

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

Received	2026/06/10	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/07/03	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/07/05	تم نشر الورقة العلمية في

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين تكوين جدران قنينات التعبئة ومياه الشرب

عبد الحميد المبروك الدجن¹، عبد الباسط سالم عمار هويدي²،

عبد الرؤوف محمد الكوني ابوجليدة³

1- المركز الليبي لبحوث اللدائن، الهيئة الليبية للبحث العلمي / طرابلس - ليبيا

2,3 - المعهد العالي لشؤون تقنيات المياه، العجيلات - ليبيا

bast22392@gmail.com

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم دور دالة الذاكرة البوليميرية في توصيف السلوك الريولوجي والحراري للمواد البلاستيكية شبه الأمانة المستخدمة في تطبيقات التلامس المباشر بين جدران قنينات التعبئة ومياه الشرب. تنطلق أهمية الدراسة من أن تدهور الخصائص الريولوجية للمواد البوليميرية، مثل انخفاض اللزوجة الديناميكية ومعامل المرونة، قد يؤدي إلى تغيرات بنيوية تسهم في إطلاق ملوثات محتملة من جدران العبوات البلاستيكية إلى مياه الشرب. اعتمدت الدراسة على اختبارات ريومترية حرارية لثلاث عينات بوليميرية هي: عديد الإيثيلين منخفض الكثافة البكر LDPE-2570/1 كعينة مرجعية، وديد الإيثيلين منخفض الكثافة الميثوق مسبقاً LDPE-2570/2 كعينة تحمل ذاكرة إجهادات تصنيع سابقة، وديد البروبيلين PP-2570/4 كعينة من نفس المجموعة الأوليفينية. أُجريت اختبارات القياس الريومتري عند درجتي حرارة 175 °C و212 °C، مع التركيز على اختبارات المسح الزمني لدراسة العلاقة بين معامل المرونة وزمن التعرض الحراري. أظهرت النتائج انخفاضاً واضحاً في قيم اللزوجة الديناميكية ومعامل المرونة للعينة LDPE-2570/2 مقارنة بالعينة البكر، كما انخفضت طاقة التنشيط من 77 kJ/mol

دور دالة الذاكرة البوليمرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الآمنة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

إلى 70 kJ/mol ، مما يشير إلى فقدان جزء من التفرعات البوليمرية وتأثر البنية الجزيئية
بالإجهادات الحرارية والميكانيكية السابقة. كما بينت اختبارات الاستقرار الحراري أن عينة
LDPE-2570/2 اتخذت مساراً تصاعدياً ذا ميل موجب، وهو ما يدل على حدوث
تشبيك في السلاسل البوليمرية، بينما أظهرت عينة PP-2570/4 مساراً تناقصياً ذا ميل
سالبة نتيجة ظاهرة انشطار السلسلة البوليمرية. تؤكد الدراسة أن دالة الذاكرة البوليمرية
تمثل أداة مهمة في تقييم صلاحية المواد البلاستيكية شبه الآمنة لتطبيقات التلامس مع
مياه الشرب، كما تشير النتائج إلى أن XL-LDPE يمتلك استقراراً حرارياً وبنوياً أفضل
من PP في ظروف الاختبار المدروسة.
الكلمات المفتاحية: تدهور البوليمرات، الخصائص الريولوجية، عديد الإثيلين منخفض
الكثافة، عديد البروبيلين، الذاكرة البوليمرية، الإجهاد الحراري والميكانيكي.

Role of Polymeric Memory in Qualifying the Semi-Safe Plastics for Applications Involving Interactive Contacts between Bottled Drinking-Waters and Bottling Walls

Abdulhamid Mabruk Dajan

Libyan Establishment for Scientific Research, Tripoli, Libya

ABDULBASIT SALIM AMMAR HUWAYDI

ABDELROUF MOHAMMED KOUNI IBOJILIDA

Advanced Institute for Water Technologies, Al-Ajaylat, Libya

bast22392@gmail.com

Abstract:

This study aims to evaluate the role of the polymer memory function in characterizing the rheological and thermal behavior of semi-safe plastic materials used in direct-contact applications between bottled water container walls and drinking water. The significance of the study stems from the fact that the degradation of rheological properties of polymeric materials, such as the decrease in dynamic viscosity and elastic modulus, may lead to structural changes that

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

contribute to the release of potential contaminants from plastic container walls into drinking water.

The study was based on thermo-rheometric tests conducted on three polymer samples: virgin low-density polyethylene LDPE-2570/1 as a reference sample, previously extruded low-density polyethylene LDPE-2570/2 as a sample carrying the memory of prior processing stresses, and polypropylene PP-2570/4 as a sample belonging to the same olefinic group. Rheometric measurements were performed at temperatures of 175°C and 212°C, with particular focus on time sweep tests to investigate the relationship between elastic modulus and thermal exposure time.

The results showed a significant decrease in the values of dynamic viscosity and elastic modulus for the LDPE-2570/2 sample compared with the virgin sample. The activation energy also decreased from 77 kJ/mol to 70 kJ/mol, indicating the loss of part of the polymer branching structure and the influence of previous thermal and mechanical stresses on the molecular structure. Thermal stability tests further revealed that the LDPE-2570/2 sample followed an increasing trend with a positive slope, indicating the occurrence of crosslinking within the polymer chains, whereas the PP-2570/4 sample exhibited a decreasing trend with a negative slope due to the phenomenon of polymer chain scission.

The study confirms that the polymer memory function represents an important tool for evaluating the suitability of semi-safe plastic materials for drinking-water contact applications. The results also indicate that XL-LDPE possesses better thermal and structural stability than PP under the investigated testing conditions.

Keywords: Polymer degradation, rheological properties, low-density polyethylene, polypropylene, polymer memory, thermal and mechanical stress.

1. المقدمة

العلاقة بالتكوين المادي في خطة العمل بمواد من مجموعة بلاستيك الإيثيلين (Polyethylenes) تُحقق إستراتيجية الإختيار الآمن للبوليمرات وذلك إستناداً على أن هذه المواد تتميز بسلوك كيموديناميكي يضعها في التصنيف المعروف ب شبه الخضراء

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

(Semi-Green Polymers) [1]. فتقييم هذه المواد من حيث السلامة الصحية والأمان البيئي يتطلب تحقيق أكبر عدد ممكن من شروط وضوابط الأمان البوليميري التي من أهمها:

1. نسبة تحول المونيمر إلى بوليمر (Conversion of Monomers) يجب أن تكون عالية وذلك من أجل التقليل من كمية المونيمر الغير مُفاعل (Residue Monomer) في المادة الصناعية.

2. الزيادة في ثبات طاقة الرنين الإلكتروني (Resonance Stabilization) لسلسلة البوليمر النامية تعني زيادة في تفاعل موضعي بين المونيمرات مما يعرقل نمو السلاسل البوليميرية لينتج عن ذلك مادة بوليميرية غير مقبولة في التصنيف شبه الخضراء.

3. دالة التوزيع المتصاعد (Normal Distribution Function) تُمثل توزيع الجزيئات على السلسلة البوليميرية حيث أن الزيادة في عشوائية التوزيع تعني زيادة في المساحة تحت منحنى الدالة مما يُشير إلى توزيع مُتسع للوزن الجزيئي (Broad Molecular Weight Distribution) في المادة. فالزيادة في درجة العشوائية تُقلل من مُلائمة المادة البوليميرية لتطبيقات مُلامسة للإنسان والبيئة. الخيار هنا لصالح مواد التوزيع الضيق للوزن الجزيئي (Narrow Molecular Weight Distribution) التي تتميز أيضاً بسلاسل بوليميرية تتكون فيها مناطق بلورية مُنتظمة تعطي البوليمر صلابة عالية.

4. ميل السلوك الكيموديناميكي (Chemo-Dynamic Slope) ذو الإشارة الموجبة (+ve) يُعتبر من أهم الأسس العلمية التي تؤهل المادة البوليميرية لتكون ضمن التصنيف شبه الخضراء كما هو في حالة مادة عديد الإيثيلين المُنخفض الكثافة (Low Density Polyethylene – LDPE). العكس هنا حدث في حالة مادة عديد البروبيلين (Polypropylene – PP) كبوليمر يتميز بميل سالب (-ve Slope). هذا الفرق الجوهرى في السلوكيات الكيموديناميكية بين المادتين تم على الرغم من أن LDPE و PP ينتميان لنفس التصنيف المادي المعروف بالمجموعة الأوليفينية (Polyolefins) [2,3,4,5]. هذه المجموعة الهامة تضم أيضاً عديد الإيثيلين المُنخفض الكثافة الخطي

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

(Linear Low Density Polyethylene – LLDPE) و عديد الإثيلين العالي الكثافة (High Density Polyethylene – HDPE). أهمية هذه المجموعة تستند على طبيعة تركيبها الكيميائي الذي يحتوي على عُصري الكربون والهيدروجين فقط والذي يختلف عن ما هو في عدد من مواد بوليميرية أخرى كمادة عديد كلوريد الفينيل (Polyvinyl Chloride – PVC) الخطرة والمحظورة منذ أكثر من 21 عام [6] بإجراء شمل أيضاً مادة عديد اليوريثان (Polyurethane – PU). نختتم هنا بالتذكير إلى أن المواد PVC و PU غير مؤهلة أصلاً لعمليات تدوير البلاستيك (Recycling of Plastic Wastes).

تتمثل مشكلة البحث في أن تعرض المواد البوليميرية للإجهادات الحرارية والميكانيكية أثناء عمليات التصنيع، مثل البثق، قد يؤدي إلى تغيرات في بنيتها الجزيئية وخصائصها الريولوجية. ويظهر ذلك من خلال انخفاض اللزوجة الديناميكية ومعامل المرونة، وهو ما قد ينعكس سلباً على استقرار المادة البلاستيكية المستخدمة في تصنيع قنينات مياه الشرب. وقد يؤدي هذا التدهور إلى زيادة احتمالية انتقال ملوثات أو نواتج تدهور من جدران العبوات إلى المياه، مما يمثل خطراً صحياً وبيئياً محتملاً.

وعلى الرغم من وجود دراسات عديدة تناولت تدهور البوليميرات وسلوكها الحراري، إلا أن العلاقة بين دالة الذاكرة البوليميرية والسلوك الكيموديناميكي طويل الأمد للمواد البلاستيكية شبه الأمانة في تطبيقات التلامس المباشر مع مياه الشرب لا تزال بحاجة إلى مزيد من التوضيح. لذلك تهدف هذه الدراسة إلى توصيف أثر الذاكرة البوليميرية على السلوك الريولوجي والحراري لعينات LDPE و PP، وتحديد مدى ملاءمتها لتطبيقات التعبئة ذات الصلة بمياه الشرب.

2. المواد والذاكرة البوليميرية

هذا الجزء الهام تم بتقنيات الريومتر الحراري (Thermal Rheometric Techniques) التي تُتيح فرصة توصيف الخصائص الكيموديناميكية (Chemo-Dynamic Characteristics) للمواد البوليميرية الموضحة في الجدول 1 والتي بها تتوفر المعارف اللازمة لربط النتائج العملية بالجوانب النظرية.

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبنة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

• المواد المستخدمة

- اعتمدت الدراسة على ثلاث عينات بوليميرية من مجموعة الأوليفينات، وهي:
1. عينة عديد الإثيلين منخفض الكثافة البكر LDPE-2570/1 ، وهي عينة مرجعية لم تتعرض لأي عملية تصنيع سابقة .
 2. عينة عديد الإثيلين منخفض الكثافة LDPE-2570/2 ، وهي عينة مبنوثة مسبقاً وتحمل ذاكرة إجهادات حرارية وميكانيكية ناتجة عن عملية البثق .
 3. عينة عديد البروبيلين PP-2570/4 ، وهي عينة مبنوثة مسبقاً وتحتوي على حزمة مثبتات حرارية .

• خطوات الاختبار

أُجريت الاختبارات باستخدام تقنيات القياس الريومتري الحراري بهدف توصيف السلوك اللزج المرن للمصهورات البوليميرية. تم تنفيذ الاختبارات عند درجة حرارة 175 °C لدراسة تأثير تاريخ البثق السابق على اللزوجة الديناميكية ومعامل المرونة، كما أُجريت اختبارات الاستقرار الحراري عند درجة حرارة 212 °C لدراسة العلاقة بين معامل المرونة وزمن التعرض الحراري.

اعتمدت اختبارات الأشكال 1 و 2 على توصيف السلوك الريولوجي في ظروف تسمح بالحفاظ على خطية النظام اللزج المرن. أما الأشكال 3 و 4 و 5 فتمثل اختبارات المسح الزمني عند تردد ثابت، وذلك بهدف دراسة الاستقرار الحراري وسلوك التهشم مع الزمن.

• دالة الذاكرة البوليميرية

تعتبر دالة الذاكرة البوليميرية عن قدرة المادة البوليميرية على الاحتفاظ بتأثيرات الإجهادات السابقة التي تعرضت لها أثناء عمليات التصنيع. ويمكن تمثيلها بالعلاقة الآتية:

$$\mu^\circ(t-t') = \sum_{i=1}^N a_i \exp\left[-\frac{(t-t')}{\tau_i}\right] \quad (1)$$

حيث تمثل $\mu^\circ(t-t')$ دالة الذاكرة، ويمثل a_i معامل التوازن، بينما تمثل τ_i زمن الاسترخاء المرتبط بمواضع توليد وفقدان الروابط في المصهور البوليميري. وتساعد هذه

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

الدالة في تفسير تأثير تاريخ الإجهادات السابقة على السلوك الريولوجي الحالي للمواد البوليميرية .

الجدول 1: دليل البوليميرات المدروسة بخطة عمل إختباري تشمل مادة واحدة لحالة البكر (Virgin State) وحالتين لمواد بلاستيكية مُجهدة بسبب تعرضها لبثق مُسبق (Extruded Plastic Materials).

ICI-Polymer Groups	ID No.	Operational History	Additives
Alkathene – LDPEs (Low Density Polyethylenes)	LDPE-2570/1	Virgin (Never Processed Before)	No Added Chemicals
	LDPE-2570/2	Extruded in Extrusion Process	No Added Chemicals
Propathene – PP (Polypropylene)	PP-2570/4	Extruded in Extrusion Process	+ Stabilizer Package

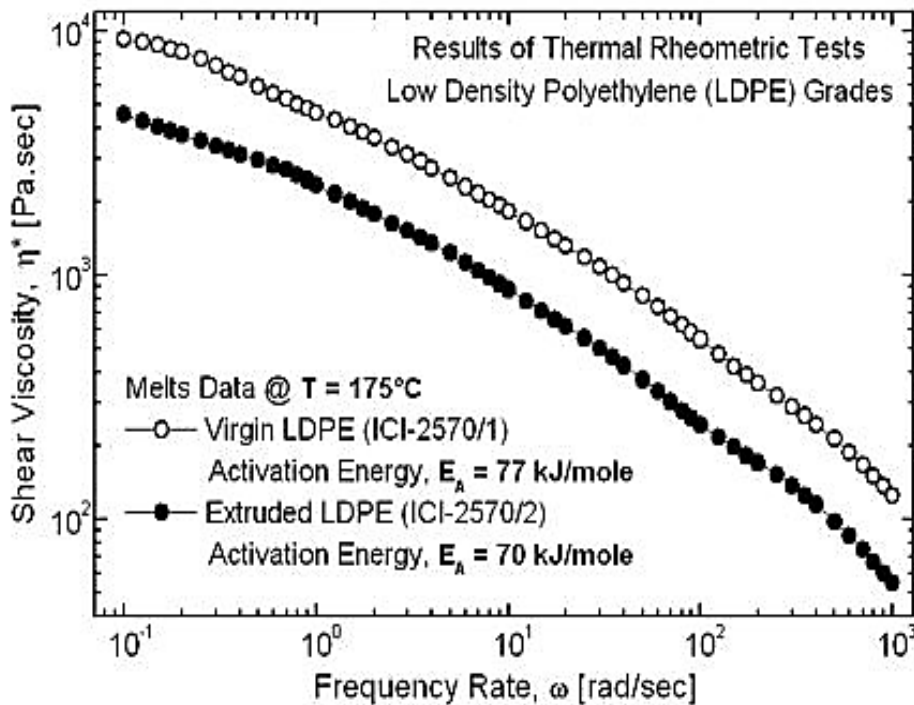
خطة العمل الدراسي المُصممة لدراسة السلوك المادي للبوليميرات المُختبرة في الجدول 1 ساهمت بقدر كبير في تسليط الضوء على تأثير تاريخ الماضي الكيموديناميكي (Chemo–Dynamic Past History) على جودة التكوين البوليميري للمنتجات البلاستيكية [7,8,9,10]. المقصود هنا بتأثير الماضي الكيموديناميكي هو التذكر المادي لآثار تاريخ من التعرض لإجهادات سبقت ما تتعرض له الحالة المادية الحالية. الجدول 1 يدرج حالتين لمواد تحمل ذاكرة لتاريخ بثق (Extrusion History as Extruded) وهما: (1) عديد الإثيلين المُنخفض الكثافة LDPE-2570/2 و(2) عديد البروبيلين PP-2570/4. كل ذلك يتلخص في المعادلة 1 التي تُعرف علمياً بدالة الذاكرة $\mu^o(t-t')$ Memory Function والتي تصف بروز وفقدان الروابط (Junctions) في سلاسل المصهورات البوليميرية المُحتفظ بذكرى الإجهادات ($t' \rightarrow t$) حيث t الزمن الحالي و t' زمن الماضي. نختتم هنا بأهمية ثوابت المواضع (Modes of Eqn.1) التي تشمل مُعامل التوازن a_i بوحدة Pa/sec وزمن الإسترخاء (Relaxation Time, τ_i) كُمحددة زمن مُرتبطة بمواضع مُعدلات توليد الروابط.

كل ما تقدم يتضح كواقع عملي في نتائج الإختبارات التي توفرها الأشكال 1 و2 المُتعلقة بتوصيف سلوكيات الأطوار اللزجة المرنة (Behavior of Visco-Elastic Phases)

دور دالة الذاكرة البوليمرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

من حيث دور إجهادات زمن الماضي في تحويل اللزوجة والمرونة (Modification of Viscosity and Elasticity). هذا الإنجاز تم بخطة عمل بدأت بتجهيز نظام إختبارات القص (Shear Test System) في وسط حراري يتحكم في درجة حرارة الصهر المُختبرة. فالهبوط الواضح في قيم اللزوجة ومُعامل المرونة (η^* & G') يُشير إلى حدوث تغيير مُقلق في توزيع الوزن الجزيئي (Molecular Weight Distribution - MWD) الذي يؤدي إلى توسع نطاق مواضع زمن الإسترخاء (τ_i) وبالتالي يصبح البوليمر مادة قابلة للتشم (Degradable Material).

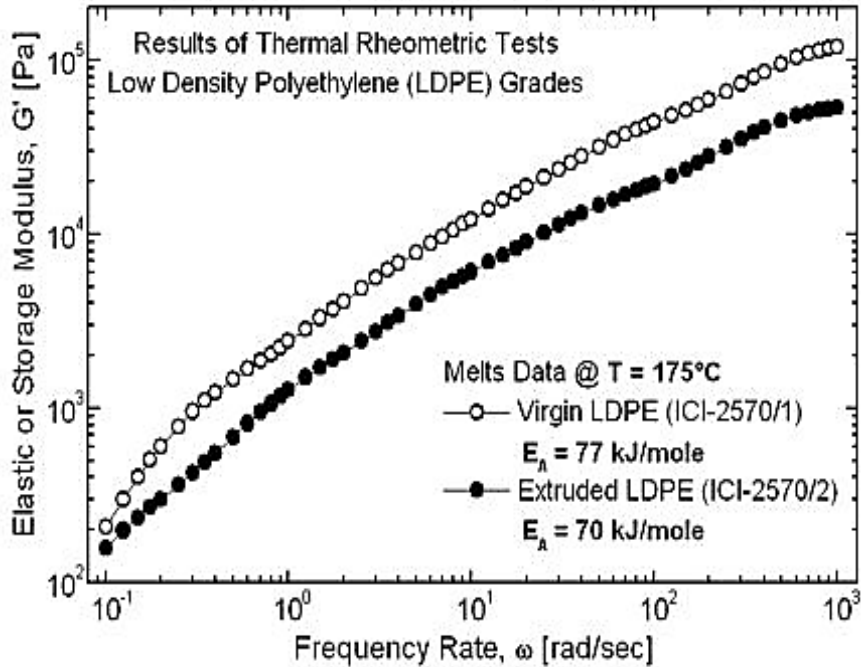


الشكل 1: نتائج اللزوجة (η^*) للمواد البكر والمُجهدة مُسبقاً

(LDPE-2570/1 & LDPE-2570/2).

دور دالة الذاكرة البوليمرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>



الشكل 2: نتائج معامل المرونة للمواد البكر والمُجهدة مسبقاً
(LDPE-2570/1 & LDPE-2570/2).

درجة حرارة الإختبارات ($T = 175^{\circ}\text{C}$) في الشكل 1 و 2 تؤخذ كمحددة تكفل عدم تدهور العينة المُختبرة في مدى الوسط الحراري $T \geq T_g + 100^{\circ}\text{C}$ حيث T_g تُمثل درجة حرارة الإنتقال الزجاجي للبوليمر. هذه الخطوة هامة لضمان خطية النظام اللزج المرن (Linearity of Visco-Elastic System) وذلك من حيث صلاحية النتائج الريومترية. هذا النظام أظهر طاقة تنشيط (E_A - Activation Energy) بمُستويات عالية ينفرد بها بوليمر عديد الإثيلين المُنخفض الكثافة (LDPE) وصلت إلى $E_A = 77$ kJ/mole للحالة البكر وانخفضت إلى $E_A = 70$ kJ/mole بعد التعرض لعملية بثق (Extrusion Process) في الزمن الماضي. مثل هذا التغير الواضح يحدث عادةً في البوليمرات الغير خطية (Non-Linear Polymers) التي تتميز بسلاسل جانبية طويلة بتفرعات (Branches) ترتبط بالسلسلة الرئيسية عند نقاط التقاطع (Junction)

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

(Points). هذه الآلية يُمكن أن تُؤسس لتوصيف دور التفرعات من خلال معارف حول حجم التفرعات وعدد الفروع. أي بمعنى أن عملية تحريك كتلة لوحدة مسافة من عينة البوليمر البكر (Virgin LDPE-2570/1) تتطلب طاقة تنشيط عالية للتعامل مع عدد الفروع وأحجام التفرعات في الشرائح البوليميرية المُختبرة. فهبوط قيمة التنشيط في العينة المُجهدة مُسبقاً (Extruded LDPE-2570/2) تعني أن هذه الحالة المادية تحورت بفقدان نسبة من التفرعات وأن ذلك تسبب في خسارة أجزاء من اللزوجة (η^*) والمرونة (G') كما في الأشكال 1 و 2. هذا الفقد لا يؤهل المادة المُجهدة في التاريخ الماضي أن تكون مادة جودة صناعية (Industrial Quality) ولا يسمح لإستخدام المواد البوليميرية الناتجة عن عمليات تدوير البلاستيك (Recycled Plastics) في التطبيقات التي تشترط توظيف الحاويات البلاستيكية (Plastic Containers) التي جدرانها في تلامس مُباشر مع المشروبات والأغذية أن تكون مُصنعة من البوليمر البكر (Virgin Polymer) كإجراء يشمل قنينات مياه الشرب.

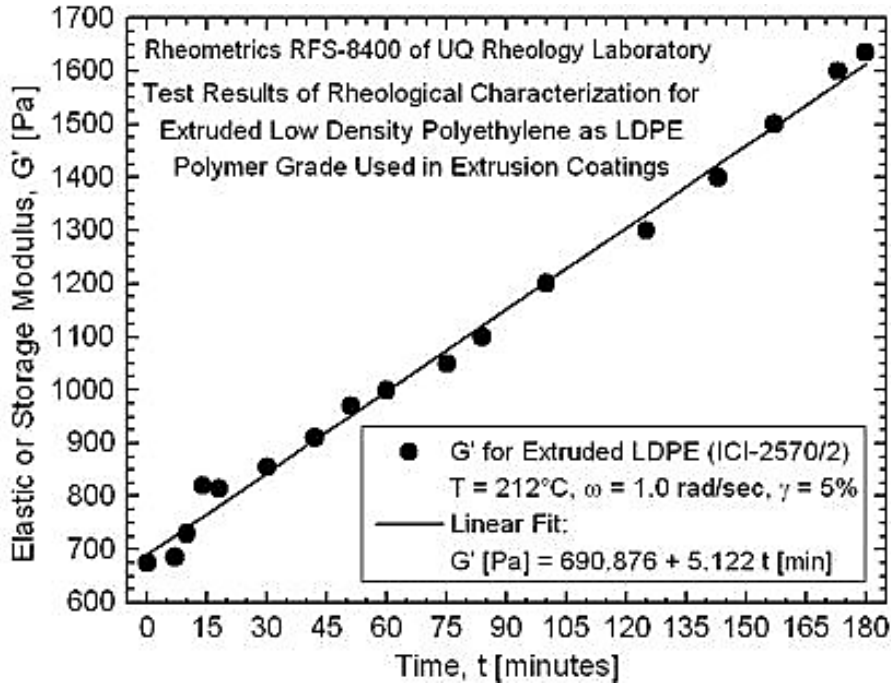
3. نتائج إختبارات التهشم الحراري

الشكل 3 يعرض السلوك الكيموديناميكي لحالة البوليمر المبتوق مُسبقاً Extruded LDPE-2570/2 بنتائج توصيف التهشم الحراري للمصهورات البوليميرية (Thermal Degradation of Polymeric Melts) كدالة في زمن التعرض لمُستويات حرارية عالية [3]. الأهمية العلمية لنتائج هذه الإختبارات برزت بعد 30 عاماً في دراسة مرجعية (Review Study) لفريق بحثي صيني طبقاً للمرجع رقم [11]. هذا النوع من الإختبارات يُتيح معارف هامة حول إستجابة المادة البوليميرية للإجهادات الحرارية من خلال سلوك مُعامل المرونة (G') كدالة في زمن التعرض لدرجات حرارة عالية. أي بمعنى أن هذه الإختبارات أصبحت تؤخذ كمصدر رئيسي للمعلومات المتعلقة بتوصيف التهشم الحراري للمواد البوليميرية. فالسلوكيات المُتميزة في نتائج البوليمرات المُختبرة تظهر في الميل الكيموديناميكي (Chemo-Dynamic Slope) كمؤشر لمسارين: (1) العينة LDPE-2570/2 تتميز بالميل ذو الإشارة الموجبة +ve الواضح في الشكل 3 كنتيجة تؤهل المادة البوليميرية لتكون ضمن التصنيف شبه آمن و(2) مسار

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبنة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

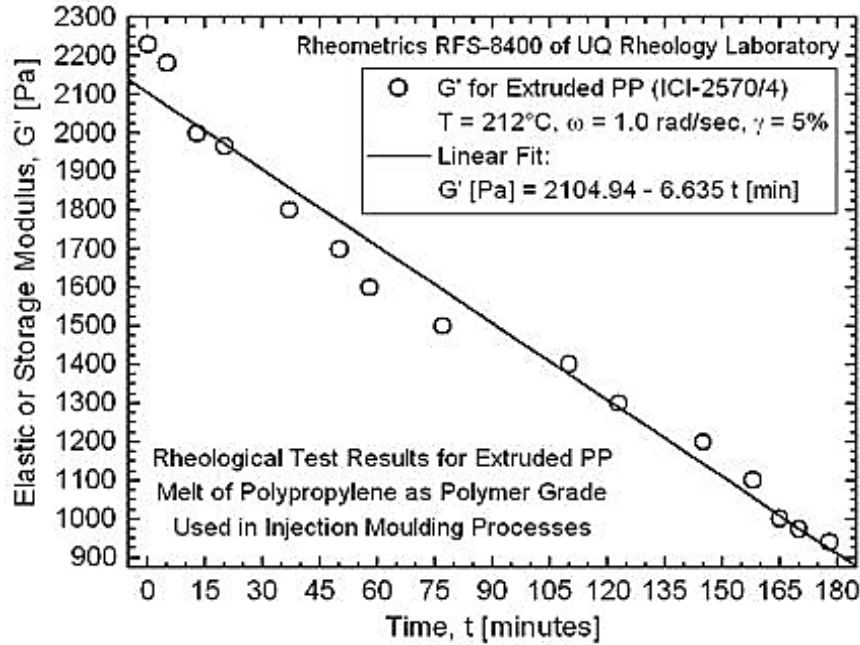
العينة PP-2570/4 في الشكل 4 ينفرد بالميل ذو الإشارة السالبة -ve على الرغم من أن مادة عديد البروبيلين Polypropylene تنتمي للمجموعة الأوليفينية وأن ذلك لا يؤهلها لأي تصنيف يهتم بالمواد شبه الأمانة بسبب تفكك السلسلة البوليميرية عند التعرض لأوساط حرارية عالية. نختتم هذا الجزء بالتأكيد على أن إختبارات الريومتر الحراري (Thermal Rheometric Tests) أُجريت عند $T = 212^{\circ}\text{C}$ المُتمثلة لدرجة حرارة التهشم (Degradation Temperature) كما هو موضح في الأشكال 3 و4.



الشكل 3: مؤشر الميل الكيموديناميكي الإيجابي
(+ve Chemo-Dynamic Slope Indicator).

دور دالة الذاكرة البوليمرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبنة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>



الشكل 4: مؤشر الميل الكيموديناميكي السلبى

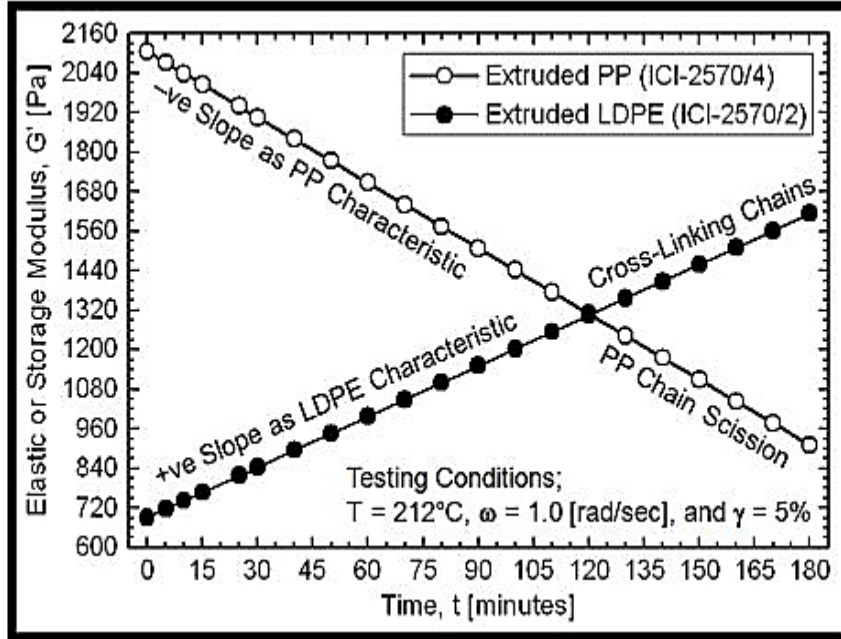
(-ve Chemo-Dynamic Slope Indicator)

نتائج مؤشرات الميل الكيموديناميكي في الأشكال 3 و 4 أظهرت الإختلاف الأساسي القائم في السلوكيات المادية بين البوليمرين LDPE-2570/2 و PP-2570/4 على الرغم من أنهما ينتميان لنفس المجموعة الأوليفينية. هذا الفرق الجوهرى يؤخذ عادةً كأحد الأسس العلمية الهامة التي توهم المادة البوليمرية لتكون ضمن التصنيف الشبه آمن. الأفضل هنا تكون لصالح مادة عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) التي اكتسبت خاصية الزيادة في تشبيك السلاسل (Cross-Linking of Chains) بعد تعرضها في الزمن الماضى لإجهاد ديناميكي في عملية بثق عند درجة حرارة عالية. هذه الحالة سوف يُشار إليها بالإختصار XL-LDPE وذلك للتمييز بينها وبين البوليمر البكر (Virgin Polymer). العكس من ذلك أظهرته نتائج مادة عديد البروبيلين (PP)

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبنة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

بميل سلبي يؤثر على حدوث إنشطار في السلسلة البوليميرية الذي تُمثله العلاقة $G'-t$
كما في الشكل 5.



الشكل 5: العلاقات الخطية لسلوكيات البوليميرات LDPE و PP في حالات التهشم الحراري.

خاصية إنشطار السلسلة البوليميرية (Chain-Scission) في الشكل 5 تتسبب في
تقليل الوزن الجزيئي حيث ينخفض دور لزوجة المصهور (PP's Melt Viscosity)
في عرقلة جريان المصهور وهو ما يمنح عملية الإنشطار نوع من الإيجابية التي تتميز
بها مواد التوزيع الضيق للوزن الجزيئي (Narrow MW). أما الجانب السلبي لهذه
الخاصية يبدأ بالتدهور المُتدرج (Gradual Deterioration) أثناء تعريض حيز
بلاستيكي من بوليمر PP لوسط حراري طويل الأمد حيث تنتهي فيه عملية التعرض
بتفكك التكوين المادي الأساسي وتشتيت المُضافات الكيميائية (Chemical
Additives) في حجم الحيز. هذه الحالة تُمثل مادة بوليميرية فقدت جزء كبير من

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبنة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

مزاياها وأصبحت حالة بخصائص دون المستوى المطلوب (Inferior)
(Characteristics).

4. النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج الاختبارات الريومترية عند درجة حرارة 175 °C وجود اختلاف واضح بين
العينة البكر LDPE-2570/1 والعينة المبتوقة LDPE-2570/2. فقد سجلت العينة
المبتوقة انخفاضاً في قيم اللزوجة الديناميكية η^* ومعامل المرونة 'G'، وهو ما يدل
على حدوث تغيرات بنيوية ناتجة عن تعرض المادة لإجهادات حرارية وميكانيكية أثناء
عملية البثق السابقة.

كما أظهرت النتائج انخفاض طاقة التنشيط من 77 kJ/mol في العينة البكر إلى 70
kJ/mol في العينة المبتوقة. ويمكن تفسير هذا الانخفاض بفقدان جزء من التفرعات
طويلة السلسلة في بنية LDPE، مما يقلل من مقاومة المصهور للحركة تحت تأثير
إجهادات القص، وينعكس ذلك في انخفاض اللزوجة والمرونة.

تمثل الأشكال 1 و2 نتائج اختبارات المسح الترددي التي توضح تأثير تاريخ البثق السابق
على اللزوجة الديناميكية ومعامل المرونة. أما الأشكال 3 و4 و5 فتتمثل اختبارات المسح
الزمني عند تردد ثابت، والتي استخدمت لتقييم الاستقرار الحراري وسلوك التهشم مع الزمن
عند درجة حرارة 212 °C.

أظهرت نتائج المسح الزمني أن عينة LDPE-2570/2 اتخذت مساراً تصاعدياً ذا ميل
موجب في العلاقة بين 'G' والزمن، مما يشير إلى حدوث تشبيك في السلاسل البوليميرية
نتيجة التعرض السابق للإجهادات الحرارية والميكانيكية. ويؤدي هذا التشبيك إلى زيادة
الترابط بين السلاسل، وبالتالي تحسين الاستقرار البنيوي للمادة تحت ظروف الاختبار.

في المقابل، أظهرت عينة PP-2570/4 مساراً تناقصياً ذا ميل سالب، وهو ما يدل على
حدوث انشطار في السلسلة البوليميرية. ويؤدي هذا الانشطار إلى انخفاض الوزن الجزيئي
وتراجع قدرة المصهور على مقاومة الجريان، مما يجعل المادة أكثر عرضة للتدهور وفقدان
خصائصها الأصلية.

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين تكوين جدران قنينات التعبنة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

وتشير هذه النتائج إلى أن السلوك الكيموديناميكي للبوليميرات لا يعتمد فقط على انتمائها إلى نفس المجموعة الكيميائية، مثل مجموعة الأوليفينات، بل يتأثر أيضاً بطبيعة البنية الجزيئية وتاريخ الإجهادات الحرارية والميكانيكية التي تعرضت لها المادة.

5. الإستنتاجات

توصلت الدراسة إلى أن دالة الذاكرة البوليميرية تمثل أداة فعالة في تفسير تأثير تاريخ الإجهادات السابقة على السلوك الريولوجي والحراري للمواد البلاستيكية شبه الأمانة. وقد بينت النتائج أن عملية البثق السابقة تؤدي إلى تغيرات واضحة في الخصائص الريولوجية، تمثلت في انخفاض اللزوجة الديناميكية ومعامل المرونة وطاقة التنشيط لعينة-LDPE 2570/2 مقارنة بالعينة البكر.

كما أظهرت اختبارات الاستقرار الحراري أن عينة LDPE-2570/2 اتخذت مساراً ذا ميل موجب نتيجة حدوث تشبيك في السلاسل البوليميرية، بينما أظهرت عينة-PP 2570/4 مساراً ذا ميل سالب نتيجة انشطار السلسلة البوليميرية. ويعد هذا الاختلاف مؤشراً أساسياً في تقييم مدى ملاءمة المواد البوليميرية لتطبيقات التلامس مع مياه الشرب. وبناءً على ذلك، تشير النتائج إلى أن XL-LDPE يمتلك استقراراً حرارياً وبنياً أفضل من PP في ظروف الاختبار المدروسة، مما يجعله أكثر ملاءمة لتطبيقات التلامس شبه الأمان مع مياه الشرب.

6. التوصيات

- ضرورة اعتماد الاختبارات الريومترية الحرارية كأداة أساسية لتقييم جودة المواد البلاستيكية المستخدمة في تطبيقات التلامس مع مياه الشرب .
- ضرورة التمييز بين المواد البكر والمواد المعاد تدويرها أو المبتوقة مسبقاً، لأن تاريخ التصنيع السابق يؤثر بشكل مباشر على اللزوجة والمرونة والاستقرار الحراري للمادة .
- يوصى بعدم استخدام المواد البوليميرية التي تظهر انخفاضاً واضحاً في اللزوجة ومعامل المرونة في التطبيقات التي تتطلب تلامساً مباشراً مع مياه الشرب أو الأغذية .

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين تكوين جدران قنينات التعبئة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

- ضرورة تطوير نماذج رياضية للتنبؤ بزمن التهشم الحراري t^d اعتماداً على نتائج المسح الزمني ومعامل المرونة G'
- يوصى بإجراء دراسات إضافية على تأثير المثبتات الحرارية والمواد المائلة في تحسين الاستقرار الحراري للبوليميرات المستخدمة في تطبيقات التعبئة.

7. الخاتمة

ساهمت هذه الدراسة في توضيح الدور الذي تؤديه دالة الذاكرة البوليميرية في توصيف وتأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة المستخدمة في تطبيقات التلامس المباشر مع مياه الشرب المعبأة. وقد بينت النتائج أن الخصائص الريولوجية والحرارية للبوليميرات تتأثر بصورة مباشرة بتاريخ الإجهادات الحرارية والميكانيكية التي تتعرض لها أثناء عمليات التصنيع، خاصة عمليات البثق.

أظهرت الاختبارات الريومترية أن التغيرات في اللزوجة الديناميكية ومعامل المرونة وطاقات التشييط تمثل مؤشرات أساسية على حدوث تغيرات بنيوية داخل المادة البوليميرية، مثل تشبيك السلاسل أو انشطارها. كما أكدت النتائج أن بوليميرات عديد الإثيلين منخفض الكثافة LDPE تمتلك قدرة أفضل على الحفاظ على استقرارها البنيوي والحراري مقارنة ببوليميرات البولي بروبيلين PP، وذلك نتيجة سلوك التشبيك الذي ظهر في اختبارات الاستقرار الحراري.

وتبرز أهمية هذه النتائج في دعم استخدام الاختبارات الريومترية الحرارية كوسيلة علمية لتقييم جودة وسلامة المواد البلاستيكية المستخدمة في تطبيقات التعبئة، خصوصاً تلك المرتبطة بمياه الشرب والمواد الغذائية. كما تؤكد الدراسة أن فهم العلاقة بين الذاكرة البوليميرية والسلوك الكيموديناميكي للبوليميرات يمثل خطوة مهمة نحو تطوير مواد بلاستيكية أكثر أماناً واستدامة، قادرة على تقليل مخاطر التدهور وانتقال الملوثات إلى الوسط المحيط.

وفي ضوء ما توصلت إليه الدراسة، فإن تطوير نماذج توصيف حراري وريولوجي أكثر دقة، إلى جانب توسيع نطاق الدراسات لتشمل مواد بوليميرية وإضافات صناعية مختلفة،

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبنة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

يمثل توجهاً بحثياً واعداداً لتعزيز سلامة المواد البلاستيكية وتحسين أدائها في التطبيقات
الصناعية والبيئية المستقبلية.

المراجع

- [1] Abdulhamid M. Dajan, Ghozlan Al-Hemmali, Manal A. Algadi, Abdulbaset S. Huwaidi, and Fathia A. Lahmer, "Fundamental Sciences and Technologies in the Field of Semi-Green Polymers", Ind-05, 1st Chemical Conference of Sebha University, 14-16 November 2006, Sebha, Libya.
- [2] Abdulhamid M. Dajan, "E1841: Polymer Processing", Lecture Notes, Department of Chemical Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia, 1992.
- [3] Abdulhamid M. Dajan and Michael E. Mackay, "Elongation Rheology of Polymer Melts", Proc. of the 7th National Conference on Rheology, p. 37, Brisbane, Australia, 1994.
- [4] Abdulhamid M. Dajan, "Thermal Degradation Rheology of ICI-Polymers: Alkathene and Propathene Melts", Extended Research Report, Department of Chemical Engineering, University of Queensland, Brisbane, Australia, 1998.
- [5] Abdulhamid M. Dajan, "On the Damping Spectra in Polymer Rheology: Experimental Characterization of ICI-Alkathene Melts", Department of Chemical Engineering, University of Queensland, Brisbane, Australia, 1999.
- [6] Abdulhamid M. Dajan, Fatheya A. Al-Ahmer, Manal A. Al-Qadi, and Rajab A. Abu-Ajela, "On the Banning of the Use of Polyvinyl Chloride (PVC) Plastic Material", Scientific Forum on Environmental Science and Technologies (FEST), Environment Friends Association, 23-25 November 2004, Tripoli, Libya.
- [7] M. H. Wagner, "Analysis of Time-Dependent Non-Linear Stress-Growth Data for Shear and Elongational Flow of a Low-Density Branched Polyethylene Melt", Rheologica Acta, Vol. 15, No. 2, 136-142 (1976).
- [8] H. H. Winter, "On Network Models of Molten Polymers: Loss

دور دالة الذاكرة البوليميرية في تأهيل المواد البلاستيكية شبه الأمانة لتطبيقات التلامس بين
تكوين جدران قنينات التعبنة

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-AY01>

- of Junctions Due to Stretching of Material Planes”, *Rheologica Acta*, Vol. 17, 589–594 (1978).
- [9] M. E. Mackay, A. M. Dajan, H. Wippel, H. Janeschitz-Kriegl, and M. Lipp, “An Approximate Technique to Determine Elongation Stresses in Stagnation Flow”, *Journal of Rheology*, 39, 1(1995).
- [10] Manfred H. Wagner and Víctor H. Rolón-Garrido, “Recent Advances in Modeling of Polymer Melt Rheology”, *POLIMERY*, 60, nr 10, 2015.
- [11] Jie Zhang, Jingwei Li, Hongbin Li, Ming Yang, Yake Li, Yunxia Qi, Yiquan Xu, Wei Hu, and Bajun Liu, “Recent Overview and Future Research Prospects of Cross-Linked Polyethylene (XLPE) Materials: Cross-Linking Methods and Applications”, doi:10.20944/preprints202409.1601.v1, 20 September 2024.
- [12] Abdulhamid M. Dajan, “Environmental Impact Assessment (EIA) of Elwefaq Company for Manufacturing of Plastic Covers”, Environment General Authority (EGA), 23 August 2009, Janzour, Tripoli, Libya.
- [13] Abdulhamid M. Dajan, Rasha J. Hassan, A. Al-Najjar, and M. A. Al-Meshragi, “Environmental and Economical Impacts of Calcium Carbonate on the Tubular Film Blowing of Plastic Materials”, Symposium on Environmental Impacts of Chemical Wastes in the Arab World, 19–20 April 2004, Tripoli, The Socialist People’s Libyan Arab Jamahiriya.
- [14] Abdulhamid M. Dajan, Rasha J. Hassan, and Hesham S. Fituri, “Optimization of the Calcium Carbonate Fraction for a Tubular Blowing Process of High-Density Polyethylene Films”, Internal Research Report – 2008, Polymer Research Branch at Tajouraa, Center for Research and Technological Studies, Tripoli, Libya.