

## 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 بجبال 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:

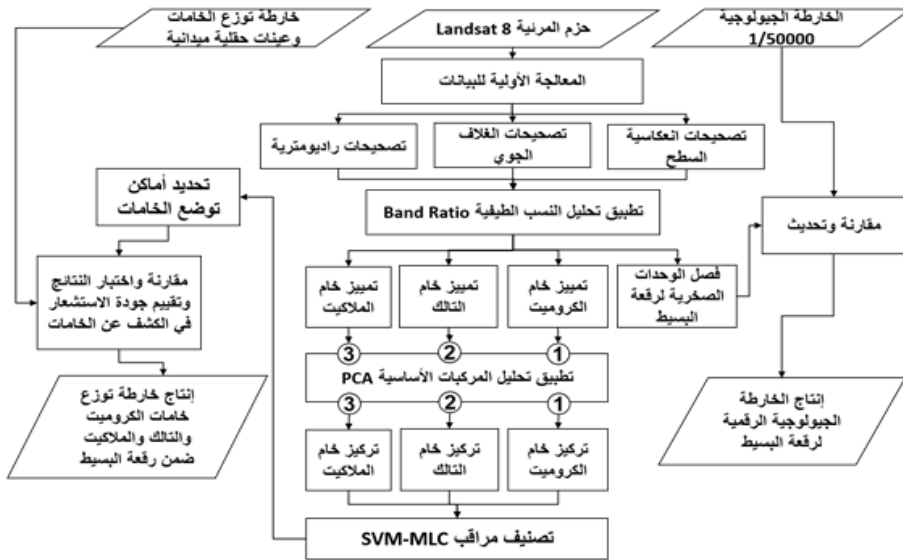
- الخارطة الجيولوجية لرقعة البسيط بمقياس (1/50000)، وخارطة لمنطقة البسيط وتوابعها تظهر أماكن وجود الخامات المعدنية واللامعدنية [23].
- المرئية (Landsat 8 OLI/TIRS) من موقع هيئة المسح الجيولوجية الأمريكية (USGS) من الرابط (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) بصيغة رقمية (TIFF) مرجعة وفق الإسقاط (WGS 84 – 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

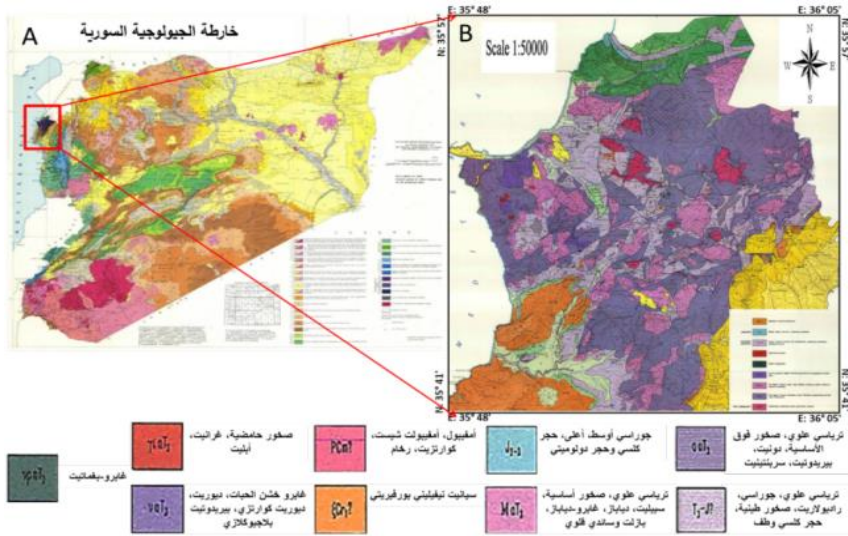
تقع منطقة الدراسة في الجزء الشمالي الغربي من سورية إلى الشمال الغربي بمحاذاة شاطئ البحر المتوسط. ينكشف لدينا في منطقة الدراسة صخور المعقد الأفيوليتي والمتمثلة بصخور فوق أساسية (بيريدوتيت، دونيت، هارزوبرجيت)، والصخور الأساسية (الغابرو، والوسائد البازلتية وقواطع الصخور الأساسية) والصخور المتحولة (صخور 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، الملايكت) باستخدام Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد

إلى الترياسي ونتيجة الحركات التكتونية خلال الكريتاقي الأعلى (نهاية الماستريخت)، تحركت هذه الكتل واعتلت على الطرف الشمالي الغربي للصفحة العربية بالإضافة لذلك يتكشف لدينا صخور تعود للكريتاقي الأعلى (حجر كلسي غضاري) وصخور أحدث عمراً تعود للالبوجين (حجر كلسي غضاري) والنيوجين (غضار، مارل)، وحتى الرباعي (رسوبات لحيقة) [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:

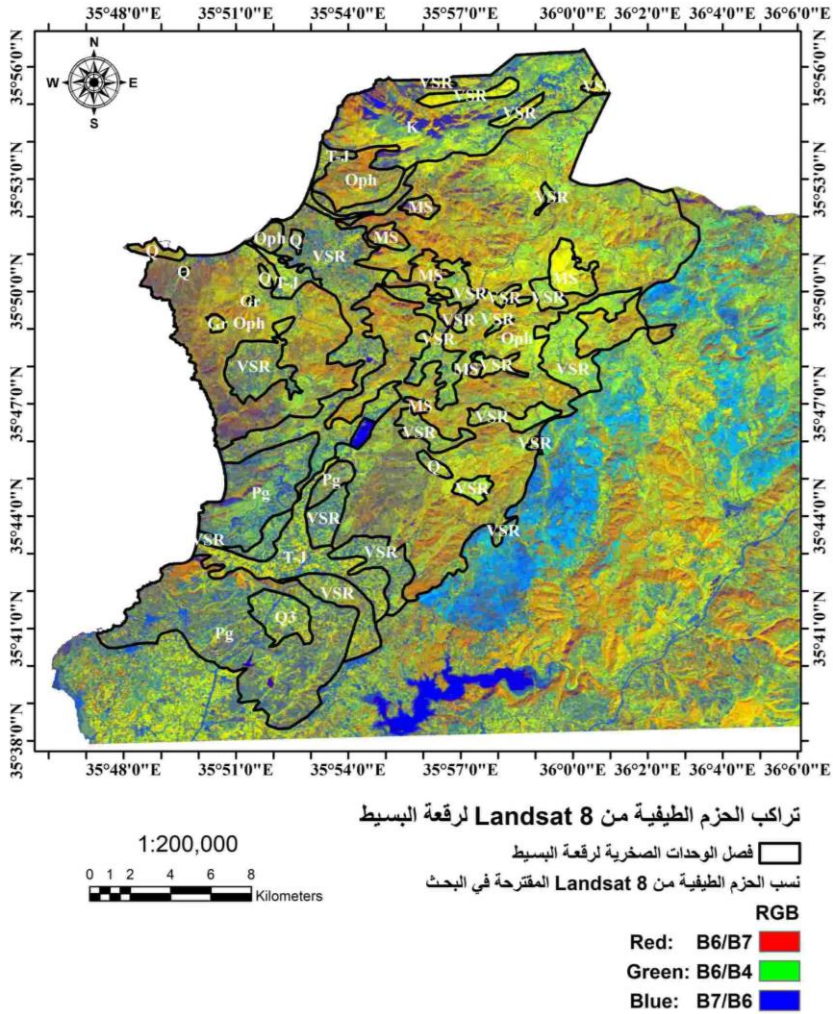
يعتبر استخدام بيانات (Landsat 8 OLI) أداة فعالة لرصد وتمييز هذا النوع من التراكيب، من خلال تحليل النسب الطيفية (Band Ratios) التي تعزز الاختلافات في استجابة الصخور للضوء

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، الملايكت) باستخدام  
Landsat 8 OLI والاستشعار عن بعد

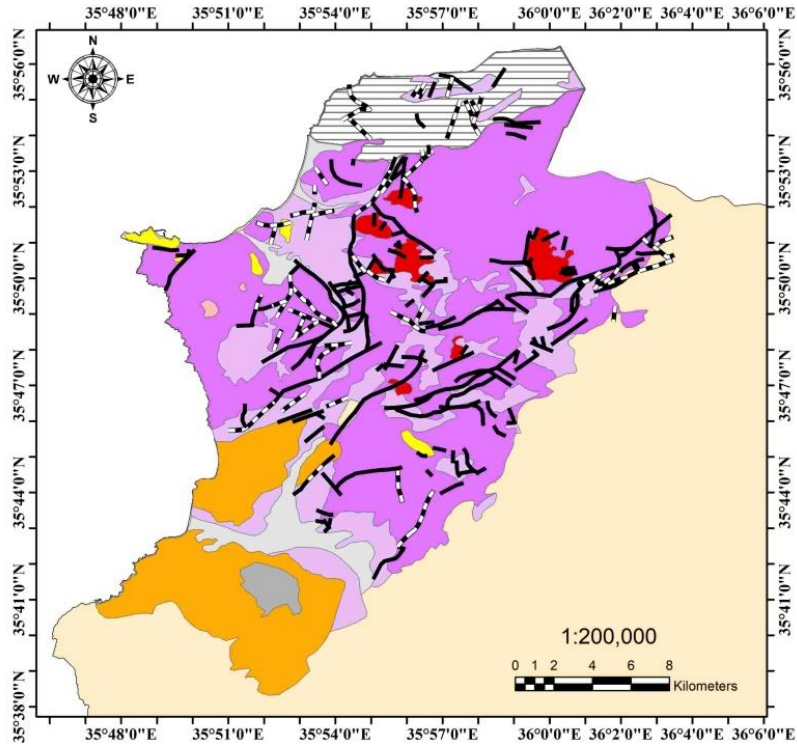


الشكل (3) الخارطة الرقمية لفصل الوحدات الصخرية للمعدن الأفيوليتي ضمن رقعة البسيط

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

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

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:

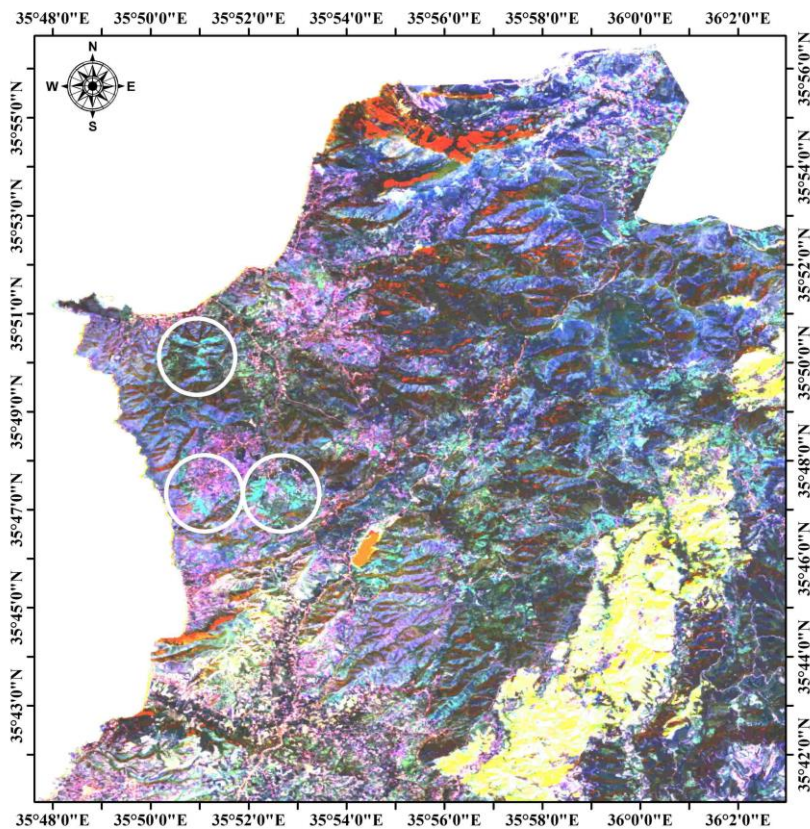
يعتبر خام الكروميت من أهم الخامات المعدنية المرافقة للمعدن الأفيوليتي حيث يوجد على شكل أجسام قاطعة أو عدسات ضمن صخور السرينتيت الدونيتي [14,17,18]، وخلال عملية السرينتة تتحول الفلزات الرئيسية الأوليفين والبيروكسين إلى سرينتين بينما يبقى خام الكروميت محفوظ نسبياً فهو من الخامات المعدنية المقاومة للتحويل 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 توضع 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

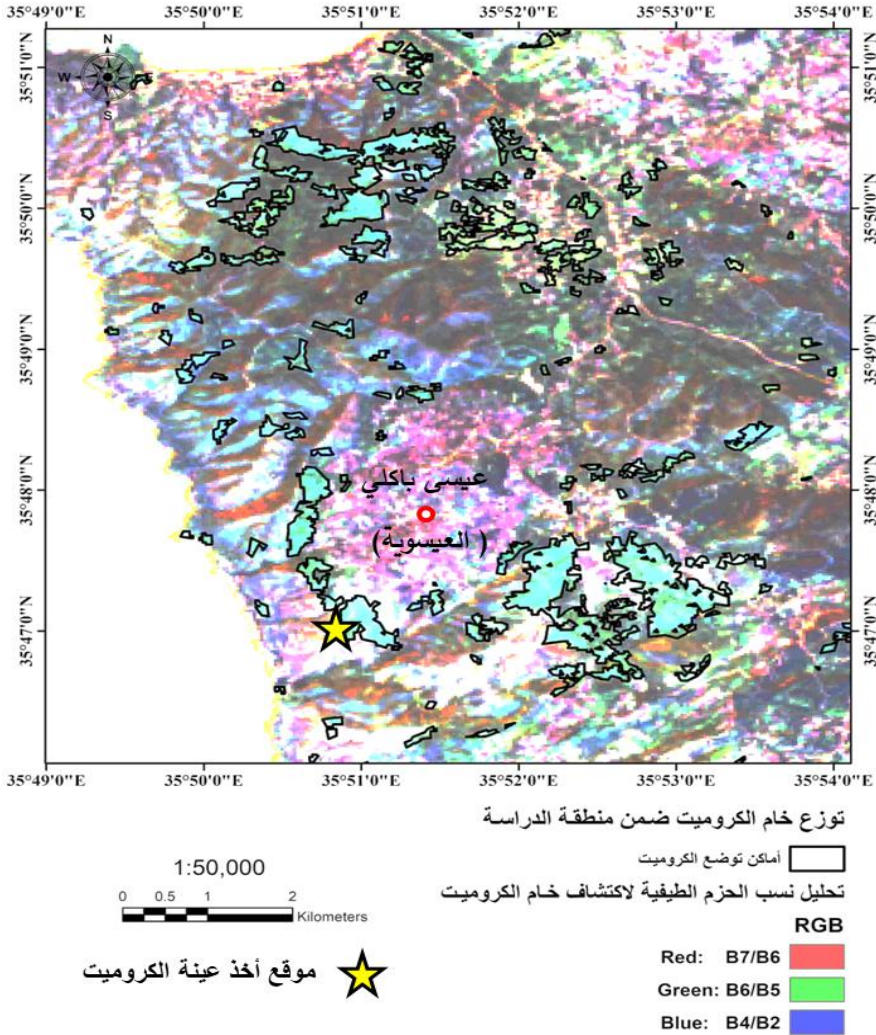
RGB

Red: B7/B6

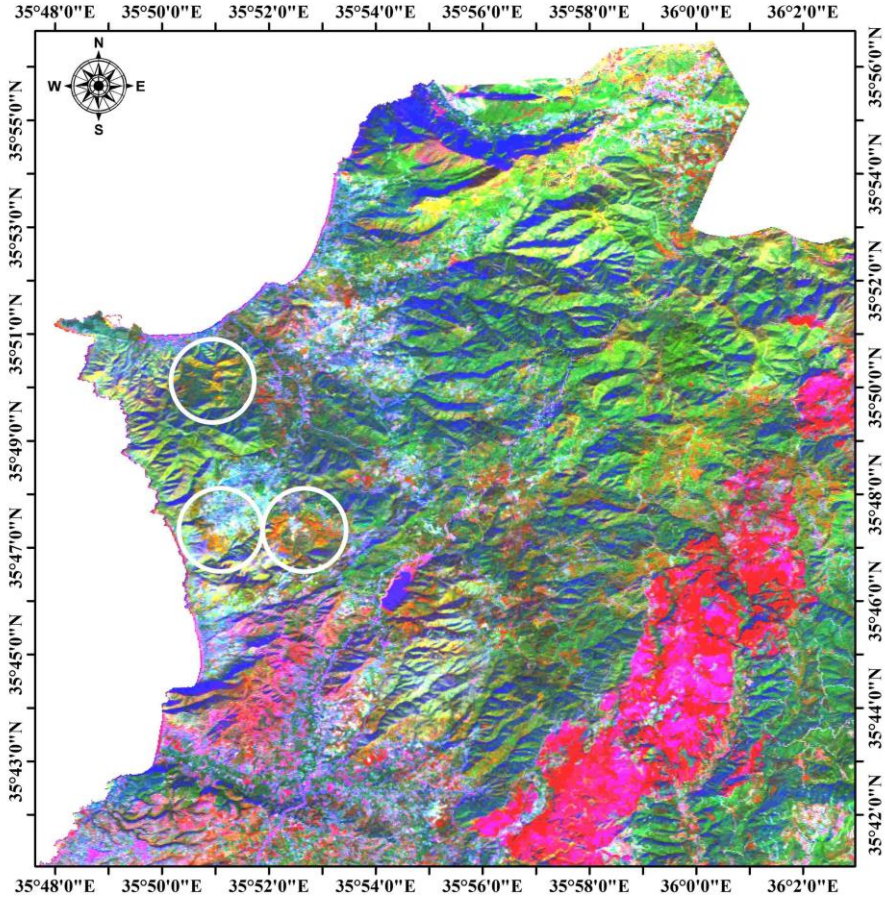
Green: B6/B5

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

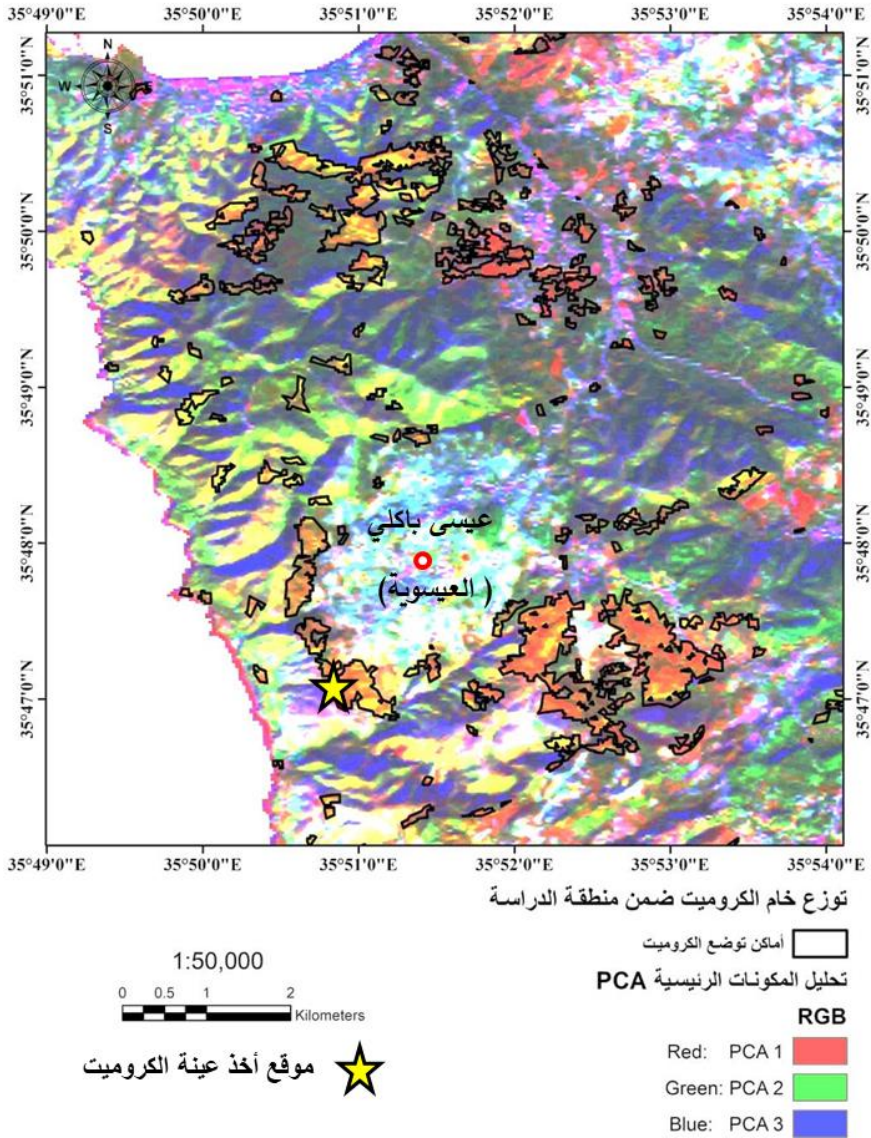
1:150,000  
00.51 2 3 4  
Kilometers

تحليل المكونات الرئيسية PCA

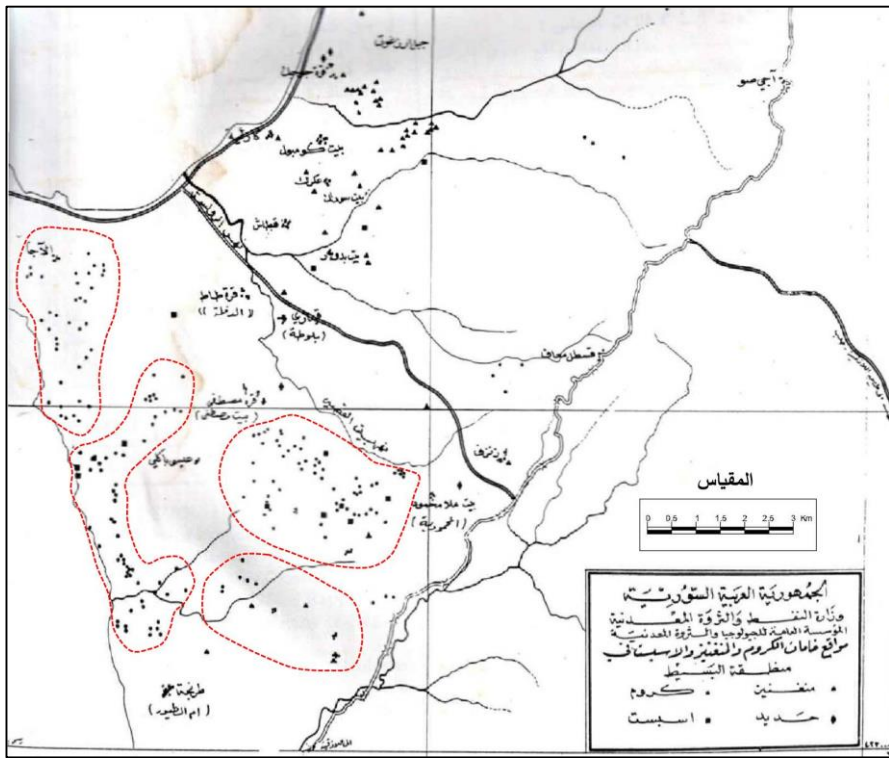
RGB  
Red: PCA 1  
Green: PCA 2  
Blue: PCA 3

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).



الشكل (9) التوزع الجغرافي لمظاهر التمعدين في منطقة البسيط [23].

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.

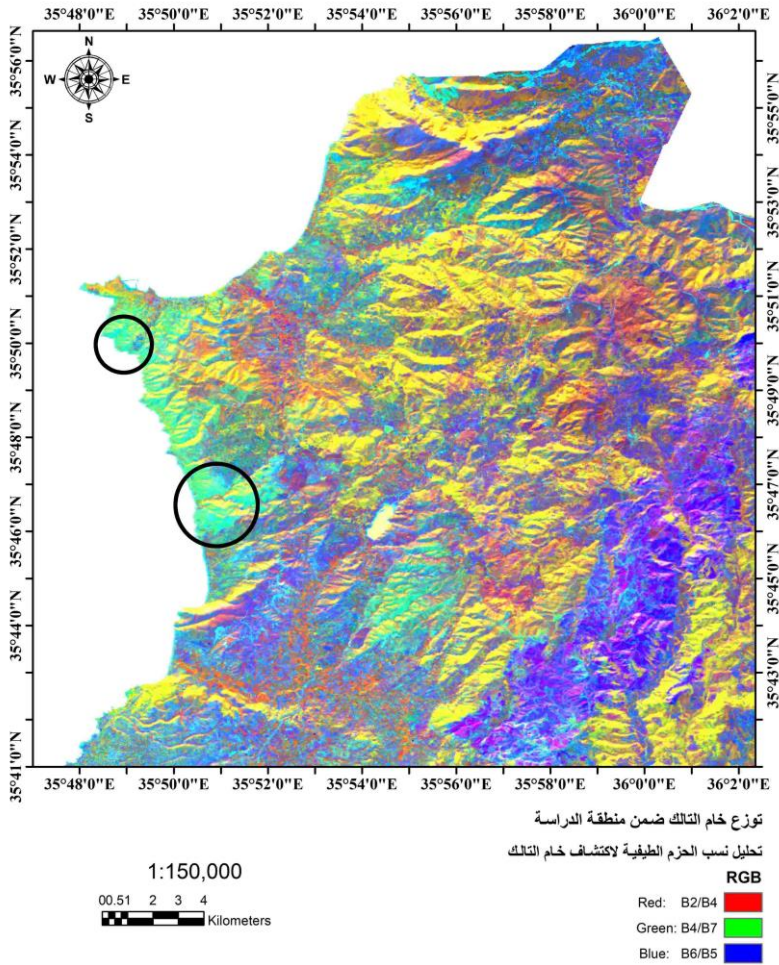


الشكل (11) جبهة تكشف الصخور السرينتينية الحاوية على عرق الكروميت المستمر في موقع العيسوية.

- دراسة وتحليل خام التالك:

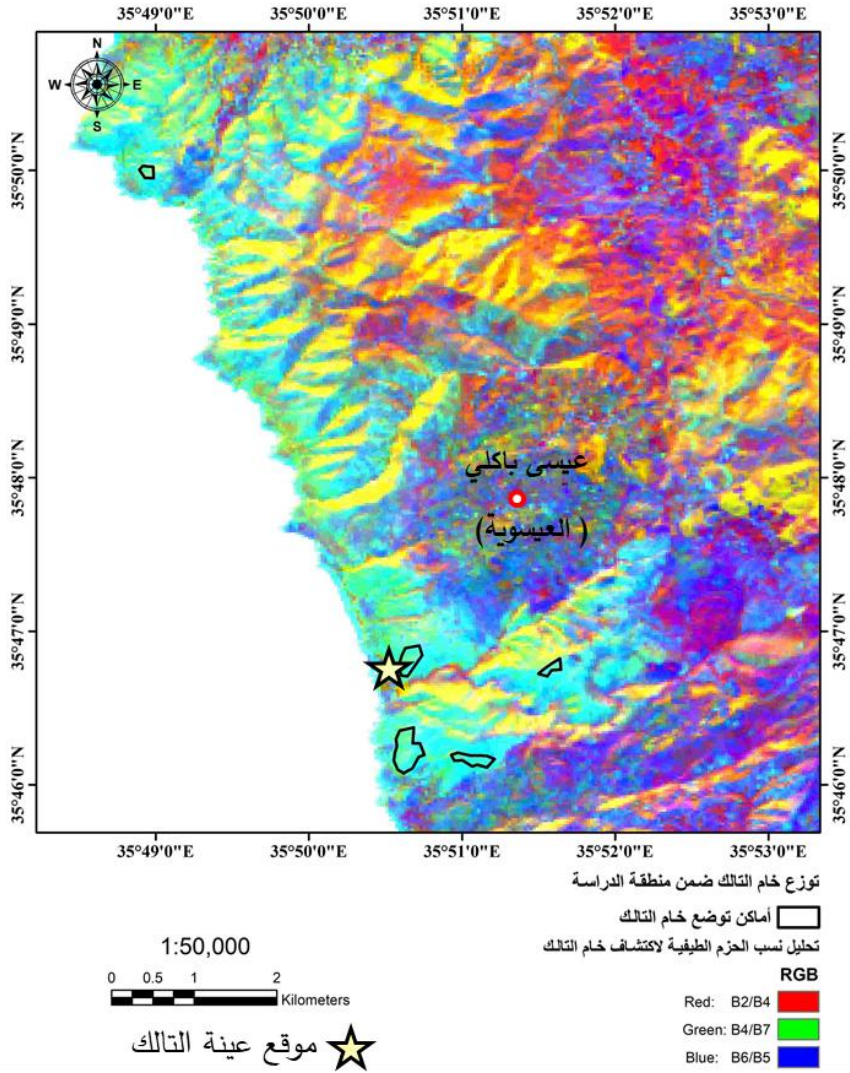
يعد فلز التالك من الخامات اللامعدنية المرافقة لصخور المعقد الأفيوليتي وهو سيليكات المغنيسيوم المائية  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ، يتميز بلمسه الناعم ولونه الأبيض وقساوته المنخفضة ويتشكل في بيئات التحول منخفضة الدرجة، وخصوصاً نتيجة تحول الصخور فوق الأساسية إلى سرينتينيت ومن ثم إلى تالك بفعل التحول الهيدروترمالي.

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).

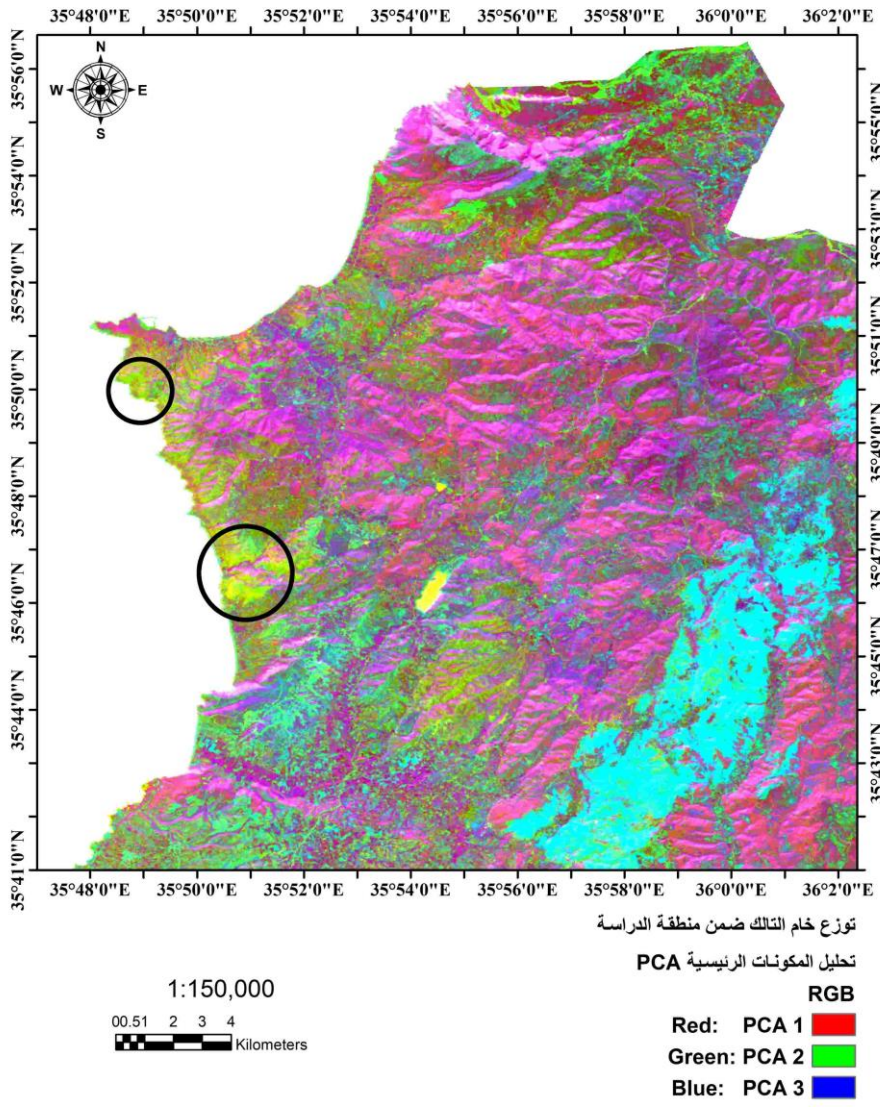


الشكل (12) توزيع الصخور الحاوية على خام التالك ضمن منطقة الدراسة بالاعتماد على تحليل نسب الحزم الطيفية (R=B2/B4, G=B4/B7, B=B6/B5).

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

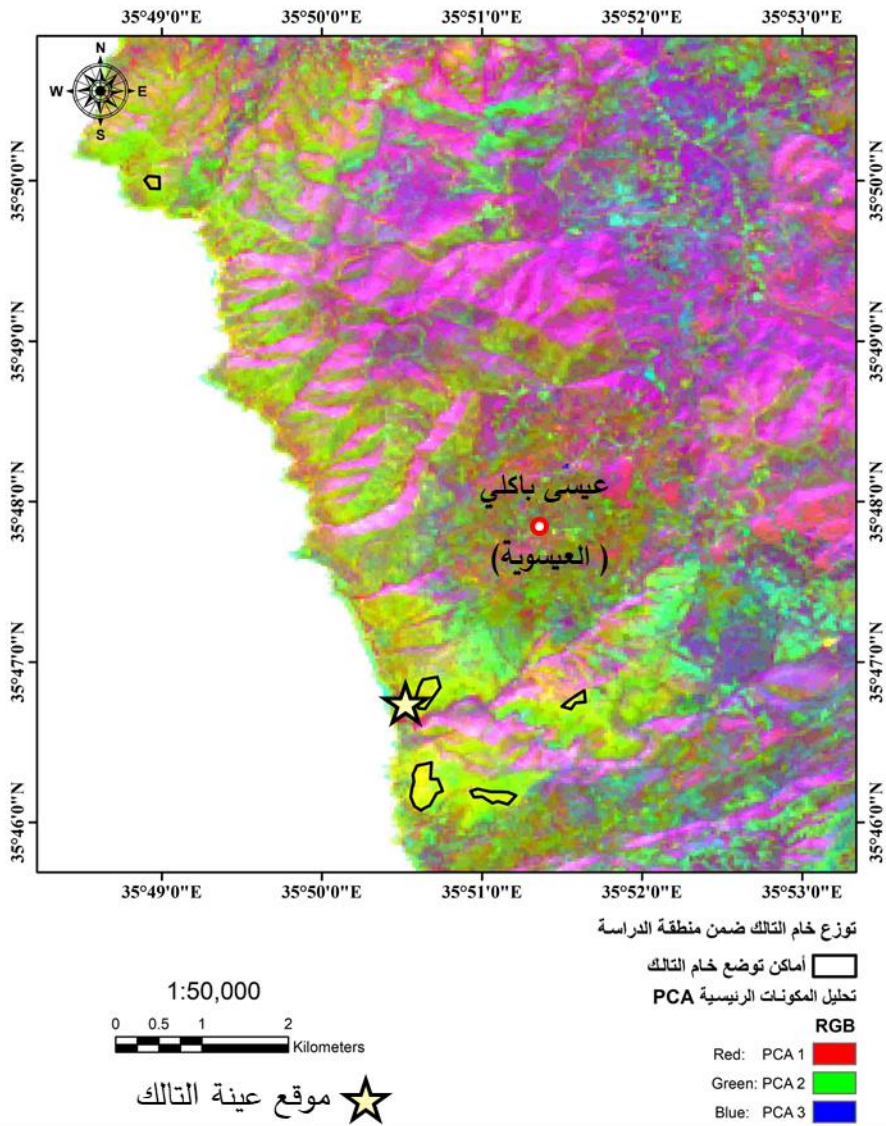


الشكل (13) خريطة تفصيلية لمساحة انتشار خام التالك ضمن منطقة الدراسة وفق تحليل نسب الحزم الطيفية.



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



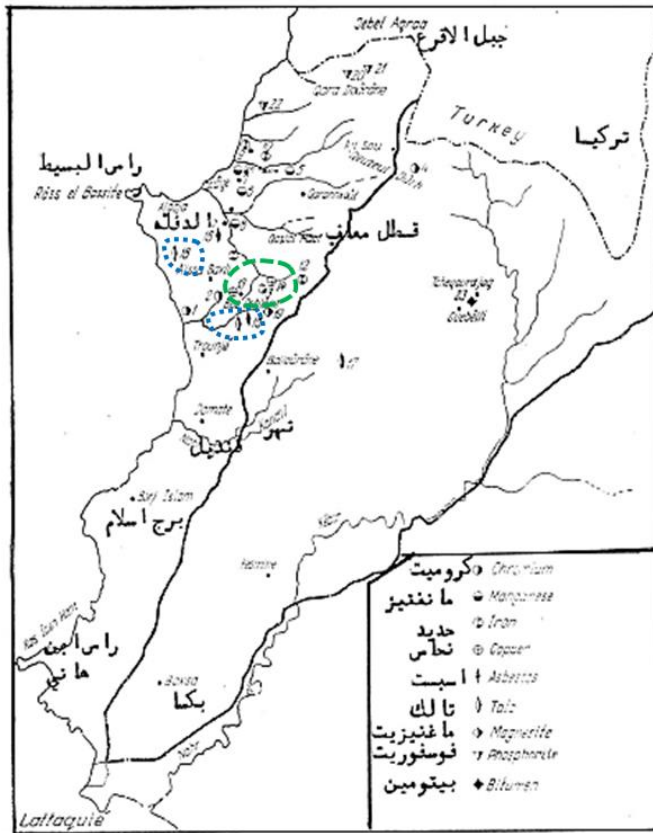
الشكل (15) خريطة تفصيلية لمساحة انتشار خام التالك ضمن منطقة الدراسة والنتيجة من تحليل (PCA).

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 السربنتينيت 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 السربنتينية 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:

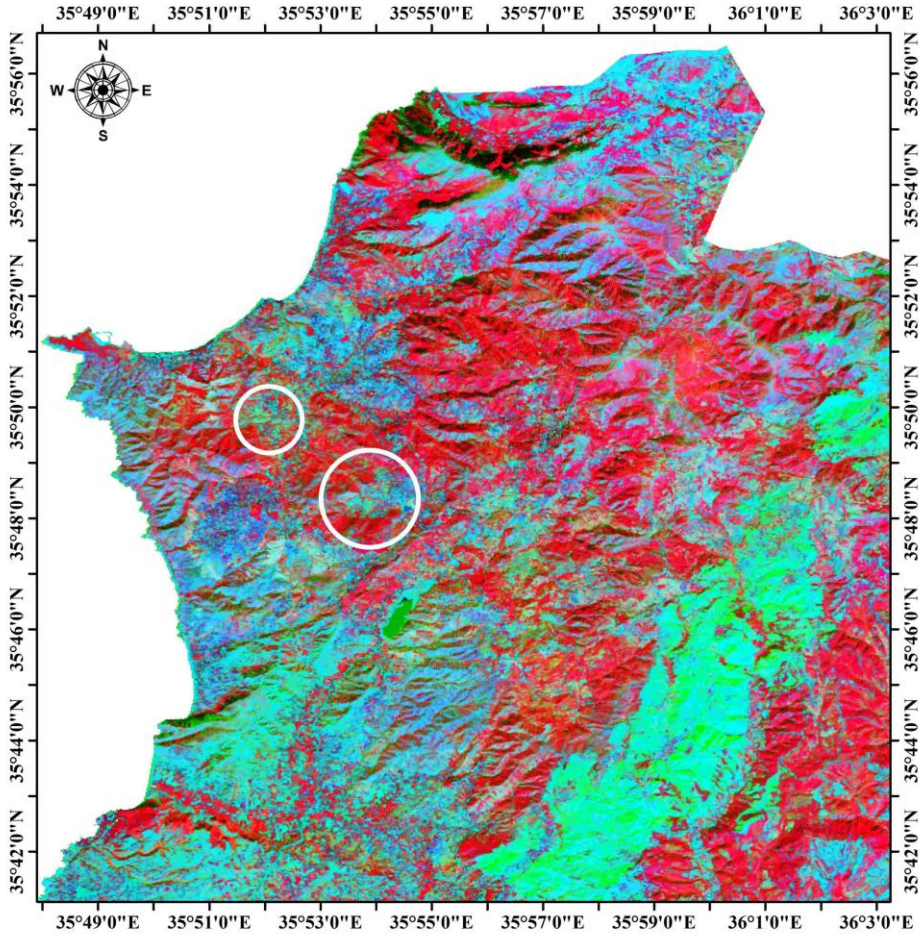
الملاكيت معدن كربونات نحاسي ثانوي  $Cu_2CO_3(OH)_2$  يتشكل في المناطق السطحية المؤكسدة لرواسب النحاس الكبريتيدية، وينشأ من تحلل فلزات الكبريتيد الأولية بفعل الأكسدة، ويعد مؤشراً مهماً على نطاقات الأكسدة في البيئات التي يوجد فيها النحاس.

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.



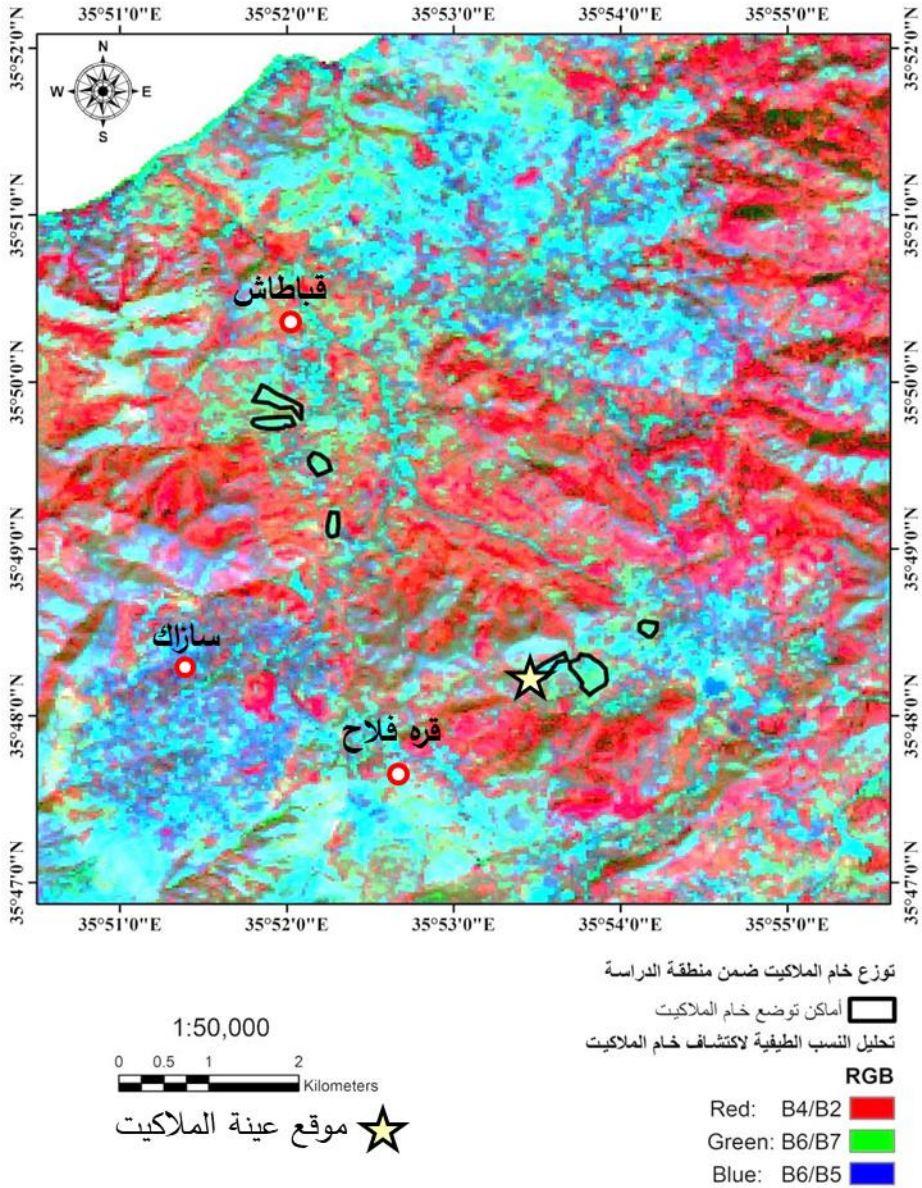
توزع خام الملاكيت ضمن منطقة الدراسة  
تحليل النسب الطيفية لاكتشاف خام الملاكيت

1:150,000  
00.51 2 3 4  
Kilometers

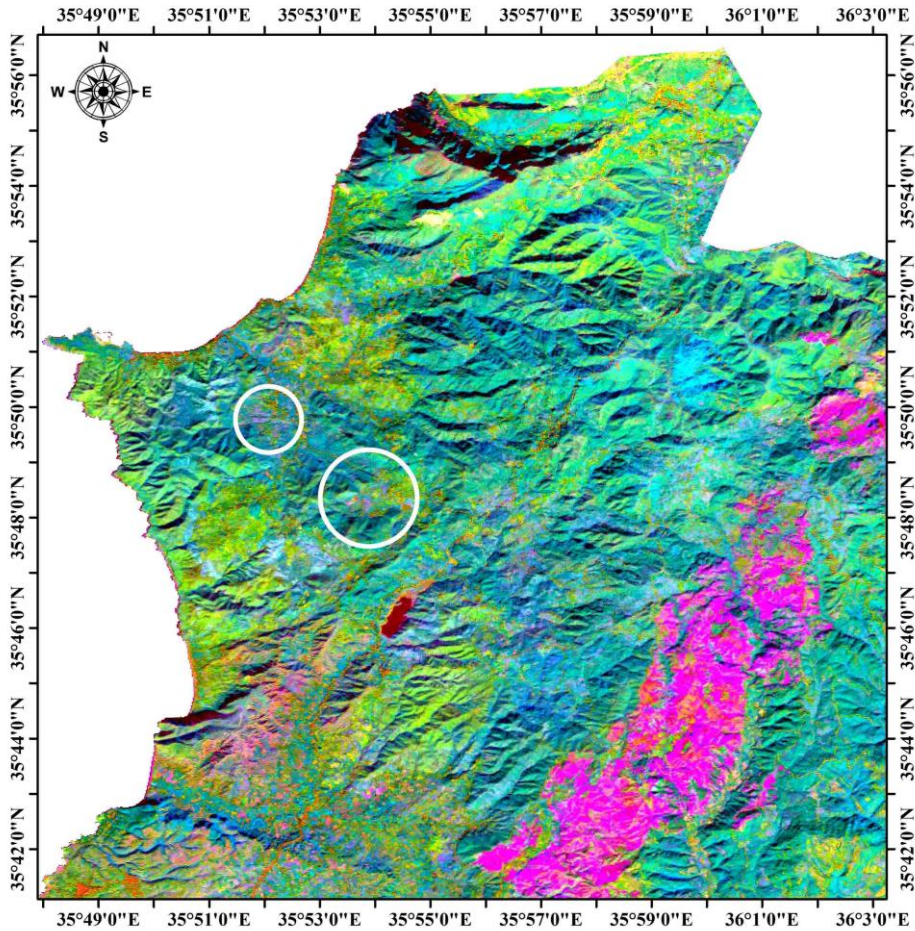
RGB  
Red: B4/B2  
Green: B6/B7  
Blue: B6/B5

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.



توزيع خام الملايكة ضمن منطقة الدراسة

تحليل المكونات الرئيسية PCA

RGB

Red: PCA 1

Green: PCA 2

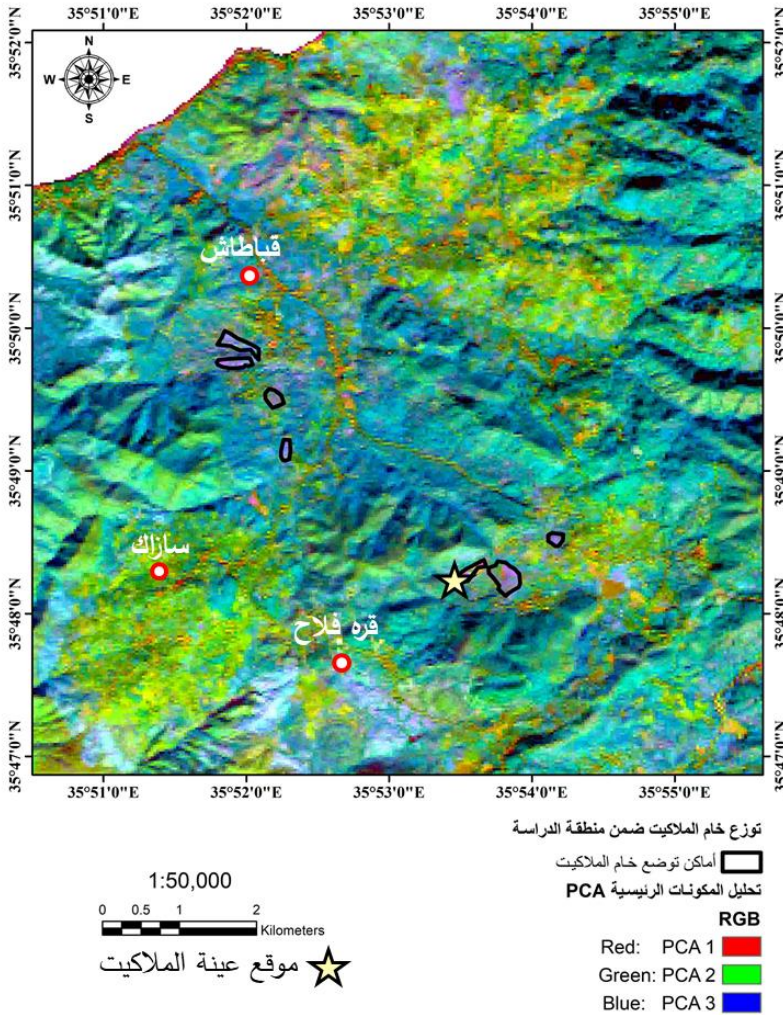
Blue: PCA 3

1:150,000

00.51 2 3 4  
Kilometers

الشكل (20) توزيع 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

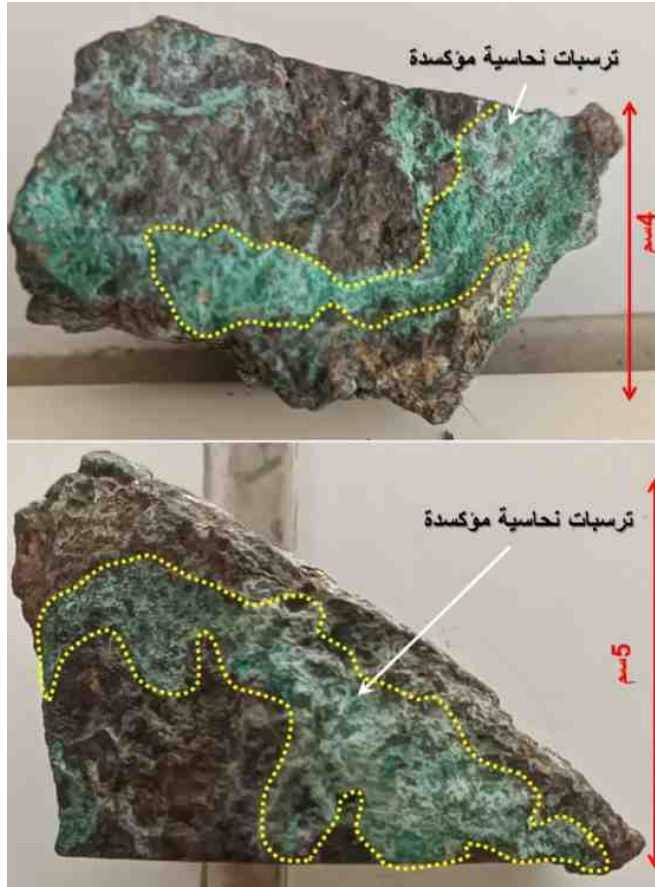


الشكل (21) خريطة تفصيلية لمساحة انتشار خام الملاكيت ضمن منطقة الدراسة والنتيجة من تحليل (PCA).

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 للملاكييت ( ترسبات نحاسية ثانوية مؤكسدة) في موقع قره فلاح.

وبالنتيجة، وضعت خارطة توزع الخامات (الكروميت والتالك والملاكييت) 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 amesozioc 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*