صياغة معادلة تجريبية لتغير معدل القشط العام للكاشف النووي CR-39 مع زمن القشط وجرعة التشعيع الكامي

ياسر يحيى قاسم

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

الاستلام	القبول
2008 / 11 / 04	2009 / 04 / 06

ABSTRACT

The rates of bulk etching (V_B) and track etching (V_T) are considered an important parameters in identifying the track profiles and its growing rate. So, this paper aims at determining an empirical relation for the bulk etch rate of CR-39 (250 μm) with etching time and γ-irradiation dose. A number of CR-39 detector pieces were exposed to different doses of exposure times (9-30) hrs with 3 hrs step of increasing. A KOH solution of concentration 25% and temperature $(70 \pm 1)^{O}C$ was used in chemical etching of the exposed and the standard pieces of the detector which have showed increasing of V_B with γ-doses that exposed to. A fitting process of V_B curves was carried out with different exposure times for used etching times, and it was found that the polynomial form is the appropriate one to estimate the constants of the suggested empirical equation for V_B as it is related to the etching and γ-exposure time. However, the results of the suggested equation of V_B have showed a good agreement with the experiment ones under the considered conditions.

الملخص

يعد معدلي القشط العام V_B والقشط على طول الأثر V_T معلمين مهمين في تحديد شكل الأثر ومتابعة نموه، لذا يهدف البحث إلى أيجاد معادلة تجريبية لتغير V_B لكاشف CR-39 مع زمن القشط وجرعة التشعيع بكاما. عرضت عدد من قطع الكاشف لجرعات من كاما بأزمان تعريض مختلفة hrs (9-30) وبفترات زيادة 3 hrs، واستخدم محلول هيدروكسيد

البوتاسيوم (KOH) بتركيز25% ودرجة حرارة (70±1)ºC في عملية القشط الكيميائي بأزمان مختلفة لقطع الكاشف المعرضة لكاما والقطع القياسية، حيث أظهرت النتائج زيادة V_B للكاشف مع جرعة كاما المعرض لها. وقد أجريت عملية الملائمة لمنحنيات V_B مع أزمان التعريض المختلفة لازمان القشط المستخدمة، وكانت أفضل معادلة هي متعدد الحدود Polynomial لإيجاد ثوابت المعادلة التجريبية التي تربط V_B بزمن التعريض وزمن القشط. قورنت نتائج المعادلة التجريبية بالنتائج العملية وتبين وجود تطابق جيد معها ضمن الظروف المعتمدة.

المقدمة

هناك معلمان أساسيان يتحكمان في تكوين الأثر هما معدل القشط العام V_B (Bulk Etch Rate)، ومعدل القشط على طول أو عمق الأثر (Track Etch Rate). فمعدل القشط العام هو مقدار ما يزال من سطح للكاشف خلال عملية التفاعل الكيميائي بين المادة القاشطة ومادة الكاشف مما يؤدي إلى تقليل سمكه مع تقدم عملية القشط [Nikezic and Yu., 2004]. ويعد معدل القشط العام معلماً من معالم الكاشف إذ يعتمد على عوامل عدة منها؛ نقاوة المادة الأساسية المصنع منها الكاشف، ومدى تجانسها وتماثل خواصها، وطبيعة جزيئات الكاشف البوليمري وظروف بلمرتها خلال عملية إنتاج الكاشف فضلاً عن اعتمادها على العوامل البيئية أثناء تشعيع الكاشف إذ وجد إن عملية التسخين لها تأثير كبير وواضح على V_B لكواشف الأثر النووي [Khan.,1980] فضلاً التأثير الملحوظ للالكترونات والأشعة الكهرومغناطيسية المؤينة. والى جانب كون V_B معلماً كشفياً فانه يعد أيضاً معلماً قشطياً مهماً, إذ يعتمد على نوع المحلول الكيميائي القاشط، وتركيزه، ودرجة حرارته [Durrani and Bull.,1987، Nikezic and Yu, 2004].

ونظراً لأهمية معدل القشط العام V_B في التحكم في عملية تكوين الأثر، فقد تعددت طرائق قياسه؛ منها طرائق مباشرة باستخدام المجهر الالكتروني وأخرى غير مباشرة. إذ يمكن قياس V_B من خلال قياس سمك المادة المزالة من سطح الكاشف وذلك بقياس سمك الكاشف قبل القشط وبعد عمليات قشط متعاقبة ولازمان قصيرة ضمن مدة ثبوت V_B، ثم يحسب V_B من ميل العلاقة بين السمك المزال Δh (μm) وزمن القشط Δt (hr) باستخدام [Durrani and Bull.,1987]:

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

وهناك طريقة قياس لـ V_B يطلق عليها القياس ألتثاقلي [Nikezic and Yu, 2004].

وتعتمد هذه الطريقة على ما يزال من مادة الكاشف جراء عملية القشط الكيميائي لزمن محدد، وتتم هذه العملية بقياس كتلة الكاشف قبل عملية القشط وبعده ولزمن قشط محدد، ومن العلاقة بين الكتلة المزالة Δm (gm) وزمن القشط Δt (hr) تحسب V_B من العلاقة [Amin 1981]:

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

إذ أن A (cm^2) مساحة سطح الكاشف وρ ($gm.cm^3$) كثافة مادة الكاشف.

وهناك طريقة أخرى لقياس V_B وهو باستخدام شظايا الانشطار. وتعد هذه الطريقة من الطرائق غير المباشرة في عملية حساب V_B، إذ يقصف الكاشف بشظايا الانشطار من المصدر المشع ^{252}Cf عندما يكون المدى الناتج عن شظايا الانشطار صغيراً نسبياً بحيث يمكن عد معدل القشط على طول الأثر V_t ثابتاً خلال عملية القشط تحت الظروف المستخدمة. ويمكن الحصول على صيغة مبسطة ومقربة لـ V_B وتطبيقها عندما يكون السقوط عمودياً [Nikezic and Yu., 2004; Durrani and Bull. 1987].

$$V_B = \frac{1}{2}\frac{df}{dt} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

إذ يمثل (df/dt) المعدل الزمني لأقطار شظايا الانشطار الساقطة عمودياً على الكاشف.

وجدير بالإشارة هنا إلى أن معدل القشط العام V_B له قيمة واحدة لا تعتمد على الاتجاه (Scalar parameter) ضمن الظروف المستخدمة من محلول القشط والعامل البيئي المؤثر إن كانت مادة الكاشف متجانسة (Homogenous)، ومتماثلة الخواص (Isotropic) مثل كاشف CR-39 و PM-355، فيما يمتلك V_B قيمتين (Directional parameter) ضمن الظروف المستخدمة للكواشف غير المتجانسة (Non-homogenous)، وغير متماثلة الخواص (Non-isotropic)، مثل المايكا لان V_B يختلف باختلاف اتجاهي القشط على سطح الكاشف.

ويمكن تقسيم العوامل المؤثرة على كواشف الأثر النووي والتي تلعب دوراً كبيراً في التأثير على الخصائص الكشفية والتسجيلية، ومعدلات القشط العام والأثر إلى عوامل كيميائية مثل نوع المحلول القاشط، وتركيزه، ودرجة حرارته فضلاً عن عوامل فيزيائية أخرى منها الترددات فوق السمعية [Pandey *et. al.*,1998]، ودرجات الحرارة العالية والجرعات العالية من الإشعاعات الكهرومغناطيسية [Al-Niaemi, 1998, Fazal *et. al.*, 1999]. إن الدراسات التي أنجزت في مجال تأثير الأشعة الكهرومغناطيسية تعد قليلة مقارنة بالدراسات الأخرى كتأثير التسخين والتبريد مثلاً، والسبب في ذلك كون هذه العملية تحتاج إلى جرعات عالية للوصول إلى تأثيرات ملحوظة فضلاً عن إن تلك التأثيرات تكون غير منتظمة وقد

تتغير آنيا بتغير معلمات الإشعاع. فتعريض الكاشف للأشعة الكهرومغناطيسية، گاما مثلا، يشتت العيوب (Defects) الطبيعية فيها وتتم هذه العملية على مستوى الذرات ومن ثم يكون من الصعب التعرف على العيوب الموجودة في هذه الكواشف باستخدام عملية القشط إلا إذا كان زمن القشط كبيراً. إن تأثير الأشعة الكهرومغناطيسية على كاشف الأثر النووي لا يؤدي إلى إنتاج آثار (مسارات) ملحوظة في تلك الكواشف مثل ما تتركه الجسيمات المشحونة والتي كتلتها اكبر من كتلة الالكترونات، ولكنها قد تترك آثار واضحة المعالم على خصائص تلك الكواشف [Tager.,1978]. فالأشعة الكهرومغناطيسية ذات الشدات أو الجرعات العالية هي التي تظهر تأثيرا واضحاً على كواشف الأثر النووي حيث تفقد الأشعة الكهرومغناطيسية ذات الطاقة العالية جزءاً معيناً من طاقتها عند مرورها في كل من وحدة سمك معين من المادة المخترقة، وعليه لا يمكن تحديد مدى اختراق هذه الأشعة داخل المادة حيث تكون موجودة في كل عمق اختراق من المادة وان طاقتها تتضاءل بزيادة عمق الاختراق وان امتصاصها من قبل المادة تعتمد على طاقة فوتوناتها الساقطة، وعلى كثافة المادة، والعدد الذري لمكوناتها [الياور، 1985]. فعند تعريض الكاشف CR-39 والذي يمتاز بحساسية وكفاءة كشف عاليتين للإشعاع الجسيمي أو الكهرومغناطيسي تؤدي إلى كسر السلسلة لمجموعة الكاربونيل مما يؤدي إلى انحلال البوليمر وتكون الجذور [Al-Niaemi,1998]، ووجود الأوكسجين له دور كبير إذ يعمل كعامل مؤكسد يسرع من عملية الانحلال ويقلل من الأستقرارية الحرارية [Thermal stability] فيمنع إعادة ارتباط الجذور الحرة أو السلاسل المكسرة الناتجة مما يقلل من الوزن الجزيئي للمادة.

هناك بعض الدراسات حول معدل القشط العام (V_B) وتأثير أشعة گاما عليه باستخدام عدد من كواشف الأثر النووي مثل (CR-39 و PM-355 و CA80-15)، حيث أشارت معظم الدراسات إلى إن معدل القشط العام (V_B) يزداد بزيادة جرعة التعرض لأشعة گاما [Yamauchi et al., 2001, Szydlowski et al.; 2003؛ البطاوي، 1999]. فهذا البحث يهدف إلى دراسة تأثير أشعة گاما بجرعات وأزمان قشط مختلفتين على معدل القشط العام، وصياغة معادلة تجريبية لتغير معدل القشط العام للكاشف النووي CR-39 كدالة لزمن القشط وجرعة التشعيع الكامي.

طريقة العمل

يقطع الكاشف CR-39 إلى تسع قطع وبإبعاد $(1.5\times1.5)cm^2$ مع ملاحظة إن عملية التقطيع يجب أن تكون هندسية نوعاً ما وذلك لتجنب حدوث أي خدش في الكاشف، كما يجب أن تصقل حافات هذه القطع بورق ناعم وذلك لجعله خالياً من أي خدش بغية الحصول على

قياسات دقيقة لمعدل القشط العام V_B قدر الإمكان. تعرض ثمان قطع إلى أشعة گاما ولجرع (0.2754, 0.3672, 0.4590, 0.5508, 0.6427, 0.7344, 0.8262, 0.9180)Rad. باستخدام خلية التشعيعGamma Cell-220 صنع شركة (Atomic Energy of Canada) والموجود حالياً في جامعة الموصل/ كلية العلوم. إن خلية التشعيع هذه تحتوي على المصدر المشع ^{60}CO عمره النصفي 5.27 yr بفاعلية إشعاعية 6430 Ci عند صنعه الشهر الخامس 1982.

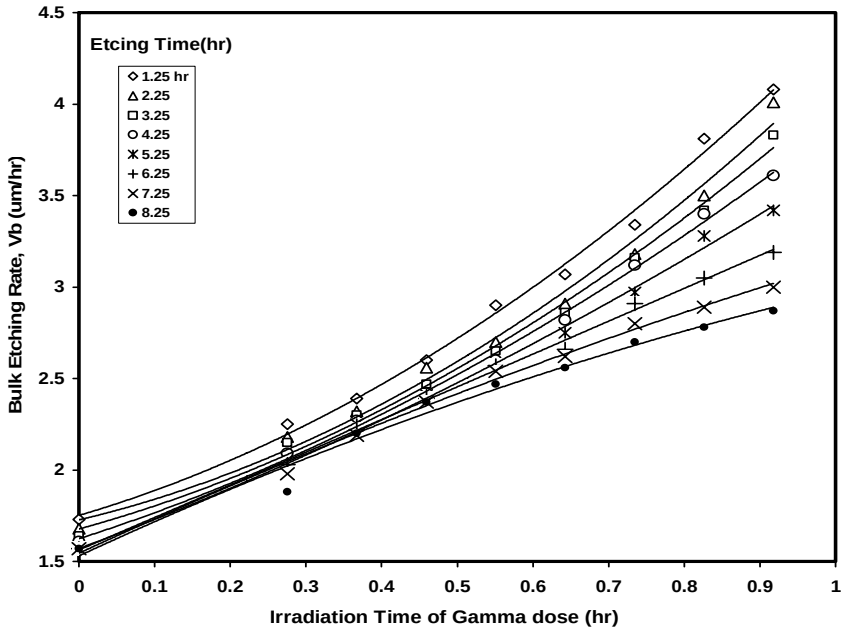
توضع القطعة القياسية غير المعرضة لأشعة كاما، في فرن بدرجة حرارة $50\ C^{\circ}$ لمدة نصف ساعة للتخلص من الرطوبة الممتصة من قبلها من الجو للحصول على الكتلة الحقيقية لقطعة الكاشف هذه. بعد ذلك توزن هذه القطعة بميزان حساس تصل دقته إلى 10^{-5} gm وتسجل كتلتها قبل القشط m_1 ثم تجرى عملية القشط عليها لمدة 1.25 hr باستخدام المحلول الكيميائي ($KOH, 6.25\ N, 70\pm C^{\circ}$). يعاد تجفيف هذه القطعة للفترة الزمنية الأولى نفسها، وتوزن مرة أخرى وتسجل كتلتها m_2 ويحتسب الفرق بين كتلة الكاشف قبل عملية القشط وبعده وتساوي Δm، وباستخدام المعادلة يحتسب معدل القشط العام V_B. وهكذا تعاد هذه العملية نفسها على هذه القطعة ولازمان قشط مختلفة وهي (2.25, 3.25, 4.25, 5.25, 6.25, 7.25, 8.25) ثم تكرر العملية على كل نموذج من النماذج الثمانية المعرضة لجرع مختلفة من أشعة گاما لحساب معدل القشط العام V_B لكل جرعة من أشعة گاما ولازمان القشط أعلاه.

النتائج والمناقشة

أن معدل القشط العام (V_B) هو ما يزال من مادة الكاشف من وجه واحد لوحدة الزمن جراء القشط الكيميائي، وتعتمد قيمته على الظروف القشطية لدرجة حرارة المحلول القاشط، وتركيزه، وزمن القشط، ونوع المحلول القاشط، فضلاً عن نوع الكاشف المستخدم. لقد وجد من خلال النتائج التي حصلنا عليها إن قيمة V_B لكاشف CR-39 غير المعرض لأشعة كاما وكما يظهر من الشكل (1) وهي بحدود $1.73\ \mu m\ hr^{-1}$ لزمن قشط 1.25 hr، إذ يلاحظ أن V_B يزداد بشكل طردي وأسي بزيادة جرع التعرض لأشعة كاما وهذا يتفق مع ما توصل إليه (البطاوي،1999؛ Fazal *et. al.*, 1999; Yamauchi *et. al.*, 2001). ويلاحظ من الشكل نفسه أن الزيادة في V_B تكون آسية لازمان القشط hr (1.25, 2.25, 3.25, 4.25, 5.25) وللجرع المعرض لها الكاشف، فيما يتغير شكل المنحنيات لازمان القشط hr (6.25, 7.25, 8.25) حيث تكون الزيادة خطية عند الجرع القليلة فيما تبدأ المنحنيات بالثبات عند الجرع العالية من أشعة كاما المعرض لها الكاشف CR-39، والسبب في ذلك

يعود إلى انه عند الأزمان hr (6.25, 7.25, 8.25) تكون مقدار المادة المزالة جراء القشط الكيميائي قليلة جداً حتى في الجرعات العالية التي يتعرض لها الكاشف بسبب قلة عمليات التحال جراء القشط الكيميائي حتى مع زيادة زمن القشط، ولهذا يلاحظ أن المنحنيات تبدأ بالانفصال عن بعضها البعض عند أزمان القشط hr (6.25, 7.25, 8.25).

إن زيادة V_B مع زيادة جرع التعرض لأشعة كاما ناتج عن زيادة في عمليات التحال جراء القشط الكيميائي إذ أن التعرض إلى أشعة كاما يؤدي إلى تكوين جذور حرة وسلاسل قصيرة ضمن هيكل البوليمر مما يؤدي إلى اكتسابها طاقة إضافية وزيادة التنافر فيما بينها، وان زيادة جرع التعرض يؤدي إلى تراكم طاقة اكبر، وزيادة نشاط الجذور الحرة المتكونة، وزيادة عددها مما يجعل تلك السلاسل تدخل في تفاعلات معينة أو إعادة ترتيب وتحاول كسر سلاسل بوليمرية داخلية أخرى مسببة نقصاناً في الوزن الجزيئي للبوليمر، وزيادة في عمليات التحال ومن ثم زيادة معدل القشط العام (V_B) كلما زادت جرعة التعرض لأشعة كاما. وتشير البحوث إلى إن الأوكسجين هو المسبب الأكثر احتمالية لهذه الحالة حيث انه عامل مؤكسد يؤدي وجوده إلى منع إعادة ارتباط الجذور الحرة مرة ثانية. وتعتمد كمية الجذور الحرة المتولدة نتيجة تعرض الكاشف لأشعة كاما على طاقتها وشدتها فضلاً عن معدل جرعتها (أي زمن التعرض). إن التعرض لأشعة كاما ولفترات طويلة لا يؤدي إلى زيادة في عمليات التحال الجزيئي وتكوين الجذور الحرة فحسب بل يرافقها تغير في بعض الخصائص الفيزيائية مثل تغير في لون الكاشف، حيث زاد اصفرار الكاشف وقلت شفافيته وأصبح أكثر دكنة عند تعريض الكاشف لأشعة كاما ولازمان hr (30، 27، 24).



الشكل (1): العلاقة بين معدل القشط العام وجرع التشعيع بكاما لازمان قشط مختلفة

لغرض الحصول على معادلة تجريبيه شاملة بين معدل القشط العام (V_B) وزمن القشط (t_e) وزمن التشعيع بكاما من جهة أخرى، فقد أجرينا عملية الملائمة (fitting) للمنحنيات في الشكل (1)، ومن عامل التصحيح R^2 نلاحظ إن أفضل معادلة للملائمة هي معادلة متعدد الحدود من الدرجة الثانية. ولتعميم هذه المعادلة على مدى أزمان القشط (1.25- 8.25) hr وضمن أزمان التشعيع من hr(30--0) المستخدمتين، نلاحظ أن الثوابت (c،b،a) في معادلة متعدد الحدود من الدرجة الثانية في الجدول (2) يتغيرون مع زمن القشط.

ولإيجاد علاقة رياضية يمكن بوساطتها إيجاد قيم هذه الثوابت لأي قيمة من زمن القشط، فقد تم رسم منحنيات بيانية بين كل من الثوابت أعلاه وزمن القشط كما مبين في الأشكال (2 و 3 و 4). وقد أجريت عملية الملائمة لإيجاد قيم الثوابت a، b ،c وهي معادلة متعددة الحدود من الدرجة الثانية، حيث أن الصيغة العامة للمعادلة التجريبية الشاملة تصبح كالآتي:

$$V_B = cx^2 + bx + a \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

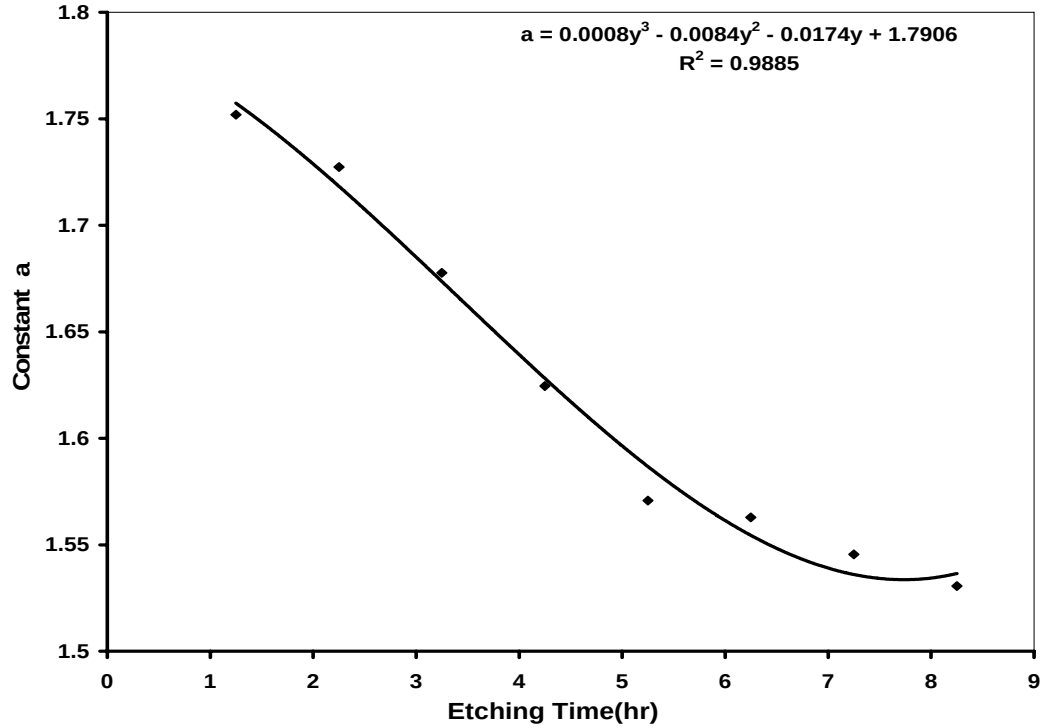
إذ أن a، b ،c ثوابت، و x زمن التشعيع بكاما.

$$a = 0.0008y^3 - 0.0084y^2 - 0.0174y + 1.7906$$

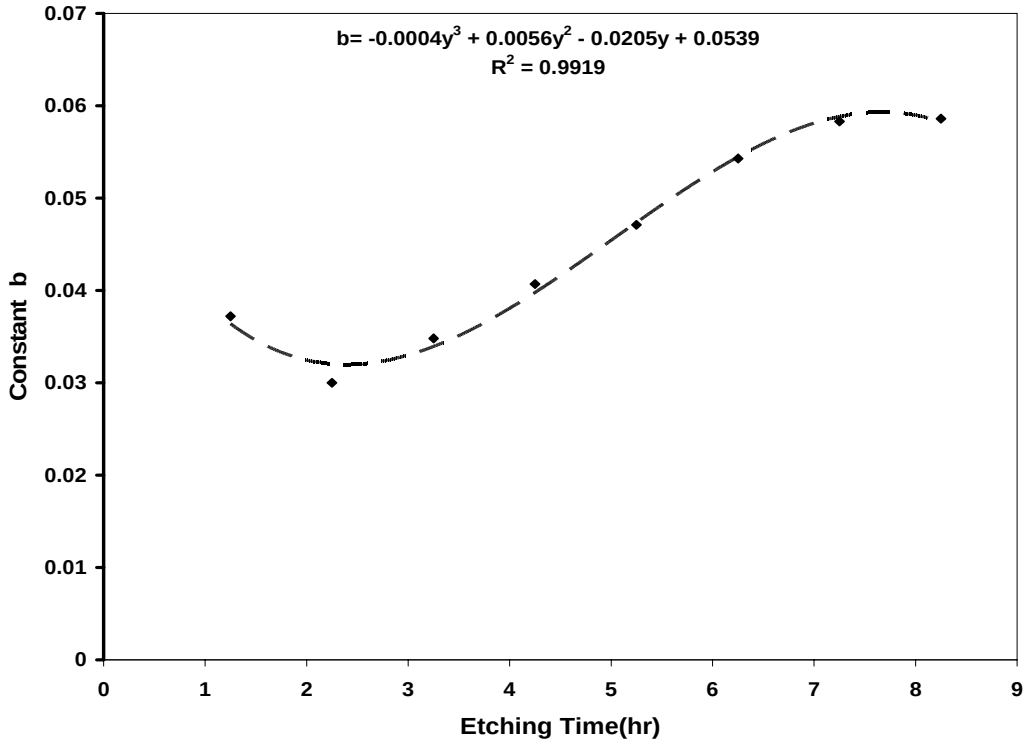
$$b = -0.0004y^3 + 0.0056y^2 - 0.0205y + 0.0539$$

$$c = 2E-05y^3 - 0.0002y^2 + 0.0008y + 0.0006$$

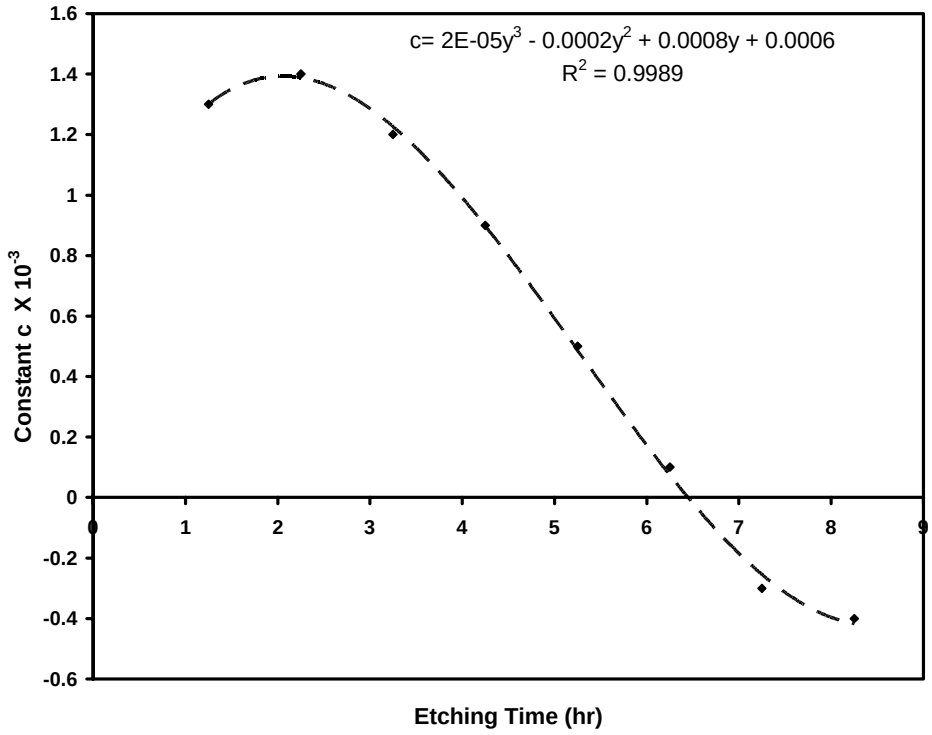
حيث إن y هو زمن القشط.



الشكل (2): العلاقة بين الثابت a وزمن القشط



الشكل (3): العلاقة بين الثابت b وزمن القشط



الشكل (4): العلاقة بين الثابت c وزمن القشط

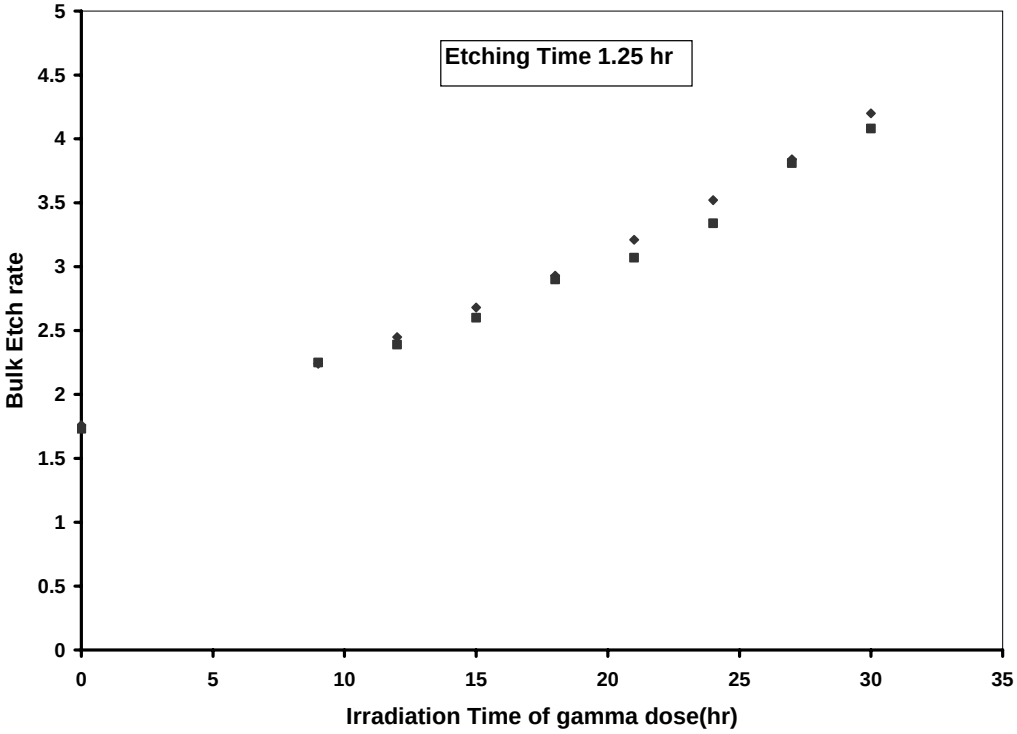
الجدول (1): العلاقة بين ثوابت المعادلة التجريبية وزمن القشط

زمن القشط t (hr)	a	b	c
1.25	1.7519	0.0372	0.0013
2.25	1.7273	0.03	0.0014
3.25	1.6776	0.0348	0.0012
4.25	1.6245	0.0407	0.0009
5.25	1.5707	0.0471	0.0005
6.25	1.5629	0.0543	0.00001
7.25	1.5455	0.0583	-0.0005
8.25	1.5306	0.0586	-0.0004

الجدول (2): يوضح المعادلات المستخدمة في عملية الملائمة

زمن القشط t (hr)	متعددة حدود من الدرجة الأولى	متعددة حدود من الدرجة الثانية	(دالة آسية)
1.25	$y = 0.0788x + 1.542$ $R^2 = 0.9698$	$y = 0.0013x^2 + 0.0372x + 1.7519$ $R^2 = 0.9956$	$y = 1.7165\ e^{0.0286x}$ $R^2 = 0.9963$
2.25	$y = 0.0736x + 1.5073$ $R^2 = 0.9577$	$y = 0.0014x^2 + 0.03x + 1.7273$ $R^2 = 0.9899$	$y = 1.6709\ e^{0.0277x}$ $R^2 = 0.9927$
3.25	$y = 0.0607x + 1.497$ $R^2 = 0.9712$	$y = 0.012x^2 + 0.0348x + 1.6776$ $R^2 = 0.9951$	$y = 1.6457\ e^{0.0273x}$ $R^2 = 0.9965$
4.25	$y = 0.0676x + 1.4885$ $R^2 = 0.9827$	$y = 0.009x^2 + 0.0407x + 1.6245$ $R^2 = 0.9976$	$y = 1.6221\ e^{0.0269x}$ $R^2 = 0.9981$
5.25	$y = 0.0629x + 1.4908$ $R^2 = 0.9907$	$y = 0.0005x^2 + 0.0471x + 1.5707$ $R^2 = 0.9967$	$y = 1.6018\ e^{0.026x}$ $R^2 = 0.9952$
6.25	$y = 0.0548x + 1.5608$ $R^2 = 0.9975$	$y = 0.00001x^2 + 0.0543x + 1.5629$ $R^2 = 0.9975$	$y = 1.6363\ e^{0.0235x}$ $R^2 = 0.9863$
7.25	$y = 0.0489x + 1.5932$ $R^2 = 0.9913$	$y = 0.0003x^2 + 0.0583x + 1.5455$ $R^2 = 0.9948$	$y = 1.6472\ e^{0.0216x}$ $R^2 = 0.972$
8.25	$y = 0.0449x + 1.6003$ $R^2 = 0.9724$	$y = 0.0004x^2 + 0.0586x + 1.5306$ $R^2 = 0.9812$	$y = 1.6422\ e^{0.0204x}$ $R^2 = 0.9497$

ولإجراء المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها في هذا البحث مع النتائج العملية فقد اخترنا زمن القشط hr (1.25) ولجميع أزمان التشعيع المستخدمة في البحث كنموذج في عملية المقارنة وكما هو مبين في الشكل (5).



الشكل (5): العلاقة بين النتائج العملية والنظرية

الاستنتاجات

لقد تم استنتاج معادلة تجريبية تربط المتغيرات الثلاثة وهي معدل القشط العام (V_B)، وزمن القشط، وزمن التعريض إلى أشعة كاما لكاشف الأثر النووي CR-39 ضمن مدى أزمان القشط والتعريض المستخدمتين في هذا البحث، حيث لوحظ وجود تطابق جيد بين النتائج العملية مع نتائج المعادلة التجريبية المقترحة عند أزمان القشط المستخدمة. كذلك وجد أن معدل القشط العام يتغير بتغير الجرعة المعرض لها الكاشف ما بين زمن تعريض (9-30) ساعة، وتبين أن لون الكاشف يميل نحو الاصفرار ما بين أزمان تعريض (24-30) ساعة مما يدل على انه عند هذه الأزمان يكون تأثير أشعة كاما أكبر مما هو عليه في الأزمان الأخرى. وبالإمكان استخدام الطريقة نفسها لإيجاد معادلة تجريبية بين معدل القشط العام وزمن القشط ودرجة الحرارة المحلول القاشط.

المصادر

1) Tager A. A. (1978). "physical chemistry of polymer." Mir. Publisher, Moscow, USSR.

2) Khan H. A. (1980). "Fast neutron dosimetry using CR-39 plastic detectors" Nuclear Instruments and Methos, 78:PP 491-497.

3) Amin S. A. (1981), "Etching properties of the CR-39 polymeric nuclear track detector". Ph.D. Thesis, University of Bristol, UK.

4) Durrani S. A. and Bull R.K.(1987), "Solid state nuclear track detection" Pergamon Press, Oxford.

5) Pandey, A. K., Kalsi, P. C. and Iyer, R. H., (1998) "Effect of high intensity Ultrasonic in chemical etching of particle tracks in solid state nuclear track detectors" Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B 134, pp. 393-399.

6) Al-Nia'emi S. H. S. (1998) "Effect of electromagnetic radiation on the properties of nuclear track detector CR-39 and building of the electrochemical etching system". Ph.D. Thesis, College of Science, University of Mosul.

7) Yamauchi T., Tanignchi T., Odak., Ikeda T., Honda and Tagawa S. (1999) "Dose-rate effect on the bulk etch-rate of CR-39 track detector exposed to low-LET radiation" radiat. Meas., 31:PP121-126.

8) Yamauchi T., Ichijo H. and Odak. (2001). "Depth-Dependence of the Bulk etch rate of Gamma - Ray irradiated CR39 track Detectors". Radiat. Meas. 34; PP85-89.

9) Fazal - ur - Rchman، Abu-Jarad F., Al-Jarallah M. I. and Farhal M.(2002). Radiat. Meas, 34:PP617 .

10) Szydlowsiki A., Banaszak A., Fijal I., Jaskola M., Korman A., Sadowski M. and Zimek Z.(2003). Radiat-Meas., 36 i PPlll.

11) Nikezic D. and Yu K. N. (2004). "Formation and growth of tracks in nuclear track materials" University of Kragujevac, Serbia and Monted Negro. Material Science and Engineering, R46; pp51-123.

12) الياور، خالد يونس(1985)، "مبادئ في الفيزياء الإشعاعية" (مترجم)، مديرية مطبعة جامعة الموصل.

13) البطاوي، عمار عبد الله (1999) "تأثير كل من أشعة كاما والتسخين على استجابة كاشف" الأثر النووي PM-355 رسالة ماجستير، كلية التربية، جامعة الموصل.

14) الحبيطي، ياسر يحيى (2005) "اعتمادية معدلات قشط الأثر على العمق لكاشف الأثر النووي CR-39 المشعع بكاما لطاقات مختلف لجسيمات الفا" رسالة ماجستير، كلية التربية، جامعة الموصل.