

عد الآثار النووية على سطح الكواشف البلاستيكية CR-39 باستعمال مادة وماضة

رغده قصاص¹ د. حمود العربي² د. رياض شويكاني³

¹ قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة دمشق

² قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرية - دمشق - سوريا

الملخص

تم في هذا البحث اختبار طريقة مطوّرة لعد الآثار النووية على سطح الكواشف البلاستيكية CR-39 باستعمال المادة الوماضة ZnO حيث تم اختبار عدة طرق لطلي أكسيد الزنك على سطح الكواشف البلاستيكية، كما تم اختبار التكرارية واختبار ثباتية استجابة ZnO عند تعريض الكواشف البلاستيكية لمصدر ألفا (أمريشيوم-241)، وتم التحقق من خطية استجابة ZnO مع زمن التعريض، وقورنت هذه الطريقة المقترحة مع الطريقة المجهريّة التقليدية المتبعة.

بينت النتائج أن استجابة ZnO كانت خطية مع زمن التعريض، وكان الارتياح في اختبار التكرارية نحو 10%. ويمكن أن نستنتج من خلال هذه النتائج أن هذه الطريقة المقترحة يمكن اعتبارها واعدة لعد آثار جسيمات ألفا على سطح الكواشف البلاستيكية.

الكلمات المفتاحية: كاشف بلاستيكي، ومضان، أكسيد الزنك، جسيمات ألفا.

تاريخ الإيداع: 2022/05/22
تاريخ الموافقة: 2022/08/10



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

The use of scintillation material for counting the nuclear tracks on plastic detectors

Raghda Qassas¹ Dr. Hammoud Al –Ourabi²
Dr. Riad Shweikani³

¹Dep. Of Physics, Damascus University, Syria

² Dep. Of Protection and safety, Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, syria

Abstract

In this research, an advanced method was tested for counting nuclear traces on the surface of CR-39 plastic detectors using the ZnO scintillator. several methods were tested for coating zinc oxide on the surface of plastic detectors, and the repeatability and stability of the ZnO response were tested when exposing the plastic detectors to an alpha source Am-241 , the linearity of ZnO response with exposure time was verified and compared with the traditional microscopic method for counting alpha tracks on the detectors. The obtained results showed that the response of ZnO was linear with exposure time, and the uncertainty of the repeatability test was around 10%, it could be concluded from these results that the proposed method could be considered as a promising for counting traces of alpha particles on the surface of plastic detectors.

Received :2022/05/22

Accepted:2022/08/10



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

Key words: Plastic Detectors, Scintillation, Zinc Oxide, Alpha Particles.

1. مقدمة:

تعد الكواشف البلاستيكية CR-39 من أهم أنواع كواشف الأثر النووي^{1,2} (Solid State Nuclear Track Detectors (SSNTD) وهي كواشف بوليميرية صيغتها الجزيئية³ (C₁₂ H₁₈ O₇) تتمتع هذه الكواشف بشفافية ضوئية ونقاوة عاليتين، فضلاً عن تجانس مادتها كما تتمتع بحساسية عالية للجسيمات المشحونة فهي قادرة على تسجيل آثار البروتونات⁴ وجسيمات ألفا بطاقات أعلى بقليل من الصفر وحتى 60MeV.

عند سقوط الجسيم الثقيل المشحون على سطح الكاشف يترك أثراً كامناً في مادة الكاشف، فمثلاً يترك جسيم ألفا بطاقة 1.5 MeV أثراً من مرتبة⁵ 9µm، يحتاج تطوير هذه الآثار إلى حك كيميائي باستعمال هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) أو هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) حيث يقوم المحلول الكيميائي بحك الآثار الكامنة بسرعة أكبر من السرعة التي يقوم بها بحك سطح الكاشف لتصبح هذه الآثار الكامنة مرئية بمساعدة المجهر الضوئي⁶ ليتم عد وحساب تركيز هذه الآثار في وحدة المساحة.

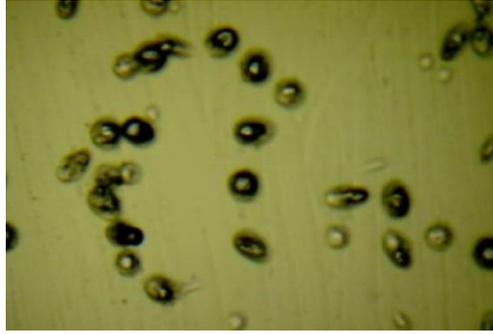
تحتاج عملية عد الآثار النووية المتشكلة على سطح الكواشف البلاستيكية باستعمال المجهر الضوئي لزمان وجهد كبيرين بالإضافة لاحتمالية الخطأ الكبير أثناء العد مع وجود صعوبة كبيرة أحياناً في التمييز بين الآثار، وهي عملية تأخذ جهد كبير.

أشارت بعض الدراسات السابقة إلى إمكانية استعمال المواد الوماضة في عد الآثار على الكواشف البلاستيكية، حيث تمت الاستفادة من الخواص الومضانية لمادة ZnS(Ag) لعد الآثار النووية على سطح الكواشف البلاستيكية CR-39، واستعملت الزيوت وموانع التجمد لطلي ZnS(Ag) على الكواشف البلاستيكية، ولوحظت الاستجابة الخطية بين كثافة آثار جسيمات ألفا بطاقات مختلفة مع أزمنة حك مختلفة، بينت الدراسة وجود مشكلة في ثابتيّة المادة الوماضة ضمن الثقوب تعزى بشكل أساسي لاستعمال الزيوت في عملية الطلي⁷.

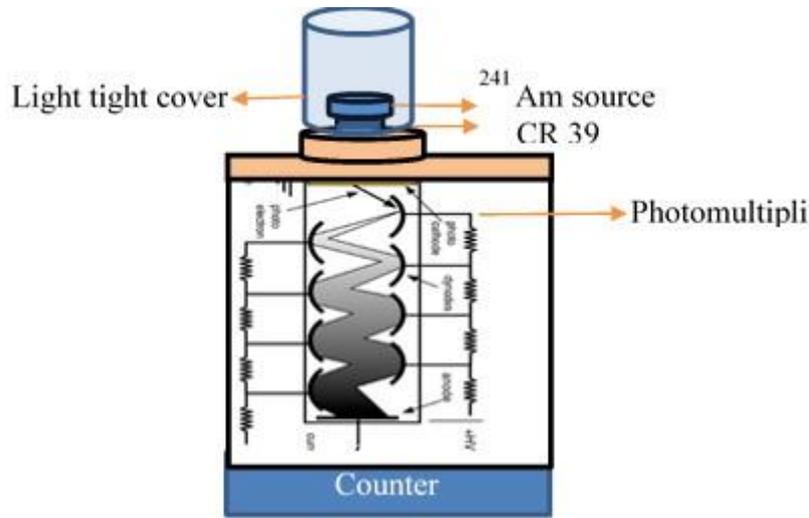
كما أكدت النتائج إمكانية الاستفادة من خصائص ZnO الومضانية في الكشف عن جسيمات ألفا، حيث أبدى أكسيد الزنك استجابة خطية مع زمن التعريض، وامتلك مقاومة إشعاعية عالية، وبينت النتائج أن ZnS(Ag) أكثر حساسية من ZnO بسبب إجرائية تحضيره، بالمقابل، فإن ZnO متوفر بشكل أكبر وتحضيره أسهل وأرخص بكثير⁸.

يعد أكسيد الزنك من أنصاف النواقل من النمط n يملك فجوة طاقة واسعة قدرها 3.2eV (حوالي 387 نانومتر) وطاقة ارتباط عالية تبلغ 60meV عند درجة حرارة 300 كلفن وهو ذو نفاذية عالية للضوء المرئي يملك خواص ومضانية عالية ترتبط بتركيبته البلورية والالكترونية حيث تتأثر بطريقة تحضيره وإشابته كما أن لأكسيد الزنك كفاءة عالية في كشف جسيمات ألفا^{9,10,11}.

يهدف البحث إلى التحقق من إمكانية عد الآثار النووية على سطح الكواشف البلاستيكية باستعمال المادة الوماضة ZnO وفق إجراءات مبسطة. حيث تتلخص فكرة العمل باستبدال عملية عد آثار جسيمات ألفا على سطح الكاشف البلاستيكي التقليدي بالمجهر الضوئي (كما يوضح الشكل (1))، بالعد الآلي عن طريق الومضات الصادرة عن مادة وماضة مثل أكسيد الزنك ZnO حيث يتم ملء الحفر الناتجة عن جسيمات ألفا (بعد تطويرها كيميائياً) بالمادة الوماضة، ثم يوضع منبع مصدر لألفا فوق الكاشف المعالج، لتفاعل جسيمات ألفا مع المادة الوماضة وتصدر ومضات ضوئية يتم تعدادها بواسطة مضاعف فوتوني، حيث يتناسب عدد الومضات مع كمية المادة الوماضة، وبالتالي عدد الآثار (كما يوضح الشكل (2)).



الشكل (1) يبين آثار جسيمات ألفا الصادرة عن منبع أمريشيوم-241 (بعد تطويرها كيميائياً) على سطح الكاشف البلاستيكي باستعمال المجهر الضوئي.



الشكل (2) مبدأ عمل طريقة العد الآلي باستعمال المضاعف الفوتوني لآثار جسيمات ألفا الصادرة عن منبع الأمريشيوم-241 على سطح الكاشف البلاستيكي وذلك بعد تطويرها كيميائياً وملئها بأكسيد الزنك كمادة وماضة⁸.

2. المواد والأدوات المستعملة:

1. كواشف CR-39: وهو على شكل شرائح مستطيلة الشكل أبعادها $(40 \times 30) \text{cm}^2$ وسماكة بحدود $500 \mu\text{m}$ وبكثافة 1.32g/cm^3 من إنتاج شركة Pershore البريطانية جرى قصها (بأبعاد $1.5 \times 1.3 \text{cm}^2$) وترميزها باستعمال جهاز حفر ليزري.
2. حمام مائي تم تصنيعه محلياً يتسع لـ 16 Liter ماء. يوضع محلول الحك ضمن وعاء زجاجي Beaker داخل الماء بحيث يكتسب درجة حرارة ثابتة من خلال عملية التبادل الحراري مع الماء.
3. أكسيد الزنك ZnO (99.5% من Honeywell Riedel-de Haën®)، هيدروكسيد الصوديوم NaOH ، ماء مقطر، مذيب عضوي (اسيتون).
4. مجهر ضوئي مرتبط بكاميرا تصوير على الحاسب.
5. نظام العد النووي (AB-5) المصنع من قبل شركة بايلون الكترونيكس.
6. هزازة بالأمواج فوق الصوتية.
7. منابع جسيمات ألفا Am-241 مختلفة النشاطية.

3. طريقة العمل:

من أجل التحقق من صلاحية هذه الطريقة لعد آثار جسيمات ألفا المتشكلة على الكاشف نتيجة التعرض المباشر لمنبع صناعي من الأمريشيوم-241، تم اختيار الاسيتون مع الماء المقطر كمذيب عضوي جيد لعملية الطلي من حيث الحفاظ على خواص أكسيد

الزنك وتجانس الخليط وفترة جفافه المناسبة لعملية الطلي وعدم تفاعله مع الكاشف البلاستيكي وعدم وجود تأثير سلبي له على شفافية الكاشف وذلك بعد اختبار عدة مذيبات عضوية لم تحقق الشروط المرجوة، حيث استعمال هذا المذيب العضوي لعملية طلي أكسيد الزنك على سطح الكاشف البلاستيكي من أجل ملء آثار جسيمات ألفا بالمادة الوماضة وثباتها، وتم اعتماد هذا الخليط في جميع الاختبارات اللاحقة لتحقيقه الشروط الملائمة وأجريت الاختبارات التالية:

3.1 اختبار طرائق الطلي:

جرى اختبار عدة طرائق لطلي المحلول المعلق من أكسيد الزنك على سطح الكاشف البلاستيكي (طلي يدوي، بخ باستعمال الهواء العادي، بخ باستعمال غاز حامل N_2):

- الطلي اليدوي:

تم خلط 0.5g من أكسيد الزنك مع 2mL من الاسيتون، و50mL من الماء المقطر لتشكيل خليط متجانس، تم طليه بشكل يدوي على سطح الكاشف البلاستيكي وتركه ليحفظ لمدة 3min ومن ثم تم مسح السطح باليد، كما تم التأكد من وجود الأكسيد ضمن الثقوب الناتجة عن جسيمات ألفا فقط وعدم وجوده على سطح الكاشف باستعمال المجهر الضوئي بعد ذلك تم قراءة الكاشف باستعمال نظام العد النووي AB-5 باستعمال منبع معياري Am-241 ذي نشاطية إشعاعية 120KBq.

- طريقة البخ بالهواء العادي:

جرى اختبار لطلي الأكسيد باستعمال طريقة البخ حيث تم تحضير محلول معلق من أكسيد الزنك حوالي 0.5g من ZnO، 50mL اسيتون، و10mL ماء مقطر. وضع المحلول في جهاز الأمواج فوق الصوتية لإتمام عملية التجانس لمدة 5min ثم رش طبقة من المحلول على سطح الكاشف البلاستيكي.

- طريقة البخ باستعمال الغاز الحامل (N_2):

أعيدت طريقة بخ المحلول المعلق السابق باستعمال غاز حامل (N_2) حيث رش طبقة من المحلول على سطح الكاشف وتم التجفيف باستعمال مجفف ثم رش طبقة ثانية من المحلول وتم التجفيف باستعمال نفس المجفف بعد ذلك ترك الكاشف لمدة 2min مسح السطح باليد وتم التحقق من وجود الأكسيد في الثقوب وعدم وجوده على سطح الكاشف باستعمال المجهر الضوئي وتم قراءة الكاشف على جهاز AB-5.

تم اعتماد طريقة الطلي اليدوي في جميع الاختبارات اللاحقة.

3.2 اختبار التكرارية:

جرى دراسة الومضان الصادر عن عدة كواشف عُوملت بالشروط نفسها من حيث (زمن التعريض، منبع التعريض، بعد المنبع عن الكاشف، شروط الحك من حيث تركيز المحلول ودرجة حرارته وزمن الحك، المنبع المعياري، وطلاء المادة الوماضة ZnO). فقد جرى تعريض الكواشف البلاستيكية لمنبع الأمريشيوم-241 بنشاط 113.2 Bq لمدة تسع دقائق بحيث يبعد المنبع عن الكاشف مسافة 7mm، ثم تم حك الكواشف البلاستيكية حكاً كيميائياً بشروط الحك نفسها ($70^\circ C$ ، 7h، 6.25N NaOH)، تم إحصاء الآثار باستعمال المجهر الضوئي، ثم تم طلي الكواشف البلاستيكية بأكسيد الزنك بطريقة الطلي اليدوي المبينة أعلاه.

3.3 اختبار ثباتية استجابة ZnO (تسجيل التائق الناتج):

جرى اختبار تغيير قراءة الكاشف في حال تكرار عملية عد الكاشف حيث جرى عد الكاشف لأكثر من 60 مرة ولمدة دقيقة واحدة في كل مرة.

3.4 اختبار خطية استجابة ZnO مع زمن التعريض لمنبع Am-241 بنشاطية إشعاعية 113.2 Bq:

درست استجابة زمن التعريض بتعريض 20 كاشف بلاستيكي للمنبع المستعمل نفسه في اختبار التكرارية لأزمنة تعريض مختلفة من 1 دقيقة وحتى 15 دقيقة (مكررين لكل قياس)، تم حك الكواشف كيميائياً بشروط الحك المستعملة نفسها في اختبار التكرارية، ثم تم إحصاء الآثار باستعمال المجهر، وتم طلي الكواشف السابقة بأكسيد الزنك وتسجيل القراءات باستعمال الطريقة المعتمدة

سابقاً. وتم اختبار العلاقة بين استجابة الومضان للكواشف وزمن التعريض، وقورنت هذه الطريقة المقترحة مع الطريقة المجهرية التقليدية المتبعة.

3.5 اختبار تأثير زمن الحفظ على دقة نتائج التعداد:

دُرس تأثير زمن حفظ الكواشف البلاستيكية السابقة على دقة نتائج التعداد حيث تم إعادة تسجيل القراءات باستعمال الطريقة المعتمدة سابقاً بعد أسبوع من تاريخ الاختبار السابق وتم المقارنة بينها.

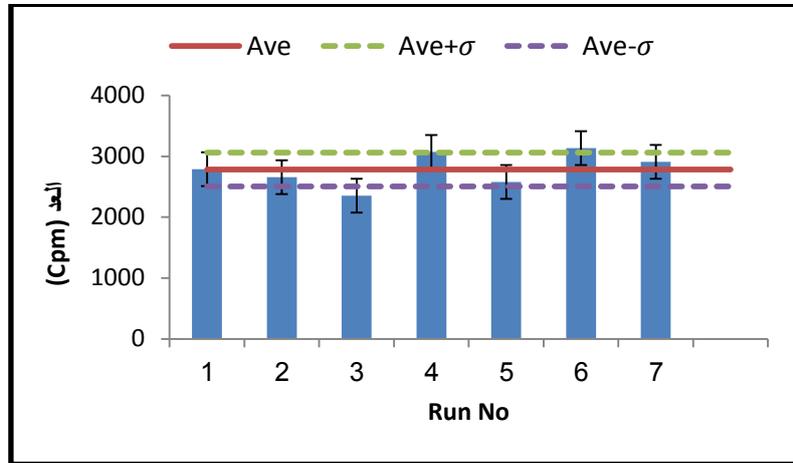
4. النتائج والمناقشة:

4.1 اختبار طرائق الطلي:

بعد تحديد الخليط الأمثل من أكسيد الزنك مع الماء المقطر والاسيتون تم اختبار عدة طرائق لطلي المحلول المعلق من الأكسيد على سطح الكواشف البلاستيكية (طلي يدوي، بخ بالهواء العادي، بخ باستعمال غاز حامل (N₂))، لم تتجح عملية البخ بالهواء العادي بسبب توضع المحلول على شكل قطرات كبيرة توزعت على سطح الكاشف، كما لم تستخدم طريقة البخ باستعمال الغاز الحامل (N₂) في الطلي بسبب الحاجة لبخ أكثر من طبقة من الأكسيد على سطح الكاشف والتجفيف في كل مرة باستعمال المجفف مما يسبب عدم تجانس في الطلي واختلاف في سماكة الطلاء على الكواشف، لذلك تم اعتماد طريقة الطلي اليدوي لسهولة تطبيقها حيث أعطت تجانس وتوزع جيد ضمن الآثار المتشكلة على الكاشف.

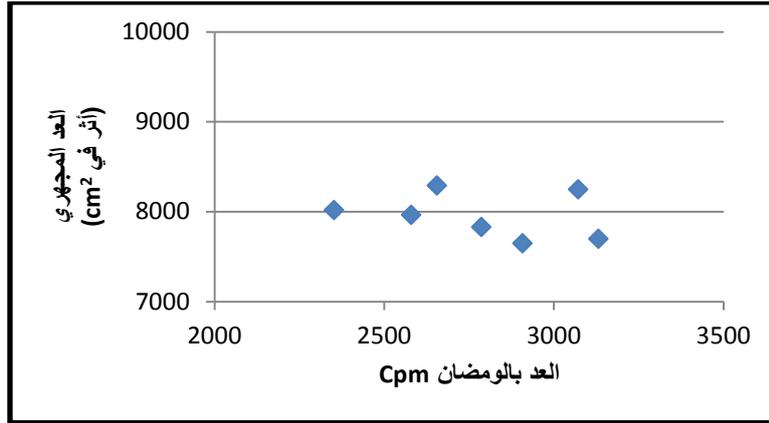
4.2 اختبار التكرارية:

يبين الشكل (3) الومضان الصادر عن كواشف عُمِلت بالشروط نفسها، ويظهر من الشكل وجود تقارب في قيم العد للكواشف البلاستيكية بارتياح نسبي وقدره 10% وحسب المواصفة [12] فإنه يمكن قبول ارتياح نسبي حتى 15% بالنسبة لمصدرات ألفا.



الشكل (3) اختبار التكرارية لطريقة طلي الكاشف البلاستيكي بمادة ZnO.

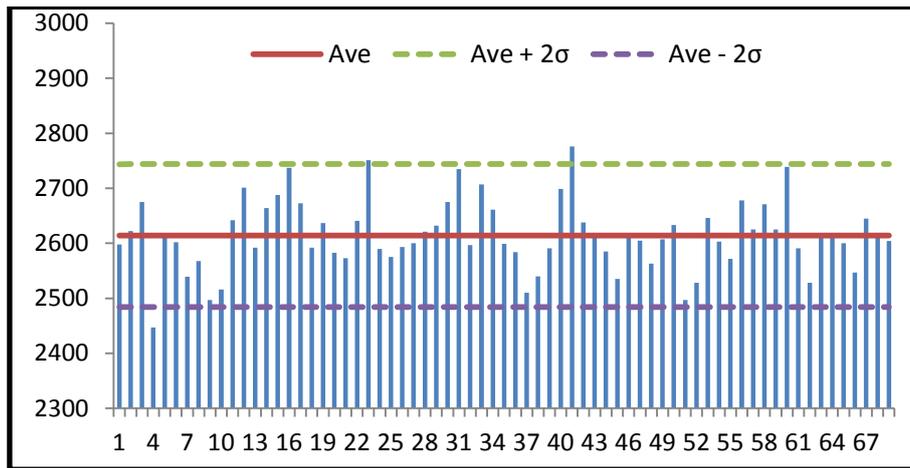
كما دلّت النتائج على وجود ترابط بين الطريقتين المجهرية التقليدية والطريقة المتبعة في هذا البحث كما يوضح الشكل (4) الذي يبين العلاقة بين الطريقتين للكواشف السبع المعاملة بالشروط نفسها، مما يدل على أن هذه الطريقة تعطي نتائج موافقة للطريقة التقليدية بجهد أقل وبسرعة أكبر.



الشكل (4) العلاقة بين العد المجهرى والعد بطريقة الومضان المتبعة في هذا البحث.

4.3 اختبار ثباتية استجابة ZnO (تسجيل التآلق الناتج):

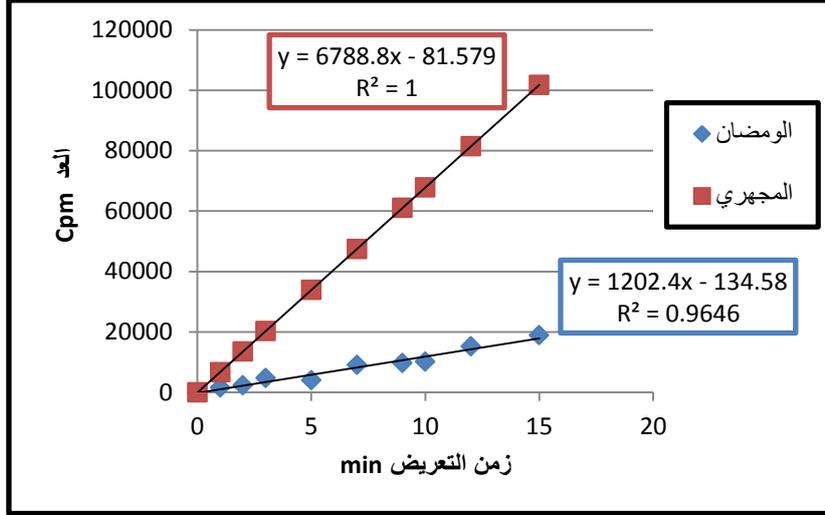
يبين الشكل (5) تكرار عملية عد الكاشف لأكثر من 60 مرة ولمدة دقيقة واحدة في كل مرة، حيث يوضح الشكل ثباتية جيدة في القراءات بارتياح نسبي وقدره 2%، فيمكن الاكتفاء بقراءة واحدة أو اثنتين للكاشف المراد دراسته في الطريقة الومضانية المتبعة في هذا البحث.



الشكل (5) اختبار ثباتية استجابة ZnO

4.4 اختبار خطية استجابة ZnO مع زمن التعريض:

أظهرت العدات المحصاة بالطريقة المجهرية التقليدية والمقاسة بالطريقة الومضانية المتبعة في هذا البحث من أجل أزمنة تعريض مختلفة تتراوح من دقيقة وحتى 15 دقيقة خطية جيدة لكلا الطريقتين بمعامل ترابط $R^2=1$ من أجل الطريقة المجهرية، و $R^2=0.9646$ من أجل الطريقة الومضانية كما يوضح الشكل (6)، من الواضح أن خطية الطريقة المجهرية أفضل من خطية الطريقة الومضانية المتبعة، كما يوضح الشكل أن حساسية الطريقة المجهرية أفضل من حساسية الطريقة المقترحة وهي حالياً في طور إدخال تحسينات عليها لكي تعطي استجابة أعلى، على كل حال، فإن الطريقة الومضانية أسهل وأسرع تطبيقاً وذات خطية جيدة.



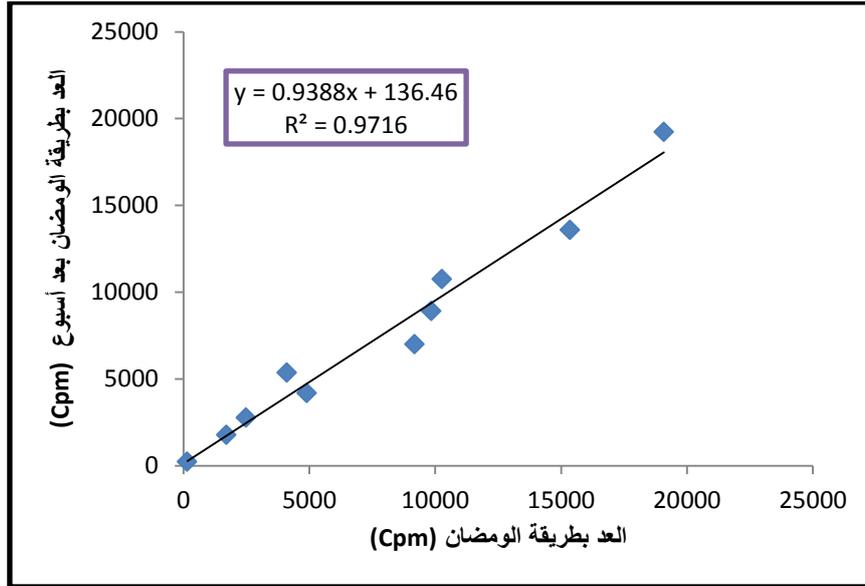
الشكل (6) استجابة كل من الطريقة المجهرية والطريقة الومضانية بدلالة زمن التعريض

4.5 اختبار تأثير زمن الحفظ على دقة نتائج التعداد:

يوضح الجدول (1) نتائج تأثير زمن حفظ الكواشف البلاستيكية على دقة نتائج التعداد حيث تمت إعادة تسجيل القراءات باستعمال الطريقة المعتمدة سابقاً بعد أسبوع من تاريخ الاختبار السابق وتم المقارنة بينها. يوضح الشكل (7) القيم المتقاربة بالتعداد باختلافات لا تتجاوز 10% مما يدل على إمكانية حفظ الكواشف وإعادة التعداد في أي وقت.

الجدول (1) تأثير زمن الحفظ على دقة التعداد.

النسبة	عد الكواشف بعد أسبوع (cpm)	عد الكواشف بطريقة الومضان (cpm)	زمن التعريض (min)
0.66	226	149	0
0.96	1771	1707	1
0.90	2768	2486	2
1.17	4187	4904	3
0.77	5357	4115	5
1.31	6993	9181	7
1.11	8903	9848	9
0.96	10742	10270	10
1.13	13582	15358	12
0.99	19217	19079	15



الشكل (7) تأثير زمن الحفظ على دقة التعداد

5. الاستنتاجات والتوصيات:

تم اختيار الاسيتون مع الماء المقطر كمذيب عضوي مناسب لعملية طلي أكسيد الزنك على سطح الكاشف البلاستيكي وتم اعتماد هذا الخليط في عملية الطلي، كما تم اعتماد طريقة الطلي اليدوية لطلي الخليط السابق على سطح الكواشف البلاستيكية المعرضة لمصدر ألفا (أمريشيوم-241)، وجد الارتياح في التكرارية ضمن $\pm 10\%$. كما أظهرت النتائج استجابة خطية جيدة لأكسيد الزنك مع زمن التعريض. بالإضافة إلى ذلك فإن خطية الطريقة المجهرية أفضل من خطية الطريقة الومضانية المقترحة، على كل حال، فإن الطريقة الومضانية أسهل وأسرع تطبيقاً وذات خطية جيدة وهي قيد التقييم. بناءً على ذلك، يظهر أن الطريقة المقترحة لطلي ZnO على سطح الكواشف البلاستيكية طريقة واحدة لعد الآثار الناتجة عن جسيمات ألفا على سطح الكواشف البلاستيكية. كما يُوصى بتعميم الدراسة لتشمل اختبار الطريقة المقترحة على كواشف بلاستيكية معرضة لغاز الرادون في دراسات لاحقة حيث تم اجراء هذا البحث على كواشف معرضة لمصدر ألفا (أمريشيوم-241).

معلومات التمويل :

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

6. المراجع:

1. Durrani S. A , Bull R. K (1987), "Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Methods and Applications", Pergamon Press, Oxford.
2. FLEISHER R. L, PRICE P. B, WALKER R.M (1975), "Nuclear Tracks in Soils: Principles and Applications". Published by: University of California Press, 1st edition, Los Angeles, 605.
3. Rana M. A (2018), "CR-39 nuclear track detector: An experimental guide", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 910:121-126.
4. Jeong T. W, Singh P. K, Scullion C, Ahmed H, Hadjisolomou P, Jeon C, et al (2017), "CR-39 track detector for multi-MeV ion spectroscopy", scientific reports, 7:2152.
5. El Ghazaly M, Hassan Nabil M (2018), "Characterization of saturation of CR-39 detector at high alpha-particle fluence", Nuclear Engineering and Technology, 50:432-438.
6. Nikezic D, Yu K. N (2004), "Formation and growth of tracks in nuclear track materials", Mater. Sci. Eng. R 46, 51-123.
7. Djefal S, Cherouati D.E , Abdoun N , Durrani S.A (1988), "Recent Progress On the Scintillator-Filled Etch-Pit Method Of Track Counting", Nucl. Tracks Radiat. Meas, 15:95-98.
8. Shweikani R, Ismail A, Jerby B (2017), " Preliminary study on the properties of zinc oxide (ZnO) for alpha particles detection", International Journal of Radiation Research, 15; 301-306.
9. Lee SK, KANG SY, Jang DY, LEE CH, Kang SM, Kang BH, et al. (2011), "Comparison of New Simple Methods in Fabricating ZnS(Ag) Scintillators for Detecting Alpha Particles", Progress in Nuclear Science and Technology, 1:194-7.
10. Karali T, Can N, Valberg L, Stepanov AL, Townsend PD, Buchal C, et al. (2005), "Optical properties and luminescence of metallic nanoclusters in ZnO:Cu". Physica B: Condensed Matter, 363:88-95.
11. Lim, S.Y, Brahm, S, Liu, C. P, Wang, R. C, Huang, J. L, (2013), "Effect of indium concentration on luminescence and electrical properties of indium doped ZnO nanowires", Thin Solid Films 549, 165-171.
12. Mcerts, performance standard for Organisations undertaking radioanalytical testing of environmental and waste waters, may 2012, version 1.