

## دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات اساس بوليمري مقواة بالالياف والدقائق

د. سهامة عيسى صالح\*، د. كاظم مطر شبيب\* و قحطان عدنان حمد\*

تاريخ الاستلام: 2008/12/17

تاريخ القبول: 2009/7/2

## الخلاصة

تم في هذا البحث تم تحضير مواد متراكبة هجينية ذات اساس بوليميري بطريقة الصب اليدوي (Hand lay-up) وقد حضرت المواد المتراكبة من راتنج البولي استر غير المشبع كمادة اساس مدعمة باللياف الزجاج الحصريية نوع (E-GLASS) ذات كسر حجمي ثابت (10%) ودقائق الكرافيت كمجموعة اولى من العينات ومجموعة ثانية من العينات مدعمة باللياف الكفلر الحصريية 49 بدلاً من الياف الزجاج. تضمن البحث دراسة تأثير الكسر الحجمي المختار من (0%، 5%، 10%، 15%، 20%) لدقائق الكرافيت ذات مزيج من احجام جزيئية مختلفة تتراوح من (25µm - 106µm) على خصائص المواد المتراكبة المحضرة، وقد اجريت مجموعة من الاختبارات الميكانيكية عند درجة حرارة الغرفة شملت (اختبار الشد والانضغاط والصدمة ومتانة الانحناء واجهاد القص والصلادة) وقد اظهرت نتائج البحث ان قيمة (اجهاد الشد، اجهاد الانضغاط، ومعامل مرونة الشد، ومتانة الكسر، والصلادة) تزداد مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت كما ان قيم (معامل مرونة الانضغاط، متانة الانحناء، اجهاد القص) تزداد عند الكسور الحجمية المنخفضة لدقائق الكرافيت ولكلا عينات المجموعتين بينما تقل قيم مقاومة الصدمة مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت ولكلا عينات المجموعتين كما وبينت النتائج ان قيم (اجهاد الشد، معامل مرونة الشد، معامل مرونة الانضغاط، مقاومة الصدمة، متانة الكسر) هي اعلى للمواد المتراكبة الهجينية المدعمة بدقائق الكرافيت واللياف الكفلر عن قيم نظيراتها المدعمة باللياف الزجاج بدلاً من الياف الكفلر في حين لوحظ ان قيم (مقاومة الانضغاط، الصلادة، متانة الانحناء، اجهاد القص) هي اعلى للمواد المتراكبة الهجينية المدعمة باللياف الزجاج ودقائق الكرافيت عن قيم نظيراتها المدعمة باللياف الكفلر بدلاً من الياف الزجاج.

الكلمات المرشدة: مواد متراكبة، بولي أستر، ألياف الزجاج، ألياف الكفلر.

## Studying Mechanical Properties For Polymer Matrix Composite Material Reinforced By Fibers And Particles

### Abstract

The work focuses on the preparation of hybrid polymer matrix composite materials prepared from the unsaturated polyester resin as matrix reinforced by woven glass fiber kind ( E-glass ) and graphite particles as first group of samples and the second group of samples reinforced with woven Kevlar fiber kind (49) instead of glass fiber. This work includes studying the effect of selected volume fractions ( 0% , 5% , 10% , 15% , 20% ) of graphite particles with mixture of different particle Size of ( 25 µm- 106 µm ) on the properties of the prepared composite materials, Number of mechanical tests were done, they include (Tensile, Compression, Impact, Flexural Strength, Shear Stress and Hardness), which done at room temperature Result of the work shows that the values of (Tensile stress, Tensile elastic modulus, Fracture Toughness, Hardness) increase with the increase of graphite particle volume fraction for both groups samples.

As well as the values of the (Compression elastic modulus, Flexural strength, Shear stress) increase with the increase of low values of graphite particles volume fraction for both groups of samples. Where as the values of Impact strength of the prepared composite material decreased with the increases of volume fraction of graphite particles for both group samples. As well the result shows that the values (Tensile stress, Tensile elastic modulus, impact strength, Fracture toughness) for hybrid composite materials reinforced by Kevlar fiber are higher than values reinforced by glass fiber instead of Kevlar fiber, While the values of (Compression stress, Flexural Strength, Shear stress, Hardness) for hybrid composite materials reinforced by glass fiber are higher than values reinforced by Kevlar fiber instead of glass fiber.

**Keywords: composite materials, polyester, Glass Fibers, Kevlar fibers.**

## 1. المقدمة

للتطبيقات الصناعية [9،10]. لذلك يمكن القول ان المادة المتراكبة تتكون من طورين هما:- الطور الاول ويشمل المادة الاساس ( Matrix Material) والطور الثاني ويشمل مواد التقوية (Reinforced Material)، يرتبط هذان الطوران ببعضهما عن طريق سطح رابط يدعى السطح البيني (Interface) [11]، وقد تتالف المواد المتراكبة من طور اساسي واحد او اكثر ومن مادة تقوية واحدة او اكثر للحصول على العديد من المتراكبات بترابط مواد التقوية مع مواد الاساس وهنا تدعى المادة الناتجة بالمواد المتراكبة الهجينة (Hybrid Composite Materials) [12].

ونظراً لما تتمتع به المواد المتراكبة من خفة وزن وعزل حراري وكهربائي جيد فقد ازدادت الحاجة الماسة الى استخدامها في كثير من المجالات كالمدينة والعسكرية، مما حفز الكثير من العاملين في هذا المجال الى اجراء بعض التعديلات على خواصها وخاصة الخواص الميكانيكية منها وذلك بتدعيمها بمواد اخرى للوصول الى الهدف المنشود من استخدامها في الكثير من التطبيقات [10،13،14]، وعليه فقد تم في هذا البحث تحضير عينات من مواد متراكبة هجينة ذات اساس بوليمري مدعمة بالياف الزجاج والكفلر ودقائق الكرافيت ومن ثم دراسة خواصها الميكانيكية.

أن دراسة الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية من الامور المهمة جداً التي يجب اخذها بنظر الاعتبار لأنها تحدد سلوكية هذه المواد تحت تأثير الاجهاد المسلط عليها [1]، وتحت تأثير مختلف الظروف الخارجية من ضغط ودرجة حرارة وزمن الاجهاد المسلط وسرعة الاجهاد وطبيعة المذيبات الكيميائية وغيرها من العوامل الاخرى التي تؤثر كثيراً على الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة ذات الاساس البوليمري فتعتبر دراسة الخواص الميكانيكية من الامور المعقدة جداً لتعدد المتغيرات المؤثرة على كل خاصية [4،3،2]، والتي بعد معرفتها يمكن اختيار المادة المناسبة لاغراض تطبيقية وحسب طبيعة المادة. و تصنيف الخواص الميكانيكية للمواد اعتماداً على طبيعة تسليط القوى الى خواص ميكانيكية ساكنة (Statically Mechanical Properties) خواص ميكانيكية متحركة (Dynamic Mechanical Properties) [5،6،7]. ان المواد المتراكبة هي عبارة عن بناء مكون من مادتين او اكثر ذات مواصفات مختلفة ترتبط مع بعضها بطريقة معينة لتعطي التراكيب المرغوب فيها وتكون ذات خصائص افضل من خصائص المواد الداخلة في تكوينها فيما لو استخدمت بشكل منفرد [9،8]، وتكون مواد التدعيم بشكل دقائق اوقضبان اوالياف اوصفاتح الخ، وهي بذلك تجمع الخصائص الجيدة من مختلف المواد الداخلة في تركيبها علاوة على التخلص من العيوب الموجودة فيها لتكون اكثر ملائمة

## 1. الجزء العملي

## 2.1. المواد المستخدمة

ان المواد المستخدمة في تصنيع عينات البحث مكونة من المادة الاساس البوليمرية (البولي استر غير المشبع)، والمصنع من قبل شركة (SIR) السعودية يكون هذا الراتنج على شكل سائل لزج شفاف وردي اللون عند درجة حرارة الغرفة ويخلط مع المصلب باضافة 2gm من المصلب لكل 100gm من الراتنج وواحد انواع البوليمرات المصلدة حرارياً (Thermosetting)، ومواد التقوية والتي هي عبارة عن الياف الزجاج نوع (E-Glass) المحاكاة على شكل حصيرة (Woven Roving) (W.R) والمصنعة من قبل شركة (Mowding LTD UK) الانكليزية والياف الكفلر المصنعة من قبل شركة (DuPont) والمحاكاة على شكل حصيرة ودقائق الكرافيت الصناعية وهي كما يأتي:-

## 2.2. تحضير العينات

حضرت عينات لمواد متراكبة من البولي استر غير المشبع المدعم بألياف الزجاج مرة وبألياف الكفلر مرة اخرى، وعينات اخرى هجينة من البولي استر غير المشبع المدعم بألياف الزجاج بكسر حجمي ثابت (10%) مع دقائق الكرافيت ذات كسور حجمية مختلفة (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) كمجموعة اولى وقد حضرت عينات اخرى كمجموعة ثانية مدعمة بالياف الكفلر بدلاً من الياف الزجاج وبنفس الكسر الحجمي المستخدم لالياف الزجاج (10%) مع دقائق الكرافيت ذات كسور حجمية مختلفة (0%, 5%, 10%, 15%, 20%).

ان طرق تصنيع المواد المتراكبة عديدة ولكل طريقة من هذه الطرق محاسنها ومساوئها كذلك لكل منها المجال المناسب الذي تطبق فيه، لذلك فقد استخدمت طريقة (القولبة اليدوية) (Hand Lay-Up Molding) في تحضير العينات لأنها بسيطة الاستخدام ويمكن الحصول من خلالها على عينات بأشكال وأحجام وابعاد مختلفة وجرى تقطيع الياف الزجاج والياف الكفلر بشكل طبقات وبنفس ابعاد القالب المستخدم والذي تم تحضيره من الواح الزجاج وتم تغليف قاعدة وجوانبه من الداخل بورق حراري مصنع من مادة البولي فينيل الكحول

(PVA) وذلك لضمان استخراج العينة من القالب بعد تصلبها.

والعينات التي تم تحضيرها في هذا البحث هي :-

1. عينات من البولي استر مقواة بالياف الزجاج الحصريية نوع (E-Glass) بكسر حجمي ثابت (10%).

2. عينات من البولي استر مقواة بالياف الكفلر الحصريية نوع (49) بكسر حجمي ثابت (10%).

3. عينات هجينة من البولي استر مقواة بالياف الزجاج + دقائق الكرافيت وبكسور حجمية مختلفة (5%, 10%, 15%, 20%).

4. عينات هجينة من البولي استر مقواة بالياف الكفلر ودقائق الكرافيت وبكسور حبيبية مختلفة (5%, 10%, 15%, 20%).

## 3.2. الأجهزة المستخدمة

لغرض إجراء اختبار الشد قطعت العينات بأبعاد قياسية حسب المواصفات العالمية المبينة في الشكل (a) 1 وقد استخدم جهاز نوع (Instron 1195 Tensile Test) المصنع من قبل شركة (Instron) الانكليزية وبتسليط قوة شد بمعدل حمل (Load) مقداره (5KN) وبمعدل انفعال مقداره (0.5 mm/min) ولكافة النماذج وبأستخدام الراسم البياني للجهاز تم الحصول على نتائج مباشرة على شكل منحنى بين (الحمل - الاستطالة) والذي قد تم تحويله الى منحنى (الاجهاد - الانفعال) لغرض حساب خصائص الشد (معامل مرونة الشد، اجهاد الشد الاقصى) للنموذج حيث يتم إجراء اختبار الشد عندما يكون الاجهاد المسلط موازياً للعيبة [5]. ولحساب مقاومة الانضغاط تم اخذ عينات اختبار الانضغاط من نفس المصبوبة التي تم اخذ عينات الشد والصدمة والانحناء له وعند إجراء اختبار الضغط للعينات استخدم جهاز المكبس الهيدروليكي نوع (Leybold Harris No.36110) وقد اجري الاختبار عند درجة حرارة الغرفة بتسليط قوة ضغط بمعدل حمل (Load) معين حسب قوة تحمل العينة لغرض حساب اقصى اجهاد انضغاطي للعيبة عند نقطة الكسر [5،14] والشكل (b) 1 يوضح ابعاد العينة وشكلها.

ويتم حساب مقاومة الصدمة للمادة المتراكبة ( $G_c$ ) ومثانة كسر الصدمة للمادة المتراكبة ( $K_c$ ) وذلك بالإعتماد على الطاقة اللازمة

وسهولة تغلغل مادة الأساس بين هذه الدقائق والألياف مما يخلق سطوح بيئية تامة مابين مادة الأساس ومواد التقوية، علاوة على مدى التوافقية بين المادة الأساس ودقائق الكرافيت من جهة وما بين دقائق الكرافيت وألياف كفلر وألياف الزجاج من جهة أخرى مما أدى إلى زيادة في قيم مقاومة الشد مع زيادة في الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت، كما لوحظ أن قيم مقاومة الشد للعينات المدعمة بالألياف الكفلر أعلى من قيم مقاومة الشد للعينات المدعمة بالألياف الزجاج وهذا يعود إلى الخصائص التي تمتاز بها ألياف كفلر والمتمثلة بالمقاومة العالية للشد علاوة على مرونتها العالية بالمقارنة مع ألياف الزجاج، وخاصة أن الألياف تتحمل الجزء الأكبر من الإجهاد الخارجي المسلط على المادة المتراكبة وأن مدى التحمل لهذه الألياف يتناسب مع الكسر الحجمي وطبيعة الألياف المستخدمة في التقوية وقوة السطح البيئي [15]. كما ويلاحظ من خلال الشكل (2) إن قيم مقاومة الكسر للعينات المدعمة بالألياف الكفلر تزداد بمعدلات أعلى مما هو عليه بالنسبة للعينات المدعمة بالألياف الزجاج مع كل زيادة في الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت لتصل إلى أعلى قيمتها عند الكسر الحجمي البالغ (15%)، ومن ثم تنخفض قيم مقاومة الكسر عند زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت إلى أعلى من (15%)، ولكن تبقى قيم مقاومة الشد عند نقطة الكسر لهذه المجموعة أعلى مما هو عليه في العينات المدعمة بالألياف الزجاج، إن زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت إلى أعلى من (15%) للعينات المدعمة بالألياف الكفلر أدى إلى صعوبة تغلغل مادة الأساس بين هذه الألياف والدقائق والتي لوحظت عملياً أثناء عملية تحضير العينات مما قلل من قوة التلاصق الحاصلة بين سطحي مادة الأساس والألياف من جهة وسطوح الدقائق والمادة الأساس من جهة أخرى وعليه فإن عملية تبلل سطوح الألياف والدقائق عن طريق المادة الأساس قبل وصلها ستكون غير تام مما يؤدي إلى إضعاف الترابط بين المادة الأساس ومواد التقوية وسوف تقل كفاءة نقل الحمل المسلط على المادة المتراكبة وبالتالي سوف تنكسر المادة المتراكبة المحضرة بإجهاد أقل، علاوة على أن صعوبة التغلغل قد يخلق العديد من العيوب داخل المادة المتراكبة وعيوب ضمن طبقة ألياف كفلر أثناء التصنيع

لحصول الكسر في العينة ( $U_c$ ) والتي تم قياسها باستخدام طريقة جاربي لاختبار الصدمة (Charpy Impact Test) وقد تم استخدام جهاز الصدمة نوع Izod Charpy (Tension Impact Test Instrument) والمصنع من قبل شركة (Testing Machines, Inc, Amityville New York) وقد تم استخدام عينات حسب المواصفات القياسية علماً ان العينات لا تحتوي على شق والشكل (1 (c)) يوضح ابعاد العينة وشكلها. أما في فحص الصلادة فقد تم استخدام جهاز الصلادة (Shore Durometer) نوع (Shore-D)، الخاصة بقياس صلادة المواد البوليمرية المصلدة حرارياً (Thermosetting Polyme) وهو عبارة عن جهاز مشابه للبوصله يحتوي على إبرة في المنتصف وتتضمن طريقة الفحص وضع الجهاز بصورة عمودية على العينة المراد قياس الصلادة لها بحيث يكون مماساً لسطح العينة المراد قياس صلادتها لكي تغرز الإبرة في سطح المادة ثم يتم الانتظار مدة ثلاثة ثواني بعدها يتم اخذ قيمة الصلادة من الجهاز، وان الضغط المسلط حسب المواصفات (DIN 53505) ويساوي (50 نيوتن) أي مايعادل (5kp) بالنسبة لصلادة (Shore D) وقد تم أخذ ما لا يقل عن ثلاثة قراءات في اماكن مختلفة من العينة [14] والشكل (1 (d)) يوضح ابعاد العينة وشكلها.

لما في اختبار متانة الانحناء فقد استخدم جهاز المكبس الهيدروليكي أيضاً وذلك بتسليط الحمل بصورة تدريجية باستخدام الرأس المدبب عند منتصف العينة المثبتة من طرفيها على مرتكزين لحين حصول الفشل فيها [14] والشكل (1 (e)) يوضح ابعاد العينة وشكلها.

### 3. النتائج والمناقشة

#### 1.3. اختبار الشد

من خلال الشكل (2) لوحظ أن قيم مقاومة الشد عند الكسر تزداد بزيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت ولكلا المجموعتين وهذا يعود إلى مساهمة كلا من ألياف الزجاج وألياف الكفلر في تحمل القوى المسلطة على المترابك الهجينى وبما يناسب طبيعتها وكسرها الحجمي فان الألياف تلعب الدور الاساسي في تحمل الاجهادات بالاضافة الى ان مادة الكرافيت لها مقاومة شد ومرونة عاليتين بالمقارنة مع الياف الكفلر والياف الزجاج، فضلاً عن توزيعها العشوائي المنتظم داخل مادة البولي إستر

الأنضغاط عند الكسور الحجمية التي تزيد عن (15%) من دقائق الكرافيت وهذا مماثل لما لوحظ في نتائج مقاومة الشد.

كما ان الشكل (4) يوضح ان قيم مقاومة الانضغاط القصوى للعينات المدعمة بالياف الزجاج هي اعلى من نظيراتها من العينات المدعمة بالياف الكفلر وهذا يعود الى ضعف الياف الكفلر اتجاه الحمل الانضغاطي المحوري بسبب خواصها الغير متناظرة [16، 17]، اما فيما يتعلق بقيم معاملات المرونة الانضغاطي للعينات المدعمة بالياف الزجاج او الياف الكفلر فيلاحظ من خلال الشكل (5) زيادة في قيم معاملات المرونة الانضغاطي ولكلا العينات المدعمة بالياف الزجاج او الياف الكفلر عند اضافة دقائق الكرافيت اليها وبذلك سوف تعمل دقائق الكرافيت في البداية على اعاقه حركة الشقوق فتقل قيمة الانفعال مما يزيد من قيم معاملات المرونة الا انها تتخفف مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت وخاصة مع العينات المدعمة بالياف الزجاج وهذا يعود الى ضعف قوة الالتصاق ما بين مكونات المادة المتراكبة ومادة الاساس وخاصة عند التقوية بالياف الزجاج [18]، كما يلاحظ من خلال الشكل ان قيم معاملات مرونة الانضغاط للعينات المدعمة بالياف الكفلر هي اعلى من قيم نظيراتها من العينات المدعمة بالياف الزجاج وهذا يعود الى طبيعة الياف الكفلر وما تتمتع به من معاملات مرونة انضغاطية عالية بالمقارنة مع الياف الزجاج [17].

### 3.3. اختبار الصدمة

نلاحظ من خلال هذا الاختبار الموضح بالشكل (6) انخفاض في قيم مقاومة الصدمة للعينات المدعمة بالياف الزجاج او الياف الكفلر مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت وبشكل متناظر نظراً لما تمتلكه دقائق الكرافيت من ضعف في قابلية مقاومتها للصدمة وصفة الهشاشة بالمقارنة مع المادة الاساس والياف الزجاج والياف كفلر كما ونلاحظ من خلال الشكل (6) ان قيم مقاومة الصدمة للعينات المدعمة بالياف الكفلر هي اعلى من قيم نظيراتها للعينات المدعمة بالياف الزجاج، وان هذا يعود الى طبيعة الياف الكفلر لما تملكه من مقاومة صدمة عالية ومتانة عالية مقارنة بالياف الزجاج التي تمتلك صفة الهشاشة وسهولة تكسرها الى قطع صغيرة.

يؤدي الى توليد العديد من المناطق لتركيز الإجهادات والتي تعجل في عملية الفشل [15]. اما من خلال الشكل (3) يلاحظ ان قيم معامل المرونة الشدي يزداد مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت ولكافة العينات المدعمة بالياف الكفلر او بالياف الزجاج بشكل متناظر تقريباً، وأن هذه الزيادة في معامل المرونة لكافة العينات يعود الى مساهمة كل من دقائق الكرافيت والياف الزجاج والكفلر في تحمل الحمل المسلط على المادة المتراكبة وبما يناسب طبيعتها وخصائصها الميكانيكية وكسورها الحجمية [14]، وعليه فأن استخدام دقائق الكرافيت التي تمتلك معامل مرونة عالي وان زيادة كسرها الحجمي كان على حساب الكسر الحجمي لمادة البولي استر غير المشبع وان التوزيع المتجانس لدقائق الكرافيت داخل ارضية مادة الاساس البوليمرية سوف تعمل على حصر حركة المادة الاساس وبالتالي انخفاض قيم الانفعال للمادة المتراكبة مما ادى الى زيادة معامل المرونة لكافة العينات المدعمة بالكفلر او الياف الزجاج وان الفحص جرى تحت معدل انفعال ثابت (0.5 mm/min)، كما وان استخدام الياف الكفلر كأحد مواد التقوية للعينات وبما ان للالياف معامل مرونة عالي مقارنة بالياف الزجاج فأن ذلك ادى الى زيادة قيم معاملات المرونة للعينات المدعمة بالياف الكفلر مقارنة بغيره من العينات المدعمة بالياف الزجاج.

### 2.3. اختبار الضغط

أظهرت نتائج فحص الانضغاط من خلال الشكل (4) ان العينات المدعمة بالياف الزجاج او الياف الكفلر نلاحظ زيادة قسبم اجهاد الانضغاط عند نقطة الكسر عند اضافة دقائق الكرافيت الى المادة المتراكبة ولكلا العينات المدعمة بالياف الزجاج او الياف الكفلر وذلك نظراً لما تتمتع به دقائق الكرافيت من مقاومة الحمل الانضغاطي مقارنة بمواد التقوية الاخرى المتمثلة بالياف الزجاج والياف الكفلر، الا ان زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت اكثر من (15%) ادى الى انخفاض قيم مقاومة الانضغاط حيث لوحظ زيادة لزوجة السائل البوليمري عند مزجه بنسبة عالية من دقائق الكرافيت مما يقلل من تبلل مواد التقوية قبل تصلب مادة الاساس والتي تسبب ضعف التماسك ما بين مادة الاساس ومواد التقوية وفي النهاية ادى ذلك الى انخفاض قيم مقاومة



(15%) ومن ثم انخفضت عند الكسر الحجمي البالغ (20%) ولكلا العينات المدعمة بالياف الزجاج او بالياف الكفلر، وهذا يعود الى اللزوجة العالية التي اكتسبتها المادة المحضرة عند اضافة النسب العالية من دقائق الكرافيت الى داخل المادة الاساس وهي في الحالة السائلة مما سبب صعوبة تغلغل المادة الاساس الى داخل الفسح البينية للالياف والموجودة داخل المادة المتراكبة مما ادى الى خلق الكثير من الفجوات في داخل المادة المحضرة عند تصليب المادة المتراكبة مما سبب في انخفاض قيم الصلادة.

### 5.3. اختباري متانة الانحناء واجهاد القص

يعتبر اختبار متانة الانحناء من الاختبارات المعقدة لان العينة تتعرض الى عدة اجهادات في نفس الوقت هي اجهاد الشد الذي يحصل عند السطح الخارجي للعينة واجهاد الضغط الذي يحصل على السطح الداخلي للعينة واجهاد القص الذي يحدث عند السطح البيني لها، وتفشل المادة المتراكبة بتأثير احد هذه الاجهادات الثلاثة اعتمادا على نوع مادة التقوية والمادة الاساس وقوة الترابط بينهما.

من خلال الشكلين (9)، (10) توضح قيم متانة الانحناء وقيم اجهاد القص على التوالي. فقد لوحظ ان قيم متانة الانحناء وقيم اجهاد القص الاعظم تزداد عند اضافة دقائق الكرافيت الى مادة الاساس المدعمة بالياف الكفلر او الياف الزجاج وذلك نتيجة لما تتمتع به دقائق الكرافيت من مقاومة عالية تجاه الاجهاد الانضغاطي والقصي بالمقارنة مع الياف الزجاج والياف الكفلر، ولكن زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت قلل من قابلية تبليها (Wetability) داخل المادة الاساس مما يجعلها كمراكز لتركيز الاجهادات فتزداد عندها العيوب والتشققات وبذلك سوف يضعف الترابط بين المادة الاساس ومواد التقوية وتفشل العينة بشكل نهائي، ومن خلال الشكلين (9)، (10) نلاحظ ان قيم متانة الانحناء وقيم الاجهاد القصي للعينات المدعمة بالياف الزجاج اعلى من نظيراتها للعينات المدعمة بالياف الكفلر بدلا من الياف الزجاج وذلك لأن الياف الكفلر لها خواص غير متناظرة (Anisotropic) وتكون ضعيفة تجاه الاجهاد القصي واجهاد الانضغاط بينما تمتلك الياف الزجاج خواص متناظرة (Isotropic) وتكون قوية تجاه اجهاد القص والانضغاط [21].

اما قيم متانة كسر الصدمة فتزداد قليلا بزيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت والتي يمكن ملاحظتها من خلال الشكل (7) الذي يوضح متانة الكسر للعينات المدعمة بالياف الزجاج او الكفلر وتعزى الزيادة في طاقة الكسر للمادة المتراكبة المحضرة الى تحمل مواد التقوية جزءاً من قوة الصدمة وذلك لزيادة الترابط بين المادة الاساس ومواد التقوية نتيجة تغلغل المادة الاساس بين الالياف مما يؤدي ذلك الى زيادة الطاقة اللازمة لكسر العينة كما وتعمل دقائق الكرافيت كمعوقات لتقدم الشق وتعتمد هذه الإعاقة على مدى قوة الترابط للسطح البيني بين مواد التقوية ومادة الاساس وذلك لان انتقال الكسر خلال السطح البيني حول دقائق الكرافيت في حالة عدم تكسر الدقائق، علاوة على اعتماد هذه العلاقة على نسبة الكسر الحجمي للدقائق وشكلها وحجمها ونظام توزيعها ضمن المادة الاساس، ثم تنخفض القيمة الاخيرة لمتانة كسر الصدمة للمادة قليلا (ولكن تبقى اعلى مما هو عليه للعينات المدعمة بالالياف فقط) وذلك يعود الى زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت التي تؤدي الى المزج الغير متجانس لهذه الدقائق مع المادة الاساس البوليمرية مما يزيد من لزوجة المادة الاساس مما يقلل من قوة الترابط بين مكونات المادة المتراكبة، وان زيادة المناطق البينية الغير متماسكة بين المادة الاساس ومواد التقوية سوف يؤدي الى زيادة العيوب ونقصان في مقدار الطاقة اللازمة لحدوث الكسر وهذا ما اشار اليه الباحث (B.F Blumentrit) وهي أن المادة تتمزق عند وجود التشققات في المادة الاساس وعند الحد الفاصل بين المادة الاساس ومواد التقوية [19،20]، والشكل (7) يوضح ان قيم متانة الكسر للعينات المدعمة بالياف الكفلر هي اعلى من قيم نظيراتها في العينات المدعمة بالياف الزجاج.

### 4.3. اختبار الصلادة

نلاحظ من خلال الشكل (8) ان قيم الصلادة للعينات المدعمة بالياف الزجاج او الياف الكفلر تزداد مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت وذلك لما تتمتع به هذه الدقائق من صلادة عالية، وان قيم الصلادة للعينات المدعمة بالياف الزجاج تفوق قيم الصلادة للعينات المدعمة بالياف الكفلر، ويلاحظ ايضا ان قيم الصلادة وصلت الى اعلى قيمتها عند زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت الى

## 4. الاستنتاجات

أن أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها خلال هذا البحث تلخص بما يلي:-

1- إن إضافة دقائق الكرافيت إلى المواد المتراكبة الهجينة المحضرة من البولي استر غير المشبع كمادة أساس والمدعم بالالياف الزجاج لولاياف الكفلر أدى إلى زيادة في قيم كافة الخواص الميكانيكية التي أجريت في البحث والمتمثلة بخواص ( الشد، الانضغاط، متانة الكسر، الصلادة، اجهادالقص، متانة الانحناء )، باستثناء قيم مقاومة الصدمة فقد أدى إضافة دقائق الكرافيت إلى انخفاضها .

2- تزداد قيم كافة الخواص الميكانيكية المذكورة في أولاً مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت باستثناء قيم مقاومة الصدمة فإنها تنخفض مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت.

3- إن قيم (مقاومة الانضغاط، متانة الانحناء، اجهاد القص، الصلادة) هي أعلى للمواد المتراكبة الهجينة المدعمة بدقائق الكرافيت والاياف الزجاج عن قيم نظيراتها المدعمة بالاياف الكفلر بدلاً من الزجاج.

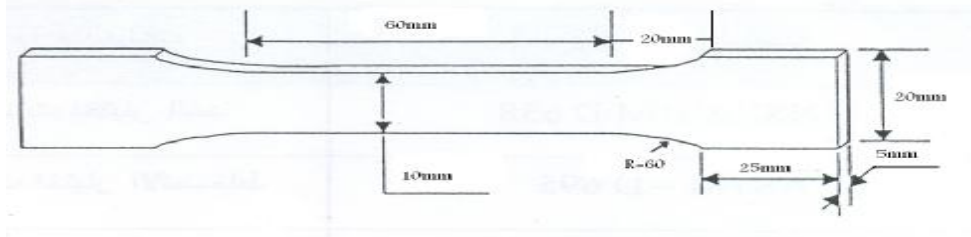
4- إن قيم (مقاومة الشد، مقاومة الصدمة، متانة الكسر، معامل المرونة الشدي، معامل المرونة الانضغاطي)، هي أعلى للمواد المتراكبة الهجينة المدعمة بدقائق الكرافيت والاياف الكفلر عن قيم نظيراتها المدعمة بالاياف الزجاج بدلاً من الكفلر .

5- إن قيم (معامل المرونة الانضغاطي، اجهاد القص، متانة الانحناء) تنخفض عند الكسور الحجمية العالية من دقائق الكرافيت.

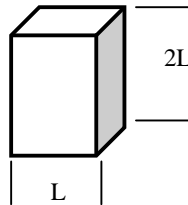
## 5. المصادر

- TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY , Vol. 20, No. 4, October, (2005).
- [4] "Comparison of Tensile Strength of Different Carbon Fabric Reinforced Epoxy Composites", Jane Maria Maulstick, Journal of Materials Research, Vol. 9, No. 1, December, (2006), P.P. (83-89).
- [5] Askeland D.R. & phule P.P, " The Science & Engineering of Materials" , 4th Edition Thomson Brook . Cole, (2003).
- [6] W. Johnson & P.B Meller, "Engineering plasticity", John wiley & Sons, (1983).
- [7] Dod Coordination Draft, "Polymer matrix Composite materials Properties", Department of Defense, washing D. C. (1996).
- [8] Hull.O & T.W.Clyne, "An Introduction to Composites Materials", Cambridge University Press , (1996).
- [9] W.D.Callister, "Materials science & Engineering An Introduction", Jown wiley& sons , Inc, (2003).
- [10] "Mechanical Properties of Composites Based on Low Styrene Emission Polyester Resins for Marine Application", Christophe Baley, Y. Perrot, Peter Davies, Journal of Applied Composite Materials , Vol. 13, No. 1, January, (2006), P.P.(1-22).
- [11] لميس علي خلف "دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات البولي أستر غير المشبعة والمدعمة بالاياف الزجاج والاياف النايلون"، رسالة ماجستير، قسم هندسة المواد، الجامعة التكنولوجية، (2006).
- [12] R. F. Gibson , "Principles of Composite Material Mechanics", Mc. Graw Hill, Inc, New York, (1994).
- [13] K. K. Chawla, "Composite Materials", springer-verlag , NewYork , Inc, (1987).
- [14] R. A. Higgins, "Materials for Engineering and Technicas", Elsevier Ltd, (2006).
- [1] Marc Andrew Megers, Krishan Kumar chalwla, "Mechanical Behavior of Materials", Prentice Hall, New Jersey, (1999).
- [2] Brain S. Mitchell, "An Introduction to Materials engineering & Science for chemical & Materials engineering", 1th Edition, John Wily & Son, Inc, (2004).
- [3] "Resistance to Brittle Fracture of Glass Reinforced Polymer Composites Used in Composite (Nonceramic) Insulators", Lucas S. Kumosa, Maciej S. Kumosa, Daniel L. Armentrout, IEEE

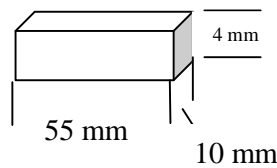
- [18] "Encyclopedia of Polymer Science & Technology", Sons & John Wiley, Inc, (2002).
- [19] Ivor H. up degraft, "Hand – Book of Composite", Van No strand Reinhold Inc, Edited by George Lubin, New York, (1982).
- [20] Hibbeler R.C, "Mechanics of Materials", 6th Ed, Pearson prentice Hall, (2005).
- [21] S.V .Kulkarni, J. S. Rice & B. W. Rosen "Composites", Vol. 6, No.5, (1975), p.p.(217-225).
- [15] Henning Kaiser ,Vistasp M. Karbhari "Quality and Monitoring of Structural Rehabilitation Measures", UCSD, Version 1.2, November, (2001).
- [16] Derek Hull, "An Introduction to Composite Materials", Cambridge University Press, first Published, (1981).
- [17] "SP System Guide to Composite Engineering Materials", (2004), www. SP System. com.



الشكل (1- (a)) الأبعاد القياسية لعينات اختبار الشد.

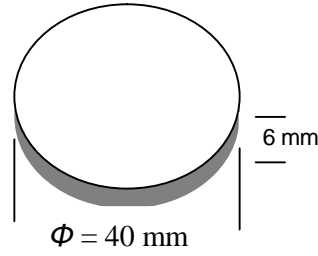


الشكل (1- (b)) الأبعاد القياسية لعينات اختبار الضغط.

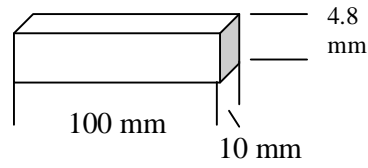


الشكل (1- (c)) الأبعاد القياسية لعينات اختبار الصدمة.

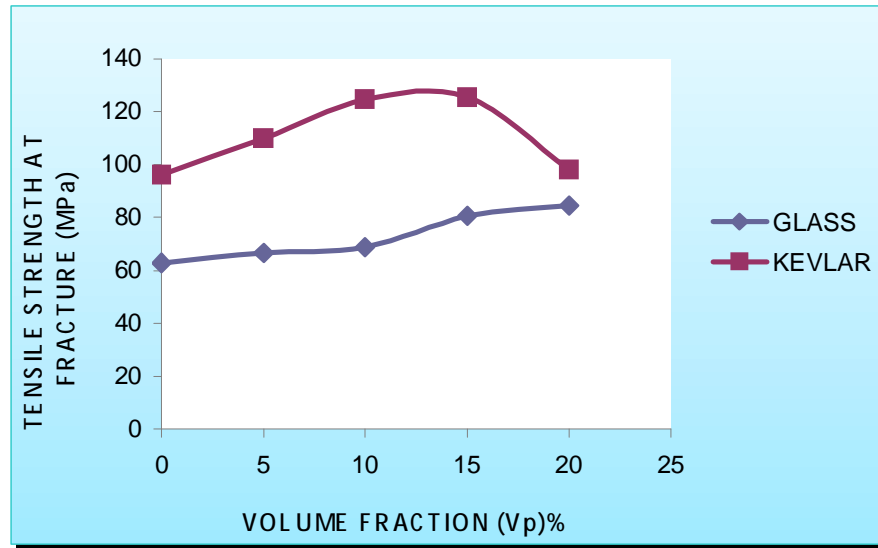




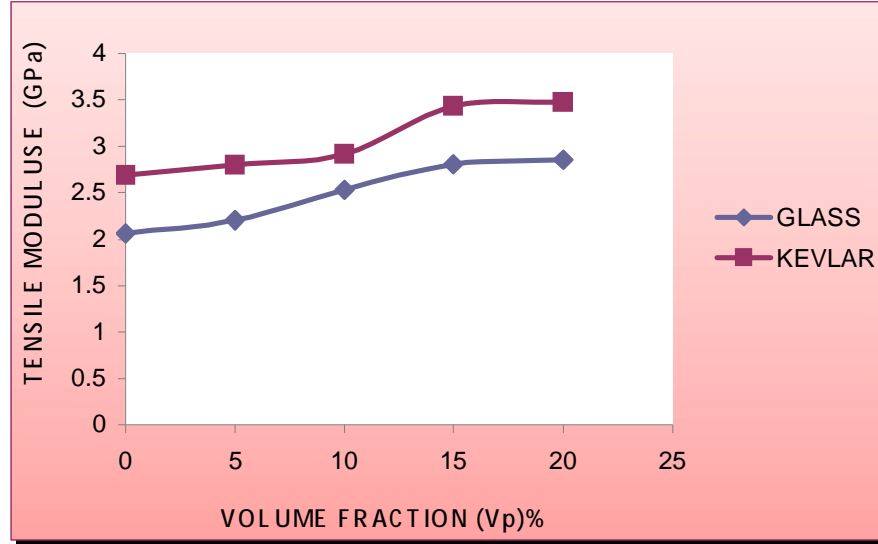
الشكل (1-d) الأبعاد القياسية لعينات اختبار الصلابة.



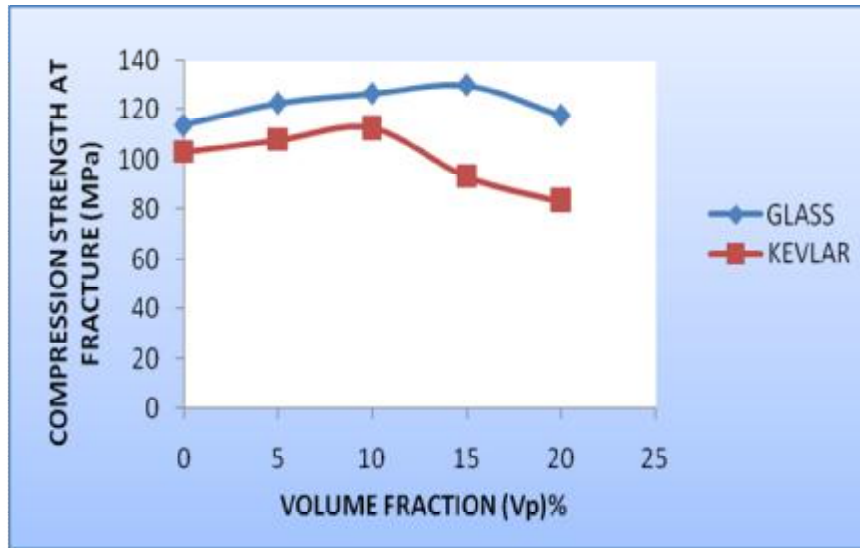
الشكل (1-e) الأبعاد القياسية لعينات اختبار متانة الأحناء.



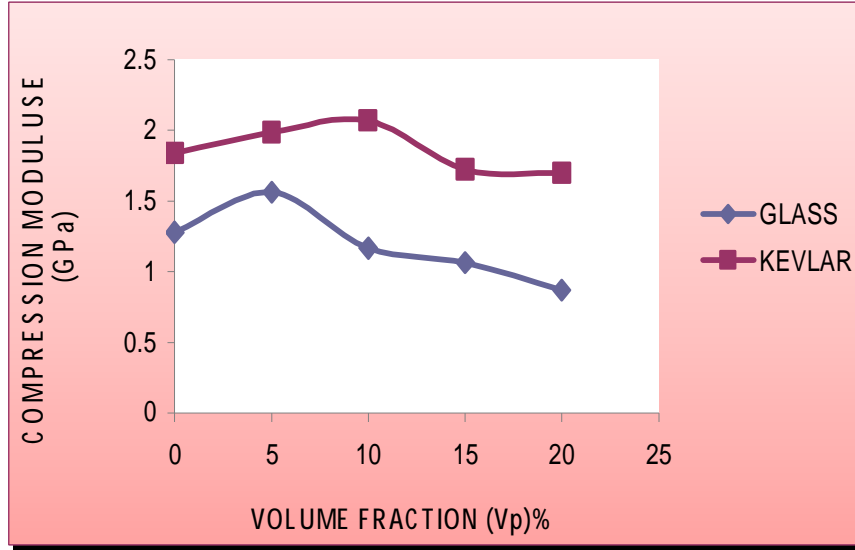
الشكل (2) تأثير الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت على قيم إجهاد الشد الاعظم لمادة متراكبة هجينية ذات أساس من البولي أستر غير المشبع مقواة بدقائق الكرافيت واليااف الزجاج اوبدقائق الكرافيت واليااف الكفلر.



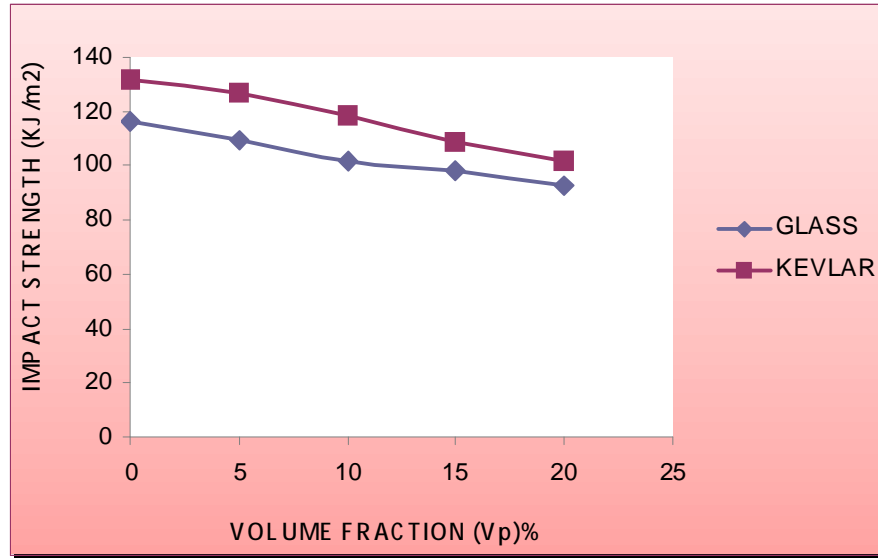
الشكل (3) تأثير الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت على قيم معامل مرونة الشد لمادة متراكبة هجينة ذات اساس من البولي استر غير المشبع مدعمه بدقائق الكرافيت والياف الزجاج اوبدقائق الكرافيت والياف الكفلر.



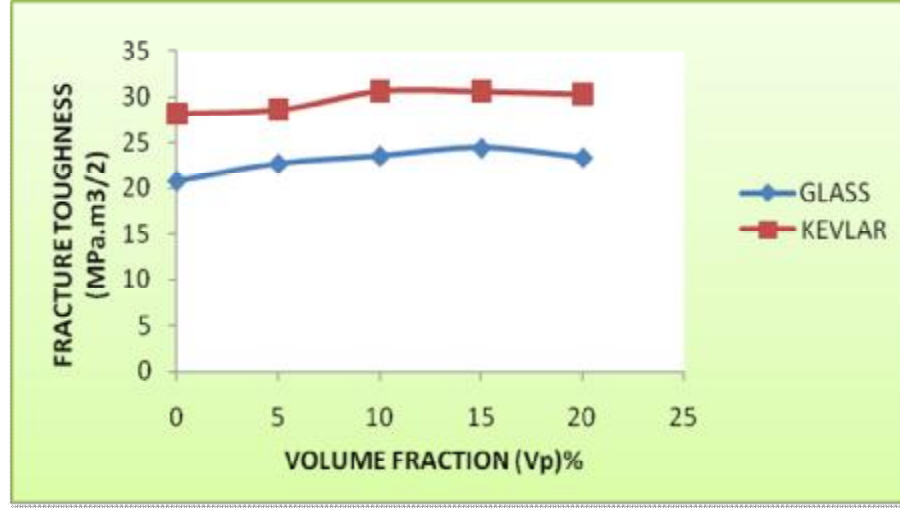
الشكل (4) تأثير الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت على قيم الاجهاد الانضغاطي عند الكسر لمادة متراكبة هجينة ذات اساس من البولي استر غير المشبع مقواة بدقائق الكرافيت والياف الزجاج اوبدقائق الكرافيت والياف الكفلر.



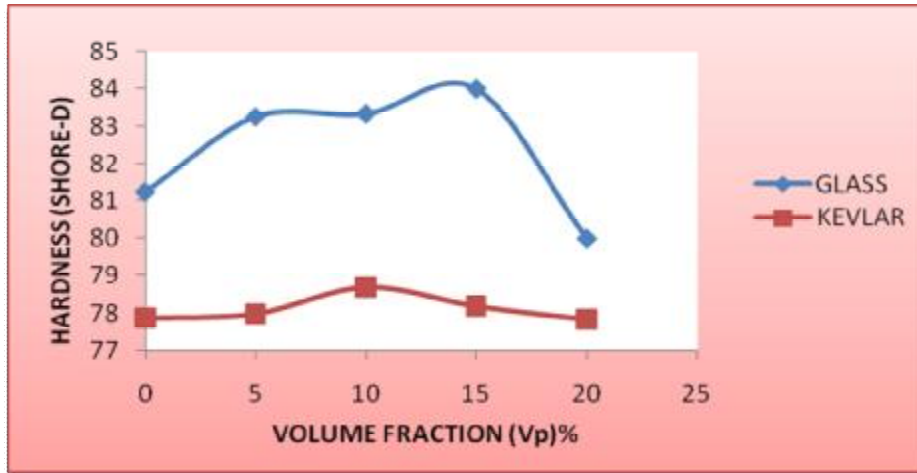
الشكل (5) تأثير الكسر الحجمي لدفائق الكرافيت على قيم معامل مرونة الاتضعاظ لمادة متراكبة هجينية ذات اساس من البولي استر غير المشبع مدعمة بدفائق الكرافيت والياف الزجاج او بدفائق الكرافيت والياف الكفلر.



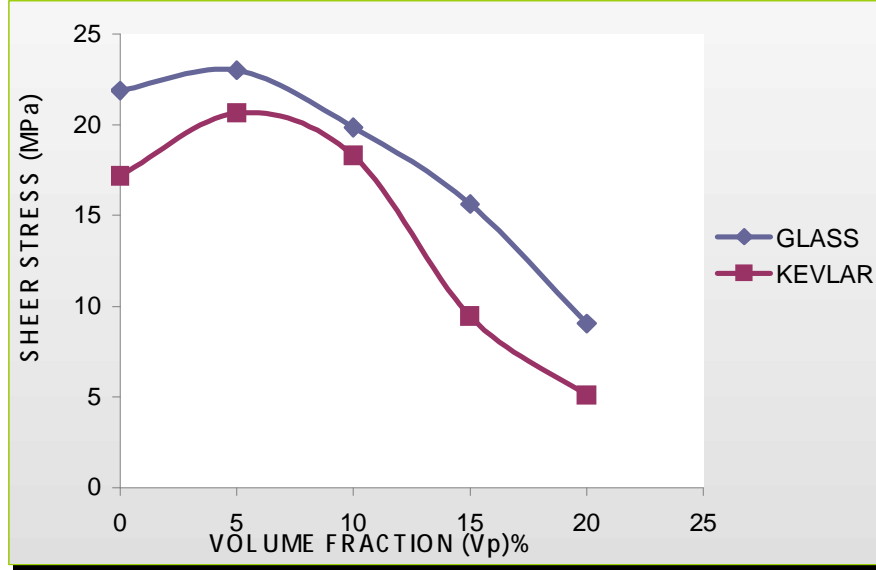
الشكل (6) تأثير الكسر الحجمي لدفائق الكرافيت على قيم مقاومة الصدمة لمادة متراكبة هجينية ذات اساس من البولي استر غير المشبع مقواة بدفائق الكرافيت والياف الزجاج او بدفائق الكرافيت والياف الكفلر.



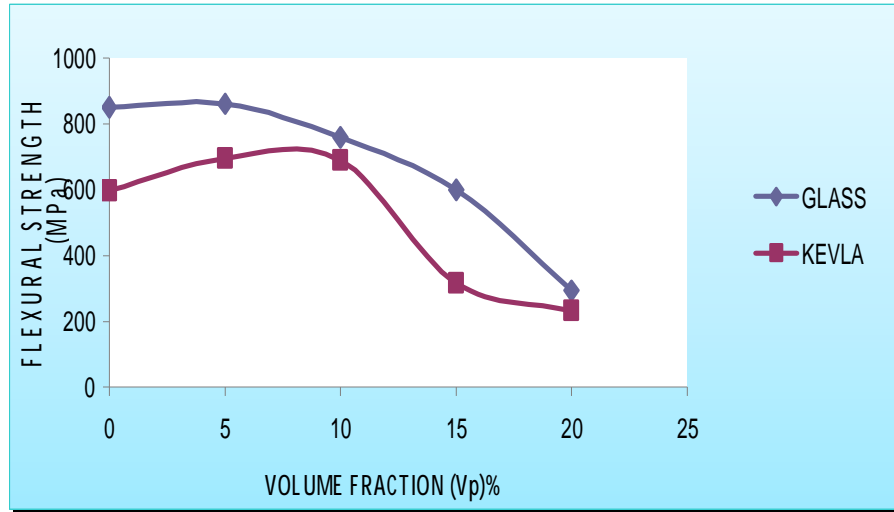
الشكل (7) تأثير الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت على قيم متانة كسر المادة متراكبة هجينية ذات أساس من البولي أستر غير المشبع مقواة بدقائق الكرافيت والياف الزجاج اوبدقائق الكرافيت والياف الكفلر.



الشكل (8) تأثير الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت على قيم صلادة المادة المتراكبة الهجينية ذات أساس من البولي أستر غير المشبع مقواة بدقائق الكرافيت والياف الزجاج اوبدقائق الكرافيت والياف الكفلر.



الشكل (9) تأثير الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت على قيم أجهاد القص لمادة متراكبة هجينية ذات أساس من البولي أستر غير المشبع مقواة بدقائق الكرافيت والياف الزجاج اوبدقائق الكرافيت والياف الكفلر.



الشكل (10) تأثير الكسر الحجمي لدقائق الكرافيت على قيم متانة الانحناء لمادة متراكبة هجينية ذات أساس من البولي أستر غير المشبع مقواة بدقائق الكرافيت والياف الزجاج اوبدقائق الكرافيت والياف الكفلر.