تشعيع المواد البولميرية في الاستخدامات الكهربائية[1] (دراسة توتر عالٍ)

المهندس علي السيد [2] الدكتور المهندس زكي العجي [3]

الدكتور المهندس محمد نضال الريس[4]

الملخص

تزايد في السنوات الأخيرة استخدام المواد العازلة العضوية في مجالات الهندسة الكهربائية عامةً وفي مجال هندسة التوتر العالي بصورة خاصة؛ وذلك لما لهذه المواد من خواص كهربائية وفيزيائية جيدة كخاصية صد الماء والخفة والمرونة وسهولة النقل وعدم القابلية للكسر، أهلتها لتكون بديلاً عن العوازل السيراميكية.

ومع تزايد استخدام الأشعة في المجالات السلمية، وتطور المسرعات الالكترونية، بدأت المعالجة الإشعاعية للمواد البوليمرية تعطي نتائج جيدة في عمليات التشبيك. و ذلك عن طريق تشكيل روابط تصالبية بين سلاسل جزيئاتها العملاقة مما يساعد على تحسين عدد من الخواص الكهربائية و الفيزيائية لهذه المواد.

[1] أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للطالب علي السيد بإشراف الدكتور المهندس زكي العجي ومشاركة الدكتور المهندس محمد نضال الريس.

[2] قسم هندسة الطاقة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

[3] مشرف مشارك، هيئة الطاقة الذرية.

[4] قسم هندسة الطاقة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

يهدف هذا العمل إلى البحث في أفضل طرائق التشعيع لتشبيك المواد المصنوعة من البولي أتلين للحصول على أفضل الخواص. إذْ تم لهذا الغرض تصنيع عينات مشابهة ومتكررة من البولي أتلين، ومن ثم معالجتها إشعاعياً لتحقيق عملية التشبيك. وجرت دراسة تغير خواصها الكهربائية والفيزيائية قبل التشعيع وبعده، وبناءً على ذلك قمنا بإجراء دراسة نظرية ومخبرية عن استخدام عمليات التشعيع بواسطة أشعة غاما، و دراسة تغير الخواص الكهربائية لمادة البولي أتلين قبل عمليات التشعيع وبعدها، وسيتم استعراض أهم النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث.

1- مقدمة:

نظراً لازدياد الاستخدامات الكهربائية للمواد البوليمرية وخاصة المشبك منها في مجالات عزل كابلات التوتر العالي وعلب الوصل والنهاية، وبمراعاة الخطط المستقبلية لتوسيع شبكات التوتر المتوسط والعالي في القطر باستخدام الكابلات المعزولة بالمواد البوليمرية بأطوال تصل إلى عشرات الألوف من الكيلومترات، وبمراعاة الكلف العالية لتنفيذ هذه الخطط، ونظراً لانطلاق صناعات محلية في القطر لتصنيع مثل هذه المواد، ولتوفير المبالغ الطائلة التي تدفع لاستيراد التجهيزات المصنعة أو في استيراد المواد الأولية اللازمة لعمليات تشبيك المواد العازلة، فإن التوجه لإنجاز مثل هذا البحث في تشبيك المواد البولميرية من(**PE** و **PVC**) المستخدمة في صناعة الكابلات وعلب الوصل بطريقة التشعيع يبدو واعداً في خدمة التنمية في القطر العربي السوري. وقد جرت مجموعة من الاختبارات العملية على عينات من ال(PE) جرى تشبيكها بطريقة التشعيع وذلك بتعريضها لجرعات مختلفة من الإشعاع، وتحديد الجرعة التي تفصل بين التشبيك (cross-linking) والتقادم (Degradation)) [1].

استخدمت المواد البوليمرية كمواد عازلة كهربائياً في الكابلات الكهربائية و متمماتها منذ وقت طويل، وبدأت تأخذ مكان العوازل التقليدية السيراميكية نظراً لما تتمتع به من خواص كهربائية وفيزيائية جيدة كخاصة صد الماء والخفة والمرونة وعدم القابلية للكسر.

يمكن تحسين خواص المواد البوليمرية بطرائق المعالجة الكيميائية للحصول على روابط تصالبية بين سلاسل البوليمير (cross-linking). ومع تطور المسرعات الالكترونية بدأت المعالجة الإشعاعية للمواد البوليمرية تظهر نتائج جيدة. إذْ بالمقارنة مع المعالجة الكيمائية نجد أنَّ المعالجة الإشعاعية لا تحتاج إلى إضافات من مواد كيميائية أخرى، كما يمكن أن تتم العملية في الطور الصلب وعلى المنتج النهائي.

إن معاملات المعالجة الإشعاعية لهذه المواد البوليمرية مازالت سراً لدى الشركات الصانعة، وتختلف من مصدر إلى آخر حيث يتم استيراد هذه المواد جاهزة ومصنعة خارجياً.

نهدف من هذا العمل إلى البحث في أفضل طرائق التشعيع لتشبيك المواد المصنوعة من البولي أتلين وذلك عن طريق تصنيع عينات متكررة من هذه المواد، ومن ثم معالجتها إشعاعياً لتحقيق عملية التشبيك. ودراسة تغير خواصها الكهربائية والفيزيائية قبل التشبيك وبعده لمعرفة إمكانية تحسن هذه الخواص والمواصفات ومن ثَمَّ تحسن أدائها عند استخدامها في التجهيزات الكهربائية، وبناءً على ذلك قمنا بإجراء دراسة نظرية ومخبرية عن استخدام عمليات التشعيع بواسطة أشعة غاما و دراسة تغير الخواص الكهربائية لمادة البولي أتلين قبل عمليات التشعيع وبعدها.

2:أهم المواد العازلة المستخدمة في تجهيزات التوتر العالي:

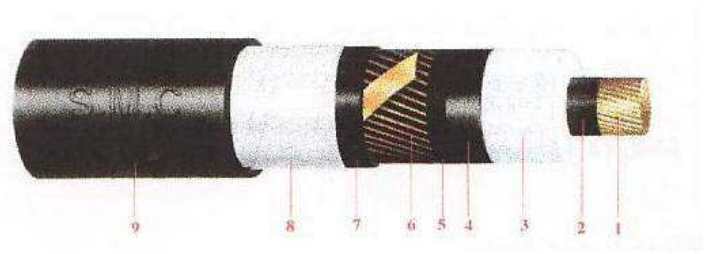
تعدُّ المركبات والمواد العازلة الآتية من أهم المواد العازلة العضوية والسيليكونية المطروحة للاستخدام في مجال هندسة التوتر العالي:

a) مركبات بولي اوليفينية.
b) مركبات البولي فينيل كلورايد (P.V.C).
c) مركبات الراتنجات الإيبوكسيدية.
d) المواد السيليكونية.

ونذكر منها **البولي اوليفينات (Polyolefin):** إذْ يرمز لهذه المركبات بالرمز P حيث تنتمي هذه المواد إلى مجموعة المواد البلاستيكية الفحمية التي تحتوي على مواد كبيرة الجزئيات.

وتضم هذه الفئة البولي اتيلين الذي يعدُّ المادة الرئيسية في هذه الفئة والبولي بوتيلين والبولي ايزوبوتيلين[7].

يستخدم البولي إيتلين وخاصة المشبك XLPE في عزل أسلاك كابلات التوتر المنخفض والمتوسط والعالي وأيضاً في تغليف تلك الكابلات. ويبين الشكل (1) نموذجاً لكابل توتر عالٍ معزول ناقله النحاسي بمادة XLPE.



الشكل (1) كابل توتر عالي معزول بـــ XLPE

ومادة البولي اتيلين هي مادة بلاستيكية حرارية رخيصة، واسعة الانتشار وله أبسط بنية جزئية بين جميع المواد البلاستيكية.

$$[\,CH2 - CH2]_n \longrightarrow CH2\text{-}CH2\text{-}\ CH2\text{-}\ CH2\text{-}.....$$

ويتمتع البولي اتيلين بالخواص الآتية:

1)خواص عزل كهر بائية جيدة حيث تبلـــغ المتانـــة الكهربائيـــة (Electrical Strength) له $\mathbf{E_d=100(Kv/Cm)}$

2)مقاومة نوعية عالية أكبر من ($10^9 \Omega cm$).

3) ثابت عازلية $\varepsilon_r = 2.3$ وكذلك عامل فقد صغير ويبلغ $tg\delta = 0.001$.

4) يتميز بقابليته الجيدة للانحناء.

5)ذو متانة كيميائية عالية إزاء التيارات الزاحفة(Creepage Current Strength).

6)مقاومة جيدة للتقادم و ذو تحمل حراري جيد.

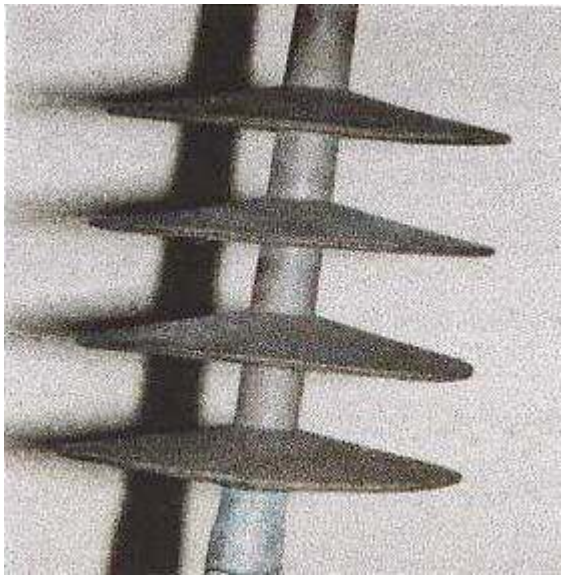
7)قليل النفاذية للرطوبة وعديم اللون والرائحة والطعم.

8)قابل للاحتراق

9)يتأثر بوجود الانفراغات الجزئية وخاصة الداخلية منها.

كما بدأت تستخدم هذه المواد في صنع التجهيزات الكهربائية في الشبكات الخارجية كعوازل التعليق وعوازل عبور وعلب نهاية خارجية وعلب خارجية لمفرغات التوترو حوامل منصهرات.

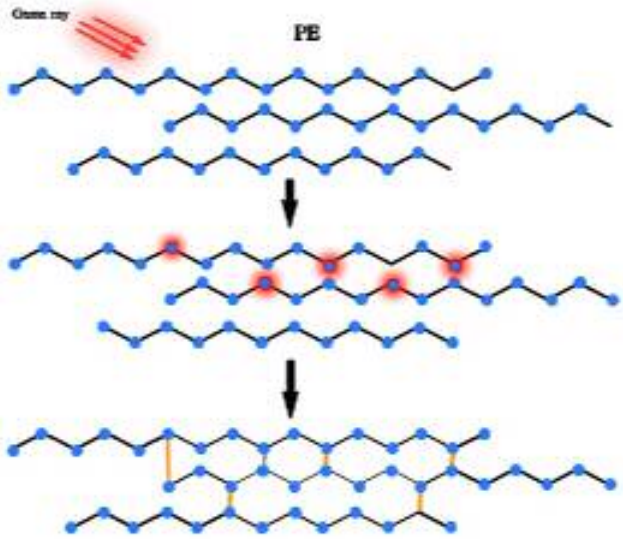
ويبين الشكل (2) نموذجاً لعازل قضيبي للاستخدام الخارجي في شبكات الـــ(20kV).



الشكل (2) عازل قضيبي للاستخدام الخارجي في شبكات الـــ(20kV)

3- تشبيك البولي أتلين (Cross-linking):

تساعد عمليات التشبيك على تحسين عدد من الخواص الكهربائية و الفيزيائية و ذلك عن طريق تشكل روابط تصالبية بين سلاسل البولي أتلين [2] كما في الشكل (3).



الشكل (3) عملية التشبيك للبولي أتلين بواسطة أشعة غاما

3-1:التشبيك بالطرائق الكيميائية: يتم في هذه الحالة إضافة مواد كالبيروكساید إلى مادة البولي أتلين و تخلط المادتان ثم يتم التشبيك تحت تأثير الحرارة.

3-2:التشبيك بالتشعيع:

بعدما صحا العالم من صدمة القنبلة الذرية وتبين له الطاقة الهائلة المتوافرة في الطاقة الذرية بدأ التفكير في كيفية استثمارها سلمياً وبناءً عليه بدأ عصرٌ جديدٌ استخدمت فيه الأشعة في التطبيقات السلمية. ويمكن تقسيم هذا الاستخدام إلى عدة أقسامٍ:

1- استخدام الطاقة الهائلة المتولدة عن الانشطار النووي في توليد الطاقة الكهربائية.

2- استخدام النظائر المشعة الناتجة عن الانشطار النووي أو الموجودة في الطبيعة أصلاً في الطب لقتل الخلايا غير المرغوب فيها كالخلايا السرطانية، أو في عملية التشخيص الطبي الدقيق مثل أشعة اكس (الأشعة السينية) أو التصوير الطبقي المحوري وفي تعقيم الأدوية.

3- استخدام النظائر المشعة في البحوث الزراعية وفي إحداث طفرات مرغوب فيها لإيجاد أصنافٍ نباتيةٍ مقاومةٍ للأمراض.

4- استخدام النظائر المشعة في الصناعة وفي التصوير الصناعي وفي تطبيقات معالجة البوليميرات (Cross -Linking) [4-5].

وقد تزايد استخدام الأشعة في المجالات السلمية (أشعة غاما) وخاصة في معالجة المواد العازلة العضوية لتحسين بعض مواصفاتها الكهربائية والفيزيائية.

تتميز تفاعلات الإشعاع مع المادة بالعدد الكبير للمكونات الوسيطية المتشكلة (الأيونات، الجذور الحرة... الخ) التي تتحد مع بعضها لتشكيل جزئيات أكبر أو تتفاعل مع الجزئيات مشكلة جذوراً حرةً جديدةً، وهذا كله يؤدي إلى تحولات عديدة في المادة الأصلية ولهذه التحولات أهمية تطبيقية كبيرة في مجال البوليميرات بشكل خاص.

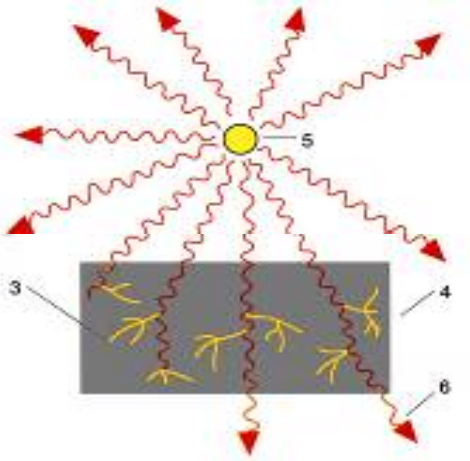
إذْ يمكننا هنا الحصول على خواص كهربائية وفيزيائية للمواد البوليميرية مغايرة للخواص الأصلية للبوليمير.

ولفهم هذا الموضوع يجب أن نصف ما يحدث لدى تعريض البوليمير للأشعة، إذْ إنَّ للإشعاع تأثيرين متعارضين المواد العازلة البولميرية:

1- **التشابك (Cross- linking)** تشكل روابط تصالبية بين السلاسل البوليميرية.

2- **التقادم (Ageing):** تحطم السلاسل البوليميرية وانخفاض الخواص الكهربائية والفيزيائية للبوليمير[2-3].

ويبين الشكل (4) تأثير الإشعاع في المادة العازلة



الشكل (4) تأثير الإشعاع في المادة العازلة

حيث:

(3):جزيئات المادة العازلة (4): عينة المادة العازلة

(5): منبع أشعة غاما (6): أشعة غاما

4-الإجراءات المخبرية:

حددت المواصفات القياسية الكهربائية الدولية والعالمية طرائق محددة ودقيقة لإجراء اختبارات قياس الخواص المميزة كثابت العزل وعامل الفقد وقياس السعة والتي تضمن أن تكون النتائج صحيحة ودقيقة وقابلة للتكرار والمقارنة في الظروف المحيطية جميعها.

وانطلاقاً من الدراسة النظرية عن توقع تغير خواص المواد العضوية (البوليمرية) نتيجة لعمليات التشعيع بأشعة غاما، فقد أجريت الاختبارات على عينات خاصة تم حُضِّرَتْ لقياس القيم المميزة لخواص العزل الكهربائية (كثابت العزل وعامل الفقد وقياس السعة) أو قياس الانفراغات الجزئية في المواد العازلة أو تجهيزات العزل قبل التشعيع وبعده.

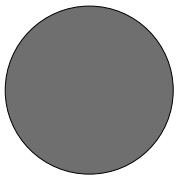
وقد أجريت الاختبارات في مخابر التوتر العالي في قسم هندسة الطاقة الكهربائية في كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية بجامعة دمشق وقد تم التشعيع في مخابر هيئة الطاقة الذرية.

ويتم في هذه الاختبارات التعرف على التغيرات في الخواص الكهربائية و الفيزيائية للمادة.

1-4 :العينات المختبرة :

جُهِّزَتْ عينات من البولي أتلين منخفض الكثافة (LDPE) وذلك باستخدام قالب تشكيل على شكل قرص دائري قطره (Cm) 10 وسماكته (mm) 2 كما في الشكل (5) وتمت عملية التشكيل بواسطة آلة حقن (Model D75-Hsiem 71701) لتشكيل مجموعة كبيرة من العينات المراد اختبارها وفق القياسات المطلوبة، وهذه العينات كلها من مصدر واحد، ومن ثم أُجْرِيَتِ التجارب على هذه العينات وذلك لقياس القيم المميزة لخواص العزل الكهربائية والتي تشمل على قياس السعة الكهربائية [C_X] وقياس عامل الفقد [$\tan\delta$] وقياس ثابت العزل [ε_r] و قياس كل من تيار التسريب و مقاومة العبور. ثم بعد ذلك عُرِّضَتِ العينات المختبرة السابقة إلى أشعة غاما بجرعات مختلفة وأُعِيدَتِ الاختبارات نفسها السابقة بالظروف نفسها وقُورِنَتِ النتائج التي تم التوصل إليها.

ويبين الشكل (5) شكل العينة المختبرة وهي على شكل قرص دائري قطره (Cm) 10 وسماكته (mm) 2.



الشكل (5) شكل العينة المختبرة من مادة البولي أتلين