مجلة الهندسة والتنمية المستدامة
المجلد 23، العدد 5، أيلول 2019
ISSN 2520-0917
https://doi.org/10.31272/jeasd.23.5.15

# تأثير الحجم الحبيبي على بعض الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليمرية متدرجة وظيفيا مصنعة بطريقة الترسيب تحت تأثير الجاذبية

عواد هلوش خضر [1]، زينب حازم حميد الخفاف [2]

1) أستاذ مساعد، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة الموصل، نينوى، العراق.
2) طالبة ماجستير ، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة الموصل، نينوى، العراق.

تاريخ التقديم 2017/9/17 تاريخ القبول 2018/9/12 تاريخ النشر 2019/9/1

**الخلاصة:** هذه ا يتضمن هذا البحث إنتاج مواد متراكبة بوليمرية متدرجة وظيفيا Functionally Graded Polymer Composite ( FGPCs) مادتها الاساس البولي أستر غير المشبع( Unsaturated Polyester Resin) ومعززة بدقائق من كربيد السليكون (Silicon Carbide) ( SiCp) بكسر حجمي كلي(6 Vol%) وحجوم حبيبية ( 53,106,150 µm) ومصنعة بطريقة الترسيب تحت تأثير الجاذبية (Gravity Casting ) بدرجة حرارة الغرفة (22C°) كما وتم إنتاج أنموذج من البولي أستر النقي وبالظروف نفسها لغرض المقارنة . ويهدف هذا البحث الى دراسة تأثير تغير الحجم الحبيبي للدقائق في القيم الموضعية للكسر الحجمي والصلادة ومعامل المرونة للنماذج المصنعة وفي نقاط محددة على طول كل أنموذج متدرج ، حيث تم تقطيع كل إنموذج متدرج الى تسع (9) قطع وبسمك (8mm) وتم حساب كثافتها وتحديد كسرها الحجمي الموضعي و إختبار الشد . وتبين من نتائج البحث إنخفاض القيم الموضعية للكسر الحجمي والصلادة ومعامل المرونة في النهايات العليا للنموذج وإرتفاع هذه القيم في النهايات السفلى للنموذج نتيجة لتركز الدقائق( أعلى كسر حجمي موضعي مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق) .

**الكلمات الدالة:** *مواد متراكبة بوليمرية متدرجة الخواص ، راتنج البولي أستر غير المشبع ، الصلادة ، معامل المرونة*

# Effect of Particle Size on Some Mechanical Properties of Functionally Graded Polymeric Matrix Composite Produced by Gravity Casting

**Abstract:** This research include a Functionally Graded Polymeric Composite (FGPCs) . These Composites were fabricated from unsaturated polyester resin as a matrix reinforced with silicon carbide particles( SiCp) of different particle size ( 53,106,150 µm) and (6 vol%) bulk volume fraction produced by Gravity Casting and room temprture (22°C) and produed sample from pure polyester to use it in comparsion. The aim of the present research to study effect the change in (SiCp) particle size on local value of volume fraction , hardness , and Youg modulus at specific points along the graded samples, and graded samples were cut to nine portions with thikness (8mm) and density , bulk volume fraction were calculated , then and tensile test . Results show that local values of volume fraction , hardness and Young modulus decreased in pure end samples and increased in lower end samples because in creased particles SiCp in this position.

* الباحث المتابع Eng.zainab.alkhafaf@gmail.com

## 1. المقدمة:

تعرف المواد المتراكبة بانها مواد ناتجة من اتحاد اثنين او اكثر من المواد او المكونات و ينتج عن هذا الاتحاد مواد تلبي بعض المتطلبات الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية .تتكون المواد المتراكبة من واحد او اكثر من الاطوار المتقطعة ( Dicotinuous ) مغمور في طور متصل (Continuous). وان الطور المتقطع عادة مايكون اصلد (Harder) واقوى (Stronger) من الطور المتصل ويسمى بالطور او المادة المعززة (Reinforcement)، في حين الطور المتصل يسمى بمادة القاعدة او المادة الاساس (Matrix) [1] ،المواد المتدرجة الخواص (FGMS) تمتلك وظائف مختلفة (Different function) والتى تتميز بالتوزيع المختلف للخصائص على سبيل المثال الصلادة (Hardness) ومعامل يونك (Youngs Modulus) ومقاومة السوفان (Wear resistance) ومعامل التمدد الحراري (Thermal expansion Coefficient) ومن الممكن استعمال خليط مختلف من المواد الهندسية مثل المعادن (Metals) والسيراميك(Ceramics) والبوليمرات (Polymer).اما المواد المتراكبة البوليمرية المتدرجة الخواص (FGMP) هي نوع من المواد المتراكبة المتدرجة الخواص (FGMs) التى يكون فيها احد المكونات على الاقل بوليمير واحد [2] ، وتعد طريقة الترسيب تحت تاثير الجاذبية من الطرق المستعملة في انتاج المواد المتراكبة التى تعتمد على الجاذبية وبدون استعمال أي ضغط خارجي ، ومن الممكن انتاج مواد ذات توزيع مكاني متدرج للمكونات بوساطة السباكة.وبصورة عامة فان الفحوصات التى تجري على المواد هي فحوصات اتلافية (تدميرية) او فحوصات لااتلافية (لاتدميرية) ، وبالرغم من ان الفحوصات الاتلافية هي الاكثر شيوعا في فحص المواد الهندسية الا ان الفحوصات اللا اتلافية التى مازالت محدودة الاستعمال تعد احدى الوسائل الفعالة للسيطرة على جودة المنتجات اذ تتميز هذه الفحوصات بشموليتها في تقييم خواص عديدة وبسرعة القيام بها وكلفتها القليلة وامكانية اجرائها موقعيا ومخاطرها اقل من الفحوصات الاتلافية [3].قام الباحث (j . stabik , 2010) وزملاؤه بانتاج مواد متراكبة بوليمرية متدرجة الخواص حيث قام بتحضير ثمان نماذج بطريقة الترسيب تحت تاثير الجاذبية وكانت من المادة الاساس راتنج الايبوكسي معززة بالياف من الفحم الصلب بكسور حجمية ( 3 , 6 ,9 % and 12% ) حيث قام بدراسة الخصائص الكهربائية للمادة متدرجة الخواص ، واظهرت النتائج العملية بان اضافة الالياف الموصلة من الفحم الصلب الى راتنج الايبوكسي يسبب في تغير المقاومة السطح لتلك المواد والفحم الصلب مع راتنج الايبوكسي يشكل مادة متراكبة باختلاف الالياف المحتوية في الطبقات المتتالية [4].

وجدت الباحثة (Dr.Khansaa,2014) وزملائها زيادة في صلادة النماذج المصنعة من البولي استر غير المشبع والمعززة بدقائق كاربيد البورون بحجم حبيبي ( 25µm) وبكسور وزنية ( 50,40,30,20,10%)، حيث تم استخدام جهاز( Shore Durometer) نوع ( Shore D) الخاص بقياس صلادة المواد البوليمرية ( Thermosetting Polymer) المصلدة حراريا.وتم الاعتماد على اخذ ست قراءات في اماكن مختلفة من سطح العينة وايجاد معدل لست قراءات لكل حالة للحصول على دقة عالية بالنتائج .حيث يتضح بان قيم الصلادة لمادة البولي استر غير المشبع تزداد باضافة دقائق كاربيدالبورون وتستمر الصلادة بالزيادة مع زيادة الكسر الوزني [5].

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير تغير الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون على الخصائص الميكانيكية الصلادة ومعامل المرونة .

## 2. الجانب العملي

### 1.2. المواد المستخدمة *Materials*

تم استخدام جزئين رئيسين من المواد في هذا البحث المادة الاساس (Matrix) والمادة المعززة (Reinforcement)

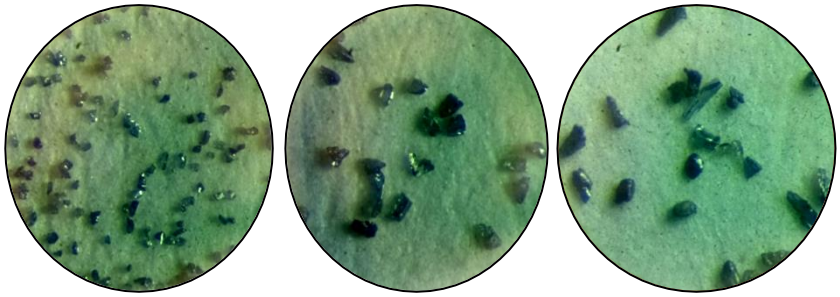
#### *1.1.2 المادة الاساس Matrix*

تم استخدام البولي استر غيرالمشبع (Unsaturatal Polyester Resin UPR)) والمصنع من قبل الشركة التركية (Poliya Composite Rrsins and Polymers,Inc) ونوعه ( Polipol3455)، وهو من البوليمرات المصلدة حراريا ويخلط مع المصلد بيروكسيد مثيل كيتون ( Methyl Ethyl Ketone Peroxide

(MEKP) والمصنع من قبل الشركة التركية (Akpa Organic Peroxides, Initiators & Paint Driers) ونوعه (Akperox A1) ويخلط وبنسبة (2gm) المصلب لكل (100 gm) من راتنج البولي استر غير المشبع [6]

### 1.2.2. المادة المعززة *Reinforcement*

تم استعمال دقائق كربيد السليكون (Silicon Carbide) كمادة معززة رمزها الكيميائي (SiC) وتعرف تجاريا باسم كربورندم ( Carborundum) والشكل (1) يوضح الصور المجهرية المستعملة في البحث.



53 µm 106 µm 150 µm

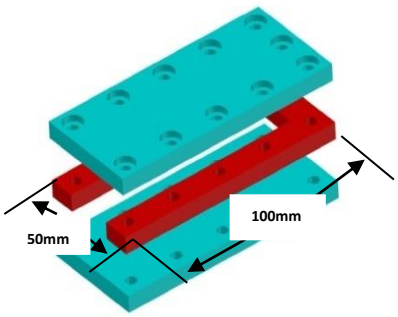
الشكل (1) يوضح صور مجهرية للدقائق المستعملة في البحث (X 80)

### 2.2 كثافة المواد المستعملة في البحث *Materials Density Determination*

لغرض معرفة كثافة المواد المستعملة في تصنيع النماذج المتدرجة الخواص FGM تم حسابها عمليا ووجد كثافة كربيد السليكون (3.1 g/cm) وكثافة راتنج البولي استر غير المشبع تساوي (1.21 g/cm) وكثافة المصلب بيروكسيد مثيل أثيل كيتون تساوي (1.17 g/cm) عند درجة حرارة الغرفة (22C°) وضغط جوي اعتيادي.

### 3.2 تصميم القوالب *Molds Design*

من اجل انتاج مواد متراكبة متدرجة الخواص تم استعمال خمسة قوالب مصنوعة من مادة الاكرلك الشفاف .يتكون هذا القالب من ثلاث طبقات العليا والسفلى مصنوعة بشكل مستطيل والطبقة الوسطى تحتوي على الاخاديد التي سوف تشكل الانموذج .وترتبط الطبقات الثلاثة لتشكل القالب النموذج حيث توجد فتحة لدخول المزيج الى الطبقة الوسطى ويوضع القالب بشكل عاموديا عند الصب ،والشكل (2) يوضح القالب المستعمل.




الشكل (2) يوضح القالب المستعمل

### 4.2 تهيئة القالب

قبل عملية الصب الخليط يتم عزل القالب حيث يتم بوضع طبقة رقيقة شفافة مصنوعة من مادة البولي فينيل الكحول (PVA) لمقاومة الحرارة المتولدة من تفاعل الراتنج مع مصلبه وذلك لان التفاعل باعث للحرارة

(Exothermal) توضع هذه الطبقة في الطبقة العليا وفي الطبقة السفلى والغرض من العزل يوفر اسطح ملساء و صقلية للمنتج النهائي ويضمن استخراج العينات بعد تصلبها من داخل القالب بدون كسرها او احداث اضرار بالقالب اضافة الى ذلك فان الطبقة الوسطى تطلى جوانب الاخاديد بطبقة رقيقة من الكريز(Release Agent ) حيث تضمن منع التصاق سطح الانموذج وقاعه بالقالب ولعزل جوانب الأنموذج تطلى جوانب الأخاديد في الطبقة الوسطى بطبقة رقيقة من الفازالين، والشكل (3) يوضح طريقة عزل القالب [7][8][9].

الشكل (3) يوضح طريقة عزل القالب

### 5.2 عملية تحضير وصب النماذج

لغرض انتاج مواد متراكبة متدرجة الخواص (FGM) وبعد اختيار الكسر الحجمي المناسب والحجم الحبيبي المناسب بعد عملية الغربلة في مختبر الرمل حيث تمر عملية التحضير بعدة مراحل وتشمل :

#### 1.5.2 خلط الراتنج بالدقائق Mixing Resin With Particles

بعد حساب وزن كل مكون من المكونات الانموذج يتم خلط الراتنج (Resin) لوحده مع الدقائق يدويا لمدة خمس دقائق لضمان ترطيب كافة اسطح الدقائق بالراتنج وبسرعة بطيئة لتلافي دخول فقاعات الهواء داخل المزيج [5][10][11].

#### 2.5.2 إزالة فقاعات الهواء Degassing

من الضروري التخلص من الفقاعات الهوائية لما لها تاثير في تحديد الخواص الميكانيكية وتغير قيم سرع الموجات فوق الصوتية وقيم الاضمحلال نتيجة انعكاس الموجات فوق الصوتية من على سطحها وتشتتها، ويمكن أزالة الفقاعات الهوائية وذلك و بعد إكمال خلط الراتنج بالدقائق وتقليل لزوجة الراتنج توضع علب خلط النماذج في وعاء محكم الغلق ويتم إفراغه من الهواء عن طريق ربطه بجهة السحب من ضاغط كهربائي وتستمر هذه العملية لمدة ساعة كاملة تبقى فيها علب الخلط الحاوية على الراتنج والدقائق داخل هذا الوعاء والشكل(4) يوضح الاسلوب المتبع [12][13].

الشكل (4) يوضح الاسلوب المتبع

### *3.5.2 خلط المزيج بالمصلب*

بعد الحصول على مزيج خالي من الفقاعات الهوائية يتم اضافة المصلب مع التحريك البطي جدا لمدة خمس دقائق لتجنب دخول قاعات هوائية مرة ثانية [5][12].

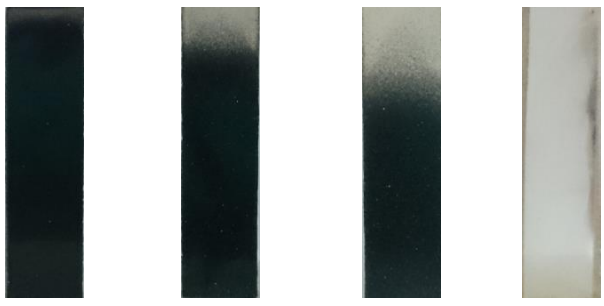
### *4.5.2 صب المزيج بالقالب*

يصب المزيج الخالي من الفقاعات الهوائية في القالب ويكون بوضع عامودي ويترك لمدة (24) ساعة لضمان اكتمال الربط التشابكي و تصلب النماذج داخل القالب وبعدها يتم فتح القالب واستخراج النماذج كما في الشكل (5) [9][14].

## ***6.2 المعالجة الحرارية للنماذج***

توضع النماذج بعد استخراجها من القالب في فرن كهربائي درجة حرارته (55°C- 60) ولمدة ساعتين لاكمال عملية البلمرة وازالة الاجهادات المتولدة في النماذج نتيجة التصلب ، وضعت النماذج في فرن كهربائي من انتاج شركة (Electric Muffle) الكورية موديل (RKB101) يتم السيطرة على درجة حرارتة الكترونيا وبعدها يتم اخراج النماذج من الفرن ويتم توحيد ابعادها [15].

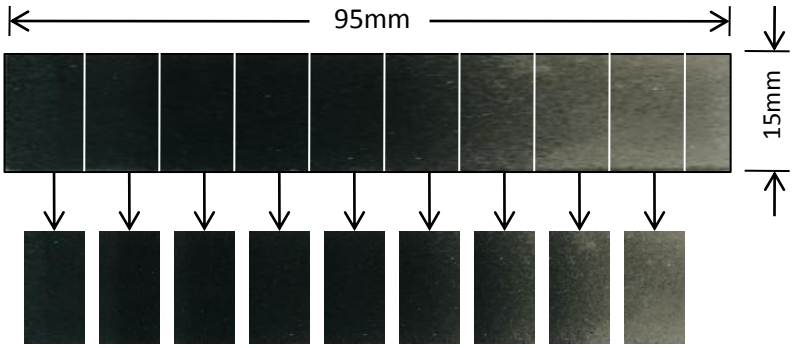
| 53 µm | 106 µm | 150 µm | 100%Polyeser |
|---|---|---|---|



شكل (5) يوضح نماذج المواد المتراكبة المتدرجة الخواص المصنعة في هذا البحث، حيث يوضح توزيع دقائق كربيد السليكون على طول النموذج بطريقة الترسيب تحت تاثير الجاذبية.

### 7.2 تقطيع النماذج المتدرجة الخواص

تم تقطيع كل انموذج من النماذج المتدرجة المصنعة في الشكل (6) الى (9) قطع وبعرض (8mm) كما في الشكل (6) واعتبرت القطعة ضمن هذا السمك متجانسة تقريبا لعدم وجود اختلاف في توزيع الدقائق خلالها واعتبار الكسر الحجمي ضمن هذا السمك ثابت [16].




الشكل (6) يوضح تقطيع النماذج المتدرجة الخواص

### 8.2 ايجاد الكثافة والكسر الحجمي الموضعي

تم حساب قيم الكثافة لكل قطعة من القطع وبالاعتماد على المواصفة القياسية [16]. بعد إيجاد كثافة كل قطعة من قطع كل أنموذج متدرج تم حساب لاكسر الحجمي للدقائق بالاعتماد على قانون الخلائط Mixing of Rule

$$\rho_c = V_m\rho_m + V_p\rho_p \qquad (1)$$

إذ ان $\rho_c$ يمثل كثافة المادة المتراكبة ، وان $\rho_m$ يمثل كثافة مادة الاساس ( البولي استروالمصلد ) بعد تصلبها ، وان $\rho_p$ يمثل كثافة دقائق كربيد السليكون ( Sic) ، وان $\mathbf{V_m}$ يمثل الكسر الحجمي لمادة الاساس ، وان $\mathbf{V_p}$ يمثل الكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون وبمان :

$$V_m + V_p = 1 \qquad (2)$$

ومن المعادلة (1) والمعادلة رقم (2) نستطيع ايجاد الكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون لكل قطعة من القطع كل نموذج مواد متراكبة متدرجة الخواص وكما ي المعادلة التالية :

$$\mathbf{V_p} \quad \frac{\boldsymbol{\rho_c} - \boldsymbol{\rho_m}}{\boldsymbol{\rho_p} - \boldsymbol{\rho_m}} \quad X\ 100\% \qquad (3)$$

حيث يتم قياس كل من دقائق كربيد السليكون $\rho_p$ والبولي استر $\rho_m$ بصورة عملية .

### 9.2 الفحوصات الميكانيكية الاتلافية ولااتلافية

#### *1.9.2 اختبار الصلادة ( Hardness ( Shore D*

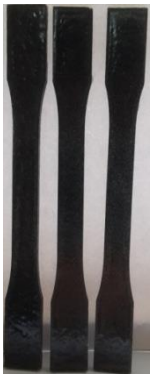
تم قياس صلادة النماذج المتدرجة ولكل قطعة حيث تم الاعتماد على اخذ معدل ثلاث قراءات من كل وجهي النموذج من جهتي التقطيع باتجاه السمك وباستعمال جهاز (Shore Durometer) ونوعه (Shore D) الخاص بقياس صلادة المواد البوليمرية المصلدة حراريا (Thermosetting Polymer)، ووفق المواصفة القياسية [14]. والجهاز مشابه للبوصلة ويحتوي على ابرة في المنتصف وتتضمن طريقة الفحص وضع الجهاز بصورة عامودية

على العينة المراد قياس الصلادة لها بحيث يكون مماسا لسطح العينة المراد قياس صلادتها لكي تغرز الابرة في سطح المادة ثم يتم الانتظار مدة ثلاثة ثواني بعدها يتم اخذ قيمة الصلادة من الجهاز ويجب ان يكون سطح العينة مستوي جدا وصقيل [15][17].

### *2.9.2 اختبار الشد Tensile Test*

إن من اكثر قياسات الإجهاد – الأنفعال شيوعا هو إختبار الشد ولإجراء هذا الإختبار تم تصنيع ثلاث عينات مجانسة [6] وحسب الأبعاد المطلوبة لعينة الشد القياسية والمتساوية من حيث الكسر الحجمي والحجم الحبيبي لقطع مختارة على طول الانموذج . لقد استخدم جهاز الشد (United Tensile Test) وتم تسليط حمل مقداره على العينات (4KN) وبمعدل انفعال(3mm/min)وفق المواصفة القياسية [18]لإجراء اختبار الشد والخاصة بفحص المواد البلاستيكية المعززة وغير المعززة كما وان ابعاد عينة الشد وفق هذه المواصفة[17]. ولغرض اجراء فحص الشد تم تصنيع ثلاث عينات من مواد متراكبة متجانسة (Homogeneous) مادتها الأساس هي المادة نفسها المستعملة في تصنيع المواد المتراكبة متدرجة الخواص وكما في الشكل (8) ومدعمة وبصورة متجانسة بدقائق كربيد السليكون المستخدمة في تدعيم النماذج المتراكبة المتدرجة الخواص المصنعة وفق الكسر الحجمي الموضعي والحجم الحبيبي لكل قطعة وعلى طول كل أنموذج متدرج من النماذج. أخذ معدل ثلاث عينات لكل نقطة فقط، لقد تم تصنيع عينات إختبار الشد المتجانسة وفق الكسر الحجمي الموضعي للنقاط عند (1،3,5,7 , 9cm ) وللنماذج ذات الكسر الحجمي (6%) .وتم التصنيع بنفس الطريقة وتحت نفس الظروف التصنيعية التي تم فيها تحضير نماذج المواد المتراكبة متدرجة الخواص والموضحة سابقا في الجانب العملي . والشكل (7) يوضح عينات الشد المصنعة ومواصفات كل عينة بعد اكتمال تصنيعها واخراجها من الفرن الكهربائي لغرض اجراء المعالجة الحرارية. تم اجراء اختبار الشد للعينات المتجانسة والموضحة في الشكل (7) وايجاد معامل المرونة لكل عينة ، حيث تم اخذ معدل معامل المرونة لثلاث عينات متجانسة ومتساوية في الكسر الحجمي سوف يمثل معامل المرونة في الموضع على طول النموذج المتدرج له نفس الكسر الحجمي والحجم الحبيبي للعينات المتجانسة [6][19] .

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **LocalVolume Fraction** | | **9.9** | **8.5** | **7.2** | **6.9** | **6.7** |
| **Position from lower end** | | **9** | **7** | **5** | **3** | **1** |
| **Bulk Volume Fraction 6 %** | **Particle Size 53 µm** | | | | | |
| **Local Volume Fraction** | | **25.3** | **8.1** | **5.5** | **4.9** | **2** |
| **Position from lower end** | | **9** | **7** | **5** | **3** | **1** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bulk Volume Fraction 6 % | Particle Size 106 µm | | | | | |
| Local Volume Fraction | | 34.9 | 7.8 | 4.8 | 2.8 | 1.5 |
| Position from lower end | | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 |
| Bulk Volume Fraction 6 % | Particle Size 150 µm | | | |  | |

شكل (7) يوضح النماذج المتجانسة لاختبار الشد Tensile Test بكسر حجمي 6% وبحجوم حبيبية مختلفة ( 53,106,150 )

## 3. النتائج والمناقشة

### 1.3 تأثير الحجم الحبيبي في الكسر الحجمي الموضعي

نلاحظ في الشكل (8) توزيع دقائق كربيد السيلكون في مادة الاساس البولي استر توزيع متجانس نتيجة عملية الخلط وبعد صب الخليط في قالب الصب ونتيجة قوة الجاذبية نلاحظ ترسيب الدقائق ويودي الى توزيع الدقائق بصورة غير متجانسة ومتدرجة وبشكل يختلف وفق الكسر الحجمي الكلي والحجم الحبيبي للدقائق المستعملة، و بالتالى فان هذه الدقائق اصبح لها تركيز مختلف من موضع الى اخر على طول الانموذج المتدرج بفعل قوة الجاذبية . ويوضح الشكل (8) تمركز دقائق كاربيد السليكون عند النهايات السفلى Lower end للنماذج و حدوث توزيع متدرج لدقائق كربيد السليكون (SiC) عند استخدام الكسر الحجمي 6% مع استخدام الحجوم الحبيبية الثلاثة (53,106,150µm)، ويزداد التركيز عند النهايات السفلى مع زيادة الحجم الحبيبي وذلك لكون الكسر الحجمي الكلي المستعمل في هذه النماذج (6%) وبفعل لزوجة لمزيج البولي استر والدقائق حيت تنشأ قوة معاكسة لقوة الجاذبية Drag force والناشئة بسبب لزوجة مزيج البولي استر ودقائق كربيد السليكون و اكبر محصلة قوة في الدقائق المتجهة نحو الاسفل مما ادى حركة الدقائق بسهولة وبسرعة وتجمعها عند النهايات السفلى .

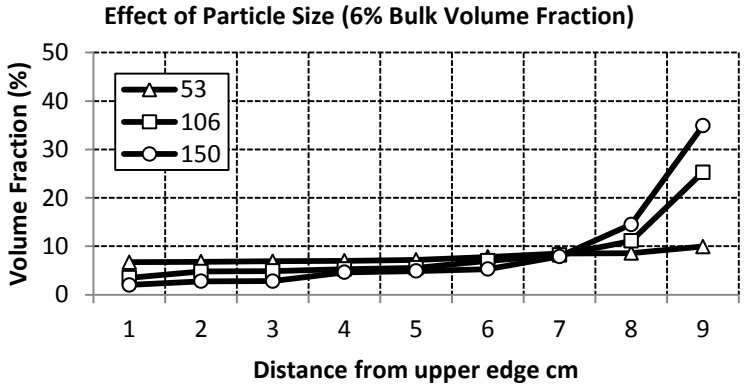
### 2.3 الصلادة

تم الاعتماد على اخذ معدل ثلاث قراءات من كل من وجهي النموذج ومن جهتي التقطيع بإتجاه السمك وعند المواضع المختارة لنفس النموذج المتدرج . ويبين الشكل(9) تأثير الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون في نماذج مواد متراكبة متدرجة الخواص عند كسر حجمي ( 6% )على معدل قيم صلادة شور الموضعية.كما ويبين عند

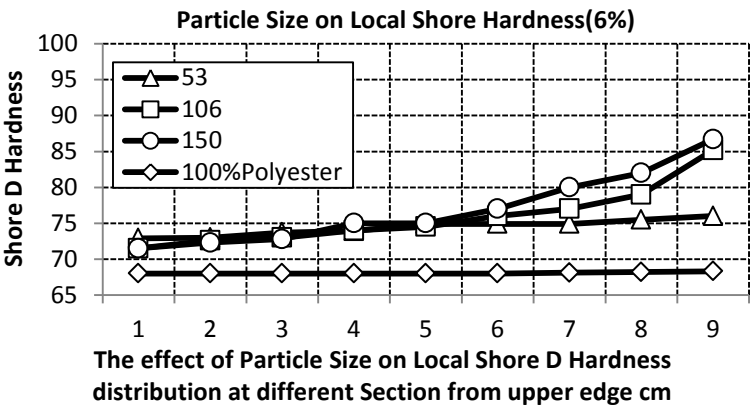
زيادة الحجم الحبيبي يقل معدل صلادة شور الموضعية في النهايات العليا من النموذج في حين يزداد هذا المعدل في النهايات السفلى ويعود السبب في ذلك الى حركة دقائق كربيد السليكون الى الاسفل متأثرة بقوة الجاذبية، وان هنالك تغيرا واضحا في قيمة معدل صلادة شور الموضعية نتيجة تغيير الحجم الحبيبي للدقائق عند ثبوت الكسر الحجمي له. ان قيم معدل الصلادة شر الموضعية للنماذج الثلاثة وبغض النظر عن الحجم الحبيبي للدقائق المستعملة هي اكبر من قيم صلادة شور الموضعية للنموذج البولي استر النقي .

### 3.3 معامل المرونة

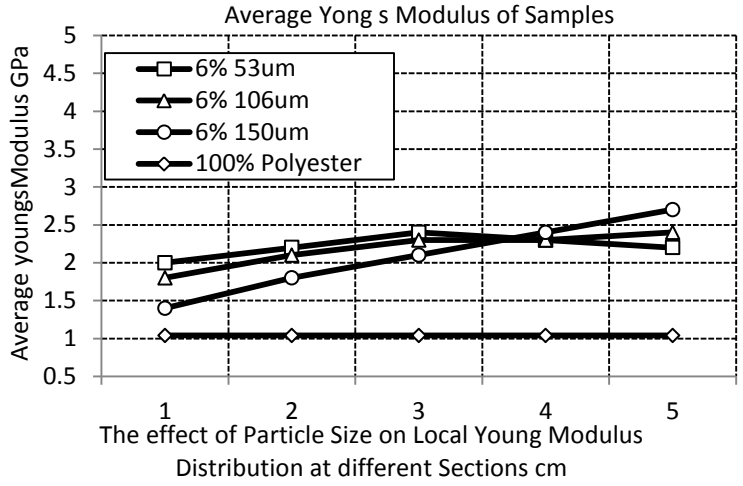
يبين الشكل(10) انخفاض معدل مرونة الشد الموضعي في الاجزاء العليا من النموذج وارتفاعه في النهايات السفلى من القالب مع زيادة الحجم الحبيبي ويعود السبب في ذلك الى حركة دقائق كربيد السليكون نحو النهايات السفلى متأثرة بقوة الجاذبية وبالتالي يؤدي ذلك الى زيادة الكسر الحجمي الموضعي في تلك النهايات ولهذا فإن مقدار الزيادة والنقصان في الكسر الحجمي الموضعي تؤدي الى زيادة ونقصان في معامل المرونة الموضعي.نلاحظ من الشكل( 10) ان الحجم الحبيبي (150µm) له اعلى معدل معامل مرونة عند الكسر الحجمي الموضعي( 34.9%) وصل قيمته (2.7GPa).كما ويلاحظ أنقلابا في قيم معامل المرونة في المقطع الرابع والذي يليه للحجم الحبيبي الكبير 150µm اثناء المقارنة نتيجة تركيز الحبيبات في المقاطع السفلى وسرعة ترسبها تحت تأثير الجاذبية قبل الوصول الى الحالة الهلامية .كما وان قيم معامل المرونة الوضعي وللنماذج الثلاثة وبغض النظر عن الحجم الحبيبي للدقائق المستعملة هي اكبر من قيم معامل المرونة الموضعي للنموذج المصنع من البولي استر النقي ويعود السبب في ذلك الى امتلاك دقائق كربيد السليكون (SiCp) معامل مرونة عال يصل الى (400 GPa) مقارنة مع معامل المرونة لمادة الاساس (1.123) [6].




الشكل (8) يوضح الحجم الحبيبي في الكسر الحجمي الموضعي




الشكل (9) يوضح تاثير الحجم الحبيبي للدقائق SiC في قيم صلادة شور




الشكل (10) يوضح تأثير الحجم الحبيبي في معامل المرونة لنماذج بكسر حجمي كلي (6%)

## 3. الاستنتاجات

1- تنخفض قيم الكسر الحجمي الموضعي والصلادة ومعامل مرونة الشد الموضعي مع زيادة الحجم الحبيبي في النهايات العليا من النموذج .

2- ترتفع قيم الكسر الحجمي الموضعي والصلادة ومعامل الشد الموضعي مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق في النهايات السفلى من النموذج .

3- معدل قيم الصلادة ومعامل المرونة للنماذج المعززة وبغض النظر عن الحجم الحبيبي للدقائق المعززة هي اعلى من قيم الصلادة ومعامل المرونة للنموذج المصنع من البولي استر النقي .

## 5. المراجع


1. Robert M. Jones .(1999)."*Mechanics of Composite Materials*", scripta Book Co, Washingon D.C, USA.
2. J.Stabik,A.Dybowska.(2007)."*Methods of preparing polymeric Gradient Composites* " Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering ,Vol. 25,NO.1
3. Geoff Eckold.(1995)."*Design and Manufacture of Composite Structure* ", Woodhead Publishing LTD, Cambrige, England.
4. J.Stabik , M.Szczepanik , A. Dybowska , t.suchon. (2010). "*Electrical Properties of polymeric gradient materials based on epoxy resin filled with haed coal* " Journal of Achievement in materials and Manfacturing Engineering ,Vol. 38,No.1.
5. Dr.Khansaa D.Salman , Sbah noori , Ahlam abd alamer, Layth H.Mahmmod.(2014). ,"*Studying The Mechanical Properties of Unsaturated Polyesters- B4C System*",The Iraqi Journal for Mechanical and Material Engineering,Vol. 14,No.1.
6. R.J.Butcher,C.E.Rousseau And H.V.Tippur.(1999)."*AFunctionally Graded Particulate Composite Preparation , Measurements And Failure Analysis*",Elsevier Science,Vol. 47,No.1,pp. 259-268.
7. عبير فاروق عباس،سحرحسين احمد "دراسة الخواص الحرارية لمادة متراكبة ذات اساس بوليميري مدعمة بدقائق النحاس ".(2010).مجلة الهندسة والتكنولوجيا،المجلد28،العدد 18،الصفحات 880-893.
8. رغد حسين محمد الجنابي ،(2004). "دراسة تاثير ظروف التجوية الاشعاع والمحاليل الكيميائية على بعض خصائص متراكبات الايبوكسي"،رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية.

9. مسار نجم عبيد "تأثير اضافة الزجاج الشموع التالفة على بعض الخواص الميكانيكية للبولي استر".(2013). مجلة بابل،العلوم الهندسية،المجلد 21،العدد 3.
10. W. Bolton," *Engineering Materials Technolog"*.(1998). butterworth – Heinemann, Third edition.
11. زاهر شاكر السلمان ، ارشد محمد مصطفى .(1979)." *الفحص الهندسي ي المنشأت النفطية"* اعداد قسم السلامة والتفتيش في مصفى الدورة – بغداد .
12. هناء عزيز سميج.(2011). *" تأثير التقوية بمسحوق اوكسيد الزنك على الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات اساس من البولي استر غير المشبع* " مجلة الهندسة والتكنولوجية ،المجلد 29،العدد10،الصفحات 474 - 484
13. د.علي حسين عتيوي،ليث وضاح اسماعيل ،اسيل محمود عبد الله.(2012)."*دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة بوليمرية مقواة برايش ومسحوق النحاس* "مجلة الهندسة والتكنولوجيا،المجلد 18،العدد5،الصفحات 103-113.
14. ASTM D2240-02.(2002)."*Standard Test Methods for Rubber Property Durometer Hardness*" ASTM International, West Conshohocken, PA,USA.
15. انعام وادي وطن"*دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية للبولي استر غير المشبع والمدعم بدقائق سيراميكية*".(2009).قسم الفيزياء،كلية تربية ابن الهيثم ،جامعة بغداد.
16. Nikhil Gupta,PradeepK.Rohatgi ,Takuya Matsunaga.(2009)."*Compressive and Ultrasonic properties of polyester/fly ash composites*"JMater Sci,Issue44,pp.1485-1493.
17. د. سهامة عيسى صالح،كاظم مطر شبيب، قحطان عدنان.(2010)." *دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات اساس بوليمري مقواه بالالياف والدقائق*"مجلة الهندسةوالتكنولوجيا،المجلد 28،العدد4،الصفحات 81-93.
18. ASTM D638-02a.( 2002).*"Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*" ASTM International, West Conshohocken, PA,USA.
19. PrabhakarR. Marur ،HareshV. Tippur .(1998)."*Evaluationof Mechanical Properties of Functionally Graded Materials*" Journal of Testing and Evaluation ،JTEVA,Vol. 26, No. 6,pp. 593-545.