

دراسة تأثير التقادم المسرع بالأشعة فوق البنفسجية على الخواص الفيزيوميكانيكية لمزيج (بيوتيل/ بولي إيثيلين منخفض الكثافة) لاستخدامه في موانع التسرب البوليميرية

علي محمد علي*

ميساء علي شاش**

ايمن سلمان هنيدي***

(تاريخ الإيداع ٨ / ١ / ٢٠١٩ . قبل للنشر ٨ / ٩ / ٢٠١٩)

المخلص

يتضمن هذا البحث دراسة تجريبية لتصنيع مانعة تسرب لعدادات المياه المستخدمة في مؤسسة المياه من مزيج البولي إيثيلين منخفض الكثافة (LDPE)، مع إلاستومير البيوتيل (BU) بنسب مزج مختلفة: (BU/LDPE) (5/95, 10/90, 15/85, 20/80). دُرست الخواص الفيزيوميكانيكية للخلطات السابقة : (مقاومة الشد وانفعال الانقطاع ومعامل يونغ والصلادة والانتباجية).

بيّنت نتائج الدراسة أن زيادة نسبة البيوتيل تسبب انخفاض مقاومة الشد ومعامل يونغ والصلادة والانتباجية وارتفاع في الانفعال عند الانقطاع، حيث إن المزيج LDPE₉₅/BU₅ يمتلك أعظم قيمة لمقاومة الشد وتساوي 8.18[Mpa]، ويمتلك أعظم قيمة للانتباجية وتساوي 1.372[%] ، وتنخفض قيمة مقاومة الشد والانتباجية مع زيادة نسبة البيوتيل في المزائج، حيث انخفضت الانتباجية في المزيج LDPE₈₀/BU₂₀ إلى 0.972[%] .

ثم دُرست تأثير التقادم المسرع بالأشعة فوق البنفسجية (UV) على خصائص المزائج المحضرة، حيث عرّض كل مزيج لتأثير ثلاث جرعات مختلفة من الأشعة، فتبين أن زيادة الجرعة الإشعاعية تؤدي إلى إضعاف الخواص، إذ انخفضت مقاومة الشد للمزيج LDPE₉₅/BU₅ من 8.18[Mpa] عند عدم تعريضه للتقادم إلى 6.21[Mpa] عند تعريضه لجرعة إشعاعية مقدارها 45[J/cm²]، أي بمعدل انخفاض 24.08[%] ، ويقل معدل إضعاف الخواص في المزيج LDPE₈₀/BU₂₀ والذي يُعدُّ مثاليًا لصناعة وسيلة الإحكام، وذلك لأنه يزيد مقاومة الخواص المدروسة لتأثير أشعة (UV) وتأثير الرطوبة.

إن خواص المزائج البوليميرية المعروضة في هذا البحث تفيد في إيجاد تطبيقات هندسية أخرى مغايرة لوسيلة الإحكام، وذلك يتبع للتطبيق المراد تحقيقه والخواص المطلوبة في هذا التطبيق.

كلمات مفتاحية: بولي إيثيلين منخفض الكثافة، بيوتيل، وسائل الإحكام، مزائج بوليميرية، الخواص الفيزيوميكانيكية، التقادم المسرع بالأشعة فوق البنفسجية.

*أستاذ في قسم هندسة تقانة الأغذية، رئيس قسم هندسة تقانة الأغذية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.

**أستاذ مساعد في قسم هندسة المعدات والآليات، عميد كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.

***مهندس وطالب دراسات عليا (ماجستير هندسة المواد التطبيقية)، قسم هندسة المعدات والآليات، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.

Study The Effect of Ultraviolet Irradiation Aging on The Physio-Mechanical Properties of (Butyle/Low Density Polyethylene) Blends for Used in Polymeric Seals

Ali Mohammed Ali*

Mayssa Ali Chache**

Ayman Salman Hnyde ***

(Received 8 / 1 / 2019 . Accepted 8 / 9 / 2019)

Abstract

This paper includes an experimental study to improve performance of the upper watermeters' gasket used in Syrian water institution. In this research, Low Density Polyethylene (LDPE) was mixed with Butyle rubber (BU) according to the following percent: (BU / LDPE) (5/95, 10/90, 15/85, 20/80).

The physio-mechanical properties of the blends were studied, such as: (tensile strength, elongation at break, young's modulus, hardness, water swelling).

The results showed that increasing Butyle percentage reduces tensile strength, young's modulus, hardness and swelling, and leads to increasing elongation at break. (LDPE₉₅/BU₅) has the highest tensile strength (8.18 MPa), and the highest swelling (1.372%). Tensile strength and swelling decreased with increased the elastomer percentage, where the value of swelling for (LDPE₈₀/BU₂₀) decreased to (0.972%).

After that, the effect of ultraviolet irradiation aging on the above properties was studied, where each blend was exposed to radiation according to three different doses of energy. The results showed that increased radiation dose leads to reducing properties, where the tensile strength for (LDPE₉₅/BU₅) decreased from (8.18Mpa) -when it wasn't exposed to radiation dose- to (6.21Mpa) when it was exposed to (45 J/cm²) from UV radiation, so with (24.08%) decline. The weakening rate of the properties decreases in the blend (LDPE₈₀/BU₂₀) which is the optimal blend for the manufacture of the seal, because this blend improves the properties resistance to the effect of UV and moisture.

The properties of the polymer blends that have been presented in this paper are useful in finding an engineering applications that are different from the seal, that depends on the product and its work conditions.

Keywords: Low Density Polyethylene , Butyle, Polymers Blends, seals, Ultraviolet and Weathering Aging, physio-mechanical properties.

*Professor- Department of Food Technical Engineering- Faculty of Technical Engineering- Tartous University-Tartous- Syria.

**Assistant Professor- Department of Equipment and Machinery Engineering- Dean of Technical Engineering Faculty-Tartous University-Tartous- Syria.

***postgraduate student (Applied Materials Engineering Master)- Department of Equipment and Machinery Engineering- Faculty of Technical Engineering- Tartous University-Tartous- Syria.

المقدمة:

يرتبط المجال التطبيقي للبوليمرات بالخواص الفيزيائية (درجة الانصهار البلورية (T_m) والتبلور (crystallinity) ودرجة الانتقال الزجاجي (T_g) وبالخواص الميكانيكية (قوة الشد والاستطالة والقساوة)؛ وتعتمد هذه الخواص على طبيعة الوحدات البنائية وتناسق التركيب البنائي للبوليمر ومرونة البوليمر. وبناءً على ذلك فإن تحسين الخواص الفيزيوميكانيكية يعدّ من أكثر الأمور دراسة في هذه الأيام للحصول على مواد مثالية تتمتع بخواص ميكانيكية عالية ووزن منخفض، وقد حدثت قفزات نوعية وكبيرة في مضمار تحضير وتصنيع المواد البلاستيكية ومزائجها أدت إلى تطور هذه المواد وصناعتها من حيث الكم والنوع. وأهم أسبابها دخول الأتمتة وضبط الجودة في عمليات التشكيل [1]. وإن أحد التطبيقات المهمة للمواد البوليميرية هو استخدامها في صناعة وسائل الإحكام، التي تدخل في تطبيقات هندسية كثيرة لا يمكن الاستغناء عنها في الغالبية العظمى من الأجهزة والمعدات. ومن أهم هذه المعدات عدادات المياه، حيث لا يخفى على أحد الأهمية القصوى التي تلعبها المياه في حياتنا اليومية، وبالتالي فإن أنظمة وشبكات توزيع المياه يجب أن تتمتع بالموثوقية والكفاءة اللازمين لأداء مهامها. وبما أن عدادات المياه تتعرض لظروف جوية مختلفة كالرطوبة، والأشعة فوق البنفسجية والأوزون، فإن مكونات العداد وخاصة البوليميرية منها (مثل وسائل الإحكام) سوف تتعرض للعديد من عوامل التفكك، مما يستوجب استبدالها، ويتم ذلك عن طريق الاستيراد أو التفكير في تصنيعها ضمن السوق المحلية لإلغاء التكاليف العالية المترتبة على عملية الاستيراد. ومن هنا تظهر أهمية هذا البحث في تحديد الخطة البوليميرية المثلى في تصنيع وسيلة الإحكام العلوية للعداد.

من وجهة النظر الحرارية فإن المواد البوليميرية تقسم إلى قسمين رئيسيين وذلك بحسب طبيعة سلوك تلك المواد تحت تأثير درجة الحرارة: المواد البوليميرية المتصلبة حرارياً (Thermosetting) (TS)، والمواد البوليميرية المتلدنة حرارياً (Thermoplastic) (TP)، حيث إن البوليمرات من نوع (TP) تتلدن عند تسخينها وتتصلب بعد التبريد من دون حدوث أي تغير كيميائي في تركيبها. يرجع سبب الانصهار أو التلدن بالحرارة إلى ضعف الارتباط بين الجزيئات العملاقة مما يسهل انزلاقها بجانب بعضها، ويمكن تكرار هذه العملية عدة مرات بدون أن تتأثر صفات هذه البوليمرات [1]، [2]، [3]. ويعدّ البولي إيثيلين من أكثر أنواعها انتشاراً، ويستخدم هندسياً في كثير من التطبيقات المهمة كنقل الغاز المضغوط والماء المدور (recycled water)، وفي أنظمة التزويد بماء الشرب والصرف الصحي، وخزانات الوقود في السيارات (automotive fuel tanks)، ويتميز هذا البوليمير بأنه عازل كهربائي، وعديم الطعم والرائحة، وعديم السمية، وقابل للتلوين، وله مقاومة ميكانيكية عالية، وكثافة منخفضة، ومقاومة للتجمد والتآكل الكيميائي والنشاط الإشعاعي وغازات الرطوبة.

وعلى هذا الأساس فإنه يمكن استخدام هذه الخواص في تصنيع وسيلة الإحكام، ويعدّ مزج البوليميرات من أهم العمليات المساعدة في تحسين الخصائص الفيزيوميكانيكية، حيث أنه يُحسّن قابلية معالجة البوليمير، مما يجعله مرغوباً بشكل أكبر من البوليميرات الفردية، إضافةً إلى أنها تلي حاجات السوق المحلية.

أهمية البحث وأهدافه:

تنشأ أهمية هذا البحث من الحاجة لتصنيع المكونات الأساسية لصيانة عدادات المياه المستخدمة في بلدنا، ومن أهمها وسائل الإحكام البوليميرية ذات الأشكال المعقدة، كونها من العناصر التي تتلف بمعدلات عالية، وذلك نظراً للتكاليف العالية لاستيرادها، وبالتالي يهدف هذا البحث إلى مزج مادتين بوليميريتين باستخدام تقنية المزج للاستخدام في مانعات التسرب، وتحديد المزيج الأمثل للمواد الداخلة في التركيب ونسبها، وتأثير النسب على الخواص

الفيزيوميكانيكية، وبالتالي على العمر التشغيلي لوسائل الإحكام، إضافةً إلى دراسة وتحديد مقاومة المزائج البوليميرية المختلفة للتقادم الناتج عن الظروف الجوية، من خلال معرفة تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الخصائص الفيزيوميكانيكية للمزائج.

خصائص المزائج البوليميرية المستخدمة:

جرى في هذا البحث استخدام مزيج من نوعين من المواد البوليميرية (بلاستيك - إلاستومير)، حيث أثبتت الدراسات أن هذا المزيج يمتلك سلوكاً مرناً في درجة الحرارة الطبيعية، وسلوكاً لدناً عند التشكيل، فعندما يكون الإلاستومير هو المكون الرئيس في الخلطة فسوف تكتسب خصائص الإلاستومير المقوى، أما إذا كان البوليمير البلاستيكي المتلدن بالحرارة هو المكون الرئيس في الخلطة فتسمى بخلاتن البلاستيك [4]، [5].

وتعدّ الخلائط الحاوية على مطاط البيوتيل واحدة من المزائج المهمة من حيث الاستخدام في الإحكام المائية، حيث يعدّ البيوتيل واحداً من الإلاستوميرات قليلة القطبية، مما يكسبه مقاومة عالية لمختلف أنواع المذيبات القطبية [6]، وقد دخل الصناعة منذ أكثر من 60 عاماً، ويتم الحصول عليه من البلمرة المشتركة لكل من: غاز أيزوبيوتيلين (isobutylene) وسائل أيزوبرين (isoprene) (4-1)% ، وهما من منتجات النفط الثانوية، ويتصف هذا المطاط بمرونة عالية (بين الدرجتين 100-73 درجة مئوية)، ولا يسمح بنفوذ الغازات والهواء، ويقاوم الأشعة (UV) ودرجات الحرارة العالية والأوزون وعددًا من المواد الكيماوية (الأملاح المعدنية والحموض والمذيبات القطبية)، كما أن مقاومته كبيرة للماء والبخار، لذلك يدخل بشكل كبير في الصناعات المائية، وفي وسائل الإحكام (للمنازل والمباني)، وصناعة الإطارات الداخلية، وخرطوم الماء الساخن، وأقنعة الغازات وملابس الإنقاذ [7].

تعتمد خواص مطاط البيوتيل على طول السلسلة البوليميرية ودرجة الإشباع، فعندما يقل عدد الروابط المزدوجة تزداد مقاومته للأوزون والأوكسجين، وعندما يزداد عددها تتسرع عملية الفلكنة، ويزداد عدد الروابط العرضية في البنية [2].

درس العديد من الباحثين موضوع الإحكامات والمزائج وخواصها، حيث قام الباحث (Renner-Hahn) وفريق عمله بدراسة إخفاقات الإحكامات المطاطية للتجهيزات المائية (أنابيب المياه)، وجرى تحديد الآليات المساهمة في التسريبات وتحليلها من الإحكامات المطاطية عبر خرسانة مسلحة، وذلك لفهم الإخفاقات في هذه الإحكامات وتقييم المخاطر من فشلها، وفرصة لإجراء معالجات استباقية لتلافي هذه المخاطر. تم التركيز على أعراض التقادم وارتباطها بالإخفاقات الحاصلة، حيث قيس أعراض التقادم وقورنت بمعدلات الفشل الحاصل لتحديد تأثيراتها النسبية، وأجريت المقارنات بين الإحكامات التي حصلت فيها مشاكل مع الإحكامات السليمة من حيث مورفولوجيا السطح عن طريق المجهر (SEM)، واستنتج أن السبب الرئيس لهذه الإخفاقات يعود إلى تشكيل قنوات عبر السطح الفاصل بين الإحكام وأنابيب المياه، حيث إن قساوة السطح (المؤشر لتركز الشقوق) يرتبط بقوة بالإخفاقات الحاصلة، وتبين أن زيادة قساوة السطح تؤدي إلى زيادة المعدلات النسبية للإخفاقات (زيادة العرضة لتشكيل الشقوق السطحية وبالتالي تسرب المياه) [9].

طرائق البحث ومواده

جرى في هذا البحث اتباع المنهج التجريبي للوصول إلى المادة المثلى واستخدامها في تصنيع وسيلة الإحكام، حيث تم تحضير الخلطات البوليميرية من الصنف (بلاستيك حراري - إلاستومير) وبنسب خلط مختلفة، والنسبة الأكبر كانت للبلاستيك. وتحتوي هذه الخلطات على (بولي إيثيلين منخفض الكثافة - مطاط البيوتيل) وفقاً للنسب

الآتية (80-20/15-85/10-95-5)، ويطلق على مطاط البيوتيل اسم (IIR) وفقاً للمواصفة (ASTM D1418) وقد تم استخدام البيوتيل في البحث لأنه يتمتع بمقاومة كبيرة لأشعة الشمس ولالأوزون والمذيبات القطبية كالماء، لذلك فهو يستخدم استخداماً كبيراً في الصناعات المائية.

1. تحضير الخلطات البوليميرية والعينات (Preparation of polymer blends):

المواد المستخدمة (materials):

تم الحصول على حبيبات البولي إيثيلين منخفض الكثافة من إنتاج شركة سابك (Saudi Basic Industries) ومطاط بيوتيل (N-1675) روسي المنشأ. جرى وزن 40 غراماً لكل عينة من الخلطات الأربع باستخدام ميزان حساس بدقة 0.001 غرام من نوع (KERN ABS)، وأعطيت كل خلطة رقماً للدلالة عليها كما يظهر في الجدول (1)

الجدول (1) أرقام العينات والنسب الوزنية لمكوناتها

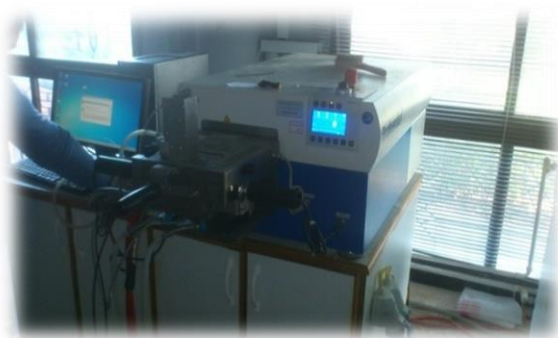
رمز العينة	LDPE ₈₀ /BU ₂₀	LDPE ₈₅ /BU ₁₅	LDPE ₉₀ /BU ₁₀	LDPE ₉₅ /BU ₅
المواد	بيوتيل / بولي إيثيلين منخفض الكثافة			
نسب المزج (%)	80/20	85/15	90/10	95/5

التقنيات المستخدمة (Techniques):

جرى مزج كل خلطة على حدى باستخدام مزاج (Mixer) من النوع (Brabender GmbH & Co.KG)

ألماني المنشأ، موديل (835205)، وموضح في الشكل (1).

بعد تشغيل المزاج تم ضبط الحرارة عند $170 [C^{\circ}]$ ، وسرعة دوران $80 [rpm]$ ، ثم أضيف البولي إيثيلين، وبعد دقيقة وضعت المادة المطاطية وتركت المواد لمدة 8 دقائق ثم أوقف المزاج وأخرجت الخلطة، جرى تكرار العملية السابقة على جميع الخلطات ثم وضعت كلها في فرن تسخين بحرارة $135 [C^{\circ}]$ للمحافظة على لدونها وتجفيف أي آثار للرطوبة فيها ولزمن قدره 15 [دقيقة]. ثم أخذت كل خلطة على حدة إلى جهاز الدفلة بعد أن تم ضبط البعد بين الدرفيلين عند 1.5 ملم، وذلك للحصول على شريحة من كل خلطة، والشكل (2) يظهر هذه الشرائح.



الشكل (1) المزاج المستخدم في الخلط



الشكل (2) شرائح من الخليط

بعد ذلك تم تشكيل عينات مستطيلة بأبعاد 12×7 [cm]، وبسماكة 2 [mm] وذلك باستخدام قالب من الكروم وورقتين من مادة التفلون (Teflon) وضعتا فوق القالب لمنع التصاق الخلطات. ثم أُخذ 17.5 [gr] من الشريحة الأولى (وهو الوزن المتناسب مع حجم القالب وكثافة الخلطة وبزيادة قدرها 0.7 [gr] عن الكمية التي تملأ فراغ القالب). ثم وضع القالب في مكبس حراري هيدروليكي، وضبطت الحرارة عند الدرجة 145 [c] حتى تمام التلدن مع البدء برفع الضغط بشكل تدريجي إلى القيم $10-7-5-3-1$ [bar]، ثم تثبيته عند قيمة 10 [bar] لمدة ثمان دقائق. بعد ذلك فتح القالب وأخرجت العينة ثم كررت العملية على بقية المزائج، مع العلم أن القيم المستخدمة قد تم الوصول إليها تجريبياً وفق المكبس المستخدم.

2. الاختبارات (Tests):

في البداية تم إجراء التقادم المسرع باستخدام التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية، ثم إجراء اختبار الشد واختبار الصلادة واختبار الانتباجية، حيث إن هذه الاختبارات تمكّن من الوصول إلى الخلطة المثلى لوسيلة الإحكام.

1.2. التقادم المسرع بالأشعة فوق البنفسجية (ultraviolet (UV) irradiation aging):

استُخدم جهاز توليد الأشعة فوق البنفسجية الموضح في الشكل (3)، والموجود في مختبر كلية الهندسة التقنية، والذي يعطي طاقة إشعاعية تتناسب مع زمن التعريض للأشعة.



الشكل (3) جهاز توليد الأشعة فوق البنفسجية

حيث جرى تعريض العينات لجرعات مختلفة من الطاقة وفقاً للجدول (2).

الجدول (2) أسماء ورموز وطاقة جرعات الأشعة فوق البنفسجية

رقم الجرعة	0	1	2	3
رمز الجرعة	UV ₀	UV ₁	UV ₂	UV ₃
طاقة الجرعة [J/cm ²]	0	15	30	45

2.2. اختبار الشد (Tensile test):

أُجري اختبار الشد وفقاً للمواصفات القياسية الأمريكية (ASTM D-412)، بواسطة آلة الشد من النوع (UNIVERSAL testing machine – OLSEN) وبسرعة شد [10 mm/min] ، وذلك بعد قطع عينات بأبعاد قدرها [10-1-0.2] cm، كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل (4) بعض العينات والجهاز المستخدم في اختبار الشد

وأخذت القيم الآتية من مخططات (إجهاد-انفعال) :

● مقاومة الشد ((TS) Tensile strength) : أعظم إجهاد تتحمله المادة، وتم قياسها بوحدة [Mpa] .

● الاستطالة عند الانقطاع ((E_b) Elongation at break) : يحدد قابلية المادة للتمدد قبل حدوث

الكسر، وتعطى بالعلاقة :

$$E_b [\%] = (L - L_0 / L_0) \times 100 \quad (1)$$

حيث إن : L : الطول النهائي لحظة الكسر [cm]

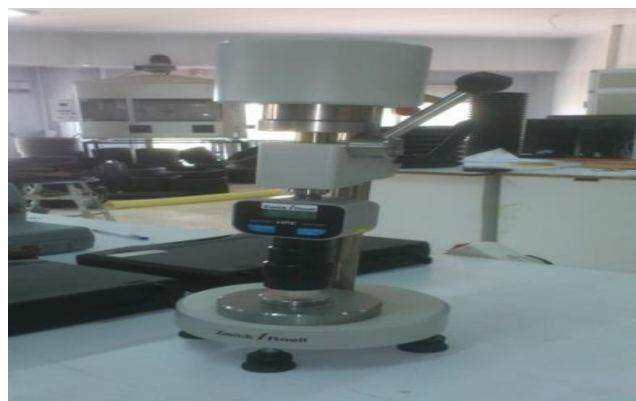
L₀ : الطول الابتدائي [cm]

● معامل يونغ (young's modulus) : يعبر عن مرونة المادة، ويعطى كنسبة بين الإجهاد ضمن منطقة

المرونة والانفعال الحاصل ضمن هذه المنطقة، ووحدة قياسه هي [Mpa].

3.2. اختبار الصلادة (Hardness):

تم تحضير العينات المشعة وغير المشعة لإجراء اختبار الصلادة وفقاً للمواصفة (ASTM D2240)، باستخدام جهاز الاختبار من نوع (D-89079 ulm)، موديل (zwick/roell- zwick GmbH&co - shore D)، كما في الشكل (5). أُخذت خمسة قياسات صلادة لكل عينة بعد ثمانية من دخول إبرة الجهاز فيها، ثم أُخذ المتوسط الحسابي لها.



الشكل (5) جهاز اختبار الصلادة

4.2. اختبار الإنتباجية (SN swelling number) :

تم تحضير 16 عينة (مشعة وغير مشعة)، واختبرت الإنتباجية وفقاً للمواصفة (ASTM D 570- 98)، حيث وزنت العينات وزناً ابتدائياً (W_1) باستخدام ميزان حساس بدقة [gr] (1/10000) من نوع (KERN ABS) . وُضعت كل عينة في أنبوبة زجاجية وتم الغمر بشكل كامل في مياه مقطرة وبدرجة حرارة الغرفة [C] 23، وبعد مضي 24 ساعة من الغمر أُخرجت العينات، وجففت سطوحها من المياه باستخدام ورق ترشيح، وتم وزنها على الفور (W_2). ثم طبقت المعادلة الآتية لحساب الانتباجية:

$$S_N [\%] = (W_2 - W_1) / W_1 * 100 [\%] \quad (2)$$

النتائج والمناقشة

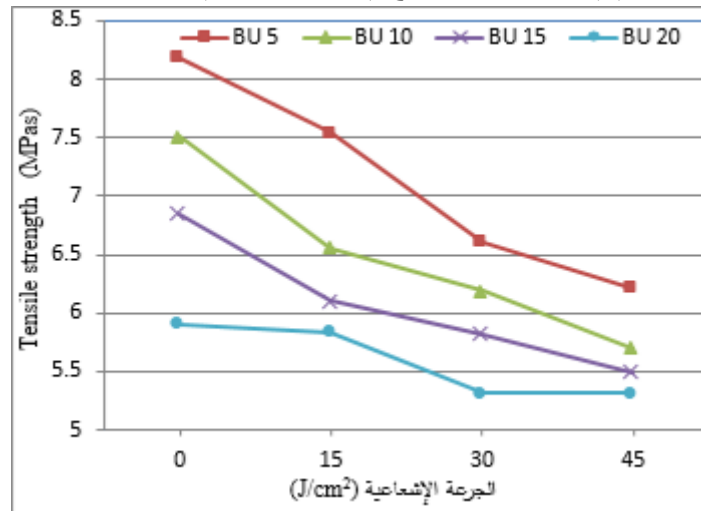
نُظمت نتائج الاختبارات السابقة ضمن مخططات بيانية، لتوضيح التأثيرات المختلفة لنسب المزج والتقادم المسرع بالأشعة فوق البنفسجية على الخواص الفيزيوميكانكية للمزائج المحضرة.

1. اختبار الشد (Tensile Tests):

أُخذت قيم مقاومة الشد، وانفعال الكسر، ومعامل يونغ، من مخططات اختبار الشد (إجهاد-انفعال)، ووُضعت ضمن مخططات بيانية منفصلة:

1.1. مقاومة الشد (TS) Tensile Strength :

تعتبر مقاومة الشد عن أعظم إجهاد تتحمله كل عينة، وبالتالي تعبر عن متانة المزيج وقدرته على مقاومة الأحمال والقوى، ويوضح الشكل (6) مقاومة الشد للمزائج (PE/BUTYLE) عند جرعات إشعاعية مختلفة.



الشكل (6) مقاومة شد مزائج (BU) كتابع للجرعة الإشعاعية

حيث تبين أن أكبر قيمة لمقاومة الشد كانت للمزيج (LDPE₉₅/BU₅) وتقل كلما ازدادت نسبة الإلاستومير. ففي العينات غير المعرضة للتقادم كانت مقاومة شد المزيج (LDPE₉₅/BU₅) مساويةً [Mpa] 8.18 ، ثم انخفضت بزيادة نسبة (BU) حتى وصلت إلى [Mpa] 5.9 للخلطة (LDPE₈₀/BU₂₀)، بمعدل انخفاض مقداره [27.87%] ، أي إن مقاومة الشد تزداد مع زيادة محتوى المزائج من البولي إيثيلين، ويعود ذلك إلى أن البولي إيثيلين يحتوي على نسب

عالية من المناطق المتبلورة بينما يعدّ البيوتيل مادة غير متبلورة (amorphous)، وبالتالي فهي تعاني من خواص ميكانيكية ضعيفة.

عندما عرضت العينات للجرعة الأولى من الإشعاع انخفضت مقاومة الشد لكل الخلطات باستثناء الخلطة (LDPE₈₀/BU₂₀) فقد حافظت على مقاومة شد عالية، وعندما عرضت العينات للجرعة الثانية من الإشعاع عاودت مقاومة الشد انخفاضها.

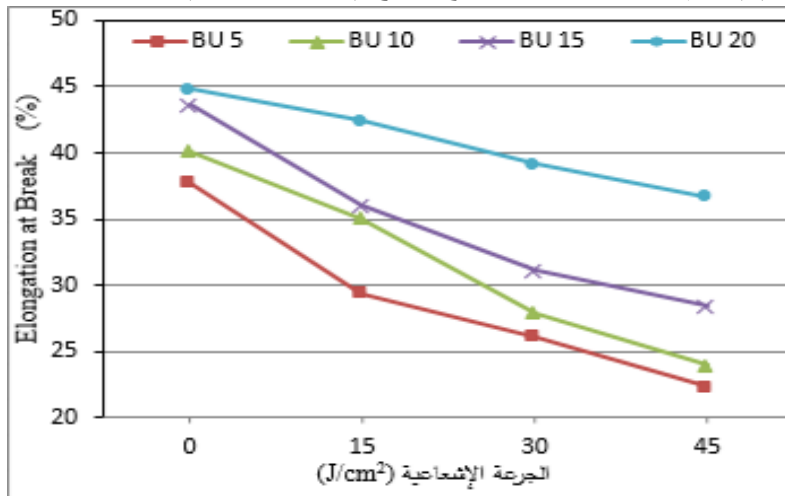
أما عندما عرضت العينات للجرعة الثالثة من الإشعاع $45 \text{ [J/cm}^2\text{]}$ انخفضت مقاومة الشد لجميع الخلطات باستثناء الخلطة (LDPE₈₀/BU₂₀)، والتي حافظت على نفس قيمة مقاومة الشد.

وبالتالي يُلاحظ أنه في المزيج (LDPE₈₀/BU₂₀) (الحاوي على أكبر نسبة من الإلاستومير) يقل معدل انخفاض مقاومة الشد بزيادة الجرعة الإشعاعية مقارنةً مع باقي المزائج، وذلك يعود لحصول تفاعلات تشابك (crosslinking reaction) مستحثة إشعاعياً بين جزيئات الإلاستومير، حيث إن تفاعلات التشابك تحصل بشكل أساسي في المناطق غير المتبلورة مما يقلل معدل انخفاض مقاومة الشد [3].

أما الانخفاض في مقاومة الشد لبقية المزائج مع زيادة الجرعة الإشعاعية فيحدث بسبب سيطرة تفاعلات تفكك السلاسل البوليميرية وأكسديتها، إضافة إلى أن وجود الأوكسجين يسبب حدوث عمليات أكسدة وتفكك للسلاسل البوليميرية، ويؤدي لتشكيل بيروكسيدات مختلفة، وبالتالي حدوث انخفاض في الخواص الميكانيكية.

2.1. الاستطالة عند الانقطاع (Elongation at break) (Eb) :

يوضح الشكل (7) قيم الاستطالة عند الانقطاع لمزائج (PE/BUTYLE) عند جرعات إشعاعية مختلفة .



الشكل (7) انفعال الكسر لمزائج BU كتابع للجرعة الإشعاعية

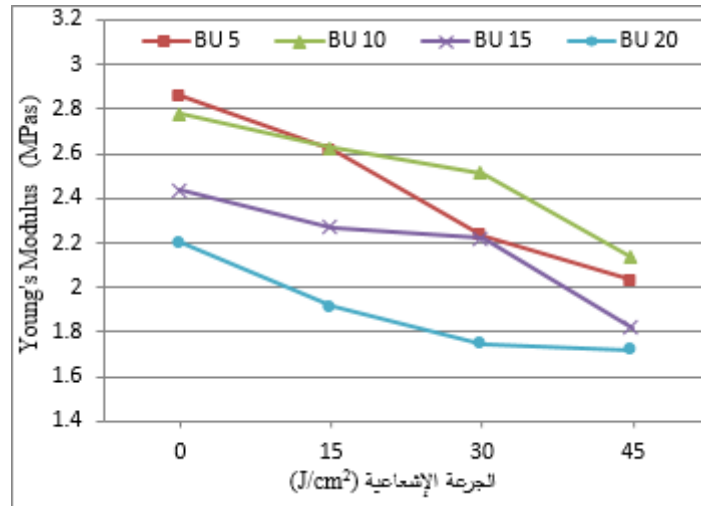
حيث تبين أن أقل قيمة للاستطالة عند الانقطاع كانت للمزيج (LDPE₉₅/BU₅)، وتزداد قيمتها كلما ازدادت نسبة الإلاستومير، ففي العينات غير المعرضة للتقادم كانت قيمة الاستطالة عند الانقطاع للمزيج (LDPE₉₅/BU₅) مساويةً 37.74%، ثم ازدادت بزيادة نسبة BU حتى وصلت إلى 44.8% للخلطة (LDPE₈₀/BU₂₀) أي بمعدل ازدياد 18.7%، وبالتالي تزداد الاستطالة عند الانقطاع مع زيادة محتوى العينات من البيوتيل، ويرجع ذلك إلى المرونة المتأصلة في الإلاستومير، نظراً لأن الفراغات الشبكية فيه كبيرة للغاية وتسمح بنسب استطالة عالية، إضافة إلى أنه يمتلك كثافة طاقة تماسك (cohesive energy) منخفضة نسبياً، فيكون للسلاسل حرية أكبر في الحركة الموضعية،

كما أن البولي إيثيلين يمتلك كثافة طاقة تماسك مرتفعة نسبياً بسبب النسب العالية من المناطق المتبلورة، والتي تعيق عمليات توجيه السلاسل البوليميرية المؤدية للاستطالة [11].
ويلاحظ أيضاً انخفاض الاستطالة مع زيادة زمن التعرض للأشعة (UV) نتيجة لسيطرة تفاعلات التفتك المتحصنة إشعاعياً.

ويلاحظ أيضاً من خلال الشكل أنه في المزيج (LDPE₈₀/BU₂₀) (الحاوي على أكبر نسبة من الإلاستومير) يقل معدل انخفاض الاستطالة عند الانقطاع بزيادة الجرعة الإشعاعية عن باقي المزائج، وذلك بسبب تأثير تفاعلات التشابك (crosslinking reaction) المستحصنة إشعاعياً بين جزيئات الإلاستومير، والتي تحصل بشكل أساسي في المناطق غير المتبلورة، مما يقلل معدل انخفاض الاستطالة عند الانقطاع مع زيادة الجرعة الإشعاعية [3].

3.1. معامل يونغ (young's modulus) :

يوضح الشكل (8) معامل يونغ لمزائج (PE/BUTYLE) عند جرعات إشعاعية مختلفة.



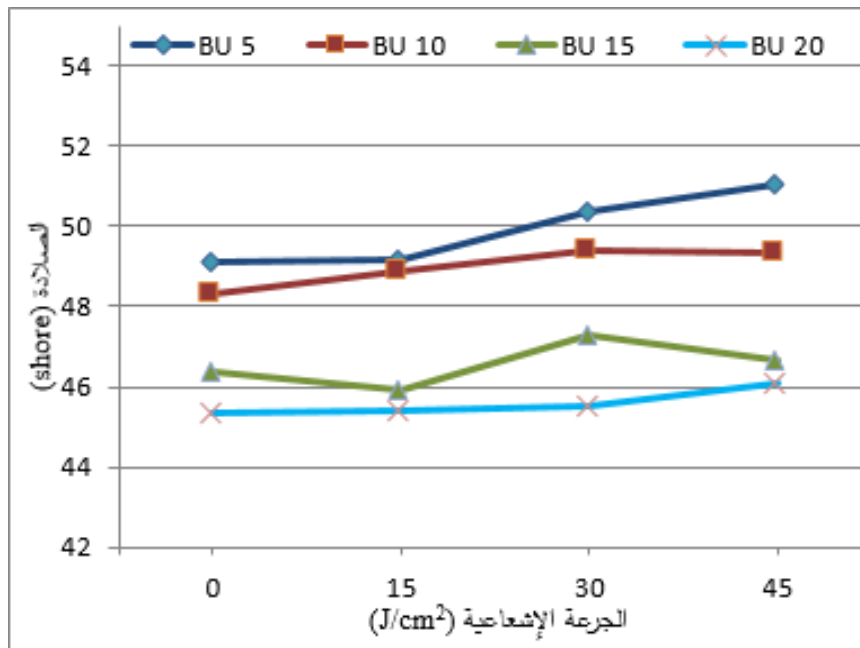
الشكل (8) معامل يونغ كتابع للجرعة الإشعاعية ونسبة البيوتيل

حيث يلاحظ أن أكبر قيمة لمعامل يونغ كانت للمزيج (LDPE₉₅/BU₅)، وتقل قيمته كلما ازدادت نسبة الإلاستومير، ففي العينات غير المعرضة للتقدم كانت قيمة معامل يونغ للمزيج (LDPE₉₅/BU₅) مساويةً [2.857[Mpa]، ثم انخفضت بزيادة نسبة البيوتيل حتى وصلت إلى [2.203[Mpa] للخلطة (LDPE₈₀/BU₂₀)، أي بانخفاض مقداره [0.654[Mpa]، وبالتالي فإن ازدياد قيمة معامل يونغ مرتبط مع ازدياد نسبة (PE) في المزائج، ويعود ذلك إلى ازدياد مقاومة الشد مع زيادة نسبة (PE)، إضافةً إلى ارتفاع طاقة التماسك، والتي تؤدي إلى نقص المرونة نتيجة تقييد الحركة الموضعية للسلاسل [11].

ويبين الشكل (8) انخفاض قيمة معامل يونغ لجميع المزائج مع زيادة الجرعة الإشعاعية، وذلك نتيجة لسيطرة تفاعلات تفتك السلاسل البوليميرية التي تضعف الخواص الميكانيكية، وقوى الترابط بين السلاسل البوليميرية، فتقل قوة الشد عند قيم الاستطالة نفسها وبالتالي ينخفض معامل يونغ.

2. اختبار الصلادة (Hardness):

بعد إجراء اختبار الصلادة (shore D) على مزائج البيوتيل تم إنشاء مخطط بياني لإظهار نتائج هذا الاختبار، حيث تعبر الصلادة عن مقاومة المادة للخدش، ويوضح الشكل (9) قيم الصلادة للمزائج (PE/BUTYLE) عند جرعات إشعاعية مختلفة.



الشكل (9) الصلادة كتابع للجرعة الإشعاعية ونسبة BU

حيث تبين أن أقل قيمة للصلادة كانت للمزيج (LDPE₈₀/BU₂₀)، وتزداد قيمتها كلما ازدادت نسبة البولي إيثيلين، ففي العينات غير المعرضة للتقادم كانت قيمة الصلادة للمزيج (LDPE₈₀/BU₂₀) مساويةً 45.38[shore D] ، ثم ازدادت بزيادة نسبة البيوتيل حتى وصلت إلى 49.08[shore D] للخلطة (LDPE₉₅/BU₅)، أي بنسبة ازدياد مقدارها 8.15% .

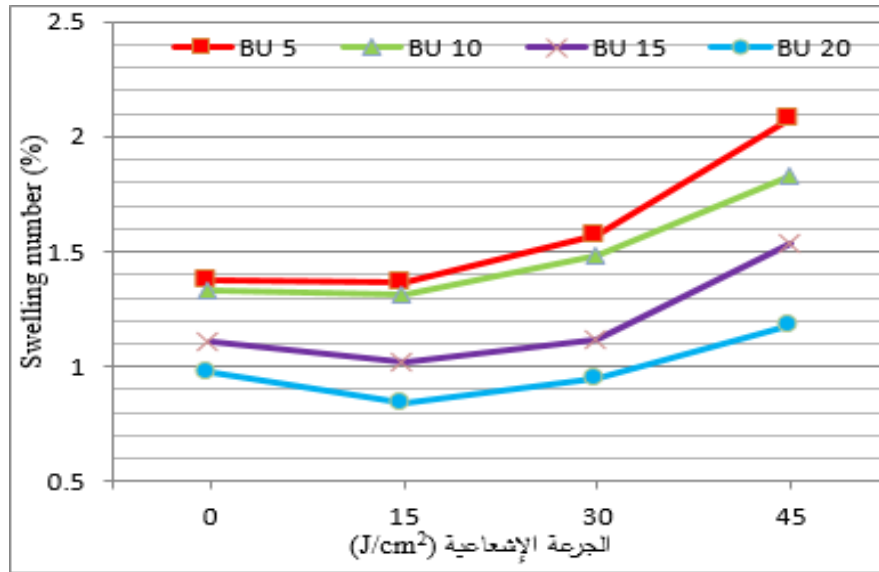
وبالتالي تزداد قيمة الصلادة مع زيادة المحتوى من (PE)، ويعود السبب إلى احتوائه نسباً عالية من المناطق المتبلورة إضافة إلى أن مرونة (PE) أقل من مرونة الإلاستومير .

كما يلاحظ ازدياد قيمة الصلادة مع زيادة الجرعة الإشعاعية نظراً لسيطرة تفاعلات تفكك السلاسل البوليميرية، وبالتالي تصبح المادة هشّة وقصفة وتتنخفض مرونتها وبالتالي تزداد قساوتها.

ويلاحظ عند زيادة الجرعة الإشعاعية أن معدل زيادة القساوة يقل مع زيادة محتوى مطاط البيوتيل في الخلطة، وبالتالي فإن البيوتيل يقوم بحماية المزايج من أشعة (UV) ، وذلك نظراً لمقاومته المتأصلة لتأثير الأشعة (UV) وتمتعه بدرجة إشباع عالية (saturation degree)، وعندما تقل الروابط المزدوجة (double bond) تزداد مقاومة المادة للتقادم الناتج عن الظروف الجوية [7]، وذلك يؤكد بأن البيوتيل يرفع الثبات تجاه تأثير الأشعة (UV) على المزايج.

3. اختبار الإنتباجية (Swelling Ratio) :

يحدد اختبار الإنتباجية نسبة امتصاص المزايج المحضرة للماء، ومدى قدرة هذه المزايج على مقاومة الرطوبة الجوية، يوضح الشكل (10) إنتباجية مزايج (PE/BUTYLE) عند جرعات إشعاعية مختلفة .



الشكل (10) نسبة الانتباج كتابع للجرعة الإشعاعية ونسبة مطاط البيوتيل

حيث تبين من الشكل (10) أن أكبر قيمة للانتباجية كانت للمزيج (LDPE₉₅/BU₅) وتقل قيمتها كلما ازدادت نسبة البيوتيل، ففي العينات غير المعرضة للتقادم كانت إنتباجية (LDPE₉₅/BU₅) مساويةً 1.372 [%] ، ثم انخفضت بزيادة نسبة البيوتيل حتى وصلت الإنتباجية إلى 0.972 [%] للخلطة (LDPE₈₀/BU₂₀)، أي بمعدل انخفاض مقداره 29.15 [%]، ويعود السبب في ذلك إلى خواص البيوتيل الهيدروفوبية المتأصلة الكارهة للماء، وذلك بسبب عدم احتوائه مجموعات قطبية أو أماكن نشطة للجذب الطبيعي [11]، وبالتالي يتمتع بقطبية (polarity) منخفضة جداً تمكنه من مقاومة المذيبات القطبية كالماء [6].

كما يتبين من الشكل ازدياد الانتباجية مع زيادة الجرعة الإشعاعية وبخاصة عند فترات التعرض الطويلة، ويرجع ذلك إلى سيطرة تفاعلات تفكك السلاسل البوليميرية وأكسدها والتي تسمح للمذيب (الماء) بالتغلغل والانتشار إلى داخل البنية وبالتالي زيادة الانتباجية.

ويلاحظ أن معدل زيادة الانتباجية مع زيادة الجرعة الإشعاعية للمزيج (LDPE₈₀/BU₂₀) هو المعدل الأقل بين جميع المزائج، ويفسر ذلك بثباتية وإشباع بنيته التركيبية مما يقلل من تأثير خواصه الهيدروفوبية بالتقادم الناتج عن الظروف الجوية [6].

الاستنتاجات:

○ زيادة نسبة إيلاستومير البيوتيل يؤدي إلى زيادة الاستطالة عند الانقطاع، وتقليل مقاومة الشد ومعامل يونغ والصلادة والانتباجية، وذلك لأن الإيلاستومير يعدّ بوليميراً غير متبلوراً، بالإضافة إلى المرونة المتأصلة في بنيته، وخواصه الهيدروفوبية الكارهة للماء، وقطبيته المنخفضة. حيث أنه عند زيادة نسبة البيوتيل في المزيج غير المعرض للتقادم من 5[%] إلى 20[%] ازدادت الاستطالة عند الانقطاع بنسبة 18.7[%]، وانخفضت مقاومة الشد بنسبة 27.87[%]، وانخفض معامل يونغ بمعدل 22.89[%]، وانخفضت الانتباجية بمعدل 29.15[%].

○ زيادة الجرعة الإشعاعية تؤدي إلى تدهور الخواص الفيزيوميكانكية وخاصةً عند الجرعات العالية. فعند تعريض العينات لجرعة إشعاعية مقدارها تنخفض مقاومة الشد ومعامل يونغ والاستطالة عند الانقطاع

وتزداد الصلادة والانتباجية، حيث انخفضت مقاومة الشد للمزيج (LDPE₉₅/BU₅) من [8.18Mpa] عند عدم تعريضه للتقادم إلى [6.21Mpa] عند تعريضه لجرعة إشعاعية مقدارها [45J/cm²، أي بمعدل انخفاض [24.08%].

○ يقل معدل تدهور الخواص مع زيادة الجرعة الإشعاعية في المزيج (LDPE₈₀/BU₂₀) عن باقي المزائج، وذلك بسبب حدوث تفاعلات تشابك مستحثة إشعاعيا بين جزيئات الايلاستومير والتي تحصل بشكل أساسي في المناطق غير المتبلورة .

التوصيات:

- إجراء اختبار لمقاومة المزائج المدروسة للأوزون .
- استخدام مواد أخرى في عمليات المزج مثل مطاط الإيثيلين بروبيلين دايبين مونومير (EPDM)، وذلك لاستنتاج خواص مفيدة في تطبيقات هندسية أخرى.
- المزيج (LDPE₈₀/BU₂₀) هو الأمثل في تصنيع وسائل الإحكام في عدادات المياه ، وذلك لكونه يبدي مقاومة ميكانيكية عالية، ويناسب ظروف عمل مانعات التسرب.

المراجع

- [1] MURPHY, J. 2001, *Additives For Plastics Handbook*. 2nd, Elsevier Science & Technology Books, USA, 484.
- [2] MOALLI, J. 2001, *Plastics Failure Analysis And Prevention*, USA, 345.
- [3] ROSTA,D; ROSTA,M. 2012, *Injection Molding Hand Book*. 3rd,Springer science & Business Media , USA, 1445.
- [4] MONTOYA,M; TOMBA,J,P; CARELLA,J,M; GOBERNADO-MITRE, M,I. 2004, *Physical Characterization Of Commerical Polyolefinic Thermoplastic Elastomer*, *European Polymer Journal*, VOL.40, N.12, 2757-2766.
- [5] PETROVIC,Z,S; SIMENDIC,J,B; JAKOVIC,V; SKRBIC,D,Z. 1996, *Effect of addition of polyethylene on properties of polypropylene/ethylene-propylene rubber blends*. *Journal of applied polymer science*, VOL.59, N.2, 301-310.
- [6] NPCB BOARD.2013,Handbook On Rubber and Allied Prouducts,NIIR project consultants services , India, 163.
- [7] ROCKAWAY,T,D; WILLING,G,A; SCHRECK, R,M; DAVIS, K,R. 2007, *performance of elastomeric components in contact with potable water*. IWA(American water Works Association), USA Washington, 304.
- [8] HANHI,K; POIKELISPAA,M; TIRILA,H. 2007, *Elastomeric Materials*. tampere university of technology, finland,84.
- [9] RENNER-HAHN,S; LIU,Y; CHRISTEN,T. 2014, *Investigation of Rubber Ring Seal Failures of Water Mains*. CEED, Australia, 55-60.
- [10] MCKEEN,W,L. 2013, *The Effect Of UV Light And Weather On Plastic And Elastomers*. 3rd, william andrew, 400 .
- [11] 847، السعودية ، جامعة أم القرى ، كيمياء البوليميرات ، 2017 . عمر عبدالله ، الهزازي