Studying the Impact of Gamma Radiation on the Electrical Properties of Insulating Oil at High Voltage Equipment (Case Study)

Dr. Ahmad al-Falah*

Dr. Ali al-Sayed**

Mothanna al-Jassem***

(Received 14 / 10 / 2024. Accepted 16 / 1 / 2025)

□ ABSTRACT □

Since the discovery of radioactive decay of isotopes and the emission of rays from this decay, interest began in investing these rays peacefully. The uses of radiation have developed with industrial and technological development so that they have come to include multiple areas of human activities, as the number of radiation facilities invested commercially in the world exceeds 180 facilities. In this research a sample of mineral insulating oil was irradiated with gamma radiation source Co 60 with a radioactivity of 70 kCi, where the irradiation process was carried out at a dose rate of (8.9 KGray/hour) , under different doses up to 250 KGray. The studied sample used in high voltage equipment in the Ministry of Electricity in Syria. The value of breakdown voltage of sample was studied in accordance the approved conditions and standards using (MEGGER OTS 60PB) device, which works on the principle of applying a gradual voltage at a rate of 2-5Kv/sec to the insulating oil within the test cup until the oil insulation collapses, which represents the breakdown voltage value, and the test is repeated automatically more than once, as the breakdown voltage value for the sample it was 36 Kv before irradiation . The results show a decrease in breakdown voltage , the minimum value was 22Kv with dose 250 KGray . The results were compared with the international reference values (IEC 60156). Simple Linear Regression methodology was used to study the relationship between breakdown voltage and radiation doses, and the mathematical model was obtained and the correlation coefficient was calculated, and its value was 0.9651. In our study, we concluded that the dose 150 KGray is the dose at which the breakdown voltage clearly began to deteriorate, which negatively affects the strength of the studied mineral insulating oil.

Keywords: High Voltage, Insulating oil, Breakdown Voltage, Radiation, Gamma

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor- Practical Chemistry - Damascus University- Damascus- Syria. ahmad.falah@damascusuniversity.edu.com**

** **Professor- High Tension Engineering- Damascus University- Damascus- Syria. ali.alsayed@damascusuniversity.edu.com**

*** **Post-graduate Student (Master)- High Tension Engineering- Damascus University- Damascus-Syria. (mothana2.aljassem@damascusuniversity.edu.com)**

دراسة أثر أشعة غاما على الخصائص الكهربائية للزيوت العازلة المستخدمة في تجهيزات التوتر العالي (دراسة حالة)

د. أحمد الفلاح*

د. علي السيد**

مثنى الجاسم***

(تاريخ الإيداع 14 / 10 / 2024. قُبِل للنشر في 16/ 1 / 2025)

□ ملخّص □

منذ اكتشاف التفكك الاشعاعي للنظائر وصدور أشعة عن هذا التفكك بدأ الاهتمام باستثمار هذه الاشعة سلمياً، وقد تطورت استخدامات التشعيع مع التطور الصناعي و التكنولوجي بحيث أصبحت تشمل مجالات متعددة في النشاطات البشرية، حيث يزيد عدد منشآت التشعيع المستثمرة تجارياً في العالم على 180 منشأة .

تم في هذا البحث تعريض زيت عازل معدني لأشعة غاما من مصدر الكوبالت $\mathbf{CO^{60}}$ بنشاط إشعاعي 70 كيلوكوري، حيث تمت عملية التشعيع عند معدل جرعة (8,9 كيلوغراي/ساعة) و استخدمت جرعات تصل إلى (250 KGray) . العينة المدروسة هي عبارة عن زيت عازل معدني مستخدم حاليا" في تجهيزات التوتر العالي في وزارة الكهرباء في سوريا ، تم دراسة قيمة توتر انهيار العينة ضمن الشروط و المعايير المعتمدة وذلك باستخدام جهاز (MEGGER OTS 60PB) الذي يعمل على مبدأ تطبيق جهد بشكل تدريجي بمعدل 2-5Kv/sec على الزيت العازل ضمن كوب الاختبار حتى انهيار عزل الزيت و هي تمثل قيمة توتر الانهيار و يعاد الاختبار تلقائيا أكثر من مرة، حيث كانت قيمة توتر الانهيار للعينة قبل تعريضها لأشعة غاما (36 Kv). تبين النتائج أن قيمة توتر الانهيار قد انخفضت بشكل واضح و ان أدنى قيمة لها كانت (22 Kv) عند جرعة تشعيع (250 KGray) ، تمت مقارنة النتائج مع القيم المرجعية حسب المواصفة القياسية (IEC60156) ، تم استخدام منهجية الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لدراسة العلاقة بين توتر الانهيار و جرعات التشعيع واستنتاج النموذج الرياضي وحساب معامل الارتباط كانت قيمته **0.9651** ، توصلنا في دراستنا الى أن الجرعة 150 KGray هي الجرعة التي بدأ بشكل واضح عندها تدهور توتر الانهيار، مما يؤثر سلبا" على متانة زيت العزل في الحالة المدروسة.

الكلمات المفتاحية :التوتر العالي ، الزيوت العازلة ، توتر الانهيار ، التشعيع ، غاما.

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

* أستاذ - كيمياء عملية- جامعة دمشق- دمشق- سورية.(ahmad.falah @ damascusuniversity.edu.com)

** أستاذ - هندسة توتر عالي- جامعة دمشق- دمشق-سورية.(ali.alsayed@damascusuniversity.edu.com)

*** طالب دراسات عليا - هندسة توتر عالي- جامعة دمشق- دمشق-سورية.(mothana2.aljassem@damascusuniversity.edu.com)

مقدمة:

هناك العديد من الدراسات العالمية التي تهدف الى ايجاد طرق لتحسين عازلية المواد العازلة المستخدمة في التجهيزات الكهربائية، من التطبيقات الرئيسية لذلك معالجة المواد العازلة من أجل زيادة مقاومتها لدرجات الحرارة المرتفعة و الأشعة ، الأمر الذي يسهم في تحسين و تعزيز متانة المواد العازلة. يشكل التشعيع بأشعة غاما 80% من حجم عمليات التشعيع عالميا" وللتعقيم بأشعة غاما المنبعثة من مصادر الكوبالت 60 ميزتان مهمتان، وهما البساطة والموثوقية. نذكر من الدراسات السابقة:

- الدراسة الأولى: استخدم الباحث أشعة غاما لتشعيع زيت محولات عازل (90% paraffin–naphthene +10% aromatic hydrocarbons) تمت دراسة التغيرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية، مثل المقاومة، اللزوجة، الكثافة، وتكوين المنتجات الغازية (H_2، CH_4، C_2H_4، C_2H_6، C_3H_8، C_4H_{10}، C_5H_{12}، وC_6H_{14}) اعتمادًا على الجرعة الممتصة في نطاق 29.7– 237.6 KGray. وقد وجد أن التركيب الكيميائي لزيت المحولات يتغير عن طريق الإشعاع غاما ويصاحب هذا التغيير تغيرات في المقاومة، واللزوجة، وكثافة الزيت [1] .
- الدراسة الثانية : أجرى الباحث دراسة مقارنة للتحلل الإشعاعي لزيت المحولات المستعمل والزيت المحتوي على 1، 2، 4–ثلاثي كلورو البنزين Trichlorbenzene (TCB) تحت تأثير أشعة جاما. تمت دراسة اعتماد تركيز H2 و H2O2 ومؤشر الرقم الهيدروجيني وأطياف الأشعة تحت الحمراء للعينات المشعة بأشعة غاما من الجرعات الممتصة في نطاق 4-136 KGray. توصل الباحث الى أن يؤدي الإشعاع إلى زيادة الحموضة المرتبطة بإزالة الكلور من جزيئات TCB [2].
- الدراسة الثالثة: استخدم الباحث طريقة التشعيع على عينات زيوت المحولات المعدنية و زيوت عزل السليكونية باستخدام : الأشعة الالكترونية ،الأشعة السينية ، أشعة غاما. مجال الجرعة التي تم تطبيقها (0.01–200) MGy ، أجريت دراسة الانهيار للتيار المستمر والتوتر النبضي لكلا القطبين باستخدام مولد ماركس، توصل الباحث الى:

1– الزيت المعدني العالي النقاوة له مقاومة اشعاع عالية للإلكترونات والأشعة السينية والفوتونات.

2– المتانة الكهربائية للسوائل السيليكونية النقية يمكن تحسينها بمعامل 2.5 إلى 7 باستخدام التشعيع بجرعة منخفضة (20–50 KGray).

3– طريقة زيادة المتانة الكهربائية للزيوت السيليكونية العازلة في المحولات يمكن استخدامها في أنظمة عزل الجهد العالي للعناصر والأجهزة التي تعمل بدون ظروف الإشعاع [3].

- الدراسة الرابعة : أجرى الباحث دراسة لخصائص زيوت محولات جديدة من نوع HV-insulating-oil-A و Shell Diala-B بعد تعريضها لأشعة جاما لجرعات تصل 850 كيلوجراي ، ركز على اعتماد توتر الانهيار على جرعة الامتصاص. و تبين أن قيمة توتر الانهيار انخفضت مع زيادة الامتصاص، وكان لها ارتباط سلبي قوي مع تركيز H2O. توصل الباحث الى أن الخصائص الجوهرية المطلوبة لزيت المحولات المدروس لا تتأثر بالتعرض لأشعة جاما حتى جرعة 850 كيلوغراي [4].

تم في بحثنا هذا استخدام أشعة غاما كمصدر اشعاعي لدراسة تأثيره على متانة الزيوت العازلة المستخدمة في تجهيزات التوتر العالي ، وذلك بهدف:

- تكوين فهم أفضل لعملية التشعيع الصناعي بأشعة غاما والتعرف على التطور الذي تشهده تكنولوجياته .

- دراسة لأثر اشعة غاما حتى جرعة 250 كيلوغراي على متانة الزيت العازل المدروس ، حيث تستخدم الجرعات الصغيرة و المتوسطة في مجال المواد الغذائية و الطبية للمعالجة و التعقيم و يمكن استخدام جرعات كبيرة في مجالات المواد العازلة في تجهيزات التوتر العالي حيث استخدمت الدراسات السابقة جرعات كبيرة تصل ل850 كيلوغراي على زيوت عزل محولات من شركات انتاج مختلفة .
- وضع أرضية علمية لهذا الموضوع وهذه التقنية التي لم تستخدم حتى الآن في المنطقة العربية بشكل كبير .

إن التعرض للمجال الكهربائي هو أحد أكثر أنواع الإجهاد أهمية في التجهيزات الكهربائية حيث تستخدم المواد العازلة السائلة للعزل والتبريد في المحولات، وبسبب الإجهاد الكهربائي العالي، قد تحدث انفراغات جزئية في المواد العازلة السائلة وقد تتسبب في انهيار نظام العزل بشكل كامل للمحول [5.6]. تعتبر الزيوت العازلة المعدنية من أكثر السوائل العازلة استخداما" لعدة عوامل أهمها الكلفة الاقتصادية و رخص ثمنها ، بالإضافة الى خصائص أخرى مثل متانة العزل . ومع ذلك، يتم اختيار الإسترات الاصطناعية والطبيعية بشكل متزايد بسبب قابليتها للتحلل البيولوجي وسلوك التقادم الذي يعد أفضل من الزيوت المعدنية[7.8].

يمكن القول ان العمر التشغيلي الفني للمحول يعتمد إلى حد كبير على أداء السائل العازل، سواء من حيث متانة العزل العالية أو من خلال الخصائص الحرارية للسائل [9.10].

تتوفر طرق مختلفة لتقييم الحالة وتشخيص الأعطال. بالإضافة الى القياسات الكهربائية، يعد اختبار خصائص الزيت أمر مهم للغاية لتقييم حالة التجهيزات الكهربائية التي تعتمد الزيوت العازلة كوسيلة للعزل. حيث يمكن أخذ عينات من الزيت المستخدم أثناء التشغيل وبالتالي اجراء الاختبارات المطلوبة .

لتقييم جودة الزيوت المعدنية المستخدمة او الجديدة يوجد هناك طريقتان رئيسيتان:

دراسة خصائص الزيت العازل عن طريق الاختبارات المعيارية (Standard Oil Tests)

تقييم حالة الزيت عن طريق تحليل الغازات الذائبة في الزيت العازل (Dissolved Gasses Analysis).

ان دراسة خصائص الزيوت العازلة تتضمن دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية و الكهربائية للسائل العازل لتقدير مدى قدرة الزيت على تحمل الاجهادات الحرارية التي تحدث أثناء التشغيل ، إن تقييم حالة الزيت عن طريق الاختبارات المعيارية المعتمدة SOT يعتبر الطريقة التقليدية حيث يتم مقارنة نتائج القياس بالقيم المحددة، المذكورة في المعيار IEC 60422 [11] .

بالإضافة الى استخدام الطاقة النووية لتوفير الكهرباء، فإن النشاط الإشعاعي له تطبيقات عديدة في مختلف المجالات. لذلك من المهم دراسة آثار التعرض لأشعة جاما على الخصائص الكهربائية والفيزيائية و الكيميائية للمواد. يعد التشعيع باستخدام أشعة جاما من التقنيات المجربة بشكل جيد لتعزيز التوصيل الكهربائي في مكونات البوليمرات [12].

هناك استخدامات متعددة لأشعة غاما ان التطبيق الأساسي هو للأجهزة الطبية، بدءًا من الضمادات المعقمة والأنابيب ومجموعات الحقن ؛ وتقنيات المواد ذات الاستخدام لمرة واحدة التي يمكن التخلص منها، مثل أكياس حمل المنتجات و غيرها من المنتجات الأخرى [13].

كما ويتم استخدام إشعاع جاما لتشعيع الأغذية وهو فعال للغاية في تطهير وحفظ الأطعمة، وخاصة في تقليل وتثبيط مسببات الأمراض والبكتيريا المسببة للتلف في المواد الخام والأطعمة القابلة للتلف بسرعة [14].

تنتقل إشعاعات جاما من النويدة المشعة على هيئة فوتونات وليس جسيمات؛ وهذا يعني أنها لا تحتوي على كتلة أو شحنة. تتحلل النويدات المشعة في هيئة إشعاعات جاما، ولا يصاحب هذه العملية أي تغيير في العدد الذري أو الكتلة الذرية. ولأن أشعة جاما إشعاعية، فإنها لا تحتوي على كتلة، وبالتالي تتمتع بقوة اختراق عالية أكثر من جسيمات بيتا [15].

ان أحد أهم مجالات استخدام التشعيع بأشعة غاما في التوتر العالي هو حول القضايا المتعلقة بإزالة المواد السامة من زيوت المحولات حيث يعتبر ذلك أمر بالغ الأهمية لحماية البيئة وقطاع الطاقة منه ، و كمثال إزالة مادة أروكلور وهي فئة من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور Polychlorinated biphenyls (PCB). كان هناك دراسات تبحث في طريقة لإعادة تدوير زيوت المحولات الملوثة بأروكلور مع الاحتفاظ بخصائصها الكيميائية والفيزيائية الأصلية. احدى التقنيات المقترحة تعريض الزيت الملوث للإشعاع فوق البنفسجي المرئي (UV–visible radiation). يتم تقييم فعالية العملية باستخدام تقنيات تحليلية مختلفة، بما في ذلك توتر الانهيار، ومعايرة الحموضة، وكروماتوغرافيا الغاز–مطياف الكتلة (GC/MS)، والتحليل الوزني الحراري (TGA)، وتحليل اللون ASTM-D1500. تظهر النتائج أنه بعد 8 ساعات من التشعيع، يمكن تقليل مستويات أروكلور في الزيت إلى أقل من 50 جزء في المليون، من خلال الجمع بين الأشعة فوق البنفسجية والمرئية والامتصاص، فإن هذه الطريقة لا تزيل الأركلورات فحسب بل تعمل أيضًا على تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيوت، مما يجعلها نهجًا واعدًا لتنقية سوائل المحولات[16].

من جانب آخر اكتسب تعرض المركبات البوليمرية لأشعة جاما اهتمامًا كبيرًا من قبل العديد من الباحثين نظرًا لأهميتها في التطبيقات الصناعية والتقنية لتعزيز وتحسين الخصائص الفيزيائية المختلفة، بما في ذلك الخصائص البصرية والكهربائية [17].

طرائق البحث ومواده:

العينة المدروسة هي عبارة عن زيت عازل معدني مستخدم حاليا" في تجهيزات التوتر العالي في وزارة الكهرباء في سوريا من انتاج الصين شركة Kelamayi 45 . يوضح الشكل (1) مواصفات العينة كما هي واردة في دفتر الشروط الفنية عند الاستيراد.

تم اجراء الدراسة البحث في الفترة ما بين الشهر الأول حتى الشهر الثامن للعام 2024 في كلا" من :

- مخبر المحولات في الشركة العامة لكهرباء محافظة دمشق.
- قسم تكنولوجيا الاشعاع في هيئة الطاقة الذرية السورية.

2.4 ELECTRICAL INSULATING OIL CONTRACT42/EXT/PE

Item	Description		Particulars 230/66K V	Particulars 66/20K V
1	Manufacturer			
1.1	Name		Kelamayi	kelamayi
1.2	Country of origin		china	china
2	Type / Designation		Kelamayi 45#	Kelamayi 45#
3	Brand		45#	45#
4	Disruptive voltage	KV	40(2.5mm)	40(2.5mm)
5	Viscosity:	mm²/sec		
	- at 20°C		/	/
	- at 50°C		≤11	≤11
6	Flash point	°C	135	135
7	pour point	°C	/	/
8	Tan delta (at 50 HZ)		0.002	0.002
9	Ash content	%	0.0058	0.0058
10	Acid number (mg KOH/g)	MG	0.03	0.03
11	Material PSBC is not included in the transformer oil	YES	yes	yes

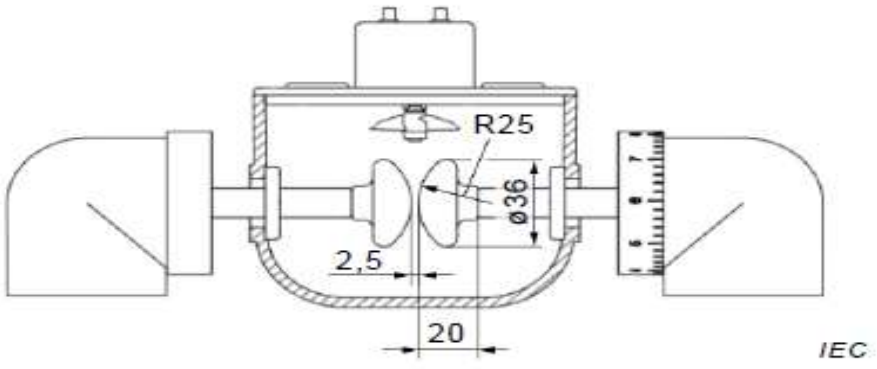
الشكل (1) مواصفات العينة

تم قياس توتر انهيار العينة وفقًا للمواصفة القياسية IEC60156 باستخدام جهاز قياس توتر الانهيار (MEGGER OTS 60PB). يوضح الشكل (2) جهاز قياس توتر الانهيار.

يتم ذلك بحيث تؤخذ عينة من الزيت وتوضع في كوب خماسي الأبعاد بين إلكترودين داخل جهاز الفحص بينهما مسافة قياسية أيضا وبعد سكون حركة الزيت في الوعاء الفاحص يطبق على الكرتين الجهد الكهربائي تدريجيا بمعدل 2–5 Kv/sec مع ملاحظة القيم من خلال جهاز الفولتيميتر ويستمر رفع الجهد حتى إنهيار عزل الزيت وعندها تفصل الدارة الكهربائية تلقائيا ويسجل جهد انهيار العزل ويعاد الإختبار أكثر من مرة بعد تغيير الكوب ووضع كمية أخرى من الزيت المأخوذ من نفس العينة (العينة تكفي لعدة أكواب).

الشكل(2) جهاز قياس توتر الانهيار

حسب المعيارIEC6056 يجب أن يكون حجم الخلية بين 350 مل و600 مل كما هي موضحة في الشكل (3). يجب أن تكون الخلية مصنوعة من مواد عازلة كهربائيًا، وليست ماصة للرطوبة. يجب أن تكون الخلية شفافة وخاملة كيميائيًا، ومقاومة للسائل العازل ومادة التنظيف التي يجب استخدامها. يجب تزويد الخلية بغطاء ويجب تصميمها للسماح بإزالة الأقطاب الكهربائية بسهولة للتنظيف والصيانة. يجب تنظيف الحاويات والأغطية عن طريق الغسيل بمذيب مناسب أو سائل عازل نظيف لإزالة بقايا عينة سابقة. بعد التنظيف، يجب تغطية الحاويات على الفور وإبقائها مغلقة حتى يتم استخدامها مرة أخرى. يجب تخزين الأقطاب الكهربائية في سوائل عازلة نظيفة [18].



الشكل(3) خلية اختبار توتر الانهيار حسب المعيار IEC60156

2-3 التشعيع باستخدام أشعة غاما :

ان التشعيع بأشعة غاما يُعرَّف على أنه تأثير تدفق معين من أشعة جاما على حجم اختبار للهواء . ويتطلب قياسه أساسًا تحديد الشحنة بسبب التأين الناتج في الهواء في ظل ظروف معينة. ويتمثل جوهر التعريف أعلاه في الالتزام بتتبع كل إلكترون ثانوي ينشأ بواسطة تفاعلات أشعة جاما الأولية في حجم الاختبار ، وإضافة شحنات التأين التي يشكلها ذلك الإلكترون الثانوي حتى يصل إلى نهاية مساره. وغالبًا ما يكون تحقيق هذا الأمر صعبًا أو مستحيلًا في الاختبارات العملية . إن التعرض لأشعة جاما ، على الرغم من عدم ارتباطه بشكل مباشر بالظواهر الفيزيائية، غالبًا ما يكون موضع اهتمام في قياس جرعات أشعة جاما. لذلك، غالبًا ما يكون من المناسب أن نتمكن من حساب معدل التعرض على مسافة معروفة من مصدر نظائر مشعة نقطي. إذا افترضنا أن العائد لكل تفكك لأشعة إكس وأشعة جاما معروف بدقة للنظير المشع المطلوب، فيمكن التعبير عن التعرض لكل وحدة نشاط للمصدر على مسافة معروفة ببساطة في ظل الشروط التالية:

- المصدر صغير بدرجة كافية بحيث يظل الشكل الكروي ثابتًا (حيث d هي المسافة إلى المصدر).
- لا يحدث أي توهين لأشعة X أو أشعة γ في الهواء أو أي مادة أخرى بين المصدر ونقطة القياس.
- فقط الفوتونات التي تمر مباشرة من المصدر إلى نقطة القياس تساهم في التعرض، ويمكن إهمال أي أشعة جاما متناثرة في المواد المحيطة.

يتم حساب معدل التعريض كما يلي حسب المعادلة (1) :

$$X^* = \Gamma_\delta * \frac{\propto}{d^2} \qquad (1)$$

حيث:

X^* : معدل التعريض

Γ_δ : ثابت معدل التعريض و يعطى للCO^{60} $(13.2\frac{R.cm^2}{hr.mCi})$

$\propto$: النشاط الاشعاعي للمصدر

d : هي المسافة بين العينة و المنبع [19].

في دراستنا تم التشعيع في هيئة الطاقة الذرية السورية – قسم تكنولوجيا الاشعاع– محطة التشعيع روسية الصنع طراز (ROBO) باستخدام مصدر إشعاعي CO^{60} بنشاط إشعاعي 70 كيلوكوري .

شععت العينة بوضعها على بعد مسافة 10 سم من حامل المنبع عند معدل جرعة (8,9 كيلوغراي/ساعة) يوضح الشكل (4) العينة المدروسة ضمن محطة التشعيع.

يتالف حامل المنبع من أنابيب أسطوانية بقطر 12 مم و طول 1 م توضع ضمنها منابع الكوبالت المشعة بحيث يمكن اعتبار المنبع بشكل تقريبي على شكل مستطيل و بالتالي لا ينطبق عليه قانون حساب الجرعة الممتصة المذكور اعلاه لذلك تم استخدام الطريقة التجريبية لحساب معدل الجرعة الممتصة حيث تمت المعايرة باستخدام مقاييس جرعة كيميائية مثل كلورو البنزين الايتانولي والمعتمد بالمواصفة الدولية ISO/ASTM:51538.2017.

تـم وضـع العينـات بأكيـاس مـن البـولي ايتلـين محكمـة الاغـلاق حيـث أخـذت العينـة شـكل متـوازي المسـتطيلات (2*10*10 سم) عند درجة حرارة الغرفة و في الهواء عند معدل جرعة (8,9 كيلوغراي/ساعة). بجرعات متتالية على الشكل التالي (50, 100, 150 ,200, 250) KGray.

الشكل(4) العينة ضمن محطة التشعيع

النتائج والمناقشة:

- يبين الجدول (1) قيمة توتر الانهيار للعينة المدروسة قبل التشعيع (العينة الشاهد)

الجدول (1) توتر الانهيار قبل التشعيع

Gamma Dose/ KGray	BDV of studied sample/ Kv						
	V1	V2	V3	V4	V5	V	Standard Test
0	47	28	36	35	31	36	IEC60156

- يبين الجدول (2) قيمة توتر الانهيار للعينة المدروسة بعد تعريضها لأشعة غاما بجرعة تشعيع 50KGray

الجدول (2) توتر الانهيار عند الجرعة 50KGray

Gamma Dose/ KGray	BDV of studied sample/ Kv						
	V1	V2	V3	V4	V5	V	Standard Test
50	29	25	43	36	39	35	IEC60156

- يبين الجدول (3) قيمة توتر الانهيار للعينة المدروسة بعد تعريضها لأشعة غاما بجرعة تشعيع 100KGray.

الجدول (3) توتر الانهيار عند الجرعة 100KGray

Gamma Dose/ KGray	BDV of studied sample/ Kv						
	V1	V2	V3	V4	V5	V	Standard Test
100	32	31	32	35	33	33	IEC60156

- يبين الجدول (4) قيمة توتر الانهيار للعينة المدروسة بعد تعريضها لأشعة غاما بجرعة تشعيع 150KGray

الجدول (4) توتر الانهيار عند الجرعة 150KGray

Gamma Dose/ KGray	BDV of studied sample/ Kv						
	V1	V2	V3	V4	V5	V	Standard Test
150	15	28	25	31	41	28	IEC60156

- يبين الجدول (5) قيمة توتر الانهيار للعينة المدروسة بعد تعريضها لأشعة غاما بجرعة تشعيع 200KGray.

الجدول (5) توتر الانهيار عند الجرعة 200KGray

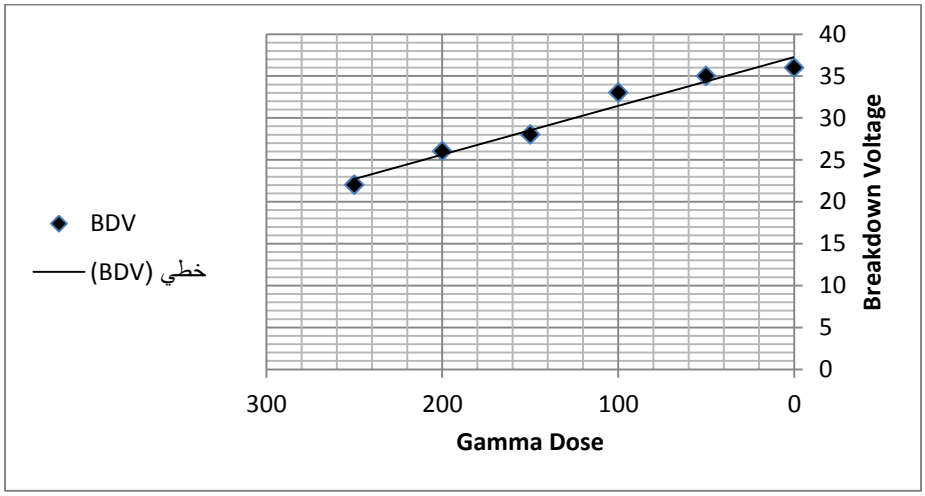
Gamma Dose/ KGray	BDV of studied sample/ Kv						
	V1	V2	V3	V4	V5	V	Standard Test
200	22	20	28	29	30	26	IEC60156

- يبين الجدول (6) قيمة توتر الانهيار للعينة المدروسة بعد تعريضها لأشعة غاما بجرعة تشعيع 250KGray.

الجدول (6) توتر الانهيار عند الجرعة 250KGray

Gamma Dose/ KGray	BDV of studied sample/ Kv						
	V1	V2	V3	V4	V5	V	Standard Test
250	22	23	14	15	33	22	IEC60156

كما يوضح الشكل (8) التغيرات الحاصلة على قيمة توتر الانهيار بزيادة جرعة التشعيع توتر انهيار العينة المدروسة.



الشكل(8) تغيرات قيمة توتر الانهيار مع الجرعات المطبقة

رياضيا تم استخدام منهجية الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لدراسة العلاقة بين توتر الانهيار و جرعات التشعيع وهو النموذج الذي يستخدم لتحليل العلاقة بين متغير واحد (المتغير التفسيري) ومتغير الاستجابة وتوقع القيم المستقبلية.

النموذج المقترح من خلال النتائج التجريبية هو :

$$\mathbf{Y = mX + b} \qquad (2)$$

حيث تمثل:

Y: العامل المدروس (المتغير التابع نتيجته غير محددة وتعتمد على قيم المتغير المستقل) .

m,b: معاملات النموذج.

X: جرعة التشعيع (المتغير المستقل يتم تحديده من قبل الباحث)

حيث يعبر Y عن العامل المتغير و هو توتر الانهيار و X عن العامل المستقل المتحكم به و هو جرعة التشعيع نلاحظ أن قيمة معامل الارتباط $\boldsymbol{R^2 = 0.9651}$ و هو ما يشير الى وجود ارتباط طردي قوي سلبي بين جرعة التشعيع و توتر الانهيار.

حيث كانت معادلة الانحدار الناتجة :

$$\mathbf{Y = -0.05583X + 37.286} \qquad (3)$$

تجريبيا في هذا البحث تم قياس توتر الانهيار للزيت المدروس قبل و بعد التشعيع بأشعة غاما وذلك وفقا للمعيار IEC60156 وفقا للشروط المعتمدة الذي وضع الحد الأدنى لقيمة توتر الانهيار 30 Kv والحد الأعلى 70 Kv من خلال النتائج المبينة اعلاه في الجدول (1)، كانت قيمة توتر الانهيار قبل التشعيع (العينة الشاهد) 36 KV .

الجرعة 50 KGray:

تم تعريض العينة المدروسة لجرعة 50 KGray حيث كانت مدة التشعيع المطلوبة لهذه الجرعة هي 5.61 hour انخفضت قيمة توتر الانهيار للزيت المدروس الى 35 Kv عن قيمتها قبل التشعيع أي بمعدل 1 kv لكن بالمقارنة مع المعيار المعتمد بقيت ضمن الحدود المقبولة Kv(70−30) مما يوضح أثر أشعة غاما على قيمة توتر الانهيار هند الجرعة المطبقة.

- **الجرعة 100 KGray:**

تم تعريض العينة المدروسة لجرعة 100 KGray حيث كانت مدة التشعيع المطلوبة لهذه الجرعة هي 11.23 hour انخفضت قيمة توتر الانهيار للزيت المدروس الى 33 Kv عن قيمتها قبل التشعيع أي بمعدل 3 Kv لكن بالمقارنة مع المعيار المعتمد بقيت ضمن الحدود المقبولة Kv(70−30) مما يوضح زيادة أثر أشعة غاما على قيمة توتر الانهيار هند الجرعة المطبقة.

- **الجرعة 150 KGray:**

تم تعريض العينة المدروسة لجرعة 150 KGray حيث كانت مدة التشعيع المطلوبة لهذه الجرعة هي 16.85 hour انخفضت و بشكل واضح قيمة توتر الانهيار للزيت المدروس الى 28 Kv عن قيمتها قبل التشعيع أي بمعدل 8 Kv بالمقارنة مع المعيار المعتمد لم تبق ضمن الحدود المقبولة Kv(70−30) مما يوضح زيادة أثر أشعة غاما على قيمة توتر الانهيار هند الجرعة المطبقة و تدهور حالة الزيت.

الجرعة 200 KGray:

تم تعريض العينة المدروسة لجرعة 200 KGray حيث كانت مدة التشعيع المطلوبة لهذه الجرعة هي 22.47 hour انخفضت و بشكل واضح قيمة توتر الانهيار للزيت المدروس الى 26 Kv عن قيمتها قبل التشعيع أي بمعدل 10 Kv بالمقارنة مع المعيار المعتمد لم تبق ضمن الحدود المقبولة Kv(70–30) مما يوضح زيادة أثر أشعة غاما على قيمة توتر الانهيار هند الجرعة المطبقة و تدهور حالة الزيت.

- **الجرعة 250 KGray:**

تم تعريض العينة المدروسة لجرعة 250 KGray حيث كانت مدة التشعيع المطلوبة لهذه الجرعة هي 28 hour انخفضت و بشكل واضح قيمة توتر الانهيار للزيت المدروس الى 22 Kv عن قيمتها قبل التشعيع أي بمعدل 14 Kv بالمقارنة مع المعيار المعتمد لم تبق ضمن الحدود المقبولة Kv(70–30) مما يوضح زيادة أثر أشعة غاما على قيمة توتر الانهيار هند الجرعة المطبقة و تدهور حالة الزيت.

نلاحظ أن قيمة توتر الانهيار بدأت بالانخفاض بشكل واضح عند الجرعة 150 KGray و هو ما يشير الى أن الجرعة المذكورة على العينة المدروسة في بحثنا هي الجرعة الحرجة التي بدأ عندها توتر الانهيار بالتدهور تدريجيا" وصولا" الى 22 Kv و هو ما لا يلبي القيم الواردة حسب المعيار المعتمد و يبين الأثر السلبي لزيادة جرعة اشعة غاما على قيمة توتر الانهيار للزيت المدروس .

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال التطابق بالنتائج التي وصلنا اليها رياضيا" و النموذج المطبق لدراسة العلاقة بين الجرعة المطبقة و قيمة توتر الانهيار(الانحدار الخطي البسيط) مع النتائج التجريبية التي تبين الانخفاض بزيادة جرعة أشعة غاما الأثر السلبي على متانة الزيوت العازلة بزيادة جرعة التشعيع بأشعة غاما.

يمكن تفسير ذلك إلى أن أشعة غاما ذات طاقة عالية قادرة على اختراق المواد وإحداث تغييرات في البنية الذرية. هذا يؤدي إلى تفكك جزيئات الزيت وتكوين جزيئات جديدة، يمكنها أن تتفاعل مع الجزيئات الأخرى في الزيت، مما يسبب تدهور التركيب الكيميائي للزيت ، أيضا نتيجة لتفاعلات الإشعاع، قد تتكون مواد غير مرغوب فيها أو شوائب داخل الزيت مع زيادة الجرعة يزداد تراكم تلك الشوائب مما يزيد من تدهور أداءه كعازل. و هو ما يفسر انخفاض قيمة توتر الانهيار من 36KV الى 22Kv .

ومن خلال نتائج هذا البحث يوصى بما يلي:

1- البحث في تطوير زيوت عازلة جديدة تتمتع بمقاومة أعلى لأشعة غاما، وذلك من خلال إضافة مواد مضافة أو استخدام التقنيات الحديثة.

2- تنفيذ تدابير الحماية من الإشعاع لحماية التجهيزات الكهربائية في المواقع ذات المستويات العالية من الإشعاع جاما كالمحطات النووية و غيرها.

3- ينصح بإنشاء برامج مراقبة دورية لتقييم حالة الزيوت العازلة التجهيزات الكهربائية، خاصة تلك التي تتعرض لأشعة غاما.

4-العمل على استخدام التقنيات الحديثة مثل تقنية التحليل بمطيافية الاشعة تحت الحمراء للتعرف بدقة على التغيرات الحاصلة نتيجة التشعيع على البنية الكيمائية للزيت العازل .

References:

[1] Z. I. Iskenderovaa, and M. A. Kurbanova .Changes in Performance Characteristics of Transformer Oil by the Action of Ionizing Radiation. J. High Energy Chemistry. 2019 Jun ; 53(6) : 454-458.

[2] Z. I. Iskenderovaa .Changes in Performance Characteristics of Transformer Oil by the Action of Ionizing Radiation. JO - Problems of Atomic Science and Technology. 2019 Oct ; 5 (123) : 191-195.

[3] S. Korenev. High Voltage Breakdown of Irradiated Transformer Oil. In: 28 IEEE International Power Modulators and High-Voltage Conference; 2008 May 27-31; Las Vegas, NV, USA:IEEE, pp. 45-48, doi: 10.1109/IPMC.2008.4743572.

[4**]** N. Tajima and K. Horioka. Electrical Breakdown Strength of Gamma-Irradiated Transformer Oils. Jpn. J. Appl. Phys. 2009 Mar ; 48 037002.

[5] Kunicki, M.; Cichon, A.; Borucki, S. Measurements on partial discharge in on-site operating power transformer: A case study. IET Gener. Transm. Distrib. 2018 May ; 12(10): 2487–2495.

[6] Florkowski, M.; Kuniewski, M.; Zydro´ n, P. Measurements and Analysis of Partial Discharges at HVDC Voltage with AC Components. Energies 2022 Mar; 15 (7): 2510.

[7] Rao, U.M.; Fofana, I.; Jaya, T.; Rodriguez-Celis, E.M.; Jalbert, J.; Picher, P. Alternative Dielectric Fluids for Transformer Insulation System: Progress, Challenges, and Future Prospects. IEEE Access. 2019 Dec ; 7 (1): 1–20.

[8] Shen, Z.; Wang, F.; Wang, Z.; Li, J. A critical review of plant-based insulating fluids for transformer: 30 years of development. Renew. Sustain. Energy Rev. 2021 Feb; 141(2): 110783.

[9] Fofana, I. 50 years of development of insulating liquids. IEEE Electr. Insul. Mag. 2013 Oct; 29(5): 13–25.

[10] Mahanta, D.K.; Laskar, S. Electrical insulating liquid: A review. J. Adv. Dielectr. 2017 Jul ; 7 (4): 1730001-1–1730001-9.

[11] IEC 60422. Mineral insulating oils in electrical equipment - Supervision and maintenance guidance. 4th ed. International Electrotechnical Commission; 2013 Jan.

[12] Harun MH, Othman N, Mohamed M, Alias MS, Nor K, Umar K, Abd Rahman MF. Influence of Gamma Irradiation on The Electrical Conductivity and Dielectric Properties of Polypyrrole Conducting Polymer Composite Films. Int. J. Nanoelectron. Mater. 2019 Oct ; 12(4) : 467-476.

[13] Sandle T, Saghee MR. Some considerations for the implementation of disposable technology and single-use systems in biopharmaceuticals. J. of Commercial Biotech. 2011 Oct ; 17(4): 319-329.

[14] Mahapatra AK, Muthukumarappan K, Julson JL. Applications of ozone, bacteriocins and irradiation in food processing: a review. Crit Rev Food Sci Nutr. 2005 Feb; 45(6): 447-61.

[15] Alsharef S, Alanazi M, Alharthi F, Qandil D, Qushawy M. Review about radiopharmaceuticals: preparation, radioactivity, and applications. Int J App Pharm. 2020 May; 12(3): 8-15 .

[16] Gherdaoui CE, Chakib A, Oumeddour H, Bouchikhi N, el Aissaoui el Meliani A, Aldoori H, et al. Advanced treatment of transformer mineral oils contaminated with aroclor mixtures using a combined UV–Visible irradiation and adsorption method: Effects of temperature and oil color according to ASTM D1500. Chemical Engineering Journal. 2024 Oct ; 497, 154614.

[17] Qwasmeh, A.A.; Saleh, B.A.A.; Al-Tweissi, M.; Tarawneh, M.A.; Elimat, Z.M.; Alzubi, R.I.; Juwhari, H.K. Effects of Gamma Irradiation on Optical Properties of Poly (ethylene oxide) Thin Films Doped with Potassium Iodide. J. Compos. Sci. 2023, *7*(5): 194.
[18] IEC 60156. Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method. 3rd ed. Geneva: International Electrotechnical Commission; 2013 Aug.
[19] Nall.G.F, "Measurement and detection of radiation".3rd edition. U.S.A: John Wiley & Sons Inc;2000. Chapter 2 ,Radiation Int.