

تأثير الخزن على ظروف القشط المثلى لكاشف الأثر النووي CR-39

هناء احسان حسن ربيع بهنام خضر

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

القبول

٢٠١٠ / ١١ / ٠٣

الاستلام

٢٠١٠ / ٠٦ / ٢٧

Abstract

The effect of store for along time away from the optimum store condition for solid state nuclear track detector CR-39 was studied in this work, after irradiated by α - particles emitted from $^{241}\text{Am}(1\mu\text{Ci})$ source with 3.5 MeV energy for 3min. The detector pieces were etched in 4N-6.25N aqueous solution of NaOH maintained at temperature 70 C° for various times from 0.75 hr – 6 hr. The results showed that the optimum condition was 5 N for aqueous solution and 3 hr for etching time at temperature 70 C° . The bulk etch rate V_B and track etch rate V_T and efficiency, sensitivity and the critical angle were calculated.

الخلاصة

يتضمن البحث دراسة تأثير الخزن ولفترة زمنية طويلة بعيدا عن ظروف ال خزن المثلى لكاشف الأثر النووي CR-39 إذ تم تقطيع الكاشف وتعريضه إلى جسيمات ألفا المنبعثة من مصدر الأمريشيوم ^{241}Am ذو فعالية $1\mu\text{Ci}$ وبطاقة 3.5MeV وبواقع 3min ومن ثم قشط الكاشف بمحلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وبدرجة حرارة 70C° وبتراكيز مختلفة تراوحت بين 4N – 6.25N بهدف أظهار اثار جسيمات ألفا إذ تراوح زمن القشط بين 0.75hr- 6hr. تبين أن ظروف القشط المثلى للكاشف هي 5N تركيز المحلول القاشط ويزمن القشط 3hr وبالدرجة الحرارية 70C° وبلقالي تم حساب سرعة القشط العام (V_B) وسرعة القشط على طول الأثر (V_T) وكذلك الحساسية (S) وكفاءة الكاشف (η) وزاوية السقوط الحرجة (θ_c).

المقدمة

استخدمت كواشف الأثر النووي في الآونة الأخيرة في شتى المجالات لما لها من خصائص تميزت بها عن الكواشف النووية الأخرى إذ استخدمت في مجالات تطبيقية متعددة منها الفيزياء النووية وفيزياء الفلك وعلم الأرض وغيرها من المجالات ، ومن أهم مميزاتها دقة قياسها ومرونتها العالية وعدم حاجتها لمصدر طاقة وحساسيتها وكفاءتها العاليتين (١). للعوامل البيئية تأثير على هذه الكواشف بصورة عامة منها العوامل الفيزيائية وتشمل درجة الحرارة العالية والإشعاعات الكهرومغناطيسية والمجالات الكهربائية والايونات الساقطة وغيرها أما العوامل الكيميائية فتشمل درجة حرارة المحلول القاشط وتركيزه ونوعيته ونوع المواد المضافة إليه بالإضافة لوجود الأوكسجين أو عدمه والرطوبة وظروف الخزن وغيرها من العوامل . أن لهذه العوامل مجتمعة دور كبير وفعال في تحديد القيم الحقيقية لتأثيرات الأشعة الجسيمية الساقطة على الكاشف ويمكن للكاشف أن يتعرض إلى احد هذه العوامل أو أكثر من عامل مما يؤدي إلى تغيرات فيزيائية وكيميائية في مادة الكاشف (٢). وأن كواشف الأثر النووي لها القابلية على خزن تأثير الإشعاع المؤين على شكل تلف في تركيبها الداخلي (٣) وبالإمكان الكشف عن التلف باستخدام محاليل كيميائية مناسبة والتي تهاجم المناطق التالفة أسرع من مهاجمتها للمناطق السليمة وبذلك يمكن أظهار الأثر الذي تحدثه الجسيمات الساقطة على شكل مسارات بوضوح باستخدام المجهر الضوئي (٤).

اثبت (5) Gruhu et al أن ميكانيكية القشط تعتمد على تركيز المحلول القاشط . وقد وضع Khan (6) أن V_B تزداد بزيادة درجة حرارة المحلول القاشط عند تعريض الكاشف CR-39 لجرعات من النيوترونات السريعة . كما بين Green et al (7) أن تشيع كاشف الأثر النووي بجسيمات ألفا ومن ثم قشطه بمحلول NaOH وبدرجات حرارية $30C^{\circ}$ - $80C^{\circ}$ ، أن أفضل ظروف لظهور الاثار هي عند التركيز 6N ودرجة حرارة $70C^{\circ}$ وان سرعة القشط العام (V_B) تزداد اسيا بزيادة درجة حرارة المحلول القاشط. ولظروف الخزن تأثير على حساسية وكفاءة الكاشف كما أوضحها Hiroko and Nobuhito (8) إذ أكد أن هذه الظروف تؤثر على الكاشف وان الخزن لا يؤثر على عدد الاثار . كما وجد Fazal et al (9) أن سرعة القشط العام (V_B) وسرعة القشط على طول الأثر (V_T) تتأثران بتغير تركيز المحلول القاشط وان تركيز المحلول القاشط يتراوح بين (3N – 15N).

الهدف من الدراسة الحالية هو إيجاد ظروف القشط المثلى للكاشف CR-39 والذي تم خزنه لفترة خمس سنوات في ظروف خزن غير مثالية وإيجاد المتغيرات المتعلقة بالقشط كسرعة القشط العام (V_B) وسرعة القشط على طول الأثر (V_T) وكفاءة الكاشف (η) وحساسيته (S) ومن ثم الزاوية الحرجة (θ_c).

الجزء العملي والحسابات

استخدم كاشف الأثر النووي CR-39 ذي سمك $1000 \mu\text{m}$. إذ شععت قطع الكاشف بجسيمات ألفا المنبعثة من مصدر الامريشيوم Am^{241} وبطاقة 3.5MeV وبواقع 3min والساقطة عموديا على سطح الكاشف وذلك باستخدام منظومة مصممة خصيصا لهذا الغرض تم تهيئة المحلول القاشط هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز مختلفة ثم أجريت عملية القشط الكيميائي للنماذج المشععة وذلك بوضعها بالمحلول القاشط داخل حمام مائي نوع (Memment type 200) وفترات زمنية متعاقبة وبعد ذلك بدأت مرحلة المشاهدة المجهرية باستخدام مجهر بصري بتكبير (40 X 10) كما استخدمت الكاميرا نوع (MDCE-5A) لقياس اقطار الاثار. لأجل التوصل إلى ظروف القشط المثلى فقد تم حساب معدل القشط العام بعد تقطيع الكاشف بواقع $1 \times 1 \text{cm}^2$ ثم أجراء عملية القشط لفترات زمنية متعاقبة (30 min) بعد ان تم قياس وزنها باستخدام ميزان حساس ثم يعاد قياس وزن القطع لحساب كتلة المادة المزالة Δm من وجهي الكاشف وباستخدام العلاقة الآتية (7) Green et al

$$V_B = \frac{1}{2\rho A} \frac{\Delta m}{\Delta t} \dots\dots\dots(1)$$

إذ تمثل A مساحة الكاشف المستخدم و ρ كثافة مادة الكاشف 1.32 gm/cm^3 والعامل 2 بسبب القشط لوجهي الكاشف وان $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ هي مقدار تغير الكتلة لوحدة زمن القشط. وكذلك تم قياس سمك الطبقة المزالة باستخدام الكاميرا الرقمية (MDCE-5A) وبتكبير (4 X 10) وللتراكيز المختلفة قيد الدراسة بعد التأكد من إمكانية قياس التغير في السمك من خلال عينات لأحد الباحثين (الحبيطي) والذي سبق أن عين سمك الطبقة المزالة باستخدام التغير بالكتلة وإذا تطابقت النتائج المستحصلة من الطريقتين وبنسبة خطأ لا تتجاوز 17%. وباستخدام العلاقة الآتية تم حساب معدل القشط العام بطريقة التغير بسمك الكاشف (11).

$$V_B = \Delta x / 2\Delta t \dots\dots\dots(2)$$

إذ تمثل Δx معدل الفرق بالسمك بعد زمن قشط.

أما سرعة القشط على طول الأثر V_T فتعطى بالعلاقة (1).

$$V_T = V_B \frac{4V_B^2 + V_D^2}{4V_B^2 - V_D^2} \dots\dots\dots(3)$$

إذ تمثل V_D المعدل الزمني لتغير قطر الأثر.

$$V_D = \frac{D}{t}$$

(٤).....

ولحساب نسبة القشط (V) والتي تمثل سرعة القشط على طول الأثر إلى سرعة القشط العام .

$$V = \frac{V_T}{V_B} \quad \dots\dots\dots(٥)$$

اما الزاوية الحرجة (θ_c) للكاشف فتتمثل بالعلاقة (١).

$$\theta_c = \sin^{-1}(1/V) \quad \dots\dots\dots(٦)$$

وحساسية الكاشف (S) تساوي

$$S=V-1 \quad \dots\dots\dots(٧)$$

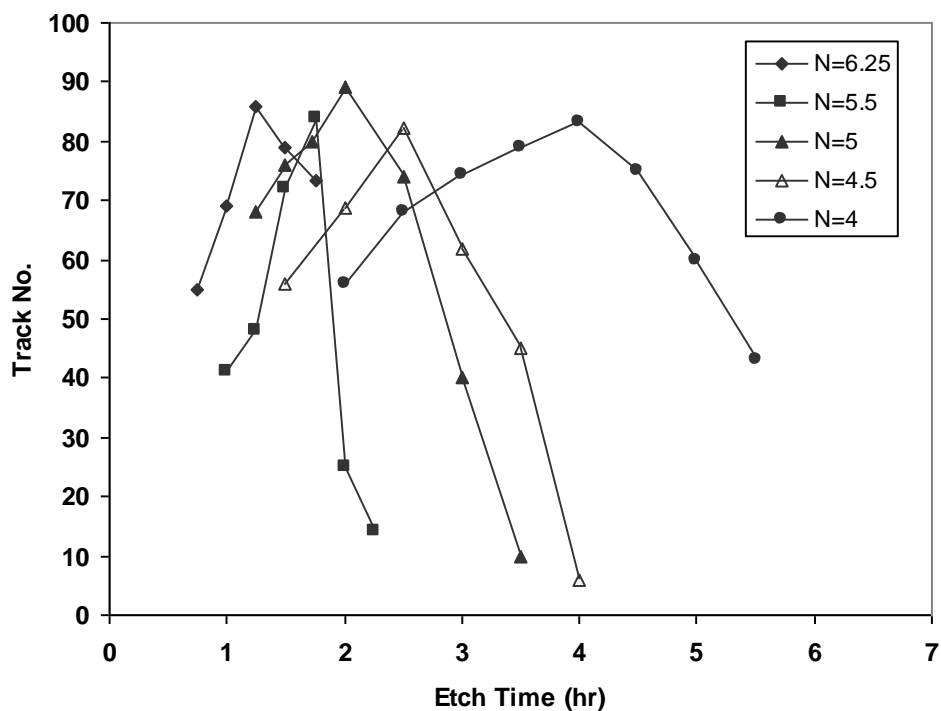
اما كفاءة الكاشف (η) فتساوي

$$\eta=1-\sin(\theta_c) \quad \dots\dots\dots(٨)$$

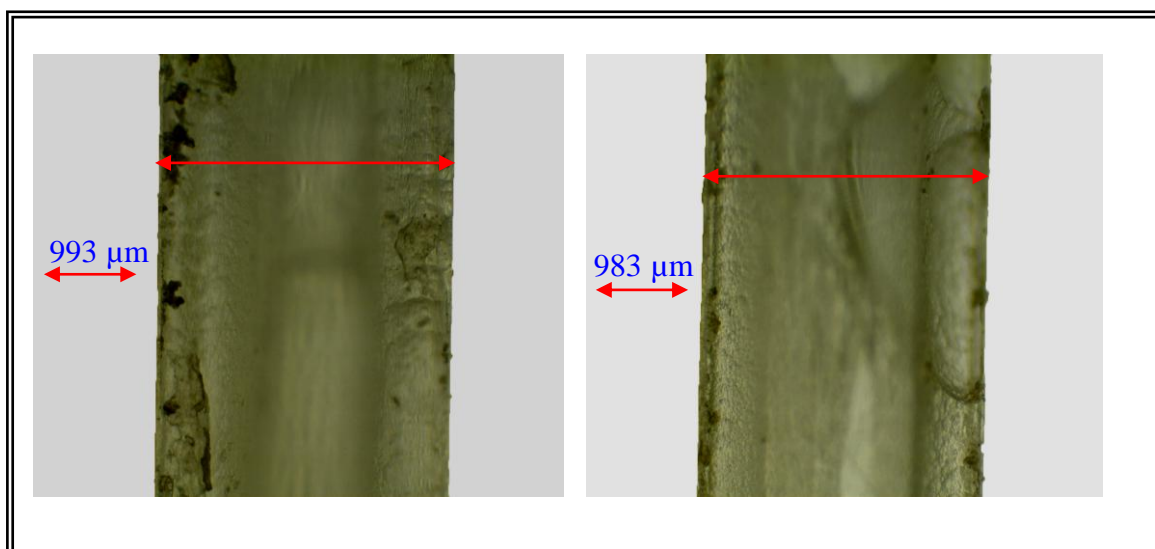
النتائج والمناقشة

الشكل (١) يمثل العلاقة بين زمن القشط وعدد الآثار المسجلة في الكاشف CR-39 والمشع بجسيمات ألفا وبطاقة 3.5 MeV وبزمن تعرض مقداره 3 min ولتركيز مختلفة للمحلول القاشط إذ تراوحت ال تراكيز بين 4N-6.25N عند ثبوت درجة ا لحرارة 70C° من الملاحظ أن عدد الآثار يزداد إلى أن يصل أقصى قيمة ثم ينخفض بالاستمرار بزيادة زمن القشط وذلك بسبب عملية الاندماج التي تحدث للآثار أو قد يحدث تشوهات بصرية أو تغيرات فيزيائية تحد من رؤية الآثار وخاصة بزيادة زمن القشط وقد سجل أقصى عدد للاثار (89) اثر عند التركيز 5N وتراوح عدد الآثار للتركيز الأخرى بين ٨٠ إلى 86 اثر ، من الجدير بالملاحظة أن عدد الآثار (كثافة الآثار) لا تتأثر كثيرا بتغير التراكيز وان التغير القليل يعزى للتوزيع الإحصائي للجسيمات المنبعثة من المصدر بثبوت طاقة المصدر المشع وزمن تعرض الكاشف للجسيمات ومن الواضح من الشكل (١) أن زيادة التركيز تقلل فقط من زمن ظهور الآثار دون أن تؤثر في كثافة الآثار.

الشكل (٢) يمثل إحدى صور الكاميرا الرقمية للكاشف CR-39 ولتركيز مقداره 6.25N ومن الواضح أن هناك تغير محسوس في سمك الكاشف وبتكبير مقداره 4 X 10 وباستخدام برنامج بسيط تم حساب سمك الكاشف بوحدة المايكرون .

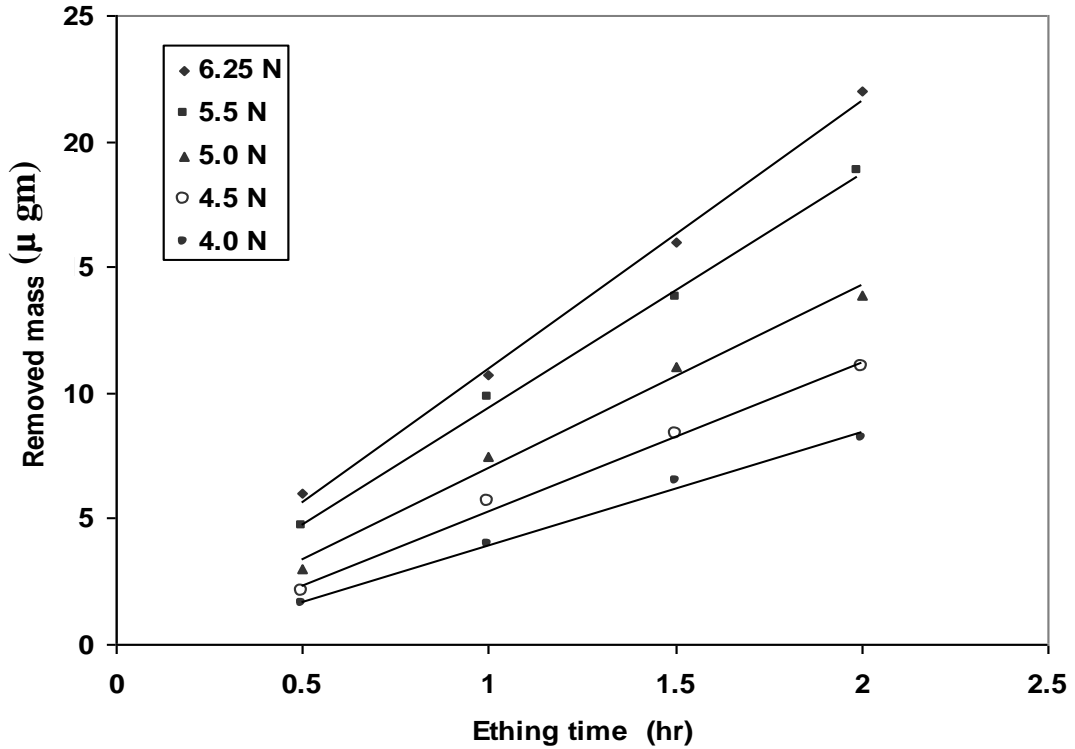


الشكل (1): تغير عدد الآثار مع زمن القشط للتركيز المختلفة للمحلول القاشط



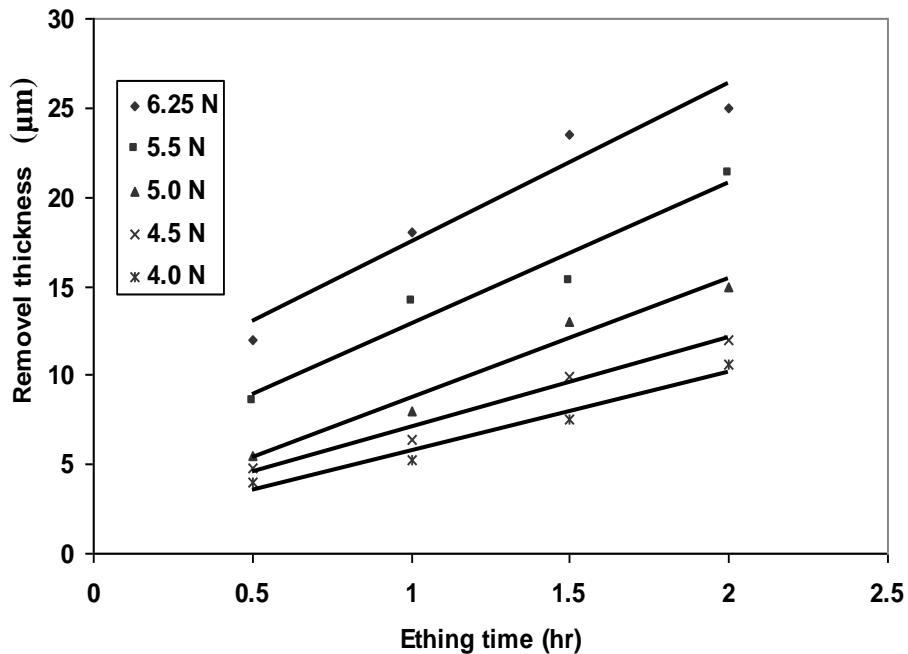
الشكل (2): يمثل صورة لسمك الكاشف CR-39 باستخدام الكاميرا الرقمية.

الشكل (٣) يمثل تغير الكتلة المزالة من الكاشف مع زمن القشط حيث نلاحظ زيادة الكتلة المزالة لوحدة الزمن بزيادة التراكيز والتي تمثل سرعة القشط العام (V_B) مع الأخذ بنظر الاعتبار المساحة السطحية للكاشف وكثافته وفقا للعلاقة (١).



الشكل (٣): تغير الكتلة المزالة من الكاشف مع زمن القشط.

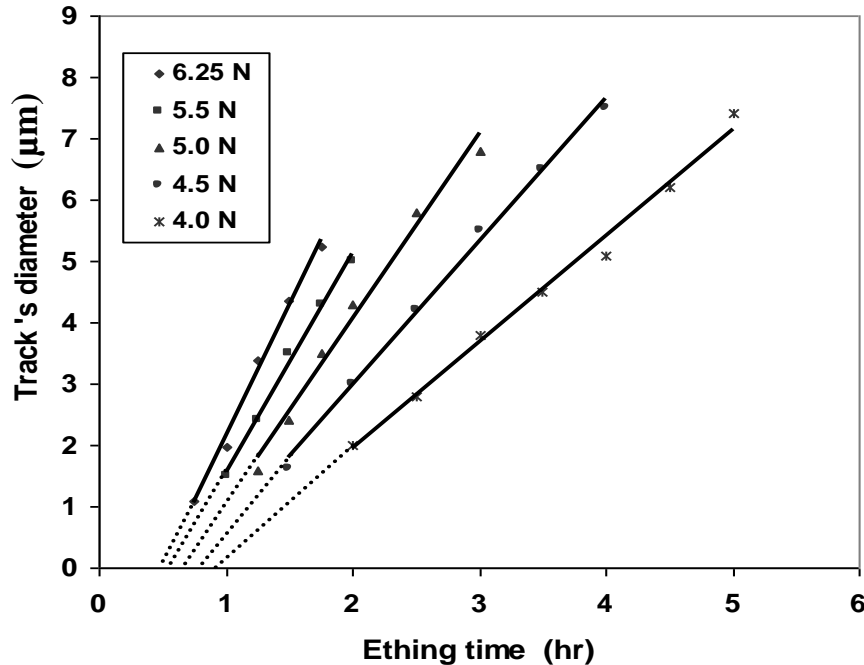
الشكل (٤) يمثل مقدار التغير في السمك المزال من الكاشف مع زمن القشط ومن الجدير بالملاحظة أن معدل الفرق بقيمة سرعة القشط العام (V_B) باستخدام الميزان والكاميرا الرقمية لا يتجاوز 14% وبالتالي يمكن استخدام الكاميرا الرقمية في إيجاد معدل القشط العام.



الشكل (٤): تغير السمك المزال من الكاشف مع زمن القشط.

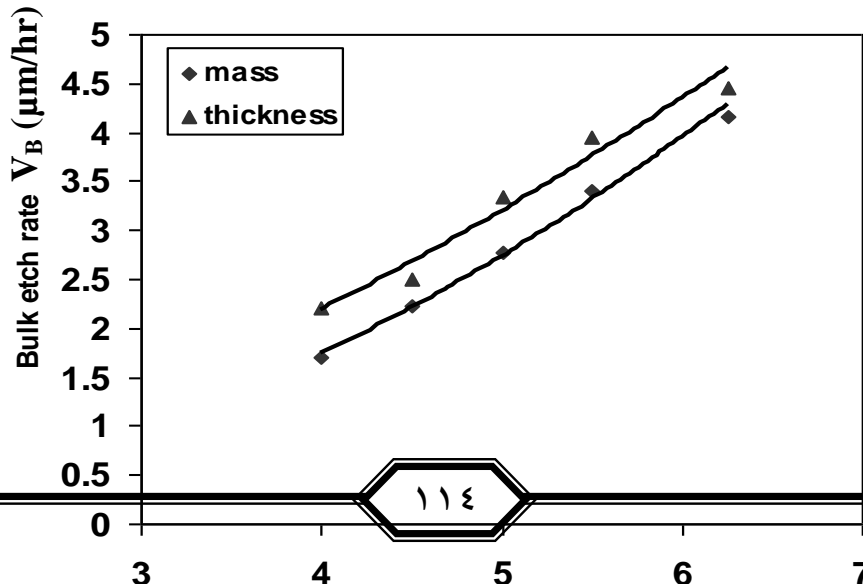
الشكل (٥) يوضح تغير قطر الأثر مع زمن القشط وللتركيز المختلفة 4N-6.25N

بثبوت درجة الحرارة $70C^{\circ}$ من الواضح أن قطر الأثر يزداد مع ازدياد زمن القشط عند تركيز معين وقد تم قياس قطر الأثر بواسطة المجهر البصري وبقوة تكبير 40×10 ويعامل تحويل مقداره 2.6 وكذلك استخدمنا الكاميرا الرقمية لقياس أقطار الآثار ولأجل المقارنة بين الطريقتين فقد تم حساب نسبة الخطأ وتبين أنها لا تتجاوز 16% عند قياس الأقطار وعليه فأن استخدام الكاميرا يشكل تقنية احدث من المجهر البصري وأدق في القياس وأسهل في الاستخدام. وبالعودة للشكل (٥) يتضح أن نسبة الزيادة في المعدل الزمني لنمو الآثار (V_D) عند زيادة التركيز تزداد بنسبة 60% عند أعلى تركيز 6.25N نسبة لأقل تركيز 4N أي بمعنى آخر انه بزيادة التركيز كان هنالك زيادة في معدل نمو الآثار بحدود 2.5 مرة. اذ انه بزيادة زمن القشط أو زيادة تركيز المحال القاشط يزداد سمك الطبقة المزالة من الكاشف لوحدة الزمن أي زيادة عدد جزيئات البوليمر المنحلة بسبب مهاجمة جزيئات المحلول القاشط والتي تمتلك طاقة تساوي أو تفوق طاقة التنشيط مما يعني زيادة سرعة التفاعل.

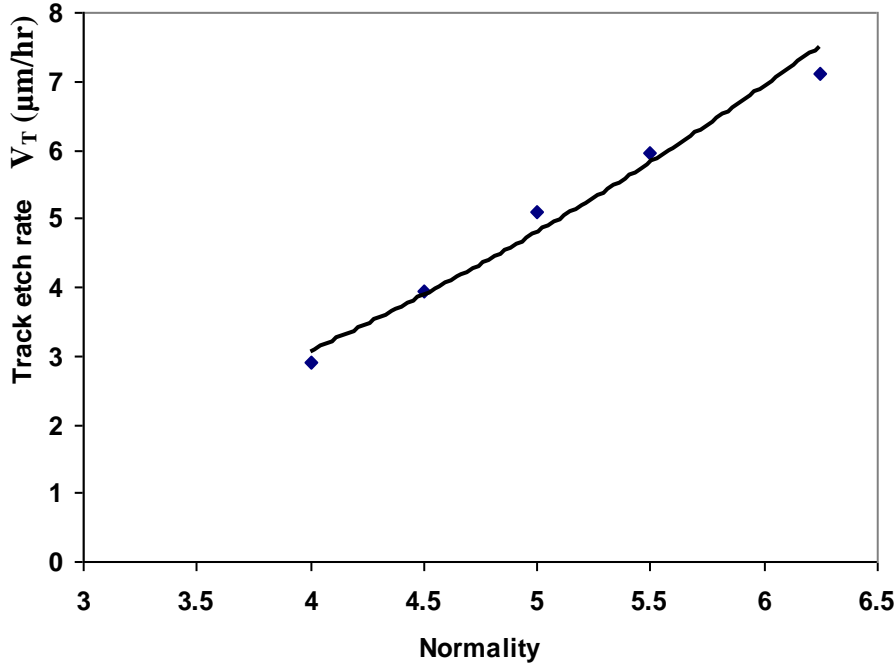


الشكل (٥): تغير أقطار الآثار مع زمن القشط

الشكل (٦) يمثل سرعة القشط العام (V_B) مع التغير بالتركيز المختلفة من 4N إلى 6.25N للمحلول القاشط هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بثبوت درجة حرارة عند $70C^0$ ومن الواضح أن سرعة القشط العام V_B تزداد أسياً بزيادة تركيز المحلول القاشط إذ تراوحت قيمها بين أقل قيمة $1.7 \mu\text{m/hr}$ عند التركيز 4N وأعلى قيمة $4.16 \mu\text{m/hr}$ عند التركيز 6.25N. ومن الضروري ملاحظة أن قيم (V_B) المستحصلة تبدو اكبر من القيم المثبتة للكاشف CR-39 إذ يبدو أن هنالك زيادة واضحة في قيم (V_B) ولوحظ مثل هذه الزيادة في حلة تسخين الكاشف لدرجة حرارة عالية (12,13) وتعزى هذه الزيادة للتغيرات الفيزيائية التي حدثت للكاشف نتيجة خزنه في ظروف بيئية بعيدا عن ظروف الخزن المثلى في اجهزة التبريد وتعرضه على مدى خمس سنوات لدرجات الحرارة العالية صيفا والمنخفضة شتاءا" وللرطوبة والجفاف مما اغير في التركيب البلوري للكاشف وفقد الكاشف شيئا من شفافيته نتيجة التشابك أو التحلل للسلاسل البوليمرية أو تحرر ذرات الكربون من السلاسل (٥). الشكل (٧) يوضح وسرعة القشط على طول الأثر (V_T) مع تراكيز المحلول القاشط المختلفة والتي تراوحت من 4N إلى 6.25N إذ يبدو أن سرعة القشط على طول الأثر (V_T) تتغير أسياً مع تركيز المحلول القاشط إذ تراوحت بين أقل قيمة $2.9 \mu\text{m/hr}$ عند التركيز 4N وأعلى قيمة $7.11 \mu\text{m/hr}$ عند التركيز 6.25N وهذا يتفق مع ما جاء به عدد من الباحثين منهم (14) أن سرعة القشط العام (V_B) وسرعة القشط على طول الأثر (V_T) تزدادان بزيادة تركيز المحلول القاشط بسبب زيادة سرعة التفاعل بين جزيئات المحلول القاشط إذ أن زيادة تركيزه يعني زيادة في جذر الهيدروكسيل OH^- لمحلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) القاعدي وهذا يعني زيادة عدد التصادمات بين جزيئات المحلول ومادة الكاشف ويعني بشكل ادق مهاجمة هذه الايونات للمناطق التالفة (التي تعرضت للقصف من قبل جسيمات ألفا) أكثر مما هي للمناطق السليمة (غير المعرضة للقصف من قبل جسيمات ألفا) إذ أن المناطق التالفة تعني وجود سلاسل بوليمرية مكسورة وجذورا حرة قابليتها للتفاعل مع جذو الهيدروكسيل OH^- اكبر من غيرها. أن زيادة عدد الجزيئات التي تحلل المناطق التالفة أكثر من عدد الجزيئات التي تهاجم المناطق السليمة يعني زيادة سرعة القشط على طول الأثر V_T مقارنة مع زيادة سرعة القشط العام V_B أي أن سرعة القشط على طول الأثر V_T تكون اكبر من سرعة القشط العام V_B .



الشكل (٦): تغير سرعة القشط العام (V_R) مع التراكيز المختلفة للمحلول، القاشط

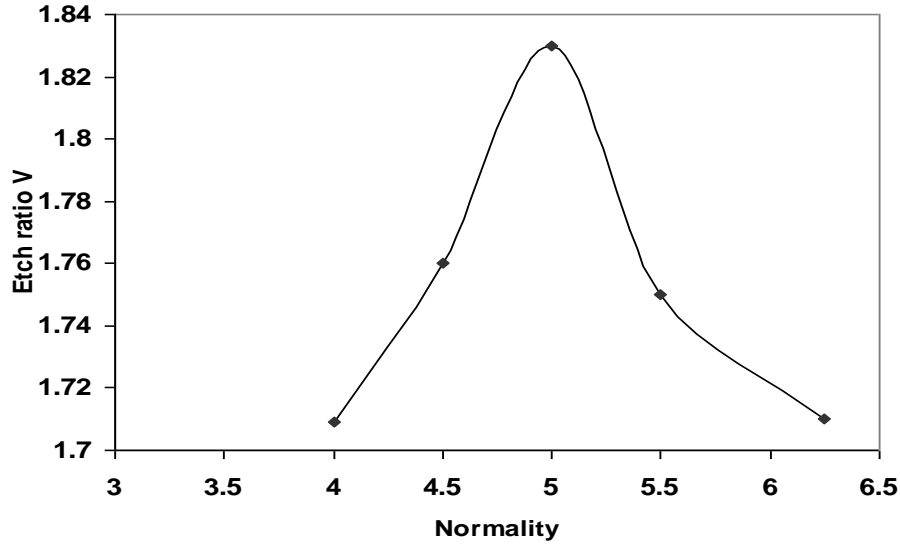


الشكل (7): تغير سرعة القشط على طول الاثر (V_T) مع التراكيز المختلفة للمحلول القاشط

الشكل (٨) يمثل نسبة القشط (V) مع التراكيز المختلفة للمحلول القاشط بثبوت درجة الحرارة من الملاحظ أن هنالك قيمة قصوى لنسبة القشط عند التركيز 5N ومن الممكن الاستفادة من هذه القيمة لتحديد التركيز الأمثل والذي بالإمكان استخد امه عند محاولة الكشف عن اثار جسيمات ألفا الساقطة على الكاشف بطاقة معينة مع مراعاة ثبوت درجة حرارة المحلول القاشط عند $70C^{\circ}$ ومن الجدير بالذكر أن التركيز الأمثل لكاشف الأثر النووي CR-39 هو 6.25N عند درجة حرارة $70C^{\circ}$ وزمن قشط مقداره 4hr وبما أن الكاشف قيد الدراسة قد تعرض لظروف خزن غير مثالية إذ أن الفترة الزمنية الطويلة التي مرت وما فيها من تغير كبير في درجات الحرارة من ارتفاع قد يصل $50C^{\circ}$ في فصل الصيف وانخفاض قد يصل دون الصفر في فصل الشتاء ثم تعاقب الفصول على مدى خمس سنوات بالإضافة للرطوبة والجفاف قد اثر كثيرا في

تأصّر البوليمر أي الكاشف مما خفض التركيز الأمثل للمحلول القاشط هيدروكسيد الصوديوم إلى 5N عند درجة حرارة 70°C.

من هذا المنطلق ولأجل استخدام الكاشف في الدراسات المستقبلية كان لابد من تحديد ظروف القشط المثلى وتثبيتها وبما أن سرعة القشط العام V_B قد تغيرت وكذلك سرعة القشط على طول الأثر V_T فإن نسبة القشط V قد حددت التركيز الأمثل للعمل المستقبلي.

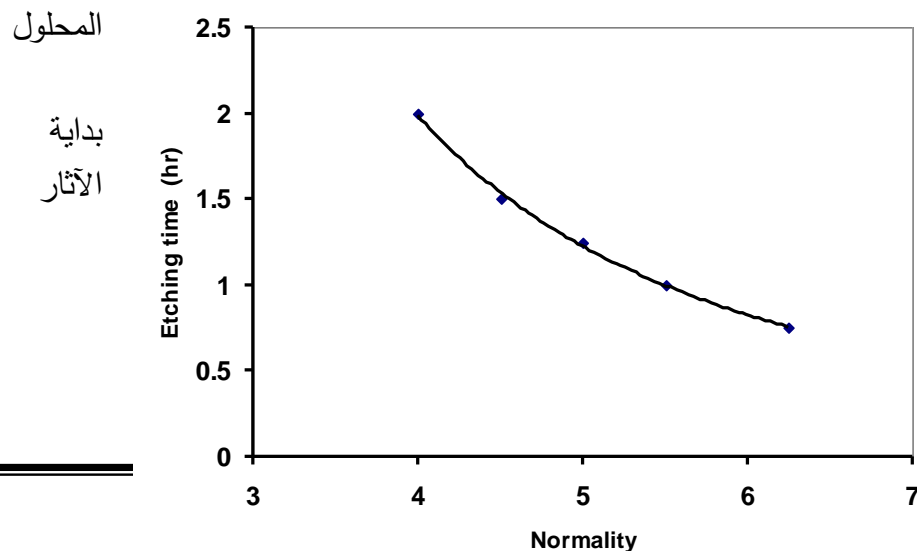


الشكل (٨): تغير نسبة القشط مع التراكيز المختلفة للمحلول القاشط

ولأجل تحديد زمن بداية ظهور الأثر للتركيز المختلفة فقد تم رسم العلاقة بينهما وكما موضح في الشكل (٩) ومن خلال الشكل يتضح أن بداية زمن ظهور الأثر يتناقص تدريجياً مع زيادة تركيز المحلول القاشط إذ سجل 0.75hr عند أعلى تركيز 6.25N و 2hr عند أقل تركيز 4N. وبالعودة للشكل (١) نلاحظ أن زمن ظهور جميع الآثار يقل أيضاً مع زيادة تركيز المحلول القاشط. ولو حاولنا رسم العلاقة بين t_{opt} مع تركيز المحلول القاشط لحصلنا على العلاقة الآتية:

$$t_{opt} = 40.05 \times N^{-2.16} \quad \dots\dots\dots(٩)$$

إذ تمثل
N تركيز
القاشط
 t_{opt} زمن
ظهور



الشكل (٩): تغير زمن ظهور الاثار مع التراكيز المختلفة للمحلول القاشط

وبالإمكان الاستفادة من العلاقة أعلاه لتوقع زمن ظهـ و الأثار ولتركيز معين يرغب به الباحث. وخلص القول أن زيادة التركيز للمحلول القاشط تعني أن زمن ظهور الأثر يقل إذ في بداية الأمر تكون سرعة القشط العام (V_B) أكبر من سرعة القشط على طول الأثر (V_T) وباستمرار زيادة زمن القشط ستصبح (V_T) مساوية لقيم (V_B) ولا تظهر الأثار وبزيادة زمن القشط ستزداد قيم (V_T) وتصبح أكبر من قيم (V_B) وعندها تظهر الأثار ويزداد عددها بزيادة زمن القشط لتصل أعلى قيمة لها ومن ثم يحدث الاندماج ويقل عدد الأثار وأحيانا يحدث تشويه لمادة الكاشف أو بعض التغيرات الفيزيائية التي تحد من رؤية الأثار وخاصة في درجات الحرارة العالية أو زمن القشط الطويل ويسمى هذا الزمن بزمن الاندماج أو زمن اختفاء الأثار.

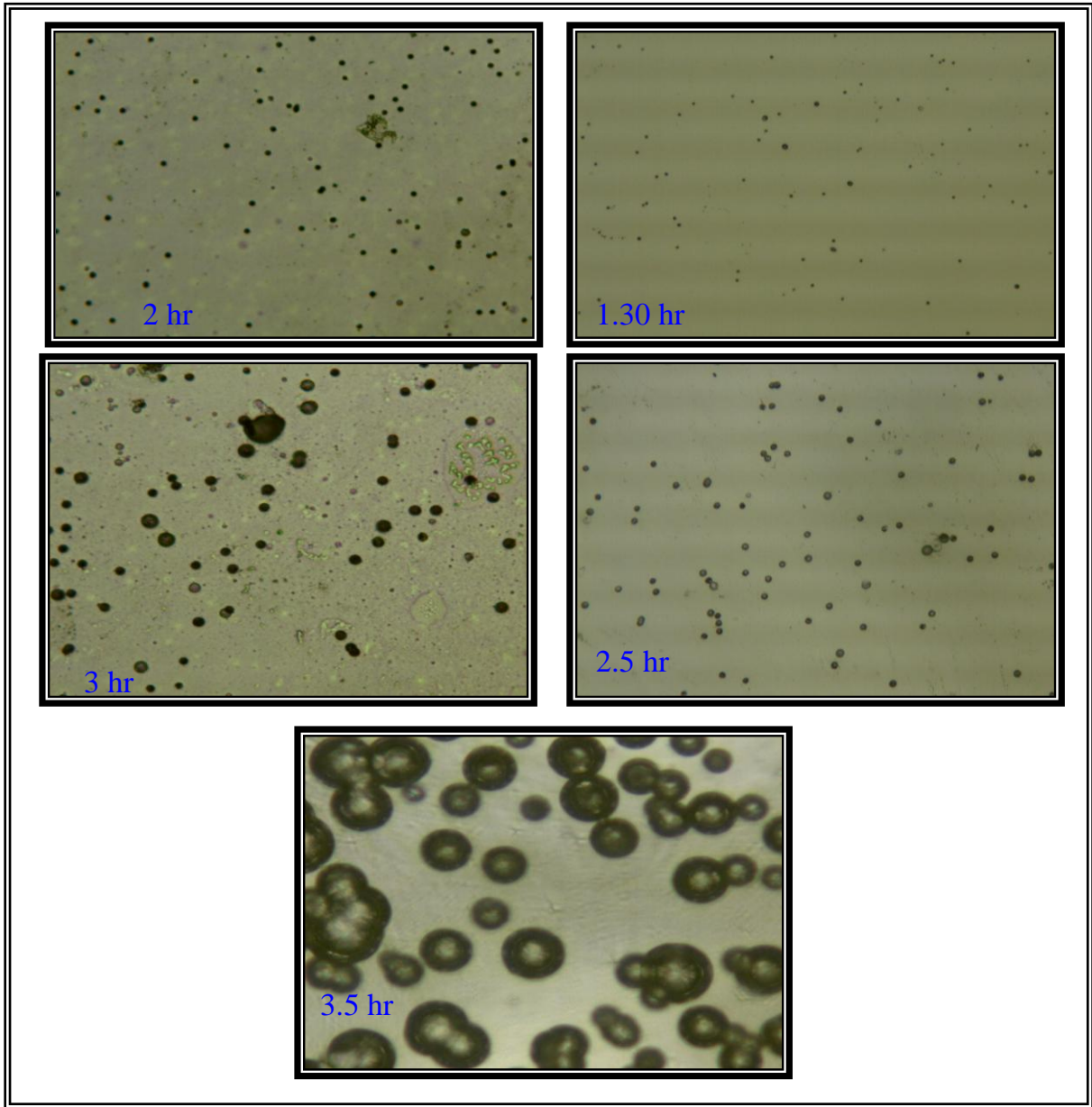
الجدول (١) يوضح المتغيرات القشط الكيميائي وبتراكيز مختلفة للمحلول القاشط (NaOH) بثبوت درجة الحرارة لكاشف الأثر النووي CR-39. يمكن ملاحظة أن أعلى قيمة لكل من الكفاءة (η) والحساسية (S) وأقل قيمة للزاوية الحرجة (θ_c) هي عند التركيز 5N، وبالإمكان اعتماد التركيز 5N وزمن القشط 3hr وعند درجة الحرارة $70C^0$ بالظروف القشطية المثلى للكاشف المستخدم. الشكل (١٠) يوضح صور أثار جسيمات الفا المسجلة للكاشف CR-39 وبتوكيز 5N وبتكبير (10 X 10).

جدول (١): يوضح المتغيرات القشط الكيميائي وبتراكيز مختلفة للمحلول القاشط (NaOH) بثبوت درجة الحرارة لكاشف الأثر النووي CR-39.

التراكيز (N)	سرعة القشط العام (V_B)	سرعة القشط على طول الاثر (V_T)	نسبة القشط (V)	الزاوية الحرجة (θ_c)	الكفاءة القشطية (η)	الحساسية (S)
٦.٢٥	٤.١٦	٧.١١	١.٧١	35.77	0.41	0.71
٥.٥	٣.٤	٥.٩٦	١.٧٥	34.73	0.43	0.75

تأثير الخزن على ظروف القشط المثلى لكاشف الأثر النووي CR-39.

٥	٢.٧٨	٥.١	١.٨٣	32.98	0.455	0.83
٤.٥	٢.٢٣	٣.٩٤	١.٧٦	34.43	0.41	0.76
٤	١.٧	٢.٩	١.٧	35.79	0.41	0.70



الشكل (١٠): يمثل صور لأثار جسيمات ألفا المسجلة في الكاشف CR-39 بتركيز 5N.

الاستنتاجات

- (١) أن ظروف الخزن ولفترة زمنية طويلة قد أثرت فعليا على خواص الكاشف منها قطر الأثر وزمن ظهور الآثار.
- (٢) أن القيمة القصوى للعلاقة بين نسبة القشط والتراكيز المختلفة تمثل التركيز الأمثل والذي بالإمكان استخدامه عند محاولة الكشف عن آثار جسيمات ألفا الساقطة على الكاشف بطاقة معينة ويثبت درجة الحرارة علما أن التركيز الأمثل كان 5N.
- (٣) أن الكاميرا الرقمية المستخدمة هي أفضل وأدق في قياس معلمات الأثر مقارنة بالمجهر البصري.
- (٤) من خلال قياس سرعة القشط العام (VB) بالطريقتين (طريقة السمك المزال والكتلة المزالة) تبين أن نسبة الخطأ بين الطريقتين لا تتجاوز 14%.

المصادر

- 1) Beth M. Enge W.Semund G., Nuclear Tracks., 12:91-95(1986).
- 2) Portwood T. Henshaw D. L. Stejny J., Nucl. Tracks., 12:109-112 (1986).
- 3) Durrani S. A and Bull R. K., "Solid State Nuclear Detection". Pregman Press Oxford (1987).
- 4) Nikezic D., Kastic D., Yip D., C. W. Y and Yu., Radiat Meas., 41:253-256 (2006)
- 5) Gruhu T. A. Benton E. V. Gassou R, M. Tohsou G. S., Nucl. Tracks., (1980).
- 6) Khan H. A and Khan N. A., Nucl. Inst. and Meth., 78:491-497 (1980).
- 7) Green P. E. Ramil A. G. Al-Najjar S. A. R. Abu-jarad F. Durrani S.A.,Nucl.Inst and Meth., 203:551-559 (1982).
- 8) Hiroko E. and Nobuhito I., Health Phys., 33:407-413 (1998).
- 9) Fazal F., Abu-jarad M., Al-jarallah M., Farhat., Radiat Meas., 34:617(2001).
- (١٠) الحبيطي، ياسر يحيى قاسم، رسالة ماجستير، كلية التربية، جامعة الموصل، (٢٠٠٥).

- 11) Balestra S., Cozzi M., Giacomelli G., Giacomelli R., Giorgini M., Kumar A., Mandrioli G., Manzoor S., Margiotta A.R., Medinaceli E., patrizii L., Popa V., Qureshi I.E., Rana M.A., Sirri G., Surrio M., Nucl. Inst and Meth B., 254:254-258(2007).
- ١٢) محمد، احمد بهاء الدين، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل، (١٩٩٦).
- ١٣) النعيمي، سعيد حسن سعيد. العبيدي، احمد عبد إبراهيم، منشورات جامعة اليرموك،، المجلد ١٢ العدد ١ الصفحة ١-١٨ (2003).
- 14) Nikeiz K., Yu N., Materials Science and Engineering R46:51-123 (2004).