

# الخواص الميكانيكية لمادة البولي أستر المقواة بالألياف وأستخدامها في تصنيع أعمدة جهاز المتوازي الرياضي

الاستاذ الدكتور

هشام توفيق رشيد

الجامعة التكنولوجية

عبد الوهاب حسن خضر

الجامعة التكنولوجية

## ملخص البحث:

تم دراسة معامل المرونة (E) ومتانة المادة ( $G_C$ ) ومتانة الكسر ( $K_C$ ) لمواد مركبة و مواد مركبة هجينة مكونة من مادة البولي أستر المقواة بألياف الزجاج, مادة البولي أستر المقواة بألياف الكفلر, ومادة البولي أستر المقواة هجينياً (15% ألياف زجاج + 15% ألياف الكفلر), ومن ثم تمت مقارنة خواص هذه المواد المركبة مع خواص مادة البولي أستر غير المقواة وذلك لملاحظة تأثير عملية التقوية على خواص المواد المركبة عند درجات حرارية مختلفة هي  $0, 30, 60$  °C. وقد كانت نسبة الكسر الحجمي المستخدمة لجميع المواد هي 30% وأن مواد التقوية المستخدمة هي عبارة عن الياف مستمرة مرتبة بالاتجاه الطولي.

لقد وجد بأن معامل المرونة (E) يزداد في حالة التقوية على اختلاف أنواعها ويقل عند زيادة درجة الحرارة. أما متانة المادة ( $G_C$ ) فقد وجد بأنها تزداد في حالة التقوية بالألياف على اختلاف أنواعها, وتزداد أيضاً بزيادة درجة الحرارة. أما متانة الكسر ( $K_C$ ) فانها تزداد في حالة التقوية بالألياف وتزداد مع زيادة درجة الحرارة أيضاً.

كما تمت دراسة استخدام هذه المادة المركبة المقواة هجينياً في تصنيع أعمدة جهاز المتوازي المستخدم في أداء التمارين الرياضية, عن طريق دراسة أحمال الصدمة بطريقة الأوزان الساقطة (Falling Weights). و لقد وجد بأن هذه المادة هي أفضل من مادة الخشب المستخدم حالياً في صناعة الأعمدة المذكورة من حيث امتصاص الصدمات والمرونة العالية مما يحسن من أداء اللاعب بشكل أفضل.

# Mechanical Properties of Fiber Reinforced Polyester and Used in Two Parallel Bars.

## Abstract:

Elastic Modulus (E), Material Toughness ( $G_C$ ) and Fracture Toughness ( $K_C$ ) of composite materials that consist of polyester reinforced with Glass fiber, polyester reinforced with Kevlar fiber and polyester reinforced with 30% ratio of Glass fiber and Kevlar fiber have been studied.

A comparison is made between the properties of the composites with those of unreinforced polyester to find out the effect of reinforcement on the composites at varying temperatures (0,30,60) °C. Volume fraction for all specimens was 30% and the reinforcement materials were continuous fiber oriented in longitudinal direction.

It was found that elastic modulus for polyester increases when the material is reinforced with different types of fiber, where as it decreases when temperature increases.

Material Toughness ( $G_C$ ) increases with reinforcement and temperature rise; such as Fracture Toughness ( $K_C$ ) increases with reinforcement and temperature rise. And studied ability to manufacturing the two parallel bars using from Gymnastics player, from this hybrid composite materials by using the falling weights method to study the impact force for these bars. And found that these materials is better than from wood using in manufacturing the two parallel bars from about impact absorption and high elastic which is improvement from Gymnastics player.

## المقدمة:

تعتبر المواد المركبة ذات الأساس اللدائني من المواد التي تستخدم في التطبيقات الهندسية والتكنولوجية، إن استخدام هذه المواد يتطلب كونها ذات متانة جيدة وأداء عالي لمقاومة الأجهادات الخارجية (External Stresses) المؤثرة عليها والظروف الخارجية المحيطة بها من درجات الحرارة والرطوبة وغيرها. [1]

يعتبر فحص الشد (Tensile Test) من الفحوصات الأساسية والتي من خلالها يتم معرفة بعض الخصائص الميكانيكية للمواد، حيث يمكن من خلال هذا الفحص معرفة قيمة معامل المرونة (E) من ميل الجزء المستقيم للمنحني الذي يمثل العلاقة بين الإجهاد والانفعال والذي يتم الحصول عليه من خلال إجراء هذا الاختبار.

ويمكن الاستفادة من منحنى الإجهاد والانفعال في الحصول على معلومات عن سلوك النموذج المختبر من حيث القوة والمتانة وأقصى إجهاد يتحملة النموذج وأقصى استطالة قد تحدث فيه إضافة إلى معلومات هندسية أخرى. [2][3]

يتم حساب الأجهاد المسلط ( $\sigma$ ) من خلال المعادلة التالية:-

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \dots (1)$$

حيث أن ( $P$ ) القوة المسلطة و ( $A$ ) مساحة مقطع العينة.

أما الأنفعال الحاصل في النموذج فيتم حسابه باستخدام المعادلة التالية:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad \dots (2)$$

حيث أن ( $\Delta L$ ) الاستطالة الحاصلة في النموذج في النموذج، ( $L_0$ ) الطول الاصلي للنموذج، ( $L$ )

الطول النهائي للنموذج بعد الشد. [4]

أما فحص مقاومة الصدمة فيعتبر مقياسا لقوة المادة ومقاومتها للأنكسار تحت تأثير الأجهاد عند السرع العالية وذلك من خلال حساب الطاقة اللازمة لكسر النموذج تحت ظروف قياسية مثل درجة الحرارة، حيث أن مقاومة المادة يمكن أن تتغير من جراء طريقة التشويه وذلك لأن المادة التي تبدو قوية ومطيلية تحت الحمل الساكن ربما تظهر ضعيفة وهشة تحت تأثير إجهاد التصادم. [5]

لقد أصبح بالإمكان استخدام اختبار الصدمة في فحص اللدائن ودراسة ميكانيكية الكسر فيها وذلك من خلال عمل حزوز (Notch) حادة في العينات في اختبار الصدمة بطريقة جاري (Charpy Impact Test) ويمكن من خلال هذا الاختبار الحصول على متانة المادة ( $G_c$ ) والتي تمثل الطاقة المطلوبة لزيادة طول الشق من خلال المعادلة التالية:-

$$G_c = \frac{U_c}{BD\phi} \quad \dots (3)$$

حيث أن ( $U_c$ ) تمثل الطاقة الممتصة عند الكسر خلال اختبار الصدمة، ( $B$ ) سمك النموذج، ( $D$ )

عرض النموذج، ( $\phi$ ) دالة الشكل الهندسي (Geometrical Function). [6]

كذلك يمكن إيجاد متانة الكسر (Fracture Toughness) والذي يرمز له ( $K_C$ )، من خلال المعادلة التالية:-

$$K_C = \sqrt{E G_C} \quad \dots (4)$$

حيث أن ( $E$ ) معامل المرونة.

إن فحص الصدمة بطريقة الأوزان الساقطة (Falling Weights) يعتبر من الفحوصات التي تستخدم في فحص اللدائن أيضا ودراسة ميكانيكية تحملها للصدمة عند السرعة العالية (التحميل الديناميكي) وذلك من خلال حساب قوة الصدمة (Impact Force) مع الزمن. ولقد استخدمت في هذه الطريقة منظومة كهربائية خاصة من مقاييس الانفعال (Strain Gauge) ومقاييس التعجيل (Accelerometer) مربوطة بشبكة كهربائية محددة (بطاقة اكتساب المعلومات Data Acquisition). وتستخدم هذه المنظومة لقياس الانحراف لمادة عمود جهاز المتوازي الرياضي (النموذج المصنع من المادة المركبة الهجينة) والسرعة والتعجيل للعمود النموذج المهتز بفعل ضربه بالأوزان الساقطة.

لقد تركزت جهود الباحثين على دراسة الخواص الميكانيكية للمواد المركبة، فقد درس الباحثان (Haris & Bunsell) مادة مركبة هجينة مقواة بألياف الزجاج مع ألياف الكربون، وقد تمت دراسة خاصة الصدمة كدالة لمكونات المادة المركبة وكانت النماذج بنوعين محززة وغير محززة، فوجدا أن طاقة الصدمة للنماذج المحززة تتغير مع نسبة كل من الألياف الزجاجية والألياف الكربون بالأضلفة إلى أن شكل الكسر يتغير مع الكسر الحجمي لمكونات المادة المركبة. [8]

وقام الباحث (Martin) بدراسة خواص الصدمة لمادة مركبة مكونة من مادة الكربون المقواة بالألياف الكربون بثلاثة اتجاهات (3D-Carbon-Carbon) إذ لاحظ حدوث تحسن في خواص المادة المركبة. [9] وقام الباحثان (Clements & Moore) بدراسة الخواص الميكانيكية لمادة مركبة مكونة من الأيبوكسي المقوى بالألياف الزجاج في درجة حرارة الغرفة، فوجدا أن الخواص الميكانيكية والحرارية تكون جيدة بالاتجاه الطولي للألياف وضعيفة بالاتجاه العرضي ولثلاثة نسب كسر حجمي هي (65%، 75%، 60%). [10]

وقام الباحثان (Perry & Adams) بدراسة خواص الصدمة لمادة مركبة هجينة مكونة من مادة الأيبوكسي المقوى بالألياف الزجاج والألياف الكرافيت، حيث لاحظا حدوث تحسن كبير في خواص الصدمة. [11]

وقام الباحثان (Cunningham & Brown) بتصميم منظومة كاملة من مقاييس الانفعال مربوطة بشبكة كهربائية محددة، و تستخدم هذه المنظومة لقياس الانحراف لمادة النموذج المهتز بطريقة الأوزان الساقطة. [12]

لقد تم في البحث الحالي دراسة الخواص الميكانيكية لمادة البولي أستر المقوى بألياف الزجاج و ألياف الكفلر و دراسة تأثير التقوية بهذه الألياف و التقوية الهجينة لكلا النوعين من هذه الألياف (15% ألياف زجاجية + 15% ألياف كفلر) على معامل المرونة (E) و متانة المادة ( $G_C$ ) و متانة الكسر ( $K_C$ ) عند درجات حرارية مختلفة (0, 30, 60) °م. و دراسة امكانية استخدام هذه المادة المركبة الهجينة في تصنيع أعمدة جهاز المتوازي الرياضي بدل الأعمدة المستخدمة حالياً (الخشب الزان).

أن هذا البحث و البحوث السابقة يعتبر حلقة مهمة في تطور انتاج هذا النوع من المواد الحديثة و بطريقة حديثة أيضاً باستخدام التحليل المايكروكمبيوترى.

### الجانب العملي:-

### المواد المستخدمة:-

تم استخدام راتنج البولي استر نوع (A-50) كمادة أساس، و هو عبارة عن سائل لزج في درجة حرارة الغرفة. أما مواد التقوية فقد تم استخدام ألياف صناعية مستمرة مرتبة بالاتجاه الطولي لتقوية المادة الأساس و هي اليف الزجاج بقطر 2mm و معامل مرونة  $73 \text{ GN/m}^2$  ، و ألياف الكفلر بقطر 2mm و معامل مرونة  $130 \text{ GN/m}^2$ .

### عينات الاختبار:

تم تحضير عينات غير مقواة و عينات مقواة بألياف مستمرة طولياً أحادية الاتجاه بنسبة كسر حجمي 30% لجميع العينات، حيث كانت المواد المركبة مكونة من مادة البولي أستر المقوى بألياف الزجاج، و البولي أستر المقوى بألياف الكفلر و مواد مركبة هجينة مكونة من مادة البولي استر المقوى بـ (15% اليف زجاجية + 15% اليف الكفلر).

تم استخدام عينات شد قياسية بسمك 8mm و عرض تخرصها 12mm، أما عينات اختبار الصدمة فكانت بابعاد قياسية  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$  و بطول 55mm لكل عينة وفق نظام (Iso 179)، و قد حززت العينات بحزوز عمودية على اتجاه الألياف بأعماق (0.5, 1, 1.5) mm و كانت نوعية الحزوز على شكل حرف (V). كما تم تحضير عينة عمود جهاز المتوازي الرياضي النموذج من المادة المركبة الهجينة و قد كانت هذه العينة النموذج بطول 1000mm و قطر 50mm.

### الاجهزة المستخدمة:

تم اجراء اختبار الشد بجهاز (Instron 1195 Tensile Test Machine) بمعدل حمل مقداره (20KN) و بسرعة شد مقدارها (20mm/min)، حيث اجري الاختبار عند درجات حرارية مختلفة  $(0, 30, 60)^\circ\text{C}$  . أما جهاز اختبار الصدمة فكان من نوع جاريي (Charpy Impact Test ) (Instrument MT 220)، حيث أن مقدار كتلة البنول (2.275 Kg) و سرعة (1.12 m/sec. و أن طول الجزء المعرض للصدمة (4 cm). و قد حززت العينات باستخدام جهاز عمل

الحزوز (Notch Machine) نوع (CEAST) و بسرعة خطية مقدارها (70 m/sec.) و تم اجراء الاختبار عند درجات حرارية مختلفة هي  $^{\circ}\text{C}$  (0, 21, 30, 60).

أما منظومة اختبار الصدمة بطريقة الاوزان الساقطة (Falling Weights) فكانت تتكون من مقاييس الانفعال (Strain Gauge) و مقاييس التسارع (Accelerometers) مريوطة إلى بطاقة اكتساب البيانات (Data Acquisition) و هذه البطاقة مريوطة إلى الحاسبة الألكترونية (Personal Computer)، حيث تم استخدام أوزان قياسية مقدارها (5Kg، 10Kg، 15Kg)، و سرعة سقوط هذه الاوزان على العمود النموذج (2.81m/sec) و أن طول الجزء المعرض للصدمة هو (80 cm)، و تم إجراء الإختبار في درجة حرارة المختبر.

### النتائج و المناقشة:

تم الحصول على مخطط بين القوة المسلطة (P) و الاستطالة الحاصلة في النموذج ( $\Delta L$ ) لكل نموذج من الرسم الموجود في جهاز اختبار الشد و الذي منه تم استخراج قيم الاجهاد و الانفعال باستخدام المعادلتين (1) و (2) على التوالي و ذلك لرسم علاقة بين الاجهاد و الانفعال لجميع النماذج عند درجات حرارية مختلفة، حيث من الشكل (1) الذي يوضح العلاقة بين الاجهاد و الانفعال عند درجة حرارة  $^{\circ}\text{C}$  (0) لوحظ أن معامل المرونة يزداد و الاستطالة تقل لجميع النماذج و على إختلاف أنواعها، و ذلك بسبب حدوث حالة شد في الروابط الموجودة بين الجزيئات مما يؤدي إلى تقييد حركة هذه الجزيئات فتصبح المادة صلدة فتقل استطالتها و بالتالي يزداد معامل مرونتها.

و عند اجراء الأختبار عند درجة حرارة عالية  $^{\circ}\text{C}$  (60) يتبين أن الاستطالة تزداد و معامل المرونة يقل لجميع العينات و على إختلاف انواعها و كما مبين في الشكل (2). أن السبب في ذلك يعود إلى أن قوى الترابط بين الجزيئات تقل بتأثير درجة الحرارة مما يجعل المادة لينة (Soft) فتحدث فيها استطالة واضحة مؤدياً إلى انخفاض معامل المرونة. و عموماً فأن النماذج المقواة بالألياف على إختلاف أنواعها كان معامل مرونتها أعلى من النماذج غير المقواة بالألياف حيث كان تأثير التقوية واضحاً و هذا يعني أن النماذج المقواة تبدي مقاومة عالية للأجهاد أما المواد المركبة الهجينة فقد اتخذت الحالة الوسط، حيث كان معامل مرونتها أقل من نماذج البولي أستر/زجاج، و أعلى من نماذج البولي أستر/كفلر. ان سبب زيادة معامل المرونة في حالة المواد المركبة يعود إلى توزع الاجهاد المسلط على كل من الوسط و الألياف، حيث أن الألياف تتحمل الجزء الأكبر من الاجهاد، إضافة إلى أن هذه الألياف تتصف بمقاومة شد و معامل مرونة عاليين. و الجدول (1) يبين قيم معامل المرونة لجميع النماذج عند درجات حرارية مختلفة، و لمعرفة تأثير درجة الحرارة على معامل المرونة فقد تم رسم علاقة بين درجة الحرارة و بين معامل المرونة و تبينَ بأنها علاقة عكسية، و كما موضح في الشكل (3).

أما بالنسبة لأختبار الصدمة فقد تم الحصول على قراءات طاقة الكسر لكل نموذج عند درجات حرارية مختلفة و أعماق حروز مختلفة، و قد تم حساب دالة الشكل الهندسي ( $\phi$ ) من خلال العلاقة :

$$\phi = 0.135 \left(\frac{a}{D}\right)^{-0.77} \quad \dots (5)$$

حيث أن ( $\frac{a}{D}$ ) نسبة عمق الحز إلى عرض مقطع النموذج.

وتستخدم هذه المعادلة فقط عندما تكون نسبة طول جزء النموذج المعرض للصدمة إلى عرضه ( $S/D$ ) يساوي (4).

عند اجراء اختبار الصدمة في درجة حرارة واطئة  $0^\circ\text{C}$ ، تبيّن حدوث نقصان في الطاقة الممتصة لجميع النماذج. كذلك فإن الطاقة اللازمة لكسر نماذج المواد المركبة كانت أعلى من تلك للنماذج غير المقواة، و كما في الشكل (4).

وعند اجراء الاختبار عند درجة حرارة  $30^\circ\text{C}$ ، تبيّن أن الطاقة اللازمة لكسر النماذج بأختلاف أنواعها كانت أعلى من تلك اللازمة عند درجة حرارة  $21^\circ\text{C}$ ، كذلك فإن الطاقة الممتصة لكسر نماذج المواد المركبة كانت أعلى من تلك النماذج غير المقواة، و كما في الشكل (5). و قد ازدادت الطاقة الممتصة أكثر في حالة اجراء الاختبار عند درجة حرارة  $60^\circ\text{C}$  و كما موضح في الشكل (6).

وعموماً فقد كانت الطاقة اللازمة لكسر نماذج البولي استر قليلة، و ازدادت هذه الطاقة عند التقوية بالألياف حيث امتصت نماذج المواد المركبة طاقة أكبر من البولي استر غير المقوى. كذلك تبين أن الطاقة الممتصة لجميع النماذج على اختلاف أنواعها تقل مع زيادة عمق الشق ( $a$ ) المنشأ في وسط النموذج.

تم استخراج متانة المادة ( $G_C$ ) لكل نموذج و ذلك من ميل الخط البياني بين ( $U_C$ ) و ( $BD\phi$ ) و كما مبين في الجدول (2). ان متانة المادة تزداد مع زيادة درجة الحرارة و مع التقوية بالألياف على اختلاف أنواعها و ذلك بسبب ازدياد الطاقة الممتصة و كما موضح في الشكل (7).

ان سبب زيادة الطاقة الممتصة من قبل المواد المركبة إلى التقوية بالألياف و التي تتحمل الجزء الأكبر من الاجهاد الصدمي، حيث تعمل الالياف كمعوقات للكسر و ذلك عن طريق نقل و تشتيت الاجهاد المسلط على منطقة التأثير. أما سبب نقصان الطاقة الممتصة مع زيادة عمق الشق فيعود إلى صغر مساحة المقطع المعرض للصدمة مما يؤدي إلى سهولة كسر النموذج.

ان سبب زيادة الطاقة المصروفة للكسر عند ازدياد درجة الحرارة يعود إلى ارتخاء الروابط بين الجزيئات و هذا يعطي المادة خاصية امتصاص جزء من الطاقة في سلوك لدن مؤدياً إلى زيادة الطاقة الممتصة. أما سبب نقصان تلك الطاقة في حالة انخفاض درجة الحرارة فيعود الى حدوث شد في الروابط

الموجودة بين الجزئيات مما يؤدي إلى تقييد حركة هذه الجزئيات وحدوث كسر هش في المادة مؤديا الى تكسر المادة الراتنجية إلى قطع صغيرة.

كذلك تم حساب قيمة متانة الكسر (Kc) لكل نموذج من المعادلة (4) عند درجات حرارية مختلفة وكما مبين في الجدول (3) ، وقد لوحظ أن متانة الكسر تزداد في حالة التقوية بالألياف وعند زيادة درجة الحرارة لجميع المواد ، و كما موضح في الشكل (8) .

إما بالنسبة لاختبار الصدمة بطريقة الأوزان الساقطة (Falling Weights) فقد تم الحصول على قراءات قوة الصدمة (Impact Force) لمادة العمود النموذج الهجينى مقابل الزمن (Time) من خلال الطريقة المستخدمة للتحليل وهي طريقة التحليل المايكروكمبيوترى لتحويل الإشارات التناظرية أو التماثلية إلى إشارات رقمية يمكن بواسطتها معرفة قوة الصدمة لكل حمل صدمي مستخدم لصدمة العمود. وذلك باستخدام منحني المعايرة الخاص لمادة العمود النموذج الهجينى، و كما نلاحظ في الشكل (9).

ونلاحظ انه في حالة صدم العمود النموذج بوزن صدمي مقداره (5Kg) فان قوة الصدمة تكون قليلة ، كما نلاحظ في الشكل (10). وتزداد قوة الصدمة كلما كانت الأوزان الساقطة أو الصادمة اكبر (10Kg)، (15Kg) وكما نلاحظ من خلال الأشكال (11)، (12) على التوالي.

هذا وقد تم رسم العلاقة بين الوزن الصادم و القوة الصادمة لمادة العمود النموذج ، وقد كانت العلاقة بينهما طردية ، كما نلاحظ في الشكل (13) . كما تم رسم العلاقة بين الوزن الصادم و زمن الصدمة لمادة العمود النموذج ، وقد كانت العلاقة بينهما طردية أيضا ، كما نلاحظ في الشكل (14). كما تم رسم العلاقة بين الوزن الصادم والانحراف الديناميكي (الصدمي) لمادة العمود النموذج و قد كانت العلاقة بينهما طردية أيضا ، كما نلاحظ في الشكل (15).

هذا وقد تبين من خلال هذه الدراسة إن هذه المادة الهجينة لها قابلية على امتصاص الصدمات افضل من غيرها من المواد المستخدمة سابقاً.

جدول (1) قيم معامل المرونة ( E ) للمواد المستخدمة عند درجات حرارية مختلفة.

نوع المادة	E ( MN/m <sup>2</sup> )		
	0 °C	30 °C	60 °C
UP	605	430.3	360.88
UP+30%GL	1775	1616.7	1470.3
UP+30%KE	1660	1580	1297
UP+15%GL 15%KE	1705	1596	1387.3

جدول (2) متانة المادة ( $G_C$ ) للمواد المستخدمة عند درجات حرارية مختلفة.

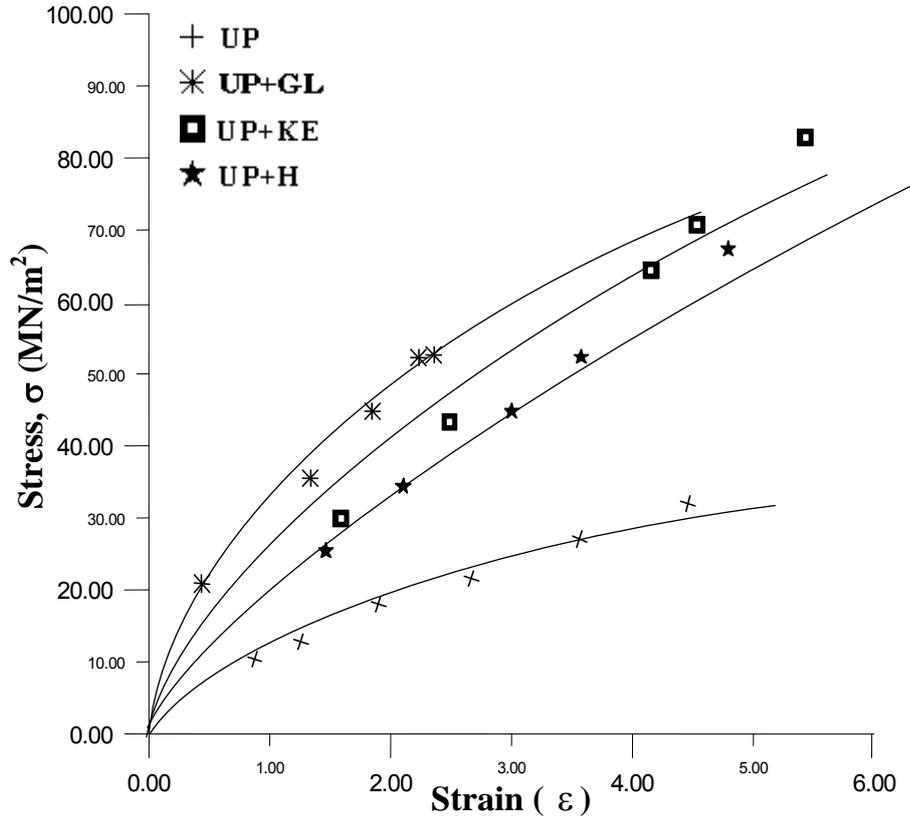
نوع المادة	$G_C$ ( KJ/m <sup>2</sup> )			
	0 °C	21 °C	30 °C	60 °C
UP	2.44	5.35	7.04	11.17
UP+30%GL	23.25	34.94	48.62	71.46
UP+30%KE	34.23	55.21	67.84	80.52
UP+15%GL 15%KE	30.36	43.72	58.51	76.61

جدول (3) قيم متانة الكسر ( $K_C$ ) للمواد المستخدمة عند درجات حرارية مختلفة.

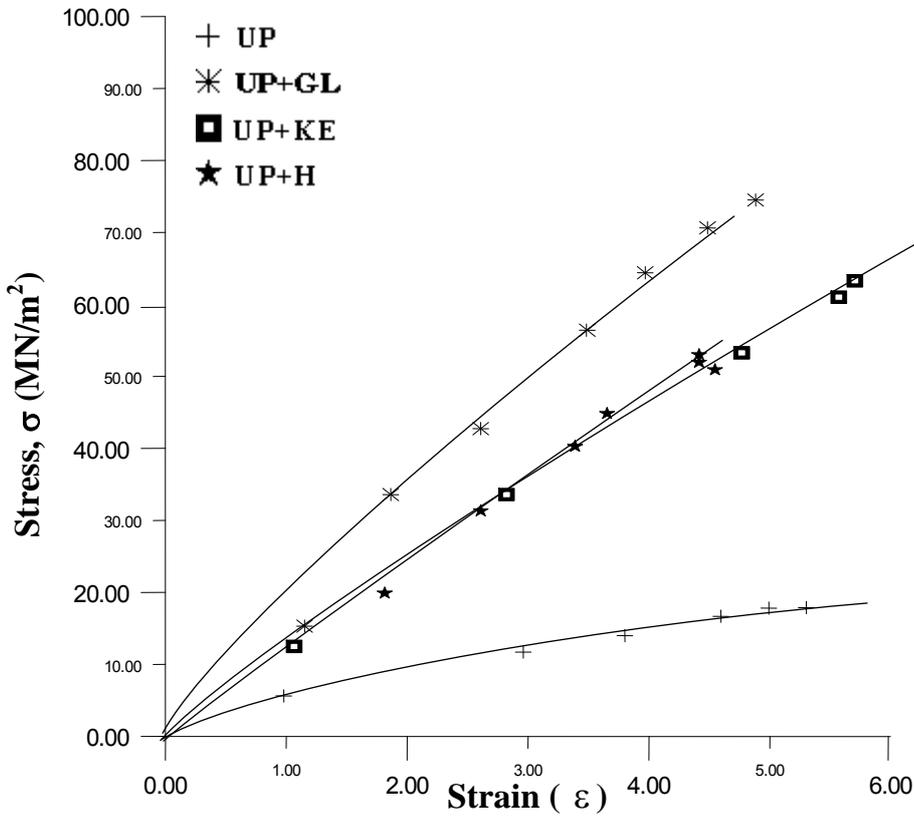
نوع المادة	$K_C$ ( MN/m <sup>3/2</sup> )			
	0 °C	21 °C	30 °C	60 °C
UP	1.21	1.63	1.74	2
UP+30%GL	6.42	7.71	9.13	10.25
UP+30%KE	7.53	9.53	10.35	10.47
UP+15%GL 15%KE	7.19	8.58	9.66	10.30

### الاستنتاجات :-

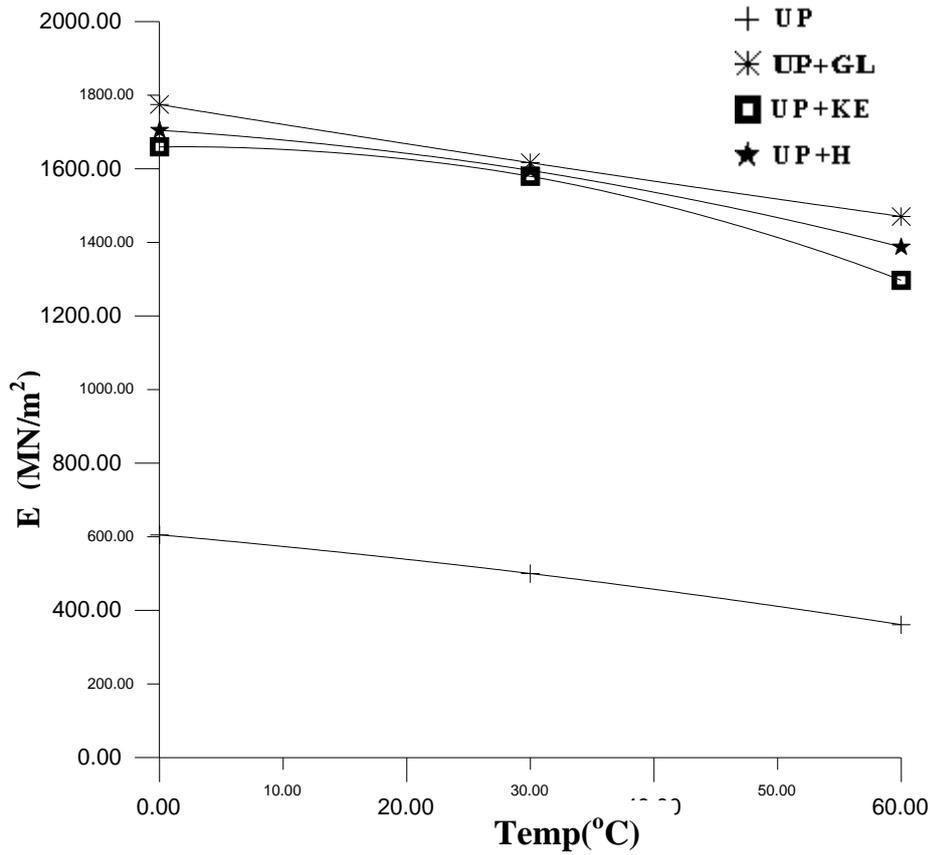
- من النتائج التي تم الحصول عليها تم التوصل الى الاستنتاجات التالية :
- 1- في حالة تقوية البولي استر بالألياف فان معامل المرونة ( $E$ ) يزداد لتلك المواد المركبة على اختلاف أنواعها و كذلك المواد المركبة الهجينة.
  - 2- يقل معامل المرونة ( $E$ ) بزيادة درجة الحرارة لجميع المواد المستخدمة و على اختلاف أنواعها.
  - 3- أن الطاقة اللازمة لكسر مادة البولي استر تزداد عند التقوية بالألياف ، و تزداد أيضا عند زيادة درجة الحرارة.
  - 4- الطاقة اللازمة للكسر ( $U_C$ ) تقل بزيادة عمق الشق ( $a$ ) المعمول في النماذج.
  - 5- تزداد متانة المادة ( $G_C$ ) في حالة التقوية بالألياف وفي حالة التقوية الهجينة، و تزداد بزيادة درجة الحرارة أيضا.
  - 6- تزداد متانة الكسر ( $K_C$ ) في حالة التقوية بالألياف و في حالة التقوية الهجينة، وتزداد أيضا بزيادة درجة الحرارة.
  - 7- قوة الصدمة الخاصة بالعمود النموذج تكون قليلة نسبياً وكذلك الفترة الزمنية لحدوث الصدمة تكون قليلة و السبب في ذلك يعود إلى قابلية مادة العمود المركبة الهجينة على امتصاص الصدمات.
  - 8- قوة الصدمة تزداد مع زيادة الوزن الصادم و تكون العلاقة طردية ، ويزداد زمن الصدمة مع زيادة الوزن الصادم و بعلاقة طردية أيضا.



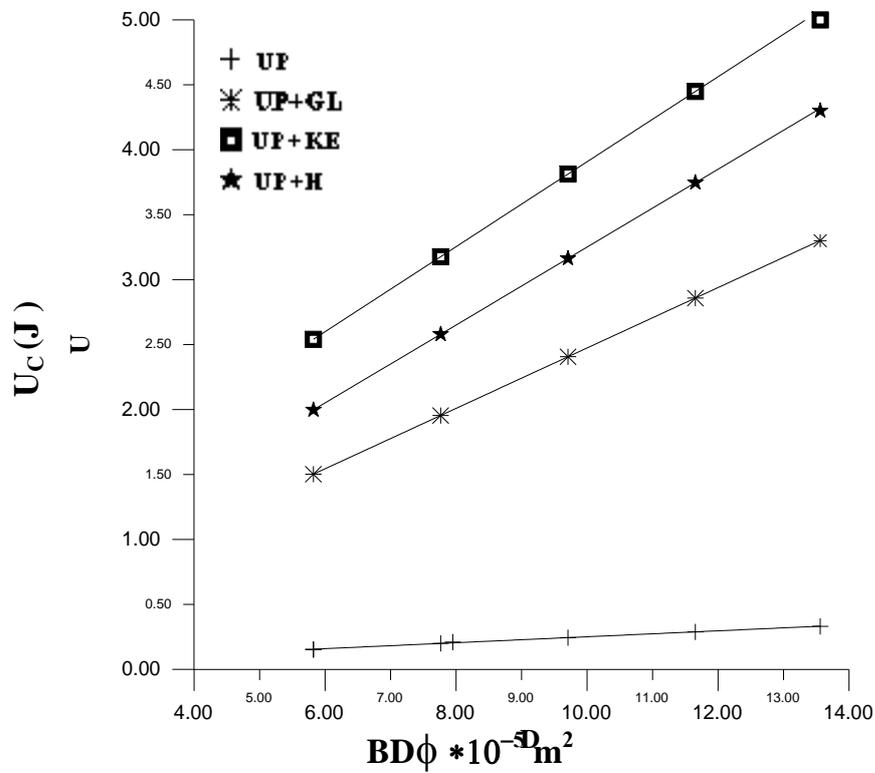
شكل (1) العلاقة بين الإجهاد و الانفعال عند درجة حرارة 0<sup>0</sup> م.



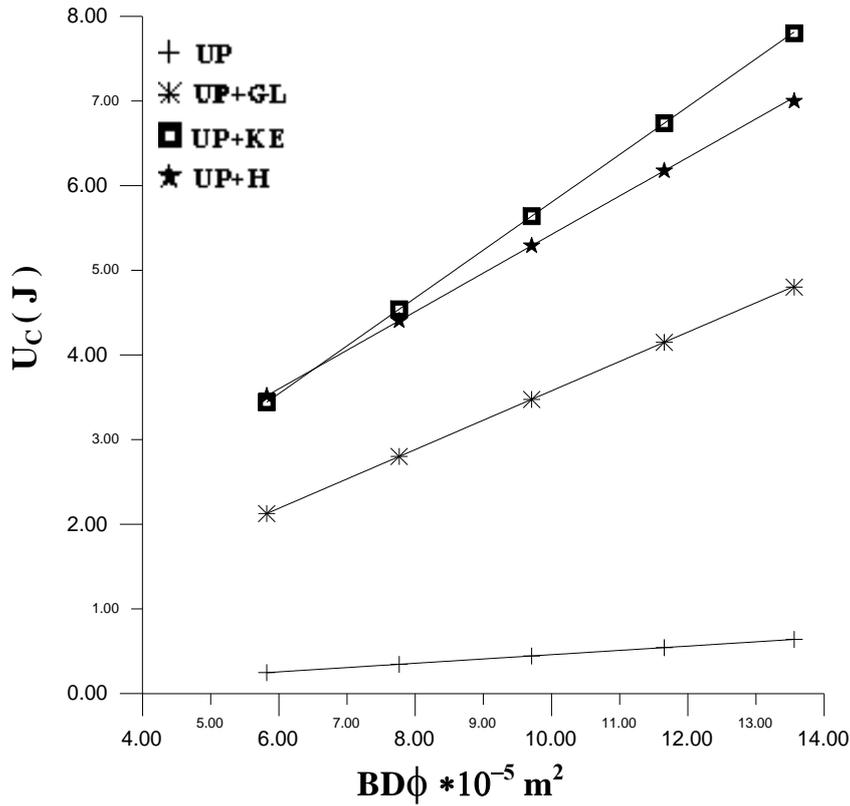
شكل (2) العلاقة بين الإجهاد و الانفعال عند درجة حرارة 60<sup>0</sup> م.



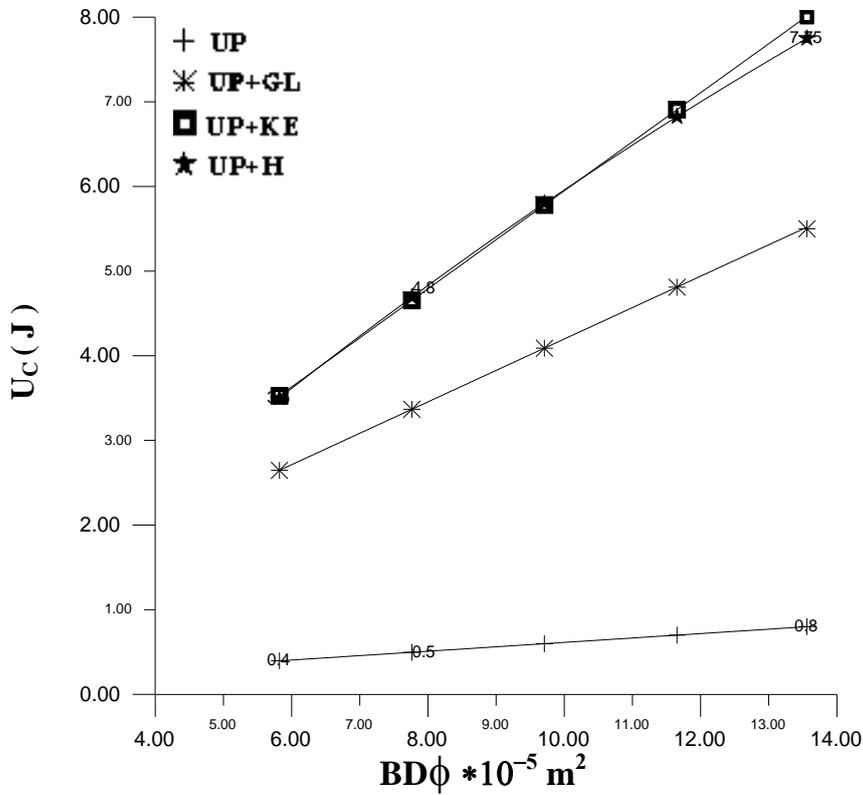
شكل (3) العلاقة بين معامل المرونة (E) و درجة الحرارة في اختبار الشد.



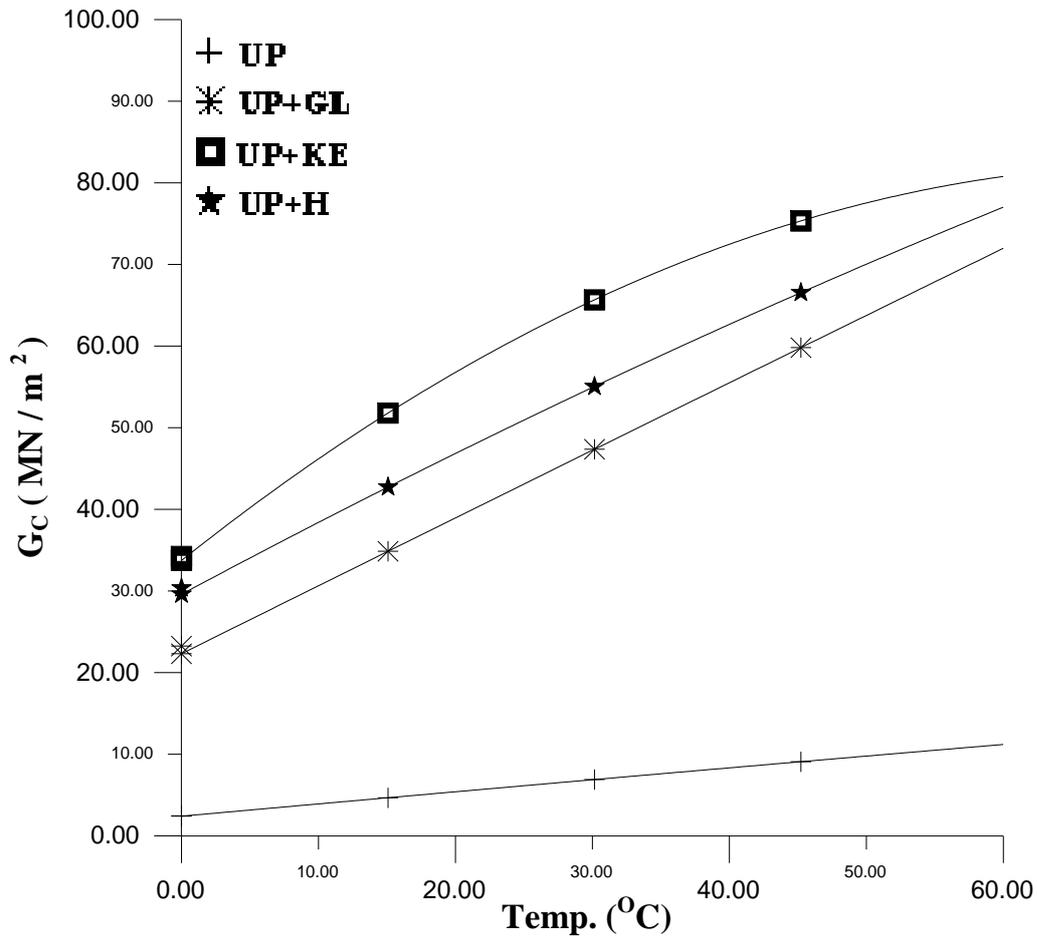
شكل (4) العلاقة بين طاقة الكسر ( $U_c$ ) و معامل الشكل الهندسي ( $BD\phi$ ) عند درجة حرارة (0 °C) .



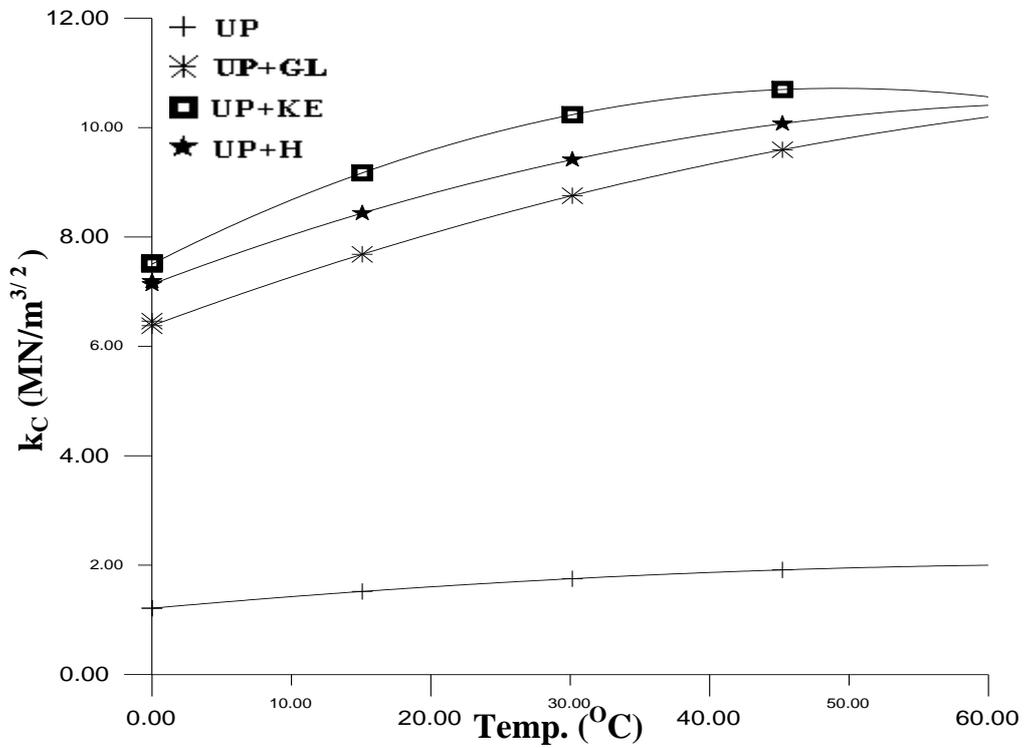
شكل (5) العلاقة بين طاقة الكسر ( $U_c$ ) و معامل الشكل الهندسي ( $BD\phi$ ) عند درجة حرارة (30 °C).



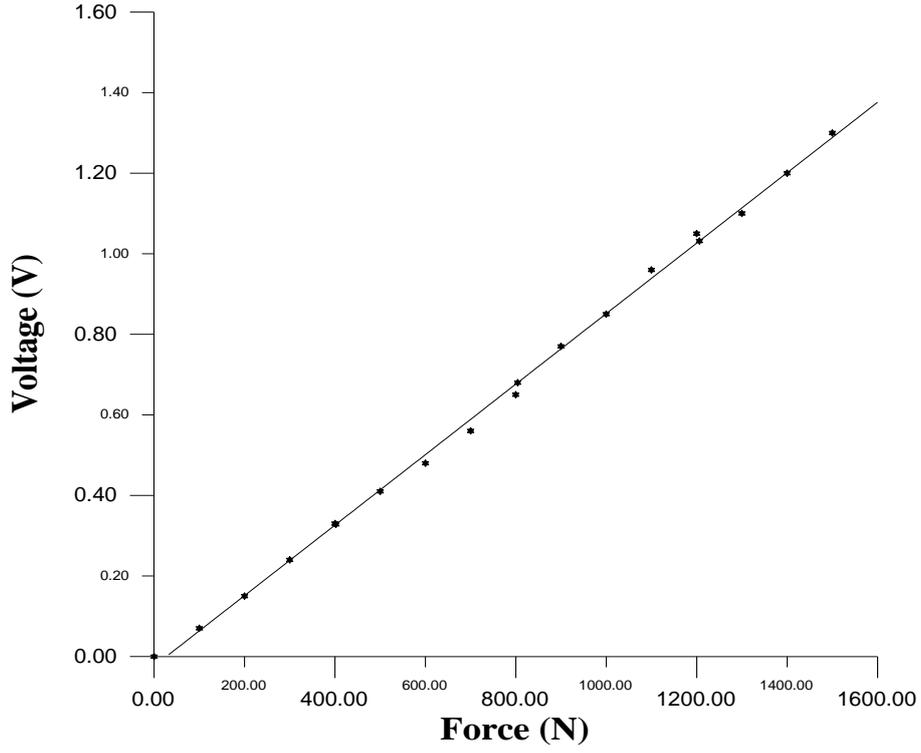
شكل (6) العلاقة بين طاقة الكسر ( $U_c$ ) و معامل الشكل الهندسي ( $BD\phi$ ) عند درجة حرارة (60 °C).



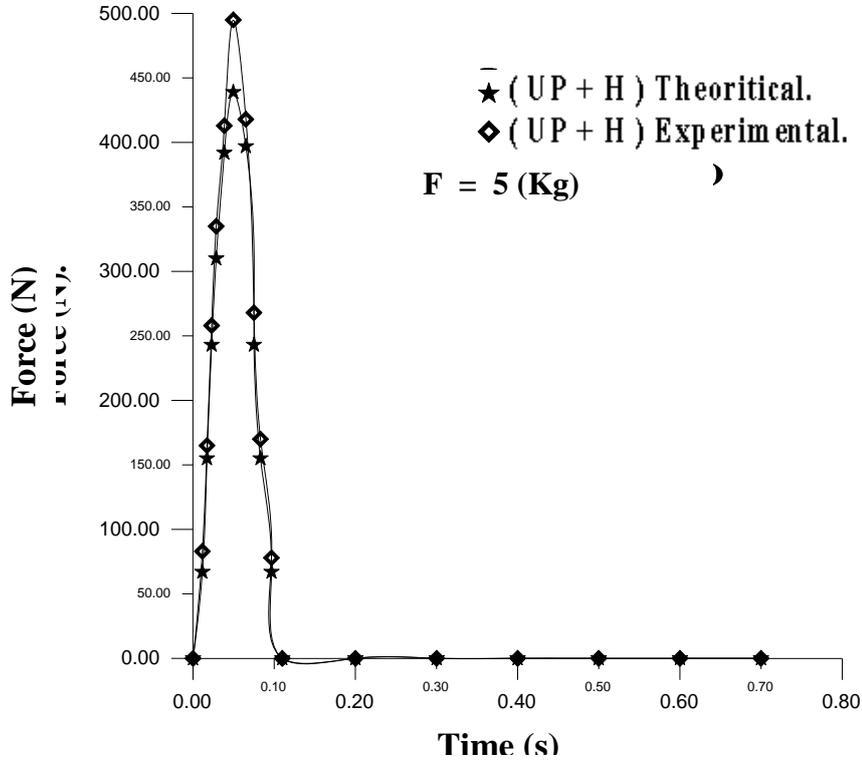
شكل (7) العلاقة بين متانة المادة ( $G_C$ ) و درجة الحرارة .



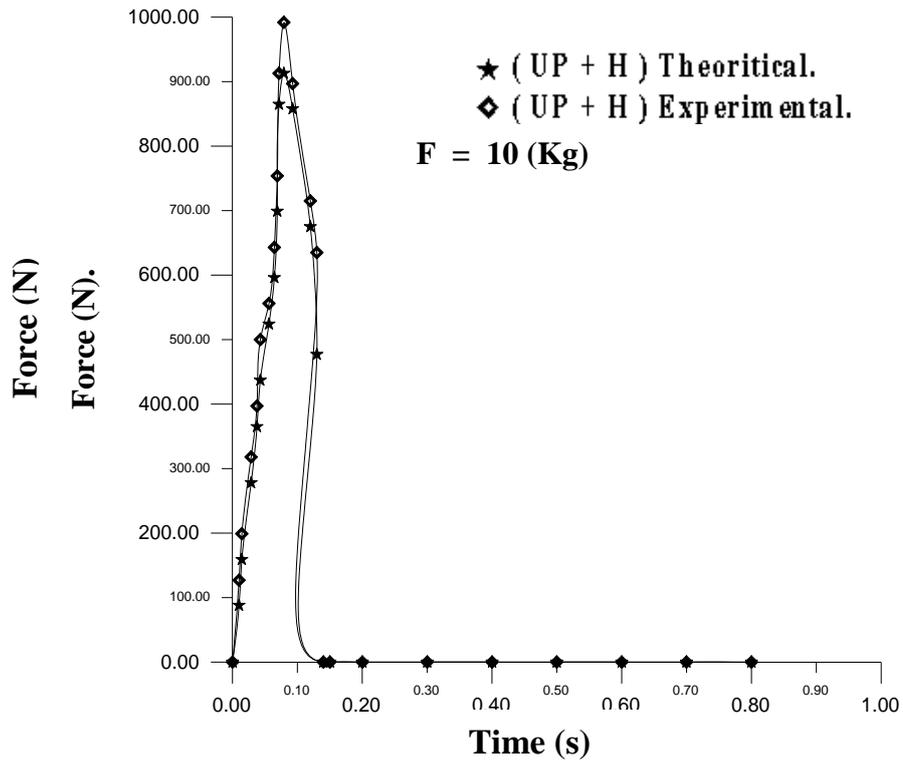
شكل (8) العلاقة بين متانة الكسر ( $K_C$ ) و درجة الحرارة .



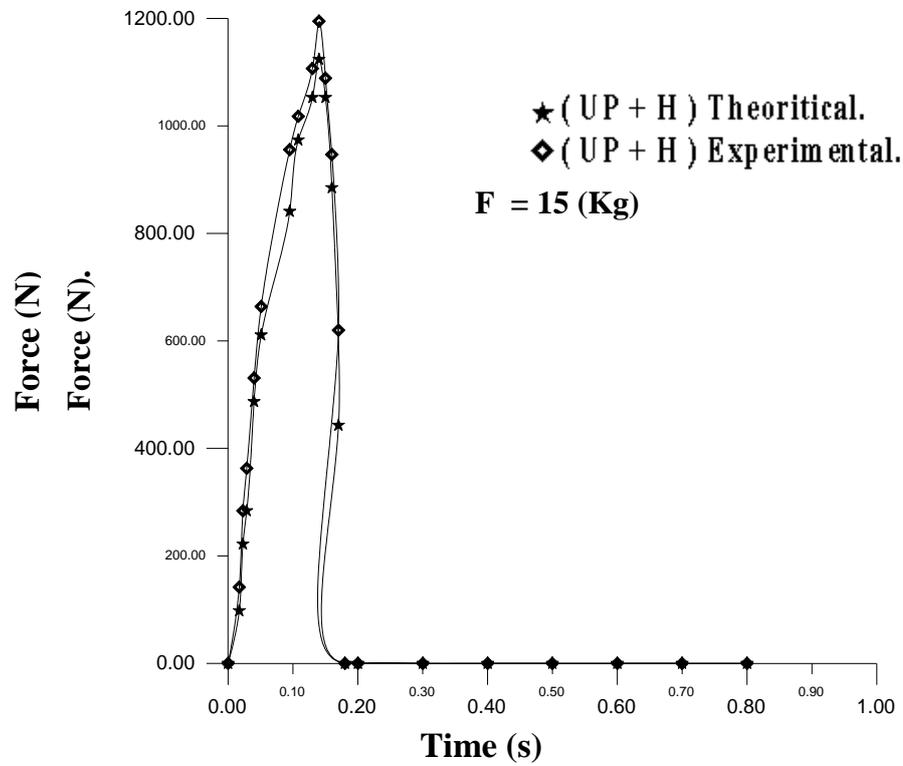
شكل (9) منحنى المعايرة لمادة العمود النموذج الهجينى (UP+H).



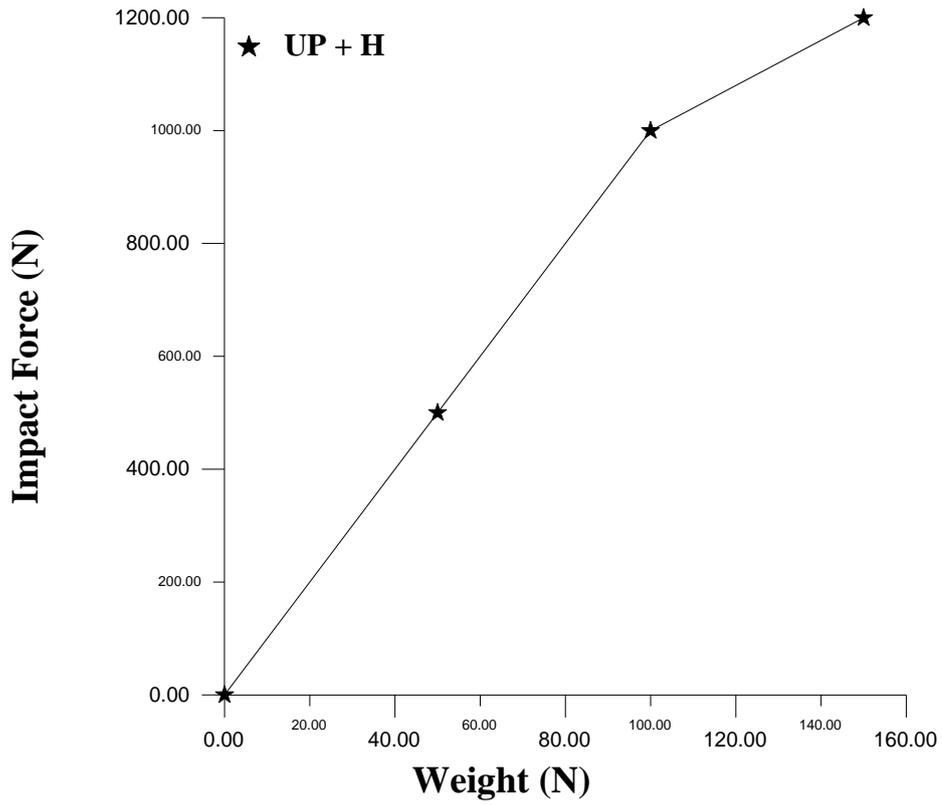
شكل (10) العلاقة بين القوة الصادمة - الزمن، لمادة العمود النموذج و القوة المسطرة (5Kg).



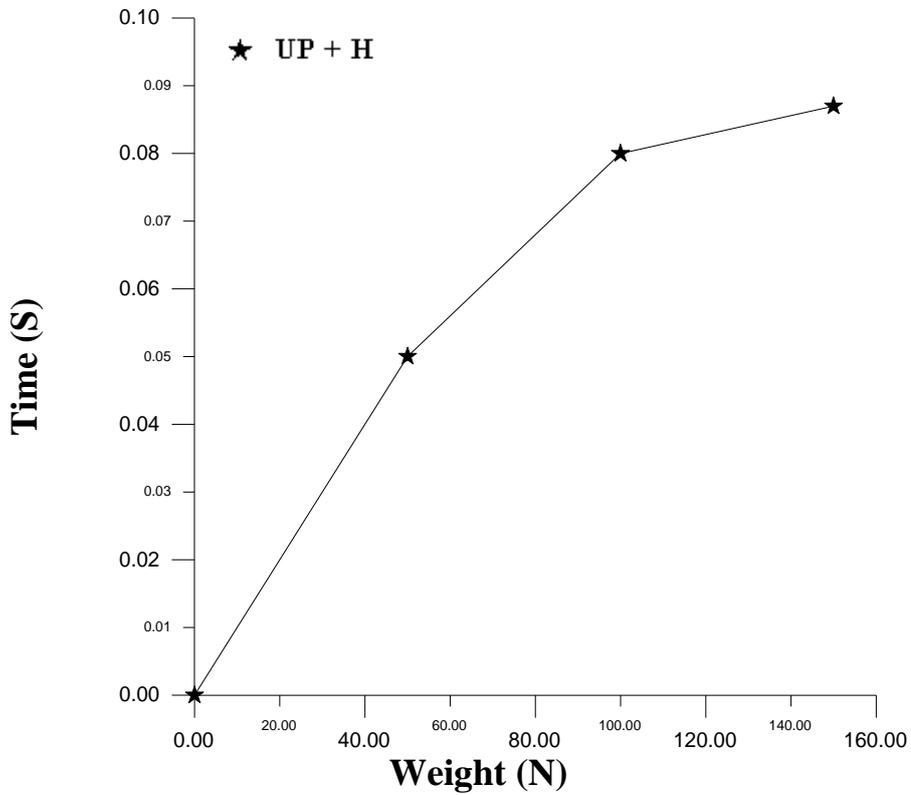
شكل (11) العلاقة بين القوة الصادمة - الزمن، لمادة العمود النموذج و القوة المسلطة 10Kg) .(



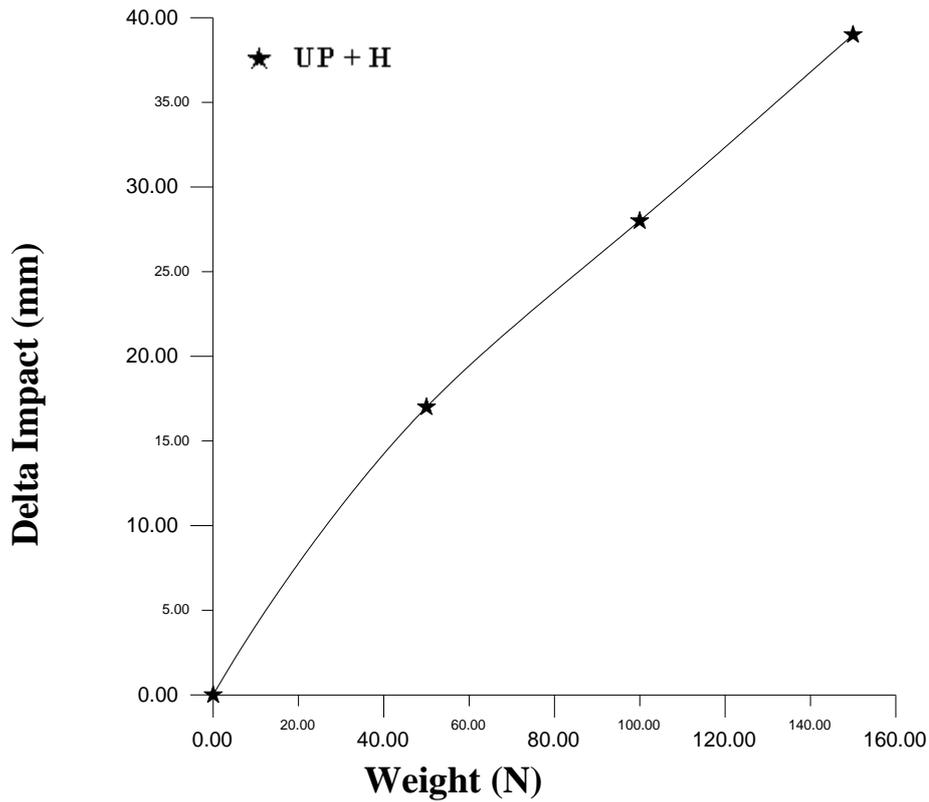
شكل (12) العلاقة بين القوة الصادمة - الزمن، لمادة العمود النموذج و القوة المسلطة 15Kg) .(



شكل (13) العلاقة بين الوزن الصادم و القوة الصادمة للعمود النموذج الهجينى.



شكل (14) العلاقة بين الوزن الصادم و زمن الصدمة للعمود النموذج الهجينى.



شكل (15) العلاقة بين الوزن الصادم و الانحراف الديناميكي (الصدمي) للعمود النموذج الهجينى.

#### المصادر:

- 1- Gill, R.M., "Carbon Fiber in Composite Materials", The Plastic Institute, London, 1972.
- 2- G. Piatti, "Advances in Composite Materials", Applied Science Publishers LTD, 1978.
- 3- Michel, P. Groover, " Fundamental and Modern Manufacturing", First Edition, Pergamon Press, U.K.,1986.
- 4- د. كوركيس عبد ال آدم ، د. حسين علي كاشف الغطاء. "تكنولوجيا و كيمياء البوليمرات" جامعة البصرة، 1983.
- 5- G.R.Irwin, "Fracturing of Metals Cleveland", J.Applied Mechanics, Volume. 24, 1957.
- 6- S. Lee, Scott, Gaudert, Mechanical Testing of Toughness Resin Composite Materials" Composites, Volume. 19, No.4, 1988.

- 7- J. S., Wv, K. Friedrich, and M. Grosso, “ Impact Behaviors of Short Fiber Liquid Crystal Polymer Composite” Composites Volume. 20, No.3, May 1989.
- 8- B.Harris and A.R.Bunsell, “Impact Properties of Glass /Carbon Fiber Hybrid Composite” Composites, Volume.6, No.5, 1975.
- 9- Martin, E. Macke, T.Quenisset, J.M., and Naslain, “Analysis of Impact Properties of 3D – Carbon – Carbon Composite Material by The Instrumented Charpy Test”, Composites Science and Technology, Volume. 26, 1986.
- 10-Clements Moore, “ Composite Properties of Glass Fiber in a Room Temperature Curable Epoxy Matrix”, Composites, Volume.9, No.2, April, 1978.
- 11-Perry, J.L., and Adams, D.F., Charpy Impact Experiments on Graphite / Epoxy Hybrid Composites”, Composites, Volume.19, No.5, September 1988.
- 12-Cunningham, G., Brown, C., The Strain Gauge Primer, Second Edition, McGraw - Hill Book Company, 1962.