

# مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 14

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

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

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](http://www.homs-univ.edu.sy)

. البريد الإلكتروني : [journal.homs-univ.edu.sy](http://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
38-11	ربيع منصور أ.د. أحلام إبراهيم	الخصائص البتروغرافية والجيوكيميائية لدولوميت الجوراسي الأسفل – الأوسط في رقعتي القرداحة والقدموس، السلسلة الساحلية، سورية.
62-39	نسرین دميان أ.د. محمد مضر الخضر د. خالد الزبير	اصطناع معقدات جديدة باستخدام مشتقات دي فينيل بيريدين هيدرازون
92-63	محمد سهيل عيسى أ.د. عبد الرزاق الصوفي	تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألمنيوم مشابة بالسيليكون والمغنزيوم
122-93	ملك العلي أ.د. أنيس بلال د. مفيد دياب	دراسة أثر الإضافة التبددية في الكمون الضوئي للمنظومة (P+ <sup>96</sup> Rh) باستخدام طريقة VMA
148-123	قتيبة أحمد العلي أ.د. برلنت صبري مطيط	الحل العددي لمعادلة التوصيل الحراري في بعد واحد باستخدام خوارزمية (SM-RG)



## الخصائص البتروغرافية والجيوكيميائية لدولوميت الجوراسي الأسفل – الأوسط في رقعتي القرداحة والقدموس، السلسلة الساحلية، سورية.

أحلام إبراهيم\*

ربيع منصور\*\*

### المخلص

نفذت هذه الدراسة في وسط السلسلة الساحلية من الجمهورية العربية السورية وتحديدًا في الجزء الشرقي من رقعتي القرداحة والقدموس في البروزات الصخرية العائدة لدور الجوراسي، بهدف تحديد تركيب سائل الدلمتة وأصل الدولوميت في منطقة الدراسة ودرجات حرارة تشكل بلورات الدولوميت ودرجة ترتيب بنيتها البلورية، وذلك نظراً لأهمية عملية الدلمتة ودورها في فهم التاريخ الدياجينيزي في المنطقة. تم رفع مقطعين جيولوجيين في توضعات الجوراسي الأسفل - الأوسط، الأول في قرية شطحة شمال رقعة القراحة والثاني في قرية رام ترزة في رقعة القدموس. جمعت عينات صخرية من هذه التوضعات. جهّزت 40 شريحة مجهرية لدراستها تحت المجهر الاستقطابي، وتحديد تركيبها البتروغرافي ومورفولوجية بلورات الدولوميت، كما تم القيام بتحليل SEM (الماسح الإلكتروني المجهرية) وتحليل EDX (تحليل نقطي) لـ 10 عينات نموذجية من كلا المقطعين بهدف معرفة محتوى العناصر الرئيسية والأثر وبعض العناصر الترابية النادرة (REE). بيّنت الدراسة المجهرية أن معظم بلورات الدولوميت ذات نسيج غير مستوي كما بيّنت أيضاً وجود نطاق دولوميتي ونطاق كالسيتي ونطاق دولوميتي كلسي حول بعض بلورات الدولوميت تشكلت هذه النطاقات نتيجة اختلاف النسبة Ca/Mg في سوائل الدلمتة وبيّنت الدراسة الجيوكيميائية أن الدولوميت في

\*أستاذ دكتور - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة اللاذقية - سوريا.

\*\* طالب دكتوراه - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة اللاذقية - سوريا.

منطقة الدراسة من أصل مستبدل نتيجة علاقة الارتباط السالبة بين عنصري الكالسيوم والمغنيزيوم كما بينت أيضاً أن بلورات الدولوميت ذات درجة ترتيب عالية (دولوميت نموذجي) وذلك تبعاً للنسبة اللوغاريتمية لعنصري الكالسيوم والمغنيزيوم وتبين أيضاً من خلال علاقة الارتباط الموجبة بين عنصري البوتاسيوم والألمنيوم وارتفاع نسبة الهولميوم مقارنة مع الايتيريوم إلى تداخل المواد الحطامية في الصخور الكربوناتية.

**الكلمات المفتاحية:** القرداحة، القدموس، جوراسي، هولميوم، ايتيريوم، نطاق دولوميتي.

# **Petrographic and Geochemical characteristics of Lower - Middle Jurassic dolomite in the AL-Querdaha and AL-Qadmous Sheets, Coastal Chain, Syria**

**Dr. Ahlam Ibrahim\***

**Rabea Mansour\*\***

## **Abstract**

This study was realized in the middle of the coastal chain of the Syrian Arab Republic, specifically in the eastern part of the AL Querdaha and Qadmous Sheets in the Jurassic , we aimed to determine the composition of the dolomite fluid, the origin of the dolomite in the studied, the temperatures of dolomite crystal formation, and the degree of arrangement of their crystal structure, due to the importance of the dolomite process and its role in understanding the diagenetic history of the region. two geological sections were raised in the Lower - Middle Jurassic deposits, the first section is located in the village of Shatha north of the Querdaha Sheet, and the second is located in the village of Ram Tarzah in the Qadmous Sheet. Rock samples were collected from these deposits. we prepared 40 thin section to determine their petrographic composition and the morphology of the dolomite crystals. SEM (scanning electron microscope) and EDX (Point analysis) were also performed for 10 typical samples from both sections in order to know the content of the main and trace elements and some rare earth elements (REE). The microscopic study showed that most of the dolomite crystals have a non-plane texture. It also showed the presence of a dolomite zone, a calcite zone, and a calcite dolomite zone around some of the dolomite crystals. These zones were formed as a result of the difference

---

\* Professor, Department of geology, Faculty of Science, Tishreen University, Syria.

\*\*Postgraduates, Department of geology, Faculty of Science, Tishreen University, Syria.

in the Ca/Mg ratio in the dolomitization fluids. The geochemical study showed that the dolomite in the study area is of a replaced origin as a result of the negative correlation between the elements calcium and magnesium. It also showed that the dolomite crystals have a high degree of order (typical dolomite) according to the logarithmic ratio of the elements calcium and magnesium. It was also shown through the positive correlation between the elements potassium and aluminum and the high percentage of holmium compared to yttrium to the interference of debris materials in the carbonate rocks.

**Key Words:** AL-Querda. AL-Qadmous. Jurassic Holmium. Yttrium. Dolomite zone.

## مقدمة:

ظلّ تشكّل الدولوميت مشكلة محيرة للجيولوجيين على مدى 200 عام، حيث تم تقديم العديد من نماذج الدلمتة كنموذج السبخات، الارتجاع-انحسار، التبخر، تداخل المياه والتغير المكروبي [6] [1] [2] [3] [4] [5].... الخ وقد فشلت بعض النماذج المقدمة في تفسير عملية الدلمتة.

يوجد عدة معايير يجب أن يحققها النموذج لكي يتم اعتماده كنموذج للدلمتة [7]:

- ترموديناميكياً: بالنسبة للدولوميت المتشكل بالترسيب المباشر من مياه البحر، يجب أن يتوفر فوق إشباع بالدولوميت وإشباع متباين فيما يتعلق بالكالسييت والأراغونيت، أما بالنسبة للدولوميت المستبدل فيجب أن يتوفر تحت إشباع بالكربونات وإلا سوف يتشكل ملاط الدولوميت.
- حركياً: يجب أن يكون معدل تشكل بلورات الدولوميت مساوياً أو أكبر من معدل انحلال كربونات الكالسيوم وإلا سوف تتشكل مسامية انحلال واسعة قد تصل إلى مقياس الكارست.
- هيدرولوجياً: يجب أن يكون تدفق سوائل المسام مستمراً لفترات طويلة الأمد وذو محتوى عالي من المغنيزيوم.

تعدّ الخصائص البتروغرافية والجيوكيميائية للدولوميت عامل رئيس في تحديد نموذج الدلمتة، أهم ما يميز الدولوميت من الناحية البتروغرافية هو تشكل نطاقات حول البلورات. تمت دراسة النطاقات حول بلورات الدولوميت والآليات التي شكلتها من قبل عدد كبير من الباحثين حيث يمكن أن تتشكل نطاقات الدولوميت نتيجة لفرط النمو حول بلورات الدولوميت والنتائج عن استمرار تدفق سوائل الدلمتة [1] ويمكن أن تتشكل كنتيجة للاختلاف في تركيب سائل

الدلمتة، فتوجد نطاقات متنوعة حول بلورات الدولوميت كالنطاق الدولوميت الكلسي، الدولوميتي الحديدي، الكالسييني والنطاق الهيماتيتي [8] [9].

يحتوي الدولوميت على مجموعة من الأكاسيد الرئيسية، وبشكل أساسي أكسيد الكالسيوم والمغنيزيوم (MgO, CaO) إضافة لمجموعة من الأكاسيد الأخرى كأكاسيد الصوديوم، الحديد، الألمنيوم والبوتاسيوم.

يمكن أن تعكس التغيرات في محتويات MgO و CaO نوع ودرجة الدلمتة [10] [11] حيث إن معظم الدولوميت في الطبيعة لديه فائض من الكالسيوم ويقابله عجز في المغنيزيوم، بالإضافة إلى ترتيب مثالي أقل [12] [7] يمكن أن تكون علاقة الارتباط بين أكسيد الكالسيوم وأكسيد المغنيزيوم موجبة أو سالبة، حيث تشير العلاقة الموجبة إلى أن الدولوميت تشكل بالترسيب المباشر، في حين تشير العلاقة السالبة إلى أن الدولوميت تشكل نتيجة لاستبدال شوارد الكالسيوم في الكالسييت بشوارد المغنيزيوم في سوائل الدلمتة، بعد فترة من توضع الرسوبيات [13] [11] [14].

على المستوى المحلي أجريت دراسة بتروغرافية وجيوكيميائية لظاهرة الدلمتة في صخور الجوراسي الأوسط في رقعة القرداحة خلصت الدراسة إلى أن الدلمتة تتبع نموذج الارتجاع-انحسار وأن سائل الدلمتة يتجه من شمال منطقة الدراسة باتجاه الجنوب كما بينت أيضا أن بلورات الدولوميت ذات نسيج مستوي [15].

#### أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في فهم منشأ الدولوميت اعتماداً على الخصائص البتروغرافية ومحتوى العناصر الرئيسية والأثر في الصخور الدولوميتية.

يهدف البحث إلى:

1. تحديد تركيب سائل الدلمتة لدولوميت الجوراسي الأسفل-الأوسط في رقعتي القرداحة والقدموس.
2. تحديد أصل دولوميت الجوراسي الأسفل-الأوسط في رقعتي القرداحة والقدموس، ودرجات حرارة تشكل بلوراته، ودرجة ترتيب بنيته البلورية.

### طريقة العمل:

تم القيام بخمس جولات حقلية لمنطقة الدراسة، ورفع مقطعين جيولوجيين في توضعات الجوراسي الأدنى، وأخذت عينات صخرية من هذه التوضعات. تم تجهيز 40 شريحة مجهرية من العينات الصخرية باستخدام جهاز القطع الموجود في قسم الجيولوجيا بجامعة تشرين، بغية دراستها تحت المجهر الاستقطابي (SCO-35). تم استخدام المجهر الإلكتروني الماسح (VEGA11XMU) الموجود في هيئة الطاقة الذرية في دمشق بغية تصوير عروق الانحلال والنطاقات حول بلورات الدولوميت، كما تم تحليل EDX (مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية) لـ 10 عينات نموذجية من كلا المقطعين، وذلك لتحديد محتواها من العناصر الرئيسية والأثر، باستخدام المجهر الإلكتروني.

### الإطار الجيولوجي العام لمنطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في وسط السلسلة الساحلية وتحديداً في الجزء الشرقي من رقعتي القرداحة والقدموس في البروزات الصخرية العائدة لدور الجوراسي.

تقع رقعة القرداحة بين الإحداثيات التالية:

E: 36°15'00" E: 36°00'00"

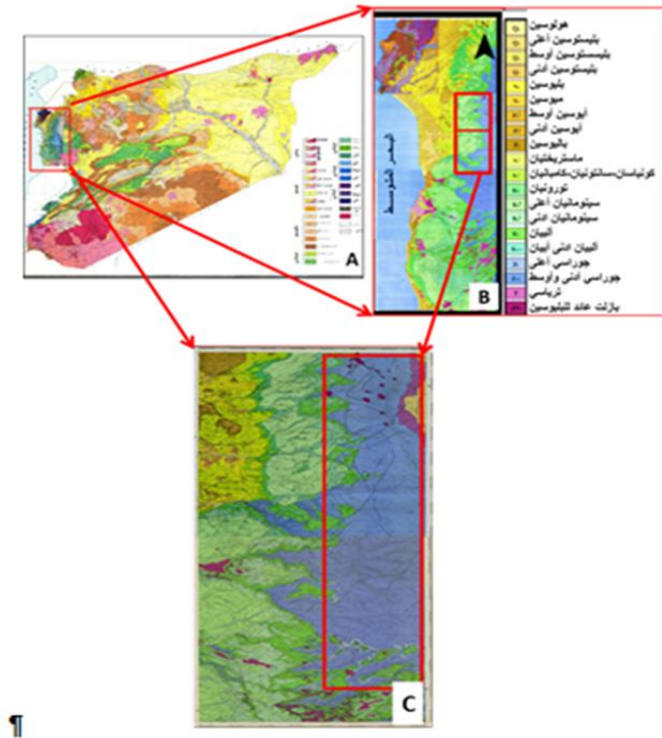
N: 35°30'00" N: 35°15'00"

وتقع رقعة القدموس بين الإحداثيات التالية:

E: 36°15'00" E: 36°00'00"

N: 35°15'00" N: 35° 00'00"

يتكشف الجوراسي، من الناحية الستراتغرافية، بشكل واسع في السلسلة الساحلية وتكون  
توضعاته كربوناتية بشكل عام (صخور كلسية ودولوميتية)، وقد تم تقسيمه إلى خمس  
تشكيلات نموذجية هي: 1-تشكيلة الطريز، 2- تشكيلة العيون، 3- تشكيلة المشتى، 4-  
تشكيلة وادي العيون، 5- تشكيلة الناصرة [16] الشكل (1).



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة بالنسبة للسلسلة الساحلية والجمهورية العربية السورية.

A-الخارطة الجيولوجية السورية بمقياس 1/100000 [17] B -الخارطة الجيولوجية للسلسلة

الساحلية بمقياس 1/50000 [18] [19] [20] [21] [22].

C-الخارطة الجيولوجية لرقعتي القرداحة والقدموس بمقياس 1/50000 [19] [21].

### النتائج والمناقشة:

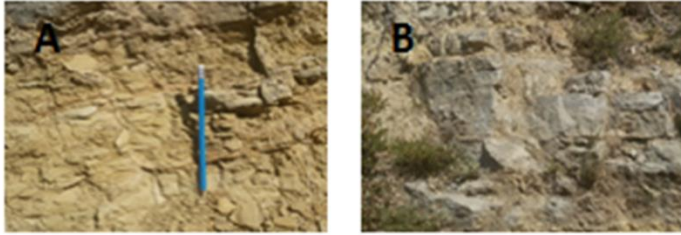
#### العمل الحقلية:

تم رفع مقطعين جيولوجيين من خلال الجولات الحقلية في توضعات الجوراسي الأدنى، يقع المقطع الأول شمال منطقة الدراسة (قرية شطحة، رقعة القرداحة) بين الإحداثيات التالية:

$35^{\circ} 29' 14.7'' \text{ N } 35^{\circ} 28' 51.51'' \text{ N}$

$36^{\circ} 13' 52.72'' \text{ E } 36^{\circ} 13' 51.21'' \text{ E}$

أخذ من هذا المقطع 15 عينة صخرية، يبدأ المقطع بسويات مارنية بسماكة 10 متر يعلوها طبقات مترية من الحجر الكلسي المدلمت الشكل (3).



الشكل (3) A صورة حقلية للسويات المارنية. B صورة حقلية لتطبقات الحجر الكلسي المدلمت.

يقع المقطع الثاني جنوب منطقة الدراسة (قرية رام ترزة، رقعة القدموس) بين الإحداثيات التالية:

$35^{\circ} 10' 40,91'' \text{ N } 35^{\circ} 10' 46,82'' \text{ N}$

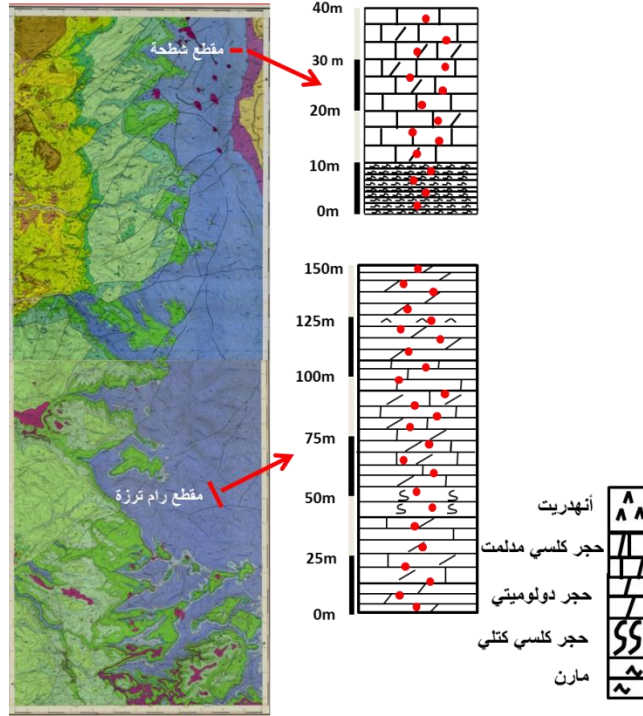
$36^{\circ} 12' 52,99'' \text{ E } 36^{\circ} 12' 51,09'' \text{ E}$

أخذ من هذا المقطع 25 عينة صخرية، يبدأ المقطع بتطبقات مترية من الحجر الدولوميتي بسماكة 45م يعلوها توضعات من الحجر الكلسي الكتلي بسماكة 10م الشكل (4)



الشكل (4) صور حقلية لبعض الأجزاء من مقطع رام ترزة A يظهر فيها تطبيقات مترية من الحجر الكلسي المدلمت، B يظهر فيها توضعات من الحجر الكلسي الكتلي.

يعلوها توضعات غير واضحة التطبق من الحجر الكلسي المدلمت جزئياً بسماكة 40م يتوضع فوقها طبقات من الحجر الكلسي الطري بسماكة 15م وينتهي المقطع بطبقات ذات لون رمادي من الحجر الكلسي المدلمت بسماكة 40م يتخللها طبقة من الانهدريت بسماكة 1م، الشكل (2).



الشكل (2) خارطة جيولوجية لمنطقة الدراسة ممثل عليها عمودين جيولوجيين لمقطعي شطحة (مقياس 1/1000) ورام ترزة (مقياس 1/2500). تشير النقاط الحمراء في كلا المقطعين إلى مواقع أخذ العينات الصخرية.

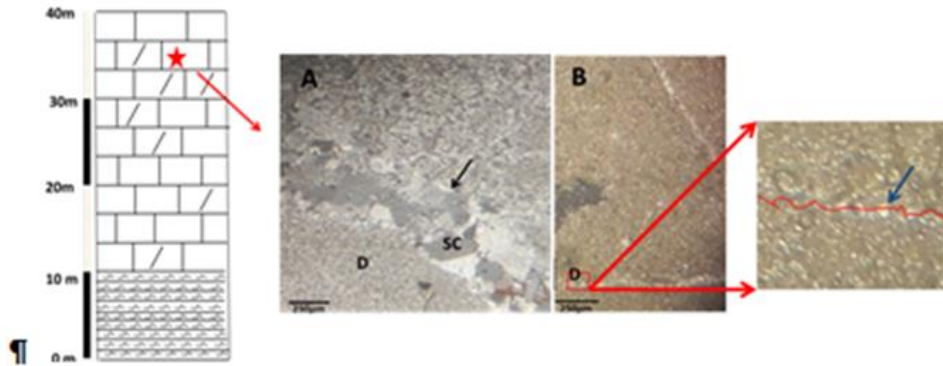
### العمل المخبري:

### الدراسة المجهرية:

ركزت الدراسة المجهرية على العينات الدولوميتية فقط تقيداً بأهداف هذا البحث.

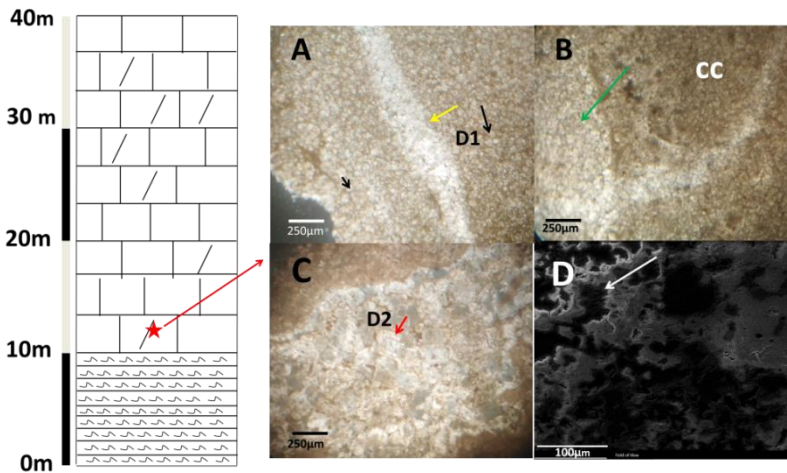
### مقطع شطحة:

بينت الدراسة المجهرية لـ 5 عينات دولوميتية مأخوذة من هذا المقطع وجود بلورات من الدولوميت خفي التبلور (دولوميكريت) بلوراته ذات نسيج مستوي ووجوه بلورية مكتملة، تشكل في بيئات الدياتينيز السطحية ذلك لكون بلوراته مقطوعة بالاستيلوليت ضعيف السعة وبالتالي فهو سابق لتشكل الستيلوليت المتشكل خلال دياتينيز الدفن الضحل كما يلاحظ عروق انحلال مملوءة ببلورات من السباريت الشكل (3).



الشكل (3) صورة مجهرية تحت المهر الاستقطابي. A يظهر فيها بلورات من الدولومكريت (D) كما يلاحظ فيها عرق انحلال (السهم الأسود) مملوء ببلورات من السباريت (SC). B يظهر فيها تأثر بعض بلورات الدولومكريت بالاستيلوليت ضعيف السعة (السهم الأزرق)

كما بينت الدراسة المجهرية وجود بلورات من الدولوميت ذات نسيج غير مستوي ووجوه بلورية غير مكتملة إضافة إلى نسبة قليلة من بلورات الدولوميت ذات نسيج مستوي ووجوه بلورية مكتملة ضمن ارضية من الغضار المكريت ويلاحظ أيضاً وجود عروق انحلال حاوية على بلورات من الكالسيت. تشكلت عروق الانحلال نتيجة الانضغاط الأولي للرواسب خلال الدياجينيز متوسط العمق الشكل (4).



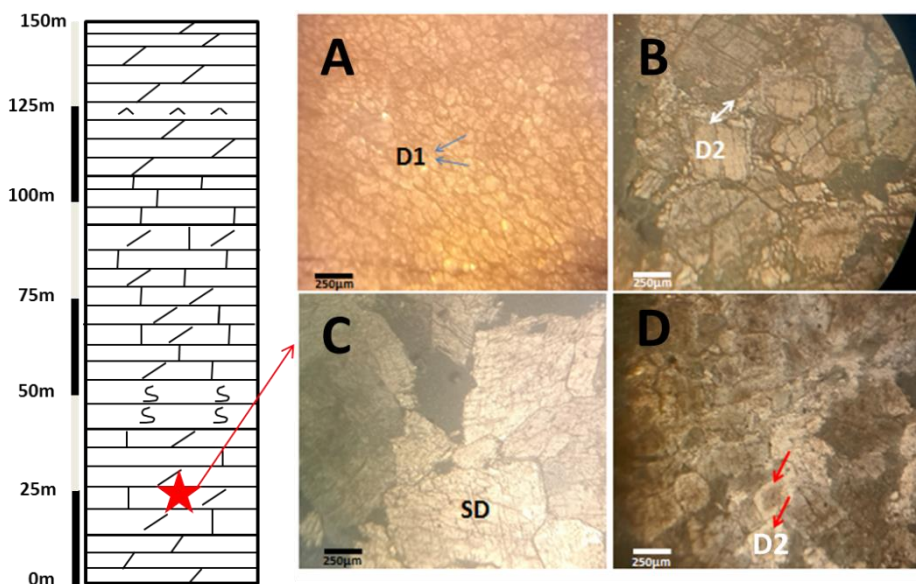
الشكل (4) صور مجهرية لبعض العينات النموذجية المأخوذة من مقطع شطحة. A يظهر فيها بلورات من الدولوميت الأولي D1 ذات نسيج غير مستوي ووجوه بلورية غير مكتملة (السهم الأسود) إضافة إلى وجود عروق

انحلال حاوية على بلورات من الكالسيت (السهم الأصفر)، B يلاحظ وجود ملاط غضاري جامع لبلورات الدولوميت (CC) ويلاحظ حوادث إعادة تبلور وانحلال واسعة النطاق تمت من خلال العروق (السهم الأخضر)، يظهر في الشريحة C نطاقات حول بلورة الدولوميت الثانوي D2، D صورة (SEM) بالمجهر الإلكتروني الماسح للشريحة B يلاحظ فيها تآكل وانحلال لنسيج الدولوميت.

ويلاحظ حوادث إعادة تبلور واسعة النطاق تمت من خلال هذه العروق الشكل (4B,C) أدت حوادث إعادة التبلور إلى زيادة في حجم بلورات الدولوميت الأولي الشكل (4A) وإنتاج بلورات الدولوميت الثانوي الشكل (4C).

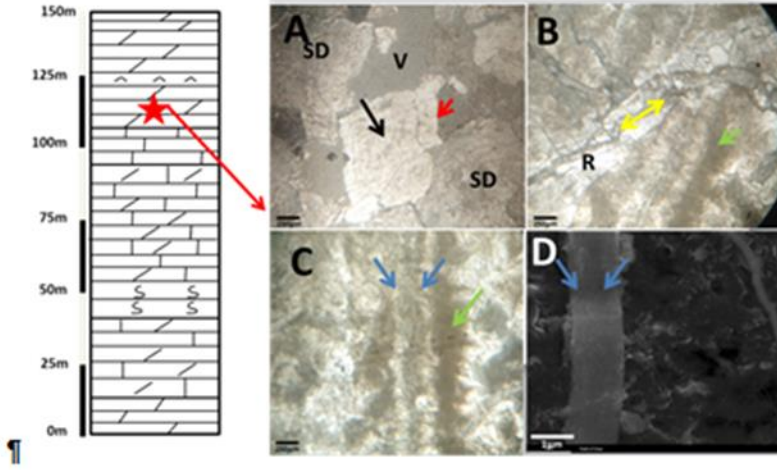
#### مقطع رام ترزة:

بينت الدراسة المجهرية لـ 8 عينات مأخوذة من هذا المقطع وجود ثلاث أنواع من بلورات الدولوميت النوع الأول : دولوميت أولي ذو نسيج غير مستوي ووجوه بلورية غير مكتملة ، النوع الثاني: دولوميت ثانوي أكبر حجما من النوع الأول ناتج عن إعادة تبلور لبلورات الدولوميت الأولي خلال الدياجينيز متوسط العمق، النوع الثالث: دولوميت ملاطي تكون بلوراته كبيرة الحجم وذو نسيج غير مستوي تشكل في درجات حرارة أكبر من 80 درجة مئوية خلال دياجينيز الدفن العميق تم التعرف عليه من خلال التعقيم التماوجي الشكل (5).



الشكل (5) صورة مجهرية تحت المجهر الاستقطابي لبعض العينات المأخوذة من مقطع رام ترزة A يهر فيها بلورات من الدولوميت الأولي (D1). B يظهر فيها بلورات من الدولوميت الثانوي (D2) ويحيط فيها نطاق كالسيتي (السهم الأبيض). C يظهر فيها دولوميت ملاطي (SD). D يلاحظ فيها تآكل للنطاق الكالسيتي (السهم الأحمر) حول بلورات الدولوميت الثانوي.

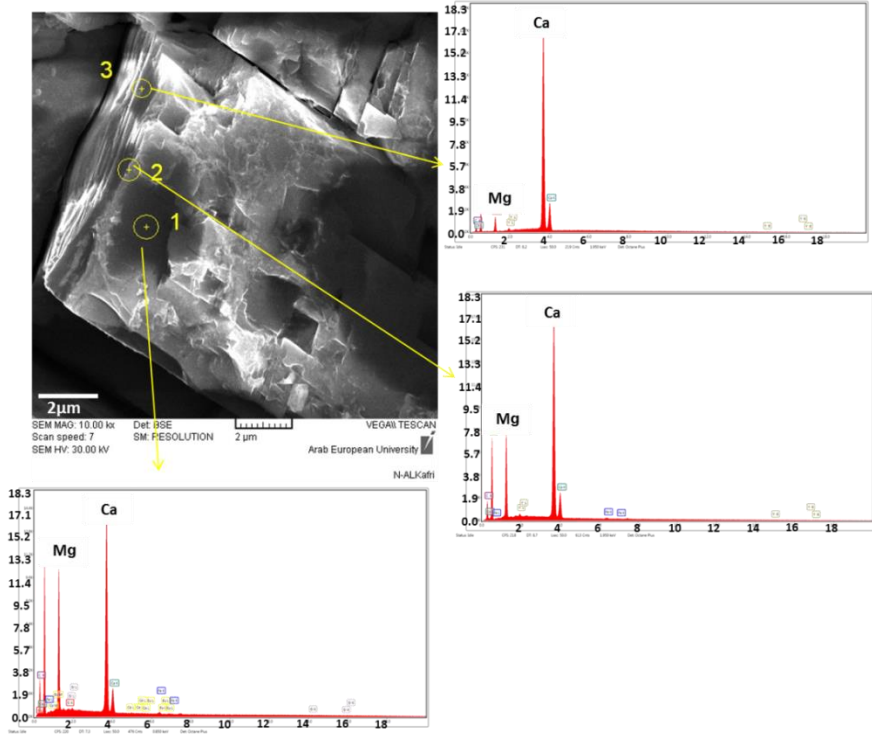
كما بينت الدراسة أيضاً وجود عروق انحلال حاوية على بلورات من الكالسيت ويوجد نطاقات متعددة حول بلورات الدولوميت كما يلاحظ تشريبات هيدروكربونية في عروق الانحلال (تم التعرف عليها لكونها عاتمة مع ومن دون محل وأيضاً من خلال تعريض عينة اليد للحرارة فانبعثت منها رائحة تشبه الاسفلت) ويلاحظ أيضاً وجود دولوميت ملاطي وشق مجهري أثر على بلورات الدولوميت وأدى إلى حدوث إعادة تبلور لبعض بلورات الدولوميت الشكل (6).



الشكل (6) صور مجهرية لبعض العينات المأخوذة من مقطع رام ترزة. A يظهر فيها بلورة من الدولوميت كبيرة الحجم ذات نسيج غير مستوي (السهم الأسود) ويلاحظ آثار من التآكل على حواف البلورة (السهم الأحمر) كما يلاحظ أيضاً وجود دولوميت ملاطي (SD)، B، يلاحظ وجود فائق مجهري أثر على البلورات (السهم الأصفر) كما يلاحظ آثار من إعادة التبلور على طول الفائق (R) ويلاحظ أيضاً تشرّيات هيروكربوناتية (السهم الأخضر) على حواف عروق الانحلال (السهم الأزرق) في الشريحة C. D صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لعروق الانحلال.

بينت الدراسة المجهرية أن بلورات الدولوميت في توضعات الجوراسي الأدنى في السلسلة الساحلية من كلا المقطعين يغلب عليها النسيج غير المستوي مما يشير إلى تشكلها في درجات حرارة أكبر من 60 درجة مئوية خلال دياجيزيز متوسط العمق كما يشير وجود نطاقات حول بلورات الدولوميت (الشكل 4.C 5B) إلى وجود عدة مراحل من الدلمتة. تم تصوير هذه النطاقات بالمجهر الإلكتروني الماسح وتبين من خلالها أن بلورة الدولوميت المركزية ذات نسيج مستوي، مما يشير إلى تشكلها بالقرب من السطح في درجات الحرارة المنخفضة، أما النطاق الثاني فيكون غير منتظم مما يشير إلى أنه كالكلسيتي لكون الكالسيت متعدد الأشكال البلورية ولا يوجد بشكل معيني، النطاق الثالث يكون منتظم جزئياً مما يعني أنه ذو طبيعة دولوميتية (دولوميت كلسي) والتحاليل الجيوكيميائية لهذه النطاقات تدعم هذا التفسير حيث بلغت نسبة المغنيزيوم في النطاقات من الداخل إلى الخارج (2.02-10.76) (8.17) بالترتيب، وبالتالي فإن محاليل الدلمتة التي شكلت النطاق الأول كانت غنية

بالمغنيزيوم ثم بعد ذلك حدث تخفيف لمحاليل الدلمتة بسوائل بحرية عادية أدت إلى  
تشكل النطاق الكالسيطي ثم بعد ذلك حدث إغناء نسبي لمحاليل الدلمتة بالمغنيزيوم  
أدت إلى تشكل النطاق الدولوميتي الكلسي الشكل (6).



الشكل (6) صورة بالمجهر الالكتروني الماسح (SEM) لبلورة الدولوميت موضح محتوى المغنيزيوم والكالسيوم لكل نطاق تشير الارقام 1.2.3 إلى المناطق التي اسقطت عليها حزمة الالكترونات.

### الدراسة الجيوكيميائية:

تم إجراء تحليل نقطي بتقنية الـ (EDX) لبعض العينات النموذجية المأخوذة من مقطعي  
شطحة ورام ترزة بهدف تحديد نسبة العناصر الكيميائية في العينات.  
مقطع شطحة:

بينت الدراسة الجيوكيميائية للعينات المأخوذة من هذا المقطع أن نسبة المغنيزيوم في الجزء المدلمت تتراوح بين % (5.81-8.71) وبشكل وسطي % (7.47) وفي الجزء غير المدلمت تتراوح بين % (0.27-0.4) وبشكل وسطي % (0.33) وتتراوح نسبة الكالسيوم في الجزء المدلمت % (49.3-67.13) وبشكل وسطي % (58.75) وفي الجزء غير المدلمت تتراوح بين % (64.72-77.67) ونسبة الألمنيوم في الجزء المدلمت تتراوح بين % (0.02-0.4) وبشكل وسطي % (0.16) وفي الجزء غير المدلمت تتراوح بين % (0.04-0.09) وبشكل وسطي % (0.06) وتتراوح نسبة السليسيوم في الجزء المدلمت بين % (0.06-1.26) وبشكل وسطي % (0.38) وفي الجزء غير المدلمت تتراوح بين % (0.01-0.09) وبشكل وسطي % (0.05) كما بينت أيضا نسبة بعض العناصر الترابية النارة والعناصر الأثر موضحة في الجدول 1.

الخصائص البتروغرافية والجيوكيميائية لدولوميت الجوراسي الأسفل – الأوسط في رقعتي القرداحة والقدموس، السلسلة الساحلية، سورية

جدول 1: يوضح نسبة العناصر الرئيسية وبعض العناصر الأثر والترابية النادرة في العينات المأخوذة من مقطع شطحة، تشير الأرقام في الدوائر الحمراء إلى عدد النقاط التي تم فيها إجراء تحليل EDX في العينة الواحدة.

الجزء	رمز العينة	Weight%								
		Ca	Mg	Al	Si	Y	Ho	K	C	O
الجزء المدلمت	Jb-P1 ①	58.09	8.27	0.11	0.09	0.25	2.24	-	2.9	29.19
	Jb-P2 ①	49.83	7.15	-	-	0.12	0.19	-	5.17	35.83
	Jb-P2 ②	49.3	8.73	0.04	0.06	0.11	0.28	-	4.14	36.06
	Jb-P5 ①	60.24	7.72	0.05	0.12	-	0.09	-	2.49	28.4
	Jb-P5 ②	60.19	6.73	0.39	1.26	-	0.33	0.5	2.11	26.6
	Jb-P5 ③	63.34	6.56	0.29	0.76	-	0.12	0.32	1.99	24.93
	Jb-P6 ①	59.68	7.86	0.08	0.35	0.12	0.15	0.25	2.28	27.96
	Jb-P6 ②	57.83	8.68	-	0.06	0.12	0.21	-	2.64	30.06
	Jb-P14 ①	61.94	6.72	0.25	0.78	0.08	0.17	0.3	1.93	25.2
	Jb-P14 ②	67.13	5.85	0.18	0.59	0.1	0.14	0.22	1.48	22.88
الجزء غير المدلمت	Jb-P1 ②	77.76	0.41	0.09	0.03	0.22	0.13	-	2.06	18.93
	Jb-P2 ③	64.72	0.28	0.08	-	0.18	0.19	-	3.96	28.26

### مقطع رام ترزة:

بينت الدراسة الجيوكيميائية للعينات المأخوذة من هذا المقطع أن نسبة المغنيزيوم في الجزء المدلمت تتراوح بين (6.58-10.67) وبشكل وسطي (8.37) وفي الجزء غير المدلمت تتراوح بين (0.44-2.72) وبشكل وسطي (1.55) ونسبة الكالسيوم في الجزء المدلمت تتراوح بين (43.16-65.73) وبشكل وسطي (54.85) وفي الجزء غير المدلمت تتراوح بين (67.24-79.83) وبشكل وسطي (71.49) ونسبة الألمنيوم في الجزء المدلمت تتراوح بين (0.01-0.03) وبشكل وسطي (0.013%) وفي الجزء غير المدلمت تتراوح

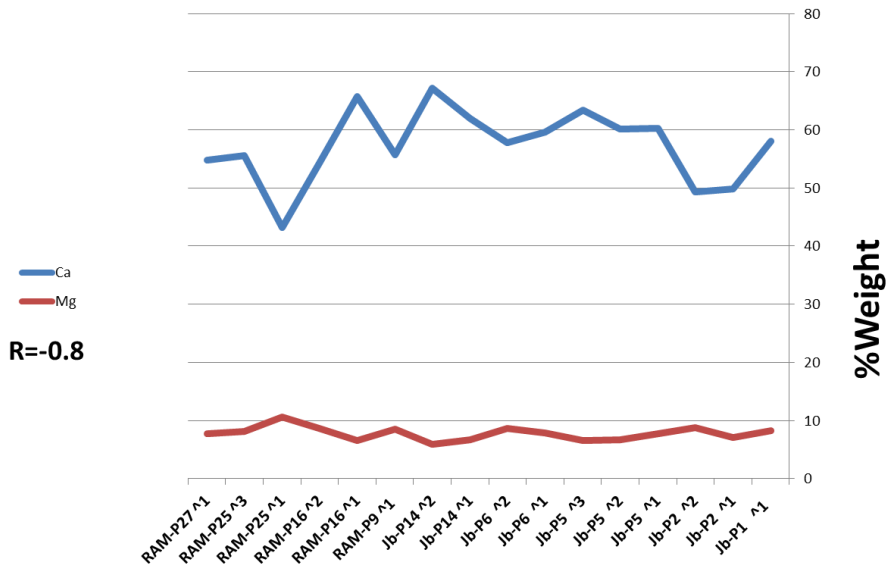
بين % (0.07-0.1) وبشكل وسطي (0.083%) ونسبة السليسيوم في الجزء المدلمت تتراوح بين % (0.06-0.52) وبشكل وسطي (0.198%) ونسبة السليسيوم في الجزء غير المدلمت تتراوح بين % (0.11-0.17) وبشكل وسطي (0.15%) كما بينت أيضاً نسبة بعض العناصر الترابية النارة والعناصر الأثر موضحة في الجدول 2.

جدول 2: يوضح نسبة العناصر الرئيسية وبعض العناصر الأثر والترابية النادرة في العينات المأخوذة من مقطع رام ترزة، تشير الأرقام في الدوائر الحمراء إلى عدد النقاط التي تم فيها إجراء تحليل EDX في العينة الواحدة.

الجزء	رمز العينة	Weight%								
		Ca	Mg	Al	Si	S	Y	Ho	C	O
الجزء المدلمت	RAM-P9 <sup>①</sup>	55.76	8.49	0.01	0.18	-	0.13	0.15	3.15	31.95
	RAM-P16 <sup>①</sup>	65.73	6.58	0.03	0.15	0.1	-	1.29	2.12	24
	RAM-P16 <sup>②</sup>	54.21	8.63	-	0.52	-	-	0.26	3.4	31.93
	RAM-P25 <sup>①</sup>	43.16	10.67	-	0.06	-	-	1.05	5.14	37.61
	RAM-P25 <sup>③</sup>	55.53	8.17	-	-	-	0.1	0.51	3.18	30.99
	RAM-P27 <sup>①</sup>	54.73	7.7	0.02	0.08	0.07	0.12	0.19	3.06	33.77
الجزء غير المدلمت	RAM-P9 <sup>②</sup>	68.04	0.44	0.08	0.17	0.13	0.2	0.97	2.58	23.79
	RAM-P12 <sup>①</sup>	74.23	1.01	0.1	0.17	0.14	0.22	0.37	2.02	19.26
	RAM-P12 <sup>②</sup>	67.24	1.56	-	0.11	-	0.11	0.11	3.68	25.36
	RAM-P25 <sup>②</sup>	79.83	2.02	-	-	-	0.08	0.46	1.17	15.51
	RAM-P27 <sup>②</sup>	68.11	2.72	0.07	-	0.18	0.24	0.23	3.24	24.92

تم إجراء التحليل النقطي للعينات في كلا المقطعين على النحو التالي: تم أخذ نقطة في الأرضية ونقطة في عرق الانحلال وتبين من خلال ذلك أن جميع الأجزاء غير المدلمته كانت في عروق الانحلال والأجزاء المدلمته في الأرضية يظهر الشكل (7) علاقة ارتباط قوية بالاتجاه السالب (معامل الارتباط -0.8) بين عنصري الكالسيوم والمغنيزيوم في الجزء المدلمت من كلا المقطعين في منطقة الدراسة تشير علاقة

الارتباط السلبية إلى ان الدولوميت تشكل بعد فترة من توضع الرسوبيات [13] [11] [14] يقصد بالارتباط السلبية: العلاقة العكسية بين عنصرى الكالسيوم والمغنيزيوم ويفسر ذلك بانه مع زيادة المغنيزيوم تنخفض نسبة الكالسيوم بشدة وذلك نتيجة لاستبدال الكالسيوم بالمغنيزيوم خلال عملية الدلمتة في حال لو كان الارتباط موجب يشير ذلك إلى أن الدولوميت تشكل بالترسيب المباشر من مياه البحر وهي عملية نادرة الحدوث في الطبيعة لكون الدولوميت ذو بنية بلورية مرتبة مؤلفة من طبقات من الكالسيوم وطبقات من المغنيزيوم مفصولة بجزر الكربونات وهذا الترتيب يحتاج إلى أوساط خالية من الاضطرابات الأمر الذي لا يتوفر في الأوساط البحرية



الشكل (7) الارتباط بين عنصرى الكالسيوم والمغنيزيوم في الجزء المدلمت من صخور الجوراسي الأدنى في منطقة الدراسة.

إن النسبة Mg/Ca تعتبر من المعاملات الهامة في تحديد بيئات الدياتينيز التي تشكل فيها الدولوميت [14] وكذلك في تحديد طبيعة بلورات الدولوميت المتشكلة من حيث درجة ترتيب البنية البلورية كما في مخطط الاستقرار الترموديناميكي الذي يبين النسبة اللوغارتمية

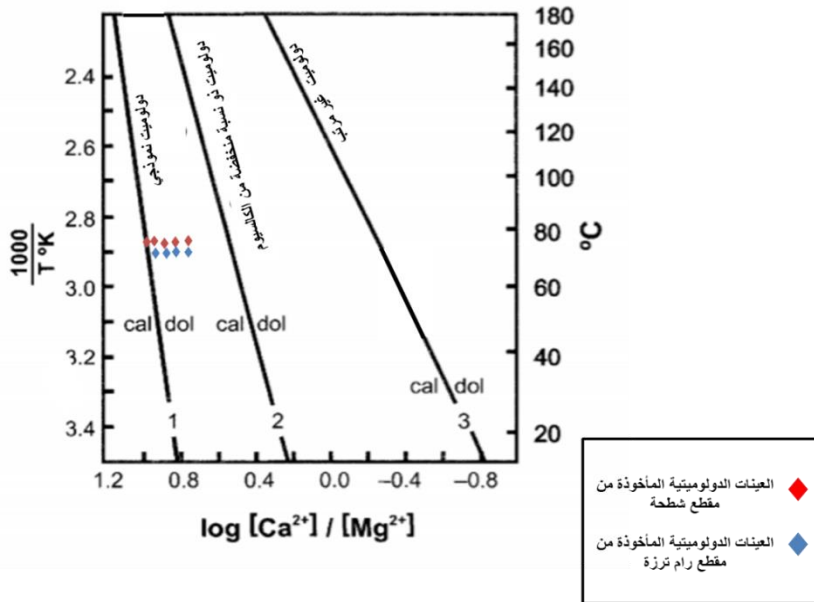
لـ Mg/Ca مقابل درجة حرارة تشكل الدولوميت الشكل (8) [23] حيث يظهر فيه ثلاثة خطوط من اليسار إلى اليمين:

1- كالسيت \_ دولوميت نموذجي.

2- كالسيت \_ دولوميت مرتب مع نسبة منخفضة من الكالسيوم.

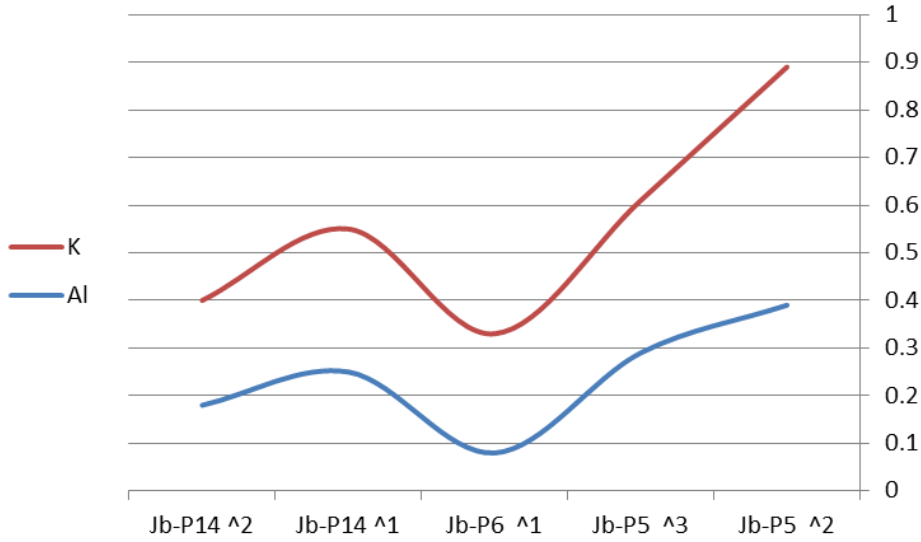
3- كالسيت \_ دولوميت أولي (غير مرتب).

إن درجة حرارة تشكل الدولوميت في منطقة الدراسة هي من 60°-80° وذلك كون بلورات الدولوميت ذات نسيج غير مستوي (حواف البلورة منحنية) [24] تم اسقاط العينات على المخطط وتبين أن الدولوميت الموجود في منطقة الدراسة هو دولوميت نموذجي يملك فصل واضح لطبقات الكالسيوم عن طبقات المغنيزيوم في بنيته البلورية في كلا المقطعين من منطقة الدراسة الشكل (8).



الشكل (8) مخطط الاستقرار الترموديناميكي ثنائي المتغير لنظام كالسيت-دولوميت-ماء [23].

ويلاحظ أيضا من خلال الدراسة الجيوكيميائية ارتفاع نسبة الألمنيوم والبوتاسيوم في العينات المأخوذة من مقطع شطحة وانخفاضها في العينات المأخوذة من مقطع رام ترزة حيث أن نسبة البوتاسيوم في مقطع رام ترزة كانت دون نسبة الكشف (0.01) وبالتالي لم تظهر في التحليل، يشير ذلك إلى زيادة عمق الحوض الرسوبي من شمال منطقة الدراسة باتجاه الجنوب حيث تشير علاقة الارتباط الإيجابية بين عنصرَي الألمنيوم والبوتاسيوم الشكل (9) إلى أن مصدر هذه العناصر هو المواد الأرضية الناتجة عن عمليات التجوية للصخور في منطقة المد والجزر [25] وبالتالي فإن محتوى الألمنيوم والبوتاسيوم يشير إلى نسبة المواد الأرضية في صخور الكربونات [26] [27] ووجودها يعكس تغيرات مستوى سطح البحر [28] [29] [30] [31] [32] [33] عندما ينخفض مستوى سطح البحر يزداد تعرض القارات لعمليات الحت والتعرية وبالتالي يزداد وجود المواد الأرضية. ومما يدعم تداخل المواد الحطامية في الصخور الكربوناتيّة ارتفاع نسبة الهولميوم (Ho) مقارنة مع الايتيريوم (Y) حيث تكون نسبة الهولميوم كبيرة في المجلوبات القارية ومنخفضة في الاوساط البحرية على عكس الايتيريوم ونظرا للتماثل في الشحنة بين الهولميوم والايثيريوم والتقارب في نصف القطر الأيوني فإنهما يملكان نفس السلوك الكيميائي مما يسمح للهولميوم باستبدال الايتيريوم في الصخر الكربوناتيّة [34] [35].



الشكل (9) علاقة الارتباط بين أكاسيد البوتاسيوم والألمنيوم في مقطع شطحة.

### الاستنتاجات والتوصيات:

تم التوصل إلى النتائج التالية:

- معظم بلورات الدولوميت في توضعات الجوراسي الأدنى في منطقة الدراسة ذات نسيج غير مستوي مما يشير إلى تشكلها في درجات حرارة أكبر من 60°.
- أدى الاختلاف في نسبة Ca/Mg في سوائل الدلمة إلى تشكل النطاق الدولوميتي والنطاق الدولوميتي الكلسي والنطاق الكالسيتي.
- تشير النسبة اللوغاريتمية لـ Ca/Mg إلى أن الدولوميت في توضعات الجوراسي الأدنى في منطقة الدراسة هو دولوميت نموذجي.

• تشير علاقة الارتباط الإيجابية بين عنصرَي الألمنيوم والبوتاسيوم وارتفاع

نسبة الهولميوم (Ho) مقارنة مع الايتيريوم (Y) إلى تداخل المواد

الحطامية في الصخور الكربوناتية.

يوصي البحث باستكمال دراسة محتوى العناصر الأثر والترايبية النادرة في باقي أجزاء  
السلسلة الساحلية من أجل بناء صورة متكاملة لكافة العمليات الدياجينيزية التي حدثت في  
المنطقة.

#### References:

- [1] ADAMS, J.E.; RHODES, M. L. 1960- **Dolomitization by seepage refluxion**. AAPG Bulletin. 44, 1912-1920.
- [2] FRIEDMAN, G. M.; SANDERS, J. E. 1967- **Origin and occurrence of dolostones** in: Chilingar, G. V; Bissell, H. J; Fairbridge, R. W (eds), **Carbonate Rocks, Origin occurrence and classification**. Elsevier, Amsterdam. 267-348.
- [3] HSU, K. J.; SCHNEIDER, J. 1973- **Progress report on Dolomitization hydrology of Abu Dhabi Sabkhas: Arabian Gulf**. In: Pureser, B.H.(ed) the Persian Gulf. Springer. Berlin, 409-422.
- [4] BADIOZAMANI, K. 1973- **The dorag Dolomitization model – application to the Middle Ordovician of Wisconsin**. Journal of sedimentary Petrology, 43, 965-984.
- [5] BAKER, P.A.; KASTNER, M. 1981- **Constraints on the formation of sedimentary dolomite**. Science. 213, 214-216

- [6] VASCONCELOS, C.; MCKENZIE, J. A.; BERNASCONI, S.; GRUJIC, D; TIENS, A. J. 1995- **Microbial mediation as a possible mechanism for natural dolomite formation at low temperatures.** Nature. 377, 220-222.
- [7] MACHEL, H. G. 2004- **Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal.** Geological Society, London, Special Publications. 235(1), 7-63.
- [8] EVAMY, B. D. 1967-**Dedolomitization and the development of rhombohedral pores in limestones.** Jour. Sed. Petrology. 37, 1204-1215.
- [9] KATZ, A. 1971-**Zoned dolomite crystals.** Journal of geology. 79, 38-51
- [10] ZHANG, J.; HE, Z.; XU, H. B; JI, H. C.; YUAN, Q.; SHI, J. A.; LU, X. C. 2012- **Petrological characteristics and origin of Permian fengcheng formation dolomite rocks in wuerhe-fengcheng area, junggar basin.** Acta sedimentol. Sin. 30(5), 859-867.
- [11] REN, Y.; ZHONG, D. K.; GAO, C. L.; YANG, X. Q.; XIE, R.; LI, Z. P.; DENG, M. X.; ZHOU, Y. C. 2016- **Geochemical characteristics, genesis and hydrocarbon significance of dolomite in the Cambrian Longwangmiao formation, eastern Sichuan Basin.** Acta Pet. Sin. 37(9), 1102-1115
- [12] WARREN, J. 2000- **Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations.** Earth-sci. Rev. 52(1-3), 1-81.
- [13] HU, W. X; CHEN, Q; WANG, X. L; GAO, J 2010- **REE models for the discrimination of fluids in the formation and evolution of dolomite reservoirs.** Oil Gas Geol. 31(6), 810-818.
- [14] ZHU, H.; YANG, G.; YUAN, B. G.; YING, D. L.; DAI, X.; ZHOU, H. F.; XU, S. Q.; TAN, J. K. 2020- **Geological conditions,**

**resource potential and exploration direction of conventional gas in sichuan basin.** Nat. gas geosci. **29**(10), 1475-1485.

[15] IBRAHIM, A.; SALMAN, N.; MANSOUR, R 2020- **Petrological and geochemical study of dolomitization in the middle Jurassic rock of AL-Querdaha sheet.** Tishreen University Journal **42**(5), 197-211.

[16] MOUTY, M. 1997- **The Jurassic of the Syrian coastal chine (Jibal As-Sahilyeh) : synthesis of the biozonation by larger Foraminifera.** C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planets / Earth & Planetary Sciences. 325, 207-213 .

[17] PONIKAROV, V. P.; SHASKY, V. N.; KAZMIN, V. G.; KULAKOVE, V. V. 1967- **The geology of Syria. Explanatory Notes on the geological map of Syria. Scale 1/500000. Syrian Arab Republ.** Ministry of industry, Dept. Geol. Miner. Research.

[18] ROSKY, R., LAVEL, B., MOUTY, M., SHLSH, G., YOUSEF, S 1978a -**Geological map of Jablah Sheet of 1/50000. Damascus.** General corporation for geology and mineral resources..

[19] ROSKY, R., SHLSH, G., YOUSEF, S., MOUTY, M., NASRY, S., ALOUSH, B., JAMIL, N., BALBAKY, M 1978 b- **Geological map of the AL Quer daha sheet of 1/50000. Damascus.** General corporation for geology and mineral resources..

[20] AGMEAN, J., KHATOUN, A. 1999-**Grological map of Latakia Sheet of 1/50000. Damascus.** General corporation for geology and mineral resources.

[21] YOUSEF, SHABO; BAALBAKI, MOHAMMAD; AJAMIAN, JACK; SULEIMAN, YOUSEF 1979a- **Geological map of the Al-Haffa block at a scale of 1:50,000. Damascus.** General Establishment of Geology and Mineral Resources

- [22].YOUSEF, SHABO; BAALBAKI, MOHAMMAD; AJAMIAN, JACK 1979b- **Geological map of the Al-Qadmus block at a scale of 1:50,000. Damascus.** General Establishment of Geology and Mineral Resources
- [23] CARPENTER, A. B. 1980- **The chemistry of dolomite formation I: the stability of dolomite.** In: ZENGER, D.H., DUNHAM, J.B. • ETHINGTON, R.L. (eds) **Concepts and Models' of Dolomitization.** Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, 28, 111-121.
- [24] GREGG, J. M.; SIBLEY, D.F. 1984- **Epigenetic Dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture.** Journal of sedimentary Petrology. 54, 908-931
- [25] XIA, J. W.; LI, L.; LUO, B.; ZHOU, Y. 2007-**Cambrian depositional system in southwest Sichuan.** J southwestt Pet. Univ. 29 (4), 21-25.
- [26] HU, J. J.; LI, Q.; LI, J.; ZHANG, L.; KONG, X.; LIU, Y. 2014-**Geochemical characteristics and its application to depositional environment analysis of Permian carbonates in Jiaomuri area Qiangtang basin.** Gao, J china univ. 20(4), 520-527.
- [27] WANG, Y; SHI, Z.; QING, H.; TIAN, Y.; GONG, X. 2021-**Petrological Characteristics, geochemical characteristics, and dolomite model of the lower Cambrian Longwangmiao formation in the periphery of the Sichuan basin, China.** Journal of petroleum science and Engineering. 1-17.
- [28] LUDWIG, K. R.; HALLEY, R. B.; SIMMONS, K. R.; PETERMAN, Z. E. 1988-**Strontium isotopic stratigraphy of enewetak atoll.** Geology. 16(2), 173-177.
- [29] VEIZER, J. 1989- **Strontium isotopes in sea water through time.** Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 17, 141-167.
- [30] MONTANEZ, I. P.; BANNER, J. L.; OSLEGER, D. A.; BORG, L. E.; BOSSERMAN, P. J. 1996- **Integrated Sr isotope variations**

**and sea-level history of Middle to Upper Cambrian platform carbonates: implications for the evolution of Cambrian seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .** Geology. 24(10), 917-920.

[31] QING, H. R.; BARNES, C. R.; BUHL, D.; VEIZER, J. 1998- **The strontium isotopic composition of Ordovician and Silurian brachiopods and condones: relationships to geological events and implications for coeval seawater.** Geochem. Cosmochim. 62(10), 1721-1733.

[32] STOLL, H. M.; SCHRAG, D. P. 1998- **Effect of quaternary sea level cycles on strontium in seawater.** Geochem, Cosmochim. Acta 62(7), 1107-1118.

[33] KRABBENHOFT, A; EISENHAUER, A; BOHM, F; VOLLSTAEDT, H; FIETZKE, J; LIEBETRAU, V; AUGUSTIN, N, PEUCKER, E. B; MULLER, M. N; HORN, C; HANSEN, B. T; NOLTE, N; WALLMANN, K 2010- **Constraining the marine strontium budget with natural strontium isotope fractionations ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$ ,  $\delta^{88}/^{86}\text{Sr}$ ) of Carbonates, hydrothermal solution , and river Waters.** Geochem . Cosmochim. 74(14), 4097-4109.

[34] WANG, Y; SHI, Z.; QING, H.; TIAN, Y.; GONG, X. 2021- **Petrological Characteristics, geochemical characteristics, and dolomite model of the lower Cambrian Longwangmiao formation in the periphery of the Sichuan basin, China.** Journal of petroleum science and Engineering. 1-17.

[35] NOZAKI, Y.; ZHANG, J.; AMAKAWA, H.1997- **the fractionation between Y and Ho in the marine environment.** Earth and Planetary Science letters. 148, 329-340.

# اصطناع معقدات جديدة باستخدام مشتقات دي فينيل بيريدين هيدرازون

نسرين دميان\*، أ.د.محمد مضر الخضر\*\*، د.خالد الزبير\*\*\*

## الملخص

حضرت معقدات معدنية لكل من أيونات النحاس، الزنك والنيكل بتفاعل كلوريدات المعادن اللامائية ( $\text{CuCl}_2$  ,  $\text{ZnCl}_2$  ,  $\text{NiCl}_2$ ) مع المرتبطة:

### **4-nitro-N'-(phenyl(pyridin-2-yl)methylene)benzohydrazide**

المحضرة من تفاعل 2-بنزويل بيريدين مع 4-نترو فينيل هيدرازيد.

أثبتت بنى جميع المركبات المحضرة من خلال المعطيات الطيفية لأجهزة التحليل التالية: FT-IR,

UV-VIS

الكلمات المفتاحية: هيدرازون، بيريدين ، أسس شيف.

(\* طالبة ماجستير: قسم الكيمياء-كلية العلوم-جامعة حمص-حمص-سوريا.

(\*\*) أستاذ الكيمياء اللاعضوية: قسم الكيمياء-كلية العلوم-جامعة حمص-حمص-سوريا.

(\*\*\*) دكتور كيمياء عضوية: قسم الكيمياء-كلية العلوم-جامعة الفرات-دير الزور-سوريا.

## Synthesis of new complexes using Diphenyl pyridine hydrazone derivatives

N.Dumyan\*, M.M.Al-Khoder\*\*, K.Al-Zobar\*\*\*

### Abstract

Metallic complexes for Copper , Zinc and Nickel ions were prepared by reacting anhydrous metal chlorides : (CuCl<sub>2</sub> , ZnCl<sub>2</sub> , NiCl<sub>2</sub> ) with the ligand 4-nitro-N'-(phenyl(pyridin-2-yl)methylene)benzohydrazide .

The structures of all prepared compounds were confirmed through spectroscopic data from the following analytical devices: FT-IR, UV-VIS

Key words: hydrazine, pyridine, Schiff base.

---

\*)Master student: Department of Chemistry-Faculty of Science –Homs university-Homs-Syria.

\*\*) Professor of Inorganic Chemistry: Department of Chemistry-Faculty of Science –Homs university-Homs-Syria.

\*\*\*) Professor of Organic Chemistry: Department of Chemistry-Faculty of Science- Al-Fourat university- Dir-Alzour- Syria.

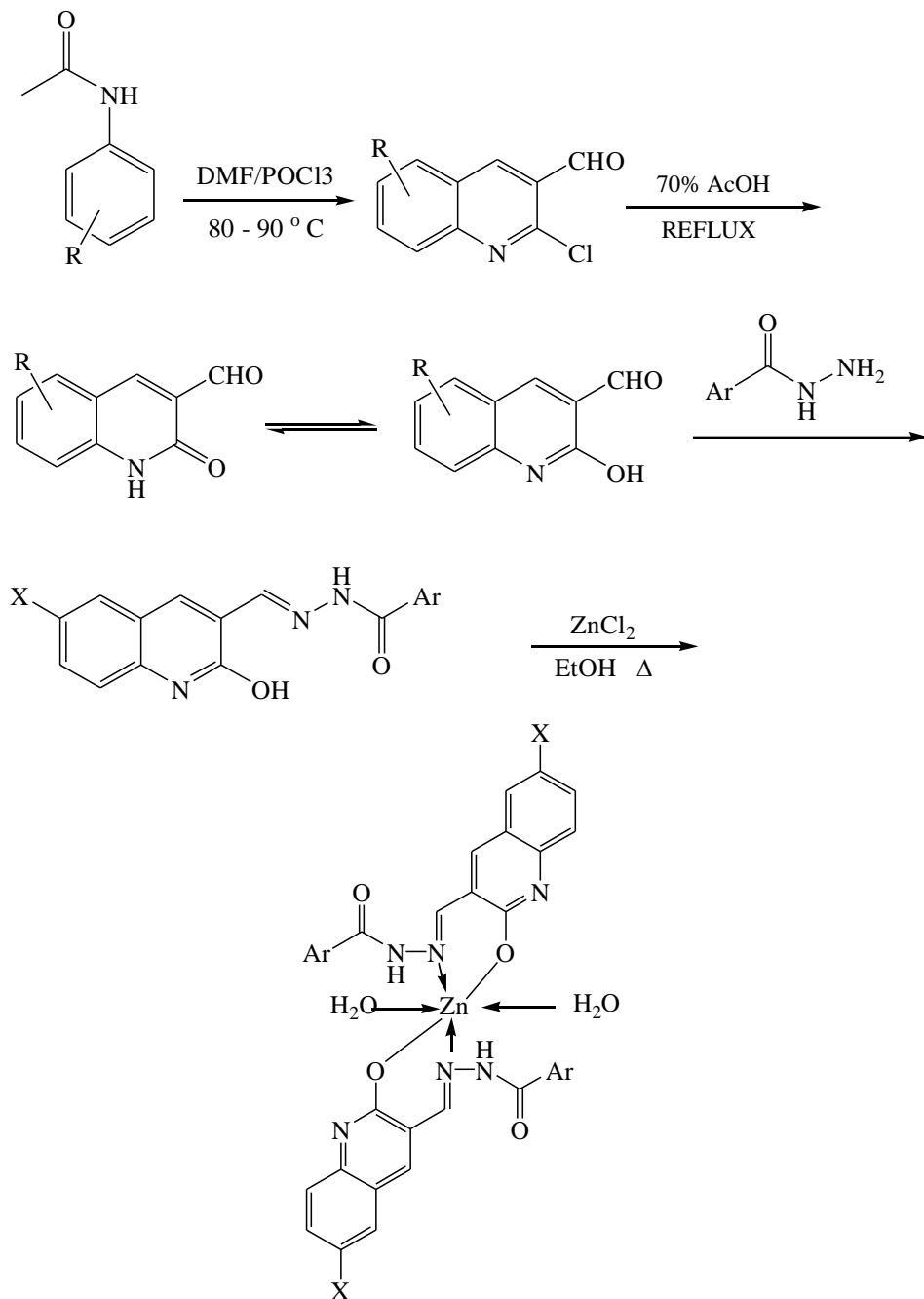
## المقدمة:

لاقت المعقدات المعدنية اهتماماً كبيراً من قبل الباحثين وذلك لكثرة وتنوع أصنافها ولما لها من تطبيقات هامة في مجالات عدة مثل الصناعة حيث تلعب دور مقاومات للتآكل [1] وفي صناعة الأصبغة [2] وفي المجال الطبي لا سيما تشخيص الأمراض [3] ومعالجة الأورام السرطانية [4] وذات فعالية بيولوجية [5] وفي مجال البيئة دخلت في المركبات العاملة في معالجة تصحر التربة الزراعية [6].

تنتمي الهيدرازونات إلى الأزوميثينات وتتصف بالمجموعة (C=N-N) وتتميز عن المركبات الأخرى في هذه الفئة بوجود ذرتي النتروجين المرتبطتين مع بعضهما البعض [7].

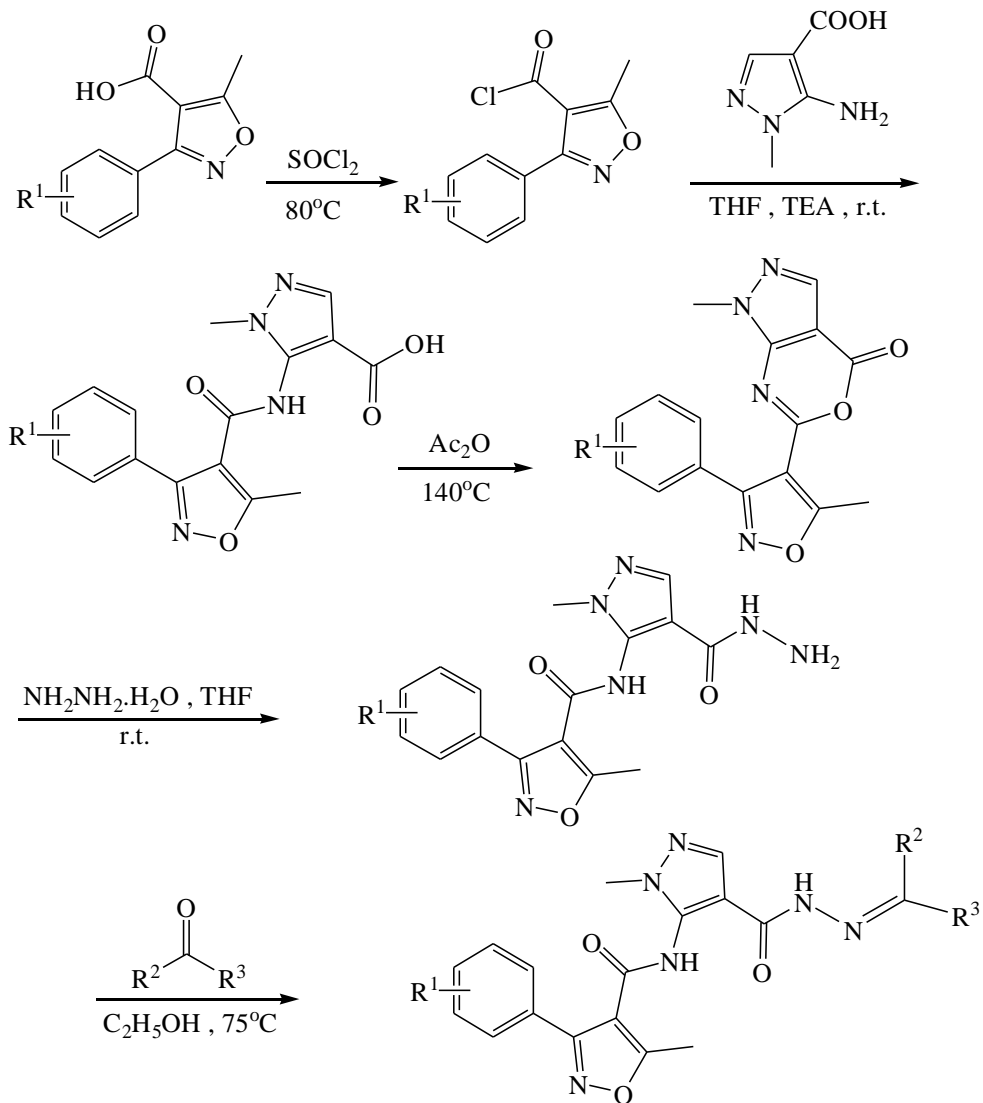
وتملك الهيدرازونات أهمية كبيرة في مجالات عدة أهمها التفاعلات العضوية حيث تدخل كمركبات حفزية في تفاعل اختزال Wolff-Kishner reduction للحصول على الألكانات، وأيضاً تفاعليّ Shapiro reaction و Bamford-Stevens reaction لتشكيل مركبات الفينيل [8] وتستخدم في الكيمياء التحليلية لتحديد وفصل المركبات الحاوية على زمرة الكربونيل [9] بالإضافة لاستخدامها كعوامل تحليلية لتحديد العديد من الشوارد المعدنية [10][11] كما تدخل في صناعة البلاستيك وكمواد مثبتة للبوليميرات ومحرضة للبلزمة ومضادة للأكسدة وتلعب دوراً كمواد مبيدة للقوارض والحشرات والأعشاب [9][2] كما تعمل كمواد مسكنة ومضادة للاختلاج والاكنتاب والالتهاب وموسعات وعائية وعوامل مضادة لمرض السكري [12][13].

ونظراً لأهمية الهيدرازونات قام M. C. Mandewale وفريقه في عام 2016 باصطناع مرتبطة هيدرازونية وتعقيدها مع Zn(II) باستخدام الإيتانول كمحل وبدرجة حرارة 60°C لمدة 2 4 - ساعة وبينت الدراسة أن لها فعالية جيدة ضد مرض السل وقد تم الاصطناع وفق المخطط التالي: [14]



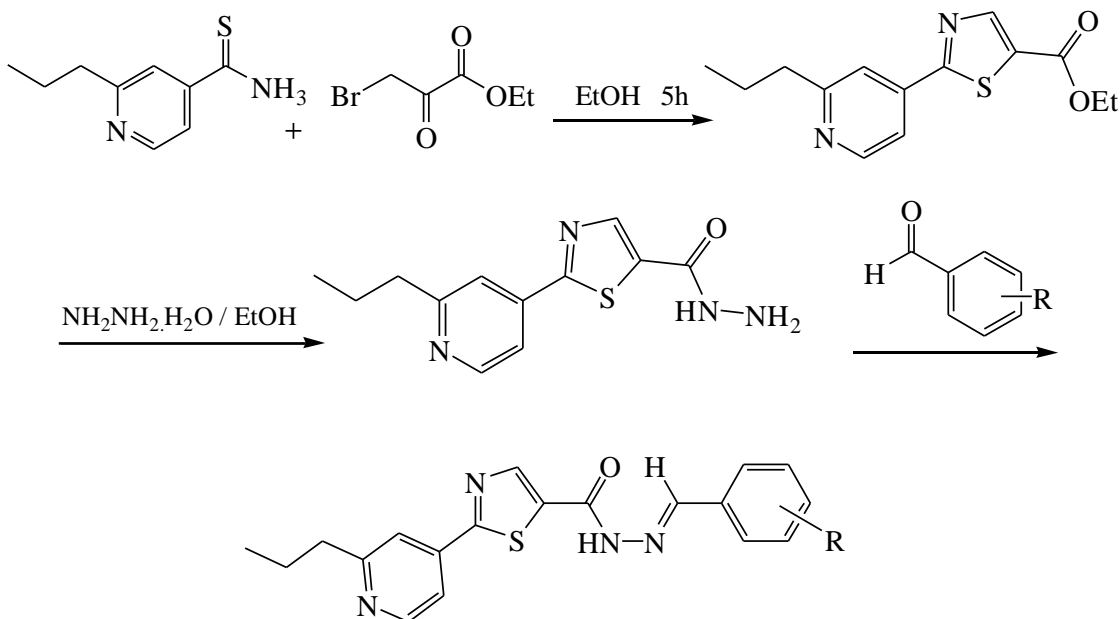
الشكل -1- مخطط اصطناع مرتبطة هيدرازونية وتعقيدها مع الزنك

في عام 2018 قام **Z. Yang** وفريقه باصطناع سلسلة من المشتقات الهيدرازونية والتي تملك فعالية ضد فيروس فسيفساء التبغ (TMV) وذلك وفق المخطط التالي: [15]



الشكل -2- مخطط اصطناع سلسلة من المشتقات الهيدرازونية

في عام 2019 قام M. B. Muluk وفريقه باصطناع مجموعة من المشتقات الهيدرازينية والتي تملك فعالية ضد الخلايا السرطانية والميكروبات وفق المخطط التالي: [16]



الشكل 3- مخطط اصطناع مجموعة من المشتقات الهيدرازونية

#### هدف البحث:

- اصطناع المرتبطة L1 بالاعتماد على الطريقة المرجعية [17]

#### 4-nitro-N'-(phenyl(pyridin-2-yl)methylene)benzohydrazide

- اصطناع المعقدات العضوية المعدنية للمرتبطة مع كلوريدات المعادن اللامائية

Cu (II), Zn (II), Ni (II)

- التأكد من بنية المرتبطة ودراسة بنية المعقدات المحضرة من خلال المطيافيات المتاحة

### الأجهزة المستخدمة:

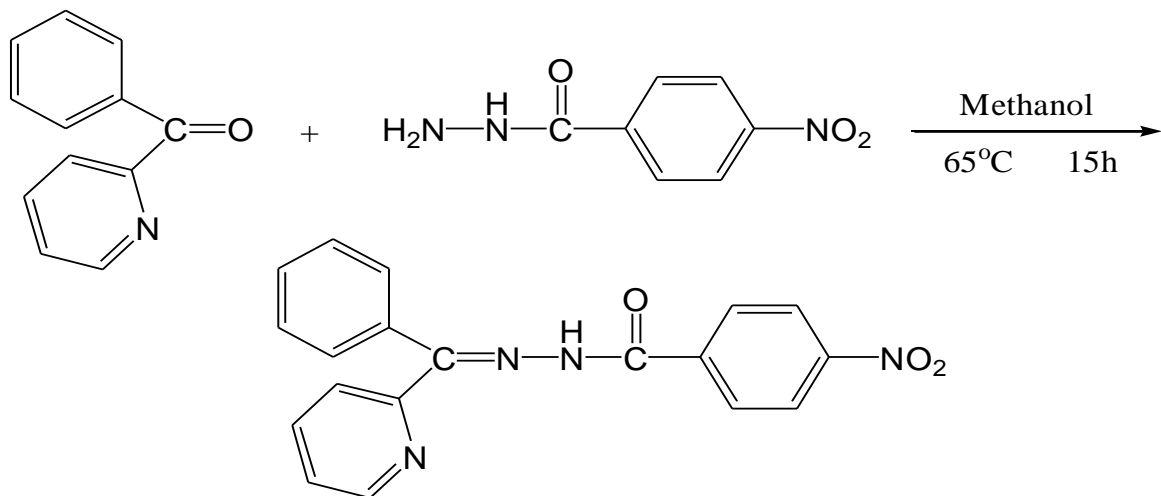
- جهاز طيف ماتحت الأحمر IR نموذج (FT-IR-410) من شركة Jasco اليابانية (جامعة حمص).
- جهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis) من شركة Jasco اليابانية (جامعة حمص).
- جهاز قياس الناقلية الكهربائية (جامعة حمص).
- ميزان تحليلي بدقة تصل إلى 0.0001 gr.
- مجفف لتجفيف العينات من إنتاج شركة memmert.
- مرمدة لحرق العينات وهي من النوع (Carbolite) يصل مجالها حتى الدرجة 1100°C.
- سخان مزود بمحرك مغناطيسي.

### المواد المستخدمة:

- بارانتر وبنز هيدرازيد ( $C_7H_7N_3O_3$ ) من إنتاج شركة (Sigma Aldrich) نقاوة 98%
- 2-بنزويل بيريدين ( $C_{12}H_9NO$ ) من إنتاج شركة (Sigma Aldrich) نقاوة 98%.
- كلوريد النحاس ( $CuCl_2$ ) من إنتاج شركة (Sigma Aldrich) نقاوة 99%.
- كلوريد الزنك ( $ZnCl_2$ ) من إنتاج شركة (Sigma Aldrich) نقاوة 99%.
- كلوريد النيكل ( $NiCl_2$ ) من إنتاج شركة (Sigma Aldrich) نقاوة 99%.
- مذيبات نقاوة مطلقة (ميثانول، دي ميثيل فورم أميد DMF) من إنتاج شركتي Merck و BDH الألمانية.

القسم العملي:

تحضير المرتبطة:

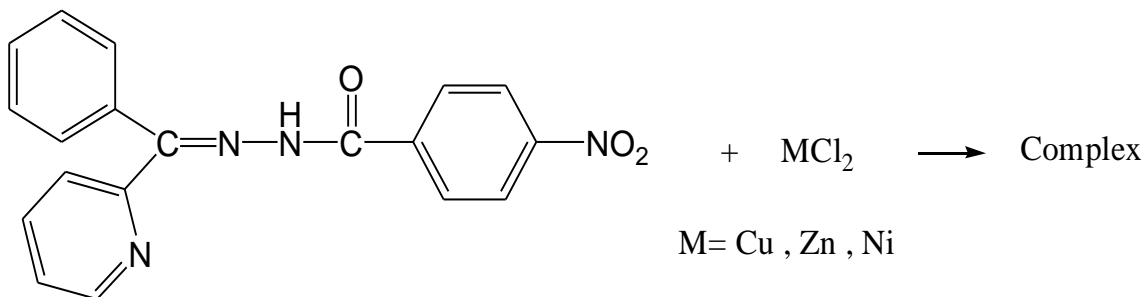


وضع في حوالة مصنفة ثنائية الفتحة سعة 50ml مجهزة بمحرك مغناطيسي ومبرد عكوس (1mmol – 0.181gr) من بارا نيترو بنز هيدرازيد في 30ml من الميثانول وترك حتى تمام الانحلال بدرجة حرارة 65°C ثم أضيف (1mmol – 0.183gr) من 2-بنزويل بيريدين المذاب في 20ml من الميثانول ثم أضيف عدة نقاط من حمض الخل الثلجي وترك المزيج لمدة 15 ساعة فتشكل راسب أصفر فاتح فصل بالترشيح على الساخن و أعيدت بلورته بالميثانول.

وكان وزن الراسب 0.2378gr وبلغ المردود 68.72% وكانت درجة الانصهار 228-230°C.

تحضير المعقدات المعدنية للمرتبطة:

حضرت المعقدات المعدنية للمرتبطة وفق المعادلة العامة التالية:



1- تحضير معقد النحاس:

وضع في حوالة مصنفة ثنائية الفتحة سعة 50ml مجهزة بمحرك مغناطيسي ومبرد عكوس ( 0.1mmol – 0.03463gr ) من المرتبطة في 20ml من دي ميثيل فورم أميد DMF وترك حتى تمام الانحلال بدرجة حرارة 153°C ثم أضيف ( 0.1mmol – 0.0134gr ) من كلوريد النحاس اللامائي CuCl<sub>2</sub> المذاب في 10ml من DMF وترك المزيج لمدة 24 ساعة كاملة غير متواصلة عند درجة الحرارة السابقة نفسها ثم فرغ التفاعل على زجاجة ساعة وترك بدرجة حرارة الغرفة حتى جفاف المحل فتشكل راسب أخضر زيتي وزنه 0.0392gr بمردود 81.66% ودرجة انصهاره >300°C .

2- تحضير معقد الزنك:

وضع في حوالة مصنفة ثنائية الفتحة سعة 50ml مجهزة بمحرك مغناطيسي ومبرد عكوس ( 0.1mmol – 0.0346gr ) من المرتبطة في 20ml من دي ميثيل فورم أميد DMF وترك حتى تمام الانحلال بدرجة حرارة 153°C ثم أضيف ( 0.1mmol – 0.0136gr ) من كلوريد الزنك اللامائي ZnCl<sub>2</sub> المذاب في 10ml من DMF وترك المزيج لمدة 24 ساعة كاملة غير متواصلة عند درجة الحرارة السابقة نفسها ثم فرغ التفاعل على زجاجة ساعة وترك بدرجة حرارة الغرفة حتى جفاف المحل فتشكل راسب برتقالي وزنه 0.0385gr بمردود 79.87% تفكك عند الدرجة 210°C .

3- تحضير معقد النيكل:

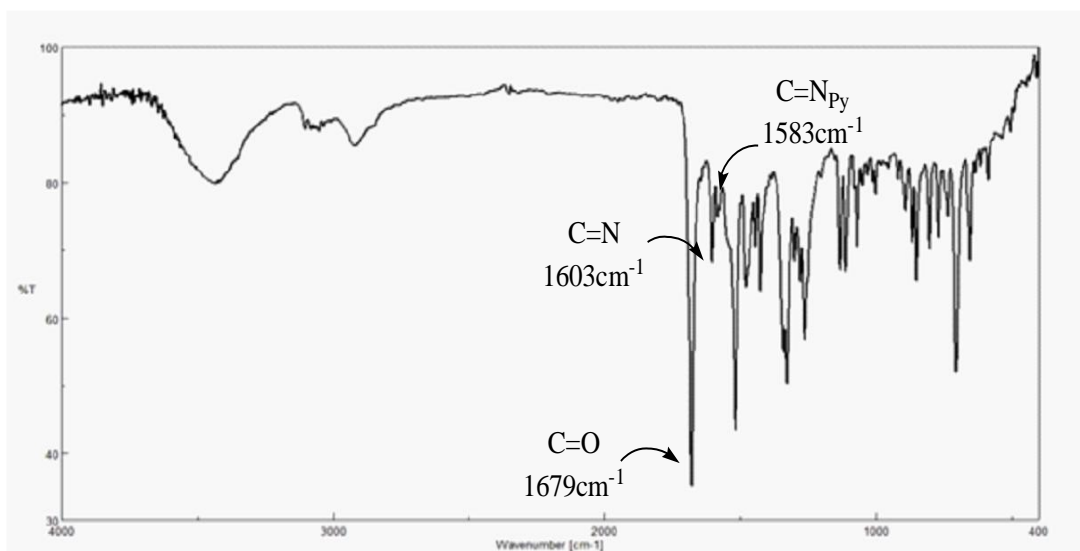
وضع في حوالة مصنفة ثنائية الفتحة سعة 50ml مجهزة بمحرك مغناطيسي ومبرد عكوس ( 0.1mmol – 0.0346gr ) من المرتبطة في 20ml من دي ميثيل فورم أميد DMF وترك حتى تمام الانحلال بدرجة حرارة 153°C ثم أضيف ( 0.1mmol – 0.0129gr ) من كلوريد النيكل اللامائي NiCl<sub>2</sub> المذاب في 10ml من DMF وترك المزيج لمدة 24 ساعة كاملة غير متواصلة عند درجة الحرارة السابقة نفسها ثم فرغ التفاعل على زجاجة ساعة وترك بدرجة حرارة الغرفة حتى جفاف المحل فتشكل راسب قرميدي وزنه 0.0372gr بمردود 78.31% تفكك عند الدرجة 235°C .

النتائج والمناقشة:

المرتبطة:

1- مطيافية FT-IR:

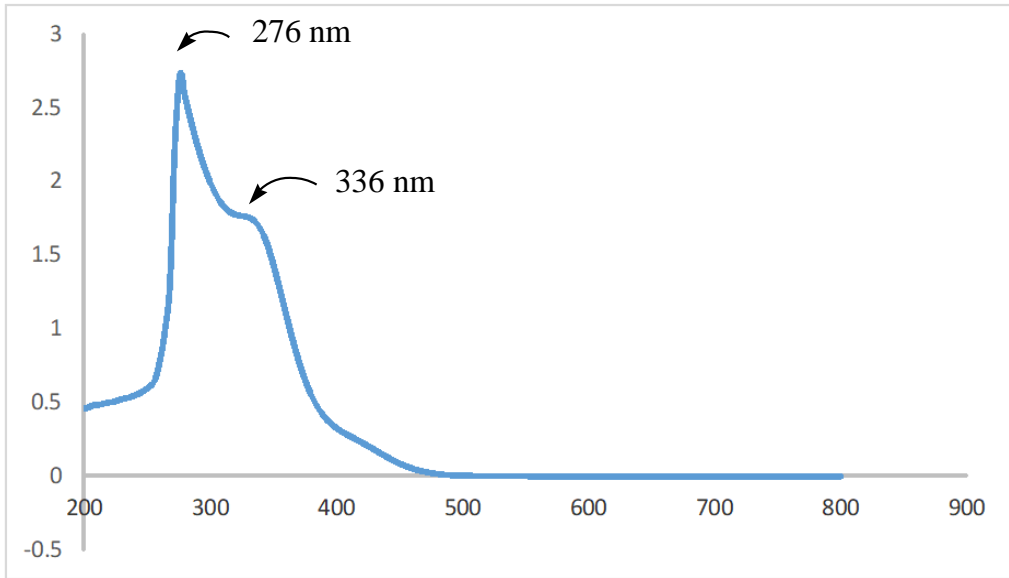
يلاحظ من طيف المرتبطة اختفاء عصابات الامتصاص العائدة إلى  $\text{NH}_2$  في بارانترو بنزهيدرازيد واختفاء عصابة الامتصاص العائدة للكربونيل في 2-بنزويل بيريدين وظهور عصابة امتصاص جديدة عند  $\nu=1603\text{cm}^{-1}$  عائدة لامتطاط الرابطة  $\text{C}=\text{N}$  - كما يلاحظ انزياح عصابة الامتصاص العائدة لامتطاط الرابطة  $\text{C}=\text{O}$  من العدد الموجي  $\nu=1645\text{cm}^{-1}$  في 4-نترو بنزهيدرازيد إلى العدد الموجي  $\nu=1679\text{cm}^{-1}$  في المرتبطة وانزياح عصابة الامتصاص العائدة لامتطاط الرابطة  $\text{C}=\text{N}$  - بيريدين من العدد الموجي  $\nu=1578\text{cm}^{-1}$  في 2-بنزويل بيريدين إلى العدد الموجي  $\nu=1583\text{cm}^{-1}$  في المرتبطة وهذا يدل على تشكيل المرتبطة المطلوبة.



الشكل 4- طيف الأشعة تحت الحمراء للمرتبطة L1

## 2- طيف UV-VIS:

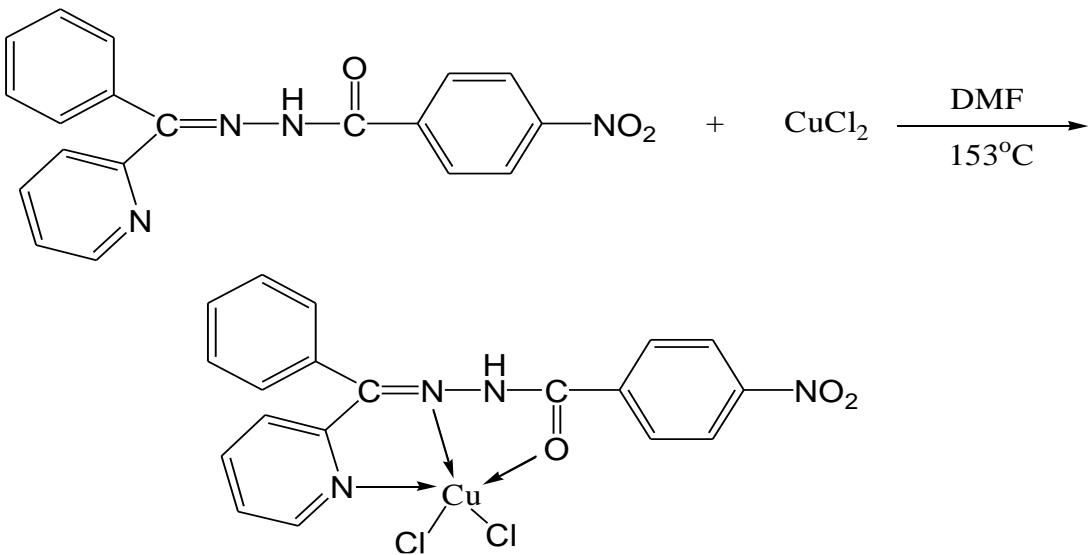
سجل طيف UV-VIS للمرتبطة في محلول من DMF بتركيز  $(1 \times 10^{-5} \text{M})$  في خلية من الكوارتز عرضها (10mm) بدرجة حرارة الغرفة. من الشكل 5- يلاحظ في طيف UV-Vis وجود قمتين عند العدد الموجي (336nm) و(276nm) حيث تعبر القمة الأولى  $\lambda_{\text{max}}=276\text{nm}$  عن الانتقالات الإلكترونية  $\pi \rightarrow \pi^*$  نتيجة احتواء المرتبطة على الروابط  $\text{C}=\text{C}$  - للعطرية في المركب. وكذلك القمة الثانية  $\lambda_{\text{max}}=336\text{nm}$  تعبر عن الانتقالات الإلكترونية  $n \rightarrow \pi^*$  نتيجة وجود أزواج إلكترونات حرة في ذرة الآزوت والأوكسجين في المرتبطة.



الشكل 5- طيف الأشعة فوق البنفسجية- المرئية للمرتبطة L1

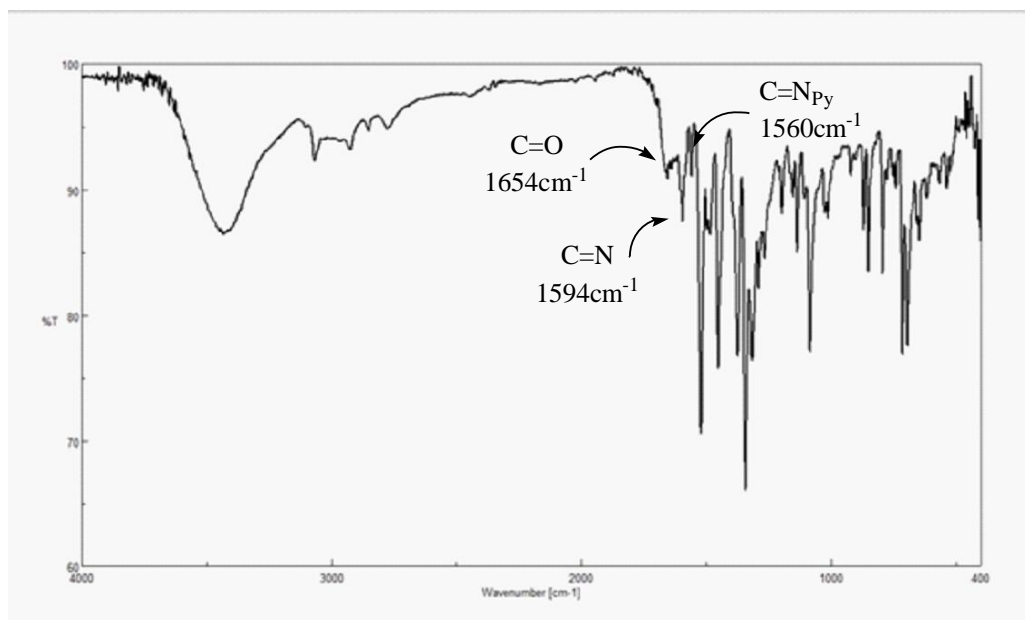
المعقدات المعدنية للمرتبطة :

1- معقد النحاس :



طيف الأشعة ما تحت الحمراء FT-IR :

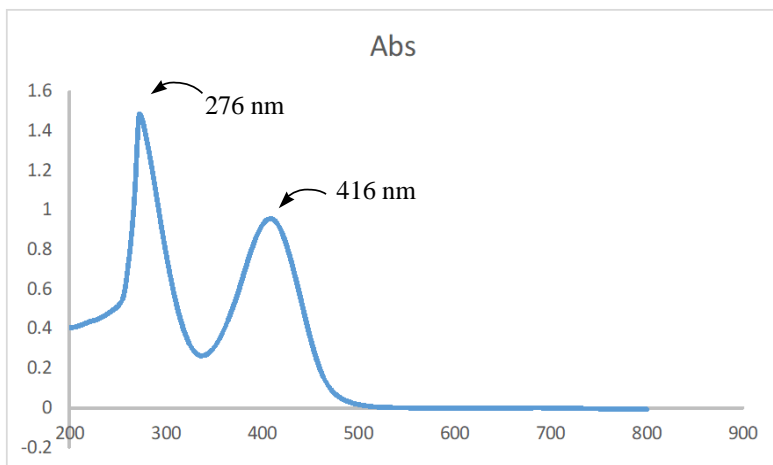
عند مقارنة طيف ما تحت الأحمر FT-IR للمعقد مع طيف FT-IR للمرتبطه نشاهد في الشكل -6- انزياح عصابة الامتصاص للزمره الكربونيلية (C=O) من  $(1679\text{ cm}^{-1})$  في المرتبطة إلى  $(1654\text{ cm}^{-1})$  في المعقد ونشاهد انزياح في عصابة الامتصاص للزمره  $(\text{C}=\text{N}_{\text{Py}})$  من  $(1583\text{ cm}^{-1})$  في المرتبطة إلى  $(1560\text{ cm}^{-1})$  في المعقد وانزياح عصابة الامتصاص للزمره  $(\text{C}=\text{N}_{\text{Schiff}})$  من  $(1603\text{ cm}^{-1})$  في المرتبطة إلى  $(1594\text{ cm}^{-1})$  في المعقد وهذا يشير إلى منح الزوج الإلكتروني على ذرتي الأزوت وذرة الأوكسجين إلى المعدن أثناء تشكل المعقد .



الشكل -6- طيف الأشعة تحت الحمراء للمعقد  $[\text{Cu}(\text{L}1)\text{Cl}_2]$

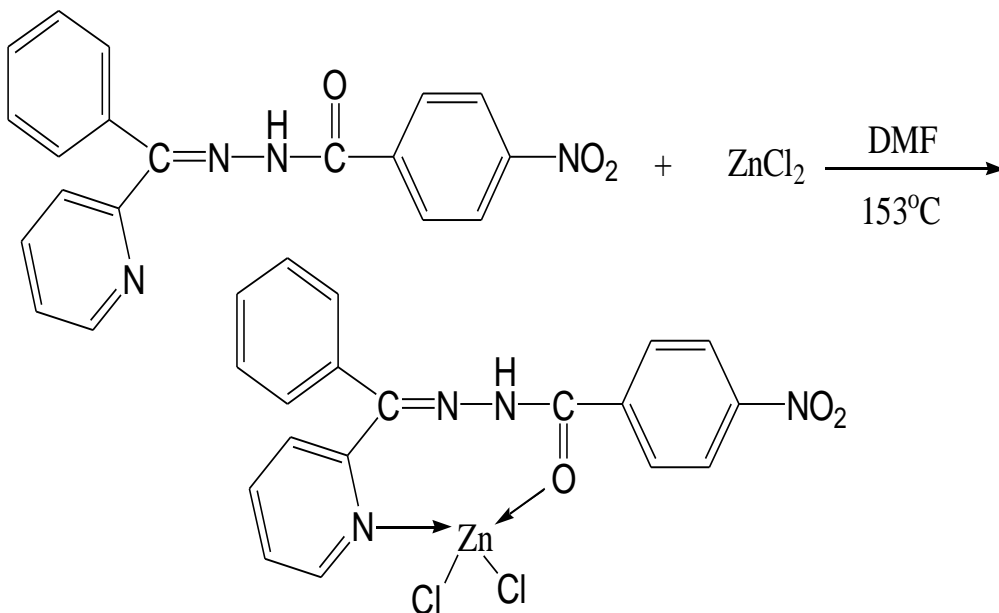
طيف الأشعة فوق البنفسجية - المرئية (UV-Vis):

سجل طيف UV-Vis للمعقد في محلول من دي ميثيل فورم أميد بتركيز  $(1 \times 10^{-5}\text{ M})$  في خلية من الكوارتز عرضها  $(10\text{ mm})$  . من الشكل -7- يلاحظ وجود القمة  $(276\text{ nm})$  الناتجة عن الانتقالات الإلكترونية  $\pi \rightarrow \pi^*$  لوجود روابط ثنائية  $(\text{C}=\text{C})$  في الحلقات العطرية و  $(\text{N}=\text{O})$  في  $\text{NO}_2$  وانزياح القمة العائدة للانتقالات الإلكترونية  $n \rightarrow \pi^*$  من  $\lambda_{\text{max}}=336\text{ nm}$  إلى  $\lambda_{\text{max}}=416\text{ nm}$



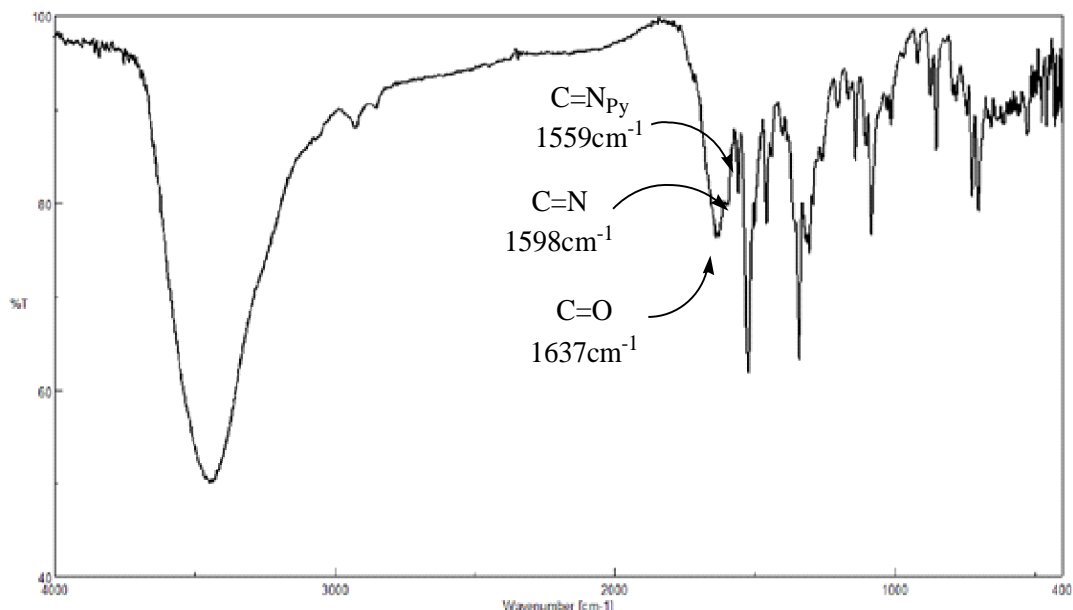
الشكل 7- طيف الأشعة فوق البنفسجية- المرئية للمعقد  $[Cu(L1)Cl_2]$

2- معقد الزنك :



طيف الأشعة ما تحت الحمراء FT-IR :

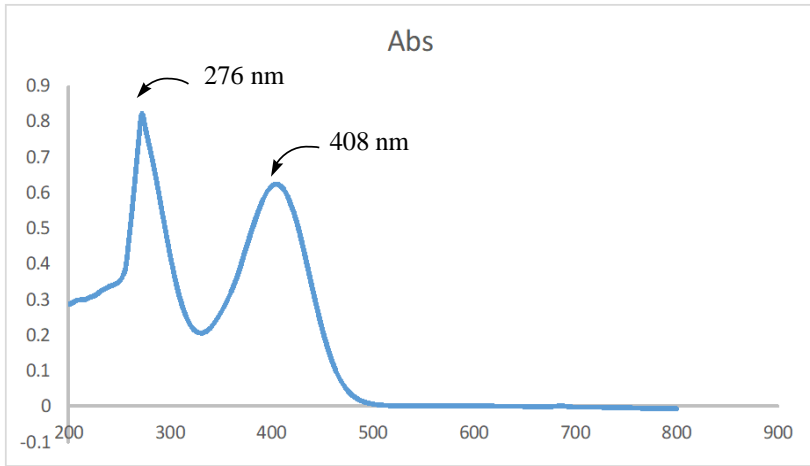
عند مقارنة طيف ما تحت الأحمر FT-IR للمعقد مع طيف FT-IR للمرتبطة نشاهد في الشكل - 8- انزياح عصابة الامتصاص للزمرة الكربونيلية (C=O) من ( $1679\text{ cm}^{-1}$ ) في المرتبطة إلى ( $1637\text{ cm}^{-1}$ ) في المعقد ونشاهد انزياح في عصابة الامتصاص للزمرة (C=N<sub>Py</sub>) من ( $1583\text{ cm}^{-1}$ ) في المرتبطة إلى ( $1559\text{ cm}^{-1}$ ) في المعقد وعدم انزياح عصابة الامتصاص للزمرة (C=N<sub>Schiff</sub>) بشكل ملحوظ وهذا يدل على منح الزوج الإلكتروني على ذرة الأزوت وذرة الأوكسجين إلى المعدن أثناء تشكل المعقد.



الشكل -8- طيف الأشعة تحت الحمراء للمعقد [Zn(L1)Cl<sub>2</sub>]

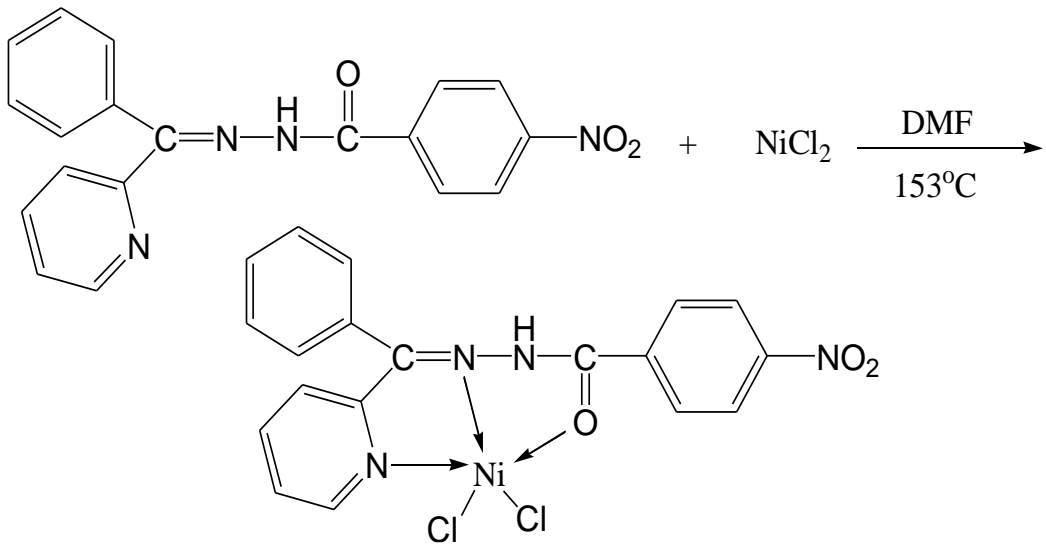
طيف الأشعة فوق البنفسجية - المرئية (UV-Vis) :

سجل طيف UV-Vis للمعقد في محلول من دي ميتيل فورم أميد بتركيز ( $1 \times 10^{-5}\text{ M}$ ) في خلية من الكوارتز عرضها (10mm). من الشكل -9- يلاحظ وجود القمة (276nm) الناتجة عن الانتقالات الإلكترونية  $\pi \rightarrow \pi^*$  لوجود روابط ثنائية (C=C) في الحلقات العطرية و (N=O) في NO<sub>2</sub> وانزياح القمة العائدة للانتقالات الإلكترونية  $n \rightarrow \pi^*$  من  $\lambda_{\text{max}}=336\text{ nm}$  إلى  $\lambda_{\text{max}}=408\text{ nm}$



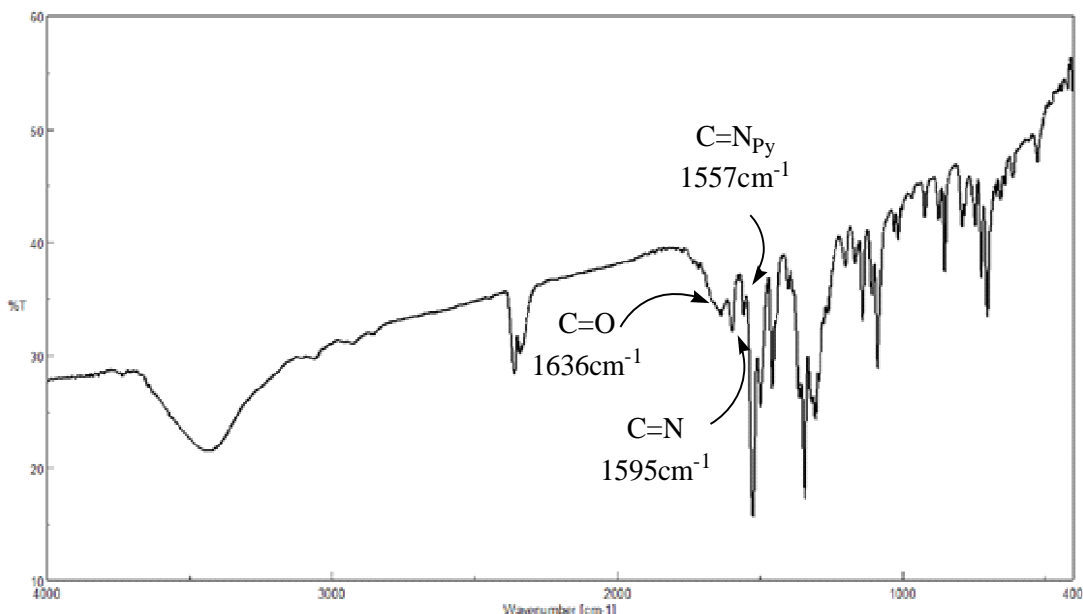
الشكل 9- طيف الأشعة فوق البنفسجية- المرئية للمعقد  $[Zn(L1)Cl_2]$

3- معقد النيكل :



طيف الأشعة ما تحت الحمراء FT-IR :

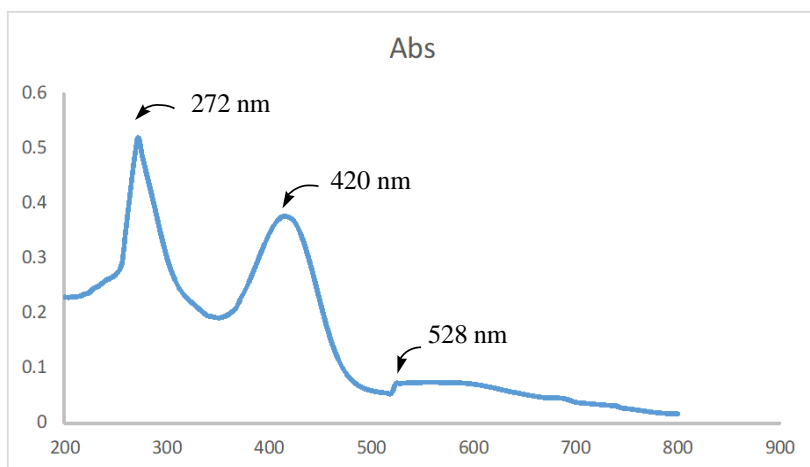
عند مقارنة طيف ما تحت الأحمر FT-IR للمعقد مع طيف FT-IR للمرتبطة نشاهد في الشكل - 10- انزياح عصابة الامتصاص للزمرة الكربونيلية (C=O) من ( $1679\text{ cm}^{-1}$ ) في المرتبطة إلى ( $1636\text{ cm}^{-1}$ ) في المعقد ونشاهد انزياح في عصابة الامتصاص للزمرة (C=N<sub>py</sub>) من ( $1583\text{ cm}^{-1}$ ) في المرتبطة إلى ( $1557\text{ cm}^{-1}$ ) في المعقد وانزياح عصابة الامتصاص للزمرة (C=N<sub>Schiff</sub>) من ( $1603\text{ cm}^{-1}$ ) في المرتبطة إلى ( $1595\text{ cm}^{-1}$ ) في المعقد وهذا يدل على منح الزوج الإلكتروني على ذرتي الأزوت وذرة الأوكسجين إلى المعدن أثناء تشكل المعقد .



الشكل -10- طيف الأشعة تحت الحمراء للمعقد [Ni(L1)Cl<sub>2</sub>]

طيف الأشعة فوق البنفسجية - المرئية (UV-Vis) :

سجل طيف UV-Vis للمعقد في محلول من دي ميتيل فورم أميد بتركيز ( $1 \times 10^{-5}\text{ M}$ ) في خلية من الكوارتز عرضها (10mm) . من الشكل -11- يلاحظ وجود القمة (272nm) الناتجة عن الانتقالات الإلكترونية  $\pi \rightarrow \pi^*$  لوجود روابط ثنائية (C=C) في الحلقات العطرية و (N=O) في NO<sub>2</sub> وانزياح القمة العائدة للانتقالات الإلكترونية  $n \rightarrow \pi^*$  من  $\lambda_{\text{max}}=336\text{ nm}$  إلى  $\lambda_{\text{max}}=420\text{ nm}$  وظهور قمة عند  $\lambda_{\text{max}}=528\text{ nm}$  عائدة لانتقالات d-d.



الشكل -11- طيف الأشعة فوق البنفسجية-المرئية للمعقد  $[Ni(L1)Cl_2]$

الجدول-1- أهم القمم المميزة في مطيافية UV-Vis للمرتبطه المحضرة ومعقداتها المعدنية

Compounds	$\pi \rightarrow \pi^*$	$n \rightarrow \pi^*$	d-d
L1	276	332	--
$[Cu(L1)Cl_2]$	276	416	--
$[Zn(L1)Cl_2]$	276	408	--
$[Ni(L1)Cl_2]$	272	420	528

الجدول -2- أهم عصابات الامتصاص في مطيافية الأشعة ما تحت الحمراء للمرتبطه ومعقداتها المعدنية.

Compounds	$\nu(C=O)$	$\nu(C=N_{Py})$	$\nu(C=N_{Schiff})$	$\nu(C=C)$
L1	1679	1583	1603	1517
$[Cu(L1)Cl_2]$	1654	1560	1594	1521
$[Zn(L1)Cl_2]$	1637	1559	1598	1522
$[Ni(L1)Cl_2]$	1636	1557	1595	1523

الجدول -3- الخصائص الفيزيائية للمرتبطة ومعقداتها المعدنية .

المركب	الكتلة المولية (g.mol <sup>-1</sup> )	اللون	درجة الانصهار/ التفكك (°C)	الناقلية الكهربائية المولية (Ω <sup>-1</sup> .cm <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )	المردود(%)
L1	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub> (346.344)	أصفر فاتح	(228- 230)	--	68.72
[Cu(L1)Cl <sub>2</sub> ]	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> Cu (480.796)	أخضر زيتي	>300	16	81.66
[Zn(L1)Cl <sub>2</sub> ]	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> Zn (482.630)	برتقالي	تفكك (210)	15.6	79.87
[Ni(L1)Cl <sub>2</sub> ]	C <sub>19</sub> H <sub>14</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> Ni (475.944)	قرميدي	تفكك (235)	28.5	78.31

#### تحديد المحتوى المعدني لمعقدات المرتبطة:

نظرا لعدم وجود تجهيزات التحليل العنصري الكمي لجأنا إلى طريقة الترميد في تعيين المحتوى المعدني للمعقدات وذلك في درجة حرارة 800°C نورد فيما يلي نتائج التحليل:

أخذ 0.0354g من معقد النحاس وأضيف إليه 1.5ml من حمض الأزوت المركز ثم تم الترميد حتى الدرجة 800°C ولمدة ساعة ونصف فتشكل لدينا أكسيد النحاس CuO وكان وزنه 0.0062g

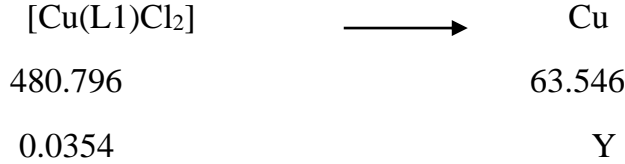
كل 79.5454g من CuO تحتوي على 63.546g من Cu

كل 0.0062g من CuO تحتوي على X من Cu

$$X=0.0049 \text{ g}$$

النسبة العملية للنحاس في المعقد :

$$Cu\% = \frac{0.0049}{0.0354} \times 100 = 13.84\%$$



$$Y=0.0046g$$

النسبة النظرية للنحاس في المعقد

$$Cu\% = \frac{0.0046}{0.0354} \times 100 = 12.99\%$$

جدول 4- مقارنة بين النسبة العملية والنسبة النظرية للمعقدات المحضرة

المعقد	النسبة النظرية %	النسبة العملية %
[Cu(L1)Cl <sub>2</sub> ]	12.99	13.84
[Zn(L1)Cl <sub>2</sub> ]	13.54	12.5
[Ni(L1)Cl <sub>2</sub> ]	12.12	11.11

نلاحظ من المعطيات أن نسبة المعدن العملية المحسوبة في الترميد متفقة مع نسبة المعدن النظرية أي أن نسبة الارتباط (1:1) .

**الكشف عن أيونات الكلور خارج كرة التساند:**

حضر محلول من نترات الفضة بتركيز 0.001M في الايثانول ، كما حضرت محاليل للمعقدات السابقة بنفس التركيز وعند إضافة عدة قطرات من محلول نترات الفضة إلى محلول المعقدات لم نلاحظ تشكل عكر أو راسب وهذا دليل على أن المعقد لا يحوي على أيونات الكلور خارج كرة التساند .

**الكشف عن أيونات الكلور داخل كرة التساند:**

أخذ 0.01g من كل من المعقدات المحضرة وتم التهضيم بواسطة حمض الأزوت المركز وبعد إضافة عدة قطرات من محلول نترات الفضة السابق لاحظنا تشكل عكر أبيض وهذا دليل على وجود أيونات الكلور داخل كرة التساند .

قياس ناقلية المعقدات المحضرة:

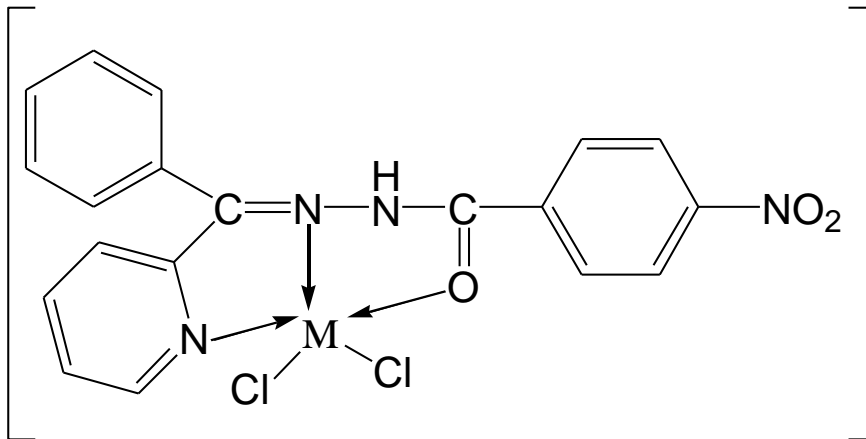
يوضح الجدول التالي قيم الناقلية للمعقدات في 10ml من مذيب DMF بتركيز 0.001M

جدول -5- قيم الناقلية الكهربائية المولية لمعقدات المرتبطة

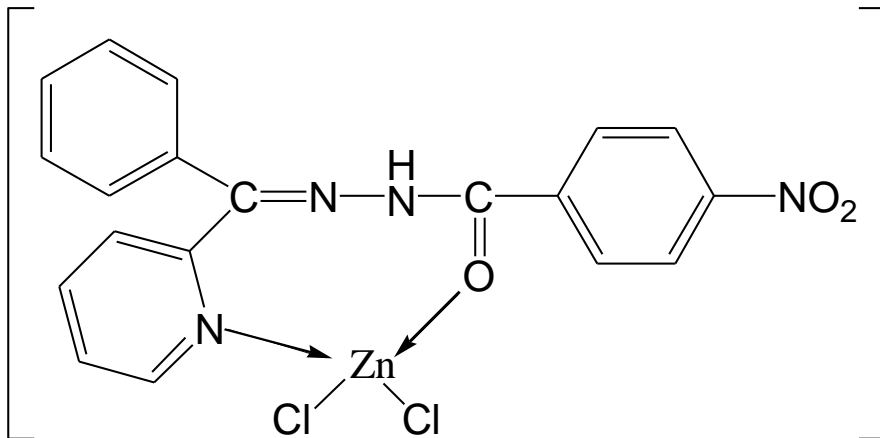
المعقد	الناقلية الكهربائية المولية ( $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )
[Cu(L1)Cl <sub>2</sub> ]	16
[Zn(L1)Cl <sub>2</sub> ]	15.6
[Ni(L1)Cl <sub>2</sub> ]	28.5

تدل قيم الناقلية في الجدول السابق على أن المعقدات غير كهربيئية .

مما سبق يمكن أن نستنتج أن معقدات النحاس والنيكل خماسية التساند في حين معقد الزنك رباعي التساند.



M= Cu , Ni



## النتائج:

- 1- تم تحضير المعقدات المعدنية للمرتبطة من معادن النحاس والزنك والنيكل.
- 2- أثبتت بنى المعقدات المحضرة بالاعتماد على مطيافيات FT-IR و UV-VIS ومن خلال الناقلية الكهربائية المولية والترميد والكشف عن الكلور.
- 3- تبين أن المعقدات غير كهربيية وأن معقدي النحاس والنيكل خماسي التساند في حين أن معقد الزنك رباعي التساند.

## المراجع:

- [1] F. Rahman, A. Chakraborty, and T. Das, "Spectrophotometric Determination of Arsenic in Water Samples by Thiophene-2-Carboxaldehyde Thiosemicarbazone Impregnated with Alumina," 2015.
- [2] Beffa F, Back G. Metal- complex Dyes for Wool and Nylon—1930 to date. Review of progress in coloration and related topics. 1984 Jun;14(1):33-42.
- [3] G. G. Mohamed and M. M. Omar, "Metal Complexes of Schiff Bases : Preparation , Characterization , and Biological Activity," vol. 30, pp. 361–382, 2006.
- [4] D. Sunil, A. M. Isloor, and K. S. R. Pai, "In vivo anticancer and histopathology studies of Schiff bases on Ehrlich ascitic carcinoma cells," *Arab. J. Chem.*, vol. 6, no. 1, pp. 25–33, 2013.
- [5] Govindasami T, Pandey A, Palanivelu N, Pandey A. Synthesis, characterization and antibacterial activity of biologically important vanillin related hydrazone derivatives. *International journal of organic chemistry*. 2011 Sep 28;1(03):71.
- [6] T. N. Chhowala and K. R. Desai, "Synthesis of Cu ( II ) and Ni ( II ) Azo Complex Dyes , their Application on Silk Fabrics and Screening for Antibacterial Activity," vol. 4, no. 2, pp. 901–905, 2015.
- [7] Singh RB, Jain P, Singh RP. Hydrazones as analytical reagents: a review. *Talanta*. 1982 Feb 1;29(2):77-84.

- [8]. G. Uppal, S. Bala, S. Kamboj M. Saini , Therapeutic Review Exploring Antimicrobial Potential of Hydrazones as Promising Lead Der Pharma Chemica, 2011, 3(1) ,250-251.
- [9]. N. P. Belskaya,W. Dehaen, V. A. Bakuleva, Synthesis and properties of hydrazones bearing amide, thioamide and amidine functions , ARKIVOC, 2010 (i) 275-277.
- [10]. A Brief review on Hydrazones as analytical reagents , 4-12.
- [11]. L. N. SUVARAPU<sup>1</sup>, Y. K. SEO<sup>1</sup>, S. O. BAEK<sup>1</sup>, V. R. AMMIREDDY, Review on Analytical and Biological applications of Hydrazones and their Metal Complexes , E-Journal of Chemistry , 2012, 9(3), 1291- 1296.
- [12]. S. Rollas , Ş. G. Küçükgülzel , Biological Activities of Hydrazone Derivatives , Molecules 2007, 12, 1910-1939.
- [13]. B. Narasimhan ,P. Kumar, D.Sharma, Biological activities of hydrazide derivatives in the new millennium , Acta Pharmaceutica Scientia , 52, 2010 , 177-178 .
- [14] Mandewale MC, Thorat B, Nivid Y, Jadhav R, Nagarsekar A, Yamgar R. Synthesis, structural studies and antituberculosis evaluation of new hydrazone derivatives of quinoline and their Zn (II) complexes. Journal of Saudi Chemical Society. 2018 Feb 1;22(2):218-28.
- [15] Yang Z, Li P, Gan X. Novel Pyrazole-Hydrazone derivatives containing an isoxazole moiety: design, synthesis, and antiviral activity. Molecules. 2018 Jul;23(7):1798.
- [16] Muluk MB, Ubale AS, Dhupal ST, Rehman NN, Dixit PP, Kharat KK, Choudhari PB, Haval KP. Synthesis, anticancer and antimicrobial evaluation of new pyridyl and thiazolyl clubbed hydrazone scaffolds. Synthetic Communications. 2020 Jan 17;50(2):243-55.
- [17] Despaigne AA, Da Silva JG, do Carmo AC, Piro OE, Castellano EE, Beraldo H. Structural studies on zinc (II) complexes with 2-

benzoylpyridine-derived hydrazones. *Inorganica Chimica Acta*. 2009 May 15;362(7):2117-22.

## تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألومنيوم مشابهة بالسيليكون والمغنزيوم

إعداد الباحث: محمد سهيل عيسى

إشراف : أ.د. عبد الرزاق الصوفي

### الملخص

تم تحضير عينات من سبائك Al-Zn-Mg-Si بنسب إشابة مختلفة لكل من السيليكون والمغنزيوم. و عولجت السبائك المحضرة حرارياً عند الدرجة  $520^{\circ}\text{C}$  لمدة 30 دقيقة. درست البنية البلورية للسبائك بتقانة XRD حيث تم حساب ثوابت الشبكة البلورية والحجم الحبيبي D و وجد أنّ العينة التي تحوي نسبة إشابة عالية من المغنزيوم أو السيليكون تملك الحجم الحبيبي الأصغر. وتم أيضاً حساب البعد بين المستويات البلورية d. تم تطبيق اختبار قساوة فيكرز على العينات المحضرة و وجد أن قيم القساوة تزداد عموماً بازدياد نسب الإشابة للسيليكون والمغنزيوم قبل وبعد تطبيق المعالجة الحرارية.

كلمات مفتاحية: سبيكة Al-Zn-Mg-Si - البنية البلورية - تقانة انعراج الأشعة السينية XRD - قساوة فيكرز.

# **The Effect of Heat Treatment in the Crystalline Structure and the Hardness of the Aluminum alloy Doped by Silicon and Magnesium.**

Prepared By: Mohammed Suhel Issa

Supervised By: Professor Abed Alrazzaq Alsoufy

The Al-Zn-Mg-Si alloys were prepared by content of different doping of silicon and magnesium. The heat treatment was applied on the prepared alloys at 520°C for 30 minutes. The crystalline structure of the prepared alloys were studied by XRD technology. The crystalline lattice constants and the crystallite size D were calculated and it was found that the alloy that has high content of doping of Magnesium or Silicon has the smallest crystallite size . And the interplanar spacing d was calculated . Vickers hardness test was applied on the alloys and it was found that it generally increases with the increase content of doping of Magnesium or Silicon before and after the heat treatment.

Key words: Al-Zn-Mg-Si alloy- the crystalline structure – X-Ray diffraction (XRD) – crystallite size – Vickers hardness .

## 1. مقدمة :

يحتلّ معدن الألمنيوم مكانة عالية من حيث وجود العناصر في الطبيعة حيث يشكّل حوالي 8% من العناصر المكونة للقشرة الأرضية متفوقاً بذلك على باقي المعادن. والألمنيوم معدن أبيض فضّي اللون وزنه خفيف حيث تبلغ كثافته  $2.7 \text{ gr.cm}^{-3}$  ، وتبلغ درجة انصهاره  $660 \text{ }^\circ\text{C}$  ، ويتبلور وفق البنية المكعبية المركزية الوجوه FCC، إلا أنه معدن قساوته منخفضة ومقاومة الشدّ له لا تتعدّى 90 MPa ، ولهذا تم العمل على تحسين خواصه الميكانيكية من خلال التوجّه على تكوين خلّاط منه مع عناصر أخرى ولتكمّل هذه الخلّاط المنحى التصاعدي في الاعتماد عليه في الكثير من التطبيقات الصناعية ولتسدّ الاحتياجات والمتطلبات التي لا يستطيع معدن الألمنيوم أن يوفرها بمفرده.

وقد قسمت سبائك ( خلّاط ) الألمنيوم إلى عدّة سلاسل وذلك بحسب العنصر المضاف إلى السبيكة ، واعتبرت السلسلة الحاوية على الألمنيوم بنقاوة 99% دون إضافات السلسلة الأولى، وأبرز العناصر المضافة إلى تلك السبائك هي النحاس والمنغنيز والسيليكون والمغنزيوم والزنك ، والجدول الآتي يوضّح أهم هذه السبائك:

رقم السلسلة	العنصر المضاف
الأولى	ألمنيوم لا تقلّ نقاوته عن 99 %
الثانية	نحاس
الثالثة	منغنيز
الرابعة	سيليكون
الخامسة	مغنزيوم
السادسة	مغنزيوم وسيليكون
السابعة	زنك

عناصر أخرى	الثامنة

جدول ( 1 ) : خلائط الألمنيوم والعناصر المضافة لها

تتميز كل سلسلة من السلاسل السابقة ببعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية التي تميزها عن السلاسل الأخرى. فالسلسلة الحاوية على الألمنيوم بدون إضافات لعناصر أخرى تتميز بالناقلية الحرارية والكهربائية العالية، والسلسلة الحاوية على النحاس وكذلك السلسلة الحاوية على الزنك تتميز بمقاومة شدّ عالية ، بينما الحاوية على المغنزيوم والسيليكون تتميز بقابلية تشكيل جيّدة [1]. هذا وتعتمد الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية لسبائك الألمنيوم على التركيب والبنية المجهرية لها. وعادةً ما يتم تطبيق المعالجات الحرارية على تلك السبائك للحصول على الخصائص المطلوبة [2].

2 . هدف البحث:

1 . تحضير عيّنات من سبيكة ( خليطة ) Al-Zn-Mg-Si مضافاً إليها نسب مختلفة من السيليكون والمغنزيوم لاستخدامها في بعض التطبيقات الصناعية.

2 . معالجة العينات المحضّرة حرارياً لتحسين خصائصها البنيوية والميكانيكية.

3 . دراسة البنية البلورية للعيّنات المحضّرة قبل وبعد تطبيق المعالجة الحراريّة عليها وإجراء اختبار قساوة فيكرز عليها.

3 . مواد وطرق البحث:

3 . 1 . الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- \* ميزان إلكتروني من نوع Precisa 3100 تبلغ حساسيته  $10^{-2}$  gr  
كما يبيّن الشكل ( 1 ).
- \* فرن الصهر وهو من نوع CARBOLITE الشكل ( 2 ).
- \* بوتقة الصهر.
- \* قالب الصبّ : وهو قالب فولاذي مكوّن من جزأين يسهل انطباقهما على بعضهما البعض ، حيث يشكلان بداخلهما تجويفين ، أحد هذين التجويفين اسطواني الشكل بطول 163 cm وقطر 13 mm ، والتجويف الآخر بشكل متوازي مستطيلات أبعاده  $13 \times 13 \times 153$  cm .
- \* جهاز انعراج الأشعة السينية ( XRD ) نوع ( PW-1840 ) من إنتاج شركة PHILIPS ، ذو مصعد من الكوبالت Co ، يعطي الطول الموجي  $\lambda = 1.78897 \text{ \AA}$  .
- \* جهاز قساوة فيكرز Vickers Hardness من نوع HARTEPRUFER ، مزوّد بشاشة تعمل باللمس ، الشكل ( 5 ).

### 3 . 2 . تحضير العينات:

تمّ وزن قطع صلبة من الألمنيوم ذو النقاوة العالية ثم حساب الكميّة المقابلة لها من العناصر المضافة للسبيكة وهي الزنك والمغنزيوم والسيليكون والتي وضعت بشكل قطع صغيرة صلبة أيضاً وتمّ وضع السيليكون بشكل حبيبات صغيرة لضمان توزيعه في السبيكة بشكل جيّد ، تمّ وضع الكميات المقابلة من هذه العناصر بحيث تحقق النسب المطلوبة ، وقد تمّ تغليف كل مادّة من هذه المواد برقاقة من الألمنيوم مع مراعاة زيادة الكميّة المضافة بمقدار حوالي 10% لاعتبارات الفقد الحاصل نتيجة عملية التأكسد وعدم الذوبان بشكل جيّد.

وضعت القطع الصلبة للألمنيوم في بوتقة الصهر ثم وضعت في الفرن ، وتمت عملية الصهر عند الدرجة  $850^{\circ}\text{C}$  ، ومن ثم تم إضافة مكونات السبيكة الأخرى والتحريك الجيد للمصهور بوساطة قضيب معدني مخصّص لعملية التحريك ، ثم إعادة البوتقة إلى الفرن مرة أخرى لفترة زمنية قصيرة . ثم تم إخراج البوتقة من جديد وسكب المصهور في قالب الصب والذي تم تسخينه مسبقاً عند الدرجة  $250^{\circ}\text{C}$  تفادياً للتجمد المباشر للمصهور [3].

وأخيراً تم إخراج المسبوكات من داخل القالب بعد تبريده.

كزرت العملية السابقة بإضافة النسب الوزنية المطلوبة للسيليكون والمغنزيوم للحصول على العينات المطلوبة.

وبيّن الجدول الآتي تركيب العينات التي تم الحصول عليها:

رقم العينة	Al	Zn [ % ]	Mg [ % ]	Si [ % ]	Others[%]
(معيارية) 1	Bal	5	1	1	1 >
2	Bal	5	2	1	1 >
3	Bal	5	3	1	1 >
4	Bal	5	4	1	1 >
5	Bal	5	1	2	1 >
6	Bal	5	1	3	1 >
7	Bal	5	1	4	1 >

جدول ( 2 ) : النسب الوزنية للعناصر الداخلة في تركيب العينات المحضرة

4 . النتائج ومناقشتها :

تمت دراسة البنية البلورية للعينات المحضرة و إجراء اختبار القساوة عليها قبل وبعد تطبيق المعالجة الحرارية ، حيث تمت دراسة العينات المحضرة بنيوياً باستخدام تقانة انعراج الأشعة السينية ( X-Ray Diffraction ) حيث تظهر أطياف انعراج الأشعة السينية الناتجة قمم انعراج واضحة والتي تعتبر نتيجة للتداخل البناء للأشعة السينية المنعكسة عن المستويات البلورية المحققة لشرط براغ في الإنعراج.

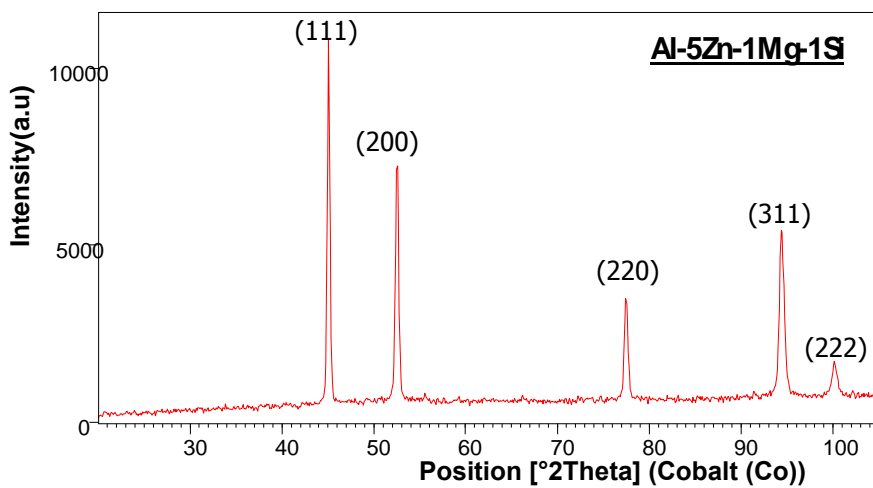
وأجري اختبار القساوة على العينات باستخدام جهاز قساوة فيكرز.

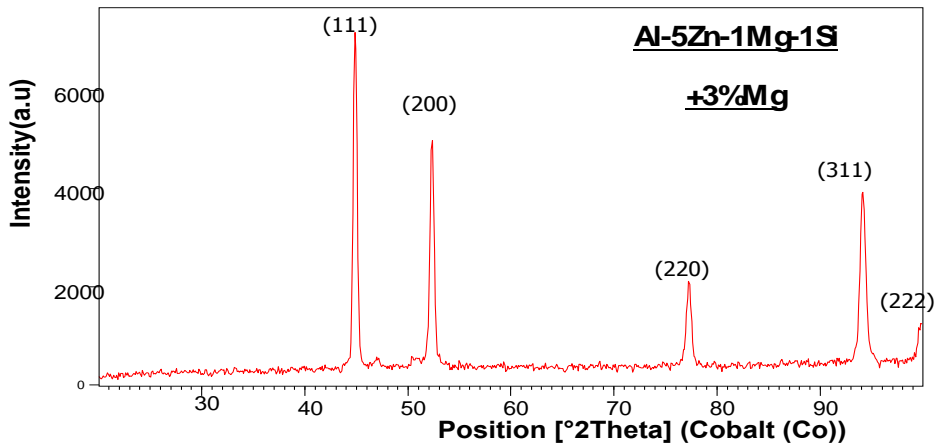
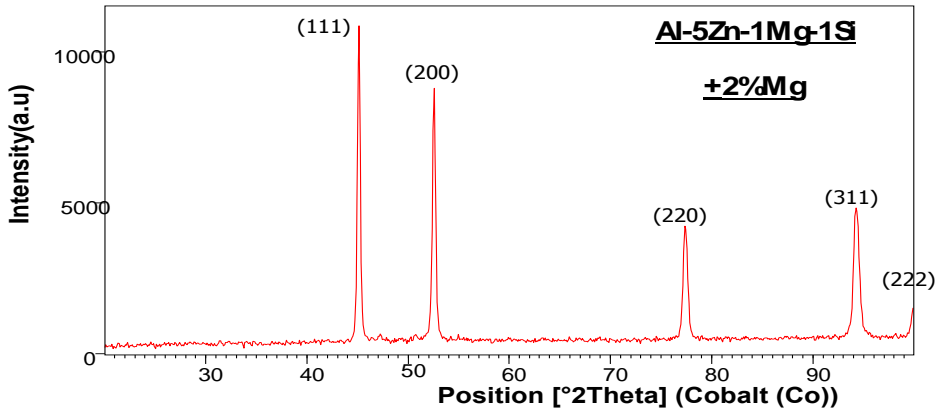
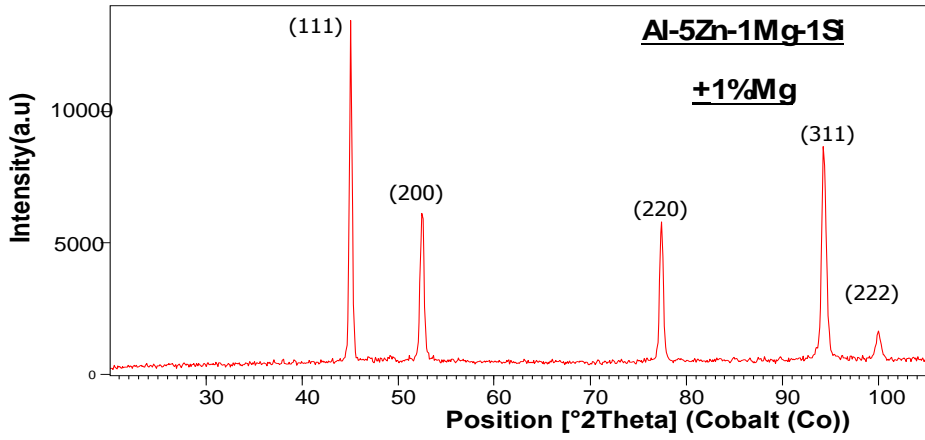
#### 4 . 1 . دراسة البنية البلورية للعينات المحضرة :

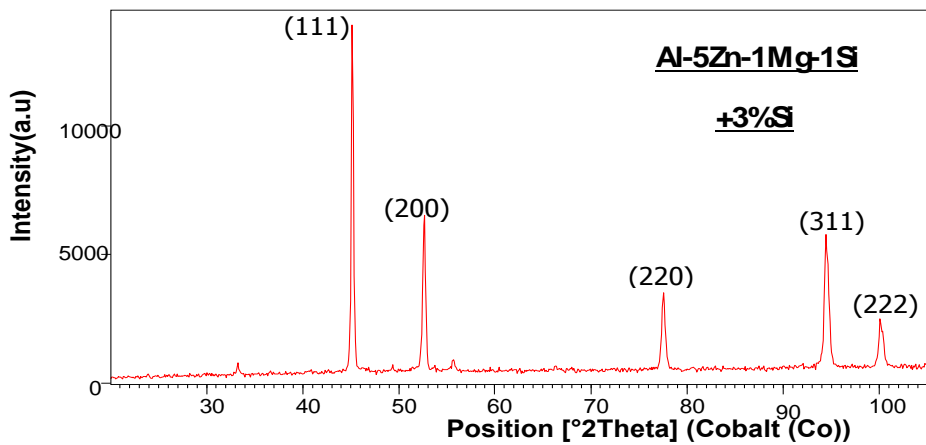
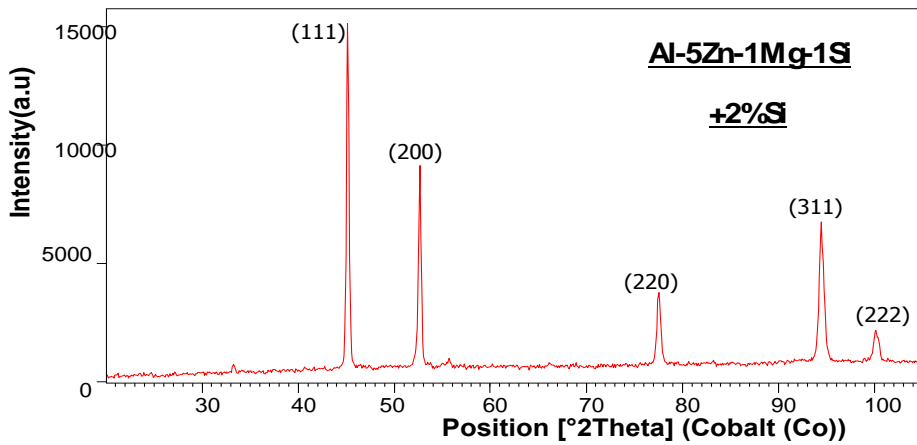
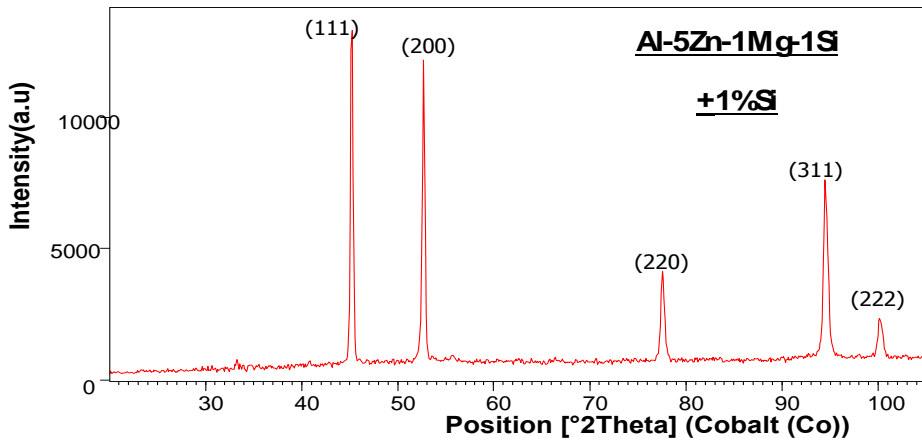
##### 4.1.1.4 . الدراسة البنيوية قبل تطبيق المعالجة الحرارية:

تبيّن من خلال دراسة أطياف انعراج الأشعة السينية وبالإستعانة ببنك المعلومات والمقارنة مع البطاقة المرجعية ذات الرقم ( 5-90-7429 ) تبيّن ظهور قمم انعراج واضحة عائدة للمستويات البلورية ذات قرائن ملر (222), (311), (220), (200), (111) والموافقة لزوايا الإنعراج (2θ) كما هو موضّح في الجدولين ( 3 ) و ( 4 ) . وهذه المستويات عائدة لمعدن الألمنيوم والذي يتبلور وفق البنية المكعبية المركزية الوجوه ( Face Central Cubic ) Fcc وينتمي إلى المجموعة الفراغية Fm3m ، وثابت الشبكة البلورية لها  $a = 4.049 \text{ \AA}$  وقد لوحظ انزياحاً طفيفاً في قيم زوايا الانعراج (2θ) الموافقة للقمم المتشكلة بالمقارنة مع البطاقة المرجعية كما هو مبين في الجدولين ( 3 ) و ( 4 ) .

وتبيّن الأشكال الآتية أطياف الإنعراج الناتجة للعينات المحضرة قبل تطبيق المعالجة الحرارية:







يلاحظ من خلال أطياف الإنعراج عند إضافة المغنيزيوم إلى العينة المعيارية ( الأساسية ) ارتفاع في شدة قمم الانعراج عموماً عند الإشابة بالنسب السابقة وذلك بالمقارنة مع طيف العينة الأساسية، وهذا يدلّ على تغيّر في الخصائص البنيوية للعينات المحضّرة ما يعني تغيّراً في خصائصها الميكانيكية.

ولوحظ أيضاً عند الإشابة بالسليكون ارتفاعاً في شدة قمم الإنعراج عموماً عند الإشابة بالنسب السابقة للسليكون وذلك بالمقارنة مع طيف العينة الأساسية مما يعني تغيّراً في الخصائص الميكانيكية أيضاً.

تمّ حساب البعد بين المستويات البلورية  $d$  من خلال تطبيق معادلة براغ في الإنعراج [6]:

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

حيث:

$n$  : عدد صحيح يمثل رتبة الإنعراج.

$\lambda$  : طول موجة الأشعة السينية المستخدمة وهي هنا (  $\lambda = 1.78897 \text{ \AA}$  ).

$d$  : البعد بين المستويات البلورية (  $\text{\AA}$  )

$\theta$  : الزاوية بين حزمة الأشعة الواردة والمستويات البلورية ( rad ) .

وتم أيضاً حساب الحجم الحبيبي  $D$  بالاستعانة بعلاقة ديبيي - شيرر [5]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta\cos\theta} \dots\dots\dots (2)$$

حيث أنّ  $K$  : ثابت ويساوي 0.9.

$\lambda$  : طول موجة الأشعة السينية المستخدمة ( $\lambda = 1.78897 \text{ \AA}$ ).

$\beta$ : العرض عند منتصف الشدة العظمى لقمم الإنعراج ( rad ) .

$\theta$  : الزاوية بين حزمة الأشعة الواردة والمستويات البلورية ( rad ) .

وتم حساب ثابت الشبكة البلورية  $a$  باستخدام علاقة البعد بين المستويات البلورية للبنية المكعبية :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \dots\dots\dots (3)$$

حيث أن  $d$  : البعد بين المستويات البلورية ( $\text{\AA}$ ) .

$a$  : ثابت الشبكة البلورية ( $\text{\AA}$ ) .  $h, k, l$  : قرائن ملر للمستويات البلورية.

وبلاحظ من خلال نتائج الحسابات السابقة والمبينة في الجداول (3) و (4) و (5) ازدياداً في قيمة ثابت الشبكة البلورية  $a$  عند ازدياد نسب الإشابة بالمغنزيوم وذلك بالمقارنة مع قيمة ثابت الشبكة البلورية للعينه الأساسية، ويفسر هذا الأمر باعتبار أن نصف قطر ذرة المغنزيوم  $1.6 \text{ \AA}$  أكبر من نصف قطر ذرة الألمنيوم  $1.43 \text{ \AA}$  مايعني زيادة في قيمة ثابت الشبكة البلورية بازدياد النسبة المضافة من المغنزيوم.

ولوحظ أيضاً انخفاضاً في قيمة ثابت الشبكة البلورية  $a$  عند الإشابة بالنسب السابقة للسيليكون وذلك بالمقارنة مع قيمة ثابت الشبكة البلورية للعينه الأساسية، باعتبار أن نصف قطر ذرة السيليكون  $1.17 \text{ \AA}$  أصغر من نصف قطر ذرة الألمنيوم  $1.43 \text{ \AA}$  مايعني نقصاناً في قيمة ثابت الشبكة البلورية بازدياد النسبة المضافة من السيليكون.

وقد لوحظ أيضاً بالنسبة للحجم الحبيبي  $D$  وعند الإشابة بالمغنزيوم أنّ العينات المحضّرة عند نسب إشابة عالية من المغنزيوم تملك حجم حبيبي  $D$  أصغر من العينات المحضّرة عند نسب إشابة منخفضة منه .

وعند الإشابة بالسيليكون لوحظ أنّ العينات المحضّرة عند نسب إشابة عالية من السيليكون تملك حجم حبيبي  $D$  أصغر من العينات المحضّرة عند نسب إشابة منخفضة منه ، ويفسر نقصان الحجم الحبيبي بسبب ازدياد حدود الحبيبات ( grain boundry ) مايعيق نمو البلورات.

وتوضّح الجداول الآتية نتائج الحسابات :

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	Rel.Int. [%]	$2\theta$ (°) تجريبياً	$2\theta$ (°) بطاقة مرجعية	$\theta$ (°) تجريبياً	تجريبياً $\theta$ (rad)	$d$ (Å°)	$a$ (Å°)	$a_{avg}$ (Å°)
أساسية (معيارية)	(111)	100	45.071	44.988	22.535	0.393	2.333	4.042	4.042
	(200)	56.82	52.509	52.455	26.254	0.458	2.021	4.043	
	(220)	17.02	77.490	77.376	38.745	0.676	1.429	4.042	
	(311)	23.96	94.379	94.207	47.189	0.823	1.219	4.043	
	(222)	4.63	100.13 3	99.844	50.066	0.873	1.166	4.040	
1% Mg	(111)	100	45.066	44.988	22.533	0.393	2.334	4.042	4.045
	(200)	43.29	52.475	52.455	26.237	0.457	2.023	4.046	
	(220)	40.97	77.435	77.376	38.717	0.675	1.430	4.044	
	(311)	61.65	94.290	94.207	47.145	0.822	1.220	4.046	
	(222)	8.18	99.978	99.844	49.989	0.872	1.167	4.045	
2%Mg	(111)	100	45.118	44.988	22.559	0.393	2.331	4.038	
	(200)	77.79	52.542	52.455	26.271	0.458	2.020	4.041	

تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألنيوم مشابهة بالسيليكون والمغنزيوم

	(220)	35.42	77.393	77.376	38.696	0.675	1.430	4.046	4.044
	(311)	39.23	94.244	94.207	47.122	0.822	1.220	4.048	
	(222)	9.55	99.974	99.844	49.987	0.872	1.167	4.045	
3%Mg	(111)	100	44.872	44.988	22.436	0.391	2.343	4.059	4.054
	(200)	67.44	52.325	52.455	26.162	0.456	2.02	4.057	
	(220)	25.16	77.294	77.376	38.647	0.674	1.432	4.050	
	(311)	50.36	94.130	94.207	47.065	0.821	1.221	4.051	
	(222)	15.56	99.773	99.844	49.886	0.870	1.169	4.051	

الجدول ( 3 ): نتائج الحسابات للعيينة المعيارية ( بدون إضافات ) و للعينات المضاف إليها المغنزيوم قبل تطبيق المعالجة الحرارية.

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	Rel.Int. [%]	$2\theta$ (°) تجريبياً	$2\theta$ (°) بطاقة مرجعية	$\theta$ (°) تجريبياً	$\theta$ (rad)تجريبياً	d(A°)	a(A°)	a <sub>avg</sub> (A°)
1%Si	(111)	100	45.211	44.988	22.605	0.394	2.326	4.030	4.036
	(200)	87.15	52.670	52.455	26.335	0.459	2.016	4.032	
	(220)	25.91	77.593	77.376	38.796	0.677	1.427	4.037	
	(311)	51.36	94.491	94.207	47.245	0.824	1.218	4.040	
	(222)	11.23	100.157	99.844	50.078	0.874	1.166	4.040	
2%Si	(111)	100	45.145	44.988	22.572	0.393	2.330	4.035	4.038
	(200)	58.77	52.640	52.455	26.320	0.459	2.017	4.034	
	(220)	20.42	77.568	77.376	38.784	0.676	1.427	4.038	
	(311)	40.3	94.442	94.207	47.221	0.824	1.218	4.041	
	(222)	8.68	100.087	99.844	50.043	0.873	1.166	4.042	
3%Si	(111)	100	45.160	44.988	22.580	0.394	2.329	4.034	4.038
	(200)	45.9	52.617	52.455	26.308	0.459	2.018	4.036	
	(220)	21.91	77.561	77.376	38.780	0.676	1.428	4.039	
	(311)	38.03	94.469	94.207	47.234	0.824	1.218	4.040	
	(222)	12.97	100.138	99.844	50.069	0.873	1.166	4.040	

الجدول ( 4 ) : نتائج الحسابات للعينات المضاف إليها السيليكون قبل تطبيق المعالجة الحرارية.

تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألومنيوم مشابهة بالسيليكون والمغنزيوم

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	2θ (°) تجريبياً	λ(°)	λ(rad)	D (nm)	D <sub>avg</sub> (nm)
أساسية (معيارية)	(111)	45.071	0.3936	0.00687	25.374	<b>27.671</b>
	(200)	52.509	0.3936	0.00687	26.132	
	(220)	77.490	0.3936	0.00687	30.049	
	(311)	94.379	0.492	0.00858	27.589	
	(222)	100.133	0.492	0.00858	29.209	
1%Mg	(111)	45.066	0.3936	0.00687	25.373	<b>29.112</b>
	(200)	52.475	0.3936	0.00687	26.128	
	(220)	77.435	0.3936	0.00687	30.037	
	(311)	94.290	0.492	0.00858	27.566	
	(222)	99.978	0.3936	0.00687	36.452	
2%Mg	(111)	45.118	0.2952	0.00515	33.838	<b>28.142</b>
	(200)	52.542	0.3936	0.00687	26.136	
	(220)	77.393	0.492	0.00858	24.023	
	(311)	94.244	0.492	0.00858	27.554	
	(222)	99.974	0.492	0.00858	29.160	
3%Mg	(111)	44.872	0.3936	0.00687	25.355	<b>26.957</b>
	(200)	52.325	0.3936	0.00687	26.112	
	(220)	77.294	0.492	0.00858	24.006	
	(311)	94.130	0.5904	0.01030	22.937	
	(222)	99.773	0.3936	0.00687	36.375	
1%Si	(111)	45.211	0.2952	0.00515	33.849	<b>31.793</b>
	(200)	52.670	0.3936	0.00687	26.150	
	(220)	77.593	0.2952	0.00515	40.094	
	(311)	94.491	0.3936	0.00687	34.523	
	(222)	100.157	0.5904	0.01030	24.347	
2%Si	(111)	45.145	0.3936	0.00687	25.381	<b>27.679</b>
	(200)	52.640	0.3936	0.00687	26.147	
	(220)	77.568	0.3936	0.00687	30.065	
	(311)	94.442	0.492	0.00858	27.606	
	(222)	100.087	0.492	0.00858	29.195	

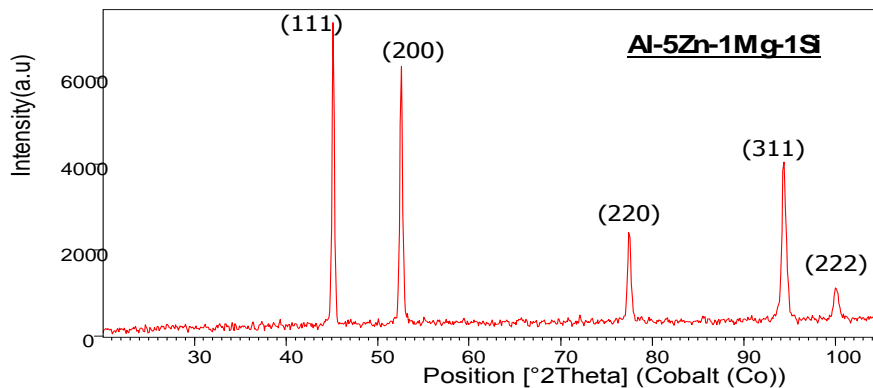
3%Si	(111)	45.160	0.2952	0.00515	33.843	31.118
	(200)	52.617	0.2952	0.00515	34.859	
	(220)	77.561	0.3936	0.00687	30.064	
	(311)	94.469	0.492	0.00858	27.613	
	(222)	100.138	0.492	0.00858	29.210	

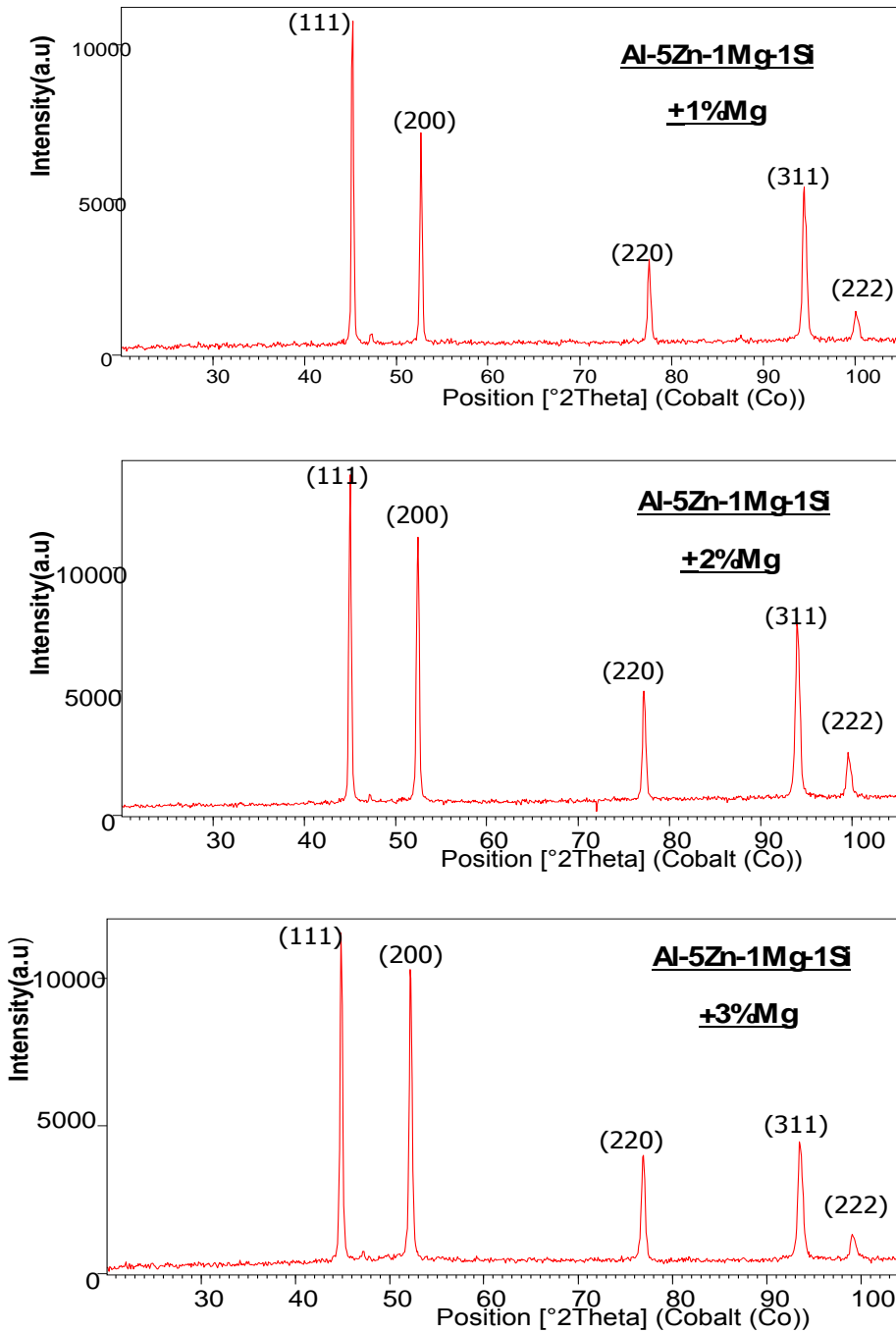
### الجدول ( 5 ) : نتائج الحسابات قبل تطبيق المعالجة الحرارية.

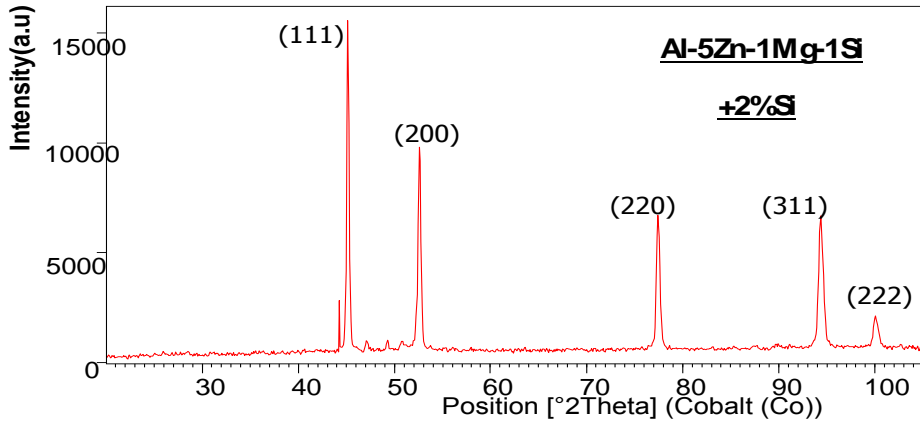
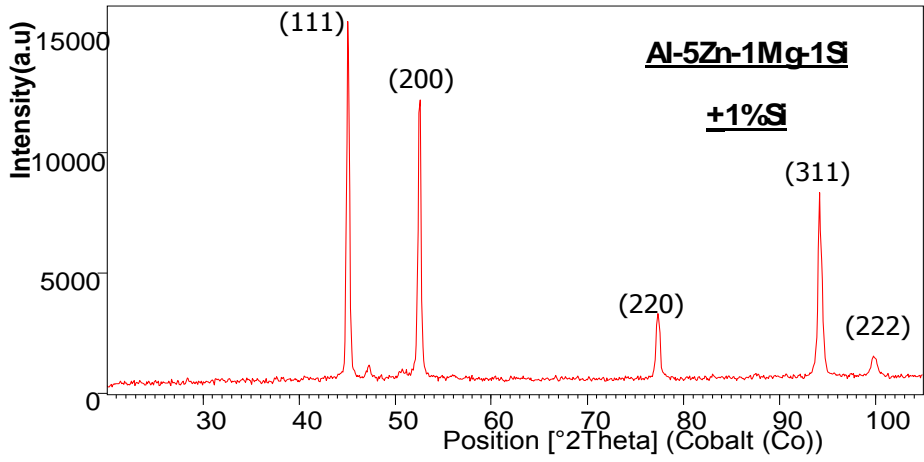
#### 2.1.4. الدراسة البنيوية بعد تطبيق المعالجة الحرارية:

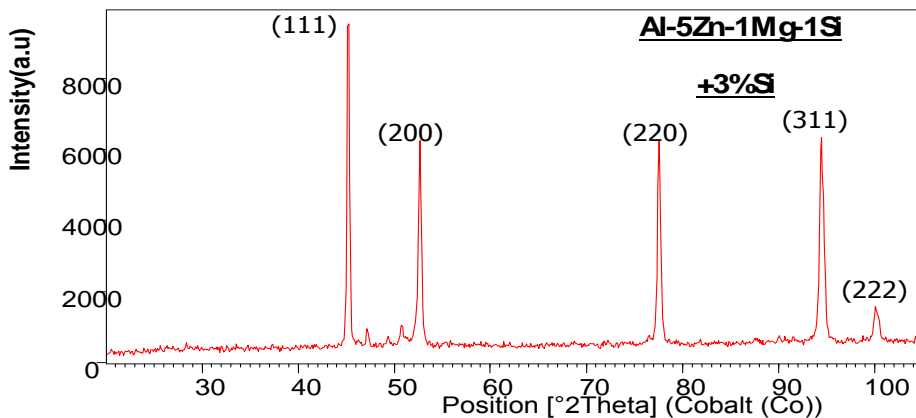
تبيّن من خلال أطياف الأنعراج التي حصلنا عليها بعد تطبيق المعالجة الحرارية عند الدرجة  $520^{\circ}\text{C}$  لمدة نصف ساعة وبالاستعانة أيضاً ببنك المعلومات والبطاقة المرجعية ذات الرقم ( ) 7429-90-5 تبين ظهور قمم انعراج واضحة عائدة للمستويات البلورية ذات قرائن ملر الموضحة على أطياف الانعراج أدناه، مع البنية البلورية FCC للألمنيوم أي دون حدوث انتقال طوري بعد تطبيق المعالجة الحرارية.

وتبيّن الأشكال الآتية أطياف انعراج الأشعة السينية بعد تطبيق المعالجة الحرارية:









تم حساب كل من البعد بين المستويات البلورية  $d$  والحجم الحبيبي  $D$  وثابت الشبكة البلورية  $a$  باستخدام العلاقات (1) و (2) و (3) والجدول الآتية توضح نتائج هذه الحسابات:

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	Rel.Int. [%]	$2\theta$ (°) تجريبياً	$2\theta$ (°) بطاقة مرجعية	$\theta$ (°) تجريبياً	$\theta$ (rad)تجريبياً	$d$ (Å°)	$a$ (Å°)	$a_{avg}$ (Å°)
أساسية	(111)	100	45.145	44.988	22.572	0.393	2.330	4.036	4.041
	(200)	84.98	52.553	52.455	26.276	0.458	2.020	4.040	
	(220)	28.67	77.509	77.376	38.754	0.676	1.428	4.041	
	(311)	52.17	94.349	94.207	47.174	0.823	1.219	4.044	
	(222)	10.31	100.040	99.844	50.020	0.873	1.167	4.043	
1%Mg	(111)	100	45.223	44.988	22.611	0.394	2.326	4.0294	4.036
	(200)	63.79	52.669	52.455	26.334	0.459	2.016	4.0325	
	(220)	24.4	77.593	77.376	38.796	0.677	1.427	4.0377	
	(311)	45.42	94.458	94.207	47.229	0.824	1.218	4.0411	
	(222)	8.83	100.069	99.844	50.034	0.873	1.167	4.0427	
2%Mg	(111)	100	45.024	44.988	22.512	0.392	2.336	4.046	4.052
	(200)	80.32	52.427	52.455	26.213	0.457	2.024	4.049	
	(220)	32.26	77.244	77.376	38.622	0.674	1.432	4.053	
	(311)	51.6	94.019	94.207	47.009	0.820	1.222	4.055	
	(222)	13.07	99.565	99.844	49.783	0.868	1.171	4.057	

	(111)	100	44.854	44.988	22.427	0.391	2.344	4.0607	
	(200)	90.53	52.205	52.455	26.102	0.455	2.032	4.0658	
3%Mg	(220)	32.56	76.910	77.376	38.455	0.671	1.438	4.0679	
	(311)	34.98	93.500	94.207	46.750	0.815	1.228	4.0728	4.068
	(222)	7.52	99.055	99.844	49.527	0.864	1.175	4.0730	

الجدول ( 6 ) : نتائج الحسابات للعينة المعيارية ( بدون إضافات ) و للعينات المضاف إليها المغنيزيوم بعد تطبيق المعالجة الحرارية.

تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألنيوم مشابهة بالسيليكون والمغنزيوم

1%Si	(111)	100	45.078	44.988	22.539	0.393	2.333	4.041	4.046
	(200)	78.57	52.516	52.455	26.258	0.458	2.021	4.043	
	(220)	17.79	77.386	77.376	38.693	0.675	1.430	4.046	
	(311)	48.46	94.197	94.207	47.098	0.822	1.221	4.049	
	(222)	5.18	99.830	99.844	49.915	0.871	1.169	4.049	
2%Si	(111)	100	45.154	44.988	22.577	0.394	2.329	4.035	4.040
	(200)	63.07	52.597	52.455	26.298	0.459	2.018	4.037	
	(220)	40.14	77.466	77.376	38.733	0.676	1.429	4.043	
	(311)	39.47	94.350	94.207	47.175	0.823	1.219	4.044	
	(222)	9.37	100.03 4	99.844	50.017	0.872	1.167	4.043	
3%Si	(111)	100	45.204	44.988	22.602	0.394	2.327	4.031	4.037
	(200)	59.87	52.644	52.455	26.322	0.459	2.017	4.034	
	(220)	58.67	77.578	77.376	38.789	0.677	1.427	4.038	
	(311)	59.14	94.448	94.207	47.224	0.824	1.218	4.041	
	(222)	10.19	100.07 2	99.844	50.036	0.873	1.167	4.042	

الجدول ( 7 ) : نتائج الحسابات للعينات المضاف إليها السيليكون بعد تطبيق المعالجة الحرارية.

النسبة المضافة	قرائن ملر (hkl)	$2\theta$ (°) تجريبياً	$\alpha$ (°)	$\alpha$ (rad)	D (nm)	$D_{avg}$ (nm)
أساسية	(111)	45.145	0.3936	0.00687	25.381	27.667
	(200)	52.553	0.3936	0.00687	26.137	
	(220)	77.509	0.3936	0.00687	30.053	
	(311)	94.349	0.492	0.008587	27.582	
	(222)	100.040	0.492	0.008587	29.181	
1%Mg	(111)	45.223	0.2952	0.00515	33.850	30.145
	(200)	52.669	0.2952	0.00515	34.867	
	(220)	77.593	0.3936	0.00687	30.071	
	(311)	94.458	0.492	0.00858	27.610	
	(222)	100.069	0.5904	0.01030	24.324	
2%Mg	(111)	45.024	0.2952	0.00515	33.826	30.070
	(200)	52.427	0.2952	0.00515	34.831	
	(220)	77.244	0.3936	0.00687	29.997	
	(311)	94.0192	0.492	0.00858	27.496	
	(222)	99.565	0.5904	0.01030	24.198	
3%Mg	(111)	44.854	0.3936	0.00687	25.354	27.391
	(200)	52.205	0.2952	0.00515	34.798	
	(220)	76.910	0.3936	0.00687	29.928	
	(311)	93.500	0.5904	0.01030	22.803	
	(222)	99.055	0.5904	0.01030	24.071	
1%Si	(111)	45.078	0.2952	0.00515	33.833	30.102
	(200)	52.516	0.2952	0.00515	34.844	
	(220)	77.386	0.3936	0.00687	30.027	
	(311)	94.197	0.492	0.00858	27.542	
	(222)	99.830	0.5904	0.01030	24.264	
2%Si	(111)	45.1542	0.3936	0.00687	25.381	
	(200)	52.597	0.2952	0.00515	34.856	

تأثير المعالجة الحرارية في البنية البلورية والقساوة لسبيكة ألمنيوم مشابهة بالسيليكون والمغنزيوم

	(220)	77.466	0.3936	0.00687	30.044	29.408
	(311)	94.350	0.492	0.00858	27.582	
	(222)	100.034	0.492	0.00858	29.179	
3%Si	(111)	45.204	0.2952	0.00515	33.848	29.372
	(200)	52.644	0.3936	0.00687	26.147	
	(220)	77.578	0.3936	0.00687	30.068	
	(311)	94.448	0.492	0.00858	27.607	
	(222)	100.072	0.492	0.00858	29.190	

الجدول ( 8 ) : نتائج الحسابات للعينة المعيارية ( بدون إضافات ) و للعينات المضاف إليها المغنزيوم بعد تطبيق المعالجة الحرارية.

يُلاحظ من خلال أطيايف الانعراج بعد تطبيق المعالجة الحرارية وعند إضافة المغنزيوم بالنسب السابقة تغيّرت شدات قمم الانعراج مايعني تغيّراً في البنية البلورية ، ويلاحظ أيضاً من خلال أطيايف انعراج الأشعة السينية بعد تطبيق المعالجة الحرارية عند إضافة السيليكون بالنسب السابقة ارتفاع في شدّات بعض القمم أيضاً مايعكس تغيّراً في البنية البلورية.

ويلاحظ عند حساب ثابت الشبكة البلورية  $a$  وعند إضافة المغنزيوم زيادة في قيمة ثابت الشبكة البلورية بعد تطبيق المعالجة الحرارية ، ولوحظ أيضاً زيادة في قيمة ثابت الشبكة البلورية بازدياد النسبة المضافة من المغنزيوم وذلك بالمقارنة مع قيمة ثابت الشبكة البلورية للعينة الأساسية.

ولوحظ عند إضافة السيليكون زيادة في قيمة ثابت الشبكة البلورية  $a$  للعينات بعد تطبيق المعالجة الحرارية ، ولوحظ تناقص في قيمة ثابت الشبكة البلورية بازدياد النسبة المضافة من السيليكون على العينات المحضّرة.

أما بالنسبة لنتائج حسابات الحجم الحبيبي  $D$  لوحظ ازدياد في قيمة الحجم الحبيبي بعد تطبيق المعالجة الحرارية عنه قبل تطبيقها، وبالمقابل لوحظ أنّ العينات المحضّرة عند نسب إشابة عالية من المغنزيوم تملك حجم حبيبي  $D$  أصغر من العينات المحضرة عند نسب إشابة منخفضة منه.

وعند الإثابة بالسيليكون بالنسب السابقة لوحظ أنّ العينات المحضّرة عند نسب إثابة عالية من السيليكون تملك حجم حبيبي  $D$  أصغر من العينات المحضّرة عند نسب إثابة منخفضة منه.

#### 2. 1. 4. اختبار القساوة:

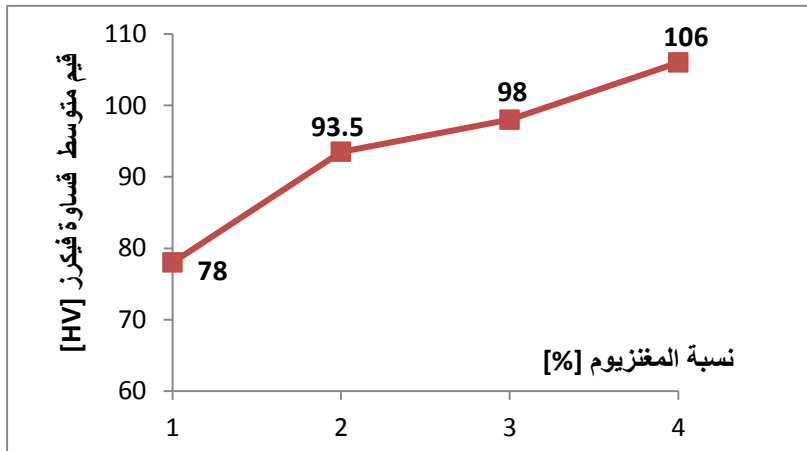
تم تطبيق اختبار القساوة باستخدام جهاز قساوة فيكرز المبيّن في الشكل جانباً، حيث تظهر قيمة القساوة على الشاشة المزوّد بها الجهاز بعد وضع العينة في المكان المخصّص لها على الجهاز وتطبيق الحمولة عليها، وقد أُخذت قراءتين للقساوة بتطبيق حمولة الجهاز على مكانين مختلفين من العينة ومن ثم أخذ المتوسط الحسابي لهاتين القيمتين.



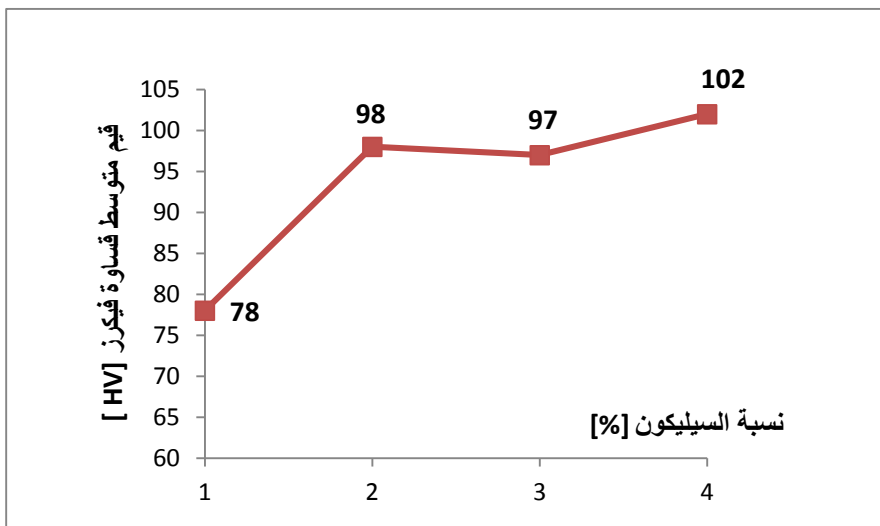
الشكل ( 5 ): جهاز قياس قساوة فيكرز.

#### 1.2.1.4. اختبار القساوة قبل تطبيق المعالجة الحرارية:

يُظهر الشكل (6) تغيير قيم متوسط قساوة فيكرز بدلالة النسبة المئوية المضافة من المغنيزيوم ، وبقراءة بيانيّة لهذا الخط البياني نلاحظ ازدياد قيم قساوة فيكرز للسبيكة بازدياد نسبة الإثابة بالمغنيزيوم وفق النسب السابقة.



الشكل ( 6 ): قيم متوسط قساوة فيكرز للسبيكة بدلالة نسبة المغنيزيوم المضافة

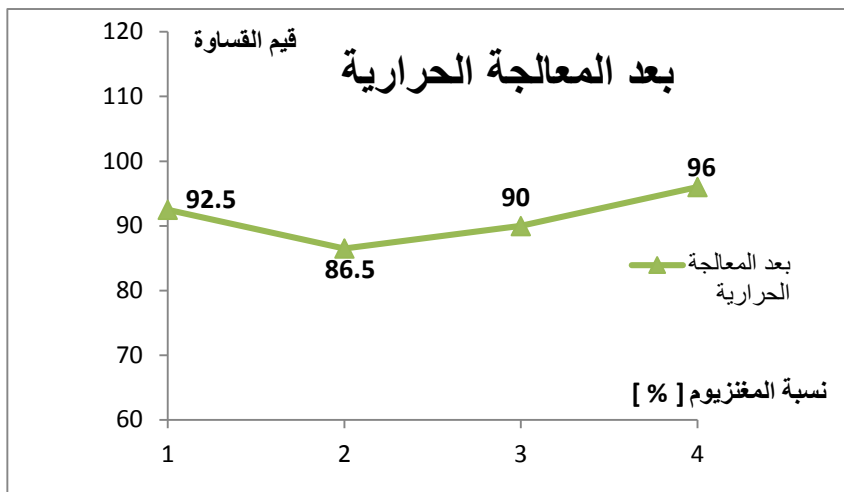


الشكل ( 7 ) : قيم متوسط قساوة فيكرز للسبيكة بدلالة نسبة السيليكون.

وبقراءة بيانية أيضاً للشكل ( 7 ) نلاحظ ازدياداً في قيم قساوة فيكرز بازدياد نسبة الإشابة بالسيليكون .

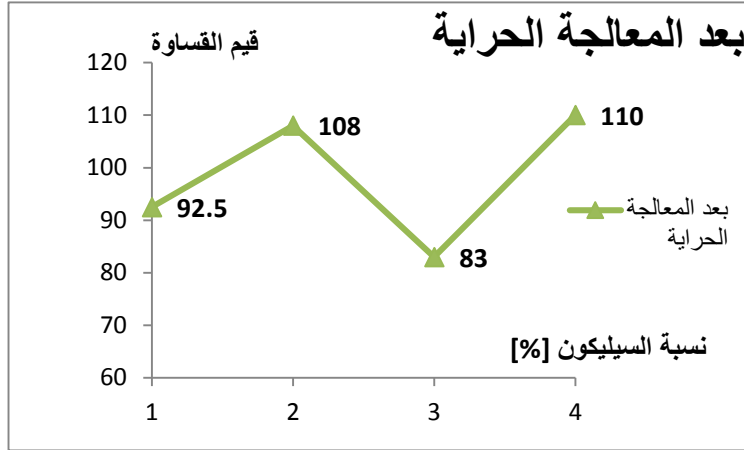
#### 2.2.1.4. اختبار القساوة بعد تطبيق المعالجة الحرارية:

يُظهر الشكل (8) تغير قيم متوسط قساوة فيكرز بدلالة النسبة المئوية المضافة من المغنزيوم ، وبقراءة بيانية لهذا الخط البياني نلاحظ ازدياد قيم قساوة فيكرز للسبيكة بعد تطبيق العالجة الحرارية بازدياد نسبة الإشابة بالمغنزيوم وفق النسب المحضرة، ويفسر ارتفاع قيم قساوة فيكرز تبعاً لنقصان الحجم الحبيبي D حيث أصبحت البنية البلورية أنعم [3].



الشكل ( 8 ) : الخط البياني لقيم متوسط قساوة فيكرز للسبيكة بدلالة نسبة المغنيزيوم المضافة

يُظهر الشكل (9) تغير قيم متوسط قساوة فيكرز بدلالة النسبة المئوية المضافة من السيليكون، ووجد أنّ العينة التي تحتوي على أعلى نسبة إشابة بالسيليكون تملك أكبر قيمة لقساوة فيكرز حيث تملك أصغر حجم حبيبي وهذا مايفسر ارتفاع قيمة قساوتها مقارنة مع بقية العينات.



الشكل ( 9 ): الخط البياني لقيم متوسط قساوة فيكرز للسبيكة بدلالة نسبة السيلكون المضافة.

## 5. الاستنتاجات والتوصيات:

1. وجد تغيراً طفيفاً في قيمة كل من ثابت الشبكة البلورية  $a$  والحجم الحبيبي  $D$  عند إضافة كل من المغنزيوم والسيليكون إلى سبيكة  $Al-Zn-Mg-Si$  قبل وبعد تطبيق المعالجة الحرارية ورافق هذا التغير تغيراً في قيم القساوة .
2. لوحظ ازدياد في قيم قساوة فيكرز للعينات عموماً بازدياد النسبة المضافة من المغنزيوم وترافق هذا الازدياد عموماً مع نقصان الحجم الحبيبي  $D$  وهذا مايفسر ارتفاع قيم قساوة فيكرز ، وهذا يتوافق مع بعض الأعمال العلمية.
3. لوحظ بالنسبة للعينات المشابهة بالسيليكون أنّ العينة التي تحتوي أعلى نسبة إشابة بالسيليكون تملك أكبر قيمة لقساوة فيكرز حيث تملك أصغر حجم حبيبي وهذا مايفسر ارتفاع قيمة قساوتها مقارنة مع بقية العينات المشابهة بالسيليكون.

4. يوصى بتركيب عينات من سبيكة Al-Zn-Mg-Si مضافاً إليها نسب أعلى للسيليكون من النسب المضافة في هذا البحث للحصول على قيم قساوة أعلى.

#### 6. المراجع:

[1]. Davis J,2001– Aluminum and Aluminum Alloys.ASM International, USA, 65p.

[2]. Kaufman J,Rooy E,2004–Aluminum Alloy Castings.ASM International, American Foundry Society,First printing, USA, 325p.

[3]. Alassad M, Nefawy M, 2019, The Effect of Heat Treatments and Nickle Additive on The Microstructure and Hardness of 7075 Aluminum Alloy, Palestine Technical University Kadoori Journal, 7(2), 34–41.  
<https://doi.org/10.53671/pturj.v7i2.76>

[4]. Kittel Charles, 2005–Introduction to Solid State Physics. John Wiley & sons, Inc, 8<sup>th</sup> ed, USA, 700p. <https://www.wiley.com/college/kittel>

[5]. Alexander Leroy,Klung Harold, 1950 Determination of Crystallite Size the X-ray Spectrometer, Journal of Applied Physics, Vol 21 , 137–141.  
<http://dx.doi.org/10.1063/1.1699612>

[6]. Pulido–Suarez P.A, Unate–Gonzalez, Tirado–Gonzalez J.G,Esguerra–Arce A, Esguerra–Arce J,2020,The evolution of the microstructure and properties of ageable Al–Si–Zn–Mg alloy during the recycling of milling chips through powder metallurgy, Journal of Materials Research and Technology , 9(5), 11769–11777.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.045>

## دراسة أثر الإضافة التبددية في الكمون الضوئي للمنظومة ( $P+^{96}Rh$ ) باستخدام طريقة VMA

د.مفيد دياب

أ.د.أنيس بلال

ملك العلي

الملخص :

تم في هذا البحث دراسة تحليلية عديدة لتبعثر البروتونات بوساطة نظير الروديوم-96 ( $^{96}Rh$ ) في مجال الطاقات المنخفضة والمتوسطة باستخدام النموذج الضوئي التبددي وذلك بطريقة التقريب التغييري للعزوم (VMA) التي تنطلق من العلاقة التبددية للكمون الضوئي بجزيئه (الحقيقي و التخيلي)، تم إجراء تحليل للبيانات المتعلقة بالتفاعل ( $P+^{96}Rh$ ) باستخدام برنامجين (Genoa-SPI) و (VMA-SPI) لإجراء الحسابات اللازمة .

وتم الحصول على البارامترات المثالية للكمون الضوئي التبددي للتفاعل ( $P, ^{96}Rh$ ) و استنتاج العلاقة الشاملة للكمونات ضمن مجال واسع من الطاقة .

بعدئذٍ قمنا بإيجاد القيم العددية لمقاطع التفاعل الكلية  $\sigma_{tot}(E)$  في المجال الطاقوي المنخفض والمتوسط وتم إيجاد المقاطع التفاضلية  $\sigma(\theta)$  من أجل مجال واسع من الزوايا وذلك عند قيمة طاقة محددة ، و تبين من خلال الإضافة التبددية في الكمون الضوئي و مقارنتها مع مثيلاتها المرجعية (التجريبية) (التصنيفات الوسيطة الشاملة للكمونات) تقاربها بشكل جيد مع وجود مقدار الخطأ المرتكب صغير جداً بمقدار (0.01) وهو أقل بكثير من قيمة الخطأ المرتكب فيما لم يتم أخذ بعين الاعتبار الإضافة التبددية .

أيضاً تم تحديد التكاملات الحجمية بالنسبة للجزء الحقيقي و التخيلي وكموناتها للمنظومة ( $P+^{96}Rh$ ) و أظهرت توافقاً جيداً مع مثيلاتها التجريبية .

تمَّ تحديد أنصاف الأقطار للمنظومة ( $P+^{96}Rh$ ) في المجال الطاقوي المنخفض و المتوسط وأظهرت الحسابات بتقاربيها مع الدراسة المرجعية الدقة العالية بتحديد البارامترات الهندسة للكمون الضوئي و للطريقة التبددية.

#### الكلمات المفتاحية:

العلاقة التبددية ، طريقة (VMA) ، المقطع الكلي للتفاعل ، الكمون الضوئي

# Studing the effect of dispersion addition in the Optical potential for the (P+<sup>96</sup>Rh) system using (VMA) method

## Abstract:

In this research, a numerical analytical study was conducted of the scattering of protons by the isotope rhodium-96 (<sup>96</sup>Rh) in the field of low and medium energies using the dissipative optical model using the variational approximation of moments (VMA) method, which is based on the dissipative relationship of the photocattern with its two parts (real and imaginary) An analysis of the data related to the reaction (P+<sup>96</sup>Rh) was carried out using two programs (SPI-Genoa) and (VMA-SPI) to perform the necessary calculations.

The ideal parameters for the dissipative light potential of the reaction (P,<sup>96</sup>Rh) were obtained and the comprehensive relationship of the potentials within a wide energy range was deduced.

Then we found the numerical values of the total reaction sections  $\sigma_{tot}(E)$  in the low and medium energy range, and the differential sections  $\sigma(\theta)$  were found for a wide range of angles at a specific energy value, It was shown through the dissipative addition in the optical potential and comparing it with its reference (experimental) counterparts (the comprehensive intermediate classifications of potentials) that it converges well, with the amount of error committed being very small by (0.01), which is much less than the value of the error committed, while the addition was not taken into account Dissipative .

The volumetric integrals were also determined with respect to the real and imaginary parts and their potentials for the system (P+<sup>96</sup>Rh) and showed good agreement with their experimental counterparts.

The radii of the (p+<sup>96</sup>Rh) system in low and medium energy ranges were also determined. The calculations highlighted their convergence with high-precision reference studies, underscoring the accuracy of the geometric parameterization of the optical potential and the effectiveness of the dispersive method.

**Keywords:** Dispersive relation, VMA method, Total reaction cross section, Optical potential.

#### مقدمة:

تُعتبر الفيزياء النووية فرعاً حيوياً من فروع العلوم الفيزيائية التي تركز على دراسة نوى الذرة، وما تحتويه من مكونات أساسية مثل البروتونات والنيوترونات، بالإضافة إلى التفاعلات النووية التأثيرات المتبادلة التي تحدث بين هذه الجسيمات. منذ اكتشاف النواة في أوائل القرن العشرين، شهدت الفيزياء النووية تطوراً كبيراً، حيث أسهمت في فهم العديد من الظواهر الطبيعية، بالإضافة إلى تطبيقاتها المتعددة وخاصة في المجال الطبي التصوير الإشعاعي.

وفي الفيزياء النووية تعتبر دراسة التأثير المتبادل بين النيكليونات والنواة من الدراسات المهمة، لما تقدمه من معلومات قيّمة ومفيدة عن التفاعلات النووية ولذلك يجب أن نوليها اهتماماً خاصاً، خاصة بعد ظهور النماذج الحديثة والمتطورة كالنموذج الضوئي التبددي (Dispersiv Optical- Model) اختصاراً (DOM) [1].

ومن أجل دراسة البنية النووية للذرات، فقد وضعت العديد من النماذج التي تُوصف النواة الذرية كالنموذج الضوئي الذي يعتبر النواة عبارة عن وسط متصل /مصمت/ بيدي

انكساراً وامتصاصاً لأمواج /دي- بروي/ الخاصة بالجسيمات التي تسقط عليها لذلك درست النواة في هذه الحالة كدراسة خواص الضوء من الانعكاس والانكسار والامتصاص وهكذا يفترض بناءً على هذا النموذج أن للجسيم الوارد مساراً حراً وسطياً (Mean Free path) معيناً في النواة بمعنى أنه يوجد احتمال معين للامتصاص أثناء عبوره للنواة ويدرس عبور الجسيم للنواة عن طريق ادخال الانكسار المركب وبشكل أدق الكمون المركب الذي يفهم بالتابع المركب:

$$U = V + iW$$

حيث  $V$  : (يمثل الجزء الحقيقي للجهد الذي يصف عملية تبعثر النيكلونات عن النواة).

$W$  : (يمثل الجزء التخيلي للجهد و يصف عملية امتصاص النيكلونات). [2]

في الوقت الحاضر يستخدم النموذج الضوئي والطبقي في دراسة بنية النوى الذرية وفي التفاعلات النووية، وعلى مر السنوات الماضية فقد حقق النموذج الضوئي نجاحاً وخاصة في تقديره لقيم مقاطع التفاعل وتقديره معطيات عن التبعثر (المرن و اللامرن) ولكن على مر العقدين الماضيين كرسست دراسات وأبحاث لإعطاء صياغة صحيحة للحقل الوسطي (الكمون) في المجال الطاقات الموجبة والسالبة ونتج عن ذلك تحديث وتطوير للنموذج الضوئي إلى نموذج آخر دعي بالنموذج الضوئي التبددي [3-4].

عرفت بـ (VMA) أي التقريب التغيري للعزوم التي تعتبر أن مكوني الكمون الضوئي (الحقيقي والتخيلي) ذات ارتباط داخلي من خلال العلاقة التبددية (DR) مما يجعل عدد البارامترات الهندسية لا يتجاوز الاثنتين والباقي يتم تثبيته بشكل كامل. [5]

طبقت هذه الطريقة بدايةً لدراسة منظومات النوى السحرية ( $P+^{40}Ca$ ), ( $P+^{208}Pb$ ) وقد حققت نجاحاً لافتاً، لذلك طبقت لدراسة النوى غير السحرية التي تمتاز بنيوكليون ونيوكليونين أعلى من الطبقة السحرية وقد حققت نجاحاً جيداً بتوصيفها لآلية التبعثر المرن وفي مجالات طاقة مختلفة، لذلك قمنا بهذا البحث معتمدين هذه الطريقة لدراسة

التفاعل (P+<sup>96</sup>Rh) وذلك لمعرفة ماهي الخصائص والنتائج التي يمكن التوصل عليها من خلالها.

**هدف البحث:** معرفة مقدار التحسين في الكمون الضوئي الناجم عن الإضافة التبددية وتأثيره على مقاطع التبعر (الكلية والتفاضلية) للتفاعل (P, <sup>96</sup>Rh). في إطار النموذج الضوئي التبددي طريقة (VMA)، و وضع قائمة بالبيانات الجديدة لمقاطع التفاعل الكلية والتفاضلية المبنية على البارامترات الهندسية المستخدمة للكمون الضوئي التبددي.

**منهجية ومحتوى طريقة VMA:** [5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16]

يعطى الكمون الضوئي الذي ينتج عن التأثير المتبادل (نكليون - نواة) بالعلاقة التالية :

$$U(r,E)=V(r,E)+iW(r,E)+V_{LS}(r,E)+V_c(r) \quad (1)$$

حيث أن الحد الأول من العلاقة (1) هو الجزء الحقيقي للكمون الضوئي  $V(r,E)$  و يتكون من مجموع مركبتين:

المركبة الأولى : كمون هارتي فوك  $V_{HF}$ .

المركبة الثانية : المساهمة التبددية (تتألف من مجموع حدين تبددي سطحي  $\Delta V_d(r, E)$  و تبددي حجمي  $\Delta V_w(r, E)$  .

و الحد الثاني هو الجزء التخيلي للكمون الضوئي  $W(r,E)$  يتكون من مركبتين (تخيلية سطحية  $W_d(r, E)$  وتخيلية حجمية  $W_w(r, E)$

والحد الثالث هو الكمون السبيني المداري  $V_{LS}(r,E)$  (ينتج عن التأثير المتبادل بين العزم السبيني والعزم المداري)

والحد الرابع هو الكمون الكولوني  $V_c(r)$  ويعبر عنه بدلالة نصف القطر المتبادل  $R_c = r_c A^{1/3}$ .

تبعاً لما سبق تكتب العلاقة بالصيغة التفصيلية الآتية:

$$U = (r, E) = V_{HF}(r, E) + \Delta V_d(r, E) + \Delta V_w(r, E) + i(W_d(r, E) + W_w(r, E)) + V_{LS}(r, E) + V_c(r) \quad (2)$$

يقترح استخدام شكل كمون وودا ساكسون (Woods-Saxon form) لوصف التابعية القطرية لكل من الحدود الواردة في العلاقة (2) والذي يعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$V(r, E) = V_j(E) \cdot f(r, R_j, a_j) \quad (3)$$

حيث أن :

$$f(r, R_j, a_j) = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{r - R_j}{a_j}\right)}} \quad , \quad R_j = r_j A_j^{1/3}$$

نعتبر قيم الوسطاء الخاصة بالكمون  $V_{LS}(r, E)$  و الكمون الكولوني غير تابعة للطاقة لذلك تؤخذ كقيم ثابتة .

$$V_{LS} = 6.8 \text{ Mev} \quad r_{LS} = 1.2 \text{ Fm} \quad a_{LS} = 0.6 \text{ Fm} \quad r_c = 1.22 \text{ Fm}$$

**محتوى طريقة ال VMA:**

الهدف الأساسي تحديد مكونات الحقل النووي الوسطي في العلاقة (1) من أجل التفاعل المدروس كما يلي:

بدايةً نحدد القيمة العددية للمكون التبددي للجهد (السطحي والحجمي) برمجياً من خلال العلاقاتين :

$$\Delta V_w(r, E) = \frac{2}{\pi} (E - E_F) \int_{E_F}^{\infty} \frac{W_w(r, E) dE}{(E - E_F)^2 - (E - E_F)} \quad (4)$$

$$\Delta V_d(r, E) = \frac{2}{\pi} (E - E_F) \int_{E_F}^{\infty} \frac{W_d(r, E) dE}{(E - E_F)^2 - (E - E_F)} \quad (5)$$

ثم نحدد الكمون التخيلي الحجمي ( $W_w$ ) والسطحي ( $W_d$ ) من خلال العلاقة التبددية للعزوم :

$$[r^2]_w(E) = [r^2]_{w_w}(E) + [r^2]_{w_d}(E) = \frac{4\pi}{A} \int_0^\infty [W_d(r, E) + W_w(r, E)] r^2 dr \quad (6)$$

حيث  $[r]^2(E)$  يمثل التكامل الحجمي للكمون الضوئي (العزوم من المرتبة الثانية) بالنسبة للجزء التخيلي (السطحي والحجمي) و يحددان تحليلياً وفق علاقة ( براون-راو):

$$[r^2]_{wwd}(E) = \beta_2 \left[ \frac{(E-E_0)^2}{(E-E_0)^2 + \rho_2} - \frac{(E-E_0)^2}{(E-E_0)^2 + \rho_w} \right] \quad (7)$$

حيث:  $\beta_2, \rho_w, \rho_2$  تمثل وسطاء براون راو (Brown-Rho)

و  $E$  طاقة القذيفة ،  $E_0$  بارامتر يتعلق بخصائص المستويات الفرعية للتفاعل (P+A)

و يعطى بالعلاقة  $E_0 = \frac{E_F}{2}$  حيث  $E_F$  طاقة سوية فيرمي بوحدة Mev

حيث أن :  $E_0 = 1.97$   $E_F = 3.95$

وبعد نقوم بحساب عزم هاتري فوك من خلال العلاقة التالية:

$$J_{HF} = \frac{4\pi}{3} \frac{R_{HF}^3}{A} \left[ 1 + \left( \frac{\pi a_{HF}}{R_{HF}} \right)^2 \right] \cdot U_{HF}(E) = g_{HF} \cdot V_{HF}(E)$$

$$U_{HF}(E) = V_0 - \left( \frac{N-Z}{A} \right) \cdot V_1 = 54,4 - \left( \frac{51-45}{96} \right) \cdot 42,8 = 56.6625$$

$$R_{HF} = r_{HF} A^{1/3} = 5.6594$$

$$\begin{array}{ll} V_0 = 54.4 & V_1 = \\ 42.8 & \text{العمل وفق [17]} \\ a_{HF} = 0.62 & r_{HF} = 1.236 \end{array}$$

ونوجد الوسطاء  $(r_w, r_d, a_w, a_d)$  نثبتها كقيم وسطية للبارامترات العشوائية للكمون الضوئي العادي بعد الانتهاء من تحديد مكونات العلاقة (2) يصبح الحقل بصيغته النهائية بالشكل:

$$\begin{aligned}
 U(r, E) = & \frac{[r^2]_{HF}(E_F)}{g_{HF}} \exp[\alpha_{HF}(E - E_F)] f(x_{HF}) + \Delta V_w(E) f(x_w) \\
 & + \Delta V_d(E) g(x_d) + iW_w f(x_w) + iW_d g(x_d) \\
 & + V_{ls}(r, E) + V_c(r) \quad (8)
 \end{aligned}$$

وأخيراً وبعد تحديد جميع مكونات الكمون الضوئي وتحديد وسطائه، يتم حل معادلة شرودينغر الموجية المتضمنة لشكل الكمون وهي:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2} (E - U)\psi = 0$$

و باستخدام SPI يتم إيجاد مقاطع التفاعل ضمن المجال الطاقى المدروس و مقارنتها مع مثيلاتها التجريبية و مع التمثيلات العالمية و الوسطية [18-19]

#### خطوات العمل:

1- أجريت في البداية تحليلات للبيانات المرجعية المتعلقة بالمنظومة ( $P + {}^{96}Rh$ ) ضمن المجال الطاقى المدروس (الطاقات المنخفضة والمتوسطة)، وتم الحصول على بارامترات أولية للكمون الضوئي و معلومات للعزوم من المرتبة الثانية بالنسبة للجزء الحقيقي و التخيلي (السطحي والحجمي) للكمون.

2- شكلت وكخطوة أولية البيانات المتعلقة بالعزوم من المرتبة الثانية (التكاملات الحجمية) بالنسبة للجزء الحقيقي للكمون  $J_R$  والتخيلي  $J_W$  (الحجمي  $J_{W_w}$  والسطحي  $J_{W_d}$ ) مجموعة تناسقية يمكن البناء عليها و قبلت بيانياً ضمن المجال الطاقى المدروس وبطريقة المحاكاة تم تحديد قيم الوسطاء الهندسية  $E_0$ ،  $E_F$ ،  $\rho_w$ ،  $\rho_2$ ،  $\beta_2$  و قيمها تساوي :

$$E_F = 3.95 \text{ MeV}$$

$$E_0 = 1.97 \text{ MeV}$$

$$\beta_2 = 94 \text{MeV Fm}^3$$

$$\rho_2 = 52 \text{MeV}$$

$$\rho_w = 3 \text{MeV}$$

باستخدام العلاقات:

$$J_W(E) = \beta_2 \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_2^2}$$

$$J_{W_w}(E) = \beta_2 \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_w^2}$$

$$J_{wd}(E) = \beta_2 \left[ \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_2^2} - \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_w^2} \right]$$

3- وفقاً لمنهجية طريقة (VMA) ، أخذت قيم البارامترات الهندسية (الأولية) للكمونات الضوئية (الحقيقية والتخيلية (الحجمية والسطحية)) كقيم وسطية منها:

$$\bar{r}_V, \bar{a}_V \quad \bar{r}_w = \bar{r}_d \quad \bar{a}_w = \bar{a}_d$$

أما وسطاء كمون هاتري (  $r_{HF}, a_{HF}$  ) فتم إيجادها من المرجع [ ] وقيمها

$r_{HF} = 1.263 \text{Fm}$  و  $a_{HF} = 0.62 \text{Fm}$  وقيمة عزم هاتري-فوك الموافقة وفق

العلاقة (  $J_{HF}(E_F) = \frac{4\pi}{3} \frac{R_{HF}^3}{A} \left[ 1 + \left( \frac{\pi a_{HF}}{R_{HF}} \right)^2 \right] U_{HF}(E_F)$  ) تساوي :

$$J_{HF}(E_F) = J_{HF} = 501.235 \text{ MeV Fm}^3$$

4- تم ادخال تلك المعطيات:

$\beta_2, \rho_2, \rho_w, E_F, E_0, V_{ls}, r_{ls}, a_{ls}, J_{HF}, \bar{r}_w = \bar{r}_d; \bar{a}_w = \bar{a}_d$  إلى ملف

الدخل في البرنامج (VMA-SPI GENOA) وبمجال طاقي واسع ضمن المدروس

وخارجة وبخطوة طاقة  $\Delta E = 5 \text{MeV}$ .

5- تم ربط البيانات من ملف الخرج (VMA-SPI) مع ملف الدخل (SPI) ليتم تصديرها إلى (SPI) ، والحصول على البيانات المتعلقة بمقاطع التفاعل ( الكلية والتفاضلية ) والعزوم من المرتبة الثانية بالنسبة لجزأي الكمون (الحقيقي والتخيلي) (الحجمي والسطحي) .(

### النتائج والمناقشة:

استناداً إلى ما تم إجراؤه من الخطوات أعلاه فقد تمّ التوصل إلى ما يلي :  
1 - التعيين المثالي للبارامترات الهندسية (وسطاء) للكمون الضوئي التبددي للمنظومة ( $P, {}^{96}Rh$ ) في المجال الطاقي المختار بخطوة طاقةية ( $\Delta E = 5MeV$ ).  
وتمّ ادراجها ضمن الجدول (1):

جدول(1): الوسطاء الهندسية للكمون الضوئي التبددي للمنظومة ( $P, {}^{96}Rh$ )

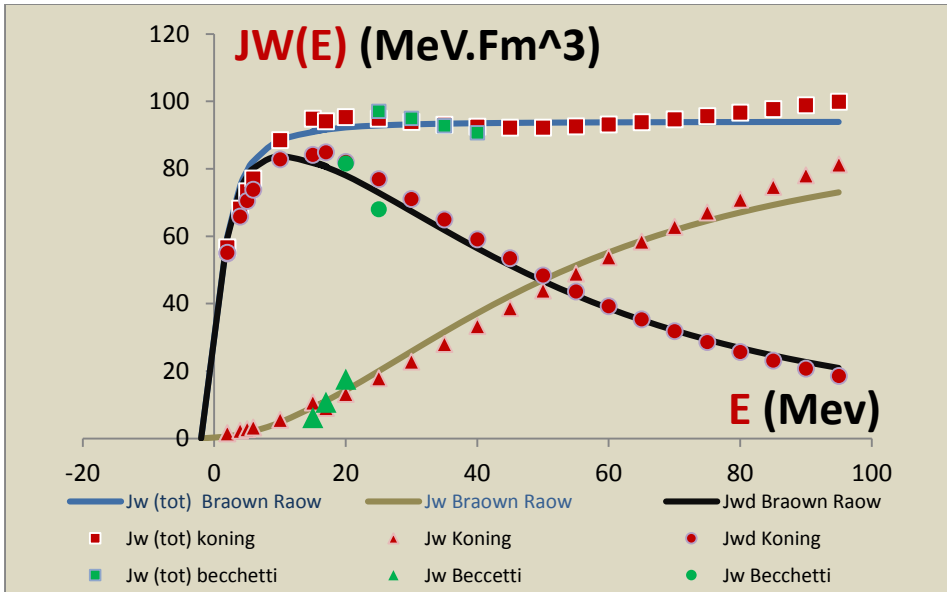
$E$ (Mev)	$V_v$ (Mev)	$r_v$ (Fm)	$a_v$ (Fm)	$W_w$ (Mev)	$r_w$ (Fm)	$a_w$ (Fm)	$W_d$ (Mev)	$r_d$ (Fm)	$a_d$ (Fm)
1.97	55.111	1.289	0.596	0.056	1.2	0.5	5.458	1.2	0.5
2	55.103	1.289	0.596	0.056	1.2	0.5	5.488	1.2	0.5
3.95	54.617	1.279	0.596	0.125	1.2	0.5	6.812	1.2	0.5
5	54.358	1.273	0.596	0.172	1.2	0.5	7.188	1.2	0.5
5.92	54.132	1.269	0.596	0.219	1.2	0.5	7.406	1.2	0.5
10	53.134	1.254	0.596	0.490	1.2	0.5	7.749	1.2	0.5
15	51.894	1.24	0.596	0.938	1.2	0.5	7.600	1.2	0.5
17	51.387	1.236	0.596	1.144	1.2	0.5	7.467	1.2	0.5
20	50.611	1.23	0.596	1.476	1.2	0.5	7.224	1.2	0.5
25	49.273	1.222	0.596	2.065	1.2	0.5	6.751	1.2	0.5
30	47.884	1.216	0.596	2.672	1.2	0.5	6.239	1.2	0.5
35	46.452	1.211	0.596	3.271	1.2	0.5	5.723	1.2	0.5

دراسة أثر الإضافة التبددية في الكمون الضوئي للمنظومة ( $P+^{96}Rh$ ) باستخدام طريقة VMA

40	44.994	1.207	0.596	3.843	1.2	0.5	5.225	1.2	0.5
45	43.523	1.203	0.596	4.377	1.2	0.5	4.756	1.2	0.5
50	42.052	1.20	0.596	4.868	1.2	0.5	4.324	1.2	0.5
55	40.595	1.198	0.596	5.314	1.2	0.5	3.931	1.2	0.5
60	39.16	1.197	0.596	5.717	1.2	0.5	3.575	1.2	0.5
65	37.755	1.195	0.596	6.078	1.2	0.5	3.255	1.2	0.5
70	36.384	1.194	0.596	6.401	1.2	0.5	2.969	1.2	0.5
75	35.052	1.193	0.596	6.689	1.2	0.5	2.714	1.2	0.5
80	33.761	1.192	0.596	6.947	1.2	0.5	2.485	1.2	0.5
85	32.511	1.191	0.589	7.177	1.2	0.5	2.281	1.2	0.5
90	31.305	1.19	0.589	7.382	1.2	0.5	2.099	1.2	0.5
95	30.141	1.189	0.596	7.566	1.2	0.5	1.935	1.2	0.5
$V_{so} = 6.8$ (Mev)			$r_{so}=1.2$ (Fm)		$a_{so}=0.6$ (Fm)		$r_c=0.6$		
(Mev)									

كما هو ملاحظ من الجدول أعلاه أن مع ازدياد الطاقة فإن الجزء الحقيقي للكمون يتناقص وأيضاً يتناقص نصف القطر، يعزى ذلك إلى اقتراب الجسيمات المقذوفة (البروتونات) من الهدف و تبادلها التأثير مع عدد محدود من الجسيمات داخل النواة ، وأيضاً نلاحظ من الجدول أعلاه: أن مع ازدياد الطاقة فإن الكمون التخيلي الحجمي و نصف قطره يزداد مع ازدياد الطاقة بينما نجد أن التخيلي السطحي يزداد إلى أن يصل إلى قيمة عظمى ثم ينهار مع ازدياد الطاقة يعزى ذلك إلى المنافسة بين التأثيرات السطحية والحجمية .

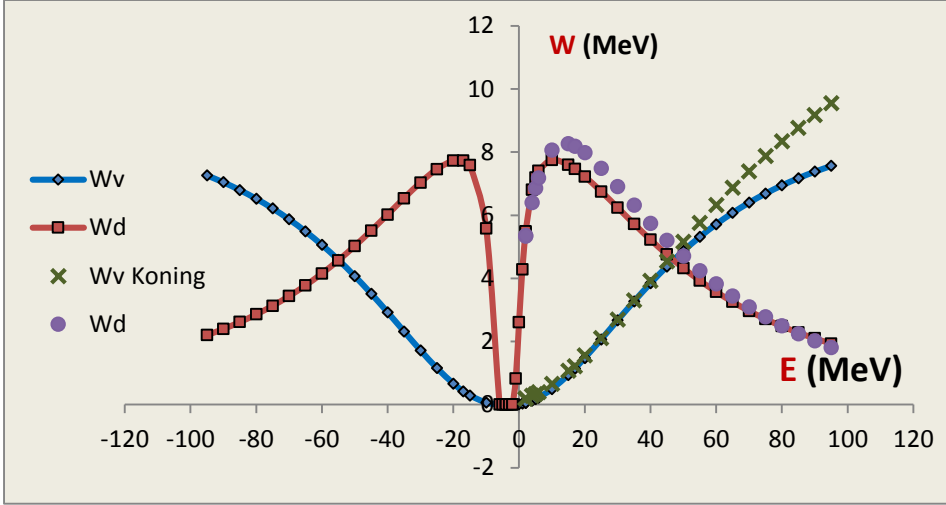
2- تقييم وتعيين العزوم من المرتبة الثانية بالنسبة للجزء التخيلي للكمون  $J_{w_{ww}}$  (الحجمي  $J_w$  و السطحي  $J_a$ ) باستخدام علاقة براون - راو (Brown-Row) وتم تمثيلها بيانياً بالشكل (1):



الشكل (1): التابعة الطاقةية للتكاملات الكلية التخيلية  $J_{w_w}$  (الحجمية  $J_w$  والسطحية  $J_d$ ) للمنظومة  $(P, {}^{96}Rh)$  وفي المجال الطاقى المدروس و مقارنتها مع مثيلاتها المرجعية [20-21].

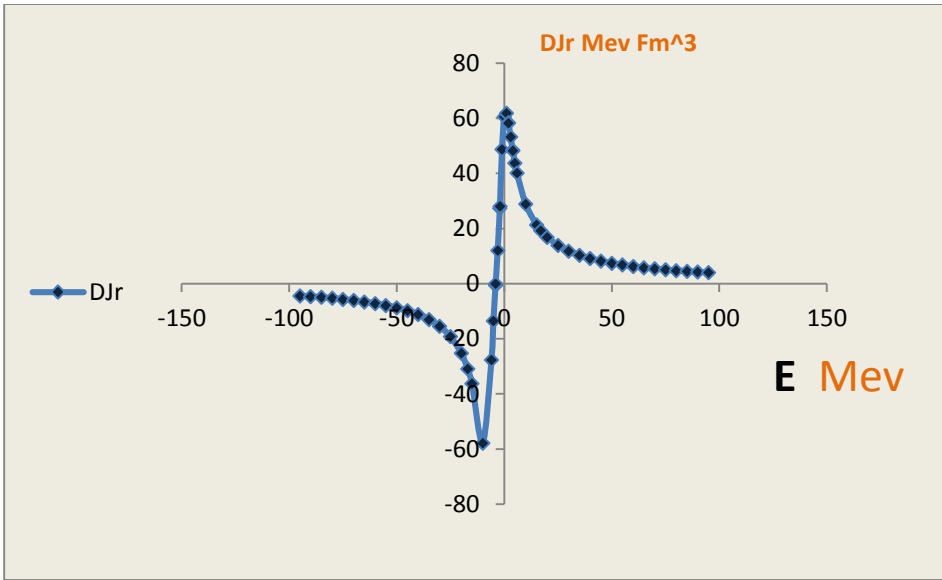
كما هو مبين من الشكل (1) التوافق والتطابق الجيد بين التكاملات الكلية التخيلية (الحجمية والسطحية) المحسوبة وفق (SPI) ومثيلاتها المرجعية [20-21].

3- باستخدام الوسطاء الهندسية في الجدول (1) وبمساعدة البرنامج SPI فقد تم تعيين قيم التأثيرات المتبادلة (الكومات التخيلية) (الحجمية  $W_w$  والسطحية  $W_d$ ) للمنظومة  $(P, {}^{96}Rh)$  وفي المجال الطاقى المنخفض والمتوسط المدروس وتم تمثيلها بيانياً من الشكل (2) .



الشكل (2): الدالة الطاقية لسلوك الكمونات التخيلية (الحجمية والسطحية) للمنظومة ( $P, {}^{96}Rh$ ) ضمن المجال الطاقى المدروس ومقارنتها مع المرجعية [20].

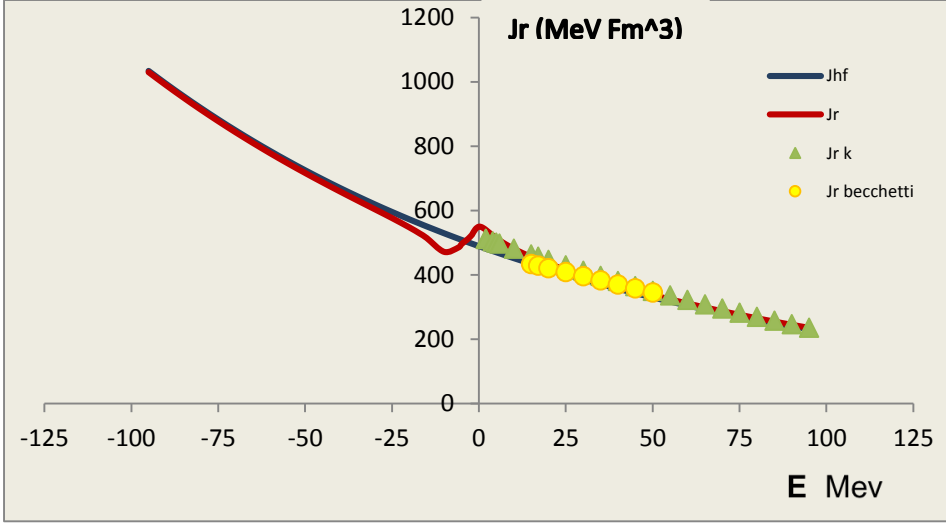
نلاحظ من الشكل (2): الانحراف في السلوك للكمونات بتابعيتها للطاقة خاصة بالقرب من عتبة التفاعل في المجال الطاقى المنخفض و يعزى ذلك إلى المشاركة الفعالة لجميع قنوات التفاعل (وخاصة الامتصاص) في التفاعل بالقرب من طاقة الحاجز الكولوني [3] -4 تحديد المشاركة التبددية عبر التفاعل الحجمي للكمون التبددي  $\Delta J_r$  بمساعدة البرنامج (VMA-SPI) المدمج مع (SPI)، فقد تمَّ تعيين (حسابياً) قيم التكاملات الحجمية التبددية للمنظومة ( $P, {}^{96}Rh$ ) وضمن المجال الطاقى المحدد.



الشكل (3) : الدالة الطاقية لسلوك التكاملات الحجمية للمنظومة ( $P, {}^{96}Rh$ ) وضمن المجال الطاقى المدروس.

ويظهر من الشكل (3) سلوكاً متماثلاً في مجال الطاقات الموجبة والسالبة القريب من الحاجز الكولوني للأسباب المذكورة أعلاه.

5- الدالة الطاقية لسلوك التكاملات الحجمية  $J_r$  (الحقيقية) وهاتري فوك  $J_{HF}$  للمنظومة المدروسة ضمن المجال الطاقى المدروس . تمّ باستخدام الجدول (1) (الوسطاء الهندسية للكمون الضوئي التبددي) وبمساعدة البرنامج (VMA-SPI) تم إيجاد القيم العددية للتكاملات الحجمية للكمون الحقيقي ولهاتري-فوك للمنظومة ( $P, {}^{96}Rh$ ) وفي المجال الطاقى المختار وأيضاً في المجال السالب (الحالات المترابطة) وتمّ تمثيلها بيانياً في الشكل (4).



الشكل(4):الدالة الطاقية للتكاملات الحجمية بالنسبة للكمون الحقيقي وأيضاً بالنسبة لكمون (هاتري-فوك) للمنظومة المدروسة ( $P + ^{96}Rh$ ) في المجال الطاقى ( $-80 \leq E_p \leq +80$ ) وتمّ مقارنتها مع مثيلاتها المرجعية [20-21].

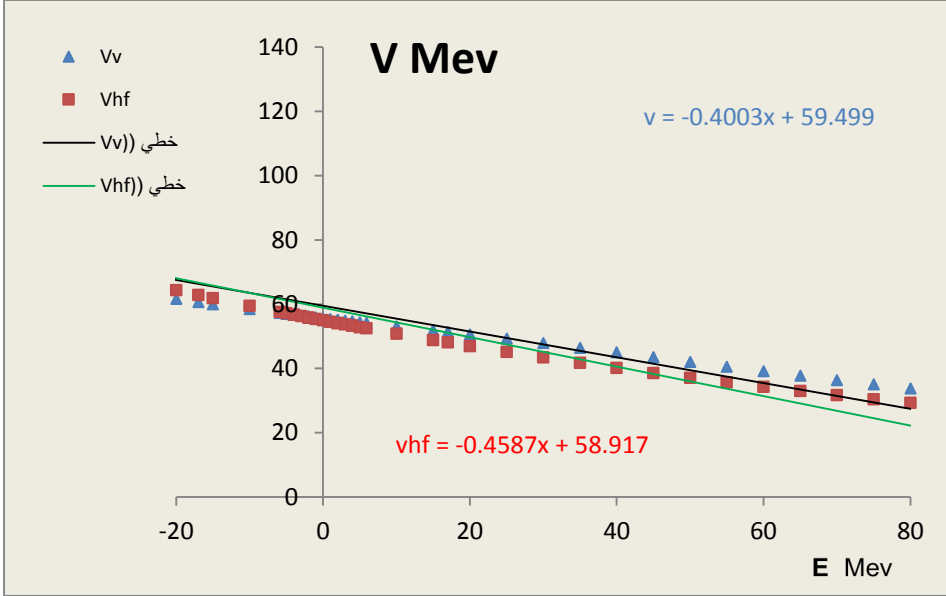
نلاحظ من الشكل التوافق الجيد ل ( $J_r$ ) المحسوب وفق (VMA) ومع مثيلاتها المرجعية وكما نلاحظ كما هو مبين من الشكل نلاحظ من المنحني الأول سلوكاً متميزاً بالقرب من الحاجز الكولوني حيث تبدي التابعية ( $J_r(E)$ ) تغيراً ملحوظاً بسلوكه حيث يأخذ قيمة عظمى بالقرب من طاقة الحاجز الكولوني يدعى هذا التغير بالانحراف العتيبي ( الشذوذ) نتيجة كما ذكرنا لمشاركة عدد كبير من القنوات في التفاعل ( التفاعل المرن والتفاعل اللامرّن والامتصاص) ، بعدها يتناقص مع ازدياد الطاقة لكونه يقتصر على قناة او قناتين للتفاعل المرن واللامرن .

أما في الطاقة السالبة فتظهر لنا السويات الطاقية (سوية فيرمي  $E_F^-$  والسويات الأعلى منها  $E_F^+$  والسويات الأخفض منها  $E_F^-$ ) وانشغالها بالنيوكليونات (البروتونات)، وهذه السويات حددت بعلاقة رياضية محددة وقيمها وجد بأنها تتوافق مع مثيلاتها المرجعية ، فمن أجل طاقة فيرمي يلاحظ تقاطع وتلاقي (1) مع (2) ويشير بذلك إلى عدم حدوث

أية عملية من عمليات التفاعل ، أما من أجل الطاقة  $E_0^+$  المقابلة للسويات الأعلى من سوية فيرمي الفارغة أو المشغولة جزئياً فيلاحظ بوجود قيم للعزوم ويعزى ذلك لوجود عمليات امتصاص وتفاعلات وأيضاً يحدث من أجل  $E_0^-$  (المقابلة للسويات الأحفض من سوية فيرمي (الممثلة) نلاحظ بوجود أيضاً قيم للعزوم ويعزى ذلك لنفس السبب أعلاه (طبعاً هنا تمثل حالة وصفية للنموذج الطبقي والمتحيز لكمون حقيقي فقط، وهنا يظهر الدور الذي يلعبه النموذج الضوئي حيث يظهر البيانات الخاصة بالطاقات الموجبة والسالبة ويربط بينها من خلال كمون (لكمون من حدين حقيقي وتخليلي) .

6- الدالة الطاقية لسلوك الكمون الضوئي (الحقيقي  $V_V$  وهاتري-فوك) للمنظومة ضمن المجال المدروس (المخفض والمتوسط) وخارجه .

بالاستفادة والاستعانة بالجدول (1) وتحديداً قيم للكومات (الحقيقي والتخليلي) بدلالة الطاقة الناتجة من ملفي الخرج للكودين (VMA-SPI) و (SPI-Genoa) فقد تم تمثيلها بيانياً كما هو في الكل (6):



الشكل (6) : الدالة الطاقية للكمون البروتوني الضوئي  $V_V$  وهاتري-فوك  $V_{HF}$  للمنظومة المدروسة ( $P, ^{96}Rh$ ) وضمن المجال الطاقى المدروس نلاحظ من الشكل لتباعد بين الكمونين ويعود ذلك إلى الإضافة التبددية في الكمون الحقيقي والتقاءهما عند طاقة فيرمي والسبب يعود إلى ما تم ذكره أعلاه ويلاحظ أيضاً التوافق الجيد لقيم تلك المنحنيات المحسوبة وفق برنامج (VMA-SPI) مع مثيلاتها المرجعية وانحرافها (ابتعادها) قليلاً في بعض القيم الطاقية ويعود ذلك إلى الطريقة المتبعة في بعض المراجع وحساسية بارامتراتها لذلك .

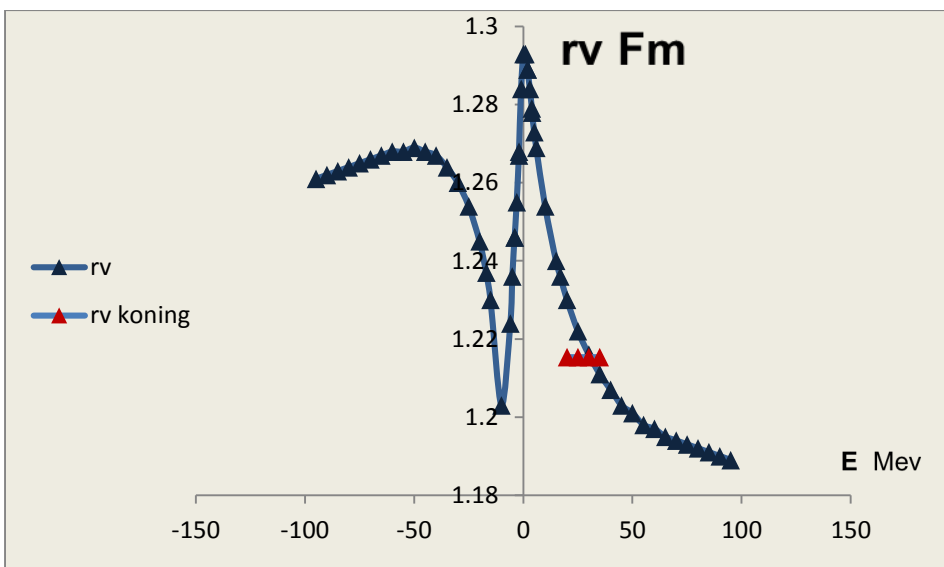
أيضاً يلاحظ من الشكل (6) السلوك الخطي للكمونين - الكمون التبددي الخطي وكمون هاتري-فوك و التعبير عنهما بعلاقتين رياضيتين كما في الصيغة التالية:

$$V_V = -0.4003E + 59.499 \quad (1)$$

$$V_{HF} = -0.4587E + 58.917 \quad (2)$$

يمكن من خلال هاتين العلاقتين تحديد وتوصيف شكل الكمونات من أجل كل خطوة طاقة ضمن المجال الطاقى المدروس وخارجه.

7- الدالة الطاقية لنصف قطر الكموني البروتوني الضوئي للمنظومة المدروسة ( $P, {}^{96}Rh$ ) وضمن المجال الطاقى المحدد ومثيلاتها المرجعية [20].  
 تمّ وبالاعتماد على طريقة (VMA) ومن النتائج الواردة في الجدول (1) تمثيل القيم العددية لأنصاف أقطار الكمون البروتوني الضوئي المحسوبة باستخدام الكودين (VMA- (SPI ، (SPI للمنظومة المدروسة بيانياً في الشكل (7) المبين :



الشكل (8): الدالة الطاقية لنصف قطر الكمون البروتوني الضوئي للمنظومة المدروسة ( $P, {}^{96}Rh$ ) وضمن المجال الطاقى المدروس وخارجه ومثيلاتها المرجعية [20] ، بالإضافة إلى مثيلاتها من نتائج التحليل المراجع [20].

وكما هو مبين من المنحني البياني السلوك المرافق والمماثل للكمون، حيث يظهر لدينا في مجال الطاقات المنخفضة تزايداً مع ازدياد الطاقة إلى الوصول قيمة عظمى المقابلة لطاقة الحاجز الكولوني وانخفاضاً بعدها بازدياد الطاقة ، ويعزى ذلك إلى أن بالقرب من الحاجز الكولوني يطرأ تغيراً ملحوظاً بسلوكه مايعرف بظاهرة شذوذ العتبة. كما أشرنا إليه

أعلاه نتيجة للمشاركة الفعالة لجميع قنوات التفاعل (التفاعل المرن و اللامرر والامتصاص) بعدها تقتصر المشاركة إلى قناة أو قناتين على الأكثر ، وهذا الظهور لظاهرة الشذوذ نتيجة الإضافة التبددية في الكمون الضوئي .

أيضاً من الشكل يلاحظ التوافق الجيد مع بعض قيم المرجع [20] من أجل نفس قيم الطاقة واختلافها عن القيم والسبب لأن المرجع [20] اعتبر أن أنصاف الأقطار غير تابعة للطاقة ، أيضاً يلاحظ التوافق الجيد مع نتائج التي قمنا من تحليل البيانات الخاصة بأنصاف الأقطار المراجع [20].

أيضاً يلاحظ السلوك المماثل والمناظر للمنحني البياني في مجال الطاقات السالبة ولكن بشكل مقلوب وهو يعكس عمق الحفرة الكمونية في تلك المنطقة حتى يصل إلى أخفض قيمة مقابلة لقيمة طاقة فيرمي و من ثم يزداد بازدياد الطاقة ويعزى إلى الظهور النشاط لقنوات الامتصاص في تلك المناطق الطاقية.

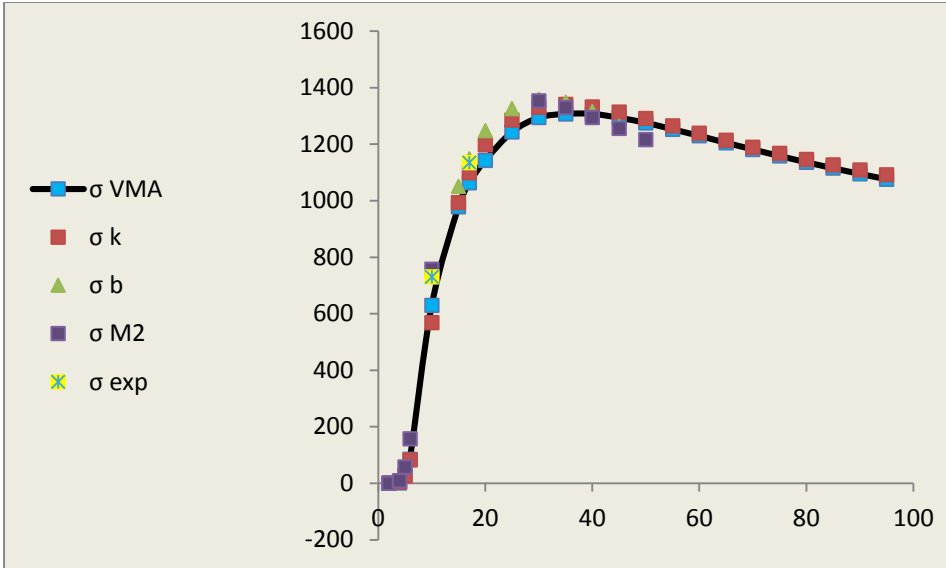
8- الدالة الطاقية لسلوك مقاطع التفاعل للمنظومة ( $P, ^{96}Rh$ ) في المجال الطاقى المعين وخارجه و مثيلاتها المرجعية [20-21-22] ومن نتائج تحليل مقاطع التفاعل المرجعية والمعالجة بالبرنامج SPI

باستخدام الجدول (1) والمعالجة البرمجية باستخدام الكودين (VMA-SPI) و (SPI) عبر ملفات الدخول والخرج . فقد تم التوصل إلى القيم العددية لمقاطع التفاعل بعد حل معادلة شرودنغر الموجية ضمن الكود SPI وتم وضعها في الجدول (2):

جدول (2) يُبين مقارنة بين قيم مقاطع التفاعل (  $P + {}^{96}_{45}Rh_{51}$  )

$E$ (MeV)	$\sigma$ Koning (mb)	$\sigma$ Becchitte (mb)	$\sigma$ Menet el al (mb)	$\sigma$ exp (mb)	$\sigma$ spi (mb)	$\sigma$ VMA (mb)
1.97	0.001013	-	0.0019638	-	-	0.001263
2	0.001245	-	0.0014787	-	-	0.001548
3.95	4.07021	-	9.24712	-	-	0.64859
5	26.6314	-	57.6771	-	-	28.6992
5.92	83.8478	-	156.851	-	-	84.7009
10	649.068	-	769.083	730	713.603	629.296
15	1008.66	1050.6	1153.11	-	-	978.558
17	1098.59	1147.89	1242.59	1135	1170.67	1063.43
20	1188.81	1247.36	1310.83	-	-	1142.95
25	1281.34	1325.62	1349.13	-	-	1243.05
30	1328.45	1358.94	1352.29	-	1323.44	1293.83
35	1336.02	1348.92	1328.01	-	-	1307.04
40	1329.86	1315.58	1293.22	-	-	1307.26
45	1311.87	1264.18	1254.85	-	-	1293.43
50	1288.2	1198.89	1216.11	-	1284.08	1275.47
55	1263.37	-	1179.17	-	-	1252.66
60	1238.3	-	1145.06	-	1230.46	1229.36
65	1213.39	-	1114.46	-	-	1204.99
70	1189.54	-	1087.08	-	1187.66	1181.28
75	1167.03	-	1064.89	-	-	1158.23
80	1146.01	-	1045.46	-	1148.72	1136.02
85	1126.58	-	1031.78	-	-	1114.85
90	1108.6	-	1021.65	-	-	1094.79
95	1092.01	-	1015.95	-	-	1075.76

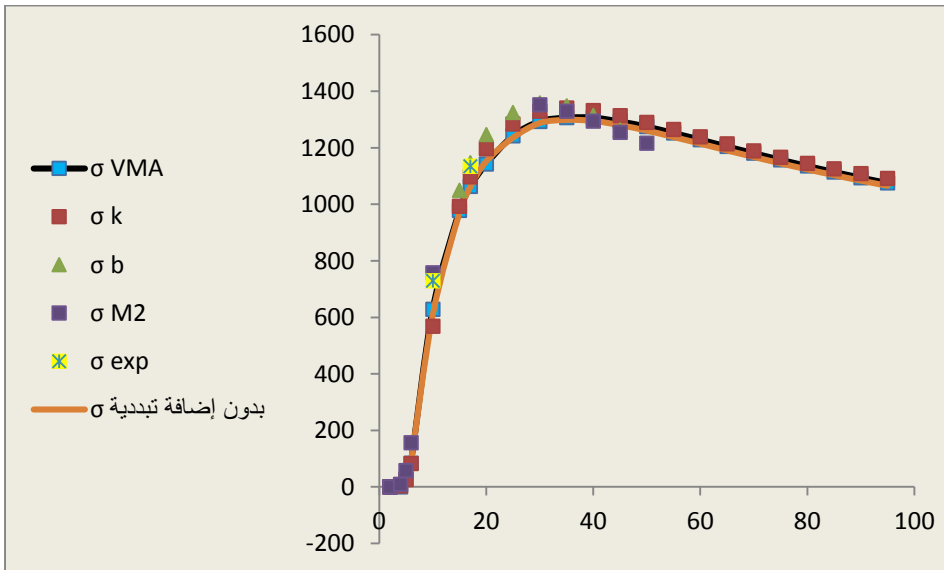
وتمثيلها بيانياً في الشكل (8) :



الشكل (8): الدالة الطاقية لمقاطع التفاعل ( $P + ^{96}Rh$ ) في المجال الطاقى المحدد وخارجه وقيم مثيلاتها المرجعية [20-21-22] ومن تحليلاتنا يظهر الشكل (8) سلوكاً مميزاً لمقاطع تفاعل البروتونات المقذوفة بطاقات منخفضة ومتوسطة وبوساطة نواة الهدف ( $^{96}Rh$ )، حيث وكما نلاحظ من الشكل أن مع ازدياد الطاقة (طاقة المقذوف) ، أي مع تسريعه عبر مسرعات خاصة إلى طاقات محددة فإن مقاطع التفاعل ستزداد كما هو واضح إلى الوصول إلى قيمة معينة مقابلة لطاقة محدودة، ثم يحافظ على قيمة ثابتة مع ازدياد الطاقة . ويعزى ذلك للمشاركة الفعالة لمراكز التبعثر التي تعترض مسار الحزمة المسرعة من البروتونات. فكلما ازدادت طاقة التسريع كلما اقترب أكثر من نواة الهدف وانخفض أيضاً نصف قطر التأثير المتبادل وهذا واضح من الشكل (7).

نلاحظ التوافق الجيد والمثالي مع مثيلاتها المرجعية [20-21-22] ضمن مجالات طاقة معينة ومع تحليلاتنا المنهجية لقيمتها من المراجع [22] ، ويلاحظ ابتعادها عن بعض المراجع والسبب يعود لكون بعض المراجع اعتمدت طريقة مغايرة جداً عن طريق (VMA) من حيث إيجادها للبارامترات الهندسية للكمون الضوئي.

إن هذا التوافق الجيد لقيم مقاطع التفاعل بدلالة الطاقة وفق الطريقة المتبعة (VMA) مع البيانات سواء التجريبية أو التمثيلات الوسيطة لبارامترات الكمون الضوئي يعكس بالدرجة الأولى الدقة في تحديد البارامترات الهندسية للكمون الضوئي والذي أدى بدوره إلى خلق كل آخر (استنباط) للكمون منسجم إلى حد كبير جداً مع كينونته لخط الاقتراب الفعلي للبروتونات المقذوفة من نواة الهدف (وهذا كما قلنا سابقاً عائداً إلى أثر الإضافة التبددية المنطوية ضمن جوهر طريقة (VMA) ولدى غيابها (غياب الإضافة التبددية) رأينا ابتعاداً كبيراً عن القيم العددية لمقاطع التفاعل المحسوبة باستخدام (VMA-SPI) و تراجعاً حاداً لسلوكها عن مثيلاتها المرجعية والشكل (9) يبين ذلك والجدول (3) أيضاً يوضح ذلك



الشكل (9) الدالة الطاقة لمقاطع التفاعل ( $P + {}^{96}Rh$ ) في مجال الطاقات المنخفضة والمتوسطة مع مثيلاتها المرجعية [20-21-22] وبدون إضافة تبددية

الجدول (3):

جدول (3) يبين مقدار ونسبة تأثير الإضافة التبددية على مقطع العرضي ل $^{96}_{45}Rh_{51}$				
$E$ (MeV)	المقطع مع إضافة تبددية	المقطع بدون إضافة تبددية	قيمة الإضافة	نسبة الإضافة %
1.97	0.001263	0.003567	-0.0023	-182.463
2	0.001548	0.00167362	-0.00013	-8.08427
3.95	0.64859	5.28691	-4.63832	-715.139
5	28.6992	31.3628	-2.6636	-9.28109
5.92	84.7009	87.1619	-2.461	-2.90552
10	629.296	607.843	21.453	3.409048
15	978.558	969.999	8.559	0.874654
17	1063.43	1060.47	2.96	0.278345
20	1142.95	1151.95	-9	-0.78744
25	1243.05	1235.49	7.56	0.608181
30	1293.83	1287.38	6.45	0.49852
35	1307.04	1298.39	8.65	0.661801
40	1307.26	1294.99	12.27	0.938604
45	1293.43	1279.82	13.61	1.052241
50	1275.47	1260.64	14.83	1.162709
55	1252.66	1237.71	14.95	1.19346
60	1229.36	1214.47	14.89	1.211199
65	1204.99	1190.45	14.54	1.206649
70	1181.28	1167.25	14.03	1.187695
75	1158.23	1144.84	13.39	1.156074
80	1136.02	1123.34	12.68	1.116178
85	1114.85	1102.89	11.96	1.07279
90	1094.79	1083.53	11.26	1.028508
95	1075.76	1065.19	10.57	0.982561

الاستنتاجات والتوصيات:

(1)- من تحليل البيانات المتعلقة بمقاطع التفاعل التجريبية والنظرية للمنظومة ( $P + ^{96}Rh$ ) في المجال الطاقي المدروس باستخدام الكود (SPI)، تمّ التوصل إلى

مجموعة من البارامترات الهندسية للكمون الضوئي ، الذي تمّ اعتبارها كتقريب أولي للبارامترات الهندسية التي نسعى لإيجادها.

(2)- وجدنا ووفقاً لتقنية طريقة (VMA) النموذج الضوئي التبددي المبنية على العلاقة التبددية وبعد حلها التحليلي والعددي من خلال علاقة (برون- براو) فقد تمّ إيجاد الوسطاء الهندسية ل (VMA) وهي:

$$\begin{aligned} \beta_2 &= 94 \text{MeV Fm}^3 & \rho_2 &= 52 \text{MeV} & \rho_w &= 3 \text{MeV} \\ E_F &= 3.95 \text{MeV} & E_0 &= 1.97 \text{MeV} & J_{HF} &= 501.235 \text{MeV Fm}^3 \end{aligned}$$

(3)- تمّ وباستخدام طريقة (VMA) والبرنامج (SPI-VMA) معالجة البيانات الناتجة والتوصل إلى القيمة العددية للعزوم من المرتبة الثانية ( التكاملات الحجمية) بالنسبة للجزء الحقيقي والتخيلي للكمون الضوئي ومنها على سبيل المثال:

$$\begin{aligned} J_r(E_k) &= 337.56 \text{ MeVFm}^3 \\ J_{ww} &= 46.973 \text{ MeVFm}^3 \\ J_{wa} &= 46.715 \text{ MeVFm}^3 \end{aligned}$$

حيث أظهرت قيمها العددية توافقاً جيداً مع مثيلاتها المرجعية وسلوكاً مميزاً بالنسبة للطاقة وخاصة في المجال الطاقى المنخفض ، إذ يبدي المنحني الخاص بتابعية العزوم للطاقة شذوذاً في سلوكه بالقرب من عتبة التفاعل، نتيجة للمشاركة الفعّالة لجميع قنوات التفاعل (مثل التفاعل المرن والتفاعل اللامرّن والامتصاص)، وهذه الظاهرة تعرف بظاهرة شذوذ العتبة ، وهي نتيجة للإضافة التبددية في الكمون الضوئي التبددي.

(4)- تمّ إيجاد شكل الكمونات المدروسة بالنسبة للجزء التخيلي (الحجمي والسطحي) والحقيقي للمنظومة المدروسة ( $P + {}^{96}\text{Rh}$ ) في المجال الطاقى المدروس وكانت ذات

دقة عالية من التحديد وظهرت تطابق مقاطع التفاعل الحسابية مع مثيلاتها التجريبية وكمون (هاتري-فوك) وتمّ التوصل إلى العلاقتين التاليين للكمون الحقيقي:

$$V_V = -0.4003E + 59.499 \quad (1)$$

$$V_{HF} = 0.4587E + 58.917 \quad (2)$$

يمكن من خلال هاتين العلاقتين إيجاد قيمة الكمون وعند كل خطوة طاقة أو فاصلة طاقة .

(5)- تمّ أيضاً تحديد القيمة العددية لأنصاف أقطار الكمونات للمنظومة المدروسة ( $P, ^{96}Rh$ ) وضمن المجال الطاقى المختار ووجدنا أن سلوكها يتباين مع الطاقة ويعزى ذلك إلى الإضافة التبددية التي أظهرت ذلك، بينما نجد أن ذلك غير وارد في التمثيلات الوسيطة الشاملة لبارامترات الكمون الضوئي.

(6)- تم تحديد القيم العددية لمقاطع التفاعل للمنظومة ( $P + ^{96}Rh$ ) وضمن المجال الطاقى المدروس وخارجه ، وتبين توافقها بشكل جيد مع مثيلاتها التجريبية و التمثيلات الوسيطة الشاملة . ويعزى هذا التوافق والتطابق أيضاً إلى الأضافة التبددية في الكمون الضوئي ولدقة عمل البارامترات الهندسية للكمون الضوئي.

(7)- حددنا أبعاد المنطقة الإشعاعية ( الوسطاء الهندسية للكمون الضوئي) ، التي تحدث فيها عمليات التأثيرات المتبادلة بين الجسيمات المقذوفة ونواة الهدف من خلال المعالجة لتلك العمليات باستخدام الكودين البرنامجين (VMA-SPI)، (SPI).

(8)- حددنا قيمة نسبة المشاركة التبددية الفعّالة بدلالة الطاقة ، حيث تبين أن قيمتها تتراوح في المجال الطاقى المنخفض (5-10 MeV) وفي المجال الطاقى المتوسط (10-80 MeV).

### التوصيات:

- (1) - توسيع الدراسة لتشمل مجالات طاقة أعلى و نوى أهداف العناصر المختلفة .
- (2) - أرشفة النتائج التي تمّ التوصل إليها في قاعدة بيانات تكون مرجعاً للدراسات البحثية القادمة و المستقبلية.

المراجع:

- [1]- MAHAUX . C, SARTOR . R , 1991, Nucl . Phys .V. 528.P. 253.
- [2]- أنيس بلال - محاضرات الفيزياء النووية 2-السنة الرابعة فيزياء- جامعة البعث،كلية العلوم-قسم الفيزياء(2015-2025).
- [3]-MAHAUX . C, BORTINGNON P.F, 1985 -Dynamics of the shell model. Phys. Rep, V.120 , p.p.1- 274.
- [4] - MAHAUX . C, SARTOR . R ,1989 , Nucl . Phys .V. 503, P.525.
- [5]-Molhum Ussef, & Anis Belal. (2020). Study of the dispersive contribution effect for neutrons scattering with energy( $60 \leq E_n \leq 80$ )MeV, Nuclear Science, Science PG, Vol.5,Issue Number 4,December 2020.
- [6]- HODGSON . P. E , 1991- The Dispersive Optical Model, OUNP, 91-11, p.p.1- 7.
- [7]- GURBICH . A . F, LIONEV. A , 1983- Analysis Proton Optical - Model potential near the coulomb barrier, bninsk – USSR.
- [8]-استخدام النموذج الضوئي التبددي لدراسة تبعثر البروتونات المقذوفة بطاقة  $10 \leq E_p \leq 50 \text{ Mev}$  على نواة الهدف  $^{57}\text{Fe}$ . مجلد 40 جامعة البعث.
- [9]- PEREY F.G. code SPI-GENOA (unpublished)1976.
- [10]- Hodgson, P. E. (1990). The unification of the nuclear optical potential, Contemporary Physics, 31: 5, 295-308, DOI: 10.1080/00107519008213780.

[11] KONING. A, HILAIRE. S, GORIELY. S, 2015- TALYS-1.8, A nuclear reaction program, User Manual. First edition. NRG Petten, the Netherlands and CEA 45679599-leChâ=el, France, 41-533p.

[12] Koning, A. J., & Delaroche, J. P. (2003). Nucl. Phys. A713, 231.

[13]- معروف، إبراهيم، أنيس بلال، (2023) ، تحديد نسبة المساهمة التبددية في المقاطع العرضية والكمونات النووية للتفاعل  $112\text{Cd}(n,n)112\text{Cd}$  بطاقة قذف  $80 \leq E_n \leq 100 \text{ Mev}$  باستخدام طريقة VMA. المجلد 45.

[14] IAEA, (2006). Handbook for Calculations of Nuclear Reaction Data, RIPL-2, IAEA in Austria, (Final report of a coordinated research project, IAEATECDOC-1506), pp. 47- 69.

[15] Al-Mustafa, H., & Belal, A. (2019). A Dispersive Optical Model Analysis of the Protons Scattering by Titanium Element Nucleus and Its Natural Isotopes. *Nuclear Science*, 6(1), 44-51.

[16] مرح علي. (2023). تحديد البارامترات الهندسية للكمون الضوئي بطريقة VMA للمنظومة  $(n+ \text{ } ^{54}_{26}\text{Fe})$  مجلة جامعة البعث-سلسلة العلوم الأساسية. 45(5).

[17]-Bear, K., & Hodgson, P. E. (1978). The systematics of nuclear bound states. *Journal of Physics G: Nuclear Physics*, 4(12), L287.

[18]-KONING A.J. AND D. ROCHMAN,2011- Nuclear Research and Consultancy Group (NRG) Petten, The Netherlands. Release date: December 29.

[19]P.G. Young, Los Alamos National Laboratory-(1994),  
Experience at los alamos with use of the optical model for applied  
nucleia data calculations, (report la-ur-94-3104).

[20]- Koning, A. J., & Rochman, D. (2012). Modern nuclear data  
evaluation with the TALYS code system. Nuclear data  
sheets, 113(12), 2841-2934.

[21]-Perey, C. M., & Perey, F. G. (1976). Compilation of  
phenomenological optical-model parameters 1954–1975. Atomic  
data and nuclear data tables, 17(1), 1-101.

[22] Perey, F. G. (1963). Optical-model analysis of proton elastic  
scattering in the range of 9 to 22 MeV. Physical Review, 131(2),  
745.

# الحل العددي لمعادلة التوصيل الحراري في بعد واحد باستخدام خوارزمية (SM-RG)

(1) أ. د. برلنت صبري مطيط

(2) قتيبة أحمد العلي

جامعة دمشق - كلية العلوم - قسم الرياضيات

## ملخص

تتناول هذه المقالة الحل العددي لمعادلة التوصيل الحراري باستخدام أسلوب الشبكات العشوائية المُسمّى SM-RG. حيث يهدف البحث إلى تطوير منهجية الفروق المنتهية كإحدى الطرائق العددية الفعّالة لحل المعادلات التفاضلية الجزئية. وتعتمد خوارزمية SM-RG على توزيع النقاط بشكل عشوائي ضمن الشبكة، مع إدخال تحسينات على معادلات الفروق لتعزيز الاستقرار العددي ورفع مستوى الدقة.

تتضمن الدراسة تطبيق خوارزمية SM-RG على معادلة الحرارة أحادية البعد، مع عرض لمراحل التنفيذ، حيث يتم تعديل معادلة الفروق ومعالجة الشروط الحدية والابتدائية. أظهرت النتائج أن خوارزمية SM-RG تُحقق دقة أعلى للحلول وتقلل نسبة الخطأ. علماً أن الطريقة المتبعة في هذا البحث غير فعالة من أجل المناطق غير البسيطة وغير المنظمة

**الكلمات المفتاحية:** معادلة تفاضلية جزئية، معادلة الحرارة في بعد واحد، طريقة الفروق المنتهية، طريقة CN، خوارزمية SM-RG.

(1) عضو هيئة تدريسية في قسم الرياضيات، كلية العلوم، جامعة دمشق.

(2) طالب ماجستير، جامعة دمشق، كلية العلوم، قسم الرياضيات.

# Numerical Solution of the one-dimensional Heat Equation Using the (SM-RG) Algorithm

(1) Prof. Brillant Sabry Matit

(2) Qutaibah Ahmad Ali

Damascus University - Faculty of Science - Department of Mathematics

## Abstract

This paper presents a numerical solution of the heat conduction equation using a random grid approach called the SM-RG algorithm. The research aims to develop a finite difference scheme as one of the effective numerical methods for solving partial differential equations. The SM-RG algorithm relies on random point distribution within the computational grid while incorporating improvements to the difference equations to enhance numerical stability and increase accuracy.

The study involves applying the SM-RG algorithm to a one-dimensional heat equation, detailing the implementation stages, including modification of the difference equation and treatment of boundary and initial conditions. The results demonstrated that the SM-RG algorithm yields higher solution accuracy and reduces the error rate. It should be noted that the method employed in this study is ineffective for non-simple and irregular regions.

**Keywords:** partial differential equation, the 1D Heat equation, Finite difference method, CN method, SM-RG algorithm.

- (1) A faculty member in the Department of Mathematics, Faculty of Science, University of Damascus.
- (2) Master's student, Damascus University, Faculty of Science, Department of Mathematics.

## مقدمة

برزت أهمية المعادلات التفاضلية الجزئية في العديد من فروع العلوم والتكنولوجيا، مثل نظرية الكهرومغناطيسية، المرنة، ميكانيكا الموائع، انتقال الحرارة، الصوتيات، ميكانيكا الكم وغيرها. تُشكل هذه المعادلات عند اقترانها بشروط ابتدائية وشروط حدية مسألة تُعرف بمسألة قيم ابتدائية حدية، ظهرت العديد من الدراسات التي تبحث عن حل المعادلات التفاضلية بشكل تحليلي أو عددي، إلا أن الوصول إلى حل دقيق للمعادلات التفاضلية يعد أمراً صعباً باستخدام الطرائق التحليلية التقليدية. من هنا برزت طريقة الفروق المنتهية كأحدى الطرائق العددية الفعالة التي تُستخدم لحل هذه المعادلات، حيث تقوم هذه الطريقة بتقريب المشتقات في المعادلات التفاضلية بدوال عددية تعتمد على تقسيم المجال المدروس إلى شبكة من النقاط، حيث يمكن حساب الحلول بشكل تقريبي ودقيق [1]، ولقد اعتمد في هذا البحث دراسة خوارزمية SM-RG التي تهدف إلى تطوير طريقة الفروق المنتهية. وتطبيق خوارزمية SM-RG على معادلة الحرارة في بعد واحد.

## هدف البحث:

تطبيق خوارزمية SM-RG لحل معادلة الحرارة في بعد واحد باستخدام طريقة الفروق المنتهية على شبكات عشوائية.

## 1. طريقة الفروق المنتهية Finite Difference method:

تُعد طريقة الفروق المنتهية إحدى الطرائق العددية المستخدمة في حل المعادلات التفاضلية، سواء كانت المعادلات التفاضلية عادية أو جزئية [2]. تعتمد هذه الطريقة على تقريب المشتقات باستخدام فروق قيم الدالة عند نقاط محددة [3]. تعود الجذور الرياضية لهذه الطريقة إلى متسلسلة تايلور، التي شكلت الأساس النظري لتطوير التقريب العددي للمشتقات [3]. ومع تطور الأبحاث العلمية وخاصة في مجال المعادلات التفاضلية حاول العلماء لسنوات طويلة حل هذه المعادلات بشكل تحليلي، إلا أنهم صادفوا نماذج من المعادلات التفاضلية يتعذر حلها بشكل تحليلي وكانت هذه نقطة الانطلاق العلمي في مسار جديد يبحث في حل المعادلات التفاضلية بالطرائق العددية ومنها طريقة الفروق المنتهية التي تتميز بسهولة تطبيقها. ومع ظهور الحواسيب شهدت طريقة الفروق المنتهية تطوراً نوعياً وأصبحت أداة فعالة في حل المعادلات التفاضلية. وفي نهاية القرن العشرين وبداية القرن الحادي والعشرين أسهم تطور الحوسبة الرقمية في تعزيز مكانة طريقة الفروق المنتهية حيث تم دمجها مع طرائق عددية أخرى لتحسين أدائها في النمذجة الرياضية للظواهر العلمية المعقدة [4]. تُستخدم طريقة الفروق المنتهية عندما تكون منطقة الدراسة بسيطة ومنتظمة (هذا يعني أن الطريقة غير فعالة من أجل المناطق غير البسيطة وغير المنتظمة) حيث يتم تقسيم منطقة المسألة المدروسة إلى شبكة منتظمة واستبدال المشتقات بما يقابلها من الدوال العددية وبعد ذلك نحصل على جملة من المعادلات الخطية نحلها بالطرائق المباشرة. ومن أجل زيادة دقة الشبكة نقوم بزيادة عدد التقسيمات وبالتالي يزداد عدد المعادلات الجبرية الخطية، لعلها نلجأ إلى الطرائق العددية مثل طريقة غاوس سيدل.

## 2. معادلة الحرارة في بعد واحد The One-Dimensional Heat Equation: [5]

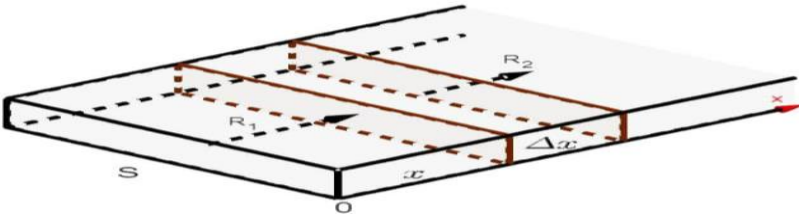
نبدأ هذه الفقرة باستنتاج معادلة الحرارة في بعد واحد، ثم سنقوم بصياغة مسائل القيم الابتدائية الحدية، والتي تتضمن معادلة الحرارة والشرط الابتدائي والشروط الحدية.

أولاً نُذكر بثلاث مبادئ فيزيائية أساسية:

1. تتدفق الحرارة من درجة حرارة أعلى إلى درجة حرارة أقل.
2. كمية الحرارة في جسم ما تتناسب مع كتلته ودرجة حرارته.
3. معدل تدفق الحرارة عبر سطح ما يتناسب مع تلك المساحة ومع معدل تغير درجة الحرارة بالنسبة للمسافة العمودية على تلك المساحة.

ثانياً: استنتاج معادلة الحرارة

بفرض لدينا قضيب متجانس ذو مقطع عرضي منتظم  $S$  بوحدة  $(cm^2)$ . ولنفترض أن الجوانب مغطاة بمادة عازلة للحرارة بحيث تكون خطوط تدفق الحرارة متوازية وعمودية على المقطع العرضي  $S$ . لنأخذ أحد الطرفين كنقطة مبدأ واتجاه التدفق كاتجاه المحور  $x$  (الشكل 1) ولتكن  $\rho$  هي الكثافة بوحدة  $(g/cm^3)$  و  $s$  هي السعة الحرارية النوعية بوحدة  $(cal/g deg)$  و  $k$  التوصيل الحراري بوحدة  $(cal/cm deg sec)$ .



الشكل(1): التدفق الحراري

لنفترض أن  $u(x, t)$  تمثل درجة الحرارة عند مسافة  $x$  من النقطة  $O$ . إذا كان  $\Delta u$  هو التغير في درجة الحرارة ضمن شريحة بسماكة  $\Delta x$  من القضيب، فإنه وفق المبدأ (2) كمية الحرارة في هذه الشريحة (*slab*) تُعطى بالعلاقة:

$$slab = \rho S \Delta x \Delta u$$

وبالتالي فإن معدل زيادة الحرارة في هذه الشريحة أي  $\rho S \Delta x \Delta u_t$ ، يُعطى بالفرق بين معدل تدفق الحرارة الداخل والخارج:

$$\rho S \Delta x \Delta u_t = R_1 - R_2 \quad (4)$$

حيث أن  $R_1$  و  $R_2$  هما على التوالي معدل تدفق الحرارة الداخل والخارج من الشريحة بوحدة ( $cal/sec$ ). وبما أن معدل انتشار الحرارة (أي كمية الحرارة التي تنتقل عبر مساحة مقطع عرضي  $S$  عند الإحداثي  $x$  في وحدة الزمن وفقاً للمبدأ (3) يُعطى بقانون فورييه:

$$q = -ku_x S$$

حيث  $k$  هو ثابت يعتمد على مادة الجسم ويُعرف باسم التوصيل الحراري، من هذا ينتج أن:

$$R_1 = -kS \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_x \quad \text{and} \quad R_2 = -kS \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x+\Delta x}$$

تظهر الإشارة السالبة كنتيجة للمبدأ (1)، بالتعويض في (4) نحصل على:

$$\begin{aligned} \rho S \Delta x \frac{\partial u}{\partial t} &= -kS \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_x + kS \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x+\Delta x} \\ \Rightarrow \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{k}{\rho} \left\{ \frac{\left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x+\Delta x} - \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_x}{\Delta x} \right\} \end{aligned}$$

نرمز إلى الحد ( $c^2 = \frac{k}{s\rho}$ )، المعروف باسم معامل الانتشار الحراري بوحدة ( $cm^2/sec$ )، وبأخذ النهاية عندما  $\Delta x \rightarrow 0$  نحصل على معادلة توصيل الحرارة في قضيب متجانس:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad 0 < x < \alpha, \quad t > 0, \quad c > 0 \quad (5)$$

أو بالشكل:

$$u_t = c^2 u_{xx}, \quad 0 < x < \alpha, \quad t > 0, \quad c > 0$$

وتسمى أيضا معادلة الحرارة أو معادلة الانتشار الحراري أو معادلة التوصيل الحراري، وهي معادلة تفاضلية جزئية خطية من المرتبة الثانية من النمط المكافئ، تصف التوصيل الحراري، أو تغير الحرارة في الأجسام. وحتى يكون لمعادلة الحرارة حل وحيد يجب أن تحقق الدالة  $u = u(x, t)$  شروط ابتدائية وشروط حدية تتعلق بطبيعة المسألة. بفرض أنه عندما  $t = 0$  يتم إعطاء درجة حرارة تساوي  $f(x)$  أي:

$$u(x, 0) = f(x), \quad 0 < x < \alpha \quad (6)$$

وهذا يُعرف بالشروط الابتدائية.

وعند إعطاء قيمة الدالة على حدود المنطقة المدروسة نحصل على الشروط الحدية:

$$u(0, t) = T_1, \quad u(\alpha, t) = T_2, \quad t > 0 \quad (7)$$

تُشكل العلاقة (5) عند اقترانها بالشروط (6) و (7) مسألة القيم الابتدائية الحدية، ولحل هذه المسألة نستخدم طريقة الفروق المنتهية، والتي يتفرع منها خوارزمية SM-RG.

### 3. تقريبات الفروق المنتهية Approximate Finite Difference [6]:

تعتمد طريقة الفروق المنتهية على تقريب المشتقات في المعادلة التفاضلية بناءً على قيم الدالة نفسها عند نقاط منفصلة.

صيغ الفروق المنتهية:

• الفروق التقدمة (Forward differences)

المشتقات من المرتبة الأولى:

$$u_x = \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{\Delta x} + o(\Delta x) \approx \frac{u_{i+1} - u_{i,j}}{\Delta x} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h}$$

$$u_t = \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_{i,j} = \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t} + o(\Delta t) \approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t} = \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{k}$$

المشتقات من المرتبة الثانية:

$$\begin{aligned} u_{xx} &= \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_{i,j} = \frac{u_{i+2,j} - 2u_{i+1,j} + u_{i,j}}{(\Delta x)^2} + o(\Delta x) \\ &\approx \frac{u_{i+2,j} - 2u_{i+1,j} + u_{i,j}}{(\Delta x)^2} \\ &= \frac{u_{i+2,j} - 2u_{i+1,j} + u_{i,j}}{h^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{tt} &= \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right)_{i,j} = \frac{u_{i,j+2} - 2u_{i,j+1} + u_{i,j}}{(\Delta t)^2} + o(\Delta t) \approx \frac{u_{i,j+2} - 2u_{i,j+1} + u_{i,j}}{(\Delta t)^2} \\ &= \frac{u_{i,j+2} - 2u_{i,j+1} + u_{i,j}}{k^2} \end{aligned}$$

• الفروق التراجعية (Backward differences)

المشتقات من المرتبة الأولى:

$$u_x = \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_{i,j} = \frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{\Delta x} + o(\Delta x) \approx \frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{\Delta x} = \frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{h}$$

$$u_t = \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_{i,j} = \frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{\Delta t} + o(\Delta t) \approx \frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{\Delta t} = \frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{k}$$

المشتقات من المرتبة الثانية:

$$\begin{aligned} u_{xx} &= \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_{i,j} = \frac{u_{i,j} - 2u_{i-1,j} + u_{i-2,j}}{(\Delta x)^2} + o(\Delta x) \\ &\approx \frac{u_{i,j} - 2u_{i-1,j} + u_{i-2,j}}{(\Delta x)^2} \\ &= \frac{u_{i,j} - 2u_{i-1,j} + u_{i-2,j}}{h^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{tt} &= \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right)_{i,j} = \frac{u_{i,j} - 2u_{i,j-1} + u_{i,j-2}}{(\Delta t)^2} + o(\Delta t) \approx \frac{u_{i,j} - 2u_{i,j-1} + u_{i,j-2}}{(\Delta t)^2} \\ &= \frac{u_{i,j} - 2u_{i,j-1} + u_{i,j-2}}{k^2} \end{aligned}$$

• الفروق المركزية (Central differences)

المشتقات من المرتبة الأولى:

$$\begin{aligned} u_x &= \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2(\Delta x)} + o((\Delta x)^2) \approx \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2(\Delta x)} \\ &= \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2h} \end{aligned}$$

$$u_t = \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_{i,j} = \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2(\Delta t)} + o((\Delta t)^2) \approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2(\Delta t)}$$

$$= \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2k}$$

المشتقات من المرتبة الثانية:

$$u_{xx} = \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} + o((\Delta x)^2)$$

$$\approx \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{(\Delta x)^2}$$

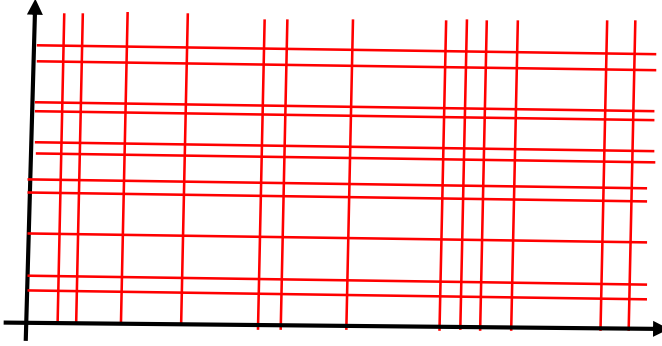
$$= \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2}$$

$$u_{tt} = \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right)_{i,j} = \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{(\Delta t)^2} + o(\Delta t) \approx \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{(\Delta t)^2}$$

$$= \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{k^2}$$

#### 4 . خوارزمية (SM-RG) Sanallah Mastoi-Random Grids [7].

تم تقديم خوارزمية SM لأول مرة من قبل الباحث Sanallah Mastoi عام 2020، ثم طور Sanallah الخوارزمية من خلال إنشاء شبكات مولدة عشوائياً (RG (Random Grids) و ذلك لتحسين طريقة الفروق المنتهية. حيثُ أظهرت النتائج التي حصل عليها Sanallah Mastoi أن تطبيق طريقة الفروق المنتهية على شبكات مولدة عشوائياً تحقق تقارباً أسرع وتُحسن دقة الحلول للمسائل المطروحة من خلال تقليل الخطأ، يوضح الشكل (2) التوزيع العشوائي لنقاط الشبكة.



الشكل (2): التوزيع العشوائي لنقاط الشبكة

### 5. خوارزمية SM-RG:

إن فكرة خوارزمية SM-RG تتلخص بتوزيع نقاط عشوائية على المحاور الاحداثية [8] أو على إحداها، ثم نطبق طريقة من طرائق الفروق المنتهية عند قيمة ما.

خطوات خوارزمية SM-RG:

• توزيع النقاط بشكل عشوائي على المحاور الإحداثية.

• اختيار طريقة مستقرة من طرائق الفروق المنتهية.

• تعديل معادلة الفروق للطريقة المُختارة وفق إحدى الحالات التالية:

$$1. k_{min} = \text{minimum}(k_{j-1}, k_{j+1}) \quad , \quad h_{min} = \text{minimum}(h_{i-1}, h_{i+1})$$

[8-11]

$$k_{avg} = \text{average}(k_{j-1}, k_{j+1}) \quad , \quad h_{min} =$$

2.  $\text{average}(h_{i-1}, h_{i+1})$  [8-11]

$$k_{max} = \text{maximum}(k_{j-1}, k_{j+1}) \quad , \quad h_{max} =$$

3.  $\text{maximum}(h_{i-1}, h_{i+1})$  [8-11]

6. تطبيق عددي: [12]

مسألة: بفرض لدينا مسألة التوصيل الحراري التالية:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} ; t > 0 , 0 \leq x \leq 1$$

$$T(x, t = 0) = x + \sin(\pi x)$$

$$T(x = 0, t) = 0 , T(x = 1, t) = 1$$

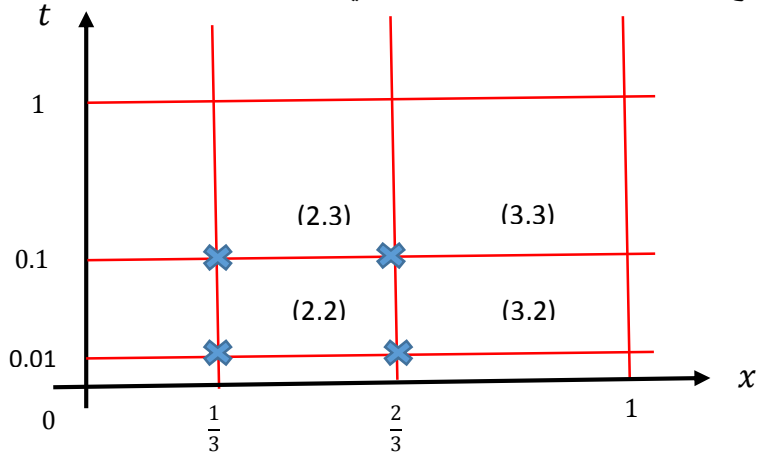
الحل: إن هذه المعادلة هي معادلة الحرارة في بعد واحد حيث أن  $a = 1$

نأخذ متجه عقد منتظم على محور الفواصل:

$$x = \left\{ 0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1 \right\} ; h = \frac{1}{3}$$

$$t = \{ 0, 0.01, 0.1, 1 \} ; k = \{ 0.01, 0.09, 0.9 \}$$

يوجد أربع نقاط داخلية موضحة بالشكل التالي:



لدينا من الشرط الحدي الأول:

$$T(x = 0, t) = 0 \Rightarrow T_{1,j} = 0 ; j = 2: 3$$

لدينا من الشرط الحدي الثاني:

$$T(x = 1, t) = 1 \Rightarrow T_{4,j} = 1 ; j = 2:3$$

لدينا من الشرط الابتدائي:

$$T(x, t = 0) = x + \sin(\pi x) \Rightarrow T_{i,1} = x_i + \sin(\pi x_i) ; i = 1:4$$

$$\Rightarrow T_{1,1} = 0 , T_{2,1} = \frac{2 + 3\sqrt{3}}{6} , T_{3,1} = \frac{4 + 3\sqrt{3}}{6} , T_{4,1} = 1$$

نعلم أن معادلة الفروق المنتهية لطريقة كرنك نيكلسون تُعطى بالشكل: [12]

$$\begin{aligned} & -\lambda T_{i+1,j+1} + 2(1 + \lambda)T_{i,j+1} - \lambda T_{i-1,j+1} \\ & = \lambda T_{i+1,j} + 2(1 - \lambda)T_{i,j} + \lambda T_{i-1,j} ; \lambda = \frac{ak}{h^2} \end{aligned}$$

لنعديل المعادلة السابقة حسب خوارزمية SM-RG في حالة  $\min$ :

$$\begin{aligned} & -\lambda_{\min} T_{i+1,j+1} + 2(1 + \lambda_{\min})T_{i,j+1} - \lambda_{\min} T_{i-1,j+1} \\ & = \lambda_{\min} T_{i+1,j} + 2(1 - \lambda_{\min})T_{i,j} + \lambda_{\min} T_{i-1,j} ; \lambda_{\min} \\ & = \frac{ak_{\min}}{h^2} \end{aligned}$$

$(i, j)$	$k_{\min}$	$h$	$\lambda_{\min}$
(2,2)	0.01	$\frac{1}{3}$	0.09
(3,2)	0.01	$\frac{1}{3}$	0.09
(2,3)	0.09	$\frac{1}{3}$	0.81

الحل العددي لمعادلة التوصيل الحراري في بعد واحد باستخدام خوارزمية (SM-RG)

(3,3)	0.09	$\frac{1}{3}$	0.81
-------	------	---------------	------

من أجل  $j = 1$ :

$$-\lambda_{min} T_{i+1,2} + 2(1 + \lambda_{min}) T_{i,2} - \lambda_{min} T_{i-1,2} = \lambda_{min} T_{i+1,1} + 2(1 - \lambda_{min}) T_{i,1} + \lambda_{min} T_{i-1,1}$$

عندما  $i = 2$ :

$$-0.09T_{3,2} + 2.18T_{2,2} - 0.09T_{1,2} = 0.09T_{3,1} + 1.82T_{2,1} + 0.09T_{1,1}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$-0.09T_{3,2} + 2.18T_{2,2} = 2.320775188 \quad (1)$$

عندما  $i = 3$ :

$$-0.09T_{4,2} + 2.81T_{3,2} - 0.09T_{2,2} = 0.09T_{4,1} + 1.82T_{3,1} + 0.09T_{2,1}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$2.81T_{3,2} - 0.09T_{2,2} = 3.077441855 \quad (2)$$

بالحل المشترك لجملة المعادلتين (1) و(2):

$$T_{3,2} = 1.458106151 \quad , \quad T_{2,2} = 1.124772817$$

من أجل  $j = 2, i = 2$ :

$$-0.81T_{3,3} + 3.62T_{2,3} - 0.81T_{1,3} = 0.81T_{3,2} + 0.38T_{2,2} + 0.81T_{1,2}$$

$$\Rightarrow -0.81T_{3,3} + 3.62T_{2,3} = 1.608479653 \quad (3)$$

من أجل  $j = 2, i = 3$ :

$$-0.81T_{4,3} + 3.62T_{3,3} - 0.81T_{2,3} = 0.81T_{4,2} + 0.38T_{3,2} + 0.81T_{2,2}$$

$$\Rightarrow 3.62T_{3,3} - 0.81T_{2,3} = 3.085146319 \quad (4)$$

بالحل المشترك لجملة المعادلتين (3) و(4):

$$T_{3,3} = 1.00183143 \quad , \quad T_{2,3} = 0.6684980971$$

لحساب الخطأ في حالة  $min$ :

$$|r_1| = 2.320775188 + 0.09T_{3,2} - 2.18T_{2,2} = 5.3 \times 10^{-10}$$

$$|r_2| = 3.077441855 - 2.81T_{3,2} + 0.09T_{2,2} = -6.5 \times 10^{-10}$$

$$e_1 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} = 8.386894539 \times 10^{-10}$$

$$|r_3| = 1.608479653 + 0.81T_{3,3} - 3.62T_{2,3} = 1.56 \times 10^{-10}$$

$$|r_4| = 3.085146319 - 3.62T_{3,3} + 0.81T_{2,3} = -7.1243 \times 10^{-8}$$

$$e_2 = \sqrt{r_3^2 + r_4^2} = 7.12431708 \times 10^{-8}$$

وبالتالي فإن الخطأ الأعظمي هو:

$$e_{max} = \max(e_1, e_2) = 7.12431708 \times 10^{-8}$$

لنحل المسألة في حالة  $Avg$ :

$(i, j)$	$k_{avg}$	$h$	$\lambda_{avg}$
(2,2)	0.05	$\frac{1}{3}$	0.45

الحل العددي لمعادلة التوصيل الحراري في بعد واحد باستخدام خوارزمية (SM-RG)

(3,2)	0.05	$\frac{1}{3}$	0.45
(2,3)	0.495	$\frac{1}{3}$	4.455
(3,3)	0.495	$\frac{1}{3}$	4.455

لنعديل معادلة الفروق المنتهية لطريقة كرنك نيكلسون حسب خوارزمية SM-RG في حالة Avg :

من أجل  $j = 1$  :

$$\begin{aligned} -\lambda_{avg} T_{i+1,2} + 2(1 + \lambda_{avg}) T_{i,2} - \lambda_{avg} T_{i-1,2} \\ = \lambda_{avg} T_{i+1,1} + 2(1 - \lambda_{avg}) T_{i,1} + \lambda_{avg} T_{i-1,1} \end{aligned}$$

عندما  $i = 2$  :

$$-0.45T_{3,2} + 2.9T_{2,2} - 0.45T_{1,2} = 0.45T_{3,1} + 1.1T_{2,1} + 0.45T_{1,1}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$-0.45T_{3,2} + 2.9T_{2,2} = 2.009006043 \quad (1)$$

عندما  $i = 3$  :

$$-0.45T_{4,2} + 2.9T_{3,2} - 0.45T_{2,2} = 0.45T_{4,1} + 1.1T_{3,1} + 0.45T_{2,1}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$2.9T_{3,2} - 0.45T_{2,2} = 3.125672709 \quad (2)$$

بالحل المشترك لجملة المعادلتين (1) و(2):

$$T_{3,2} = 1.214560289 \quad , \quad T_{2,2} = 0.8812269563$$

من أجل  $j = 2$

$$\begin{aligned} -\lambda_{avg} T_{i+1,3} + 2(1 + \lambda_{avg}) T_{i,3} - \lambda_{avg} T_{i-1,3} \\ = \lambda_{avg} T_{i+1,2} + 2(1 - \lambda_{avg}) T_{i,2} + \lambda_{avg} T_{i-1,2} \end{aligned}$$

عندما  $i = 2$ :

$$-4.455T_{3,3} + 10.91T_{2,3} - 4.455T_{1,3} = 4.455T_{3,2} - 6.91T_{2,2} + 4.455T_{1,2}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$\Rightarrow -4.455T_{3,3} + 10.91T_{2,3} = -0.6784121805 \quad (3)$$

من أجل  $i = 3$ :

$$-4.455T_{4,3} + 10.91T_{3,3} - 4.455T_{2,3} = 4.455T_{4,2} - 6.91T_{3,2} + 4.455T_{2,2}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$\Rightarrow 10.91T_{3,3} - 4.455T_{2,3} = 4.443254493 \quad (4)$$

بالحل المشترك لجملة المعادلتين (3) و(4):

$$T_{3,3} = 0.4582888445 \quad , \quad T_{2,3} = 0.124555107$$

لحساب الخطأ في حالة  $Avg$ :

$$|r_1| = -0.45T_{3,2} + 2.9T_{2,2} - 2.009006043 = 2.2 \times 10^{-10}$$

$$|r_2| = 2.9T_{3,2} - 0.45T_{2,2} - 3.125672709 = 1.235 \times 10^{-9}$$

$$e_1 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} = 1.254442107 \times 10^{-9}$$

$$|r_3| = -4.455T_{3,3} + 10.91T_{2,3} + 0.6784121805 = 1.05 \times 10^{-11}$$

$$|r_4| = 10.91T_{3,3} - 4.455T_{2,3} - 4.443254493 = 3.265 \times 10^{-10}$$

$$e_2 = \sqrt{r_3^2 + r_4^2} = 3.266687925 \times 10^{-10}$$

وبالتالي فإن الخطأ الأعظمي هو:

$$e_{max} = \max(e_1, e_2) = 1.254442107 \times 10^{-9}$$

لنحل المسألة في حالة  $max$ :

$(i, j)$	$k_{max}$	$h$	$\lambda_{max}$
(2,2)	0.09	$\frac{1}{3}$	0.81
(3,2)	0.09	$\frac{1}{3}$	0.81
(2,3)	0.9	$\frac{1}{3}$	8.1
(3,3)	0.9	$\frac{1}{3}$	8.1

لنعدل معادلة الفروق المنتهية لطريقة كرنك نيكلسون حسب خوارزمية SM-RG في حالة  $max$ :

من أجل  $j = 1$ :

$$\begin{aligned} -\lambda_{max} T_{i+1,2} + 2(1 + \lambda_{max}) T_{i,2} - \lambda_{max} T_{i-1,2} \\ = \lambda_{max} T_{i+1,1} + 2(1 - \lambda_{max}) T_{i,1} + \lambda_{max} T_{i-1,1} \end{aligned}$$

عندما  $i = 2$ :

$$-0.81T_{3,2} + 3.62T_{2,2} - 0.81T_{1,2} = 0.81T_{3,1} + 0.38T_{2,1} + 0.81T_{1,1}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$-0.81T_{3,2} + 3.62T_{2,2} = 1.697236879 \quad (1)$$

عندما  $i = 3$ :

$$-0.81T_{4,2} + 3.62T_{3,2} - 0.81T_{2,2} = 0.81T_{4,1} + 0.38T_{3,1} + 0.81T_{2,1}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$3.62T_{3,2} - 0.81T_{2,2} = 3.173903564 \quad (2)$$

بالحل المشترك لجملة المعادلتين (1) و(2):

$$T_{3,2} = 1.033417637 \quad , \quad T_{2,2} = 0.7000842998$$

من أجل  $j = 2$

$$\begin{aligned} -\lambda_{\max} T_{i+1,3} + 2(1 + \lambda_{\max})T_{i,3} - \lambda_{\max} T_{i-1,3} \\ = \lambda_{\max} T_{i+1,2} + 2(1 - \lambda_{\max})T_{i,2} + \lambda_{\max} T_{i-1,2} \end{aligned}$$

عندما  $i = 2$ :

$$-8.1T_{3,3} + 18.2T_{2,3} - 8.1T_{1,3} = 8.1T_{3,2} - 14.2T_{2,2} + 8.1T_{1,2}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$\Rightarrow -8.1T_{3,3} + 18.2T_{2,3} = -1.570514197 \quad (3)$$

من أجل  $i = 3$ :

$$-8.1T_{4,3} + 18.2T_{3,3} - 8.1T_{2,3} = 8.1T_{4,2} - 14.2T_{3,2} + 8.1T_{2,2}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$\Rightarrow 18.2T_{3,3} - 8.1T_{2,3} = 7.196152383 \quad (4)$$

بالحل المشترك لجملة المعادلتين (3) و(4):

$$T_{3,3} = 0.4451636049 \quad , \quad T_{2,3} = 0.1118302749$$

لحساب الخطأ في حالة  $max$ :

$$|r_1| = -0.81T_{3,2} + 3.62T_{2,2} - 1.697236879 = 3.06 \times 10^{-10}$$

$$|r_2| = 3.62T_{3,2} - 0.81T_{2,2} - 3.173903564 = 8.98 \times 10^{-10}$$

$$e_1 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} = 9.487043797 \times 10^{-10}$$

$$|r_3| = -8.1T_{3,3} + 18.2T_{2,3} + 1.570514197 = 4.9 \times 10^{-10}$$

$$|r_4| = 18.2T_{3,3} - 8.1T_{2,3} - 7.196152383 = 5.1 \times 10^{-10}$$

$$e_2 = \sqrt{r_3^2 + r_4^2} = 7.072481884 \times 10^{-10}$$

وبالتالي فإن الخطأ الأعظمي هو:

$$e_{max} = \max(e_1, e_2) = 9.487043797 \times 10^{-10}$$

وأخيراً لنحل المسألة في حالة شبكة منتظمة:

نأخذ متجه عقد منتظم على المحور الفواصل ومحور الترتيب:

$$x = \left\{ 0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1 \right\} ; \quad h = \frac{1}{3}$$

$$t = \left\{ 0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1 \right\} ; k = \frac{1}{3}$$

$$-\lambda T_{i+1,j+1} + 2(1 + \lambda)T_{i,j+1} - \lambda T_{i-1,j+1}$$

$$= \lambda T_{i+1,j} + 2(1 - \lambda)T_{i,j} + \lambda T_{i-1,j} ; \lambda = \frac{ak}{h^2}$$

$$\lambda = \frac{ak}{h^2} = 3 \text{ بما أن متجه العقد منتظم على كلا المحورين فإن:}$$

من أجل  $j = 1$ :

$$-\lambda T_{i+1,2} + 2(1 + \lambda)T_{i,2} - \lambda T_{i-1,2} = \lambda T_{i+1,1} + 2(1 - \lambda)T_{i,1} + \lambda T_{i-1,1}$$

عندما  $i = 2$ :

$$-3T_{3,2} + 8T_{2,2} - 3T_{1,2} = 3T_{3,1} - 4T_{2,1} + 3T_{1,1}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$-3T_{3,2} + 8T_{2,2} = \frac{4 - 3\sqrt{3}}{6} \quad (1)$$

عندما  $i = 3$ :

$$-3T_{4,2} + 8T_{3,2} - 3T_{2,2} = 3T_{4,1} - 4T_{3,1} + 3T_{2,1}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$8T_{3,2} - 3T_{2,2} = \frac{26 - 3\sqrt{3}}{6} \quad (2)$$

بالحل المشترك لجملة المعادلتين (1) و(2):

$$T_{3,2} = 0.4936415859 , T_{2,2} = 0.1601282526$$

من أجل  $j = 2$

$$-\lambda T_{i+1,3} + 2(1 + \lambda)T_{i,3} - \lambda T_{i-1,3} = \lambda T_{i+1,2} + 2(1 - \lambda)T_{i,2} + \lambda T_{i-1,2}$$

عندما  $i = 2$ :

$$-3T_{3,3} + 8T_{2,3} - 3T_{1,3} = 3T_{3,2} - 4T_{2,2} + 3T_{1,2}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$\Rightarrow -3T_{3,3} + 8T_{2,3} = 0.8404117473 \quad (3)$$

من أجل  $i = 3$ :

$$-3T_{4,3} + 8T_{3,3} - 3T_{2,3} = 3T_{4,2} - 4T_{3,2} + 3T_{2,2}$$

وبالاستفادة من الشروط:

$$\Rightarrow 8T_{3,3} - 3T_{2,3} = 4.505818414 \quad (4)$$

بالحل المشترك لجملة المعادلتين (3) و(4):

$$T_{3,3} = 0.7012324101 \quad , \quad T_{2,3} = 0.3680136222$$

لحساب الخطأ في حالة  $max$ :

$$|r_1| = -3T_{3,2} + 8T_{2,2} - \frac{4 - 3\sqrt{3}}{6} = 5.399997822 \times 10^{-4}$$

$$|r_2| = 8T_{3,2} - 3T_{2,2} - \frac{26 - 3\sqrt{3}}{6} = 1.439999851 \times 10^{-3}$$

$$e_1 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} = 1.537920458 \times 10^{-3}$$

$$|r_3| = -3T_{3,3} + 8T_{2,3} - 0.8404117473 = 0$$

$$|r_4| = 8T_{3,3} - 3T_{2,3} - 4.505818414 = 2 \times 10^{-10}$$

$$e_2 = \sqrt{r_3^2 + r_4^2} = 2 \times 10^{-10}$$

وبالتالي فإن الخطأ الأعظمي هو:

$$e_{max} = \max(e_1, e_2) = 1.537920458 \times 10^{-3}$$

### 7. النتائج ومناقشتها:

تعتمد هذه الدراسة على الحل العددي لمعادلة الحرارة في بُعد واحد مع شروط حدية من نوع ديرخلية وشرط ابتدائي باستخدام خوارزمية SM-RG التي تُعتبر تعديل لطريقة الفروق المنتهية وتتميز عنها:

- التوزيع العشوائي لنقاط الشبكة.
- تعديل المعاملات في معادلة الفروق.

أ. تحليل النتائج العددية:

- أظهرت النتائج عند استخدام الشبكة العشوائية (SM-RG) في حالات ( $min, avg, max$ ) أخطاءً أصغر من الأخطاء الناتجة عن طرائق الفروق المنتهية، والسبب يعود إلى أن التوزيع العشوائي للنقاط يقلل من تراكم الأخطاء الناتجة عن الانتظام في الشبكات المنتظمة.
- المرونة في تعديل معاملات معادلة الفروق يؤدي إلى التحكم في انتشار الخطأ.
- الطريقة غير فعالة من أجل المناطق غير البسيطة وغير المنتظمة.

### 8. الاستنتاجات والتوصيات

قمنا في هذه الدراسة بتحليل لخوارزمية SM-RG حيث تمكنا من إيجاد حلول عددية لمعادلة الحرارة التفاضلية مع شرط ابتدائي وشروط حدية من نوع ديرخليه. أظهرت النتائج أن خوارزمية SM-RG تُحقق دقة أعلى للحلول مقارنةً بالشبكات المنتظمة لمعادلة الحرارة وهذا يفتح المجال لتعدد المسارات البحثية لتوسيع نطاق هذا العمل، ومن أبرزها:

- أنظمة التحكم البيئي (التكييف والتبريد).
- النمذجة المالية والاقتصادية.
- ديناميكا الموائع الحسابية.
- النمذجة العددية للظواهر العلمية المعقدة.

كما يمكن تعميم خوارزمية SM-RG عن طريق دمجها مع طرائق عددية أخرى مما يفتح آفاق جديدة لتحسين الدقة والكفاءة في المحاكاة العددية.

## المراجع:

- [1] Huang, S., *et al.* (2025). Partial differential equations meet deep neural networks: A survey. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems.p20
- [2] SOBCZYK, T. J. (2022). 1D and 2D finite-difference operators for periodic functions on arbitrary mesh. *Archives of Electrical Engineering*, 265-275.
- [3] CAUSON, D. M., & MINGHAM, C. G. (2010). Introductory finite difference methods for PDEs. Bookboon.p144
- [4] IVANOVIC, M., SVICEVIC, M., SAVOVIC, S. (2017). Numerical solution of Stefan problem with variable space grid method based on mixed finite element/finite difference approach. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 27(12), 2682-2695.
- [5] AGARWAL, R. P., O'REGAN, D. (2008). Ordinary and partial differential equations: with special functions, Fourier series, and boundary value problems. Springer Science & Business Media.p410
- [6] LEVEQUE, R. J. (2007). Finite difference methods for ordinary and partial differential equations: steady-state and time-dependent problems. Society for Industrial and Applied Mathematics.p 431
- [7] MASTOI, S., *et al.* (2020). Numerical Solutions of Second order fractionalPDE's by using Finite-difference Method over randomly generated grids. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29, 373-381.
- [8] MASTOI, S., *et al.* (2022). Numerical solution for two-dimensional partial differential equations using SM's method. *Open Physics*, 20(1), 142-154.

[9] MASTOI, S., Othman, W. A. M. (2020). A Finite difference method using randomly generated grids as non-uniform meshes to solve the partial differential equation. *International Journal of Disaster Recovery and Business Continuity*, 11(1).

[10] MASTOI, S., et al. (2021). Finite difference algorithm on Finite random grids. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*.

[11] MASTOI, S., et al. (2020). Numerical solution of Partial differential equations for nonlinear Local Fractional PDE's and Randomly generated grids. *International Journal of Disaster Recovery and Business Continuity*, 11(01), 2429-2436.

[12] مطيط، برلنت. (2015). الحلول العددية للمعادلات التفاضلية التكاملية والتفاضلية الجزئية ومسائل القيم الحدية. منشورات جامعة دمشق. ص620.