

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

تأثير تركيز المحلول القاشط على أقطار آثار جسيمات ألفا
في كاشف الأثر النووي CR-39

مشتاق عبد داود الجبوري

قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

Received on: 2/9/2016;

Accepted on: 3/11/2016

الملخص: يتعلق البحث بدراسة تأثير تركيز المحلول القاشط على أقطار آثار جسيمات ألفا المتكونة على كاشف الأثر النووي CR-39. وذلك من خلال تشعيع الكاشف بطاقة 3MeV من مصدر ^{241}Am وقسطه بدرجة حرارة $70 \pm 1^\circ\text{C}$ وبتراكيز مختلفة (4, 6, 8, 10)N ليُصار إلى تطوير المعادلة المقترحة من (الجبوري والشميسي، 2015) [13] بحيث يمكنها أن تصف نمو أقطار الآثار بصفته دالة لكل من زمن القشط وتركيز المحلول القاشط. كما أُجريت دراسة جزئية أخرى باستخدام طريقة السمك المزال لإيجاد معدل القشط العام للكاشف CR-39 ولكل تركيز من التراكيز المذكورة. وأدت هذه الدراسة إلى استنباط معادلة تجريبية جديدة قادرة على وصف معدل القشط العام للأثر بصفته دالة لتركيز المحلول القاشط. ومن خلال دراسة حساسية الكاشف، وجد أن التركيز الأمثل للقشط هو $N=6$ في هذا البحث اعتماداً على حساسية الكاشف التي كان لها أعلى قيمة عند هذا التركيز.

الكلمات الدالة: كاشف CR-39، معدل القشط العام، تركيز المحلول القاشط، معادلات تجريبية.

Effect of Etching Solution Concentration on Track Diameter Development in
CR-39 Nuclear Track Detector

Mushtaq Abed Dawood Al-Jubbori

Department of Physics, College of Education for Pure Science, Mosul University, Mosul, Iraq.

Extended Abstract:

In this work, two empirical relations related to the track diameter development of alpha particle tracks in CR-39 detectors and to the detector bulk etch rate as a function of concentration of etching solution are suggested and tested. The first empirical equation is a further extension of the equation suggested in reference [13] to accommodate the relation of the track diameter to both etching time and concentration effects. The second equation describes the bulk etch rate as a function of concentration of etching solution. The bulk etch rate is determined by the measurement of the removed layer method. In the process of developing these two equations, tracks formed on CR-39 track detector by 3 MeV alpha particles are etched at four NaOH etching solution concentrations of 4, 6, 8, and 10 N. The etching solution temperature is kept constant at 70°C . Digital image processing method for diameter and detector thickness measurements is used. The study of track sensitivity measurements resulted in estimating that the optimum etching solution concentration is 6 N at 70°C .

The new suggested empirical equation for the track diameter D (microns) as a function of both etching time t (hr) and concentration N (normal) takes the form:

$$D(t, N) = (a_1 N - 2.1) \times t^{a_2 N^{-a_3}} \text{ with } a_1 = 0.59, a_2 = 4.8 \text{ and } a_3 = 0.67.$$

The suggested equation for the bulk etch rate V_B (micron/hr) is $V_B = A e^{\frac{-B}{(N-C)}}$ with $A = 3.0121 \times 10^{-8} \mu\text{m/hr}$, $B = 1.3263 \times 10^3$ and $C = 81.41$.

Comparison of these two equations with independent published literature experimental results gives very good agreement.

Keywords: CR-39 detector, Bulk etch rate, Etching Solution Concentration, Empirical equations.

المقدمة

المعلومات التي يعتمد عليها الكاشف. وإلى جانب كون V_B معلماً كشافياً فإنه يعتبر معلماً قشطياً أيضاً. إذ يعتمد على نوع المحلول الكيميائي القاشط، وتركيزه، ودرجة حرارته. إن لمعدل القشط العام V_B أهمية في عملية تكوين الآثار وإظهارها، وذلك من خلال ارتباطه المباشر بنسبة معدل القشط (V) التي تعتمد بدورها أيضاً على معدل قشط الآثار V_T . لذا يجب قياس V_B بشكل دقيق، وهناك عدة طرائق مختلفة للقياس وواقِع نمطين: إما بتشيع الكاشف بجسيمات ألفا أو دون تشيعه.

إحدى هذه الطرائق المتبعة في قياس V_B هي طريقة السمك المزال من سطح الكاشف، وتسمى هذه الطريقة بالطريقة المباشرة، وتتم من خلال قياس سمك الكاشف قبل إجراء عملية القشط وبعدها ولأزمان قشط متعاقبة، وهي الطريقة المتبعة في هذا البحث. ويمكن حساب V_B من العلاقة [7]:

$$V_B = \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

حيث Δh (μm) يمثل سمك الطبقة المزالة خلال زمن قشط قدره Δt (hr).

وهناك طريقة أخرى تدعى الطريقة التثاقلية، وتعتمد على قياس مايزال من مادة الكاشف قبل عملية القشط المتعاقبة وبعدها ويمكن حساب قيمة V_B من العلاقة التالية،

$$\Delta h = \frac{\Delta m}{\rho A} \quad \text{وذلك بتعويض}$$

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

حيث تمثل Δm (gm) كتلة الطبقة المزالة من سطح الكاشف خلال زمن قشط Δt (hr)، و ρ (gm.cm^{-3}) كثافة مادة الكاشف، و A (cm^2) مساحة سطح الكاشف.

تستخدم كواشف الأثر النووي الصلبة في مجالات عديدة منها قياس تراكيز الرادون، وفيزياء البلازما والفلك، والوقاية من الإشعاع، وفي مجال الحفاظ على البيئة؛ إذ إن لهذه الكواشف مميزات تميزها عن كواشف أخرى. فهي متوفرة ورخيصة الثمن ولا تحتاج إلى معدات قدرة كهربائية وغير حساسة تجاه التآينات الواطئة، كما أنها لا تتأثر كثيراً بالظروف البيئية الخارجية (كدرجة الحرارة والضغط والرطوبة والبرودة)، إضافة إلى صغر حجمها وخفة وزنها. كل هذه الصفات جعلت هذا النوع من الكواشف مصب اهتمام العلماء والباحثين في السنوات الأخيرة [1-3]. هناك عدة متغيرات تؤثر على كواشف الأثر النووي الصلبة، منها ما هو فيزيائي ومنها ما هو كيميائي. فعلى سبيل المثال لا الحصر، تشيع كاشف CR-39 بجسيمات ألفا يعتبر من المتغيرات الفيزيائية، حيث يتعلق الأمر بطاقة الجسيم وكيفية تأثيرها في الكاشف وآلية تكوين الأثر. أما عملية إظهار منطقة الضرر (الأثر) التي تخلفها جسيمات كمحلل هيدروكسيد الصوديوم NaOH أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH. لذا هناك معلمان مهمان في عملية قشط الآثار وإظهارها هما معدل القشط العام (Bulk Etch Rate, V_B) ومعدل قشط الأثر (Track Etch Rate, V_T) أو ما يسمى معدل القشط على طول أو عمق الأثر [4, 5].

فمعدل القشط العام هو مقدار مايزال من سطح الكاشف خلال عملية التفاعل الكيميائي بين المحلول القاشط ومادة الكاشف الذي بدوره يؤدي إلى تقليل سمك الكاشف بتقدم عملية القشط [6]. يعتمد معدل القشط العام على عدة عوامل منها: نقاوة المادة الأساسية المصنع منها الكاشف، ومدى تجانس وتمائل خواص هذه المادة، وطبيعة جزيئات الكاشف البوليميرية وظروف بلمرته في أثناء عملية الإنتاج. كل هذه العوامل جعلت من معدل القشط العام أحد أهم

من نوع متعدد الكربون، ويمتاز بخلفيته الإشعاعية القليلة وتمائل خواص مادته وتجانسها، بالإضافة إلى حساسيته العالية في الكشف عن الجسيمات المشحونة كجسيمات ألفا وكذلك الكشف عن النيوترونات. وقد استعمل مصدر الأمريشيوم المشع بفعالية (^{241}Am (1 μCi) في تشيع الكاشف، وهو باعث لجسيمات ألفا بمعدل طاقة قصوى 5.485MeV ومتوسط مداه في الهواء 4.16 cm . ويتم الحصول على الطاقة المطلوبة بتغيير البعد بين المصدر المشع والكاشف في الهواء من خلال منظومة تشيع. قُطعت عدة عينات من الكاشف بواقع مجموعتين، استخدمت المجموعة الأولى المؤلفة من أربع عينات جرى تعريضها لجسيمات ألفا بطاقة 3MeV وتمت عملية التشيع باستخدام مسدود مساحة مقطعه العرضي 1mm^2 لضمان السقوط العمودي على الكاشف. وقشطت العينات بمحلول NaOH ذي نقاوة 95% بدرجة حرارة $(70\pm 1)^\circ\text{C}$ وبتراكيز مختلفة ($4, 6, 8, 10$) N لغرض حفر المناطق المتضررة لإظهار أقطار الآثار المتكونة جراء تشيع الكاشف بجسيمات ألفا. أما المجموعة الثانية ذات الأربع عينات أيضاً فقد قُطعت إلى قطع ذات أبعاد $1\times 1\text{ cm}$ بهدف إجراء دراسة جزئية لتأثير تغير تركيز المحلول القاشط على معدل القشط العام دون تشيع الكاشف بجسيمات ألفا، حيث قشطت العينات تحت الظروف نفسها أعلاه من حيث نوع المحلول القاشط ودرجة حرارته وتراكيزه ($4, 6, 8, 10$). ولأخذ صور للآثار المقشوفة وقياس سمك الطبقة المزالة التي تستخدم في قياس V_B ، تم ربط كاميرا رقمية من نوع (OPTIKA 4083.B5) مع مجهر ضوئي نوع (OPTIKA B-193) يعمل ضمن برنامج معين لغرض نقل صور الآثار مباشرة إلى حاسوب شخصي PC حيث يتم إجراء عمليات القياس عليها.

النتائج والمناقشة

للحصول على آثار جسيمات ألفا، جرى تشيع الكاشف بطاقة 3MeV وقشطت العينات بأزمان قشط متفاوتة وبدرجة حرارة ثابتة 70°C ، في حين تم تغيير تركيز المحلول ($4-10$) N بزيادة تتابعية مقدارها 2N . والشكل (1) يبين صورة تجريبية لآثار جسيمات ألفا عند زمن قشط مقداره 2.5hr . ويلاحظ من الشكل أن قطر الأثر يزداد بزيادة تركيز المحلول. ويمكن تليل ذلك بأنه بزيادة تركيز المحلول القاشط تزداد أيونات OH المهاجمة لمادة الكاشف، مما يؤدي إلى زيادة في سرعة عملية القشط وحفر المناطق المتضررة من الكاشف.

هذا بالإضافة إلى أن هنالك طرائق أخرى كطريقة شطايا الانشطار وطريقة (طول- قطر الأثر) L-D [8].

إن من مميزات معدل القشط العام أن له قيمة ثابتة عند تركيز ودرجة حرارة معينين؛ أي أنه معلم لا يعتمد على اتجاه القشط (Scalar Parameter) في الكواشف المتجانسة ومتماثلة الخواص كما في كاشف CR-39. أما في الكواشف غير المتجانسة وغير متماثلة الخواص، مثل المايكا، فتكون له قيمتان؛ أي يكون معلماً اتجاهياً (Directional Parameter)؛ إذ إن V_B يختلف باختلاف اتجاه القشط. وقد وجد أن معدل القشط العام V_B ومعدل قشط الأثر يتأثران بتغيير تركيز المحلول القاشط من خلال العلاقة [9]:

$$V_x = FC^n e^{\left(\frac{-\epsilon_x}{KT}\right)} \quad (3)$$

إذ تمثل $V_x(\mu\text{m/hr})$ كلاً من V_B أو V_T ، n ، و F ، ثابتان، و C تركيز المحلول، و T درجة الحرارة بمقياس كلفن، و $K(\text{eV/k})$ ثابت بولتزمان، و ϵ_x تمثل طاقة التنشيط بوحدة eV لكل من V_B أو V_T وهي عبارة عن الطاقة اللازمة لتنشيط التفاعل بين مادة الكاشف والمحلول القاشط [10].

هنالك معادلة أخرى تربط معدل القشط العام مع درجة حرارة المحلول تسمى معادلة أرهينوس [11]:

$$V_B = Ae^{\left(\frac{-\epsilon}{KT}\right)} \quad (4)$$

حيث $A(\mu\text{m/hr})$ ثابت التناسب.

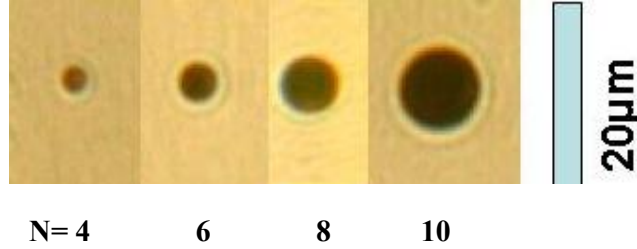
أما *Fromm et al.* [12] فقد أوجدوا معادلة تجريبية تصف V_B دالة لتركيز ودرجة حرارة المحلول القاشط:

$$V_B = 1.276 \exp(0.828c + 0.049T - 0.002cT - 17.624) \quad (5)$$

حيث c تركيز المحلول القاشط، و T درجة الحرارة بمقياس كلفن.

طريقة العمل

استعمل كاشف الأثر النووي CR-39 ذو سمك $200\mu\text{m}$ بريطاني المنشأ من صنع شركة (Page Mouldings Pershore UK) لقياس أقطار جسيمات ألفا، وقياس معدل القشط العام، فضلاً عن إيجاد نسبة معدل القشط. والكاشف CR-39 عبارة عن مادة بوليمرية صلبة



الشكل (1): صورة لأقطار آثار جسيمات ألفا بطاقة 3 MeV عند زمن قشط 2.5h ولتراكيز مختلفة للمحلول القاشط.

والعلاقة بالمعادلة الخطية، في حين نلاحظ من الشكل نفسه أن A_2 يتغير بشكل غير خطي ويمكن أن تستنبط معادلة من النوع الأسّي (Power) للتعبير عن هذه العلاقة. لذا تعطى قيمة كل من المعلمتين A_1 و A_2 بالمعادلات التالية:

$$A_1 = a_1 N - 2.1 \quad (7)$$

$$A_2 = a_2 N^{-a_3} \quad (8)$$

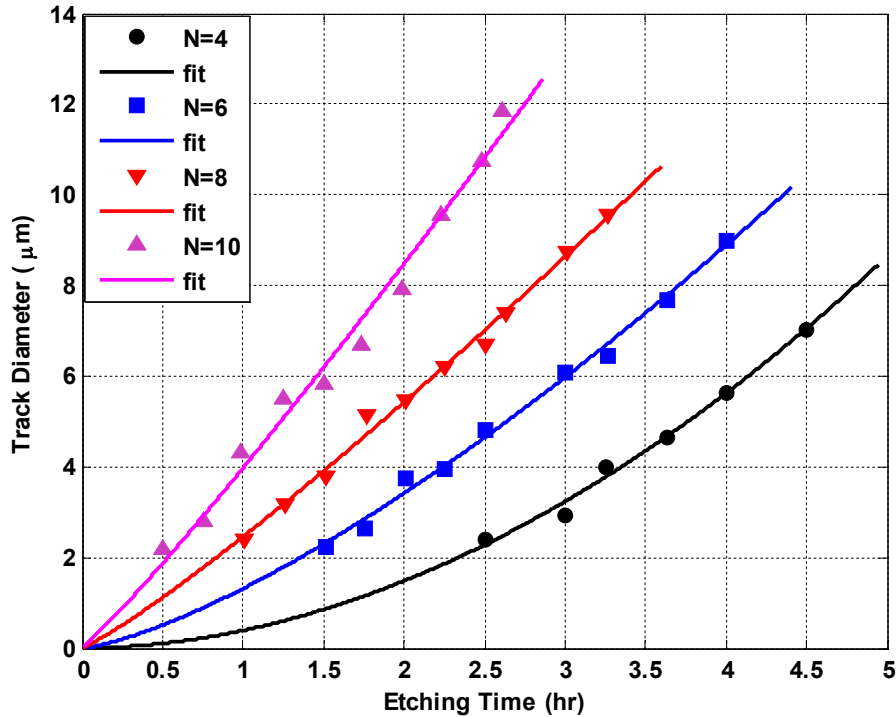
حيث a_1, a_2, a_3 معلّمت حرة جديدة (تقاس a_1, a_2 بمقلوب وحدة تركيز المحلول القاشط، في حين أن a_3 بدون وحدة قياس). وبالتالي يمكن كتابة معادلة قطر الأثر بدلالة زمن القشط (t) وتركيز المحلول القاشط (N) على النحو الآتي:

$$D(t, N) = (a_1 N - 2.1) \times t^{a_2 N^{-a_3}} \quad (9)$$

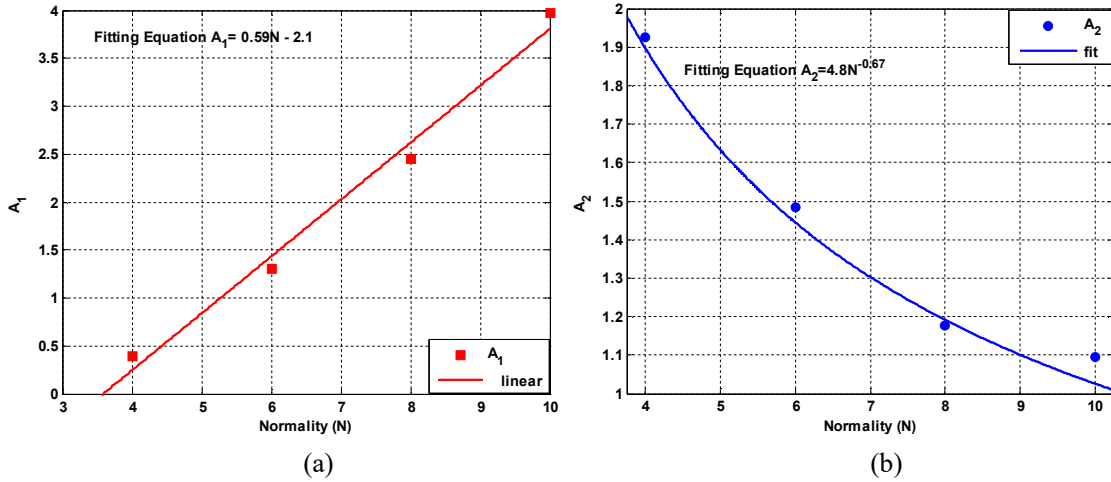
ولأجل استنباط معادلة تصف تطور أقطار آثار جسيمات ألفا دالة زمن القشط وتركيز المحلول القاشط، تم تطوير المعادلة المقترحة من (الجبوري والشميسي، 2015) [13]، حيث تصف المعادلة (6) تطور قطر الأثر دالة زمن القشط.

$$D(t) = A_1 t^{A_2} \quad (6)$$

ولإيجاد تغير قيم المعلمتين A_1, A_2 مع تركيز المحلول القاشط، رسمت أقطار آثار جسيمات ألفا مع زمن القشط ولتراكيز N (4, 6, 8, 10) كما في الشكل (2)، وتركت المعلمتين حرة، واتضح أنها تتغير مع تركيز المحلول القاشط. لذا تم استنباط معادلتين تربطان كلاً من المعلمتين A_1, A_2 مع تركيز المحلول. فالشكل (3) يبين تغير المعلمتين مع التركيز؛ إذ يتبين أن A_1 يتغير بشكل خطي مع تركيز المحلول القاشط، لذا يمكن وصف هذه



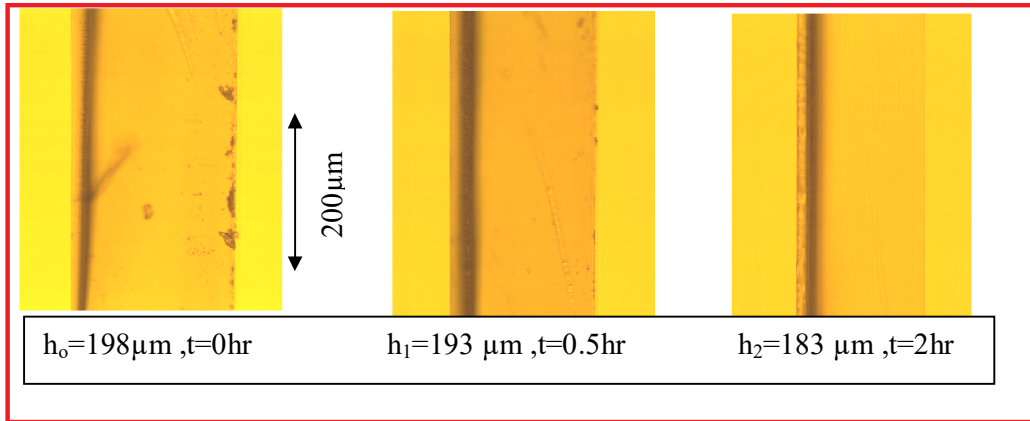
الشكل (2): أقطار آثار جسيمات ألفا دالة زمن القشط ولتراكيز مختلفة للمحلول القاشط.



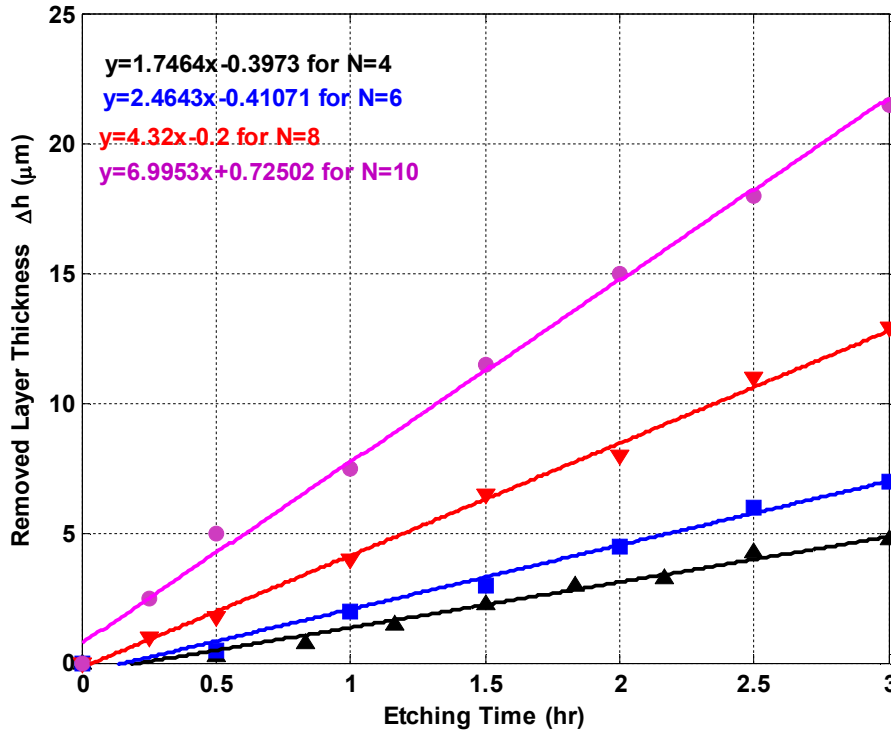
الشكل (3): تغير المعلمتين A_1 , A_2 مع تركيز المحلول القاشط.

يبين سمك الطبقة المزالة دالة لزمن القشط؛ إذ يتبين أن العلاقة بينهما علاقة طردية خطية، وان سمك الطبقة المزالة من السطح العام للكاشف يزداد بزيادة تركيز المحلول القاشط مع ثبات المؤثرات الأخرى (درجة الحرارة وزمن القشط). استخدمت المعادلة (1) لإيجاد معدل القشط العام V_B للتركيزات المستخدمة في هذا البحث. والجدول (1) يبين هذه القيم.

ولأجل قياس معدل القشط العام V_B عند كل تركيز من التراكيز N (4, 6, 8, 10)، أُخذت أربع عينات من كاشف CR-39 بأبعاد 1×1 cm وقُشطت في المحلول القاشط لأزمنة قشط متفاوتة، ثم تم قياس السمك المزال عند كل زمن قشط. والشكل (4) يعرض صوراً لسمك الكاشف CR-39 لثلاثة أزمنة قشط مختلفة تحت ظروف قشطية باستخدام محلول NaOH (8N, $70 \pm 1^\circ\text{C}$). ويظهر فيها التغير في سمك الكاشف جراء عملية القشط. الشكل (5)



الشكل (4): التغير في سمك الكاشف CR-39 جراء عملية القشط لثلاثة أزمنة قشط عند تركيز $N=8$.



الشكل (5): العلاقة بين سمك الطبقة المزالة وزمن القشط.

الجدول (1): معدل القشط العام.

Normality (N)	V_B ($\mu\text{m/hr}$)
4	0.87 ± 0.06
6	1.23 ± 0.01
8	2.16 ± 0.04
10	3.50 ± 0.1

$A=3.0121 \times 10^{-8}$ $\mu\text{m/hr}$, $B=1.3263 \times 10^3$ and $C=81.41$

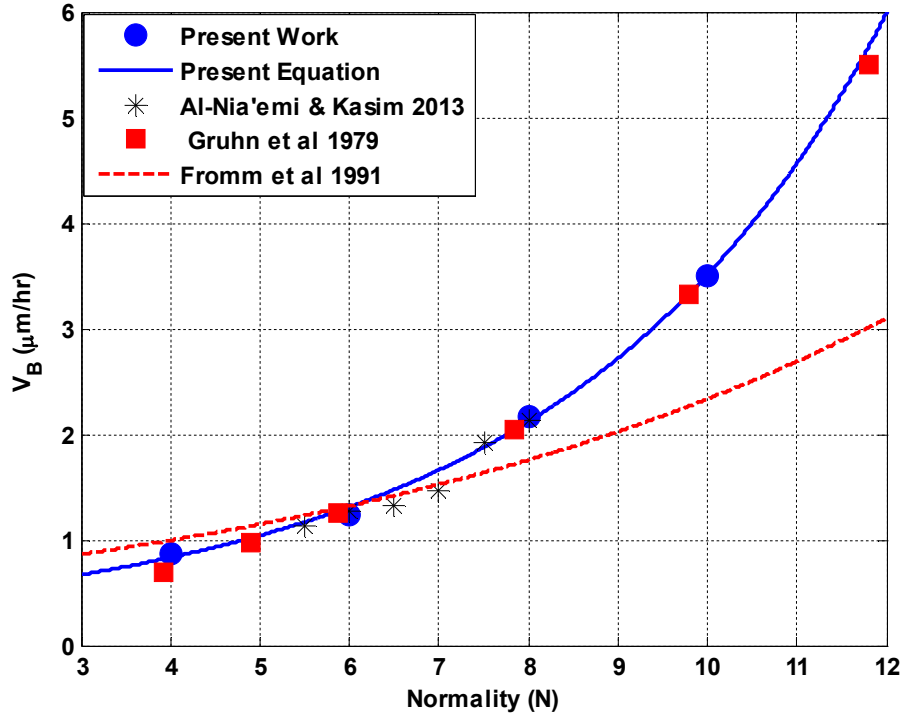
أجريت مقارنة للقيم التجريبية لـ V_B مع قيم تم الحصول عليها من دراسات عربية وأجنبية [14, 15] من جهة ومع معادلات نظرية [12] والمعادلة المستنبطة [المعادلة (10)] من جهة أخرى. وكان التوافق جيداً بين هذه المقارنات كما في الشكل (6)، حيث يوضح الخط الصلب ذو اللون الأزرق نتائج المعادلة المستنبطة، ويتبين أن لها سلوكاً جيداً، كما تتفق مع النتائج التجريبية لدراسات أخرى. ومن الشكل نفسه، نلاحظ أن معادلة Fromm *et al.* لاتعطي توافقاً جيداً مع المعادلة المستنبطة ونتائج تلك الدراسات.

من جهة أخرى، وجدت معادلة تجريبية تصف معدل القشط العام دالة لتركيز المحلول القاشط، حيث يتناسب معدل القشط العام مع التركيز وفق المعادلة التالية، وانطلاقاً من مبدأ انتشار السوائل في المواد غالباً ما تكون العلاقة أقرب إلى صيغة الدالة الأسية:

$$V_B \propto e^{\frac{-1}{N}}$$

$$V_B = Ae^{\frac{-B}{(N-C)}} \quad (10)$$

حيث A , B , C ثوابت يمكن إيجادها من مؤاممة المعادلة أعلاه. وفي هذا البحث، كانت قيم الثوابت



الشكل (6): مقارنة لمعدل القشط العام مع قياسات ومعادلات باحثين آخرين دالة لتركيز المحلول القاشط.

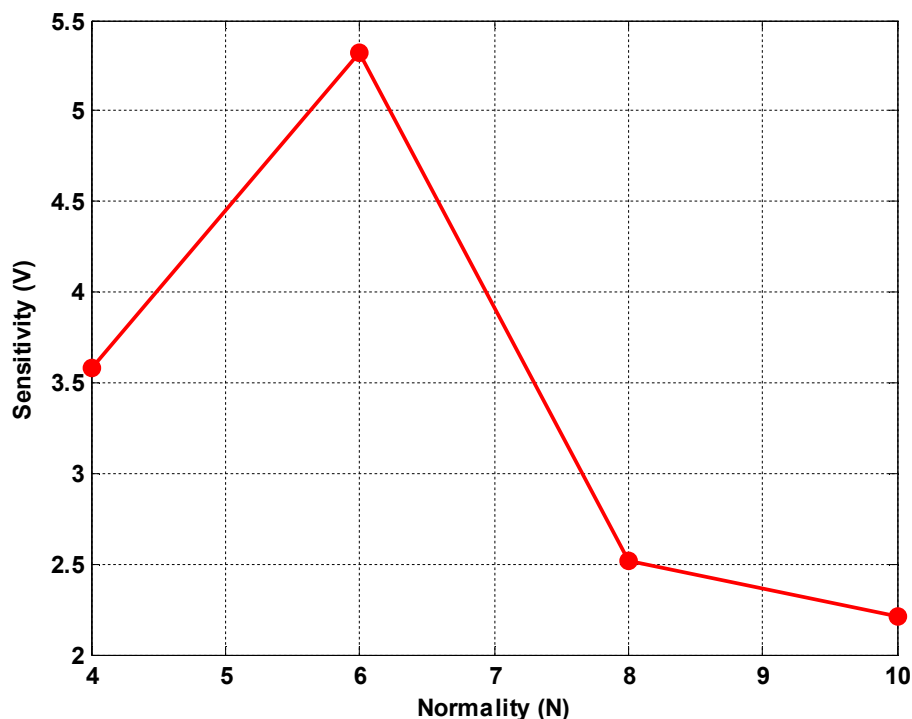
الاستنتاجات

إن لتغير تركيز المحلول القاشط تأثيراً واضحاً على أقطار آثار جسيمات ألفا؛ إذ تبين أن قطر الأثر يزداد بزيادة تركيز المحلول عند ثبات درجة حرارة القاشط وزمن القشط. وهذا بدوره أدى إلى استنباط معادلة ناجحة لوصف تطور أقطار آثار جسيمات ألفا مع زمن القشط دالة لتركيز المحلول القاشط، وكان التوافق جيداً بين القيم العملية ونتائج المعادلة المستنبطة. كما تبين نجاح طريقة السمك المزال في قياس معدل القشط العام V_B ، وتم استنتاج معادلة جديدة تصف زيادة V_B مع تركيز المحلول. هذه المعادلة تسلك سلوكاً جيداً في وصف V_B ، وذلك من خلال مقارنات أجريت لهذا الغرض. ومن خلال حساب حساسية الكاشف V لكل تركيز وجد أن التركيز الأمثل للقشط في هذا البحث هو $N=6$. وفي الإمكان في دراسات مستقبلية تطوير الدراسة الحالية من خلال قياس معدل قشط الأثر V_T دالة لتركيز المحلول القاشط، وإيجاد معادلة تجريبية تربط بين طول الأثر وتركيز المحلول.

يُعرف معدل نسبة القشط (V , Etching Ratio Rate) أو حساسية الكاشف بأنها النسبة بين معدل القشط على طول الأثر V_T إلى معدل القشط العام V_B ، علماً بأن قيمة V يجب أن تكون أكبر من واحد ($V>1$)، وهذا شرط ضروري لظهور الأثار المقشوفة [7]. ويمكن أن تحسب حساسية الكاشف للأثار الدائرية من المعادلة التالية [16]:

$$V = \frac{h^2 + r^2}{h^2 - r^2} \quad (11)$$

حيث h (μm) تمثل الطبقة المزالة من سطح الكاشف، و r (μm) نصف قطر الأثر. الشكل (7) يمثل حساسية الكاشف دالة لتركيز المحلول القاشط. ويتبين من هذا الشكل أن الحساسية تكون عند أعلى قيمة لها عندما يكون التركيز مساوياً $N=6$ ، وهذا يدل على أن الكاشف يكون حساساً لإظهار آثار جسيمات ألفا عند هذا التركيز. ويعتبر هذا التركيز الأمثل لظهور الأثار عند أقل زمن قشط.



الشكل (7): تغير حساسية الكاشف مع تركيز المحلول القاشط.

المراجع

- [10] Saffarini, G., Dwaikat, N., El-Hasan, M., Sato, F., Kato, Y. and Iida, T., Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. A, 680 (2012) 82.
- [11] Laidler, K.J., "Chemical Kinetics", third ed., (Harper & Row, New York, 1987).
- [12] Fromm, M., Membrey, F., Chambaudet, A. and Saouli, R., Nucl. Track Radiat., 19 (1-4) (1991) 163.
- [13] Al-Jubbori, M. and Al-Shumaisy, S., Jordan. J. Phys., 8(1) (2015) 57.
- [14] Al-Nia'emi. S.H.S. and Kasim, Y.Y., Jordan. J. Phys., 6(1) (2013) 17.
- [15] Gruhn, T.A., Li, W.K., Benton, E.V., Cassou, R.M. and Johnson, C.S., in: Proceedings of 10th Conference on SSNTD, Lyon, 2-6 July (1979) 291.
- [16] Awad, E.M and El-Samman, H.M., Radiat. Meas., 31 (1999) 109.
- [1] Khan, H.A., Nucl. Instr. and Meth., 78 (1980) 491.
- [2] Hermesdorf, D. and Arif, M., Radiat. Meas., 58 (2013) 101.
- [3] Azooz, A.A., Hermesdorf, D. and Al-Jubbori, M., Radiat. Meas., 58 (2013) 94.
- [4] Nikezic, D. and Yu, K.N., Materials Science and Engineers R, 46 (2004) 51.
- [5] Khan, H.A., Nucl. Instr. and Meth., 78 (1980) 491.
- [6] Al-Jubbori, M.A., Raf. J. Sci., 25(1) (2014) 120.
- [7] Durrani, S.A. and Bull, R.K., "Solid State Nuclear Track Detection", (Pergamon Press, Oxford, 1987).
- [8] Manzoor, S., "Nuclear Track Detectors for Environmental Studies and Radiation Monitoring", (Physical Department, University of Bologna, 2006).
- [9] Somogyi, G. and Hunyadi, I., in: Proc. Of 10th Int. Conf. "Solid State Nuclear Track Detectors", Lyon and Suppl. 2, Nuclear Tracks, Pergamon Press, Oxford (1980) 443.