



الخصائص الحرارية لمتراكبات البولبي أستر غير المشبع المدعم ببعض المخلفات الصناعية

حيدر عبد فرج، وداد صالح الفياض، هادي سلمان اللامي
قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة البصرة، العراق.

تاريخ الاستلام: 2016 / 7 / 22

تاريخ قبول النشر: 2016 / 10 / 28

Abstract

Unsaturated polyester (UP) composites reinforced with different percent of some industrial wastes like glass particles and sawdust were prepared to study their thermal properties. Thermal gravimetric analysis (TGA) results indicated an increase composites thermal stability with an increase in the percentage of fillers and are greatest when the proportion (20%) glass particles compared with sawdust, accompanied with an increase in the decomposition temperature and the temperature of 50% weight loss (T50%) of composites reinforced with sawdust is higher than that reinforced with glass particals.

Differential scanning calorimetry(DSC) referred to higher value of glass transition temperature (Tg) of these composites compared with (UP) alone. Also the Tg of UP reinforced with glass particles is higher than UP reinforced with sawdust.

Key words

Unsaturated polyester, glass particles, sawdust, composites, Thermal analysis (TGA,DSC).



الخلاصة

حضرت متراكبات البولي أستر غير المشبع (Unsaturated polyester-UP) المدعم ببعض المخلفات الصناعية (Industrial Wastes) الدقائق الزجاجية (Glass Particles) ونشارة الخشب (Wood) flour وبنسب وزنيه مختلفة وذلك لدراسة خصائصها الحرارية.

أشارت نتائج التحليل الحراري الوزني (TGA) إلى ازدياد الثبات الحراري للمترابكات مع ازدياد نسبة المائات وتكون أكبر ما يمكن عند نسبة (20%) من الدقائق الزجاجية مقارنة مع نشارة الخشب، كما يمكن ملاحظة أن درجة حرارة التفكك الابتدائية والعظمى ودرجة حرارة التي يفقد عندها المترابك نصف وزنه (T 50%) ونسبة المثوية للتفحم وطاقة التنشيط لعملية التفكك تزداد مع زيادة نسبة المواد المائية، كما تم ملاحظة أن قيم درجات حرارة التفكك العظمى T50% إلى (UP) المدعم بنشارة الخشب أعلى منهال (UP) المدعم بالدقائق الزجاجية.

كذلك أشارت منحنيات المسح التفاضلي المسعري (DSC-Differential Scanning Calorimetry) إلى ارتفاع في قيم درجة الانتقال الزجاجي (Tg) للمترابكات عن قيمتها للبولي أستر غير مشبع، ويلاحظ إن قيم (Tg) للمترابكات المدعمة بالدقائق الزجاجية أعلى من قيمها للمترابكات المدعمة بنشارة الخشب.

الكلمات المفتاحية

البولي أستر غير المشبع، الدقائق الزجاجية، ونشارة الخشب، المترابكات، التحليل الحراري.

1. المقدمة

المخفف او العامل المشبك (الستايرين)، حيث يتم بلمرته وتصلده بعملية البلمرة بالإضافة (بطريقة الجذور الحرة) وتحويله الى الشكل النهائي الغير قابل للانصهار والذوبان في اغلب المذيبات العضوية [9].

تشير الدراسات إلى أن إضافة كميات قليلة من احد أنواع الطين (Clays) يمكن أن تزيد من الاستقرار الحراري للبوليمرات، عرض في (1965م) لمركب بولي مثيل ميثاأكريلات مع (MMT). درجة حرارة التفكك (درجة حرارة تفكك 50%) زادت حوالي (50) م⁰ للمركب عند إضافة (90 %) وزناً من [10] (MMT). بينما وُجد أن إضافة (10%) وزناً من (MMT) إلى (بولي ثنائي مثيل ساييلوكسان - Polydimethylsiloxane) تزيد درجة حرارة التفكك حوالي (140) م⁰ للمركبات الطبقية [11]. كما تشير الدراسات إلى أن درجة حرارة التفكك تزداد حوالي (50) م⁰ عند إقحام الطين في بولي أثيلين [12]. إن انتشار الطين أدى إلى زيادة في درجة حرارة التفكك. كما وجد إن المركبات الطبقية لها درجات حرارة تفكك أعلى جداً من المركبات المُنقحة أو مركبات الطينية التقليدية [13]. نشأت تلك المواد المركبة في مجالات مختلفة من الصناعة كمجال هندسة الطيران والفضاء وبعض الصناعات المتعددة وذلك بسبب خفة الوزن وخواصها الميكانيكية والحرارية العالية وادائها العالي، إضافة الى مقاومتها للخواص الميكانيكية والحرارية بعد تدعيمها ببعض المضافات (تصنيع مواد مركبة منها) [14]. لذلك تم في هذا البحث دراسة تأثير اضافة بعض المواد المائلة (مختلفة بالنوع ومصدرها بعض المخلفات الصناعية مثل مسحوق مصابيح الفلورسنت ونشارة الخشب) على بعض الخصائص الحرارية للراتنج.

نتيجة البحث العلمي ظهرت الحاجة الى مواد بوليميرية ذات مواصفات معينة لا يمكن الحصول عليها من نوع واحد، لهذا ظهرت محاولات عديدة في مزج نوعين او اكثر من المواد للحصول على خليط بوليمير بالمواصفات الصناعية المرغوب [2,1]. تعرف المواد المتراكبة بانها بناء مكون من مادتين او اكثر ذات مواصفات مختلفة ترتبط مع بعضها بطريقة معينة لتعطي التركيب المطلوب وبالمواصفات الملائمة والتي تختلف عن مواصفات وخواص المواد الداخلة في تركيبها وهي بذلك تجمع الخصائص الجيدة من مختلف المواد الداخلة في تركيبها علاوة على التخلص من العيوب الموجودة فيها لتكون اكثر ملائمة للتطبيقات الصناعية [3,4].

تعدّ راتنجات البولي أستر غير المشبع (UP) من البوليمرات المتصلبة حرارياً ومن أكثر الأنظمة المرغوبة حالياً في العمل بسبب تكلفتها البسيطة وخواص الأداء العالي والتشغيل بمعدلات سريعة، وتعتبر راتنجات البولي استر غير المشبعة ذات اللزوجة المنخفضة هي الأكثر استخداماً بصفة عامة [5,6]. حيث تظهر الدراسات أن استخدامات هذا البوليمر في الحياة العملية متنوعة وعديدة مثل استخدامه كمواد رابطة في صناعة العديد من ذات الاستخدام الصناعي وكوارنيش لأغراض التلميع وفي صناعة الاصباغ إضافة الى استخدامه كعوازل حرارية بعد تدعيم ببعض المضافات إضافة الى استخدامه كمواد ناقلة للأدوية (Drug Deliv- ery Material) [7,8] فالخواص المميزة لهذه المادة جعلتها تلقى رواجاً في الكثير من التطبيقات الصناعية. تشكل المواد المائلة جزءاً هاماً في راتنجات البولي أستر، وتتراوح مستويات المواد المائلة ما بين (0%-30) من وزن المتراكب المستخدم، وتعدّ لزوجة الراتنج العامل الرئيسي المحدد لكمية المادة المائلة. يكون البولي استر غير المشبع بشكل سائل لزج يتضمن

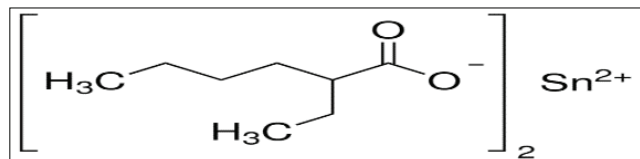


2. الجزء العملي

1.2. المواد الكيميائية:

3- اوكتوات القصدير (قصدير-2- ائيل هكسانويك)

وهو عامل معجل لتفكك البادئ مجهز من شركة BDH وبالخواص التالية :



- سائل زيتي القوام ذات لون ارجواني .
- الكثافة : (1.215) غم / سم³ .
- يستخدم بنسب اقل من (1) %

4- الدقائق الزجاجية (Glass Particles) تم

الحصول عليها من خلال الطحن الميكانيكي
لمخلفات زجاج مصابيح الفلورسنت (النيون) بعد عزلها
وتنقيتها وتجهيفها جيدا وبحجم مسامي اقل من (200)
مايكرون .

5- نشارة الخشب ((Wood flour تم الحصول عليها من السوق المحلية وبحجم مسامي اقل من (200) مايكرون

2.2. الأجهزة المستخدمة

1- جهاز التحليل الحراري الوزني Thermogravimetric Analysis- TGA

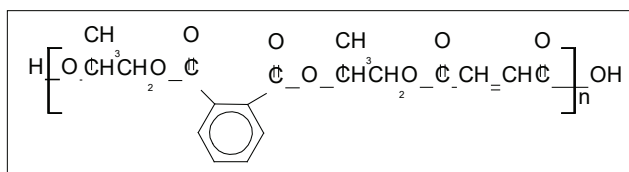
درست الصفات الحرارية لمتراكبات البولي استر غير
المشبع المدعم وغير المدعم باستخدام جهاز التحليل
الحراري الوزني نوع (TGA Q50 V6.3 Build 189)
(Universal V4.1D TA Instruments). وسجلت
المنحنيات على هيئة التغير في وزن البوليمر كدالة لدرجة
الحرارة ، علماً ان النماذج قيست بمعدل تسخين (20) درجة
مئوية/ دقيقة وباستخدام جو خامل من النتروجين وذلك
لتفادي عملية الاكسدة.

2- جهاز المسح التفاضلي المسعري Differential

1- راتنج البولي أستر غير المشبع والمسمى تجارياً بـ(Palatal)جُهِز من شركة الفرات/ العراق وبالمواصفات المبينة في الجدول ادناه:

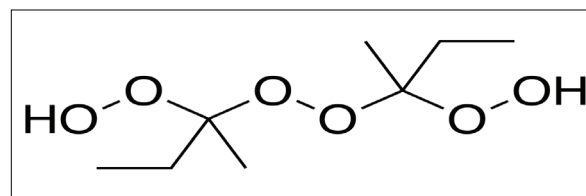
جدول رقم (1): الخواص الفيزيائية الى (UP) المستخدم في البحث.

الحالة الفيزيائية	سائل لزج القوام
اللون	اصفر فاتح
الكثافة	1.12 غم / سم ³ عند درجة حرارة 25 درجة مئوية
العدد الحامضي	30-28 ملغ KOH / غم
اللزوجة	550 (ستتي بوز) عند درجة حرارة 25 درجة مئوية
نسبة الستايرين كعامل مشبك	35 %



شكل رقم (1): التركيب الكيميائي للبولي استر غير المشبع.

2- بيروكسيد اثيل مثل كيتون (كبادئ لعملية البلمرة)
وهو محفز من شركة BDH وله المواصفات التالية :



- سائل عديم اللون
- الكثافة : (1.053) غم / سم³
- درجة حرارة التفكك : اقل من (80) درجة مئوية



3. النتائج والمناقشة

تُعدّ دراسة الثبات الحراري (Thermal Stability) للبولىميرات من السمات الأساسية لتقييمها، لكون معظم طرق تصنيعها واستخدامها تعتمد عليها. ويعرف الثبات الحراري بأنها الدرجة الحرارية التي يبدأ عندها البولىمير بالتحلل أو التفكك الحراري ترافقه تحرر الغازات، أو أنه أقصى درجة حرارية يتعرض لها البولىمير دون حدوث أي تغيير ملحوظ. يعبر عن الثبات الحراري أما كدالة لدرجة الحرارة بثبوت الزمن، حيث يعرف بالثبات الحراري الديناميكي (Dynamic) أو بثبوت درجة الحرارة وتغير الزمن ويعرف بالثبات الحراري الأيزوثيرمي (-Isothermal)، وتجري القياسات كافة تحت جو حامل من غاز النتروجين أو الأركون وذلك لمنع حدوث عملية الأكسدة. سُجلت المنحنيات الحرارية المُستحصل عليها والموضحة في الأشكال (2-6)، وتم حساب العديد من الدوال الثبات الحراري مثل معدل سرعة التفكك ودرجة حرارة فقدان (50%) من وزن البولىمير (Wt. Loss Temp 50%)، كما تم حساب النسبة المئوية للتفحم (Char Content) عند درجة حرارة (600) م°، كما تم حساب درجات حرارة التفكك 1 والعظمى (Optimum decomposition temperature, Top) المُستخلصة من ذروة (DTG) إضافة إلى حساب طاقة التنشيط لعملية التفكك -Acti-vation Energy of Decomposition وذلك من حساب ميل المنحنيات الحرارية [15] ومن الرسم البياني اللوغاريتم معدل سرعة التفكك (lnk) مع مقلوب درجة الحرارة بالمقياس المطلق $K^{\circ} (T/1)$ تم الحصول على خط مستقيم ميله، يمثل (E/R)، حيث (R) تمثل الثابت العام للغازات، (E) طاقة التنشيط لعملية التفكك اعتماداً على معادلة آرينيوس [16,17] وكالاتي:-

$$\ln k = \ln A - \Delta E / RT$$

-Scanning Calorimetry-DSC

استخدم جهاز المسح الحراري نوع (DSC Q100 V9.0) (Build 275 Universal V4.1D TA Instruments) لدراسة التغير الحاصل في درجة الانتقال الزجاجية (Tg) ويتلخص عمل هذا النوع من الأجهزة في تعيين كمية الحرارة الممتصة أو المنبعثة من العينة المراد دراستها كدالة لدرجة الحرارة. علماً أن النماذج قيست بمعدل تسخين 10 درجة مئوية/ دقيقة وباستخدام جو حامل من النتروجين.

3.2. تحضير متراكبات البولي أستر غير المشبع

تمزج راتنج البولي أستر غير المشبع الحاوي على المادة المعجلة مع المادة المالئة بنسب وزنية مختلف كما موضحة في الجدول رقم (2)، بعد ذلك أُضيف البيروكسيد بنسبة (1%) بالنسبة إلى وزن البولي أستر، حرك الخليط ببطئ لتفادي تكوين الفقاعات في كتلة الراتنج ولمدة دقيقتين لغرض تجانس المزيج، وتركت لمدة (24) ساعة في درجة حرارة الغرفة لتصلبها ثم بعد ذلك وضعت النماذج في فرن بدرجة حرارة (100) م° لمدة ثلاث ساعات لاكمال تصلبها وأخيراً تم إجراء عليها عملية التقسية اللاحقة (post curing) وذلك بوضعها في فرن بدرجة حرارة (140) لمدة ساعتين، حينها تكون النماذج جاهزة لأجراء التحاليل الحرارية.

جدول (2): يبين كميات المواد الداخلة في تحضير المتراكبات.

النسبة المئوية الوزنية للمالي	وزن الراتنج (غم)	وزن المادة المالئة (غم)	وزن البيروكسيد (غم)
0	49.500	0.0	0.500
10	44.550	5.0	0.450
20	39.600	10.0	0.400



جدول (3): يبين الدوال الحرارية التي تم الحصول عليها من منحنيات (TGA)

طاقة التنشيط (كيلوجول/مول)	نسبة المثوية للتفحم % عند درجة حرارة 600 م°	درجة حرارة تفكك 50% من وزن البوليمر	درجة حرارة التفكك العظمى C°		النسبة المثوية للمادة المألثة
			Top2	Top1	
20.62	4.75	387	395	215	البولي أستر غير المشبع فقط
25.31	14.42	388	397	220	UP + (10%) دقائق زجاجية
29.32	34.98	400	400	185	UP + (20%) دقائق زجاجية
23.11	7.52	404	410	---	UP + (10%) نشارة خشب
26.12	9.16	407	412	---	UP + (20%) نشارة خشب

طاقة التنشيط لمراكبات البولي أستر غير المشبع المدعم بـ (10%) من الدقائق الزجاجية حوالي (25.31) كيلوجول/مول، بينما بلغت حوالي (23.11) كيلوجول/مول عند نفس النسبة من نشارة الخشب وتزداد طاقة التنشيط بزيادة نسبة المادة المألثة فقد بلغت (29.32) كيلوجول/مول عند تدعيمها بـ (20%) من الدقائق الزجاجية وحوالي (26.12) كيلوجول/مول لنشارة الخشب عند نفس النسبة. ويمكن إن يعزى سبب ذلك إلى أن المواد المألثة تعمل كمصدات تمنع من وصول الحرارة العالية (المسلطة من قبل الجهاز) إلى الراتنجات وبالتالي فأنها سوف تزيد من طاقة التنشيط ويكون تأثيرها أكبر عند استخدام الدقائق الزجاجية عما في حالة استخدام نشارة الخشب وذلك لاحتواء الدقائق الزجاجية على أوأصر Si-O والتي تمتاز باستقرارها الحراري العالي مقارنة مع أصرة C-O الأمر الذي يجعل طاقة التنشيط لمراكبات البولي أستر الغير مشبع المدعم بتلك الدقائق اعلى منها للمراكبات المدعمة بنشارة الخشب.

إضافة إلى ذلك تشير منحنيات التحليل الحراري الوزني إلى إن النسبة المثوية للتفحم والموضحة قيمها في الجدول (3) تشير الى ان راتنجات البولي أستر غير المشبع لوحده له نسبة مثوية للتفحم واطئة حيث بلغت (4.75%)، بينما نلاحظ

يلاحظ من خلال الجدول (3) أعلاه إن كل من درجة حرارة التفكك العظمى ودرجة حرارة الفقدان بالوزن عند (50%) من الوزن تزداد بزيادة نسب المواد المألثة (كل من الدقائق الزجاجية ونشارة الخشب)، ويعزى ذلك إلى الطبيعة الكيميائية والتركيبية لكل من الدقائق الزجاجية ونشارة الخشب، إذ تقوم هذه المواد على إمتزاز الراتنجات على سطح الدقائق وبالتالي ستكون لها درجات حرارة تفكك أعلى من الراتنج لوحده. ويمكن كذلك ملاحظة ارتفاع في قيم درجات حرارة التفكك (Top) و(T50%) لمراكبات البولي أستر غير المشبع المدعمة بنشارة الخشب بصورة أكبر من المراكبات المدعمة بالدقائق الزجاجية، ويعزى ذلك إلى طبيعة الترابط الذي ينشأ بين النشارة وراتنج البولي أستر غير المشبع إذ يحتوي الأخير على مجاميع الكربوكسيل (COOH~) الطرفية، بينما تحتوي النشارة على مجاميع الهيدروكسيل (OH~) الكحولية والفينولية التي يمكن أن تتفاعل بصورة أكبر من مجاميع السيلانول (Si(OH)3~) مكونة بذلك روابط (أواصر) استرية وهذه الروابط الاسترية تكون أقوى تأثيراً من الروابط أو التآصر الهيدروجيني.

ويلاحظ أيضاً من خلال الجدول رقم (3) الزيادة في قيم طاقة التنشيط لمراكبات البولي أستر غير المشبع، فقد بلغت

جدول (4): يبين معدل سرعة تفكك البولي استر المدعم بالمالمات.

النسبة المئوية الوزنية للمادة المألثة	معدل سرعة التفكك (% / دقيقة)
0 % (UP الغير مدعم)	0.069
UP + (10%) دقائق زجاجية	0.053
UP + (20%) دقائق زجاجية	0.045
UP + (10%) نشارة خشب	1.0
UP + (20%) نشارة خشب	0.073

وكذلك تشير تلك المنحنيات الى ان راتنج البولي استر لوحده والمدعم بالدقائق الزجاجية لها درجتى تفكك (Top2 Top1)، الاشكال (2,3,4)، في حين منحنيات التحليل الحراري للبولي استر المدعم بنشارة الخشب تشير الى وجود حزمة تفكك واحدة الاشكال (5,6) ويمكن تفسير ذلك إلى أن نشارة الخشب تعمل على تكوين أواصر هيدروجينية من خلال مجاميع الهيدروكيل الموجودة في نشارة الخشب مع بعض مجاميع الهيدروكسيل او مجاميع الهيدروكسيل الموجودة في البوليستر اثناء عملية تحضير المتراكبات والتي بسببها تختفي حزمة التفكك الأولى .

1.3 المسح التفاضلي المسعري Differential Scanning Calorimetry DSC

لقد استخدمت في هذه الدراسة تقنية ال(DSC)، في متابعة التغيرات في درجة الانتقال الزجاجي (Glass transition temperature) للمتراكبات البوليمرية المحضرة، إذ سجلت منحنيات ((DSC للمتراكبات المختلفة والمبينة في الاشكال (7-11) .

نلاحظ من خلال منحنيات ((DSC إن درجة الانتقال الزجاجي للمتراكبات المدعمة بالدقائق الزجاجية و نشارة الخشب لها قيم درجات انتقال زجاجي أعلى منها للبولي استر الغير مشبع لوحده وهذا ناتج عن وجود تلك المالمات التي

ارتفاع هذه القيمة عند إضافة الدقائق الزجاجية لراتنج البولي أستر غير المشبع حيث بلغت حوالي (14.42%) عند إضافة (10%) من الدقائق الزجاجية، بينما بلغت (34.98%) عند إضافة (20%) من الدقائق الزجاجية.

إن الارتفاع في قيم النسبة المئوية للتفحم بإضافة كل من الدقائق الزجاجية ونشارة الخشب الواطئ يعود إلى الطبيعة الكيميائية والتركيبية لها إذ تمتاز الدقائق الزجاجية بدرجة الانصهار العالية نظراً لتركيبها اللاعضوية، بينما تمتاز نشارة الخشب بتركيبها العضوية ومن المعروف أن المركبات العضوية تتفكك عند درجات حرارة أوطئ من 250°C [18,19]، كما يمكن أن يعزى ذلك إلى النقصان في النسبة المئوية الوزنية للراتنج في التركيبة البوليمرية والتي تعوض عنها بالمواد المألثة وهذه المواد (الدقائق الزجاجية) ذات استقرارية عالية ومن الصعب تفككها وتحولها إلى نواتج غازية بسبباحتوائها على السليكا التي تحتوي في تركيبها الأساسي على أواصر نوع Si-O التي تتميز بان طاقة الكسر لها أعلى من طاقة الكسر لاواصر C-O الامر الذي يؤدي الى زيادة نسبة التفحم عند عملية التدعيم .

ومن ناحية أخرى تم حساب معدل سرعة التفكك للمتراكبات المحضرة من منحنيات (DTG) ومن خلال النتائج التي تم الحصول عليها من تلك المنحنيات والموضحة في جدول رقم (4)، إذ بلغ معدل سرعة التفكك لراتنج البولي أستر غير المشبع حوالي (0.069% \دقيقة) وتقل هذه القيمة للمتراكبات المدعمة بالدقائق الزجاجية التي تتسم بثبات حراري عال نسبياً (بسبب تركيبها الكيميائي المتكون من الأكاسيد اللاعضوية) والتي تقلل من سرعة تفكك البولي أستر غير المشبع وتشير النتائج ايضاً ان التأثير يكون اكثر في حالة استخدام الدقائق الزجاجية كمادة مألثة مما في حالة استخدام نشارة الخشب .



- [2] Vilas J.L., Laza J.M., GarayM.T., RodriguesM., Leon L.M., J.Polym.Sci.Phys., 39, 146-152, (2001).
- [3] Husna P.Nur.,M.Akram Hossain., Shahin Sultana., M MamumMollah.; Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research , vol.45, No 2 , (2010).
- [4] M.A.de Farias., M.Z.Farina., A.P.T.Pezzin., D.A.K.Silva., Material Science andEngineering:C ,Vol.29 , Issue 2 , 510-513, (2008).
- [5] M.H. Irfan, "Chemistry and Technology of Thermosetting Polymersin Construction Applications", Kluwer Academic Publishers, London,(1998).
- [6] L. B. Manfredi, E. S. Rodriguez, M.W .Przybylak and A. Vazquez,Polym.Degrad. Stabi.,91, p.p.255-261, (2006).
- [7] Gowsika.J; Nanthini R. J.Chem.doi 10.1155/2014/173814, (2014).
- [8] Xingwng C, Kaili S and Qiang F; An international Journal for Further theChemical Science (RSC) issue 16,(2012).
- [9] T.Matynia., M.Worzakowska.,W.Tarnawski.; J.of.Appl.Polym.Sci. Vol.101, Issue 5, (2006).
- [10] A. Blumstein, J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem., 3, p.2665, (1965).
- [11] S. D. Burnside, E. P. Giannelis, Chem. Mater., 7, p.1597, (1995).
- [12] F.D. Kuchta, P. J. Lemstra, A. Kellar, L. F. Batenburg, H. R. Fischer, MRS Symp. Proc., 576, p.363, (1999).

تحتل اغلب الفراغات او الحجم الحر (free volume) بين السلاسل البوليمرية والتي تقيد من حرية حركة تلك السلاسل الامر الذي يزيد من قيم درجة الانتقال الزجاجي بزيادة نسبة المائات وكما مبين في الجدول رقم (4) .

جدول رقم (4): يبين قيم درجة الانتقال الزجاجي للمركبات المحضرة.

درجة حرارة الانتقال الزجاجي Tg (°م)	مركب راتنج البولي أستر غير المشبع (UP)
59.98	0 % (UP الغير مدعم)
63.89	UP + (10%) دقائق زجاجية
71.48	UP + (20%) دقائق زجاجية
63.03	UP + (10%) نشارة خشب
67.9	UP + (20%) نشارة خشب

4. الاستنتاجات

1. زيادة الثبات الحراري للمركبات المحضرة مقارنة بالبولي استر الغير مشبع لوحده وان الثبات الحراري يزداد بزيادة نسبة المائات .
2. ان معدل سرعة تفكك المتراكبات المحضرة والمدعمة بالمائات اقل من معدل سرعة تفكك البولي استر الغير مشبع والغير مدعم .
3. تزداد قيم درجات الانتقال الزجاجي بزيادة نسبة المائات وان قيم درجات الانتقال الزجاجي للبوليمر المدعم بالدقائق الزجاجية اعلى منها للبوليمر المدعم بنشارة الخشب

References

- [1] D. L.Nelson, "Unsaturated Polyester Resins" in reaction polymers, W.Gum,W.Riese, and H.Ulrich, Eds., Carl HanserVerlage, Munich Viena New York Barcelona, (1992).



- or Innovation in Engineering and Management, vol 4 , issue 3, (2015)
- [17] S.J. Park, K. Li and F.L. Jin, J. Ind. Eng. Chem., 11(5), p.p.720-725,(2005).
- [18] P. M. Ajayan, L. S. Schadler and P. V. Braun, "Nanocomposite Science and Technology", WILEY-VCH Verlag GmbH Co. KGaA, Weinheim, (2003).
- [19] B.W. Jo , S.K. Park, and D.K. Kim, Constr. Build. Materi, 22, p.p.14–20, (2008).
- [13] J. Lee and E. Giannelis, Polym. Prepr., 38, p.688, (1997).
- [14] SaravanaBavan D and Mohan Kumar G ;Proceeding of the World Congress onEngineering, Vol III, July 3-5, London , UK,(2013).
- [15] Li Zhang ,Mingxing H. Mingxing H, and Cairong Z ; American Journal ofAnalytical Chemistry , vol.4 pp 749-755, (2013).
- [16] Subhi A-AL-Bayati ,AhmadJadah Farhan; International Journal of Application-

