
يحدث في المواد المتغايرة الصفات (Heterogeneity) كما هو مبين في الشكل (16d-2) بسبب امتلاك اغلب بلورات هذه المواد على عيوب (Defects) بهيئة ذرات شائبة او فراغات هوائية داخل السائل او مناطق غير متجانسة من المادة ، او قد تكون الحواجز ناتجة عن وجود شقوق ، وان وجود مثل هذه الشوائب تحت تأثير مجال كهربائي ، ولأنها تمتلك شحنة ستتمكن من الانتقال داخل البلورة مما يجعلها سهلة الاصطياد من قبل العيوب الاخرى، وبذلك فأنها تؤدي إلى تكوين تراكم داخلي للشحنات الكهربائية ، وبالتالي يعمل على حث شحنات كهربائية معاكسة في الناحية الاخرى مسببة نشوء ثنائيات قطبية في المادة، وتمتد هذه الثنائيات إلى مناطق كبيرة في المادة، ويعتمد هذا النوع من الاستقطاب على متجانس المادة ، ومدى خلوها من العيوب ، ويعتمد هذا النوع من الاستقطاب في الترددات الراديوية، وقد تشمل الموجات دون السمعية ، اعتمادا على نوع العيب او فقد التجانس المؤدي للاستقطاب وان الزمن المستغرق لحصول ظاهرة الاستقطاب البيني ( $\vec{m}_s$ ) هي حوالي ثوان او دقائق [111,113]. ويتولد عزم ثنائي الاستقطاب بوحدة الحجم للمادة العازلة من خلال اشتراك الأنواع المختلفة للاستقطاب ، ويمكن تمثيله بمجموعة الاستقطابات المتغايرة حيث ينشأ كل منها بميكانيكية معينة كما في القانون الاتي [104]:

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{m}_e + \sum \vec{m}_i + \sum \vec{m}_d + \sum \vec{m}_s}{V} \quad \dots\dots(24-2)$$

$$\vec{P} = \vec{P}_e + \vec{P}_i + \vec{P}_d + \vec{P}_s \quad \dots\dots(25-2)$$

حيث ان :

$\vec{P}_e, \vec{P}_i, \vec{P}_d, \vec{P}_s$ : الاستقطاب الإلكتروني والايوني والاتجاهي والبيني على التوالي [110].



الشكل (2-16): أنواع الاستقطاب (a) الإلكتروني (b) الأيوني (c) الاتجاهي (d) البيني [114]

يمكن حساب التوصيلية الكهربائية المتناوبة ( $\sigma_{ac}$ ) من المعادلة الآتية :

$$\sigma_{ac} = \omega \epsilon_0 \epsilon'' \quad \dots \dots \dots (26-2)$$

حيث ان ( $\omega$ ) تمثل التردد الزاوي والذي يعتمد على التردد وبحسب المعادلة الآتية:

$$\omega = 2\pi f \quad \dots \dots \dots (27-2)$$

ومن خلال المعادلتين (26-2) و(27-2) نستنتج ان التوصيلية الكهربائية المتناوبة ( $\sigma_{ac}$ ) تعتمد على التردد.

ان التوصيلية المتناوبة ( $\sigma_{ac}$ ) تمثل مقياس للقدر المفقود عند تسليط مجال كهربائي متناوب عبر العازل ولا تمثل مقياس لكمية الشحنة الكهربائية التي يمكن ان تنتقل عبر المادة من قطب لآخر، حيث ان التوصيلية الكهربائية المتناوبة ( $\sigma_{ac}$ ) في العازل تعتبر مقياس للحرارة التي قد تنتج من دوران ثنائيات الأقطاب في مواضعها ، او من خلال اهتزاز الشحنات الكهربائية بتغير اتجاه المجال الكهربائي المتناوب ، ونستطيع اخذ التوصيلية الكهربائية التي تنتج من حركة الشحنات الكهربائية عبر المادة عندما يكون التيار الكهربائي مستمرا او عند الترددات القليلة.

والتوصيلية الكهربائية للمادة مكونة من مركبتين [114] :

$$\sigma = \sigma_{ac} + \sigma_{dc} \quad \dots \dots \dots (28-2)$$

$\sigma_{ac}$ : توصيلية المادة للتيار المتناوب.

$\sigma_{dc}$ : توصيلية المادة للتيار المستمر .

(13-2) الخصائص التركيبية و المورفولوجية

Structural and Morphological Properties

(1-13-2) تحويلات فوريير للأشعة تحت الحمراء

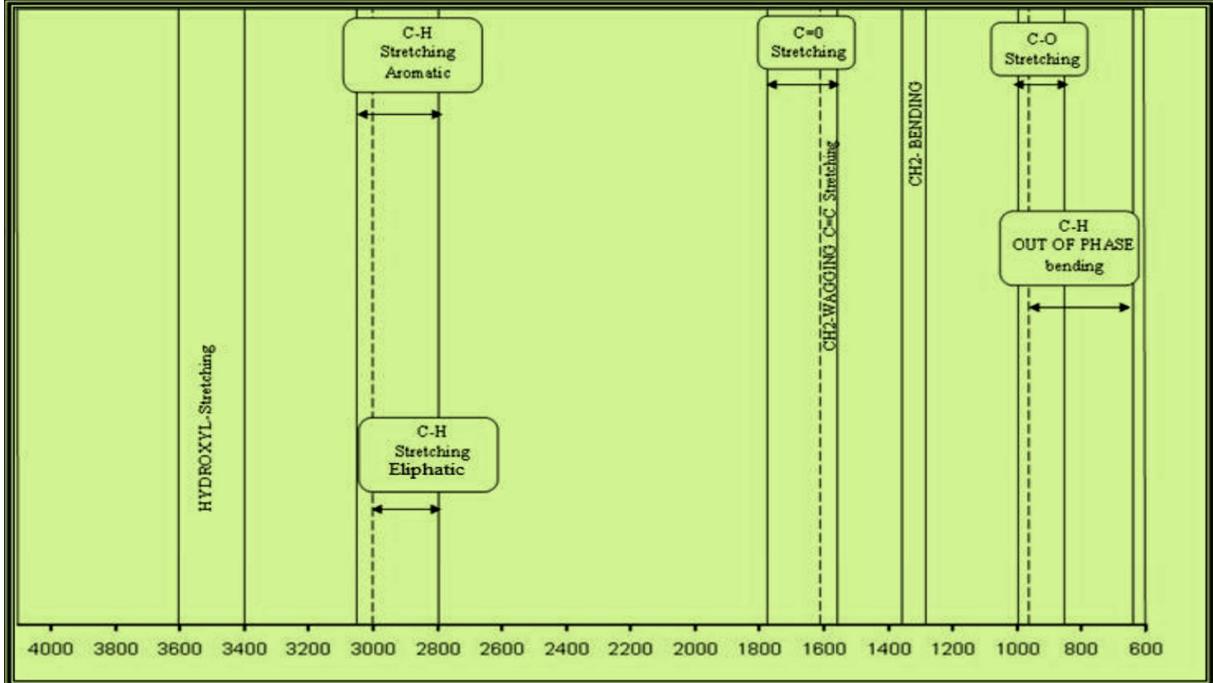
Fourier Transformation Infrared (FTIR)

يستعمل مطياف (FTIR) لمعرفة معلومات محددة عن التآصر الكيميائي (Chemical Bonding) و التركيب الجزيئي وايضا يمكن الاستفادة منه في تحليل مواد عضوية وغير عضوية معينة ، فالأواصر الكيميائية تهتز بترددات خاصة وعندما تتعرض الى الأشعة تحت الحمراء فإنها تعمل على امتصاص الاشعاع عند الترددات التي تكون متوافقة مع خط اهتزازها .

ان طاقة الأشعة تحت الحمراء تكون كافية على عمل اهتزازات الاواصر الكيميائية، حيث ان طيف (IR) واستطارة رامان (Raman Scattering) يتضمنان اهتزازات خاصة بالأواصر الكيميائية، ويوجد نوعان اساسيان من الاهتزازات هما التمدد (Stretching) والانحناء (Bending) والانحناء يتطلب طاقة اقل ، لذلك فانه يحدث عند الترددات الادنى بالنسبة للأواصر نفسها حيث يوجد نوعان من التمددات ، تمددات متناظرة (Symmetric) و تمددات غير متناظرة (Asymmetric) ، وان التمدد المنتظم يحتاج الى طاقة اقل من التمدد غير المنتظم ، حيث ان السلسلة البوليميرية تتألف من مجاميع كيميائية تكون من وحدات متكررة التي تترتب حول محور السلسلة وبالأسلوب نفسه و لجميع المجاميع [115,116]. بشكل عام فيما يخص الجزيئات الصغيرة نسبيا والجزيئات المتناظرة بشكل كبير (Highly Symmetrical Molecules) فإن أمكانية ربط أطياف (IR) الاهتزازية الملحوظة مع الاهتزازات الاعتيادية للجزيئات الكبيرة تعد أمرا مستحيلا، على أي حال، يمكن أن نحصل على معلومات مفيدة من ذلك الطيف. فيمكن تحليل ذلك الطيف لأن الاهتزازات الطبيعية

(Normal Vibrations) تشتمل على الحركات الموضعية (Quite Localized Motions) ضمن الجزيئة، تدعى اهتزازات المجموعة الخاصة (Characteristic Group Vibrations) ، وكما مبين بالشكل (17-2) [117].

وتكون معظم اطياف البوليمرات ثنائية البعد (Two Fold) حيث ان الاول يعمل على دمج الاهتزازات الطبيعية التي تكون بنفس التردد ويظهر في الطيف على شكل حزمة واحدة فقط والثاني حصرا بقواعد الاختيار (Selection Rules) إذ ان القليل من الاهتزازات الطبيعية يكون من النوع الفعال (IR- Active) [118].



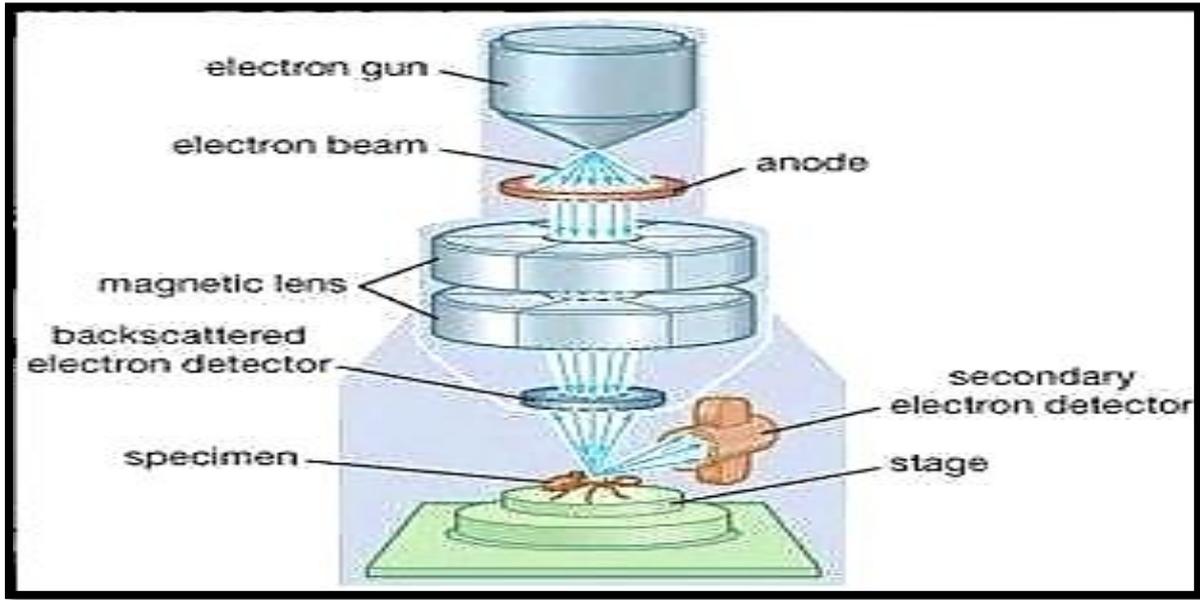
الشكل (2-17): منطقة طيف (IR) لمجاميع مهمة في البوليمر [117].

### (2-13-2) المجهر الإلكتروني الماسح بانبعث المجال

#### Field Emission Scanning Electron Microscopes (FE-SEM)

هو جهاز يستخدم في قياس وتحليل طوبوغرافية سطح المادة بواسطة حزمة من الإلكترونات بدلا من شعاع الضوء لتكوين الصورة ومعنى كلمة ماسح تعني انه لا يقوم بتصوير العينة مرة واحدة بل يقوم بتركيز شعاع الإلكترونات على بقعة صغيرة من العينة ويلتقط صورتها بعد ذلك ينتقل الى نقطة مجاورة ويلتقطها وهكذا بالتتابع ، من صفات المجهر الإلكتروني الماسح بانبعث المجال انه يقوم بإعطاء صورة واضحة وقوة تكبير عالية تصل الى اكثر من (1000) مرة ويستطيع ان يركز شعاع الإلكترون من مستوى المايكرومتر الى مستوى النانو متر بواسطة مجال مغناطيسي ، ان القدرة التحليلية للمجهر الإلكتروني الماسح اعلى بكثير من القدرة التحليلية للمجهر الضوئي بسبب استخدامه الخاصية الموجية للإلكترونات (من خلال التحكم في طول الموجة) من اجل الحصول على صورة دقيقة، الموضح في

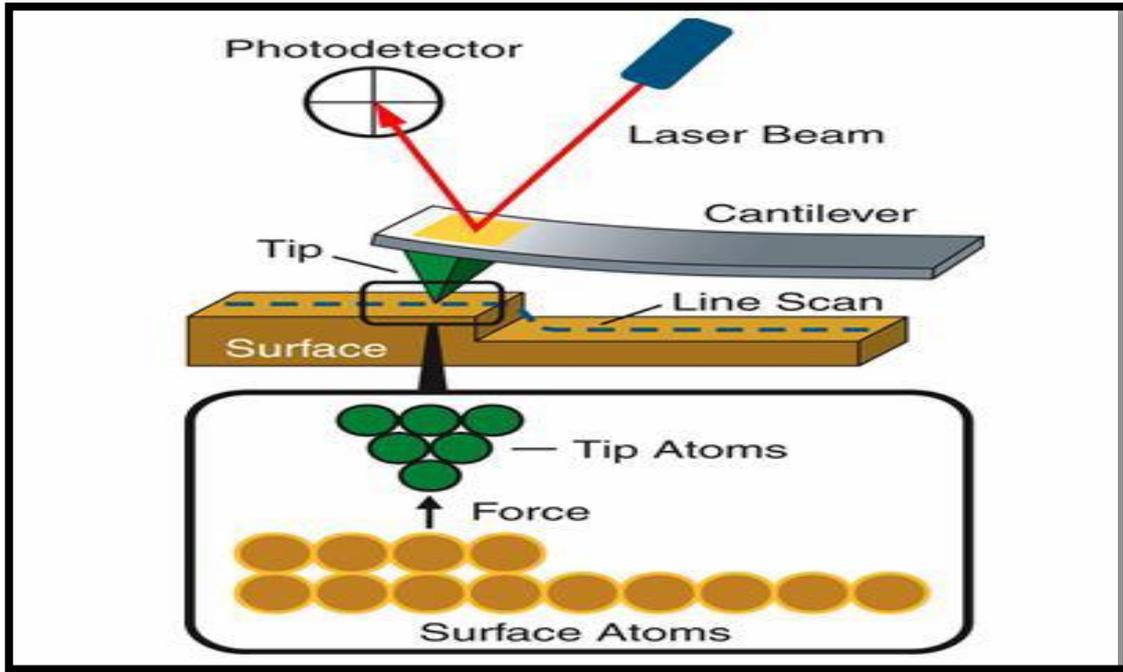
الشكل (2-18) [119].



الشكل (2-18): مخطط المجهر الالكتروني الماسح بانبعث المجال [119]

### (AFM) Atomic Force Microscopy (3-13-2) مجهر القوة الذرية

وهو احد انواع مجاهر المجس الماسح Scanning Probe Microscope (SPM) والمطور بالاعتماد على تقنية المجهر النفقي الماسح حيث تتم ضمن هذه التقنية تكبير صورة السطح للمادة بواسطة طرق فنية معقدة وحديثة ويمتاز مجهر القوة الذرية (AFM) بقدرة تحليل عالية مقدارها من (0.1-1.0 nm) اما قوة التكبير تقدر ب (  $10^8 - 5 \times 10^2$  ) [120]. ويتكون هذا المجهر من ذراع (antilever) في نهاية مجس (Probe) مكون من راس حاد يسمى (Tip) الذي يستعمل لمسح العينة كما في الشكل (2-19) ويزودنا بمعلومات في غاية الدقة عن خشونة السطح واحجام الحبيبات (Grain size) واعدادها حيث يتألف الجهاز من ابرة ذات ابعاد مايكارونية تقوم بالمرور على السطح المراد مسحه ، تكون هذه الابرة مثبتة الى حامل افقي بينما تكون هي نفسها عمودية على السطح المراد مسحه ، يتم اسقاط شعاع ليزري على الحامل و الذي يرتفع و ينخفض مع ارتفاع و انخفاض الابرة و بالتالي مع تنوع تضاريس السطح من ارتفاع و انخفاض ، ويتم التقاط منعكس الشعاع الليزري على الحامل على مستقبل و بالتالي يتم تحديد و رسم تضاريس السطح الممسوح تبعا لحركة منعكس الشعاع الليزري [121].



الشكل (19-2): رسم تخطيطي لمجهر القوة الذرية [121]



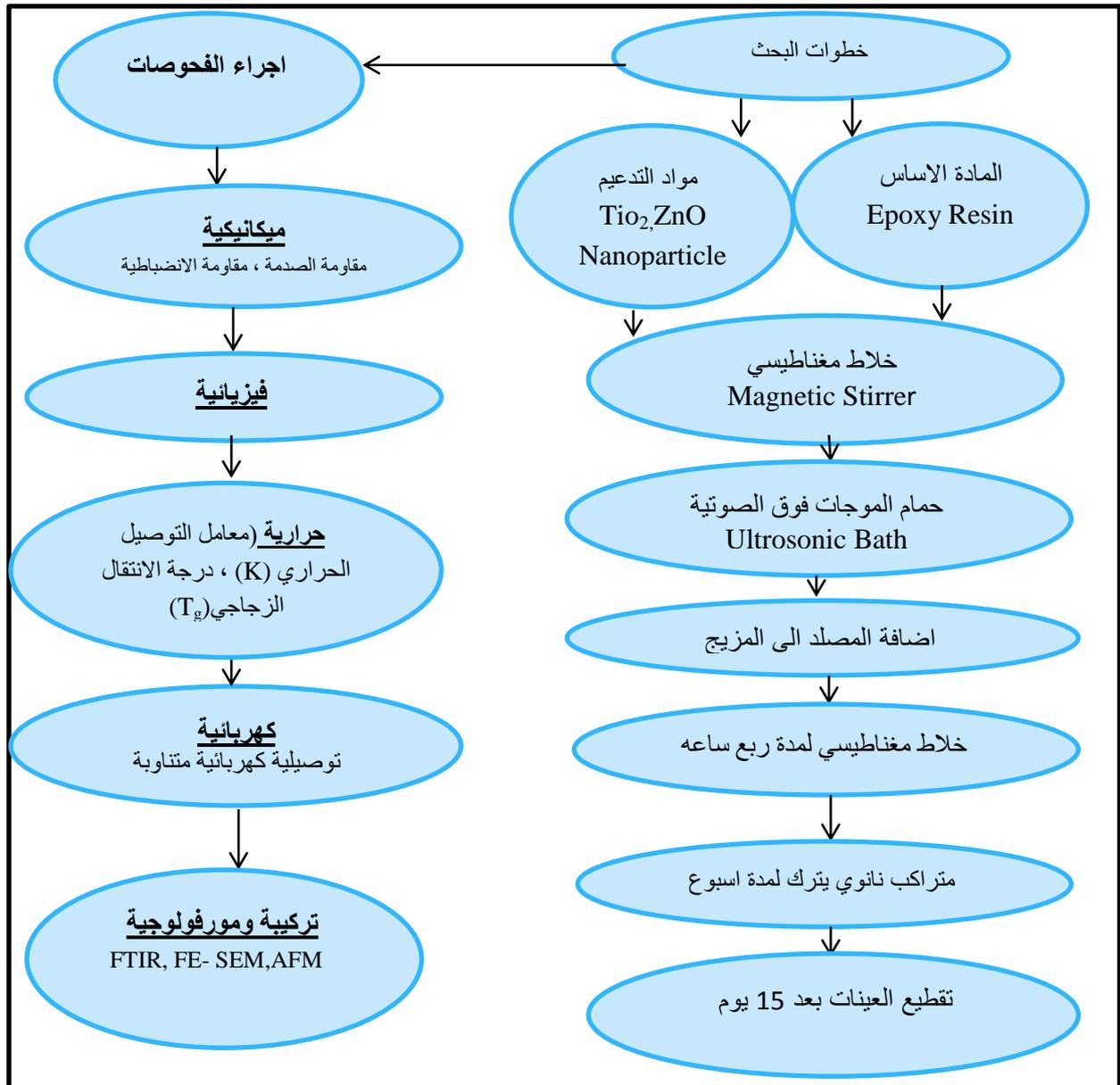
الفصل الثالث

الجزء العملي

(1-3) المقدمة

Introduction

يتضمن هذا الفصل الجانب العملي للدراسة، ويحتوي على ثلاثة محاور رئيسية، المحور الاول يتضمن التعرف على المواد الاولية المستخدمة في تحضير المادة المترابكة واهم خواصها ومميزاتها. اما المحور الثاني يتعلق بالأجهزة المستخدمة في تحضير العينات واسلوب تحضير العينات، مع عرض لإشكال هذه العينات وأبعادها، والمحور الثالث يتضمن تعريفا للأجهزة المستخدمة لأجراء الاختبارات المنجزة والشكل (1-3) يوضح خطوات البحث بمراحله المختلفة..



الشكل (1-3) : مراحل خطوات البحث المختلفة

### Materials Used

### (2-3) المواد المستعملة

#### Base Material

#### (1-2-3) المادة الأساس

المادة الأساس التي تم استخدامها في تحضير المادة المترابطة هي راتنج الايبوكسي نوع (Sikadur -52) الالمانى المنشأ بإمتياز من شركة Sika المصرية ، وهو في الحالة السائلة ويمكن بلمرته وتحوله للحالة الصلبة وذلك بإضافة المصلد (Hardener) من نفس نوع الراتنج حيث يتميز المصلد بانه سائل خفيف ذا لزوجة وكثافة واطنيتين ولون اصفر شفاف ، وان نسبة المصلد الى الراتنج هي (2:1) ان المدة التي يستغرقها الراتنج للتصلب اكثر من ثلاث ساعات عند درجة حرارة الغرفة وقد تم تركه لمدة اسبوعين وذلك لإتمام المعالجة وبعدها تم تقطيع العينات حسب المواصفات القياسية للاختبارات المستخدمة في البحث والجدول (1-3) يوضح بعض الخصائص الفيزيائية للايبوكسي (Sikadur -52).

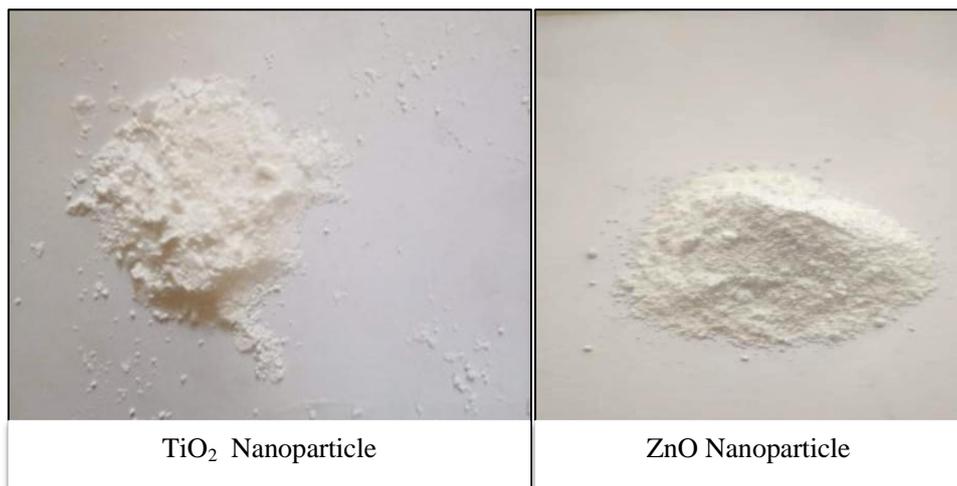
#### الجدول (1-3): خصائص الايبوكسي المستخدم

| Test Method                      | Typical Results                                   |
|----------------------------------|---|
| Compressive strength (BS 6319)   | 53 N/mm <sup>2</sup> @20°C                        |
| Density(20 °C)                   | 1.1 kg/l  |
| Coefficient of Thermal Expansion | 89×10 <sup>-6</sup> per °C (from-20 °C to +60 °C) |
| Viscosity (mpa.s)                | 1000 @10 °C                                       |
| Pot life                         | 20minutes @ 20 °C<br>10minutes @ 30 °C            |
| Specific gravity                 | 1.04  |
| Mixed viscosity                  | 500mpa.s @ 20 °C                                  |

### Reinforcement Material

### (2-2-3) مواد التدعيم

هي المواد التي تعمل على تقوية المادة الأساس ، وقد تم في هذا البحث استخدام نوعين من الدقائق النانوية وهي ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوي (TiO<sub>2</sub> – Nanoparticles) واوكسيد الخارصين النانوي (ZnO – Nanoparticles) والجدول (2-3) يوضح بعض خصائص ومنشأ الدقائق النانوية المستخدمة.



الشكل (2-3) : صورة كل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية

الجدول (2-3) خصائص دقائق اوكسيد الخارصين (ZnO) وثنائي اوكسيد التيتانيوم (TiO<sub>2</sub>) النانوية

| Particles        | Purity | Particle Size (nm) | Molecular Weight (g/mol) | Origin | Manufacturer                   |
|------------------|--------|--------------------|--------------------------|--------|--------------------------------|
| ZnO              | 99 %   | 82                 | 65                       | USA    | US Research Nanomaterials Inc. |
| TiO <sub>2</sub> | 99.5%  | 60                 | 50                       | USA    | Sky spring Nanomaterials Inc.  |

### (3-3) الاجهزة المستخدمة وطريقة تحضير النماذج

#### The Equipments Used and the Samples Preparation Method

##### The Equipments Used

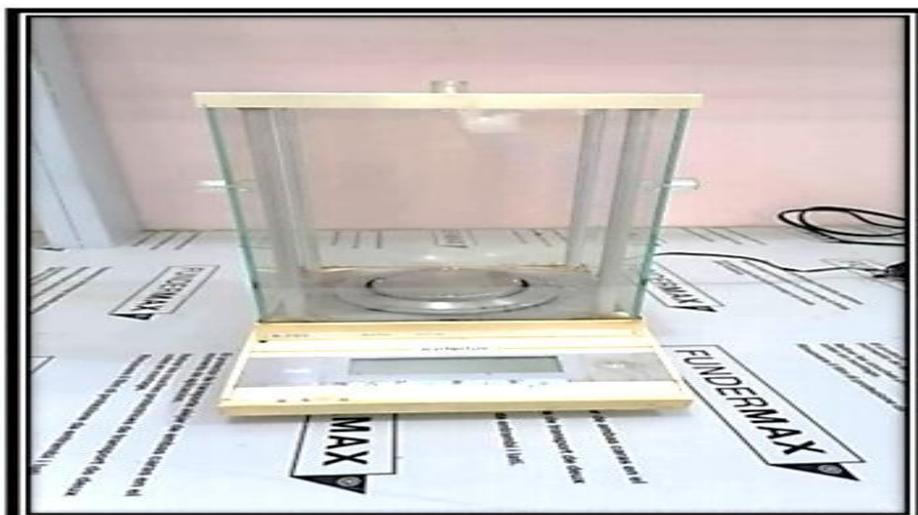
##### (1-3-3) الاجهزة المستخدمة

##### Sensitive Electronic Balance

##### 1 – الميزان الالكتروني الحساس

هو احد الاجهزة المهمة الموجودة في المختبرات العلمية لقياس الكتل المطلوبة للمواد المستخدمة في عملية التحضير ، وهو من نوع (KERN PLE) ذو الحساسية (10<sup>-4</sup> g) ويوجد فيه عداد رقمي

يعطي نتيجة الوزن بشكل مباشر ودقيق ، والموجود في جامعة ديالى / كلية العلوم /قسم الفيزياء مختبر الدراسات العليا والشكل (3-3) يظهر صورة الميزان الالكتروني الحساس المستخدم .

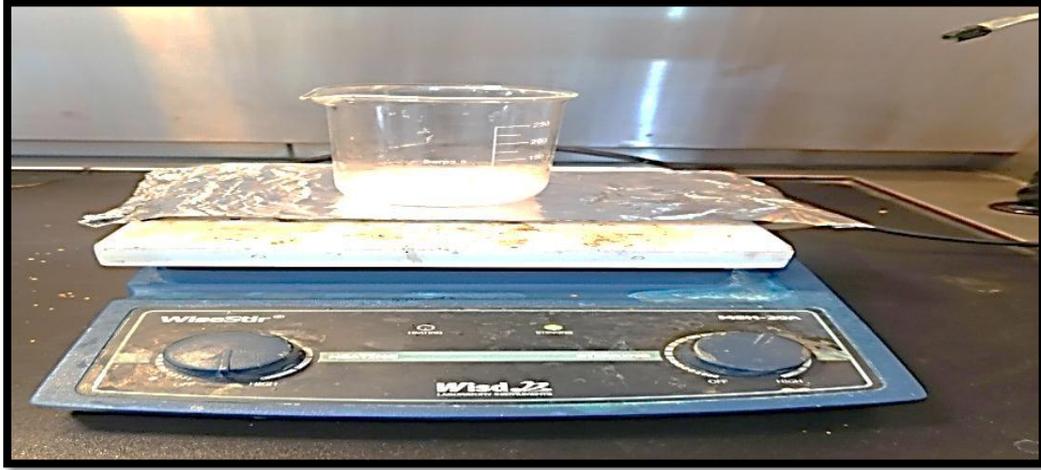


الشكل (3-3): صورة الميزان الالكتروني الحساس.

## 2 – الخلاط المغناطيسي

### Magnetic Stirrer

هو جهاز مختبري يعمل على تدوير و خلط المحاليل الكيميائية ، ويتكون من محرك كهربائي مثبت به مغناطيس دائمي واطباق حرارية او وسيلة اخرى لتسخين السائل، حيث يغمر قضيب مغناطيسي في السائل وعند حركة المغناطيس في الأسفل والمتصل بالمحرك الكهربائي عندها سيؤدي مجاله المغناطيسي إلى تدوير القضيب المغناطيسي حول نفسه في السائل من دون أي اتصال ميكانيكي بينهما وهذا يساعد على خلط السائل والجهاز ذو منشأ كوري، وتمتاز الخلاطات المغناطيسية بانها صغيرة الحجم وذات كفاءة وقليلة الضوضاء لهذا تفضل على نظيرتها من الخلاطات الميكانيكية ،اذ تم العمل في جامعة ديالى / كلية العلوم/ قسم الفيزياء مختبر الدراسات العليا و الشكل (3-4) يبين صورة الخلاط المغناطيسي المستخدم .



الشكل (3-4): صورة الخلاط المغناطيسي.

### Utrosonic Bath

### 3 – حمام الموجات فوق الصوتية

احد الاجهزة المخبرية المستعملة للحصول على محلول متجانس من خلال تكسير وتفثيت التكتلات للدقائق النانوية ، وذلك من خلال توليد موجات فوق الصوتية ذات تردد اكبر من الحد الاعلى لنطاق السمع البشري، والمصنع من قبل شركة (Wise Clean) الانكليزية والموجود في جامعة ديالى / كلية العلوم / قسم الفيزياء مختبر الدراسات العليا، الشكل (3-5) يوضح صورة جهاز الموجات فوق الصوتية.



الشكل (3-5) يوضح صورة جهاز الموجات فوق الصوتية

## Specimens Preparation

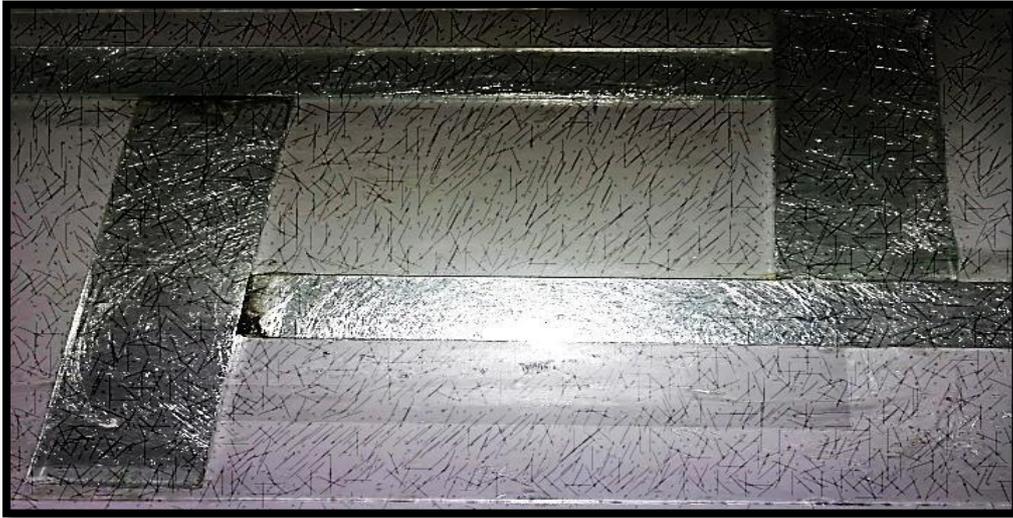
## (2-3-3) تحضير العينات

تم استخدام طريقة الصب اليدوي ( hand lay- up method ) لتحضير العينات حسب الحجم والابعاد المطلوبة وتم اعتماد هذه الطريقة لسهولة التصنيع وكذلك إمكانية تصنيع العينات بأحجام مختلفة وتكاليف هذه الطريقة اقل من طرائق التصنيع الاخرى.  
خطوات تحضير العينات هي:

### Create Templates

### 1 – اعداد القوالب

اعداد قالب خاص لعملية الصب يتكون من لوح زجاجي يمثل قاعدة القالب ابعاده (40cm×40cm) المغلف بالورق الحراري الشفاف وذلك لمنع التصاق الراتنج على اللوح الزجاجي وسهولة إخراج القطع المصنعة بحيث يكون اللوح موضوعا على درجة عالية من الاستواء وتم التأكد من استواء السطح باستعمال ميزان التسوية ، بينما جوانب القالب فتكون من مساطر زجاجية بالسلك المطلوب مغلفة بالفابلون اللاصق الحراري بوصفه مادة عازلة تم وضع المساطر على جوانب القالب بحيث اصبح القالب ذو أبعاد (15×15×0.4) cm كما في الشكل (6-3).



الشكل (6-3) : صورة القالب المستعمل

## 2 – تحضير وصب العينات Preparation and Molding Samples

- 1 – تم وزن كمية معينة من راتنج الايبوكسي على حسب حجم القالب المصمم وتم إضافة المصلد بنسبة (2:1).
- 2 – تم اضافة كل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية بنسبة معينة وبحسب الكسور الوزنية ( 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 ) Wt% .
- 3 – تم بعدها مزج مادة التقوية والمادة الاساس عند درجة حرارة الغرفة مزجا جيدا من خلال وضع الخليط على جهاز الخلاط المغناطيسي (نصف ساعة ) وبعدها يوضع الخليط على جهاز حمام الموجات فوق الصوتية (ساعتين) للحصول على خليط متجانس وبعدها تم إضافة المصلد ووضع الخليط على جهاز الخلاط المغناطيسي لمدة 15 دقيقة .
- 4 – تم صب المزيج في منتصف القالب بحيث ينساب الى كل مناطق القالب بصورة منتظمة الى ان يمتلئ القالب الى المستوى المطلوب وهنا يجب ان يكون القالب بشكل مستو تماما .
- 5 – تم ترك النموذج في القالب لمدة اسبوع لكي تتصلب العينة بشكل نهائي قبل اخراجها من القالب ثم بعد إخراجها من القالب تترك لمدة 15 يوم.

## (3-3-3) الية التقطيع Cutting Technique

تم تقطيع العينات حسب المواصفات القياسية (ASTM) الخاصة بكل فحص وذلك ن خلال تقطيع المصبوبات التي تم تصنيعها والحصول على العينات بمواصفات قياسية وقد تم استخدام المبرد وورق كاربيد السليكون من اجل تنعيم حافات العينة المقطعة .

## (4-3) الاختبارات Testing

### (1-4-3) الاختبارات الميكانيكية Mechanical Tests

#### 1- اختبار الصدمة Impact Test

تم اجراء اختبار مقاومة الصدمة بطريقة ايزود بواسطة جهاز الصدمة من نوع (Izod Impact Test) المصنع من قبل شركة (Time Groub) ذو المنشأ الصيني الموجود في (الجامعة التكنولوجية / قسم هندسة المواد) والذي يتكون من بندول يحتوي على المطرقة الخاصة بكسر العينات ، حيث يحتوي الجهاز على مطارق بأحجام مختلفة وقد تم استخدام مطرقة طاقتها (5.5)Joule ويتكون الجهاز من لوحة التدريجات الخاصة لحساب الطاقة المبذولة لكسر العينة كما تظهر صورته في الشكل (7-3).



الشكل (7-3): جهاز اختبار مقاومة الصدمة

وتم تقطيع العينات حسب ASTM بطول (5.5 cm) وعرض (1cm) وكما في الشكل (8-3).



الشكل (8-3): عينات اختبار مقاومة الصدمة

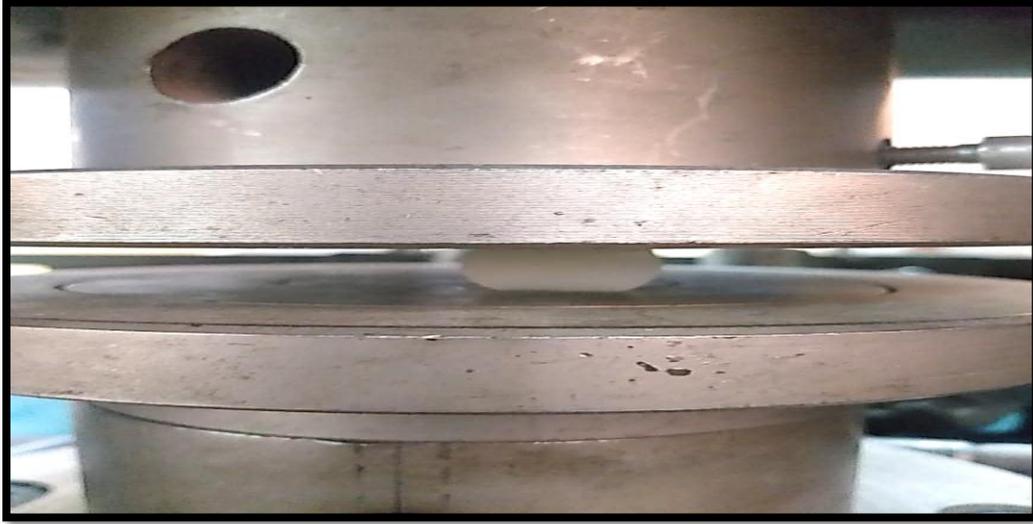
## Compression Strength Test

## 2 - اختبار مقاومة الانضغاطية

من اجل حساب مقاومة الانضغاطية تم استخدام جهاز اختبار مقاومة الانضغاطية من نوع

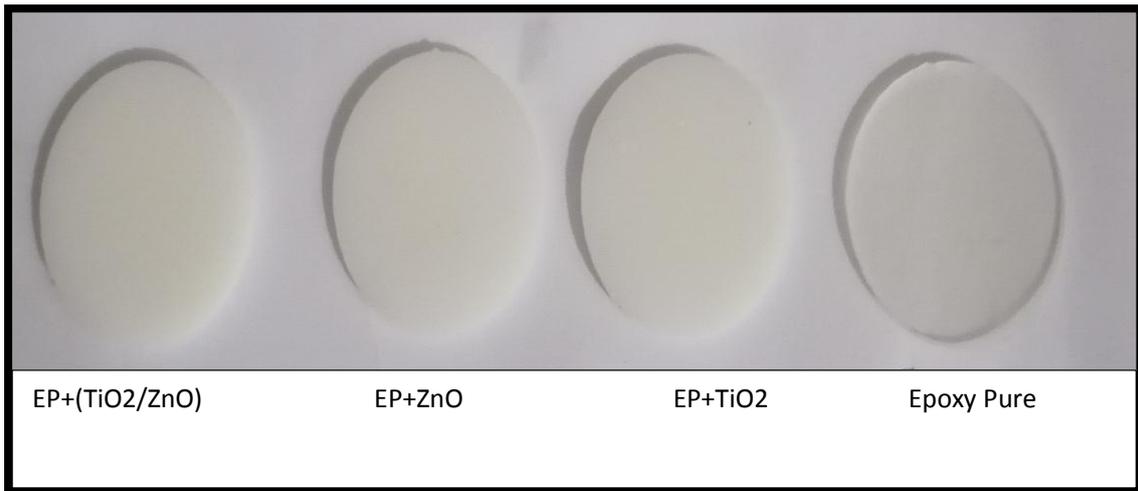
(Instron machine) ذو المنشأ الصيني الموجود في الجامعة التكنولوجية / قسم هندسة المواد الذي

تظهر صورته بالشكل (9-3).



الشكل (9-3): جهاز مقاومة الانضغاطية

حيث تم تقطيع العينات بشكل قرص دائري بقطر (2.5 cm) وسمك (4mm) والمبينة صورتها بالشكل (10-3)



الشكل (10-3): عينات اختبار مقاومة الانضغاطية

### Physical Test

### (5-3) الاختبارات الفيزيائية

### Thermal Conductivity Test

### (1-5-3) اختبار التوصيلية الحرارية

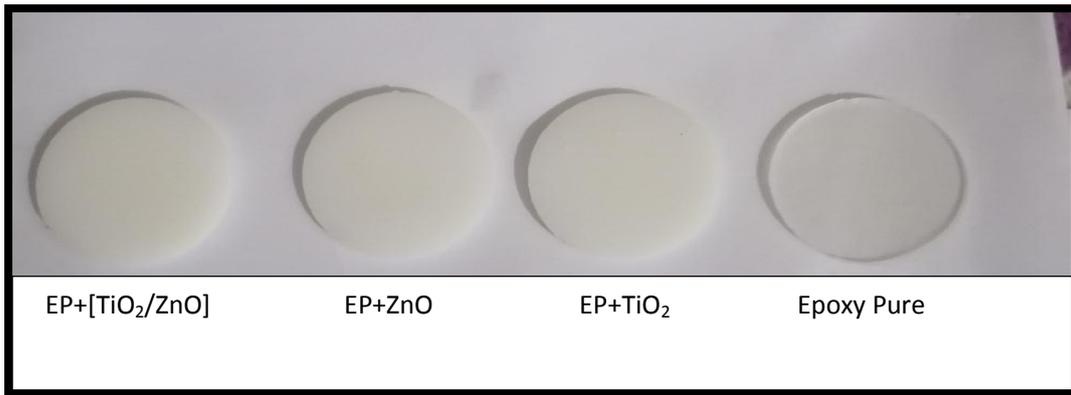
تم استعمال طريقة قرص لي (Lees Disc) الخاصة بحساب التوصيلية الحرارية للمواد العازلة وذلك من خلال استعمال الجهاز المصنع محليا الموجود في (وزارة العلوم والتكنولوجيا / دائرة بحوث المواد ) ، وتم حساب التوصيلية الحرارية للمتراكبات النانوية ، حيث يتكون الجهاز من ثلاثة اقراص القرص الاول يرمز له ( A ) والقرص الثالث يرمز له بالرمز ( B ) اما القرص الثالث

فرمزه (C) ويوجد في الدائرة الكهربائية مسخن كهربائي يوضع بين القرصين (B,C) اما القرصين (A,B) توضع العينة بينهما و تسخن الأقراص عند ما يشتغل المسخن عن طريق بدأ جهاز القدرة بالعمل فيتم انتقال الحرارة من المسخن إلى القرص الذي بعده وصولاً إلى القرص الأخير وعندما نصل إلى الاتزان الحراري نقيس درجة الحرارة لكل محرار موضوع عند كل قرص وهي (T<sub>A</sub>) درجة حرارة المحرار عند القرص (A) ، (T<sub>B</sub>) درجة حرارة المحرار الموضوع عند القرص (B) ، (T<sub>C</sub>) درجة حرارة المحرار عند القرص (C) لذي تظهر صورته بالشكل (11-3).



الشكل (11-3): جهاز اختبار التوصيلية الحرارية

تم تقطيع العينات بشكل دائري وبقطر 4cm وسمك 4mm حيث استخدم جهاز قرص لي والمبينة صورتها بالشكل (12-3)



الشكل (12-3): عينات اختبار التوصيلية الحرارية

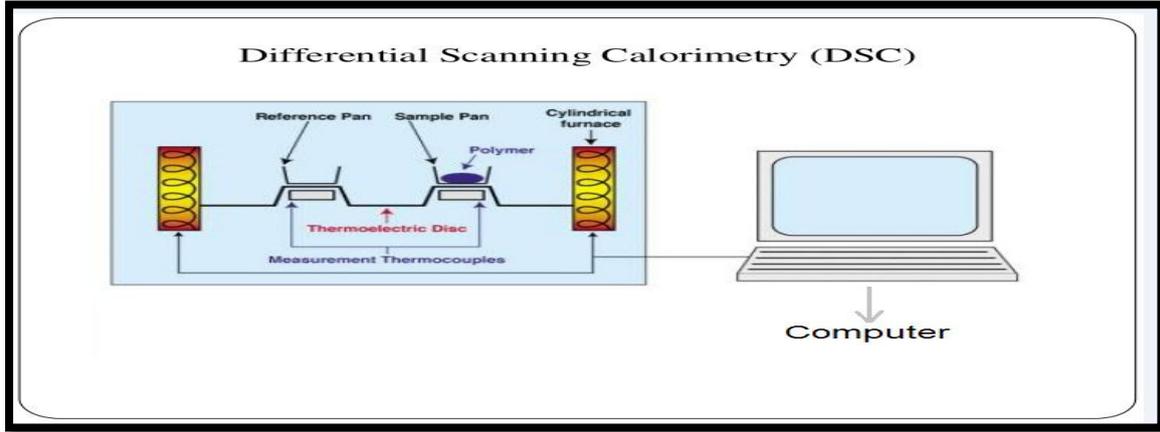
(2-5-3) اختبار درجة حرارة الانتقال الزجاجي

**Glass Transition Temperature Test**

لحساب درجة التحول الزجاجي ( $T_g$ ) ودرجة الانصهار البلورية ( $T_m$ ) نستعمل جهاز المسعر الحراري التفاضلي (DSC) (Different Scanning Calorimeter) المصنوع من شركة (Shimadzu) اليابانية والموجود في (الجامعة التكنولوجية / قسم هندسة المواد) كما هو مبين في الشكل (3-16) والذي يعد أكثر الطرق انتشارا لمعرفة الخواص الحرارية للنموذج وذلك عن طريق حساب الفرق في كمية الحرارة عند رفع درجة حرارتها حيث يمكن التعبير عن ارتفاع درجة الحرارة بشكل علاقة طردية مع الزمن وايضا يعطي هذا الجهاز معلومات عن النموذج مثل درجة الانتقال الزجاجية ( $T_g$ ) و( $T_m$ ) ودرجة الانصهار البلوري ودرجة التبلور ( $T_c$ ) والتحلل الحراري الوزني (TGA). يؤخذ نموذج بوزن بمعدل لا يزيد عن 10 mg حيث يتم وضعه في الجهاز بوجود الهواء الجوي. ويتألف هذا الجهاز من اسطوانتين توضع المادة المراد قياسها في احدهما والاخرى تبقى فارغة وتمثل الاسطوانة المرجعية اذ يتم وضع الاسطوانتين داخل فرن يتم تسخينه بمعدل (10) درجات خلال الدقيقة الواحدة وكل اسطوانة تضم لاقط حراري يتصل بالة عرض الحاسوب ويسجل التغير في قيم الحرارة اللازمة لوصول النموذج لنفس قيمة حرارة مادة النموذج الموضوع والفرق في قيم الحرارة هذا ينتج إلى أن إحدى الاسطوانتين تضم المادة والثانية فارغة ويزداد الزمن اللازم لتسخين المادة بزيادة المادة حيث تسجل قيم الحرارة وترسم بيانيا ومن خلال الرسوم البيانية يمكننا أن نعرف درجة الانتقال الزجاجية ( $T_g$ ) ودرجة الانصهار البلورية ( $T_m$ ) وكذلك الفقدان في الوزن مع ارتفاع درجة الحرارة (TGA) ويتم احتساب الفرق بين قيم حرارة النموذج والاسطوانة المرجعية بواسطة الحاسب الآلي ويقوم بتحويلها إلى سيل حراري .



الشكل (3-13): صورة جهاز DSC



الشكل (3-14): مخطط جهاز DSC

تم تقطيع عينات هذا الاختبار بطول 1cm وعرض 1cm اذ استخدم جهاز المسح الحراري التفاضلي مما مبين في الشكل (3-15).



الشكل (3-15): عينات اختبار التحول الزجاجي

### Electrical Test

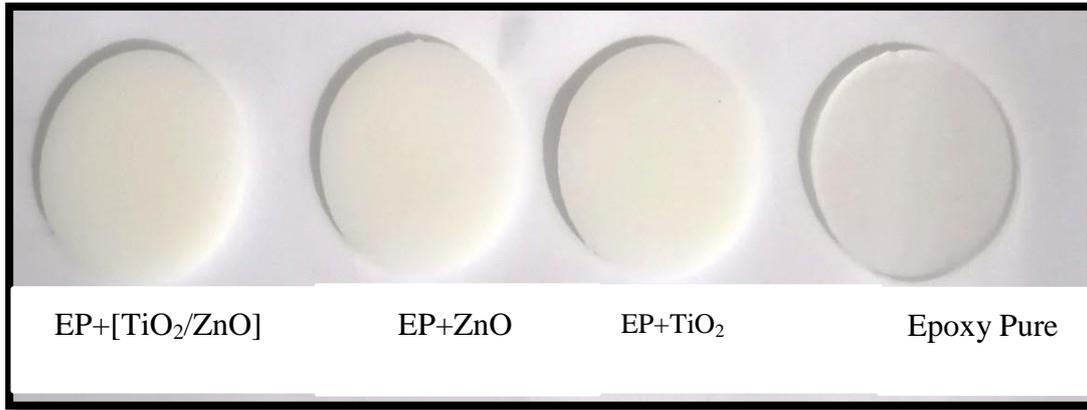
### (3-5-3) الاختبارات الكهربائية

استخدام جهاز (LCR Metter) من نوع (Agilent Impedance Analyz 4294A) ذو المنشأ التايواني، و الموجود في (جامعة ديالى- كلية العلوم قسم الفيزياء). وتم اجراء الفحوصات المتمثلة بثابت العزل وعامل فقد العزلي والتوصيلية المتناوبة كدالة للتردد ضمن المدى (50Hz- 1MHz) بدرجة حرارة الغرفة للعينات التي تم تصنيعها . والشكل (3-16) يوضح صورة الجهاز المستعمل.



الشكل (3-16) : جهاز اختبار التوصيلية الكهربائية المتناوبة

تم تقطيع العينات بقطر 2.5cm وسمك 4mm وكما موضح بالشكل (3-17).



الشكل (3-17) : عينات اختبار التوصيلية الكهربائية

### (3-6) الفحوصات التركيبية والمورفولوجية والمورفولوجية

#### Test

#### (3-6-1) فحص تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء

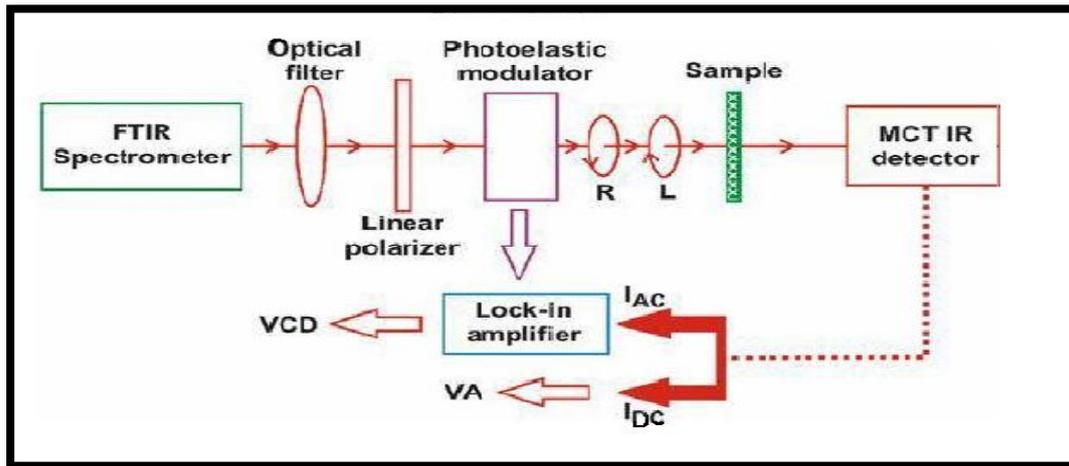
#### Fourier Transform Infrared (FTIR) Test

تم البحث بدراسة تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء لمراتج الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة من خلال قياس طيف النفاذية كدالة للعدد الموجي ضمن مدى قياس  $400-4000 \text{ cm}^{-1}$  وذلك باستخدام الجهاز (IR Affinty – 1C (FTIR)

(spectrophotometer) المصنع من قبل شركة Shimadzu , Japanese الموجود في ( جامعة ديالى / كلية العلوم / قسم علوم الفيزياء)، والموضحة صورته بالشكل (18-3).



الشكل (18-3): صورة جهاز FTIR



الشكل (19-3) : مخطط جهاز FTIR

### (2-6-3) فحص المجهر الإلكتروني الماسح بانبعث المجال

#### Field Emission Scanning Electron Microscopes (FE-SEM) Test

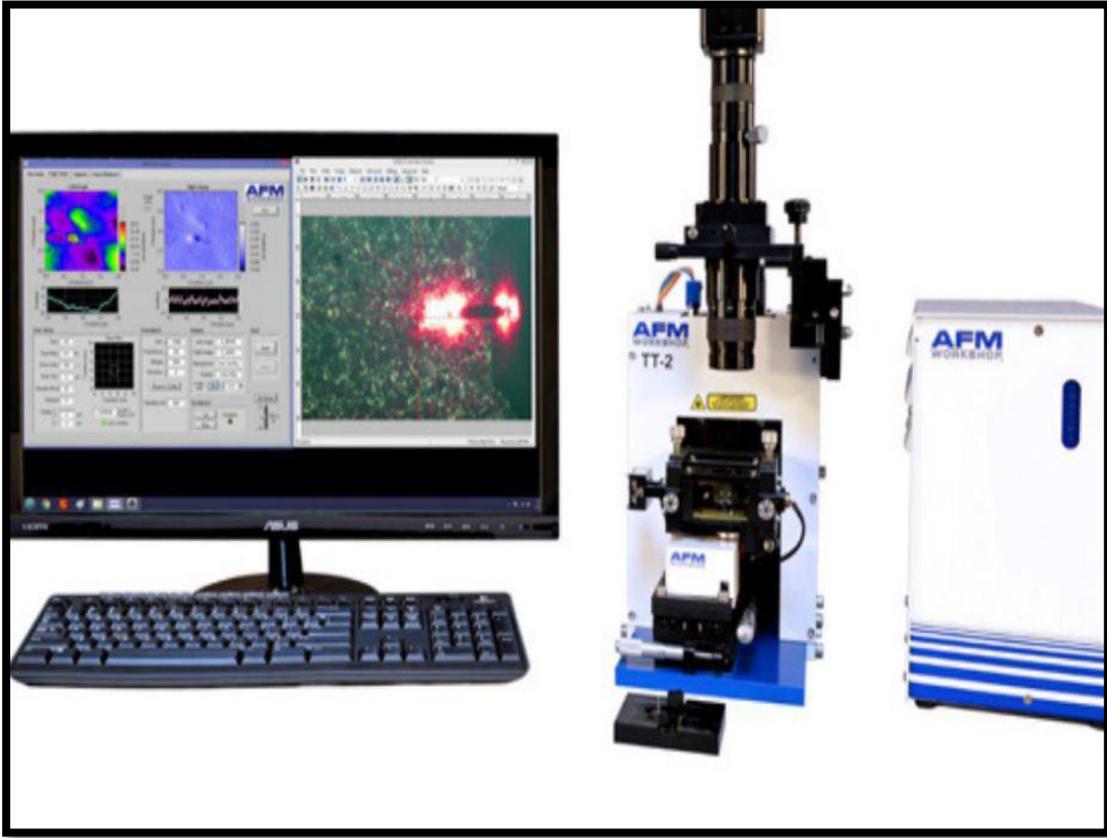
تم استخدام المجهر الإلكتروني الماسح نوع ( Hitachi S-416 ) للحصول على معلومات عن طوبوغرافية السطح للدقائق النانوية المستخدمة والموجود في Collage of Engineering, Tehran University, Iran صورته بالشكل (20-3) .



الشكل (3-20): صورة جهاز المجهر الإلكتروني الماسح

### Atomic Force Microscopy Test فحص مجهر القوة الذرية (3-6-3)

يستعمل مجهر القوة الذرية AFM لمعرفة تركيب سطوح الموصلات والعوازل. تم توضيح تركيب الجهاز وعمله في الفصل الثاني، ومن خلال هذا الفحص نحصل على معلومات عن خشونة السطح (Roughness) ومعدلها (RMS) وكذلك حجم الحبيبات (Grains Size)، وقد تم فحص العينات المحضرة في مركز بحوث النانوتكنولوجي- جامعة طهران باستخدام مجهر القوة الذرية من النوع (TT2) والمجهز من قبل شركة (TT2 Advanced Inc.)، حيث أُجريت كافة الفحوصات في ظروف المختبر الاعتيادية من ضغط ودرجة حرارة ، والذي تظهر صورته بالشكل (3-21).



الشكل (3-21): صورة جهاز مجهر القوة الذرية



الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

والاستنتاجات

## (1-4) المقدمة

## Introduction

يتضمن هذا الفصل جميع نتائج الاختبارات والفحوصات التي تم إجراؤها على عينات المواد المترابطة (EP+TiO<sub>2</sub>/ZnO) ، (EP+ZnO) ، (EP+TiO<sub>2</sub>) بنسب وزنية مختلفة (0.2,0.4,0.6,0.8,1)Wt% ، حيث تم مناقشة كافة النتائج التي تم الوصول إليها في الدراسة الحالية والتي تضمنت الخواص الآتية :

- 1 – الخصائص الميكانيكية ( اختبار مقاومة الصدمة ، اختبار الانضغاطية).
- 2 – الخصائص الحرارية ( التوصيلية الحرارية ، درجة الانتقال الزجاجي).
- 3 – الخصائص الكهربائية ( التوصيلية الكهربائية المتناوبة).
- 4 – الخصائص التركيبية و المورفولوجية ( AFM , FESEM, FTIR ).

## (2-4) الخصائص الميكانيكية

## Mechanical Properties

### (1-2-4) نتائج اختبار مقاومة الصدمة

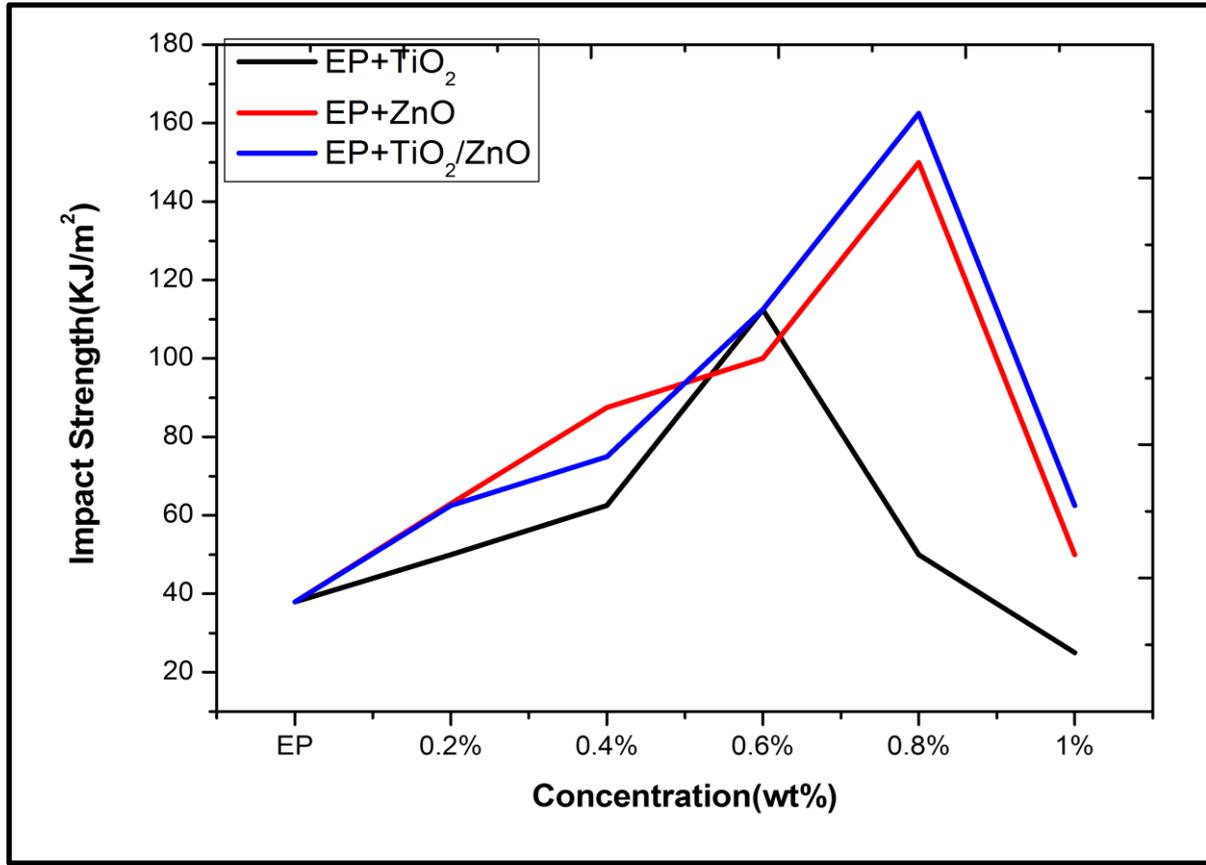
### Impact Strength Test Results

تم إجراء اختبار مقاومة الصدمة بطريقة ( Izod Impact Test ) ، وتم إيجاد مقاومة الصدمة للعينات التي تم تحضيرها من راتنج الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بالدقائق النانوية وهي (TiO<sub>2</sub>,ZnO) والهجين ايضاً (EP+TiO<sub>2</sub>/ZnO) وبنسب وزنية مختلفة (0.2%,0.4%,0.6%,0.8%,1%) وقد بينت النتائج تحسن ملحوظ لقيم مقاومة الصدمة بزيادة نسب التدعيم وكما موضح بالشكل (1-4) تأثير التغير في الكسر الوزني على الطاقة الممتصة اللازمة للكسر ، فالطاقة الممتصة اللازمة لكسر الايبوكسي النقي تزداد عند التدعيم بالدقائق النانوية ومن ثم تزداد مقاومة الصدمة له ، وان السبب في الفشل لمادة راتنج الايبوكسي النقي الخاضع لاختبار مقاومة الصدمة هو تكسر الروابط والقوى في البوليمر لأن تأثير الاجهادات يولد نمو الشقوق الأولية والتي تنمو بسرعة نحو السطح فتسبب الفصل بين سلاسل البوليمر لان قوى فاندرفالز الموجودة بين هذه السلاسل تحتاج إلى طاقة منخفضة من اجل التغلب عليها ، وبينت النتائج ان زيادة النسبة الوزنية للتدعيم تؤدي إلى زيادة مقاومة الصدمة ايضاً، وكذلك يعود السبب الدقائق النانوية تعمل على إعاقة نمو الشق وتمنع حركة الإنخلاعات (Dislocation) لأنها تخترق المادة الاساس فتشاركها في الحمل من القوى والضغط، حيث تتحمل الجزء الاكبر من الحمل المسلط على العينة حيث تعمل مواد التدعيم كحاجز امام الشق النامي خلال المادة المترابطة ، اذ تعمل على إعاقة نمو الشق وبالتالي سوف يؤدي الى تحوله الى مجموعة من الشقوق الثانوية [122] وأن الترابط القوي بين المادة الاساس ومواد التدعيم يلعب دورا

مهما في النتائج التي تم الوصول اليها وان الترابط الكيميائي القوي يحسن الخواص الميكانيكية ، وكذلك المواد السيراميكية تكون ذات مقاومة عالية مما ولد امتصاص ميكانيكي عالي ، وكذلك تعمل الدقائق النانوية على مقاومة انتشار الشقوق [123] والجدول (1-4) يوضح قيم مقاومة الصدمة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بالدقائق النانوية , وهذه المتراكبات على التوالي هي (EP+TiO<sub>2</sub>) ، (EP +ZnO) والمتراكب الهجين (EP+TiO<sub>2</sub>/ ZnO) حيث تبين ان مقاومة الصدمة لمتراكب (EP+ZnO) يمتلك اعلى مقاومة صدمة عند التركيز (0.8wt %) والهجين ايضا عند نفس نسبة التركيز المضافة بسبب التفاعل الفيزيوكيميائي (Physicochemical) بين مادة الأساس ومادة التدعيم والذي له الدور الاساسي في النتائج التي تم الوصول اليها وان الترابط الكيميائي له دور مهم في تحسين الخواص الميكانيكية وكذلك ان المواد السيراميكية تمتلك مقاومة عالية وبالتالي يؤدي الى امتصاص ميكانيكي اعلى وايضا المواد النانوية تعمل كمراكز ضغط قوية تقاوم توسع الشقوق وانتشارها [123]. أما عند النسبة المضافة (1wt%) نلاحظ ان مقاومة الصدمة قلت بسبب تجمع الاجهادات في منطقة واحدة بسبب تكتل الدقائق النانوية في المادة الاساس مما سبب كسر النموذج [117] .

جدول (1-4) : قيم مقاومة الصدمة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بكل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية والمتراكب الهجين و بنسب وزنية مختلفة

| Concentration (wt%) | EP+TiO <sub>2</sub>   |                                      | EP+ZnO                |                                      | EP+TiO <sub>2</sub> /ZnO |                                      |
|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                     | Impact Energy (Joule) | Impact Strength (KJ/m <sup>2</sup> ) | Impact Energy (Joule) | Impact Strength (KJ/m <sup>2</sup> ) | Impact Energy (Joule)    | Impact Strength (KJ/m <sup>2</sup> ) |
| EP                  | 0.15                  | 38                                   | 0.15                  | 38                                   | 0.15                     | 38                                   |
| 0.2                 | 0.20                  | 50                                   | 0.25                  | 63                                   | 0.25                     | 62.5                                 |
| 0.4                 | 0.25                  | 62.5                                 | 0.35                  | 87.5                                 | 0.30                     | 75                                   |
| 0.6                 | 0.45                  | 112.5                                | 0.4                   | 100                                  | 0.45                     | 112.5                                |
| 0.8                 | 0.2                   | 50                                   | 0.6                   | 150                                  | 0.65                     | 162.5                                |
| 1                   | 0.10                  | 25                                   | 0.20                  | 50                                   | 0.25                     | 62.5                                 |



الشكل (1-4): مقاومة الصدمة لمتراكبات الايبوكسي المدعم بكل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الزنك النانوية والمتراكب الهجين EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO] وبنسب مختلفة

#### (2-2-4) نتائج اختبار مقاومة الانضغاطية

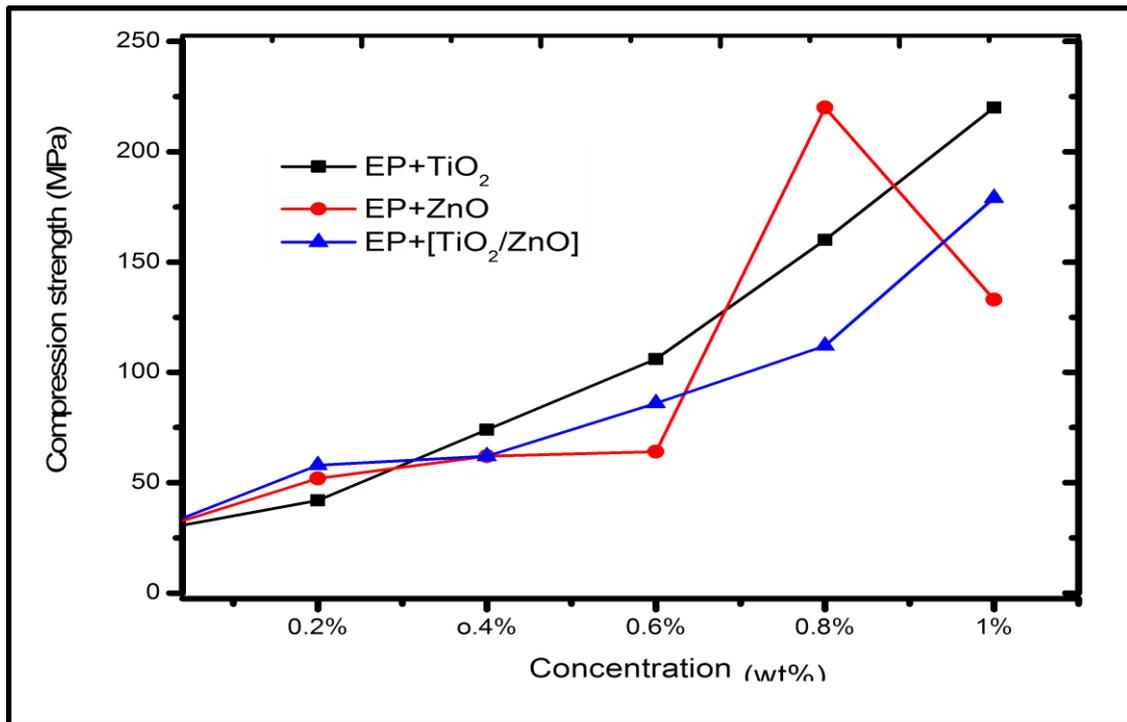
### Compression Strength Test Results

يعتبر سلوك الانضغاط للمواد المترابكة من الخواص الميكانيكية المهمة ، ومن ملاحظة الجدول (2-4) الذي يبين قيم مقاومة الانضغاطية لكافة العينات ، ومن خلال الشكل (2-4) نلاحظ ان بزيادة النسب الوزنية لدقائق التدعيم (TiO<sub>2</sub>,ZnO) تزداد مقاومة الانضغاطية ولكافة العينات عند درجة حرارة الغرفة ، اذ امتلك المترابك (EP+TiO<sub>2</sub>) والمترابك الهجين (EP+TiO<sub>2</sub>/ZnO). اعلى مقاومة انضغاط عند النسبة الوزنية المضافة (1wt%) يليها المترابك (EP+ZnO) عند النسبة الوزنية المضافة (0.8 wt%). والسبب في ذلك هو أن مساحيق السيراميك تتمتع بمتانة عالية وتحمل الجزء الأكبر من الضغط المطبق ، فضلا عن عملية توزيع الضغط المتبقي على المادة الأساسية (Isotropic) في جميع الاتجاهات. صغير جداً وهذا يعيق نمو الشقوق والصدوع وحدوث الفشل [123] ، حيث ان متانة اية مادة متعلقة وبصورة اساسية بوجود العيوب التي تحتويها المادة وان متانة المادة المترابكة يمكن

السيطرة عليها والتحكم بها وذلك من خلال السيطرة على خصائص بداية نمو العيب [124]. أما سبب انخفاض قيم مقاومة الانضغاط لمتراكب (EP+ZnO) عند النسبة الوزنية المضافة (1wt%) ربما يعود الى وجود العيوب الناتجة أثناء عملية التصنيع والتي تشكل مناطق لتمرکز الاجهاد مما يسرع في فشل العينة [92].

جدول (2-4): قيم مقاومة الانضغاطية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بكل من دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية والمتراكب الهجين EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO]

| Concentration | Compression Strength test (MPa) |         |                            |
|---------------|---------------------------------|---------|----------------------------|
|               | EP+TiO <sub>2</sub>             | EP+ ZnO | EP+(TiO <sub>2</sub> /ZnO) |
| EP            | 28                              | 28      | 28                         |
| 0.2%          | 42                              | 52      | 58                         |
| 0.4%          | 74                              | 62      | 62                         |
| 0.6%          | 106                             | 64      | 86                         |
| 0.8%          | 160                             | 220     | 112                        |
| 1%            | 220                             | 133     | 179                        |



الشكل (2-4): مقاومة الانضغاطية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية والمتراكب الهجين EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO] وبنسب مختلفة

## Thermal Properties (3-4) الخواص الحرارية

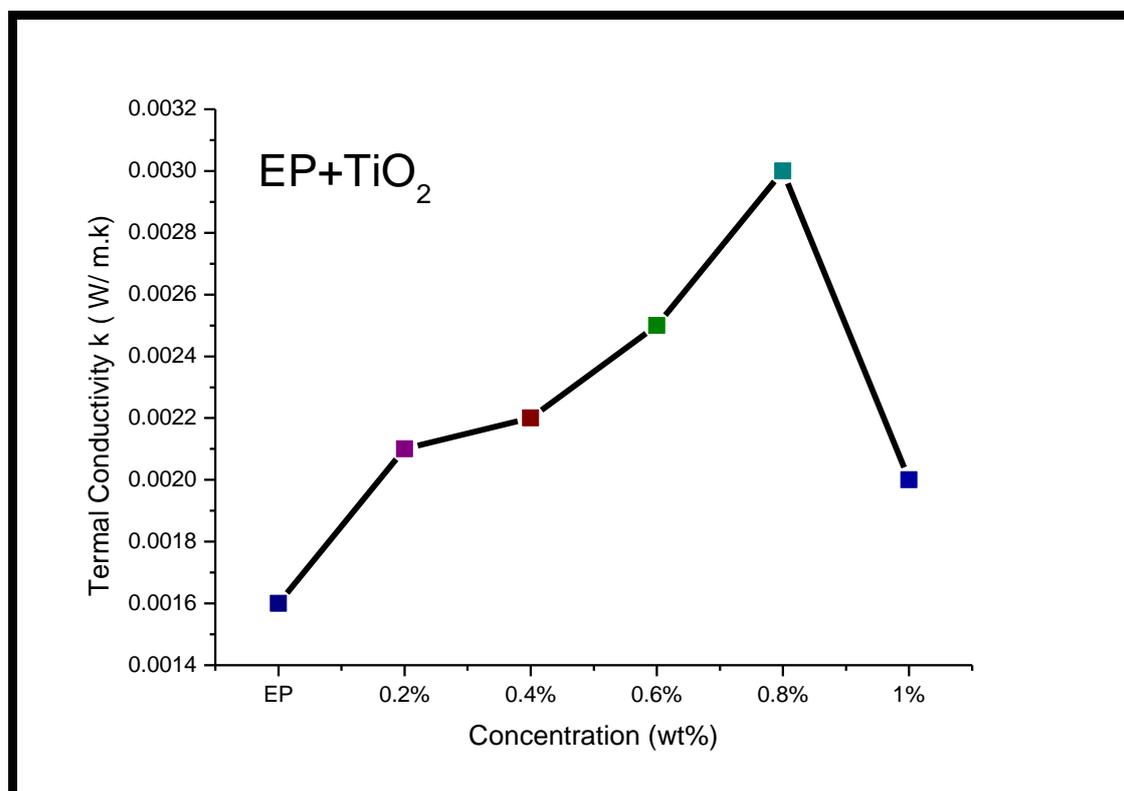
### Thermal Conductivity Test نتائج فحص التوصيلية الحرارية (1-3-4)

#### Results

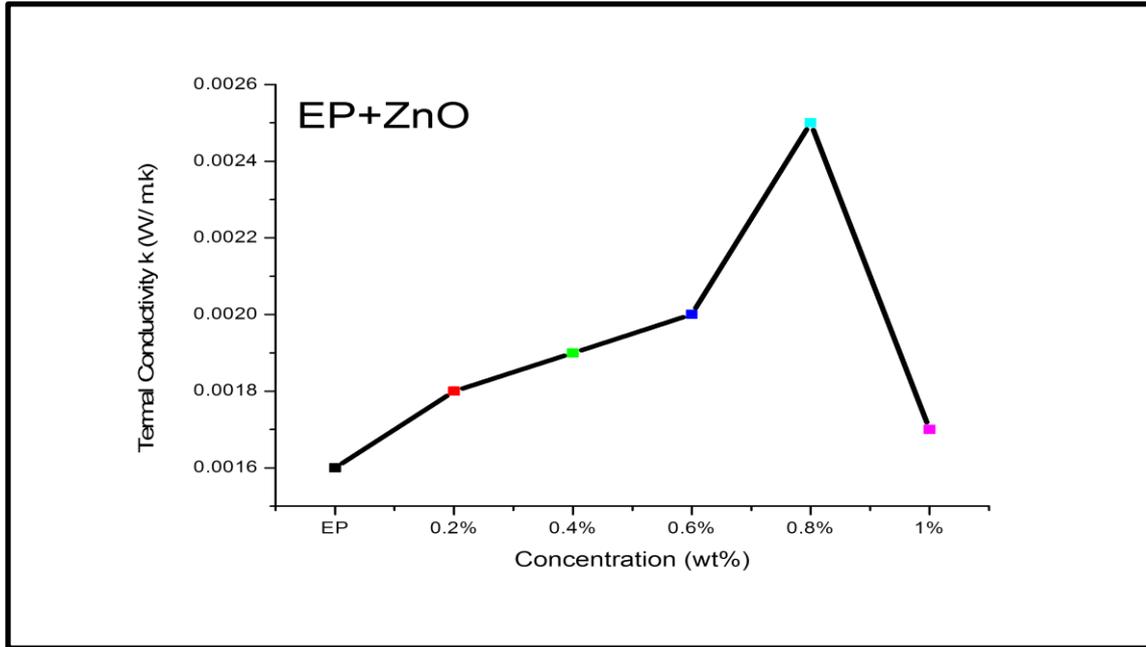
تم حساب التوصيلية الحرارية للايوكسي النقي والمدعم بدقائق اكسيدي التيتانيوم والخارصين نانوية التركيب باستخدام طريقة قرص لي (Lee' s Disk method) وبنسب وزنية مختلفة (0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1%) ومن خلال الاشكال (3-4) (4-4) (5-4) نلاحظ ان قيمة معامل التوصيل الحراري للايوكسي النقي هي (0.0016 (W/m.k)) وعند التدعيم بالدقائق النانوية كافة نلاحظ ان هذه القيمة تزداد بازدياد تركيز المادة المدعمة (ZnO, TiO<sub>2</sub>) النانوية وذلك لان التوصيلية الحرارية للمادة المدعمة اعلى من التوصيلية الحرارية للمادة الاساس وايضا ان البنية البلورية للمادة الداعمة تكون فيها البلورات تنتظم بشكل شبكية بلورية ثلاثية الابعاد اما في المواد البوليمرية تكون البنية البلورية عشوائية والسلاسل فيها مرتبطة بشكل مستعرض وغير نظامي وهذا عمل على تقليل التشتت للفونونات في عدة تركيبات مما جعل التوصيلية الحرارية تزداد للمادة المترابكة عند التركيز (0.8wt%) لمتراكب الايوكسي المدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم ولمتراكب الايوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين عند التركيز (0.6wt %) للهجين (0.8wt%) [125] , اما سبب النقصان الطفيف في التوصيلية الحرارية عند اضافة مادة التدعيم عند التركيز (0.4wt%) لمتراكب الايوكسي المدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية ولمتراكب الايوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند التركيز (0.2wt%) وللمترابك الهجين عند التركيز (0.2wt%) سببها الاهتزازات الهيكلية للراتنج تبدأ بالانخفاض عند زيادة تركيز دقائق الخارصين والتيتانيوم الى راتنج الايوكسي اذ تعمل على اعاقه الاهتزازات الهيكلية المسؤولة عن النقل الحراري في الايوكسي ومن ثم نقصان في معامل التوصيل الحراري (K) حيث ان نسبة العزل الحراري تزداد بسبب اعاقه الاهتزازات الهيكلية الداخلية من قبل الدقائق النانوية وعدم التجانس التام [126] ، عند إضافة الدقائق النانوية بسبب انتشارها الغير منتظم داخل المادة المترابكة بين الطبقات ادى إلى تقليل احتمالية التشتت للفونونات بين طبقات المترابك وظهور مسارات اضافية للدقائق النانوية حسب الشبيكة البلورية لكل مادة نانوية حسب الشكل البلوري للمادة النانوية ومن ثم نقصان في قيمة معامل التوصيل الحراري [127] والجدول (3-4) يوضح قيم معامل التوصيل الحراري لمتراكبات الايوكسي قبل وبعد إضافة الدقائق النانو.

جدول (3-4) : قيم معامل التوصيل الحراري لمتراكبات الايبوكسي قبل وبعد إضافة الدقائق النانوية (TiO<sub>2</sub> , ZnO) وبنسب وزنية مختلفة.

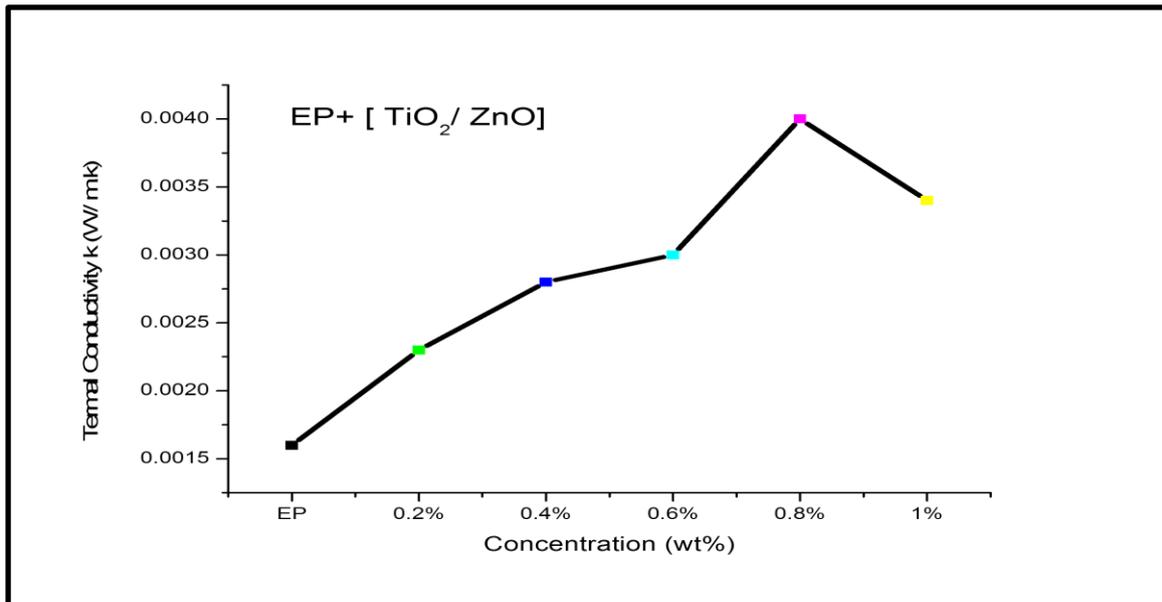
| Concentration | (EP+TiO <sub>2</sub> )<br>k (W/m.k) | (EP+ZnO)<br>k(W/m.k) | (EP+TiO <sub>2</sub> /ZnO)<br>k (W/m.k)<br>hybrid |
|---------------|-------------------------------------|----------------------|---|
| Pure (epoxy)  | 0.0016                              | 0.0016               | 0.0016  |
| 0.2%          | 0.0021                              | 0.0018               | 0.0023  |
| 0.4%          | 0.0022                              | 0.0019               | 0.0028  |
| 0.6%          | 0.0025                              | 0.002                | 0.0030  |
| 0.8%          | 0.0030                              | 0.0025               | 0.0040  |
| 1%            | 0.0020                              | 0.0017               | 0.0034  |



الشكل (3-4): التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بدقائق (TiO<sub>2</sub>) النانوية



الشكل (4-4): التوصيلية الحرارية للايوكسي المدعم بدقائق (ZnO) النانوية



الشكل (5-4): التوصيلية الحرارية للهجين EP+[TiO<sub>2</sub> /ZnO]

#### (2-3-4) نتائج فحص درجة الانتقال الزجاجي

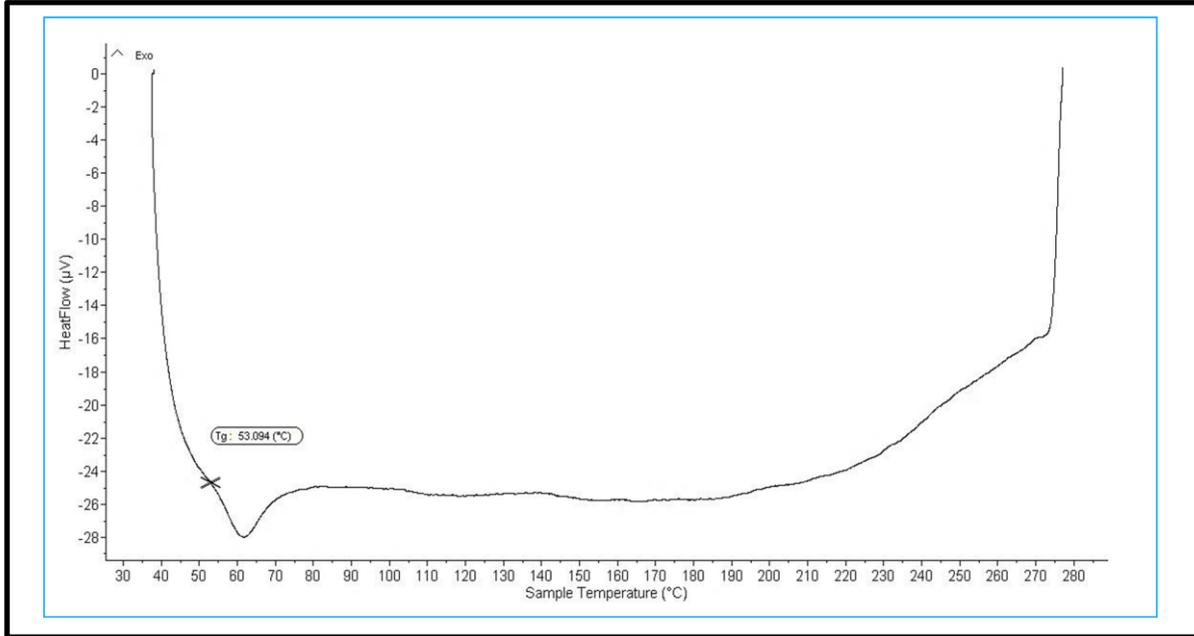
### Glass transition temperatures (T<sub>g</sub>) Test Results

يعتبر الانتقال الزجاجي عملية ماصة للحرارة تحدث ضمن مدى من درجات الحرارة ، فبعد حصول الانتقال الزجاجي يستقر سلوك المادة لمدى من درجات الحرارة تقريبا حتى (300°C) وبعدها تعاني المادة من عملية التحلل الحراري استنادا الى نوع الاصرة والطاقة اللازمة لكسرها[128]، تم

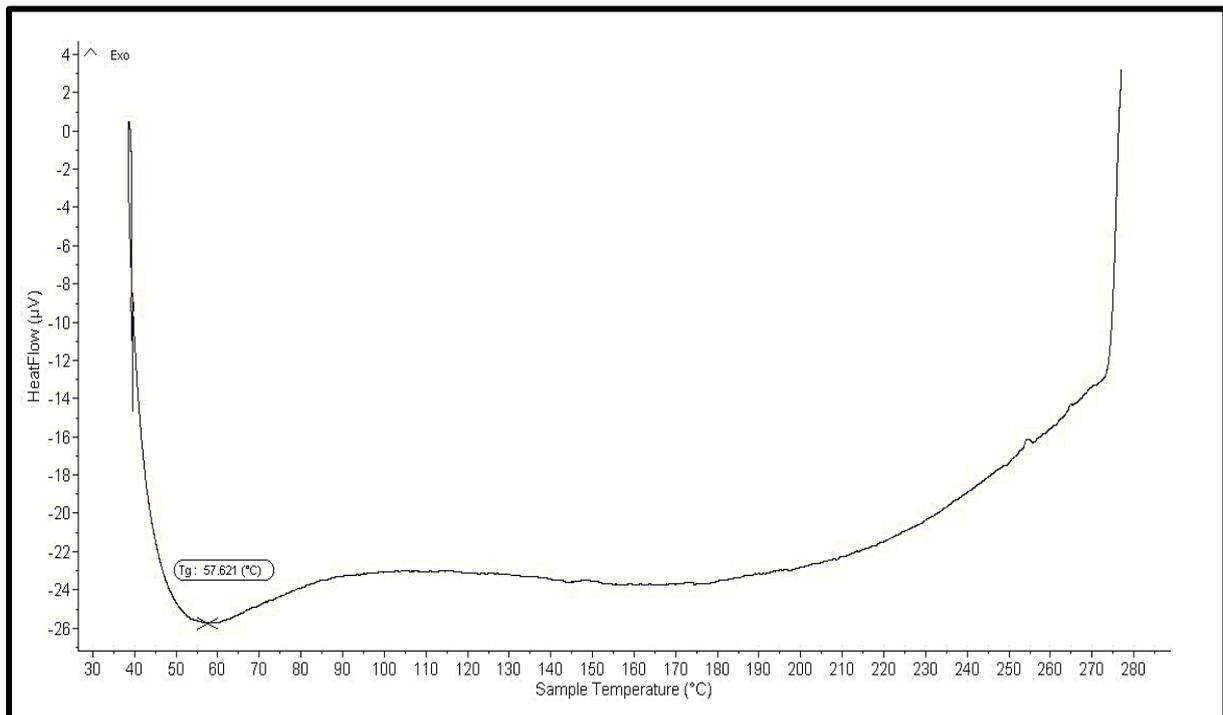
قياس درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) للأبيوكسي قبل وبعد التدعيم بالدقائق النانوية ( $TiO_2, ZnO$ ) بنسب وزنية مختلفة (0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1%)، وذلك باستعمال جهاز المسعر الحراري التفاضلي (DSC)، ومن خلال الأشكال (4-6) الى (4-21) نلاحظ ان قيم درجة الانتقال الزجاجي لجميع المتراكبات وكما هو مبين بالجدول (4-4) ان درجة الانتقال الزجاجي للأبيوكسي النقي هي ( $53^\circ C$ ) وعند تدعيم الأبيوكسي بالدقائق النانوية كافة نلاحظ تغير في درجة الانتقال الزجاجي ، اذ ان درجة الانتقال الزجاجي تزداد مع زيادة النسبة الوزنية للتدعيم وصولا للتركيز (1wt%) للتدعيم تقل عندها درجة الانتقال الزجاجي مع ملاحظة ان قيم درجة الانتقال الزجاجي تكون اكبر عند المتراكبين ((EP+TiO<sub>2</sub>), EP+ZnO)، واصغر عند المتراكب الهجين ، كذلك نلاحظ عند المتراكب الهجين EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO] أن درجة الانتقال الزجاجي تسلك سلوك غير منتظم ولكن كافة قيم درجة الانتقال الزجاجي (عند جميع النسب الوزنية للتدعيم ) لهذا المتراكب الهجين هي اكبر من درجة الانتقال الزجاجي للأبيوكسي النقي ، ان الزيادة في درجة الانتقال الزجاجي بزيادة النسبة الوزنية للتدعيم تشير الى تحول المادة من حالة الاكثر مرونة الى الاقل مرونة وان هذه الزيادة تدل على الترابط بين مواد التدعيم والمادة الاساس، فزيادة الترابط بين المادة الاساس ومواد التدعيم يزداد معدل الوزن الجزيئي ومن ثم يتسبب في اعاقه حركة السلاسل البوليمرية والتي تحتاج الى طاقة عالية لتصل الى الحالة المطاطية وبالتالي الى زيادة درجة الانتقال الزجاجي [129]. اما النقصان في درجة الانتقال الزجاجي هو بسبب تكتل مواد التدعيم في المادة الاساس او بسبب الرطوبة [130].

الجدول (4-4): قيم درجة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) للأبيوكسي قبل وبعد التدعيم بالدقائق النانوية ( $TiO_2, ZnO$ ) بنسب وزنية مختلفة .

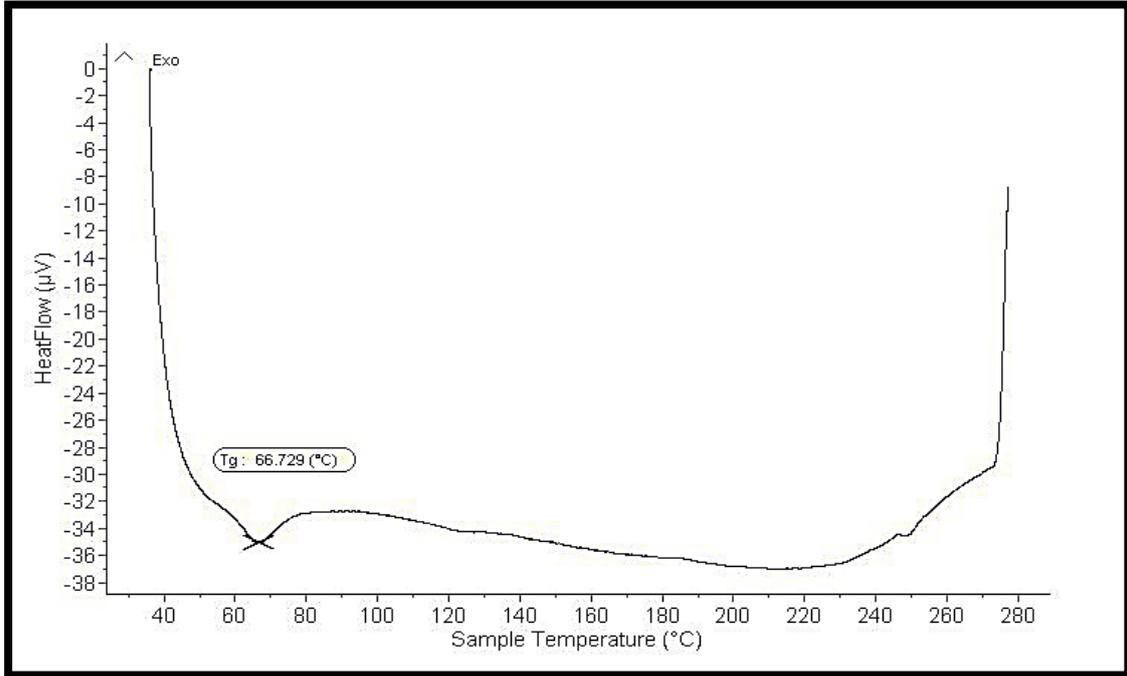
| Concentration | Glass Transition Temperature( $T_g$ ) <sup>o</sup> C |        |                            |
|---------------|--|--------|----------------------------|
|               | EP+ TiO <sub>2</sub>                                 | EP+ZnO | EP+[TiO <sub>2</sub> /ZnO] |
| EP            | 53   | 53     | 53                         |
| 0.2%          | 57   | 54     | 55                         |
| 0.4%          | 66   | 61     | 63                         |
| 0.6%          | 67   | 63     | 63                         |
| 0.8%          | 66   | 63     | 64                         |
| 1%            | 64   | 61     | 57                         |



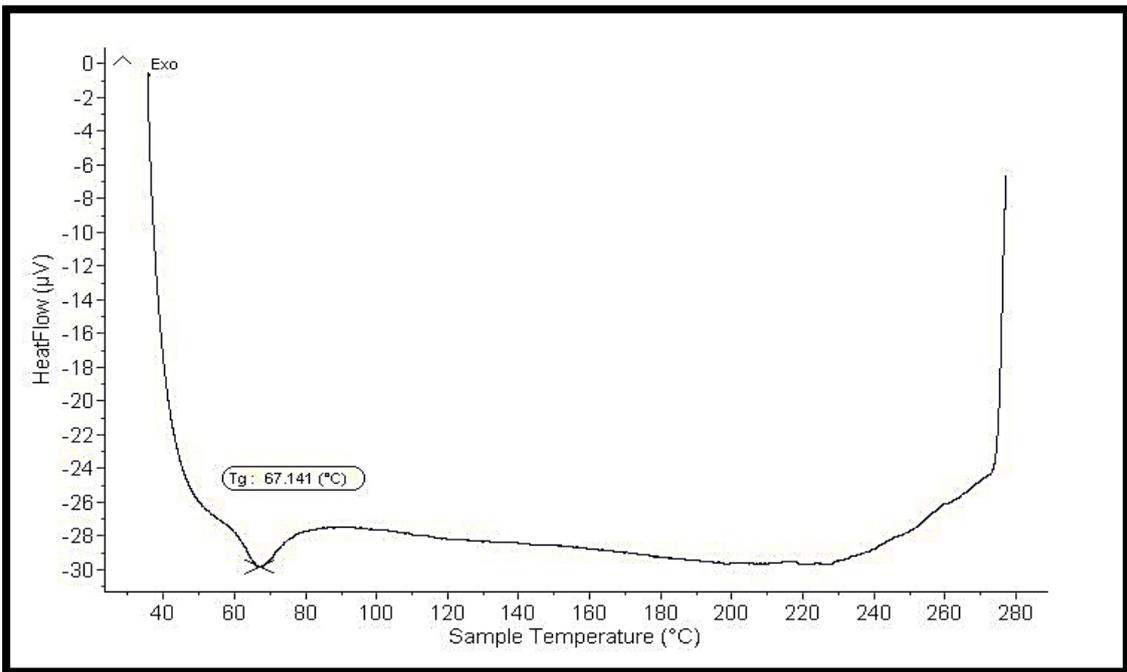
الشكل (6-4): درجة الانتقال الزجاجي لراتنج الايبوكسي



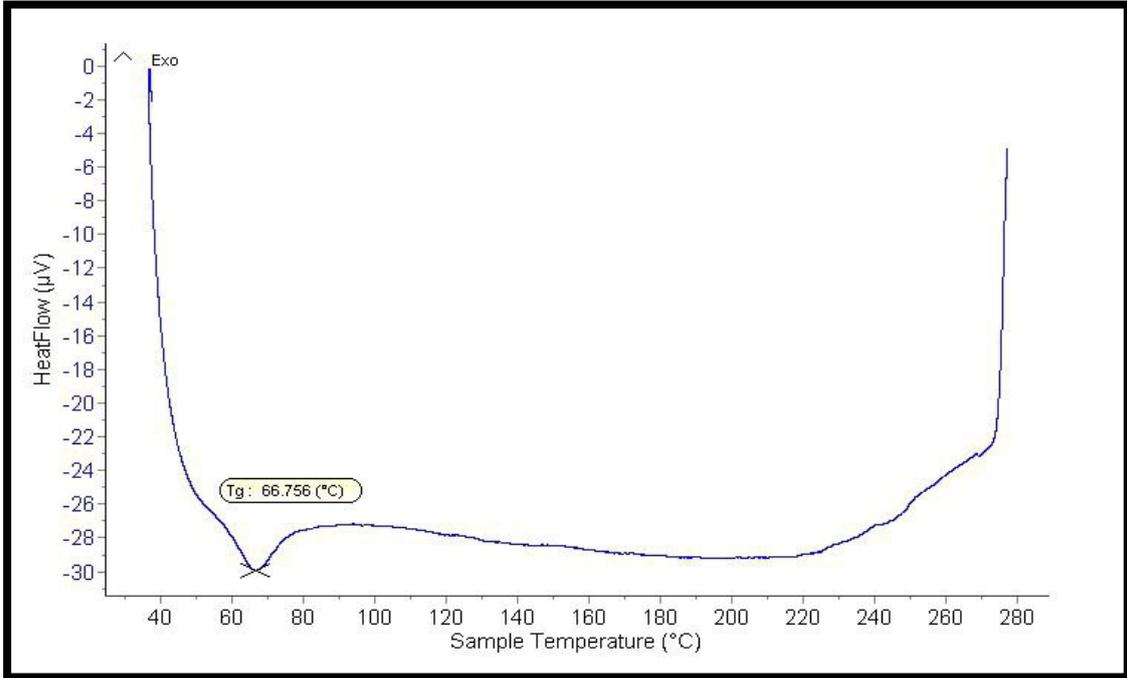
الشكل (7-4) : درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم  
النانونية عند النسبة (0.2%)



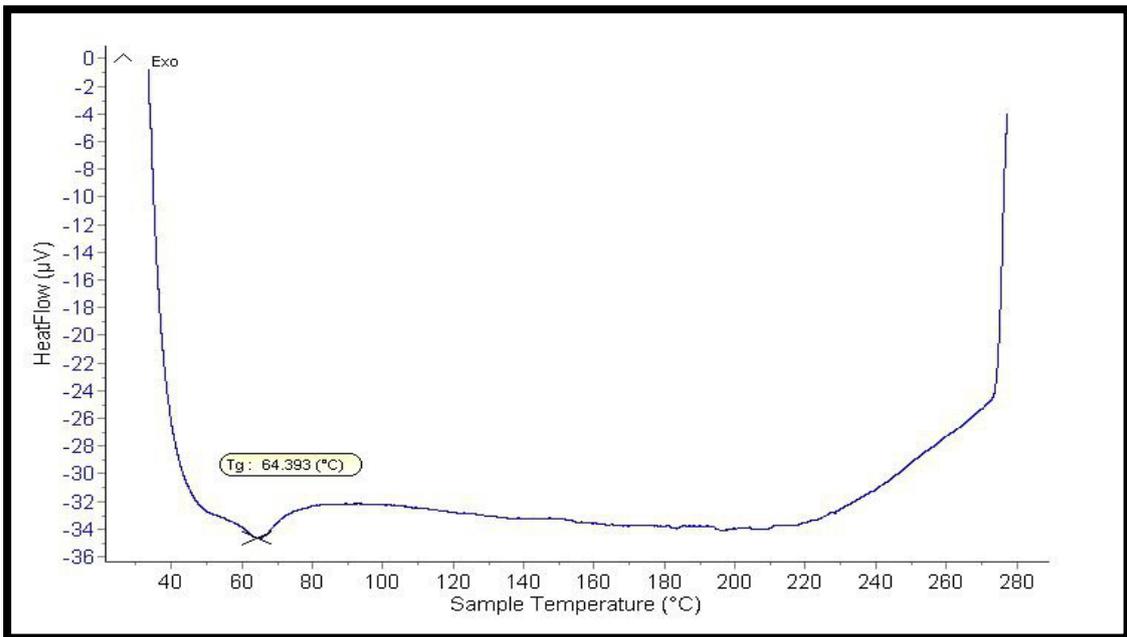
الشكل (8-4) : درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الاسبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.4%)



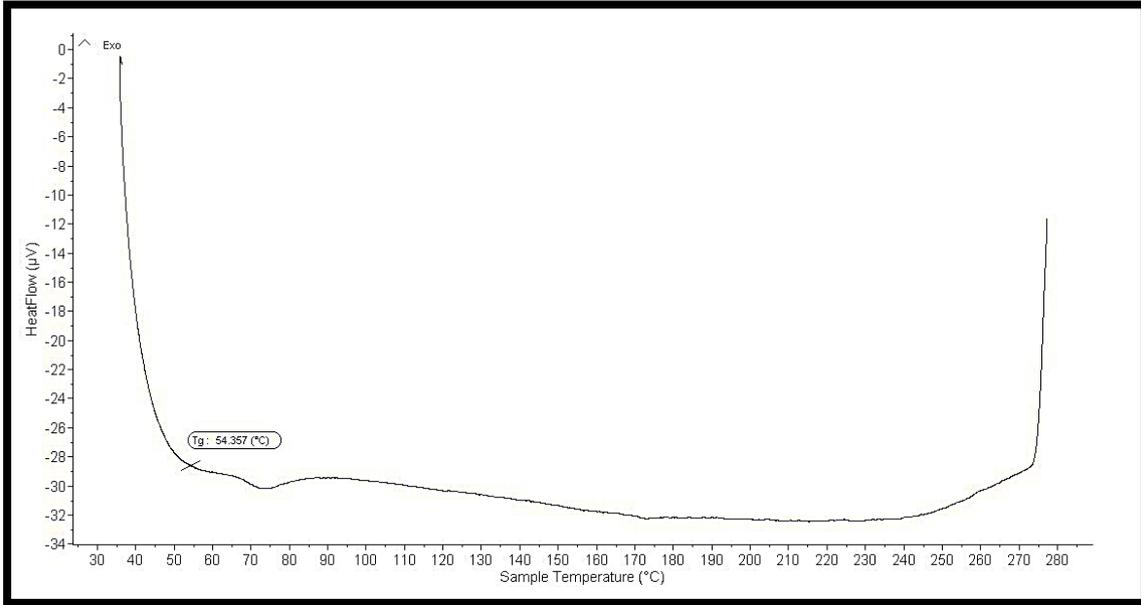
الشكل (9-4) : درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.6%)



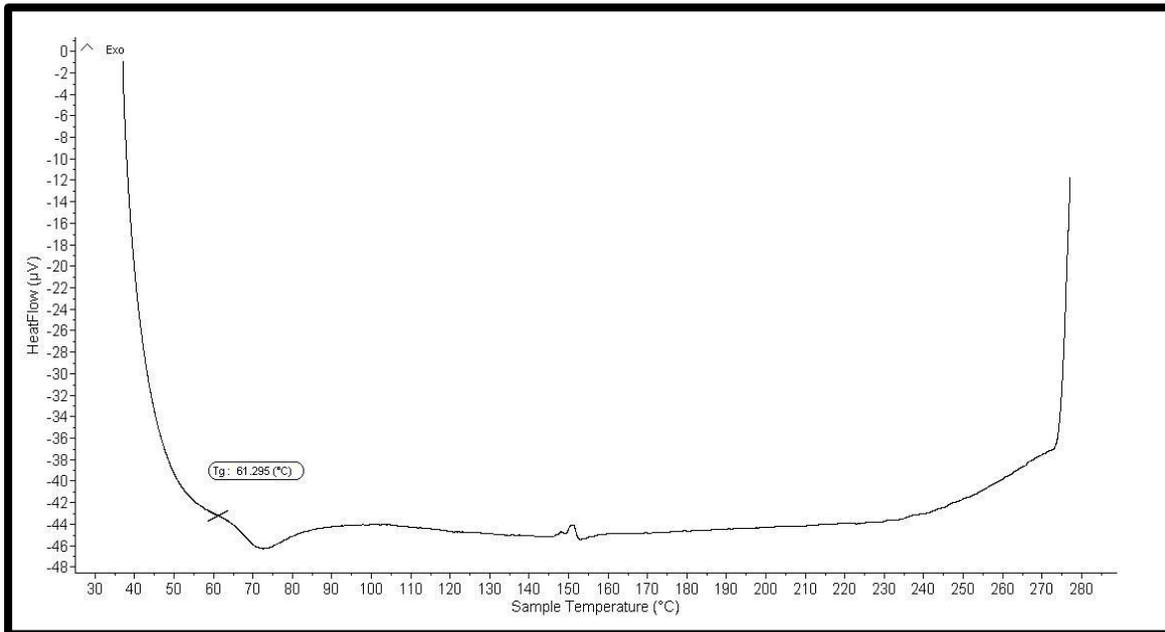
الشكل (10-4) : درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.8%)



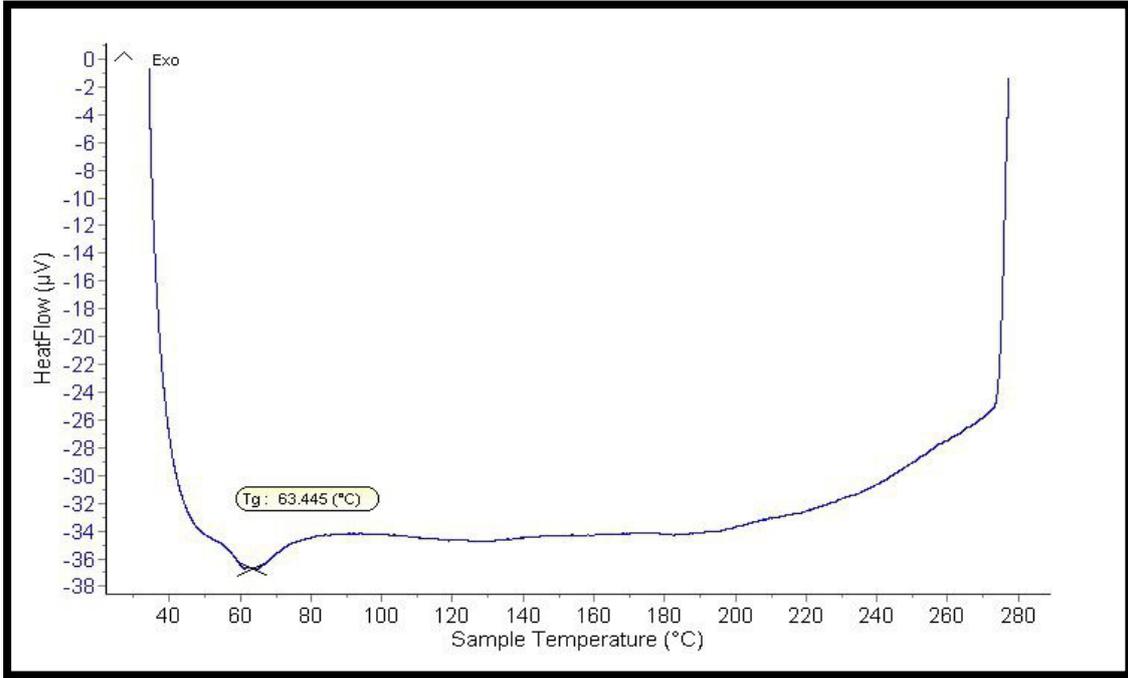
الشكل (11-4) : درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (1%)



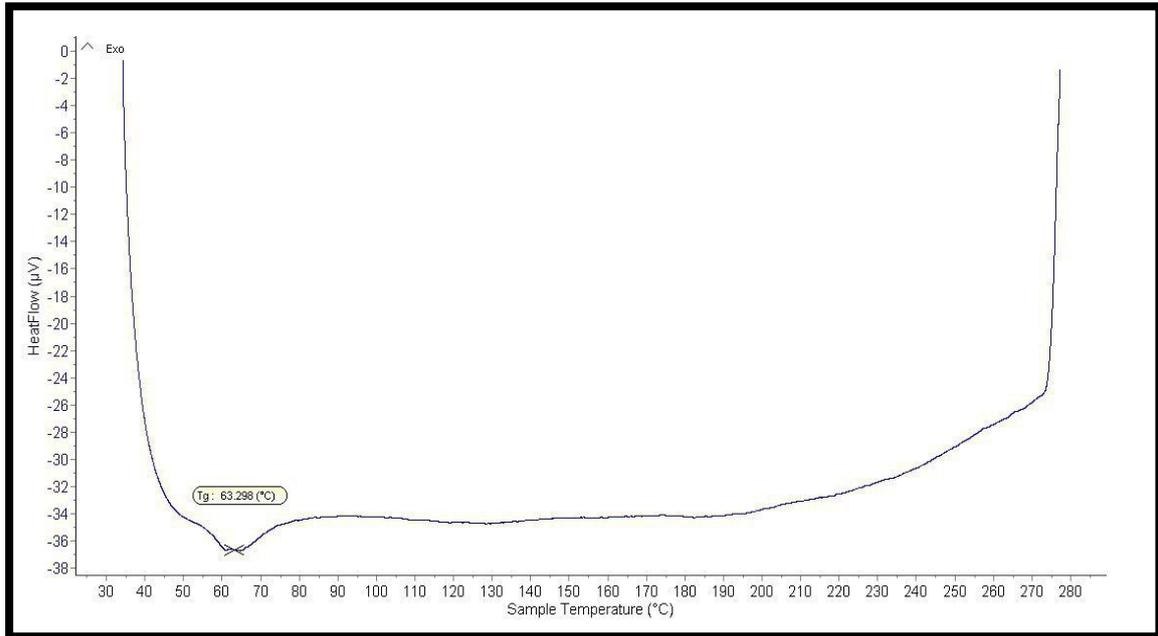
الشكل (12-4): درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (0.2%)



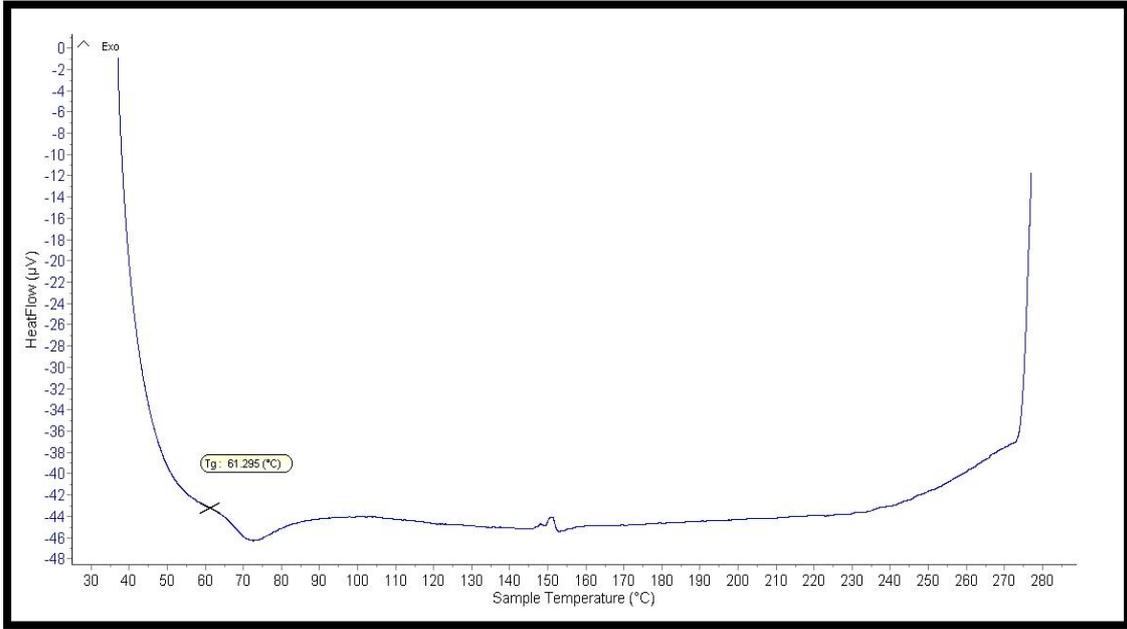
الشكل (13-4): درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (0.4%)



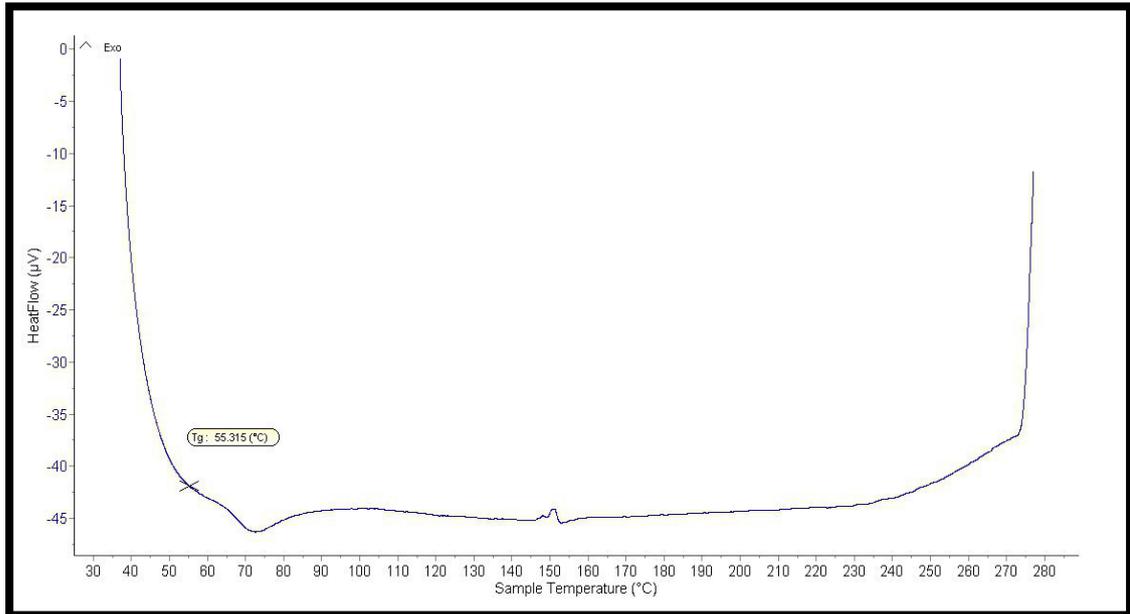
الشكل (4-14): درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (0.6%)



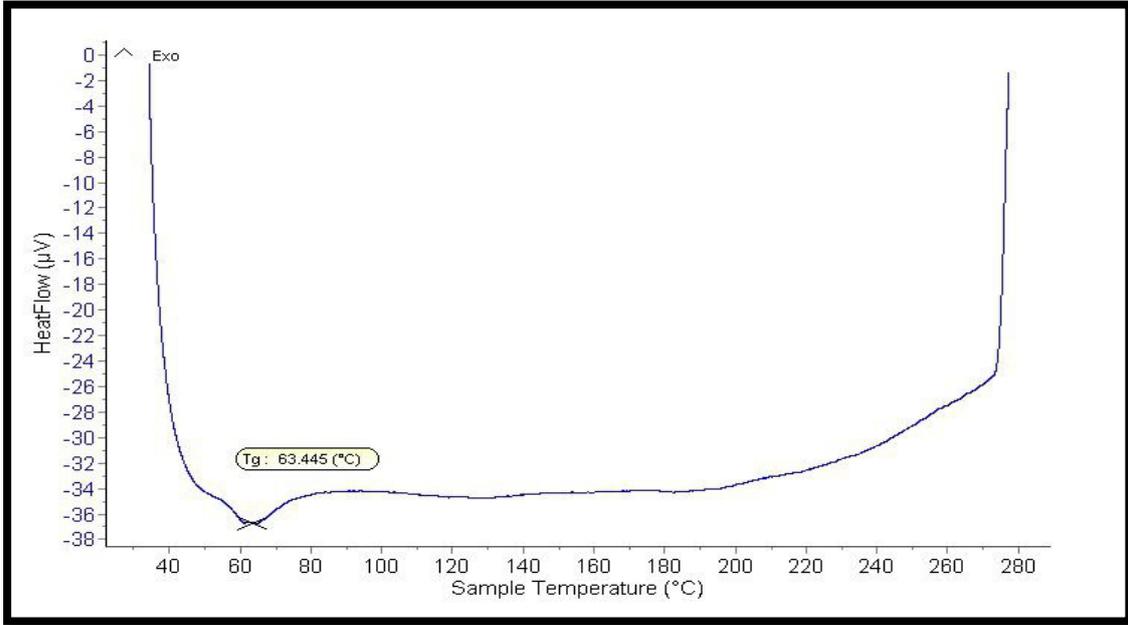
الشكل (4-15): درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (0.8%)



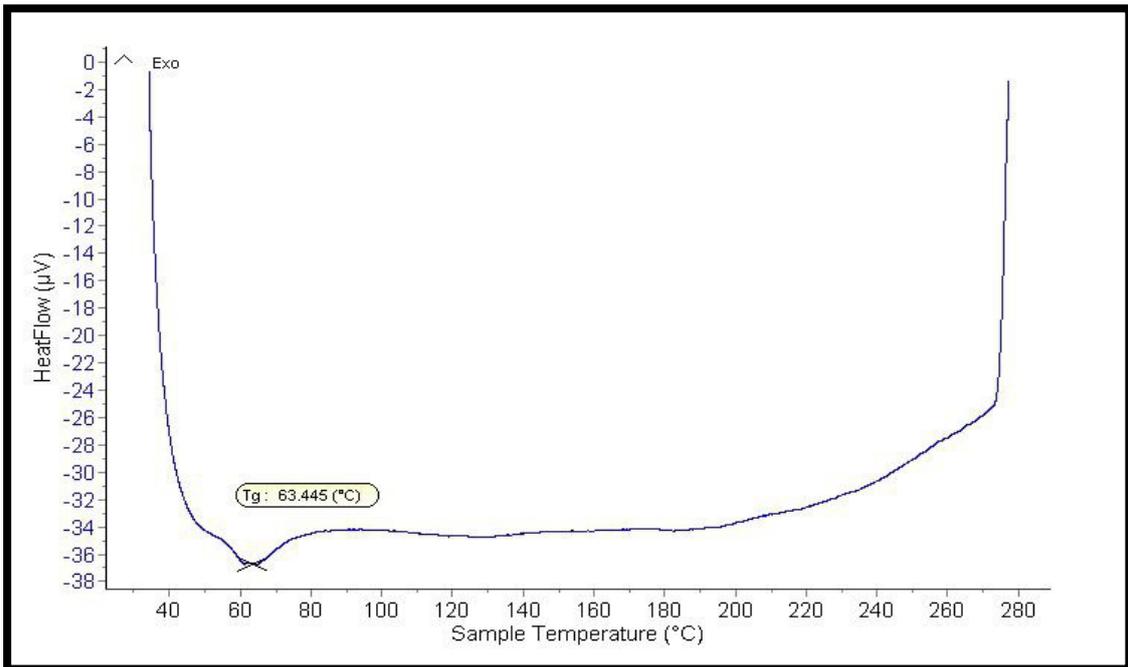
الشكل (4-16): درجة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة (1%)



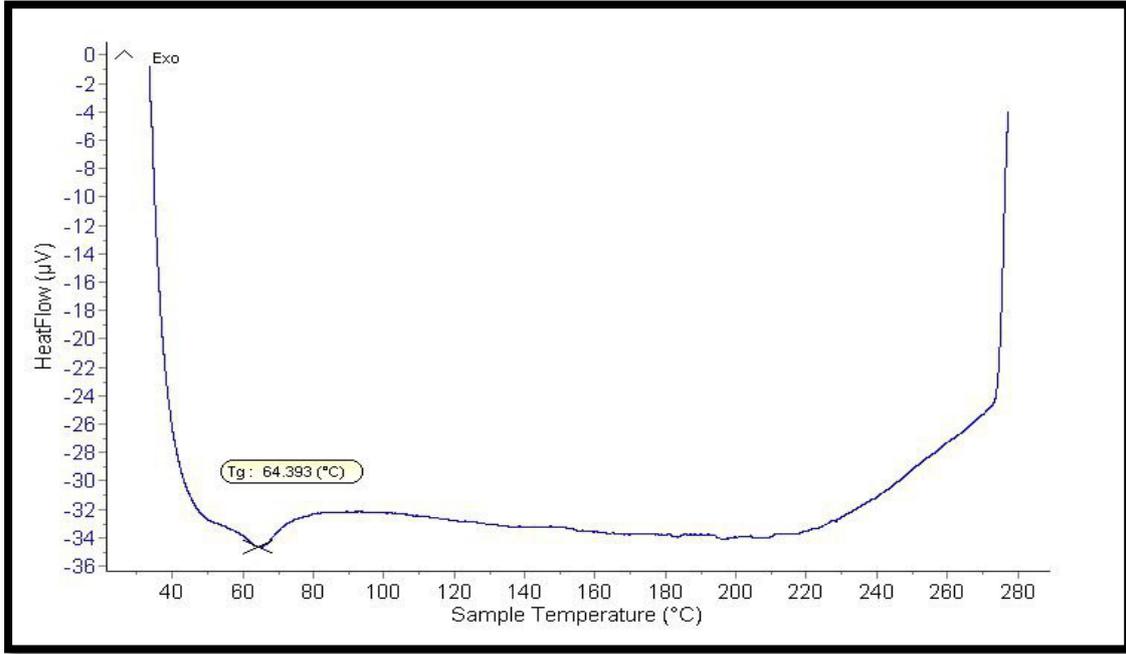
الشكل (4-17): درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة (0.2%)



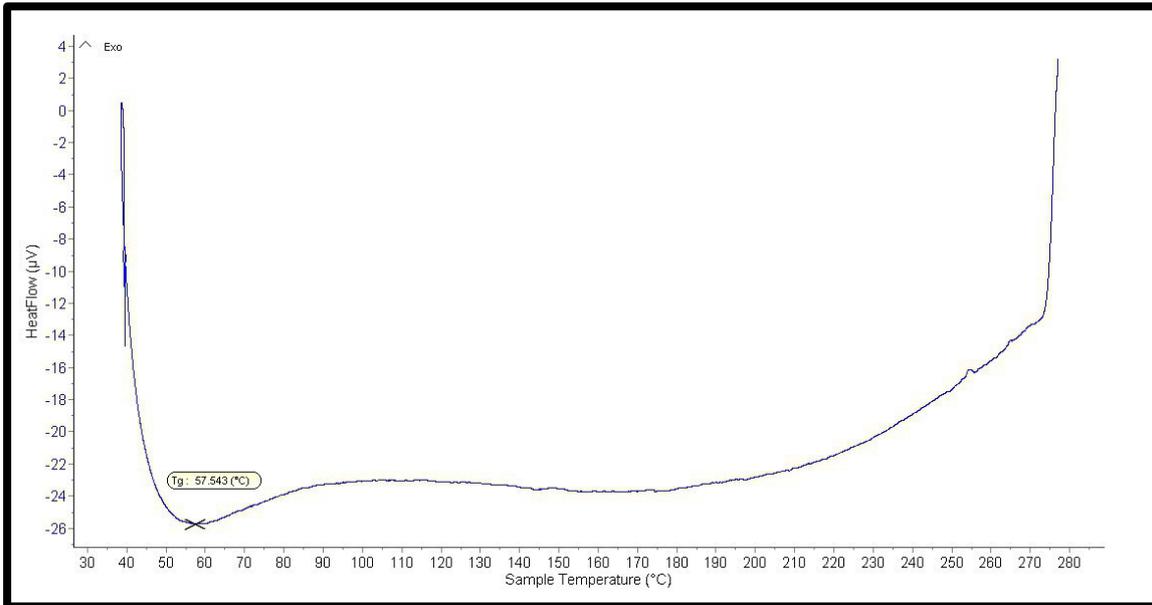
الشكل (4-18): درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة (0.4%)



الشكل (4-19): درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة (0.6%)



الشكل(4-20): درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة (0.8%)



الشكل (4-21): درجة الانتقال الزجاجي للمترابك الهجين عند النسبة (1%)

## Electrical Properties

## (4-4) الخصائص الكهربائية

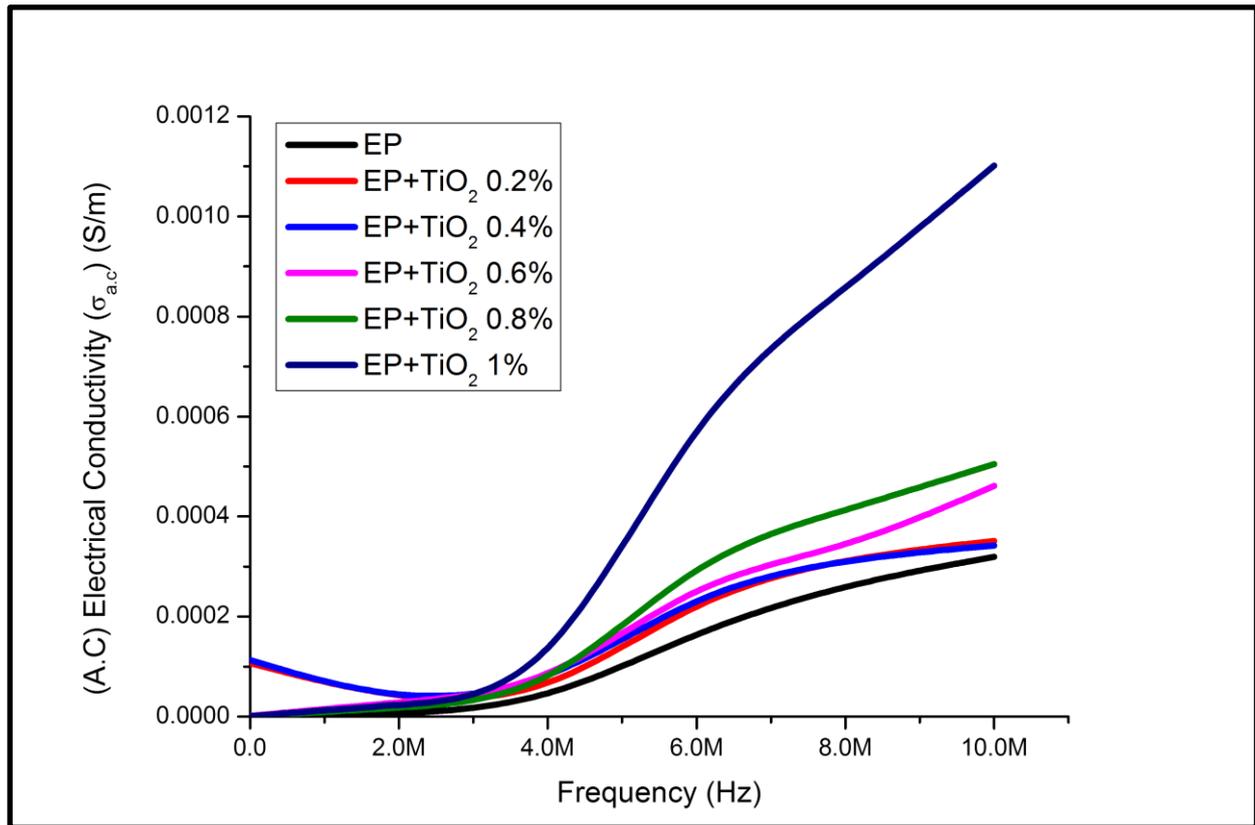
### (1-4-4) نتائج فحص التوصيلية الكهربائية المتناوبة

## Electrical Alternating Conductivity (A.C) Test Results

تعد التوصيلية الكهربائية المتناوبة دالة للتردد، حيث تم حسابها للايبوكسي النقي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية والمترابكات الهجينة للدقائق المذكورة وبنسب وزنية مختلفة (0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1%) وضمن مدى التردد (50 Hz-1MHz) وبدرجة حرارة الغرفة حيث نلاحظ من خلال الاشكال (22-4) (23-4) (24-4) ان التوصيلية الكهربائية المتناوبة تزداد بزيادة التردد ولكافة المترابكات، ان هذه الزيادة في التوصيلية الكهربائية المتناوبة بسبب زيادة ذبذبة المجال الكهربائي مع زيادة التردد الذي يعمل على زيادة الاستقطاب في العينة وهذا يظهر في زيادة التوصيلية الكهربائية المتناوبة، اذ ان التوصيلية الكهربائية المتناوبة تحدث من الانتقال السريع بين مواقع الانواع المختلفة كالألكتروليتات او ثنائيات الاقطاب [131]، كما ان التوصيلية الكهربائية في العازل تمثل القدرة المفقودة عند تسليط مجال كهربائي متناوب والتي تكون بشكل حرارة عند دوران ثنائيات الاقطاب في مواضعها واهتزاز الشحنات بتغير المجال الكهربائي المتناوب ولذلك تعتمد على التردد، [132]. ومن خلال الاشكال (22-4) (23-4) (24-4) يمكن ان نلاحظ ايضا ان قيمة التوصيلية الكهربائية المتناوبة لنفس التردد تزداد مع زيادة النسبة الوزنية لمواد التدعيم وبشكل عام ان هذه الزيادة في قيمة التوصيلية الكهربائية المتناوبة يعزى الى نقصان مقاومة العازل بسبب زيادة الجزيئات الموصلة في المترابك ونلاحظ ان التوصيلية الكهربائية للمترابك المدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم اكبر من التوصيلية الكهربائية للمترابك المدعم بأوكسيد الخارصين النانوي والجدول (5-4) و(6-4) و(7-4) يوضح قيم التوصيلية الكهربائية لمترابك الأيبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين والمترابك الهجين .

الجدول (5-4): قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق التيتانيوم النانوية بنسب مختلفة

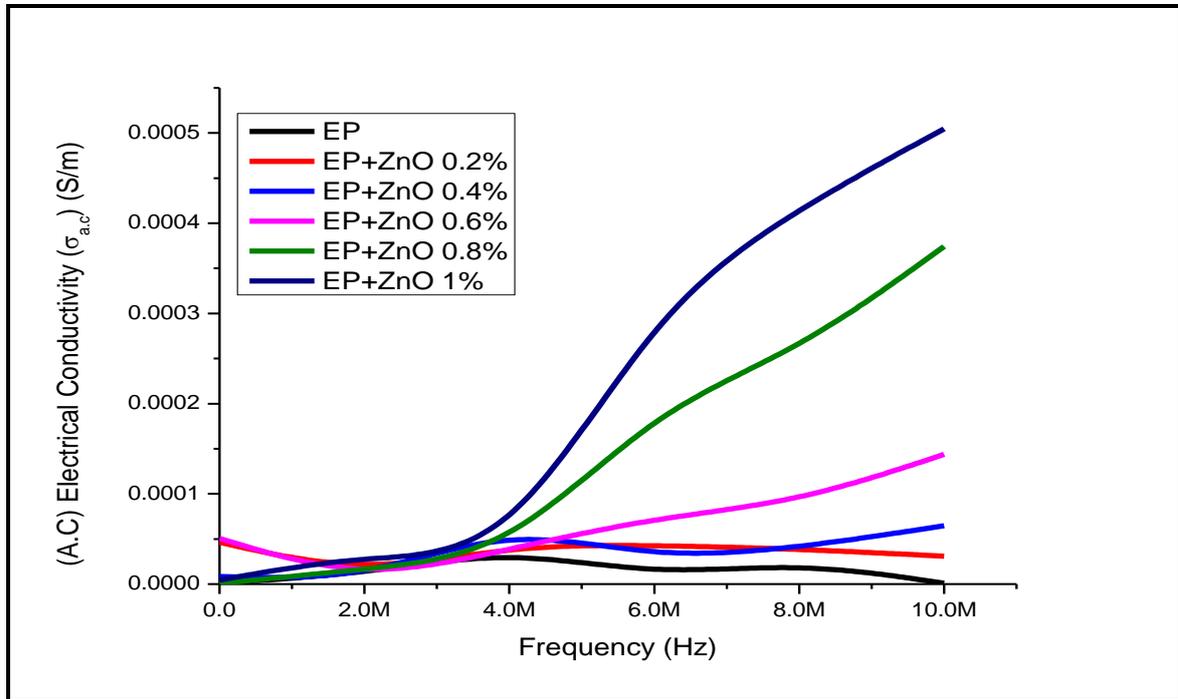
| Freq. Hz | $\sigma_{a.c}(EP)$ | $\sigma_{a.c}(0.2)\%$ | $\sigma_{a.c}(0.4)\%$ | $\sigma_{a.c}(0.6)\%$ | $\sigma_{a.c}(0.8)\%$ | $\sigma_{a.c}1\%$ |
|----------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| 50       | 1.02E-06           | 1.18E-04              | 8.72E-07              | 1.44E-06              | 1.06E-04              | 1.13E-04          |
| 1.01E+06 | 2.19E-05           | 7.50E-06              | 1.25E-05              | 7.00E-06              | 5.94E-06              | 8.80E-06          |
| 2.02E+06 | 1.92E-05           | 7.02E-06              | 1.26E-05              | 2.34E-05              | 1.47E-05              | 1.71E-05          |
| 3.03E+06 | 4.43E-05           | 1.68E-05              | 2.2E-05               | 7.87E-05              | 6.32E-05              | 5.94E-05          |
| 4.04E+06 | 4.63E-05           | 1.94E-05              | 3.99E-05              | 7.53E-05              | 3.26E-05              | 1.86E-05          |
| 5.05E+06 | 2.67E-04           | 5.95E-05              | 6.66E-05              | 2.67E-04              | 6.14E-05              | 5.01E-05          |
| 6.06E+06 | 2.64E-04           | 1.76E-04              | 6.58E-04              | 2.64E-04              | 2.29E-04              | 1.70E-04          |
| 7.07E+06 | 3.33E-04           | 2.42E-04              | 7.62E-04              | 3.54E-04              | 2.52E-04              | 2.57E-04          |
| 8.08E+06 | 3.78E-04           | 2.80E-04              | 7.80E-04              | 3.68E-04              | 2.57E-04              | 2.90E-04          |
| 9.09E+06 | 4.64E-04           | 2.94E-04              | 7.94E-04              | 4.02E-04              | 3.11E-04              | 3.69E-04          |
| 1.00E+07 | 5.05E-04           | 3.20E-04              | 8.20E-04              | 4.02E-04              | 4.08E-04              | 3.42E-04          |



شكل (4-22): التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية بنسب مختلفة

الجدول (6-4): قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق الخارصين النانوية بنسب مختلفة

| Freq. Hz | $\sigma_{a.c}(EP)$ | $\sigma_{a.c}(0.2)\%$ | $\sigma_{a.c}(0.4)\%$ | $\sigma_{a.c}(0.6)\%$ | $\sigma_{a.c}(0.8)\%$ | $\sigma_{a.c}(1)\%$ |
|----------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 50       | 1.02E-06           | 1.39E-06              | 7.9E-07               | 3.9E-07               | 9.9E-07               | 6.18E-07            |
| 1.01E+06 | 2.19E-05           | 7.4E-07               | 3.8E-06               | 1.3E-06               | 3E-06                 | 1.6E-06             |
| 2.02E+06 | 1.92E-05           | 7.3E-06               | 7.8E-06               | 5.7E-06               | 4.4E-06               | 3.08E-06            |
| 3.03E+06 | 4.43E-05           | 6.9E-06               | 9.3E-06               | 4.7E-06               | 8.17E-06              | 4.9E-06             |
| 4.04E+06 | 4.63E-05           | 3.4E-05               | 3.3E-05               | 3.4E-05               | 5.4E-05               | 4.6E-05             |
| 5.05E+06 | 2.67E-04           | 1.3E-05               | 6.3E-05               | 2.2E-05               | 3E-05                 | 3.7E-05             |
| 6.06E+06 | 2.64E-04           | 1.2E-05               | 1.7E-05               | 3E-05                 | 4E-05                 | 5.1E-05             |
| 7.07E+06 | 3.33E-04           | 4.02E-04              | 1.9E-04               | 3.4E-04               | 2.4E-04               | 9.8E-04             |
| 8.08E+06 | 3.78E-04           | 5.12E-04              | 2.8E-04               | 1.2E-04               | 2.3E-04               | 4.9E-04             |
| 9.09E+06 | 4.64E-04           | 8.4 E-04              | 3.6E-04               | 1.35E-04              | 2.14E-04              | 2.96E-04            |
| 1.00E+07 | 5.05E-04           | 3.4E-04               | 3.5E-04               | 6.7E-04               | 5.37E-04              | 7.32E-04            |

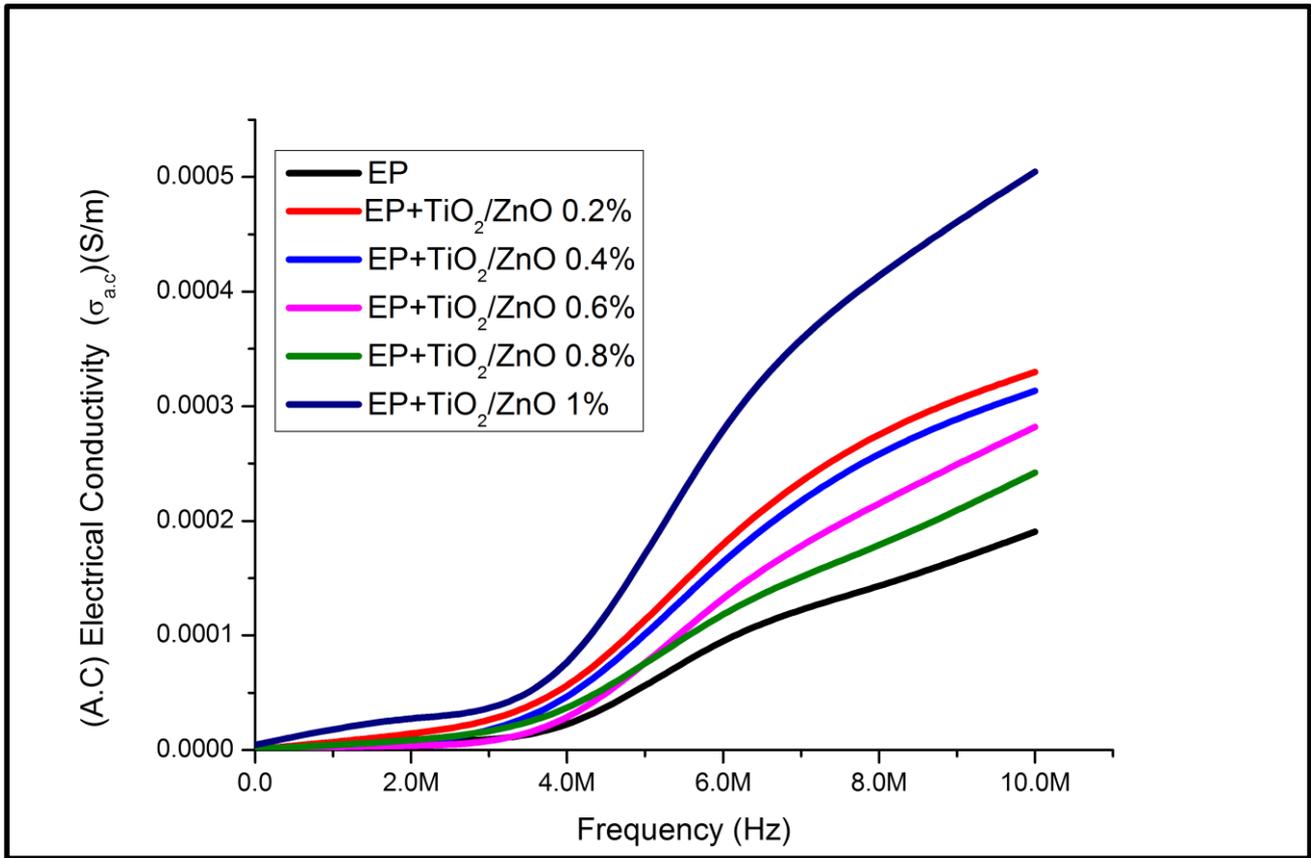


الشكل (4-23): التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد

الخارصين النانوية وبنسب مختلفة

الجدول (7-4): قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة لمتراكب الايبوكسي الهجين EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO] بنسب مختلفة

| Freq. Hz | $\sigma_{ac}(EP)$ | $\sigma_{ac}(0.2)\%$ | $\sigma_{ac}(0.4)\%$ | $\sigma_{ac}(0.6)\%$ | $\sigma_{ac}(0.8)\%$ | $\sigma_{ac}(1)\%$ |
|----------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| 50       | 1.02E-06          | 1.06E-06             | 1.17E-06             | 1.19E-06             | 3.56E-06             | 5.55E-06           |
| 1.01E+06 | 2.19E-05          | 2.92E-05             | 2.72E-05             | 3.4E-05              | 5.91E-06             | 6.15E-06           |
| 2.02E+06 | 1.92E-05          | 3.02E-06             | 4.6E-06              | 7.02E-06             | 8.51E-06             | 6.09E-06           |
| 3.03E+06 | 4.43E-05          | 4.62E-05             | 8.65E-06             | 7.71E-06             | 6.25E-06             | 6.48E-05           |
| 4.04E+06 | 4.63E-05          | 7.95E-06             | 6.5E-06              | 6.44E-06             | 7.6E-06              | 6.15E-06           |
| 5.05E+06 | 2.67E-04          | 6.68E-05             | 9.02E-05             | 5.95E-05             | 6.82E-06             | 8.21E-05           |
| 6.06E+06 | 2.64E-04          | 7.86E-05             | 1.61E-04             | 1.97E-04             | 2.02E-04             | 8.98E-05           |
| 7.07E+06 | 3.33E-04          | 1.21E-04             | 1.72E-04             | 1.98E-04             | 2.08E-04             | 8.41E-05           |
| 8.08E+06 | 3.78E-04          | 2.82 E-04            | 2.46E-04             | 2.65E-04             | 2.83E-04             | 1.47E-04           |
| 9.09E+06 | 4.64E-04          | 2.55E-04             | 2.55E-04             | 2.79E-04             | 3.17E-04             | 1.51E-04           |
| 1.00E+07 | 5.05E-04          | 2.97E-04             | 2.72E-04             | 3.13E-04             | 3.27E-04             | 1.01E-04           |



الشكل (24-4): التوصيلية الكهربائية لمتراكب الايبوكسي الهجين EP+[TiO<sub>2</sub> /ZnO] بنسب مختلفة

(5-4) الخصائص التركيبية والمورفولوجية

Structural and Morphological Properties

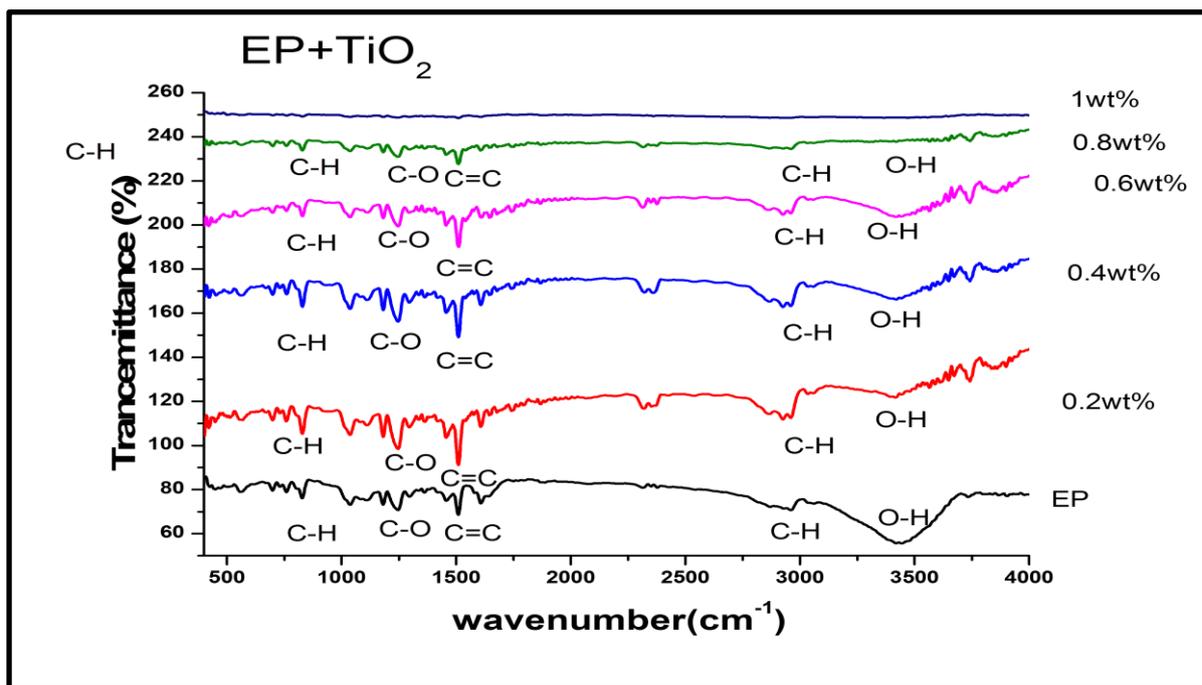
(1-5-4) نتائج تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء FTIR Test Results

لقد تم في هذا البحث دراسة طيف تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء للأيوكسي النقي والمدعم بدقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية وبنسب وزنية مختلفة بالاعتماد على قياس طيف النفاذية بوصفه دالة للعدد الموجي لمدى القياس  $cm^{-1}$  (400-4000) وكما هو مبين بالأشكال الآتية (25-4), (26-4), (27-4) والتي بينت قسما من اواصر التمدد والانحناء لراتنج الأيوكسي النقي (OH, C-H, C=O, C=C, CH<sub>2</sub>) ونلاحظ خلال الأشكال (25-4), (26-4), (27-4) ان العدد الموجي لحزمة الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل (-OH) الحرة عند العدد الموجي  $(3500cm^{-1})$  للأيوكسي النقي وهذا يدل على ان مجموعة الهيدروكسيل لسلاسل راتنج الأيوكسي هي عموما مرتبطة بين الجزيئات او داخل الجزيئات لأصرة الهيدروجين ، وايضا يمكن ملاحظة العدد الموجي لحزمة الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل (-OH) لراتنج الأيوكسي يزاح نحو الترددات العالية بعد التدعيم بدقائق النانوية (TiO<sub>2</sub>, ZnO) بكافة نسبه الوزنية باستثناء التدعيم بنسبة (0.2%, 0.4%, 0.6%) لمتراكب (EP+TiO<sub>2</sub>) فأن العدد الموجي لمجموعة الهيدروكسيل (-OH) للأيوكسي النقي يزاح نحو الترددات الواطئة وان سبب هذه الانحرافات في قيم تردد الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل (-OH) للأيوكسي النقي مع زيادة النسبة الوزنية لدقائق التيتانيوم المضافة يدل على حدوث تفاعل بين بوليمر الأيوكسي ودقائق التيتانيوم المضافة ، وان تردد الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل (-OH) للأيوكسي النقي يكون عند القيمة  $(3442 cm^{-1})$  ولكن عند التدعيم بدقائق الخارصين بكافة نسبه الوزنية ودقائق التيتانيوم عند التركيز (0.8%, 1%) فأن هذا التردد الامتصاصي يزاح نحو اعلى قيمة وهي  $(3520.03 cm^{-1})$  عند التدعيم بدقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية عند التركيز (0.8%, 1%) و  $(3581.81cm^{-1})$  عند التدعيم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسب (0.6%, 0.8%, 1%) وللهمجين هي  $(3479.37cm^{-1})$  عند النسبة (0.4%, 0.6%, 0.8%). وهذا يدل على وجود مجموعات (OH) على سطح الدقائق النانوية ويتفق هذا السلوك مع كوستا واخرون [133]، ان راتنجات الأيوكسي هي قطبية بطبيعتها وتحتوي على مجموعتين من الأيوكسايد في كلا الطرفين ، وعند اضافة مادة صلبة الى مزيج الراتنج تفتح مجموعة الأيوكسايد ويمكن لهذه المجموعات ايضا تكوين روابط هيدروجينية مع مجموعات هيدروجينية حرة على سطح الدقائق النانوية بالإضافة الى التفاعل مع مجموعات الامين من مادة المصلد ، ان التدعيم بدقائق (TiO<sub>2</sub>, ZnO) للمادة الاساس (راتنج

الايوكسي) لا يؤدي الى تكوين روابط جديدة ، حيث نلاحظ من خلال الاشكال ان بعض الاواصر تمتد والآخرى تبقى ثابتة ، ووفقا لتحضير مركبات الايوكسي النانوية المستخدمة في تحضير العينات يتم اولا خلط مواد التدعيم بالراتنج لبدء عملية المعالجة . عند إضافة مادة صلبة الى الراتنج تنتج مجموعة الايوكسيد ويمكن لهذه المجموعات ايضا تكوين روابط هيدروجينية مع مجموعات هيدروجينية حرة على سطح الدقائق النانوية وبسبب وفرة مجموعات (-OH) على سطح الدقائق النانوية ، فان كثافة قطاعات الايوكسي المرتبطة بالهيدروجين ستكون عالية في المنطقة القريبة من سطح الدقائق النانوية [133]. ايضا ظهور قم يمكن ملاحظتها  $(700-400)cm^{-1}$  تكونت نتيجة الاهتزازات الانحنائية والتي تشير الى اصرة O-Ti-O [134] في الشكل (4-25) وقم اخرى يمكن ملاحظتها  $(420 cm^{-1})$  كما في الشكل (4-26) تشير الى اصرة Zn-O.

جدول (4-8): قيم الاعداد الموجية لمتراب الايوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية بنسب مختلفة.

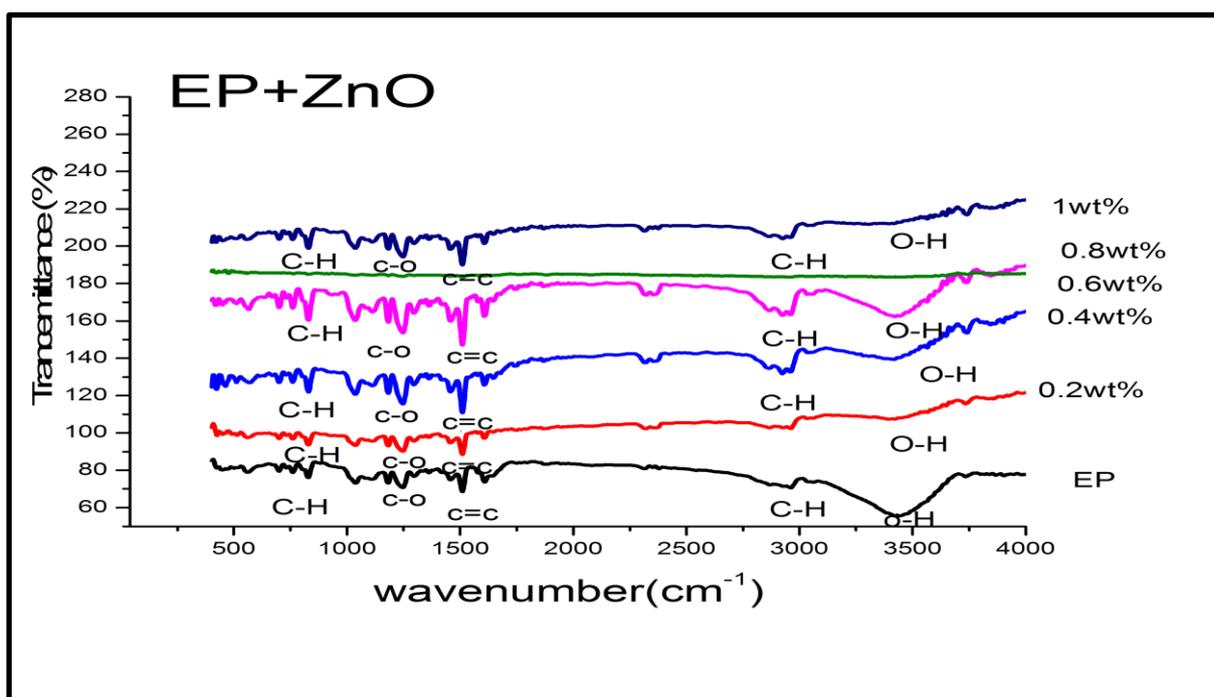
| Band of Specytrtrum | Functional Group | Epoxy Pure   | 0.2%               | 0.4%                       | 0.6%    | 0.8%               | 1%                |
|---------------------|------------------|--------------|--------------------|----------------------------|---------|--------------------|-------------------|
| 3500                | O-H              | 3442         | 3392.79            | 3417.8                     | 3415.93 | 3520.03            | 3520.03           |
| 3000-3150           | C-H<br>Ar.       | 3040         | 2980.73            | 2980.7<br>3                | 2906.01 | 2980.73            | 2980.73           |
| 2873-2965           | C-H<br>Aleph.    | 2000<br>2715 | 2880.73<br>2927.91 | 2880.8<br>0<br>2928.0<br>1 | 2906.01 | 2873.16<br>2900.73 | 2861.01<br>2968.8 |
| 1608                | C=C              | 1600         | 1606.70            | 1606.7<br>0                | 1606.7  | 1606.7             | 1610.5            |
| 1036                | C-O              | 1111<br>1006 | 1035.77            | 1037.7<br>0                | 1037.70 | 1037.70            | 1037.30           |
| 772                 | C-H<br>Band      | 750.1<br>700 | 758.96             | 758.96                     | 758.96  | 761.01             | 790.96            |



الشكل (4-25): طيف (FTIR) لمركب الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية بنسب مختلفة

جدول (4-9): قيم الاعداد الموجية لمركب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية بنسب مختلفة

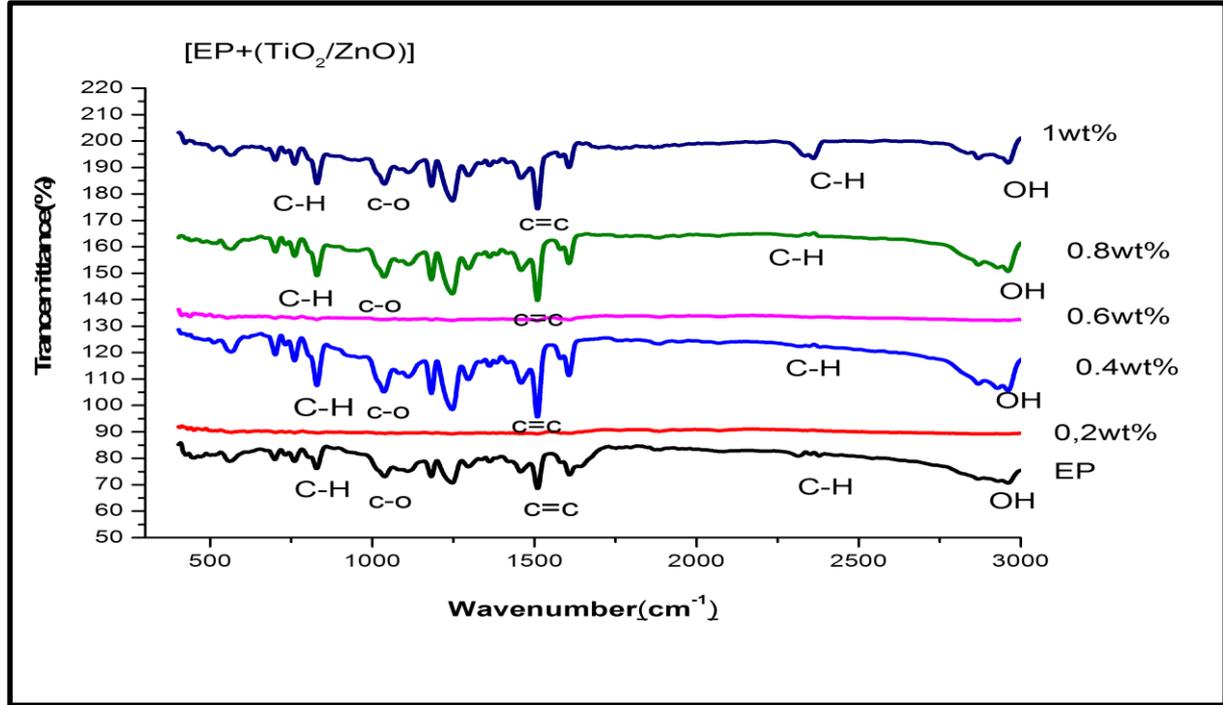
| Band of SPECYTRUM | FUNCT IONAL GROUP | EPOXY PURE   | 0.2%             | 0.4%               | 0.6%              | 0.8%               | 1%                 |
|-------------------|-------------------|--------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 3500              | O-H               | 3442         | 3549.32          | 3579.88            | 3581.81           | 3581.81            | 3581.81            |
| 3000-3150         | C-H<br>Ar.        | 3040         | 300.1<br>3271.2  | 3032.75            | 3057.17           | 3057.17            | 3049.1             |
| 2873-2965         | C-H<br>Aleph      | 2000<br>2715 | 2837<br>2960.73  | 2888.48<br>2916.37 | 2888.1<br>2980.73 | 2888.15<br>2980.73 | 2888.37<br>2931.80 |
| 1608              | C=C               | 1600         | 1606.7           | 1610.9             | 1606.7            | 1606.71            | 1606.70            |
| 1036              | C-O               | 1111<br>1006 | 1035.77          | 1037.7             | 1035.77           | 1035.77            | 1037.70            |
| 772               | C-H<br>Band       | 750.4        | 758.96<br>732.96 | 758.96<br>732      | 799.96<br>700.17  | 799.96<br>700.17   | 758.96             |



الشكل (4-26) : طيف (FTIR) لمتراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية

جدول (4-10): قيم الاعداد الموجية لمتراكب الايبوكسي الهجين EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO] بنسب مختلفة

| Band of Specytrum | Functiona l Group | Epoxy Pure   | 0.2%               | 0.4%             | 0.6%              | 0.8%               | 1%             |
|-------------------|-------------------|--------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 3500              | O-H               | 3442         | 3479.8             | 3479.37          | 3479.37           | 3442.3             | 3442.3         |
| 3000-3150         | C-H Ar.           | 3040         | 3059.10            | 3053.32          | 3066.13           | 3043.15            | 3070.01        |
| 2873-2965         | C-H Aleph         | 2000<br>2715 | 2833.15<br>2927.94 | 2009.73<br>2824  | 2833.1<br>2900.13 | 2812.37<br>2988.48 | 2861<br>2982   |
| 1608              | C=C               | 1600         | 1606.70<br>1645.28 | 1606.70          | 1600.7<br>1645.1  | 1610.9             | 1600.7<br>1611 |
| 1036              | C-O               | 1111<br>1006 | 1037.70            | 1037.70          | 1006.77           | 1061.7             | 1070.1         |
| 772               | C-H Band          | 750.1<br>700 | 759.96<br>732.96   | 790.96<br>731.02 | 790.16<br>732.96  | 761.88             | 758.96         |



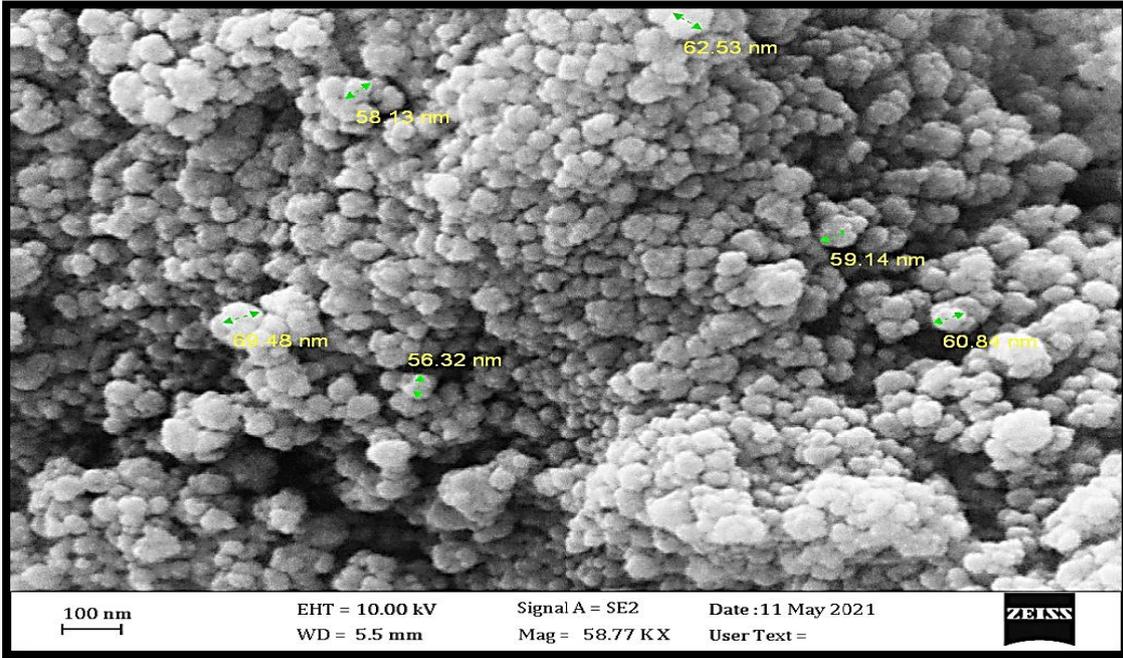
الشكل(4-27): طيف (FTIR) لمترابك الايبوكسي الهجين EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO] بنسب مختلفة

#### (4-5-2) نتائج فحص المجهر الالكتروني الماسح بانبعثات المجال

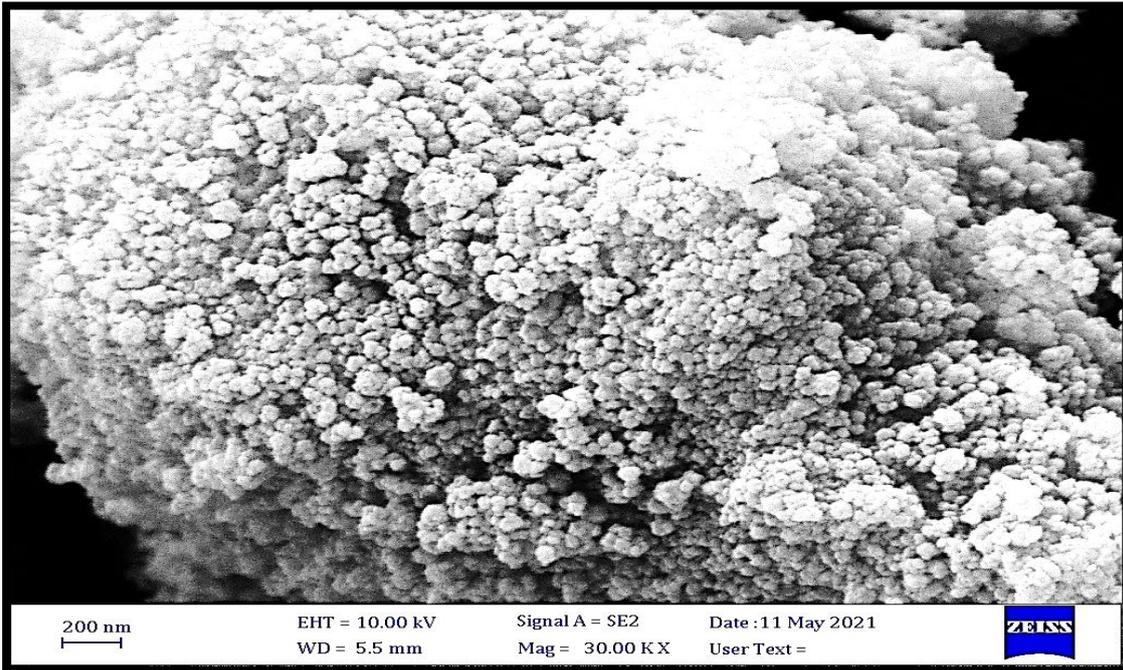
### Field Emission Scanning Electron Microscopes (FE-SEM)

#### Test Results

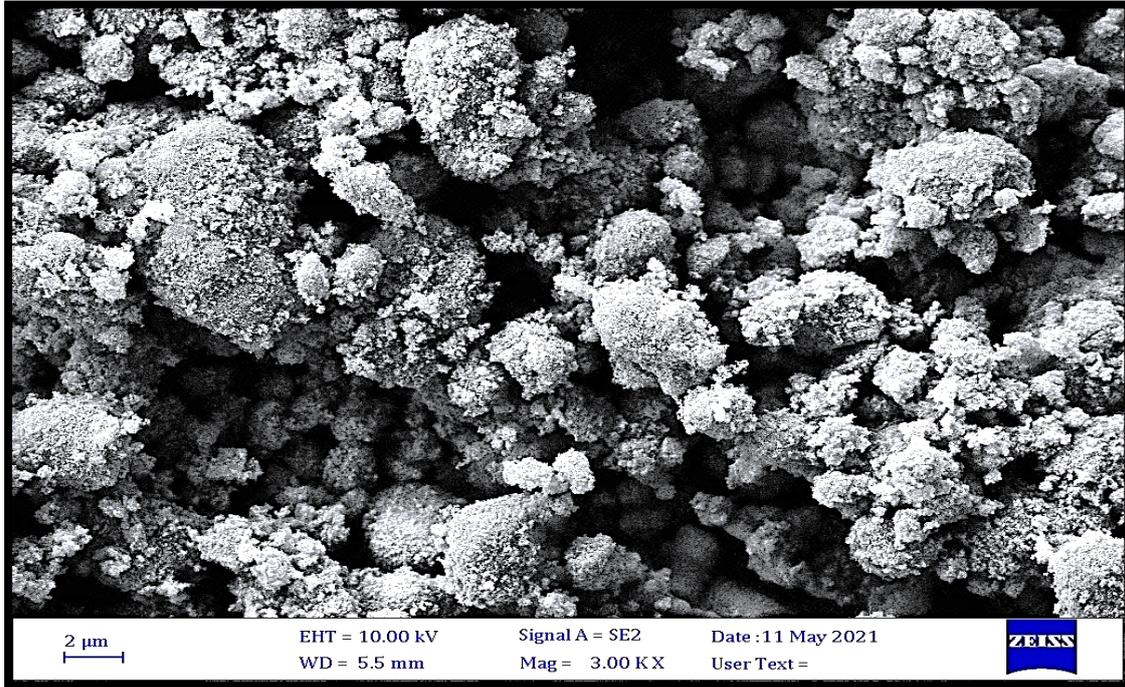
تم في هذا الفحص قياس وتحليل طوبوغرافية سطح المادة من خلال التقاط صورة نقطة على سطح العينة ثم الانتقال الى نقطة اخرى والتقاط صورتها وهكذا بالتتابع. نلاحظ من خلال الاشكال من (4-28) الى (4-35) ان دقائق كل من ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية واوكسيد الخارصين النانوية التي خضعت لفحص (FESEM) قد امتلكت شكلا كرويا حيث اظهرت الاشكال من (4-28) الى (4-31) لدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم ان معدل القطر الحبيبي لها (60nm)، بينما أظهرت الاشكال من (4-32) الى (4-35) معدل قطر الحبيبي لدقائق الخارصين النانوية (82nm).



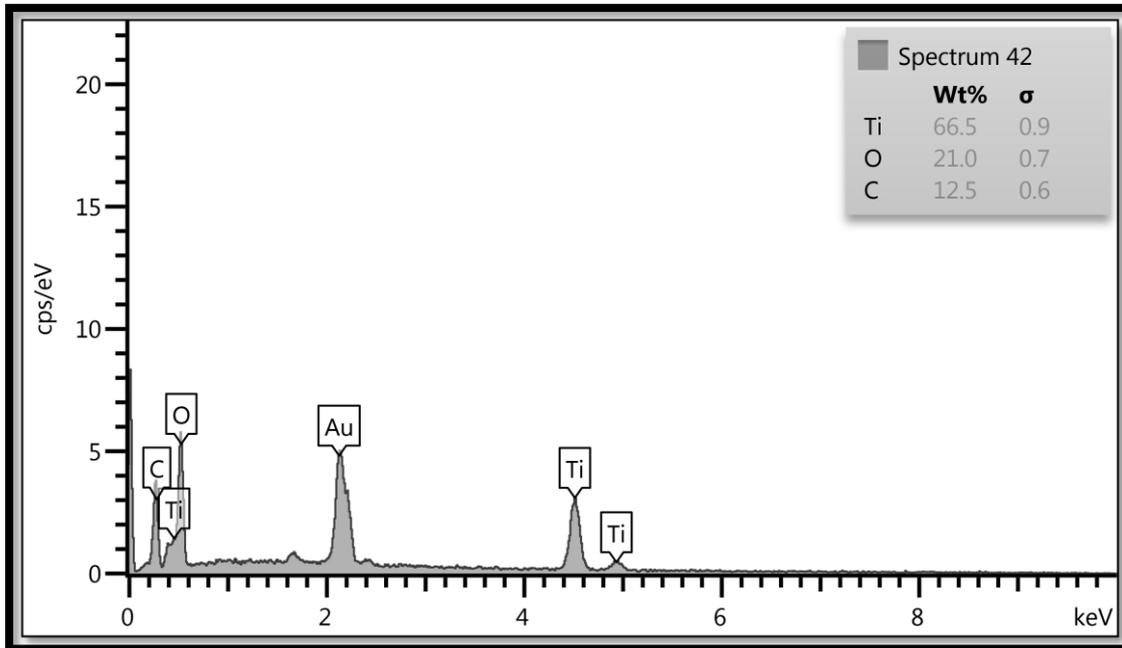
الشكل (4-28): صورة FE-SEM دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية بقوة تكبير (100nm)



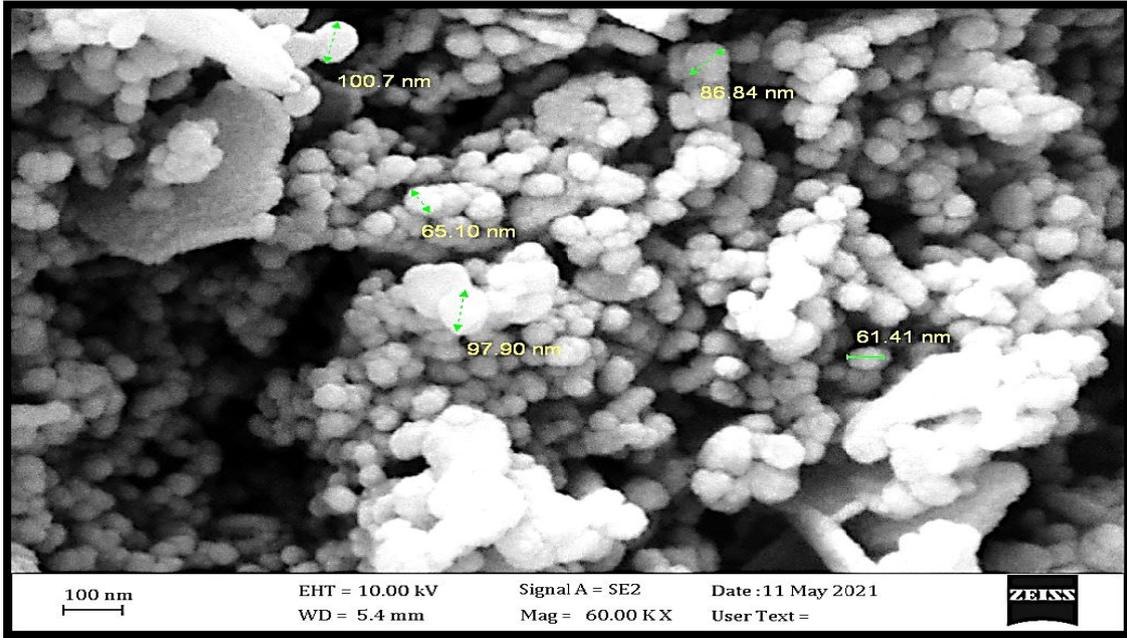
الشكل (4-29): صورة FE-SEM دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية بقوة تكبير (200nm)



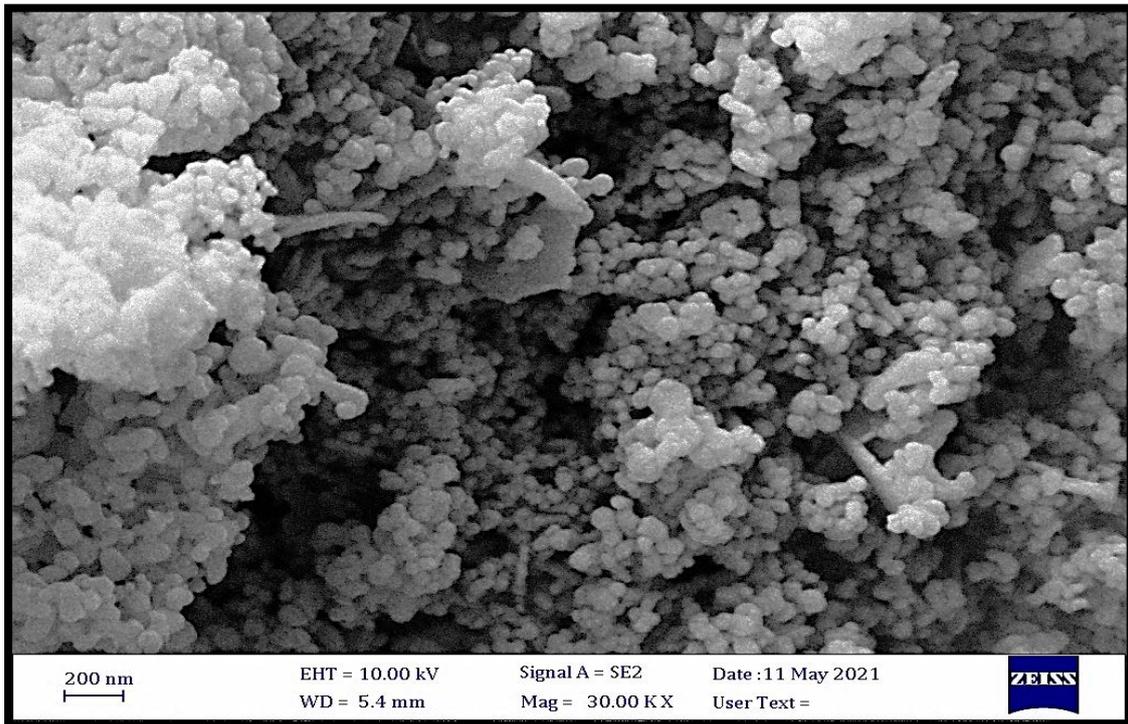
الشكل (4-30): صورة FE-SEM دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية بقوة تكبير (2μm)



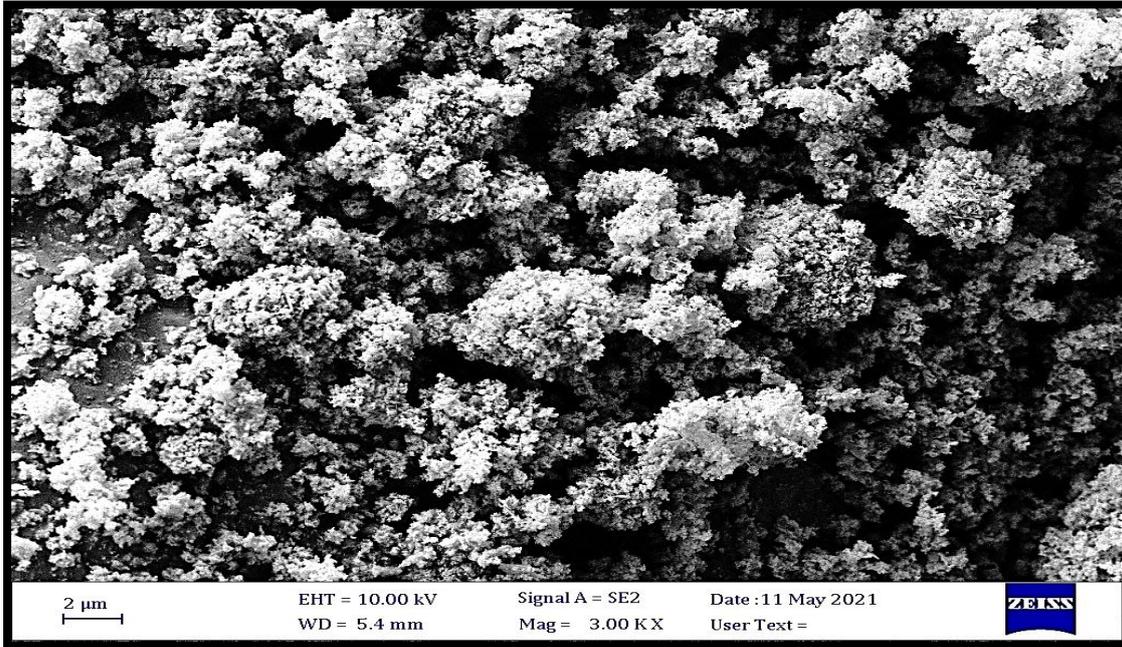
الشكل (4-31): صورة FE-SEM دقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية



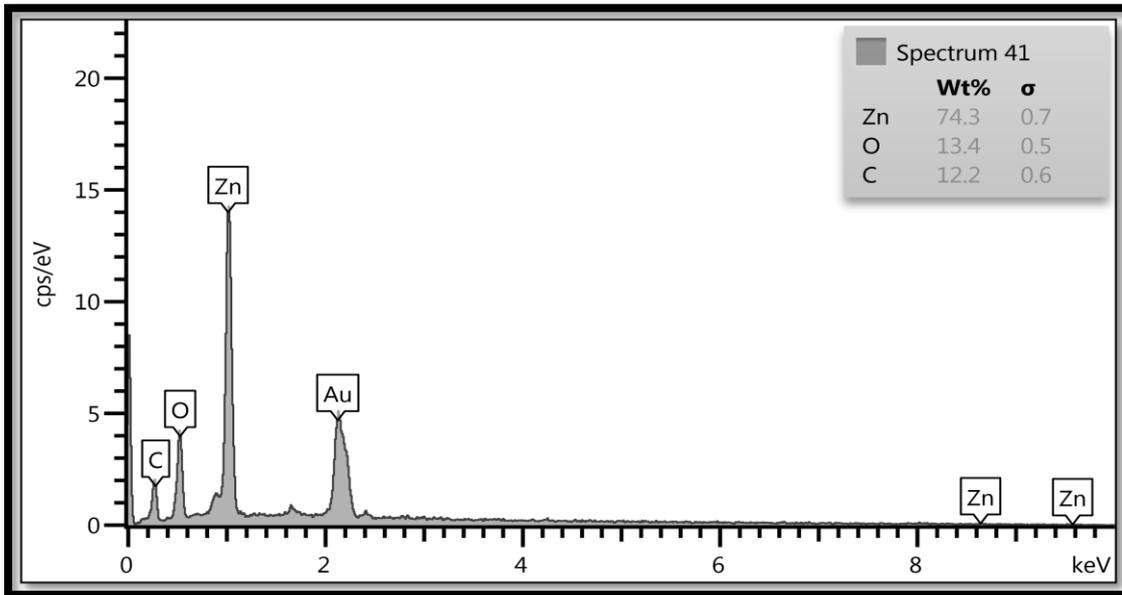
الشكل (4-32): صورة FE-SEM دقائق الخارصين النانوية قوة تكبير (100nm)



الشكل (4-33): صورة FE-SEM دقائق الخارصين النانوية قوة تكبير (200nm)



الشكل (4-34): صورة FE-SEM لدقائق الخارصين النانوية قوة تكبير (2μm)



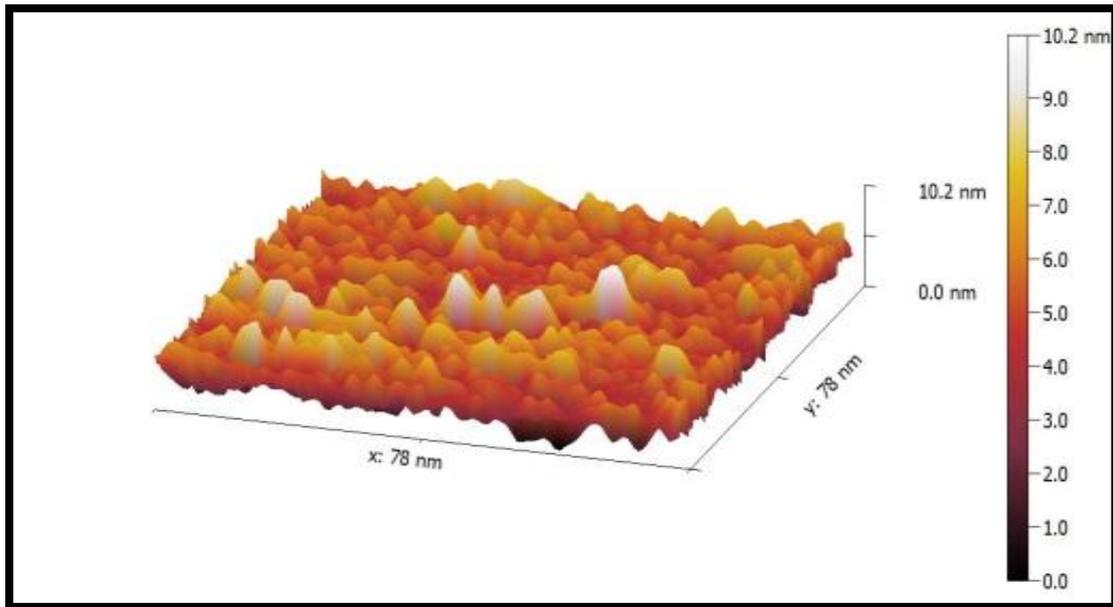
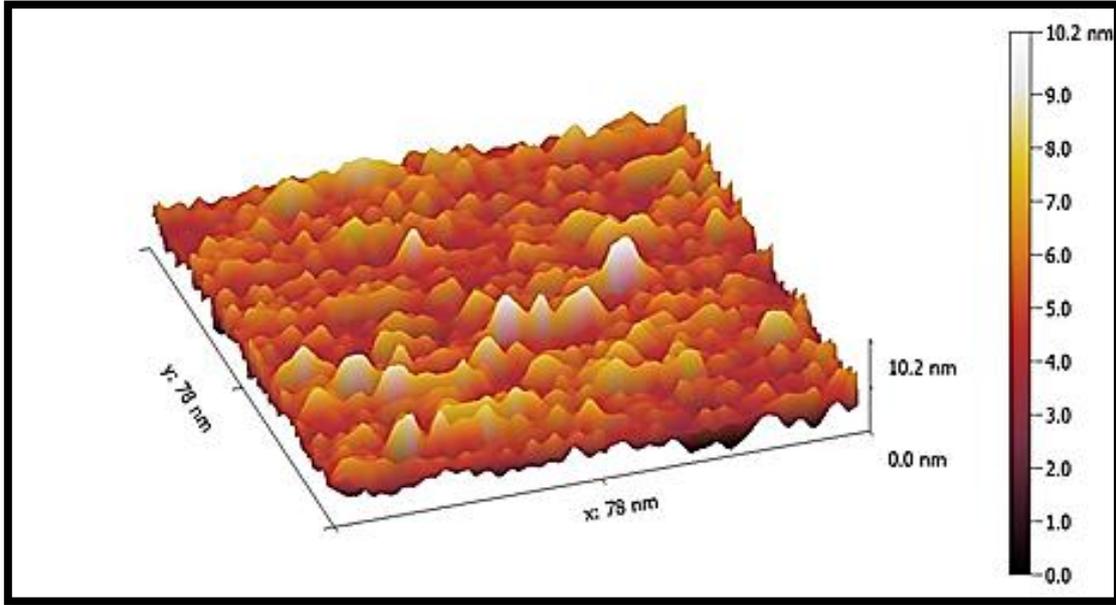
الشكل (4-35): صورة FE-SEM لدقائق الخارصين النانوية

### Atomic Force Microscopy (3-5-4) فحص مجهر القوة الذرية

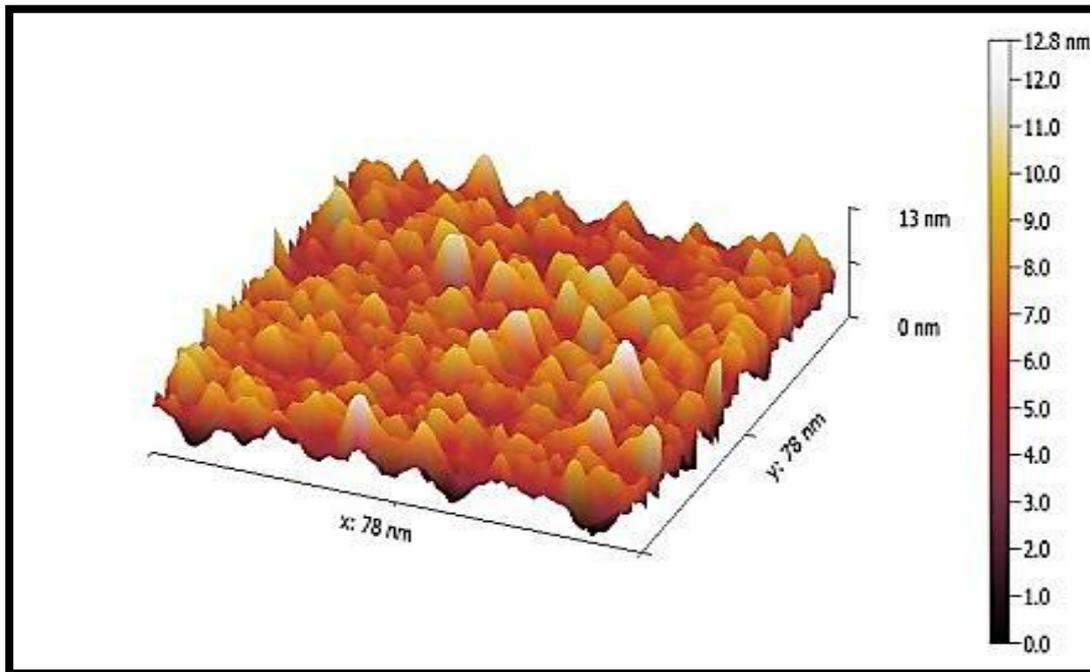
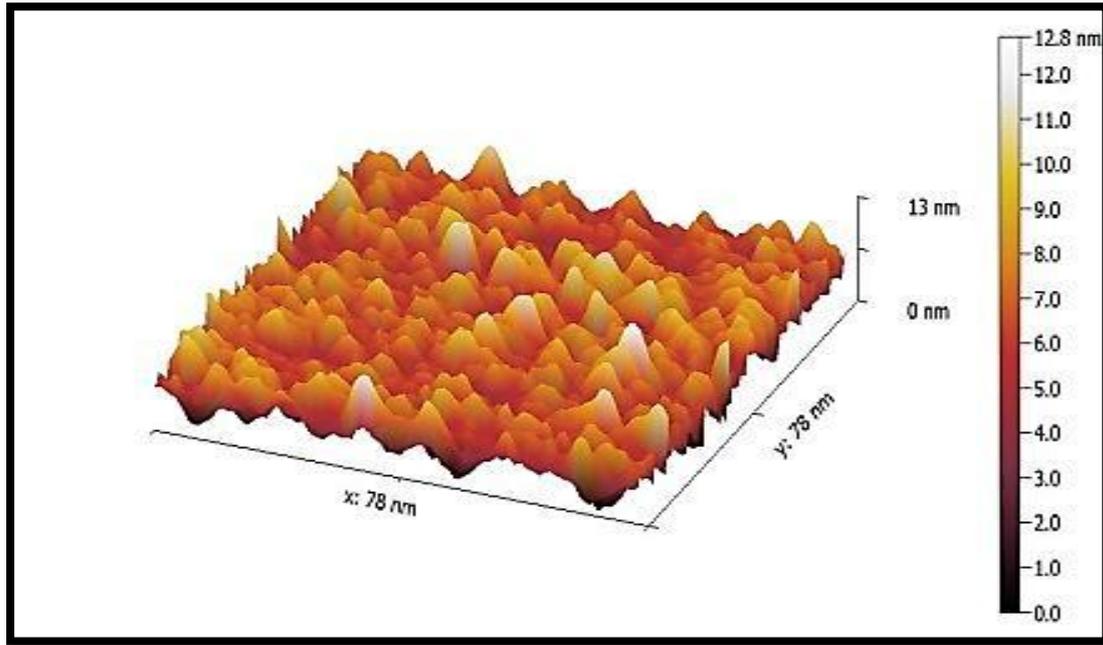
تم في هذا البحث استخدام مجهر القوة الذرية (AFM) الذي يمتاز بقدرة عالية على تصوير وتحليل السطوح لدراسة طوبوغرافية مترابطة الايبوكسي التي تم تصنيعها (EP+TiO<sub>2</sub>), (EP+ZnO) EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO] بدرجة حرارة الغرفة . ومن خلال الجدول (4-11) لقيم خشونة السطح (Surface Roughness) وقيم مربع متوسط الخشونة (RMS) وقيم معدل الحجم الحبيبي (Grain Size) نلاحظ زيادة قيم كل من خشونة السطح والجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة عند التدعيم بدقائق ثنائي اوكسي التيتانيوم النانوية ثم بعد ذلك نلاحظ نقصان في هذه القيم عند التدعيم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية المضافة وزيادة متذبذبة للمترابك الهجين (EP+[TiO<sub>2</sub>/ZnO]) وكما موضح في الاشكال من (4-36) الى (4-41) للصور الثنائية والثلاثية الأبعاد (2D, 3D) ونلاحظ ان سطوح المترابك ممتلئة وانخفاض مستوى الفراغات ويمثل معدل الخشونة مقياس لجودة السطح ، إذ أن قيم الخشونة المقاسة دليلا على نعومة السطح [21] . وتتخذ الاشكال الحبيبية للمترابك كافة اشكال غير منتظمة كما توضحها الصور ثنائية وثلاثية الابعاد (2D,3D) في الاشكال السابقة ، ولوحظ أن توزيع الحبيبات على سطوح المترابك كان بشكل عام شبه منتظم وكذلك نلاحظ ان قيم الحجم الحبيبي هي ضمن مدى القياس النانوي.

**جدول (4-11): قيم خشونة السطح والحجم الحبيبي وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة للايبوكسي النقي قبل وبعد التدعيم بدقائق كل من اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الخارصين النانوية والمترابك الهجين وبنسب مختلفة.**

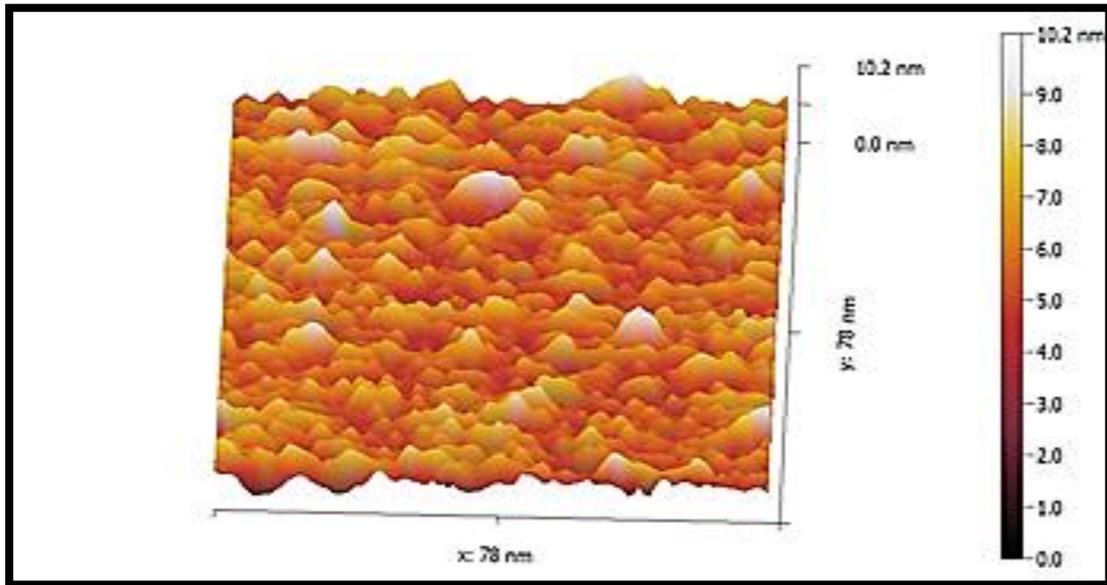
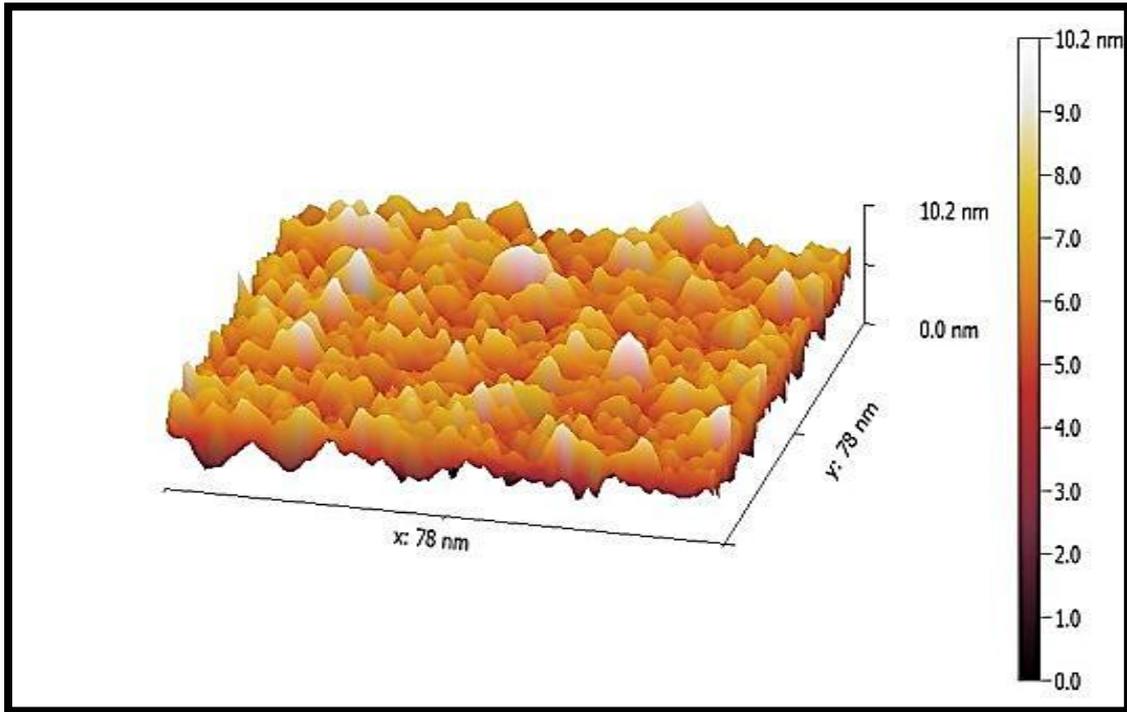
| Sample                           | Surface roughness (nm) | RMS (nm) | Average Grain size (nm) |
|----------------------------------|------------------------|----------|-------------------------|
| EP                               | 5.594                  | 6.861    | 224                     |
| EP+TiO <sub>2</sub> NPs (0.2 %)  | 7.357                  | 8.793    | 157                     |
| EP+TiO <sub>2</sub> NPs (0.8 %)  | 7.480                  | 6.002    | 107                     |
| EP+ZnO NPs (0.2%)                | 2.995                  | 2.349    | 488                     |
| EP+ZnO NPs (0.8%)                | 9.484                  | 11.60    | 148                     |
| EP+[TiO <sub>2</sub> /ZnO](0.2%) | 4.632                  | 5.546    | 151                     |
| EP+[TiO <sub>2</sub> /ZnO](0.8%) | 6.990                  | 8.317    | 146                     |



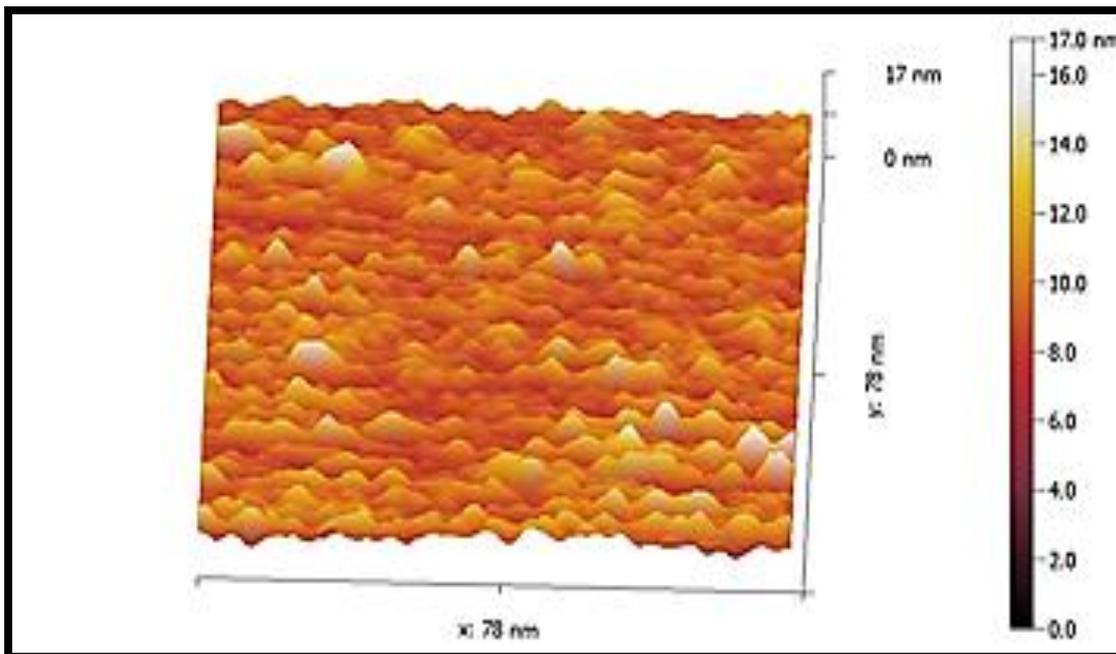
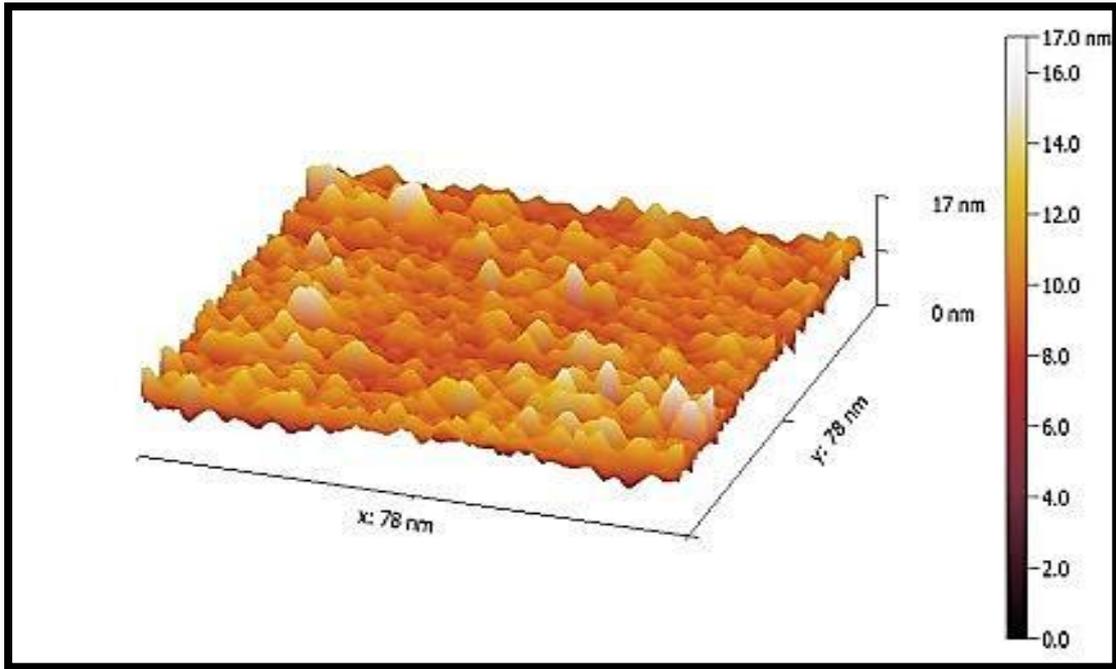
الشكل (4-36): صورة AFM ايبوكسي نقي 2D,3D



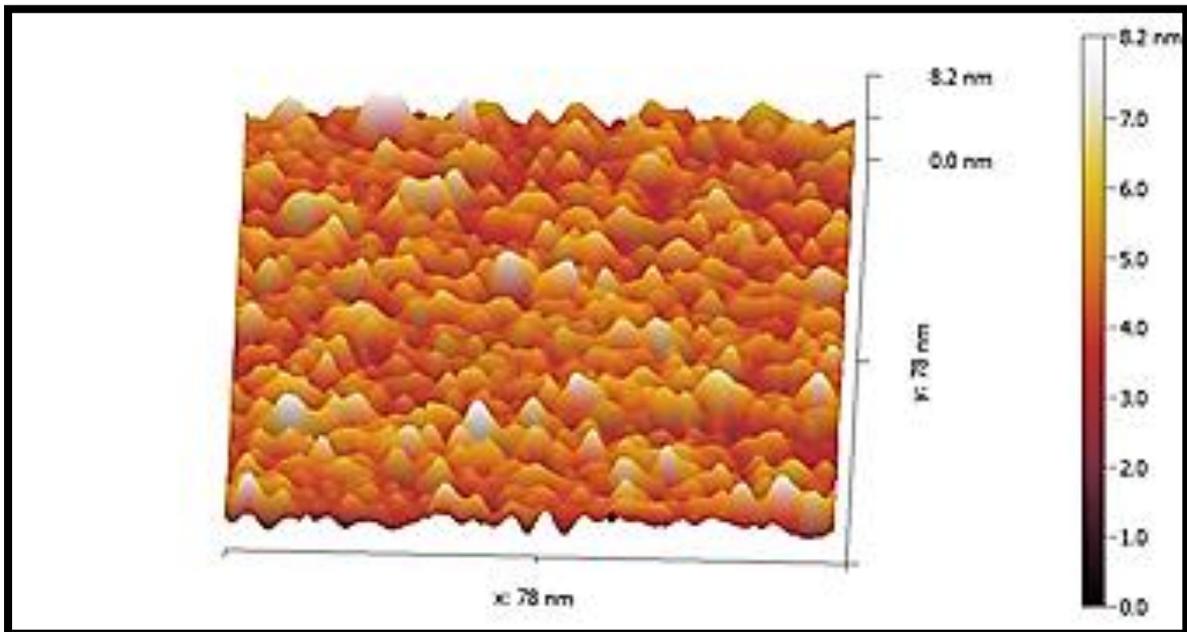
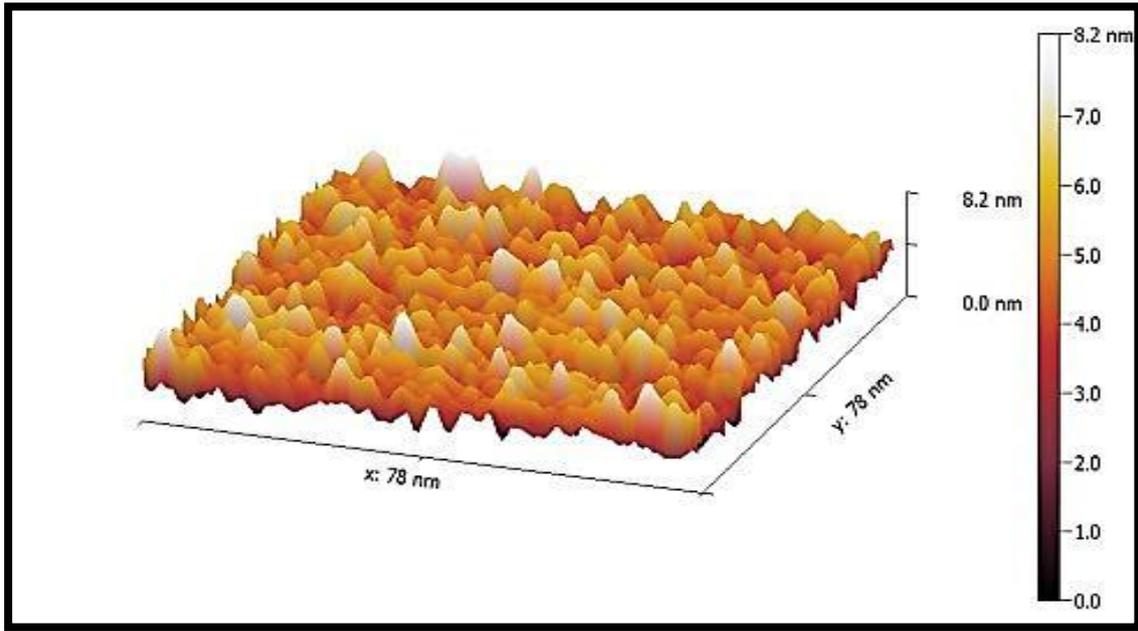
الشكل (4-37): صورة AFM متراكب الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.2 wt%) 3D,2D



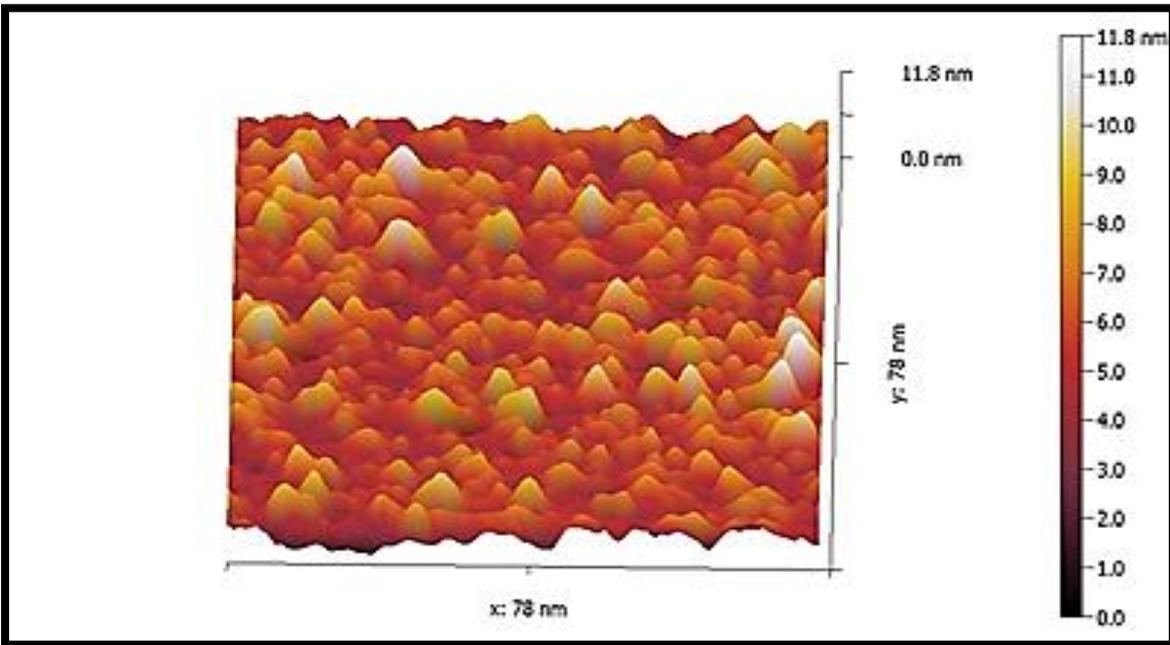
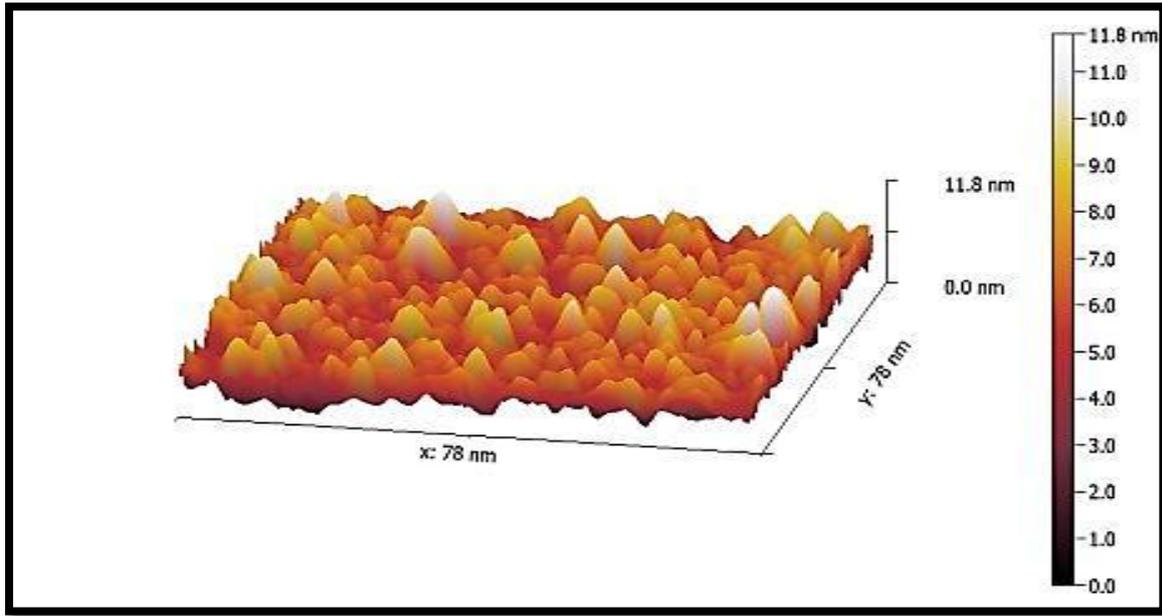
الشكل (4-38): صورة AFM لمترابك الايبوكسي المدعم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوية عند النسبة (0.8 wt%) 2D,3D



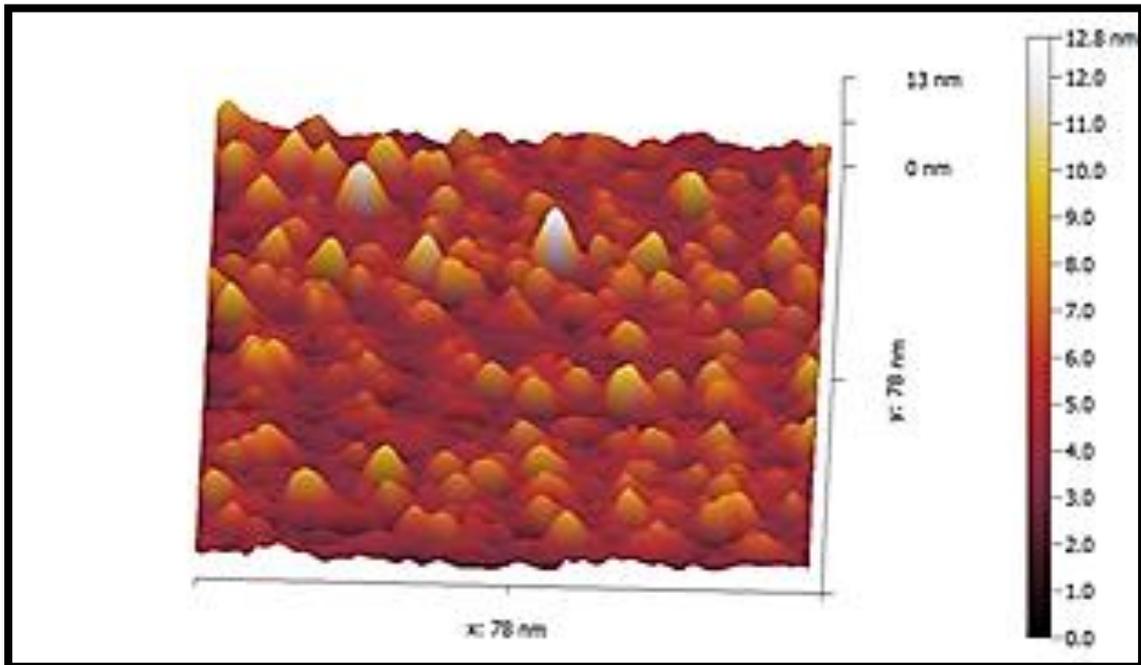
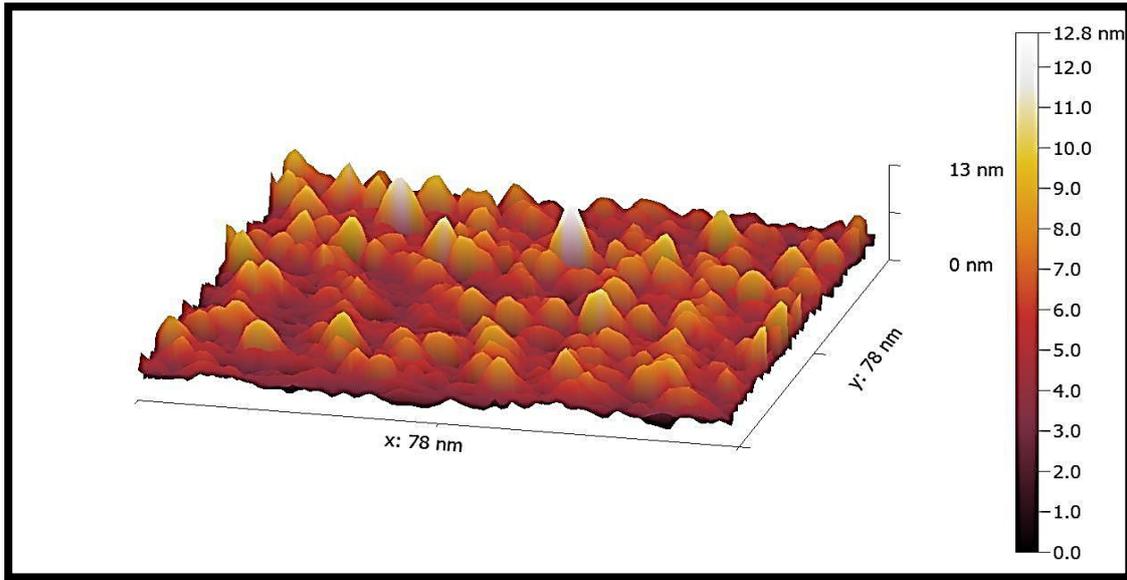
الشكل (4-39): صورة AFM متراكب الايبوكسي المدعم بدقائق الخارصين النانوية عند النسبة 2D,3D (0.2wt%)



الشكل (4-40): صورة AFM متراكب الايبوكسي المدعم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوية عند النسبة 2D,3D (0.8wt%)



الشكل (41-4): صورة AFM متراكب الايبوكسي الهجين عند النسبة ( 0.2wt %) 2D,3D



الشكل (4-42): صورة AFM متراكب الايوكسي الهجين عند النسبة (0.8wt%)  
2D,3D

### Conclusion

### (4-6) الاستنتاجات

بعد إجراء الدراسة حول التدعيم بالدقائق النانوية (ZnO, TiO<sub>2</sub>) وتأثيرها في من الخصائص الميكانيكية والحرارية والخصائص الكهربائية لراتنج الأيبوكسي تم التوصل الى بعض الاستنتاجات وهي

#### 1 - الخصائص الميكانيكية

لوحظ ان كل من مقاومة الصدمة والانضغاطية للايبوكسي النقي تزداد بزيادة النسب الوزنية المضافة لدقائق التيتانيوم النانوية ودقائق الخارصين النانوية وافضل نسبة وزنية مضافة كانت (0.8%) وللمتراكبات كافة.

#### 2- الخصائص الحرارية

- معامل التوصيل الحراري لجميع متراكبات الايبوكسي بعد التدعيم بنسب وزنية مختلفة يزداد بالمقارنة مع الايبوكسي النقي.
- بين الفحص بجهاز المسعر الحراري التفاضلي (DSC) ان درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي تزداد عند معظم النسب الوزنية لمادة التدعيم وبذلك فان هذه المتراكبات البوليمرية يمكن استخدامها كمنشطات اللهب.

#### 3-الخصائص الكهربائية

بينت نتائج ان التوصيلية الكهربائية لراتنج الايبوكسي النقي تزداد بزيادة النسبة الوزنية لمواد التدعيم دقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية والمتراكب الهجين.

#### 4 - الخصائص التركيبية والمورفولوجية

1- اظهرت نتائج فحص FTIR لراتنج الايبوكسي بعد التدعيم بنسب وزنية مختلفة من دقائق اوكسيد التيتانيوم النانوية ودقائق اوكسيد الخارصين النانوية عدم تكون روابط جديدة وملاحظة ان قسما من الاواصر تتمدد والاخرى تبقى ثابتة.

2- بينت نتائج فحص (FE- SEM) ان الدقائق المستخدمة في هذا البحث ذات شكل كروي وحجم حبيبي مقداره (60nm) لدقائق TiO<sub>2</sub> NPs و (82nm) لدقائق ZnO NPs.

3- لوحظ من نتائج مجهر القوة الذرية (AFM) زيادة قيم خشونة وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة للسطح عند التدعيم بدقائق ثنائي اوكسيد التيتانيوم النانوي TiO<sub>2</sub>NPs ونقصان قيم الخشونة وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة للسطح عند التدعيم بدقائق اوكسيد الخارصين النانوي ZnO NPs لمادة التدعيم المضافة لراتنج الايبوكسي بينما تكون الزيادة متذبذبة لمتراكب الايبوكسي الهجين (EP+[ TiO<sub>2</sub>/ ZnO]).

### Future Recommendations

### (7-4) المشاريع المستقبلية

- 1 – دراسة تأثير الغمر في بعض المذيبات على الخصائص الفيزيائية لمتراكبات الأيوكسي المدعمة بالدقائق النانوية ( $\text{TiO}_2, \text{ZnO}$ ) وللمترابك الهجين .
- 2 – دراسة التوصيلية الكهربائية المستمرة لمتراكبات الايوكسي المدعمة لدقائق ( $\text{TiO}_2, \text{ZnO}$ ) و للمترابك الهجين .
- 3 – دراسة تأثير قسم من الاشعاعات على الخصائص المورفولوجيه لمتراكبات الأيوكسي المدعمة بالدقائق النانوية ( $\text{TiO}_2, \text{ZnO}$ ) والمترابك الهجين .



المصادر

*References*

## References

## المصادر

- [1] J. W. Weeton, M. P. Dean and L. T. Karyn , "**Engineering Guide to Composite Material**", published by America society for Metals ,U.S.A., 1987.
- [2] K. J. Pascoe, "**An Introduction to the Properties of Engineering Materials**", Published by Van Nostr and Reinhold (U.K) CO. Ltd.3<sup>rd</sup> Ed., 1978.
- [3] W. D. Callister and G. David, "**Material Science and Engineering, An Introduction**", 9<sup>th</sup> Ed., John Wiley and Sons Inc., 2014.
- [4] J. D. Reechar, "**Understanding Solids, the science of materials**", Wiley and Sons Ltd, 2004.
- [5] R. F. Gibson, "**Principles of Composite Material Mechanics**", Mc . Graw Hill, Inc,NewYork,1994.
- [6] J.P. Banerjee, and S. Banerjee, "**Physics of Semicondustors Nanostructures**", 1<sup>st</sup>Edition,CRC Press,2019.
- [7] H. Geng , "**Semicondustors ManuFacturing Handbook** " The Mc Graw-Hill Company, 2005.
- [8] M. A. Kadhim, H. E. Salman, and H. A. Ali, "**Adsorption of Albumin and Creatinine on ZnO Nanoparticles**", International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance, Vol.10 , No. 4 ,PP. 689-695, 2019.
- [9] J. R. Fried, "**Polymer Science and Technology**", 3<sup>rd</sup> Edition, Pearson Education,U.S.,2014.

- [10] P.M. Visakh, A.O. Semkin, " High Performance Polymer and Their Nanocomposites" ,John Wily & Sons, U.S., 2018 .
- [11] I. A. Hamood, " **Impact behavior of epoxy blends and Composites**", M. Sc. thesis, Department of Applied Sciences, University of Technology, 2015.
- [12] R. P. Sheldon , "**Composite Polymeric Material**", School of Materials Science Publishing , London, 1982.
- [13] R. J. C. Ford , "**Plastics Engineering** ", 2<sup>nd</sup> Edition, Pergamon Press, U.K., 1987 .
- [14] امير بدران حمود، "دراسة الخواص الميكانيكية والكهربائية للمترابك Epoxy/MWCNT"، رسالة مقدمة الى مجلس كلية العلوم / جامعة بغداد وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في الفيزياء ، 2005.
- [15] A. N. Banerjee," **The design, Fabrication, and photo catalytic Utility of Nano structured Semiconductors: Focus on TiO<sub>2</sub> – based Nano structures**", Dove Press Journal : Nano technology, Science and Applications,Vol.4,No.218,PP.35-65,2011.
- [16] N. H. Aysa ,M. H. Al-Maamori and N. A .Al-Maamori ,"**Preparation and Surface Modification of Zinc Oxide Nanoparticles**",JournalofBabylon University,Vol.25,No.2,PP.503-497,2017.
- [17] Y. B. Hahn, " **Zinc oxide nanostructures and their applications** ", Korean Journal of Chemical Engineering, Vol.28,No.9, P.1797, 2011.

- [18] H. Mirzaei, and M. Darroudi, , "**Zinc oxide nanoparticles : Biological synthesis ad biomedical applications**", Ceramics International ,Vol.43,No.1 ,PP. 907-914,2017.
- [19] Y. Wenhui, Y. Xu, X. Man ,H. Sisi , and C. Xiaolong " **on dielectric properties in ZnO/epoxy resin composites**", Transactions on Electrical and Electronic Materials1, Vo.13, No. 3, PP. 116-120 , 2012.
- [20] P. Ghosh ,A. Pathak, M. Goyat, and S. Halder , " **Influence of nanoparticle weight fraction on morphology and thermal properties of epoxy / TiO<sub>2</sub> nanocomposite**", Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol.31, No. 17, PP. 1180-1188, 2012.
- [21] L. Rajabi, Z. Mohamadi and A.A. Derakhan,"**Thermal Stability and Dynamic Mechanical Properties of Nano and Micro TiO<sub>2</sub> Particles Reinforced Epoxy Composites: Effect Mixind Method**", Iraian Journal of Chemical Engineering,Vol.10,No.1,PP. 16-29,2013.
- [22] C. Tsonos , A. Kanapitsas,G. Psarras, and T. Speliotis,"**Effect of ZnO Nanoparticles on Thermal Properties of Epoxy-Based Nanocomposites**", Science of Advanced Materials, Vol. 7, No3, PP.588-597, 2015.
- [23] A. Q. Abd Allah, H. S. Hussain, and K. S. Mohan,"**Dielectric properties of EP/TiO<sub>2</sub> ; EP/MgO nano composites "**, Department of physics ,College of Science ,Baghdad University , V0l.14, No.31 , PP.116-121 , 2016 .

[24] براء جمال رشاد ، احمد حماد الفلاحي ، بلقيس محمد الدباغ ، "دراسة بعض الخواص الميكانيكية والتوصيل الحراري لمتراكبات (Epoxy/ TiO<sub>2</sub> – ZnO) النانوية الهجينة" ، مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة ، المجلد الحادي عشر ، العدد الثاني، 2017.

[25] P. Prasob and M. Sasikumar," **Static and dynamic behavior of jute/ epoxy composites with ZnO and TiO<sub>2</sub> fillers at different temperature conditions**", Polymer Testing, Vol. 69, No.21, PP. 52-62, 2018.

[26] K. N. Abd ," **Preparation and study the effect of nano Zinc oxide particles Upon Some Mechanical and Thermal Properties**", Kirkuk University Journal/ Scientific Studies (KUJSS),Vol.14, Issue 4, PP. 109-130, 2019 .

[27] كنعان خليل احمد ، "دراسة تأثير جزيئات الانابيب النانوية لثاني اكسيد التيتانيوم على متراكبات البوليمرات الجديدة" ، مجلة ابحاث كلية التربية الاساسية ، المجلد 15، العدد 2 ، الصفحات 1475-1508، 2019.

[28] N. S. Majeed , S. M. Salih , and B. A. Abduimajeed ,"**Effect of nanoparticles on thermal conductivity of epoxy resin system**", IOP Conference Series : Materials Science and Engineering , Vol.518 , Issue 6 , 2019.

[29] S. Thipperudrappag ,A. Kini , and A.Hiremath,"**Influence of Zinc oxide nano particles on the mechanical and thermal responses of glass fiber-reinforced epoxy nano composites**", polymer composites , Vol. 41, No. 1, PP.174-181, 2020.

[30] B. A . Abass , M. B. Hunain and J. M. Khudair, " **Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles on the Mechanical Strength of Epoxy Hybrid**

**Composite Materials Reinforced with Unidirectional Carbon and Glass Fibers"**, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1094, No. 1, 2021.

[31] S. G. Thakor, V. A. Rana, H. P. Vankar and T. R. Pandit, "**Dielectric spectroscopy and structural characterization of nano-filler-loaded epoxy resin"**, JOURNAL OF ADVANCED , Vol. 11, No. 2, P. 12, 2021.

[32] B. Harris, "**Engineering Composite Material"**, Institute of Materials London, 1999.

[33] F. Kreith, "**Mechanical Engineering Handbook (Section-12-) Composites by victor A. Green hut"**, CRC Press LTD., 1999.

[34] S. I. Kakani and A. Kakani, "**Material Science"**, New Age International LTD., Publishers, PP.594-596, 2004.

[35] M.A. Meyers and K. K. Chawal, "**Mechanical Behaviour of Materials"**, Prentice Hall, 1999.

[36] D. Hull. And T. W. Clyne, "**An Introduction to Composite Materials"**, 2<sup>nd</sup> Ed., Cambridge University Press, New York, 1996.

[37] J.W.S. Hearle, "**Polymer and Their Properties"**, Vol.1, John Wiley and Sons, Ellis Horwood Ltd, New York- USA, 1982.

[38] W.D. Callister and D.G. Rethwisch, "**Materials science and Engineering An Introduction"**, John Wiley and sons, Inc., New York, 2014.

- [39] D. J. Collins, " **Damage Detection in Composite Materials Using Acoustic Emission and Self-Sensing Fibers**", Department of Metallurgy and Materials School of Engineering, the University of Birmingham ,2009.
- [40] R. M. A. Najla,"**The Manufacture and Study The Mechanical and Thermal Properties of Polymer blends and Other are Subsidized**",Ph.D. thesis , Department of Applied Science- University of Technology, 2002.
- [41] A. Al. A. Georgis and A. K. Al. G. Hussein ,"**Technology and Polymer Chemistry**", Faculty of Science – University of Basra , 1983.
- [42] F.W. Billmeyer ,"**Text book Polymer Science**", John Wiley and Sons , Inc. New York, 1971.
- [43] N. G. Mccrum, C. P. Buckley and C. B. Bucknall, "**Principle of Polymer Engineering**", 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, New York,1997.
- [44] A. Kaw, "**Mechanics of Composite Materials** ", Taylor and Francis , 2006.
- [45] K. K. Chawla, "**Composite Materials: Science and Technology**", Springer, New York, 2012.
- [46 ] W. M. Haynes and D. R. Lide, "**CRC Hand Book of Chemistry Physics**",95 Thed, CRC Press, 2014.
- [47] Z. H. Gan, G. Q. Yu, B. K. Tay, C. M. Tan , Z. W. Zhao and Y. Q. Fu, "**Preparation and Characterization of Copper Oxide Thi Films Deposited by Filtered Cathodic Vacuum Arc**", J. of Physics D. Applied Physics , Vol. 37, No. 1, P. 81, 2004.

- [48] J. G. Morely, " **High Performance of Fiber Composites**", University of Nettingham, U.K, 1987.
- [49] Z. A. I. Al-Jeboory," **Study of The Physical Properties of Reifored Polymer Blends**", A Master Thesis , College of Science , Al- Mustansiryah University, 2004.
- [50] Seymours, "**Polymeric Composites**", Vsp. Vtrecht. The Netherlands , Aldenpress Oxford, 1990.
- [51] G. Premamoy , "**Polymer Science and Technology of Plastics and Rubbers**", TATAMC Graw- Hill, New Delhi ,1990.
- [52] P.C. Hiemenz, T.P. Lodge,"**Polymer chemistry**", CRC press, 2007.
- [53] T. A. Osswald, N. Rudolph,"**Rheology Polymer : basicities and applications**", Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2014.
- [54] G. A. Al. Adam and H. A. K. Al- Kitaa, "**Technology and Polymer Chemistry**", University of Basra, College of Science, 1983.
- [55] P. A. Thernton and V. J. Colangelo ," **Fundamentals of Engineering Materials**", Prentice- Hall, Inc, 1985.
- [56] P. M. Jean, Z. Gerald and W. Kurz," **Introduction to Materials Science**", Ch 15 polymer Structures, University of Tennessee, Dept. of Materials Science and Engineering, Elsevier, 2002.

- [57] J. R. Frid, "**Polymer Science and Technology** ", 2<sup>nd</sup> Ed.,2003
- [58] D. Hull, " **An Introduction to Composite Matrials**" , Cambridge University Press, First Published, New York, 1981.
- [59] صالح هيثم رزوقي ، "دراسة خواص المواد البوليمرية المقواة بدقائق الالمنيوم" ، رسالة الماجستير، قسم هندسة الانتاج والمعدات ، الجامعة التكنولوجية ، 2002 .
- [60] H. S. Kaufman, and J.J Falcetta, " **Introduction of Polymer Science and Technology**", John Wiely and Sons, Inc. , NewYork, 1997.
- [61] الديري ، فواز، " **الجزينات الضخمة والصناعات البلاستيكية** "، جامعة دمشق – كلية العلوم ، 1996.
- [62] وسن جبار مناتي ، " **دراسة السلوك الدقائقي لمادة متراكبة بوليميرية دقائقية** "، رسالة ماجستير ، قسم العلوم التطبيقية ، الجامعة التكنولوجية ، 2005.
- [63] A. A. Mohammed, " **Plastics Chemistry**", Library Printing and Publishing, University of Mosul, 1993.
- [64] R. H. John, Translation., N. Al. Z. Mehdi, and A. S. Qais, "**Principles of General Chemistry and Organic and Bio**", Part 2, John Riley House Publishers, Basra, 1978.
- [65] H. M. Al. S. Bushra, " **Study Mechaical Properties of Polymer Blend Using Thermoplastic Polymers**", Master Thesis, Department of Material Applied Sciences, University of Technology, 2007.

- [66] D. Ratna, " **Handbook of thermoset resins** ", ISmithers Shawbury, UK., 2009.
- [67] H. Panda,"**Epoxy resins technology handbook (manufacturing Process, Synthesis, epoxy resin adhesives and epoxy coating)**",Asia Pacific Business Press Inc. 2019.
- [68] D. L. C. Deborah ," **Composite Materials Science and Applications**", Second Edition Springer- Verlag London Limited , 2010.
- [69] S. M. Lee Editor, " **International Encyclopedia of Composite**", VCH Publishers, Inc., 1990.
- [70] A. H. Charles," **Modern Plastics Handbook**", Mc- Graw Hill Co.,2000.
- [71] M. A. Marciano, R. Ordinola- Zapata, T. V. R. N. Cunha, M. A. H. Duarte, B. C. Cavenago, R. B. Garcia, C. M. Bramante, N. Bernardineli and I. G. Moraes," **Analysis of Four Gutta-Percha Techniques Uesd To Fill Mesial Root Canals of mandibular Molars**", International Endodontic Journal, Vol. 44, No. 4, PP. 321-329, 2011.
- [72] V. K. Thakur, M. K. Thakur,and M. R. Kessler, " **Handbook of Composites form Renewable Materials , Nano composites : Science and Fundamentals**", John Wiley& Sons, 2017.
- [73] محمد شريف الاسكندراني ، " **تكنولوجيا النانو من اجل غد افضل**" ، عالم المعرفة ، 2010 .
- [74] R. Casati, " **Aluminum matrix composite reinforced with alumina nano particles**", Springer, 2016.

[75] A. N. Banerjee, " **The design, Fabrication, and photo catalytic Utility of Nano structured Semiconductors: Focus on TiO<sub>2</sub> – based Nano structures**", Dove Press Journal : Nano technology, Science and Applications, Vol.4, No.218, PP. 35-65, 2011.

[76] Y. Huang, C. Min Lin, C. Chen and H. Encheng, " **The heterojunction effects of TiO<sub>2</sub> nano tubes fabricated by atomic layer desposition on photo carrier transportation direction**", Nano scale Research letters, Vol. 7, No.1, PP. 1-7 , 2012.

[77] V. Caratto, M. Ferretti, L. Setti, " **Synthesis of TiO<sub>2</sub> rutile nano particles by P L A in solution**", Applied surface science , Vol. 258, Issue 7 , PP. 2393-23988, 2012.

[78] M. Ladmann, E. Rauls and W. Schmidt, " **The Electronic structure and optical Response of Rutile, Anatase and Brookite TiO<sub>2</sub>** ", Journal of physics: condensed Matter, Vol. 24, No. 195503, pp. 1-6, 2012.

[79] M. Wang, S. H. Hahn, E. J. Kim, C. Park, and K. K. Koo, " **Chemical Solution deposition of ZnO thin films With controlled crystallite orientation and intense ultraviolet emission**", Thin Sold Film , Vol. 516, Issue 23, PP.8599-8603, 2008.

[80] مهدي ناجي الزكوم، " **الكيمياء اللاعضوية** "، كتاب مترجم ، الجزء الثاني ، 1988.

[81] Y. N. AL-Jammal , " **Solid State Physics**", AL- Mousul University Press, Arabic Version, 1990.

[82] N. N. Green Wood and A. Eran Shaw, " **In Chemistry of the Element**" , 2<sup>nd</sup> Edition Butter Worth, U. K, 1997.

[83] V. K. Thakur, M. K. Thakur, R. K. Gupta, " **Hybrid polymer composite materials: structure and chemistry**", Woodhead publishing, 2017.

[ 84] هند وليد عبد الله، " دراسة خاصيتي الكلال والانتشاء لراتنج الايبوكسي المدعم بألياف الكفلر والزجاج ومترابكات هجينة "، رسالة ماجستير، كلية العلوم للبنات، جامعة بغداد، 2012.

[85] W. David , " **Metal Structure and Thermal Properties and Transactions**" ,Translated by Jafar Al- Haidari and Adnan Nama, Baghdad University of Technology , 1989.

[86] M. A. Meyers and K. K. Chawla," **Mechanical Behavior of Materials**", 2<sup>nd</sup> Ed. Cambridge University Press, 2009 .

[87] S. Siti and A. G. Supri , " **LDPE-Isophthalic Acid- Modified Egg Shell Powder Composites (LDPE / ESPI)**", Journal of Physical Science , Vol.20, No. 1, PP. 87-98, 2009.

[88] I. B. David ," **An Introduction to Polymer Physics**", Cambridge University Press, 2002.

[89] R. L. Timings, " **Engineering Materials**", Vol.1, 2<sup>nd</sup> Ed., Pearson Education LTD, England , 1998.

[90] ASTM, "**Annual Book of ASTM**", Standard Section 15- General Products, Vol.15, No. 3, 1985.

[91] D. Hull, "**An Introduction to composite Materials**", 1<sup>st</sup> edition , first published, Cambridge University Press U. K., 1980.

[92] G. Tolf and P. Clarin, ", **Comparsion Between Flexural andTensile Modulus of Fiber Composites**", Fiber Science and Technology, Vol. 21, Issue4,PP. 319-326, 1984.

[93] احمد احمد سرحان ، " دراسة الخصائص الميكانيكية والحرارية لمتراكبات بوليمرية من قشور جوز الهند "، رسالة ماجستير ، علوم تطبيقية – الجامعة التكنولوجية، 2007.

[94] M. Ranogajes, M. Djuric , M. Radeka, and P. Jovanic , " **Influence of particle size and furnace atmosphere on the sintering of powder for tiles production**", Cermics- Silikaty, Vol. 44, No.2, PP. 71-77, 2000.

[95] M.F. Al-Hilli," **Effect of Molding Pressing Force on Properties of High-Voltage**", Iraqi Journal of Science, Vol.56, No.4, PP.3421-3426, 2015.

[96] D. R. Askeland, " **The Science and Engineering of Materials**", sixth edition, Cengage Learning, USA, 2011.

[97] 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.

[98] E. Grimsehl "A **Textbook of Physics**", Vol.11, Blackie and Sons, London, 1994.

[99] M. P. Duncan and J. Mark, " **Thermal Conductivity of PTFE and PTFE Composites**", Material Characterization by Thermal Analysis and Calorimetry, Vol.392-393, No. 15, PP. 231-236, 2002.

[100] R. O. Bolt and J. G. Carrol, "**Radiation Effect of Organic Materials**", Academic press, New York, 1963.

- [101] Y. Sheng, S. Jiang and H. Tsao, "**Effects of Geometrical Characteristics of Surface Roughness on Droplet Wetting**", The Journal of Chemical Physics, Vol.127, No.23, PP. 234704-1–234704-7, 2007.
- [102] T.G. Fox and P. J. Flory, "**The Glass Temperature and Related Properties of Polystyrene Influence of Molecular Weight**", Polymer Chemistry, Vol.14, Issue75, PP. 315-319, 1954.
- [103] B. Louis, H. Jean and L. A. Shadi, "**Effect of Molecular Weight on Glass Transition by Diflerential Scanning Calorimetry**", Canadian Journal of Chemistry , Vol.52, No.18, PP. 3710-3714, 1974.
- [104] K. C. Kao, "**Dielectric Phenomena in Solid**", Elsevier Academic Press, 2004.
- [105] H. R. Allcocke, F. W. Lampe and J. E. Mark, "**Contemporary Polymer Chemistry**", 3<sup>nd</sup> Ed., Pearson Education, Inc, Upper Saddle River, New Jersey, 2003.
- [106] 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.
- [107] E. Riande, R. Diaz-Calleja, "**Electrical Properties of Polymer**", CRC Press, 2004.
- [108] W. D. Callister, D.G. Rethwisch, "**Materials science and engineering: an introduction**", John wiley and sons New York, 2007.

[109] R. A. Abbas," **Studing Some Dielectric Properties and Effective Parameters of Composite Materials Containing of Novolak Resin**", Engineering and Technology, Vol.25,No. 8, PP.277-288, 2007 .

[110] T. W. Dakin, "**Conduction and Polarization Mechanisms and Trends in Dielectrics**" ,IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 22, No. 5, PP. 11-20, 2006.

[111] P. Maheshwari," **Electronic Components and Processes**", New Age International Publishers: New Delhi, India, 2007.

[112] نور ظايف حايف الشواك ، " تحضير ودراسة الخصائص الفيزيائية لمادة متراكبة ذات اساس بوليمري مدعمة بمواد نانوية " ، رسالة ماجستير ، كلية التربية ، الجامعة المستنصرية ، 2014 .

[113] R. H. Boyd, G. Smith," **Polymer Dynamics and Relaxation**", Cambridge University Press, 2007.

[114] R. E. Nwenham," **Properties of Materials Anisotropy Symmetry, Structure**", Oxford University Press, 2005.

[115] E. O. Knuston and K. T. Whitby," **Aersol Classifications**",Aerost Sc. Vol.6 , PP. 443-451, 1975.

[116] D. A. Neamen, " **Semiconductor Physics and Devices**", Australia, 1992.

[117] M. N. J. Al-Delaimi, "**The Effect of Ni, Cu, CB, Additives on Electrical, Optical and Mechanical Properties of PMMA**", Ph.D. Thesis, University of Baghdad/College of Science, 1996.

[118] P. J. Nigrey, D. Maclunes, J. D. D. Nairns, A. J. Macdiarmid, and A. G. Heegen, " **Conductive Polymer**", R. B. Seymour, Ed., Plenum Press, New York, 1981.

[119] K. Gupta, B. S. Brar and E. Wolde, " **Effect of Filled Addition on the Compressive & Impact Properties of Glass Fiber Reinforced Epoxy**", Bulletin of Materials Science, Vol.24, No.2, PP. 219-223, 2001.

[120] P. Miller, R. Yang, " **scanning tunneling and atomic force microscopy combined**", Applied Physics Letters, Vol. 52, No 26, PP. 2233 - 2235, 1988.

[121] M. Marrese, V. Guarino, and L. Ambrosio, " **Atomic Force Microscopy : A Powerful Tool to Address Scaffold Design Tissue Engineering**", Journal to of Functional Bio materials , Vol.8, Issue 1,P.7 2017.

[122] Y. Zheng, R. Ning and Y. Zheng, " **Study of SiO<sub>2</sub> Nanoparticles on the Improved Performance of Epoxy and Fiber Composite**" Journal of Reinforced Plastics and Composite, Vol.24, No.3, PP. 223-233, 2005.

[123] N. A. Ali, S. I. Hussein, M. K. Jawad and I. A. Al-Ajaj, " **Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> Nanoparticle on Wear , Hardness and Impact behavior of Epoxy Composites**", Chemistry and Materials Research , Vol.7, No.4, PP.2225-3224, 2015.

[124] مصطفى زيد عبد الله عزيز، عبد الحميد الصراف ، بلقيس محمد ضياء الدباغ، "دراسة تأثير درجة الحرارة على بعض الخواص الميكانيكية لمتراكبات منفردة وهجينة"، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد 24، العدد 2، الصفحات 10، 2011.

[125] B. S. Mitcheu, " **An Introduction to Material Engineering and Science**", Unted states of America ,2004.

[126] R. Kochetov, A. Thomas, M. Peter ,and S. Johan, " **Thermal and electrical behavior of epoxy – based microcomposites filled with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> particles**", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, PP. 1-5, 2010.

[127] T. Ahmad, O. Mamat and R. Ahmad," **Studying the Effect of Adding Silica Sand Nanoparticles on Epoxy Based Composites**", Hindawi publishing Corporation, Journal of Nanoparticles, Vol. 2013, No.1, PP.5, 2012.

[128] هدى جبار عبد الحسين ، " **تصنيع عوازل حرارية وكهربائية من متراكبات الايبوكسي الدقائقية**" ،مجلة كلية التربية الاساسية ، المجلد 21، العدد 89 ، صفحات (1-16)، 2015.

[129] N. G. Mccrum, C. P. Buckly and C. B. Bucknall, " **Principle of Polymer Engineering**", 2<sup>nd</sup> Ed. , Jhon Wily& Sons, New york, 1997.

[130] S. S. Vaisakh, A. P. Mohammed, M. Hassanzadeh, J. F. Tortorici , R. Metz and S. Ananthakumar, " **Effect of Nano- modified SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Mixedmatrix Micro- Composite Fillers on Thermal, Mechanical, and Tribological Properties of Epoxy Polymers**", polymer Advanced Technologies , Vol.27, Issue 7, PP.905-914, 2016.

[131] R. Popielarz, C.K. Chiang , R. Nozaki, and J. Obrzut, " **Dielectric Properties of Polymer/ Ferroelectric Ceramic Composites from 100Hzto 10 GHz**", American Chemical Society, Vol.34, No.17, PP. 5910-5915, 2001.

[132] S. Singha and M. Joy Thomas, " **Dielectric Properties of Epoxy Nanocomposites**", Indian Institute of Science, Vol.560 ,PP. 12-23 ,2012.

- [133] T. M. H. Costa, M. R. Gallas, E. V. Benvenuti, and J. A. H. dajornada, **"Study of Nanocrystalline  $\gamma$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Produced by High-Pressure Compacts,"** Journal of American Chemical Society, Vol. 103, No.21, PP. 4278-4284, 1999.
- [134] ] A. J. Haidar, Z. N.Jameel , and S.Y. Taha,' **Synthesis and Charactertizati on of  $\text{TiO}_2$  Nanoparticles via sol Gel method by Pulse Laser Ablation"**, Engineering and Technology Journal, Vol.33, No.5, PP. 1-11 , 2015.
- [135] K. Thamaphat, P. Limsuwan, and B. Ngotawornchai,"**Phase Characterization of  $\text{TiO}_2$  Powder by XRD and TEM"**, Kasetsart J. (Nat.Sci.) , Vol.42, No. 5, PP.357-361, 2008.



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



# **Study the effect of TiO<sub>2</sub> and ZnO Nanoparticles on some physical properties of polymer composites**

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

**NADHEEMA JASIM MOHAMMED**

B. Sc. In Physics (1998)

**Supervised by**

**Assist. Prof. Olfat Ahmad Mahmood**

2021 A.D.

1443 A.H.

## **Abstract**

In this study the additive effect of ( Titanium dioxide TiO<sub>2</sub>NPs and zinc oxide ZnONPs) nanoparticles to the epoxy resin as a matrix have been studied . In addition to the manufacturing of hybrid compounds from the same nanoparticles which are (TiO<sub>2</sub> / ZnO) depending on the epoxy also as a base material. The hand lay- up method is using to manufacturing the composites from the epoxy resin and nanoparticles with different weight ratios (0.2,0.4,0.6,0.8,1) w t% , the mechanical properties such as (impact strength, compression strength) and some physical properties such as (thermal conductivity , Glass Transition Temperature, alternating electrical conductivity and structural and morphological properties such as (FTIR, FE(SEM),AFM)) tests have been done of all prepared composites.

The results of the mechanical tests showed that both the impact strength and compressive strength increase compared to the epoxy resin when adding the weight fraction of titanium nanoparticle and zinc nanoparticle to all samples that were manufactured.

The thermal conductivity results showed that the value of the thermal conductivity coefficient of the pure epoxy is ( 0.0016 (W/mK)), and this value increases with the increase in the weight fraction of titanium and zinc particles for all the composites and for the epoxy composite reinforced with zinc oxide particles (0.002 (W/mK)) and the hybrid composite (0.004 (W/mK)).

. The results of the DCS analysis showed that the Glass Transition Temperature of all epoxy composites increase at all ratios of reinforcement materials compared with pure epoxy and the highest value of glass transition temperature is to the composite (EP+TiO<sub>2</sub>) which is equal (67°C)

The results of the electrical test showed an improvement in the alternating electrical conductivity of pure epoxy by increasing the frequency and by increasing the reinforced materials (Titanium dioxide and zinc oxide) nanoparticles to pure epoxy.

The FTIR results the epoxy resin after cementing with different weight ratios of the nanoparticles revealed that there are bonds that extend through the movement and others that remain stable. While the results of The FE-SEM test

showed that Morphology of Zinc Oxide and Titanium dioxide Nanoparticles nearly spherical and the grain size, where the average particle size of TiO<sub>2</sub> NPs nanoparticle was (60nm), while the ZnO NPs nanoparticle had an average grain size of (82nm).

The results of AFM for all epoxy composites showed that both the surface roughness and the square root of the mean roughness square increase when increasing the weight ratios of the reinforcement Titanium dioxide Nanoparticles , as well as a decrease the weight ratios of the reinforcement the of Zinc Oxide granular size values when increasing the weight ratio of the reinforcement added to the epoxy resin and the square root of the mean roughness square of the EP+[TiO<sub>2</sub>NPs/ZnO NPs] hybrid epoxy composite.