

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 20

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
40-11	آلاء خضري د. عبد الله رستاوي د. سليمان ديبو	صيغة لطاقة الترابط وفق النموذج الطبيعي مع حدود الاقتران و اللاتناظر - واثر المادة المظلمة للنوى المتوسطة $50 < A < 60$
56-41	ريم زيتون د. ياسل العرنوس د. محمد شراياتي	بنية وتشعب الشجرة الفرعية لأبناء الرباعيات المبتذلة في شجرة الرباعيات الفيثاغورية الأولية
82-57	أحمد سلوم المحمد د. ياسل العرنوس د. مرهف العبدالله	بنية وحساب الخماسيات الفيثاغورية: مقارنة بنائية عبر تحليل المتجهات المتعامدة في \mathbb{Z}^3
120-83	أشرف غانم أ.د. محمود مصطفى	دراسة الخامات المرافقة للمعقد الأفبوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاكيت) باستخدام Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد
144-121	سيرين المحمد د. سمير حمود د. بسام العقلة	الفعالية التثبيطية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية (<i>Salvia officinalis</i>) ضد بعض الجراثيم الممرضة المعزولة من برغر الدجاج

صيغة لطاقة الترابط وفق النموذج الطبقي مع حدود الاقتران و اللاتناظر – واثر المادة المظلمة للنوى المتوسطة $50 < A < 60$

آلاء خضري¹ د. عبد الله رستناوي² د. سليمان ديبو³

الملخص

في سعٍ لتجاوز حدود نماذج الكتلة النووية التقليدية، يقدم هذا البحث رؤية لطاقة الترابط النووي اعتماداً على النموذج الطبقي المعدل ببارامترات ازاحة. نقوم هنا بتقديم صيغة نظرية جديدة تنبثق من التوزع الأساسي للنوكليونات في السويات الطاقية، لكننا نعيد هندستها من خلال إدخال بارامترات ازاحة تعكس الاختلاف في القوى النووية المؤثرة نترون-نترون عن القوى الكولونية بروتون-بروتون، مضافة إليها حد الاقتران وحد اللاتناظر المعدلين ولأول مرة، ندمج افتراضاً يتمثل في حد طاقي افتراضي مصمم للكشف عن الأثر المحتمل للمادة المظلمة على استقرار النوى الذرية. بالإضافة إلى ذلك، يكشف نموذجنا عن تقدم نوعي من خلال ثوابت تفاعل ديناميكية للسبين-المدار والعزم المداري، مما يسمح بوصف دقيق غير مسبوق للبنية الدقيقة للسويات. ان صيغة طاقة الارتباط النظرية المقترحة محققاً تطابقاً لافتاً مع طاقات الترابط التجريبية وبانحراف معياري بلغ $\sigma = 0.007 \text{ MeV}$ للنوى ذات العدد الكتلي $A = 50 - 60$. لا يقتصر نجاح هذا العمل على تقديم أداة حسابية فائقة الدقة فحسب، بل يفتح نافذة جديدة من خلال اقتراحه وجود بصمة للمادة المظلمة في قلب النواة. يمهد هذا الطريق لاتجاه بحثي جديد يجمع بين الفيزياء النووية وقلك الجسيمات.

كلمات مفتاحية: طاقات الترابط، النموذج الطبقي، حد الاقتران، المادة المظلمة، بارامترات ازاحة ، مدار-سبين.

¹ طالبة دكتوراه في الفيزياء النظرية كلية العلوم جامعة حمص
² قسم الفيزياء بكلية العلوم- جامعة حمص.
³ قسم الفيزياء بكلية العلوم- جامعة حمص.

Formula for Binding Energy in the Shell Model with Coupling and Asymmetry Limits – and the Effect of Dark Matter on Medium Nuclei $50 < A < 60$

Alaa Khodari^{4*}, Dr. Abdullah Rastanawi⁵, Dr. Soleiman Dibo⁶

Abstract

In an effort to transcend the limitations of traditional nuclear mass models, this research presents a vision for nuclear binding energy based on a modified shell model with displacement parameters. Here, we introduce a new theoretical formula derived from the fundamental distribution of nucleons in energy levels, but we re-engineer it by introducing displacement parameters that reflect the difference in nuclear forces acting between neutron-neutron and Coulomb forces between proton-proton, in addition to modified pairing and asymmetry terms. For the first time, we incorporate an assumption represented by a hypothetical energy term designed to detect the potential effect of dark matter on the stability of atomic nuclei. Furthermore, our model reveals a qualitative advancement through dynamic spin-orbit and orbital angular momentum interaction constants, allowing for an unprecedented accurate description of the fine structure of energy levels. The proposed theoretical binding energy formula achieves a remarkable agreement with experimental binding energies with a standard deviation of $\sigma = 0.007$ MeV for nuclei with mass number $A=50-60$. The success of this work is not limited to providing an accurate computational tool, but also opens a new window by suggesting the existence of a dark matter signature within the nucleus. This paves the way for a new research direction that combines nuclear physics and particle astrophysics.

⁴ PhD student in theoretical physic, Department of Physics at -Homs university, Homs, Syria

⁵Scientific Supervisor Professor of Physics, Faculty of Science, Homs University

⁶ Co-supervisor Assistant Professor, Physics Department, Faculty of Science, Homs University

Keywords: binding energies, shell model, asymmetry term, dark matter, displacement parameters, orbit-spin.

1. مقدمة

تُعدّ طاقة الترابط النووي Nuclear Binding Energy حجر الأساس في فهم استقرار النوى الذرية وتطورها، إذ تعبر عن التوازن بين القوى النووية القوية الجاذبة والقوى الكولونية التنافرية. ويعدّ حساب هذه الطاقة بدقةٍ يشكل تحديًا نظريًا جوهريًا في الفيزياء النووية، بسبب تعقيد التفاعلات بين النوكليونات واعتمادها على تركيب البنيوي للنواة (عدد البروتونات والنيوترونات). تُعد نماذج النووية أدوات أساسية في توصيف طاقة الترابط وتفسير ظواهر متعددة مثل الاستقرار الاستثنائي للنوى "السحرية"، وتشكل الاغلفة النووية، وتحديد حدود الاستقرار النووي (خطوط التقطير drip line). تُعدّ النماذج النووية، وعلى رأسها نموذج قطرة السائل Liquid Drop Model والنموذج الطبقي Shell Model، من الركائز الأساسية في تفسير البنية النووية والتنبؤ بخصائصها الفيزيائية المختلفة. ومع ذلك، ماتزال التحديات التجريبية والنظرية تكشف عن نقائص أساسية في هذه النماذج، خصوصًا عند توصيف النوى الخفيفة، أو السحرية، أو المشوهة هندسيًا. وتكمن المعضلة الأساسية في عجز هذه النماذج على تقديم وصف موحد ودقيق لطاقة الترابط النووي الذي يربط بدقة بين الخصائص المجهرية للنواة والقوى النووية الأساسية المتحكمة في سلوكها.

تُعدّ العلاقة الكتلة النصف-تجريبية [1] [2] المعروفة أيضًا بصيغة بيتّه-فايزساكر Bethe Weizsacker's formula من النماذج الأساسية في الفيزياء النووية لحساب كتل النوى وطاقات ترابطها بدلالة العدد الكتلي والذري. تستند هذه الصيغة إلى فرضيات نموذج قطرة السائل الذي وضع أسسه جورج غامو [3] George Gamow، وطوّره جون وويلر John Archibald Wheeler [4] وقدم كارل فون فايزساكر Carl Friedrich von Weizscker صيغته النهائية عام 1935 [5] لاحقًا، طوّر P. Roy Chowdhury النموذج بإضافة مُصطلح انزياح النظائري Isotonic Shift الذي يعكس التغيرات البنية النووية الناجمة عن تفاعلات بين النوكليونات [6]، وشملت تلك التطويرات نماذج النووية أكثر تقدمًا مثل نموذج القطيرة الكثيف محدود المدى Finite-

Range Droplet Model FRDM هو نموذج كتلة نووي شبه تجريبي منطور، طوره بيتر مولر P. Möller في تسعينيات القرن العشرين [7] يجمع هذا النموذج بين مبادئ نموذج القطيرة الكلاسيكي لوصف التأثيرات لسائل النواة الكلية وتصحيحات نموذج الطبقي النووية) لاستيعاب تأثيرات البنية الدقيقة للنواة، ويمثل تطور نماذج طاقة الترابط النووي انتقالاً تدريجياً من التوصيف الإحصائي الجماعي إلى النمذجة الكمية الفردية. فقد وضع نموذج قطرة السائل Liquid Drop LDM Model الإطار الأولي عبر معادلة الكتلة نصف تجريبية غير أن محدوديته في تفسير الاستقرار الاستثنائي للنوى السحرية أدت إلى ظهور النموذج الطبقي قبل ستينات القرن العشرين على يد ماير Mayer وهاكسل Haxel وجينسن Jensen وسويس Suess في عام 1949 [8]، يعتمد هذا النموذج على سويا نوية منفصلة ومبدأ استبعاد باولي، ويعبر عن طاقة الترابط كمجموع لطاقات السويات الأحادية الجسيم. غير أن إهمال التفاعلات المتبادلة بين النوكليونات يؤدي إلى تقدير مفرط لطاقة الترابط (قيمة أقل سلبية)، ما يكشف محدوديته في المحاكاة الدقيقة. مما دفع بعض الباحثين الى وضع صيغة لطاقة الترابط من خلال الدمج بين النموذج قطرة السائل والتصحيحات الطبقيّة [9].

على الرغم من النجاحات التاريخية للنموذج الطبقي في تفسير البنية الدقيقة للنوى وتفسير النوى السحرية، فإن إخفاقه في تقديم صيغة تحليلية لطاقة الترابط النووي يظل أحد أبرز قيوده. تتوجه هذه الدراسة لتجاوز هذا القيد ليس مجرد باستخدام النموذج القديم، بل من خلال تطويره نوعياً عبر اقتراح صيغة نظرية جديدة تستند إلى مبادئه ولكن مع إدخال حدود تصحيحية معدلة، تشمل هذه الحدود نمذجةً لتفاعل افتراضي مع المادة المظلمة، وهو نهج تطوري يتسق مع الاتجاهات البحثية لإغناء النماذج النووية التقليدية بمكونات فيزيائية جديدة .

2. الهدف من البحث

يهدف هذا البحث إلى تطوير صيغة نظرية لطاقة الترابط النووي، مُستمدة مباشرة من مبادئ النموذج الطبقي، لسد الفجوة في نماذج طاقة الترابط الحالية التي تهمل البنية الدقيقة للسويات النووية.

1. اقتراح صيغة تدمج بارامترات إزاحة طاقة تعتمد على العدد الكتلي ، لتمييز السويات الطاقية للبروتونات عن النيوترونات، مع فرضية أن هذه البارامترات ستقل الفروق بين القيم النظرية والبيانات التجريبية بأكثر من 50% مقارنة بالنماذج الأخرى.
2. تحديد حدود تصحيحية ديناميكية مثل
 - تقديم حد لانتظار المعدل يعتمد بشكل صريح على حالة امتلاء السويات الطاقية الخارجية ، مع فرضية أن هذا سيعيد إيجاد طاقات الترابط للنوى بدقة غير مسبوقة.
 - تطوير حد اقتران لا يعتمد فقط على حالة الزوجية Even-Odd بل أيضاً على عدد النوكليونات في الطبقة التكافؤية Valence Nucleons ، مع فرضية أن هذا يحسن وصف استقرار النوى.
3. التحقق الكمي من دقة النموذج :معايرة واختبار النموذج باستخدام محاكاة حاسوبية مثل ماثكاد وماتلاب على نطاق واسع من النوى المتوسطة مع هدف كمي محدد يتمثل في تحقيق انحراف معياري σ صغير لجعل قيم طاقات الترابط النظرية متوافقة بشكل جيد مع القيم التجريبية.
4. طرح واختبار فرضية بحثية جديدة مفادها أن التفاعل الافتراضي بين النوى وجسيمات المادة المظلمة الخفيفة يمكن نمذجته كحد تصحيحي طاقي ضعيف.

3. الدراسة النظرية

1.3 . صيغة طاقة الترابط النووي اعتماداً على النموذج الطبقي

بما أن النموذج الطبقي يتوافق مع التجربة التي تثبت بان النواة مكونة من عدة طبقات وكل طبقة ترتبط بالطبقات الأخرى وتتوزع نوكليونات على كل الطبقات حسب سعة الطبقة، وكل نوكليون على طبقة ما يكون له طاقة ارتباط تتعلق بطاقة السوية. وبالتالي نفترض من الممكن إيجاد علاقة لطاقة الترابط تعتمد على طاقات النوكليونات في السويات النووية. ومن أجل إيجاد هذه العلاقة في هذا البحث تم بداية لاختبار الفرضية قمنا بحساب طاقة السويات الفرعية حسب

العلاقة [10]

$$\varepsilon_{nlj} = \hbar\omega[2(n-1) + l + 3/2] + Dl(l+1) + C \begin{cases} l+1 & j = l - 1/2 \\ -l & j = l + 1/2 \end{cases} \quad (1)$$

حيث D تمثل هذا هو حد التصحيح المداري تم إدخاله لأن بئر الكمون النووي الحقيقي ليس كبئر المذبذب التوافقي المثالي، بل يشبه أكثر بئر وود-ساكسون و C تمثل هذا هو حد الاقتران السبيني-المداري (Spin-Orbit Coupling) مع اخذ بعين الاعتبار قيم الثوابت $C = 20A^{-\frac{2}{3}}, D = 0.1$ الموجودة في المراجع [11] [12] مع مراعاة التوزعات النوكليونات على السويات لكل نواة ثم ضربها بعدد النوكليونات من نوع واحد في كل سوية فرعية حسب العلاقة الاتية

$$E_B = \sum_{i=1}^{N_N} N_i (E_{NState})_i + \sum_{i=1}^{N_Z} Z_i (E_{ZState})_i \quad (2)$$

حيث i رقم السوية ، N_i عدد النترونات في كل سوية ، و Z_i عدد البوتونات في كل سوية ، E_{NState} طاقة كل سوية تتوزع عليها النترونات ، E_{ZState} طاقة كل سوية تتوزع عليها البروتونات .

ولكن ان القيم حسب العلاقة (2) لم تتطابق بشكل جيد مع طاقات الترابط التجريبية. ونعلل عدم التطابق لأننا لم تأخذ بالاعتبار تأثير التباعد بين السويات الطاقية (الفجوات)، الذي يؤثر على استقرار النوى. وبناء عليه اضفنا تصحيح على هذا الصيغة السابقة يعتمد على استقرار

النواة فتم الحصول في هذا البحث على العلاقة التالية

$$E_B = \alpha_A \sum_{i=1}^{n_N} (E_{NState})_i + \beta_A \sum_{i=1}^{n_Z} (E_{ZState})_i \\ = E_{BState}(N) + E_{BState}(p) \quad (3)$$

حيث α_A يمثل بارامتر ازاحة في طاقة السويات النيوترونية وتكون قيمته اكبر لان عدد النيوترونات في النوى اكبر وعمق الكمون للنترونات اكبر من عمق الكمون للبروتونات. β_A يمثل بارامتر ازاحة في طاقة السويات البروتونية وقيمته اصغر بسبب التدافع الكولوني بين البروتونات. أن قيم هذه البارامترات تختلف من النوى لأخرى حسب عدد البروتونات والنيوترونات وتبعاً لتوزعها، ولذلك بسبب ان انتاج السبينات النووية من اجل الاعداد السحرية وفق النموذج الطبقي فان السويات الطاقة النظرية لا تتطابق بشكل كبير مع القيم التجريبية فقمنا بوضع بارامترات ازاحة للسويات وتؤثر على السويات الطاقية الدنيا لان المسافة (التباعد) الطاقية بين هذه السويات كبيرة للتوافق القيم النظرية مع التجريبية

وبالتالي فان صيغة طاقة الترابط تعطى وفق الصيغة التالية

$$E_{B\text{State}}(N) = \alpha_A \varepsilon \left(0S_{\frac{1}{2}} \right) + \alpha_A \varepsilon \left(0p_{\frac{3}{2}} \right) + \alpha_A \varepsilon \left(0p_{\frac{1}{2}} \right) + \varepsilon \left(0d_{\frac{5}{2}} \right) + \dots \quad (4)$$

$$E_{B\text{State}}(p) = \beta_A \varepsilon \left(0S_{\frac{1}{2}} \right) + \beta_A \varepsilon \left(0p_{\frac{3}{2}} \right) + \beta_A \varepsilon \left(0p_{\frac{1}{2}} \right) + \varepsilon \left(0d_{\frac{5}{2}} \right) + \dots \quad (5)$$

$$E_{B\text{State}}(N, Z) = E_{B\text{State}}(N) + E_{B\text{State}}(p) \quad (6)$$

حيث $\varepsilon \left(0S_{\frac{1}{2}} \right)$ طاقة السوية الفرعية $0S_{\frac{1}{2}}$ ، وهي تساوي الى $\varepsilon_{0,0,1/2}$ و $\varepsilon_{nlj} = 0$ و طاقة $\varepsilon \left(0p_{\frac{3}{2}} \right)$ السوية الفرعية $0p_{\frac{3}{2}}$ ، وهي تساوي الى $\varepsilon_{0,1,3/2}$ و $\varepsilon_{nlj} = 0$ و طاقة $\varepsilon \left(0p_{\frac{1}{2}} \right)$ السوية الفرعية $0p_{\frac{1}{2}}$ ، وهي تساوي الى $\varepsilon_{0,1,1/2}$ و $\varepsilon_{nlj} = 0$ و طاقة $\varepsilon \left(0d_{\frac{5}{2}} \right)$ السوية الفرعية $0d_{\frac{5}{2}}$ ، وهي تساوي الى $\varepsilon_{0,2,5/2}$ و $\varepsilon_{nlj} = 0$.

ان البارامترات β_A, α_A يمكن ايجادها باستخدام برنامج حاسوبي وهو برنامج ماثكاد Mathcad program، وحيث عدلنا قيم C, D (وهي مختلفة عن القيم الموجودة عن المراجع) الى ان وصلنا الى تطابق جيد القيم النظرية مع القيم التجريبية .

ان العلاقة النظرية (3) لم تعطي نتائج مطابقة ممتازة مع القيم التجريبية، بسبب البنية المعقدة للنوى وطبيعة القوى التي تؤثر على طاقة الترابط. فمثلا هناك العديد من الظواهر الفيزيائية لم تؤخذ بعين الاعتبار، لتمثيل هذه الظاهرة سوف نضيف حدين تصحيحين على الصيغة السابقة (3) وهما حد اللاتناظر المعدل وحد الاقتران المعدل اللذان يأخذان بعين الاعتبار تأثيرات الطبقات الخارجية على طاقة الترابط.

حد اللاتناظر المعدل:

كما هو معروف يُمثل حد اللاتناظر في صياغة نموذج قطرة السائل [13] للطاقة النووية الأثر الطاقى الناتج عن عدم التماثل في أعداد البروتونات والنيوترونات $N \neq Z$ يُعزى هذا الأثر أساساً إلى مبدأ استبعاد باولي، يؤدي زيادة عدد أحد نوعي النوكليونات عن الآخر إلى شغل سويات طاقة أعلى في نموذج فيرمي-غاز النواة، بينما تبقى مستويات طاقة أدنى شاغرة للنوع الآخر. يُعبر عن هذا الأثر طاقياً بما يُعرف بطاقة باولي Pauli Energy، نتيجة لهذه الآلية، يُلاحظ أن

طاقة الترابط النووي تتناقص مع زيادة عدم التناظر $N - Z$ ، كما أن مقدار هذا النقصان يزداد كلما قل العدد الكتلي A ، نظراً لأن التأثير النسبي لعدم التناظر يصبح أكبر في النوى الأخف. لذلك، يُعبر عن مساهمة حد اللاتناظر في صيغة الطاقة النووية بالعلاقة التناسبية $\frac{N-Z}{A}$ حيث يمثل a_A معامل طاقة التناظر.

$$E_{\text{sym}} = a_A \frac{(N - Z)^2}{A}$$

ان هذا الحد يعكس التناظر الكلي في النواة ولا يميز الطبقات الخارجية لذلك نقوم باجراء تعديل عليه باضافة تابع (حد) يتعلق بتوزيع البروتونات والنيوترونات في الطبقات الأخيرة حسب التوزيع الطبقي، مثل عدد النوكليونات في الطبقات الاخيرة غير ممتلئة، وهو تابع يعكس عدم التناظر في عدد النوكليونات في الطبقات الخارجية

$$f_{\text{susy}} = \left[\frac{|v_p - v_n|}{v_p + v_n + 1} \right]$$

علما ان f_{susy} تابع عدم التناظر في عدد النوكليونات في الطبقة الخارجية حيث v_p, v_n هما عدد البروتونات والنيوترونات في الطبقة الخارجية مثلاً آخر سوية ممثلة جزئياً . ويصبح حد اللاتناظر المعدل له الشكل التالي

$$F_{\text{susy}}(Z, N) = Y \frac{(N - Z)^2}{A} \left[\frac{|v_p - v_n|}{v_p + v_n + 1} \right] \quad (7)$$

Y بارامتر اللاتناظر، اخذنا بهذا الحد المعدل انشغال لامتناظر للطبقة الخارجية (النوكليونات التكافؤية) ، واللاتناظر الكلي في النواة ككل.

حد الاقتران المعدل:

يُمثل حد الاقتران في نموذج قطرة السائل النووي المساهمة الطاقية الإضافية الناتجة عن استقرار النوى زوجية-زوجية even-even مقارنة بالنوى فردية-زوجية odd-even أو فردية-فردية odd-odd ينشأ هذا الأثر من النزعة الطبيعية لاقتران النوكليونات المتماثلة (بروتون-بروتون أو نيوترون-نيوترون) في حالات ذات عزوم سبينية متعاكسة، مما يعكس تفاعلات الترابط

بين النوكليونات المتماثلة في الغلاف النووي الواحد. في صيغ قطرة السائل التقليدية، يعبر عن هذا الحد بالعلاقة

$$E_{pairs} = \mp a_p A^{-1/2}$$

وتأخذ الإشارة السالبة للنوى زوجية-زوجية (مما يزيد من طاقة الترابط) والموجبة للنوى فردية-فردية (مما يقللها)، بينما يكون مقداره صفراً للنوى فردية الكتلة. لتحسين الدقة التنبؤية للنموذج، خضع حد الاقتران لتطويرات متقدمة، أبرزها في صيغ دولفو-زوكر Duflo-Zuker الشبه التجريبية لكتل النوى تعتمد هذه الصيغ على النموذج الطبقي [14] وتقدم صياغة أكثر تفصيلاً لطاقة الاقتران، مما يسهم بشكل كبير في مطابقة البيانات التجريبية بدقة عالية وفق التالي

$$E_{pairs} = -a_p \frac{\Delta}{A^3} \quad (8)$$

علما ان $\Delta = 2, 1, 0$ ، من اجل نواة زوجية - زوجية، ونواة فردي- كتلة odd mass ،
النواة فردية -فردية على التوالي.

تم في هذا البحث بتعديل هذا الحد و اضافته على صيغة طاقة الترابط المقترحة (3) وهو حد تصحيحي سالب ينقص من طاقة الترابط بحيث نحصل على افضل التوافق مع القيم طاقات الترابط التجريبية وفق المعادلة التالية

$$E_{pairs} = \delta A^{-\frac{1}{3}} \quad (9)$$

عند اضافة هذين الحدين تصبح صيغة طاقة الترابط النظرية وهذه الصيغة شاملة للنوى الخفيفة المتوسطة والثقيلة كما يلي

$$E_{Bth, total}(A) = E_{Bstate}(N, Z) - \gamma \frac{(N - Z)^2}{A} \left[\frac{|v_p - v_n|}{v_p + v_n + 1} \right] - \delta A^{-\frac{1}{3}} \quad (10)$$

4. النتائج

4.1 حساب قيم طاقات الترابط نظرياً وفق الصيغة المقترحة

نحسب قيم طاقات الترابط اعتمادا على صيغة لطاقة الترابط وفق العلاقة (10) من اجل بعض النوى ذات العدد الكتلي $A = 50$ حتى $A = 60$ وسوف نكتفي بهذا البحث بهذه النوى ولكن

يمكن تعميم النموذج من اجل كافة النوى

اولا: من اجل حساب عامل الفصل بين السويات الفرعية لهذه النواة $\hbar\omega$ من اجل كل نواة مدروسة. تعطى علاقة عامل الفصل $\hbar\omega$ بين هذه سويات الهزاز التوافقي وفق المعادلة التالية [15]

$$\hbar\omega = \sqrt{\frac{2\hbar^2 V_0}{mR^2} - \frac{(Z-1)e^2}{2R^3}} \approx \sqrt{\frac{2\hbar^2 c^2 V_0}{mc^2 R^2}} \quad (11)$$

تم اخذ قيمة عمق الكمون $V_0 = 50\text{MeV}$ من [16] وهي تمثل القيمة الوسطى لعمق الكمون للبروتونات والنيوترونات تجريبيا ونصف القطر وتعويض فنحصل على الفصل بين السويات $\hbar\omega$ كما في المرجع [15]

$$\hbar\omega \approx 51.5 A^{-\frac{1}{3}} \approx 10 - 20 \text{ MeV} \quad (12)$$

ثانيا: حساب طاقة السويات الهزاز التوافقي للنوى المدروسة حسب العلاقة

تم في هذا البحث القيام بعملية حوسبة المعادلات اعلاه على برنامج ماثكاد Mathcad program ووضع قيم ثوابت مناسبة من اجل النوى المختارة حيث يكون قيمة بارامترات $D = -0.98$ و $C = 0.7$.

من اجل السوية $0S_{1/2}$ نعوض $n = 0$ و $(j = 1/2)$ حيث $l = 0$ تكون طاقة سوية للهزاز التوافقي

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,0,1/2} &= \varepsilon 0S_{1/2} \\ &= \hbar\omega[2(n-1) + 0 + 3/2] - 0.98 \times l(l+1) + 0.7 \\ &\times (-l) \quad (13) \end{aligned}$$

اما طاقة كل نوكلين في السوية $0S_{1/2}$ كالتالي

$$\varepsilon N 0S_{1/2} = \frac{\varepsilon 0S_{1/2}}{2}$$

ومن اجل السوية $0p$ يظهر تأثير لعزم المداري - السبيني فتشطر الى سويتين فرعيتين من اجل السوية $0p_{3/2}$ و $0p_{1/2}$ حيث $n = 0$ و $j = l + 1/2$ و $j = l - 1/2$ حيث $l = 1$ تعطى طاقة الهزاز التوافقي

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,1,1/2} &= \varepsilon 0p_{1/2} \\ &= \hbar\omega[2(n-1) + 1 + 3/2] - 0.98 \times l(l+1) \\ &+ 0.7(-l) \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,1,3/2} &= \varepsilon_{0p_{3/2}} \\ &= \hbar\omega[2(n-1) + 1 + 3/2] - 0.98 \times l(l+1) \\ &\quad + 0.7(l+1) \quad (15) \end{aligned}$$

اما طاقة كل نوكلين في السويتين الفرعيتين $0p_{3/2}$ و $0p_{1/2}$ ، وفق العلاقتين

$$\varepsilon_{N0p_{1/2}} = \frac{\varepsilon_{0p_{1/2}}}{2}, \quad \varepsilon_{N0p_{3/2}} = \frac{\varepsilon_{0p_{3/2}}}{4}$$

ومن اجل السوية $0d$ يظهر تأثير لعزم المداري - السبيني فتشطر الى سويتين فرعيتين من اجل السوية $0d_{5/2}$ و $0d_{3/2}$ نعوض $n = 0$ و $z = l + 1/2$ و $j = l - 1/2$ حيث $l = 2$ تعطى طاقة الهزاز التوافقي

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,2,5/2} &= \varepsilon_{0d_{5/2}} \\ &= \hbar\omega[2(n-1) + 2 + 3/2] - 0.98l(l+1) \\ &\quad + 0.7(-l) \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,2,3/2} &= \varepsilon_{0d_{3/2}} \\ &= \hbar\omega[2(n-1) + 2 + 3/2] - 0.98l(l+1) \\ &\quad + 0.7(l+1) \quad (17) \end{aligned}$$

اما طاقة كل نوكلين في السويتين الفرعيتين $0d_{5/2}$ و $0d_{3/2}$ ، وفق العلاقتين

$$\varepsilon_{N0d_{5/2}} = \frac{\varepsilon_{0d_{5/2}}}{6}, \quad \varepsilon_{N0d_{3/2}} = \frac{\varepsilon_{0d_{3/2}}}{4}$$

من اجل السوية $1s_{1/2}$ حيث $n = 1$ و $j = l + 1/2$ حيث $l = 0$ تعطى طاقة الهزاز التوافقي

$$\begin{aligned} \varepsilon_{1,0,1/2} &= \varepsilon_{1s_{1/2}} \\ &= \hbar\omega[2(n-1) + 0 + 3/2] - 0.98l(l+1) \\ &\quad + 0.7(-l) \quad (18) \end{aligned}$$

ان طاقة كل نوكلين في السوية الفرعية $1s_{1/2}$ ، وفق العلاقتين

$$\varepsilon_{N1s_{1/2}} = \frac{\varepsilon_{1s_{1/2}}}{2}$$

من اجل السوية $0f$ تشطر الى سويتين فرعيتين $0f_{5/2}$ و $0f_{7/2}$ حيث $n = 0$ و $j =$

$l + 1/2$ و $z = l - 1/2$ و $l = 3$ تعطى طاقة الهزاز للسويتين

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,3,7/2} &= \varepsilon_{0f_{7/2}} \\ &= \hbar\omega[2(n-1) + 3 + 3/2] - 0.98l(l+1) \\ &\quad + 0.7(-l) \quad (19) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,3,5/2} &= \varepsilon_0 f_{5/2} \\ &= \hbar\omega[2(n-1) + 3 + 3/2] - 0.98l(l+1) + 0.7(l+1) \quad (20) \end{aligned}$$

ان طاقة كل نوكلين في السويتين الفرعيتين $0f_{5/2}, 0f_{7/2}$ وفق المعادلتين

$$\varepsilon N 0f_{7/2} = \frac{\varepsilon_0 f_{7/2}}{8}, \quad \varepsilon N 0f_{5/2} = \frac{\varepsilon_0 f_{5/2}}{6}$$

فنحصل على طاقة السويات الفرعية للهزاز التوافقي ونقارنها مع القيم طاقة السويات التجريبية

[17] ، وقيم طاقات السويات المحسوبة لبعض النوى من قبل باحثين اخرين [18] [19] [20]

ثالثا: حساب قيم طاقات الترابط حسب الصيغة النظرية المقترحة وفق العلاقة (10)

فمن اجل نواة $A = 50$ ، $Z = 22$ و $N = 28$ نوزع عدد من البروتونات والنيوترونات

على السويات الطاقية ثم نطبق الصيغة طاقة الترابط المقترحة من اجل طاقة ترابط النيوترونات في السويات الطاقية النيوترونية

$$\begin{aligned} E_n &= \alpha_{50}(\varepsilon_0 S_{1/2}) + \alpha_{50}(\varepsilon_0 P_{1/2}) + \alpha_{50}(\varepsilon_0 P_{3/2}) + (\varepsilon_0 d_{5/2}) \\ &\quad + (\varepsilon_0 d_{3/2}) + (\varepsilon_1 s_{1/2}) + (\varepsilon N 0f_{7/2}) \times 8 \end{aligned}$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية البروتونية

$$\begin{aligned} E_p &= \beta_{50}(\varepsilon_0 S_{1/2}) + \beta_{50}(\varepsilon_0 P_{1/2}) + \beta_{50}(\varepsilon_0 P_{3/2}) + (\varepsilon_0 d_{5/2}) \\ &\quad + (\varepsilon_0 d_{3/2}) + (\varepsilon_1 s_{1/2}) + (\varepsilon N 0f_{7/2}) \times 2 \end{aligned}$$

فطاقة الترابط هي مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا

بالبارامترات الازاحة

$$E_{Bstate}(N, Z) = E_{Bstate}(N) + E_{Bstate}(p)$$

فمن اجل نواة $A = 51$ ، $Z = 23$ و $N = 28$. من اجل طاقة ترابط النيوترونات في

السويات الطاقية النيوترونية

$$\begin{aligned} E_n &= \alpha_{51} \left(\varepsilon_0 S_{\frac{1}{2}} \right) + \alpha_{51} \left(\varepsilon_0 P_{\frac{1}{2}} \right) + \alpha_{51} \left(\varepsilon_0 P_{\frac{3}{2}} \right) + \left(\varepsilon_0 d_{\frac{5}{2}} \right) + \left(\varepsilon_0 d_{\frac{3}{2}} \right) \\ &\quad + \left(\varepsilon_1 s_{\frac{1}{2}} \right) + \left(\varepsilon N 0f_{\frac{7}{2}} \right) \times 8 \end{aligned}$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية الفرعية

$$\begin{aligned} E_p &= \beta_{51}(\varepsilon_0 S_{1/2}) + \beta_{51}(\varepsilon_0 P_{1/2}) + \beta_{51}(\varepsilon_0 P_{3/2}) + (\varepsilon_0 d_{5/2}) \\ &\quad + (\varepsilon_0 d_{3/2}) + (\varepsilon_1 s_{1/2}) + (\varepsilon N 0f_{7/2}) \times 3 \end{aligned}$$

فطاقة الترابط هي مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا بالبارامترات الازاحة

$$E_{\text{Bstate}}(N, Z) = E_{\text{Bstate}}(N) + E_{\text{Bstate}}(p)$$

فمن اجل نواة $A = 52$ ، $Z = 24$ و $N = 28$ من اجل طاقة ترابط النيوترونات في

السويات الطاقية النيوترونية

$$E_{\text{Bstate}}(N) = \alpha_{52}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{52}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{52}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 8$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية البروتونية

$$E_{\text{Bstate}}(p) = \beta_{52}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \beta_{52}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \beta_{52}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 4$$

فطاقة الترابط هي مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا

بالبارامترات الازاحة

$$E_{\text{Bstate}}(N, Z) = E_{\text{Bstate}}(N) + E_{\text{Bstate}}(p)$$

فمن اجل نواة $A = 53$ ، $Z = 24$ ، $N = 29$. من اجل طاقة ترابط النيوترونات في

السويات الطاقية النيوترونية

$$E_{\text{Bstate}}(N) = \alpha_{53}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{53}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{53}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) + (\varepsilon N1P_{3/2}) \times 1$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية البروتونية

$$E_{\text{Bstate}}(p) = \beta_{53}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \beta_{53}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \beta_{53}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 4$$

فطاقة الترابط النواة هي مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا

بالبارامترات الازاحة

$$E_{\text{Bstate}}(N, Z) = E_{\text{Bstate}}(N) + E_{\text{Bstate}}(p)$$

فمن اجل نواة $A = 54$ ، $Z = 24$ و $N = 30$ من اجل طاقة ترابط النيوترونات في السويات

الطاقية النيوترونية

$$E_{\text{Bstate}}(N) = \alpha_{54}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{54}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{54}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon 0f_{7/2}) + (\varepsilon N1P_{3/2}) \times 2$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية البروتونية

$$E_{Bstate}(p) = \beta_{54}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \beta_{54}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \beta_{54}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 4$$

فطاقة الترابط هي مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا

بالبارامترات الازاحة

$$E_{Bstate}(N, Z) = E_{Bstate}(N) + E_{Bstate}(p)$$

من اجل نواة $A = 55$ ، $Z = 25$ و $N = 30$. من اجل طاقة ترابط النيوترونات في

السويات الطاقية النيوترونية

$$E_{Bstate}(N) = \alpha_{55}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{55}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{55}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon 0f_{7/2}) + (\varepsilon N1P_{3/2}) \times 2$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية البروتونية

$$E_{Bstate}(p) = \beta_{55}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \beta_{55}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \beta_{55}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 5$$

فطاقة الترابط هي مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا

بالبارامترات الازاحة

$$E_{Bstate}(N, Z) = E_{Bstate}(N) + E_{Bstate}(p)$$

من اجل نواة $A = 56$ ، $Z = 26$ و $N = 30$ من اجل طاقة ترابط النيوترونات في السويات

الطاقية النيوترونية

$$E_{Bstate}(N) = \alpha_{56}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{56}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{56}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon 0f_{7/2}) + (\varepsilon N1P_{3/2}) \times 2$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية الفرعية

$$E_{Bstate}(p) = \beta_{56}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \beta_{56}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \beta_{56}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 6$$

فطاقة الترابط هي مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا

بالبارامترات الازاحة

$$E_{Bstate}(N, Z) = E_{Bstate}(N) + E_{Bstate}(p)$$

من اجل نواة $A = 57$ و $Z = 26$ و $N = 31$ من اجل طاقة ترابط النيوترونات في السويات
الطاقية النيوترونية

$$E_{\text{Bstate}}(N) = \alpha_{57}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{57}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{57}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon 0f_{7/2}) + (\varepsilon N1P_{3/2}) \times 3$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية البروتونية

$$E_{\text{Bstate}}(p) = \beta_{57}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \beta_{57}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \beta_{57}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 6$$

فطاقة الترابط مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا
بالبارامترات الازاحة

$$E_{\text{Bstate}}(N, Z) = E_{\text{Bstate}}(N) + E_{\text{Bstate}}(p)$$

من اجل نواة $A = 58$ و $Z = 26$ و $N = 32$ ، من اجل طاقة ترابط النيوترونات في

السويات الطاقية النيوترونية

$$E_{\text{Bstate}}(N) = \alpha_{58}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{58}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{58}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon 0f_{7/2}) + (\varepsilon N1P_{3/2}) \times 4$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية البروتونية

$$E_{\text{Bstate}}(p) = \beta_{58}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \beta_{58}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \beta_{58}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 6$$

فطاقة الترابط هي مجموع طاقات الربط للنترونات والبروتونات

$$E_{\text{Bstate}}(N, Z) = E_{\text{Bstate}}(N) + E_{\text{Bstate}}(p)$$

من اجل نواة $A = 59$ ، $Z = 27$ و $N = 32$ طاقة الترابط للنترونات في السويات الطاقية

الفرعية

$$E_{\text{Bstate}}(N) = \alpha_{59}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{59}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{59}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon 0f_{7/2}) + (\varepsilon N1P_{3/2}) \times 4$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية الفرعية

$$E_{\text{Bstate}}(p) = \beta_{59}(\varepsilon 0S_{1/2}) + \beta_{59}(\varepsilon 0P_{1/2}) + \beta_{59}(\varepsilon 0P_{3/2}) + (\varepsilon 0d_{5/2}) \\ + (\varepsilon 0d_{3/2}) + (\varepsilon 1s_{1/2}) + (\varepsilon N0f_{7/2}) \times 7$$

صيغة لطاقة الترابط وفق النموذج الطبقي مع حدود الاقتران و اللاتناظر - واثر المادة المظلمة للنوى
المتوسطة $50 < A < 60$

فطاقة الارتباط مجموع طاقات الترابط للسويات الفرعية للنترونات والبروتونات مضروبا
بالبارامترات ما

$$E_{BState} = E_{Bn} + E_{Bp}$$

من اجل نواة $A = 60$ ، $Z = 28$ و $N = 32$ ، طاقة الترابط للنترونات في السويات

الطاقية الفرعية

$$E_{BState}(N) = \alpha_{60}(\epsilon 0S_{1/2}) + \alpha_{60}(\epsilon 0P_{1/2}) + \alpha_{60}(\epsilon 0P_{3/2}) + (\epsilon 0d_{5/2}) \\ + (\epsilon 0d_{3/2}) + (\epsilon 1s_{1/2}) + (\epsilon 0f_{7/2}) + (\epsilon N1P_{3/2}) \times 4$$

من اجل طاقة ترابط البروتونات في السويات الطاقية الفرعية

$$E_{BState}(p) = \beta_{60}(\epsilon 0S_{1/2}) + \beta_{60}(\epsilon 0P_{1/2}) + \beta_{60}(\epsilon 0P_{3/2}) + (\epsilon 0d_{5/2}) \\ + (\epsilon 0d_{3/2}) + (\epsilon 1s_{1/2}) + (\epsilon N0f_{7/2}) \times 8$$

فطاقة الارتباط هي مجموع طاقات الربط للنترونات والبروتونات

$$E_{BState} = E_{Bn} + E_{Bp}$$

الجدول (1): قيم طاقات السويات الفرعية للهزاز التوافقي نظريا للنوكليدات المدروسة مقدرة

ب MeV.

النوى	$\epsilon 0S_{1/2}$	$\epsilon 0P_{1/2}$	$\epsilon 0P_{3/2}$	$\epsilon 0d_{3/2}$	$\epsilon 0d_{5/2}$	$\epsilon 1s_{1/2}$	$\epsilon 0f_{7/2}$
$^{50}_{22}\text{Ti}$	30.33	25.00	47.90	67.0	63.50	70.78	77.15
$^{51}_{23}\text{V}$	30.13	24.83	47.56	66.53	63.03	70.31	76.5
$^{52}_{24}\text{Cr}$	29.94	24.67	47.24	66.08	62.58	69.86	75.9
$^{53}_{24}\text{Cr}$	29.74	24.51	46.92	65.63	62.13	69.41	75.38
$^{54}_{24}\text{Cr}$	29.56	24.35	46.61	65.19	61.69	68.97	74.82
$^{55}_{25}\text{Mn}$	29.37	24.20	46.30	64.77	61.27	68.55	74.27
$^{56}_{26}\text{Fe}$	29.20	24.05	46.00	64.35	60.85	68.13	73.74
$^{57}_{26}\text{Fe}$	29.02	23.90	45.71	63.94	60.44	67.72	73.21
$^{58}_{26}\text{Fe}$	28.85	23.76	45.43	63.55	60.05	67.33	72.71
$^{59}_{27}\text{Co}$	28.69	23.62	45.15	63.16	59.66	66.94	72.21

⁶⁰ ₂₈ Ni	28.52	23.49	44.88	62.78	59.28	66.56	71.72
--------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

الجدول (2): قيم بارامترات الازاحة للسويات الطاقية $0S_{1/2}, 0p_{1/2}, 0p_{3/2}$ النيوترونية

α_A و البروتونية β_A لبعض النوى المختارة مقدرة ب MeV.

عدد كتلي A زوجي					عدد كتلي A فردي				
النوى	البارامتر	القيمة	البارامتر	القيمة	النوى	البارامتر	القيمة	البارامتر	القيمة
⁵⁰ ₂₂ Ti	α_{50}	-0.04	β_{50}	-0.01	⁵¹ ₂₃ V	α_{51}	-0.04	β_{51}	-0.01
⁵² ₂₄ Cr	α_{52}	-0.04	β_{52}	-0.01	⁵³ ₂₄ Cr	α_{53}	-0.04	β_{53}	-0.01
⁵⁴ ₂₄ Cr	α_{54}	-0.07	β_{54}	-0.03	⁵⁵ ₂₅ Mn	α_{55}	-0.07	β_{55}	-0.03
⁵⁶ ₂₆ Fe	α_{56}	-0.07	β_{56}	-0.03	⁵⁷ ₂₆ Fe	α_{57}	-0.09	β_{57}	-0.04
⁵⁸ ₂₆ Fe	α_{58}	-0.1	β_{58}	-0.04	⁵⁹ ₂₇ Co	α_{59}	-0.1	β_{59}	-0.05
⁶⁰ ₂₈ Ni	α_{60}	-0.1	β_{60}	-0.05					

تمت معايرة الازاحة لضمان توافق طاقات الترابط السويات النظرية (3) مع القيم طاقات الترابط التجريبية التجرىبية ثم ونقوم بحساب الفرق بينهما $E_{Bstate} - E_{Bexp}$ وفق الجدول (3)، حيث تمت جميع الحسابات السابقة لجميع العلاقات السابقة حاسوبيا على برنامج ماثكاد Mathcad program والحصول على بارامترات على باستخدام المطابقة *fitting*.

الجدول (3): قيم طاقات الترابط النظرية وفق الصيغة المقترحة اعتماداً على النموذج الطبقي

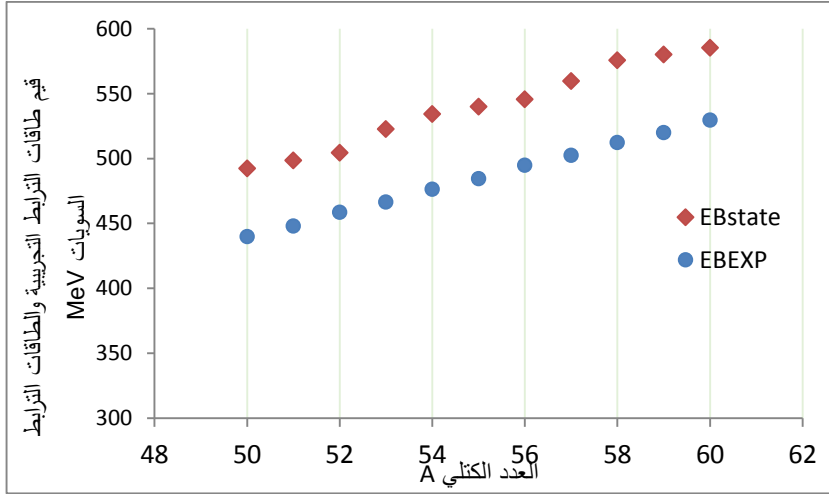
ومقارنته مع القيم التجريبية مقدرة ب MeV.

عدد كتلي A زوجي				عدد كتلي A فردي			
النوى	E_{Bexp}	E_{Bstate}	$E_{Bstate} - E_{Bexp}$	النوى	E_{Bexp}	E_{Bstate}	$E_{Bstate} - E_{Bexp}$
⁵⁰ ₂₂ Ti	440.012	492.634	52.6220	⁵¹ ₂₃ V	448.179	498.6780	50.4987
⁵² ₂₄ Cr	458.791	504.654	45.8623	⁵³ ₂₄ Cr	466.726	522.7900	56.0635
⁵⁴ ₂₄ Cr	476.441	534.512	58.0710	⁵⁵ ₂₅ Mn	484.614	540.2160	55.6018

صيغة لطاقة الترابط وفق النموذج الطبقي مع حدود الاقتران و اللاتناظر - واثر المادة المظلمة للنوى
المتوسطة $50 < A < 60$

$^{56}_{26}\text{Fe}$	494.904	545.874	50.9692	$^{57}_{26}\text{Fe}$	502.546	559.7670	57.2206
$^{58}_{26}\text{Fe}$	512.586	575.977	63.3907	$^{59}_{27}\text{Co}$	520.056	580.1890	60.1321
$^{60}_{28}\text{Ni}$	529.6963	585.561	55.8647				

يبين الشكل (1) الفرق بين قيم طاقات الترابط التجريبية (نقاط زرقاء) وقيم طاقات الترابط النظرية للسويات بدون حدود تصحيحية (نقاط مثلثة حمراء) وفق النموذج الطبقي من اجل النوى المبينة في الجدول (3)، من اجل النوى $A = 50$ وحتى $A = 60$.



الشكل (1): طاقات الترابط النظرية (نقط -اكس حمراء) وفق النموذج الطبقي بدون حدود تصحيحية وقيم طاقات الترابط التجريبية (نقاط سوادء) بوحدة MeV.

ان الفرق بين قيم طاقات الترابط النظرية المقترحة للسويات الطبقية وقيم طاقات الترابط التجريبية حوالي 57MeV ، يبين الجدول (3) قيم طاقات الترابط النظرية وفق الصيغة المقترحة وفق العلاقة ومقارنتها مع القيم التجريبية. قد يدل هذا الفرق الى حدين تصحيحين إضافين على الصيغة المقترحة وهما حد اللاتناظر المعدل و حد الاقتران المعدل وقد نفترض ان متوسط طاقة الفرق للنوى يساوي تقريبا حدي التصحيحين للطاقة المضافين الى العلاقة أي من اجل الحصول على طاقة ترابط نظرية $E_{BThnew}(A)$ قريبة من التجريبية حسب الصيغة

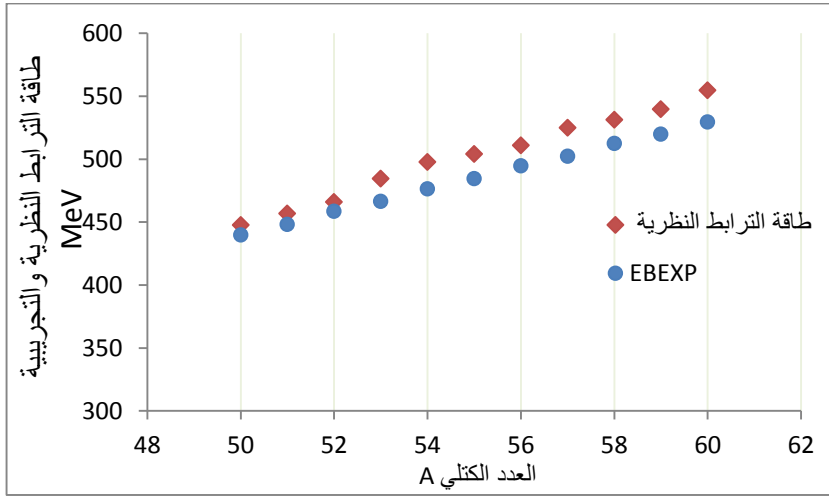
$$E_{BThnew}(A) - E_{Bstate}(N, Z) = +\gamma \frac{(N - Z)^2}{A} \frac{|v_p - v_n|}{v_p + v_n + 1} + \delta A^{-\frac{1}{3}}$$

ونوجد قيمة بارامتر حد اللاتناظر Y و بارامتر الاقتران δ باستخدام برنامج حاسوبي ماتلاب Matlab program، فنحصل على قيمة بارامتر حد الاقتران من $\delta = 139.47\text{MeV}$ وبارامتر حد اللاتناظر $Y = 23.76\text{ MeV}$ من اجل النوى $A = 50$ حتى $A = 60$

الجدول (4): قيم طاقات الترابط النظرية للصيغة الكلية الجديدة لبعض النوى وفق النموذج الطبقي بعد اضافة قيم طاقة حدي اللاتناظر و الاقتران و مقارنتها مع القيم التجريبية مقدرة ب MeV.

النوى	E_{Bexp}	E_{Nexp}	E_{pairs}	$E_{\text{asymmetry}}$	E_{Bthtotal}	E_{Nth}	$E_{\text{Bthnew}} - E_{\text{Bexp}}$
$^{50}_{22}\text{Ti}$	440.01	8.80	37.86	11.4	443.375	8.87	0.07
$^{51}_{23}\text{V}$	448.18	8.79	37.61	8.74	452.275	8.87	0.08
$^{52}_{24}\text{Cr}$	458.79	8.82	37.37	5.85	461.347	8.87	0.05
$^{53}_{24}\text{Cr}$	466.73	8.81	37.13	5.6	479.9624	9.06	0.25
$^{54}_{24}\text{Cr}$	476.44	8.82	36.9	4.53	493.093	9.13	0.31
$^{55}_{25}\text{Mn}$	484.61	8.81	36.67	4.05	499.501	9.08	0.27
$^{56}_{26}\text{Fe}$	494.90	8.84	36.45	3.02	506.325	9.04	0.20
$^{57}_{26}\text{Fe}$	502.55	8.82	36.24	3.13	520.4481	9.13	0.31
$^{58}_{26}\text{Fe}$	512.59	8.84	36.03	12.64	527.3649	9.09	0.25
$^{59}_{27}\text{Co}$	520.06	8.81	35.83	8.81	535.571	9.08	0.26
$^{60}_{28}\text{Ni}$	529.70	8.83	35.63	0	549.940	9.17	0.34

يبين الجدول ان القيم طاقات الترابط النظرية أصبحت اكثر توافقاً مع القيم التجريبية بعد اضافة حدي اللاتناظر والاقتران المعدلين. تظهر النتائج انخفاض الانحراف المعياري بين طاقات الارتباط بعد اضافة حدود عن قيم طاقات الترابط التجريبية الى $\sigma = 0.1\text{ MeV}$ من اجل النوى $A = 50$ حتى $A = 60$ مما يؤكد دقة الصيغة المقترحة.



الشكل (2): التطابق بين قيم طاقات الترابط النظرية الجديدة مع حدود تصحيحية (نقط

ـكس حمراء) مع القيم طاقات الترابط التجريبية (نقط سوداء) بوحدة MeV.

هذا التوافق مع القيم التجريبية ليس تام وذلك بسبب البنية المعقدة للنوى وطبيعة القوى التي تؤثر على طاقة الترابط ووجود حدود تصحيحية اضافية مثل تأثيرات العزم الزاوي الكلي، وغيرها... لم تأخذ بعين الاعتبار

2.4. جسيمات ضعيفة التفاعل ودورها المحتمل في شذوذ الطاقة الرابطة النووية

تبين النتائج اعلاه ان قيمة حد الاقتران لا يكون صفرا من اجل النوى الفردية حيث ان النيوترون او البروتون الفردي الاخير في الطبقات الاخيرة يمكن ان يشكل رابطة اقتران طاقية مع الوسط الخالي المحيط به وكأن هناك جسيم افتراضي في هذا الوسط يحاول ان يختلقه النيوترون او البروتون الفردي الاخير حتى يتوازن طاقيه وهذا الوسط الخالي هو المادة المظلمة [21]، وهذا الجسيم الافتراضي هو احد جسيمات المادة المظلمة الخفيفة الذي يحاول ان يتفاعل مع النيوترون او البروتون الفردي الاخير والتي تؤثر على طاقة ترابط النواة سلبا مما يؤدي الى احتمال تفككها. [22]. [23] نفترض أن النوى ذات الكتلة الفردية (odd-A nuclei) تفقد جزءاً من طاقة ترابطها بسبب تفاعل النوكليون الفردي غير المزدوج (الموجود في الغلاف السطحي) مع جسيمات افتراضية للمادة

المظلمة خفيفة الكتلة ($\sim \text{keV}/c^2$) يتم نمذجة هذا التفاعل السطحي بكمون فعال يشبه كمون يوكاوا وهو كمون تجريبي فعال وليس اشتقاق من نموذج محدد

$$V(r) = -\frac{g^2}{4\pi} \frac{e^{-\frac{r}{\lambda}}}{r} \quad (21)$$

g هو ثابت الاقتران الذي يمثل شدة التفاعل الضعيف مع المادة المظلمة.

$$\lambda = \frac{\hbar}{m_{LDM}c} \quad (22)$$

هو مدى التفاعل، ويعتمد عكسياً على كتلة جسيم المادة المظلمة m_{LDM} . يؤدي هذا التفاعل إلى تبديد طاقة Energy Dissipation، مما يقلل من طاقة الترابط الكلية للنواة. يمكن ملاحظة هذا الأثر من خلال مقارنة طاقات الترابط المقاسة مع تلك المتوقعة من النماذج النووية القياسية التي لا تأخذ هذا التفاعل في الحسبان. وبالتالي ينقص من طاقة الترابط للنواة وبذلك اقترحنا تابع يشبه تفاعلات يوكاوا يعطى بالمعادلة وبالتالي يمكن اقتراح حد رياضي افتراضي يمثل ب

$$E_{DM} = -\epsilon_{LDM} \frac{(2j+1)}{A^{\frac{2}{3}}} \left(\frac{\rho_{DM}}{\rho_0} \right) e^{-m_{LDM}R} \quad (23)$$

حيث ϵ_{LDM} يمثل بارامتر شدة اقتران المادة المظلمة مع نوكلونات الفردية للنواة. j عزم البروتون او النترون الفردي الاخير، ρ_{DM} كثافة المادة المظلمة المحلية إذا زادت ρ_{DM} مثلاً في مناطق مركز المجرة، يزيد تأثير E_{DM} و ρ_0 كثافة مرجعية للمادة المظلمة من رتبة $\frac{\text{GeV}}{\text{cm}^3}$ [24][25]، و m_{DM} هي كتلة للجسيم الافتراضي (جسيم خفيف) يشبه جسيم مادة مظلمة من رتبة إذا كانت كبيرة يضعف التفاعل مع النواة إذا كانت جسيمات خفيفة، يصبح التفاعل أطول مدى، و R نصف قطر النواة [26] يمكن اضافة هذا الحد على العلاقة النظرية لطاقة الترابط وفق الصيغة وتساوي قيمته تقريبا قيمة الفروق الطاقية الناتجة بين قيم طاقات الترابط النظرية وفق الصيغة (10) عن القيم التجريبية وفق الجدول (5)، وتصبح طاقة الترابط النظرية بعد حد اضافة تأثير جسيم مادة مظلمة E_{Bthnew}^{DM} سالب يعبر عن فقدان طاقة الترابط

$$E_{Bthnew}^{DM} = E_{BThnew}(A) - E_{DM} \quad (24)$$

تم اعتماد $\rho_0 = 0.4 \frac{\text{GeV}}{c^2}$ المُستقاة من أحدث تحليلات حركة الهالة المجرية باستخدام بيانات Gaia DR4 بالنسبة للكثافة الكونية المتوسطة $\rho_{DM} = 0.4 \frac{\text{GeV}}{c^2}$ اما النسبة $\frac{\rho_{DM}}{\rho_0} \cong 1$.

كلما كانت النسبة اكبر من الواحد تصبح كتلة الجسيم الوسيط الافتراضي صغيرة (خفيفة) قريبة من كتلة جسيم مادة المظلمة. اوجدنا قيمة حاسوبيا عن طريق برنامج ماتلاب فنحصل على قيم التالية

$$\epsilon_{LDM} = 3.567 \times 10^9 \text{ MeV}, m_{DM} = 1107.54 \frac{\text{MeV}}{c^2} = 1.108 \text{ GeV}/c^2$$

اما مدى تفاعل فيعطى كالتالي

$$\lambda = \frac{\hbar c}{m_{LDM} c^2} \approx 0.178 \text{ fm}$$

بالنسبة للنوى المتوسطة، تظهر النتائج جسيماً ذا كتلة $m_{DM} = 1107.53 \frac{\text{MeV}}{c^2}$ يقع ضمن نطاق Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) التقليدي، [27]، مع مدى تفاعل قصير جداً $\lambda \approx 0.18 \text{ fm}$ يشير إلى تفاعل سطحي حاد مع النوكليونات القشرية، اما تأثير العزم الزواري الكلي بحسب توزيع العزم البرتون او النترون الفردي الاخير $2j + 1$ يعكس عدد الحالات الكمومية في المستوى الفرعي، فكلما زادت قيمة j ، زادت مساحة التماس المحتملة بين النوكليون وجسيمات المادة المظلمة مما يزيد احتمال التفاعل، وتتميز بعزم مداري orbital angular momentum أعلى ← زيادة في "انتشار" الدالة الموجية خارج النواة و تقارب طاقي أكبر مع جسيمات المادة مظلمة بسبب زيادة كثافة الحالات ونقوم بحساب قيم طاقات الترابط النظرية بعد اضافة تأثير جسيم مادة المظلمة E_{Bthnew}^{DM} وخاصة مع اخذ تأثير العزم النوكليون الفردي الاخير في الطبقات الخارجية حيث مع زيادة j وزيادة التحسن واضحة كما يبين الجدول التالي

الجدول (5): قيم طاقات الترابط النظرية الجديدة وفق النموذج الطبقي بدون تأثير

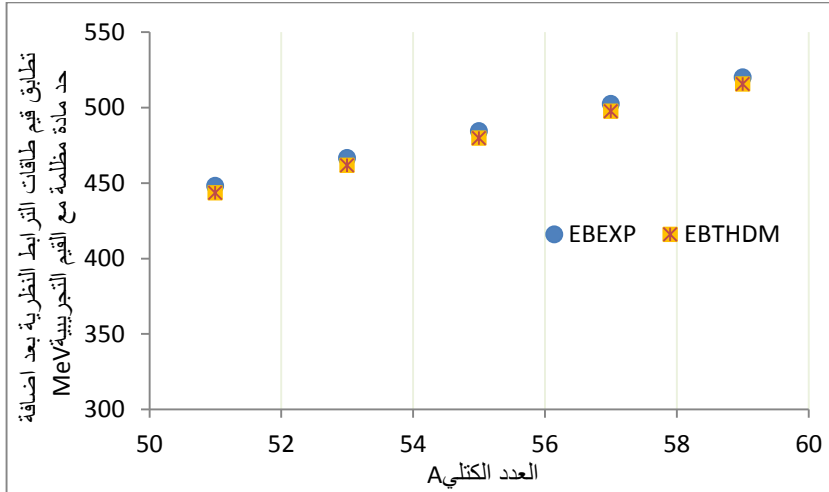
المادة المظلمة ومع تأثير المادة مظلمة ومقارنتها مع القيم التجريبية للنوى الفردية مقدرة

ب MeV.

النوى	E_{Bexp}	E_{Nexp}	$E_{BThnew}(A)$	E_{DM}	E_{Bthnew}^{DM}	E_{Nthnew}^{DM}	$E_{Nthnew}^{DM} - E_{Nexp}$
${}_{23}^{51}\text{V}$	448.1	8.79	452.27	14.8	443.55	8.697	0.091
	8						

$^{53}_{24}\text{Cr}$	466.7	8.80	479.96	7.21	461.89	8.715	0.091
	3	6		1			
$^{55}_{25}\text{Mn}$	484.6	8.81	499.5	14.0	479.81	8.724	0.087
	1	1		6			
$^{57}_{26}\text{Fe}$	502.0	8.81	520.4	6.86	497.77	8.733	0.083
	6	6					
$^{59}_{27}\text{Co}$	520.0	8.81	535.57	13.4	515.76	8.742	0.072
	6	4		2			

يوضح الشكل (3) المقارنة بين قيم طاقة الربط النظرية وفقاً لنموذج الطيفي مع إضافة حدود التصحيح الاقتران واللاتناظر وفق المعادلة (10)، بالإضافة إلى تأثير الجسيم (جسيم المادة المظلمة) المعادلة (24) وقيم طاقة الربط التجريبية من اجل النوى $A = 50 - 60$



الشكل (3): تطابق قيم طاقات الترابط التجريبية (نقاط زرقاء) وقيم طاقات الترابط النظرية للنواة مع تأثير مادة المظلمة (اكس- برتقالي) من اجل النوى $A = 50 - 60$ بوحدة MeV. تبين النتائج تحسن عام عند اخذ بعين الاعتبار تأثير تفاعل النوى الفردية مع جسيم مشابه تقريبا لجسيم مادة المظلمة وانخفاض متوسط الخطأ مع تحسن وانحراف معياري لطاقات الارتباط النوعية الوسطى للنوكليون عن القيم التجريبية في النوى وهو $\sigma = 0.007 \text{ MeV}$ من اجل النوى $A = 50$ حتى $A = 60$.

وتؤكد النتائج أن حد المادة المظلمة المعدل ليس فرضية جريئة فحسب، بل أداة عملية لرفع دقة النماذج النووية، خاصةً عند دمجها مع البنية الطباقية السطحية للنوى فردية الكتلة، ومع ذلك يحتاج هذا الحد اختبارات مستقبلية أعمق للعديد من النوى الفردية الثقيلة والغريبة مثل قياسات طيفية دقيقة للنوى الفردية في تجارب ذات حساسية عالية للتفاعلات غير القياسية واخذ بعين الاعتبار تأثيرات بنوية طبقية أخرى

الجدول (6): الانحرافات المعيارية لصيغ طاقات الارتباط النظرية ووفق النموذج الطبقي عن القيم طاقات الارتباط التجريبية ومقارنتها مع نموذج قطرة السائل ونماذج أخرى مقدر ب MeV.

النماذج	الانحراف المعياري
[28] نموذج قطرة السائل	1.32
النموذج قطرة السائل المعدل [28]	0.977
دولفو- زوكر [29]	0.35
نموذجنا الطبقي المعدل ببارامترات الاراحة	0.007

5. المناقشة

يقدم هذا البحث نموذجًا جديدًا لحساب طاقة الترابط النووي، مبتعدًا عن النماذج التقليدية مثل "نموذج قطرة السائل". الفكرة الأساسية هي حساب الطاقة من خلال "جمع" مساهمات (بروتونات ونيوترونات) الفردية في مداراتها (سويات الطاقة) داخل النواة، ولكن ضمن إطار معدل للنموذج الطبقي، يحسب النموذج الطاقة عن طريق جمع مساهمات البروتونات والنيوترونات الفردية في حالاتها الطاقية وتمت معايرة النموذج والصيغة النظرية حاسوبيا عبر مطابقتها لطاقات الترابط التجريبية لبعض النوى المتوسطة ولكن يمكن تعميمها على النوى المختلفة فوجدنا قيم البارامترات باستخدام برنامج الماتكاد ، السبب في ذلك بان هذه الطريقة للنموذج تسمح بالنقاط التغيرات الدقيقة في البنية النووية الناتجة عن التفاعلات الأساسية بين النوكليونات، خاصة تلك القوى المسؤولة عن:

- إغلاق الغلاف النووي: وهو ما يعطي النوى "سحرية" استثنائية الاستقرار.

• عدم التماثل بين البروتون والنيوترون : قدمنا في هذا النموذج البارامترات بحيث تكون $\alpha_A > \beta_A$ وهو ما يعكس حقيقة فيزيائية معروفة وهي أن "بئر الكمون" للنيوترونات في النواة أعمق منه للبروتونات. والسبب هو أن البروتونات تتنافر كهربائياً (قوة كولوم) بينما النيوترونات لا تفعل ذلك. هذا يتوافق مع الملاحظات في النوى الغنية بالنيوترونات وسماكة "القشرة" النيوترونية.

تحسين مفهوم طاقة التماثل والاقتران

طاقة اللاتناظر المعدلة : يربط النموذج طاقة "اللاتناظر" (التي تعكس اختلاف أعداد النيوترونات عن البروتونات) بشكل صريح ببنية الأغلفة النووية. فهو لا يعاملها ككمية مجردة، بل يراعي التفاصيل الدقيقة لأعداد البروتونات والنيوترونات في الأغلفة الخارجية، وهي ميزة تفتقر إليها النماذج التقليدية. هذا يربط طاقة التماثل بالتفاعل المتبقي المهم بين البروتونات والنيوترونات، وهو المحرك الرئيسي لتشكيل الطبقات.

طاقة الاقتران : يقدم النموذج صيغة رياضية جديداً معدلة لوصف طاقة الاقتران بين النوكليونات $A^{-1/3}$ بدلاً من التبعية التقليدية $A^{-1/2}$ هذا التعديل له مبرر فيزيائي وهو أن الاقتران هو ظاهرة تسود على سطح النواة، وهو يتوافق مع نماذج نظرية متقدمة أخرى، مما يمنح النموذج واقعية أكبر عبر الجدول الدوري للعناصر.

أكثر جزء افتراضي في البحث هو اقتراح تفسير جديد لسبب وجود "عجز" في طاقة الاقتران في النوى ذات العدد الكلي الفردي A فردي ، فبدلاً من تفسير هذا العجز بالتفاعلات النووية الداخلية فقط، يقترح البحث أن نيوكليوناً غير مقترن على سطح النواة قد يتفاعل مع جسيمات افتراضية للمادة المظلم التي قد تتخلل البيئة المحيطة، يمكن أن يحدث هذا التفاعل من خلال قوة جذب ضعيفة تشبه قوى "يوكاوا"، بوساطة جسيم المادة المظلمة. ان هذه الفرضية قابلة للاختبار : هذا الاقتراح ليس نتيجة نهائية، بل هو فرضية. صحتها تعتمد على:

- أن تكون قوة الاقتران المفترضة متوافقة مع القيود الكونية والفلكية على المادة المظلمة.
- وجود كثافة محلية غير صفرية للمادة المظلمة في مجرتنا.
- كيفية اختبارها : إذا كانت هذه الفرضية صحيحة، فإنها ستنتج انحرافات طفيفة في طاقات الترابط للنوى فردية -مقارنة بالتنبؤات النموذجية. يمكن الكشف عن هذه الانحرافات من خلال:
- قياسات دقيقة جداً للكثافة - مطياف الكتلة عالي الدقة.

○ دراسة مفصلة للحالات النووية منخفضة الطاقة عبر سلاسل النظائر مختلفة لم نتمكن في دراستها في هذا البحث .

و تتمثل الأهمية الجوهرية لهذا العمل في تطويره لنموذج نظري متقدم لطاقة الترابط النووي يحقق نقلة نوعية على ثلاثة مستويات: أولاً: على المستوى النظري - سد ثغرة أساسية في النمذجة النووية بحيث يقدم هذا البحث حلاً جذرياً لإشكالية تاريخية في النموذج الطبقي الذي لم يقدم صيغة تحليلية نظرية لطاقة الترابط رغم دقته في تفسير البنية الدقيقة للنوى. تم تطوير صيغة لطاقة الترابط بسيطة ومتكاملة تربط بشكل رياضي مباشر بين طاقة الترابط وبنية السويات النووية، مع إدخال معاملات إزاحة طاقة تعتمد على العدد الكتلي لتمييز سويات البروتونات عن النيوترونات وإدخال حدود تصحيحه كحد اقتران واللاتناظر المعدل وحد المادة المظلمة.

ثانياً: على المستوى الحسابي - تحقيق دقة غير مسبوقة في التنبؤ بحيث يحقق النموذج المقترح دقة تنبؤية عالية تجسدت في دقة التطابق صيغة طاقة الترابط النظرية مع القيم التجريبية وانحراف المعياري صغيرة $\sigma = 0.007 \text{ MeV}$ ، أكثر تطابقاً من صيغة طاقة الترابط نموذج قطرة السائل الذي تحقق انحرافاً معياراً مقداره $\sigma = 1.32 \text{ MeV}$

ثالثاً: على المستوى التطبيقي - إمكانيات واسعة في الفيزياء النووية والجديدة مستقبلاً يفتح النموذج آفاقاً جديدة في الفيزياء النووية الفلكية من خلال تقديم أداة دقيقة لحساب طاقات الترابط للنوى في العمليات النجمية من أجل النوى الغريبة ، حيث يمثل الحد التصحيحي المتعلق بالمادة المظلمة إسهاماً مبتكراً في نمذجة التفاعلات النووية خارج النموذج المعياري، ويقدم إطاراً نظرياً قابلاً للاختبار للتفسير المحتمل لبعض الشذوذات التجريبية.

هذه الإسهامات المتعددة المستويات تجعل من النموذج المقترح أداة قيمة في التطبيقات النووية المختلفة، وتضع أساساً لمنهجية جديدة في نمذجة الخصائص النووية الأساسية ويمكن تعميمها في أبحاث أخرى لدراسة كل النوى ذات أعداد كتلية مختلفة.

6. الاستنتاجات

- ✓ يقدم هذا البحث نموذجًا طبقياً معدلاً مُعزَّزاً بمعاملات إزاحة، يُمكن من حساب طاقات الربط النووي بدقة عالية من خلال جمع الطاقات المباشرة للسويات النووية التي تشغلها النوكليونات. يعتمد هذا الإطار النظري الجديد على ثلاثة حدود تصحيحية محسّنة: طاقة عدم التناظر المعدلة، وطاقة الاقتران المعدل، إلى جانب حد جديد يمثل تفاعلاً افتراضياً مع جسيمات المادة المظلمة
- ✓ أظهرت صيغة طاقة الربط المُقترحة توافقاً كمياً ملحوظاً مع القيم التجريبية من أجل النوى المتوسطة ولكن تعميمها على جميع النوى، مما يؤكد متانة الأسس النظرية للنموذج وقدرته التفسيرية.
- ✓ تطور غير متناظر لعمق الكمون النووي : مثلت المعاملات α_A و β_A ، المعتمدة على العدد الكتلي، تقدماً نوعياً. فهي توفر، لأول مرة، مقياساً كمياً يحاكي التطور غير المتماثل لعمق بئر الكمون النووي للبروتونات مقابل النيوترونات، خاصة في النوى الغنية بالنيوترونات، حيث يصبح هذا التأثير بالغ الأهمية.
- ✓ سد الفجوة في النوى شبه السحرية: نجح النموذج في سد الفجوة النظامية بين التنبؤات النظرية والملاحظات التجريبية للنوى شبه السحرية، والتي كانت تمثل تحدياً للنماذج السابقة. وقد تحقق ذلك من خلال عاملين مبتكرين: الأول الذي يراعي اللاتناظر في الطبقات الخارجية، والثاني الذي يقدم وصفاً رياضياً دقيقاً لطبيعة الاقتران السطحي.
- ✓ شذوذ إحصائي وإبحاءات فيزيائية جديدة: كشف التحليل عن وجود شذوذ إحصائي واضح في طاقات الربط للنوى فردية-فردية ذات عزوم زاوية عالية. يدعو هذا الشذوذ إلى طرح فرضية قابلة للاختبار تشير إلى احتمال تفاعل النوكليونات السطحية في هذه الحالات الخاصة مع جسيمات المادة المظلمة ذات الاقتران الضعيف.

7. المراجع

- [1] Pinedo-Vega, J. L., Ríos-Martínez, C., Talamantes-Carlos, M. P., Mireles-García, F., Dávila-Rangel, J. I., & Badillo-Almaraz, V. (2016). Semi-empirical nuclear mass formula: Simultaneous determination of 4 coefficients. *Asian Journal of Physical and Chemical Sciences*, 1(2), 1-10.
- [2] Vahid, M. M. A., Mohsen, M., & Bagher, A. M. (2016). Estimation of semi-empirical mass formula coefficients. *Bull. Adv. Sci. Res.*, 2, 01.
- [3] Gamow, G. (1930). Mass defect curve and nuclear constitution. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 126(803), 632-644.
- [4] Wapstra, A. H. (1958). Atomic masses of nuclides. In *External Properties of Atomic Nuclei/Äussere Eigenschaften der Atomkerne* (pp. 1-37). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [5] Weizsäcker, C. V. (1935). Zur theorie der kernmassen. *Zeitschrift für Physik*, 96(7), 431-458.
- [6] Chowdhury, P. R., Samanta, C., & Basu, D. N. (2005). Modified Bethe–Weizsäcker mass formula with isotonic shift and new driplines. *Modern Physics Letters A*, 20(21), 1605-1618.
- [7] Möller, P., Myers, W. D., Sagawa, H., & Yoshida, S. (2012). New finite-range droplet mass model and equation-of-state parameters. *Physical Review Letters*, 108(5), 052501.
- [8] Mayer, M. G. (1949). On closed shells in nuclei. II. *Physical Review*, 75(12), 1969.
- [9] Myers, W. D., & Swiatecki, W. J. (1966). Nuclear masses and deformations. *Nuclear Physics*, 81(1), 1-60.

- [10] Vijay Kumar, .2014. Nuclear shell model and Spin-Orbit Interaction, Journal and Advances in Science and Technology, Vol.VII, Issue No XIII
- [11] Richter, W. A., Van Der Merwe, M. G., Julies, R. E., & Brown, B. A. (1991). New effective interactions for the 0f_{7/2} shell. Nuclear Physics A, 523(2), 325-353..
- [12] Mayer, M. G. (1950). Nuclear configurations in the spin-orbit coupling model. i. empirical evidence. Physical Review, 78(1), 16..
- [13] Benzaid, D., Bentriddi, S., Kerraci, A., & Amrani, N. (2020). Bethe–Weizsäcker semiempirical mass formula coefficients 2019 update based on AME2016. *Nuclear Science and Techniques*, 31(1), 9.
- [14] Barbero, C., Hirsch, J. G., & Mariano, A. (2012, October). The master term in Duflo-Zuker inspired mass formulas. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1488, No. 1, pp. 162-171). American Institute of Physics.5.
- [15] Brown, B. A. (2005). Lecture notes in nuclear structure physics. National Super Conducting Cyclotron Laboratory, 11(1834), 1835.
- [16] V. Zagrebaev, “NRV Nucl. Map”, [Online]. Available: <http://nrv.jinr.ru/nrv/>
- [17] Honma, M., Otsuka, T., Mizusaki, T., & Hjorth-Jensen, M. (2009). New effective interaction for f_{7/2} g_{9/2} shell nuclei. Physical Review C—Nuclear Physics, 80(6), 064323.
- [18] Alhoulami, N. G. (2024). New approach for calculating nuclear binding energies of nickel isotopes 57-78Ni28 by using the Shell Model. *Thamar University Journal of Natural & Applied Sciences*, 9(2), 1-5.
- [19] “National Nuclear Data Center,” *Choice Rev. Online*, vol. 50, no.

- 04, pp. 50-2122-50–2122, 2012, doi: 10.5860/choice.50-2122.
- [20] Volya, A., & Tchuvil'sky, Y. M. (2015). Nuclear clustering using a modern shell model approach. *Physical Review C*, 91(4), 044319.
- [21] Arcadi, G., Döring, C., Hasterok, C., & Vogl, S. (2019). Inelastic dark matter nucleus scattering. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2019(12), 053.
- [22] Fornal, B., Grinstein, B., & Zhao, Y. (2020). Dark matter capture by atomic nuclei. *Physics Letters B*, 811, 135869.
- [23] Trevisani, N. (2019). YSF-Search for dark matter produced in association with a Higgs boson decaying to a pair of W bosons at CMS (No. CMS-CR-2019-049).
- [24] Guo, R., Liu, C., Mao, S., Xue, X. X., Long, R. J., & Zhang, L. (2020). Measuring the local dark matter density with LAMOST DR5 and Gaia DR2. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 495(4), 4828-4844.
- [25] Ferreira, E. G. (2021). Ultra-light dark matter. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 29(1), 7.
- [26] Coleppa, B., Loho, K., & Sarkar, A. (2024). Multicomponent scalar dark matter with an extended Gauge sector. *The European Physical Journal C*, 84(2), 144.
- [27] Roszkowski, L., Sessolo, E. M., & Trojanowski, S. (2018). WIMP dark matter candidates and searches—current status and future prospects. *Reports on Progress in Physics*, 81(6), 066201.
- [28] Royer, G. (2008). On the coefficients of the liquid drop model mass formulae and nuclear radii. *Nuclear Physics A*, 807(3-4), 105-118.
- [29] Duflo, J., & Zuker, A. P. (1995). Microscopic mass formulas. *Physical Review C*, 52(1), R23.

بنية وتشعب الشجرة الفرعية لأبناء الرباعيات المبتذلة في شجرة الرباعيات الفيثاغورية الأولية

ريم زيتون: طالبة ماجستير – الرياضيات البحتة

د. باسل العرنوس: أستاذ مساعد في قسم الرياضيات – كلية العلوم – جامعة حمص.

د. محمد شراباتي: أستاذ مساعد في قسم الرياضيات – كلية العلوم – جامعة حمص.

ملخص البحث

يهدف هذا البحث إلى إجراء تحليل جبري شامل للحيل التالي من العقد في شجرة الرباعيات الفيثاغورية الأولية $PPQS$ ، باستخدام مجموعة التوليد الكاملة المخصصة لها، بناءً على البنية التوليدية المعقدة وغير المتجانسة التي كشفت عنها ورقة رشال وزملاؤه (2020). وتكشف نتائجنا أن البساطة الأولية هي خاصية محلية لا تنتشر عبر الشجرة، بل تظهر الشجرة الفرعية تشعباً غير متجانس وظهوراً منهجياً لعقد "خارج النطاق" تحتوي على مكونات سالبة. تؤكد هذه النتائج على أن التعقيد سمة جوهرية ومنتشرة في كامل هيكل الشجرة، وليس محصوراً في فروع محددة، كما تشير إلى أن هذه المنطقة تعمل كطبقة انتقالية معقدة داخل النظام.

الكلمات المفتاحية:

الرباعيات الفيثاغورية – أشجار الأعداد الصحيحة – التوصيف الخطي – مصفوفات التوليد – التشعب غير المتجانس – المعادلات الديوفانتية

Structure and Branching of the Trivial Descendant Sub-Tree in the Tree of Primitive Pythagorean Quadruples

Reem Zaytoun: Master's Student – Pure Mathematics

Dr. Basel Hamdo Alarnous: Associate Professor – Homs University.

Dr. Mohamad charabati: Associate Professor – Homs University.

Abstract

The aim of this research is to conduct a comprehensive algebraic analysis of the next generation of nodes within the Primitive Pythagorean Quadruples (PPQs) tree, utilizing its dedicated complete generating set. This work builds upon the complex and heterogeneous generative structure revealed by Rashal et al. (2020). Our findings indicate that initial simplicity is a local property that does not propagate throughout the tree. Instead, the subtree exhibits highly heterogeneous branching and the systematic emergence of "out-of-bound" nodes containing negative components. These results reinforce the hypothesis that complexity is an intrinsic and pervasive characteristic of the entire tree, not confined to specific branches. Furthermore, they suggest that this region functions as a complex transitional layer within the system.

Key Words:

Pythagorean Quadruples – Integer Trees – Linear Characterization – Generator Matrices – Heterogeneous Branching – Diophantine Equations.

بنية وتشعب الشجرة الفرعية لأبناء الرباعيات المبتذلة في شجرة الرباعيات الفيثاغورية الأولية

1. المقدمة

1 - 1. أشجار الأعداد الصحيحة والبنى التوليدية

يمثل تنظيم مجموعات لا نهائية من الحلول الصحيحة للمعادلات الديوفانتية تحدياً كلاسيكياً في نظرية الأعداد. إحدى الطرائق الفعالة لمعالجة هذه المشكلة هي بناء هياكل شجرية لانهائية، حيث تمثل كل عقدة حلاً فريداً، وتصف الفروع علاقات توليدية جبرية تربط هذه الحلول ببعضها. أشهر مثال على ذلك هو شجرة الثلاثيات الفيثاغورية الأولية (*PPTs*)، والتي أثبت وجودها ووصفها باحثون مثل بيرغرين [1] 1934، هال [2] 1970، وبريس [3] 2008، حيث يمكن توليد جميع الثلاثيات الأولية بشكل فريد من جذر واحد عبر مجموعة من ثلاث مصفوفات خطية.

1 - 2. شجرة الرباعيات الفيثاغورية الأولية

في العام 2020، قام رشال [4]، غوتيريز، ومكارتي بتوسيع هذا المفهوم إلى البعد التالي من خلال بناء أول شجرة كاملة لجميع رباعيات فيثاغورس البدائية (*PPQS*) غير السالبة. ومع ذلك، على عكس البنية المنتظمة لشجرة الثلاثيات، فإن شجرة الرباعيات التي اكتشفها تتميز ببنية غير متجانسة معقدة. في هذه الشجرة، تعتمد مجموعة المصفوفات المُنشئة المسموح بها لتوليد أبناء عقدة ما على نوع تلك العقدة الأصل. حدد البحث الأصلي عدة فئات من العقد، بما في ذلك المبتذلة، والتوأم، والعادية، ولكل منها قواعد تشعب مختلفة، مما يجعل فهم الشجرة وتحليلها تحدياً أكبر.

1 - 3. الفجوة البحثية

أشار البحث الأصلي إلى أن فئة أبناء الرباعيات المبتدلة يمكن تمييزها بالكامل عبر خاصية خطية بسيطة: $d = a + c$ [4]. ومع ذلك، تم تقديم هذا الادعاء كنتيجة مذكورة دون برهان. هذا يترك فجوة معرفية محددة:

- بدون برهان رسمي، يظل هذا الادعاء غير مثبت، وأي تحليل إضافي يعتمد عليه سيكون مبنياً على أساس غير مكتمل.
- إذا كان الادعاء صحيحاً، فإنه يطرح سؤالاً جوهرياً حول طبيعة التعقيد في الشجرة. هل هذه البساطة الأولية تؤدي إلى منطقة أكثر انتظاماً.

1 - 4. هدف البحث

يسعى هذا البحث إلى سد هذه الفجوة من خلال:

1. تقديم برهان رياضي كامل ومحكم للادعاء بأن الشرط $d = a + c$ هو شرط ضروري وكاف لفئة أبناء الرباعيات المبتدلة.
2. تحليل جبري شامل لمجموعة التوليد الكاملة المطبقة على هذه الفئة، وتوصيف درجة الانتظام أو عدم التجانس في الجيل التالي.

2. توصيف أبناء الرباعيات المبتدلة

2 - 1. تعريفات ومصطلحات أساسية

تعريف 1 :

الرباعية الفيثاغورية: هي مجموعة مرتبة من أربعة أعداد صحيحة $q = (d, a, b, c)$ حيث $d, a, c \geq 0$ و b عدد صحيح، تحقق المعادلة الديوفانتية:

$$d^2 = a^2 + b^2 + c^2$$

وتكون هذه الرباعية أولية، إذا كان القاسم المشترك الأكبر لمكوناتها هو واحد، أي:

$$\gcd(d, a, |b|, c) = 1$$

تعريف 2 :

الرباعية الفيثاغورية المبتدلة: هي رباعية فيثاغورية أولية يكون أحد مكوناتها غير الرئيس مساوياً للصفر.

في هذا البحث، نركز على الرباعيات المبتدلة التي تكون على الصورة:

$$q' = (d', a', 0, c')$$

يتم تبرير هذا الاختيار في الملاحظة 1 أدناه.

ملاحظة 1:

إن اختيار ممثل الفئة المبتدلة ليكون $(d', a', 0, c')$ يتم دون فقدان للتعميم. أي رباعية مبتدلة أخرى، مثل $(d', 0, b', c')$ ، تنتمي إلى نفس فئة التكافؤ التي يتم تعريفها بالقيم المطلقة للمكونات [4] بينما أن الشجرة ليست متناظرة تماماً بالنسبة لتبديل المكونات a و b ، فإننا نتحقق في هذا البحث من أن الخاصية $d = a + c$ تعمل كميز لفئة كاملة من السلالة.

تعريف 3 :

مصفوفات التوليد للرباعيات المبتدلة: وفقاً للقواعد التي وضعها رشال وزملاؤه [4]، فإن مجموعة المصفوفات المسموح بها لتوليد أبناء رباعية مبتدلة غير جذرية هي مجموعة فرعية من عائلة المصفوفات Q ، تحديداً، هي المجموعة:

$$Q_{\text{trivial}} = \{Q_0, Q_2, Q_4\}.$$

لأغراض الدقة والاتساق، نعتمد حصرياً على تعريفات هذه المصفوفات كما وردت في: [4]

$$Q_0 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, Q_2 = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$Q_4 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

2 - 1 . المبرهنة الأساسية

مبرهنة 1:

لتكن $q = (d, a, b, c)$ رباعية فيثاغورية أولية غير جذرية ضمن بنية الشجرة المعرفة في [4] تكون الرباعية q ابناً لرباعية مبتدلة إذا وفقط إذا كانت مكوناتها تحقق العلاقة الخطية: $d = a + c$.

الإثبات:

أولاً: برهان الشرط اللازم

في هذا الجزء، نثبت أنه إذا كانت الرباعية q مولدة من أصل مبتدل q' فإنها بالضرورة تحقق الشرط $d = a + c$.

لتكن لدينا رباعية مبتدلة عامة غير جذرية $q' = (d', a', 0, c')$ حيث $d', a', c' > 0$ ، وتحقق $d'^2 = a'^2 + c'^2$. وفقاً للتعريف 3، يمكن توليد ابنها $q = (d, a, b, c)$ بتطبيق إحدى المصفوفات من المجموعة Q_{trivial} . سندرس كل حالة على حدة.

الحالة 1: التوليد بواسطة Q_0

$$\begin{pmatrix} d \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = Q_0 \begin{pmatrix} d' \\ a' \\ 0 \\ c' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d' \\ a' \\ 0 \\ c' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2d' + a' + c' \\ d' + c' \\ d' + a' + c' \\ d' + a' \end{pmatrix}$$

لدينا $a = d' + c'$ ، $d = 2d' + a' + c'$ ، و $c = d' + a'$. نتحقق من الشرط:

$$a + c = (d' + c') + (d' + a') = 2d' + a' + c' = d$$

إذن، الشرط $d = a + c$ متحقق.

الحالة 2: التوليد بواسطة Q_2

$$\begin{pmatrix} d \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = Q_2 \begin{pmatrix} d' \\ a' \\ 0 \\ c' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2d' - a' + c' \\ d' + c' \\ d' - a' + c' \\ d' - a' \end{pmatrix}$$

لدينا $a = d' + c'$ ، $d = 2d' - a' + c'$ ، $c = d' - a'$ ، نتحقق من الشرط:

$$a + c = (d' + c') + (d' - a') = 2d' - a' + c' = d$$

إذن، الشرط $d = a + c$ متحقق.

الحالة 3: التوليد بواسطة Q_4

$$\begin{pmatrix} d \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = Q_4 \begin{pmatrix} d' \\ a' \\ 0 \\ c' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2d' + a' - c' \\ d' - c' \\ d' + a' - c' \\ d' + a' \end{pmatrix}$$

لدينا $a = d' - c'$ ، $d = 2d' + a' - c'$ ، و $c = d' + a'$ ، نتحقق من الشرط:

$$a + c = (d' - c') + (d' + a') = 2d' + a' - c' = d$$

إذن، الشرط $d = a + c$ متحقق.

بما أن الشرط $d = a + c$ يتحقق في جميع الحالات الممكنة لتوليد ابن من أصل مبتدل، فإن اتجاه الضرورة قد تم إثباته.

ثانياً: برهان الكفاية

في هذا الجزء، نثبت أنه إذا كانت رباعية q تحقق الشرط $d = a + c$ ، فإن أصلها الوحيد q' يجب أن يكون مبتدلاً.

لكن لدينا رباعية فيثاغورية أولية غير جذرية $(d, a, b, c) = q$ تحقق الفرضية:

$$d = a + c$$

وفقاً لهيكل الشجرة الذي أثبته رشال وزملاؤه [4]، فإن أي رباعية غير جذرية تمتلك أصلاً وحيداً $Q^{-1} = (d', a', b', c')$ يتم الحصول عليه من خلال تطبيق مصفوفة عكسية فريدة Q_*^{-1} .

للتأكد من أن تحليلنا يغطي جميع الحالات الممكنة، قمنا بحساب معكوسات جميع المصفوفات السبع في مجموعة التوليد Q المذكورة في [4] وجدنا أن السطر الثالث من كل مصفوفة معكوسة، والذي يحدد المكون b' للأصل، هو دائماً مضاعف للمركبات الخطية $(-d + a + c)$ هذا يؤكد أن الصيغة العامة للمصفوفة العكسية المستخدمة في [4] صالحة لتحليل هذا المكون المحدد في جميع الحالات.

مكونات الأصل q' هي:

$$\begin{aligned} d' &= 2d - a - b - c \\ a' &= x(-d + a + b) \\ b' &= y(-d + a + c) \\ c' &= z(-d + b + c) \end{aligned}$$

حيث $x, y, z \in \{-1, 1\}$ يتم تحديدها بشكل وحيد لضمان أن d', a', b', c' هي مكونات رباعية أولية غير سالبة.

لإثبات أن الأصل q' مبتدل، يجب أن نثبت أن أحد مكوناته غير الرئيسية يساوي صفراً. لنركز على المكون b' . بالتعويض المباشر من فرضيتنا $d = a + c$ في معادلة b' :

$$b' = y(-(a + c) + a + c) = y(0) = 0$$

بما أن المكون $b'^$ للأصل الوحيد $q'^$ يساوي صفراً بشكل حتمي بغض النظر عن قيمة y ، إنَّ الأصل q' هو على الصورة $(d', a', 0, c')$ هذا، بحكم التعريف 2، يعني أنَّ الأصل q' هو رباعية مبتذلة.

بذلك، تم إثبات اتجاه الكفاية .

3. توصيف وتصنيف التعقيد في بنية الجيل التالي

3 - 1. مجموعة التوليد الكاملة

تعريف 4 :

مجموعة التوليد الكاملة: كما هو محدد في [4]، فإنَّ مجموعة المصفوفات المُنشئة لأبناء رباعية q والتي هي ابن لرباعي مبتدل، تعتمد على المصفوفة العكسية Q_{ij}^{-1} التي أنتجت q نفسها. مجموعة التوليد هي $G(q) = M_{ij} \cup \{Q_{24}\}$ ، حيث $M_{ij} = Q \setminus \{Q_{ij}\}$.

ولأغراض هذا التحليل، سنقوم بفحص تأثير كل مصفوفة من مجموعة التوليد الشاملة $Q = \{Q_0, Q_2, Q_3, Q_4, Q_{23}, Q_{34}, Q_{24}\}$ على رباعية عامة:

$$q = (a + c, a, b, c)$$

3 - 2. التحليل الجبري الشامل لتأثيرات مصفوفات التوليد

لتوصيف عدم التجانس في التشعب، نقوم بتطبيق كل مصفوفة من Q على رباعية عامة q تحقق $d = a + c$.

$$Q_0 \cdot q = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a+c \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3a+b+3c \\ a+b+2c \\ 2a+2c \\ 2a+b+c \end{pmatrix}$$

$$Q_2 \cdot q = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a+c \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a+b+3c \\ a+b+2c \\ 2c \\ b+c \end{pmatrix}$$

$$Q_3 \cdot q = \begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a+c \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3a-b+3c \\ a-b+2c \\ 2a+2c \\ 2a-b+c \end{pmatrix}$$

$$Q_4 \cdot q = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a+c \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3a+b+c \\ a+b \\ 2a \\ 2a+b+c \end{pmatrix}$$

$$Q_{23} \cdot q = \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a+c \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a-b+3c \\ a-b+2c \\ 2c \\ -b+c \end{pmatrix}$$

$$Q_{34} \cdot q = \begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a+c \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3a-b+c \\ a-b \\ 2a \\ 2a-b+c \end{pmatrix}$$

$$Q_{24} \cdot q = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a+c \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a+b+c \\ a+b \\ 0 \\ b+c \end{pmatrix}$$

النتائج، التي تمثل مكونات الرباعية الحفيدة q_{new} ، ملخصة في الجدول 1

جدول 1: التحويلات الجبرية للجبل التالي

المصنوفة المطبقة	d_{new}	a_{new}	b_{new}	c_{new}
Q_0	$a^3 + b + c^3$	$a + b + c^2$	$a^2 + c^2$	$a^2 + b + c$
Q_2	$a + b + c^3$	$a + b + c^2$	c^2	$b + c$
Q_3	$a^3 - b + c^3$	$a - b + c^2$	$a^2 + c^2$	$a^2 - b + c$
Q_4	$a^3 + b + c$	$a + b$	a^2	$a^2 + b + c$
Q_{23}	$a - b + c^3$	$a - b + c^2$	$2c$	$-b + c$
Q_{34}	$a^3 - b + c$	$a - b$	a^2	$a^2 - b + c$
Q_{24}	$a + b + c$	$a + b$	0	$b + c$

ملاحظة 2:

يُظهر الجدول 1 بوضوح غياب أي بنية جبرية موحدة أو علاقات خطية بسيطة تربط مكونات الأحماد. كل مصفوفة مُنشئة تفرض تحويلاً فريداً ينتج عنه رباعية ذات هيكل جبري مختلف تماماً. على سبيل المثال، ينتج عن Q_0 رباعية ذات مكونات معقدة نسبياً، بينما ينتج عن Q_{24} رباعية أبسط بكثير. هذا التباين الحاد يؤكد أن التشعب في هذه المنطقة من الشجرة غير متجانس بطبيعته.

3 - 3. ظاهرة العقد خارج النطاق

أحد أهم الاكتشافات في هذا التحليل هو الظهور المتكرر للعقد التي تحتوي على مكونات سالبة. هذه العقد، التي نسميها خارج النطاق، لا تظهر في الشجرة المرئية التي تقتصر على الممثلين غير السالبين، لكن وجودها يكشف عن بنية أعمق.

ملاحظة 3:

لتكن $q = (a + c, a, b, c)$ رباعية من فئة أبناء الرباعيات المبتذلة حيث $a, b, c > 0$ إنَّ تطبيق مصفوفات معينة من مجموعة التوليد Q يمكن أن ينتج، بل وغالباً ما ينتج، رباعية حفيذة تحتوي على مكون واحد أو أكثر سالب.

مثال:

عند تطبيق Q_{34} :

$$a_{\text{new}} = a - b$$

هذا المكون سيكون سالباً إذا فقط إذا كان $b > a$.

تفسير الظاهرة:

إنّ ظهور المكونات السالبة لا ينبغي تفسيره على أنه فشل في عملية التوليد، بل هو مؤشر على أنّ بنية فضاء المدارات لجميع الرباعيات (بما في ذلك تلك ذات المكونات السالبة) هي أكثر ثراءً وترابطاً من الشجرة التي تقتصر على الممثلين غير السالبين.

عندما ينتج تحويل ما رباعية ذات مكونات سالبة، فإنّ ممثل فئة التكافؤ غير السالب لهذه الرباعية (الذي يتم الحصول عليه بأخذ القيم المطلقة) هو عقدة صالحة في الشجرة. ومع ذلك، فإنّ هذه العقدة قد لا تكون ابناً مباشراً لـ q في هيكل الشجرة المرئي، بل قد تكون ابن عم أو عقدة في فرع آخر تماماً. هذا يشير إلى وجود طرائق مختصرة أو علاقات متقاطعة بين فروع الشجرة لا تظهر في الرسم الهرمي البسيط.

مثال توضيحي:

ليكن الأصل المبتدل $q' = (5,4,0,3)$ ينتج الابن $q = (17,8,12,9)$. هنا:

$$b = 12 \text{ و } c = 9 \text{ لذا } b > c.$$

عند تطبيق Q_{23} :

$$q_2 = Q_{23} \cdot (17,8,12,9)^T = (23,14,18, -3)^T$$

الممثل غير السالب لهذه العقدة هو $q_{2,abs} = (23,14,18,3)$ هذه الرباعية هي رباعية فيثاغورية أولية صالحة. التحقيق في أصل $q_{2,abs}$ يكشف أنه ليس q . هذا يثبت أن التحويل Q_{23} قد نقلنا من فرع إلى آخر ضمن فضاء المدارات الأوسع.

4. النتائج

قدم هذا البحث نتيجتين أساسيتين مثبتتين بشكل محكم، واللتين تشكلان معاً مساهمته الأساسية في هذا المجال:

مبرهنة 1: التوصيف الكامل لأبناء الرباعيات المبتدلة.

لقد أثبتنا أن الشرط الخطي $d = a + c$ هو شرط ضروري وكافٍ لتعريف فئة أبناء الرباعيات المبتدلة بشكل فريد. هذا يرفع ملاحظة غير مثبتة في البحث الأصلي إلى مستوى مبرهنة، ويوفر أداة حتمية وموثوقة لتصنيف هذه الفئة من العقد داخل الشجرة.

وكذلك من التحليل المصاحب: اكتشاف وتصنيف التعقيد الهيكلي في الجيل التالي.

لقد كشف التحليل الذي قمنا به بشكل قاطع أن البساطة الظاهرية للشرط الخطي $d = a + c$ هي خاصية محلية لا تنتشر إلى الأجيال اللاحقة. بدلاً من ذلك، تتميز الشجرة الفرعية التي تنشأ من هذه الفئة بسمتين أساسيتين:

- عدم التجانس الجبري: أثبتنا أن كل مصفوفة مُنشئة تفرض تحويلاً جبرياً فريداً وغير متوافق مع الآخرين، مما يؤدي إلى غياب أي بنية جبرية بسيطة وموحدة تحكم التشعب.
- ظهور العقد خارج النطاق: أظهرنا أن تطبيق مجموعة التوليد الكاملة ينتج بشكل منهجي عقداً تحتوي على مكونات سالبة، وهي ظاهرة تكشف عن حدود النموذج الذي يقتصر على الممثلين غير السالبيين.

هذه النتائج تقدم رؤى مهمة حول طبيعة شجرة رشال، حيث تكشف أن التعقيد ليس مجرد سمة عرضية، بل هو مبدأ تنظيمي أساسي وعميق.

أولاً: التعقيد كسمة متأصلة وليس استثناءً.

يُظهر بحثنا أن حتى المنطقة من الشجرة التي تنشأ من أبسط أنواع العقد (المبتدلة) تعود بسرعة إلى حالة من التعقيد العالي. هذا يدحض أي أمل في إمكانية تقسيم الشجرة إلى مناطق بسيطة ومناطق معقدة. بدلاً من ذلك، يبدو أن عدم التجانس هو السمة الغالبة في كل مكان. تعمل فئة أبناء الرباعيات المبتدلة ليس كجذر لشجرة فرعية منتظمة، بل كبوابة انتقالية يتم من خلالها إعادة حقن التعقيد الكامل للنظام.

ثانياً: نموذج الشجرة غير السالبة كإطار غير مكتمل.

إن الظهور الحتمي للعقد خارج النطاق هو ملاحظة مثيرة للتفكير. ما تم إثباته هو أن التحويلات الرياضية التي تعرف الشجرة يمكن أن نتقلنا إلى خارج المجموعة المحددة من الممثلين غير السالبيين. هذا لا يقلل من فائدة نموذج الشجرة، ولكنه يسلط الضوء على أنه تبسيط لهيكل رياضي أكبر وأكثر ترابطاً.

هذه الظاهرة تقترح أن العلاقات بين فئات تكافؤ الرباعيات قد لا تكون هرمية بشكل صارم كما يوحي رسم الشجرة. إنها تثير تساؤلات حول ما إذا كانت هناك بنية أشبه بالبيان تربط بين الفروع التي تبدو منفصلة.

5. المقترحات والتوصيات

تفتح نتائج هذا البحث عدة مسارات واعدة ومحددة للتحقيق المستقبلي:

- توصيف "العلاقات المتقاطعة": بناءً على ظاهرة العقد خارج النطاق، يمكن للبحث المستقبلي أن يطرح سؤالاً محدداً: بالنظر إلى رباعية q ورباعية خارج النطاق q_{new} مولدة منها، ما هي العلاقة الهيكلية (إن وجدت) بين q والممثل غير السالب q_{new} داخل الشجرة؟
- دراسة دالة الكثافة: بدلاً من البحث عن بنية صارمة، يمكن للبحث المستقبلي أن يدرس سؤالاً إحصائياً: كيف تتغير كثافة العقد التي تحقق الشرط $d = a + c$ كدالة لعمق الشجرة؟ هل تتلاشى هذه الكثافة، أم تتقارب إلى قيمة ثابتة، أم تتذبذب؟

6 . المراجع

1. Berggren, B. (1934). Pytagoreiska trianglar. Tidskrift för Elementär Matematik, Fysik och Kemi, 17, 129–139.
2. Hall, A. (1970). Genealogy of Pythagorean triads. The Mathematical Gazette, 54(390), 377–379.
<https://doi.org/10.2307/3613860>
3. Price, H. L. (2008). The Pythagorean tree: A new species. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/0809.4324>
4. Rushall, J., Gutierrez, M., & McCarty, V. (2020). On the complete tree of primitive Pythagorean quadruples. INTEGERS: The Electronic Journal of Combinatorial Number Theory, 20, Article A73.

بنية وحساب الخماسيات الفيثاغورية: مقارنة بنائية عبر تحليل المتجهات المتعامدة في \mathbb{Z}^3

أحمد سلوم المحمد : طالب ماجستير - الرياضيات التطبيقية

د. باسل العرنوس : أستاذ مساعد في قسم الرياضيات - كلية العلوم - جامعة حمص.

د. مرهف العبدالله : مدرس في قسم الرياضيات - كلية العلوم - جامعة حلب.

ملخص البحث

يقدم هذا البحث منهجية بنائية لتوليد الخماسيات الفيثاغورية الأولية انطلاقاً من أزواج المتجهات الصحيحة المتعامدة في \mathbb{Z}^3 ، مع برهنة الشروط اللازمة والكافية لضمان أوليتها. تكمن المساهمة الجوهرية في تحديد نطاق هذه المنهجية؛ حيث يُثبت أنها شاملة لفئة جزئية مهمة، ولكنها ليست شاملة كلياً كما يوضح مثال مضاد. باستخدام جبر الكواترنيونات، يُكشف أن هذا الانقسام يعود إلى شرط جبري (تحليل كواترنيون إلى عاملين بحثين)، مما يؤسس لتصنيف بنيوي جديد يميز بين الخماسيات "القابلة للبناء هندسياً" وتلك "الجبرية بحتة"، وهو ما يعمق فهم العلاقة بين الهندسة ونظرية الأعداد.

الكلمات المفتاحية:

الخماسيات الفيثاغورية، المعادلات الديوفانتية، نظرية الأعداد، المتجهات المتعامدة، جبر الكواترنيونات، مطابقة لاغرانج.

**A Structural and Computational Approach to Pythagorean
Quintuples: A Constructive Methodology via Orthogonal Vector
Analysis in \mathbb{Z}^3**

Ahmad Salloum Al-Mohammad: M.Sc. Student – Applied
Mathematics

Supervisor: **Dr. Basel Hamdo Alarnous** – Homs university

Dr. Morhaf Al-Abdullah: – University of Aleppo

Abstract

This research presents a constructive methodology for generating primitive Pythagorean quintuples from pairs of orthogonal integer vectors in \mathbb{Z}^3 , while proving the necessary and sufficient conditions to ensure their primitivity. The core contribution lies in defining the scope of this methodology; it is proven to be complete for a significant subclass, but not universally complete, as demonstrated by a counterexample. Using quaternion algebra, it is revealed that this dichotomy is attributed to an algebraic condition (the factorization of a quaternion into two pure factors), which establishes a novel structural classification that distinguishes between 'geometrically constructible' and 'purely algebraic' quintuples. This deepens the understanding of the relationship between geometry and number theory.

Key Words:

Pythagorean Quintuples, Diophantine Equations, Number Theory, Orthogonal Vectors, Quaternion Algebra, Lagrange's Identity.

بنية وحساب الخماسيات الفيثاغورية: مقارنة بنائية عبر تحليل المتجهات المتعامدةفي \mathbb{Z}^3 **1. مقدمة**

■ **السياق التاريخي والرياضي:** يرجع الأصل التاريخي لدراسة المعادلات الديوفانتية التربيعية إلى الثلاثيات الفيثاغورية ($x^2 + y^2 = z^2$)، التي وجدت حلها البارامتري الشامل على يد إقليدس، مما كشف لأول مرة عن وجود بنية توليدية خفية وراء حلول صحيحة لمعادلة جبرية [1]. ومع تعميم المشكلة إلى أبعاد أعلى، مثل الرباعيات الفيثاغورية ($a^2 + b^2 + c^2 = d^2$) التي وجد ليونهارد أويلر (Leonhard Euler) صيغة بارامتريتها لها [2]، وقد وصل هذا التطور المنهجي بالتوصل إلى حلول الخماسيات الفيثاغورية، التي تمثلها المعادلة:

$$a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = e^2$$

في مطلع القرن العشرين، قدم ليونارد يوجين ديكسون (Leonard Eugene Dickson) حلاً بارامترياً كاملاً لهذه المشكلة، حيث أثبت أن أي خماسية فيثاغورية أولية يمكن توليدها من أربعة بارامترات صحيحة (x, y, z, w) تخضع لشروط محددة. وصيغة ديكسون الصريحة التي تولد الخماسية (a, b, c, d, e) :

$$a = 2xw$$

$$b = 2yw$$

$$c = 2zw$$

$$d = |x^2 + y^2 + z^2 - w^2|$$

$$e = x^2 + y^2 + z^2 + w^2$$

وتكون الخماسية الناتجة أولية شريطة أن يكون $\gcd(x, y, z, w) = 1$ وأن يكون المجموع $e = x^2 + y^2 + z^2 + w^2$ عدداً فردياً [2]. وفي هذا السياق، وعلى الرغم من الشمولية الجبرية التي تتسم بها صيغة ديكسون، إلا أنها تعمل بمثابة "بنية مغلقة"، إذ إنها تولد الحلول بكفاءة دون أن تكشف عن الأساس البنيوي أو الهندسي الذي ترتكز عليه.

■ **مراجعة الأدبيات وتحديد الفجوة المعرفية:** ركزت الأدبيات الرياضية بشكل كبير على إيجاد وتعميم الصيغ البارامترية للمعادلات الديوفانتية. وفي حين تم تحقيق فهم بنيوي عميق لمشاكل مشابهة، مثل ربط مبرهنة لاغرانج للمربعات الأربعة بالبنية الضربية لحلقة كواتيرنيونات هورويتز [3][4]، ظل النهج المتبع مع الخماسيات الفيثاغورية منقسماً إلى اتجاهين رئيسيين:

- **الأول، هو النهج الجبري الشامل:** والذي يهدف إلى إيجاد بارامترية كاملة يمكنها توليد جميع الحلول. يتوج هذا الاتجاه في أعمال باحثين مثل فريش وفاسرشتاين (Frisch and Vaserstein) [5]، حيث قدما بارامترية بولينومية معقدة ولكنها شاملة للخماسيات.. وعلى الرغم من قوتها الجبرية، فإن هذه الحلول غالباً ما تكون مجردة وتفتقر إلى تفسير هندسي مباشر.

- **الثاني، هو النهج التحليلي-العددي:** والذي لا يركز على توليد الحلول بل على عددها. وفي هذا السياق، قدم هورليمان (Hürliemann) صيغة دقيقة لحساب عدد الخماسيات الفيثاغورية الأولية [6]، مما يوفر رؤى قيمة حول توزيعها الإحصائي.

من هنا، تظهر فجوة معرفية واضحة في دراسة الخماسيات الفيثاغورية: على الرغم من وجود حلول جبرية شاملة [5] وصيغ دقيقة لعددها [6].

■ **مشكلة البحث:** يقتصر الفهم الرياضي السائد للخماسيات الفيثاغورية على المعالجة الجبرية البارامترية، التي وإن كانت توفر حلاً كاملاً، إلا أنها تُبقي هذه الكيانات العددية معزولة عن أي أساس بنيوي أو تفسير هندسي. هذا القصور المنهجي يطرح إشكالية جوهرية: هل الخماسيات الفيثاغورية هي مجرد حلول عددية لمعادلة ديوفانتية، أم أنها تمثل تجلياً لظاهرة رياضية أعمق تنشأ عند تقاطع الهندسة، والجبر، ونظرية الأعداد؟

- **هدف البحث:** يسعى هذا البحث إلى تجاوز النموذج الجبري المجرد عبر استكشاف فرضية وجود أصل هندسي-توليدي. وبشكل محدد، يهدف البحث إلى تحقيق الأهداف الآتية:
 - (1) تأسيس منهجية بنائية جديدة لتوليد الخماسيات الفيثاغورية الأولية انطلاقاً من بنية هندسية أولية، تتمثل في زوج من المتجهات الصحيحة المتعامدة في الفضاء \mathbb{Z}^3 ، مع البرهنة على صحة المنهجية وتحديد الشروط الرياضية اللازمة والكافية لضمان أولية النتائج.
 - (2) نقصي نطاق شمولية المنهجية الهندسية عبر توصيف الفئة الجزئية من الخماسيات التي تغطيها بالكامل، ومن ثم إثبات عدم شموليتها العامة عبر تقديم مثال مضاد قاطع.
 - (3) كشف العائق البنيوي الذي يحد من الشمولية الكاملة، وذلك بتوظيف جبر الكواتيرنيونات كأداة تحليلية متقدمة لربط قابلية البناء الهندسي بشرط "البحثية" في عوامل الكواتيرنيون.
 - **أهمية البحث:** وتتجلى الأهمية العلمية لهذا البحث في أنها تتجاوز مجرد تقديم أداة توليد بديلة؛ فهي تُرسي تصنيفاً بنوياً جديداً للخماسيات الفيثاغورية، يميز بين فئة "قابلة للبناء هندسياً" وأخرى "جبرية بحثية". هذا التصنيف لا يعمق الفهم البنيوي لهذه الكيانات فحسب، بل يقيم جسراً مفاهيمياً بين مجالات رياضية متميزة، ويفتح آفاقاً بحثية جديدة لفهم الظواهر العددية من منظور هندسي-جبري متكامل.
2. **البناء الهندسي-الجبري للمنهجية**

بعد أن أرست الفقرة الأولى السياق التاريخي وحددت الفجوة المعرفية في دراسة الخماسيات الفيثاغورية، تشرع هذه الفقرة في بناء مساهمتنا الجوهرية والتي تمثل منهجية بنائية لتوليد الخماسيات الفيثاغورية الأولية والتي تستند إلى البنية الجبرية للمتجهات ذات المركبات الصحيحة في الفضاء الإقليدي ثلاثي الأبعاد \mathbb{Z}^3 . سنثبت أن أي خماسية فيثاغورية ليست مجرد مجموعة من الأعداد تحقق علاقة جبرية، بل هي تجلّي عددي لتفاعل هندسي محدد بين زوج من المتجهات الصحيحة

المتعامدة. الأداة المحورية التي تربط بين الهندسة ونظرية الأعداد في عملنا هي متطابقة لاغرانج، والتي سنقدمها ونوظفها لإرساء الأساس الرياضي لمنهجيتنا.

1.2 الأساسيات الرياضية: ليكن $\vec{p} = (p_1, p_2, p_3), \vec{q} = (q_1, q_2, q_3)$ متجهين في الفضاء الإقليدي الحقيقي \mathbb{R}^3 .

تعريف 1: (العمليات المتجهية القياسية) [7]

• **النظيم الإقليدي التربيعي (Squared Euclidean Norm):** يُعرّف بأنه

$$\|\vec{p}\|^2 = p_1^2 + p_2^2 + p_3^2$$

• **الجداء الداخلي (Dot Product):** يُعرّف بأنه

$$\vec{p} \cdot \vec{q} = p_1q_1 + p_2q_2 + p_3q_3$$

• **الجداء الخارجي (Cross Product):** يُعرّف بأنه

$$\vec{p} \times \vec{q} = (p_2q_3 - p_3q_2, p_3q_1 - p_1q_3, p_1q_2 - p_2q_1)$$

مبرهنة 1: (متطابقة لاغرانج – Lagrange's Identity)

لكل متجهين $\vec{p}, \vec{q} \in \mathbb{R}^3$ ، تتحقق المتطابقة الآتية:

$$\|\vec{p} \times \vec{q}\|^2 = \|\vec{p}\|^2 \|\vec{q}\|^2 - (\vec{p} \cdot \vec{q})^2$$

هذه المتطابقة أساسية لأنها تربط بين المفاهيم الهندسية الثلاثة (الأطوال، والزوايا، والمساحات) في علاقة جبرية واحدة. تاريخياً، تُعد هذه المتطابقة حالة خاصة من متطابقة "بينيه-كوشي" (Binet–Cauchy) الأعم، وتُعرف في الفضاء ثلاثي الأبعاد باسم متطابقة لاغرانج نسبةً إلى جوزيف لوي لاغرانج الذي أثبت مكافئها الجبري [7].

تعريف 2: (الخماسية الفيثاغورية الأولية)

الخماسية (a, b, c, d, e) هي حل صحيح وموجب للمعادلة الديوفانتية

$$a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = e^2$$

وتكون الخماسية أولية إذا كان القاسم المشترك الأكبر لعناصرها يساوي واحداً، أي $\gcd(a, b, c, d, e) = 1$. يركز هذا البحث على توليد الحلول الأولية، حيث يمكن اشتقاق جميع الحلول الأخرى منها عبر الضرب في ثابت صحيح. [1]

2.2 اشتقاق المنهجية البنائية: نبدأ الآن ببناء منهجيتنا من المبادئ الأولية، منطلقين من كائن هندسي بدلاً من المعادلة العددية.

ننطلق من زوج من المتجهات الصحيحة وغير الصفيرية $\vec{p}, \vec{q} \in \mathbb{Z}^3$ ، ونفرض عليهما شرط التعامد.

$$\vec{p} \cdot \vec{q} = 0$$

عند تطبيق شرط التعامد على متطابقة لاغرانج (مبرهنة 1.2)، تُختزل المتطابقة إلى صيغة أبسط وأكثر أناقة:

$$\|\vec{p} \times \vec{q}\|^2 = \|\vec{p}\|^2 \|\vec{q}\|^2$$

هذه العلاقة هي حجر الزاوية الذي سنبنى عليه منهجيتنا، حيث إنها تربط بين معايير ثلاثة متجهات صحيحة.

$$(\|\vec{p} \times \vec{q}\|^2, \|\vec{p}\|^2, \|\vec{q}\|^2)$$

تعريف 3: (بناء الخماسية من المتجهات المتعامدة)

ليكن \vec{p}, \vec{q} زوجاً من المتجهات الصحيحة المتعامدة. نعرّف خمسة أعداد (a, b, c, d, e) على النحو الآتي:

- $e = \|\vec{p}\|^2 + \|\vec{q}\|^2$
- $d = |\|\vec{p}\|^2 - \|\vec{q}\|^2|$
- المتجه (a, b, c) يُعرّف بأنه ضعف متجه الجداء الخارجي

$$(a, b, c) = 2(\vec{p} \times \vec{q})$$

وبالتالي يمكن إعادة ترتيب المعادلة الفيثاغورية على الصورة:

$$a^2 + b^2 + c^2 = e^2 - d^2$$

والتي تكافئ $a^2 + b^2 + c^2 = (e - d)(e + d)$. بناءً على ذلك، إذا اخترنا تعريفات d و e بحيث يكون الطرف الأيمن متناسباً مع $\|\vec{p}\|^2 \|\vec{q}\|^2$ ، وتعريفات a, b, c بحيث يكون الطرف الأيسر مساوياً لنفس القيمة، فنكون قد أوجدنا حلاً للمعادلة.

تعريفاتنا d و e تؤدي إلى:

$$(e - d)(e + d) = 4\|\vec{p}\|^2 \|\vec{q}\|^2$$

وتعريفنا (a, b, c) يؤدي، بعد تطبيق شرط التعمد على مطابقة لاگرانج، إلى

$$a^2 + b^2 + c^2 = 4\|\vec{p} \times \vec{q}\|^2 = 4\|\vec{p}\|^2 \|\vec{q}\|^2$$

تطابق الطرفين يبرر صحة هذه التعريفات.

مبرهنة 2 (مبرهنة الصحة):

ليكن $\vec{p}, \vec{q} \in \mathbb{Z}^3$ زوجاً من المتجهات الصحيحة المتعامدة وغير الصفريّة، عندئذٍ فإنّ الخماسيّة (a, b, c, d, e) المولدة وفق التعريف 3 هي خماسية فيثاغورية صحيحة.

الإثبات:

i. صحة الأعداد الصحيحة: بما أن $\vec{p}, \vec{q} \in \mathbb{Z}^3$ ، فإن مكوناتهما $p_i, q_i \in \mathbb{Z}$.

• $\|\vec{p}\|^2 = \sum p_i^2$ و $\|\vec{q}\|^2 = \sum q_i^2$ هما عددان صحيحان. وبالتالي، d و e عددان صحيحان.

مكونات الضرب الاتجاهي $\vec{p} \times \vec{q}$ تنتج عن عمليات ضرب وطرح لأعداد صحيحة، وبالتالي هي أعداد صحيحة. إذن، a, b, c أعداد صحيحة. [1]

ii. صحة المعادلة الفيثاغورية: إثبات أن $a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = e^2$ يكافئ إثبات $a^2 + b^2 + c^2 = e^2 - d^2$

• الطرف الأيمن

$$(RHS): e^2 - d^2 = (\|\vec{p}\|^2 + \|\vec{q}\|^2)^2 - (\|\vec{p}\|^2 - \|\vec{q}\|^2)^2$$

نحصل على:

$$e^2 - d^2 = 4\|\vec{p}\|^2\|\vec{q}\|^2 \quad (2.4)$$

• الطرف الأيسر

$$(LHS): a^2 + b^2 + c^2 = \|a, b, c\|^2 = \|2(\vec{p} \times \vec{q})\|^2 = 4\|\vec{p} \times \vec{q}\|^2 \quad (2.5)$$

• بما أن \vec{p}, \vec{q} متعامدان ($\vec{p} \cdot \vec{q} = 0$)، فإن متطابقة لاغرانج (مبرهنة 1) تختزل إلى:

$$\|\vec{p} \times \vec{q}\|^2 = \|\vec{p}\|^2\|\vec{q}\|^2$$

• بالتعويض بهذه النتيجة في المعادلة (2.5)، نحصل على:

$$a^2 + b^2 + c^2 = 4\|\vec{p}\|^2\|\vec{q}\|^2$$

- بمقارنة هذه النتيجة مع المعادلة (2.4)، نجد أن $LHS = RHS$
- إذن، $a^2 + b^2 + c^2 = e^2 - d^2$ ، مما يثبت أنّ $a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = e^2$

وهو المطلوب إثباته.

مبرهنة 3: (شروط الأولية)

لتكن الخماسية الفيثاغورية (a, b, c, d, e) المولدة من زوج متجهات صحيحة غير صفرية ومتعامدة $\vec{p}, \vec{q} \in \mathbb{Z}^3$ وفقاً للتعريف 3. لتبسيط الصياغة، نعرّف مربع نظيم كل من المتجهين:

$$P = \|\vec{p}\|^2 \text{ و } Q = \|\vec{q}\|^2$$

تكون الخماسية (a, b, c, d, e) أولية، أي $\gcd(a, b, c, d, e) = 1$ ، إذا وفقط إذا تحقق الشرطين الآتيين معاً:

$$1. \text{ الأولية النسبية للمعايير: } \gcd(P, Q) = 1$$

$$2. \text{ شرط التباين الزوجي: } P \not\equiv Q \pmod{2}$$

الإثبات:

(1) **إثبات الكفاية:** نفرض أن الشرطين (1) و (2) صحيحان وسنبرهن أن الخماسية الناتجة تكون أولية.

نفرض أن: $\gcd(P, Q) = 1$ و $P \not\equiv Q \pmod{2}$ ولنتثبت أن:
 $\gcd(a, b, c, d, e) = 1$ وليكن $g = \gcd(a, b, c, d, e)$

1. بما أن g يقسم $d = P - Q$ و $e = P + Q$ ، فإنه يقسم كلاً من مجموعهما وفرقهما: [1]

$$g | (e + d) \Rightarrow g | 2P$$

$$g | (e - d) \Rightarrow g | 2Q$$

2. وبالتالي، $g | \gcd(2P, 2Q) = 2 \cdot \gcd(P, Q)$ [1]

3. باستخدام الفرضية (1)، $\gcd(P, Q) = 1$ ، نستنتج أن $g | 2$ إذن

$$g \in \{1, 2\}$$

4. من الفرضية (2)، P و Q مختلفا الزوجية. بالتالي، فإن $d = P - Q$ و $e =$

$P + Q$ كلاهما عددا فرديان.

5. بما أن g يقسم العدد الفردي d (أو e)، فإن g يجب أن يكون فردياً.

6. العدد الصحيح الموجب الوحيد الذي يقسم 2 وهو فردي هو 1.

$$g = 1، إذن$$

(2) إثبات اللزوم: نفرض أن الخماسية أولية وسنبهرن أن الشرطين (1) و (2) محققين، أي

$$\gcd(a, b, c, d, e) = 1: سنفرض أن:$$

أولاً، لإثبات أن $\gcd(P, Q) = 1$ نقوم بما يلي:

1. نفرض بالتناقض أن $\gcd(P, Q) = k > 1$ وليكن l أي قاسم أولي لـ k

2. بما أن $k | P$ و $k | Q$ ، فإن $k | d$ و $k | e$

3. من المتطابقتين المتجهيتين الأساسيتين: [7]

$$\vec{p} \times (\vec{p} \times \vec{q}) = -P\vec{q}$$

$$\vec{q} \times (\vec{p} \times \vec{q}) = Q\vec{p}$$

4. بأخذ التطابق $(mod l)$ ، وبما أن $P \equiv 0 (mod l)$ و

$Q \equiv 0 \pmod{l}$ ، تصبح كلتا المعادلتين صفريتين:

$$\vec{p} \times (\vec{p} \times \vec{q}) \equiv \vec{0} \pmod{l}$$

$$\vec{q} \times (\vec{p} \times \vec{q}) \equiv \vec{0} \pmod{l}$$

5. هذا يعني أن المتجه $\vec{v} = \vec{p} \times \vec{q}$ موازٍ لكل من \vec{p} و \vec{q} في الفضاء المتجهي $(\mathbb{Z}/l\mathbb{Z})^3$

- إذا كان \vec{p} و \vec{q} مستقلين خطياً \pmod{l} ، فإن المتجه الوحيد الموازي لكليهما هو المتجه الصفرى، أي $\vec{v} \equiv \vec{0} \pmod{l}$
- أما إذا كانا مرتبطين خطياً (متوازيين) \pmod{l} ، فإن حاصل ضربهما الاتجاهي \vec{v} يكون صفرياً أيضاً

في كلتا الحالتين، نصل إلى الاستنتاج الحتمي: $\vec{p} \times \vec{q} \equiv \vec{0} \pmod{l}$

6. بما أن $(a, b, c) = 2(\vec{p} \times \vec{q})$ ، فإن a, b, c قابلة للقسمة على $2l$

7. بما أن d, e قابلة للقسمة على k (وبالتالي على l)، فإن l يكون قاسماً مشتركاً

لجميع عناصر الخماسية. وبما أن $l > 1$ ، فهذا يناقض فرضية الأولوية.

8. إذن، يجب أن يكون $\gcd(P, Q) = 1$.

ثانياً، لإثبات $P \not\equiv Q \pmod{2}$:

1. نفرض بالتناقض أن P و Q لهما نفس الزوجية.
2. بما أن $\gcd(P, Q) = 1$ (من الجزء السابق)، فلا يمكن أن يكونا كلاهما زوجيين.
3. إذن، يجب أن يكونا كلاهما فرديين.
4. إذا كان P, Q فرديين، فإن $d = P - Q$ زوجي و $e = P + Q$ زوجي. كما أن a, b, c زوجية من تعريفها.

5. بالتالي، تكون جميع عناصر الخماسية الخمسة زوجية، مما يعني أن

$$\gcd(a, b, c, d, e) \geq 2$$

6. هذا يناقض الفرضية بأن الخماسية أولية. وبهذا يكتمل الإثبات.

3. توصيف نطاق المنهجية وحدودها

بعد أن أثبتت الفقرة الثانية صحة منهجيتنا القائمة على المتجهات المتعامدة، يظل السؤال المحوري قائماً: هل هذه المنهجية شاملة؟ أي، هل يمكن توليد أي خماسية فيثاغورية أولية عبر اختيار مناسب لزوج من المتجهات الصحيحة المتعامدة؟ هذه الفقرة مكرسة لاستكشاف هذا السؤال بدقة. سنثبت أن المنهجية، رغم أناقتها، ليست شاملة بشكل مطلق. والأهم من ذلك، سنكشف عن البنية الجبرية الدقيقة التي تعمل كـ "عائق" أمام شموليتها، مما يقودنا إلى تصنيف أعمق للخماسيات الفيثاغورية نفسها.

مبرهنة 4 (الشمولية الجزئية):

المنهجية المعتمدة على المتجهات المتعامدة هي شاملة لجميع الخماسيات الفيثاغورية الأولية التي يمكن توليدها من بارامترات ديكسون (x, y, z, w) حيث يكون واحد على الأقل من x, y, z مساوياً للصفر. [2]

الإثبات: الهدف هو إثبات وجود متجهين صحيحين متعامدين $\vec{p}, \vec{q} \in \mathbb{Z}^3$ يحققان النظام (4.3) لأي مجموعة بارامترات ديكسون أولية تخضع للشرط المذكور. نفرض دون الإخلال بالتعميم أن $z = 0$. يصبح النظام المطلوب حله:

$$\begin{cases} \|\vec{p}\|^2 = x^2 + y^2 \\ \|\vec{q}\|^2 = w^2 \\ \vec{p} \cdot \vec{q} = 0 \\ \vec{p} \times \vec{q} = w(x, y, 0) \end{cases}$$

نعرف المتجهين \vec{p} و \vec{q} :

$$\vec{p} = (-y, x, 0) \text{ و } \vec{q} = (0, 0, w)$$

نتحقق من أن هذا الاختيار يحقق جميع الشروط الأربعة للنظام:

- تنظيم \vec{p} : $\|\vec{p}\|^2 = (-y)^2 + x^2 + 0^2 = x^2 + y^2$. الشرط الأول محقق.
- تنظيم \vec{q} : $\|\vec{q}\|^2 = 0^2 + 0^2 + w^2 = w^2$. الشرط الثاني محقق.
- التعامد: $\vec{p} \cdot \vec{q} = (-y)(0) + (x)(0) + (0)(w) = 0$. الشرط الثالث محقق.
- الجداء الخارجي

$$\vec{p} \times \vec{q} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ -y & x & 0 \\ 0 & 0 & w \end{vmatrix} = \mathbf{i}(xw) - \mathbf{j}(-yw) + \mathbf{k}(0) = (xw, yw, 0)$$

أوجدنا زوجاً من المتجهات الصحيحة المتعامدة التي تولد الخماسية الموافقة. وبهذا نكون قد أثبتنا أن المنهجية شاملة لهذه الفئة.

مبرهنة 5 (عدم الشمولية):

المنهجية المعتمدة على المتجهات المتعامدة في \mathbb{Z}^3 ليست شاملة لجميع الخماسيات الفيثاغورية الأولية.

الإثبات (بالمثال المضاد): نقدم مثلاً مضاداً. لنأخذ مجموعة بارامترات ديكسون الأولية: $(x, y, z, w) = (1, 1, 1, 2)$

تنتج هذه البارامترات الخماسية $(a, b, c, d, e) = (4, 4, 4, -1, 7)$. بما أن المعادلة الفيثاغورية تعتمد على مربعات العناصر، فإنها تكافئ الخماسية ذات العناصر الموجبة $(4, 4, 4, 1, 7)$. [2]

إذا كانت هذه الخماسية قابلة للبناء بمنهجيتنا، فيجب وجود متجهين صحيحين \vec{p} و \vec{q} يحققان:

$$\|\vec{q}\|^2 = (e - |d|)/2 = (7 - 1)/2 = 3.$$

$$\vec{p} \times \vec{q} = (a/2, b/2, c/2) = (2, 2, 2).$$

من خاصية الضرب الاتجاهي، يجب أن يكون المتجه \vec{q} متعامداً على $\vec{p} \times \vec{q}$ وبالتالي:

$$\vec{q} \cdot (2, 2, 2) = 0 \Rightarrow q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

نبحث إذن عن متجه صحيح $\vec{q} = (q_1, q_2, q_3) \in \mathbb{Z}^3$ يحقق النظام:

$$q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 = 3 \quad .1$$

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0 \quad .2$$

الحلول الصحيحة الوحيدة للمعادلة الأولى هي تبديلات $(\pm 1, \pm 1, \pm 1)$. من الواضح أن أي من هذه الحلول يجعل المجموع $q_1 + q_2 + q_3$ عدداً فردياً غير صفري. وبالتالي، لا يوجد متجه صحيح \vec{q} يحقق كلا الشرطين.

إذن، يستحيل بناء هذه الخماسية الأولية باستخدام المنهجية المقترحة.

1.3 كشف العائق الجبري عبر الكواتيرنيونات: لفهم السبب الجذري لعدم الشمولية، ننتقل إلى الإطار الجبري الطبيعي للمسألة: جبر الكواتيرنيونات.

تمثل الكواتيرنيونات التي قدمها هاملتون، امتداداً للأعداد المركبة إلى أربعة أبعاد، وتُعرف عناصرها بالصيغة $q = a + bi + cj + dk$ حيث a, b, c, d أعداد حقيقية، والوحدات التخيلية i, j, k تحقق العلاقات الأساسية:

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$$

في سياق هذا البحث، نهتم بحلقة "كواتيرنيونات ليبشتر الصحيحة" (Lipschitz integer quaternions)، وهي الكواتيرنيونات التي تكون معاملاتها a, b, c, d أعداداً صحيحة. يوجد

تقابل (isomorphism) مباشر بين الفضاء المتجهي \mathbb{R}^3 وفضاء "الكواتيرنيونات البحتة" (pure quaternions)، وهي تلك التي يكون جزؤها الحقيقي صفراً ($a = 0$) [4] هذا التقابل هو الذي يسمح بترجمة المسألة الهندسية للمتجهات المتعامدة إلى مسألة جبرية بحتة.

تعريف 4 (أعداد ليبشترز البحتة):

أعداد ليبشترز هي عناصر من الصورة $a + bi + cj + dk$ حيث a, b, c, d أعداد صحيحة.

- يكون الكواتيرنيون "بحتاً" إذا كان جزؤه الحقيقي صفراً [4].
- يوجد تقابل بين المتجهات في \mathbb{R}^3 والكواتيرنيونات البحتة.
- حاصل ضرب كواتيرنيونين بحتين p و q (مناظرين لمتجهين) يُعطى بالصيغة:

$$pq = -(\vec{p} \cdot \vec{q}) + (\vec{p} \times \vec{q})$$

هذه الصيغة الأساسية هي التي تربط الجبر المتجهي بجبر الكواتيرنيونات [3] تترجم المسألة العكسية (إيجاد p, q من خماسية معطاة) إلى إيجاد كواتيرنيونين بحتين وصحيحين p, q يحققان النظام:

$$\begin{cases} N(p) = x^2 + y^2 + z^2 \\ N(q) = w^2 \\ pq = w(xi + yj + zk) \end{cases} \quad (3.5)$$

حيث $N(p)$ هو تنظيم الكواتيرنيون p .

تحليل المثال المضاد:

- بالنسبة للبارامترات $(1,1,1,2)$ ، يتطلب النظام إيجاد p, q بحتين وصحيحين بحيث:
 - $N(p) = 3, N(q) = 4$
 - $pq = 2(i + j + k)$

- الكواتيرنيون البحت الصحيح الوحيد (حتى التبديل والإشارة) الذي نظيمه 3 هو $p = i + j + k$
- بحل المعادلة $pq = 2(i + j + k)$ بالنسبة لـ q ، نضرب من اليسار في مرافق p

$$\bar{p}(pq) = \bar{p}(2(i + j + k)) \Rightarrow N(p)q = -2(i + j + k)^2$$

بما أن $N(p) = 3$ و $(i + j + k)^2 = i^2 + j^2 + k^2 = -3$ [4]:

$$3q = -2(-3) = 6 \Rightarrow q = 2$$

- الحل الوحيد هو $q = 2$. هذا الكواتيرنيون يحقق شرط النظيم ($N(2) = 4$) وهو من نوع لبيشتر (صحيح)، ولكنه ليس بحتاً، حيث أن جزأه الحقيقي غير صفري.
- الاستنتاج: لقد أثبتنا أن حل المسألة العكسية يتطلب بالضرورة عاملاً غير بحت. بما أن منهجيتنا مبنية حصراً على المتجهات التي تقابل كواتيرنيونات بحتة، فإنها لا يمكن أن تولد هذه الخماسية.

إن شمولية المنهجية تعتمد على إمكانية تحليل الكواتيرنيون $w(xi + yj + zk)$ إلى عاملين بحتين في حلقة الكواتيرنيونات الصحيحة. لقد أثبتنا أن هذا الشرط لا يتحقق دائماً، وهذا هو العائق الجبري الأساسي للشمولية الكاملة.

4. التحليل الحسابي والخوارزمي

سنقدم خوارزميتين أساسيتين:

- (1) الخوارزمية المباشرة: لتوليد الخماسيات الفيثاغورية من زوج من المتجهات الصحيحة المتعامدة.
- (2) خوارزمية التحقق من قابلية البناء: وهي خوارزمية عكسية نختبر ما إذا كانت خماسية أولية معطاة تنتمي إلى الفئة القابلة للبناء هندسياً، وتستخلص، إن أمكن، المتجهات المولدة لها.

1.4 الخوارزمية المباشرة: من الهندسة إلى العدد: تنفذ هذه الخوارزمية المنهجية البنائية بشكل مباشر، حيث تتطلق من الكيان الهندسي (زوج المتجهات) لتوليد الكيان العددي (الخماسية)، مع التحقق من أوليتها.

خوارزمية 1.4: توليد خماسية فيثاغورية

○ المدخلات: زوج من المتجهات

$$\vec{p} = (p_1, p_2, p_3), \vec{q} = (q_1, q_2, q_3) \in \mathbb{Z}^3$$

○ المخرجات: الخماسية (a, b, c, d, e) وحالة أوليتها (أولية أم لا).

الخطوات:

(1) التحقق من الصلاحية: التأكد من أن المتجهين \vec{p} , \vec{q} غير صفريين وأنهما متعامدان.

(2) حساب مربعات النظم: $P = \|\vec{p}\|^2; Q = \|\vec{q}\|^2$

(3) حساب عناصر الخماسية:

• $(a, b, c) \leftarrow 2(\vec{p} \times \vec{q})$

• $d \leftarrow |P - Q|$

• $e \leftarrow P + Q$

(4) التحقق من الأولية: فحص ما إذا كانت الخماسية أولية عبر التحقق من الشرطين:

$\gcd(P, Q) = 1 \quad \checkmark$

$P \not\equiv Q \pmod{2} \quad \checkmark$

(5) إرجاع المخرجات: الخماسية الناتجة هي $(|a|, |b|, |c|, d, e)$ مع تحديد حالة أوليتها

بناءً على نتيجة الخطوة 4.

مثال 1.4: توليد خماسية أولية

• المدخلات: $\vec{p} = (2, 1, 0), \vec{q} = (1, -2, 3)$

• التحقق:

$$\begin{aligned} \vec{p} \cdot \vec{q} &= 2 - 2 + 0 = 0 \quad \circ \\ P &= 2^2 + 1^2 + 0^2 = 5, Q = 1^2 + (-2)^2 + 3^2 = 14 \quad \circ \\ \gcd(5,14) &= 1 \text{ و } 5 \not\equiv 14 \pmod{2}. \text{ (شروط الأولية محققة)} \quad \circ \end{aligned}$$

• الحساب:

$$\begin{aligned} \vec{p} \times \vec{q} &= (3, -6, -5) \quad \circ \\ (a, b, c) &= (6, -12, -10) \quad \circ \end{aligned}$$

$$e = 5 + 14 = 19 \quad d = |5 - 14| = 9, \quad \circ$$

• المخرجات: الخماسية الأولية:

$$(|a|, |b|, |c|, d, e) = (6, 12, 10, 9, 19) \text{ وهذه الخماسية أولية}$$

• التحقق:

$$6^2 + 12^2 + 10^2 + 9^2 = 361 = 19^2$$

2.4 الخوارزمية العكسية: التحقق من قابلية البناء: تتناول هذه الخوارزمية المسألة العكسية، حيث تبدأ من خماسية أولية وتختبر ما إذا كانت قابلة للبناء هندسياً.

خوارزمية 2.4: التحقق من قابلية البناء الهندسي (الخوارزمية العكسية)

○ المدخلات: خماسية فيثاغورية أولية وموجبة (a, b, c, d, e) بصيغتها القياسية (a, b, c) زوجية، d, e فردية وموجبة).

○ المخرجات: زوج المتجهات الصحيحة المتعامدة (\vec{p}, \vec{q}) الذي يولد الخماسية، أو "غير قابلة للبناء" إذا كان هذا الزوج غير موجود في \mathbb{Z}^3

: الخطوات

(1 حساب الكميات المستهدفة:

$$P_{\text{target}} \leftarrow \frac{e + d}{2}$$

$$Q_{\text{target}} \leftarrow \frac{e - d}{2}$$

$$\vec{u}_{\text{vec}} \leftarrow \left(\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, \frac{c}{2} \right)$$

(2) فحص شرط ليجاندر (تمهيدي): التحقق من أن كلاً من P_{target} و Q_{target} يمكن

كتابته كمجموع ثلاثة مربعات أعداد صحيحة. إذا فشل الشرط لأي منهما، تتوقف الخوارزمية وتُعيد "غير قابلة للبناء"

(3) توليد المتجهات المرشحة: إيجاد مجموعة الحلول الصحيحة S_q للمعادلة الديوفانتية:

$$Q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 = Q_{\text{target}}$$

(4) الاختبار والتحقق التكراري: لكل متجه مرشح $\vec{q}_{\text{cand}} \in S_q$:

a. التحقق من التعامد: تحقق مما إذا كان

$$\vec{u}_{\text{vec}} \cdot \vec{q}_{\text{cand}} = 0$$

إذا لم يكن كذلك، انتقل إلى المتجه المرشح التالي.

b. حساب المعامل القياسي: احسب

$$\lambda^2 \leftarrow \frac{P_{\text{target}}}{\|\vec{u}_{\text{vec}}\|^2 \cdot \|\vec{q}_{\text{cand}}\|^2}$$

تحقق مما إذا كان λ^2 مربعاً كاملاً لعدد نسبي. إذا لم يكن كذلك، انتقل إلى المتجه المرشح التالي

c. بناء المتجه واختبار الصحة: احسب المتجه المرشح

$$\vec{p}_{\text{cand}} \leftarrow \lambda(\vec{u}_{\text{vec}} \times \vec{q}_{\text{cand}})$$

تحقق فيما إذا كانت جميع مكونات \vec{p}_{cand} أعداداً صحيحة

d. النجاح: إذا كانت المكونات صحيحة، فقد تم العثور على الزوج المولد. أعد

الزوج $(\vec{p}_{\text{cand}}, \vec{q}_{\text{cand}})$ وأوقف الخوارزمية.

(5) نتيجة الفشل: إذا انتهت عملية الفحص لجميع المتجهات المرشحة في S_q دون

العثور على زوج صالح، تُعيد الخوارزمية "غير قابلة للبناء".

مثال 2.4: التحقق من خماسية قابلة للبناء

• المدخل: الخماسية الأولية $(8,4,0,1,9)$ (من بارامترات ديكسون $((2,1,0,2))$).

• الخطوات: $Q_{\text{target}} = \frac{9-1}{2} = 4$ ، $P_{\text{target}} = \frac{9+1}{2} = 5$

$$\vec{u} = (4,2,0)$$

a. حلول $\|\vec{q}\|^2 = 4$: هي تبديل $(\pm 2,0,0)$ و $(\pm 1, \pm 1, \sqrt{2})$ (غير

صحيح). إذن

$$S_q = \{(\pm 2,0,0), (0, \pm 2,0), (0,0, \pm 2)\}$$

b. نختبر $\vec{q} = (1, -2,0)$ فنجد أن التنظيم ليس 4.

$$\vec{q} = (2,0,0) \text{ نختبر}$$

$$\vec{q} = (2,0,0) \cdot \vec{u} = (2,0,0) \cdot (4,2,0) = 8 \neq 0$$

c. نختبر ، $\vec{q} \cdot \vec{u} = 0$ ، $\vec{q} = (0,0,2)$ (مرشح صالح).

$$\begin{aligned} \vec{v}_{cand} &= \vec{u} \times \vec{q} = (4,2,0) \times (0,0,2) = (4, -8,0) \quad .d \\ \|\vec{u}\|^2 &= 20, Q_{target} = 4, P_{target} = 5 \quad .e \\ \lambda^2 &= \frac{5}{20 \cdot 4} = \frac{1}{16} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{4} \quad .f \\ \vec{p} &= \left(\frac{1}{4}\right) (4, -8,0) = (1, -2,0) \quad .g \text{ هذا متجه صحيح.} \\ (\vec{p}, \vec{q}) &= ((1, -2,0), (0,0,2)) \text{ الزوج} \quad .h \end{aligned}$$

مثال 3.4: التحقق من المثال المضاد

- المدخل: الخماسية الأولية (4,4,4,1,7)
- الخطوات:

$$\begin{aligned} P_{target} &= 4, Q_{target} = 3, \vec{u} = (2,2,2) \quad .a \\ \|\vec{q}\|^2 &= 3 \text{ حل } (\pm 1, \pm 1, \pm 1) \text{ هي تبديل} \quad .b \\ \text{For each } \vec{q} &\text{ in } \{(\pm 1, \pm 1, \pm 1), \dots\} \quad .c \\ \vec{q} \cdot \vec{u} &= q_1(2) + q_2(2) + q_3(2) = 2(q_1 + q_2 + q_3) \quad \bullet \\ \text{بما أن } q_i &\in \{\pm 1\}, \text{ فإن } q_1 + q_2 + q_3 \text{ هو عدد فردي.} \quad \bullet \\ \vec{q} \cdot \vec{u} &\neq 0 \text{ إذن لجميع المرشحين.} \quad \bullet \\ \text{المخرجات: "غير قابلة للبناء".} \quad .d \end{aligned}$$

5. مناقشة، النتائج والتوصيات

❖ النتائج: لقد أثمر هذا البحث عن تحقيق مجموعة من النتائج الجوهرية والمترابطة في دراسة

بنية الخماسيات الفيثاغورية، والتي يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- (1) تأسيس منهجية بنائية: تم بنجاح تطوير وتقديم منهجية بنائية جديدة لتوليد الخماسيات الفيثاغورية الأولية انطلاقاً من أزواج المتجهات الصحيحة المتعامدة في الفضاء الإقليدي ثلاثي الأبعاد (\mathbb{Z}^3). وقد تم إثبات صحة هذه المنهجية رياضياً.
- (2) تحديد شروط الأولية: تم اشتقاق وبرهنة الشروط الرياضية اللازمة والكافية لضمان أن تكون الخماسية الفيثاغورية المولدة عبر هذه المنهجية أولية، وتتلخص هذه الشروط في

شروطين أساسيين: الأولوية النسبية لمربعات النظيم للمتجهين المولدين، وشرط التباين الزوجي لهما.

(3) **توصيف نطاق الشمولية وإثبات محدوديته:** أثبت البحث أن المنهجية المقترحة هي شاملة لفئة جزئية مهمة من الخماسيات الفيثاغورية الأولية (تلك التي يمكن اشتقاقها من بارامترات ديكسون (x, y, z, w) حيث يكون أحد البارامترات x, y, z مساوياً للصفر). ومع ذلك، تم إثبات أن هذه المنهجية ليست شاملة كلياً عبر تقديم مثال مضاد، وهو الخماسية $(4, 4, 4, 1, 7)$.

(4) **كشف العائق الجبري عبر جبر الكواتيرنيونات:** تم توظيف جبر الكواتيرنيونات كأداة تحليلية متقدمة لتفسير سبب عدم الشمولية الكاملة للمنهجية الهندسية. وقد كشف التحليل أن العائق البنيوي الأساسي يتمثل في شرط جبري محدد: قابلية تحليل كواتيرنيون معين إلى عاملين من الكواتيرنيونات البحتة.

(5) **تقديم تصنيف بنيوي جديد:** بناءً على النتائج السابقة، يقدم هذا البحث مساهمته الأكثر أهمية، وهي تصنيف بنيوي جديد للخماسيات الفيثاغورية الأولية يميزها إلى فئتين متميزتين جوهرياً:

- **الفئة الأولى: الخماسيات "القابلة للبناء هندسياً":** وهي تلك التي يمكن توليدها مباشرة عبر منهجية المتجهات المتعامدة، وتكافئ جبرياً تلك التي يمكن تحليل كواتيرنيونات المولدة إلى عاملين من الكواتيرنيونات البحتة.
- **الفئة الثانية: الخماسيات "غير القابلة للبناء هندسياً" أو "ذات الأصل الجبري العام":** وهي تلك التي لا يمكن توليدها بالمنهجية الهندسية المقترحة. يتطلب تحليلها في إطار الكواتيرنيونات عاملاً واحداً على الأقل غير بحت (له جزء حقيقي غير صفري). تجدر الإشارة إلى أن مصطلح "جبري" هنا لا يعني أن الفئة الأولى ليست جبرية، بل يشير إلى أن أصل هذه الفئة لا يقتصر على البنية الهندسية للمتجهات في \mathbb{Z}^3 ، وإنما يتطلب بنية جبرية أعم (حلقة كواتيرنيونات ليبشتر بأكملها) لا يمكن اختزالها بالكامل إلى متجهات بحتة.

❖ **المقترحات والتوصيات:** انطلاقاً من التصنيف البنيوي الذي تم الكشف عنه والفجوات المعرفية

التي أبرزها، يوصي البحث بالتوجه نحو المسارات البحثية المستقبلية التالية:

(1) **تعميم المنهجية الهندسية وتطوير نظرية موحدة:** يُقترح العمل على تعميم المنهجية

البنائية الحالية لتشمل فئة الخماسيات "الجبرية البحتة". قد يتطلب ذلك توسيع الإطار

الهندسي من فضاء المتجهات البحتة (\mathbb{Z}^3) إلى بنية جبرية أعم تسمح بدمج المكون

الحقيقي الذي يظهر في عوامل الكواترنيونات غير البحتة. الهدف الأسمى هو تطوير

صيغة بارامترية موحدة تولد جميع الخماسيات الأولية وتوضح الأصل البنيوي لكل فئة.

(2) **دراسة الكثافة النسبية للفئات ضمن نظرية الأعداد التحليلية:** يفتح التصنيف الجديد

سؤالاً جوهرياً في نظرية الأعداد التحليلية: ما هي الكثافة النسبية للخماسيات "القابلة

للبناء هندسياً" مقارنة بالخماسيات "الجبرية البحتة"؟ يوصى بالبداية بتحقيقات حسابية

باستخدام الخوارزميات المطورة في هذا البحث لتقدير هذه النسبة، ومن ثم الانتقال إلى

محاولة إثباتها نظرياً باستخدام أدوات متقدمة في نظرية الأعداد.

(3) **تحليل التعقيد الحسابي وتطبيقاته في علم التشفير:** يُقترح دراسة "مسألة التحليل

العكسي" المرتبطة بالمنهجية: بالنظر إلى خماسية فيثاغورية أولية "قابلة للبناء هندسياً"،

ما هو التعقيد الحسابي لإيجاد زوج المتجهات الصحيحة المتعامدة التي تولدها؟ إذا ثبت

أن هذه المسألة صعبة حسابياً، فقد تشكل أساساً لتصميم أنظمة تشفير جديدة قائمة على

بنية جبرية-هندسية

:المراجع(References)

1. Hardy, G. H., & Wright, E. M. (2008). An Introduction to the Theory of Numbers (6th ed.). Oxford University Press.
2. Dickson, L. E. (1920). History of the theory of numbers: Diophantine analysis (Vol. 2). Carnegie Institution of Washington.
3. Smith, D. A. (2003). On quaternions and octonions: their geometry, arithmetic, and symmetry. AK Peters.
4. Voight, J. (2021). Quaternion algebras (p. 885). Springer Nature.
5. S. Frisch and L. Vaserstein, "Polynomial parametrization of Pythagorean quadruples, quintuples and sextuples," J. Pure Appl. Algebra, vol. 216, no. 1, pp. 184–191, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.jpaa.2011.06.002 <https://arxiv.org/submit/6311235/preview>
6. Hürlimann, W. E. R. N. E. R. (2015). On the number of primitive Pythagorean quintuples. Journal of Algebra, Number Theory: Advances and Applications, 13(1), 13-28.
7. M. R. Spiegel, (2009) Schaum's Outline of Vector Analysis, 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill.

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاكيت) باستخدام Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد

أ.د. محمود مصطفى*

أشرف غانم**

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة الخامات المرافقة لصخور المعدن الأفيوليتي (الكروميت، التالك، الملاكيت) باستخدام القمر الصناعي Landsat 8 OLI، وذلك بإجراء التصحيحات الأولية وتطبيق نسب الحزم الطيفية وتحليل نسب المركبات الرئيسية ومقارنة نتائج الاستشعار مع الخرائط الجيولوجية للخامات المعدنية واللامعدنية. بينت نتائج الدراسة قدرة الاستشعار عن بعد في فصل الصخور الأفيوليتية عن الصخور الرسوبية المحيطة باستخدام بيانات Landsat 8 OLI وفق نسب الحزم الطيفية المقترحة ($R=B6/B7$ ، $G=B6/B4$ ، $B=B7/B6$ ، $R=B2/B4$ ، $G=B4/B7$ ، $R=B7/B6$ ، $G=B6/B5$ ، $B=B4/B2$)، والتالك وفق النسب ($R=B7/B6$ ، $G=B6/B5$ ، $B=B4/B2$)، وأخيراً الملاكيت وفق ($R=B4/B2$ ، $G=B6/B7$ ، $B=B6/B5$)، وإجراء التصنيف المراقب تم إنتاج الخارطة الرقمية الجيولوجية في رقعة البسيط، وخارطة رقمية للمناطق الأكثر احتمالاً لتوزع خامات الكروميت، التالك والملاكيت، والتي تتركز في الجزء الغربي من رقعة البسيط وتطابق نتائج الاستشعار عن بعد مع الخارطة الجيولوجية للخامات ولكن بدقة مكانية وانتشار أكبر.

الكلمات المفتاحية: البسيط، الأفيوليت، Landsat 8 OLI، كروميت، تالك، ملاكيت.

* أستاذ الدكتور-قسم الجيولوجيا-كلية العلوم-جامعة اللاذقية-سورية.

** طالب دكتوراه-قسم الجيولوجيا-كلية العلوم-جامعة اللاذقية-سورية.

Study of the ores associated with the ophiolite complex in the Bassit region (Chromite, Talc, Malachite) using Landsat 8 OLI and remote sensing

Dr. Mahmmoud Mostafa*

Ashraf Ghanem**

Abstract

This research study the ores associated with the rocks of the ophiolite complex (Chromite, Talc, Malachite) using the Landsat 8 OLI imagery, by performing preprocessing stage, then applying band ratios analysis and principle component analysis (PCA), and finally comparing the remote sensing results with geological maps of the metallic and non-metallic ores.

Results demonstrated the ability of remote sensing to separate ophiolite rocks from the surrounding sedimentary rocks using Landsat 8 OLI data according to the proposed band ratios ($R=B6/B7$, $G=B6/B4$, $B=B7/B6$), and to identify the most promising mineralization areas for chromite ore according to the ratios ($R=B7/B6$, $G=B6/B5$, $B=B4/B2$), talc according to the ratios ($R=B2/B4$, $G=B4/B7$, $B=B6/B5$), and finally malachite according to ($R=B4/B2$, $G=B6/B7$, $B=B6/B5$). By conducting the supervised classification, a digital geological map was produced in the Bassit region, and a digital map of the most promising areas for the distribution of chromite, talc and malachite ores, which are concentrated in the western part of the Bassit region. The results of remote sensing match properly the geological map of the ores, but with greater spatial accuracy and spread.

Key Word: Al-Bassit, Ophiolit, Landsat 8 OLI, Chromite, Talc, Malachite.

Professor, Department of Geology, Faculty of science Latakia University, Latakia-
* Syria.

** Doctorant student, Department of Geology, Faculty of science Latakia
University, Latakia-Syria.

مقدمة

يعتبر المعقد الأفيوليتي في شمال غرب سورية جزءاً لا يتجزأ من القوس الأفيوليتي العربي [1،2،3]، حيث يشكل سلاسل جبلية من الصخور الأفيوليتية المنقولة والمتوضعة على القشرة القارية للسطيحة العربية الإفريقية، والذي يمتد من عمان في الشرق ويمر بجمال زاغروس، وبيتليس في تركيا عبر الجزء الشمالي الغربي من سوريا حتى قبرص [4،5،6].

تمت دراسة صخور المعقد الأفيوليتي والتشكيلة البركانية-الرسوبية في شمال غرب سورية بعدة دراسات خلال العقود الأخيرة، وذلك من أجل فهم وضعه الجيولوجي وخصائصه البترولوجية من جهة [7،8،9،10]، أما من جهة أخرى فإن لصخور المعقد الأفيوليتي والتشكيلة البركانية-الرسوبية أهمية اقتصادية كبيرة حيث يترافق معها فلزات معدنية، ولا معدنية هامة مثل الكروم، التالك، النحاس [11،12،13،14].

بين الدكتور محمود مصطفى في دراساته عن المعقد الأفيوليتي بين عامي 2000م و2008م، البترولوجية والجيوكيميائية لصخور اللابا الوسائية والتشكيلة البركانية الرسوبية، الأنواع الصخرية ومنشأها [7،8،9،10]، وخامات الكروم والمنغنيز في منطقة البسيط شمال-غرب سورية، مشيراً لارتباط تلك الخامات بالصخور فوق الأساسية (السرينتينييت الدونيتي)، وبصخور التشكيلة البركانية الرسوبية (الراديولايت، اللابا الوسائية) [14].

حديثاً، تستخدم تقنية الاستشعار عن بعد وبشكل متزايد في الأبحاث الجيولوجية والكشف عن الوحدات الصخرية، ضمن هذا السياق، أجرى الباحث (Labdaoui) وآخرون دراسة لإنتاج خرائط توزيع الصخور المتحولة الهيدروترمالية على الساحل الشرقي في الجزائر (تيفراوين)، باستخدام بيانات مرئية (Landsat 8 OLI) وتقنيات الاستشعار عن بعد (نسب الحزم الطيفية Band Ratio، وتحليل المركبات الرئيسية Principle Component Analysis واختصاراً PCA)، وبينت الدراسة أن الحزمة (Band 7) هي حزمة الامتصاص للميكا الغضارية والخامات الهيدروكسيلية، والسولفات وبعض الأكاسيد، بينما تستخدم الحزمة (Band 6) في اكتشاف الصخور الغنية بالحديد أو الهيماتيت، وأخيراً الحزمة (Band 4) المستخدمة في تمييز وفصل

الصخور عن الغطاء النباتي، وعلى هذا الأساس تم اقتراح التراكب ($R=B6/B7, G=B4/B2,$) المشتقة من تراكب سابيين ($B=B5/B6, G=B4/B2, B=B6/B7$)، ثم تم تطبيق تحليل المركبات الرئيسية عليها (PCA) وتم إنتاج خرائط جيولوجية لفصل الوحدات الصخرية في المنطقة، مع وضع القطاعات الأكثر أملاً في التقيب عن الخامات [15].

أشارت دراسة (Tamilarasan) إلى استخدام تقنية الاستشعار عن بعد في فصل الوحدات الصخرية باستخدام بيانات القمر الصناعي (Landsat 8 OLI) ضمن الصخور الأساسية وفوق الأساسية في منطقة (معدن بافاني) جنوب الهند، حيث تمت عملية تصحيح المعالجة الأولية للحزم، ثم إجراء تحليل نسب الحزم الطيفية (Band Ratio) وفق التراكبات ($R=B6/B4, G=B6/B2,$) و ($B=B7/B6, R=B5/B3, G=B6/B4,$) و ($R=B5/B4, G=B6/B3, B=B4/B2$)، وأخيراً ($R=B5/B2, G=B3/B2,$) و ($B=B5/B4, R=B6/B5, G=B4/B3, B=B2/B1$)، وزيادة تركيز النتائج باستخدام تحليل المركبات الأساسية (PCA)، وأخيراً استخدام التصنيف المراقب (Supervised Classification) من أجل فصل الوحدات الصخرية وإنتاج الخارطة الجيولوجية لأنواع صخور منطقة الدراسة [16].

أجريت في نفس السياق أيضاً دراستان حول الكشف عن الكروميت ضمن المعدن الأفيوليتي باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد من (Landsat 8 OLI) في منطقة لوغار في أفغانستان، من قبل الباحثين (Abdelaziz) وآخرون، وكذلك من قبل الباحثين (Haji Muhammad) وآخرون، حيث تم استهداف الوحدات الصخرية السرينيتينية التي تحتوي عروق الكروميت ضمنها، والتي تم فصلها باستخدام تحليل نسب الحزم الطيفية ($R=B7/B6, G=B6/B5, B=B4/B2$) و ($R=B6/B4, G=B6/B2, B=B7/B6$)، وتم تحليل (PCA)، مع العلم أن التحليلات تتم على حزم مصححة باستخدام برنامج (Erdas Imagine)، حيث تم فصل الصخور السرينيتينية بنجاح وفق هذه النسب الطيفية [17,18].

عرض (El Saeed R. Lasheen) في سياق آخر تقنية الكشف عن التالك باستخدام الاستشعار عن بعد، ضمن منطقة درهيب وعطشان في الصحراء الجنوبية الشرقية من مصر، حيث استخدم تقنية تحليل نسب الحزم الطيفية وتحليل المركبات الرئيسية على حزم مصححة من بيانات

(Landsat 8 OLI)، وقدم اقتراحاً فعالاً لاكتشافها وفق نسب الحزم الطيفية ($R=B2/B4$ ، $G=B4/B7$ ، $B=B6/B5$) و($R=B4+B3/B5$ ، $G=B5/B7$ ، $B=B2+B1/B3$) [19]، بينما عرض الباحث (Fotze) تراكيباً مختلفاً لاكتشاف التالك المرافق للتوضعات الكربوناتيّة، وفق نسب الحزم الطيفية ($R=B6/B7$ ، $G=B6/B2$ ، $B=B6/B5*B4/B5$)، وذلك ضمن دراسة التوضعات الهيدروترمالية في غاروا شمال الكاميرون [20].

أخيراً، وبالنسبة لتوضعات النحاس، فقد بينت دراسة (Sabins) أن استخدام تحليل نسب الحزم الطيفية للنسب ($R=B4/B2$ ، $G=B6/B7$ ، $B=B6/B5$) أو ($R=B5/B6$ ، $G=B4/B2$ ، $B=B6/B7$) يعطي نتائج جيدة في فصل خام النحاس، على بيانات (Landsat 8 OLI) علماً أن الدراسة الأصلية قد نُفذت على بيانات (Landsat 4-5-7) [21].

بينما اعتمد الباحث (Howari) وآخرون في اكتشاف خام النحاس ضمن وادي هام شمال جبال سلطنة عمان في الإمارات العربية المتحدة على استخدام تراكيب ($R=B7$ ، $G=B6$ ، $B=B2$) مع فحص نتائج نسب الحزم الطيفية ($B7/B6$) خصوصاً، وتحليل المركبات الأساسية لبيانات القمر الصناعي (Landsat 8 OLI)، وأظهرت قدرة تقنيات الاستشعار على كشف خامات النحاس بفعالية [22].

أهمية البحث وأهدافه

إن استخدام بيانات القمر الصناعي (Landsat 8 OLI) لتحليل الآثار الطيفية للخامات المرتبطة بالمعدن الأفيوليتي، بهدف إنتاج خرائط جيولوجية رقمية دقيقة تُستخدم في تعزيز فعالية عمليات الاستكشاف المعدني تعد أهمية للبحث.

وللبحث عدة أهداف:

1. معالجة وتحليل وتصنيف مرئيات القمر الصناعي (Landsat 8 OLI) بهدف فصل الصخور الأفيوليتية عن الصخور المحيطة في منطقة الدراسة، وإنتاج خارطة جيولوجية رقمية دقيقة.
2. استخدام تقنيتي نسب الحزم الطيفية (Band Ratio) وتحليل المركبات الرئيسية (PCA) للكشف عن الخامات المرتبطة بالمعدن الأفيوليتي، مثلاً الكروميت، التالك، والملايكيت.

3. مقارنة الخارطة الرقمية الناتجة مع الخارطة الجيولوجية لرقعة البسيط وخارطتي توزع الخامات لتحديد دقة نتائج تقنيات الاستشعار عن بعد.

مواد وطرق البحث

لتحقيق أهداف البحث تم الاعتماد على:

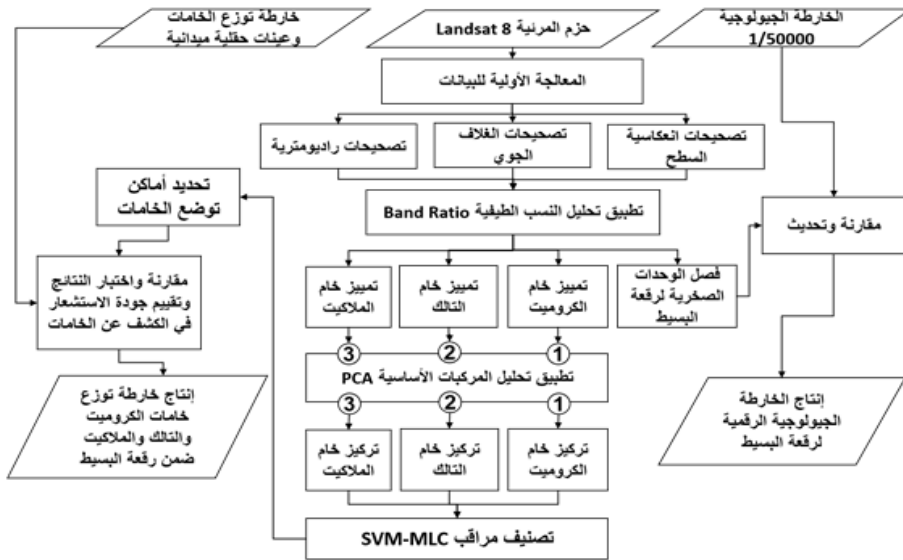
- الخارطة الجيولوجية لرقعة البسيط بمقياس (1/50000)، وخارطة لمنطقة البسيط وتوابعها تظهر أماكن وجود الخامات المعدنية واللامعدنية [23].
- المرئية (Landsat 8 OLI/TIRS) من موقع هيئة المسح الجيولوجية الأمريكية (USGS) من الرابط (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) بصيغة رقمية (TIFF) مرجعة وفق الإسقاط (WGS 84 – UTM Zone 37 North)، بتاريخ التقاط المرئية (2023-11-5)، والجدول (1) يظهر الحزم المستخدمة لأغراض التحليل الجيولوجي.
- تم إجراء عمليات المعالجة المسبقة للحزم المستخدمة (Preprocessing) ضمن برنامج (QGIS) باستخدام (Semi-Automatic Classification Plugin) وكانت التصحيحات المنفذة هي التصحيحات الراديومترية وتصحيحات الغلاف الجوي وتصحيحات الانعكاسية السطحية. وتم تنفيذ تحليلات نسب الحزم الطيفية (Band Ratio)، والمركبات الرئيسية (PCA)، وأخيراً تم إجراء التصنيف المراقب للنتائج وفق خوارزمية الجار الأقرب (Maximum Likelihood Classification/MLC) باستخدام برنامج (ArcGIS 10.5).
- وفي النهاية، تمت عملية المقارنة والتحقق من نتائج تحليلات الاستشعار عن بعد بالمطابقة مع كل من المشاهدات الحقلية والعينات المسحوبة.

الجدول (1): يبين خصائص الحزم الطيفية لمرئية Landsat 8.

اسم الحزمة	النوع	طول الموجة µm	دقة التمييز المكانية m
Band 2	الأزرق Blue	0.43-0.45	30
Band 3	الأخضر Green	0.53-0.59	30
Band 4	الأحمر Red	0.64-0.67	30

Band 5	ما تحت الأحمر القريب Near Infrared	0.85-0.88	30
Band 6	ما تحت الأحمر قصير الموجة الأول Short Wave Infrared1(SWIR1)	1.57-1.65	30
Band 7	ما تحت الأحمر قصير الموجة الثاني Short Wave Infrared2 (SWIR2)	2.11-2.29	30

وفيما يلي مخطط يظهر منهجية وآلية العمل:



الشكل (1) منهجية البحث.

الإطار الجيولوجي العام لمنطقة الدراسة

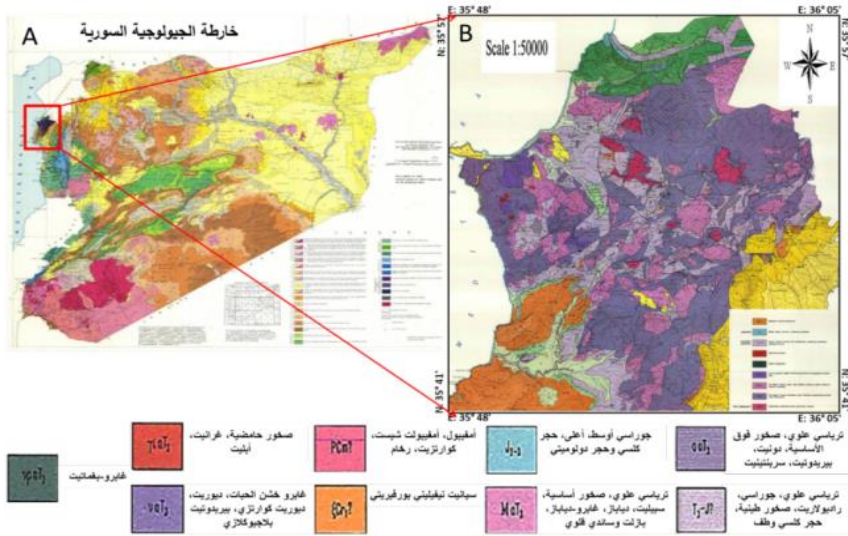
تقع منطقة الدراسة في الجزء الشمالي الغربي من سورية إلى الشمال الغربي بمحاذاة شاطئ البحر المتوسط. ينكشف لدينا في منطقة الدراسة صخور المعقد الأفيوليتي والمتمثلة بصخور فوق أساسية (بيريدوتيت، دونيت، هارزوبرجيت)، والصخور الأساسية (الغابرو، والوسائد البازلتية وقواطع الصخور الأساسية) والصخور المتحولة (صخور السرينتينييت، الأمفيبوليت، الكوارتزيت، السيبولان، الشيسيت الأخضر) وبالإضافة لصخور التشكيلة البركانية الرسوبية، وتعود هذه الصخور بالعمر

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاكيت) باستخدام Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد

إلى الترياسي ونتيجة الحركات التكتونية خلال الكريتاسي الأعلى (نهاية الماستريخت)، تحركت هذه الكتل واعتلت على الطرف الشمالي الغربي للصفحة العربية بالإضافة لذلك يتكشف لدينا صخور تعود للكريتاسي الأعلى (حجر كلسي غضاري) وصخور أحدث عمراً تعود للبالوجين (حجر كلسي غضاري) والنيوجين (غضار، مارل)، وحتى الرباعي (رسوبات لحيّة) [23]. وتمتد ضمن الإحداثيات التالية الشكل(2):

E: 35° 48' 00" - 36° 05' 00"

N: 35° 41' 00" - 35° 57' 00"



الشكل (2) موقع منطقة الدراسة بالنسبة للجمهورية العربية السورية.

(A) الخارطة الجيولوجية لسورية بمقياس 1:1000000 [24]، (B) الخارطة الجيولوجية لرقعة البسيط لمقياس 1:50000 [23].

النتائج والمناقشة

تحديد نطاقات المعدن الأفيوليتي في منطقة الدراسة:

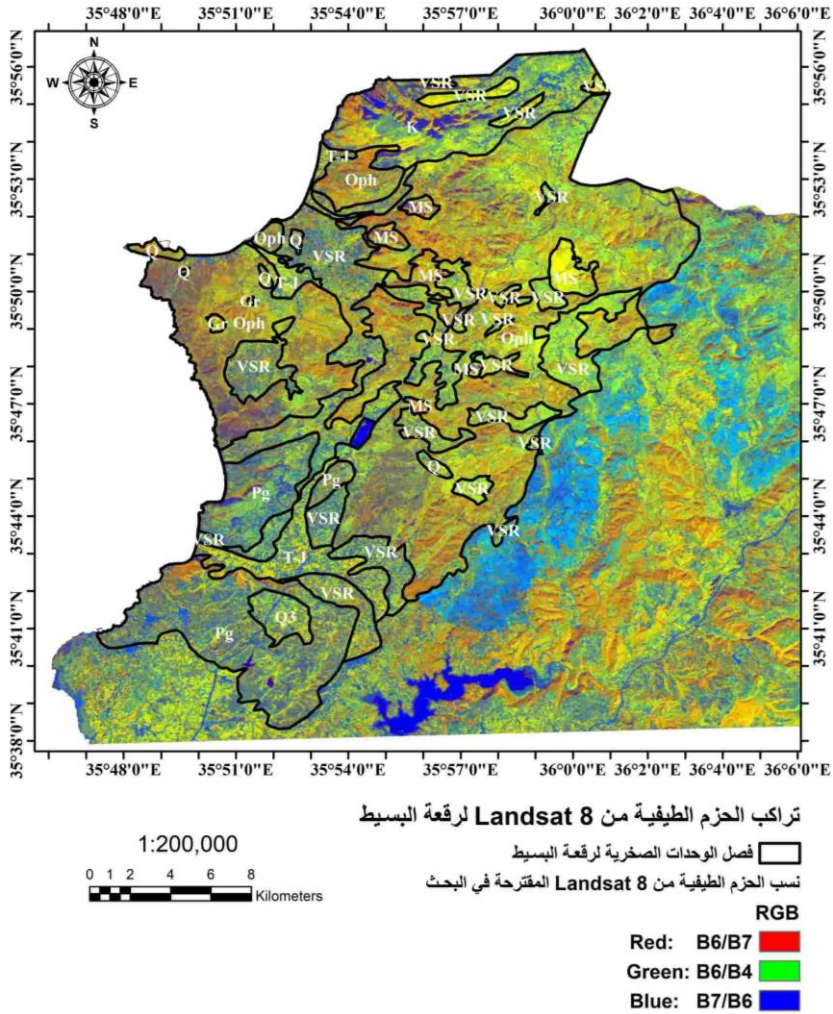
يعتبر استخدام بيانات (Landsat 8 OLI) أداة فعالة لرصد وتمييز هذا النوع من التراكيب، من خلال تحليل النسب الطيفية (Band Ratios) التي تعزز الاختلافات في استجابة الصخور للضوء

المنعكس ضمن الأطياف المرئية وتحت الحمراء القريبة والمتوسطة. من بين جميع التراكيب المدروسة تم اقتراح نسب الحزم الطيفية التالية من أجل تمييز وحدات المعقد الأفيوليتي: (R=B6/B7, G=B6/B4, B=B7/B6) ويرجع سبب اختيار هذا التراكب إلى الخصائص الطيفية التالية:

- النسبة (R=B6/B7): تستخدم لتحديد الصخور الحاوية على مجموعات (OH)، حيث يعزز نطاقي الحزمتين ما تحت الأحمر والقريب متوسط (SWIR1, SWIR2)، ويجعل مناطق الصخور المتحولة أكثر بروزاً [25].
- النسبة (G=B6/B4): تستخدم من أجل تحسين التباين للصخور المتحولة الغنية بالمعادن الأساسية في المعقد الأفيوليتي والصخور الرسوبية المحيطة، حيث تظهر الصخور الغنية بالحديد والمغنيزيوم انعكاساً أعلى في (B6=SWIR1) مقارنة بالمنطقة الحمراء (B4=Red)، مما يسهل التمييز بينها وبين الصخور الرسوبية [17].
- النسبة (B=B7/B6): تبرز الصخور المتأثرة بالتحويلات الهيدروترمالية، وخاصة التي تحتوي على السرينتين أو الكلوريت، نتيجة انخفاض الانعكاس النسبي في (B7=SWIR2) مقارنة ب (B6=SWIR1)، مما يجعلها مناسبة لعزل وحدات الأفيوليت. حيث تم استخدام هذه النسبة في الدراسة [16].

عند دمج هذه النسب المقترحة في مرئية (RGB) فإنها تنتج تبايناً لونياً واضحاً يمكن من عزل وحدات الأفيوليت عن الصخور المجاورة بدقة عالية، كما هو موضح بالشكل (3).

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاكيت) باستخدام
Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد

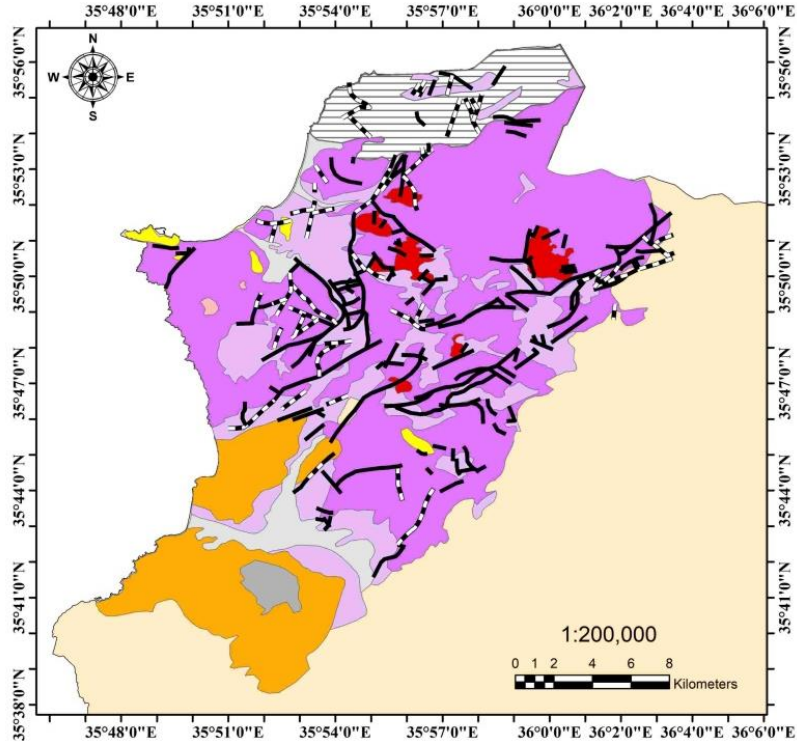


الشكل (3) الخارطة الرقمية لفصل الوحدات الصخرية للمعدن الأفيوليتي ضمن رقعة البسيط

والناتجة من تحليل مرئية Landsat 8 OLI.

الرموز المستخدمة: Oph الأفيوليت، MS القاعدة المتحولة، Pg باليوجين، VSR تشكيلة
بركانية-رسوبية، Q3 رباعي أعلى، T-J رسوبات جوراسي- ترياسي، Q رسوب رباعية،
K صخور الأساس، Gr صخور حامضية.

ويظهر الشكل (4) توزع الوحدات الصخرية المنتشرة في منطقة الدراسة وتطابقها مع الخارطة الجيولوجية لرقعة البسيط بمقياس 1/50000 [23].



الخارطة الجيولوجية لرقعة البسيط

رباعي أعلى	الوحدات الصخرية	الفوالق
رسوبات جوراسي ترياسي	الأفيوليت	فالق غير مؤكد
رواسب رباعية	القاعدة المتحولة	فالق مؤكد
صخور الأساس	باليوجين	
صخور حامضية	تشكيلة بركانية-رسوبية	

الشكل (4) الخارطة الجيولوجية الرقمية لرقعة البسيط الناتجة من تحليل بيانات الاستشعار عن بعد، موضحاً عليها الفوالق المؤكدة وغير المؤكدة [23].

أما بالنسبة للخامات المدروسة فكانت كالتالي:

• دراسة وتحليل خام الكروميت:

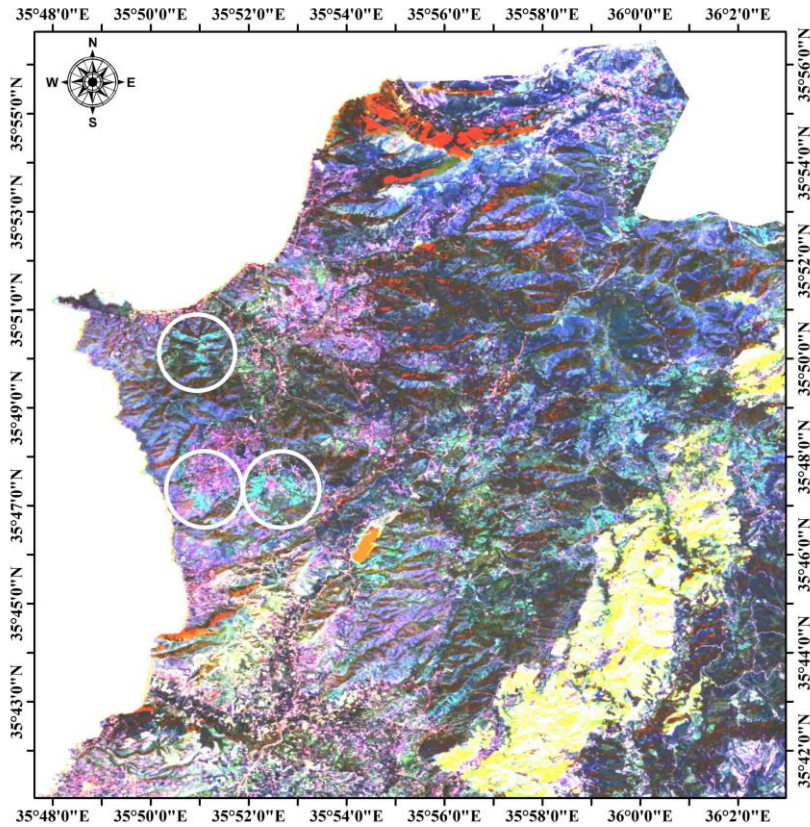
يعتبر خام الكروميت من أهم الخامات المعدنية المرافقة للمعدن الأفيوليتي حيث يوجد على شكل أجسام قاطعة أو عدسات ضمن صخور السرينتيت الدونيتي [14,17,18]، وخلال عملية السرينتة تتحول الفلزات الرئيسية الأوليفين والبيروكسين إلى سرينتين بينما يبقى خام الكروميت محفوظ نسبياً فهو من الخامات المعدنية المقاومة للتحويل ما يؤدي إلى تركيز الكروميت ضمن صخور السرينتيت وكشفه في البيئات الأفيوليتية، وبالرغم من أن الكروميت لا يمتلك انعكاسية طيفية واضحة (بسبب كونه معدن قائم)، لكن يمكن كشفه طيفياً بطريقة غير مباشرة من خلال الصخور التي يوجد فيها خصوصاً (السرنتيت) وهذا النوع من الصخور يملك بصمة طيفية مميزة تظهر في بعض نسب الحزم الطيفية (Band Ratios) مما يتيح الاستدلال على المواقع الأكثر احتمالاً لتوضع الكروميت ضمن الصخور السرينتيتية.

تم إجراء تحليل نسب الحزم الطيفية وفق التراكب ($R=B7/B6$, $G=B6/B5$, $B=B4/B2$) [17]، حيث تظهر توضعات الصخور السرينتيتية باللون السماوي الفاتح في الشكلين (5،6)، ثم إجراء تحليل المركبات الرئيسية (PCA)، حيث تظهر باللون البرتقالي المصفر في الشكلين (7،8)، وأعطى تمايزاً أكبر لمواقع الصخور السرينتيتية الحاوية على خام الكروميت. تظهر الأشكال (5،6،7،8) نتائج الاستشعار عن بعد حيث تظهر الصخور السرينتيتية والتي تعتبر المناطق الأكثر احتمالاً للكشف عن الكروميت في الجزء الغربي من رقعة البسيط، وعند مقارنتها مع الخارطة الجيولوجية الرقمية لرقعة البسيط الشكل (4) لوحظ تطابق النتائج من حيث وقوعها ضمن وحدات الأفيوليت، أما مقارنتها بالنسبة لخارطة منطقة البسيط الحاوية على الخامات المعدنية واللامعدنية الشكل (9) لوحظ تطابقها إلى حد كبير مع تميز للدقة المكانية ولانتشار الأكبر، حيث يظهر مناطق توزع الكروميت بخط أحمر منقط الشكل (9)، كما تدعم المشاهدات الحقلية تلك النتائج، ويظهر الشكلان (10،11) جبهة تكشف صخور السرينتيت الناتج عن تحول وفساد الصخور فوق الأساسية حيث يمتد امتداد المقطع حوالي 1000م، أما ارتفاعه بين (3-3.5) م،

وباتجاه شمال شرق-جنوب غرب، وحاوي على عروق من الكروميت المستثمرة من الخارج وتتجه هذه العروق باتجاه شمال غرب-جنوب شرق وذلك عند الإحداثيات التالية:

N: 35° 46' 56.13"

E: 35° 50' 36.56"



توزع خام الكروميت ضمن منطقة الدراسة

تحليل نسب الحزم الطيفية لاكتشاف خام الكروميت

1:150,000

00.51 2 3 4
Kilometers

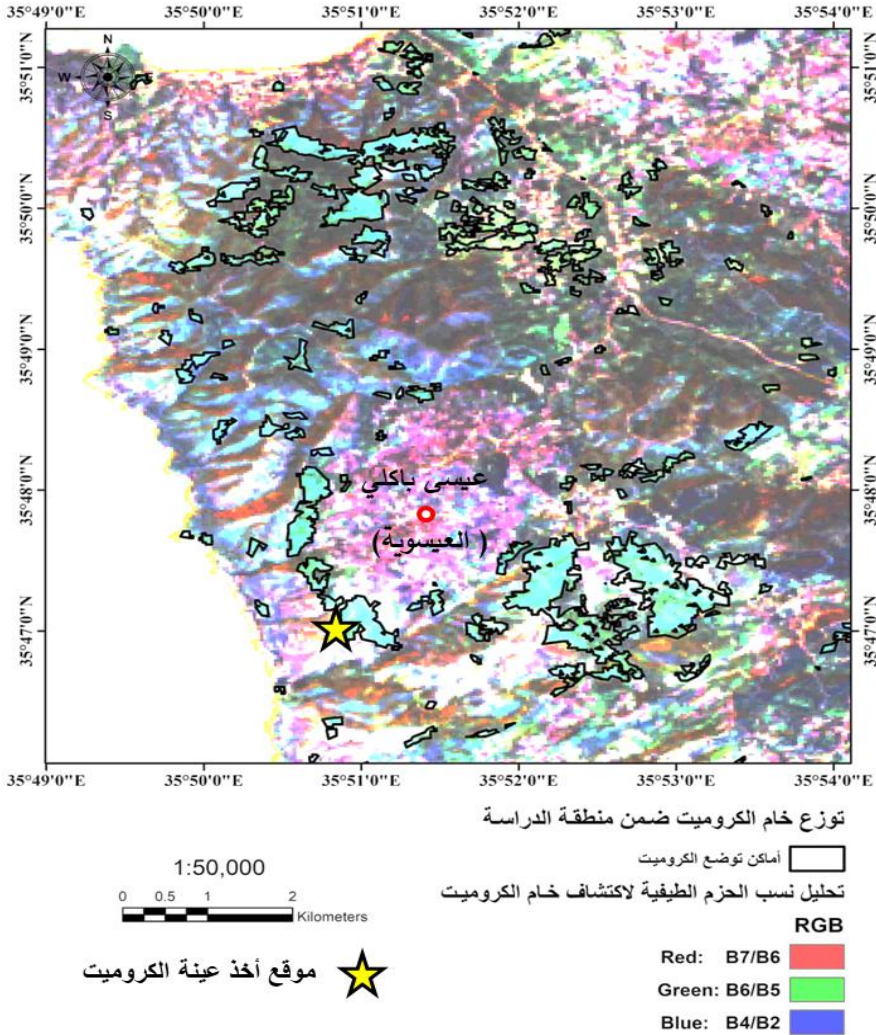
RGB

Red: B7/B6

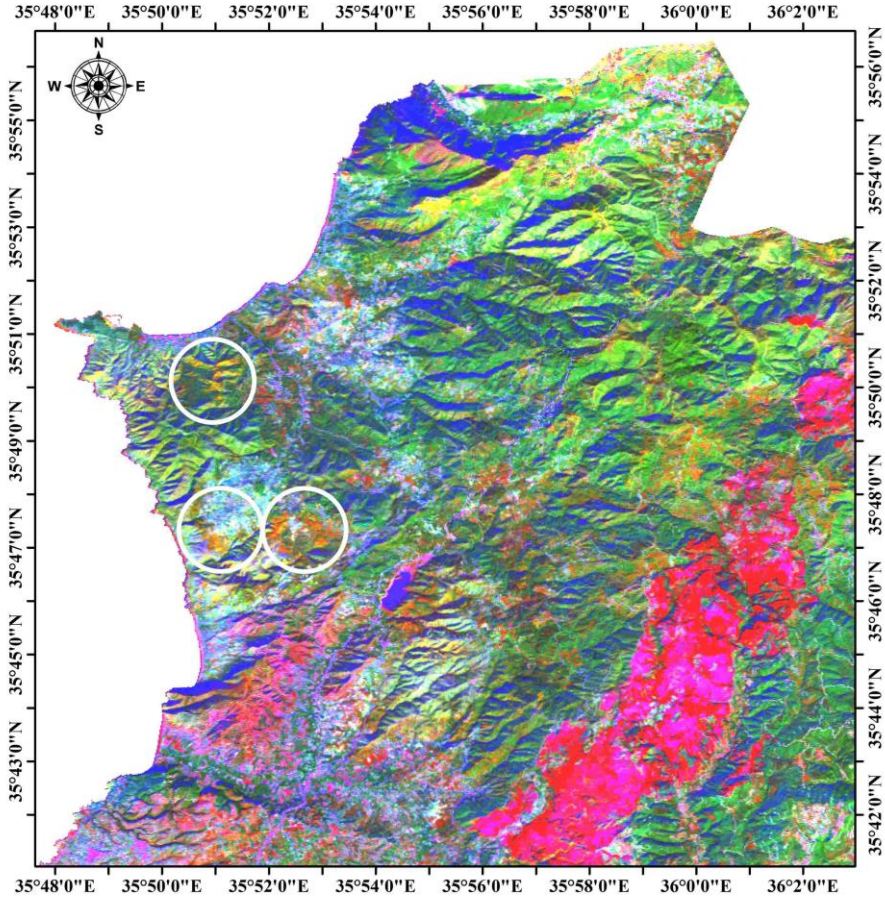
Green: B6/B5

Blue: B4/B2

الشكل (5) توزع الصخور السربنتينية الحاوية على خام الكروميت ضمن منطقة الدراسة
بالاعتماد على تحليل نسب الحزم الطيفية ($R=B7/B6, G= B6/B5, B=B4/B2$).



الشكل (6) خريطة تفصيلية لمساحات انتشار الصخور السربنتينية الحاوية على خام
الكروميت ضمن منطقة الدراسة والنتيجة من تحليل النسب الطيفية.



توزع خام الكروميت ضمن منطقة الدراسة

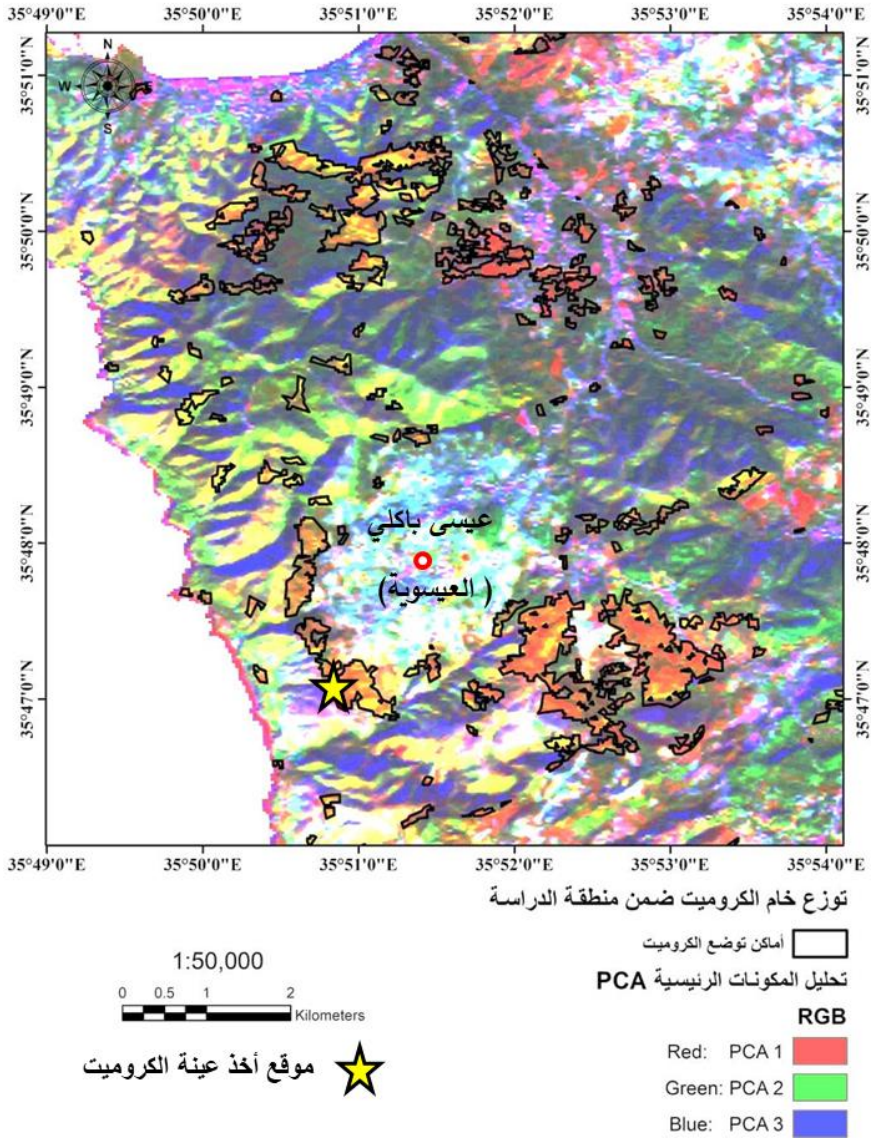
1:150,000
00.51 2 3 4
Kilometers

تحليل المكونات الرئيسية PCA

RGB
Red: PCA 1
Green: PCA 2
Blue: PCA 3

الشكل (7) توزع الصخور السربنتينية الحاوية على خام الكروميت ضمن منطقة الدراسة اعتماداً على تحليل المركبات الرئيسية (PCA).

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاكيت) باستخدام
Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد



الشكل (8) خريطة تفصيلية لمساحات انتشار الصخور السربنتينية الحاوية على خام الكروميت ضمن منطقة الدراسة والنتيجة من تحليل (PCA).

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاييت) باستخدام
Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد



الشكل (10) مشاهدة حقلية لعرق الكروميت المستمر في موقع العيسوية.

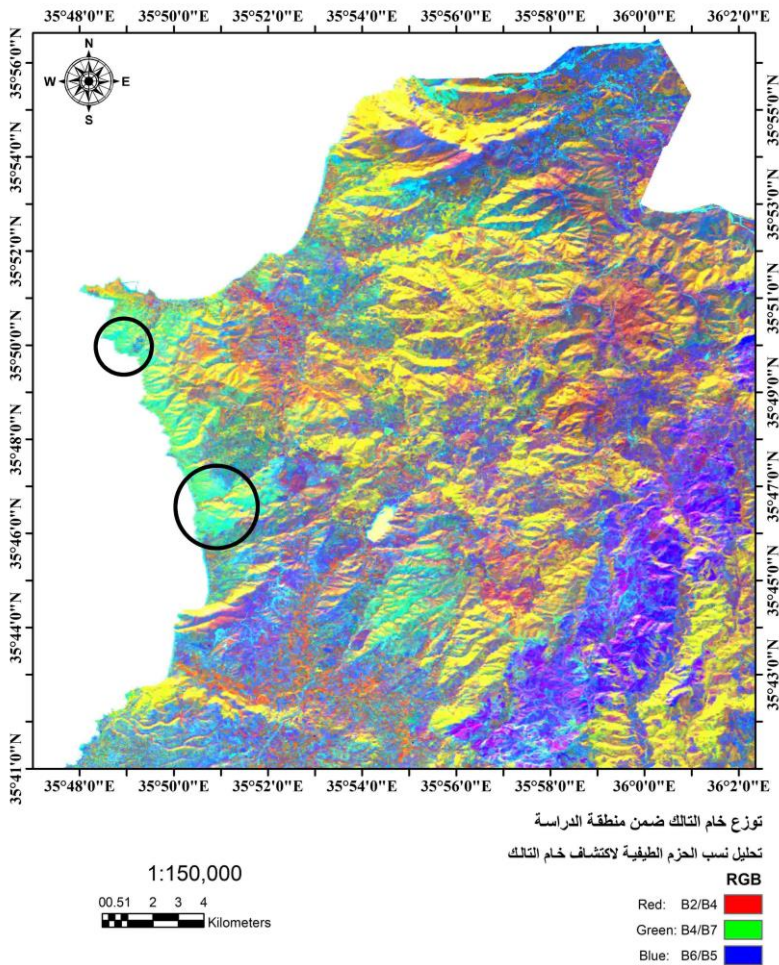


الشكل (11) جبهة تكشف الصخور السرينتينية الحاوية على عرق الكروميت المستمر في موقع العيسوية.

- دراسة وتحليل خام التالك:

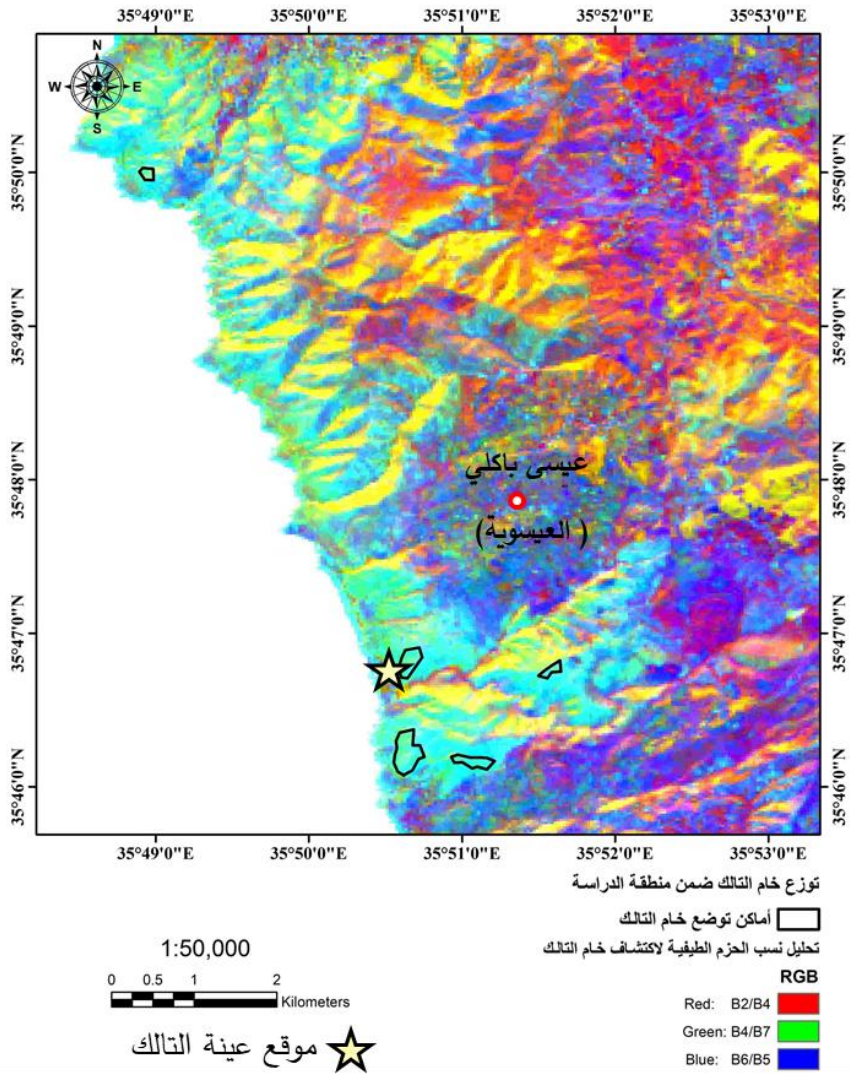
يعد فلز التالك من الخامات اللامعدنية المرافقة لصخور المعقد الأفيوليتي وهو سيليكات المغنيسيوم المائية $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ، يتميز بلمسه الناعم ولونه الأبيض وقساوته المنخفضة ويتشكل في بيئات التحول منخفضة الدرجة، وخصوصاً نتيجة تحول الصخور فوق الأساسية إلى سرينتينيت ومن ثم إلى تالك بفعل التحول الهيدروترمالي.

باستخدام تحليل نسب الحزم الطيفية ($R=B2/B4$, $G=B4/B7$, $B=B6/B5$) [19]، يفيد هذا التراكب لتمييز توضعات التالك وظهور باللون الأخضر الفاتح في تحليل نسب الحزم الطيفية الشكلين (13،12)، وباستخدام تحليل المركبات الرئيسية (PCA) ظهرت مواقع التالك باللون الأصفر الشكلين (15،14).

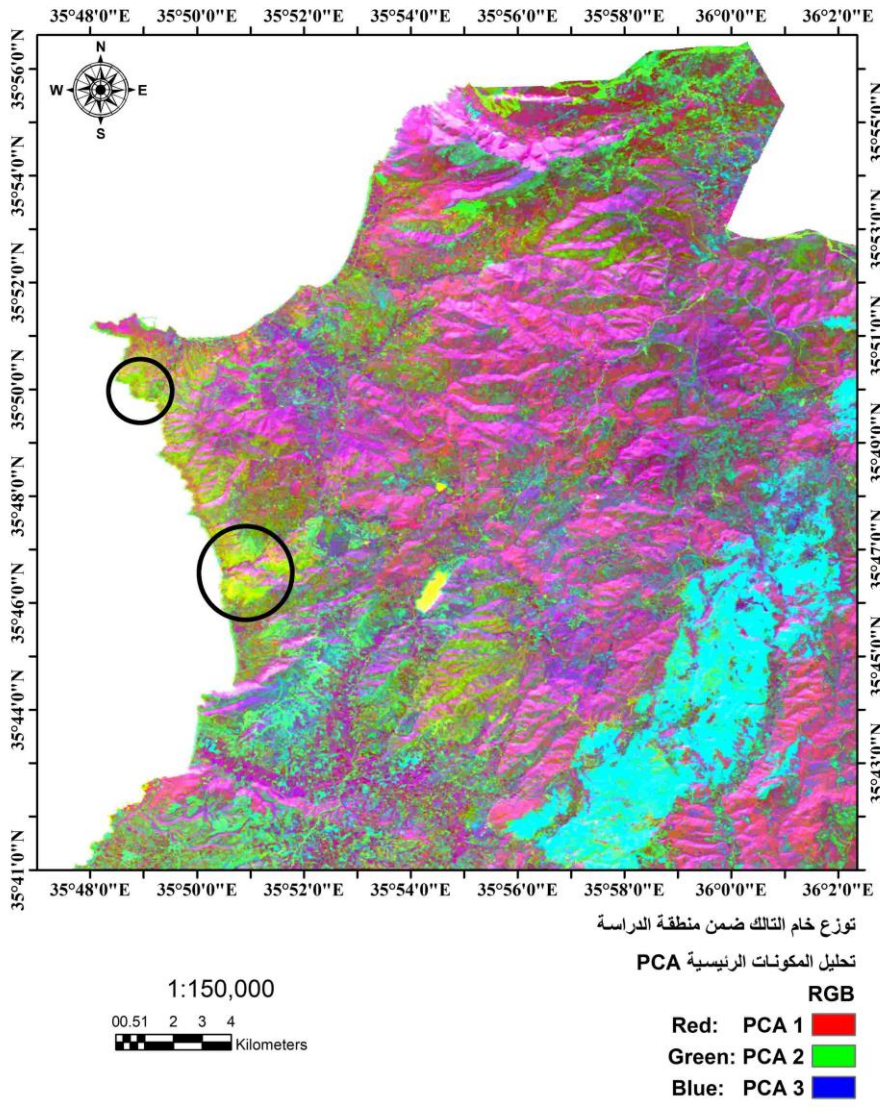


الشكل (12) توزيع الصخور الحاوية على خام التالك ضمن منطقة الدراسة بالاعتماد على تحليل نسب الحزم الطيفية (R=B2/B4, G=B4/B7, B=B6/B5).

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاييت) باستخدام
Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد

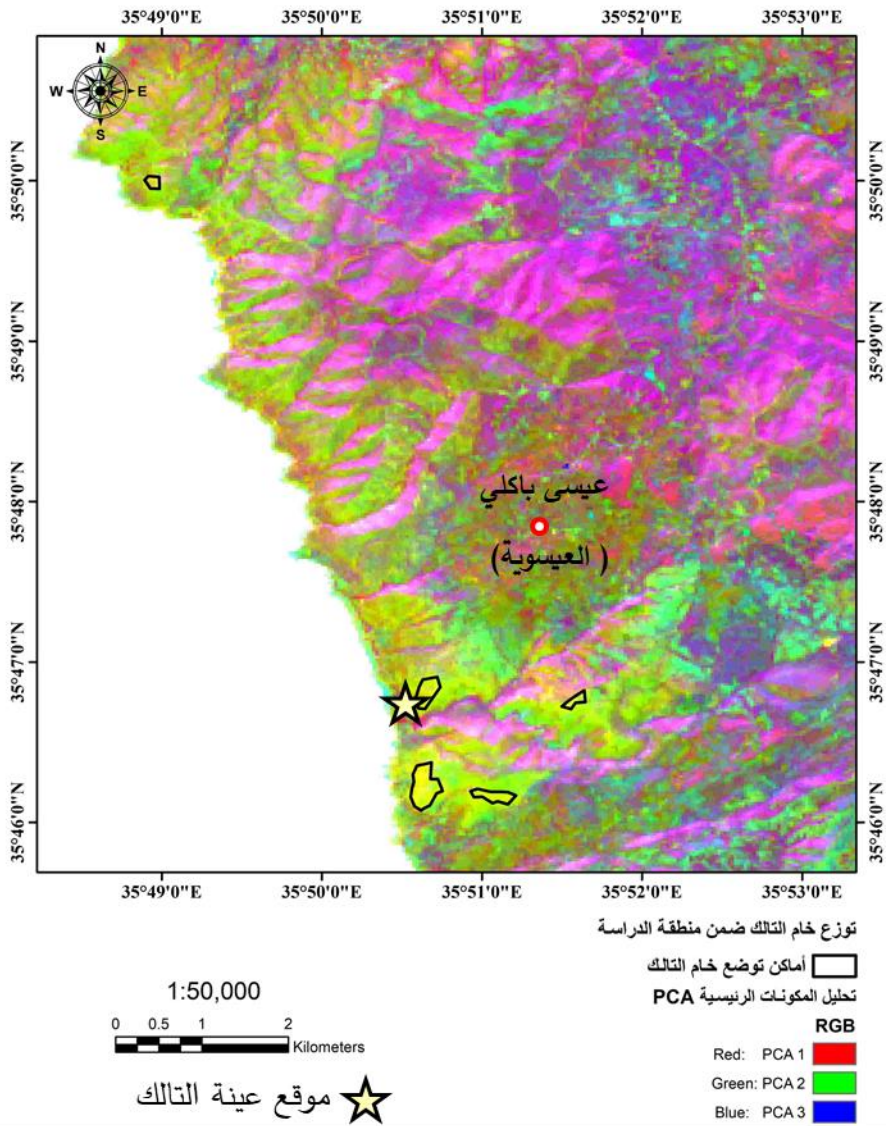


الشكل (13) خريطة تفصيلية لمساحة انتشار خام التالك ضمن منطقة الدراسة وفق
تحليل نسب الحزم الطيفية.



الشكل (14) توزيع الصخور الحاوية على خام التالك ضمن منطقة الدراسة اعتماداً على تحليل المركبات الرئيسية (PCA).

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملايكت) باستخدام
Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد



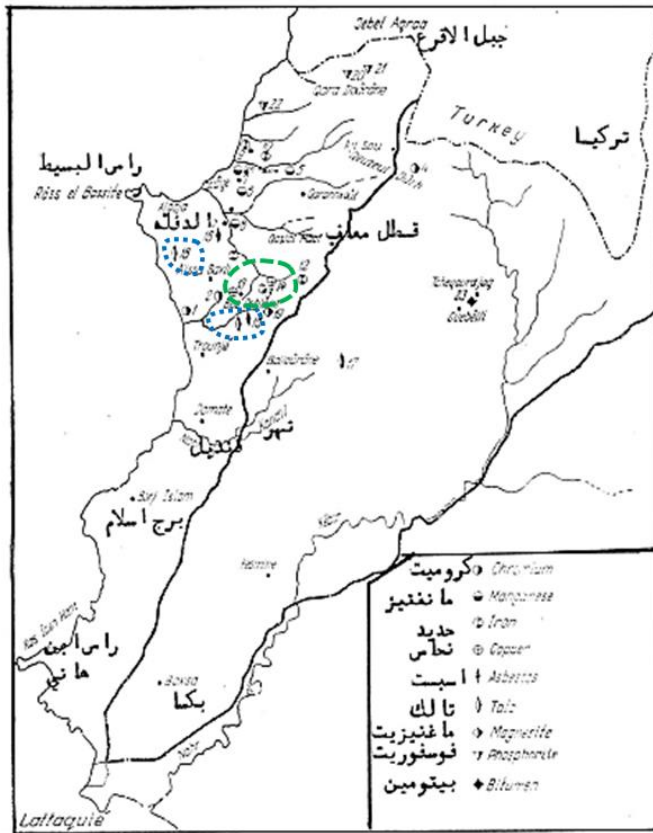
الشكل (15) خريطة تفصيلية لمساحة انتشار خام التالك ضمن منطقة الدراسة والنتيجة من تحليل (PCA).

تُظهر الأشكال (12،13،14،15) محدودية انتشار خام التالك، حيث يتركز على الطرف الغربي من رقعة البسيط وتعتبر هذه المنطقة طرف هامشي للكتلة الأفيوليتية ومناطق قص ودفع تشكلت أثناء عملية الاعتلاء حيث تؤدي شدة التثوية وتفتت الصخور إلى زيادة النفاذية مما يسمح بمرور السوائل الحارة الغنية بثاني أكسيد الكربون والسيليكا هذه السوائل تتفاعل مع الصخور فوق الأساسية ويتشكل السرينتينييت والتالك ولدى مقارنة الأشكال (12،13،14،15) مع الشكل (16) والذي يظهر التالك بخط أزرق منقط، قدرة الاستشعار في تحديد مواقع التالك بدقة أكبر وبانتشار أوسع لمواقع تواجدها، كما تتوافق هذه النتيجة مع المشاهدات الحقلية كما في الشكل (17) والتي تظهر جبهة تكشف الصخور السرينتينية الحاوية على خامات التالك في موقع العيسوية- أم الطيور، والتي تظهر بلون أبيض وبقساوة منخفضة وملمس ناعم حيث يتراوح امتداد المقطع حوالي 300 م وارتفاع حوالي 20م، وهو ذو اتجاه شرق-غرب وذلك عن الإحداثيات التالية:

N: 35° 46' 43"

E: 35° 50' 36"

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاكيت) باستخدام Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد



الشكل (16) خارطة لمنطقة البسيط تظهر أماكن وجود الخامات المعدنية واللامعدنية [23].



الشكل (17) جبهة تكشف الصخور السربنتينية الحاوية على خامات التالك في موقع العيسوية- أم الطيور.

• دراسة وتحليل خام الملاكيت:

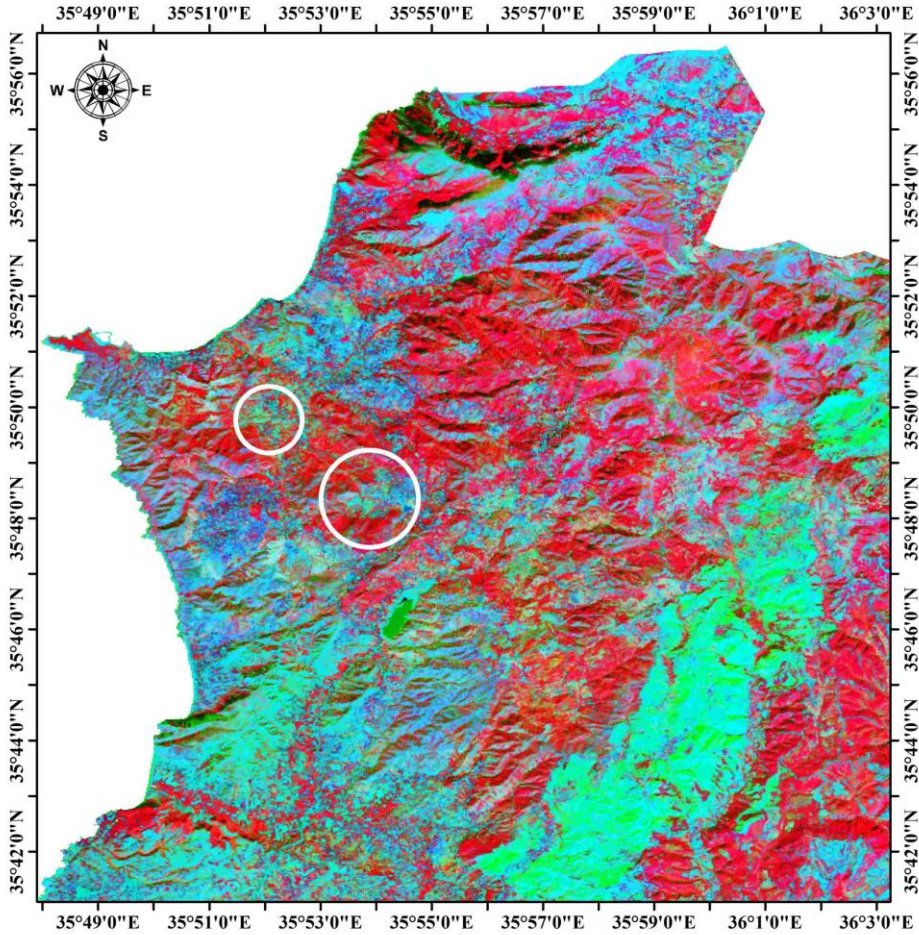
الملاكيت معدن كربونات نحاسي ثانوي $Cu_2CO_3(OH)_2$ يتشكل في المناطق السطحية المؤكسدة لرواسب النحاس الكبريتيدية، وينشأ من تحلل فلزات الكبريتيد الأولية بفعل الأكسدة، ويعد مؤشراً مهماً على نطاقات الأكسدة في البيئات التي يوجد فيها النحاس.

تم تمييز مناطق الأكسدة وتمعدنات النحاس وخاصة الملاكيت باستخدام تحليل نسب الحزم الطيفية (R=B4/B2, G=B6/B7, B=B6/B5) [21]، الذي ظهر بلون أخضر فاتح إلى تركواز في تحليل نسب الحزم الطيفية الشكلين (18،19)، مع صعوبة تمييزه بشكل دقيق. أما عند استخدام تحليل المركبات الرئيسية (PCA) ظهرت مواقع تمعدنات النحاس بشكل أوضح وباللون البنفسجي، كما هو مبين في الشكلين (20،21) مما سمح بتمييزه بشكل أدق.

تُظهر الأشكال (18،19،20،21) مناطق الأكسدة السطحية وتمعدنات النحاس في الطرف الغربي من رقعة البسيط، ومن خلال معايرة خارطة منطقة البسيط الحاوية على توضعات النحاس الشكل (4) مع نتائج الاستشعار عن بعد في الأشكال (18،19،20،21) تبين أن جميع مواقع التحول

الهيدروترمالي لتمعدنات النحاس الثانوية ظهرت في مناطق الحدود الفاصلة ما بين الصخور فوق الأساسية وصخور التشكيلة البركانية-الرسوبية، وفي مواقع تنتشر فيها الفوالق بشكل كبير، حيث تعمل كممرات تتحرك فيها المحاليل الهيدروترمالية التي تعيد تركيز النحاس الثانوي على السطح، وتعتبر هذه المواقع مؤشراً على وجود تمعدنات نحاسية أولية على شكل سولفيدات وعلى أعماق أكبر.

تمت مقارنة نتائج الاستشعار في الأشكال (18،19،20،21) مع خارطة توزع الخامات المعدنية واللامعدنية في الشكل (16) والتي تظهر بلون أخضر منقط، حيث تتطابق مواقع التمعدنات النحاسية مع وجود مؤشرات إضافية لعمليات تمعدن نحاسي ثانوي في مواقع أخرى ما يشير لمناطق أمل يمكن استثمارها مستقبلاً (ما بين قريتي قباطاش وسازاك بالقرب من قرية قره مصطفى) ضمن الجزء الغربي من رقعة البسيط.



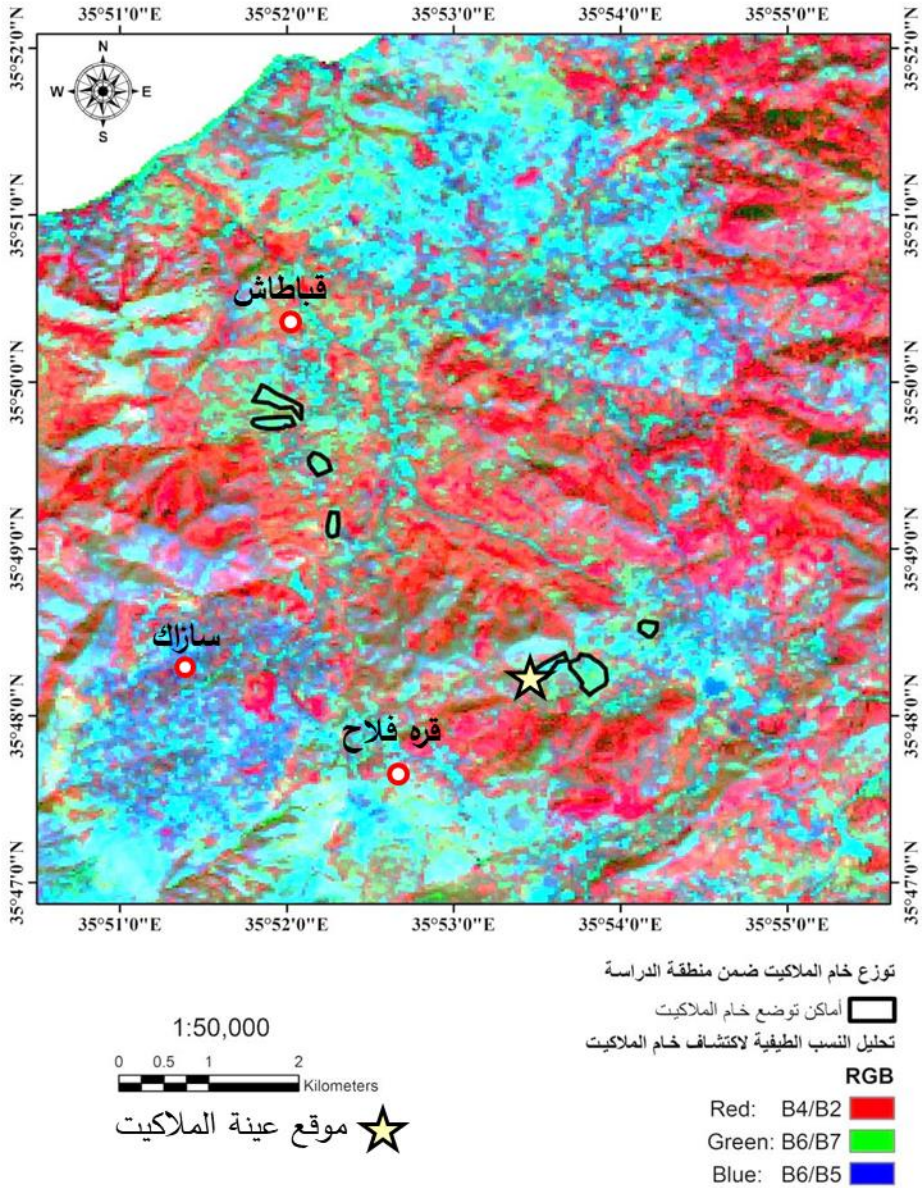
توزع خام الملاكيت ضمن منطقة الدراسة
تحليل النسب الطيفية لاكتشاف خام الملاكيت

1:150,000
00.51 2 3 4
Kilometers

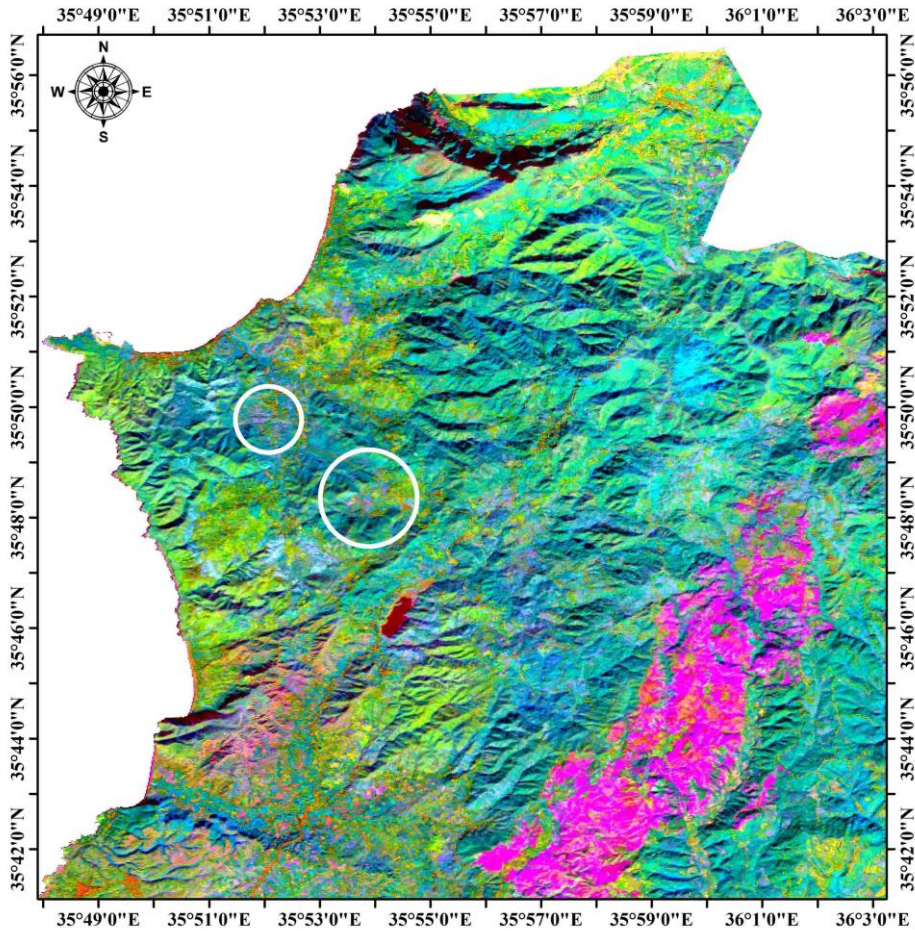
RGB
Red: B4/B2
Green: B6/B7
Blue: B6/B5

الشكل (18) توزع الصخور الحاوية على خام الملاكيت ضمن منطقة الدراسة بالاعتماد على تحليل نسب الحزم الطيفية (R=B4/B2, G=B6/B7, B=B6/B5).

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاكييت) باستخدام
Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد



الشكل (19) خريطة تفصيلية لمساحة انتشار خام الملاكييت ضمن منطقة الدراسة وفق تحليل
نسب الحزم الطيفية.



توزع خام الملايكة ضمن منطقة الدراسة

تحليل المكونات الرئيسية PCA

RGB

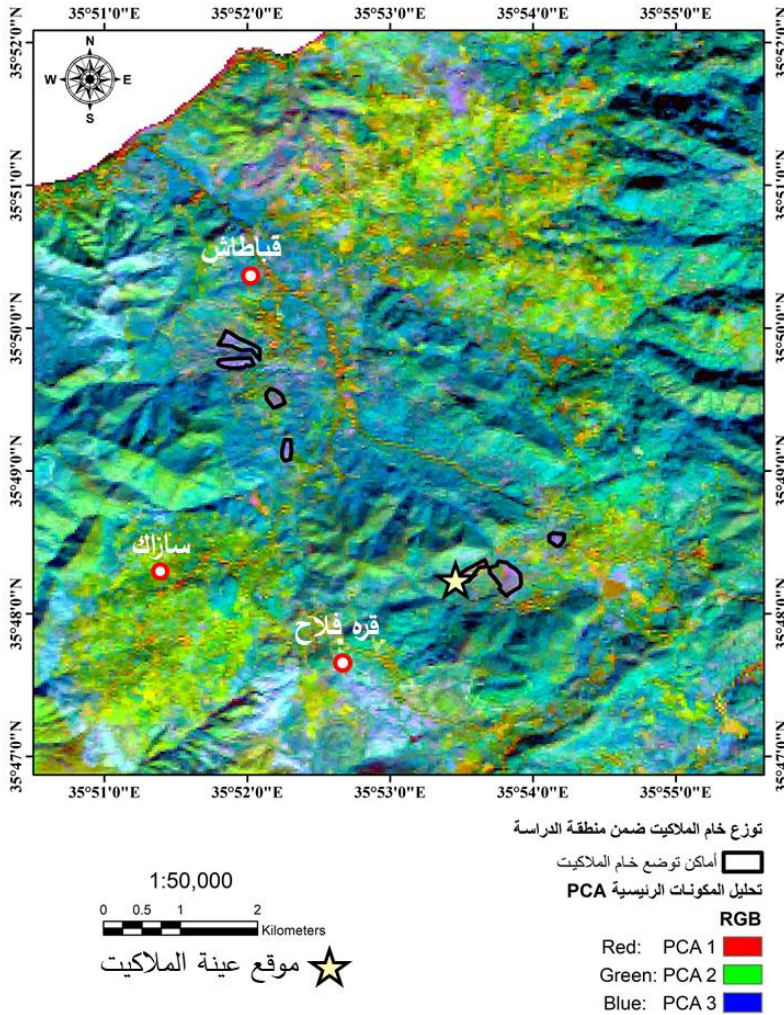
Red: PCA 1

Green: PCA 2

Blue: PCA 3

الشكل (20) توزع الصخور الحاوية على خام الملايكة ضمن منطقة الدراسة اعتماداً على تحليل المركبات الرئيسية (PCA).

دراسة الخامات المرافقة للمعدن الأفيوليتي في رقعة البسيط (الكروميت، التالك، الملاكيت) باستخدام
Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد



الشكل (21) خريطة تفصيلية لمساحة انتشار خام الملاكيت ضمن منطقة الدراسة والنتيجة من تحليل (PCA).

يظهر الشكل (22) المشاهدات الحقلية لصخور فوق أساسية حاوية على ترسبات النحاس الثانوية في موقع قره فلاح مما يدعم نتائج الاستشعار عن بعد وذلك عند الإحداثيات التالية:

N: 35° 48' 16" E: 35° 53' 48"

وتجدر الإشارة لوجود قبة حديدية مستثمرة سابقاً كان قد اختلط فيها الحديد بكبريت النحاس تم استثمارها قرب قره فلاح [23].



الشكل (22) صور للملاكيث (ترسبات نحاسية ثانوية مؤكسدة) في موقع قره فلاح.

وبالنتيجة، وضعت خارطة توزع الخامات (الكروميت والتالك والملاكيث) ضمن رقعة البسيط الشكل (23) من خلال تطبيق نتائج التصنيف المراقب لتحليلات بيانات (Landsat 8 OLI) مضافاً عليها أسماء المواقع والقرى. والتي تظهر توافقاً كبيراً مع خارطة توزع الخامات الموضوعية من قبل

الاستنتاجات والتوصيات:

في نهاية هذا البحث الذي تم فيه الحصول على بيانات حزم القمر الصناعي (Landsat 8 OLI) وتصحيحها، وإجراء تحليلات نسب الحزم الطيفية وتحليل المركبات الرئيسية والتصنيف المراقب ضمن رقعة البسيط توصل البحث إلى النتائج الآتية:

1- أكدت نتائج تحليلات بيانات حزم القمر الصناعي (Landsat 8 OLI) باستخدام تحليل نسب الحزم الطيفية ($R=B6/B7$, $G=B6/B4$, $B=B7/B6$) وتقنيات التصنيف المراقب (MLC) قدرة عالية على فصل الوحدات الصخرية الأفيوليتية عن الصخور المحيطة في رقعة البسيط، وإنتاج خارطة جيولوجية رقمية تُظهر حدود الوحدات بدقة عالية.

2- بيّنت نتائج تحليل الحزم الطيفية (Band Ratio) وتحليل المركبات الرئيسية (PCA) كفاءة عالية في الكشف عن خامات الكروميت (موقع العيسوية) والتالك (العيسوية- أم الطيور) والملاكيث (قره فلاح، وجنوب قباطاش قرب قره مصطفى) وتبين أنها تتركز في الجزء الغربي من رقعة البسيط.

3- أظهرت نتائج التحليل موثوقية وكفاءة استخدام بيانات حزم القمر الصناعي (Landsat 8 OLI) وتقنيات الاستشعار عن بعد في الكشف عن الخامات المعدنية ضمن صخور المعقد الأفيوليتي في منطقة الدراسة، وذلك بعد المقارنة بين نتائج الرقمية المستخرجة من تحليلات الاستشعار عن بعد وكل من الخارطة الجيولوجية وخارطتي توزيع الخامات والمشاهدات الحقلية.

يوصي البحث:

دراسة خامات المنغنيز والحديد والأسبستوس وبقية الخامات المرافقة للصخور الأفيوليتية بنفس المنهجية باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد، من أجل وضع تصور متكامل لتأثير حركة الأفيوليت على توزيع الخامات المرافقة، وإجراء دراسات جيوفيزيائية ومسح جيولوجي على مقياس كبير لتحديد مواقع الانتشار لهذه الخامات.

المراجع References

- [1] MORRIS, A; ANDERSON, M 2002 Palaeomagnetic results from the Baer Bassit ophiolite of northern Syria and their implication for fold tests in sheeted dyke terrains, **Physics and Chemistry of the Earth**, Vol. 27(0), 1215-1222.
- [2] BLOME, D; IRWIN, R 1985 Equivalent radiolarian ages from ophiolite terrains of Cyprus and Oman, **Geology**, Vol. 13(6), 401-404.
- [3] DELAUNE MAYÈRE, M 1983 Polarites géochimiques et paleogographie des series volcano-sédimentaires pelitiques du NW-Syrien au cretace basal, **Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Géologique**, Vol. 13.
- [4] DELAUNE MAYÈRE, M 1984 Evolution of a Mesozoic passive continental margin: Baer Bassit (NW Syria), **Geological Society, London, Special Publications**, Vol. 17(1), 151-159.
- [5] DELAUNE MAYÈRE, M; PARROT, F 1976 Évolution du Mésozoïque de la marge continentale méridionale du bassin téthysien oriental d'après l'étude des séries sédimentaires de la région ophiolitique du nord ouest syrien, **Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Géologique**, Vol. 8, 173-184.
- [6] DELAUNE MAYÈRE, M; SAINT MARC, P 1980 Données stratigraphiques nouvelles sur les sédiments océaniques mésozoïques associés aux nappes ophiolitiques du Baër-Bassit (N.W. Syrien). **Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Géologique**, Vol. 11(2), 151-164.
- [7] MOUSTAFA, M 2006 Geological and Petrographical Study of Volcanogenic Sedimentary Formation in Qastal Maaf/Al-Bassit, **Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies-Basic Sciences Series**, Vol. 28(1), 83-103.
- [8] MOUSTAFA, M 2010 Geochemical Characteristics of Gabbro-Diabase Rocks from Al-Bassit Ophiolite /NW SYRIA, **Yarmouk University Publications**, Vol. 19(2), 1-28.
- [9] MOUSTAFA, M 2008 New Data on Sheet Dykes in Al-Bassit Ophiolite (NW of SYRIA), **Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies-Basic Sciences Series**, Vol. 30(4), 88-106.

- [10] MOUSTAFA, M 2002 Study of the main types of pillow-lava Rocks/Bassit area/Syria, **Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies-Basic Sciences Series**, Vol. 24, 171-188.
- [11] PARROT, F 1977 Assamblage ophiolitique du Baer-Bassit et terms effusifs du volcano-sedimentairre travaux, **et documents de. L O. R. S. T. O. M.**, Vol. 72, 333-350.
- [12] ROBERTSON, A; XENOPNONTOS, C 1993 Development of Concepts Concerning the Troodos Ophiolite and adjacent units in Cyprus, **Geological Society Publication**, Vol. 76, 85-119.
- [13] ROBERTSON, A; WOODCOCK, N 1981 Godene zone, Antalya complex: volcanism and sedimentation along amesozoic continental margin, SW Turkey, **Geology rundschan**, Vol. 70, 177-211.
- [14] MOUSTAFA, M 2008 Chromet and Manganese Ores in AL-Bassit Area/NW – Syria, **Yarmouk University Publications**, Vol. 17(1), 1-18.
- [15] LABDAOUI, B; BENALI, H; BOUGHACHA, A; MOUSSAOUI, K 2023 Mapping Hydrothermal Alterations and Linements Associated with Epithermal and Massive Sulphides Deposits of Tifraouine (Northwest Algerian Coast): Use of Landsat 8 OLI Data and Remote sensing, **Revista de la Sociedad Geológica de España**, Vol. 36(1), 3-15.
- [16] TAMILARASAN, K; Anbazhagan, S; Ranjithkumar, S 2023 Rock type discrimination using Landsat-8 OLI satellite data in mafic-ultramafic terrain, **Geology, Geophysics & Environment**, Vol. 49(3), 281-298.
- [17] ABDELAZIZ, R; ABD EL-RAHMAN, Y; WILHELM, S 2018 Landsat-8 data for chromite prospecting in the Logar Massif, Afghanistan, **Heliyon**, Vol. 4(e00524), 1-18.
- [18] HAJI MUHAMMAD, B; RAHMANI, N; MOHABBAT, M; ISLAM, I; AHMAD, I; PING, W 2025 Integration of remote sensing and geochemical analysis of chromite bodies in the Logar Ophiolitic Complex, Southeast Afghanistan, **Kuwait Journal of Science**, Vol. 52(3), 1-7.
- [19] LASHEEN, E; MOHAMED, W; ELYASEER, M; RASHWAN, M; AZER, M 2023 Geochemical and remote sensing integrated with satellite gravity data of Darhib and Atshan talc deposits, South Eastern Desert, Egypt, **Springer Nature Scientific Reports**, Vol. 13(9108), 1-17.
- [20] FOTZE, Q; LORDON, A; PENAYE, J; SEP, J; FRU, M 2019 Mapping Hydrothermal Alteration Targets from Landsat 8 OLI/TIRS and Magnetic Data Using Digital Image Processing Techniques in Garoua,

North Cameroon, **Journal of Geosciences and Geomatics**, Vol. 7(1), 28-41.

[21] SABINS, F 1999 Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, Vol. 14, 157-183.

[22] HOWARI, F; GHREFAT, H; NAZZAL, Y; GALMED, M; ABDELGHANY, O; FOWLER, A; SHARMA, M; ALAYDAROOS, F; XAVIER, C 2020 Delineation of Copper Mineralization Zones at Wadi Ham, Northern Oman Mountains, United Arab Emirates Using Multispectral Landsat 8 (OLI) Data, **Frontiers in Earth Science**, Vol. 8, 1-15.

[23] KAZMIN, G; KULAKOV, V 1968 The Geological map of Syria. Scale 1: 50000, Explanatory notes. USSR.

[24] PONIKAROV, P.; SHASKY, N; KAZMIN, G; KULAKOVE, V 1967 The geology of Syria. Explanatory Notes on the geological map of Syria. Scale 1/1000000. Syrian Arab Republic. Ministry of industry, Dept. Geol. Miner.

[25] POUR, A; PARK, T; PARK, Y; HONG, J; MUSLIM, A; LÄUFER, A; PRADHAN, B; ZOHEIR, B; RAHMANI, O; HASHIM, M; HOSSAIN, M 2019 Landsat-8, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, and WorldView-3 Multispectral Satellite Imagery for Prospecting Copper-Gold Mineralization in the Northeastern Inglefield Mobile Belt (IMB), Northwest Greenland, **Remote Sensing**, Vol. 11, 1-39.

[26] Shokry, M; Sadek, M; Osman, A; El Kalioubi; B 2019 Precambrian basement rocks of Wadi-Khuda-Shut area, South Eastern Desert of Egypt: Geology and remote sensing analysis, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*

الفعالية التثبيطية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية (*Salvia officinalis*) ضد بعض الجراثيم الممرضة المعزولة من برغر الدجاج

سيرين المحمد (1)

د. سمير حمود (2)

د. بسام العقلة (3)

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الفعالية المضادة للجراثيم للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية (*Salvia officinalis*) ضد سلالات جرثومية ممرضة معزولة من برغر الدجاج. تم عزل وتشخيص أربع سلالات جرثومية: *Staphylococcus aureus*، *Salmonella typhi*، *Enterobacter cloacae*، و *Proteus mirabilis* باستخدام أوساط انتقائية واختبارات بيوكيميائية.

تم تحضير المستخلص الكحولي (99.9% إيثانول) بطريقة النقع، وتم اختبار فعاليته باستخدام طريقة انتشار الحفر في آغار مولر هينتون بأربعة تراكيز (0.5، 1، 2، 4 ملغم/مل). أظهرت النتائج قدرة تثبيطية واضحة للمستخلص ضد جميع السلالات الجرثومية، وأعلى من المضاد الحيوي القياسي (جنتاميسين 10 ميكروغرام)، مع وجود علاقة طردية بين التركيز وقطر هالة التثبيط.

كما بينت نتائج اختبارات الكشف الكيفي عن وجود مركبات فينولية وفلافونويدات وتانينات. تؤكد هذه النتائج الإمكانات العلاجية للمستخلص الكحولي للميرمية، مما يجعله مرشحاً واعداً للاستخدام كمادة حافظة طبيعية في منتجات اللحوم كمضاد ميكروبي في التطبيقات الصيدلانية.

الكلمات المفتاحية: المستخلص الكحولي للميرمية، فلافونيدات، تانينات، برغر الدجاج، مواد حافظة طبيعية

مضاد جرثومي، قدرة تثبيطية.

(1) طالبة دراسات عليا - ماجستير قسم علم الحياة - جامعة حمص

(2) أستاذ في ميكروبيولوجيا أحياء مجهرية- قسم علم الحياة - كلية العلوم - جامعة حمص.

(3). باحث في قسم التقانات الغذائية والصناعية - الهيئة العامة للتقانة الحيوية - جامعة دمشق.

The inhibitory activity of the alcoholic extract of *Salvia officinalis* against some pathogenic bacteria isolated from chicken burgers

Abstract

This study aimed to evaluate the antibacterial efficacy of the alcoholic extract of sage *Salvia officinalis* against pathogenic bacterial strains isolated from chicken burgers. Four bacterial strains *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Enterobacter cloacae*, and *Proteus mirabilis* were isolated and identified using selective media and biochemical tests.

The alcoholic extract (99.9% ethanol) was prepared using the maceration method, and its efficacy was tested using the agar well diffusion method on Mueller Hinton agar at four concentrations (0.5, 1, 2, 4 mg/ml). The results revealed a significant inhibitory capacity of the extract against all bacterial strains, which was higher than that of the standard antibiotic (Gentamicin 10 µg). A direct proportional relationship was observed between the concentration and the diameter of the inhibition zone.

Furthermore, the results of qualitative phytochemical screening tests confirmed the presence of phenolic compounds, flavonoids, and tannins.

These findings confirm the therapeutic potential of the alcoholic sage extract, positioning it as a promising candidate for use as a natural preservative in meat products and as an antimicrobial agent in pharmaceutical applications.

Keywords: Alcoholic sage extract, Flavonoids, Tannins, Chicken burger, Natural preservatives, Antimicrobial, Inhibitory activity

1-المقدمة:

تُعد الميرمية (*Salvia officinalis L.*) من أكثر النباتات الطبية استخداماً في الطب الشعبي ، لا سيما في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط والشرق الأوسط، وتنتمي إلى فصيلة *Lamiaceae*، التي تضم أكثر من 900 نوعاً حول العالم [1]. وهي نبتة شجرية معمرة دائمة الخضرة، ذات ساق خشبية قائمة تتفرع عند القاعدة، أوراقها خضراء رمادية ذات ملمس صوفي مغطاة بأوبار دقيقة الشكل (1)، تُطلق رائحة عطرية مميزة عند الفك، فيما تتدرج أزهارها بين اللون البنفسجي والأزرق، وتزدهر في المناطق الدافئة ذات التربة جيدة الصرف [2,3]. تعد الأوراق، الجزء الأكثر استخداماً في التطبيقات الطبية والغذائية نظراً لاحتوائه على عدد كبير من المركبات الفعالة حيويًا مثل: التوجون، الكافور، السينول، حمض الكارنوسيك، حمض الروزمارينيك، والعديد من الفينولات [4,5] ،

التي تستخدم كمضادات للجراثيم، والفطريات، والالتهاب، ومضادات للأكسدة [6,7] . أكد (Raho B et al 2016) فعالية المستخلصات المائية والكحولية للميرمية، خاصة الكحولية ضد سلالات بكتيرية ممرضة، إضافةً إلى بعض أنواع الخمائر، مما يدعم إمكانية استخدامه كمادة مضادة للجراثيم أو كحافطة طبيعية في الأغذية [8,9] . كما أشارت دراسات أخرى إلى أن بعض مركبات الميرمية قد تمتلك خصائص مضادة للأورام عن طريق تحفيز الاستماتة الخلوية في بعض خطوط الخلايا السرطانية [10] . تتأثر فعالية المستخلصات النباتية بعدة عوامل، من أبرزها: نوع المذيب المستخدم، وطريقة الاستخلاص، والمنتشأ الجغرافي للنبات، وتركيزه، ونوع الكائنات الدقيقة المستهدفة [11,12] .

الفعالية التثبيطية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية (*Salvia officinalis*) ضد بعض الجراثيم الممرضة
المعزولة من برغر الدجاج

تلعب سلامة الأغذية دوراً حاسماً في الوقاية من الأمراض المنقولة عبر الغذاء، حيث تعد الجراثيم الممرضة أحد أهم مسببات التلوث الغذائي مما يستدعي البحث عن حلول طبيعية فعالة لمكافحتها وانطلاقاً من ذلك، تهدف هذه الدراسة التطبيقية إلى تقييم الفعالية التثبيطية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية على أنواع من الجراثيم التي تم عزلها من منتج غذائي شائع، وهو برغر الدجاج الجاهز للاستهلاك، وقد تم إجراء الفحوصات باستخدام طريقة الحفر في وسط الأغار Well Diffusion Method لتقييم قدرة المستخلص على تثبيط نمو الجراثيم، مع تحليل النتائج ومقارنتها بما ورد في الدراسات السابقة لتحديد مدى كفاءته كمضاد ميكروبي طبيعي وفعال.



الشكل(1) يوضح المجموع الخضري لنبات الميرمية
تصنيف النبات: تم تصنيف النبات وفق [1]:

التصنيف	التسمية العلمية
المملكة	النباتات <i>Plantae</i>

الشعبة	مغلفاة البذور <i>Magnoliophyta</i>
الصف	ثنائيات الفلقة <i>Magnoliopsida</i>
الرتبة	الشفويات <i>Lamiales</i>
الفصيلة	الفصيلة الشفوية <i>Lamiaceae</i>
الجنس	الميرمية <i>Salvia</i>
النوع	<i>Salvia officinalis L.</i> الميرمية الطبية

1- أهمية البحث وأهدافه:

في ظل التزايد المستمر لمشكلة مقاومة البكتيريا للمضادات الحيوية التقليدية، برزت الحاجة إلى إيجاد بدائل طبيعية فعالة، تمتاز بسلامتها الحيوية وتوفرها، ويمكن استخدامها في المجالات الغذائية والصيدلانية على حد سواء. ويُعد التلوث البكتيري في الأغذية الجاهزة، لا سيما للحوم المصنعة مثل برغر الدجاج، من المشكلات الشائعة التي تهدد الصحة العامة، وتتطلب حلاً وقائية جديدة وأمنة.

وتأتي أهمية هذا البحث من كونه يُقِيم فعالية مستخلص نباتي معروف بخصائصه الطبية، وهو الميرمية *S. officinalis*، باستخدام مستخلصه الكحولي لمكافحة سلالات بكتيرية ممرضة تم عزلها من منتج غذائي فعلي متداول في الأسواق. كما أن استخدام طريقة الحفر في وسط الأغار يوفر وسيلة دقيقة لتقدير النشاط التثبيطي للمستخلص الطبيعي، ويسهم في بناء قاعدة معرفية حول جدوى استخدام نباتات طبية كمضادات ميكروبية بديلة، وانطلاقاً من هذه الأهمية هدف البحث إلى:

1- عزل وتشخيص أنواع الجراثيم الموجودة في برغر الدجاج الجاهز.

2- تقييم النشاط التثبيطي للمستخلص الكحولي ضد الجراثيم المعزولة باستخدام طريقة الحفر في وسط الآغار.

3-المواد وطرائق البحث:

3-1- الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث:

جهاز التعقيم الاوتوغلاف، غرفة الزرع، جهاز رجاج vortex، حاضنة، ميزان الكتروني حساس، أطباق بتري معقمة، عروة تلقيح، أنابيب اختبار وحوامل الأنابيب، أوراق ترشيش وثمان 0.1م، مطحنة كهربائية، ، براد.

3-2- المواد المستخدمة في البحث:

نبات الميرمية، كحول ايتلي %99.9 وسط آغار المغذي، ومولر هنتون آغار.

3-3-1- تحضير المستخلص الكحولي لنبات الميرمية:

تم تحضير المستخلص الكحولي لنبات الميرمية وفق الخطوات التالية:
أولاً تجهيز عينة النبات:

تم الحصول على نبات الميرمية *S.officinalis L.* المجفف من السوق المحلي في مدينة حمص سوريا تم تنقية النبات من الشوائب وطحنه إلى مسحوق ناعم باستخدام مطحنة كهربائية. ثانياً-إجراء عملية الاستخلاص: وضع 100غرام من مسحوق الأوراق النباتية وغمرت ب 500مل من الايتانول %99.9 في حوجلة سعة (1لتر) مغلقة بغلاف عاتم ومزودة بهزازة كهربائية (E1هزة/د) وتم الاستخلاص ضمن درجة حرارة المختبر 25°C لمدة 72ساعة ، ثم رشح المستخلص باستخدام أوراق ترشيش وكررت العملية 3 مرات للحصول على أكبر مردود من المستخلص، و طرد المذيب بالتبخير تحت التفريغ وتحت الضغط المخفف باستخدام المبخر الدوار بعد ضبط درجة الحرارة عند الدرجة 35م° ، فتم الحصول على مستخلص بشكل سائل كثيف لزج القوام لونه أخضر بوزن 1.9 غرام حسب المردود وفق:

المردود % = وزن الخلاصة الجافة بعد التبخر/ وزن مسحوق الأوراق الجافة × 100
وتحفظ في البراد بدرجة حرارة 4م° لحين دراسة الفعالية.

3-4 - عزل وتشخيص الجراثيم:

تم جمع عينات من برغر الدجاج الجاهز من الأسواق المحلية في مدينة حمص، ثم أجريت عليها عمليات العزل الميكروبي باستخدام أوساط انتقائية متخصصة لكل نوع جرثومي. حيث استُخدم وسط شابمان (Mannitol Salt Agar – MSA) لعزل *S. aureus* نظراً لاحتوائه على تركيز مرتفع من كلوريد الصوديوم الذي يثبط نمو معظم البكتيريا غير المتحملة للملح، بالإضافة إلى احتوائه على المانيتول الذي يسمح بالكشف عن قدرة العزلات على تخميره. أما لعزل *S. typhi* فقد استُخدم وسط (Xylose Lysine Deoxycholate) XLD agar، أيضاً. ووسط SSA Salmonella–Shigella Agar، ووسط Buffered Peptone Water BPW في حين استُخدم MacConkey agar لعزل كل من *E. cloacae* و *P. mirabilis* بناءً على قدرتها على تخمير اللاكتوز.

بعد نمو المستعمرات على الأوساط المذكورة، والحصول على مزارع نقية للسلاسل الجرثومية. دُرست الصفات المجهرية باستخدام صبغة غرام، ومن ثم أجريت اختبارات كيميائية حيوية معيارية (الكاتالاز، الأوكسيداز، وسلسلة IMViC...) لتشخيص الأنواع، وفقاً للمعايير المعتمدة في المختبر [13,14].

أما بالنسبة للمكورات العنقودية الذهبية فقد تم إجراء اختبارات المختراز Coagulase test، تخمير سكر المانتول، سيمون سيترات، السكريات الثلاثية، الأوكسيداز، و الكاتالاز. وقد تم اختيار أربع عزلات جرثومية ملوثة لبرغر الدجاج تكررت في العينات المدروسة، وهي: *P. mirabilis*، *S. aureus*، *E. cloacae*، و *S. typhi*.

3-5 - الكشف الكيفي عن بعض المركبات الفعالة في المستخلص الكحولي لنبات الميرمية:

1. **الكشف عن الفينولات:** أخذ في أنبوب اختبار جزء صغير من المستخلص النباتي وحل

بـ 5 مل إيتانول، ثم أضيف 3-4 قطرات من محلول كلوريد الحديد الثلاثي ($FeCl_3$).

تُستخدم هذه الطريقة للكشف النوعي عن المركبات الفينولية نظراً لتفاعلها مع أيونات

الحديد وتكوين مركبات ملونة [15].

2. **الكشف عن القلويدات:** استُخدمت مجموعة من الكواشف التقليدية لتحديد وجود القلويدات، شملت: **كاشف ماير، دراغندورف، فاغتر، وحمض المرّ**. أُضيف كل كاشف إلى كمية مناسبة من المستخلص الكحولي في أنابيب منفصلة. تعتمد هذه الكواشف على تكوين رواسب مميزة في حال وجود قلويدات [16].
3. **الكشف عن التانينات (Tannins):** تم الكشف عن التانينات بإضافة محلول خلات الرصاص (**Lead acetate**) إلى المستخلص الكحولي. تُعد هذه الطريقة فعالة في التفاعل مع التانينات لتكوين مركب راسبي مميز يمكن ملاحظته بصرياً [15].
4. **الكشف عن الزمر المرجعة (اختبار فهلنغ):** تم تحضير كميات متساوية من محلولي **فهلنغ A** (كبريتات النحاس) و**فهلنغ B** (طرطرات الصوديوم والبيوتاسيوم مع هيدروكسيد الصوديوم)، ثم مزجهما وإضافة المستخلص الكحولي. تُستخدم هذه الطريقة للكشف عن وجود سكريات مرجعة أو مركبات تحتوي على زمر ألدهيد [15].
5. **الكشف عن الفلافونويدات (اختبار شينودا):** استخدم اختبار شينودا (Shinoda Test) للكشف عن الفلافونويدات، حيث أُضيف مسحوق المغنيزيوم إلى المستخلص، وحمض الهيدروكلوريك المركز (HCl) والكحول الإيثيلي، ثم سُخن المزيج بلطف في حمام مائي. يُظهر هذا الاختبار تفاعلاً لونياً مميزاً في حال وجود فلافونويدات [17].

3-6-دراسة الفعالية الحيوية للمستخلص الكحولي:

دُرست الفعالية الحيوية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية باستخدام طريقة الحفر في وسط الآغار (Well Diffusion Method) ، وهي طريقة قياسية واسعة الاستخدام لتحديد النشاط التثبيطي للمستخلصات النباتية ضد الكائنات الدقيقة [20] وفق الخطوات التالية:

1. حُضِر وسط **Mueller-Hinton agar**، وصب في أطباق بتري معقمة، وثرُك حتى تصلب.

2. حُضِر معلق جرثومي لكل عذلة باستخدام محلول ملحي معقم، وعُدّت العكارة بصرياً لتطابق معيار 0.5ماكفارلاند ما يعادل تقريباً 1.5×10^8 (CFU/ml) [22].
3. أُضيف 100ميكرو لتر من المعلق السابق إلى كل طبق، ووَزِع بالتساوي على سطح الوسط باستخدام مساحة معقمة.
4. أُحدثت أربع حفر (بقطر 6 مم) في كل طبق باستخدام مثقاب معقم، ثم وُضِع في كل منها 100ميكرو لتر من المستخلص الكحولي لنبات الميرمية بتركيزات مختلفة، واستُخدم قرص الجنتاميسين (10ميكروغرام/قرص) كشاهد إيجابي لقياس فعالية المضاد الحيوي، و DMSO كمذيب وشاهد سلبي [23].
5. حُضِنَت الأطباق عند درجة حرارة 37م° لمدة 24 ساعة داخل حاضنة، وبعدها تم قياس أقطار الهالات التثبيطية بالمليمتر باستخدام مسطرة دقيقة [24]. كررت التجربة ثلاث مرات، وسُجِل المتوسط \pm الانحراف المعياري لتحليل النتائج لاحقاً.

4-النتائج والمناقشة:

4-1- مردود المستخلص الكحولي :

كان وزن الخلاصة بعد التجفيف 4.75 غرام وحسبت نسبة المردود للمستخلص الكحولي وكانت 4.75%

4-2: نتائج الكشف الكيفي عن المركبات الفعالة في المستخلص الكحولي:

1. الفينولات: أظهر تفاعل المستخلص الكحولي مع كلوريد الحديد الثلاثي ($FeCl_3$) تغيراً لونياً واضحاً إلى الأسود المزرق، مما يدل على وجود مركبات فينولية في المستخلص. الشكل (2)
- وقد توافق ذلك مع نتائج دراسة [18]، التي أثبتت غنى *S. officinalis* بالمركبات الفينولية ذات النشاط المضاد للاكسدة.
2. القلويدات: لم تُسجَل أي استجابة لونية أو ترسيب عند استخدام كواشف القلويدات (ماير، دراغندورف، فاغر، حمض المر)، مما يشير إلى غياب القلويدات أو وجودها بتركيز منخفض. الشكل (3)

وهذا ما أكدته دراسة [19] التي لم تجد قلويدات بكميات معتبرة في المستخلص الكحولي لأوراق الميرمية.

3. **التانينات:** أدى استخدام كاشف خلات الرصاص إلى تكوّن هلام أبيض واضح، وهو ما يُعد مؤشراً إيجابياً على وجود التانينات. الشكل (4)، تؤكد هذه النتيجة ما توصلت إليه دراسة [20] والتي أشارت إلى احتواء *S. officinalis* على نسبة جيدة من التانينات ضمن مكوناتها الثانوية.

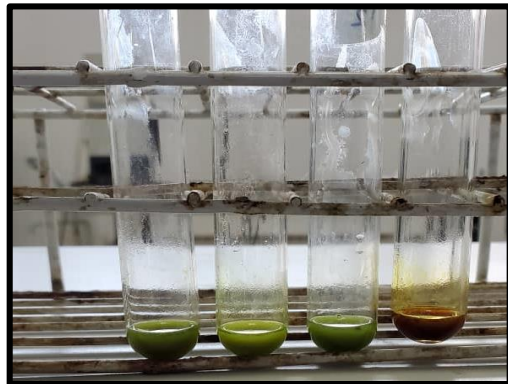
4. **الزمر المرجعة (اختبار فهلنغ):** أعطى تفاعل فهلنغ نتيجة إيجابية بتكوّن راسب أحمر آجري، الشكل (5) مما يدل على وجود سكريات مرجعة أو مركبات ذات زمر مختزلة في المستخلص. وقد أشار [15] إلى أن العديد من النباتات العطرية تحتوي على سكريات بسيطة تظهر بوضوح في اختبار فهلنغ، بما في ذلك نبات الميرمية.

5. **الفلافونويدات (اختبار شينودا):** أظهرت العينة استجابة لونية ضعيفة وغير واضحة عند تطبيق اختبار شينودا، ما يدل على غياب واضح للفلافونويدات أو وجودها بتركيز منخفض. الشكل (6)

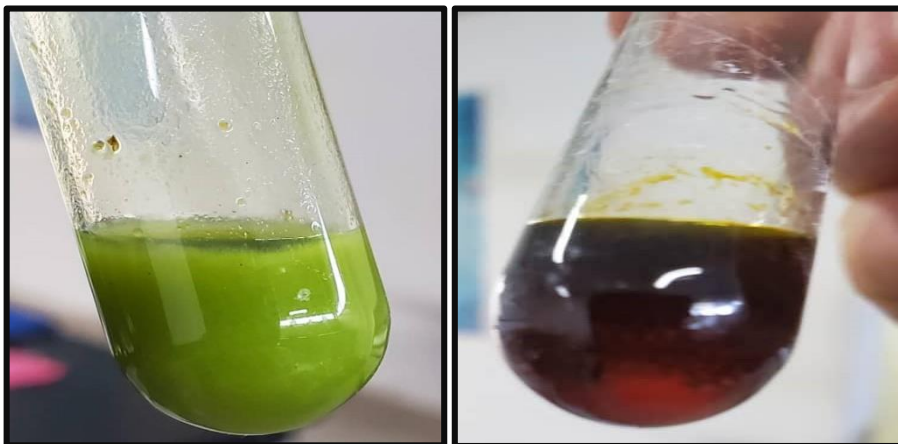
وقد لوحظت نتائج مماثلة في دراسة [21] والتي أظهرت وجود الفلافونويدات في المستخلص المائي بتركيز أعلى منه في المستخلص الكحولي.



الشكل (3) اختبار القلويدات

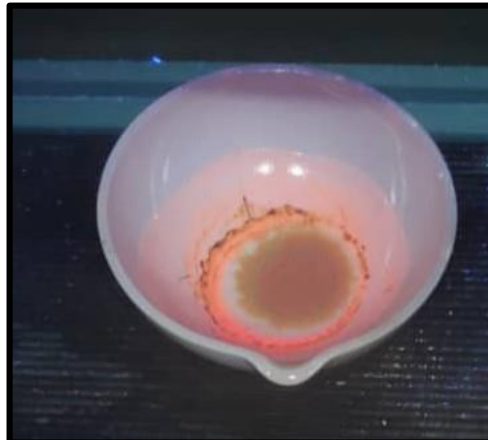


الشكل (2) اختبار الفينولات



الشكل (5) اختبار الزمر المرجعة

الشكل (4) اختبار التانينات



الشكل (6) اختبار شينودا تلون وردي خفيف

3-4: نتائج الفحص المجهرى:

- تم إجراء الفحص المجهرى للعزلات الجرثومية باستخدام صبغة غرام، وقد أظهرت الأنواع
اختلافاً في تفاعلها وشكلها وترتيبها الخلوي. يُلخص الجدول (2) النتائج التفصيلية للفحص
المجهرى

الجدول (2) نتائج الفحص المجهرى

الشكل المجهرى	شكل الخلية	استجابة صبغة غرام	الجرثومة
عناقيد	كروية Cocci	موجبة الغرام	<i>S. aureus</i>
منفردة أو مزدوجة	عصوية Bacilli	سالبة الغرام	<i>E. cloacae</i>
غير منتظمة	عصوية مستقيمة	سالبة الغرام	<i>S. typhi</i>
متحركة - بدون ترتيب محدد	عصوية	سالبة الغرام	<i>P. mirabilis</i>

4-4- نتائج الاختبارات الكيميائية الحيوية التي أجريت للتأكد من تشخيص العزلات
الجرثومية

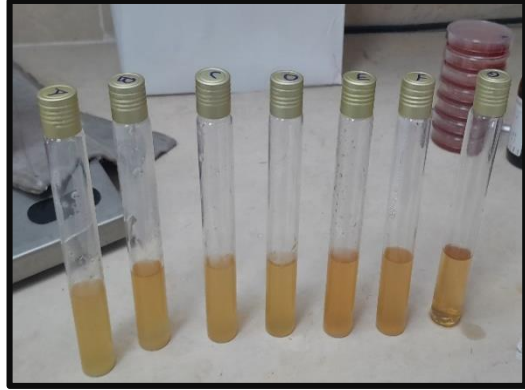
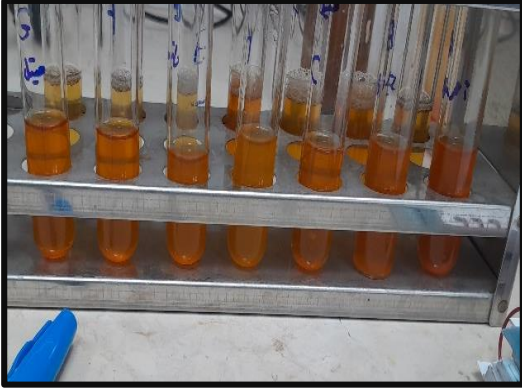
الجدول (3) بين نتائج الاختبارات الكيما حيوية لتشخيص الجراثيم *P.mirabilis* ،*S.typhi* ،*E.cloacae*

الكاتالاز	الأكسيداز	سيمون سترات	فوكس بروسكاور	أحمر الميتيل	الأندول	الجراثمة الاختبار
+	-	+	-	+	-	<i>S. typhi</i>
+	-	+	-	+	-	<i>P. mirabilis</i>
+	-	+	+	-	-	<i>E. cloacae</i>

الجدول (4) الاختبارات الكيماحيوية لتشخيص *S. aureus*:

المختراز في الأنبوب	المختراز على الصفيحة	الذناز Dnase	الأكسيداز	الكاتالاز	تخمير سكر المانتول	سيمون سترات	الاختبار
+	+	+	-	+	+	+	النتيجة

الفعالية التثبيطية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية (*Salvia officinalis*) ضد بعض الجراثيم الممرضة
المعزولة من برغر الدجاج

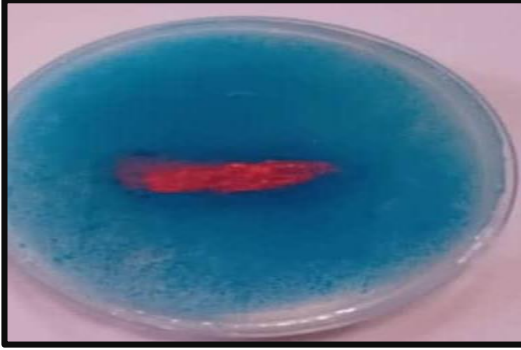


الشكل (8) اختبار أحمر المتيل للجراثيم

الشكل (7) اختبار الاندول للجراثيم المختبرة
المختبرة



الشكل (9) اختبار سيمون سترات للجراثيم المختبرة



الشكل (11) اختبار الدناز لتشخيص *S.*

الشكل (10) اختبار المختراز في الانبوب

aureus

لتشخيص *S. aureus*

4-5: نتائج الفعالية الحيوية للخلاصة الكحولية لنبات الميرمية:

ظهرت نتائج الدراسة أن المستخلص الكحولي لنبات *Salvia officinalis* يمتلك نشاطاً تثبيطياً ملحوظاً ضد جميع العزلات الجرثومية المختبرة، شملت *Staphylococcus aureus*، *Enterobacter cloacae*، *Salmonella typhi* و *Proteus mirabilis*. وقد لوحظ ازدياد تدريجي في أقطار الهالة التثبيطية مع ارتفاع التركيز، حيث بلغ متوسط القطر عند أعلى تركيز (4 ملغم/مل) ما بين 39-40 مم، متجاوزاً بذلك الشاهد الإيجابي (قرص جنتاميسين 10 ميكروغرام)، الذي تراوحت أقطاره بين 21 و32 مم بحسب نوع البكتيريا.

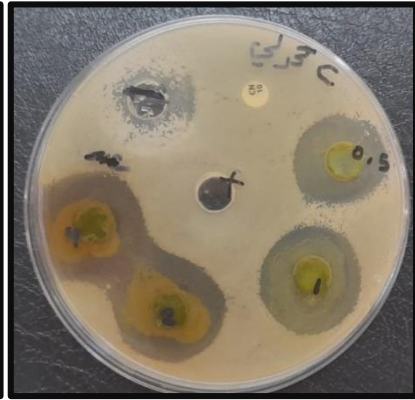
الفعالية التثبيطية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية (*Salvia officinalis*) ضد بعض الجراثيم الممرضة
المعزولة من برغر الدجاج

تتوافق هذه النتائج مع ما أشار إليه [18] الذي أكد امتلاك الميرمية خواصاً مضادة للبكتيريا موجبة وسالبة غرام بفضل غناها بالفينولات والتانينات والزيوت الطيارة كما أظهرت دراسة [22] فعالية مثبطة للمستخلص الكحولي للميرمية ضد *S. aureus*، بقطر هالة بلغ 27 مم، وهو أقل من القيم المسجلة في هذه الدراسة، مما قد يُعزى إلى اختلاف المنشأ النباتي أو كفاءة الاستخلاص. من جهة أخرى، دعمت نتائج [23] الفعالية العالية للميرمية ضد *Salmonella* و *Proteus*، إذ أظهرت الدراسة أن التراكيز العالية من المستخلص الكحولي كانت فعالة بوضوح. ووفقاً لدراسة [24] فإن المستخلص السكري والكحولي لـ *S. officinalis* تفوق في بعض الحالات على مضادات تقليدية مثل الأموكسيسيلين في تثبيط نمو *E. cloacae*، مما ينسجم مع النتائج الحالية لتشير هذه النتائج مجتمعة إلى أن مستخلص الميرمية الكحولي يمتلك فعالية حيوية عالية واسعة الطيف، مما يعزز من إمكانياته كبديل طبيعي واعد للمضادات الحيوية التقليدية، خصوصاً في ظل تنامي ظاهرة مقاومة المضادات الحيوية.



الشكل (13) *P. mirabilis*

المستخلص الكحولي VS الجنتاميسين



الشكل (12) *S. typhi*

المستخلص الكحولي VS الجنتاميسين



الشكل (15) *S. aureus*

المستخلص الكحولي VS الجنتاميسين



الشكل (14) *E. cloacae*

المستخلص الكحولي VS الجنتاميسين

الفعالية التثبيطية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية (*Salvia officinalis*) ضد بعض الجراثيم الممرضة المعزولة من برغر الدجاج

4-6 النتائج الإحصائية لأقطار الهالة التثبيطية:

يبين الجدول التالي النتائج الإحصائية (المتوسط \pm الانحراف المعياري) لأقطار الهالة التثبيطية الناتجة عن فعالية المستخلص الكحولي ضد العزلات الجرثومية المختبرة، وذلك باستخدام أربعة تراكيز مختلفة، مقارنة مع الشاهد الإيجابي (جنتاميسين 10 ميكروغرام)

اسم الجرثومة	التركيز (ملغم/مل)	المتوسط \pm الانحراف المعياري
<i>S. aureus</i>	0.5	31.7 \pm 0.58
<i>S. aureus</i>	1	33.3 \pm 0.58
<i>S. aureus</i>	2	36.0 \pm 0.00
<i>S. aureus</i>	4	39.7 \pm 0.58
<i>S. aureus</i>	جنتاميسين	21.3 \pm 0.58
<i>S. typhi</i>	0.5	32.3 \pm 0.58
<i>S. typhi</i>	1	33.7 \pm 0.58
<i>S. typhi</i>	2	36.0 \pm 0.00
<i>S. typhi</i>	4	40.0 \pm 0.00
<i>S. typhi</i>	جنتاميسين	32.0 \pm 0.00
<i>E. cloacae</i>	0.5	32.7 \pm 0.58
<i>E. cloacae</i>	1	35.0 \pm 0.00
<i>E. cloacae</i>	2	37.7 \pm 0.58

<i>E.cloacae</i>	4	40.0 ± 0.00
<i>E. cloacae</i>	جنتاميسين	30.0 ± 0.00
<i>P. mirabilis</i>	0.5	34.7 ± 0.58
<i>P. mirabilis</i>	1	36.3 ± 0.58
<i>P.mirabilis</i>	2	38.0 ± 0.00
<i>P.mirabilis</i>	4	39.7 ± 0.58
<i>P.mirabilis</i>	جنتاميسين	25.0 ± 0.00

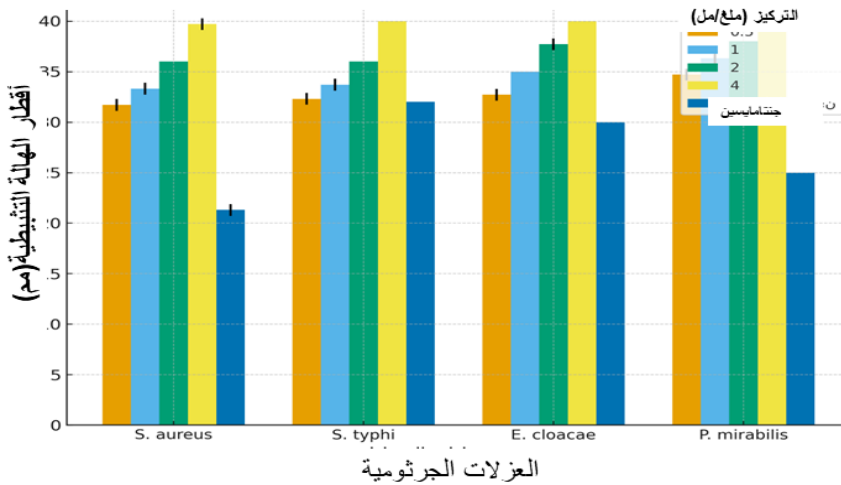
أظهرت التحاليل الاحصائية، أن فعالية المستخلص الكحولي ازدادت تدريجياً مع ارتفاع التركيز لجميع العزلات الجرثومية المدروسة، وقيمة انحراف معياري منخفضة، مما يعكس تجانساً في الأداء الحيوي.

بلغ أعلى متوسط تثبيطي ضد *S. aureus* عند تركيز 4 ملغم/مل نحو 39.6 ± 0.57 مم، مقارنة بـ 21.3 ± 0.57 مم للجنتاميسين، مما يدل على تفوق المستخلص في جميع التراكيز. كما أظهر المستخلص فعالية مماثلة ضد *S. typhi* (40.0 ± 0.00) مم عند التركيز الأعلى، مقابل 32.0 ± 0.00 مم للجنتاميسين. فيما يخص *E.cloacae*، بلغ المتوسط عند أعلى تركيز 40.0 ± 0.00 مم، مقابل 30.0 ± 0.00 مم للجنتاميسين. أما *P. mirabilis* فقد أظهر هو الآخر حساسية مرتفعة، حيث بلغ متوسط التثبيط 39.6 ± 0.57 مم، مقارنة بـ 25.0 ± 0.00 مم للشاهد الإيجابي. تؤكد هذه النتائج الإحصائية أن المستخلص الكحولي للميرمية يتمتع بفعالية تثبيطية ثابتة وواسعة الطيف. تتفوق غالباً على بعض المضادات الحيوية التقليدية مثل الجنتاميسين. وقد سبق أن أشار [18] إلى ارتباط هذه الفعالية العالية بوجود مركبات متعددة كالفينولات، التانينات، والزيوت الطيارة. كما بيّنت دراسة [25] أن المستخلصات الكحولية للنباتات

الفعالية التثبيطية للمستخلص الكحولي لنبات الميرمية (*Salvia officinalis*) ضد بعض الجراثيم الممرضة المعزولة من برغر الدجاج

العطرية، ومنها الميرمية، تمتاز بفعالية مضادة للجراثيم بسبب قدرتها على اختراق الجدار الخلوي والتأثير على العمليات الأيضية.

الشكل (16): مقارنة بين متوسط أقطار مناطق التثبيط (بالمليمتر) للمستخلص الكحولي والمضاد الحيوي الجنتاميسين ضد أربع سلالات جرثومية. تمثل أشرطة الخطأ الانحراف المعياري. (n = 3)



5-الاستنتاجات والتوصيات:

5-1-الاستنتاجات :

أظهرت نتائج الدراسة أن المستخلص الكحولي لنبات *S. officinalis* يتمتع بنشاط مضاد للميكروبات واسع النطاق ضد أربعة سلالات جرثومية ممرضة معزولة من برغر الدجاج، مع ملاحظة تزايد التأثير التثبيطي بشكل طردي، بارتفاع تركيز المستخلص. وقد تفوق المستخلص

في معظم التراكييز المُختبرة على المضاد الحيوي القياسي الجنتاميسين (10 ميكروغرام/مل)، مما يدعم إمكاناتها كمادة طبيعية بديلة للمضادات الميكروبية.

كشفت التحاليل الكيميائية الأولية عن وجود مركبات نشطة بيولوجياً تشمل الفينولات والتانينات والزمرة المرجعة، التي يُعتقد أنها المسؤولة الرئيسية عن التأثير التثبيطي الملاحظ. في المقابل، لم تُظهر النتائج وجوداً واضحاً لمركبات الفلافونويد أو الفلويدات ضمن الطرق التحليلية المُستخدمة. في ضوء هذه النتائج، يعد المستخلص الكحولي للميرمية مرشحاً واعداً كمضاد ميكروبي طبيعي، ومادة حافظة عضوية لمكافحة التلف الميكروبي في منتجات اللحوم، وذلك تماشياً مع الاتجاه العالمي نحو بدائل طبيعية وآمنة بدلاً من المواد الحافظة الاصطناعية.

5-2- التوصيات:

- إجراء دراسات إضافية لفصل وتحديد المركبات الفعالة نوعياً في المستخلص الكحولي لنبات الميرمية، ولا سيما المركبات الفينولية والتانينية، لتحديد المركب أو المجموعة المسؤولة عن النشاط الحيوي.
- يُنصح بتوسيع الدراسة لتشمل أنواعاً أخرى من الجراثيم الممرضة والمقاومة للمضادات الحيوية، من أجل تقييم مدى فعالية المستخلص في حالات سريرية أو بيئية مختلفة.
- اختبار استخدام المستخلص الكحولي للميرمية كمادة حافظة طبيعية في حفظ اللحوم ومنتجاتها، من خلال تطبيقه ضمن نماذج غذائية واقعية (in situ) مع تقييم تأثيره على فترة الصلاحية وجودة المنتج.
- ينبغي تقييم السلامة السمية (Toxicity Profile) للمستخلص الكحولي عند الاستخدام الغذائي أو الصيدلاني، لضمان سلامته في التطبيقات البشرية.
- مقارنة الفعالية البيولوجية لمستخلص نبات الميرمية (*S. officinalis*) مع مستخلصات نباتية أخرى في الدراسات المستقبلية، لتقييم المزايا التركيبية والوظيفية من حيث الفعالية الحيوية والقدرة على الحفظ.

6-المراجع

- [1]. Lemle, K. L. (2018). *Salvia officinalis* used in pharmaceuticals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 294,* 012037.
- [2]. Grzegorzczuk-Karolak, I., Kuźma, Ł., & Wysokińska, H. (2015). The effect of plant growth regulators and elicitors on production of secondary metabolites in shoot cultures of **Salvia officinalis** L. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 122*(3), 453-460.
- [3]. Perry, N. B., Anderson, R. E., Brennan, N. J., Douglas, M. H., McGimpsey, J. A., & Nicholass, A. M. (1999). Essential oils from Dalmatian sage (**Salvia officinalis** L.): variations among individuals, plant parts, seasons, and sites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*(5), 2048-2054.
- [4]. Cuvelier, M. E., Berset, C., & Richard, H. (1994). Antioxidant constituents in sage (**Salvia officinalis**). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42*(3), 665-669.
- [5]. Abu-Darwish, M. S., Cabral, C., Ferreira, I. V., Gonçalves, M. J., Cavaleiro, C., Cruz, M. T., Al-bdour, T. H., & Salgueiro, L. R. (2013). Essential oil of common sage (**Salvia officinalis** L.) from Jordan: Assessment of safety in mammalian cells and its antifungal and anti-inflammatory potential. *BioMed Research International, 2013,* 538940.
- [6]. Šojić, B., Ikonić, P., Pavlić, B., Zeković, Z., Kocić-Tanackov, S., Đuragić, O., Tomović, V., Jakanović, M., Ivić, M., & Škaljac, S. (2021). Antioxidant and antimicrobial effects of ethanolic extracts of propolis, sage, and lavender on chicken sausages. *Journal of Food Processing and Preservation, 45*(6), e15473.
- [7]. Kozłowska, M., Laudy, A. E., Przybył, J., & Matławska, I. (2015). Chemical composition and antibacterial activity of some medicinal plants from *Lamiaceae* family. *Acta Poloniae Pharmaceutica, 72*(4), 757-767.
- [8]. Raho, B., Benattouche, Z., Bevilacqua, A., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2016). Antimicrobial activity of extracts from

- *Salvia officinalis** L. on some bacteria and yeast. *Research Journal of Biotechnology, 2*(5), 31-35.
- [9]. Bachir, R. G., Benattouche, Z., Bevilacqua, A., & Corbo, M. R. (2016). *Antibacterial activity of ethanolic extracts from* *Salvia officinalis*. ResearchGate.
- [10]. Shahneh, F. Z., Valiyari, S., Baradaran, B., Baghbanzadeh, A., Abdolalizadeh, J., & Shanehbandi, D. (2013). Inhibitory and cytotoxic activities of **Salvia officinalis** L. extract on human lymphoma and leukemia cells by induction of apoptosis. *Advanced Pharmaceutical Bulletin, 3*(1), 51-55.
- [11]. Kouchmeshky, A., Jahanbakhsh-Godehkahriz, S., & Rostami, H. (2012). Antibacterial effect of thyme, peppermint, sage, black pepper, and garlic hydrosols against **Bacillus subtilis** and **Salmonella enteritidis**. *Journal of Food Research, 1*(3), 160-164.
- [12]. Jasim, B. M., & Mahmood, L. A. (2008). Study the inhibitory effect of **Salvia officinalis** extracts on the growth of some pathogenic bacteria. *Iraqi Journal of Biotechnology, 7*(1), 77-84.
- [13]. Cappuccino, J. G., Welsh, C., & Sherman, N. (2019). *Microbiology: A laboratory manual* (11th ed.). Pearson.
- [14]. MacFaddin, J. F. (2000). *Biochemical tests for identification of medical bacteria* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- [15]. Harborne, J. B. (1998). *Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis* (3rd ed.). Chapman and Hall.
- [16]. Trease, G. E., & Evans, W. C. (2002). *Pharmacognosy* (15th ed.). Saunders Elsevier.
- [17]. Sofowora, A. (1993). *Medicinal plants and traditional medicine in Africa* (2nd ed.). Spectrum Books Ltd.

- [18]. Al-Snafi, A. E. (2015). The pharmacological importance of *Salvia officinalis* and its active constituents: A review. *Asian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 5*(4), 222–228.
- [19]. El-Hawary, S. S., Yehia, M. M., Sobeh, M., & El-Batanony, M. H. (2012). Phytochemical study of *Salvia officinalis* L. cultivated in Egypt. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2*(10), 163–168.
- [20]. Raal, A., Orav, A., & Arak, E. (2007). Composition of the essential oil of *Salvia officinalis* L. from various European countries. *Natural Product Research*, 21*(5), 406–411.
- [21]. Ben Sassi, A., Harzallah-Skhiri, F., Bourgou, S., Aouni, M., & Bouzouita, N. (2014). Phytochemistry and biological activities of *Salvia officinalis* L. essential oil from Tunisia. *Arabian Journal of Chemistry*, 7*(3), 421–426.
- [22]. Hussain, A. I., Anwar, F., Sherazi, S. T. H., & Przybylski, R. (2011). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108*(3), 986–995.
- [23]. Al-Syed, A. (2020). Antibacterial activity of *Salvia officinalis* extract against some pathogenic bacteria. *International Journal of Medical Research & Health Sciences*, 9*(5), 33-38.
- [24]. Karaman, I., Şahin, F., Güllüce, M., Ögütçü, H., Şengül, M., & Adıgüzel, A. (2003). Antimicrobial activity of aqueous and methanol extracts of *Salvia officinalis* L. against some bacteria and fungi. *Turkish Journal of Biology*, 27*(2), 143–150.
- [25]. Farag, M. A., El-Kersh, D. M., El-Fiky, N. M., Rasheed, D. M., Hegazy, M. E. F., & Ehrlich, A. (2019). Antibacterial and anti-inflammatory activities of essential oils from Egyptian aromatic plants. *Journal of Applied Microbiology*, 127*(6), 1641–1651.