



## دراسة واستقصاء السلوك الميكانيكي والحراري لمادة مركبة مقواة برماد قشور الرز

سلسبيل كريم برهان

جامعة الفرات الاوسط التقنية - المعهد التقني / بابل

Salsbeel2010@yahoo.com

### الخلاصة :

يهدف العمل الحالي الى تهيئة مادة مركبة مصنعة من البولي استر غير المشبع UPS مقواة برماد نانوي من مخلفات قشور الرز الطبيعية Nano-Rice Husk Ash ودراسة بعض خواصها الميكانيكية والحرارية. هيأت عينات الاختبار بثلاث نسب وزنية وهي ( 2، 6، 10 % ) ولجميع الاختبارات المنجزة في هذا العمل. وتم استخدام تقنية التشتيت بالموجات فوق الصوتية Dispersion by Ultrasonic Waves للحصول على تشتيت متجانس لطور التقوية داخل الطور الاساس. تم اجراء فحوصات أولية بأستخدام تقنية حيود الاشعة السينية XRD للتعرف على ماهية المادة المتخلفة بعد الحرق ، وأظهرت النتائج تخلف مادة السيليكا  $SiO_2$  فقط. أجري أيضا فحص المجهر الالكتروني الماسح SEM لمعرفة الحجم الحبيبي ودراسة طوبوغرافية السطح Topography وبين الفحص بأن الحجم الحبيبي يقع بين مدى (100- 500) نانو متر ، وجود تشتيت متجانس للمادة النانوية وألتصاق عالي بين الطورين إضافة لوجود بعض التجمعات النانوية Agglomeration Particles بحجم حبيبي أكبر من 1 مايكرون. تم اجراء الاختبارات الميكانيكية كالشد ، الانحناء ، الانضغاط ، الصدمة والصلادة وأظهرت النتائج تحسن ملحوظ عند النسبة 6% وانخفاضها بعد هذه النسبة. تم اجراء اختبار معامل التوصيلية الحرارية وأظهر الاختبار وجود معامل توصيل منخفض جدا يقع بين مدى ( 1,3 - 1,8 ) \*  $10^{-10}$  واط/ متر \* م<sup>0</sup> لذا من الممكن استخدام هذه المادة في مجال صناعة الواح العزل الحراري .

الكلمات المفتاحية : رماد قشور الرز ، الموجات فوق الصوتية ، خواص ميكانيكية ، خواص حرارية ، حشوات نانوية .

# INVESTIGATION OF MECHANICAL AND THERMAL BEHAVIOR OF COMPOSITE MATERIAL FILLED RICE HUSK ASH

Salsabeel K. Burhan

AL-Furat AL-Awsat Technical University, Babylon Technical Institute

Salsbeel2010@yahoo.com

## ABSTRACT

The aim of this work is to prepare a nano-composite material from unsaturated polyester resin(UPS) filled with nano-rice husk ash (Nano-RHA) and study its mechanical and thermal properties. Samples were prepared with three percentage weight (2,6,10%) of nano-RHA. Dispersion by ultrasonic waves technique was used to disperse nano particles reinforcement within the matrix. X-Rays diffraction technique had used to investigate the resulted material after combustion, the results show that Silica (SiO<sub>2</sub>) was only found. SEM study show that silica particles size range (100-500 nm) and it was dispersed uniformly and adhere strongly with the matrix and there was some agglomeration particles with size up to 1 μm. Mechanical tests such as tensile, compression, bending, impact and hardness were performed and results show an improvement at 6% nano-RHA and then decreasing. Coefficient of thermal conductivity test show very low value of coefficient of thermal conductivity ranged (1.3 – 1.8) \* 10<sup>-10</sup> w/m.c<sup>o</sup>, therefore, the UPS-Nano RHA composites can be used in thermal insulation sheets industry.

**KEY WORDS :** Rice husk ash , ultrasonic waves , Mechanical properties, Thermal properties, Nano- fillers .

## مقدمة :

تمثل المواد المركبة ذات الاساس البوليمر المتصلد بالحرارة polymer-based thermoset composite صنفاً مهماً لهذه البوليمرات ، خصوصاً في التطبيقات التركيبية في صناعة الطائرات ، السيارات ، الصناعات البحرية و غيرها . ان خاصية المقاومة النوعية العالية ( مقاومة/كثافة) جعلت هذه المواد منافسة للمواد المعدنية بل و كبديلاً لها. ومع التطور الحديث لتقنية النانو، فإن المواد المركبة النانوية المتصلدة بالحرارة قدمت العديد من الفوائد و المزايا مقارنة بتلك المواد المركبة التقليدية [ Sydney H Goodman & Hanna Dodiuk, 2014. Hussain F. et al, 2006 ] . يعد البوليمر غير المشبع من اكثر انواع المواد البوليمرية استخداماً في وقتنا الحالي حيث يدخل في صناعة السيارات ، الطائرات ، بناء السفن و بالاجهزة الالكترونية لقلته كلفته ، ادائه العالي و سرعة تشكيله . المواد المركبة ذات الاساس البوليمري يجب ان تتحمل الاحمال الميكانيكية و البلى و الاحتكاك ، لذا يتم تقويتها بحشوات نانوية nanofillers [ Obikwelu, D.et al, 2008. J. Prasad Raoa & Kurt E. Geckeler, 2011 ] . هذه الحشوات قد تكون طبيعية natural مثل نشارة الخشب او تجارية مثل اسود الكربون و الطلق [ 2012 , E.P. Ayswarya et al ] . الحشوات ذات المصدر الطبيعي تمثل الجيل الجديد للمالئات مثل الالياف الطبيعية و النواتج العرضية لبعض الصناعات كنشارة الخشب ، قشور الرز و رماد السليكا silica ash

- هو مادة مخلفة صناعياً- يعتبر اضافة جديدة للمواد المائلة و الذي ينتج عن طريق حرق قشور الرز [D.S. Chaudhary et al, 2004]. في البلدان المنتجة للرز تعتبر قشور الرز مخلفات متكسدة بكميات كبيرة تبلغ اكثر من 80 مليون طن . بعض البلدان تستخدم القشور كوقود للطبخ الا ان حرقها غير التام يسبب مشكلة بيئية لذا ظهرت جهود ليس للقضاء على هذه المشكلة فقط و انما لاضافة قيمة لهذه المخلفات و استخدامها كمصدر ثانوي للمواد [ S. Chandrasekhar et al, 2004. D.S. Chaudhary et al, 2003]. يبلغ انتاج العالم سنوياً للرز حوالي 500 مليون طن و ان 20% من حبة الرز هو قشور و 20% من القشور بعد الحرق تتحول الى رماد و بالتالي فان 20 مليون طن من الرماد يمكن انتاجه [ N. Soltani et al, 2014]. و بما ان المكون الاساسي للرماد هو سليكا و بنسب عالية ( 55-97% ) لذا يعتبر الرماد مصدراً للسليكا تستخدم كمادة بوزلانية تضاف لمونة السمنت لتحسين خواصها كمقاومة الانضغاط و الشد و معيار الكسر ، و يمكن استخدامها لتحضير مواد مركبة لتحسين خواص مادة الاساس المستخدمة و بذلك يتسع مجال تطبيقها صناعياً و ايضا يستخدم لتصنيع بعض المركبات كالزبولاييت و سليكات الالمنيوم و السليكا جل [ "Hasliza B., 2005. Dr.Shivappa et al, 2013. جاسم عطية علوان ، 2014].

## الجزء العملي

### 1- المواد المستخدمة

#### 1-1 بولي استر غير مشبع **Unsaturated polyester** :

استخدم راتنج البولي استر غير المشبع كمادة اساس و ذلك للزوجته القليلة ، تقلصه قليل و امكانية استخدامه في تطبيقات متنوعة. جهاز الراتنج المستخدم من الشركة السعودية للصناعات الكيماوية ( Industrial Chemical of resins Co.LTD ) و الذي يتصلد باستخدام المصلد نوع مثل اثل كيتون بيروكسيد ( MEKP ) بنسبة 2% .

#### 1-2 رماد قشور الرز النانوي **Nano Rice Husk Ash** :

تم الحصول على رماد قشور الرز RHA - **شكل رقم (1)** - بحرق القشور بفرن كهربائي بدرجة حرارة 650 م° لمدة 2 ساعة ، ثم طحن الرماد بالطاحونة ذات الكرات موديل ( SFM-1 Desk - Top Planetary Ball mill ) لمدة 15 ساعة للحصول على الرماد النانوي اعتماداً على العلاقة الموضحة بالشكل رقم (2) [S.Manikandan & Jancirani.J, 2014].

#### 2- تحضير المادة المركبة :

أ- تجفيف رماد قشور الرز Nano-RHA باستخدام فرن كهربائي عند درجة حرارة 100م° لمدة 60 دقيقة .

ب- حساب وزن الرماد المطلوب وفقاً للنسب الوزنية ( 2، 6 و 10 % ) من وزن المادة الاساس ( البولي استر ) .

ت- خلط الرماد يدوياً مع راتنج البولي استرغير المشبع لمدة 15 دقيقة في درجة حرارة الغرفة بشكل مستمر و بطئ لتجنب حدوث فقاعات هوائية .

ث- تشتيت المزيج باستخدام جهاز التشتيت بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic cell crusher موديل ( SJIA-1200W, MTI Corporation ) لمدة 45 دقيقة و بطاقة موجة مقدارها 600 واط وذلك للحصول على خليط متجانس .

ج- إضافة المصلد (MEKP) ومادة كوبلت نثاليت كمادة معجلة الى الخليط ، مع خلط يدوي بطئ .  
ح- سكب الخليط في قوالب مهيئة مسبقاً ومزينة من الداخل لتجنب التصاق المادة بجدران القالب .  
ترك الخليط ليتصلب في القالب لمدة 24 ساعة و بدرجة حرارة الغرفة .

خ- وضعت النماذج بفرن كهربائي عند درجة حرارة 100 م° لمدة 60 دقيقة لأكمال عملية التصلب.

### 3- الفحوصات و الاختبارات :

#### أ- فحص حيود الاشعة السينية XRD :

تم اجراء هذا الفحص بمختبرات كلية هندسة المواد/جامعة بابل باستخدام جهاز الاشعة السينية XRD-6000 لغرض تحليل مادة الرماد و معرفة مدى عشوائية السليكا المحضرة.

#### ب- الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح SEM:

تم اجراء هذا الفحص في مختبرات كلية العلوم / جامعة الكوفة باستخدام جهاز SEM تصنيع شركة BRUKER الالمانية لقياس الحجم الحبيبي للسليكا المحضرة من رماد قشور الرز و لمعرفة كيفية توزيعها في المادة الاساس المستخدمة .

#### ت- فحص مطيافية الاشعة تحت الحمراء FTIR :

تم اجراء الفحص بمختبرات كلية الهندسة/جامعة بابل باستخدام جهاز قياس مطيافية الاشعة تحت الحمراء المجهز من شركة BRUKER الالمانية لعينات من البولي استر غير المشبع و رماد القشور و المادة المتراكبة المصنعة لمعرفة ماهية المادة.

#### ث- الاختبارات الميكانيكية Mechanical Tests

تم اجراء جميع الاختبارات الميكانيكية ادناه وحسب المواصفات القياسية كما في الجدول (1-1) تحت حمل مقداره 5 كيلو نيوتن وبسرعة 2 ملم/دقيقة وهي كما يلي :

- 1- اختبار مقاومة الشد حسب المواصفة القياسية ASTM D638
- 2- اختبار مقاومة الانضغاط حسب المواصفة القياسية ASTM D695
- 3- اختبار مقاومة الصدمة حسب المواصفة القياسية ASTM D256
- 4- اختبار مقاومة الانحناء حسب المواصفة القياسية ASTM D790
- 5- اختبار الصلادة وفق مقياس شور -D SHORE حسب المواصفة القياسية ASTM D2240

### ج- اختبار معامل التوصيل الحراري Thermal Conductivity Test

في هذا الاختبار تم حساب معامل التوصيل الحراري Coefficient Thermal Conductivity باستخدام جهاز موديل YBF-3 على عينات الاختبار بقطر 50 ملم وسمك 3 ملم وكما موضح في الشكل رقم (3).

#### النتائج و المناقشة :

#### أولاً: الفحوصات الابتدائية

الشكل (4) يبين نتائج فحص حيود الاشعة السينية لمادة السليكا المحضرة من حرق قشور الرز . يتضح الحيود عند الزاوية 21,7 و 30,13 و 50,16 و هذا يدل على ان المادة متعددة البلورات polycrystalline تميل للعشوائية كون هناك قمم peaks متضمنة و قريبة مع القمم الرئيسية ، اما في القمم الاخرى الملاحظة عند زوايا الحيود 35 و 60 نلاحظ انها عشوائية تميل نحو التبلور ، و هذا يدل على ان السليكا المحضرة متعددة البلورات تميل للعشوائية و هذا يتفق مع ما استنتجه الباحثون بأن حرق قشور الرز بدرجة حرارة 550-650 م° ينتج عنه سليكا عشوائية E.P. Ayswarya ] amorphous silica [ et al, 2012. Zhang MH & Malhotra, 1969 و كذلك استنتج العديد من الباحثين بأن اقل درجة حرارة مطلوبة لتبلور السليكا الموجودة برماد القشور تبلغ 800 م° [ S. Chandrasekhar et al, 2003. Huang S. ] [ et al,2001. Zhang MH & Malhotra, 1969 .

الشكل (5) يبين نتائج فحص SEM لعينة من المادة المترابطة UP-RHA بنسبة 6% و يتضح من الشكل بان حبيبات السليكا ذات حجم حبيبي يتراوح من 100 - 500 نانو متر موزعة بشكل متجانس وملتصقة بشكل عالي مع المادة الاساس مع وجود بعض المجاميع المتكتلة Agglomeration Particles بحجم حبيبي اكبر من 1 مايكرون تقريبا ، كذلك بين الفحص وجود تقلصات مايكروية على السطح ناتجة من عملية تصلب المادة الاساس وهذه بدورها تقلل من الخواص الميكانيكية للمادة .

#### ثانياً : مرحلة اجراء الاختبارات الهندسية

#### 1- مقاومة الشد Tensile strength

مقاومة الشد للمادة المركبة UP-RHA موضحة بالشكل (6- أ) ومنه يتبين ان قيم المقاومة تبلغ 4.32 ، 4.2 و 1.32 MPa لنسب السليكا المضافة 2، 6 و 10% على التوالي. تتعزز مقاومة شد المواد المركبة النانوية عندما يكون التلاصق البيني جيد حيث يؤدي هذا الى انتقال افضل للاجهاد عند السطح البيني ، التلاصق الجيد بين البولي استر والسليكا النانوية سيمنع حدوث حالة عدم الترطيب Dewetting اثناء تشوه الشد [ R. Baskaran et al, 2011] ، لذا فان حبيبات السليكا ستتحمل جزء من الحمل المسلط على المادة الاساس و تساهم في تحسين مقاومة الشد للمادة المركبة . اما عند نسب الاضافة العالية فان تكتل الحبيبات النانوية يصبح اسهل وبما ان الحبيبات المتكتلة مع بعضها تولد عيوب بالمادة و تصبح كمناطق تركز اجهادات تحصل في المادة الاساس او تسبب انزلاقات داخل

المادة فأن مقاومة الشد سوف تتخفض بشكل كبير و هذا يتفق مع ما توضحه نتائج اختبار مقاومة الشد للمادة المركبة UP-RHA.

## 2- مقاومة الانضغاط Compression strength

**الشكل (6- ب)** يوضح مقاومة الانضغاط للمادة المركبة UP-RHA . نلاحظ من الشكل ان اعلى مقاومة انضغاط تحققت مع نسبة اضافة 2% من السليكا النانوية بقيمة 89 MPa ثم تتخفض قيم المقاومة تدريجياً عند النسب 6 و 10% . عند نسبة اضافة 2% من السليكا النانوية يكون ميل السيليكا النانوية للتكتل نادراً و بالتالي حدوث توزيع متجانس عالي مع تلاصق جيد بين حبيبات السليكا النانوية و البولي استر و هذا يعزز من مقاومة المادة المركبة. تكتل الحبيبات النانوية مع بعضها بزيادة نسبة اضافتها يؤدي الى تكوين مناطق عيوب في المادة الاساس يجعلها مراكز مرشحة للاجهادات ، حيث ان نسبة 6، 10% كمواد نانوية مضافة تكون عالية جدا وبسبب المساحة السطحية العالية فقد تؤدي الى نقصان في كثافة الترابطات التشابكية مما يؤثر سلباً على الخواص الميكانيكية .

## 3- مقاومة الصدمة Impact strength

**الشكل (6 - ج)** يبين تأثير اضافة السليكا النانوية بنسبة 2 ، 6 و 10% على مقاومة الصدمة للمادة المركبة UP-RHA . نجد ان مقاومة الصدمة لعينة من البولي استر غير المشبع النقية تبلغ 8 KJ/m<sup>2</sup> ، بينما مقاومة الصدمة للمادة المركبة الحاوية على 2% سليكا نانوية تبلغ 9 و تزداد لتبلغ 13.4 عند 6% سليكا ثم تتخفض الى 11.8 عند اضافة 10% سليكا نانوية الى البولي استر. نلاحظ ان قيم مقاومة الصدمة تزداد عند نسبة اضافة 2 و 6 % سليكا نانوية و تتخفض عند نسبة 10% ، و يمكن تفسير ذلك بالاعتماد على ميل الحبيبات النانوية الى التكتل عند نسب الاضافة العالية و هذا سيولد حالة من التشنيت غير المتجانس و بذلك يولد مناطق تمرکز الاجهاد و التي تبدأ عندها الشقوق المايكروية ، لذلك كلما تكتل الحبيبات كلما ولد نقاط ضعف بالمادة و بذلك فأن الاجهاد المطلوب لكسر المادة سيكون اقل و بذلك تكون مقاومة الصدمة قليلة . اما سبب زيادة المقاومة عند نسبة 2 و 6% فيعزى الى التشنيت المتجانس للحبيبات النانوية في ارضية البولي استر وهذا يسهل التشوه اللدن plastic deformation لذلك اثناء كسر المادة فان الاجهاد اللازم لبدأ الشقوق المايكروية في المادة الاساس سيكون اكبر و طاقة الصدمة ستمتص بشكل كبير من قبل التشوه اللدن الذي يحصل بسهولة حول الحبيبات النانوية .

## 4 - متانة الكسر Fracture Toughness

**الشكل (6- د)** يبين علاقة متانة الكسر للمادة المركبة UP-RHA مع تغير نسب الاضافة ، ونلاحظ ارتفاع قيمة متانة الكسر بشكل كبير عند اضافة السليكا النانوية بنسبة 6% لتبلغ اعلى متانة كسر بقيمة ( 130 MPa.m<sup>0.5</sup> ) وهذا ناتج من وجود حبيبات السليكا نانوية موزعة بشكل متجانس و

ملتصقة جيدا بأرضية البولي استر يسهل حدوث تشوه لدن في المادة و هذا سيعيق تكوين شقوق مايكروية و بالتالي سيكون الاجهاد اللازم لبدء الشقوق اكبر و بذلك يتأخر فشل المادة .

### 6- اختبار مقاومة الانحناء Bending Strength

يبين الشكل (6-هـ) سلوك مقاومة الانحناء للمادة المركبة UPS-RHA ، حيث أظهرت النتائج قيم واطئة جدا لمقاومة الانحناء عند اضافة السيليكا النانوية ، فالمادة المركبة الناتجة أظهرت سلوك عالي المرونة Resilience وأمكانية حني المادة بزوايا عالية جدا large angles ، هذه المرونة انعكست بشكل واضح على خاصية مقاومة الانحناء إذ بلغت أعلى مقاومة أنحناء 0.5 MPa عند النسبة 2% من السيليكا النانوية ومن ثم تنخفض تدريجيا مع زيادة النسبة المئوية للمادة المضافة ، إذ يعزى سبب ذلك الى انخفاض الترابطات التشابكية بين السلاسل البوليمرية وصغر طول السلسلة الناتج من اضافة الحبيبات النانوية


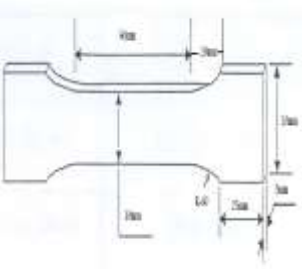


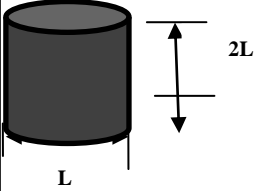


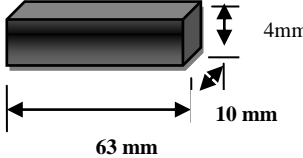

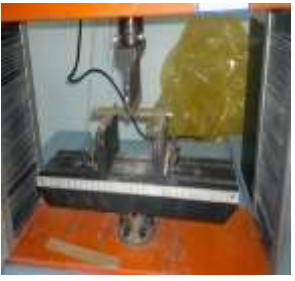
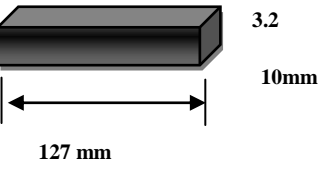


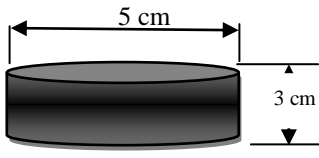

### 7- اختبار الصلادة Hardness

يبين الشكل (6-و) نتائج اختبار الصلادة ، وتظهر النتائج زيادة قيم الصلادة بزيادة نسبة السيليكا النانوية لغاية 6 % ومن ثم تنخفض بعد ذلك بشكل حاد وذلك لزيادة كتل المادة النانوية التي لا تصمد بدورها امام اختراق الاجسام الاكثر صلادة.

### الاستنتاجات

- 1- أظهر البحث إمكانية تحضير  $SiO_2$  عالي النقاوة عند حرق قشور الرز بدرجة حرارة 650 درجة سيليزي ولمدة ساعتين.
- 2- المادة المركبة الناتجة UPS-Nano RHA أظهرت مرونة عالية جدا resilience انعكس على بعض الخواص الميكانيكية حين مقارنتها مع خواص البوليمر الغير مشبع النقي.
- 3- تتحسن خاصية مقاومة الشد، مقاومة الصدمة، متانة الكسر والصلادة عند اضافة السيليكا النانوية لنسبة وزنية مقدارها 6% ثم تنخفض الخواص بعد هذه النسبة بشكل حاد نتيجة ميل السيليكا النانوية المضافة الى التكتل Agglomeration .
- 4- تنخفض مقاومة الانحناء ومقاومة الانضغاط للمادة المركبة الناتجة UPS-Nano RHA بشكل متزايد مع زيادة نسبة السيليكا النانوية.
- 5- للمادة الناتجة توصيل حراري منخفض جدا يصل الى  $1,3 * 10^{-10}$  واط/متر \* م°.

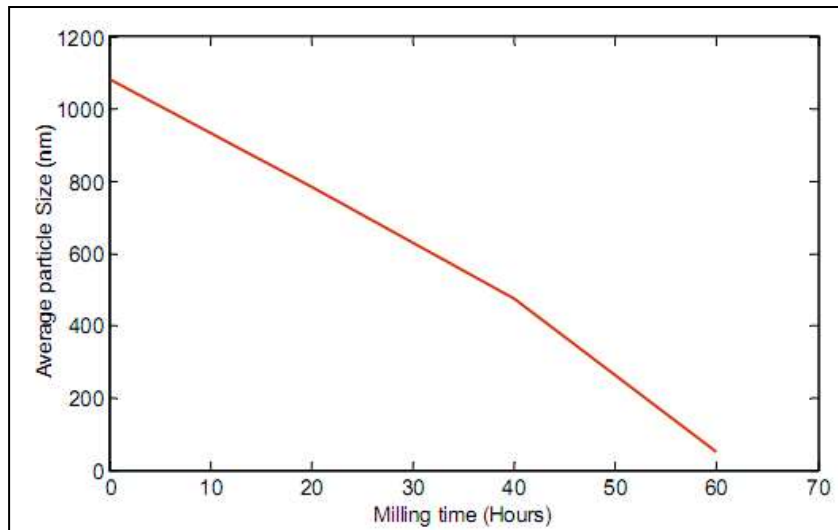
الجدول (1-1) الاختبارات المستخدمة والمواصفات القياسية واشكال العينات وابعادها

Test	Machine	Figure of machine	Dimension of sample	Figure of specimen
Tension	WDW – SE Microcomputer controlled Electronic Universal Testing Machine			
Compression	WP310 Universal Material Tester 50 KN			
Impact	Charpy Tension Impact testing machine			
Bending	WDW – SE Microcomputer controlled Electronic Universal Testing Machine			
Hardness	Hardness Shore D			





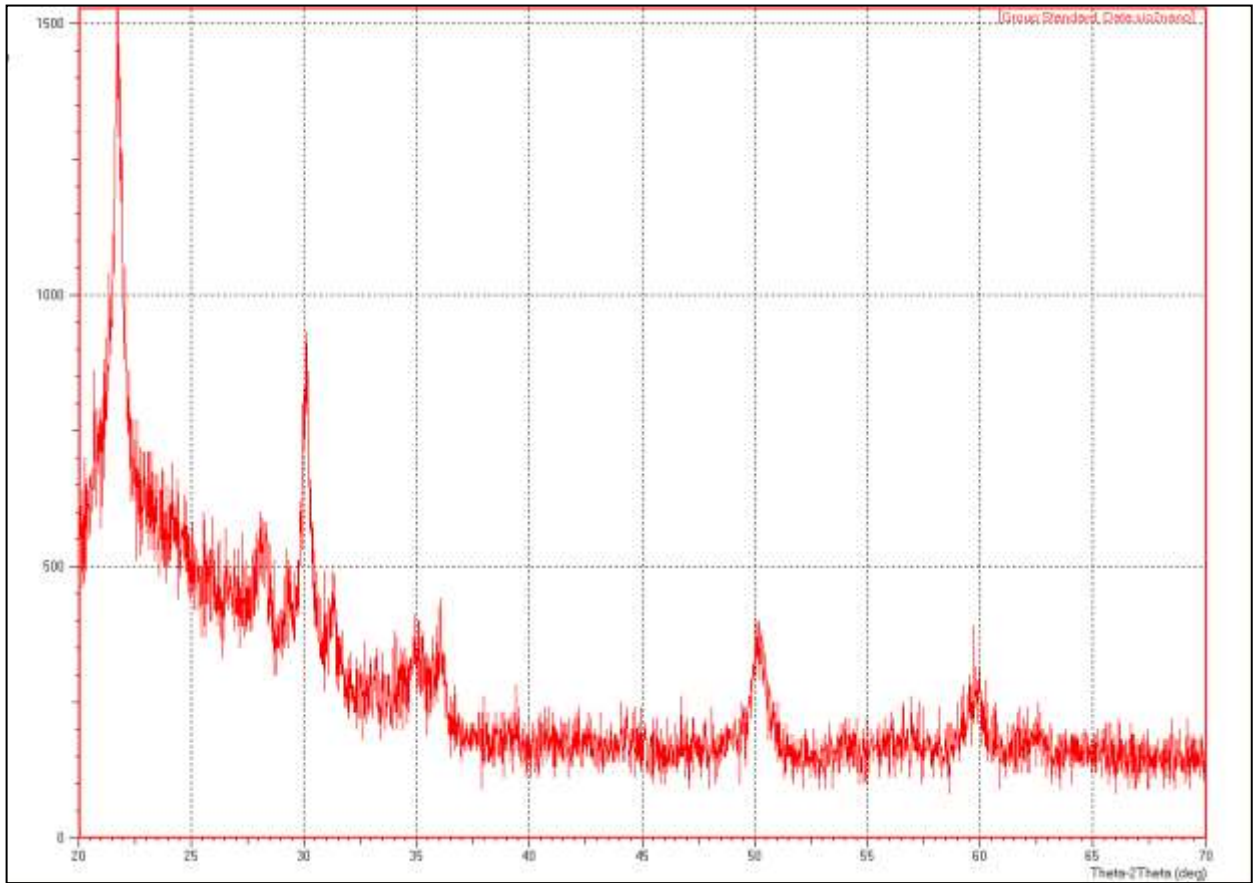
شكل رقم (1) : رماد قشور الرز النانوي Nano-RHA بعد الطحن



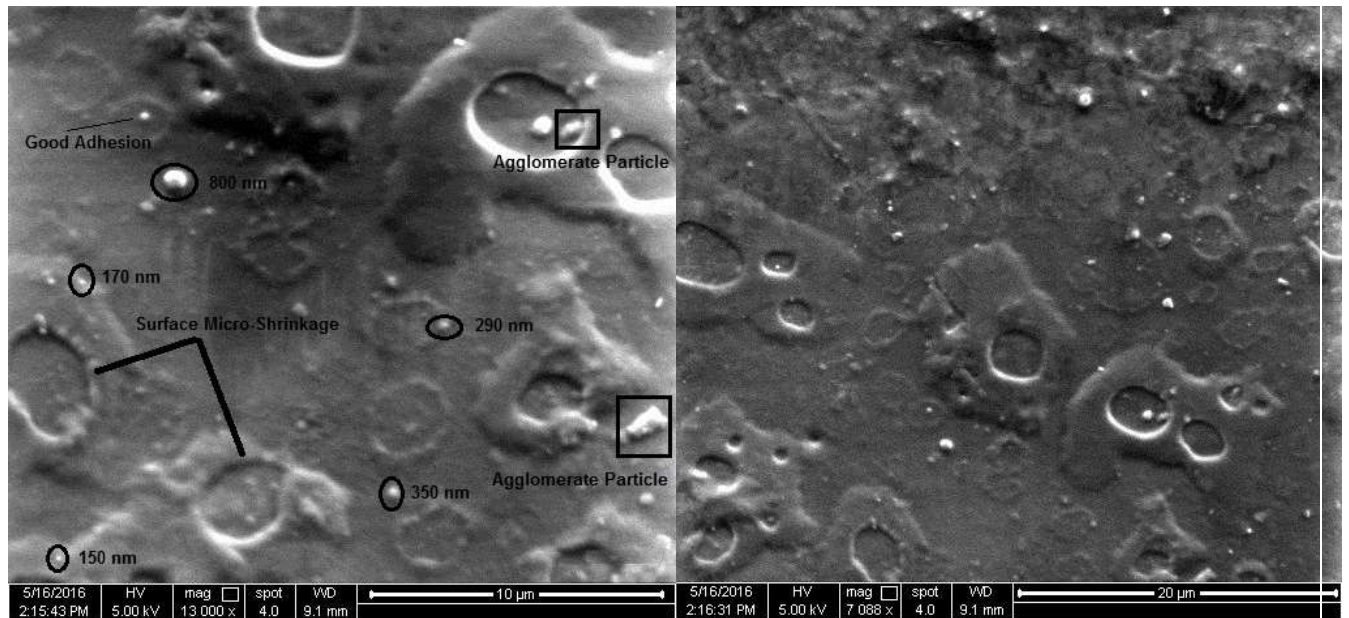
شكل رقم (2) : علاقة زمن الطحن مع الحجم الحبيبي



شكل رقم (3) : جهاز اختبار معامل التوصيل الحراري وشكل عينات الاختبار



شكل رقم (4) : مخطط حيود الاشعة السينية للمراد النانوي

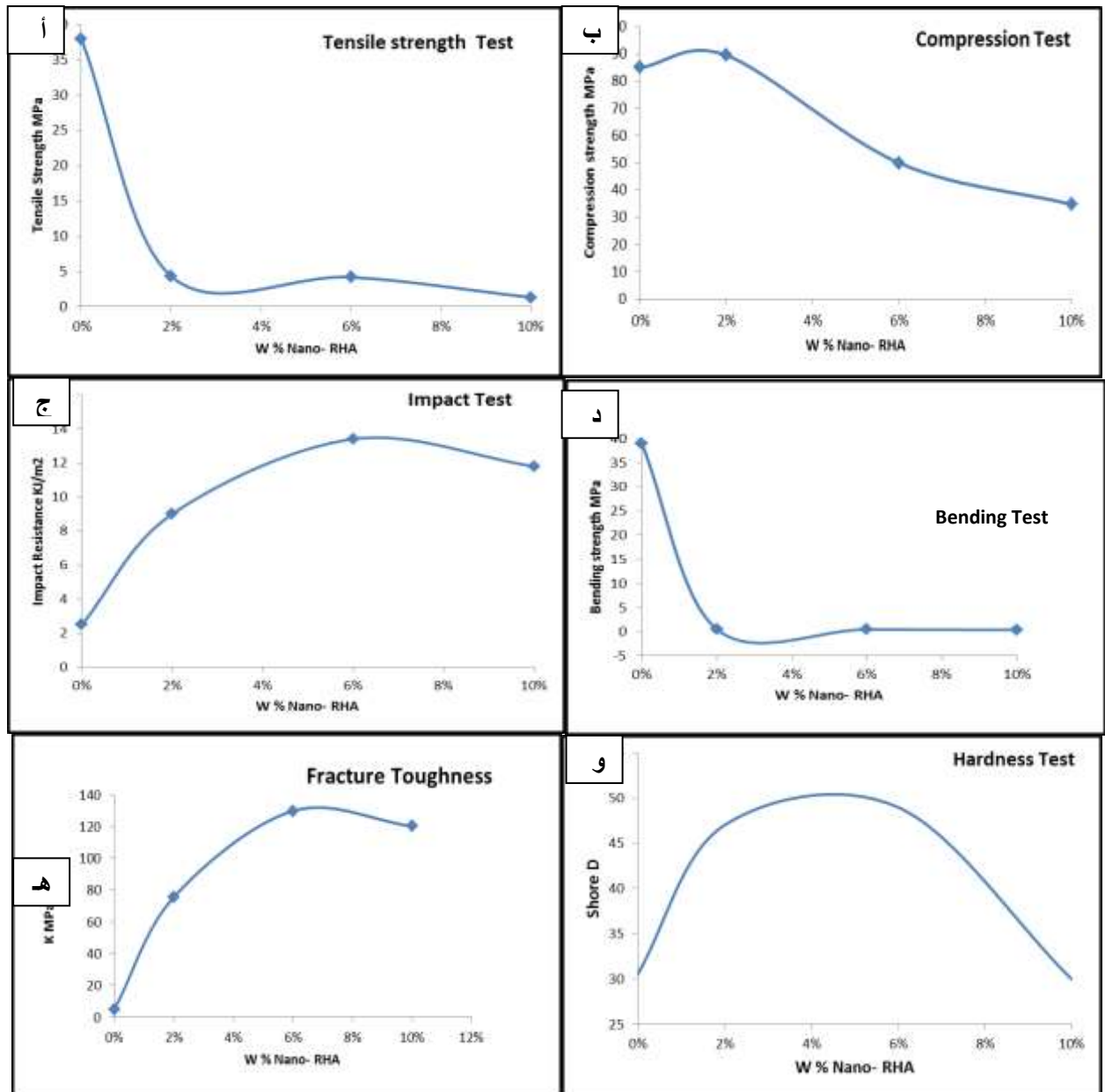


(ب)

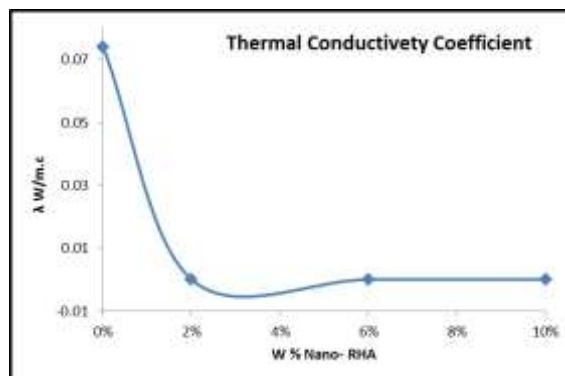
(أ)

شكل رقم (5) : فحص SEM للمادة المركبة بنسبة 6% سيليكات نانوية: (أ) قوة التكبير 7088 مرة

(ب) : قوة التكبير 13000 مرة



شكل رقم (6) : نتائج الاختبارات الميكانيكية



شكل رقم (7): علاقة معامل التوصيل الحراري للنسبة المئوية للسليكا النانوية المضافة.

## المصادر :

- D.S. Chaudhary , M.C. Jolland , F. Cser " Understanding rice hull ash as fillers in polymers : A review " , , Klimer Academic publishers , 2004.
- E.P. Ayswarya, K.F. Vidya Francis, V.S. Renju, Eby Thomas Thachil " Rice husk ash – A valuable reinforcement for high density polyethylene " , Elsevier Ltd , 2012.
- Hasliza Bahruji " Synthesis of zeolite ferrierite from rice husk ash, characterization and activity towards friedel-crafts acylation for the formation of p-methoxypropiophenone, Thesis to degree of master of science chemistry , University Technology Malaysia , 2005.
- Hussain F. , Hojjati M. , Okamoto M. , Gorga R. , J Comp Mater " Polymer-matrix nanocomposites processing manufacturing and applications : An overview " , 2006.
- Huang S, Jing S, Wang JF, Wang ZW and Jin Y " Silica white obtained from rice husk in a fluidized bed. " . *Powder Technology* (Lausanne), 2001; 117:232-238.
- J. Prasad Raoa and Kurt E. Geckeler " Polymer nanoparticles: Preparation techniques and size-control parameters" , Progress in Polymer Science, vol 36 , 2011.
- N. Soltani, A. Bahrami, M.I. Pech-Canul, L.A. González " Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials " , Elsevier, Chemical Engineering Journal, 2014 .
- Obikwelu, D. O. N., Odukwe, A. O. and Obayi, C." Tensile Properties of Unsaturated Polyester Resin Reinforced with Varying Volume Fractions of Carbon Black Nanoparticles" , University of Nigeria , Virtual Library, Omenuko Sunday Ogbonna , 2008.
- R. Baskaran , M. Sarojadevi, C.T. Vijayakumar "Unsaturated polyester nanocomposite filled with nano alumina" Springer, J Mater Sci , 2011
- S. Chandrasekhar , K.G. Satyanaray , N .P. Pramada " Processing , Properties and Applications of reactive silica from rice husk – an overview " , Journal of Materials science (38) , 2003 .
- S.Manikandan, Jancirani.J " A Study of preparation and characterization of Nano-sized SiC powder using High energy ball machine" Applied Mechanics and materials, Trans Tech publication , Switzerland, vol 592-594, pp 13-17, 2014.
- Shivappa, Ananda.G.K, Shivakumar.N " Mechanical Characterization of Rice Husk Flour Reinforced Vinylester Polymer Composite " , , International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology ,Vol. 2, Issue 11, November 2013.
- Sydney H Goodman , Hanna Dodiuk , " Handbook of Thermoset Plastics " , Third Edition , Elsevier, 2014.
- Zhang MH and Malhotra "High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing materials." VMACI Materials Journal (Detroit), PP 629-636, 1996.
- جاسم عطية علوان ، "تحسين بعض خواص مونة السمنت الحاوية على الميتاكاولين النانوي أو رماد قشور الرز " ، مجلة الكوفة الهندسية ، Vol. 6, No. 2, June, P.P.115- 131 ، 2014 .