

Investigate Oblique Incident Alpha Particle Tracks on CR-39 Detector

Yasser T. Khilile^{1*}, Mushtaq A. D. Al-Jubbori²

^{1,2}Department of Physics, College of Education for Pure Sciences, University of Mosul, Mosul, Iraq

E-mail: ^{1*}yasrth757@gmail.com, ²mushtaq_phy@uomosul.edu.iq

(Received June 05, 2020; Accepted July 05, 2020; Available online September 01, 2020)

DOI: [10.33899/edusj.2020.127268.1081](https://doi.org/10.33899/edusj.2020.127268.1081), © 2020, College of Education for Pure Science, University of Mosul.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract:

In this paper, the nuclear track detector CR-39 with a thickness of 200 μm is divided to several pieces. The area of one piece is $1 \times 1 \text{ cm}^2$. This study has involved two parts. First part is without irradiated by alpha particles. The second is irradiated by alpha particles with energy $E = 1.2 \text{ MeV}$ using the ^{241}Am radioactivity source and incident angles (0, 10, 30, 50)°. All samples etching with sodium hydroxide solution at a concentration of 6.25 N and a temperature of $(70 \pm 1) ^\circ\text{C}$. The study included calculating track parameters and comparing them with the results of the first equation from the Track-Test program. This comparison showed that there is a good agreement between experimental results and Track-Test data for track profile.

Keywords: CR-39 detector; Oblique Incident; Alpha particles; Track lengths

دراسة آثار جسيمات الفا في حالة السقوط المائل على كاشف الأثر النووي CR-39

ياسر طه خليل^{1*}، مشتاق عبد داود الجبوري²

^{1,2}قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق

المخلص

في هذا البحث استخدام كاشف الأثر النووي CR-39 ذات سمك $200 \mu\text{m}$ قطع الى عدة أجزاء ذات مساحة $1 \times 1 \text{ cm}^2$ حيث اشتملت الدراسة على جزئين: الجزء الاول استخدام الكاشف بدون تشيع لغرض حساب معدل القشط العام للكاشف بطريقة السمك المزال وكانت قيمته $V_B = 1.55 \mu\text{m}$ ، اما الجزء الثاني فقد تم تشيع العينات بجسيمات الفا بطاقة $E = 1.2 \text{ MeV}$ باستخدام مصدر الأمريشيوم ^{241}Am وبزاويا سقوط (0, 10, 30, 50)° مع العمود، قشطت العينات بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 6.25 N ودرجة حرارة $(70 \pm 1) ^\circ\text{C}$. تضمنت الدراسة حساب معلمات الأثر وتصوير مظاهره الجانبية ومقارنتها مع نتائج المعادلة الأولى من برنامج Track-Test وقد اظهرت هذه المقارنة بان هنالك توافقاً جيداً بين المظاهر التجريبية ونتائج Track-Test من حيث شكل الأثر.

الكلمات المفتاحية: كاشف CR-39، السقوط المائل، جسيمات الفا، أطوال الاثار.

المقدمة

تمتاز كواشف الأثر النووي الصلبة بخصائص عديدة جعلت منها أداة فعالة في الكشف عن الجسيمات المشحونة وشظايا الانشطار وكذلك النيوترونات [1]. من هذه الخصائص؛ وفرتها وكلفتها المناسبة، وسهولة استعمالها وعدم حاجتها إلى أجهزة إلكترونية ومعدات قدرة مما يعطي مرونة كبيرة في استعمالها في مناطق لا يمكن إيصال الأجهزة الإلكترونية والمستلزمات الأخرى التي تحتاجها الكواشف الإلكترونية. ومن الخصائص الأخرى لهذه الكواشف إن لها استجابة وكفاءة وتمتاز بدرجة كبيرة من تجانس مادتها وانتظامها، وشفافيتها البصرية العالية فضلا عن سهولة اظهار آثار الجسيمات المشحونة فيها لوفرة المحاليل الكيميائية القاشطة [2]، وقابليتها الكبيرة على الاحتفاظ بالآثار لفترة طويلة في الظروف الاعتيادية [3-5]. ونتيجة لهذه الخصائص العامة والخصائص الأخرى الإضافية التي يمتاز بها كل كاشف من كواشف الأثر النووي الصلبة تبعاً لنوعه وتركيبه الكيميائي، فقد اتسعت مجالات استعمالها وتعددت وتطورت، فدخلت مجالات علمية وعملية وتكنولوجية عديدة ولاسيما في العقدين الأخيرين [6]؛ وهكذا فإنها تستعمل في تحديد أعمار المناطق الجيولوجية والصخور وفي علم الآثار وفي الكشف عن الجسيمات المشحونة الثقيلة كشظايا الانشطار النووي وامكانية تمييزها عن الجسيمات الأخف منها وفي تحديد تراكيز الرادون واليورانيوم في المواد والمياه والتربة وفي التنبؤ بحدوث الزلازل بقياس التغير في تراكيز الرادون المنبعث من التصدعات في التربة الواقعة على الخط الزلزالي لتلك المناطق وكذلك في دراسة طاقة الأيونات والمجالات الطبية [7-9].

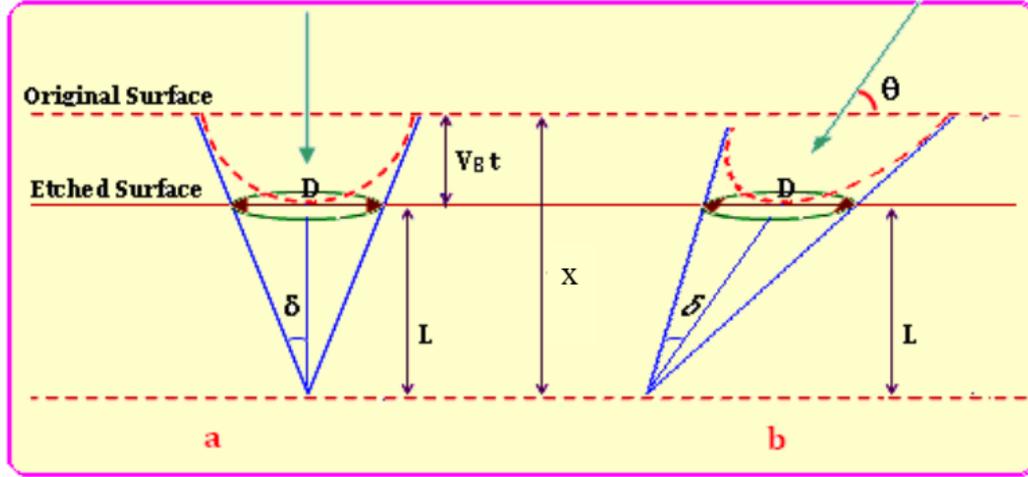
هنالك عدد من المعلمات الأساسية في عملية تكوين الاثر واطهاره نتيجة سقوط جسيمات الفا على الكاشف CR-39 منها: معدل القشط العام [10]، معدل القشط باتجاه الأثر، معدل نمو الاثر ومعدل القشط. يعرف معدل القشط العام V_B بأنه معدل ما يزال من المادة من سطح الكاشف في وحدة الزمن بفعل القشط الكيميائي للكاشف [11]. فقد يحدث تحلل تدريجي للجزيئات السطحية للكاشف مع تقدم عملية القشط تبعاً لطبيعة المحلول القاشط، وزمن القشط، ونوع الكاشف فعملية القشط تؤدي إلى إزالة طبقة تلو الأخرى ويقل سمك الكاشف شيئاً فشيئاً ويعد معدل القشط العام معلماً كاشفياً (detecting parameter) مهماً [12]، حيث يعتمد على نوع الكاشف ومنشئه ودرجة بلمرته، ونقاوة المادة المصنوع منها، ومدى تجانس مادة الكاشف وتمائل خواصه.

اما معدل قشط الأثر (V_T) (Track etching rate) على طول عمق الأثر من أحد أهم امالقشطية والكشفية في كواشف الأثر النووي الصلبة والتي من خلاله يمكن وصف الشكل الهندسي (geometrical) لتطور أو نمو شكل الأثر وهيئته. ويعتمد V_T معلماً كاشفياً وقشطياً إذ يعتمد على تركيب الكاشف، ونوع المحلول القاشط، وتركيزه، ودرجة حرارته، وكذلك على كتلة الجسيم الساقط وشحنته، وطاقته، فضلا عن مقدار الطاقة المفقودة من الجسيمات عند مرورها في المادة في آن واحد [13-15].

فالشرط العام اللازم لظهور الآثار في حالة الجسيمات الساقطة بزاوية θ مع سطح الكاشف هو ($V_T \sin \theta \geq V_B$) وللسقوط العمودي تصبح الزاوية $\theta=90$ وعندها يكون الشرط اللازم هو ($V_T \geq V_B$) [1, 16-17] كما موضح في الشكل (1)

لغرض دراسة أشكال الآثار المتكونة على سطح كاشف الاثر النووي CR-39 وضعت عدد من النماذج منها أنموذج فرووم وجماعته [16] وأنموذج نيكيزيك و يوو [12] واخيرا انموذج عزوز وجماعته [9].

هنالك دراسات عدة فيما يخص السقوط العمودي لجسيمات الفا على كاشف CR-39 اما فيما يخص السقوط المائل فقد درس دوشيل وجماعته [1] اثار سقوط ايونات الليثيوم بطاقة 9.9MeV وجسيمات الفا بطاقات (5.9, 6.33)MeV وبزاويا سقوط صفر و 40 درجة مع العمود على السطح ودرس هيرمسدورف اقطار اثار جسيمات الفا وايونات الليثيوم لعدد من الطاقات وزوايا السقوط [18].



الشكل (1): شكل الأثر المقشوط للجسيم المشحون في الكاشف

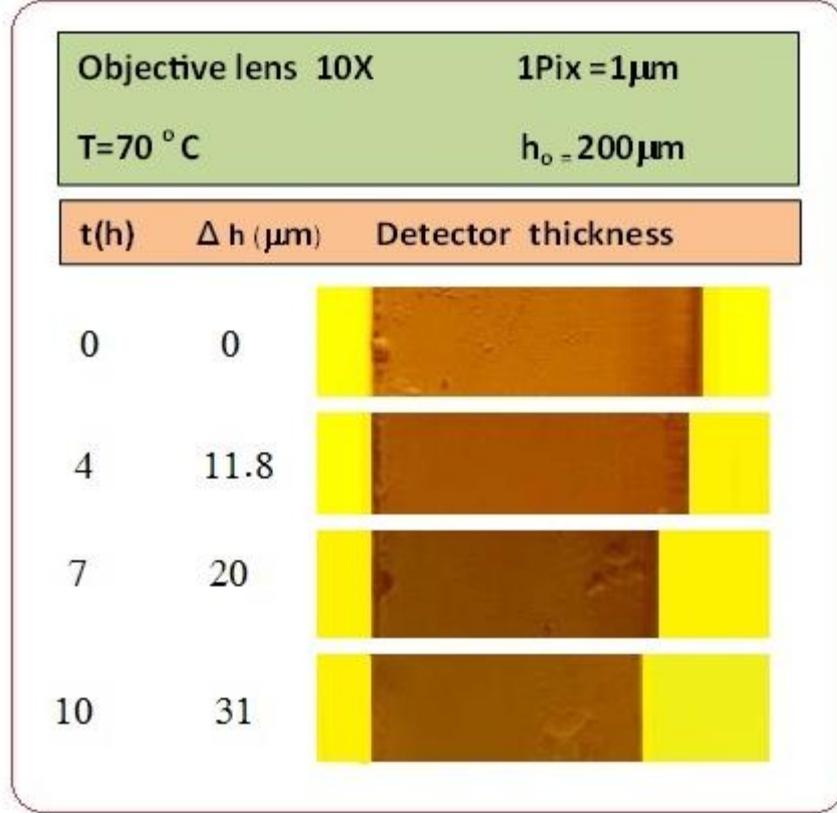
(a) للسقوط العمودي (b) للسقوط المائل

طريقة العمل

في هذا البحث تقسم طريقة العمل الى جزئين: الجزء الاول يتعلق بحساب معدل القشط العام V_B للكاشف حيث استخدم كاشف الاثر النووي CR-39 ذي سمك $200\mu\text{m}$ ومساحة $1 \times 1\text{cm}^2$ قشط الكاشف من دون تشعيع لفترات زمنية مختلفة $(1-10)h$ وبفترات قشطية تتابعية 30 دقيقة. اما الجزء الثاني فقد اشتمل على اخذ ثلاث عينات من الكاشف بنفس المساحة المذكورة اعلاه وشُعِعَتْ النماذج بطاقة 1.2 MeV و بزوايا سقوط $(0, 10, 30, 50)^\circ$ مع العمود. جرت عملية التشعيع باستخدام مصدر الامريشيوم ^{241}Am المشع بفاعلية $(1\mu\text{Ci})$ وهو مصدر باعث لجسيمات الفا بطاقة قصوى $E_0=4.48\text{MeV}$ ومعدل مداها في الهواء 4.16cm ومن خلال تغيير المسافة بين المصدر والكاشف يتم الحصول على الطاقة المطلوبة. استخدم محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH بتركيز 6.25N ودرجة حرارة $(70 \pm 1)^\circ\text{C}$ لقشط العينات واظهار الاثار المتكونة على سطح الكاشف. ولحصول على صور للآثار المقشوفة فقد تم ربط كاميرا رقمية نوع MDCE-5A مع المجهر البصري المعروف بالمجهر البايولوجي (XSZ-H Series Biological Microscope)

النتائج والمناقشة

لحساب معدل القشط العام (Bulk etch rate, V_B) قشط الكاشف بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بعيارية 6.25N ودرجة حرارة ثابتة 70°C ، حيث تم قشط الكاشف من ساعة الى عشر ساعات بفترة تتابعية مقدارها نصف ساعة ومن ثم يصور الكاشف المقشوط عن طريق الكاميرا والمجهر ويقاس مقدار ما يُزال من طبقة الكاشف والشكل (2) يبين صور الكاشف المقشوط بفترات زمنية مختلفة.



الشكل (2): صورة توضح التغير في سمك الكاشف CR-39 لأزمان قشط مختلفة

استخدمت طريقة السمك المزال لحساب V_B من خلال المعادلة التالية [15].

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

حيث ان Δh سمك الطبقة المزالة من الكاشف خلال فترة قشطية Δt

اما معدل قشط الاثر فيمكن حسابه من المعادلة [1].

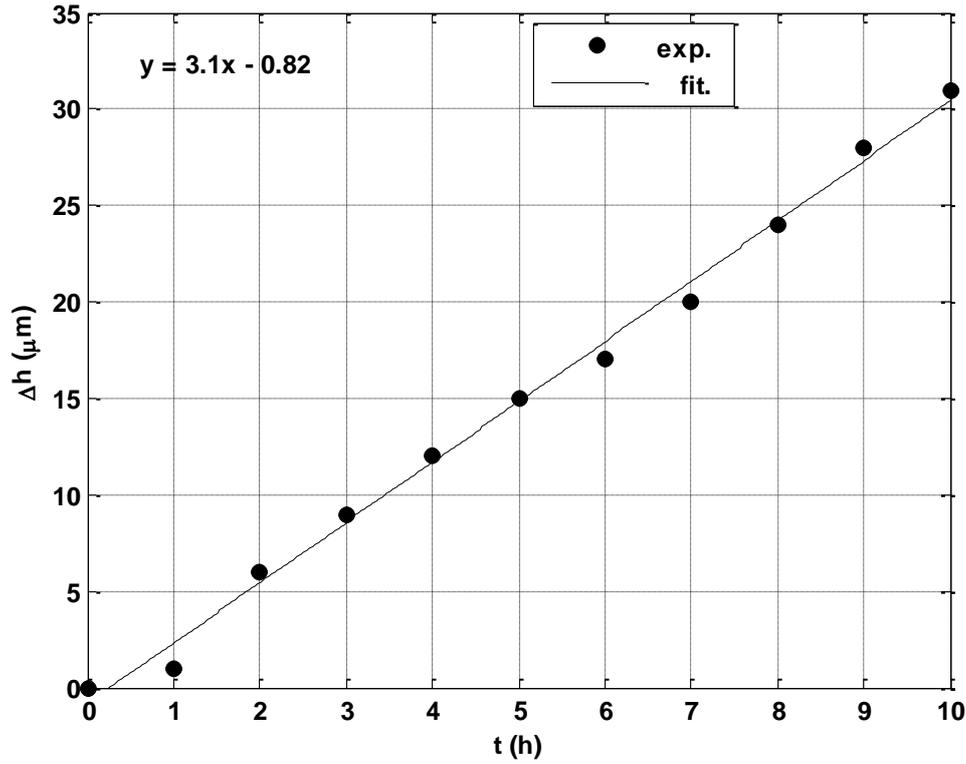
$$V_T = \frac{1}{\cos\theta} \left[\frac{dL}{dt} + V_B \right] \quad (2)$$

ونسبة معدل القشط يمكن حسابها من العلاقة التالية [1].

$$V = \frac{V_T}{V_B} \quad (3)$$

الشكل (3) يمثل العلاقة بين الطبقة المزالة من الكاشف وزمن القشط نلاحظ من الشكل ان العلاقة تكون خطية وبأخذ معدل البيانات

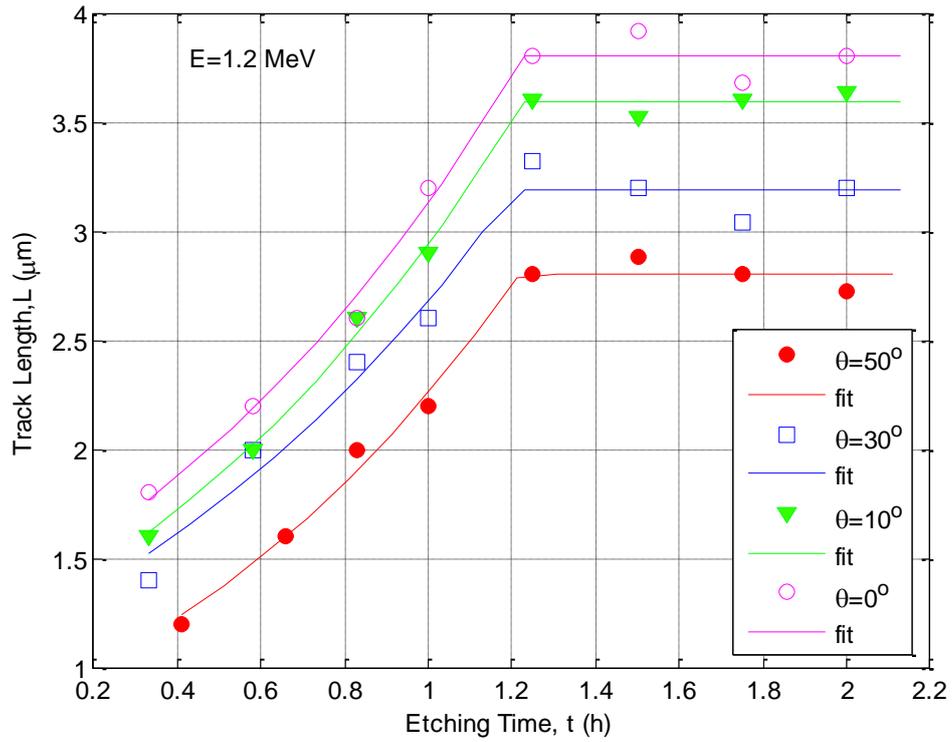
العملية (ميل المنحني) وجد ان معدل القشط العام للكاشف هو $(V_B=1.55+0.02\mu\text{m}/\text{h})$.



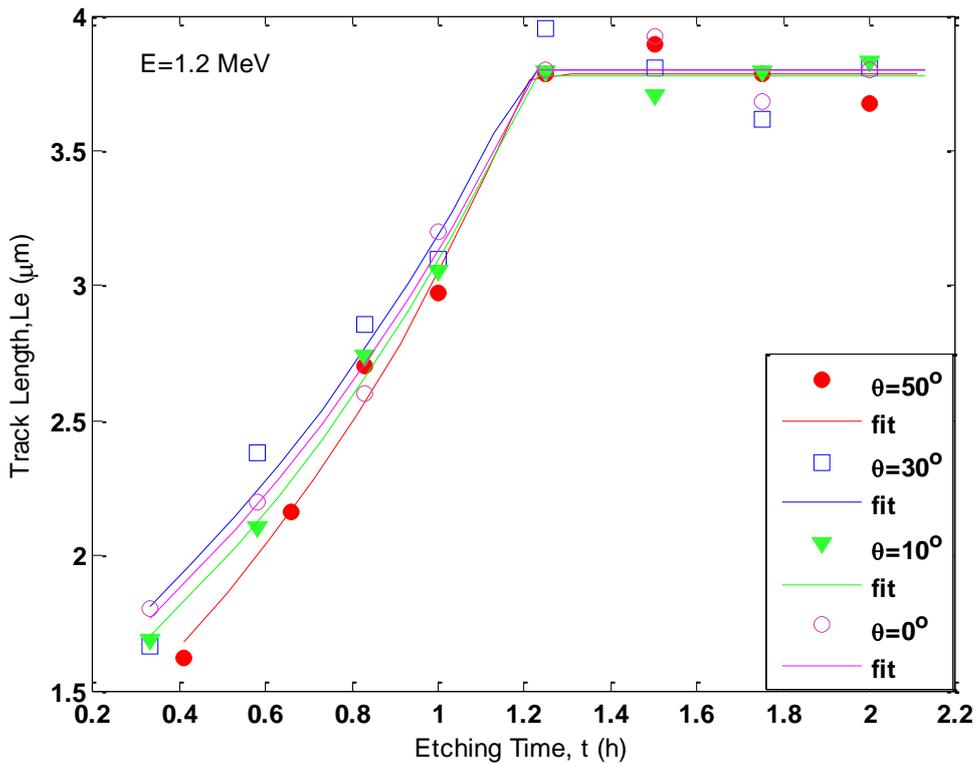
الشكل (3): الطبقة المزلة من الكاشف دالة لزمن القشط.

تم تصوير الاثار المقشوة وقياس طولها بصورة عمودية عند كل زمن قشط والشكل (4) يمثل العلاقة بين طول الاثر دالة لزمن القشط للطاقة ($E=1.2 \text{ MeV}$) وبزاويا سقوط مختلفة ($0, 10, 30, 50$) $^\circ$ مع العمود يلاحظ من الشكل ان طول الأثر يزداد زيادة لا خطية بتقدم زمن القشط وهذا منطقي حيث يكون الاثر في حالة نمو وفي هذه المرحلة تكون قيمة معدل قشط الاثر اكبر من معدل القشط العام للكاشف ($V_T > V_B$). وباستمرار عملية القشط يلاحظ ان طول الاثر يصل الى اعظم قيمة له ومن ثم يثبت باستمرار عملية القشط وتسمى هذه المرحلة بمرحلة القشط المفرط والتي يكون عندها معدل قشط الاثر مساويا لمعدل القشط العام للكاشف ($V_T = V_B$)، كما يتبين من الشكل ايضاً ان طول الاثر يقل بزيادة زاوية السقوط كون القياس تم بصورة عمودية لعدم وجود امكانية الية قياس تجريبية لقياس طول الاثر بصورة مائلة وبإدخال تأثير الزاوية في قياس طول الاثر يتبين أن له نفس القيمة مع

زمن القشط بغض النظر عن زاوية السقوط كما في الشكل (5) حيث ان $L_e = \frac{L}{\cos\theta}$.

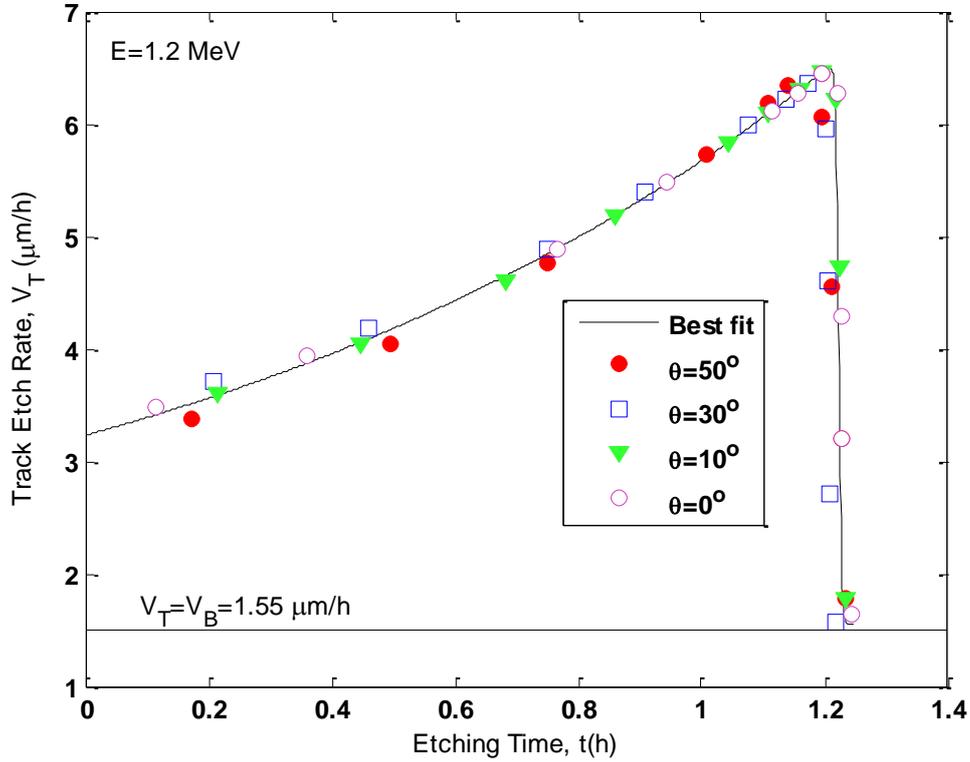


الشكل (4): طول الاثر دالة لزمان القشط للطاقة 1.2 MeV بزوايا سقوط $(0, 10, 30, 50)^\circ$



الشكل (5): طول الاثر دالة لزمان القشط للطاقة عند الاخذ بنظر الاعتبار زاوية السقوط

ولقطة دراسات السقوط المائل فقد تم في هذا البحث دراسة معلمات الاثر في حالة السقوط المائل إذ حسب معدل قشط الاثر من المعادلة (2) دالة لزمان القشط كما هو مبين في الشكل (5) يبين ان معدل قشط الاثر لا يعتمد على زاوية السقوط وانما يكون له نفس القيمة عند كل زمن قشط ويمكن تعليل ذلك هو تجانس مادة الكاشف وتمائل خواصه اذا ان الاثر يتكون بعد اصطدام الجسيم المشحون في الكاشف ويكون له نفس التأثير في جميع اتجاهات الكاشف بغض النظر عن زاوية السقوط.



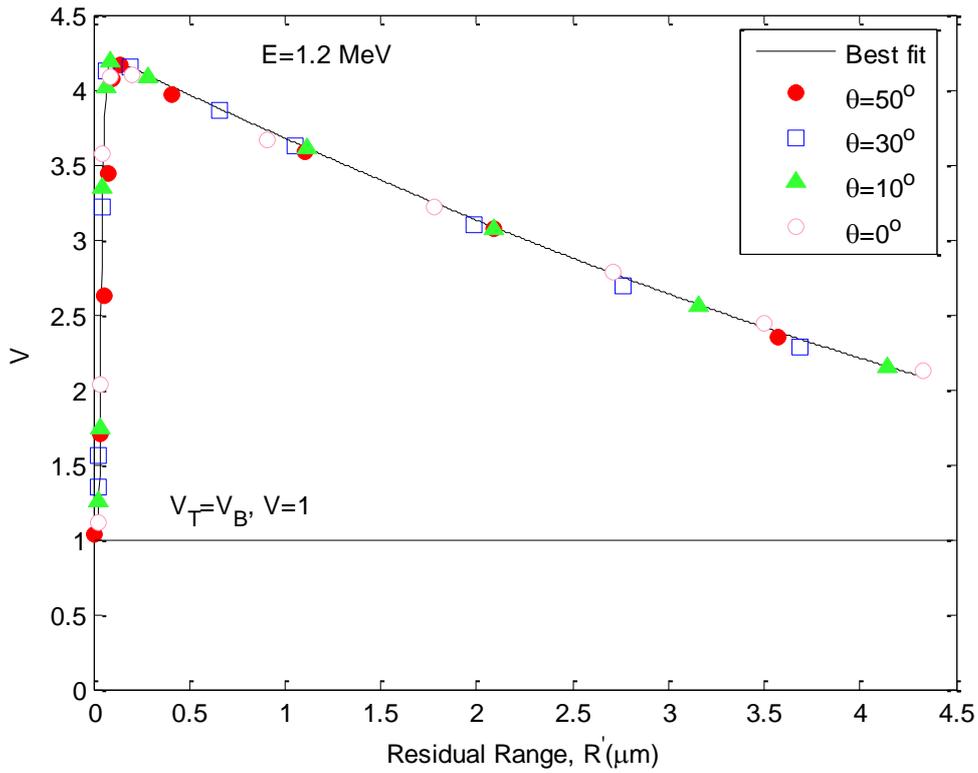
الشكل (6): معدل قشط الأثر دالة لزمان القشط لزوايا سقوط مختلفة.

من الشكلين (4,6) نلاحظ ان زمن ثبوت الاثر يكون نفسه تقريبا عند زوايا سقوط مختلفة وهذا منطقي كون معدل قشط الاثر يكون متساوياً لجميع زوايا السقوط بغض النظر فيما اذا كان الجسيم عمودياً او مائل السقوط على سطح الكاشف.

ولرسم العلاقة بين نسبة معدل القشط V دلة للمدى المتبقي R' الذي يمكن ايجاده من العلاقة التالية:

حيث $R' = R - x$ ان $R = L_{max} + V_B t_{sat}$ يمثل مدى جسيمة الفا داخل الكاشف CR-39 و t_{sat} زمن تشبع الاثر أي زمن بداية وصول طول الاثر الى اعظم قيمة و $x = L - V_B t$ يمثل عمق الاثر.

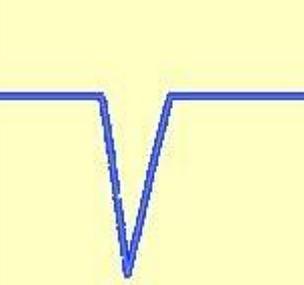
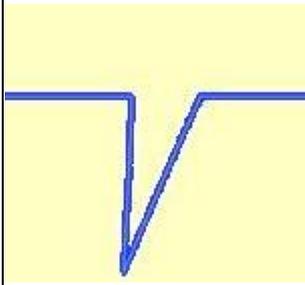
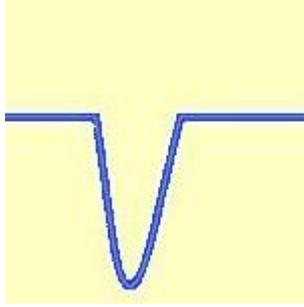
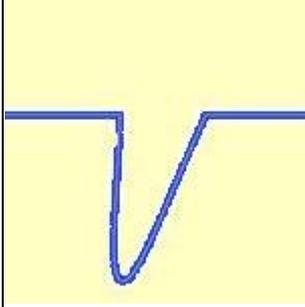
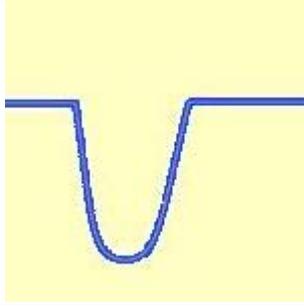
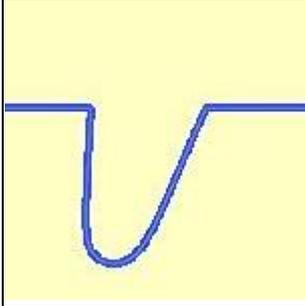
الشكل (7) يمثل العلاقة بين نسبة معدل القشط والمدى المتبقي يلاحظ من الشكل ان نسبة معدل القشط تزداد بشكل متسارع جدا في بداية زيادة المدى المتبقي الى ان تصل اعلى قيمة لها ثم تبدأ بالهبوط بشكل بطيء بزيادة المدى المتبقي وهذا ينطبق مع منحنى براك (Bragg curve) حيث ان الجسيم يفقد طاقته تدريجياً بمروره داخل الكاشف الى ان يصل مداه فيفقد جميع ما تبقى من طاقته ويحدث اكثر ضرر في تلك المنطقة عندها تكون نسبة معدل القشط في قيمتها العظمى.

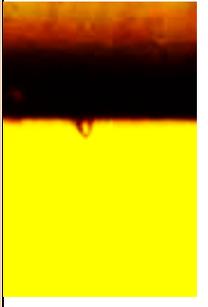
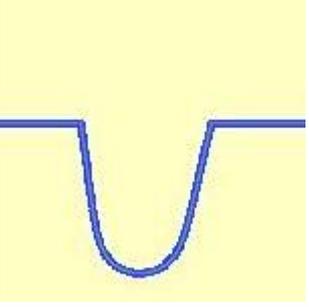
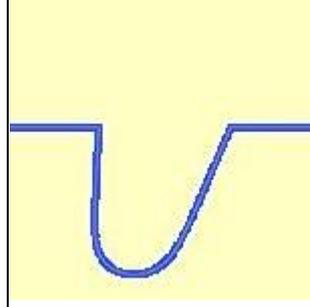
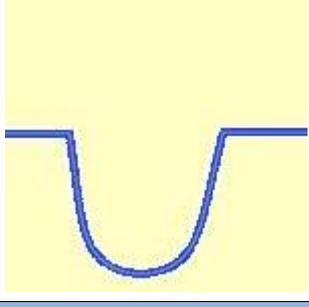
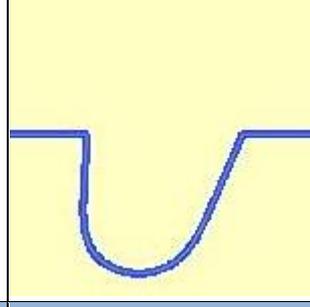
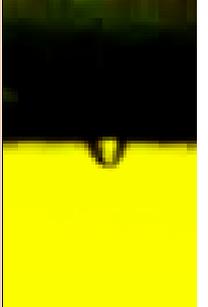
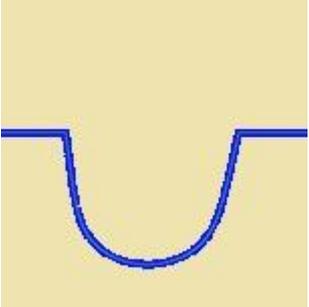
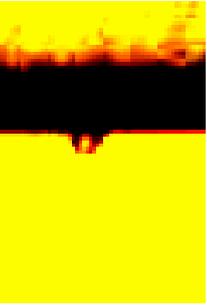
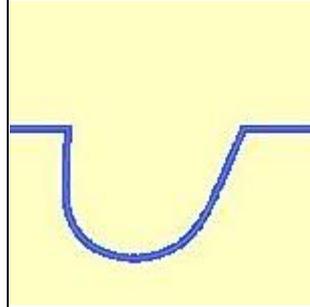
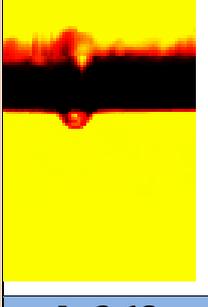
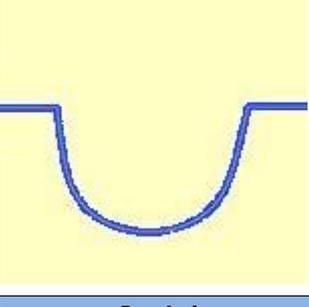
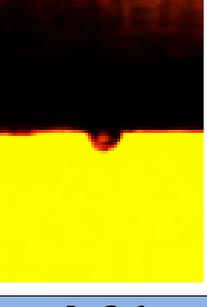
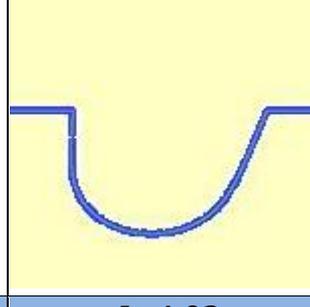
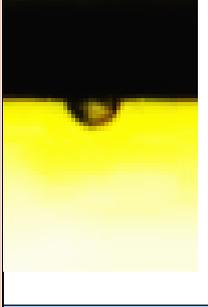
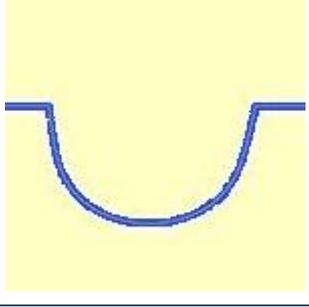
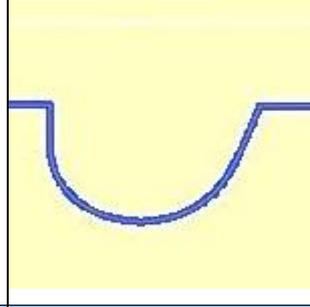


الشكل (7): نسبة معدل القشط دالة للمدى المتبقي لزوايا سقوط مختلفة.

ولأجل مقارنة اشكال الأثار التي حصلنا عليها تجريبيا استخدم برنامج Track-Test لرسم شكل الاثر نظريا حيث استخدمت المعادلة الاولى في البرنامج معادلة Green et al, 1982 تحتوي هذه المعادلة على اربع معلمات افتراضية في البرنامج تم اخذها كما هي والجدول (1,2) تبين المظاهر الجانبية لتطور نمو الأثار تجريبيا ونظريا نلاحظ ان الأثار تبدأ بشكل مثلث او مخروط صغير الحجم وهذه المرحلة الاولى تسمى مرحلة ظهور الاثر التي عندها يبدأ معدل قشط الاثر يتغلب على معدل القشط العام ثم يستمر نموها الى ان تصبح مخروطية الشكل وهذه المرحلة هي الثانية والتي تم شرحها مسبقا ويتقدم عملية القشط تبدأ الأثار بالتكور وتكون اكثر كروية وهي المرحلة الثالثة من نمو الاثر والتي تكون فيها $V_T=V_B$. تبين الجدول ان هنالك توافقاً جيداً بين النتائج العملية ونتائج برنامج Track-Test المعادلة الاولى من حيث المظهر العام لشكل الاثر الا انه هنالك فرق في زمن تشبع الأثر وطوله وهذا منطقي كون تلك النتائج اعتمدت على معلمات المعادلة نفسها.

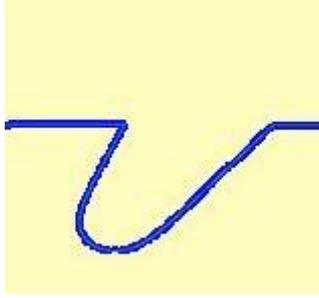
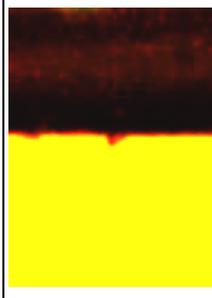
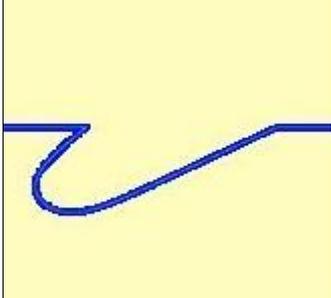
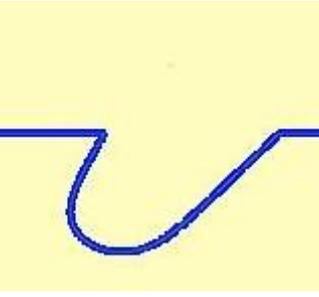
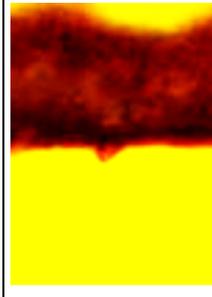
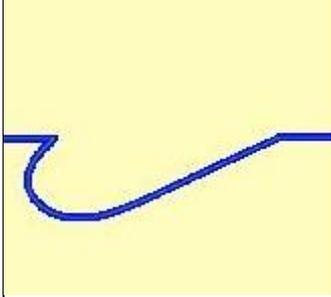
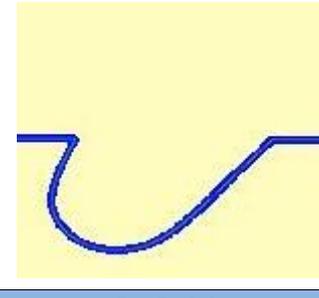
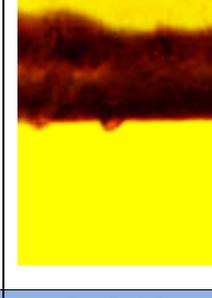
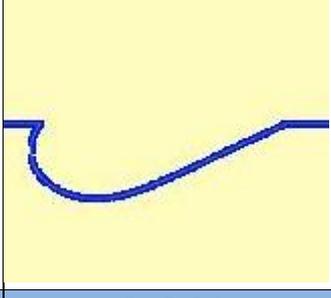
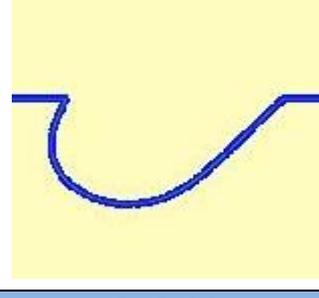
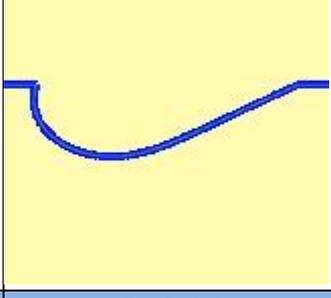
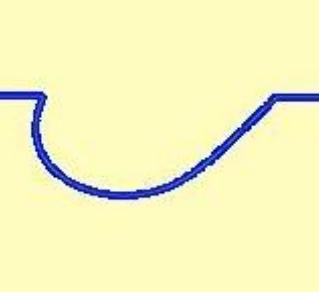
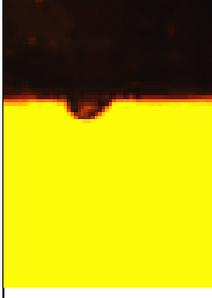
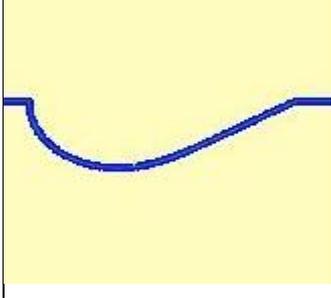
الجدول (1): مقارنة بين النتائج العملية ونتائج برنامج Track-Test المعادلة الاولى عند الطاقة 1.2 MeV بزوايا سقوط ($\theta=0, 10^\circ$)

(الجدول 1)				
E=1.2 MeV		L Track's length (1 - 4) μm		
Alpha Particle in CR-39 ;Etching Condition NaOH (6.25N , 70 \pm 1 $^\circ$ C)				
	EXP. Tracks	Track Test program. TT-1 (Green et al.)	EXP. Tracks	Track Test program. TT-1 (Green et al.)
t(h)	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 10^\circ$
0.33				
	L=1.8	L=3.05	L=1.6	L=3
0.58				
	L=2.2	L=4.1	L=2	L=4.03
0.83				
	L=2.6	L=4.1	L=2.6	L=4.03

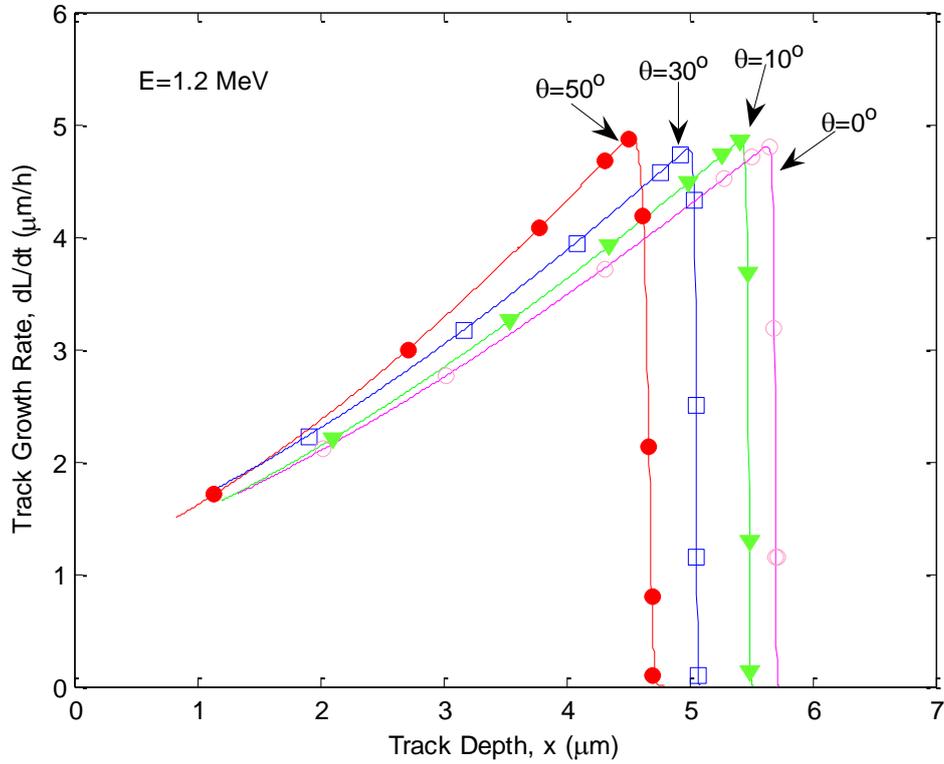
1				
	L=3.2	L=4.1	L=2.9	L=4.03
1.25				
	L=3.8	L=4.1	L=2.6	L=4.03
1.5				
	L=3.92	L=4.1	L=3.52	L=4.03
1.75				
	L=3.68	L=4.1	L=3.6	L=4.03
2				
	L=3.8	L=4.1	L=3.64	L=4.03

الجدول (2): مقارنة بين النتائج العملية ونتائج برنامج Track-Test المعادلة الاولى عند الطاقة 1.2 MeV بزوايا سقوط $(\theta=30, 50)^\circ$

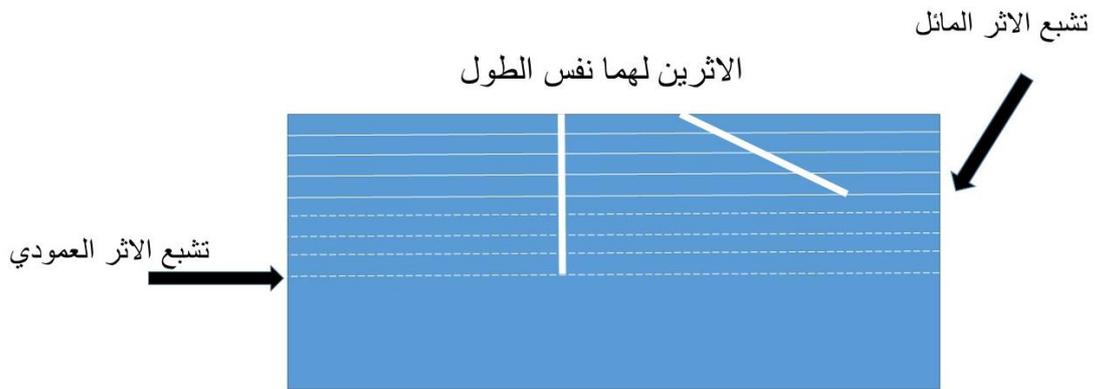
الجدول (2)				
E=1.2 MeV		L Track's length (1 - 3.5) μm		
Alpha Particle in CR-39 ;Etching Condition NaOH (6.25N , 70 \pm 1 $^\circ$ C)				
	EXP. Tracks	Track Test program. TT-1 (Green et al.)	EXP. Tracks	Track Test program. TT-1 (Green et al.)
t(h)	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 50^\circ$	$\theta = 50^\circ$
0.33				
	L=1.4	L=2.58	L=1.2	L=2.15
0.58				
	L=2	L=3.44	L=1.6	L=2.34
0.83				
	L=2.4	L=3.44	L=2	L=2.34

1				
	L=2.6	L=3.44	L=2.2	L=2.34
1.25				
	L=2.32	L=3.44	L=2.8	L=2.34
1.5				
	L=2.3	L=3.44	L=2.88	L=2.34
1.75				
	L=3.04	L=3.44	L=2.8	L=2.34
2				
	L=3.2	L=3.44	L=2.72	L=2.34

الشكل (8) يبين معدل نمو الاثر دالة للعمق (العمق العمودي) اذ نلاحظ من الشكل ان معدل نمو الأثر يكون اسرع بزيادة زاوية السقوط مع العمود وهذا طبيعي كون معدل قشط الأثر يكون نفسه بغض النظر عن زاوية السقوط لذلك يكون للأثر نفس النمو عند نفس زمن القشط لكن عند العمق يكون معدل النمو اكبر في حالة السقوط المائل عنه في حالة السقوط العمودي، فلو فرضنا ان لدينا أثرين بنفس الطول احدهما عمودي والأخر مائل فعند قياس معدل نمو الأثر بالنسبة للعمق العمودي يتضح انه يكون اكبر كلما زادت زاوية السقوط عن العمود وهذا ما يوضحه المخطط في الشكل (9)، من الشكل (8) يتبين ان زمن اختفاء الاثر يكون اسرع في حالة السقوط المائل عنه في العمودي ولذا يجب الأخذ بالحسبان الزاوية الحرجة للكاشف عند تشعيه بصورة مائلة.



الشكل (8): معدل نمو الأثر دالة للعمق العمودي



الشكل (9): أثاران بنفس الطول احدهما مائل والأخر عمودي

الاستنتاجات

اشتملت الدراسة في هذا البحث على جزئين: الجزء الاول اشتمل على معرفة معدل القشط العام للكاشف V_B باستخدام طريقة السمك المزال حيث وجد ان $(V_B=1.55 \mu\text{m/h})$. في حين أن الجزء الثاني اشتمل على استخدام عدة نماذج من كاشف CR-39 جرى تشعيها بجسيمات الفا من مصدر الامريشيوم ^{241}Am بطاقة $(E=1.2 \text{ MeV})$ بزوايا سقوط $(0, 10, 30, 50)^\circ$ مع العمود، تم حساب معاملات الاثر منها طول الاثر، معدل قشط الاثر، ونسبة معدل القشط وقد تبين من ذلك ان هذه المعلمات لا تعتمد على زاوية السقوط. دُرس معدل نمو الاثر دالة للعمق العمودي اذ تبين ان هذا النمو يزداد بصورة اسرع دالة للعمق العمودي كلما كانت زاوية السقوط كبيرة مع العمود على السطح، ومن خلال مقارنة مظاهر الاشكال للأثار العملية مع نتائج برنامج Track-Test المعادلة الاولى حيث نلاحظ ان هنالك توافق جيد من قبل تلك المظاهر ولكن هنالك فرق في زمن ثبوت طول الاثر.

Acknowledgements

The authors is very grateful to the University of Mosul/ College of Education for Pure Sciences for their provided facilities, which helped to improve the quality of this work.

المصادر

- [1] Dörschel, B.; Hermsdorf, D.; Reichelt, U, Radiat. (2003) Meas. 37, pp. 563-571.
- [2] Green, P. G.; Ramli, A. G.; Al-Najjar, S. A. R.; Abu-Jarad, F. and Durrani, S. A. and Durrani, S. A. (1982) , Nucl. Instr. and Meth., 203, pp. 551-559.
- [3] Dörschel, B.; Bretschneider, R ;Hermsdorf, D ;Kadner, K .and Kuhne, H .(1999), Radiat. Meas. 31, pp. 103-108.
- [4] Al-Jubbori, Mushtaq Abed .(2017), Nuclear Inst. and Methods in physics Research, A 871, pp. 54-58.
- [5] Azooz, Aassim. A.; Al-Jubbori, Mushtaq. A .(2016), Applied Radiation and Isotopes.115, pp. 74-80
- [6] Al-Jubbori, Mushtaq Abed .(2016), Applied Radiation and Isotopes.118, pp. 228-231
- [7] Azooz, A. A.; Hermsdorf, D.; Al-Jubbori, M.A .(2013), Radiat. Meas. 58, pp. 94-100.
- [8] Azooz, A. A.; Al-Jubbori, M.A .(2013), Nuclear Instruments and Methods in physics Research. B 316, pp. 171-175.

- [9] Azooz, A. A.; Al-Nia'emi, S.H.; Al-Jubbori, M.A .(2012), Computer Physics Communications, 183, pp. 2470-2479.
- [10] Azooz, A. A.; Al-Nia'emi, S.H.; Al-Jubbori, M.A .(2012), Radiat. Meas. 47, pp. 67-72.
- [11] Hermsdorf, D. (2009), Radiat. Meas. 44(3), pp. 283-288.
- [12] Nikezic, D. and Yu, K.N. (2006), Computer Physics Communications, 174, pp. 160-165.
- [13] Yu, K. N.; Ng, F. M. F. and Nikezic, D. (2005), Radiat. Meas. 40, PP. 380-383.
- [14] Dörschel, B.; Hermsdorf, D.; Kadner, K. and Kühne, H. (1998), Radiat. Prot. Dosimetry. 78(3), PP. 205-212.
- [15] Dörschel, B.; Hartmann, H. and Kadner, K. (1996), Radiat. Meas. 26(1), PP. 51-57.
- [16] Fromm, M.; Membrey, F.; and Saouli, R .(1991), Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 19. Nos 1-4, pp, 163-168.
- [17] Al-Jubbori M.A.D and Al-Shumaisy, S.A.M .(2015), Jordan Journal of Physics . 8(1), pp. 57-67.
- [18] Hermsdorf D and Reichelt U. (2010), Radiat. Meas. 45, 1000-1013