مجلة الشرق الأوسط للنشر العلمي
المجلد (٨) العدد (٥)
الإصدار التاسع والعشرون
٢٠٢٥ (١٠-١)

DOI: https://doi.org/10.63085/mejsp/856412

دراسة بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية لمخلفات عديد كلوريد فاينيل (PVC) المعاد تدويره

فوزية المختار موسى غنية

المعهد العالي للعلوم والتقنية، قسم العلوم والهندسة البيئية، القره بوللى، ليبيا.

عيد المجيد خليفة النجار

جامعة المرقب، كلية الهندسة، قسم الهندسة الكيميائية، الخمس، ليبيا.

نشر إلكترونياً بتاريخ: ٦ نوفمبر ٢٠٢٥م

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

الملخص

يعتبر عديد كلوريد الفاينيل (PVC) أحد المواد البلاستيكية واسعة الاستعمال، حيث تستعمل في تطبيقات كثيرة ومتنوعة، وكما تعتبر أحد المخلفات البلاستيكية المتراكمة في المكبات ولها أثار على البيئة بأوجه مختلفة، ويرجع ذلك إلى أنها تحتاج الى كمية كبيرة من المضافات الكيميائية خلال عمليات التصنيع. هدفت هذه الدراسة إلى إعادة تدوير مخلفات عديد كلوريد الفاينيل بإضافة مادة كربونات الكالسيوم الليبية ($CaCO_3$) كمادة مالئة صديقة للبيئة، حيث خلطت مادة $CaCO_3$ بنسب وزنية مختلفة (٠-٢٠٪) مع مخلفات عديد كلوريد فاينيل المطحونة، تحت ضغط قدره ٥٠ بار وعند درجة حرارة ٢٠٠±٢ °C للحصول على شرائح. درست خصائص الشرائح المتحصل عليها بقياس قوة الشد واختبار الصدم والصلادة. بينت النتائج أن إضافة كربونات الكالسيوم أدت إلى خفض قوة الشد لعينات PVC المعاد تدويره وزادت من امتصاص طاقة الصدم والصلادة مقارنة بعينة مادة PVC المعاد تدويرها بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم. كما تم توصيف الشرائح المتحصل عليها أيضا بدراسة الثباتية الحرارية لها باستعمال جهاز تحليل حراري قياسي للوزن (TGA)، وبينت النتائج أن إضافة مادة كربونات الكالسيوم إلى عديد كلوريد الفاينيل المعاد تدويره لازلت تحافظ على الثباتية الحرارية. بالرغم من انخفاض قوة الشد وازدياد طاقة امتصاص قوة الصدم والصلادة إلا أنه يمكن استخدام هذه الشرائح المحضرة من مخلفات عديد كلوريد الفاينيل ومادة كربونات الكالسيوم بنسب وزنيه حتى

٢٠٪ في عدة تطبيقات لا تحتاج إلى قوة شد عالية وتحتاج إلى قوة صدم وصلادة معتدلة نسبيا منها سياج السلالم والحدائق.

*** المقدمة**

ارتبطت مشاكل البيئة ارتباطاً وثيقاً بوسائل التنمية، فبينما يسخر العلم والتكنولوجيا لتحقيق معدلات التنمية التي توفر الراحة والرفاهية، إلا إنه تواجه مضاعفات تتمثل في تلوث البيئة بمختلف عناصرها ويؤثر أيضاً على اقتصاديات بعض الأنشطة الأخرى، كما أدى التقدم الحضاري والنهضة الصناعية والزيادة في الكثافة السكانية إلى ظهور أنماط معيشية جديدة ساهمت في زيادة حجم المخلفات وتعدد أنواعها لا سيما المخلفات البلاستكية ومن أهمها وأخطرها مادة عديد كلوريد الفاينيل (PVC)

يعتبر عديد كلوريد الفاينيل (PVC) أحد أهم البوليمرات المنتجة من المشتقات النفطية وهو من أكثر المواد البلاستيكية شيوعا، ويستخدم PVC في العديد من الصناعات البلاستيكية والتي من بينها صناعة الأنابيب بمختلف أنواعها، إطارات النوافذ والأبواب والقنابي البلاستيكية، كما تستخدم أيضا في اللواصق والعشب الاصطناعي. مقاومة مادة PVC للأحماض وعدم تحلله حيوياً مكنه أيضا من الدخول في تصنيع الكثير من المعدات الطبية ومستلزمات الحقن وفي صناعة العاب الأطفال وتغليف أسلاك الكهرباء وغيرها. يتم التخلص من مخلفات عديد كلوريد الفاينيل بعدة طرق وهي طريقة الحرق والطمر والتدوير، ولكل من طريقة الحرق والطمر عيوب منها انبعاث الغازات السامة أثناء الحرق [1] وهجرة المواد المضافة إلى الوسط المحيط أثناء الطمر [2]. مثل هذه العيوب جعلت من طريقة التدوير التقنية الأفضل للتخلص من مخلفات PVC بالإضافة إلى استغلال الموارد الطبيعية. يحتاج عديد كلوريد الفاينيل مضافات مختلفة أثناء عمليات التصنيع للحصول على مرونة وسهولة في التصنيع وتحسين الخواص [3] وتصل النسبة الوزنيه للمواد المضافة في تطبيقات PVC الصلب من ٢٪ الى٢٥٪ والمرن من 25% إلى 65% [4]. معظم المضافات عبارة عن مواد كيميائية عضوية سامة لها أثار بيئية وصحية. واستخدام مضافات طبيعية مثل كربونات الكالسيوم (صديقة للبيئة) تقليل التكلفة وتحد من الأضرار البيئية والصحية. لازالت صناعة تدوير مخلفات PVC تفتقر إلى العديد من دراسات لتحقيق الاستفادة منه خاصة وان معدلات التدوير تراوحت مابين ١٪ إلى ٣٪ [5] ومن المتوقع أن تصل إلى 18% بحلول السنوات القادمة [4].

تتوالد مخلفات عديد كلوريد الفاينيل وتتجمع في المكبات العامة بكميات كبيرة حيت أشارت إحدى الدراسات التي أجريت بمدينة طرابلس أن كمية مخلفات PVC في المخلفات المنزلية الصلبة وصلت إلى حوالي 4.7 طن يوميا [6] مما تشجع على إعادة تدويره وإيجاد تطبيقات له. أجريت العديد من الدراسات المختلفة لإعادة تدوير مخلفات عديد كلوريد الفاينيل وذلك بخلطة مع بوليمر أخر في وجود مضافات مختلفة أو استخدام مضافات جديدة [6,7].

توجد عدة تقنيات تستخدم لإعادة تشكيل مخلفات PVC من بينها طريقـــــة تذويب البلمر في مذيب ثم تشكيلة (Film casting) وتقنيات البثق والكبس وتعتمد

الخواص الميكانيكية والحرارية للمنتج على تقنية التصنيع المستخدمة. هدفت هذه الدراسة إلى تدوير مخلفات PVC باستخدام تقنية الكبس وذلك لقلة تكلفتها وسهولة استعمالها وتم دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية للشرائح المتحصل عليها.

*** المواد وطرق البحث**

مادة كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) المستخدمة في هذه الدراسة تم الحصول عليها من شركة الجوف بنغازي- ليبيا وبنسبة نقاوة ٩٩٪ واستخدمت بدون أي تنقية أو معالجة. كذلك تم تجميع عينات عشوائية من مخلفات PVC من مصنع الكريمة للصناعات البلاستيكية – ليبيا كنموذج للمخلف والمتمثلة في مخلفات بقايا أنابيب الصرف الصحي PVC. لغرض تحضير شرائح PVC المعاد تدويره وتجهيز خلطة التحضير، تم طحن المخلف بعد تنظيفه إلى حبيبات ذات حجم معين باستخدام جهاز طحن المخلفات البلاستيكية (FBM 8000W DlS 20402068).

*** تجهيز الخلطات**

تم خلط مخلف عديد كلوريد الفاينيل المحبب ومادة كربونات الكالسيوم فيزيائيا بنسب وزنيه مختلفة حيث تراوحت مادة كربونات الكالسيوم في الخلطة ما بين ٠ – ٢٠٪ من الوزن الكلي. كما تم تجهيز عينة من عديد كلوريد الفاينيل المعاد تدويره بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم كعينة مرجعية. تمت عملية خلط مادة كربونات الكالسيوم ومخلف عديد كلوريد الفاينيل يدويا لمدة ١٠ دقائق. جدول (١) يوضح نسب مادة كربونات الكالسيوم ومخلف عديد كلوريد الفاينيل في خلطات التحضير.

جدول (١) النسب الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم ومخلف عديد كلوريد الفاينيل في الخلطات.

%PVC	$\%CaCO_3$
١٠٠	٠
٩٥	٥
٩٠	١٠
٨٥	١٥
٨٠	٢٠

*** تحضير الشرائح**

حضرت الشرائح من خلطة مخلف عديد كلوريد الفاينيل ومادة كربونات الكالسيوم وذلك بوضع وزنه معينة من الخلطة (١٠٠ g) في قالب عينات طوله (٢٠ Cm) وعرضه (15 Cm) وسمكه (0.2 Cm) موضوع بين شريحتا الحديد مغلف سطحيهما الداخلي بغشاء بلاستيك حراري لتخفيض طاقة الالتصاق بين سطح الشريحة ومادة البلاستيك. بعد ذلك وضعت الخلطة المحتجزة داخل القالب في آلة الكبس (Einsingen Uber UIM ZWICK & Co.KG Type7101) المجهزة بسطح علوي وسفلى تحت ضغط قدره ٥٠ بار وعند درجة حرارة ^{o}C ٢٠٠±٢ لمدة حوالي(١١ دقيقة). استخرجت العينة من آلة الكبس وتركت حتى تبرد إلى درجة حرارة الغرفة ثم استخرجت من القالب وأزيلت الزوائد إن وجدت وأخرجت العينات في صورة شرائح، ثم قصت إلى عينات بالأبعاد المطلوبة لكل قياس. كما تم تحضير شريحة من عديد

كلوريد الفاينيل بنفس الخطوات السابقة عند نفس الظروف بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم.

*** القياسات الميكانيكية**

لتحديد كفاءة البوليمر المعاد تدويره ودراسة تأثير النسبة الوزنية لمادة $CaCO_3$ على بعض الخواص الميكانيكية، تم إجراء تحاليل قوة الشد عند الكسر وقوة الصلادة وقوة الصدم.

١- قياس قوى الشد: الخواص الميكانيكية (قوة الشد عند الكسر والاستطالة ومعامل المرونة) لشريحة عديد كلوريد الفاينيل وشرائح خلطة عديد كلوريد الفاينيل ومادة كربونات الكالسيوم بنسب وزنيه مختلفة تم تعينها باستخدام جهاز قوة الشد (SPRING TESTING~TENSILE MACHINE ELIB-20W. وجهزت عينات الاختبار بطول mm ٧٤.٣٠٠ و مساحة mm^2 ١٢.٧١ حيث أنجزت الاختبارات عند درجة حرارة الغرفة وسعة التحميل للانضغاطية والشد 20 KN.

٢- قياس قوة الصلادة: تم تجهيز عينات الاختبار بشكل دائري قطره 4.5 Cm وبسمك 0.2 Cm من الشرائح المتحصل عليها المحضرة من الخلطات المختلفة. وتم إجراء قياس قوة الصلادة باستخدام جهاز قياس الصلادة Shore A وذلك طبقا للمواصفة الليبية رقم ٣٢٧ لسنة ١٩٩٠ف.

٣- قياس قوة الصدم: تم تجهيز عينات الاختبار بشكل دائري قطره 4.5 Cm وبسمك 0.2 Cm من الشرائح المحضرة. وإجراء قياس قوة الصدم باستخدام جهاز قياس قوة الصدم Einsingen bei Type ١٠٤ ZWICK & Co.KG (ULM) باستخدام طريقة شاربي Charpy وذلك حسب المواصفة الليبية رقم ٣٣١ لسنة ١٩٩٠ف.

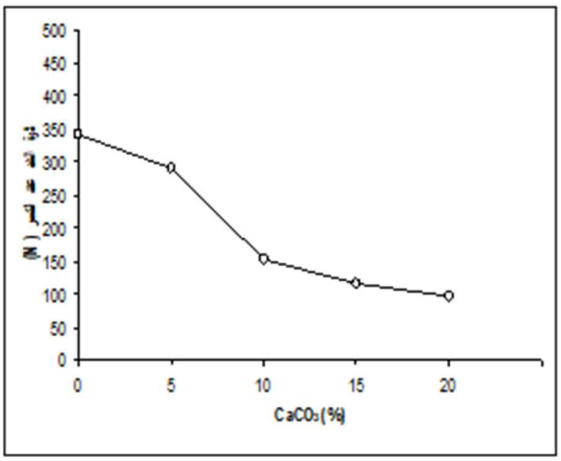
*** تحاليل الثباتية الحرارية**

لتحديد درجة حرارة تبات مادة PVC المعاد تدويره ودارسة تأثير أضافه مادة $CaCO_3$ على الثباتية الحرارة، تم إجراء التحليل الحراري الوزني للعينات المتحصل عليها باستخدام جهاز التحليل الحراري الوزني (Thermal -NETZSCH TG209 Graphmetric Analysis) عند معدل تسخين ٢٠°C/min من درجة حرارة الغرفة إلى 550 °C في حاويه التحليل مصنوعة من الالمونيوم تحث غطاء من الهواء الجوى. ووزن العينات المختبرة كان في مدى مابين ١٤ mg و٣١ mg.

*** النتائج والمناقشة**

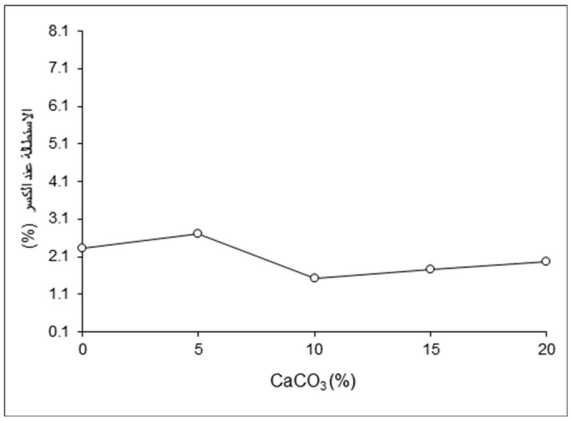
اشتملت قياسات قوة الشد على عينات PVC بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم، وبإضافة مادة $CaCO_3$ وشكل(١) يوضح تأثير النسبة الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم في خلطة التجهيز على قوة الشد عند الكسر لمادة عديد كلوريد الفاينيل المعاد تدويره. يلاحظ من خلال الشكل أن قوة الشد عند القطع تنخفض تدريجيا مع زيادة نسبه مادة كربونات الكالسيوم في خلطة التحضير. كانت قوة الشد عند القطع لعينة PVC بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم حوالي ٣٤٠ N وانخفضت إلى حوالي ٢٩٠ N عند إضافة ٥٪ من مادة $CaCO_3$. يستمر

الانخفاض في مقدار قوة الشد عند القطع حتى حوالي N ١٥٢ عندما أضيفت ١٠٪ من كربونات الكالسيوم، وبعد ذلك تنخفض قوة الشد إلى N ٩٧ عند الاستمرار في زيادة نسبة $CaCO_3$ حتى ٢٠%. يمكن أن يفسر الانخفاض في قوة الشد عند إضافة مادة كربونات الكالسيوم لمادة PVC المعاد تدويره إلى (١) تقنية التحضير (٢) التوزيع الحبيبي لمادة $CaCO_3$ وحجمها وشكل الهندسي لها (٣) عدم تجانس مادة كربونات الكالسيوم مع مادة PVC المعاد تدويره والذي يرجع إلى خلط مادة عضوية مع غير عضوية (٤) عدم الوصول إلى خلط فيزيائي متجانس بين المادتين (٥) وجود طاهرة الفصل الطورى بين سلاسل البوليمر ومادة كربونات الكالسيوم بسبب اختلافات الكثافة والخواص (٦) بالإضافة إلى ما ذكر أعلاه فإن زيادة النسبة الوزنية المئوية لمادة $CaCO_3$ في مادة PVC المعاد تدويره تزيد من الانخفاض في قوة الشد عند الكسر يرجع ذلك إلى أن زيادة نسبة مادة كربونات الكالسيوم تعمل على زيادة عدم الاتصالية بين سلاسل البوليمر. وبالرغم من انخفاض قوة الشد عند الكسر للعينات PVC المعاد تدويره والمضاف إليه مادة كربونات الكالسيوم بنسب وزنيه مختلفة إلا أنه لازال يمكن استخدامه في تطبيقات لا تحتاج إلى قوة شد عالية.



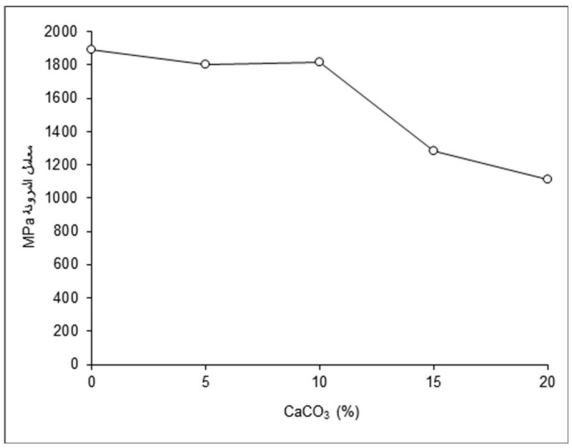
شكل (١). تأثير النسبة الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم في خلطة التجهيز على قوة الشد عند الكسر لمادة عديد كلوريد الفاينيل المعاد تدويره.

شكل(٢) يبين النتائج المتحصل عليها من دارسة تأثير النسب الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم في الخلطة على نسبة الاستطالة عند القطع. حيث أظهرت النتائج نسبة الاستطالة لعينة PVC بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم كان حوالي ٢.٤٪ وازدادت بنسبة ضئيلة إلى حـــوالي ٢.٧٪ عندما أضيفت مادة كربونات الكالسيوم بنسبة ٥٪ ثم انخفضت إلى ١.٦٪ عند ١٠٪ كربونات الكالسيوم. وبعد دلك ارتفعت إلى حوالي ١.٩٪ عند نسبة وزنية ٢٠٪ كربونات الكالسيوم. بشكل عام فإن التغير في نسبة الاستطالة لمادة PVC مع الزيادة في نسبة كربونات الكالسيوم في الخلطة غير معنوية (Insignificant).



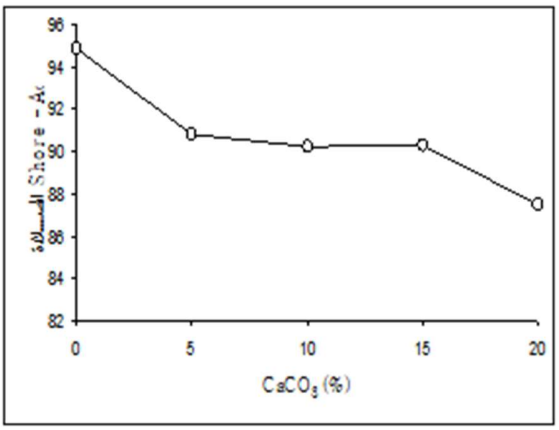
شكل (٢). تأثير النسب ألوزنيه من مادة كربونات الكالسيوم في الخلطة على نسبة الاستطالة عند الكسر لمادة عديد كلوريد الفاينيل لمعاد تدويره.

يوضح شكل (٣) تأثير النسبة الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم في الخلطة على معامل المرونة لمادة عديد كلوريد الفاينيل المعاد تدويره. وتظهر النتائج أن معامل المرونة لعينة PVC بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم كان حوالي (١٨٩١ Mpa) بينما حدث له انخفاض ضئيل (Mpa ١٨١٤) عند إضافة ١٠% من $CaCO_3$ ويستمر الانخفاض في معامل المرونة حتى وصل إلى حوالي(١٢٨٠ Mpa) عندما أضيفت ١٥٪ من مادة كربونات الكالسيوم. ومع الاستمرار في زيادة نسبة $CaCO_3$ في خلطة التحضير حتى ٢٠% ينخفض معامل المرونة إلى(١١١٠ Mpa).



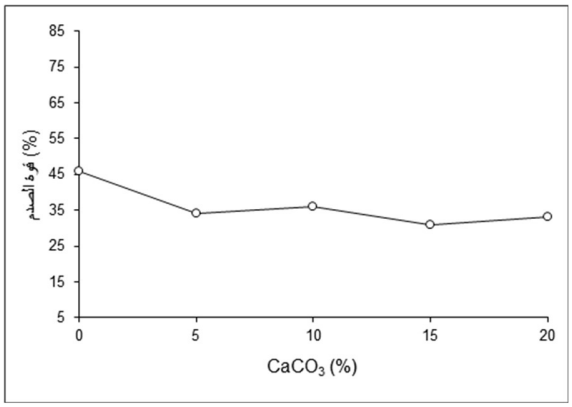
شكل (٣). تأثير النسبة الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم في الخلطة على معامل المرونة لمادة عديد كلوريد الفاينيل المعاد تدويره.

لدراسة تأثير النسبة الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم في مادة PVC المعاد تدويره على قوة الصلادة، تم تحضير شرائح من خلط مادة كربونات الكالسيوم ومادة PVC بنسب وزنيه مختلفة عند درجة حرارة ٢٠٠±٢ ^{o}C والنتائج موضحة في شكل (٤) يتضح من الشكل أن مقدار الصلادة يتناقص تدريجيا مع زيادة نسبه مادة كربونات الكالسيوم. قيمة الصلادة لخلطة عديد كلوريد الفاينيل بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم كان حوالي 95 Shore A وانخفضت إلى حوالي 91 Shore A عندما كانت نسبة مادة كربونات الكالسيوم في الخلطة ٥٪ ومع الاستمرار في زيادة النسبة الوزنية لمادة $CaCO_3$ إلى ١٥٪ كان هناك تغير غير ملحوظ في قوة الصلادة (Shore A ٩٠) و إلى ٨٧ Shore A عند نسبة ٢٠٪. وبشكل عام فإن قوة الصلادة لمادة PVC أكبر من قوة الصلادة للعينات التي بها نسب مختلقة من مادة كربونات الكالسيوم.



شكل (٤). تأثير النسبة الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم في عينات PVC المعاد تدويره على مقاومة الصلادة.

تم دراسة تأثير النسبة الوزنية لخلطة تجهيز الشرائح (مادة $CaCO_3$ ومادة PVC المعاد تدويره) على قوة الصدم. يتضح من شكل (٥) أن قوة الصدم لخلطة عديد كلوريد الفاينيل بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم كان حوالي 46% وانخفضت إلى حوالي 34% عندما كانت نسبة مادة كربونات الكالسيوم في الخلطة ٥٪ ومع الاستمرار في زيادة النسبة الوزنية لمادة $CaCO_3$ إلى ١٠% سجل تغير ضئيل في مقدار قوة الصدم، حيث ينخفض مقدار الصدم من حوالي 36% عند إضافة ١٠% من مادة كربونات الكالسيوم إلى 31% عندما أضيفت كربونات الكالسيوم بنسبة وزنيه ١٥%. ويمكن تفسير ذلك بدخول جزيئات مادة كربونات الكالسيوم المضافة بين السلاسل مادة PVC مما يعمل على انخفاض قوة الصدم بين سلاسل البوليمر والتي تعنى زيادة قابلية البوليمر لامتصاص الطاقة ومقاومة التشوه. وتباين القيم البسيط ربما يرجع إلى عدم التوزيع الحبيبي المتجانس لمادة كربونات الكالسيوم في خلطة التحضير والاختلاف في درجات الحرارة بين السطحين في آلة الكبس.



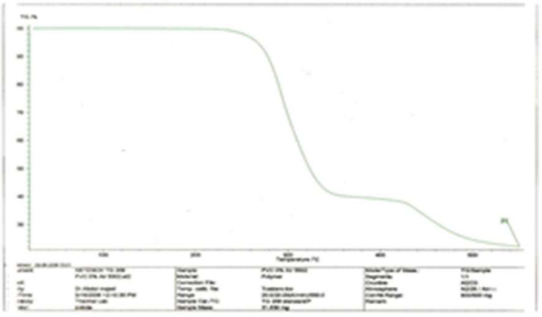
شكل (٥). تأثير النسبة الوزنية لمادة كربونات الكالسيوم في عينات PVC المعاد تدويره على قوة الصدم.

بالرغم من انخفاض قوة الشد للعينات بإضافة مادة كربونات الكالسيوم إلا أن إضافة هذه المادة زادت من خاصية امتصاص طاقة قوة الصدم والصلادة ومقاومة المادة للتشوه أو الخدش. لذا يمكن استخدام هذه الشرائح المحضرة من إضافة مادة $CaCO_3$ بنسب وزنية حتى ٢٠% إلى مادة PVC المعاد تدويره في تطبيقات لا تحتاج إلى قوة شد عالية وتحتاج إلى قوة صدم وصلادة معتدلة نسبيا منها سياج السلالم والحدائق.

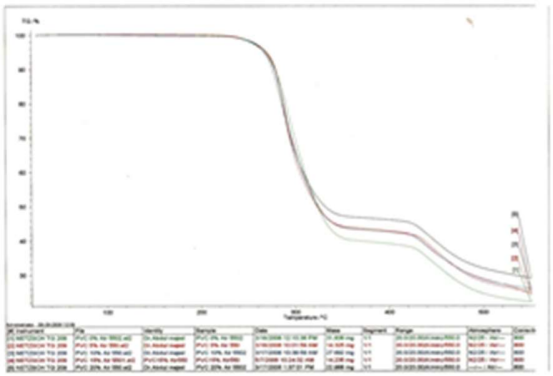
لدراسة تأثير إضافة مادة كربونات الكالسيوم إلى عديد كلوريد الفاينيل المعاد تدويره على الثباتية الحرارية، تم أجراء تحاليل الحرارية لعينات PVC المعاد تدويره. شكل (٦) يوضح التحلل الحراري للعينة PVC بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم ويظهر الشكل وجود أكثر من تغير في المنحنى حيث يبدأ التحلل الحراري (Thermal degradation) وفقدان الوزن للعينة عند درجة حرارة

^{o}C ٢٤٣ ويصل الفقدان في وزن العينة إلى حوالي ٦٠٪ عند حوالي ^{o}C ٣٥٠. يرجع الفقدان في الوزن إلى التحلل الحراري لسلاسل مادة PVC في وجود الهواء الجوى وانبعاث عدة غازات منها غاز كلوريد الهيدروجين (HCl) [٩،٨]. أما في مدى درجات الحرارة مابين ^{o}C ٣٥٠ إلى ^{o}C ٤٢٥ يحدث انخفاض بسيط في النسبة الوزنية من حوالي ٤٠% إلى ٣٧% وذلك نتيجة لحدوث تفاعل التشابك الحراري (Thermal crosslinking) بين بقايا سلاسل PVC. ومع الاستمرار في التسخين حتى ^{o}C ٥٥٠ تزيد نسبة الفقد في الوزن حتى تصل إلى حوالي ٧٨٪ ويتبقى حوالي ٢٢% عبارة عن رماد.

يقدم شكل (٧) التحلل الحراري لعينات PVC المعاد تدويرها والمضافة إليها مادة كربونات الكالسيوم بنسب وزنية مختلفة. يلاحظ من الشكل أن التحلل الحراري لهذه العينات له نفس سلوك التحلل الحراري لمادة PVC بدون إضافة مادة $CaCO_3$ ماعدا النسب المتبقية حيث كانت حوالي ٢٤٪، ٢٦٪،٢٥٪،٢٩٪ للخلطات ٥% و١٠% و١٥% و٢٠% لمادة كربونات الكالسيوم على التوالي. وبشكل عام كان التغير في الثباتية الحرارية للخلطات المضاف إليها مادة $CaCO_3$ بنسب وزنية مختلفة لا تكاد تذكر(Insignificant). أي ان إضافة مادة كربونات الكالسيوم إلى مادة PVC المعاد تدويره لازلت تحافظ على خاصية التباثية الحرارية لعديد كلوريد الفاينيل.



شكل (٦). التحلل الحرارى لعينة عد يد كلوريد الفاينيل (PVC) بدون اضافة مادة كربونات الكاليسوم.



شكل (٧). التحلل الحرارى لعينات PVC المضافه اليها مادة كربونات الكاليسوم ومقانتها بعينة PVC بدون اضافة مادة كربونات الكاليسوم ([١] ٠٪ [٢] ٥٪ [٣] ١٠٪ [٤] ١٥٪ [٥] ٢٠٪)

*** الاستنتاجات**

حضرت شرائح من مخلفات عديد كلوريد الفاينيل وخلطة مادة PVC مع مادة CaCO3 بنسب وزنيه مختلفة بطريقة الكبس وأجريت عليها تحاليل قوة الشد عند الكسر والصدم والصلادة بإضافة إلى الثباتية الحرارية واستنتج من الدراسة أن مادة $CaCO_3$ أدت إلى انخفاض قوة الشد عند الكسر وانخفاض بسيط في قوة الصدم والصلادة. وهذا يعنى أن إضافة مادة كربونات الكالسيوم إلى مادة PVC

المعاد تدويره زادت من امتصاص طاقة الصدم والصلادة مقارنة بعينة مادة PVC بدون إضافة مادة كربونات الكالسيوم. كما يدل ذلك على أن مادة PVC المعاد تدويره قد احتفظت بالثباتية الحرارية عند إضافة مادة كربونات الكالسيوم بنسب وزنيه مختلفة. ونظرا إلى التحسن في امتصاص طاقة الصدم والصلادة والانخفاض في قوة الشد عند الكسر إلا انه يمكن استخدام مادة PVC المعاد تدويره في عدة تطبيقات منها استخدامه في صناعة سياج السلالم والحدائق وغيرها.

*** التوصيات**

١- استغلال المضافات الطبيعية المتوفرة محليا بشكل كبير مثل مادة كربونات الكالسيوم كمادة مالئة في تحسين الخواص.

٢- البحث عن بدائل لمادة عديد كلوريد الفاينيل (PVC) بمواد أخرى أقل خطورة على صحة الإنسان والبيئة. وضرورة ابتكار منتجات بلاستيكية تتحلل حيويا وتشجيع الدراسات والبحوث في هذا المجال وتوفير لها كافة الإمكانيات باعتبارها حلا نهائي للمشكلة تراكم المخلفات البلاستيكية عامة في البيئة.

*** المراجع**

U.S Environmental Protection Agency, office of Air Quality Planning and standards, office of Air and Radiation, Locating and Estimating air Emissions from sources of Dioxins and Furans, May 1997.

Mersiowsky I., stegmann R., Ejlersson J., Svensson B., Long-term behaviour of PVC products under soil-buried and landfill conditions, Technische Universitat, 1999.

Brown K.A., Holland M., R., Boyd R., A., Thresh S., Jones H., Ogilvie S., M., Economic Evaluation of PVC Waste Management, Aeatechnology, June 2000.

Plinke E., Wenk N., Wolff G., Castiglione D., Palmark M., Mechanical Recycling of PVC wastes, Greenpeace organization brief on the report Brussels, Jul 2000.

European Environment Agency, Environment in European Union at the turn of the century, 1999, Environmental assessment report No.2.ISBN 92-9157-202- O. Copenhagen.

Abduel majid K. Najjar, Mohamed A. Almalah, Faiz K. Bannani, Fawzia M. Ghania, "Estimating of polyvinyl chloride in household solid waste at Tripoli", The First Arab Environmental Meeting, 5-7 December 2006, Cairo, Egypt.

A.Ajji, Morphology and mechanical properties of virgin and recycled polyethylene/polyvinyl chloride

blends, Polymer Engineering and Science, 35, 64 – 71, 2004.

David Garcia, Rafael Balart, Jose Enrique Crespo, Juan Lopez, Mechanical properties of recycled PVC blends with styrenic polymers, Journal Of Applied Polymer Science, J of Applied Polymer Science, 101: 2464-2471, 2006.

Bernard J., Ole H., Jurgen V., The Influence of PVC on the Quantity and Hazardousness of Flue Gas Residues From Incineration, Greenpeace organization report Brussels, July 2000.