

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 10

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. وليد حمادة	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية
أ. د. درغام سلوم	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية

عضو هيئة التحرير	د. محمد فراس رمضان
عضو هيئة التحرير	د. مضر سعود
عضو هيئة التحرير	د. ممدوح عبارة
عضو هيئة التحرير	د. موفق تلاوي
عضو هيئة التحرير	د. طلال رزوق
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الجاعور
عضو هيئة التحرير	د. الياس خلف
عضو هيئة التحرير	د. روعة الفقس
عضو هيئة التحرير	د. محمد الجاسم
عضو هيئة التحرير	د. خليل الحسن
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. أحمد حاج موسى

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي - العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج. يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة
11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام ورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة - الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة - سنة النشر - وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة - دار النشر وتتبعها فاصلة - الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

— بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة — المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة — أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News , Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننًا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
24-11	د. صفاء سكيف	دراسة مورفولوجية دقيقة لأزهار نوع الخظمية <i>Althaea cannabina</i> من الفصيلة الخبازية <i>Malvaceae</i> في منطقة صنفنة - اللاذقية
46-25	زينب الحسن د. عبد الرزاق الصوفي د. عبدالله رستناوي	دراسة الخصائص الكهربائية لثنائي شوتكي Cu/ZnO/Al
80-47	علي عبد الحميد غصه د. عبدالله رستناوي د. سليمان ديبو	دراسة مقارنة بين علاقيتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التباير
106-81	هدى مراد د. عبلة الزعبي د. ناصر سعد الدين	تحضير المركب السيراميكي $NiMn_2O_4$ ودراسة خصائصه البنيوية
121-107	هنادي محمد شهيله د. نجاة جنود	محتوى عصير ثمار صنفين من الكرز الحاوي على السكريات بتقانة الكروماتوغرافيا السائلة عالية الاداء HPLC

دراسة مورفولوجية دقيقة لأزهار نوع الخطمية *Althaea cannabina* من الفصيلة الخبازية Malvaceae في منطقة صلنفة - اللاذقية

الدكتورة: صفاء سكيف - كلية العلوم - جامعة اللاذقية

الملخص : أجريت دراسة مورفولوجية مفصلة لأزهار نوع الخطمية *Althaea cannabina* المنتشر بشكل بري في منطقة صلنفة - اللاذقية وبأفراد قليلة .

تم قياس أبعاد الكؤيس والكأس والبتلات والأنبوبة السدوية والمآبر وتم إحصاء عدد حبوب الطلع ضمن المثبر ودرست هذه الحبوب بشكل مفصل بالمجهرين الضوئي والالكتروني (قيست أبعاد الغلاف الداخلي والخارجي وأيضاً أبعاد الأشواك على الغلاف الخارجي إضافة إلى قطر الثقوب الموجودة عليه) و بطريقة مماثلة أحصي عدد الثميرات في المبيض ودرست بشكل مفصل بالمجهرين الضوئي والالكتروني (خاصة تزيينات الغلاف الخارجي للثميرات والبذور الموجودة بداخلها) . هذه الدراسة تشكل لبنة أساسية لدراسات مورفولوجية أخرى تشمل كامل أقسام النبات وبالتالي مساهمة في دراسات تصنيفية للتعريف بأنواع الجنس *Althaea* المنتشر برياً في سوريا .

كلمات مفتاحية : الفصيلة الخبازية - *A.cannabina* - أزهار - ثميرات وبذور - مجهر الكتروني.

Abstract

A detailed morphological study was conducted on the flowers of the *Althaea cannabina*, which is wildy distributed in the Slenfa-Lattakia region, with few individuals. The dimensions of the epicalyx ,calyx, petals, stamen tube, and anthers were measured, and the number of pollen grains within the anthers was counted, and these grains were studied in detail with light and electron microscopes (the dimensions of the Intine and Exine were measured, as well as the dimensions of the spines on the Exine, in addition to the diameter of the Pore). In a similar way, the number of Mericarps in the ovary was counted and studied in detail with light and electron microscopes (especially the decorations of the outer cover of the fruits and the seeds inside them). This study constitutes a basic building block for other morphological studies that include all plant sections, and thus contributes to taxonomic studies to identify the species of the genus *Althaea* that is widespread in the wild in Syria.

Keywords: Malvaceae - *Althaea cannabina* - flowers - Mericarps and seeds - electron microscope.

1 - المقدمة :

تعد الدراسة المظهرية من الأدلة التصنيفية Taxonomic evidence ذات الأهمية الكبيرة والتي يعول عليها في تحديد وعزل المراتب التصنيفية Taxonomic taxa على مستوى الفصائل والأجناس والأنواع. ينتمي النوع *A. cannabina* إلى الفصيلة الخبازية Malvaceae والتي تشمل أكثر من 200 جنس و 2300 نوع (Tang et al., 2012) .

أكدت الدراسات التصنيفية العالمية أن جنس *Althaea* الخطمية يتضمن 17 نوعاً (Heywood, 1978 ; Mabberley, 1987) ، ينتشر هذا الجنس في مناطق حوض البحر الأبيض المتوسط وفي المنطقة الإيرانية التورانية ويعد وسط و جنوب غرب آسيا الموطن الأصلي لهذا الجنس (Hutchinson, 1964)

نوه العديد من الباحثين إلى أهمية الخصائص الشكلية في الدراسات التصنيفية للأنواع النباتية ومنها الكؤيس (Frexelly, 1988 ; Esteves, 2000) . كما أكد (Bayer and Kubitzki, 2003) أن الدراسات الحالية تعتمد بالإضافة لدراسة صفات الكؤيس على دراسة الأنبوبة السدوية ، المياسم والأوبار لتوصيف الصفات المشتركة بين أنواع الفصيلة الخبازية وبالتالي لمعرفة نشوء وتطور هذه الأنواع و وضع مفتاح تصنيفي دقيق لها . وبالمثل فقد بين (Esteves, 2000) ، أن للأنبوبة السدوية دور هام في فصل الأنواع النباتية عن بعضها البعض . وأيضاً اعتمد (Naskar and Mandal, 2014) على دراسة صفات الكؤيس والأنبوبة السدوية والمياسم لتصنيف بعض الأنواع التابعة للفصيلة الخبازية.

كما بين (Esteves, 2004) أن دراسة صفات ثمرات وبذور الأنواع التابعة لجنس *Pavonia Cav* النامية في البرازيل كان لها دور هام في التمييز بين الأنواع التي تنتمي لهذا الجنس .

و قام (Abid *et al*) 2016 بدراسة الصفات المورفولوجية للبذور بعض الأنواع من الفصيلة الخبازية وذكر هؤلاء الباحثين أن دراسة الصفات الميكرومورفولوجية للبذور مفيد جداً لتحديد الأصناف ضمن الفصيلة الخبازية. وبشكل مشابه أيضاً فقد قام (EL Naggar , 2001 بدراسة بذور بعض الأنواع من الفصيلة الخبازية ونوه إلى أهمية هذه الدراسات في فصل الأنواع النباتية عن بعضها.

2 - هدف البحث : تتجلى أهمية البحث من خلال إجراء دراسة مورفولوجية وبالينولوجية مفصلة لأزهار نوع الخطمية *A. cannabina* المنتشر بشكل طبيعي في منطقة صلنفة في محافظة اللاذقية وذلك لقلّة الدراسات التصنيفية عن هذا النوع وكونه من الأنواع المهددة بالانقراض ونتيجة تواجده بأعداد قليلة لذا أنجز هذا البحث بغية إلقاء الضوء على بعض الصفات المورفولوجية لهذا النوع تمهيداً لدراسات تصنيفية أعمق وأشمل .

3 - مواد وطرائق البحث : جمعت عينات من أزهار النوع المدروس من منطقة صلنفة في محافظة اللاذقية خلال شهر تموز في عام 2024 ، قيست أبعاد قطع الكؤيس والسبلات والبتلات والأنبوية السدوية والمبيض والثميرات والبذور باستخدام مسطرة عادية ، أما أبعاد المنبر و حبات الطلع وتزيينات غلافها الخارجي فقد قيست باستخدام عدسة ميكرومترية وضعت على المجهر الضوئي . درست تزيينات الغلاف الخارجي لحبات الطلع و تزيينات الغلاف الخارجي للثميرات والبذور بالمجهر الالكتروني . و صنفت الأوبار وفقاً لـ (Shaheen,2009) .

4 - النتائج والمناقشة : أظهرت هذه الدراسة أن الأزهار تتوضع في نورات متفرعة وقد تراوح طول عنق الزهرة (2 - 14) سم وهذا يتفق مع ما ذكره (Uzunhisarcikli *et al* .,2012) وموضح في الشكل (1 : A) .

بالنسبة للكؤيس فقد كان يغطي حوالي ثلث الكأس وهو مؤلف من (7-9) أسنان خضراء اللون ملتحة في القاعدة إهليلجية الشكل ذات حافة كاملة وقمة حادة تتوضع عليها من الخارج أوبار نجمية كثيفة و ملساء من الداخل في منطقة الالتحام أما جزؤها الداخلي الحر فقد لوحظ عليه أوبار خيطية و متشعبة ونجمية .

تراوحت أبعاد أسنان الكؤيس بين (4 - 5.5) مم طولاً و (2 - 3) مم عرضاً الشكل (1: B). وبخصوص الكأس فقد كان مكون من خمس سبلات خضراء ملتحة من الناحية السفلية لحوالي ثلث طولها الشكل (1: C) ، وصل طول السبلات حتى 12 مم وعرضها حتى 7 مم ، و وجد عليها من الناحية الخارجية أوبار نجمية بعدة أذرع (4 - 11) (كما هو مبين في الشكل (4: B) ، أما الناحية الداخلية لها فقد كانت ملساء في منطقة الالتحام ووجد على وجهها الداخلي أوبار خيطية الشكل (4: C) كانت غزيرة وطويلة على الخط المتوسط الداخلي وأخذ طولها يقصر كلما اتجهنا نحو حواف السبلة .

التويج يتألف من خمس بتلات حرة أرجوانية اللون تراوحت أبعادها بين (1.5 - 2.5) سم طولاً و (1.2-2) عرضاً ولوحظ وجود أوبار بيضاء اللون في قاعدة البتلات كما هو موضح في الشكل (4: A) ، التحمت خيوط الأسدية الأرجوانية اللون من الأسفل وشكلت أنبوية سدوية بطول (6 - 9) مم الشكل (2: A) ، كانت المآبر كلوية الشكل أرجوانية اللون وصل طولها حتى 2000 μm وعرضها حتى 1050 μm الشكل (2: B) ، وبلغ عدد حبات الطلع داخلها (160 - 205) حبة .

حبات الطلع ذات شكل كروي الشكل (2: E) وصل قطرها حتى 99.85 μm وسماكة غلافها الخارجي حتى 3.75 μm والداخلي حتى 1.23 μm الشكل (2: D) ، ذات أشواك صغيرة بطول 5.75 μm وأشواك كبيرة بطول 10.76 μm أما عرض كل منهما فكان 3.75 μm و

5.3 μm على التوالي ، اتصفت الأشواك الكبيرة بوجود قاعدة كروية الشكل ونهاية طويلة مدببة الشكل (2 : F) .

لوحظ أيضاً على سطح حبات الطلع وجود ثقب إنتاش كثيرة بلغ قطرها 4.4 μm و المسافة بينها 9.92 μm الشكل (2 : C) . وجاءت هذه النتائج متوافقة مع ما توصل إليه (Erdtman ,1969) (Cabi *et al* .,2009) (Shaheen ,2010)

عند دراسة مبيض الزهرة من خلال إجراء مقطع عرضي تبين لدينا أن عدد الحجرات داخله تراوح بين (11 - 14) حجرة في كل منها بويضة واحدة ذات مشيمة محورية كما هو مبين في الشكل (3 : A) .

وأكدت نتائج بحثنا أن عدد المياسم مساوي لعدد الحجر الكربلية داخل المبيض وتميزت المياسم بوجود أوبار على الناحية الداخلية تعلق بها حبات الطلع عند حدوث عملية التأبير كما هو موضح في الشكل (4 : E - D) .

الثمار منشقة مكونة من عدة ثميرات كلوية الشكل مجنحة محززة ذات لون بني داكن ،ملساء ، تراوحت أبعادها ما بين (2.5 - 3.6) مم طولاً و (2.2 - 3.38) مم عرضاً

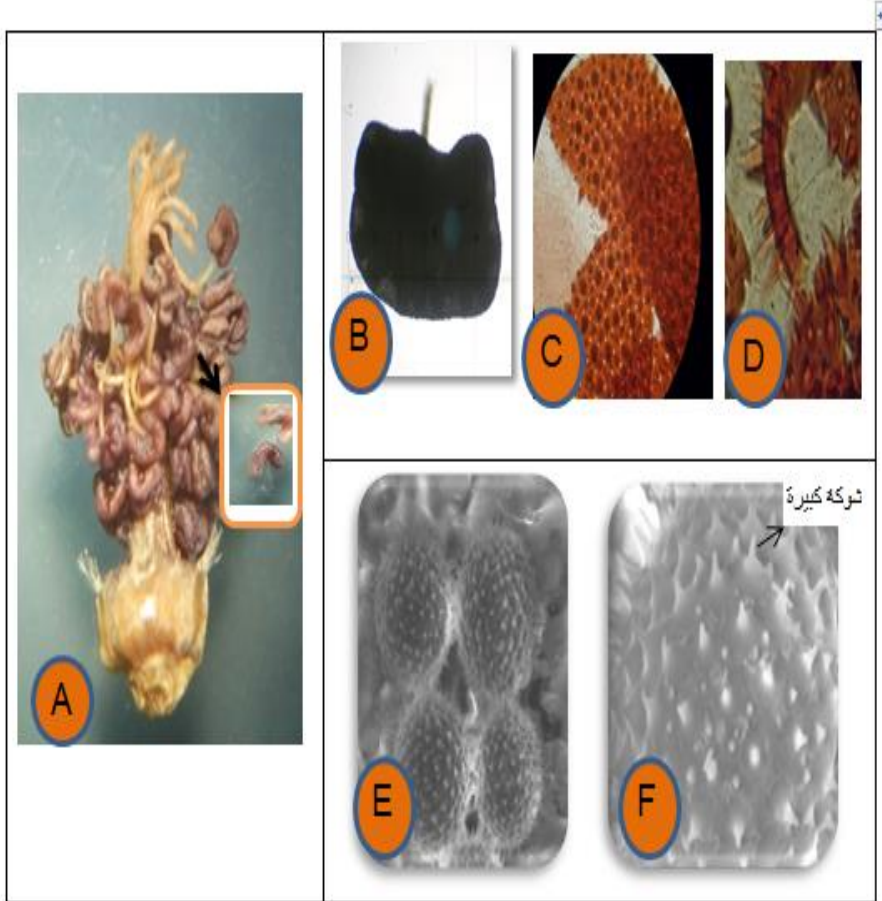
الشكل (3 : B) ، ولدى دراسة غلاف الثميرات بالمجهر الالكتروني فقد تبين لدينا وجود زخرفة شبكية مخططة على الخط الظهري للثميرات بينما كانت هذه الزخارف بشكل سلمي على الحواف الجانبية الشكل (3 : C-D) وجاءت هذه النتائج متوافقة مع نتائج (Ozbek and Uzunhisarcikli , 2020) .

وبدت البذور كلوية الشكل، بنية اللون ، ملساء ، تفاوتت أبعادها بين (1.9 - 2.6) مم طولاً و (1.3 - 1.8) مم عرضاً الشكل (3 : E) . وأظهرت الصور بالمجهر الالكتروني الشكل (3 : F - G) أن لغلاف البذور شكلاً شبكياً بسيطاً مكون من خلايا بيضاوية الشكل ، يتخللها مسامات عديدة ذات جدران ثخينة ، وجاءت هذه النتائج مقارنة لنتائج (Uzunhisarcikli *et al*) (. , 2012) .

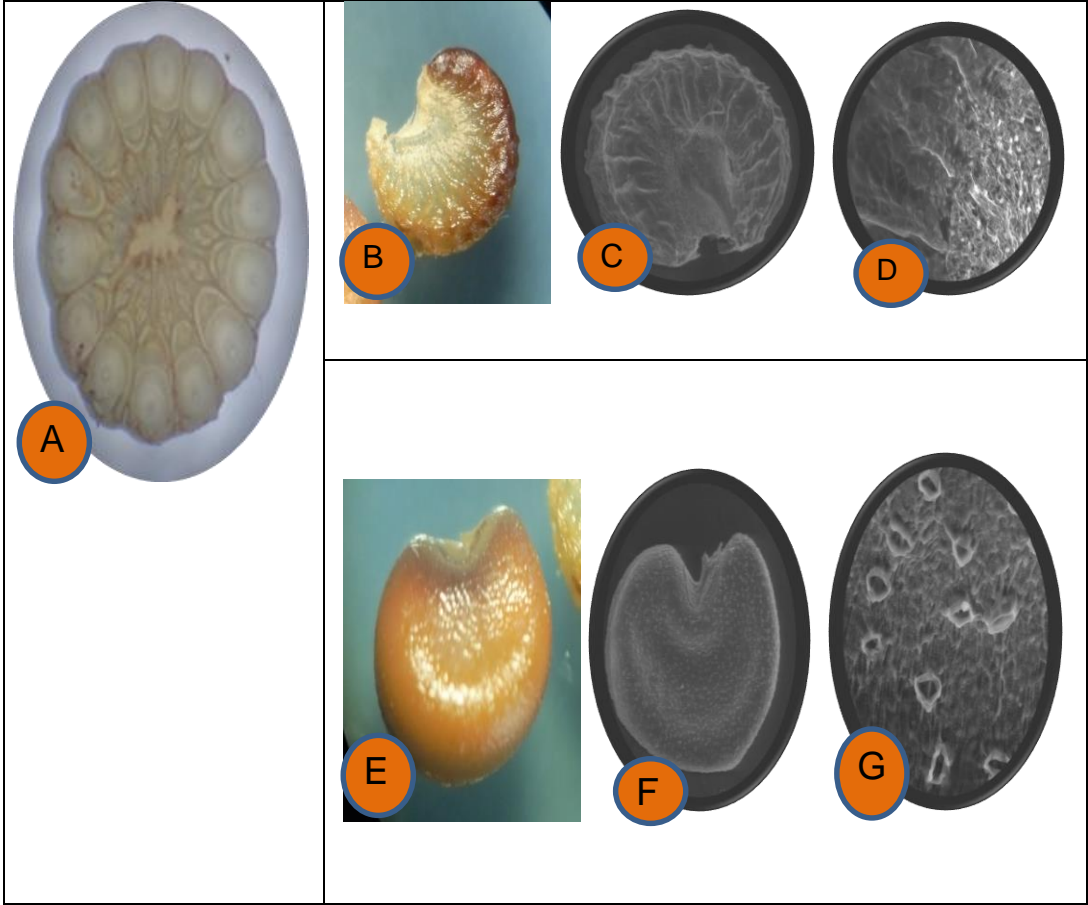
كما لوحظ وجود أوبار غدبية (الشكل 4 : F) على خيوط المآبر ، و المياسم ، وأيضاً متوزعة على الوجه الداخلي للبتلات.



الشكل (1) : يبين بعض أجزاء الزهرة لنوع الخطمية *A.cannabina*
A : الشكل العام للنبات ، B : الكؤيس ، C : الكأس ، D : البتلات

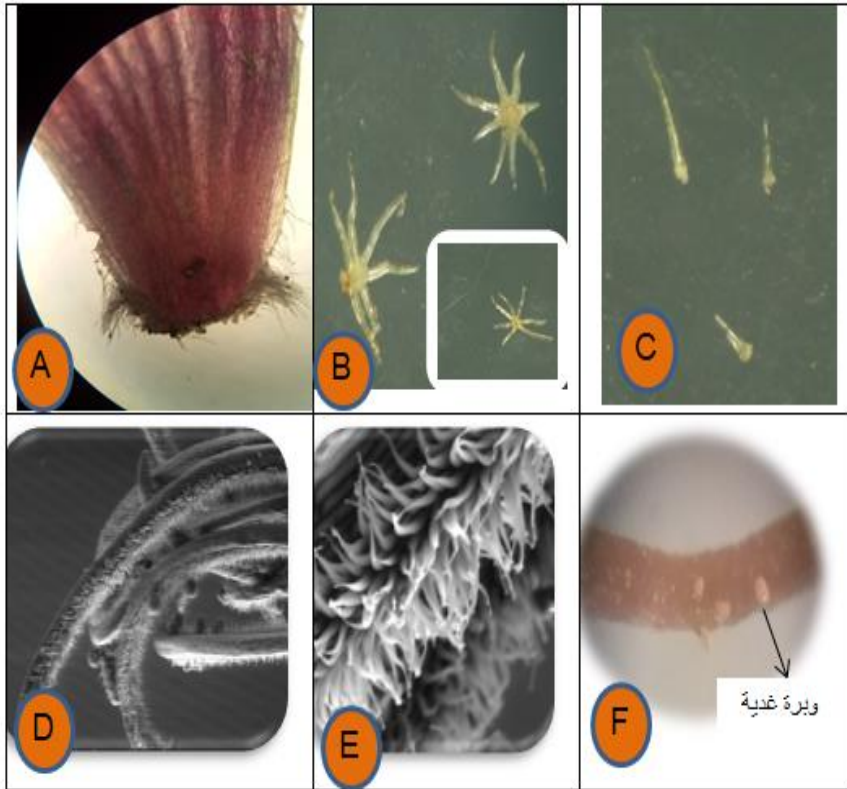


الشكل (2) : يبين شكل المآبر وحببات الطلع بالمجهرين الضوئي والالكتروني SEM
A : الأنبوبة السدوية ، B : المآبر ، C : ثقب الانتاش ، D : غلاف حبة الطلع
E : حبات الطلع بالمجهر الإلكتروني X800 ، F : السطح الخارجي لحببات الطلع
بالمجهر الإلكتروني X3000



شكل (3) يبين شكل المبيض و الثميرات والبذور بداخله

A : مقطع عرضي في المبيض ، B : شكل الثميرات ، C : شكل الثميرات بالمجهر الإلكتروني X50 ، D : شكل غلاف الثميرات بالمجهر الإلكتروني X400 ، E : شكل البذور ، F : شكل البذور بالمجهر الإلكتروني X50 ، G : جزء مكبر من غلاف البذرة بالمجهر الإلكتروني X800 .



شكل (4) يبين أنماط الأوبار على القطع الزهرية

A : الأوبار في قواعد البتلات ، B : الأوبار على الناحية الخارجية للبتلات والبتلات ، C : الأوبار على الناحية الداخلية للبتلات والبتلات ، D : الأوبار على المياسم بالمجهر الإلكتروني X100 ، E : الأوبار على المياسم بالمجهر الإلكتروني X800 ، F : أوبار غدوية .

5 - الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات :

من خلال ما سبق يمكن استنتاج ما يلي :

- 1 - أن إحصاء عدد أسنان الكؤيس و الكأس ودرجة التحامها والنسبة التي يغطي بها الكؤيس كأس الزهرة كان له أهمية تصنيفية في عزل هذا النوع عن بقية الأنواع الأخرى .
- 2 - كان لدراسة حبات الطلع و التزيينات الشوكية وثقوب الانتاش الموجودة على سطحها دور بارز في فصل هذا النوع عن بقية أنواع هذا الجنس .
- 3 - بينت دراسة شكل الثميرات و الزخارف الموجودة على سطحها فروقات واضحة بين هذا النوع والأنواع الأخرى من نفس الجنس .
- 4 - أظهرت دراسة البذور بالمجهر الالكتروني أن غلاف البذرة ذات تزيينات شبكية وهو مؤلف من خلايا بيضاوية الشكل يتخللها مسامات عديدة ثخينة الجدران وهذه الدراسات الدقيقة لها دور بالغ الأهمية في فصل الأنواع النباتية عن بعضها .
- 5 - عند دراسة الأوبار المنتشرة على القطع الزهرية لوحظ وجود أنماط مختلفة من الأوبار وهذه الدراسات لها أهمية تصنيفية كبيرة .
- 6 - لوحظ وجود أوبار غدية مفرزة على الجزء الحر من خيوط الأسدية وعلى المياسم و الناحية الداخلية للبتلات .

التوصيات :

نظراً لأهمية البحث وضرورته نوصي بما يلي :

- 1 - التوسع في هذه الدراسة لتشمل دراسة مورفولوجية وتشريحية لجميع أجزاء هذا النوع .

2 - الكشف عن أهم المركبات الكيميائية المتوزعة في أقسام النبات المختلفة لما لهذه الدراسات من أهمية تصنيفية في فصل الأنواع النباتية عن بعضها إضافة إلى استخدام هذه المركبات الكيميائية في الصناعات الدوائية المختلفة .

6 - المراجع :

- Abid, R., Ather, A. and Qaiser, M., (2016) . “Seed morphology and its taxonomic significance in the family Malvaceae”, Pakistan Journal of Botany, 48(6): 2307-2341.
- Bayer C and Kubitzki K (2003). Malvaceae. In: Flowering Plants, Dicotyledons: Malvales, Capparales and Non-Betalain Caryophyllales, edited by Kubitzki K and Bayer C (Springer-Verlag, Barlin) 225-311 .
- El Naggar, S.M.I., (2001). “Systematic implication of seed coat morphology in Malvaceae”, Pakistan Journal of Biological Sciences, 4(1): 822-828.
- Esteves GL (2000). Taxonomic characters of the stamina tube and epicalyx in Brazilian Pavonia (Malvaceae). Brittonia 52. 256-264 .
- Esteves, G.L., (2004) . “Taxonomic characters of fruit and seed in brazilian species of Pavonia Cav. (Malvaceae)”, Hoehnea, 31(1): 87-92.
- Fryxell PA (1988). Malvaceae of Mexico. Systematic Botany Monographs 25 1-522 .
- Heywood, V.H. (1978) "Flowering Plants of the World". London: Oxford University Press, 1st. ed, pp. 239-240 .
- HUTCHINSON, J. 1964: The genera of flowering plants (Angiospermae). Dicotyledones, Vol. 1. – Oxford .
- Mabberley, D.J. (1987) "The Plant-book". 858p. Cambridge University Press, Cambridge.
- Naskar .S , Mandal .R .(2014) . Characterization of some common members of the family Malvaceae S.S.on the basis of morphology of selective attributes:Epicalyx , Staminal tube , Stigmatic head and Trichome . Indian journal of plant sciences Vol.4(3) July-September, pp.79-86 .
 - SHAHEEN , N ; KHAN, M.A ; YASMIN, G ; HAYAT, M.Q ; MUNSIF, S. and HAMAD, K . *Foliar epidermal anatomy and pollen morphology of the genera Alcea and Althaea (Malvaceae) from Pakistan* .Int. J. Agric. Biol ., 12 , 2010 , 329 – 334 .
- SHAHEEN, N.; AJAB, M.; YASMIN, G.; and HAYAT, M.Q . (2009) . Diversity of foliar trichomes and their systematic relevance in the genus Hibiscus (Malvaceae) .Int. J. Agric. Boil., Vol.11 ,No . 3 , 279-284.

- TANG, Y ; GILBERT ,M.G ; DORR , L.J (2012). "*Alcea*". *Flora of China*. Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO, and Harvard University Herbaria, Cambridge, MA. Vol. 12. Pp. 240, 264,299, 302 .
- Uzunhisarcikli, M.E., Vural, M. (2012) The taxonomic revision of *Alcea* and *Althaea* (Malvaceae) in Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 36(6), 603-636.

دراسة الخصائص الكهربائية لثنائي شوتكي Cu/ZnO/Al

زينب الحسن¹ أ.د. عبد الرزاق الصوفي² أ.د. عبد الله رستاوي³

المخلص

في هذا البحث، تم تحضير ثنائي شوتكي مؤلف من أكسيد الزنك البلوري بسماكة $50\mu\text{m}$ وطبقة رقيقة من الألمنيوم على شرائح نحاس من النم Cu/ZnO/Al . تم إجراء تحليل منهجي على الثوابت الكهربائية لثنائي شوتكي بمساعدة قياسات التيار والجهد ($I-V$) وحساب تيار الإشباع وارتفاع كمون الحاجز، وعامل المثالية وفقاً لنظرية الانبعاث الحراري. لدمج تأثير المقاومة المتسلسلة في تحديد ثوابت ثنائي شوتكي (ارتفاع الحاجز وعامل المثالية وتيار التشبع)، تم استخدام طريقة تشيونغ جنباً إلى جنب مع نموذج الانبعاث الحراري والتي أظهرت جهد حاجز مرتفع. حُسبت طاقة التنشيط لأوكسيد الزنك، وتبين أنها متوافقة مع وجود عيب بالقرب من منطقة الناقلية، تم أيضاً تحديد ثابت ريتشاردسون لأوكسيد الزنك ولاحظنا انحراف عن القيمة النظرية بسبب وجود مقاومة متسلسلة مما تسبب بارتفاع حاجز الكمون. تمت دراسة آلية النقل في وصلة ZnO/Al ووجد أنها تعتمد خطياً على درجة الحرارة وهو ما يتوافق مع نموذج الانبعاث الحراري. تم تحديد مناطق عمل الثنائي وهي ثلاثة مناطق مميزة، أظهرت ثلاثة أليات نقل: نقل الشحنة الفراغية، وإعادة الاتحاد، والمصادد.

الكلمات المفتاحية: ثنائي شوتكي، أكسيد الزنك، نحاس، ألمنيوم، نموذج الانبعاث الحراري، نموذج تشيونغ، الميزة ($I - V$)، ثابت ريتشاردسون.

¹ طالبة دكتوراه ² دكتور في فيزياء البلورات والأشعة السينية ³ دكتور في الفيزياء النووية

Study of the electrical properties of Cu/ZnO/Al Schottky diode

Abstract

In this research, a Schottky diode consisting of 50 μ m Crystalline zinc oxide and a thin layer of aluminum on Cu/ZnO/Al foil was prepared. A systematic analysis was performed on the electrical constants of the Schottky diode with the help of current–voltage (I–V) measurements and calculation of saturation current, barrier voltage height, and ideality factor according to the thermionic emission theory.

To incorporate the effect of series resistance in determining the Schottky diode constants (barrier height, ideality factor, and saturation current), Cheung's method was used with the thermionic emission model, which showed high barrier voltage.

The activation energy of ZnO was calculated and found to be consistent with the presence of a defect near the conduction region.

The Richardson constant of ZnO was also determined, and a deviation from the theoretical value was observed due to the presence of series resistance causing a high Voltage barrier.

The transport mechanism in the ZnO/Al junction was studied and found to be linearly dependent on temperature, which is consistent with the thermal emission model. The diode operating regions were identified as three distinct regions that exhibited three transport mechanisms: vacuum charge transfer, recombination and traps.

Keywords: Schottky diode, zinc oxide, copper, aluminum, thermionic emission model, Cheung model, (I–V) feature, Richardson constant.

1. مقدمة

1.1. أكسيد الزنك *Zinc-oxide*

اجتذب أكسيد الزنك (ZnO) اهتماماً كبيراً في مجال الكواشف عن الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء والكواشف الضوئية، بسبب فجوة الطاقة العريضة المباشرة 3.37 eV (في درجة حرارة الغرفة)، وطاقة ربط الإكسيتون العالية. ازداد الاهتمام البحثي به لفترة طويلة بما يتميز بخصائص تركيبية متنوعة، وملاءمة للبيئة، وقوة ميكانيكية عالية واستقرار حراري ممتاز، والأداء الكهربائي الانضغاطي القوي، والخلايا الشمسية ومجالات أخرى. يمكن تنظيم الخصائص الفيزيائية لـ ZnO والتحكم فيها عن طريق شكل السطح أو المنشطات، العيوب القابلة للضبط داخله، مما يؤدي إلى استجابة أوسع في مجالات الضوئيات والاستشعار والإلكترونيات الضوئية. على سبيل المثال، يُظهر ZnO المشاب ب N (النتروجين) تطبيقات واعدة في مجال الإلكترونيات. بالنظر إلى الحالات السطحية لـ ZnO فيكون حساس للغازات والأيونات وما إلى ذلك.

يمكن توسيع تطبيقات ZnO لتشمل المجالات البيولوجية والكيميائية والطبية كالمبيدات الفطريات وفي أدوية التثام الجروح. بالإضافة إلى ذلك، يعتبر ZnO من المواد الواعدة من الجيل الثالث لتطبيقات الإلكترونيات الضوئية وإجراءات الليزر في درجة حرارة الغرفة وفي المجال الطيفي للأشعة فوق البنفسجية أو الأزرق.

يحتوي ZnO على معامل توليد (ثقب- إلكترون) صغير، وكما يتمتع ZnO بالمزايا الواضحة في تحقيق نسب إشارة إلى ضجيج أفضل للكواشف الضوئية. [1].

2.1. التوصيف الكهربائي لثنائي شوتكي:

يمكن للأفلام الرقيقة من أكسيد الزنك تكوين ثنائي شوتكي مع المعادن النبيلة ذات تابع العمل العالية مثل Pt, Au, Al و Pd. حيث تعد ديودات شوتكي بالغة الأهمية لفهم إمكانية

التحكم في وصلات أنصاف - النواقل المعدنية، في سياق استخدامها المكثف في تطبيقات الأجهزة الإلكترونية [1].

في عام (2010) Ali وآخرون، قاموا بدراسة خصائص الوصلة وسلوك النواقل لوصلات

شوتكي Pd على الأفلام الرقيقة من ZnO المودعة بواسطة طريقة الترسيب في الخلاء على

ركائز p - Si تم استخراج قيمة الثابت الكهربائية، مثل عامل المثالية، تيار التسرب، المقاومة،

تركيز الناقل وارتفاع الحاجز من قياسات $I - V$ [2].

في عام (2008)، قام Klason وآخرون بدراسة الخصائص الكهربائية واستقرار وصلات

شوتكي Pd و Au على ZnO النانوي المنمى على ركيزة زجاجية. أبلغوا عن أفضل القيم الممكنة

لعامل المثالية وارتفاع حاجز الكمون لوصلات Pd/ZnO [2].

في عام (2014) أبلغ Yadav وآخرون، عن اعتماد خصائص $I - V$ المقاسة لديودات

شوتكي المستندة إلى الأفلام الرقيقة Pd/ZnO على درجة الحرارة، ووجد قيمة ثابت ريتشاردسون

البالغ $31.67 \text{ A K}^{-2} \text{ cm}^{-2}$ ، وهو ليس قريباً جداً من قيمته النظرية $32 \text{ A K}^{-2} \text{ cm}^{-2}$.

[2]

عند تحضير الوصلات القائمة على أنصاف - النواقل، يجب مراعاة عملية تحضير

السطح، ارتفاع الحاجز بين المعدن ونصف الناقل، كثافة الخلع، الجهد المطبق والمقاومة

التسلسلية (R_s). هناك تقنيات مختلفة لتقييم الثابت الكهربائية الرئيسية من قياسات $I - V$

للتحيز الأمامي مثل طريقة Cheung و Cheung وقانون أوم. تقدم طريقة Cheung و

Cheung نهجاً بديلاً من قانون أوم لتحديد ارتفاع الحاجز وعامل المثالية و (R_s) من قياسات $I - V$ الأمامية، والتي تعد الثوابت الكهربائية الرئيسية في توصيف وتوفر معلومات مفيدة بشأن طبيعة الديودات [3].

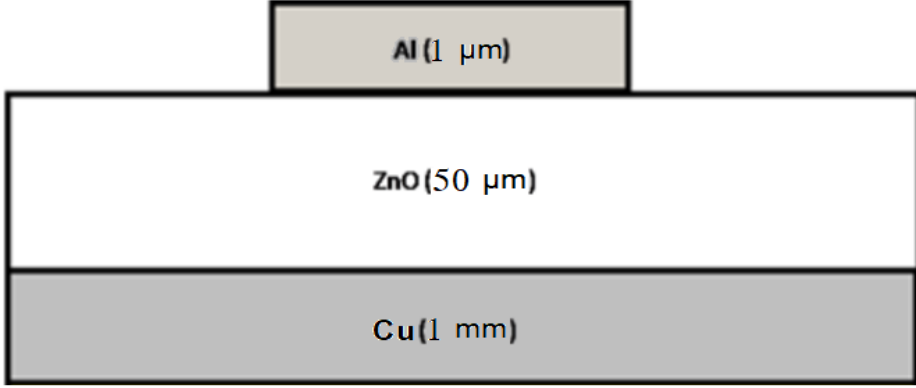
2. هدف البحث

- دراسة الميزة جهد -تيار لثنائي شوتكي.
- الحصول على قيم عامل المثالية والتيار الإشباع وكمن الحاجز حسب نظرية الانبعاث الحراري، ومقارنتها مع نتائج نظرية تشيونغ.
- حساب ثابت ريتشاردسون ومقارنة مدى تطابقه مع القيمة النظرية.
- حساب طاقة التنشيط.
- تحديد أليات النقل في ثنائي شوتكي.
- دراسة مجالات عمل ثنائي شوتكي.

3. مواد وطرق البحث

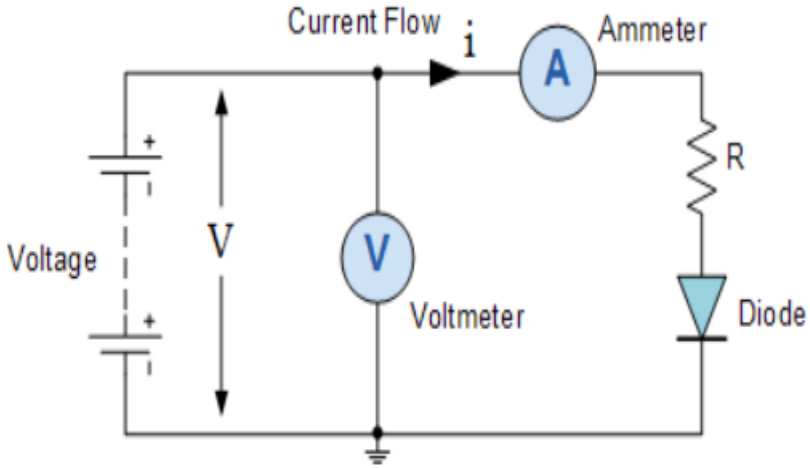
استعمل ZnO (99.5% من Honeywell Riedel-de Haën®) كعينة أساسية، تم ترسيب فيلم ZnO على شرائح Cu لتحقيق الوصلة الأومي بواسطة طريقة البخ بالطلاء (وهي طريقة باستخدام ضغط الغاز يتم بخ المادة المراد التصاقها على المعدن) [4,5,6]. حيث أولاً حضرت الأقراص النحاسية بنصف قطر متماثل من أجل جميع العينات 1.0cm ، غسلت بالماء المقطر وجففت لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة المخبر. ثم جرى ترسيب الأكسيد بسماكة 50µm على القرص

باستعمال طريقة البخ بالطلاء بمساعدة الغاز المضغوط [4,5,6]. رسبت طبقة Al ذات سماكة $1\mu\text{m}$ على الوجه العلوي من ZnO ، باستعمال طريقة البخ الحرارية على حوامل سيليكونية للتمكن من إعادة فصلها عن الحامل، وأضيفت لاحقاً على سطح طبقة الأكسيد. حيث يمكن تمثيل الطبقات كما في الشكل (1).



الشكل (1) تمثيل للطبقات المتشكلة لثنائي شوتكي

خصائص التحيز الأمامي والتحيز العكسي $I-V$ تم الحصول عليها باستخدام دائرة إلكترونية مؤلفة من مقياس أمبير - مقياس فولت ومغذية كهربائية ومجموعة من المقاومات والمكثفات. كما في الشكل (2) .



الشكل (1) : الدارة الإلكترونية المستخدمة للقياسات الميزة $(I - V)$.
5. القسم العملي:

5.1 توصيف الميزة $I - V$ والتوصيف الكهربائي لثنائي شوتكي:

يظهر الرسم التخطيطي المستخدم لتوصيف $I - V$ في الشكل (3)، ويوضح خصائص $I - V$ لثنائي شوتكي $Cu/ZnO/Al$ ، مما يشير إلى طبيعة ثنائي شوتكي مع نسبة تصحيح (I_F/I_R) تبلغ 1.23. لقد قمنا بتحليل خصائص $I - V$ لثنائي شوتكي المقترح باستخدام نظرية الانبعاث الحراري التقليدية، حيث تكون الثوابت التجريبية لثنائي شوتكي، مثل عامل المثالية والحاجز ومن المفترض أن يكون الارتفاع مستقلاً عن الجهد. يتم إعطاء العلاقة $I - V$ بواسطة [7,8,9,10,11]

$$I = I_0 \left[\exp \frac{q(V - IR_s)}{\eta kT} \right] \quad (1)$$

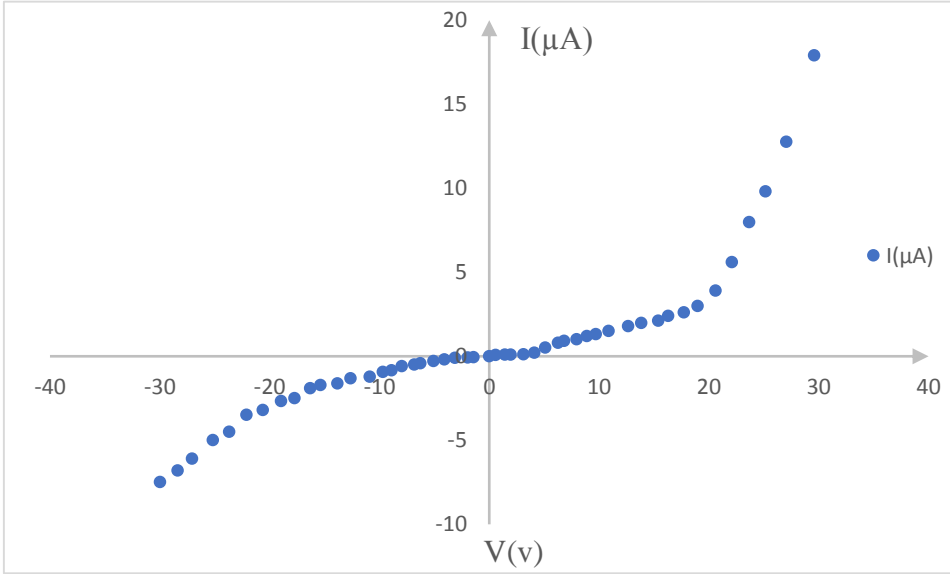
حيث I_0 هو تيار التشبع المعطى بواسطة:

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \quad (2)$$

q هو الشحنة الإلكترونية، ϕ_b هو ارتفاع الحاجز الفعال عند انحياز صفر، V هو الجهد

المطبق، A هي منطقة الديود، A^* (32 cm² K²) هو ثابت ريتشاردسون، K هو ثابت

بولتزمان، η وهو عامل المثالية.



الشكل
(3)
الميزة
جهد-
تيار
لثنائي

شوتكي Cu/ZnO/Al عند درجة حرارة الغرفة.

يوضح الشكل (3) الميزة جهد- تيار لثنائي شوتكي Cu/ZnO/Al عند درجة حرارة الغرفة. من

خلال تركيب الجزء الخطي من هذا المخطط واستخدام التقاطع والميل، حصلنا على قيمة عامل

المثالية وارتفاع الحاجز باستخدام المعادلات التالية [4,12,13,14,15]:

$$n = \frac{q}{KT \times \text{slope}} \quad (3)$$

$$\Phi_{B(I-V)} = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_s} \right) \quad (4)$$

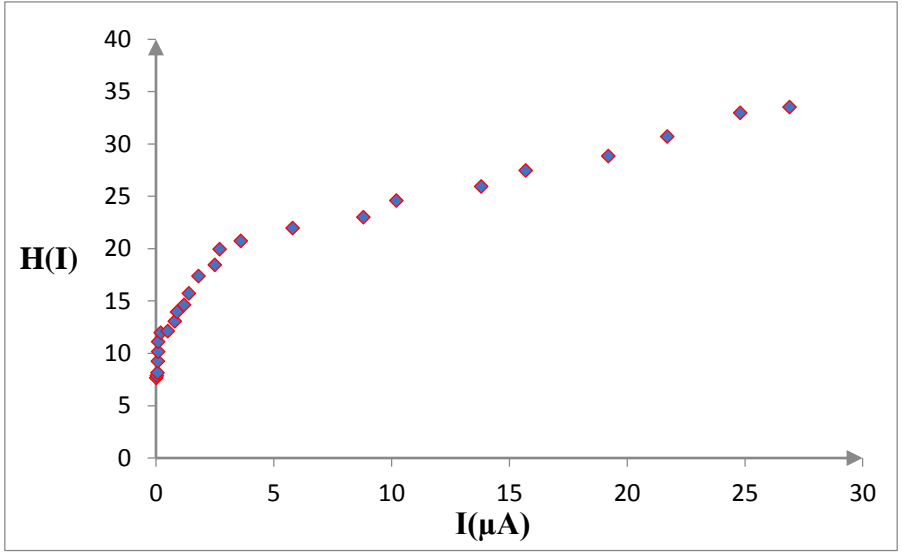
حيث $K = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ ، T هي درجة الحرارة بالكلفن، A هي منطقة الديود = 2.541 cm^2 . كانت قيمة عامل المثالية عند درجة حرارة الغرفة 9.45 . وتشير القيمة المقدره لعامل المثالية إلى أن الانبعاث الحراري ليس آلية النقل السائدة. وهذا يعني وجود آليات أخرى مثل توليد إعادة التركيب، والنفق، وحالات النقل بمساعدة النقل [16]. لاحظنا أن العوامل المثالية لديودات أكسيد الزنك شوتكي المعالجة كيميائياً عادةً ما تكون أكبر بكثير من الوحدة، تعزى إلى النفق وحالات الواجهة و/أو تأثير مراكز إعادة التركيب العميقة وتعزى القيم العالية لـ η أيضاً إلى وجود طبقة أكسيد أصلية رقيقة ببنية في واجهة Al و ZnO ، وارتفاع حاجز شوتكي (أو عدم تجانس الحاجز)، وإلى تأثير المقاومة المتسلسلة وإلى الاعتماد على الجهد، وإلى آليات التوصيل الحالية بخلاف الانبعاث الحراري وكذلك يرجع ذلك إلى البنية المسامية ومتعددة التبلور لأفلام ZnO الرقيقة التي تخلق مسارات متعددة التيار [3,17]. وقيمة ارتفاع الحاجز المقابل 0.776 eV هو متوافق مع المرجع [8, 20,18]. يُعزى الانحراف بقيمة Φ_{B0} إلى تكوين حاجز كمون غير متجانس، وإلى المناطق التي لا تساهم في نقل التيار عبر حاجز شوتكي (المناطق المظلمة)، وهذا يتم في الوصلة غير المتجانسة، يوفر رسم منحنى $\ln I - V$ عند المحور y قيمة تيار التشبع $I_0 = 0.6688 \times 10^{-6} \text{ A}$. تجدر الإشارة إلى أنه تجريبياً تم حساب ثوابت ثنائي

شوتكي باستخدام نموذج الانبعاث الحراري، من منطقة الجهد المنخفض (المنطقة الخطية) لخصائص الجهد - التيار دون دمج تأثير المقاومة المتسلسلة (الموصولة على التسلسل) R_s . كما اشتق Cheung طريقة بديلة للحصول على ثوابت ثنائي شوتكي، متضمنة تأثير المقاومة المتسلسلة. يمكن إعطاء علاقات تشيونغ [4,9]:

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{\eta kT}{q} + IR_s \quad (5)$$

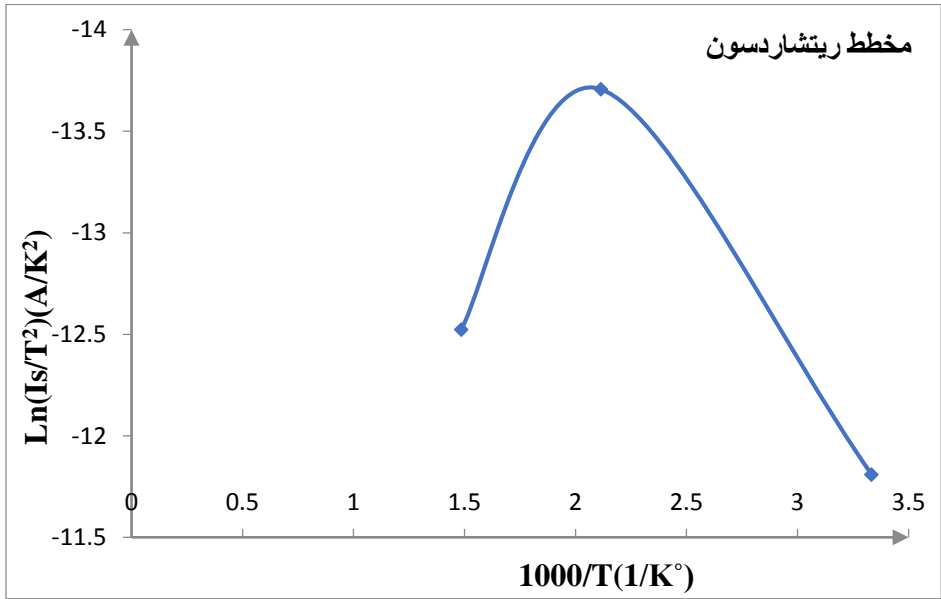
$$H(I) = V - \frac{\eta kT}{q} \ln \left(\frac{I}{AA^* T^2} \right) \quad (6)$$

$$H(I) = \eta \phi_b + IR_s \quad (7)$$



الشكل (4) منحنى $H(I)$ مقابل I لثنائي شوتكي Cu/ZnO/Al عند درجة حرارة الغرفة.

تم الحصول على المقاومة المتسلسلة من ميل منحنى $H(I)$ ، I مقابل $H(I)$ ، حيث $R_s = 0.878 \mu\Omega$ ، حيث أن نقطة التقاطع المحور Y مع منحنى $H(I)$ مقابل I سيوفر ارتفاع الحاجز وفقاً للمعادلة (7) وتم الحصول عليه بقيمة 1.34 eV . يشير الفرق النسبي بين قيمة ارتفاعات الحاجز التي تم الحصول عليها من نموذج الانبعاث الحراري وطريقة Cheung إلى حدوث مقاومة متسلسلة وحالات واجهة عبر المعادن وأنصاف - النواقل. إن التناقض في قيمة ارتفاع الحاجز المحدد من خصائص $(I - V)$ يلقي الضوء على وجود حالات الواجهة، والتي يمكن يستفاد منها كمرشح في العديد من تطبيقات الأجهزة الإلكترونية [9].



الشكل (5). مخطط ريتشاردسون للديود Cu/ ZnO/Al في مجال درجة الحرارة 273 – 673 K.

يوضح الشكل (5) مخطط ريتشاردسون لمجال درجة الحرارة 273 – 673 K. وقد وجدنا أن قيمة ثابت ريتشاردسون هي $15 \text{ A K}^{-2} \text{ cm}^{-2}$. تم تحديد الثابت في مجال درجة الحرارة 273 – 673 K من التدرج وتقاطع المحور y في الشكل (5)، هذه القيم أقل بكثير مقارنة بالقيمة النظرية

ارتفاع الحاجز غير المتجانس مكانياً والتقلبات المحتملة عند الواجهة التي تتكون من مناطق

حاجز منخفضة وعالية، أي عندما تتخفض درجة الحرارة، سيتدفق التيار بشكل تفضيلي عبر

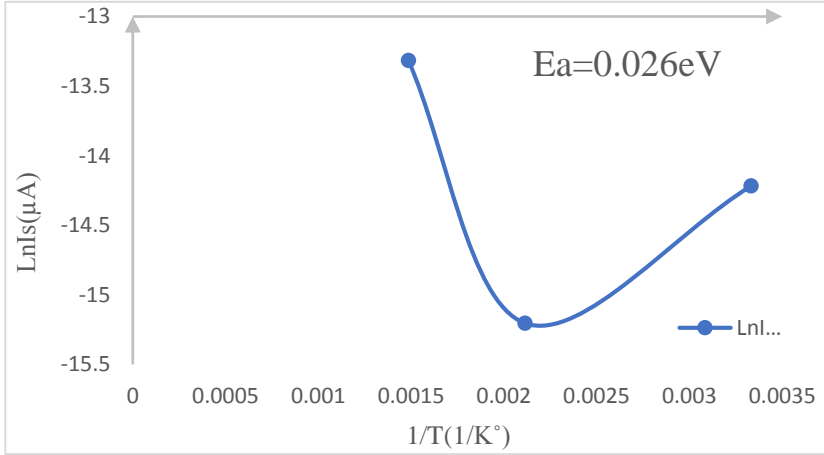
الحواجز السفلية في توزيع الجهد. ويوضح الشكل (5) رسماً بيانياً لـ $\ln(I_s/T^2)$ مقابل $10^3/T$

في مجال درجة الحرارة 273 – 673 K. وعلى الرغم من أن الدراسة الكاملة لقياسات $I - V$

المعتمدة على درجة الحرارة أجريت في مجال درجة الحرارة 273 – 673 K، فلقد لوحظ سلوك

غير خطي عند درجات حرارة منخفضة. وبالتالي يمكن أن تُعزى عدم خطية الرسم البياني إلى

اعتماد ارتفاع الحاجز وعامل المثالية على درجة الحرارة [3].



الشكل (6) مخطط التشبع لثنائي Al ZnO/Cu في مجال درجة الحرارة 100 – 400K

الشكل (6) يبين مخطط الإشباع لثنائي شوتكي Cu /ZnO/ Al في مجال درجة الحرارة من 273 – 673K. طاقة التنشيط لعيب المستوى العميق الذي يحبس الناقل ويمكن العثور عليها من خلال تدرج التوافق الخطي للمعادلة التالية [21]:

$$I_s = I_0 \exp(-E_a/kT) \quad (8)$$

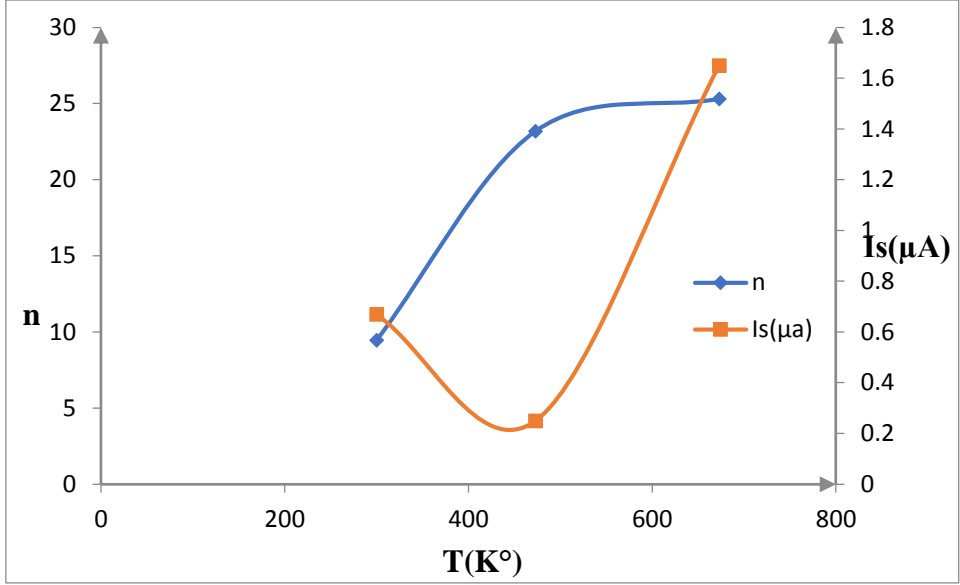
حيث I_s هو تيار التشبع المقاس عند درجات حرارة مختلفة، E_a هي طاقة التنشيط. تم العثور على طاقة التنشيط لتكون $0.224 \mu\text{eV}$ وهي تدل على عيب بالقرب من عصابة الناقلية [7,8].

2.5 علاقة تيار الإشباع وعامل المثالية بتغير درجة الحرارة:

يبين الجدول (1) تغيرات تيار الإشباع وعامل المثالية عند تغير درجة الحرارة.

673	473	300	T(K°)
25.3	23.17	9.45	η
1.6499	0.2495	0.6688	$I_s(\mu\text{A})$

الرسم البياني يبين تغيرات تيار الإشباع وعامل المثالية عند ازدياد درجة الحرارة، حيث نلاحظ ازدياد عامل المثالية مع ازدياد درجة الحرارة، وكذلك يزداد تيار الإشباع باعتبارهما يرتبطان ارتباط مباشر بدرجة الحرارة، وكذلك يرتبط بعامل المثالية من خلال اعتماده على كمون الحاجز حسب العلاقة (2) [22].

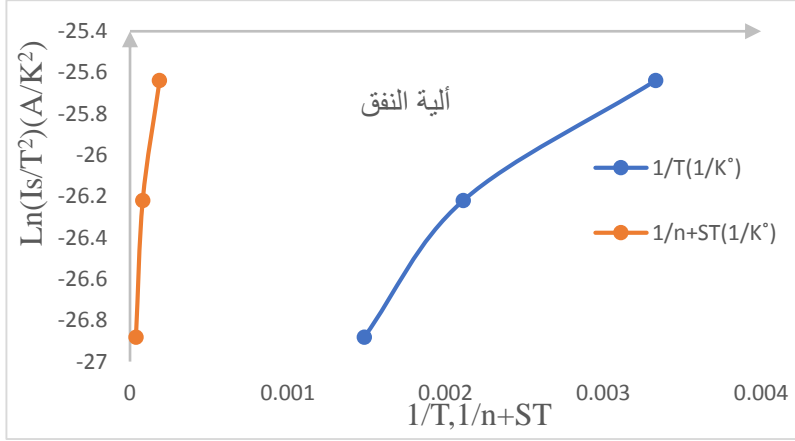


الشكل البياني (7) تغيرات تيار الإشباع وعامل المثالية عند ازدياد درجة الحرارة.

توضح القيم المتزايدة لـ n مع زيادة درجة الحرارة أن آلية النقل الحراري تتأثر بشدة في منطقة درجات الحرارة المنخفضة، وأن الأنفاق المساعدة المحاصرة هي المسؤولة عن آلية النقل [10].

3.5 دراسة آلية النقل في ثنائي شوتكي :

الرسم البياني (8) يوضح آلية النقل الحاصلة في الثنائي شوتكي Cu /ZnO/ Al



الشكل (8) آلية النقل الحاصلة في ثنائي شوتكي Cu /ZnO/ Al

كما هو موضح في الشكل (8)، إن علاقة ارتباط درجة الحرارة $\ln(I_0 / T^2)$ مقابل $1 / T$

nT له سلوك خطي مقارنة برسم $\ln(I_0 / T^2)$ مقابل $1 / T$. لذلك، يمكن اعتبار هذه الحقيقة

بمثابة مؤشر على آلية النفق المحتملة في توصيل الناقل من المعدن عبر واجهة الأكسيد وإلى

طبقة أنصاف النواقل [24,20]. تحت هذا الافتراض، يمكن التعبير عن المعادلة (2) بارتفاع

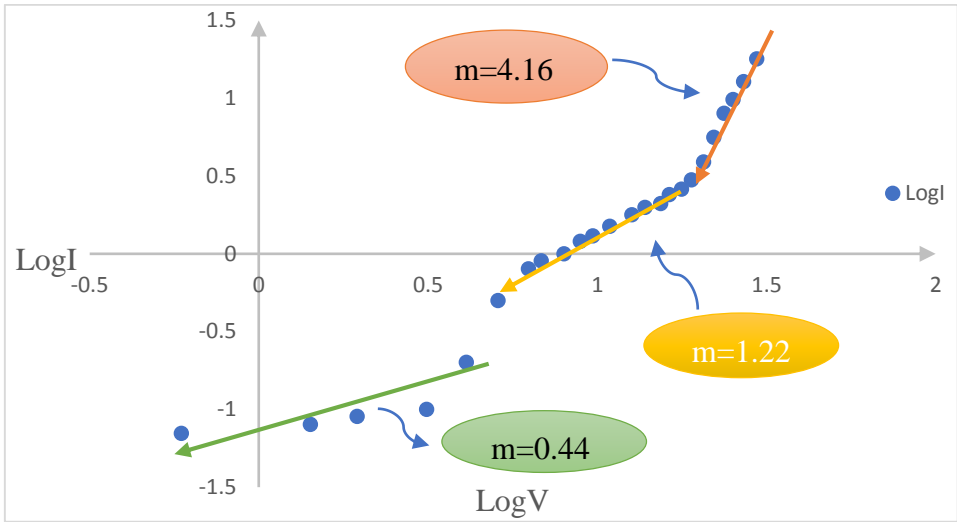
الحاجز الفعال اعتماداً على التباين في n مع درجة الحرارة [9]،

$$I = I_0 = AA^*T^{-2}\exp(a\chi^{0.5}\delta)\exp\left(-\frac{q\phi_{beff}}{nkT}\right) \quad (9)$$

حيث يتم استخدام $(a\chi^{0.5}\delta)$ في العلاقة المعادلة (المعادلة 9) لمناقشة النقل عبر الواجهة. كما يتم تعريف المصطلح $(a\chi^{0.5}\delta)$ كعامل نفق ثابت a يعتمد على كتلة النفق الفعالة m^*, χ هو متوسط ارتفاع حاجز النفق في طبقة الواجهة و δ هو سمك الطبقة التي يحدث فيها النفق. لذلك، بافتراض أن طبقة الوصلة هي طبقة ZnO المترسبة بين ملامسة معدن الألمنيوم والنحاس، يتم تقريب $(a\chi^{0.5}\delta)$ إلى 17.6 وفقاً للمعادلة (9). يتم الحصول على القيمة دون أي مساهمة محتملة للتيار العكسي في نفق الناقل وبافتراض الحد الأقصى $V > 3kT / q$. يتم الحصول على قيم ارتفاع الحاجز الفعال ϕ_{beff} من تعبير I_0 المعدل المعطى في المعادلة (9) لإعادة تقييم القيم التجريبية المستخرجة من نموذج TE. بالتوافق الجيد مع النتائج التي أبلغ عنها Sheng. يمكن استخدام تقريب ارتفاع حاجز الكمون هذا لتقييم خصائص I-V للثنائي تحت تأثير عدم التجانس الملحوظ كسلوك شوتكي غير مثالي.

4.5 دراسة مناطق عمل ثنائي شوتكي:

الشكل 9 يبين خاصية الجهد - التيار (I-V) في مخطط لوغاريتمي مزدوج للثنائي - n ZnO/ Al ويحدد مناطق عمل ثنائي شوتكي



الشكل 9. خاصية الجهد - التيار ($I-V$) في مخطط لوغاريتمي مزدوج للتنائي Cu/ZnO/Al

تمت دراسة آليات النقل في الديودات المصنعة لدينا باستخدام خصائص $I-V$ اللوغاريتمية المزدوجة للتحيز الأمامي، تم عرض مخطط اللوغاريتمي المزدوج $I-V$ لبنية Cu/ZnO/Al في الشكل (9). تم استخدام قانون الطاقة $I = kV^m$ حيث I هو التيار، و k ثابت، و V هو الجهد و m عبارة عن آلية نقل الشحنة التي تصف ثابتاً والتي تساوي ميل الرسم البياني $\log I - \log V$. يعزى اختلاف المنحني، أن خاصية التحيز الأمامي لبنية الوصلة Cu/ZnO/Al لها ثلاث مناطق خطية متميزة. تشير هذه الحالة إلى وجود آليات نقل متنوعة للبنية بقيمة انحدار، تبلغ 0.4، 1.22، 4.16. تم الحصول على ميل $I-V$ بقيمة أكبر من 2.0 والتي تنسب إلى إمكانية آلية التيار المحدود للشحنة الفضائية (SCLC) وفقاً لقانون Mott-Gurney ($J \sim V^2/d^3$). عند الفولتية المنخفضة لا توجد خاصية أومية على النقيض من الكلاسيكية والتي يمكن أن تكون ناجمة عن طبقة النضوب مع بنية بئر تقييد الإلكترون بين ZnO - n و Al (وصلة شوتكي) على Cu يتضح أن كلا المنطقتين a و II تتبعان قانون الطاقة ($I \approx V^m$)، حيث كان الميل في المنطقة الأولى منخفض $m = 0.44$ ويدل على أن التنائي المصنع يقترب من الحد "المملوء بالمصيدة" عندما يكون مستوى الحقن مرتفعاً والذي يكون اعتماده هو نفسه كما في التيار المحدود ذي الشحنة الفراغية الخالية من المصيدة.

في المنطقة II، يزداد ميل اللوغاريتمي المزدوج I-V ويكون مساوياً $m = 1.22$ مما يعني أنه يمكن زيادة حركة حاملات الشحن مع زيادة الجهد المطبق. في المنطقة III، عند الفولتية العالية، يميل ميل المنحني إلى الازدياد $m = 4.16$ لأن الثنائي يعمل على إعادة الاتحاد بين الأزواج (إلكترون- ثقب) وبالتالي تزداد حركية حوامل الشحنة مما يسبب بازدياد التيار، وفقاً لقانون الطاقة، وجد أن التيار المحدود لإعادة الاتحاد للشحنة الفراغية (SCLC) هو آلية النقل المهيمنة في مجال الجهد العالي للتحيز الأمامي. [18]

- [1]. XU, Zhixing; ZHANG, Yongle; WANG, Zhaona. (2019)-**ZnO-based photodetector: from photon detector to pyro-phototronic effect enhanced detector**. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol 52, No 22, Pp 223001.
- [2]. AL-AHMADI, Noorah A, (2020)-**Metal oxide semiconductor-based Schottky diodes: a review of recent advances**. *Materials Research Express*, Vol 7, No 3, Pp 032001.
- [3] Mayimele, M. A, van Rensburg, J. P. J, Auret, F. D, Diale, M. (2016)-**Analysis of temperature-dependant current–voltage characteristics and extraction of series resistance in Pd/ZnO Schottky barrier diodes**. *Physica B: Condensed Matter*, Vol 480, Pp 58-62.
- [4] Varma, T. (2017)-**Design and Development of Zinc Oxide thin film based Schottky Diodes and TFTs and their application as UV Detectors**. (PhD Thesis Doctoral dissertation, MNIT Jaipur).
- [5] SHWEIKANI, Pr R, ISMAIL A, JERBY, B. (2017)-**Preliminary study on the properties of zinc oxide (ZnO) for alpha particles detection**. *International Journal of Radiation Research*, Vol 15, No 3, Pp 301-306.
- [6] A. ISMAIL, J. AL ABDULLAH, R. SHWEIKANI, B. JERBY. (2017)-**Radioluminescence in ZnO: effect of chemical modification**. *Journal OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS*, Vol 19, No. 5 – 6, p. 389 – 394.
- [7] ASGHAR, M. (2013)- **Electrical characterization of Au/ZnO/Si Schottky contact**. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, Vol 439, Pp 012030
- [8] AZHAR, Ebraheem Ali, (2018) - **ZnO-based Schottky and oxide multilayer devices for visibly transparent photovoltaic**

applications. *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol 65, No 8 Pp 3291-3299.

[9] MIRANDA, Enrique; MILANO, Gianluca; RICCIARDI, Carlo. (2020)- **Compact modeling of the IV characteristics of ZnO nanowires including nonlinear series resistance effects.** *IEEE Transactions on Nanotechnology*, Vol 19, No 20, Pp 297- 300.

[10] XU, Zhixing; ZHANG, Yongle; WANG, Zhaona. (2019)- **ZnO-based photodetector: from photon detector to pyro-phototronic effect enhanced detector.** *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol 52No 22, Pp 223001.

[11] Coppa, B J, Davis, R F, &Nemanich Rn J, (2003)- **Gold Schottky contacts on oxygen plasma-treated, n-type ZnO (0001).** *Applied Physics Letters*, Vol 82, No 3, Pp 400-402.

[12] I. Hussain, M. Y. Soomro, N. Bano, O. Nur, (2012) - **Interface trap characterization and electrical properties of Au-ZnO nanorod Schottky diodes by conductance and capacitance methods.** *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*.Vol 112, No 064506, Pp1-6

[13] JIN, Jidong, (2017)- **Schottky diodes on ZnO thin films grown by plasma-enhanced atomic layer deposition.** *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol 64, No3, Pp 1225-1230

[14] Semple J, Rossbauer, S, Anthopoulos T. D. (2016)- **Analysis of Schottky contact formation in coplanar Au/ZnO/Al nanogap radio frequency diodes processed from solution at low temperature.** *ACS Applied Materials & Interfaces*,Vol 8, No 35, Pp 23167-23174.

- [15] RAJAN, Lintu; PERIASAMY, C.; SAHULA, Vineet. (2016) - **Electrical characterization of Au/ZnO thin film Schottky diode on silicon substrate.** Perspectives in Science, Vol 8, Pp 66-68.
- [16] KHAN, Azam. (2014)- **Analysis of junction properties of gold–zinc oxide nanorods-based Schottky diode by means of frequency dependent electrical characterization on textile.** *Journal of Materials Science*, Vol 49, Pp 3434-3441.
- [17] BRILLSON, Leonard J.; LU, Yicheng. (2011)- **ZnO Schottky barriers and Ohmic contacts.** *Journal of Applied Physics*, Vol, No109, Pp12.
- [18] MWANKEMWA, Benard S. (2018)- **Effects of surface morphology on the optical and electrical properties of Schottky diodes of CBD deposited ZnO nanostructures.** *Physica B: Condensed Matter*, Vol 535, Pp175-180.
- [19] XU, Zhixing; ZHANG, Yongle; WANG, Zhaona. (2019)- **ZnO-based photodetector: from photon detector to pyro-phototronic effect enhanced detector.** *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol 52, No22, Pp 223001.
- [20] ENDO, Haruyuki. (2007)- **Schottky ultraviolet photodiode using a ZnO hydrothermally grown single crystal substrate.** *Applied physics letters*, Vol 90, No12.
- [21] CHENG, Ke. (2007)- **Surface states dominative Au Schottky contact on vertical aligned ZnO nanorod arrays synthesized by low-temperature growth.** *New Journal of Physics*, Vol 9, No7, Pp214.
- [22] KRIEG, L. (2020)- **Controlled formation of Schottky diodes on n-doped ZnO layers by deposition of p-conductive polymer layers with oxidative chemical vapor deposition.** *Nano Express* Vol 1, No 1, Pp 010013.

[23] MENG, Jianping; LEE, Chengkuo; LI, Zhou. (2024)- **thesis PDH**: **Adjustment methods of Schottky barrier height in one-and two-dimensional semiconductor devices.** *Science Bulletin*.

[24] Keskenler, E. F, Haidar, M. (2020)- **Schottky diode fabrication via cold substrate evaporated ag on sol-gel derived ZnO ultra-thin films for semiconductor devices.** *Journal of Ovonic Research*, Vol 16, No 5, Pp 309-321.

دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغاير

علي عبد الحميد غصه¹

د. عبدالله رستناوي² د. سليمان ديبو³

المخلص

في هذا البحث، قمنا بحساب قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس Tsoufanidis مع وبدون تأثير إشعاع الكبح عند المجال الطاقى $[0.01 - 4.5] \text{ MeV}$ والمجال الطاقى $[16 - 200] \text{ MeV}$ والمجال الطاقى $[3000 - 30000] \text{ MeV}$ يدويا وعن طريق برنامج الإكسل Excel و حساب قدرة الإيقاف أيضا بنفس الطريقة لجسيم ألفا في السيليكون عند نفس المجالات من الطاقة بواسطة علاقة بيت-بلوخ Bethe-Bloch ومن ثم مقارنة نتائج هذه العلاقتين بتطبيق طريقة التغاير بواسطة الإكسل Excel حيث تم مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير إشعاع الكبح مع علاقة بيت-بلوخ ومن ثم قمنا بالمقارنة مع وجود تأثير إشعاع الكبح لدراسة الفروقات ومعرفة أسباب هذه الفروقات في نتائج العلاقتين حيث تم ملاحظة أن الاختلاف في نتائج العلاقتين أصبح كبير نوعا ما عند أخذ تأثير إشعاع الكبح بينما بإهمال تأثير إشعاع الكبح في علاقة تسولفانيديس تبين لنا أن نتائجها قريبة من نتائج علاقة بيت-بلوخ وهذا يدل على أهمية أخذ تأثير إشعاع الكبح بعين الاعتبار لكون فقد الطاقة عن طريقة إشعاع الكبح كبيرة مقارنة بفقد الطاقة عن طريقة الاصطدام (التأين والإثارة) وذلك عند الطاقات العالية وهذا ما تم ملاحظته من حساب التغاير بين هاتين العلاقتين رياضيا ومن خلال الرسوم البيانية.

¹ طالب ماجستير فيزياء نظرية في قسم الفيزياء بكلية العلوم في جامعة حمص.

² قسم الفيزياء بكلية العلوم في جامعة حمص.

³ قسم الفيزياء بكلية العلوم في جامعة حمص.

الكلمات المفتاحية: علاقة تسولفانيديس، علاقة بيت-بلوخ، قدرة الإيقاف، طريقة التغيرات

A comparative study between two theoretical relationships for the alpha particle stopping power in silicon using the covariance method

Ali Abd alhamed Ghassah⁴

Dr. Abdullah Rastanawi⁵

Dr. Solaiman Dibo⁶

Abstract

In this research, we calculated the stopping power of the alpha particle in silicon using the Tsoulfanidis relationship with and without the effect of bremsstrahlung at the energy range $E[0.01-4.5]$, the energy range $E[16-200]$, and the range $E[3000-30000]$ manually and using the Excel program, and also calculated the stopping power in the same way for the alpha particle at the same energy ranges using the Bethe-Bloch relationship, and then compared the results of these two relationships by applying the covariance formula using Excel, where the Tsoulfanidis relationship was compared without the effect of bremsstrahlung with the Bethe-Bloch relationship, and then we compared with the presence of the effect of bremsstrahlung to study the differences and find out the reasons for these differences in the results of the two relationship, where it was noted that the difference in the results of the two relationships became somewhat large when taking into account the effect of bremsstrahlung, while neglecting the effect of bremsstrahlung in the Tsoulfanidis relationship, it became clear to us that its results are close to the results of the Bethe-Bloch relationship, and this indicates that The importance of taking into account the effect of bremsstrahlung is that the energy loss through bremsstrahlung is large compared to the energy loss through collision (ionization and excitation) at high energies. This is what was observed from calculating the covariance between these two relationships mathematically and through graphs.

⁴ Master student in Department of Physics- Faculty of Science- Homs University

⁵ Department of Physics- Faculty of Science- Homs University.

⁶ Department of Physics- Faculty of Science- Homs University.

Keywords: the Tsoufanidis relationship, the Bethe-Bloch relationship, stopping power, the covariance method.

1. مقدمة

في العديد من المجالات، مثل قياس الجرعات الإشعاعية، وبيولوجيا الإشعاع، والكثير غيرها، مثل الكيمياء الإشعاعية، والعلاج الإشعاعي، والفيزياء النووية، وقدرة الإيقاف، وفقدان الطاقة، وتشتت المدى، ومعدل الجرعة المكافئة لأيونات في الهواء والأنسجة والبوليمرات. هي موضوعات ذات أهمية كبيرة جداً. يتزايد استخدام البروتونات أو الأيونات الأثقل (كجسيم ألفا) كبديل عن حزم الفوتون الخارجية في العلاج الإشعاعي، والسبب هو كونها تحافظ على الجرعة المستهدف بها، وتضمن توصيل جرعة أعلى إلى الورم، ويمكنها نقل الطاقة على شكل جرعة نقطية. من خلال الأنسجة المريضة بسبب منحنى براغ [1]. يتم قياس قدرة إيقاف الجسيمات المشحونة باستخدام مجموعة متنوعة من الطرق، بما في ذلك قياسات فقدان الطاقة المباشرة من خلال الأفلام، والتشتت الخلفي من الركائز السميكة مع طبقات الامتصاص المترسبة، وقياسات الازاحة التجاوبية لغاما gamma resonance shift measurements، وطرق الدعم الذاتي، والتحقق غير المباشر من قدرة الإيقاف. لقد تم الإعلان عن جميع الطرق المعتمدة على فقدان طاقة ألفا في الهواء كطرق لقياس قدرة إيقاف الجسيمات المشحونة في العديد من المراجع منها [2] [3] [4].

على سبيل المثال يمكن استخدام العديد من العلاقات النظرية، التي هي تطوير عن بعضها البعض، من أجل تعيين قدرة الإيقاف. في بحثنا سنقوم بحساب قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون لكون السيليكون يستخدم بشكل كبير في كواشف الأيونات الثقيلة النصف الناقلة من أجل تحديد سماكة النصف الناقل الملائمة لكشف أيونات ثقيلة ذات طاقة معينة أو مجال طاقي معين باستخدام علاقة إلى بيت-بلوخ وبواسطة علاقة تسولفانيديس ومن ثم مقارنة نتائج هاتين العلاقتين مع بعضها البعض بواسطة طريقة التغيرات لمعرفة أيهما أفضل في تحديد السماكة.

2. هدف ومشكلة البحث

إن الهدف من هذا البحث، هو دراسة التحسينات التي قام بها الباحثون في تطوير علاقة قدرة الإيقاف والفروقات بين هذه العلاقات من خلال إجراء مقارنة بين العلاقات النظرية عند مجالات طاقة مختلفة باستخدام طريقة التغيرات وتفسير هذه الفروقات التي يمكن أن تعود إلى ظاهرة أو ظواهر قامو بملاحظتها وادخالها ك حدود إضافية في علاقاتهم وذلك كان لسعيهم للوصول إلى أدق علاقة نظرية تعطي نتائج مطابقة أو أقرب مايمكن للنتائج التجريبية وكنموذج سنطبق الدراسة على علاقتي تسولفانيديس و بيت-بلوخ كون هاتين العلاقتين بينهما فترة زمنية بعيدة.

3. مواد وطرق البحث

3.1. طريقة التغيرات (covariance).

يحتوي علم البيانات على العديد من المصطلحات القابلة للتبديل. هو علم تحليل وفهم البيانات لتقديم حل أفضل لمشكلة موجودة. يقوم التغيرات بتحديد اتجاه العلاقة بين متغيرين. حيث يتيح لنا معرفة التناسب بين المتغيرين. ويمكن أن يوفر فهماً أساسياً للعلاقة بين المتغيرات. يمكن أن يكون المتغير متناسباً طردياً أو عكساً. تحتاج المتغيرات غير النسبية إلى تقنيات إحصائية متقدمة أخرى لفهمها ومراقبتها ودراستها، يمكن حساب التغيرات يدوياً بمعادلة قياسية

$$\text{covariance} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

دلالات الرموز: [5]

- ❖ x_i : قيم المتغير الأول الموجودة في مجموعة البيانات. [6]
- ❖ \bar{x} : القيمة المتوسطة لجميع نقاط x .
- ❖ y_i : قيم المتغير الثاني الموجودة في مجموعة البيانات.
- ❖ \bar{y} : القيمة المتوسطة لجميع نقاط y .
- ❖ n : عدد العناصر في مجموعة البيانات.

4. الدراسة النظرية

لقد تم تعريف قدرة الإيقاف من قبل اللجنة الدولية لوحدات وقياسات الإشعاع أو ICRU (تايلور Taylor وآخرون، 1970) [7] على أنها متوسط الطاقة التي يتبددها الإشعاع المؤين في وسط لكل وحدة طول مسار انتقال الإشعاع في الوسط. من المستحيل، بالطبع، التنبؤ بكيفية تفاعل جسيم مشحون مع أي ذرة معينة من الوسط الممتص. وأيضاً، عندما نأخذ في الاعتبار أن القوى

الكولونية للجسيمات المشحونة سوف تتفاعل بشكل متزامن مع العديد من الذرات أثناء انتقالها عبر الوسط الممتص، يمكننا فقط التنبؤ بتأثير متوسط لفقد الطاقة لكل مسافة عبور للجسيم. مع الأخذ في الاعتبار شحنة الجسيم وكتلته وسرعته (طاقته)، والكثافة والعدد الذري للوسط الممتص، اشتق بيت (Bethe) (1933, 1953) [8,9] علاقة نظرية لقدرة الإيقاف الناتجة عن التفاعلات الكولونية للجسيمات الثقيلة المشحونة (جسيمات ألفا، بروتونات، ديوترونات،...) تنتقل عبر الوسائط الماصة. قام رورليش وكارلسون (Rohrlich and Carlson [10] (1954) بتحسين الحسابات لتشمل فقدان الطاقة عبر إشعاع الكبح، وهو أمر مهم عندما تتفاعل الإلكترونات ذات الطاقة العالية وجسيمات بيتا مع ماصات ذات عدد ذري مرتفع. أيضاً، تم إجراء تحسينات على علاقات قدرة الإيقاف في مجالات الطاقة المنخفضة للجسيمات الثقيلة من قبل العديد من الباحثين بما في ذلك بور و ليندهارد Bohr and Lindhard (1954) [11]، ليندهارد و شارف (1960) [12,13] Lindhard and Scharff (1961) ، نورثكليف Northcliffe (1963) [14] وموزومدر Mozumder وآخرون (1968) [15]. يمكن الحصول على اشتقاقات علاقات قدرة الإيقاف من نصوص فريدلاندر وآخرين (Friedlander et al. (1964) [16]، روي وريد (Roy (1968) [17] and Reed and Segre (1968) [18]، وإيفانز (Evans (1972) [19]. تم أيضاً اشتقاق علاقة لقدرة الإيقاف للجسيمات المشحونة الناتجة عن التفاعلات الكولونية (أي التأين والإثارة المدارية الإلكترونية) بشكل واضح من قبل تسولفانيديس (Tsoulfanidis (1995) [20].

تطبيق علاقة تسولفانيديس وعلاقة بيت-بلوخ من أجل حساب قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون Si في مجال طاقي محدد ومقارنة نتائج العلاقتين بتطبيق طريقة التغير.

1.4. قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس

$$\frac{dE}{dx} = 4\pi r_0^2 z^2 \frac{mc^2}{\beta^2} NZ \left[\ln \left(\frac{2mc^2}{I} \beta^2 \gamma^2 \right) - \beta^2 \right]$$

دلالات الرموز:

r_0 : نصف القطر الكلاسيكي للإلكترون

$$r_0 = e^2/mc^2 = 2.81777 \times 10^{-15} \text{ m}$$

m : كتلة الإلكترون السكونية وتساوي $9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

mc^2 : طاقة الإلكترون السكونية وتساوي 0.511 MeV

e: شحنة الإلكترون $-1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

γ : عامل لورنتز ويساوي $1/\sqrt{1 - \beta^2}$

$$\gamma = (T + MC^2)/MC^2$$

T: الطاقة الحركية للجسيم الساقط

MC^2 : الطاقة السكونية للجسيم الساقط

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}}$$

N عدد الذرات m^3 في المادة التي يعبر الجسيم من خلالها

$$N = \rho(N_A/A)$$

ρ : كثافة المادة (الهدف)

N_A : عدد أفوغادرو ويساوي $6.022 \times 10^{23} \text{ atoms/mol}$

A: الوزن الكتلي (الكتلة الذرية)

Z: العدد الذري للمادة (الهدف)

z: شحنة الجسيم الوارد

I: كمون الإثارة (التأين) الوسطي للمادة

المعادلة التقريبية من أجل كمون الإثارة (التأين) I

$$I(\text{eV}) = (9.76 + 58.8Z^{-1.19})Z \quad Z \geq 13 \text{ أو } Z > 12$$

$$I(\text{eV}) = \left(12 + \frac{7}{Z}\right)Z \quad Z < 13$$

قمنا بإدراج هذا الحساب على برنامج اكسل Excel وحساب قدرة الإيقاف.

أولاً: بدون تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقى من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E =$

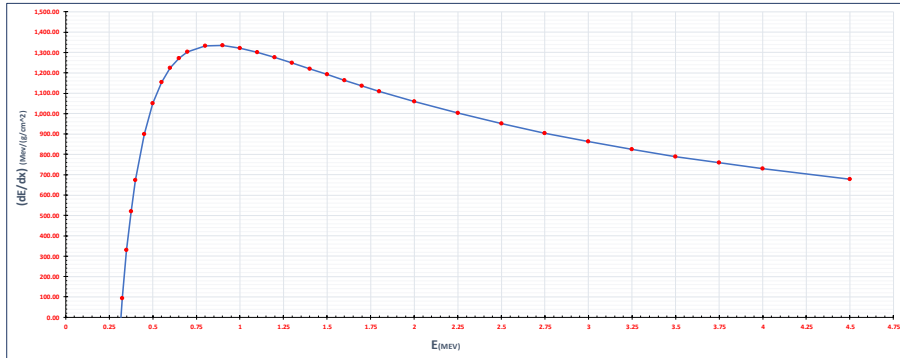
4.5 MeV

الجدول (1): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون أخذ

تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقى [0.01 – 4.5] MeV .

السيلكون في الفا حزم إيف قدرة Silicon stopping power for alpha particle in silicon											
E(MEV)	(dE/dx) _{ion(Mev/μm²)}	(dE/dx) _{ion(Mev/cm)}	(dE/dx) _{ion(Mev/cm)}	β ²	I	Z	N	γ ²	mc ² z ²	4πr ₀ ²	
0.01	-396955.1267	-92141224.01	-921412.2401	5.32522E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000005	0.511	4	9.97242E-29
0.011	-350912.7344	-81453983.91	-814538.6391	5.85774E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000008	0.511	4	9.97242E-29
0.012	-313338.6908	-72732176.91	-727321.7691	6.39026E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000006	0.511	4	9.97242E-29
0.013	-282161.1972	-65495257.09	-654952.5709	6.92278E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000007	0.511	4	9.97242E-29
0.014	-255924.707	-59405242.98	-594052.4298	7.4553E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000007	0.511	4	9.97242E-29
0.015	-233578.2348	-54218179.86	-542181.7986	7.98781E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000008	0.511	4	9.97242E-29
0.016	-214344.9517	-49753750.19	-497537.5019	8.52033E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000009	0.511	4	9.97242E-29
0.017	-197638.943	-45875951.44	-458759.5144	9.05285E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000009	0.511	4	9.97242E-29
0.018	-183010.4183	-42480378.29	-424803.7829	9.58537E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000011	0.511	4	9.97242E-29
0.02	-158666.469	-36827339.58	-368273.3958	1.06504E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000011	0.511	4	9.97242E-29
0.0225	-135013.2487	-31339275.29	-313392.7529	1.19817E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000012	0.511	4	9.97242E-29
0.025	-116669.6135	-27081350.68	-270813.5068	1.3313E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000013	0.511	4	9.97242E-29
0.0275	-102081.107	-23695066.55	-236950.6655	1.46443E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000015	0.511	4	9.97242E-29
0.03	-90241.86281	-20946941.2	-209469.412	1.59755E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000016	0.511	4	9.97242E-29
0.0325	-80470.4102	-18678791.61	-186787.9161	1.73068E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000017	0.511	4	9.97242E-29
0.035	-72289.70816	-16779887.06	-167798.8706	1.86381E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000019	0.511	4	9.97242E-29
0.0375	-65356.49283	-15170549.12	-151705.4912	1.99694E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000021	0.511	4	9.97242E-29
0.04	-59417.88031	-13792078.38	-137920.7838	2.13006E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000021	0.511	4	9.97242E-29
0.045	-49808.56528	-11561564.17	-115615.6417	2.39632E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000024	0.511	4	9.97242E-29
0.05	-42406.58119	-98434.15625	-98434.15625	2.66257E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000027	0.511	4	9.97242E-29
0.055	-36660.37146	-8486393.423	-84863.93423	2.92882E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000029	0.511	4	9.97242E-29
0.06	-31847.45058	-73924.30229	-73924.30229	3.19507E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000032	0.511	4	9.97242E-29
0.065	-27982.77766	-6495362.351	-64953.62351	3.46132E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000035	0.511	4	9.97242E-29
0.07	-24767.614	-5749058.562	-57490.58562	3.72756E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000037	0.511	4	9.97242E-29
0.08	-19753.87652	-4585269.818	-45852.69818	4.26006E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000043	0.511	4	9.97242E-29
0.09	-16055.35305	-3726768.549	-37267.68549	4.79255E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000048	0.511	4	9.97242E-29
0.1	-13239.26568	-3073098.35	-30730.9835	5.32503E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000053	0.511	4	9.97242E-29
0.11	-11040.17165	-2562644.642	-25626.44642	5.85751E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000059	0.511	4	9.97242E-29
0.12	-9287.051821	-2155710.469	-21557.10469	6.38998E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000064	0.511	4	9.97242E-29
0.13	-7865.232673	-1825677.854	-18256.77854	6.92245E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000069	0.511	4	9.97242E-29
0.14	-6695.236218	-1554098.231	-15540.98231	7.45492E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000075	0.511	4	9.97242E-29
0.15	-5720.419086	-13278.23678	-13278.23678	7.98738E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000081	0.511	4	9.97242E-29
0.16	-4899.440381	-1137258.101	-11372.58101	8.51984E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000085	0.511	4	9.97242E-29
0.17	-4201.4994	-975252.0407	-9752.520407	9.0523E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000091	0.511	4	9.97242E-29
0.18	-3603.232151	-836382.2469	-8363.822469	9.58475E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000096	0.511	4	9.97242E-29
0.2	-2637.628718	-612246.3781	-6122.463781	0.000106496	0.00017225	14	4.977E+28	1.000107	0.511	4	9.97242E-29
0.225	-1743.093053	-404066.7595	-4046.067595	0.000119807	0.00017225	14	4.977E+28	1.000121	0.511	4	9.97242E-29
0.25	-1084.55402	-251746.6792	-2517.466792	0.000133118	0.00017225	14	4.977E+28	1.000133	0.511	4	9.97242E-29
0.275	-587.7378278	-136425.7046	-1364.257046	0.000146428	0.00017225	14	4.977E+28	1.000146	0.511	4	9.97242E-29
0.3	-205.5056606	-47701.97394	-477.0197394	0.000159738	0.00017225	14	4.977E+28	1.000161	0.511	4	9.97242E-29
0.325	93.28272199	21653.84157	216.5384157	0.000173048	0.00017225	14	4.977E+28	1.000173	0.511	4	9.97242E-29
0.35	329.9148941	76579.84523	765.7984523	0.000186357	0.00017225	14	4.977E+28	1.000186	0.511	4	9.97242E-29
0.375	519.314917	120544.9046	1205.449046	0.000199667	0.00017225	14	4.977E+28	1.00021	0.511	4	9.97242E-29
0.4	672.2588985	156044.7355	1560.447355	0.000212976	0.00017225	14	4.977E+28	1.000213	0.511	4	9.97242E-29
0.45	898.3215464	208518.3973	2085.183973	0.000239593	0.00017225	14	4.977E+28	1.00024	0.511	4	9.97242E-29
0.5	1050.629471	243872.1128	2438.721128	0.000266209	0.00017225	14	4.977E+28	1.000266	0.511	4	9.97242E-29
0.55	1154.2529	267925.1831	2679.251831	0.000292824	0.00017225	14	4.977E+28	1.000293	0.511	4	9.97242E-29
0.6	1224.716835	284281.2718	2842.812718	0.000319438	0.00017225	14	4.977E+28	1.00032	0.511	4	9.97242E-29
0.65	1272.024496	295262.326	2952.62326	0.000346051	0.00017225	14	4.977E+28	1.000346	0.511	4	9.97242E-29
0.7	1302.834879	302414.032	3024.14032	0.000372663	0.00017225	14	4.977E+28	1.000373	0.511	4	9.97242E-29
0.8	1331.816819	309141.3199	3091.413199	0.000425883	0.00017225	14	4.977E+28	1.000426	0.511	4	9.97242E-29
0.9	1334.259069	309708.215	3097.08215	0.0004791	0.00017225	14	4.977E+28	1.000479	0.511	4	9.97242E-29
1	1321.944328	306849.7175	3068.497175	0.000532312	0.00017225	14	4.977E+28	1.000533	0.511	4	9.97242E-29
1.1	1301.37465	302075.0837	3020.750837	0.000585519	0.00017225	14	4.977E+28	1.000586	0.511	4	9.97242E-29
1.2	1276.290532	296252.5583	2962.525583	0.000638723	0.00017225	14	4.977E+28	1.000639	0.511	4	9.97242E-29
1.3	1248.909149	289896.7916	2898.967916	0.000691922	0.00017225	14	4.977E+28	1.000692	0.511	4	9.97242E-29
1.4	1220.571134	283318.9717	2833.189717	0.000745117	0.00017225	14	4.977E+28	1.000746	0.511	4	9.97242E-29
1.5	1192.095495	276709.2063	2767.092063	0.000798308	0.00017225	14	4.977E+28	1.000799	0.511	4	9.97242E-29
1.6	1163.982405	270183.5959	2701.835959	0.000851495	0.00017225	14	4.977E+28	1.000852	0.511	4	9.97242E-29
1.7	1136.53306	263812.0538	2638.120538	0.000904677	0.00017225	14	4.977E+28	1.000905	0.511	4	9.97242E-29
1.8	1108.92252	257635.2152	2576.352152	0.000957855	0.00017225	14	4.977E+28	1.000958	0.511	4	9.97242E-29
2	1059.542899	245941.0977	2459.410977	0.001064198	0.00017225	14	4.977E+28	1.001065	0.511	4	9.97242E-29
2.25	1002.061638	232598.5474	2325.985474	0.001197104	0.00017225	14	4.977E+28	1.001199	0.511	4	9.97242E-29
2.5	950.3722842	220800.4146	2208.004146	0.001329982	0.00017225	14	4.977E+28	1.001332	0.511	4	9.97242E-29
2.75	903.8859141	209809.9984	2098.099984	0.001462835	0.00017225	14	4.977E+28	1.001465	0.511	4	9.97242E-29
3	861.9722782	200081.0052	2000.810052	0.001595666	0.00017225	14	4.977E+28	1.001598	0.511	4	9.97242E-29
3.25	824.0461208	191277.5856	1912.775856	0.00172846	0.00017225	14	4.977E+28	1.001731	0.511	4	9.97242E-29
3.5	789.5922015	183280.1418	1832.801418	0.001861232	0.00017225	14	4.977E+28	1.001865	0.511	4	9.97242E-29
3.75	758.1670433	175985.7341	1759.857341	0.001993979	0.00017225	14	4.977E+28	1.001998	0.511	4	9.97242E-29
4	729.3924196	169306.5684	1693.065684	0.002126699	0.00017225	14	4.977E+28	1.002131	0.511	4	9.97242E-29
4.5	678.555642	157506.3356	1575.063356	0.002392059	0.00017225	14	4.977E+28	1.002398	0.511	4	9.97242E-29

دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغيرات



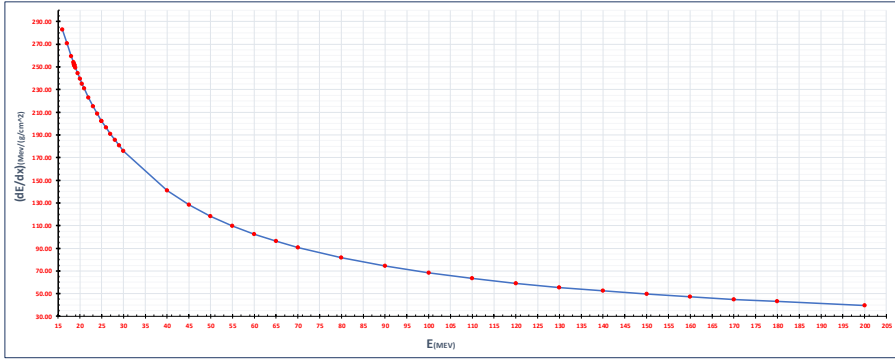
الشكل (1): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانديس بدون

تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$

الجدول (2): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانديس بدون أخذ

تأثير إشعاع الكبح في المجال الطاقي MeV [200 – 16].

السيليكون ألفا جسيم إيقاف قدرة stopping power for alpha particle in silicon											
E (MeV)	(dE/dx)ion(Mev/(g*cm²))	(dE/dx)ion(Mev/m)	(dE/dx)ion(Mev/cm)	β^2	I	Z	N	γ^2	mc² z²	4trm²	
16	283.069868	65706.13569	657.0613569	0.008466247	0.00017225	14	4.977E+28	1.008539	0.511	4	9.97242E-29
17	270.6230922	62817.03216	628.1703216	0.008991813	0.00017225	14	4.977E+28	1.009073	0.511	4	9.97242E-29
18	259.3397088	60197.93321	601.9793321	0.009516962	0.00017225	14	4.977E+28	1.009608	0.511	4	9.97242E-29
18.5	254.082677	58977.67099	589.7767099	0.00977938	0.00017225	14	4.977E+28	1.009876	0.511	4	9.97242E-29
18.6	253.0597332	58740.22527	587.4022527	0.009831851	0.00017225	14	4.977E+28	1.009929	0.511	4	9.97242E-29
18.7	252.0459672	58504.90991	585.0490991	0.009884318	0.00017225	14	4.977E+28	1.009983	0.511	4	9.97242E-29
18.72	251.8443041	58458.09986	584.5809986	0.009894811	0.00017225	14	4.977E+28	1.009994	0.511	4	9.97242E-29
18.73177746	251.725719	58430.5739	584.305739	0.00990099	0.00017225	14	4.977E+28	1.01	0.511	4	9.97242E-29
18.73177747	251.7257189	58430.57388	584.3057388	0.009900989	0.00017225	14	4.977E+28	1.01	0.511	4	9.97242E-29
18.8	251.0412514	58271.69527	582.7169527	0.009936781	0.00017225	14	4.977E+28	1.010307	0.511	4	9.97242E-29
19	249.0847616	57811.45242	578.1145242	0.010041694	0.00017225	14	4.977E+28	1.010444	0.511	4	9.97242E-29
19.5	244.2514114	56895.63762	568.9563762	0.010303904	0.00017225	14	4.977E+28	1.010411	0.511	4	9.97242E-29
20	239.6472186	55626.91237	556.2691237	0.010566009	0.00017225	14	4.977E+28	1.010679	0.511	4	9.97242E-29
20.5	235.2328625	54602.25204	546.0225204	0.01082801	0.00017225	14	4.977E+28	1.010947	0.511	4	9.97242E-29
21	230.9964255	53618.89029	536.1889029	0.011089907	0.00017225	14	4.977E+28	1.011214	0.511	4	9.97242E-29
22	223.0145119	51766.12849	517.6612849	0.01161339	0.00017225	14	4.977E+28	1.01175	0.511	4	9.97242E-29
23.0792	215.0622431	49920.24786	499.2024786	0.012177866	0.00017225	14	4.977E+28	1.012328	0.511	4	9.97242E-29
24	208.7601499	48457.40598	484.5740598	0.012659108	0.00017225	14	4.977E+28	1.012821	0.511	4	9.97242E-29
25	202.3690709	46973.21238	469.7321238	0.013181345	0.00017225	14	4.977E+28	1.013357	0.511	4	9.97242E-29
25	202.3690709	46973.21238	469.7321238	0.013181345	0.00017225	14	4.977E+28	1.013357	0.511	4	9.97242E-29
26	196.3937982	45586.92844	455.8692844	0.013703168	0.00017225	14	4.977E+28	1.013894	0.511	4	9.97242E-29
27	190.8015832	44288.86349	442.8886349	0.014224577	0.00017225	14	4.977E+28	1.01443	0.511	4	9.97242E-29
28	185.5531017	43070.58997	430.7058997	0.014745573	0.00017225	14	4.977E+28	1.014966	0.511	4	9.97242E-29
29	180.6165921	41924.72335	419.2472335	0.015268155	0.00017225	14	4.977E+28	1.015503	0.511	4	9.97242E-29
30	175.9641535	40844.7993	408.447993	0.015786326	0.00017225	14	4.977E+28	1.01604	0.511	4	9.97242E-29
40	140.7791084	32677.64665	326.7764665	0.020965437	0.00017225	14	4.977E+28	1.021414	0.511	4	9.97242E-29
45	128.3957448	29803.22028	298.0322028	0.023539676	0.00017225	14	4.977E+28	1.024107	0.511	4	9.97242E-29
50	118.2088706	27438.64303	274.3864303	0.026103776	0.00017225	14	4.977E+28	1.026803	0.511	4	9.97242E-29
55	109.6853655	25456.26068	254.5626068	0.028657789	0.00017225	14	4.977E+28	1.029503	0.511	4	9.97242E-29
60	102.3963018	23768.22959	237.6822959	0.031201769	0.00017225	14	4.977E+28	1.032207	0.511	4	9.97242E-29
65	96.12277404	22312.01831	223.1201831	0.033735767	0.00017225	14	4.977E+28	1.034914	0.511	4	9.97242E-29
70	90.65070609	21041.8419	210.418419	0.036259837	0.00017225	14	4.977E+28	1.037624	0.511	4	9.97242E-29
80	81.55405346	18930.32689	189.3032689	0.041278396	0.00017225	14	4.977E+28	1.043056	0.511	4	9.97242E-29
90	74.28463516	17242.94951	172.4294951	0.046257857	0.00017225	14	4.977E+28	1.048501	0.511	4	9.97242E-29
100	68.33185699	15861.19064	158.6119064	0.051198624	0.00017225	14	4.977E+28	1.053961	0.511	4	9.97242E-29
110	63.36905078	14707.3439	147.073439	0.056101098	0.00017225	14	4.977E+28	1.059435	0.511	4	9.97242E-29
120	59.14287267	13728.2436	137.282436	0.060996573	0.00017225	14	4.977E+28	1.064924	0.511	4	9.97242E-29
130	55.51538291	12886.23068	128.8623068	0.065792738	0.00017225	14	4.977E+28	1.070426	0.511	4	9.97242E-29
140	52.36020324	12153.85038	121.5385038	0.07058268	0.00017225	14	4.977E+28	1.075943	0.511	4	9.97242E-29
150	49.58989276	11510.59468	115.1059468	0.075333876	0.00017225	14	4.977E+28	1.081474	0.511	4	9.97242E-29
160	47.1343827	10940.8226	109.408226	0.080052702	0.00017225	14	4.977E+28	1.087019	0.511	4	9.97242E-29
170	44.94394437	10432.38837	104.3238837	0.084733529	0.00017225	14	4.977E+28	1.092578	0.511	4	9.97242E-29
180	42.97652386	9975.710719	99.75710719	0.089378721	0.00017225	14	4.977E+28	1.098151	0.511	4	9.97242E-29
200	39.58481476	9188.427202	91.88427202	0.098563641	0.00017225	14	4.977E+28	1.109341	0.511	4	9.97242E-29



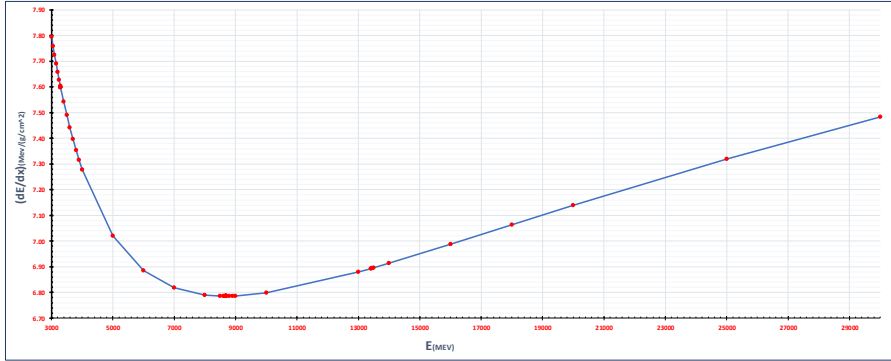
الشكل (2): قدرة إيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون

تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$

الجدول (3): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون أخذ

تأثير إشعاع الكبح في المجال الطاقى $[3000 - 30000] \text{ MeV}$.

السيليكون في الفا جسيم إيقاف قدرة stopping power for alpha particle in silicon											
E (MeV)	(dE/dx) (MeV/(g/cm ²))	(dE/dx) (MeV/cm)	(dE/dx) (MeV/cm)	β^2	I	Z	N	γ^2	mc ²	z ²	4 $\pi r_0^2 A^2$
3000	7.794716863	1809.309678	18.09309678	0.690941366	0.00017225	14	4.977E+28	3.235632	0.511	4	9.97242E-29
3050	7.758743822	1800.959616	18.00959616	0.69546586	0.00017225	14	4.977E+28	3.283704	0.511	4	9.97242E-29
3100	7.724155872	1792.931061	17.92931061	0.69989172	0.00017225	14	4.977E+28	3.332131	0.511	4	9.97242E-29
3150	7.690886464	1785.208566	17.85208566	0.704221794	0.00017225	14	4.977E+28	3.380912	0.511	4	9.97242E-29
3200	7.658873147	1777.777635	17.7777635	0.708458825	0.00017225	14	4.977E+28	3.430047	0.511	4	9.97242E-29
3250	7.628057258	1770.624651	17.70624651	0.712605461	0.00017225	14	4.977E+28	3.479537	0.511	4	9.97242E-29
3290	7.604229516	1765.093755	17.65093755	0.716859404	0.00017225	14	4.977E+28	3.519384	0.511	4	9.97242E-29
3295	7.6013011	1764.414011	17.64414011	0.716262258	0.00017225	14	4.977E+28	3.524381	0.511	4	9.97242E-29
3297	7.600132803	1764.142826	17.64142826	0.716423159	0.00017225	14	4.977E+28	3.526381	0.511	4	9.97242E-29
3298	7.599549311	1764.007386	17.64007386	0.716503559	0.00017225	14	4.977E+28	3.527381	0.511	4	9.97242E-29
3298.5	7.599257729	1763.939704	17.63939704	0.716543746	0.00017225	14	4.977E+28	3.527881	0.511	4	9.97242E-29
3298.7521	7.599110754	1763.905588	17.63905588	0.716564035	0.00017225	14	4.977E+28	3.528133	0.511	4	9.97242E-29
3298.7522	7.599110696	1763.905575	17.63905575	0.716564013	0.00017225	14	4.977E+28	3.528133	0.511	4	9.97242E-29
3300	7.598383636	1763.73681	17.6373681	0.716664255	0.00017225	14	4.977E+28	3.529382	0.511	4	9.97242E-29
3400	7.542256578	1750.709061	17.50709061	0.724528085	0.00017225	14	4.977E+28	3.630134	0.511	4	9.97242E-29
3500	7.490117598	1738.606097	17.38606097	0.732069016	0.00017225	14	4.977E+28	3.732204	0.511	4	9.97242E-29
3600	7.441622104	1727.349323	17.27349323	0.738904488	0.00017225	14	4.977E+28	3.835893	0.511	4	9.97242E-29
3700	7.396469728	1716.868553	17.16868553	0.746250778	0.00017225	14	4.977E+28	3.940899	0.511	4	9.97242E-29
3800	7.354389639	1707.100923	17.07100923	0.752923094	0.00017225	14	4.977E+28	4.047323	0.511	4	9.97242E-29
3900	7.315138558	1697.989962	16.97989962	0.759335657	0.00017225	14	4.977E+28	4.156165	0.511	4	9.97242E-29
4000	7.278497371	1689.48481	16.8948481	0.765501777	0.00017225	14	4.977E+28	4.264425	0.511	4	9.97242E-29
5000	7.019918028	1629.463373	16.29463373	0.81600764	0.00017225	14	4.977E+28	4.530008	0.511	4	9.97242E-29
6000	6.885485138	1598.25881	15.9825881	0.85179439	0.00017225	14	4.977E+28	4.747383	0.511	4	9.97242E-29
7000	6.818290886	1582.66168	15.8266168	0.878071807	0.00017225	14	4.977E+28	4.8201549	0.511	4	9.97242E-29
8000	6.790346007	1576.175115	15.76175115	0.8979332	0.00017225	14	4.977E+28	4.917509	0.511	4	9.97242E-29
8500	6.786061797	1575.180664	15.75180664	0.906091428	0.00017225	14	4.977E+28	10.64866	0.511	4	9.97242E-29
8600	6.785804181	1575.120866	15.75120866	0.907605362	0.00017225	14	4.977E+28	10.82314	0.511	4	9.97242E-29
8650	6.785743162	1575.106703	15.75106703	0.908348637	0.00017225	14	4.977E+28	10.91091	0.511	4	9.97242E-29
8670	6.78573109	1575.103901	15.75103901	0.908643437	0.00017225	14	4.977E+28	10.94612	0.511	4	9.97242E-29
8680	6.785727666	1575.103106	15.75103106	0.908793035	0.00017225	14	4.977E+28	10.96375	0.511	4	9.97242E-29
8690	6.785725972	1575.102713	15.75102713	0.908936818	0.00017225	14	4.977E+28	10.98139	0.511	4	9.97242E-29
8695	6.785725773	1575.102686	15.75102686	0.909009942	0.00017225	14	4.977E+28	10.99021	0.511	4	9.97242E-29
8695.19138	6.785725774	1575.102687	15.75102687	0.909012739	0.00017225	14	4.977E+28	10.99055	0.511	4	9.97242E-29
8696	6.785725784	1575.102669	15.75102669	0.909024557	0.00017225	14	4.977E+28	10.99198	0.511	4	9.97242E-29
8697	6.785725813	1575.102676	15.75102676	0.909039167	0.00017225	14	4.977E+28	10.99374	0.511	4	9.97242E-29
8700	6.785726003	1575.10272	15.7510272	0.909082978	0.00017225	14	4.977E+28	10.99904	0.511	4	9.97242E-29
8800	6.785819412	1575.124402	15.75124402	0.910525431	0.00017225	14	4.977E+28	11.17636	0.511	4	9.97242E-29
8900	6.786076994	1575.184179	15.75184179	0.911933825	0.00017225	14	4.977E+28	11.3551	0.511	4	9.97242E-29
9000	6.786491479	1575.280402	15.75280402	0.913309226	0.00017225	14	4.977E+28	11.53525	0.511	4	9.97242E-29
10000	6.797928877	1577.935251	15.77935251	0.92545542	0.00017225	14	4.977E+28	13.41479	0.511	4	9.97242E-29
13000	6.879216673	1596.803774	15.96803774	0.949759229	0.00017225	14	4.977E+28	19.90415	0.511	4	9.97242E-29
13400	6.892886939	1599.976916	15.99976916	0.952074731	0.00017225	14	4.977E+28	20.8582	0.511	4	9.97242E-29
13435	6.894101197	1600.25877	16.0025877	0.952269683	0.00017225	14	4.977E+28	20.96104	0.511	4	9.97242E-29
13435.4451	6.894116656	1600.262358	16.00262358	0.952272155	0.00017225	14	4.977E+28	20.96213	0.511	4	9.97242E-29
13450	6.894622424	1600.379757	16.00379757	0.95235287	0.00017225	14	4.977E+28	20.98762	0.511	4	9.97242E-29
13500	6.896363932	1600.783871	16.00783871	0.952628594	0.00017225	14	4.977E+28	21.10978	0.511	4	9.97242E-29
14000	6.914047625	1604.888735	16.04888735	0.956258964	0.00017225	14	4.977E+28	22.36086	0.511	4	9.97242E-29
16000	6.98810095	1622.077993	16.22077993	0.963859298	0.00017225	14	4.977E+28	27.66506	0.511	4	9.97242E-29
18000	7.064212443	1639.744992	16.39744992	0.970198694	0.00017225	14	4.977E+28	33.56558	0.511	4	9.97242E-29
20000	7.139655489	1657.303256	16.57303256	0.975005425	0.00017225	14	4.977E+28	40.0088	0.511	4	9.97242E-29
25000	7.32012428	1699.147248	16.99147248	0.982941788	0.00017225	14	4.977E+28	58.62279	0.511	4	9.97242E-29
30000	7.484129506	1737.216141	17.37216141	0.987620955	0.00017225	14	4.977E+28	80.78167	0.511	4	9.97242E-29



الشكل (3): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون

تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$

ثانياً: مع تأثير إشعاع الكبح في المجال الطاقى $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$

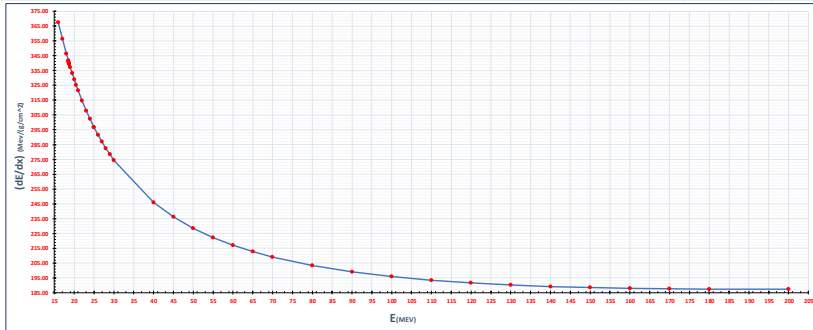
الجدول (4): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس مع أخذ تأثير

إشعاع الكبح في المجال الطاقى $[0.01 - 4.5] \text{ MeV}$.

السليلكون في الفا جسيمات هـ في سليكون											
(dE/dx) (MeV/cm ²)	(dE/dx) (MeV/cm)	E (MeV)	(dE/dx) (MeV/cm ²)	(dE/dx) (MeV/cm)	E (MeV)	(dE/dx) (MeV/cm ²)	(dE/dx) (MeV/cm)	E (MeV)	(dE/dx) (MeV/cm ²)	(dE/dx) (MeV/cm)	E (MeV)
-391028.225	-171.986915	0.01	-389895.1267	-171.986915	0.01	-42214.2241	-20.110101	0.0017225	4.32222E-06	0.000000	0.000000
-362694.7855	-167.251939	0.011	-360912.7344	-171.986915	0.011	-814538.6391	-40.726163	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-313408.8787	-162.920083	0.012	-313338.6908	-171.986915	0.012	-727321.7691	-36.36026E-06	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-282229.6683	-158.938152	0.013	-282161.1972	-171.986915	0.013	-654962.5709	-32.74378E-06	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-255991.9085	-155.246706	0.014	-255924.707	-171.986915	0.014	-594502.4298	-29.74635E-06	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-233643.6367	-151.810926	0.015	-233578.2348	-171.986915	0.015	-542181.7996	-27.38781E-06	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-214038.9694	-148.597862	0.016	-214344.9517	-171.986915	0.016	-497537.5019	-25.20333E-06	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-197701.8604	-145.579659	0.017	-197638.943	-171.986915	0.017	-457591.5144	-23.2629E-06	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-18371.9036	-142.74071	0.019	-183104.4163	-171.986915	0.019	-424803.7629	-21.5443E-06	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-158715.7007	-137.458734	0.02	-158666.469	-171.986915	0.02	-386273.358	-1.96504E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-135069.4523	-131.624962	0.0225	-135013.2487	-171.986915	0.0225	-313392.7529	-1.19817E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-116724.0593	-126.379635	0.025	-116693.6135	-171.986915	0.025	-270613.5068	-1.3131E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-102133.5396	-121.634975	0.0275	-102091.107	-171.986915	0.0275	-236993.8555	-1.46443E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-90292.9285	-117.302707	0.03	-90241.86281	-171.986915	0.03	-209469.412	-1.59755E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-80519.22891	-113.310020	0.0325	-80470.4102	-171.986915	0.0325	-18678791.61	-1.73068E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-72398.83744	-109.62298	0.035	-72298.70916	-171.986915	0.035	-167789.876	-1.86301E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-65402.24238	-106.139438	0.0375	-65356.49033	-171.986915	0.0375	-151705.4912	-1.99964E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-59462.24566	-102.980919	0.04	-59417.88031	-171.986915	0.04	-137920.7838	-2.13006E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-49650.40447	-97.11713905	0.045	-49608.56528	-171.986915	0.045	-119515.6417	-2.29632E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-42446.1006	-91.8719717	0.05	-42408.58119	-171.986915	0.05	-99434.1825	-2.48257E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-36597.90678	-87.1269784	0.055	-36590.37146	-171.986915	0.055	-84863.33423	-2.69882E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-31883.11972	-82.7952186	0.06	-31847.45058	-171.986915	0.06	-73924.30229	-3.19507E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-2816.7301	-78.8103962	0.065	-27982.7776	-171.986915	0.065	-64953.6251	-3.46132E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-24798.97762	-75.12103167	0.07	-24767.614	-171.986915	0.07	-57766.9462	-3.7766E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-19783.37564	-68.4732681	0.08	-19753.87652	-171.986915	0.08	-458269.818	-4.26006E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-16682.32604	-62.6971163	0.09	-16655.35305	-171.986915	0.09	-37267.68549	-4.79255E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-13263.97658	-57.1187917	0.105	-13278.26658	-171.986915	0.105	-30978.9076	-5.3078E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-11062.8498	-52.6193665	0.11	-11040.17165	-171.986915	0.11	-25626.4442	-5.85715E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-9307.85818	-48.289145	0.12	-9287.051821	-171.986915	0.12	-21557.10469	-6.38986E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-7894.31971	-44.3031193	0.13	-7865.252973	-171.986915	0.13	-18256.7854	-6.9245E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-6712.71032	-40.6118771	0.14	-6695.28218	-171.986915	0.14	-15540.8231	-7.45482E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-5736.436259	-37.1792629	0.15	-5720.419096	-171.986915	0.15	-13278.23678	-7.98738E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-4914.07376	-33.961082	0.16	-4899.40381	-171.986915	0.16	-11372.58101	-8.51984E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-4214.83219	-30.9479909	0.17	-4201.4894	-171.986915	0.17	-9752.52407	-9.0523E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-3615.33811	-28.1210435	0.18	-3603.22161	-171.986915	0.18	-8362.2469	-9.58476E-05	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-2847.475865	-22.85719811	0.2	-2837.628718	-171.986915	0.2	-6122.46391	-0.00010496	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-1750.414044	-16.9934839	0.225	-1743.09303	-171.986915	0.225	-4046.76595	-0.000118807	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-1089.615272	-11.7457836	0.25	-1084.55482	-171.986915	0.25	-2517.66782	-0.00013119	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-950.754882	-7.00318619	0.275	-957.738278	-171.986915	0.275	-19425.7046	-0.000146428	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
-206.656482	-2.671310541	0.3	-205.5066606	-171.986915	0.3	-4771.97394	-0.000159738	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
83.8521477	1.313969389	0.325	83.2872189	-171.986915	0.325	21653.84157	-0.000173408	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
332.070381	5.020216555	0.35	329.9148941	-171.986915	0.35	7879.34523	-0.000185357	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
522.957421	8.43814325	0.375	519.3214917	-171.986915	0.375	12054.9046	-0.000196667	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
677.2784317	11.65134025	0.4	676.258885	-171.986915	0.4	15604.47355	-0.000212976	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
905.8674474	17.5159458	0.45	898.3215464	-171.986915	0.45	20810.3973	-0.000239593	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1090.436346	22.78139719	0.5	1093.629471	-171.986915	0.5	24387.1128	-0.000266209	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1166.10323	27.50685447	0.55	1154.2529	-171.986915	0.55	2679.251831	-0.000282824	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1238.439664	31.83926245	0.6	1224.178835	-171.986915	0.6	28428.12718	-0.000319438	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1287.829383	35.82916222	0.65	1272.034496	-171.986915	0.65	29522.326	-0.000349651	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1319.868988	39.51543582	0.7	1302.848079	-171.986915	0.7	30244.032	-0.000378963	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1350.981673	46.16510377	0.8	1331.816819	-171.986915	0.8	30914.3199	-0.000425883	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1396.674621	52.0390813	0.9	1354.299069	-171.986915	0.9	309708.215	-0.0004791	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1463.63622	57.27861383	1	1371.944389	-171.986915	1	308494.715	-0.00053232	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1326.096209	62.0269338	1.1	1301.37465	-171.986915	1.1	3020.75937	-0.00058519	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1304.87761	66.3007307	1.2	1276.20052	-171.986915	1.2	2962.52583	-0.000638723	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1279.216011	70.34528939	1.3	1248.939149	-171.986915	1.3	2896.7915	-0.000691922	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1252.489727	74.0408177	1.4	1220.571134	-171.986915	1.4	2833.9717	-0.000745117	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1225.474169	77.47857176	1.5	1192.095465	-171.986915	1.5	2767.02063	-0.000798308	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1198.74668	80.6943389	1.6	1163.982405	-171.986915	1.6	2701.83599	-0.000851495	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1172.598042	83.7165841	1.7	1136.53306	-171.986915	1.7	2638.12638	-0.000904677	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1147.21916	86.6564329	1.8	1109.9252	-171.986915	1.8	2576.82152	-0.000957859	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1098.098167	91.818008	2	1059.542889	-171.986915	2	2458.410977	-0.001064198	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
1044.146227	97.89139952	2.25	1002.061638	-171.986915	2.25	2326.98474	-0.001179704	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
994.722928	103.829982	2.5	950.372282	-171.986915	2.5	2200.40146	-0.001303148	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
950.285391	107.7024658	2.75	903.859914	-171.986915	2.75	2080.93984	-0.001426338	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
910.242758	112.043629	3	861.972782	-171.986915	3	20081.0052	-0.00155866	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
874.038251	116.0417382	3.25	824.0461208	-171.986915	3.25	19127.5896	-0.001697846	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
841.17882	119.743026	3.5	789.692015	-171.986915	3.5	18320.1418	-0.001848123	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
811.2307364	123.190739	3.75	758.167043	-171.986915	3.75	17589.87341	-0.001993979	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
783.853703	126.4155711	4	729.3924196	-171.986915	4	16930.6584	-0.00213689	0.0017225	1.4377E-05	0.000000	0.000000
736.555219	132.305319	4.5	678.505842	-171.986915	4.5	15706.3356	-0.002				

دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغيرات

stopping power for alpha particle in silicon													
(dE/dx)stopping(MeV/(g*cm ²))	(dE/dx)stopping(MeV/cm)	E _{energy}	(dE/dx)stopping(MeV/(g*cm ²))	(dE/dx)stopping(MeV/cm)	(dE/dx)stopping(MeV/cm)	β ²	I	Z	N	γ ²	mc ²	4πm ²	
367.6131665	196.242353	16	263.069688	65706.13569	657.0613569	0.008466247	0.00017225	14	4.977E+28	1.00839	0.511	4	9.9724E-29
356.5308201	189.333821	17	270.6230822	62817.03216	628.1703216	0.008991813	0.00017225	14	4.977E+28	1.00907	0.511	4	9.9724E-29
346.477851	202.2693556	18	293.3387088	60197.83321	601.9783321	0.009519262	0.00017225	14	4.977E+28	1.00968	0.511	4	9.9724E-29
341.6258484	203.665572	18.5	254.063077	59377.67059	593.7767059	0.0097938	0.00017225	14	4.977E+28	1.00987	0.511	4	9.9724E-29
340.8220725	203.946821	18.6	253.093732	58740.22527	587.4022527	0.009831851	0.00017225	14	4.977E+28	1.00989	0.511	4	9.9724E-29
340.0261128	204.2211388	18.7	252.0459672	58504.90391	585.0490391	0.009884318	0.00017225	14	4.977E+28	1.00993	0.511	4	9.9724E-29
339.8487177	204.275842	18.72	251.840041	58458.90986	584.5890986	0.009898811	0.00017225	14	4.977E+28	1.00994	0.511	4	9.9724E-29
339.7440652	204.3052547	18.73177746	251.725719	58430.5739	584.305739	0.00990099	0.00017225	14	4.977E+28	1.01	0.511	4	9.9724E-29
339.7440651	204.3062547	18.73177747	251.7257189	58430.57388	584.3057388	0.00990099	0.00017225	14	4.977E+28	1.01	0.511	4	9.9724E-29
339.1398945	204.4948208	18.8	251.0412514	58271.95527	582.7195527	0.00990781	0.00017225	14	4.977E+28	1.01037	0.511	4	9.9724E-29
337.9812095	205.0379512	19	249.0584716	57811.45242	578.1145242	0.010040494	0.00017225	14	4.977E+28	1.01044	0.511	4	9.9724E-29
333.1588252	206.372121	19.5	244.2614114	56695.63762	566.9563762	0.010303804	0.00017225	14	4.977E+28	1.01041	0.511	4	9.9724E-29
329.1159135	207.673892	20	239.6472186	55628.91227	556.2891227	0.010595039	0.00017225	14	4.977E+28	1.01079	0.511	4	9.9724E-29
325.2486378	208.9448178	20.5	238.2538625	54922.25204	549.225204	0.01082981	0.00017225	14	4.977E+28	1.01047	0.511	4	9.9724E-29
321.5470243	210.18805	21	230.9584255	53618.89209	536.1889209	0.011088907	0.00017225	14	4.977E+28	1.01214	0.511	4	9.9724E-29
314.9991381	212.5892343	22	223.0145119	51766.12849	517.6612849	0.01161339	0.00017225	14	4.977E+28	1.01175	0.511	4	9.9724E-29
307.713808	215.922851	23.0792	215.822431	49920.24786	499.2024786	0.01217866	0.00017225	14	4.977E+28	1.01238	0.511	4	9.9724E-29
302.284697	217.0891788	24	208.7601499	48457.40558	484.5740558	0.01269108	0.00017225	14	4.977E+28	1.01261	0.511	4	9.9724E-29
296.8026707	219.2082444	25	202.3607079	46973.21238	469.7321238	0.013181345	0.00017225	14	4.977E+28	1.01387	0.511	4	9.9724E-29
296.8035707	219.2082444	25	202.3607079	46973.21238	469.7321238	0.013181345	0.00017225	14	4.977E+28	1.01387	0.511	4	9.9724E-29
291.71025	221.248594	26	198.3837862	45598.92844	455.9892844	0.013702168	0.00017225	14	4.977E+28	1.01384	0.511	4	9.9724E-29
286.9656811	223.215872	27	190.8015832	44288.86349	442.8886349	0.014242577	0.00017225	14	4.977E+28	1.01443	0.511	4	9.9724E-29
282.8356228	225.115986	28	185.5531017	43070.85897	430.7085897	0.014746573	0.00017225	14	4.977E+28	1.01498	0.511	4	9.9724E-29
278.980378	226.952024	29	180.6168821	41924.72335	419.2472335	0.015280155	0.00017225	14	4.977E+28	1.01553	0.511	4	9.9724E-29
274.5940794	228.7306761	30	175.9841535	40844.7993	408.447993	0.015786326	0.00017225	14	4.977E+28	1.01604	0.511	4	9.9724E-29
245.8941761	243.933095	40	140.7791084	32677.64865	326.7764865	0.020965437	0.00017225	14	4.977E+28	1.02144	0.511	4	9.9724E-29
236.2481704	250.3476303	45	128.3957448	29933.22028	299.3322028	0.023538676	0.00017225	14	4.977E+28	1.024107	0.511	4	9.9724E-29
233.5374827	256.0940717	50	118.2688706	27438.64303	274.3864303	0.026103776	0.00017225	14	4.977E+28	1.028803	0.511	4	9.9724E-29
222.2615672	261.350843	55	109.686385	25456.28068	254.5628068	0.028657789	0.00017225	14	4.977E+28	1.03503	0.511	4	9.9724E-29
217.0801599	266.2041714	60	102.3983018	23768.22959	237.6822959	0.031201789	0.00017225	14	4.977E+28	1.032207	0.511	4	9.9724E-29
212.751789	270.7191655	65	96.1227704	22312.91631	223.1291631	0.033783767	0.00017225	14	4.977E+28	1.036914	0.511	4	9.9724E-29
209.100821	274.945741	70	90.6507009	21041.8419	210.418419	0.036258837	0.00017225	14	4.977E+28	1.037624	0.511	4	9.9724E-29
203.34144	282.692815	80	81.55405346	18930.32889	189.3032889	0.041278396	0.00017225	14	4.977E+28	1.043086	0.511	4	9.9724E-29
199.062622	289.6815518	90	74.28463316	17242.94951	172.4294951	0.046257857	0.00017225	14	4.977E+28	1.048501	0.511	4	9.9724E-29
195.8946567	296.076597	100	68.33186699	15861.18064	158.6118064	0.051198824	0.00017225	14	4.977E+28	1.053891	0.511	4	9.9724E-29
193.4821031	301.990747	110	63.36056078	14707.3439	147.073439	0.056101098	0.00017225	14	4.977E+28	1.059435	0.511	4	9.9724E-29
191.6229075	307.5126567	120	59.14287267	13728.2436	137.282436	0.060995673	0.00017225	14	4.977E+28	1.064924	0.511	4	9.9724E-29
190.237121	312.705845	130	55.61636201	12888.23068	128.8823068	0.066792738	0.00017225	14	4.977E+28	1.070428	0.511	4	9.9724E-29
189.1948677	317.6206232	140	52.36002304	12153.85038	121.5385038	0.07258268	0.00017225	14	4.977E+28	1.075943	0.511	4	9.9724E-29
188.4381345	322.296651	150	49.58888276	11510.59468	115.1059468	0.078332676	0.00017225	14	4.977E+28	1.081474	0.511	4	9.9724E-29
187.938852	326.7658016	160	47.1343087	10940.826	109.40826	0.084060702	0.00017225	14	4.977E+28	1.087019	0.511	4	9.9724E-29
187.5666912	331.0546575	170	44.94984537	10432.38837	104.3238837	0.089732529	0.00017225	14	4.977E+28	1.092678	0.511	4	9.9724E-29
187.377644	335.1838802	180	42.97623386	9975.710719	99.75710719	0.095378721	0.00017225	14	4.977E+28	1.098151	0.511	4	9.9724E-29
187.3691232	343.0346155	200	39.58481476	9188.427202	91.88427202	0.098563841	0.00017225	14	4.977E+28	1.10341	0.511	4	9.9724E-29



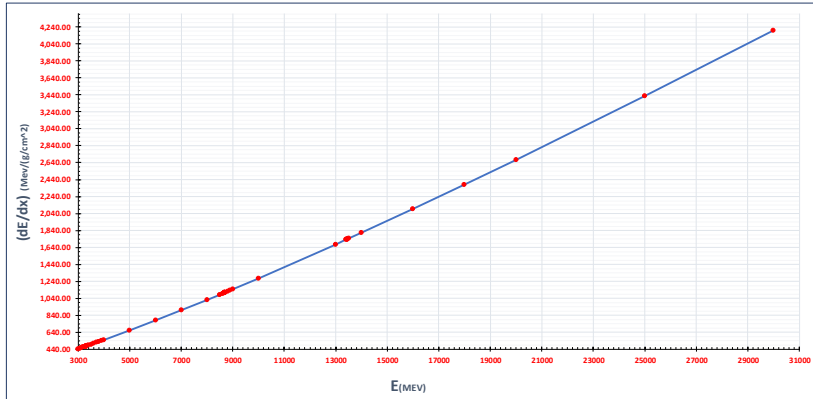
الشكل (5): قدرة إيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانديس مع

تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 16$ MeV حتى $E = 200$ MeV

الجدول (6): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانديس مع أخذ تأثير

إشعاع الكبح في المجال الطافي [3000 – 30000] MeV .

البيانات الخاصة بالجسيم ألفا في السيليكون														
(dE/dx) _{total} (MeV/(g/cm ²))	(dE/dx) _{rad} (MeV/cm)	E _{rad}	(dE/dx) _{total} (MeV/(g/cm ²))	(dE/dx) _{rad} (MeV/cm)	(dE/dx) _{total} (MeV/cm)	(dE/dx) _{rad} (MeV/cm)	β^2	γ	Z	N	γ^2	m_0c^2	γ^2	$4\pi r_0^2$
444.280612	101.321342	3000	7.794710663	1603.303978	16.0330978	0.69841366	0.0017225	14	4.977E+28	3.26562	0.511	4	9.9724E-29	
449.489891	1025.346341	3050	7.758743822	1800.599616	18.00599616	0.69546658	0.0017225	14	4.977E+28	3.283704	0.511	4	9.9724E-29	
454.695309	1037.504441	3100	7.724155872	1792.931061	17.92931061	0.69898172	0.0017225	14	4.977E+28	3.323131	0.511	4	9.9724E-29	
459.9150106	1049.702637	3150	7.690898464	1785.208566	17.85208566	0.704221704	0.0017225	14	4.977E+28	3.330912	0.511	4	9.9724E-29	
465.1489259	1061.922841	3200	7.658972147	1777.777635	17.77777635	0.709648265	0.0017225	14	4.977E+28	3.43007	0.511	4	9.9724E-29	
470.3968642	1074.179955	3250	7.628057268	1770.624651	17.70624651	0.715005461	0.0017225	14	4.977E+28	3.479537	0.511	4	9.9724E-29	
474.6053115	1084.002912	3300	7.604229516	1765.093756	17.65093756	0.718589404	0.0017225	14	4.977E+28	3.519394	0.511	4	9.9724E-29	
475.1319841	1085.232245	3295	7.6013011	1764.414011	17.64414011	0.716282258	0.0017225	14	4.977E+28	3.524381	0.511	4	9.9724E-29	
475.3427091	1085.722821	3297	7.600132933	1764.146236	17.64146236	0.716421159	0.0017225	14	4.977E+28	3.526381	0.511	4	9.9724E-29	
475.4480704	1085.969877	3298	7.599549311	1764.007386	17.64007386	0.716503659	0.0017225	14	4.977E+28	3.527381	0.511	4	9.9724E-29	
475.5007546	1086.002955	3298.5	7.599257729	1763.939704	17.63939704	0.716643746	0.0017225	14	4.977E+28	3.527881	0.511	4	9.9724E-29	
475.5273185	1086.154956	3298.7521	7.599110754	1763.932598	17.63932598	0.716656405	0.0017225	14	4.977E+28	3.528133	0.511	4	9.9724E-29	
475.557391	1086.154948	3298.7522	7.599110686	1763.935575	17.6395575	0.716664013	0.0017225	14	4.977E+28	3.528133	0.511	4	9.9724E-29	
475.6588156	1086.461875	3300	7.598383836	1763.73681	17.6373681	0.71664255	0.0017225	14	4.977E+28	3.529382	0.511	4	9.9724E-29	
486.224297	1111.116884	3400	7.542295878	1756.709061	17.50709061	0.724528065	0.0017225	14	4.977E+28	3.630104	0.511	4	9.9724E-29	
486.644674	1135.895117	3500	7.400117588	1738.600597	17.38600597	0.73269316	0.0017225	14	4.977E+28	3.723304	0.511	4	9.9724E-29	
507.5186275	1150.77845	3600	7.441622104	1727.348323	17.27348323	0.739304488	0.0017225	14	4.977E+28	3.835983	0.511	4	9.9724E-29	
518.2459789	1185.783881	3700	7.39489728	1716.868553	17.16868553	0.746250778	0.0017225	14	4.977E+28	3.940989	0.511	4	9.9724E-29	
523.0257513	1210.933888	3800	7.35438939	1707.100923	17.07100923	0.752923294	0.0017225	14	4.977E+28	4.047263	0.511	4	9.9724E-29	
538.6527296	1236.136992	3900	7.315186588	1697.869962	16.97869962	0.759336657	0.0017225	14	4.977E+28	4.155465	0.511	4	9.9724E-29	
550.7396344	1261.481991	4000	7.278487371	1688.48481	16.8848481	0.765501777	0.0017225	14	4.977E+28	4.264425	0.511	4	9.9724E-29	
662.2122673	1520.832481	5000	7.019918028	1626.463373	16.26463373	0.81607074	0.0017225	14	4.977E+28	5.435008	0.511	4	9.9724E-29	
778.029206	1790.049877	6000	6.895485138	1598.23881	15.9823881	0.85179449	0.0017225	14	4.977E+28	6.472883	0.511	4	9.9724E-29	
897.7416333	2068.011262	7000	6.810286986	1592.66168	15.8266168	0.878017807	0.0017225	14	4.977E+28	8.201549	0.511	4	9.9724E-29	
1020.81535	2353.754839	8000	6.790346007	1576.175115	15.76175115	0.8979332	0.0017225	14	4.977E+28	9.797505	0.511	4	9.9724E-29	
1083.507987	2499.28854	8500	6.796061797	1575.180664	15.75180664	0.90091428	0.0017225	14	4.977E+28	10.64886	0.511	4	9.9724E-29	
1106.138549	2526.590321	8600	6.792604181	1575.102666	15.75102666	0.90783362	0.0017225	14	4.977E+28	10.82314	0.511	4	9.9724E-29	
1102.457072	2543.272289	8650	6.785743162	1575.106703	15.75106703	0.905349637	0.0017225	14	4.977E+28	10.91081	0.511	4	9.9724E-29	
1104.988451	2548.148153	8670	6.78573109	1575.103901	15.75103901	0.90843437	0.0017225	14	4.977E+28	10.94612	0.511	4	9.9724E-29	
1106.254562	2552.087059	8680	6.78572086	1575.103106	15.75103106	0.908793035	0.0017225	14	4.977E+28	10.9375	0.511	4	9.9724E-29	
1107.520945	2555.028814	8690	6.785726912	1575.102713	15.75102713	0.908889818	0.0017225	14	4.977E+28	10.93189	0.511	4	9.9724E-29	
1108.154257	2556.49634	8695	6.78572573	1575.102666	15.75102666	0.909009942	0.0017225	14	4.977E+28	10.9021	0.511	4	9.9724E-29	
1108.179498	2556.552904	8695.19138	6.78572574	1575.102667	15.75102667	0.909012739	0.0017225	14	4.977E+28	10.90055	0.511	4	9.9724E-29	
1108.289326	2556.790358	8696	6.78572574	1575.102669	15.75102669	0.909024657	0.0017225	14	4.977E+28	10.91818	0.511	4	9.9724E-29	
1108.407597	2557.094688	8697	6.785725913	1575.102676	15.75102676	0.909039167	0.0017225	14	4.977E+28	10.90974	0.511	4	9.9724E-29	
1108.787629	2557.968817	8700	6.785726003	1575.10272	15.7510272	0.909038278	0.0017225	14	4.977E+28	10.90904	0.511	4	9.9724E-29	
1121.489755	2587.404351	8800	6.785919412	1575.124402	15.75124402	0.91052431	0.0017225	14	4.977E+28	11.7638	0.511	4	9.9724E-29	
1134.178959	2618.409383	8900	6.78767684	1575.184179	15.75184179	0.911833825	0.0017225	14	4.977E+28	11.3551	0.511	4	9.9724E-29	
1146.917076	2646.471076	9000	6.786491479	1575.280402	15.75280402	0.913300226	0.0017225	14	4.977E+28	11.5325	0.511	4	9.9724E-29	
1275.744653	2945.479135	10000	6.797928877	1577.936251	15.77936251	0.92545542	0.0017225	14	4.977E+28	13.41479	0.511	4	9.9724E-29	
1676.235796	3874.310492	13000	6.879216673	1588.803714	15.88803714	0.949759229	0.0017225	14	4.977E+28	19.50415	0.511	4	9.9724E-29	
1731.035673	4002.075953	13400	6.892898939	1599.976916	15.99976916	0.952074731	0.0017225	14	4.977E+28	20.8652	0.511	4	9.9724E-29	
1738.84276	4013.236827	13435	6.894101197	1600.26877	16.0026877	0.952286683	0.0017225	14	4.977E+28	20.96104	0.511	4	9.9724E-29	
1735.903932	4013.377984	13435.4451	6.894116956	1600.262358	16.00262358	0.952271255	0.0017225	14	4.977E+28	20.96213	0.511	4	9.9724E-29	
1737.904482	4018.0211	13450	6.89462424	1600.979757	16.00979757	0.952626387	0.0017225	14	4.977E+28	20.98762	0.511	4	9.9724E-29	
1744.779398	4033.973554	13500	6.896363382	1600.783871	16.00783871	0.952628984	0.0017225	14	4.977E+28	21.10978	0.511	4	9.9724E-29	
1813.78516	4194.106227	14000	6.914047625	1604.888735	16.04888735	0.955259884	0.0017225	14	4.977E+28	22.35088	0.511	4	9.9724E-29	
2094.100918	4844.636271	18000	6.98810085	1622.077953	16.22077953	0.963959298	0.0017225	14	4.977E+28	27.69683	0.511	4	9.9724E-29	
2380.638593	5598.549174	19000	7.046213443	1636.744992	16.36744992	0.970198894	0.0017225	14	4.977E+28	33.59888	0.511	4	9.9724E-29	
2672.685905	6187.268489	20000	7.138955489	1657.303256	16.57303256	0.975005425	0.0017225	14	4.977E+28	40.0068	0.511	4	9.9724E-29	
3423.378122	7929.353824	25000	7.32012426	1698.147248	16.98147248	0.982841788	0.0017225	14	4.977E+28	58.62279	0.511	4	9.9724E-29	
4798.598653	9728.410389	30000	7.484128068	1737.216141	17.37216141	0.987620855	0.0017225	14	4.977E+28	80.76167	0.511	4	9.9724E-29	



الشكل (6): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس مع

تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$

2.4 حساب قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيت-بلوخ

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi r_e^2 z^2 \frac{m_e c^2}{\beta^2} N Z \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \gamma^2 \beta^2 W_{\max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - 2 \frac{C}{Z} \right]$$

حيث:

W_{\max} : أقصى نقل للطاقة في تصادم واحد

$$W_{\max} = \frac{2m_e c^2 \eta^2}{1 + 2s\sqrt{1 + \eta^2} + s^2}$$

حيث $\eta = \beta\gamma$ و $s = m_e/M$

إذا كان $M \gg m_e$ فإن

$$W_{\max} \cong 2m_e c^2 \eta^2$$

تصحيات الطبقات C والكثافة δ .

يتم إعطاء قيم δ بواسطة صيغة عائدة إلى ستيرنهايمر:

$$\delta = \begin{cases} 0 & X < X_0 \\ 4.6052 X + C_0 + a(X_1 - X)^m & X_0 < X < X_1 \\ 4.6052 X + C_0 & X > X_1 \end{cases}$$

حيث :

$$X = \log_{10}(\beta\gamma)$$

تعتمد البارامترات X_0 ، X_1 ، C_0 ، a و m على مادة الامتصاص.

يتم إعطاء الصيغة التجريبية لتصحيح الطبقات (الغلاف) C ، وهي صالحة لـ $\eta \geq 0.1$:

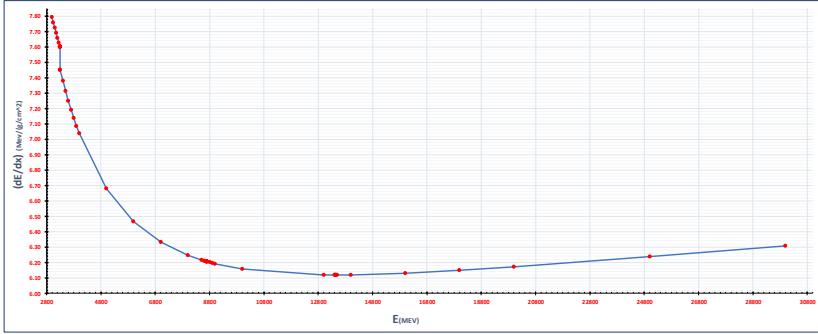
$$C(I, \eta) = (0.422377 \eta^{-2} + 0.0304043 \eta^{-4} - 0.00038106 \eta^{-6}) \times 10^{-6} I^2 + (3.850190 \eta^{-2} - 0.1667989 \eta^{-4} + 0.00157955 \eta^{-6}) \times 10^{-9} I^3$$

حيث $\eta = \beta\gamma$ و I هو متوسط كمون الإثارة في eV.

قمنا بإدراج هذا الحساب على برنامج اكسل Excel وحساب قدرة الإيقاف.

يبين الجدول (7): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيت-بلوخ في المجال الطاقى

[0.01 – 4.5] MeV.



الشكل (9): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيث-بلوخ كدالة

للطاقة من $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$

5. النتائج والمناقشة

أولاً: مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث-بلوخ عند

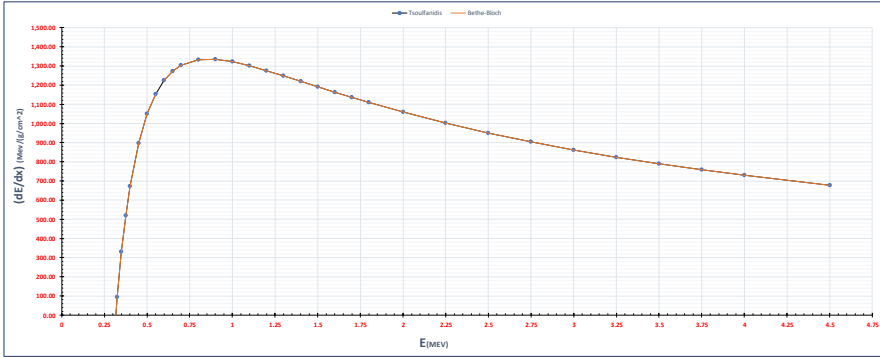
نفس المجال الطاقى.

• في المجال الطاقى من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$

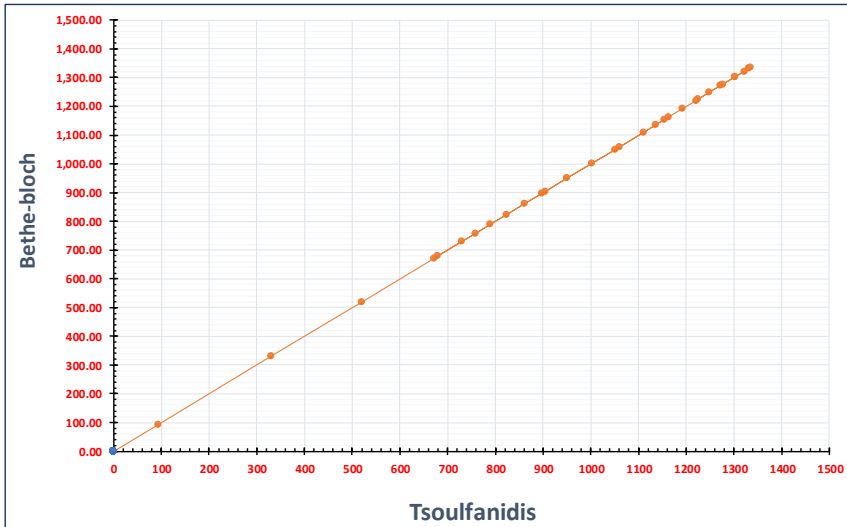
نقوم بتعريف المتغيرات وحساب التغيرات عن طريق الاكسل Excel

الجدول (10): التغيرات لمقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة

بيث-بلوخ في المجال الطاقى $[0.01 - 4.5] \text{ MeV}$.



الشكل (10): مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة بيت-بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$



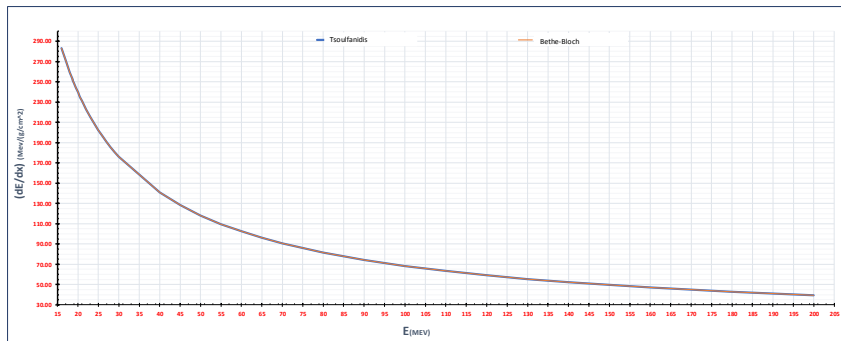
الشكل (11): يوضح التباير لعلاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة بيت-بلوخ عند حسابها في المجال الطاقى من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$ في المجال الطاقى $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$.

الجدول (11): التباير لمقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة بيت-بلوخ في المجال الطاقى $[16 - 200] \text{ MeV}$.

دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغاير

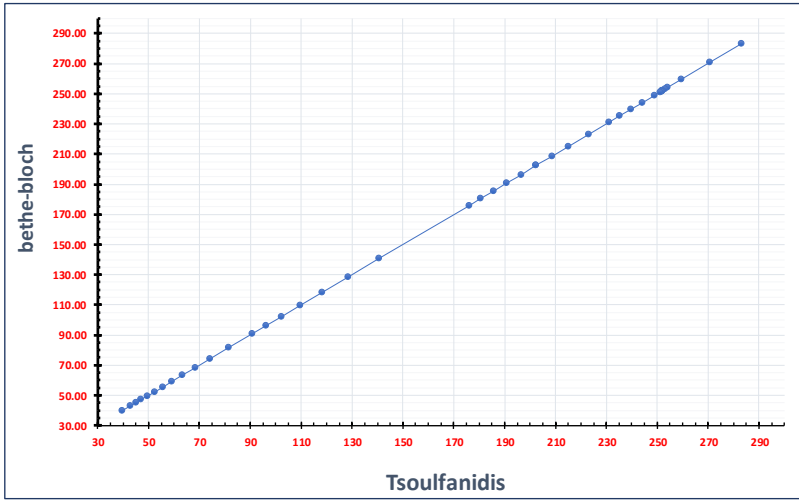
التغاير لمقارنة Tsoufanidis (1995) بدون تأثير اشعاع الكبح مع Bethe-Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=16 MeV حتى E=200 MeV										
$\frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}$	$(n-1)$	$\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})$	$(y_i - \bar{y})$	$y_i - \bar{y}$	$x_i - \bar{x}$	\bar{y}	\bar{x}	y_i	x_i
covariance	(المعادلة عاشار)	(المعادلة بسيط)								
7148.879354	43	307401.8122	14136.36824	118.8959794	118.8969409	118.8969409	164.1737074	164.1750351	283.0698668	283.0719761
			11331.56317	106.4493848	106.4502457	106.4502457			270.6230922	270.6252809
			9056.641072	95.16600142	95.16677108	95.16677108			259.3397088	259.3418062
			8083.688198	89.90896964	89.90969678	89.90969678			254.082677	254.0847319
			22493.65589	253.0597332	88.88674466	88.88674466			253.0597332	253.0617798
			7721.596493	87.87225981	87.87297048	87.87297048			252.0459672	252.0480056
			7686.195684	87.67059668	87.67130572	87.67130572			251.8443041	251.8463409
			7665.416738	87.55201165	87.55271973	87.55271973			251.725719	251.7277549
			7665.41672	87.55201155	87.55271963	87.55271963			251.7257189	251.7277548
			7546.03123	86.86754401	86.86824655	86.86824655			251.0412514	251.0432817
			7205.481462	84.88476417	84.88545067	84.88545067			249.0584716	249.0604858
			6412.490548	80.07770406	80.07835169	80.07835169			244.2514114	244.2533868
			5696.296959	75.47351119	75.4742158	75.4742158			239.6472186	239.6491567
			5049.444359	71.05915509	71.05972978	71.05972978			235.2328625	235.2347649
			4465.311773	66.82271815	66.82325858	66.82325858			230.9964255	230.9982937
			3462.268273	58.84080448	58.84128036	58.84128036			223.0145119	223.0163155
			2589.664008	50.88853568	50.88894725	50.88894725			215.0622431	215.0639824
			1987.9693	44.58644247	44.58680306	44.58680306			208.7601499	208.7618382
			1458.668429	38.19236353	38.19267241	38.19267241			202.3660709	202.3677075
			1458.668429	38.19236353	38.19267241	38.19267241			202.3660709	202.3677075
			1038.14265	32.22009084	32.22035142	32.22035142			196.3937982	196.3953866
			709.0495045	26.62787581	26.62809116	26.62809116			190.8015832	190.8031263
			457.0821978	21.37939431	21.37956722	21.37956722			185.5531017	185.5546024
			270.3706434	16.44288469	16.44301767	16.44301767			180.6165921	180.6180528
			139.0157431	11.79044608	11.79054144	11.79054144			175.9641535	175.9655766
			547.3116858	-23.39459889	-23.39478814	-23.39478814			140.7791084	140.780247
			1280.072961	-35.7779626	-35.77825196	-35.77825196			128.3957448	128.3967832
			2112.783311	-45.9648368	-45.96520857	-45.96520857			118.2088706	118.2098266
			2970.837684	-54.5051709	-54.50561174	-54.50561174			109.6685365	109.6694234
			3816.4787	-61.7774055	-61.77790516	-61.77790516			102.3963018	102.39713
			4630.966981	-68.0509333	-68.0514837	-68.0514837			96.12277404	96.12355144
			5405.675437	-73.5230013	-73.52359591	-73.52359591			90.65070609	90.65143923
			6826.06242	-82.6196539	-82.62032211	-82.62032211			81.55405346	81.55471303
			8080.110653	-89.8890722	-89.8897992	-89.8897992			74.28463516	74.28523594
			9185.734577	-95.8418504	-95.84262552	-95.84262552			68.33185699	68.33240962
			10163.29409	-100.812757	-100.8135719	-100.8135719			63.36095078	63.36146322
			11031.56546	-105.030835	-105.0316841	-105.0316841			59.14287267	59.14335099
			11806.72696	-108.658324	-108.6592032	-108.6592032			55.51538291	55.51583189
			12502.36082	-111.813504	-111.8144084	-111.8144084			52.36020324	52.36062671
			13129.7653	-114.584725	-114.5856513	-114.5856513			49.58898276	49.58938382
			13698.32471	-117.039369	-117.0403157	-117.0403157			47.13433827	47.13471947
			14215.85136	-119.229763	-119.2307273	-119.2307273			44.94394437	44.94430785
			14688.87609	-121.197184	-121.1981637	-121.1981637			42.97652386	42.97687144
			15522.5177	-124.588893	-124.5899002	-124.5899002			39.58481476	39.5851349

7148.879354 = التغاير



الشكل (12): مقارنة علاقة تسولفانديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيت-بلوخ

بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$



الشكل (13): يوضح التغيرات لعلاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة

علاقة بيت-بلوخ عند حسابها في المجال الطاقى من $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$

في المجال الطاقى $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$

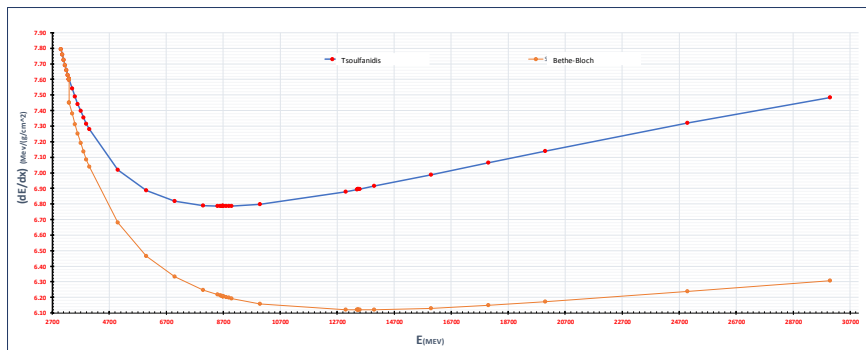
الجدول (12): التغيرات لمقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة

بيت-بلوخ في المجال الطاقى $[3000 - 30000] \text{ MeV}$.

دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغيرات

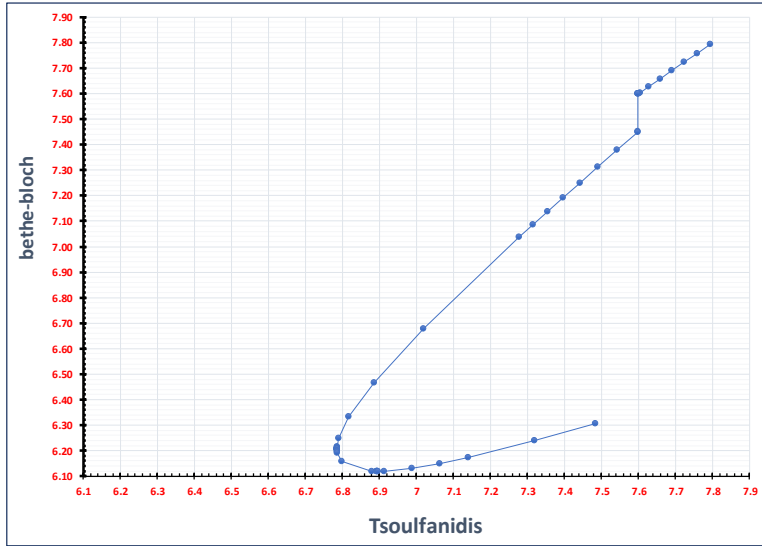
التغيرات لمقارنة Tsoufanidis (1995) بدون تأثير اشعاع الكبح مع Bethe-Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=3000 MeV حتى E=30000 MeV									
$\frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}$	(n-1)	$\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$y_i - \bar{y}$	$x_i - \bar{x}$	\bar{y}	\bar{x}	y_i	x_i
0.35617836	51	18.1650963							
covariance (المعادة سطر) (المعادة عمود)									
0.675687595		0.632206095	1.068777413			7.162510767	6.72600249	7.794716863	7.794779903
0.615791933		0.596233055	1.032804081					7.758743822	7.758806571
0.560643047		0.561645105	0.998215852					7.724155872	7.724218341
0.509854108		0.528375697	0.964946175					7.690886464	7.690948664
7.145212429		7.658873147	0.932932599					7.658873147	7.658935089
0.419977151		0.46554649	0.90211646					7.628057258	7.628118949
0.387956508		0.441718748	0.878288525					7.604229516	7.604291015
0.384099544		0.438790333	0.875360086					7.6013011	7.601362576
0.382565587		0.437622036	0.87419178					7.600132803	7.600194269
0.381800492		0.437038544	0.873608283					7.599549311	7.599610772
0.381418414		0.436746961	0.873316698					7.599257729	7.599319188
0.381225889		0.436599987	0.873169722					7.599110754	7.599172212
0.316541291		0.436599929	0.725014527					7.599110696	7.451017017
0.315614438		0.435872869	0.724097461					7.598383636	7.450099951
0.248008878		0.379747811	0.653088369					7.542258578	7.379090859
0.192207374		0.327606831	0.586701362					7.490117598	7.312703852
0.146405997		0.279111337	0.524543354					7.441622104	7.250548544
0.109086577		0.233958961	0.466263727					7.396469728	7.192262617
0.078967514		0.191878871	0.411548771					7.354389639	7.137551261
0.054963859		0.152627791	0.36011698					7.315138558	7.08611947
0.036154769		0.115986604	0.311715045					7.278497371	7.037717535
0.00681161		-0.14259274	-0.046854846					7.019918028	6.679147644
0.07204693		-0.27702563	-0.260073158					6.885485138	6.465929332
0.135381207		-0.344219881	-0.393298627					6.818290886	6.332703862
0.17815689		-0.37216476	-0.478704351					6.790346007	6.247298138
0.191718268		-0.37644897	-0.509280894					6.786061797	6.216721596
0.193864544		-0.376706586	-0.514630088					6.785804181	6.211372401
0.194870689		-0.376767606	-0.517217209					6.785743162	6.208785281
0.195260831		-0.376779678	-0.5182361					6.78573109	6.20776639
0.195453281		-0.376783102	-0.518742163					6.785727666	6.207260327
0.195643991		-0.376784795	-0.519245982					6.785725972	6.206756507
0.195738695		-0.376784995	-0.519497054					6.785725773	6.206505436
0.195742311		-0.376784994	-0.519506653					6.785725774	6.206495837
0.195757583		-0.376784983	-0.519547201					6.785725784	6.206455289
0.195776455		-0.376784954	-0.519597326					6.785725813	6.206405164
0.195832965		-0.376784765	-0.519747568					6.785726003	6.206254922
0.197628294		-0.376691396	-0.524642498					6.785819412	6.201359992
0.199255311		-0.376433827	-0.529323607					6.78607694	6.196678882
0.200718801		-0.376019288	-0.533799216					6.786491479	6.192203274
0.207385441		-0.36458189	-0.56883089					6.797928877	6.1571716
0.171845261		-0.283294095	-0.606596932					6.879216673	6.119405798
0.163667874		-0.269623828	-0.607023032					6.892886939	6.118979457
0.162931498		-0.268409571	-0.607025665					6.894101197	6.118976825
0.162922114		-0.268394111	-0.607025664					6.894116656	6.118976826
0.162614966		-0.267888344	-0.607025164					6.894622424	6.118977326
0.161555848		-0.266147375	-0.607016501					6.896363392	6.118985989
0.150660868		-0.248463143	-0.606371094					6.914047625	6.119631396
0.103918964		-0.174409817	-0.595832078					6.98810095	6.130170412
0.056718136		-0.098298324	-0.577000031					7.064212443	6.149002459
0.012541688		-0.022656278	-0.553687883					7.139855489	6.172414607
-0.07674773		0.157613513	-0.486936228					7.32012428	6.239066261
-0.134630185		0.321618738	-0.418601807					7.484129506	6.307400683

التغيرات = 0.35617836



الشكل (14): مقارنة علاقة تسولفانديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة بيت-بلوخ

بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$



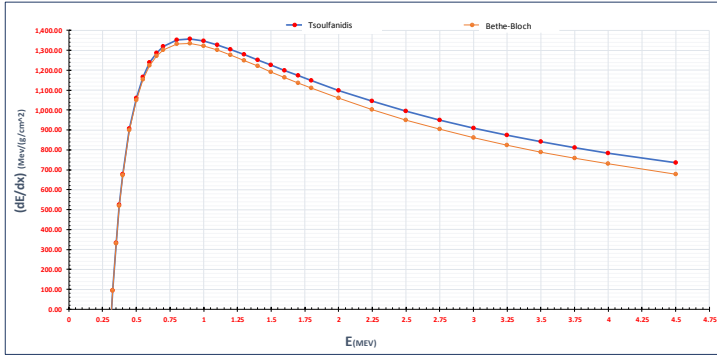
الشكل 15: يوضح التغيرات لعلاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيت-بلوخ عند حسابها في المجال الطاقى من $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$ ثانياً: مقارنة مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيت-بلوخ عند نفس المجال الطاقى.

• في المجال الطاقى من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$ الجدول (13): التغيرات لمقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيت-بلوخ في المجال الطاقى $[0.01 - 4.5] \text{ MeV}$.

دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغيرات

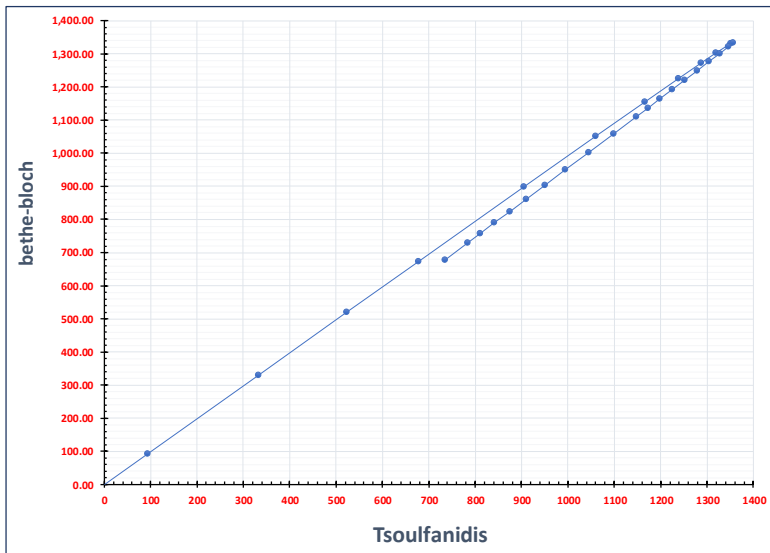
التغيرات لمقارنة Tsoufanidis (1995) مع تأثير اشعاع الكبح مع Bethe-Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=0.01 MeV حتى E=4.5 MeV									
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(n - 1)$	$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x}), (y_i - \bar{y})$	$Y_i - \bar{Y}$	$x_i - \bar{x}$	\bar{y}	\bar{x}	Y_i	X_i
covariance	(المعادلة مفاجم)	(المعادلة بسيط)							
8993910643	70	6.2957E+11	1.1992E+11	-346325.4003	-346262.9749			-397029.225	-396958.3371
			90150414089	-300280.9638	-300220.2102	-50703.82466	-50695.36217	-350984.7885	-350915.5724
			68989395568	-262705.054	-262645.8628			-313408.8787	-313341.2249
			53590851067	-231525.8436	-231468.117			-282229.6683	-282163.4792
			52537515849	-255991.5886	-205231.4146			-255991.5886	-255926.7767
			33456903926	-182939.812	-182884.7617			-233643.6367	-233580.1239
			26790563532	-163705.1448	-163651.3231			-214408.9694	-214346.6852
			21600623316	-146997.8357	-146945.1792			-197701.6604	-197640.5414
			17514486522	-132368.0851	-132316.5362			-183071.9098	-183011.8984
			11661220286	-108011.8761	-107962.39			-158715.7007	-158657.7521
			7113665868	-84366.12962	-84318.97847			-135069.9543	-135014.3406
			4355697845	-66020.23463	-65975.19487			-116724.0593	-116670.557
			2642795073	-51429.68394	-51386.57038			-102133.5086	-102081.9325
			1565618444	-39588.57359	-39547.23047			-90292.39825	-90242.59264
			88774497.5	-29815.40425	-29775.69883			-80519.22891	-80471.061
			467165569.7	-21633.11277	-21594.93063			-72336.93744	-72290.2928
			215503191.9	-14698.41772	-14661.65924			-65402.24238	-65357.02141
			76399694.78	-8758.420995	-8722.99868			-59462.24566	-59418.36085
			756466.5885	853.420189	886.3940627			-49850.40447	-49808.96811
			68443136.2	8257.663988	8288.438016			-42446.16066	-42406.92415
			199382847.4	14105.91789	14134.69502			-36597.90678	-36560.66714
			354726135.1	18820.70494	18847.65402			-31883.11972	-31847.70815
			515277418.2	22687.09456	22712.3582			-28016.7301	-27983.00397
			671623249.6	25903.84765	25927.54786			-24799.97702	-24767.81431
			956719689.7	30920.44902	30941.32589			-19783.37564	-19754.03628
			1199284533	34621.49862	34639.87927			-16082.32604	-16055.48289
			1402346464	37439.84569	37455.98941			-13263.97898	-13239.37275
			1571967228	39640.98386	39655.10124			-11062.8408	-11040.26093
			1714134057	41395.96984	41408.23524			-9307.854818	-9287.12693
			1833962233	42819.50549	42830.06568			-7884.319171	-7865.296483
			1935611187	43991.09156	44000.0718			-6712.733102	-6695.290366
			2022403654	44967.3884	44974.89682			-5736.436259	-5720.46535
			2096982054	45789.75129	45795.88216			-4914.073376	-4899.480005
			2161451258	46488.9925	46493.82879			-4214.832158	-4201.53338
			2217495716	47088.48565	47092.10088			-3615.339011	-3603.261292
			2309478176	48056.3488	48057.71212			-2647.475865	-2637.65005
			2396379841	48953.41062	48952.25502			-1750.414044	-1743.107151
			2461400588	49614.20939	49610.79938			-1089.615272	-1084.562792
			2511046637	50113.06978	50107.61959			-590.754882	-587.7425811
			2549594691	50497.16817	50489.85485			-206.6564923	-205.5073226
			2579945492	50797.67788	50788.65019			93.85321477	93.28802645
			2604120819	51035.895	51025.27973			332.0703381	329.9175623
			2623563620	51226.7814	51214.68786			522.9567421	519.3256917
			2639325313	51381.10309	51367.6265			677.2784317	672.2643354
			2662734506	51609.69211	51593.69098			905.8674474	898.3288116
			2678593405	51764.26001	51746.00014			1060.435346	1050.637968
			2689436279	51869.92789	51849.6244			1166.10323	1154.262235
			2696846670	51942.25833	51920.08891			1238.433664	1224.72674
			2701851645	51991.28306	51967.39695			1287.458393	1272.034783
			2705138281	52023.68325	51998.20758			1319.858588	1302.845415
			2708302934	52055.52995	52027.18976			1351.705283	1331.82759
			2708688621	52060.49828	52029.63203			1356.674621	1334.26986
			2707524522	52050.44528	52017.31719			1346.620622	1321.95502
			2705490643	52031.92087	51996.74734			1328.096209	1301.385175
			2702978844	52008.7041	51971.66302			1304.87944	1276.300854
			2700221694	51983.04067	51944.28142			1279.216011	1248.919249
			2697359975	51956.29339	51915.94317			1252.468727	1220.581006
			2694479795	51929.29883	51887.4673			1225.474169	1192.105136
			2691633820	51902.57134	51859.35399			1198.74668	1163.991819
			2688853835	51876.4237	51831.90442			1172.599042	1136.542251
			2686158384	51851.04058	51805.29366			1147.215916	1109.931496
			2681055849	51802.92383	51754.91364			1099.099167	1059.551468
			2675237305	51747.97289	51697.43191			1044.148227	1002.069742
			2670009861	51698.54765	51645.74214			994.7229098	950.379704
			2665313617	51654.11005	51599.2539			950.2853911	903.8932243
			2661084094	51614.06739	51557.34142			910.2427258	861.9792494
			2657261322	51577.86291	51519.41495			874.0382521	824.0527853
			2653792485	51545.00355	51484.96076			841.178892	789.5985873
			2650632135	51515.0634	51453.53534			811.2387364	758.173175
			2647741529	51487.67838	51424.76049			783.8537203	729.3983186
			2642642710	51439.37898	51373.9223			735.5543159	678.5611298

التغيرات = 8993910643



الشكل (16): مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث-

بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$



الشكل (17): يوضح التغيرات لعلاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة

بيث-بلوخ عند حسابها في المجال الطاقى من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$

• في المجال الطاقى $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$

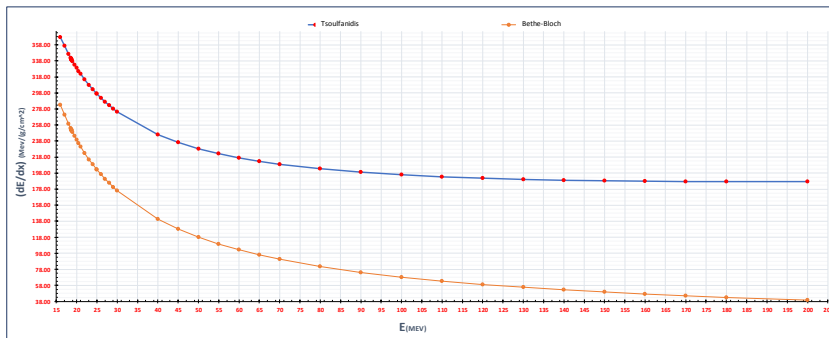
الجدول (14): التغيرات لمقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة

بيث-بلوخ في المجال الطاقى $[16 - 200] \text{ MeV}$.

دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغيرات

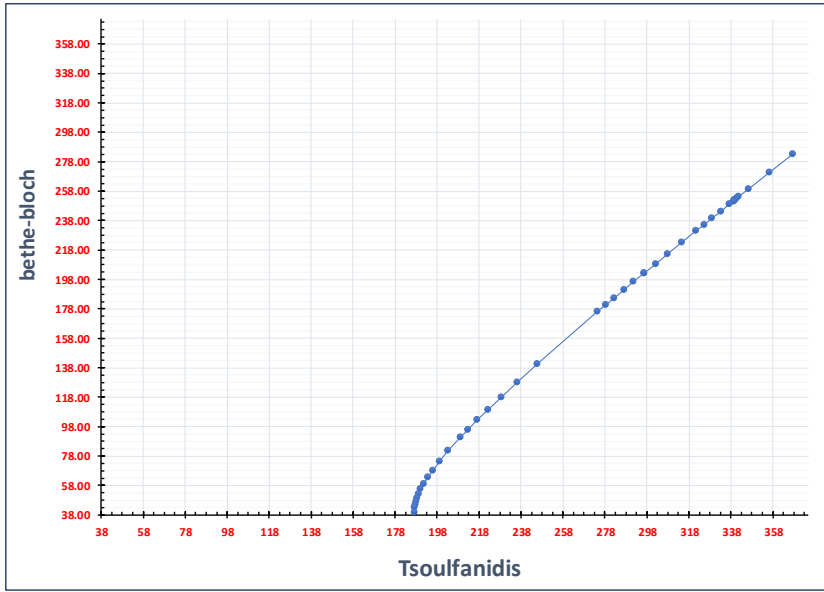
التغيرات لمقارنة Tsoufanidis (1995) مع تأثير اشعاع الكبح مع Bethe-Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=16 MeV حتى E=200 MeV									
$\frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}$	(n - 1)	$\sum(y_i - \bar{y})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$y_i - \bar{y}$	$x_i - \bar{x}$	\bar{y}	\bar{x}	y_i	X_i
covariance	(المعادلة عظام)	(المعادلة ممتط)							
5751.121275	43	247298.2148							
			11541.13629	97.06840397	118.8969409			367.0131665	283.0719761
			9150.043449	85.95605756	106.4502457	270.5447626	164.1750351	356.5006201	270.6252809
			7226.306842	75.9330884	95.16677108			346.477851	259.3418062
			6408.864988	71.28113226	89.90969678			341.8258948	254.0847319
			30303.45321	340.9220725	88.88674466			340.9220725	253.0617798
			6105.594151	69.48205225	87.87297948			340.0268128	252.0490056
			6075.973497	69.30401512	87.87130572			339.8487777	251.8463409
			6059.589773	69.19933261	87.55271973			339.7440952	251.7277549
			6058.589758	69.19933252	87.55271963			339.7440951	251.7277548
			5958.747524	68.59523199	86.96824655			339.1399945	251.0432817
			5674.290771	66.84644689	84.89545067			337.3912095	249.0604858
			5014.038937	62.61416265	80.07835169			333.1589252	244.2533868
			4420.575977	58.57075094	75.47412158			329.1155135	239.6491567
			3887.242595	54.70387528	71.05972978			325.2486378	235.2347649
			3408.137327	51.00226178	66.82325858			321.5470243	230.9982937
			2592.21586	44.05437551	58.84128036			314.5991381	223.0163155
			1891.482029	37.16881822	50.88894725			307.7135808	215.0638824
			1415.182206	31.73993443	44.58680306			302.294697	208.7618382
			1002.894056	26.25880811	38.19267241			296.8035707	202.3677075
			1002.894056	26.25880811	38.19267241			296.8035707	202.3677075
			681.9596032	21.1654924	32.22035142			291.710255	196.3953866
			437.2550536	16.42081856	26.62809116			286.9655811	190.8031263
			256.3572656	11.99076029	21.37956722			282.5355228	185.5546024
			129.005526	7.845611348	16.44301767			278.3903739	180.6180528
			46.68248928	3.959316842	11.79054144			274.5040794	175.9655766
			576.6952482	-24.65058648	-23.39478814			245.8941761	140.780247
			1227.072116	-34.29659217	-35.77825196			236.2481704	128.3967832
			1930.888684	-42.00761282	-45.96520657			228.5371497	118.2096266
			2631.705099	-48.28319534	-54.50561174			222.2615672	109.6694234
			3302.931151	-53.46460264	-61.77790516			217.0801599	102.39713
			3932.900941	-57.79302268	-68.0514837			212.7517399	96.12355144
			4517.569159	-61.4438005	-73.52359591			209.1009621	90.65143923
			5552.360161	-67.2033226	-82.62032211			203.34144	81.55471303
			6423.699468	-71.46194034	-89.8897992			199.0828222	74.28523594
			7155.620568	-74.66010587	-95.84262552			195.8846567	68.33240962
			7770.978237	-77.0826595	-100.8135719			193.4621031	63.36145322
			8289.295357	-78.9218551	-105.0316841			191.6229075	59.14335099
			8726.643415	-80.31205046	-108.6592032			190.2327121	55.51583169
			9036.090368	-81.34899484	-111.8144034			189.1948677	52.36062671
			9406.241454	-82.10662806	-114.5855513			188.4381345	49.58938382
			9671.727997	-82.63586732	-117.0403157			187.9088952	47.13471947
			9893.610917	-82.9787014	-119.2307273			187.5660612	44.94430785
			10079.70204	-83.16711852	-121.1981637			187.377644	42.97687144
			10362.9692	-83.17863337	-124.5899002			187.3881232	39.5851349

التغيرات = 5751.121275



الشكل (18): مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيت-بلوخ

بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$



الشكل (19): يوضح التغيرات لعلاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة

بيث-بلوخ عند حسابها في المجال الطاقى من $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$

في المجال الطاقى $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$

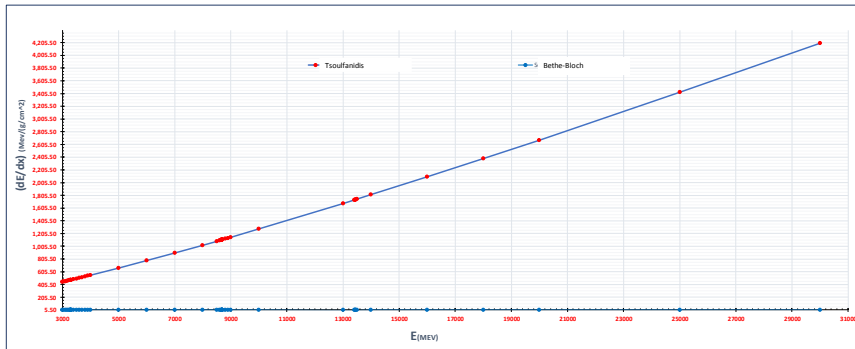
الجدول (15): التغيرات لمقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة

بيث-بلوخ في المجال الطاقى $[3000 - 30000] \text{ MeV}$.

دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغاير

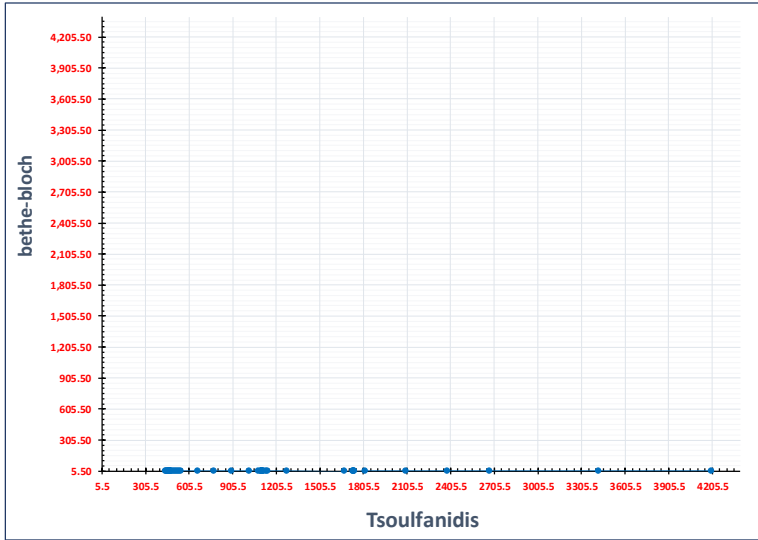
التغاير لمقارنة Tsoufanidis (1995) مع تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي من E=3000 MeV حتى E=30000 MeV									
$\frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$	(n - 1)	$\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$	$y_i - \bar{y}$	$x_i - \bar{x}$	\bar{y}	\bar{x}	y_i	x_i
covariance	(المعادلة ٥)	(المعادلة ٤)							
-317.5704863	51	-16196.0948	-702.8506527	-657.62117	1.003777413	1101.920031	6.72600249	444.2398612	7.7347779903
			-673.6325105	-652.4301391	1.032604081			446.4898921	7.758902571
			-646.0699772	-647.2247222	0.998215852			454.695309	7.724218341
			-619.5002887	-642.0060206	0.964946175			459.9150106	7.690948664
			-433.9525682	-465.1489958	0.932932599			465.1489958	7.658935089
			-569.7074436	-631.523167	0.90211646			470.3868642	7.628119949
			-550.9633199	-627.3147197	0.878288525			474.6053115	7.604291015
			-548.66523	-626.7880371	0.875360086			475.1319941	7.601362576
			-547.748747	-626.5773251	0.87419178			475.3427061	7.600194269
			-547.2910938	-626.4719608	0.873608283			475.4480704	7.599610772
			-547.0624141	-626.4192766	0.873316698			475.5007546	7.599319188
			-546.947151	-626.3927127	0.873169722			475.5273185	7.599172212
			-454.1438085	-626.3927021	0.725014527			475.5273291	7.451017017
			-453.4741559	-626.2612155	0.724097461			475.6588156	7.450099951
			-402.1037406	-615.6957615	0.653088369			486.2242697	7.379090859
			-354.9986674	-605.0755638	0.586701362			496.8444674	7.312073852
			-311.7893062	-594.4014037	0.524543354			507.5186275	7.250545844
			-272.146039	-583.6740522	0.466263727			518.2459789	7.192266217
			-235.7739327	-572.8942698	0.411544771			529.0257613	7.13751261
			-202.4083902	-562.0629356	0.36011698			538.8572256	7.08111947
			-171.8112223	-551.1803968	0.311715045			550.7398344	7.037717535
			20.60243969	-439.7077639	-0.046854846			662.2122673	6.679147644
			84.22734759	-323.8602106	-0.260073158			778.0598206	6.465923332
			80.3030836	-204.1783979	-0.393296627			897.7416333	6.332703862
			38.82516393	-81.10468144	-0.478704351			1020.81535	6.247298138
			9.37696347	-18.41216427	-0.509280894			1083.507867	6.216271596
			2.977887702	-5.78646249	-0.514630088			1096.133569	6.211372401
			-0.277766944	0.537041188	-0.517217209			1102.457072	6.208785281
			-1.590165746	3.068419483	-0.5182361			1104.988451	6.207776339
			-2.248504019	4.334531066	-0.518742163			1106.254562	6.207260327
			-2.908257224	5.600923883	-0.519245982			1107.520955	6.206756507
			-3.238661865	6.234225664	-0.519497054			1108.154257	6.206505636
			-3.251315407	6.258467318	-0.519506653			1108.179498	6.206495337
			-3.304784906	6.360894446	-0.519547201			1108.280926	6.206455289
			-3.370921965	6.487566035	-0.519597326			1108.407597	6.206405164
			-3.569417173	6.867597645	-0.519747568			1108.787629	6.206254922
			-10.25891593	19.54972362	-0.524642498			1121.469755	6.201359992
			-17.07578273	32.25862812	-0.529323607			1134.179669	6.198678882
			-24.0193787	44.99702885	-0.533799216			1146.91706	6.192203274
			-98.87681409	173.8246214	-0.56883089			1275.744653	6.1571716
			-348.3780431	574.3157648	-0.606596692			1676.235796	6.119405798
			-381.8864709	629.1136422	-0.607020302			1731.033673	6.118979457
			-384.8073661	633.9227288	-0.607025665			1735.84276	6.118978825
			-384.8444988	633.9839013	-0.607025664			1735.903932	6.118978826
			-386.065715	635.9644611	-0.606371094			1737.904492	6.11897326
			-390.2265711	642.859907	-0.607016501			1744.779938	6.118985989
			-431.6544367	711.865129	-0.606371094			1813.78516	6.119631396
			-591.1731992	992.1808869	-0.595832078			2094.100918	6.130170412
			-737.8212273	1278.719562	-0.577000031			2380.639593	6.149002459
			-869.5569541	1570.765874	-0.553587883			2672.685905	6.172414607
			-1130.402047	2321.458091	-0.486936228			3423.378122	6.239066261
			-1296.27443	3096.676622	-0.418601807			4198.596653	6.307400683

التغاير = -317.5704863



الشكل (20): مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيت-

بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$



الشكل (21): يوضح التغيرات لعلاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة

بيث-بلوخ عند حسابها في المجال الطاقى من $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$

6. الاستنتاجات

عند اهمال تأثير اشعاع الكبح في علاقة تسولفانيديس

- 1- عند مجال الطاقة المنخفض فإن حد تصحيح الطبقات وحد تصحيح الكثافة في علاقة بيت-بلوخ لم يكن لهم تأثير وبالتالي كانت نتائج هذه العلاقة مطابقة تماما لنتائج علاقة تسولفانيديس.
- 2- عند مجال الطاقة الأعلى $E \geq 18.73177747$ يدخل حد تصحيح الطبقات C في علاقة بيت-بلوخ وعندها لم نلاحظ فرقا كبيرا ايضا في نتائج العلاقتين وعند الطاقة $E \geq 3298.7522\text{MeV}$ يدخل حد تصحيح الكثافة δ في علاقة بيت-بلوخ وعندها نلاحظ فرق طفيف في نتائج العلاقتين حتى عند الطاقات الكبيرة.

عند ادخال تأثير اشعاع الكبح في علاقة تسولفانيديس

- 3- عند مجال الطاقة المنخفض جدا فإن حد تصحيح الطبقات وحد تصحيح الكثافة في علاقة بيت-بلوخ لم يكن لهم تأثير و في علاقة تسولفانيديس كان الفقد بالاصطدام كبير مقارنة بالفقد بالإشعاع وبالتالي كان هناك اختلاف طفيف في نتائج هذه العلاقتين.
- 4- عند مجال الطاقة الأعلى $E \geq 18.73177747$ يدخل حد تصحيح الطبقات C في علاقة بيت-بلوخ و نلاحظ اختلاف في نتائج قدرة الايقاف بين العلاقتين لكن هذا الاختلاف لم يعود لدخول حد تصحيح الطبقات في علاقة بيت-بلوخ وانما يعود السبب بأن فقد الطاقة بإشعاع الكبح اصبح كبير مقارنة بالفقد بالاصطدام في علاقة تسولفانيديس وهو مايفسر وجود الفارق بين النتيجتين وعند الطاقة $E \geq 3298.7522\text{MeV}$ يدخل حد تصحيح الكثافة δ في علاقة بيت-بلوخ ونلاحظ انه أصبح الفارق في نتائج قدرة الايقاف بين العلاقتين كبير جدا وهذا لايعود سببه لدخول حد تصحيح الكثافة في علاقة بيت-بلوخ الذي جعل الفرق طفيف في نتيجة علاقة بيت-بلوخ وانما سببه ان فقد الطاقة بإشعاع الكبح اصبح كبير جدا مقارنة بالفقد بالاصطدام وهو الذي جعل الفارق كبير بين النتيجتين حيث لاحظنا انه مع زيادة الطاقة تدريجيا تتخض قيمة فقد الطاقة بالاصطدام و يزداد الفقد بإشعاع الكبح في علاقة تسولفانيديس حتى يصبح الفقد بالاصطدام لا يكاد يذكر مقارنة بالفقد بإشعاع الكبح عند الطاقات الكبيرة جدا.

تفسير التباير covariance

عند مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيت-بلوخ

- عند المجال الطاقى من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$ فإن التغيرات الناتج هو 8991150116 تعنى الاشارة الموجبة أن نتائج علاقة تسولفانيديس تميل للتزايد مع تزايد نتائج علاقة بيت-بلوخ ، وإن حجم الرقم كما نلاحظ كبير جداً وهذا يدل على الاتصال القوي بين نتائج العلاقتين، حيث نرى ذلك واضحا في الشكل (10) الذي يوضح الاتصال القوي عند المقارنة بين العلاقتين بدلالة الطاقة ومن الشكل (11) الذي يوضح التغيرات الموجب في نتائج تلك العلاقتين .

- عند المجال الطاقى من $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$ فإن التغيرات الناتج هو 7148.879354 أيضا تدل الاشارة الموجبة أن نتائج علاقة تسولفانيديس تميل للتزايد مع تزايد نتائج علاقة بيت-بلوخ ، وإن حجم الرقم كما نلاحظ كبير وهذا يدل على الاتصال القوي بين نتائج العلاقتين، حيث نرى ذلك واضحا في الشكل (12) الذي يوضح الاتصال القوي عند المقارنة بين العلاقتين بدلالة الطاقة ومن الشكل (13) الذي يوضح التغيرات الموجب في نتائج تلك العلاقتين .

- عند المجال الطاقى من $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$ فإن التغيرات الناتج هو 0.35617836 كما نلاحظ الرقم ليس كبير جدا حيث هناك اختلاف طفيف في نتائج تلك العلاقتين نرى ذلك واضحا في الشكل (14) و الشكل (15).
عند مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيت-بلوخ

- عند المجال الطاقى من $E = 0.01 \text{ MeV}$ حتى $E = 4.5 \text{ MeV}$ فإن التغيرات الناتج هو 8993910643 يدل حجم الرقم و اشارته الموجبة على الاتصال القوي بين العلاقتين حيث تتزايد قيم علاقة تسولفانيديس مع تزايد علاقة بيت-بلوخ ، و نلاحظ من الشكل (16) والشكل (17) هذا التقارب في النتائج مع وجود فروقات صغيرة في نتائج تلك العلاقتين .

- عند المجال الطاقى من $E = 16 \text{ MeV}$ حتى $E = 200 \text{ MeV}$ فإن التغيرات الناتج هو 5751.121275 ويدل الرقم على التقارب في نتيجة العلاقتين لكن حجم الرقم ليس كبير الذي يدل على وجود اختلاف بينهما كما يوضح الشكل (18) والشكل (19).

- عند المجال الطاقى $E = 3000 \text{ MeV}$ حتى $E = 30000 \text{ MeV}$ فإن التغيرات الناتج هو -317.5704863 إن الرقم سالب وصغير مقارنة بقيم البيانات ويدل على عدم الترابط عند حساب التغيرات لتلك العلاقتين وهذا واضح من الشكل (20) والشكل (21).

بما ان النتائج قريبة واحيانا مطابقة بين العلاقتين بدون تأثير إشعاع الكبح وعند إدخال هذا التأثير أصبح هناك فروقات تدريجياً مع زيادة الطاقة واصبحت كبيرة بشكل واضح عند الطاقات العالية ممكن ان يعود السبب على أن علاقة بيت-بلوخ لم تأخذ بعين الاعتبار الفقد عن طريق إشعاع الكبح، وتفسير زيادة الفروقات مع زيادة الطاقة وعند الطاقات العالية أن الفقد عن طريق إشعاع الكبح يصبح اكبر تدريجياً مع زيادة الطاقة وعند الطاقات العالية يصبح الفقد بشكل كبير عند طريق إشعاع الكبح والفقد بالاصطدام (التأين والإثارة) يصبح اقل ولايكاد يذكر عن تلك الطاقات العالية.

7. المراجع

- [1] Tufan, M.C. and Gümüş, H. (2008) Stopping Power Calculations of Compounds by Using Thomas-Fermi-Dirac-Weizsäcker Density Functional. Acta Physica Polonica A, 114, 703-711. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.114.703>
- [2] Ahmed, I., Nowrin, H. and Dhar, H. (2020) Stopping Power and Range Calculations of Protons in Human Tissues. Baghdad Science Journal, 17, Article No. 1223. <https://doi.org/10.21123/bsj.2020.17.4.1223>
- [3] Usta, M., Tufan, M.Ç., Aydın, G. and Bozkurt, A. (2018) Stopping Power and Dose Calculations with Analytical and Monte Carlo Methods for Protons and Prompt Gamma Range Verification. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 897,106-113. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.04.045>
- [4] Almutairi, A.S. and Osman, K.T. (2021) Mass Stopping Power and Range of Protons in Biological Human Body Tissues (Ovary, Lung and Breast). International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology, 11, 48-59. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=115221>
<https://doi.org/10.4236/ijmpcero.2022.111005>

- [5] ↑<http://mathworld.wolfram.com/Covariance.html>
- [6] ↑<http://mathworld.wolfram.com/Sigma.html>
- [7] Taylor, L. S., Tubiana, M., Wyckoff, H. O., Allisy, A., Boag, J. W., Chamberlain, R. H., Cowan, E. P., Ellis, F., Fowler, J. F., Fraunz, H., Gauwerky, F., Greening, J. R., Johns, H. E., Lide, K., Morgan, R. H., Petrov, V. A., Rossi, H. H., and Tsuya, A. (1970). "Linear Energy Transfer." ICRU Report 16. International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, D.C.
- [8] Bethe, H. A. (1933). Quantenmechanik der Ein- und Zwei-Electronen-Probleme. In "Handbuch der Physik" (H. Geiger and K. Scheel, Eds.), 2nd ed., Vol. 24, Part I, Springer, Berlin.
- [9] Bethe, H. A. and Ashkin, J. (1953). Passage of radiations through matter. In "Experimental Nuclear Physics" (E. Segre, Ed.), Vol. 1, J. Wiley, New York.
- [10] Rohrlich, F. and Carlson, B. C. (1954). Positron-electron differences in energy loss and multiple scattering. Phys. Rev. 93, 38–44.
- [11] Bohr, N. and Lindhard, J. (1954). Electron capture and loss by heavy ions penetrating through matter. Kgl. Danske Videnskabs Selskab, Mat.-Fys. Medd. 28(7), 1–30.
- [12] Lindhard, J. and Scharff, M. (1960). Recent developments in the theory of stopping power. I. Principles of the statistical method. In "Penetration of Charged Particles in Matter", National Academy of Sciences-National Research Council, Publication 752, p. 49.
- [13] Lindhard, J. and Scharff, M. (1961). Energy dissipation by ions in the keV region. Phys. Rev. 124, 128–130.
- [14] Northcliffe, L. C. (1963). Passage of heavy ions through matter. Ann. Rev. Nucl. Sci. 13, 67–102. O'Leary, G.J. and Incerti, M. (1993). A field comparison of three neutron moisture meters. Aust. J. Exp. Agric. 33, 59–69.
- [15] Mozumder, A., Chatterjee, A., and Magee, J. L. (1968). Theory of radiation chemistry. IX. Mode and structure of heavy particle tracks in water. Amer. Chem. Soc. Series Adv. in Chem. 1, p. 27.
- [16] Friedlander, G., Kennedy, J. W., and Miller, J. M. (1964). "Nuclear and Radiochemistry," 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- [17] Roy, R.R. and Reed, R.D. (1968). "Interactions of Photons and Leptons with Matter." Academic Press, New York.

- [18] Segre ' , E. (1968). "Nuclei and Particles." W. A. Benjamin, New York.
- [19] Evans, R. E. (1972). "The Atomic Nucleus". Chap. 26–28 and Appendix G. McGraw Hill, New York.
- [20] Tsoulfanidis, N. (1995). "Measurement and Detection of Radiation." 2nd ed., Taylor and Francis, Washington, DC.

تحضير المركب السيراميكي $NiMn_2O_4$ ودراسة خصائصه البنيوية

هدى مراد* د. عبلة الزعبي** أ. د. ناصر سعد الدين***

الملخص:

تم في هذا البحث اصطناع المركب $NiMn_2O_4$ بطريقة الاصطناع الصلب، انطلاقاً من أكسيد النيكل NiO وأكسيد المنغنيز الثلاثي Mn_2O_3 . تم تلدين المركب المحضر عند درجات حرارة مختلفة بين $(600 - 950)^\circ C$ لمدة 5 ساعات. درست الخصائص البنيوية للأكاسيد الأولية وللمركب $NiMn_2O_4$ باستخدام تقنية XRD. أثبتت مخططات انعراج الأشعة السينية أن مركب منغنيات النيكل $NiMn_2O_4$ المحضر عند النسبة 1:1 من $NiO : Mn_2O_3$ يتشكل عند درجة الحرارة $800^\circ C$ ، يتبلور وفق بنية مكعبية وينتمي إلى مجموعة التناظر الفراغية $Fd3m$. لوحظ زيادة واضحة في شدة القمم مع زيادة درجة حرارة التلدين ضمن المجال السابق. حساب ثابت الشبكة البلورية للمركب $NiMn_2O_4$ وكانت قيمته $(a = 8.34A^\circ)$ وحجم وحدة الخلية كانت قيمته $(v = 580.719A^\circ)$. تم حساب حجم الحبيبات للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند الدرجة $800^\circ C$ وكانت قيمته $(D = 31.384 nm)$ ، وأظهرت النتائج وجود انفعلاً انضغاطياً للمركب المحضر.

كلمات مفتاحية: الاصطناع الصلب - حجم الحبيبات - الانفعال - $NiMn_2O_4$ - التلدين الحراري.

*طالبة دراسات عليا (ماجستير) في قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة حمص.

**أستاذ مساعد في قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة حمص.

Preparation of $NiMn_2O_4$ ceramic compound and study of its structural properties

*Huda Morad**, *Dr. Abla Al-Zoubi***, *Dr. Nasser Saad Al-Din****

University of Homs faculty of science

Abstract

In this research, the $NiMn_2O_4$ compound was synthesized by solid synthesis method, starting from nickel oxide and manganese (III) oxide. The prepared compound was annealed at different temperatures between (600 – 950) °C for 5 hours. The structural properties of the primary oxides and the $NiMn_2O_4$ compound were studied using XRD technique. X-ray diffraction patterns showed that the nickel manganate compound ($NiMn_2O_4$) that prepared at the ratio of 1 NiO : 1 Mn_2O_3 formed at 800°C. It was crystallized in a cubic structure and belongs had Fd3m space group. A clear increase in the peak intensities was observed with increasing annealing temperature from 600°C to 950°C. The lattice constant of $NiMn_2O_4$ unit cell volume were calculated and their values were ($a = 8.34\text{\AA}$) and ($V = 580.719\text{\AA}^3$) respectively. The grain size of $NiMn_2O_4$ that annealed at 800°C was calculated and its value was ($D = 31.384\text{ nm}$) The results showed that the prepared compound had compressive strain.

Key Words: Solid-state – grain size – emotion - $NiMn_2O_4$ - reaction-thermal.

*Masters Student in dense Matter Physics at-Homs university, Syria.

**Dr. in Optoelectronics – faculty of science at – Homs university.

***pro. Dr. in Solid state electronics – faculty of science at Homs university.

1 - المقدمة

لاقت دراسة الأكاسيد المعدنية اهتماماً واسعاً من العلماء والباحثين وبخاصة الأكاسيد المعدنية المختلطة التي تلعب دوراً مهماً في العديد من المجالات العلمية والتقنية. تعتبر الأكاسيد المختلطة ركيزة أساسية في مختلف الصناعات، نظراً لخصائصها نصف الناقلة الجيدة وتطبيقاتها في الأجهزة الإلكترونية والضوئية والمغناطيسية والبطاريات والخلايا الشمسية [1].

يعتبر أكسيد النيكل NiO ، والذي يتميز ببنية مكعبية متمركزة الوجوه من أهم هذه الأكاسيد المعدنية، و تملك أفلامه مجالاً محظوراً يتراوح بين $eV(4 \rightarrow 3.6)$ ، ويستخدم في العديد من التطبيقات مثل صناعة المكثفات والسيراميك والبطاريات [2].

تلقى أكسيد المنغنيز الكثير من الاهتمام في السنوات الأخيرة بسبب درجات الأكسدة المختلفة له. يعد أكسيد المنغنيز الثلاثي من أهم أكاسيد المنغنيز المدروسة، حيث يتبلور وفق بنية مكعبية متمركزة الحجم تنتمي للمجموعة الفراغية $Ia3$ ، ويستخدم أكسيد المنغنيز الثلاثي في صناعة الأفلام الرقيقة وكموكسد في البطاريات ويمتلك خصائص فيزيائية وكيميائية مميزة [3].

يمكن اصطناع مركبات جملة أكسيدي النيكل والمنغنيز ($NiO - Mn_2O_3$) باستخدام عدة طرائق من أهمها السول-جل المشترك والطريقة الهيدروحرارية والاصطناع الصلب، وتعتبر طريقة الاصطناع الصلب من الطرائق المستخدمة لاصطناع هذه المساحيق، حيث تتميز بسهولة العمل وتكلفتها الاقتصادية المنخفضة، وهي طريقة جافة ومن أفضل الطرائق للحصول على مركبات سيراميكية ذات نقاوة عالية [4]. تحتاج هذه الطريقة إلى حرارة مرتفعة وزمن طويل للتلدين لتشكل مركبات جملة الأكاسيد مثل المركب $NiMn_2O_4$ ، حيث أثبتت الكثير من الدراسات أن طريقة الاصطناع الصلب تعتمد على شروط الاصطناع [4].

تم مؤخراً الاهتمام بالبلورات النانوية نظراً لأن الزيادة الكبيرة في نسبة مساحة السطح إلى الحجم تؤدي إلى ظهور خصائص فيزيائية وكيميائية فريدة، كما أن هذه البلورات النانوية لها تطبيقات تقنية بسبب خصائصها الضوئية والميكانيكية والكهربائية والمغناطيسية والمعدنية [5، 6]. يتبلور المركب $NiMn_2O_4$ وفق بنية بلورية مكعبية متمركزة الوجوه من نمط الاسبينل وينتمي إلى مجموعة التناظر الفراغية $Fd3m$ [7]، ويعتبر $NiMn_2O_4$ ذو أهمية كبيرة بسبب استخداماته الواسعة في الكثير من التطبيقات، مثل الثرمستورات ذات معامل درجة حرارة سالبة (NTC) وفي مختلف التطبيقات الكهربائية والصناعية [1]. تعتبر الحساسية لدرجات الحرارة العالية من الخصائص المهمة للمركب $NiMn_2O_4$ ، مما يجعله من المواد ذات الثبات البنيوي العالي [8]. يمتلك المركب $NiMn_2O_4$ أيضاً مغناطيسية حديدية عند درجات الحرارة المنخفضة، ويتميز باستجابته السريعة وتكلفته المنخفضة [6، 9، 10].

تم في هذا البحث تحضير المركب $NiMn_2O_4$ بطريقة الاصطناع الصلب، والتي تعتبر الطريقة الأفضل للحصول على المركبات السيراميكية عالية النقاوة [10].

2- أهداف البحث

- 1- تحضير المركب $NiMn_2O_4$ انطلاقاً من الأكاسيد الأولية NiO و Mn_2O_3 باستخدام طريقة الاصطناع الصلب.
- 2- تحديد أفضل درجة حرارة يتم عندها تحضير المركب $NiMn_2O_4$.
- 3- دراسة الخصائص البنيوية للمركب $NiMn_2O_4$ المحضر.

3- مواد وطرق البحث

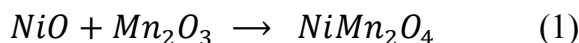
3-1- الأجهزة والمواد المستخدمة

- 1- ميزان تحليلي حساس بدقة gr0.0001 نوع Precisa.
- 2- هاون عقيق لطحن العينات وبوتقات خزفية تتحمل درجات حرارة عالية تصل إلى 1200°C.
- 3- فرن حراري لتلدين العينات نوع CARBOLITE CWF 120°.
- 4- جهاز انعراج الأشعة السينية (PW1840) ذو مصدر من الكوبالت Co إنتاج شركة (PHILPS) مع حاسب مزود ببرنامج لمعالجة طيوف الانعراج.
- 5- مواد كيميائية: أكسيد النيكل NiO نقاوته 75% وأكسيد المنغنيز Mn₂O₃ نقاوته 99% وأسيتون نقاوته 99.9%.

3-2- تحضير العينات

تم تحضير المركب NiMn₂O₄ بطريقة الاصطناع الصلب أو تفاعل الحالة الصلبة (Solid State method) والتي تعتمد على الخلط الميكانيكي للأكاسيد الأولية على شكل مساحيق، حيث أن المادة الوحيدة المستخدمة في أغلب تفاعلاتها هي الاسيتون الذي يساعد في تمازج المركبات الصلبة أثناء عملية تحضير العينات بكميات صغيرة نسبياً وتعطي هذه الطريقة مزيجاً عالي النقاوة بدون وجود أي شوائب [4].

تم في البداية وزن المواد الأولية الداخلة في تحضير المركب NiMn₂O₄ من أجل كمية مقدارها 5gr ونسبة مولية 1:1 وفق المعادلة (1) الآتية:



يبين الجدول (1) أوزان الأكاسيد الأولية المستخدمة في تحضير المركب NiMn₂O₄.

الجدول (1)

الأكسيد	NiO	Mn ₂ O ₃
وزن الأكسيد gr	1.606	3.394

بعد أخذ الأوزان المطلوبة لكل من أكسيد النيكل وأكسيد المنغنيز تم وضعهما معاً في هاون خزفي يستخدم لطحن العينات، وذلك بإضافة كمية من الأسيتون النقي. تم طحن المسحوق بشكل متواصل وباتجاه واحد لمدة لا تقل عن (15 min). تم تكرار عملية إضافة الأسيتون مع الطحن المتواصل ثلاث مرات لضمان الحصول على حبيبات ناعمة متجانسة، حيث تستمر هذه العملية حتى جفاف الأسيتون. لإكمال عملية الاصطناع تم تليدين العينة المحضرة عند درجات حرارة مختلفة هي (600 -700 -800 -850 -900 -950) °C ولمدة خمس ساعات كما في بعض الأعمال العلمية [6,9].

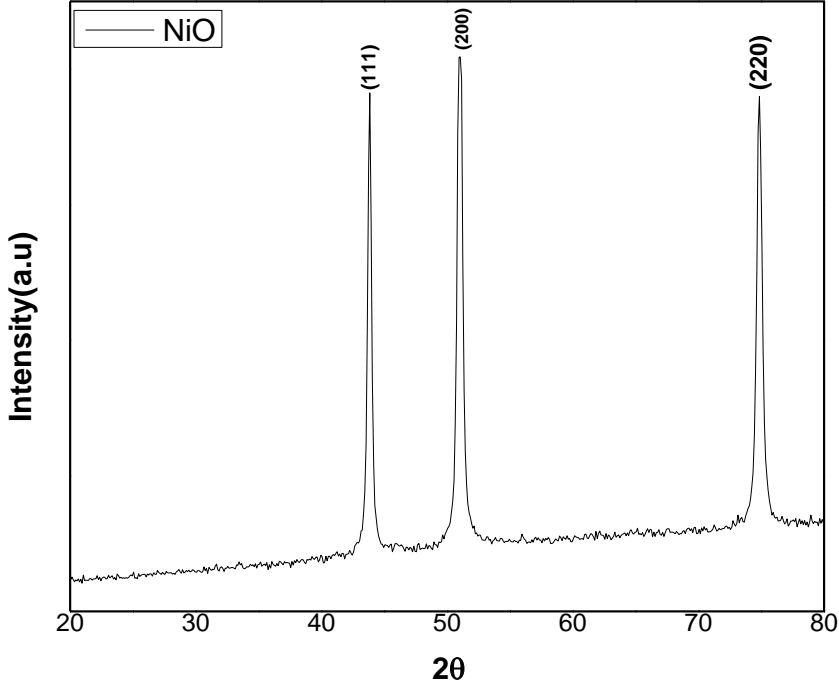
4-النتائج والمناقشة

4-1 - دراسة الخصائص البنيوية للأكاسيد الأولية

تم دراسة البنية البلورية للأكاسيد الأولية NiO و Mn_2O_3 الداخلة في عملية اصطناع المركب $NiMn_2O_4$ باستخدام تقنية انعراج الأشعة السينية (XRD).

4-1-1- أكسيد النيكل NiO

يبين الشكل (1) طيف انعراج الأشعة السينية على أكسيد النيكل.



الشكل (1) طيف انعراج الأشعة السينية لأكسيد النيكل.

لدى مقارنة طيف أكسيد النيكل في الشكل (1) مع البطاقة المرجعية (رقم 04-0835) في بنك المعلومات JCPDS تم تحديد قرائن ميلر لقمم الانعراج لأكسيد النيكل وكانت على النحو الآتي (111) (200) (220). يتبلور أكسيد النيكل وفق بنية مكعبية متمركزة الوجوه وينتمي لمجموعة التناظر الفراغية $Fm3m$. تم حساب ثابت الشبكة البلورية لأكسيد النيكل بالاستفادة من قانون براغ الذي يعطى بالعلاقة (1):

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

حيث أن n: رتبة الانعراج.

λ : طول موجة الأشعة السينية المستخدمة لمصدر الكوبالت 1.7889\AA .

d: المسافة بين المستويات البلورية.

θ : زاوية الانعراج.

وعلاقة البعد بين المستويات البلورية في حالة البنية المكعبية التي تعطى بالعلاقة (2)[6]:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \quad (2)$$

حيث hkl قرائن ميلر للمستوي البلوري الذي يحدث عنده الانعكاس و a ثابت الشبكة البلورية. يبين الجدول (2) حساب قيم كل من 2θ و d و a و قرائن ميلر.

الجدول (2)

$2\theta(^{\circ})$	$d(A^{\circ})$	$a(A^{\circ})$	(hkl)
43.833	2.396	4.150	(111)
51.019	2.076	4.153	(200)
74.852	1.471	4.162	(220)
$a = 4.155A^{\circ}$			

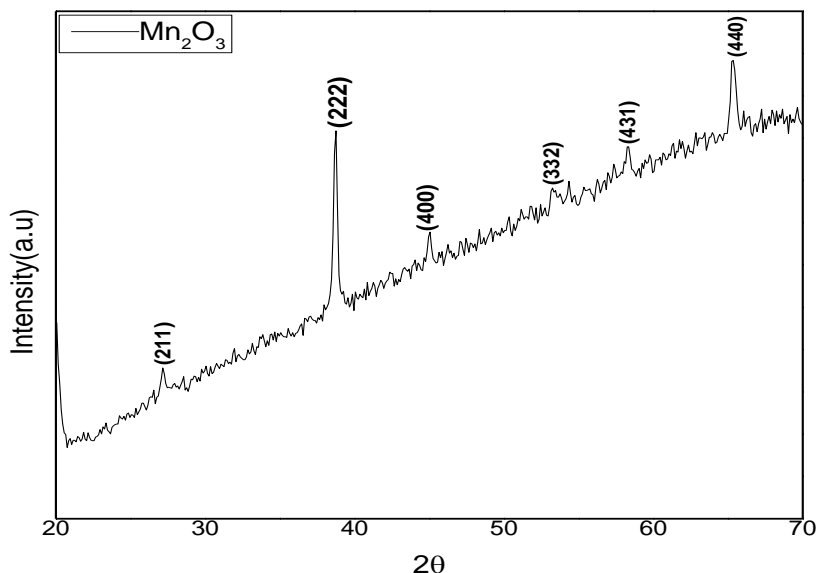
نلاحظ من الجدول أن قيمة ثابت الشبكة البلورية تتوافق مع القيم الموجودة في البطاقة المرجعية للأكسيد (04-0835). يبين الجدول (3) مقارنة قيمة ثابت الشبكة البلورية في البطاقة المرجعية وبعض الأعمال العلمية.

الجدول (3)

$a(A^{\circ})$	العمل العلمي
4.155	هذا العمل
4.176	البطاقة المرجعية
4.178	[2]

4-1-2- أكسيد المنغنيز Mn_2O_3

يبين الشكل (2) طيف انعراج الأشعة السينية على أكسيد المنغنيز Mn_2O_3 .



الشكل (2) طيف انعراج الأشعة السينية لأكسيد المنغنيز الثلاثي Mn_2O_3 .

لدى مقارنة طيف أكسيد المنغنيز في الشكل (2) مع البطاقة المرجعية (رقم 1442-41) في بنك المعلومات JCPDS تم تحديد قرائن ميلر لقمم الانعراج لأكسيد المنغنيز كما هو موضح بالشكل (2). يتبلور أكسيد المنغنيز وفق بنية مكعبية متمركزة الحجم وينتمي إلى مجموعة التناظر الفراغية $Ia3$. تم حساب ثابت الشبكة البلورية له، ويبين الجدول (4) قيم كل من θ و d و a و قرائن ميلر.

الجدول (4)

$2\theta(^{\circ})$	$d(A^{\circ})$	$a(A^{\circ})$	(hkl)
27.151	3.8106	9.334	(211)
38.712	2.6987	9.348	(222)

45.028	2.3359	9.343	(400)
53.414	2.0254	9.499	(332)
58.277	1.8369	9.366	(431)
65.352	1.6567	9.371	(440)
$a = 9.377A^\circ$			

نلاحظ من الجدول (4) أن قيم ثابت الشبكة البلورية المحسوبة تتوافق تقريباً مع قيمة البطاقة المرجعية (41-1442)، ويبين الجدول (5) مقارنة قيمة ثابت الشبكة البلورية مع البطاقة وبعض المراجع العلمية.

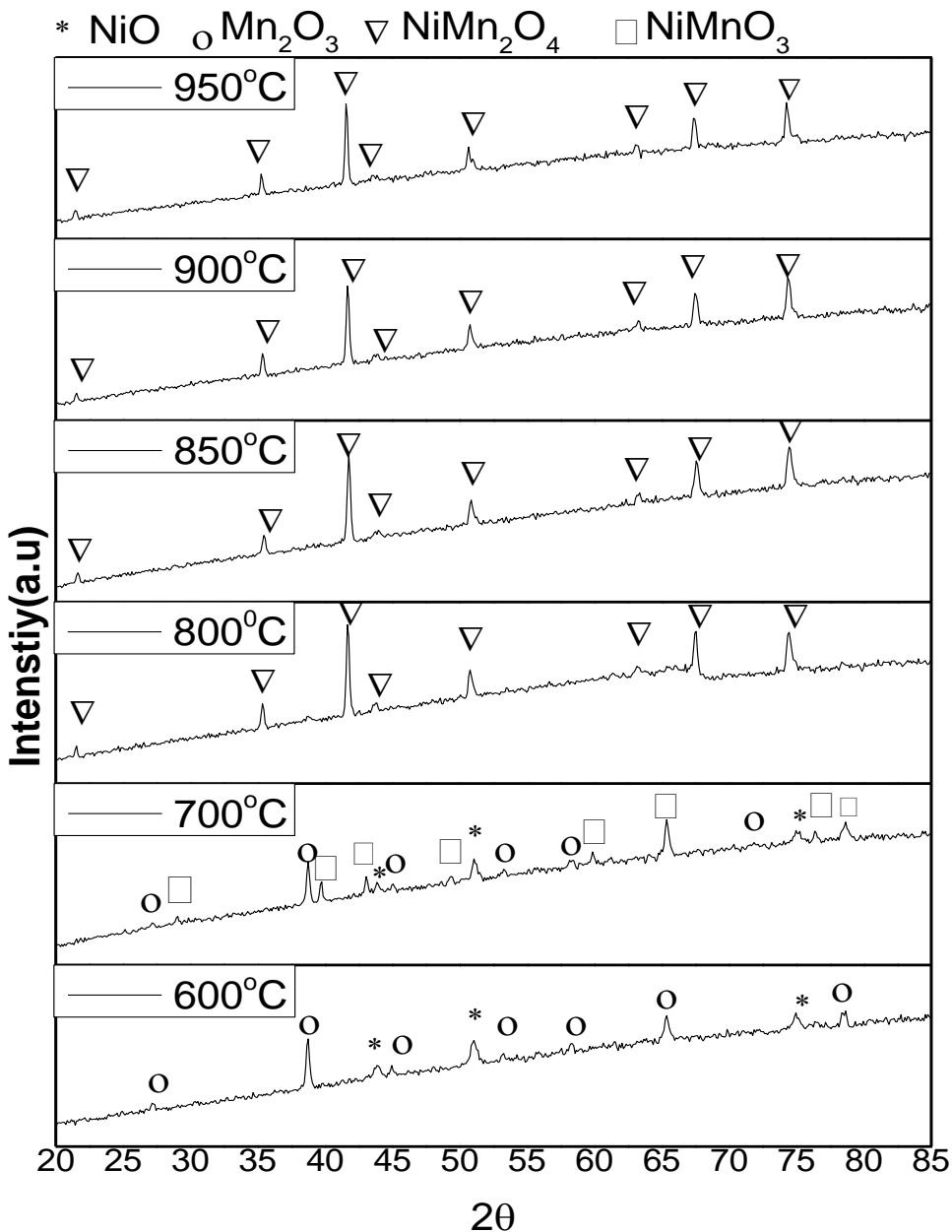
الجدول (5)

$a(A^\circ)$	العمل العلمي
9.377	هذا العمل
9.409	البطاقة المرجعية
9.407	[11]

4-2- تحديد أفضل درجة حرارة لتحضير المركب $NiMn_2O_4$

تم تلدين العينات المحضرة من خلط الأكاسيد الأولية، أكسيد النيكل NiO وأكسيد المنغنيز Mn_2O_3 بنسبة 1:1 عند درجات حرارة مختلفة $(600 - 700 - 800 - 850 - 900 - 950)^\circ C$ ، ولمدة 5 ساعات لتحديد أفضل درجة حرارة لتحضير المركب $NiMn_2O_4$. تمت دراسة العينات باستخدام جهاز انعراج الأشعة السينية XRD [10].

يبين الشكل (3) أطيايف الانعراج على العينات المحضرة والملدنة عند درجات حرارة مختلفة.

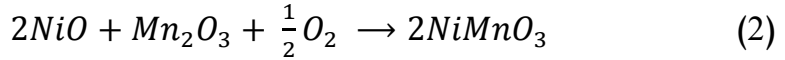


الشكل (3) أطياف انعراج الأشعة السينية لجملة الأكسيدين ($NiO - Mn_2O_3$) المحضرة بنسبة 1:1 والملدنة عند درجات حرارة مختلفة.

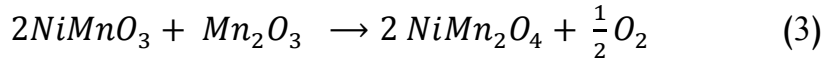
تمت مقارنة أطياف انعراج الأشعة السينية في الشكل (3) مع البطاقات المرجعية في بنك المعلومات JCPDS العائدة للأكاسيد الأولية NiO و Mn_2O_3 وللمركب $NiMn_2O_4$ والمركب $NiMnO_3$ ذات الأرقام (04-0835) و(41-1442) و(01-1110) و(12-0269) على الترتيب.

نلاحظ من الشكل (3) أنه عند درجة الحرارة 600°C فإن كل القمم تعود إلى الأكاسيد الأولية NiO و Mn_2O_3 ، وبالتالي فإن هذه الدرجة غير كافية لحدوث تفاعل بين الأكسيدين.

لذا تمت زيادة درجة الحرارة إلى الدرجة 700°C ، حيث لوحظ ظهور بعض القمم التي تعود للمركب $NiMnO_3$ الذي يتبلور وفق بنية بلورية سداسية، من تفاعل أكسيد النيكل وأكسيد المنغنيز الثلاثي، مع ملاحظة وجود القمم التي تعود للأكاسيد الأولية بشدات منخفضة وفق المعادلة (2)، وهذا يتوافق مع الأعمال العلمية [12,13].



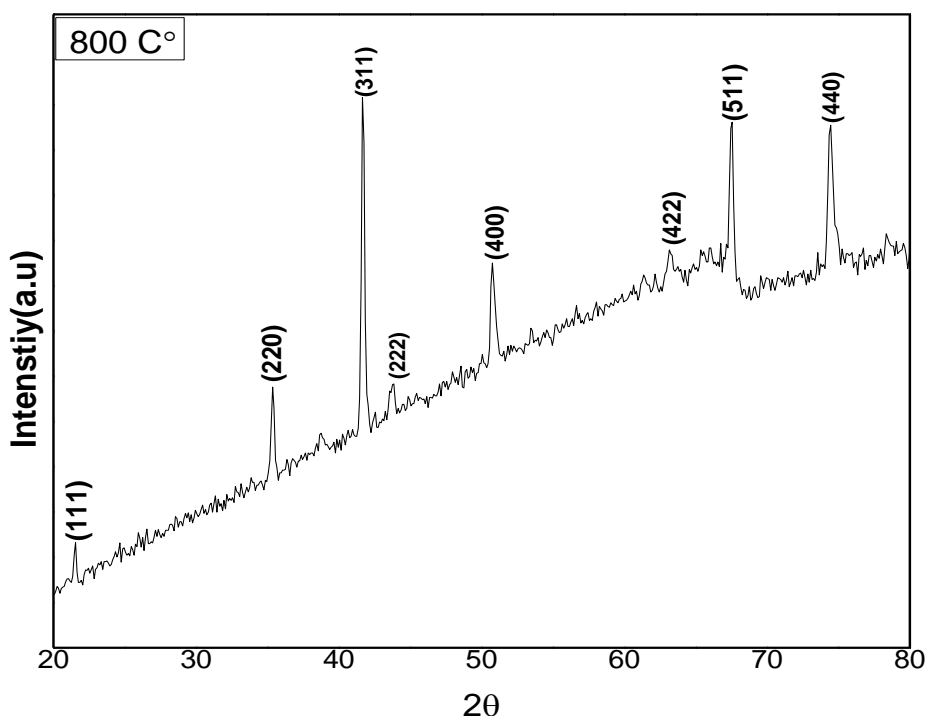
وعند زيادة درجة الحرارة إلى الدرجة 800°C اختفت القمم التي تعود للمركب $NiMnO_3$ وهذا يدل أن المركب $NiMnO_3$ غير مستقر حرارياً، وظهرت قمم جديدة تعود للمركب $NiMn_2O_4$ ، كما تبين أيضاً اختفاء القمم التي تعود للأكاسيد الأولية [14]، من خلال المعادلة (3):



لوحظ أيضاً بقاء القمم التي تعود للمركب $NiMn_2O_4$ حتى درجة حرارة 950°C أي أن المركب $NiMn_2O_4$ مستقر حرارياً في المجال الحراري المدروس حتى 950°C مع حدوث انشطارات في بعض القمم نتيجة تفكك جزء من المركب عند درجات الحرارة ($950^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$). بالنتيجة يمكن القول: إنه تم الحصول على المركب $NiMn_2O_4$ بدءاً من الدرجة 800°C بنية مكعبية متمركزة الوجوه ويتوافق هذا مع الأعمال العلمية [10,15].

3-4- دراسة الخصائص البنيوية للمركب $NiMn_2O_4$

يبين الشكل (4) طيف انعراج الأشعة السينية للمركب $NiMn_2O_4$ المحضر والمملدن عند درجة حرارة 800°C .



الشكل (4) طيف انعراج الأشعة السينية للمركب $NiMn_2O_4$ عند درجة الحرارة 800°C .

تبين من الشكل (4) بعد المقارنة مع البطاقة المرجعية (01-1110) في بنك المعلومات *JCPDS* أن جميع القمم الموجودة تعود للمركب $NiMn_2O_4$ الذي يتبلور وفق بنية مكعبية متمركزة الوجوه وينتمي إلى مجموعة التناظر الفراغية $Fd3m$ [16].

تم حساب البعد بين المستويات البلورية d من زوايا الانعراج عند كل خط طيفي باستخدام قانون براغ المعطى بالعلاقة (2)، ثم تم تعيين ثابت الشبكة البلورية a . تم حساب حجم وحدة الخلية من العلاقة (3)[17]:

$$V = a^3 \quad (3)$$

يبين الجدول (6) قيم كلاً من 2θ و d و a وقرائن ميلر (hkl) للمركب $NiMn_2O_4$.

الجدول (6)

$2\theta(^{\circ})$	$d(A^{\circ})$	$a(A^{\circ})$	(hkl)
21.518	4.791	8.298	(111)
35.361	2.945	8.329	(220)
41.682	2.514	8.338	(311)
43.716	2.397	8.347	(222)
50.777	2.086	8.344	(400)
63.208	1.706	8.361	(422)
67.515	1.608	8.363	(511)
74.422	1.479	8.366	(440)
$a = 8.343(A^{\circ})$		$V = 580.719(A^{\circ})^3$	

نلاحظ من الجدول (6) أن القيمة الوسطية لثابت الشبكة للمركب $NiMn_2O_4$ تساوي $a = 8.343A^{\circ}$ وهي قريبة من قيمة ثابت الشبكة البلورية في البطاقة المرجعية المساوي $a = 8.382A^{\circ}$ وأن حجم وحدة الخلية للمركب $NiMn_2O_4$ هو $V = 580.719(A^{\circ})^3$.

تمت دراسة الخصائص البنيوية للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند درجات حرارة مختلفة، وأيضاً تم حساب ثابت الشبكة البلورية a عند كل من درجات الحرارة $(900 - 950)^\circ\text{C}$.

يبين الجدول (7) قيمة ثابت الشبكة البلورية للمركب المملدن عند درجات حرارة مختلفة.

الجدول (7)

$a (A^\circ)$	$T(^\circ\text{C})$
8.343	800
8.332	850
8.341	900
8.359	950

نلاحظ من الجدول (7) أن قيمة ثابت الشبكة البلورية ثابتة نسبياً وهذا يدل على الاستقرار الحراري للمركب $NiMn_2O_4$ عند درجات حرارة عالية [1، 15].

يبين الجدول (8) مقارنة ثابت الشبكة البلورية في عملنا هذا مع البطاقة المرجعية وبعض المراجع.

الجدول (8)

$a(A^\circ)$	العمل العلمي
8.343	هذا العمل
8.382	البطاقة المرجعية
8.396	[1]
8.330	[8]

تبين أن ثابت الشبكة البلورية في هذا العمل قريب من البطاقة المرجعية وبعض الأعمال العلمية. تعود ارتفاع الخلفية في أطياف انعراج الأشعة السينية إلى وجود الذرات المغناطيسية في المركبات المحضرة أكسيد النيكل والمنغنيز.

4-4- حساب حجم الحبيبات والانفعال للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند درجة حرارة 800 °C

تم حساب عرض قمم الانعراج عند منتصف شدتها العظمى ($FWHM$) من أجل حساب حجم الحبيبات والانفعال للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند درجة 800 °C باعتبارها درجة الحرارة الأمثل للحصول على المركب $NiMn_2O_4$. يرجع تعريض القمة إلى عاملين مختلفين هما: حجم الحبيبات البلورية والانفعال الشبكي، ويتم تحديد تأثيرات حجم الحبيبات البلورية والانفعال الشبكي في أطياف الانعراج للعينات التجريبية. يكون للقمة الملاحظة في طيف انعراج الأشعة السينية عرضاً مساوياً لـ:

$$\beta = \beta_{crystallite} + \beta_{strain} \quad (4)$$

حيث $\beta_{crystallite}$ و β_{strain} هي التعريض الناتج عن حجم الحبيبات البلورية والانفعال الشبكي على الترتيب [18، 19]

يعطى التعريض الناتج عن حجم الحبيبات البلورية الصغيرة $\beta_{crystallite}$ بمعادلة Scherrer على النحو:

$$\beta_{crystallite} = \frac{K \lambda}{D \cos \theta} \quad (5)$$

حيث θ : زاوية انعراج براغ

D : الحجم الوسطي للحبيبات البلورية

λ : طول موجة الأشعة السينية المستخدمة

K : ثابت يساوي تقريباً الواحد.

بينما يعطى التعريض الناتج عن الانفعال الشبكي بالعلاقة:

$$\beta_{strain} = 4\varepsilon \tan(\theta) \quad (6)$$

حيث ε الانفعال في العينة المدروسة.

تم استخدام طريقة ويلمسون-هول Williamson-Holl لتحديد حجم الحبيبات البلورية والانفعال المعطاة بالعلاقة الآتية [20، 15]:

$$\beta = \frac{K\lambda}{D \cos\theta} + 4\varepsilon \tan(\theta) \quad (7)$$

حيث أن:

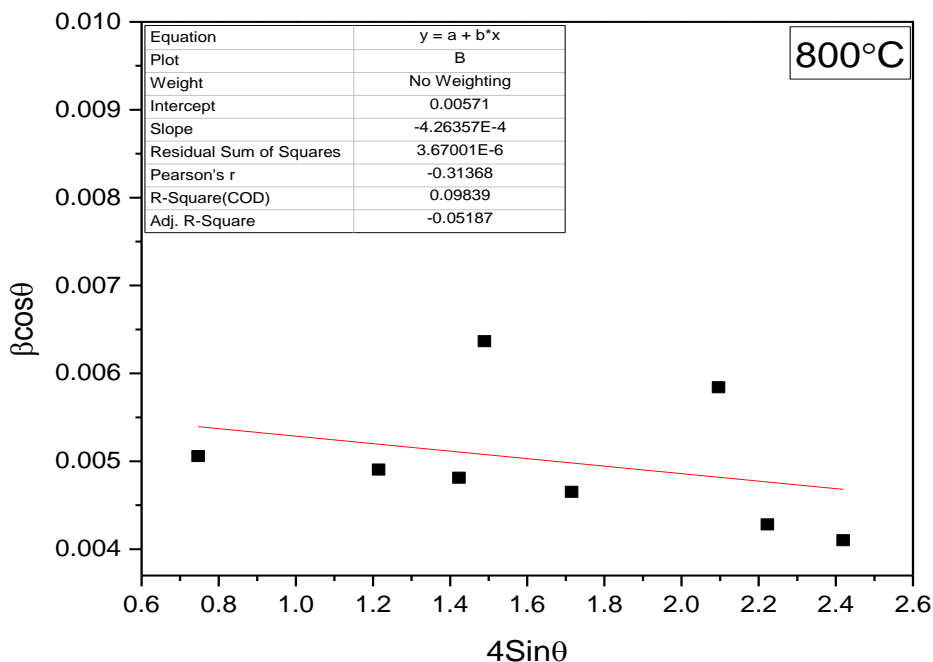
β : العرض عند منتصف الشدة العظمى بالراديان.

يمكن إعادة ترتيب المعادلة (7) على النحو الآتي:

$$\beta \cos\theta = \frac{\lambda}{D} + 4\varepsilon \sin\theta \quad (8)$$

يمكن أن نستخدم المعادلة (8) لتحديد الانفعال وحجم الحبيبات برسم المنحني البياني لتغيرات $\beta \cos\theta$ بدلالة $4 \sin\theta$.

يبين الشكل (5) المنحني البياني لتغيرات $\beta \cos\theta$ بدلالة $4 \sin\theta$ للمركب $NiMn_2O_4$.

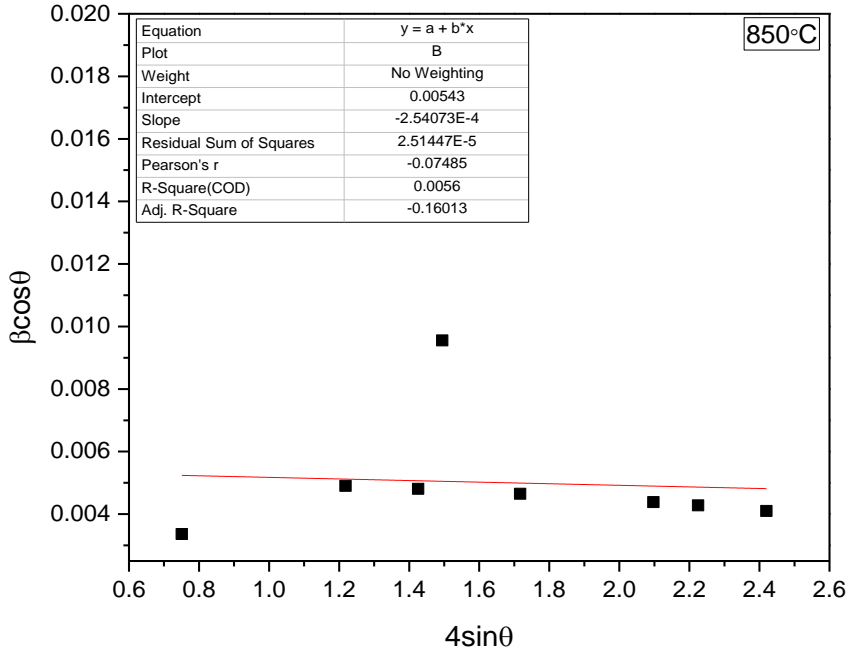


الشكل (5) تغيرات $\beta \cos \theta$ بدلالة $4 \sin \theta$ للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند درجة حرارة 800°C .

تم إجراء محاكاة خطية للمعطيات لحساب الانفعال من ميل الخط المستقيم وحجم الحبيبات من التقاطع مع المحور $\beta \cos \theta$.

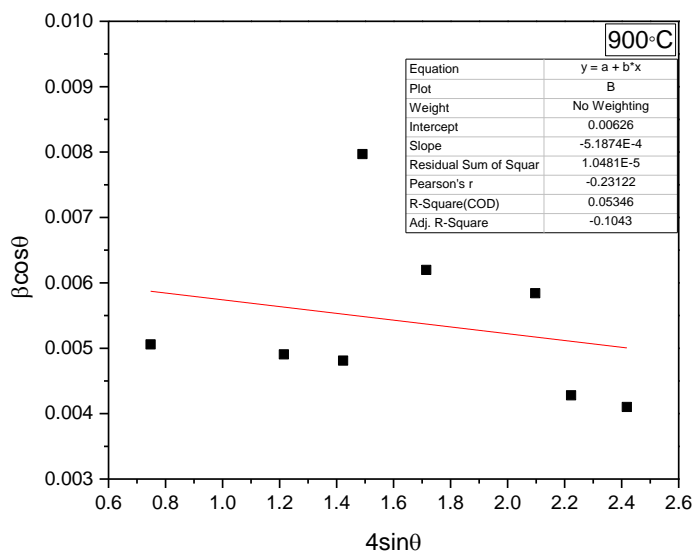
تبين أن حجم الحبيبات للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند الدرجة 800°C يساوي $D = 31.384 \text{ nm}$ والانفعال $\epsilon = -4 \times 10^{-4}$ وتدل الإشارة السالبة على أن الانفعال انضغاطي وهذا يتوافق مع بعض المراجع العلمية [20].

تم أيضاً حساب حجم الحبيبات والانفعال للمركب $NiMn_2O_4$ عند درجات الحرارة (850 – 950)°C. يبين الشكل (6) تغيرات $\beta \cos \theta$ بدلالة $4 \sin \theta$ للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند درجة حرارة 850°C .



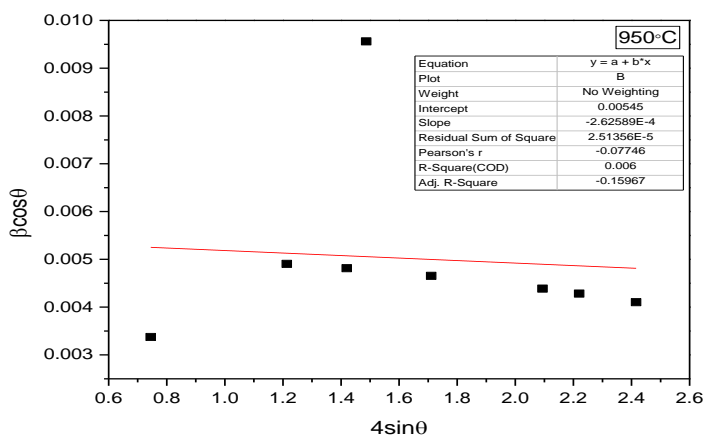
الشكل (6) تغيرات $\beta \cos \theta$ بدلالة $4 \sin \theta$ للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند درجة حرارة 850°C .

يبين الشكل (7) تغيرات $\beta \cos \theta$ بدلالة $4 \sin \theta$ للمركب $NiMn_2O_4$ المملدن عند درجة حرارة 900°C .



الشكل (7) تغيرات $\beta \cos \theta$ بدلالة $4 \sin \theta$ للمركب $NiMn_2O_4$ الملدن عند درجة حرارة 900°C .

يبين الشكل (8) تغيرات $\beta \cos \theta$ بدلالة $4 \sin \theta$ للمركب $NiMn_2O_4$ الملدن عند درجة حرارة 950°C .



الشكل (8) تغيرات $\beta \cos \theta$ بدلالة $4 \sin \theta$ للمركب $NiMn_2O_4$ الملدن عند درجة حرارة 950°C .

يبين الجدول (9) حجم الحبيبات والانفعال للمركب $NiMn_2O_4$ عند درجات حرارة مختلفة.

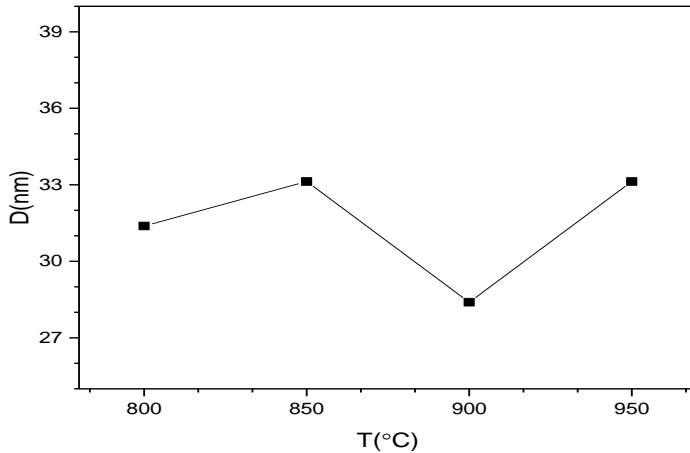
الجدول (9)

ϵ	$D(nm)$	$T(^{\circ}C)$
-0.0003	33.128	850
-0.0005	28.39	900
-0.0003	33.127	950

نلاحظ تناقص حجم الحبيبات عند الدرجة $900^{\circ}C$ وذلك بسبب حدوث انشطارات في بعض قمم الانعراج وبالتالي زيادة تعريضها.

يمثل تبعثر النقاط في علاقة ويلمسون هول إلى الاختلاف في تعريض قمم انعراج طيف الأشعة السينية.

يبين الشكل (9) تغيرات حجم الحبيبات البلورية بدلالة درجة حرارة التلدين للمركب $NiMn_2O_4$



الشكل (9) حجم الحبيبات بدلالة درجات الحرارة للمركب $NiMn_2O_4$.

الاستنتاجات

- 1- تم في هذا البحث تحضير المركب $NiMn_2O_4$ بطريقة الاصطناع الصلب انطلاقاً من أكسيد النيكل NiO وأكسيد المنغنيز الثلاثي Mn_2O_3 .
- 2- وجد أن أكسيد النيكل يتبلور وفق بنية مكعبية متمركزة الوجوه، وأكسيد المنغنيز الثلاثي يتبلور وفق بنية مكعبية.
- 3- تبين أن المركب $NiMnO_3$ غير مستقر حيث ظهر عند درجة حرارة $700^\circ C$ ويتفكك قبل الدرجة $800^\circ C$.
- 4- تبين أن درجة حرارة الاصطناع المثلى للمركب $NiMn_2O_4$ هي $800^\circ C$.
- 5- أظهرت دراسة XRD أن المركب $NiMn_2O_4$ يتبلور ببنية مكعبية متمركزة الوجوه وينتمي للمجموعة الفراغية $Fd3m$.
- 6- أبدى المركب $NiMn_2O_4$ استقراراً في البنية البلورية في المجال الحراري $(800 \rightarrow 950)^\circ C$.
- 7- وجد أن حجم حبيبات المركب المحضر $NiMn_2O_4$ كانت $D = 31.384nm$ ، مما يدل على النجاح في اصطناع مركبات نانوية.
- 8- أظهر المركب المحضر انفعالاً انضغاطياً.

التوصيات:

- 1- نوصي بدراسة الخصائص الكهربائية والمغناطيسية للمركب المحضر.
- 2- تحضير المركب بطرائق أخرى ومقارنة النتائج.

المراجع:

- [1] D. Albuquerque *et al.*, "Structural and physicochemical properties of nickel manganite NiMn_2O_4 - δ synthesized by sol-gel and ultra sound assisted methods," *J Alloys Compd*, vol. 672, pp. 307–316, 2016, doi: 10.1016/j.jallcom.2016.02.090.
- [2] S. Sasaki, Y. Takeuchi, and K. Fujino, "X-Ray Determination of Electron-Density Distributions in Oxides, MgO, MnO, CoO, and NiO, and Atomic Scattering Factors of their Constituent Atoms," *Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci*, vol. 55, no. 2, pp. 43–48, 1979, doi: 10.2183/pjab.55.43.
- [3] A. K. Singh, T. K. Dhiman, V. S. G. B. Lakshmi, and P. R. Solanki, "Dimanganese trioxide (Mn_2O_3) based label-free electrochemical biosensor for detection of Aflatoxin-B1," *Bioelectrochemistry*, vol. 137, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.bioelechem.2020.107684.
- [4] P. Rezaei, M. Rezaei, and F. Meshkani, "Low temperature CO oxidation over mesoporous iron and copper mixed oxides nanopowders synthesized by a simple one-pot solid-state method," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 119, pp. 379–388, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.psep.2018.08.024.

- [5] T. Larbi *et al.*, "Physical investigations on $NiMn_2O_4$ sprayed magnetic spinel for sensitivity applications," *J Magn Magn Mater*, vol. 387, pp. 139–146, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.jmmm.2015.04.003.
- [6] L. E. Smart and E. A. Moore, "Third Edition SOLID STATE CHEMISTRY."
- [7] B. Fang, W. Zhang, X. Kan, H. Tao, X. Deng, and M. Li, "Fabrication and application of a novel modified electrode based on β -cyclodextrin/ferrocenecarboxylic acid inclusion complex," *Sens Actuators B Chem*, vol. 117, no. 1, pp. 230–235, Sep. 2006, doi: 10.1111/j.1551-2916.2005.00666.x.
- [8] N. Acharya and R. Sagar, "Structure and electrical properties characterization of $NiMn_2O_4$ NTC ceramics," *Inorg Chem Commun*, vol. 132, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.inoche.2021.108856.
- [9] A. Sagua, G. M. Lescano, J. A. Alonso, R. Martínez–Coronado, M. T. Fernández–Díaz, and E. Morán, "Neutron structural characterization, inversion degree and transport properties of $NiMn_2O_4$ spinel prepared by the hydroxide route," *Mater Res Bull*, vol. 47, no. 6, pp. 1335–1338, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.materresbull.2012.03.012.
- [10] H. Gao, C. Ma, and B. Sun, "Preparation and characterization of $NiMn_2O_4$ negative temperature coefficient ceramics by solid–state

- coordination reaction,” *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 25, no. 9, pp. 3990–3995, 2014, doi: 10.1007/s10854-014-2118-5.
- [11] M. Regulski, R. Przeniosło, I. Sosnowska, D. Hohlwein, and R. Schneider, “Neutron diffraction study of the magnetic structure of α -Mn 2O₃,” in *Journal of Alloys and Compounds*, Jan. 2004, pp. 236–240. doi: 10.1016/S0925-8388(03)00591-7.
- [12] G. M. Al-Senani, O. H. Abd-Elkader, N. S. Al-Kadhi, and N. M. Deraz, “Effect of the glycine treatment on synthesis and physicochemical characteristics of nanosized ni-mn mixed oxides,” *Crystals (Basel)*, vol. 11, no. 5, 2021, doi: 10.3390/cryst11050487.
- [13] X.-X. Tang, A. Manthiram, and J. B. Goodenough, “NiMn₂O₄ REVISITED*,” 1989.
- [14] J. Jung, J. Tb’pfer, and A. Feltz, “THERMOANALYTIC CHARACTERIZATION OF NiMn₂O₄ FORMATION,” 1990.
- [15] R. Schmidt, “Production and Performance of Thin and Thick Film NTCR Thermistors Based on NiMn₂O₄+d.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/234074624>

- [16] H. M. Schulze, "SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NICKEL MANGANITE THIN FILMS FOR APPLICATION IN UNCOOLED MICROBOLOMETERS," 2008.
- [17] الخطيب. حازم، الزعبي. عبلة، "تحضير أفلام رقيقة من الأكاسيد المختلطة للنحاس والألمنيوم وتوصيفها"، جامعة حمص (2024).
- [18] Y. T. Prabhu, K. V. Rao, V. S. S. Kumar, and B. S. Kumari, "X-Ray Analysis by Williamson-Hall and Size-Strain Plot Methods of ZnO Nanoparticles with Fuel Variation," *World Journal of Nano Science and Engineering*, vol. 04, no. 01, pp. 21-28, 2014, doi: 10.4236/wjnse.2014.41004.
- [19] التدمري. فرح، الزعبي. عبلة، "تحضير المركب السيراميكي $ZnTiO_3$ ودراسة خصائصه البنيوية"، جامعة حمص (2022)، 44، 14.
- [20] J. M. A. Almeida, C. T. Meneses, A. S. de Menezes, R. F. Jardim, and J. M. Sasaki, "Synthesis and characterization of $NiMn_2O_4$ nanoparticles using gelatin as organic precursor," *J Magn Mater*, vol. 320, no. 14, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.jmmm.2008.02.062.

تقدير محتوى عصير ثمار صنفين من الكرز الحلو من السكريات بتقانة الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء HPLC

الدكتورة نجاة جنود*

هنادي محمد شهيله**

□ الملخص □

تتناول هذه الدراسة استخدام تقنية التحليل الكروماتوغرافي السائلة فائقة الأداء HPLC على عصير ثمار صنفين من الكرز الحلو المزروعة محلياً في سورية، لتحديد محتواها من السكريات الأحادية (الغلوكوز و الفركتوز) والثنائية (السكروز)، مستخدمين العمود NH₂، الكاشف RID (قرنية الانكسار)، واستخدم المحلول اسيتونتريل كطور متحرك (85% Acetonitrile). تميزت هذه الطريقة بتفريق جيد للسكريات وسرعة في انجاز العمل. أظهرت نتائج تحليل السكريات أن الغلوكوز والفركتوز هي السكريات الأكثر وجوداً في عصير الثمار إذ ساهما على التوالي بنسبة (7.29 - 4.36) % من إجمالي محتوى السكر .

كلمات مفتاحية : الكرز الحلو -الصنف راينر - الصنف بينغ - التحليل الكروماتوغرافي - HPLC .

* أستاذ- قسم علم الحياة النباتية - كلية العلوم - جامعة اللاذقية - سورية.

**طالبة دراسات عليا (دكتوراه)- قسم علم الحياة النباتية - كلية العلوم - جامعة اللاذقية -

سورية.

Determination of the sugar content of the juice of two sweet cherry varieties using high-performance liquid chromatography (HPLC) technology

□ ABSTRACT □

This study deals with the use of HPLC technology on the juice of two varieties of sweet cherries grown locally in Syria. To determine the content of monosaccharides (glucose and fructose) and disaccharides (sucrose), using the NH₂ column, the RID reagent, and the acetonitrile reagent solution (85%), this method was characterized by good dispersal of sugars and speed. In completing the work.

The results of the sugar analysis showed that glucose and fructose are among the sugars most abundant in fruit juice, as they respectively contributed (7.29 - 4.36)% of the total sugar content.

Key words: Sweet cherry, Riner cultivar, Ping cultivar ,chromatographic analysis - HPLC.

1- المقدمة

تطبق تقنية الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء High Performance Liquid Chromatography (HPLC) على المواد الطبيعية غير الطيارة والتي تتأثر بالحرارة، يكون الطور الثابت فيها مكون من جزئيات دقيقة جداً قد يصل قطر الواحدة منها إلى 5 ميكرومتر، محشوة في عمود مغلق، نقوم بحقن كمية ، قليلة جداً من العينة المراد تحليلها في المحلول وتحت الضغط و بعد فصل المكونات يتم الكشف عنها في مخرج العمود بواسطة كاشف [1].

وفي الآونة الأخيرة استخدمت تقانة الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء بشكل واسع، والتي ينجز بواسطتها العمل التحليلي في درجة الحرارة الاعتيادية، وتعد هذه التقانة من أفضل التقانات التحليلية لفصل وتحليل المركبات كونها تتم في دقائق وكفاءة فصل ممتازة [2] و[3].

لقد تمّ استخدام هذه التقانة في مجالات عدة منها: الصناعات الغذائية (تحليل الأغذية) والتحاليل البيئية (تحليل المياه والتربة وغيرها) والصيدلية (تحليل وفصل الأدوية والعقاقير) وتحاليل الكيمياء الحيوية (السكريات والفيتامينات..) وتحليل وفصل المبيدات الحشرية [4]

وفي مجال تحليل الأغذية تعتبر تقنية الـ HPLC من أكثر التطبيقات استخداماً [5] وقد استخدمت هذه التقانة من قبل الكثير من الباحثين لتحليل وفصل مكونات عصير ثمار الكرز [6] يعد الكرز الحلو نوعاً ذو أهمية اقتصادية كبيرة بسبب القيمة الغذائية والصحية لثماره، وتعتمد الأهمية الاقتصادية للكرز على ما يحتويه من المركبات الكيميائية التي تمثل مصدراً هاماً لموانع التأكسد والمركبات الفينولية المسؤولة عن العديد من النشاطات الحيوية [7-8-9-10-11].

هنالك في الوقت الحاضر اهتمام متزايد ببدائل طبيعي مقابل كل ما يتم الحصول عليه من خلال التخليق الكيميائي للمواد الطبيعية ذات الخصائص المضادة للأكسدة [12-13]

حيث يفضل المستهلكون المكونات ذات الأصل الطبيعي والتي يمكن استخلاصها من النباتات والمنتجات الغذائية وغيرها من المصادر الطبيعية [14]

تعتبر السكريات من العناصر الغذائية الرئيسية ومكونات الطعم في عصائر الفاكهة والتي تساهم في المحتوى الصلب الرئيسي القابل للذوبان [15] وهي أيضاً تلعب أدواراً هامة في بنية ووظيفة النبات بأكمله وليس فقط مصدر للطاقة مختلفة [16-17] أثناء معالجة وتخزين عصائر الفاكهة تظهر السكريات قابلية أقل للتغيرات مقارنة بالمكونات الأخرى مثل الأصباغ ومضادات الأكسدة [18] وهذا ما يجعل تحليل السكريات في عصائر الفاكهة مرغوباً.

توجد عدة طرق لتحليل السكريات وظهرت عدة أجيال من الأدوات لتحليل السكريات وبرزت من بينها تقنية الـ HPLC [18] نظراً لدقتها العالية وانتقائيتها التحليلية فهي يمكن أن توفر فصلاً كيميائياً سريعاً لعدد من المكونات في ذات الوقت [19] وقد كشفت عديد من الأبحاث على محتوى السكريات في عصير ثمار الفاكهة باستخدام هذه التقنية [28]

2- أهمية البحث وأهدافه

انطلاقاً من الأهمية الطبية والاقتصادية لنبات الكرز وانتشاره بشكل واسع في سورية تستدعي دراسة هذا النوع وتخليط الضوء عليه. يهدف البحث إلى تقدير محتوى عصير الكرز من السكريات كونه متوفر في بيئتنا الساحلية ولم تُنشر دراسات سابقة تتناول تحليل عصير ثمار الكرز في سورية.

3- مواد وطرائق البحث

تم إجراء البحث في مخابر قسم علم الحياة النباتية في كلية العلوم بجامعة تشرين ومخابر المعهد العالي للبحوث البيئية . جمع النبات من بساتين كرز مختارة من موقع عين الوادي وبيرين ضمن محافظة اللاذقية ، يرتفع الأول 1200م عن سطح البحر والثاني بحدود 800م، و شملت الدراسة الصنف Riner و الصنف Bing حيث تم قطف 2كغ من الكرز عشوائياً عند النضج من مختلف الأشجار وتم استبعاد الثمار الفاسدة .

تم تنفيذ البحث في الفترة الواقعة ما بين كانون الأول 2021 وحزيران 2023.

طريقة العمل :

جمع العينات النباتية:

جمعت الثمار في حالة النضج الكامل وذات مظهر خارجي صحي في صيف 2021، وذلك من الموقعين المدروسين.

تمت تعبئة العينات المأخوذة بأكياس نايلون ملائمة محكمة الإغلاق ومن ثم سجلت عليها المعلومات اللازمة بعد ترقيمها ونقلتها إلى المختبر وحفظت في الثلاجة على درجة حرارة (-20 م) لحين إجراء التحاليل اللازمة.

تحضير العينة :

تم تحليل السكريات (فركتوز، غلوكوز، سكروز) في عصير ثمار الكرز، باستخدام تقنية الفصل الكروماتوغرافي السائل عالي الأداء (HPLC) الشكل (1)، استند التحليل على الطريقة المعدلة لـ (Melgarejo *et al.* (2000)، حيث تم أخذ 5 gr من عصير الثمار لتحليل السكريات من كل صنف، تم تثقيب العصير لمدة 5 دقائق 1200 دورة/دقيقة باستخدام جهاز الطرد المركزي، ثم تم خلط العينات بشكل متجانس ، و تخزينها بالدرجة -20 درجة مئوية لحين التحليل، وعند التحليل تم ترشيح العصير باستخدام فلتر خاصة ذات قطر 0,45 ميكرون ثم تم حقنها في جهاز HPLC.

الشروط الكروماتوغرافية :

تم اجراء التحليل HPLC على نظام Shimadzu المجهز بمضخة متدرجة رباعية LC-20 AT والحاقد الآلي SIL-20A تم الفصل على العمود نوع (5µm) 250×4.6 mm -NH₂ Teknokroma، الكاشف RID-10A (قرنية الانكسار)، واستخدم الطور المتدفق أسيتونتريل: ماء (15:85) وكان معدل التدفق 1ml / min وتم التحليل في المعهد العالي للبحوث البيئية- جامعة تشرين.



الشكل (1) جهاز الكروماتوغرافيا السائلة HPLC

4- النتائج والمناقشة:

تم تحليل السكريات الموجودة في عصير ثمار الكرز المأخوذة من مواقع الدراسة باستخدام تقنية الـ HPLC وتحديد تركيز السكريات من سكر العنب وسكر الفاكهة وسكر القصب وتم عرض النتائج التي حصلنا عليها في الجدول التالي:

الجدول (1): نتائج تحليل السكر في عصير ثمار الكرز باستخدام تقنية الـ HPLC

العينة	فركتوز %	غلوكوز %	سكروز %
عين الوادي /A/Bing/	5.75	8.78	0.29
بيرين /B/Bing/	4.91	9.05	0.33
عين الوادي /C/Rainer/	4.35	7.29	0.12
بيرين /D/Rainer/	7.23	12.00	0.28

تركيز المحلول العياري: 0.4 %

يوضح الجدول السابق أن السكر المهيمن في عصير ثمار الكرز هو سكر العنب (الغلوكوز) بينما سُجلت أقل قيمة لسكر القصب (السكروز).

وهذا متوافق مع النتائج التي تم الحصول عليها في دراسة تتضمن تحليل عصير ثمار الصنف بنغ في الولايات المتحدة الأمريكية (22).

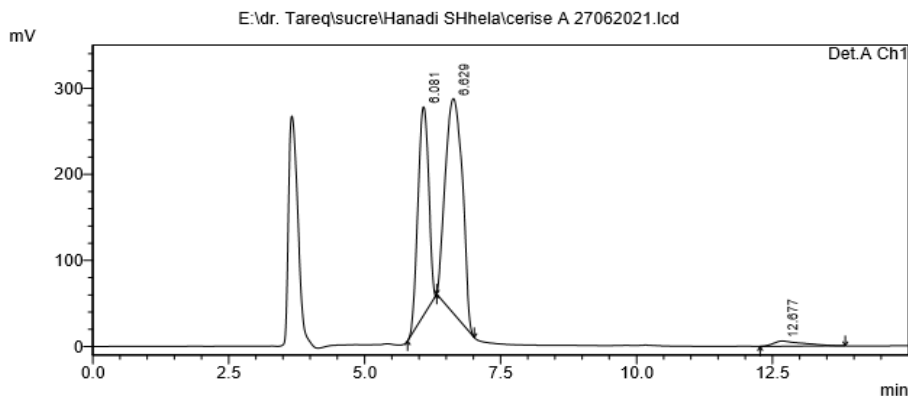
وفي دراسة أخرى لتراكيز السكريات في عصائر أصناف متنوعة من الكرز التي فصلت بتقانة الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء وجد ارتفاع في تركيز سكر العنب والذي تراوحت قيمته بين (5.5،8.8) g، وسكر الفاكهة بين (4.4-6.4) g (Girard and Kopp., 1998). وقد أبلغ باحثون آخرون (Ma et al., 2014) في دراسة لهم عن نتائج مشابهة لنتائج دراستنا. تتفق نتائج دراستنا أيضاً فيما يتعلق بالسكريات التي تم فحصها مع تلك التي توصل إليها الباحثان Wrolstad & Schallenger (1981) الذين ابلغوا عن قيم متوسطة لمجموعة كبيرة ومتنوعة من ثمار الكرز بلغت (7.09،7.78) g للغلوكوز والفركتوز على التوالي، وهذه النتائج أيضاً قابلة للمقارنة مع تلك النتائج التي حصل عليها Wills et al. (1987) للثمار الكرز الأسترالي.

في دراسات أخرى كانت نسبة السكروز منخفضة (0.64) g، في حين لم يتم اكتشاف السكروز في بعض أصناف الكرز Wrolstad et al. (1990).

تم اثبات طريقة HPLC لتكون طريقة مناسبة لفصل وقياس السكريات من فركتوز وغلوكوز وسكروز في وقت قصير و فصل جيد.

كانت نتائج تحليل العينات متفقة بشكل جيد مع تلك التي حصل عليها آخرون [28]

<Chromatogram>

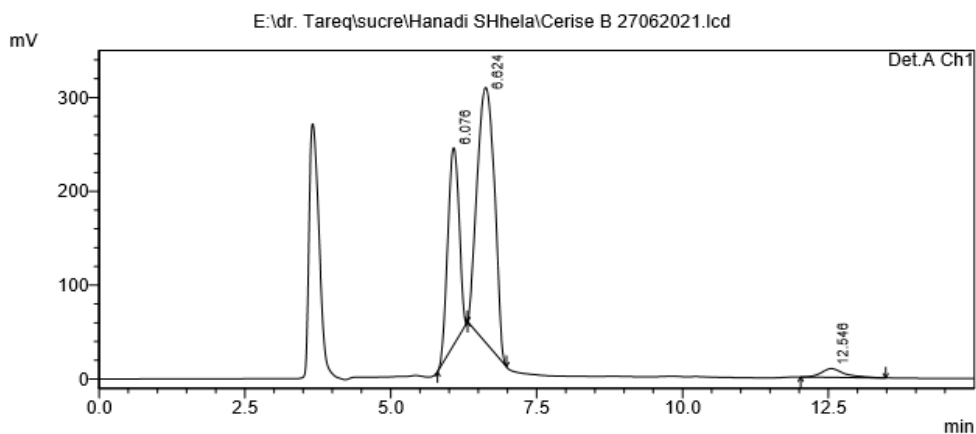


PeakTable

Name	Ret. Time	Area	Height	Width at 50% Height
RT6.081	6.081	3318305	242483	0.223
RT6.629	6.629	5437901	249214	0.377
RT12.677	12.677	227480	5914	0.616
		8983686	497611	

الشكل (2): كروماتوغرام يبين فصل السكريات في العينة A.

<Chromatogram>

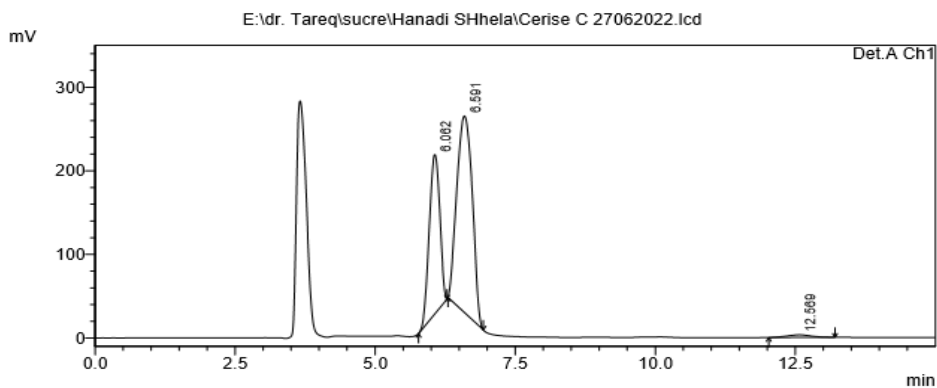


PeakTable

Name	Ret. Time	Area	Height	Width at 50% Height
RT6.076	6.076	2836844	210160	0.220
RT6.624	6.624	5606941	271599	0.352
RT12.546	12.546	264254	9382	0.387
		8708040	491141	

الشكل (3): كروماتوغرام يبين فصل السكريات في العينة B.

<Chromatogram>



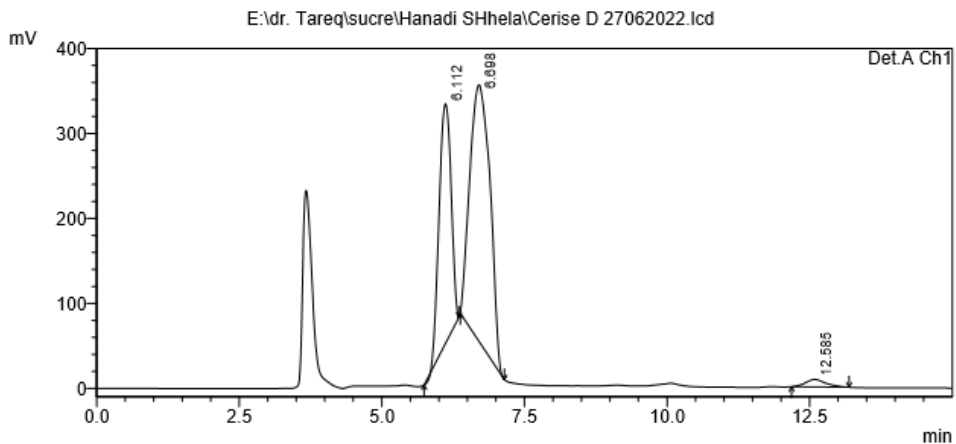
PeakTable

Detector A Ch1

Name	Ret Time	Area	Height	Width at 50% Height
RT6.062	6.062	2510746	191013	0.213
RT6.591	6.591	4513323	234916	0.326
RT12.569	12.569	92812	3077	0.470
		7116881	429006	

الشكل (4): كروماتوغرام يبين فصل السكريات في العينة C.

<Chromatogram>



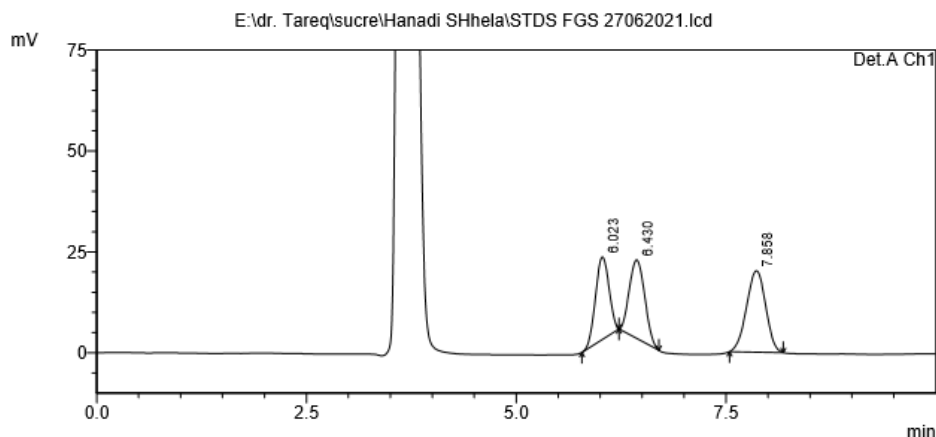
PeakTable

Detector A Ch1

Name	Ret. Time	Area	Height	Width at 50% Height
RT6.112	6.112	4174643	282872	0.244
RT6.698	6.698	7430444	301863	0.427
RT12.585	12.585	220872	8827	0.376
		11825960	593562	

الشكل (5): كروماتوغرام يبين فصل السكريات في العينة D.

<Chromatogram>



PeakTable

Name	Ret. Time	Area	Height	Width at 50% Height
RT6.023	6.023	231017	20492	0.180
RT6.430	6.430	247787	19443	0.207
RT7.858	7.858	319141	20147	0.251
		797945	60083	

الشكل (6): كروماتوغرام يبين فصل السكريات في المحلول المعياري.

5-الإستنتاجات والتوصيات

1. إن تقنية الـ HPLC مناسبة لفصل وقياس السكريات بشكل دقيق وسريع وفي وقت واحد.
2. بينت الدراسة أن الغلوكوز هو السكر الأعلى نسبةً بينما للسكروز نسبة قليلة جداً.
3. اجراء دراسات معمقة على أصناف الكرز الحلو المختلفة المنتشرة في سورية.

6- المراجع

- 1-SMITH, I, 2013-Chromatography: Elsevier.
- 2-SNYDER, L.R,1968. In Modern Practice of Liquid Chromatography, Marcel Dekker, New York.
- 3- SKOOG, D. A, WEST, D. M, HOLLER, F. J, CROUCH, R. C, 1964. Analytical Chemistry an Introduction 7th , Harcourt College, Philadelphia.
- 4- HARVEY, D, 1982.Modern Analytical Chemistry, Depauw University, (578).
- 5- SUNDLE, I, MURKOVIC, M, BONDANIENE, D, WINKLHOFFER, B ,M, 2007 .J. Clinical Nutrition, 26 (1), 145.
- 6- WESTPHAL, Y, SCHOIS, H, VORAGEN, A, GRUPPEN, H, 2010. Introducing porous graphitized carbon liquid chromatography with evaporative light scattering and mass spectrometry detection into cell wall oligosaccharide analysis. Journal of Chromatography .A, 1217(5), 689–695
- 7-KELEBEK, H and SELLI, S , 2011. Evaluation of chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. International Journal of Food Sci Technol,46:2530 – 2537.
- 8-FAZZARI,M, FUKUMOTO, L, MAZZA,G, LIVREA, MA, TESORIERE, L and MARCO, D, 2008 .In vitro bioavailability of phenolic compounds from five cultivars of frozen . sweet cherries (*Prunus avium* L.). J Agric Food Chem, 56:3561–3568.
- 9-FERRETTI,G, BACCHETTI,T, BELLEGGIA,A, NERI, D, 2010. Cherry Antioxidants: From Farm to Table, Molecules,15, 6993-7005.

10-MOZAFFARI, J, JAMALI,H, KAVAND,A.R, SADEGHIAN, S.Y, BOUZARI, N, 2011. DNA fingerprinting of commercial cherry cultivars in Iran. Ministry of Jihad-eagriculture. Agricultural research and education organization, Seed and Plant Improvement Institute,Final report of project, 110.

11-RADICEVIC,S, NIKOLIC,D, CEROVIC,R, DORDEVIC,M, 2013.In vitro pollen germination and pollen grain morphology in some sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars, Romanian Biotechnological Letter ,18, 8341- 8349.

12-DENG, G.F, LIN, X, XU, X.R, GAO, L.L, XIE, J.F, LI, H.B,2013. Antioxidant Capacities and Total Phenolic Contents of 56 Vegetables. Journal of Functional Foods, 5(1), 260–266.

13-CONTESSA, C, MELIANO, M.G, BECCARO, G.L, GIUSIANO, A, BOTTA, R, 2013.Total Antioxidant Capacity and Total Phenolic and Anthocyanin Contents in Fruit Species Grown in Northwest Italy. Scientia Horticulturae, 160, 351–357.

14-EGEA, I, SANCHEZ-BEL, P, ROMOJARO, F, PRETEL, M.T,2010. Six Edible Wild Fruits as Potential Antioxidant Additives or Nutritional Supplements. Plant Foods for Human Nutrition, 65(2), 121–129.

15-BUNCH, B, FINDLAY, R. M , 1984. Export stonefruit tree survey - progress report. The orchardist of New Zealand. 57: 205-.209

16- BROCARD, I. M, LYNCH, T. J, FINKEISTEIN, R. R,2002 . Regulation and role of the Arabidopsis abscisic acid-insensitive 5 gene in abscisic acid, sugar, and stress response. Plant Physiology, 129(4), 1533–1543.

17-CHENG, W. H, ENDO, A, ZHOU, L, PENNEY, J, CHEN, H. C,ARROYO, A, 2002. A unique short-chain dehydrogenase/reductase in Arabidopsis glucose signaling and

abscisic acid biosynthesis and functions. Plant Cell, 14(11), 2723-2743.

18-BROKL, M, HERNANDEZ, O, SORIA, A. C, SANZ, M. L,2011. Evaluation of different operation modes of high performance liquid chromatography for the analysis of complex mixtures of neutral oligosaccharides. Journal of Chromatography A, 1218, 7697–7703.

19- GOTO, T, KONDO, T,1991 . Structure and molecular stacking of anthocyanins - flower color variation. Angewandte Chemie International; English edition 30: 17-33.

20- KRISHNAN, H. B, PUEPPKE, S. G,1990. Cherry fruit invertase: partial purification, characterization and activity during fruit development. Journal of plant physiology, 135: 662-666.

21-MELGAREJO, P, SALAZAR, D.M, and ARTES,F, 2000. Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits. European Food Res. Technol, 211: 185–190.

22- GARDINER ,.A.M, BEYER, R. MELTON,D.L, 1993. Sugar and anthocyanidin content of two processing-grade sweet cherry cultivars and cherry products. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. Vol. 21: 213-218.

23- GIRARD, B, KOPP, T. G, 1998.Physicochemical characteristics of selected sweet cherry cultivars. J. Agric. Food Chem, 46 , 471– 476.

24- MA, CH, SUN, Z, CHEN, C, ZHANG, L, ZHU, S, 2014. Simultaneous separation and determination of fructose, sorbitol, glucose and sucrose in fruits by HPLC–ELSD. Food Chemistry, 145, 784–788.

25- WROLSTAD, E, SCHALLENBERGER, R ,1981. Free sugars and sorbitol in fruits-a compilation from the literature. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 64: 91-103.

- 26- WILLS, R. B. H, LIM, J. K, GREENFIELD, H,1987.
Composition of Australian foods. 40. Temperate fruits. Food
technology in Australia ,39: 520521, 530.
- 27- Wrolstad, R. E, Skrede, G, Lea, P, Enersen, G, 1990. Influences
of sugar on anthocyanin pigment stability in frozen strawberries.
Journal of food science 55: 1064-1065.
- 28- USENIK, V, FABC, J, STAMPAR, F, 2008. Sugars, organic
acids, phenolic composition and antioxidant activity of sweet cherry
(*Prunus avium* L.). Food Chemistry, 107(1), 185–192.