مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 40- العدد 2 (2024)182-195

Damascus University Journal For Engineering Sciences
Vol 40 No.2 (2024):195-182

دراسة تأثير أشعة غاما على الخواص الميكانيكية لمادة PVC [1]

"دراسة توتر عالي"

د.م. علي السيد

أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

الملخص

يتزايد استخدام المواد العازلة العضوية في مجالات الهندسة الكهربائية عامةً وفي مجال هندسة التوتر العالي بصورة خاصة وذلك لما لهذه المواد من خواص ميكانيكية جيدة، أهلتها لتكون بديلاً عن العوازل الزجاجية والبورسلانية.

ومع تزايد وتطور المسرعات الالكترونية، بدأت المعالجة الإشعاعية للمواد البوليمرية تعطي نتائج جيدة في عمليات التشبيك. وذلك عن طريق تشكيل روابط تصالبية بين سلاسل جزيئاتها العملاقة مما يساعد على تحسين عدد من الخواص الميكانيكية لهذه المواد.

يهدف هذا العمل إلى البحث في تحسين الخواص الميكانيكية للمواد المصنوعة من البولي فينول كلورايد باستخدام عمليات التشعيع. حيث تم تصنيع عينات مشابهه ومتكررة من البولي فينول كلورايد ومن ثم معالجتها إشعاعيا بواسطة أشعة غاما لتحقيق عملية التشبيك. وجرى دراسة تغير خواصها الميكانيكية قبل وبعد التشعيع، وسيتم استعراض أهم النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث.

الكلمات المفتاحية: توتر عالي، بوليميرات، مواد عازلة

تاريخ الإيداع: 2022/8/2
تاريخ القبول: 2022/9/26

حقوق النشر: جامعة دمشق -سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص **CC BY-NC-SA 04**

Study of gamma ray effect On PVC mechanical properties

"High Voltage Studying"

Dr. ALI ALSAYED

Assistant Professor in Electric Power Department - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

Abstract

The use of non-ceramic insulation materials in the fields of electrical engineering in general and in the field of high voltage engineering in particular is increasing because of the good mechanical properties of these materials, which qualified them to be an alternative to glass insulators and porcelain.

As electronic accelerators increased and developed, radiotherapy of polymers began to produce good results in networking processes. This is by forming cross-linking between the chains of its giant molecules, which helps to improve a number of mechanical properties of these materials.

This work aims to research the improvement of the mechanical properties of polyphenol chloride materials using irradiation processes. Similar and frequent polyphenol chloride samples were manufactured and then radiotherapy by gamma rays to achieve the networking process. The change in their mechanical properties was studied before and after irradiation, and the most important findings in this research will be reviewed.

key words: High Voltage, polymers, insulating.

Received: 2/8/2022
Accepted: 26/9/2022

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

1- المقدمة:

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، وبديلاً عن الزيوت في كابلات التوتر المتوسط والعالي.

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

يهدف هذا العمل إلى البحث في أثر أشعة غاما في بعض الخواص الميكانيكية لمادة البولي فينول كلورايد(pvc)، وذلك بهدف الوصول لأفضل الجرعات اللازمة لتحسين هذه الخواص.

لقد طرحت الكثير من الأبحاث والدراسات فكرة الاستفادة من عمليات التشعيع للأغراض السلمية [1]، وقد بدأ منذ منتصف القرن الماضي طرح أفكار لاستخدام عمليات التشعيع للمواد العازلة المستخدمة في صناعة الكابلات [2]، وتطورت الأبحاث و التطبيقات العملية في هذا المجال مع تطور المسرعات الالكترونية عالية الطاقة، وقد ظهرت في هذا المجال مجموعة من الأبحاث التي تعالج مواضيع مختلفة في هذا المجال [4-3].

ومع تطور صناعة الكابلات في البلاد العربية بصورة عامة و في سورية بصورة خاصة، ووجود الإمكانيات المحلية للتشعيع و لإجراء الاختبارات الكهربائية وغير الكهربائية، فقد كان التوجه لانجاز هذا البحث الذي يهدف الى معالجة مواضيع ذات صلة مباشرة بعمليات تصنيع المواد العازلة العضوية المستخدمة في الكابلات، والتي لم تقدم حولها الأبحاث المنشورة إجابات دقيقة وواضحة، تسمح بالدخول في التطبيقات العملية والتصنيعية.

أهم المواد المستخدمة في صناعة الكابلات الكهربائية هما مادتي البولي فينول كلورايد **(PVC)** والبولي أتلين **(PE)** والبولي أتلين المشبك **(XLPE)**. وتستخدم مادة البولي فينول كلورايد في عزل كابلات التوتر المنخفض، بينما تستخدم مواد البولي أتلين المنخفض والمتوسط وعالي الكثافة والبولي أتلين المشبك في عزل كابلات التوتر المتوسط والعالي، وذلك لما تحققه من خواص كهربائية وفيزيائية بالمقارنة مع مادة البولي فينول كلورايد وغيرها من المواد العازلة البولميرية [6-5].

تطرح الأبحاث والشركات الموردة للمواد العازلة طرقاً كيميائية وطرقاً تشعيعية لتشبيك مواد البولي فينول كلورايد وذلك لتحسين خواصه الكهربائية وخواصه غير الكهربائية [7]. ولا تزال الطريقة الكيميائية للتشبيك هي الطريقة المتبعة في الصناعة بشكل كبير حيث تستخدم مركبات البيروكسيد (peroxide) والسيلان (silane)لاجراء عملية التشبيك وذلك لتحسين الخواص لمجموعة من المواد البولميرية [8-9].

كما تطور استخدام طرق التشعيع لتشبيك المواد البولميرية في التطبيقات الصناعية بصورة متزايدة. وبينما يتم توريد المواد اللازمة لعمليات التشبيك الكيميائية مع البولي فينول كلورايد إلى مصانع الكابلات، تبقى المعلومات الخاصة بطرق التشعيع وبصورة خاصة العلاقة بين جرعات التشعيع و الخواص الكهربائية و الفيزيائية للبولي فينول كلورايد المشعع من أسرار الشركات الصانعة.

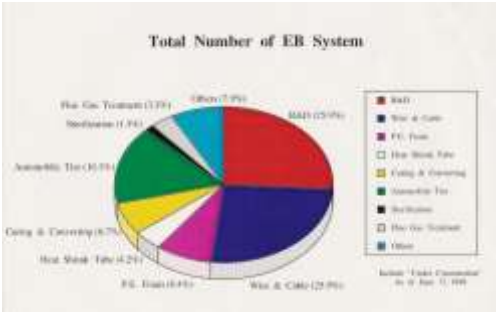
1-1: الدراسة المرجعية:

منذ اكتشاف التفكك الإشعاعي للنظائر وصدور أشعة عن هذا التفكك بدأ الاهتمام باستثمار هذه الأشعة سلمياً وعسكرياً. فاستخدمت في توليد الطاقة الكهربائية، وفي مجال الطب النووي لعلاج الخلايا السرطانية أو في عملية التشخيص الطبي الدقيق مثل أشعة إكس (الأشعة السينية) وفي تعقيم الأدوات البولميرية الطبية و المنتجات الصيدلانية [10]

كما يستخدم التشعيع في الأبحاث الزراعية وفي تحسين مواصفات المنتجات الصناعية البولميرية وحفظ المواد الغذائية [12] ويستخدم التشعيع في مجال حماية البيئة [11] وذلك للتخلص من أكاسيد الكبريت والآزوت الناتجة من احتراق الوقود والمسببة للأمطار الحامضية ذات الأخطار الجسيمة على البيئة، وتستعمل أيضاً لتحسين مواصفات مياه الشرب وأعادة تأهيل مياه الصرف الصحي والصناعي، بتخليصها من الملوثات البيولوجية وخفض المركبات العضوية وبعض الملوثات الكيميائية، كما يستخدم صناعة ومعالجة البوليميرات [13].

ومن جهة أخرى فقد تطور استخدام عمليات التشعيع في مجال تحسين مواصفات المواد البولميرية العازلة المستخدمة في التجهيزات الكهربائية للتوتر المنخفض والعالي، وبصورة خاصة المواد البولميرية العازلة المستخدمة في كابلات التوتر المتوسط والعالي وفي علب النهاية وعلب الوصل كبدائل عن الكابلات وعلب الوصل وعلب النهاية المعزولة بالزيت.

ويبين الشكل (1) نسب استخدام التشعيع في المجالات المختلفة [14].



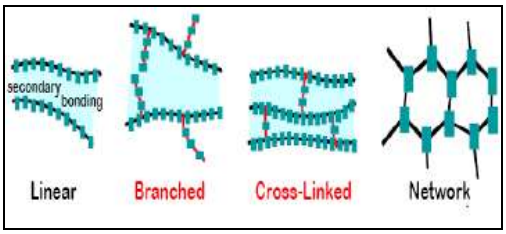
الشكل(1) استخدام التشعيع في المجالات المختلفة

2-1: الأسس النظرية:

1-2-1: المواد العازلة البولميرية:

أسهمت البوليميرات منذ فجر التاريخ في حياة الكائنات الحية وبناء الحضارة، فالبروتينات وجزيئات متعددة السكريات ومواد طبيعية أخرى كالكتان والحرير والمواد السيللوزية استعملها الإنسان لغذائه وكسائه وصنع أدواته وما هي في الحقيقة إلا نماذج عن هذه البوليميرات الطبيعية. إن كلمة بوليمير Polymer مشتقة من أصل يوناني وتعني " متعدد الجزيئات " ويطلق عليها أيضاً اسم الجزيئات الكبيرة أو العملاقة Macromolecules.

ويتألف البوليمير بشكل عام من عدد كبير من الوحدات الأولية المتكررة المسماة مونومير Monomer، والمرتبطة بعضها ببعض بروابط مشتركة، وبأشكال مختلفة لتعطي نواتج مختلفة ذات خواص متباينة. فجزيئات البوليمرات هي جزيئات كبيرة ذات بنية خطية أو بنية متفرعة أو بنية متشابكة (متصالبة) أو شبكية كما في الشكل (3):



الشكل (3) ارتباط جزيئات البولمير مع بعضها البعض

تختلف السلاسل البوليمرية في أطوالها وعدد الوحدات التركيبية منها وأن أطوال هذه السلاسل يعتمد على اعتبارات إحصائية فنجد في البوليمر نفسه سلاسل طويلة جداً عالية الوزن الجزيئي وسلاسل أخرى قصيرة منخفضة الوزن الجزيئي لذلك نجد أنه هناك تعابير مختلفة للوزن الجزيئي للبوليمرات معتمدة على الطرائق المستخدمة في تعيين الوزن الجزيئي، ولقد استخدمت المواد البوليمرية كمواد عازلة كهربائياً منذ وقت طويل وبدأت تأخذ مكان العوازل التقليدية السيراميكية نظراً لما

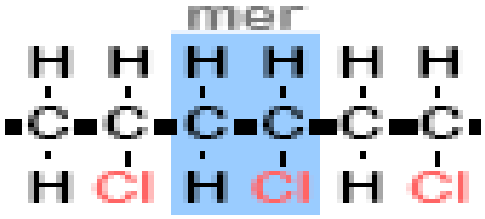
تتمتع به من خواص كهربائية وفيزيائية جيدة كخاصة صد الماء والخفة والمرونة وعدم القابلية للكسر.

إن التزايد الكبير في عدد وأنواع المواد العازلة العضوية كبيرة الجزيئات وتحسين مواصفاتها وخواصها الكهربائية بصورة تتلاءم مع متطلبات واحتياجات المجالات الهندسية المختلفة جعلتها تحتل مكانة هامة في مجال هندسة التوتر العالي. وقد مكن دخول المواد العازلة العضوية كبيرة الجزيئات مجال هندسة التوتر العالي من إحداث تطور سريع في صناعة تجهيزات التوتر العالي وخاصة في الاستخدامات الداخلية، وتصغير أبعاد وحجوم العديد من هذه التجهيزات بالمقارنة مع التجهيزات التي تستخدم العزل الهوائي مثلاً، وذلك نظراً للمتانة الكهربائية العالية لهذه المواد كما هو الحال في مادة البولي فينول كلورايد حيث تصل متانتها الكهربائية إلى أكثر من **(20-30) kV/mm** . من أهم تلك الاستخدامات العملية نجدها في استخدام مادة البولي فينيل كلورايد(pvc) ومادة البولي اتيلين(pE) والبولي اتيلين المشبك XLPE في عزل كابلات التوتر المنخفض والمتوسط والعالي وعلب الوصل والنهاية العائدة لها، وقد ساعد استخدام هذه المواد وتطوير مواصفاتها الكهربائية وغير الكهربائيةعلى تحسين أداء هذه التجهيزات وزيادة التوفير الاقتصادي بسبب إنقاص سماكة العزل ويؤدي ذلك إلى إنقاص قطر الكابل ووزنه.

وتعتبر مركبات البولي فينيل كلورايد(**pvc**) والبولي إيتيلن(**pE**) من أهم المواد العازلة العضوية المطروحة للاستخدام في مجال هندسة التوتر العالي:

مركبات البولي فينيل كلورايد (PVC):

وهي عبارة عن مواد عازلة واسعة الانتشار، متينة مقاومة للتآكل سهلة المزج مع مواد مطرية أو مواد حشو أو مواد ملونة تستحصل بالتكاثر بالتكرار لمادة الفينول كلوريد التي تنتج من توضع حمض كلور الماء على الاتستلين (CH=CH):



لا تشتعل مركبات البولي فينيل كلورايد بسهولة، ومتانتها الكيميائية جيدة وكذلك تجاه الأوزون. وتتعلق خصائصها الميكانيكية بدرجة الحرارة. فهي في درجات حرارة أقل من 40 درجة مئوية صلبة وقليلة المرونة، وبتجاوز هذه الدرجة من الحرارة تنخفض المتانة وتزيد المرونة مع الحرارة إلى أن تصبح بلاستيكات حرارية في درجات حرارة 160 درجة مئوية فما فوق.

أما مركبات البولي فينيل كلورايد الممزوجة مع مادة ملينة فيمكن استخدامها بدرجات حرارة تصل إلى80 درجة مئوية ومتانتها الكيميائية أقل من مركبات البولي فينيل كلورايد القاسية الممزوجة. يعتبر البولي فينيل كلورايد ومشتقاته من المواد البلاستيكية الحرارية أي أنها تلين بالحرارة ثم تصبح عند درجات حرارة عالية بلاستيكية تأخذ أي شكل مطلوب.

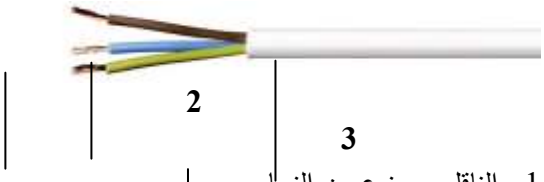
ومن أهم صفات البولي فينيل كلورايد(pvc) هي:

الجدول (1) بعض صفات المادة العازلة (pvc)

الخواص	pvc
الكثافة (g/cm^3)	1.2-1.5
متانة المادة(kv/mm)	20-30
المقاومة الحجمية	10^{12}-10^{15}
ثابت العازلية	5-9
عامل الفقد	4%-12%

تستخدم مركبات البولي فينيل كلورايد اللينة بصورة رئيسية كعوازل للأسلاك والكابلات وذلك عوضاً عن الكاوتشوك اللين الأقل مقاومة للشيخوخة. أما المركبات القاسية البولي فينيل كلورايد وخلائطه فيتم تصنيعها في آلات الصب بالحقن للحصول على هياكل أجهزة كهربائية وصناديق البطاريات.

ويبين الشكل (4) نموذجاً لكابل يستخدم عند التوتر المنخفض بغلاف مصنوع من البولي فينيل كلورايد .



1- الناقل مصنوع من النحاس.
2- الناقل معزول بمادة PVC.
3- الغلاف الخارجيPVC.

الشكل (4) كوابل توتر منخفض بغلاف مصنوع من البولي فينيل كلورايد(pvc)

1-ناقل مصنوع من النحاس
2-الغلاف الخارجي من PVC

1-2-3 : الاجهادات التي تتعرض لها المواد العازلة العضوية في كابلات التوتر العالي[2,1]:

تتعرض المواد العازلة العضوية المستخدمة في كابلات التوتر العالي إلى الاجهادات الكهربائية الخارجية والتي تتمثل في الانفراغات السطحية والمنزلقة والتقادم، والاجهادات الكهربائية الداخلية التي تتمثل في نشوء الانفراغات الجزئية الداخلية، والاجهادات الفيزيائية والميكانيكية الناجمة عن عمليات الاستخدام والحني والشد والسحب والى ارتفاع درجات الحرارة.

الخواص الميكانيكية: وتشمل هذه الخواص على:

- القساوة الستاتيكية.
- متانة الشد.
- الاستطالة النسبية.

وبما أن الهدف هو دراسة الخواص الميكانيكية ودراسة أثر تغير جرعة الإشعاع عليها سوف نقوم بشرح مبسط للخواص الميكانيكية.

حيث تتعرض المادة العازلة الصلبة المستخدمة في كابلات التوتر العالي إلى اجهادات ميكانيكية مختلفة مثل قوى الشد المطبقة أثناء تمديد الكابلات، أو قوى الضغط الناجمة عن توضع طبقات متتالية من الكابلات أو الردميات، أو قوى الانحناء التي تتعرض لها الكابلات عند تمديدها ومرورها بالزوايا.

تؤثر هذه الاجهادات عليها وقد تؤدي إلى تغير خواصها الكهربائية و خفض قدرتها على العزل، لذلك يجب أن تبقى هذه الاجهادات ضمن الحدود المسموح بها والتي لا تؤدي إلى تغيير في الخواص المطلوبة للكابل.

تُحدد الخواص الميكانيكية قدرة المادة على مقاومة تغير شكلها وانهيارها عند وقوعها تحت تأثير القوى الخارجية. وتشمل الخواص الميكانيكية: **متانة الشد ومقدار الاستطالة ودرجة القساوة** ويتم تحديد الخواص الميكانيكية للمادة باختبار عينات مجهزة خصيصاً لذلك على آلات اختبار خاصة. ومن أهم الاختبارات على المواد العازلة البولميرية المستخدمة في كابلات التوتر العالي:

اختبار الشد Tensile Test:

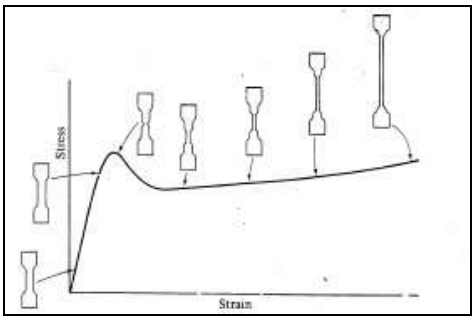
اختبار الشد هو إخضاع عينة من المادة ذات أبعاد معينة إلى حمولة شد استاتيكية أحادية المحور ثم ملاحظة سلوك المادة حتى الانهيار واستنتاج بعض الخواص الميكانيكية. ويحدث في المادة عند تعرضها للشد إجهاد وهو مقدار القوة المطبقة لواحدة المساحة السطحية ويساوي $\sigma = F / A(Kg/mm^2)$ أو يقدر بـ N/mm^2، حيث : **F** : الحمل أو القوة المؤثرة، و**A**: مساحة المقطع الأصلي. وتؤدي القوى الخارجية المطبقة على العينة المختبرة إلى نوعين من التشوه:

أ- التشوه المرن:

وهو التشوه الذي يزول تأثيره على شكل وبنية وخواص المادة تماماً بعد زوال تأثير القوى الخارجية. ولا تنشأ عن التشوه المرن أية تغيرات دائمة في بنية أو خواص المادة.

ب -التشوه اللدن :

هو التشوه غير القابل للزوال ويحدث نتيجة تجاوز قيمة الإجهادات الحد المرن. ويبين الشكل (11) مخطط الحمولة- الاستطالة.



الشكل (11) مخطط الحمولة-الاستطالة

اختبار القساوة Hardness Test:

تعرف القساوة بمقاومة المادة للخدش أو الاختراق بمادة أخرى، وتعتمد هذه الخاصية على الخواص الأخرى للمادة مثل معامل المرونة ومقاومة الشد والخضوع. ولهذا فإن تقدير رقم القساوة لمادة ما يمكن أن يعطي مؤشراً للخواص الميكانيكية الأخرى. يعد اختبار القساوة من أهم الاختبارات الستاتيكية للمواد، نظراً لسهولة إجراء هذا الاختبار من جهة ولعدم الحاجة لصنع عينات اختبار خاصة من جهة أخرى حيث يتم الاختبار على نفس العينة المستخدمة في اختبارات الشد لكون هذا الاختبار لا يسبب أي تحطم أو تشوه يمكن أن يؤثر على خواص القطعة المختبرة وصلاحيتها.

تشترك طرق اختبار القساوة بالمبدأ العام حيث يتم وضع الجسم القاسي فوق السطح المستوي للعينة ثم يحمل بقوة معينة وبعد إزالة التحميل يقاس قطر أو أبعاد انغماس الجسم في العينة. تعطي نسبة القوة المطبقة إلى سطح الانغماس مقدار القساوة رقمياً. تختلف طرق قياس القساوة عن بعضها البعض بنوع وشكل الجسم القاسي المستخدم ومقدار القوة المطبقة على هذا الجسم. وتوجد العديد من الطرق لقياس القساوة وأهمها وأوسعها انتشاراً هي طريقة **برينل وطريقة روكويل وطريقة فيكرز**.

وتعد كل من طريقة برينل وفيكرز من الطرق البطيئة في الحصول على النتائج الرقمية، ويتم حساب القساوة أو الرجوع إلى الجداول للحصول على قيمة القساوة أما طريقة روكويل فقد تخلصت من هذا العيب وذلك باعتماد مبدأ قياس عمق الأثر الذي يحدثه مخروط ألماسي زاوية رأسه 120 درجة أو كرة من الفولاذ قطرها 1/16 انش، ويتناسب عمق هذا الأثر عكساً مع القساوة، لذلك فقد زودت أجهزة قياس القساوة بطريقة روكويل بعددات خاصة تعطي أرقاماً تتناسب عكساً مع عمق الانغماس وطرداً مع قساوة العينة.

1-4: طرق تشبيك المواد البولميرية:

هنالك طريقتان رئيسيتان لعمليات التشبيك وهما طريقة التشبيك الكيميائي وطريقة التشبيك بالتشعيع. حيث تعتمد طريقة التشبيك الكيميائي على إضافة مواد كالبيروكساييد إلى المادة البوليميرية و تخلط المادتين. ثم تحت تأثير الحرارة يتم التشبيك،و تضاف المواد التي تساعد على التشبيك إلى المادة العازلة المراد تحسين خواصها بنسب معينة تحددها الشركات الصانعة لهذه المواد والتي ما زالت سراً من أسرار تلك الشركات. ومن جهة أخرى فقد تطور استخدام طريقة التشبيك بالتشعيع في مجال تحسين مواصفات المواد البولميرية العازلة المستخدمة في التجهيزات الكهربائية للتوتر المنخفض والعالي.

ويبين الجدول التالي مقارنة عامة بين طريقتي التشبيك الكيميائية والتشعيعية:

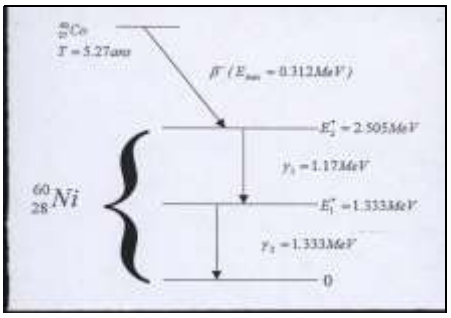
الجدول (2) مقارنة بين التشبيك الكيميائي والتشبيك بالتشعيع [16]

الميزات	تشبيك كيميائي	تشبيك إشعاعي
استهلاك الطاقة	عالي	منخفض
سرعة التشبيك	بطيء	سريع
المساحة اللازمة للتشبيك	كبيرة	صغيرة
أنواع المنتج	نوع واحد	متعدد ومتنوع
التحكم بالمعالجة	تدفق حراري	تيار وسرعة
تكلفة الصيانة	عالية	منخفضة
الإقلاع	يوجد نفايات أولية	لايوجد نفايات أولية
التوتر الاسمي	50kV	أكثر من 5kV
طول حياة العزل	جيدة	ممتازة
رأس المال	متوسط	مرتفع

وتساعد عمليات التشعيع لبولميرات البولي فينيل كلورايد في تشكيل روابط تصالبية تؤدي الى تغيير في خواص تلك المواد.

1-5 : توليد أشعة غاما:

تتولد أشعة غاما من نوى الذرات نتيجة تفككها وتحولها إلى نوى عناصر أخف، ويوضح الشكل (16) مخطط تفكك الكوبالت وتحوله على عنصر النيكل ويتولد نتيجة ذلك موجتان من أشعة غاما (γ) :



الشكل (16) توليد أشعة غاما.

حددت المواصفات القياسية الكهربائية الدولية والعالمية IEC طرقاً محددة ودقيقة لإجراء اختبارات قياس الخواص الميكانيكية كدرجة القساوة ومقاومة الشد والاستطالة والتي تضمن أن تكون النتائج صحيحة ودقيقة وقابلة للتكرار والمقارنة في كافة الظروف المحيطية.

وانطلاقاً من الدراسة النظرية حول توقع تغير خواص المواد العضوية (البوليمرية) نتيجة لعمليات التشعيع بأشعة غاما، فقد أجريت الاختبارات على عينات خاصة تم تحضيرها لذلك، وقد أجريت الاختبارات و التشعيع وقياس الخواص الميكانيكية في مخابر هيئة الطاقة الذرية.

2-العينات المختبرة:

وهي مصنعة من مادة البولي فينول الكلورايد وهي عبارة عن حبيبات صغيرة الحجم تتراوح أبعادها بين (2mm-5mm) وقد أخذت هذه المادة الخام لكافة العينات المصنعة للاختبار من مصدر واحد وشحنة واحدة والتي تم الحصول عليها من معمل محلي لتصنيع وإنتاج الكابلات الكهربائية. وقد صنعت منها جميع العينات وذلك لكي يكون لها نتائج قابلة للتكرار.

2- دارات القياس الميكانيكية:

أجريت القياسات المطلوبة على العينات بعد تحضيرها لقياس القيم المميزة للخواص الميكانيكية وذلك قبل وبعد عملية التشعيع وهي:

- مقاومة الشد.
- درجة الاستطالة.
- درجة القساوة.

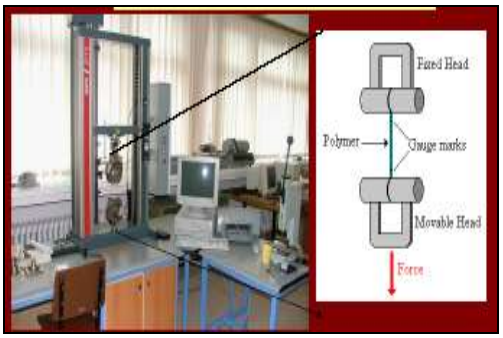
2-1: اختبارات متانة الشد والاستطالة:

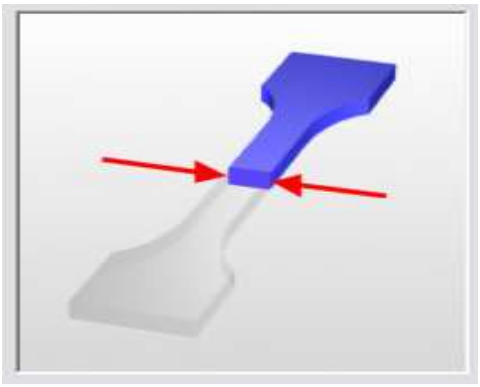
أجريت هذه الاختبارات باستخدام جهاز الشد Instron (Model (1011) Testing System، وقد صنعت العينات المختبرة بشكل معني وذلك لتوافق النماذج التي يتم اختبارها بالجهاز السابق.ويبين الشكل(17) شكل العينة المختبرة.

وأبعاد هذه العينة كمايلي :

Width (mm)	5.000
Thickness (mm)	2. 00
Spec gauge len (mm)	30.500

ولقياس متانة الشد تثبت عينة الاختبار بين القاعدة الصلبة والرأس المتحرك للجهاز(فكي الشد) ويتم تحريك فكي الشد وعن طريق نظام التحكم. يقاس الحمل المطبق على العينة باستخدام حساسات موصولة بين القاعدة والرأس، حيث يتم رفع قوة الشد من (N) 0 حتى يتم القطع للعينة وذلك بسرعة شد مقدارها (mm/min) 10 كما هو مبين في الشكل(18).

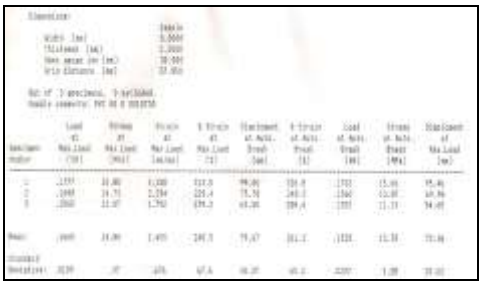


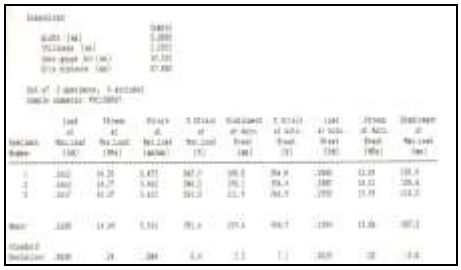


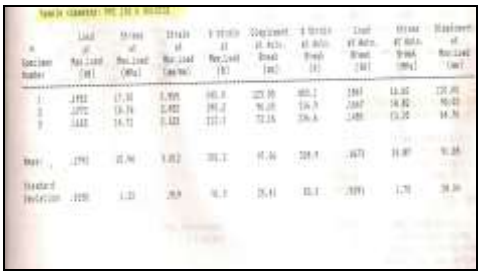
الشكل (17) شكل العينة المختبرة

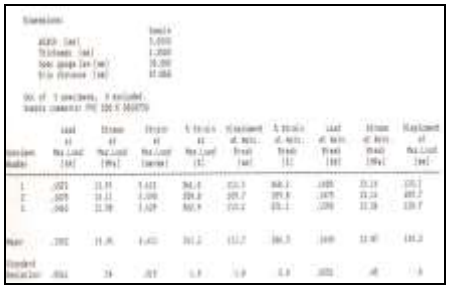
الشكل (18) جهاز الشد Instron Model (1011)
مع مراحل شد العينة حتى الانقطاع

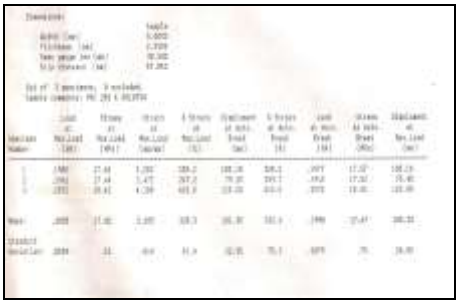
ثم تظهر نتائج الاختبار على الشاشة الموجودة على لوحة الإظهار أوعلى شاشة الحاسب، وهي تظهر نتائج قياس كل من متانة الشد ونسبة الاستطالة وذلك عند القيمة العظمى وعند الانقطاع:

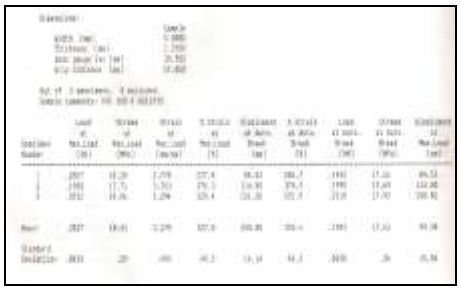


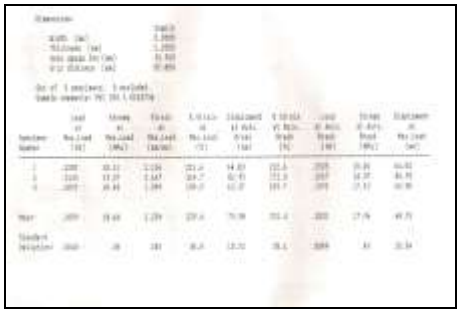












2-2: اختبارات درجة القساوة :

تتم هذه الاختبارات باستخدام جهاز قياس درجة القساوة **Asker , Type D** وفق طريقة راكويل (Rockwell). ويعتبر اختبار القساوة من أهم الاختبارات المميزة للمادة العازلة، ويتم قياس درجة القساوة باستخدام جسم قاسي مخروطي فوق السطح المستوي للعينة ثم يحمل بقوة معينة، وبعد إزالة التحميل يقاس قطر أو أبعاد انغماس المخروط في العينة. تعطي نسبة القوة المطبقة إلى سطح الانغماس درجة القساوة رقمياً.

2-3:نتائج الاختبارات:

2-3-1- نتائج درجة الاستطالة:

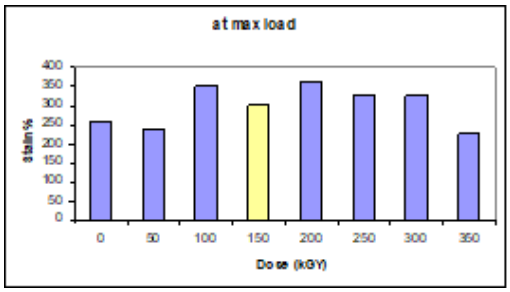
يبين الجدول(3) نتائج اختبار درجة الاستطالة كتابع لجرعة الإشعاع للعينات المختبرة وذلك عند القيمة العظمى وعند الانقطاع وقد أخذت النتائج من الجداول السابقة.

الجدول (3) نتائج درجة الاستطالة كتابع لجرعة الإشعاع لمادة (pvc)

Strain at max load (%)	Strain at Auto. Break (%)	Dose (KGY)
259.6	279.4	0
240.5	261.2	50
351.6	358.7	100
301.2	318.9	150
361.2	366.3	200
328.5	332.6	250
327.8	330.6	300
225.4	231.4	350

الاستطالة عندالقيمة العظمى بدلالة الجرعة الإشعاعية:

علاقة

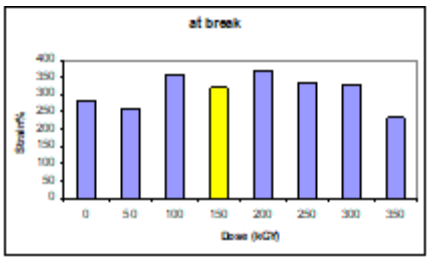


الشكل(19) علاقة الاستطالة كتابع لجرعة الإشعاع لعينة pvc

ويبين الشكل(19) علاقة درجة الاستطالة عند القيمة العظمى كتابع لجرعة الإشعاع حيث نلاحظ أنه في البداية ومع تزايد جرعة الإشعاع تتناقص درجة الاستطالة ثم تتزايد ثم تتناقص ثم تتزايد حتى الجرعة 200kGy بعدها تتناقص درجة الاستطالة وهذا يدل على أنه عند الجرعة 200kGy قد حدث تكسر و تحطم للروابط التصالبية بين جزيئات المادة العازلة المختبرة وهي مادة pvc وأصبح ترابط الجزيئات فيها هشاً وبالتالي فإن درجة الاستطالة قد تناقصت وأصبحت المادة العازلة سيئة.أما عند الجرعة الإشعاعية 150kGy فإن درجة الاستطالة في المادة لم تزداد كثيراً عن الحالة الأساسية في العينة العذراء وهذا يدل على أن المادة مازالت في منطقة المرونة ولم تصل بعد إلى منطقة التلدن لذلك وعند هذه الجرعة تكون جزيئات المادة قد تشابكت وتحسنت خواصها.

الاستطالة عند الانقطاع بدلالة الجرعة الإشعاعية:

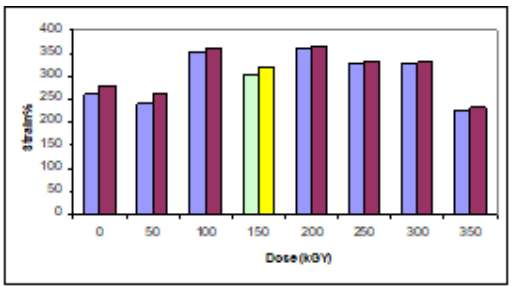
علاقة



الشكل (20) علاقة الاستطالة كتابع لجرعة الإشعاع لعينة pvc

ويبين الشكل (20)علاقة الاستطالة كتابع للجرعة الإشعاعية عند حد الانقطاع و نلاحظ أن الشكل العام للمنحني تشابه تماماً الحالة السابقة وهي علاقة درجة الاستطالة ولكن عند القيمة العظمى وحيث نلاحظ أن قيم درجة الاستطالة هي أكبر بالمقارنة مع الحالة السابقة وهذا يدل على أن العمل أصبح على الأغلب في منطقة اللدونة وهي المنطقة التي تفقد فيها المادة خواصها.

علاقة الاستطالة عند القيمة العظمى وعند الانقطاع بدلالة الجرعة الإشعاعية:



الشكل(21) علاقة الاستطالة عند القيمة العظمى والانقطاع كتابع لجرعة الإشعاع

ويبين الشكل (21)علاقة درجة الاستطالة عند القيمة العظمى والانقطاع كتابع للجرعة الإشعاعية والتي تبدأ من 0kGy وحتى الجرعة 350kGy وذلك بمعدل إشعاع 50kGy وذلك عند القيمة العظمى للحمولة و عند نقطة الانقطاع.ونلاحظ أن الحالة الثانية تكون فيها درجة الاستطالة أكبر من الحالة الأولى.

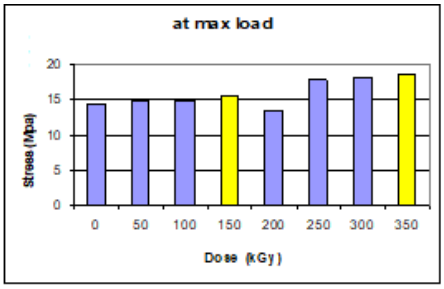
2-3-2- نتائج متانة الشد:

يبين الجدول(4) نتائج اختبار متانة الشد كتابع لجرعة الإشعاع للعينات المختبرة وذلك عند القيمة العظمى وعند الانقطاع وقد أخذت النتائج من الجداول السابقة.

الجدول (4) نتائج متانة الشد كتابع لجرعة الإشعاع لمادة pvc

Dose (KGY)	Stress at max load (Mpa)	Stress at Auto. Break (Mpa)
0	14.40	14.35
50	14.80	14.55
100	14.91	13.86
150	15.49	14.87
200	13.35	12.87
250	17.82	17.67
300	18.02	17.63
350	18.66	17.96

علاقة متانة الشد عند القيمة العظمى كتابع لجرعة الإشعاع في العينة المختبرة:

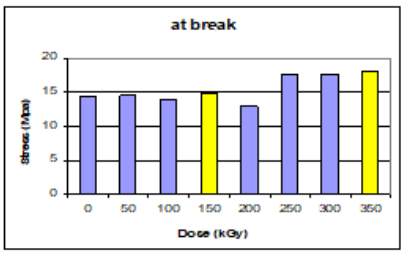


الشكل (22) علاقة متانة الشد كتابع لجرعة الإشعاع لعينة

ويبين الشكل (22) علاقة متانة الشد للعينات المختبرة في مادة البولي فينيل الكلوريد(pvc) مع تزايد الجرعات الإشعاعية التي تتعرض لها هذه العينات، وفيه نلاحظ أن متانة الشد تتزايد مع تزايد الجرعات من الجرعة 0kGy حتى الجرعة 150kGy ثم تتناقص عند القيمة 200kGy وهذا يمكن تفسيره بأن ازدياد الجرعة حتى 150kGy تؤدي إلى ازدياد عمليات التشبيك بين جزيئات pvc وتوضع زمر حرة سالبة قد تتواجد في المادة على الجزيئات مما يؤدي إلى ازدياد متانة الشد نظراً لمشاركة الزمر الحرة في عمليات التشبيك أما عند القيمة 200kGy فيمكن تفسير تناقص متانة الشد هو أن تزايد جرعة

الإشعاع يؤدي إلى كسر الروابط الحرة المتوضعة على الجزيئات وانطلاقها كزمر حرة قابلة للحركة مما يؤدي إلى انخفاض متانة الشد.

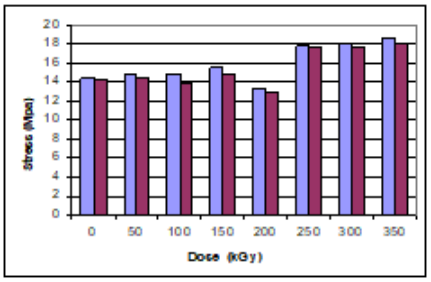
علاقة متانة الشد عند الانقطاع كتابع لجرعة الإشعاع في العينة المختبرة:



الشكل(**23**) علاقة متانة الشد كتابع لجرعة الإشعاع لعينة pvc

ويبين الشكل (23)علاقة متانة الشد للعينات المختبرة في مادة pvc مع تزايد الجرعات الإشعاعية التي تتعرض لها هذه العينات وذلك عند نقطة الانقطاع (at break) حيث نلاحظ في البداية تشابه كبير من حيث السلوكية عند نقطة الانقطاع مع منحني متانة الشد عند الحمل الأعظمي (at max load) حيث في البداية تتزايد متانة الشد مع تزايد الجرعة حتى الجرعة 150kGy بعدها تتناقص متانة الشد عند الجرعة 200kGy وهذا يفسّرأنه في المنطقة الأولى وذلك من الجرعة 0 حتى الجرعة 150kGy أنه يحدث التشبيك بين جزيئات مادة البولي فينيل كلوريد وتوضع زمر حرة سالبة قد تتواجد في المادة على الجزيئات مما يؤدي إلى تزايد متانة الشد،أما عند الجرعة 200kGy فإنه يحدث كسر وتحطيم الروابط الحرة المتوضعة على الجزيئات و انطلاقها كزمر حرة قابلة للحركة وبالتالي إلى انخفاض متانة الشد.

علاقة متانة الشد عند القيمة العظمى وعند الانقطاع كتابع لجرعة الإشعاع في العينة المختبرة:



الشكل (24) علاقة متانة الشد عند القيمة العظمى والانقطاع كتابع لجرعة الإشعاع لعينة pvc

ويبين الشكل **(24)** علاقة متانة الشد مع تزايد الجرعة الإشعاعية وذلك عند القيمة العظمى والانقطاع حيث يتشابه المنحنيان ولهما نفس السلوكية وهي تزايد متانة الشد في البداية حتى الجرعة 150kGy ثم بعدها تتكسر الروابط ويحدث انخفاض لهذه المتانة عند الجرعة (200kGy).

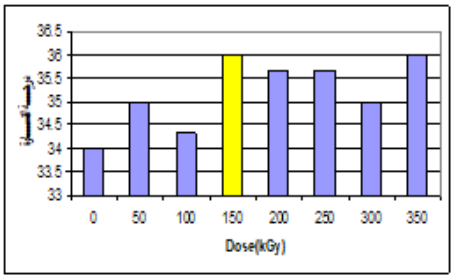
2-3-3- نتائج درجة القساوة:

يبين الجدول(5) نتائج اختبار درجة القساوة كتابع لجرعة الإشعاع للعينات المختبرة.

الجدول (5) نتائج درجة القساوة لعينات مشعة (pvc)

Dose (kGY)	القياس الأول	القياس الثاني	القياس الثالث	الوسطي
0	34	34	34	34
50	35	35	35	35
100	34	34	35	34.33
150	36	36	36	36
200	36	35	36	35.66
250	36	35	36	35.66
300	35	35	35	35
350	36	36	36	36

علاقة درجة القساوة كتابع لجرعة الإشعاع في العينة المختبرة:



الشكل (25) علاقة درجة القساوة كتابع لجرعة الإشعاع في العينة المختبرة

ويبين الشكل (25) علاقة درجة القساوة لمادة pvc كتابع لجرعة الإشعاع و فيه نلاحظ أن هناك جرعات إشعاعية معينة تؤدي إلى ازدياد عملية التشبيك بين جزيئات المادة وتوضع زمر حرة قد تتواجد في المادة على الجزيئات مما يؤدي إلى ازدياد قساوة المادة، وهذا ما نلاحظه خاصةً عند الجرعة (150kGy) وهناك جرعات إشعاعية تؤدي إلى تكسير الروابط الحرة المتوضعة على الجزيئات وانطلاقها كزمر حرة قابلة للحركة تؤدي إلى انخفاض درجة بالقساوة في المادة العازلة.

3- الخاتمة:

مما سبق نلاحظ أنه يمكن دراسة تغير الخواص الميكانيكية لمادة البولي فينيل كلوريد pvc المستخدمة في تجهيزات التوتر العالي وفي مجالات عزل كابلات التوتر المنخفض والمتوسط والعالي وذلك قبل وبعد عمليات التشعيع حيث تبين الدراسة أن الجرعات الإشعاعية قد تتسبب في تحسين بعض هذه الخواص. ويمكن تفسير ذلك بأن ازدياد الجرعة الإشعاعية تؤدي إلى ازدياد عمليات التشبيك بين جزيئات مادة ال pvc وتوضع زمر حرة سالبة قد تتواجد في المادة مما يؤدي إلى ازدياد

كل من متانة الشد والقساوة وتغير درجة الاستطالة بشكل طفيف وهذا ما شاهدناه عند الجرعة (150kGy) وأما عندما تتجاوز هذه الجرعة يؤدي ذلك إلى كسر وتحطيم الروابط وبالتالي سوء أداء المادة العازلة.

ويمكن متابعة هذه الدراسة في المستقبل من أجل دراسة تغير الخواص الكهربائية لهذه المادة لكي تصبح الدراسة متكاملة من حيث الوصول إلى أفضل الجرعات التي تؤدي إلى تحسين الخواص الكهربائية والميكانيكية والحرارية لمادة الـ pvc.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

4- المراجع

1- د. فواز الديري، "الجزيئات الضخمة والصناعات البلاستيكية " جامعة دمشق 1996.

2- د. محمد نضال الريس ود.محمد حازم الصابوني، "هندسة التوتر العالي (3)"، جامعة دمشق 1992.

3- Piergiorgio F., Industrial Application of ionzing radiation, , IAEA –Yazd ,2006.
4- Markovic V., IAEA Bull.Spring 1985.
5- Roberts B.E., Polymer Engineering , New York ,1975.
6- Hochstrasse V., Wire Ind., Janurary 1985.
7- Hall C., Polymer Materials,London ,1988.
8- Bruins P.F.,Plastics for Electrical Insulation, NewYork,1968.
9- Industrial Applications For Irradiation Technology , Merambert Acome, Iran,1998.
10- Blythe A.R. ,Electrical Properties of Polymers, London,1979.
11- Schnabel W.,Polymer Degradation, NewYork,1981.
12- Schmitz J.V. ,Testing of Polymers, New York, 1979.
13- Neuberg, W. B. and Luniewski, R., Apparatus and Method for Radiation Processing of Materials,U.
14- S. Patent No. 4,748,005, May 31, 1988.
15- J.F.Diehl, Safety of Irradiation Foods, Marcel Dekker, New York, 1995.
16- K.Dawes and L.C.Glover , " Effect of Electron Beam and -Irradiation on Polymeric Materials "2004.
17- Murat Sen,Radiation Modification of synthetic polymers,IAEA –Yazd ,2006.
18- Advance of Radiation Reseach & Development in China ,Zhu Jiang ,1990,China.
19- Cleland.M.R.,Radiation phys.chem.,18,1981.