

RESEARCH ARTICLE

Spatial Analysis of Iron-Bearing Minerals in Al-Salman District Using GIS and Remote Sensing Techniques

Rawaa Hadi Naji Al-Khaikani *

Al-Muthanna University - College of Education for Human Sciences - Iraq

ABSTRACT

Mineral resources are among the most important natural resources influencing land-use patterns and guiding economic and investment projects. This study aims to highlight the role of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques in detecting iron oxides during the early stages of mineral exploration by applying false color composite and spectral band ratio techniques. The analysis was based on Landsat 8 and Landsat 9 satellite imagery acquired by the Operational Land Imager (OLI) sensor and processed using ArcGIS 10.8 and ERDAS software.

The results revealed the spatial distribution of clay minerals and iron oxides. The (2/4) band ratio highlighted the concentration of iron oxides in the northern part of the study area, whereas the (6/5) band ratio identified a wider spatial extent of iron oxide distribution. These findings correspond well with the locations of iron deposits exploited by cement factories, indicating differences in the sensitivity of the two spectral indices for detecting the surface distribution of iron oxides.

Keywords: Remote Sensing , Spectral Ratios , Clay Minerals , Ferrous Minerals , Iron Oxides .

مقالة بحثية

التحليل المكاني لأكاسيد الحديد في قضاء السلمان باستخدام (GIS-RS)

رواء هادي ناجي الخيكانى *

كلية التربية للعلوم الإنسانية ، جامعة المثنى ، العراق

المخلص:

تُعدّ الثروة المعدنية من أهم الموارد الطبيعية المؤثرة في صياغة نمط استغلال الأرض وتوجيه المشاريع الاقتصادية والاستثمارية، تهدف هذه الدراسة إلى إبراز دور تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في الكشف عن أكاسيد الحديد باستخدام أسلوب الخلط اللوني والنسب الطيفية في المراحل المبكرة من التنقيب. اعتماداً على مرئيات القمر الصناعي لاندسات (8,9) والمتحسس (OLI) باستخدام برنامجي ArcGIS 10.8 و ERDAS لتحليل البيانات. أظهرت النتائج التوزيع المكاني للمعادن الطينية وأكاسيد الحديد، حيث بيّنت مرئية (4/2) انتشار أكاسيد الحديد في شمال منطقة الدراسة، بينما أظهرت مرئية (5/6) نطاقات أوسع لانتشار هذه الأكاسيد، بما يتوافق مع مواقع استثمار الحديد لمعامل الإسمنت، مما يدل على اختلاف حساسية المؤشرين في الكشف عن التوزيعات السطحية لأكاسيد الحديد.

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بعد، النسب الطيفية، المعادن الطينية، المعادن الحديدية، أكاسيد الحديد.

Received 16-04- 2026; Revised 01-06-2026; accepted 21-06- 2026 ; Available online 30-06- 2026.

* Corresponding author.

E-mail addresses: rwaa.naji@mu.edu.iq (R. H. Al-Khaikani).

<https://doi.org/xx.xxxx/2572-5440.11130>

2572-5440/© 2025 The Author(s). Published by Al-Muthanna University. This is an open-access article under the CC BY-NC-SA license

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

المقدمة

توسع دور نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد في مختلف المجالات العلمية ولا سيما البحث والتنقيب والكشف الاولي عن الرواسب والخامات المعدنية المختلفة ، بسبب القدرة الهائلة لهذه التقنيات على معالجة وتحليل وتفسير المرئيات الفضائية ذات النطاقات الطيفية من خلال سلسلة من العمليات ضمن برامج اعدت لهذا الغرض ضمن بيئة الحاسب الالي ، وقد تعاضم في السنين الاخيرة دور هذه التقنيات والبرامج للوصول الى نتائج يمكن التعويل عليها من خلال استخدام اسلوب خلط الالوان واستخدام النسب الطيفية وترتيب القنوات الطيفية واخراج مرئيات طيفية مركبة لتعيين الخامات المعدنية ، وقد تم في هذه الدراسة اختيار قضاء السلطان لغرض الكشف عن المعادن الحديدية عن طريق تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في الاستكشافات المعدنية ، إذ إن منطقة الدراسة تحتوي على العديد من المعادن وهي زاخرة بالمواد الانشائية المستثمرة حالياً ، وقد اعتمدت الدراسة على تفسير صور الاقمار الاصطناعية (Landsat 9-8) بالمتحسس OLI ، للحصول على معلومات عن المعادن الحديدية ضمن التراكيب الجيولوجية في منطقة الدراسة .

مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في عدم توفر دراسة مكانية دقيقة توضح نمط توزيع أكاسيد الحديد في قضاء السلطان بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) ، مما يحد من إمكانية تحديد مناطق انتشارها وتحليلها وتمثيلها مكانياً.

وعليه تتمثل مشكلة البحث في السؤال الرئيس الآتي:

ما نمط التوزيع المكاني لأكاسيد الحديد في قضاء السلطان باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS) ؟

الأسئلة الثانوية

1- ما مناطق انتشار أكاسيد الحديد في قضاء السلطان؟

2- هل يتباين التوزيع المكاني لأكاسيد الحديد داخل منطقة الدراسة؟

3- ما مدى كفاءة تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في الكشف عن أكاسيد الحديد وتمثيلها مكانياً؟

فرضية البحث الرئيسية

يفترض البحث وجود تباين مكاني في توزيع أكاسيد الحديد داخل قضاء السلطان، وأن تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) قادرة على الكشف عنها وتحليلها وتمثيلها مكانياً بكفاءة.

الفرضيات الثانوية.

1- تنتشر أكاسيد الحديد في مناطق محددة داخل قضاء السلطان.

2- يتباين التوزيع المكاني لأكاسيد الحديد بين أجزاء منطقة الدراسة.

3- تتمتع تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) بكفاءة في الكشف عن أكاسيد الحديد وتمثيلها وتحليلها مكانياً.

أهداف البحث

الهدف الرئيس: تحديد وتحليل التوزيع المكاني لأكاسيد الحديد في قضاء السلطان باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS).

الأهداف الفرعية

1- تحديد مناطق انتشار أكاسيد الحديد في قضاء السلطان.

2- تحليل التباين المكاني لتوزيع أكاسيد الحديد داخل منطقة الدراسة.

3- توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في الكشف عن أكاسيد الحديد وتمثيلها وتحليلها مكانياً.

منهجية البحث

اعتمد البحث المنهج التحليلي المكاني؛ لملاءمته دراسة أنماط التوزيع المكاني لأكاسيد الحديد، وذلك بالاعتماد على مرئيات القمر الصناعي (Landsat 8-9) ومعالجتها رقمياً باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) لاستخراج مؤشرات أكاسيد الحديد، ثم توظيف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحليل البيانات المكانية وإنتاج الخرائط الموضوعية وتفسير أنماط توزيعها داخل قضاء السلطان.

أهمية البحث

1- توفير قاعدة بيانات مكانية حديثة توضح توزيع أكاسيد الحديد في قضاء السلطان.

2- إبراز فاعلية تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في الكشف عن أكاسيد الحديد وتحليل توزيعها المكاني.

3- إنتاج خرائط رقمية يمكن الاستفادة منها في الدراسات الجيولوجية واستكشاف الموارد المعدنية ودعم التخطيط وإدارة الموارد الطبيعية.

حدود البحث المكانية: يقع قضاء السلطان ضمن حدود بادية محافظة المثنى ،

شملت منطقة الدراسة قضاء السلطان الذي يقع جنوب قضاء السماوة ضمن بادية المثنى، ويحدّه السهل الرسوبي شمالاً، وبادية بصبه شرقاً،

والحدود الإدارية لمحافظة النجف غرباً، والحدود الدولية مع المملكة العربية السعودية جنوباً ، يلاحظ الخرائط (1،2) وفلكياً تقع منطقة الدراسة

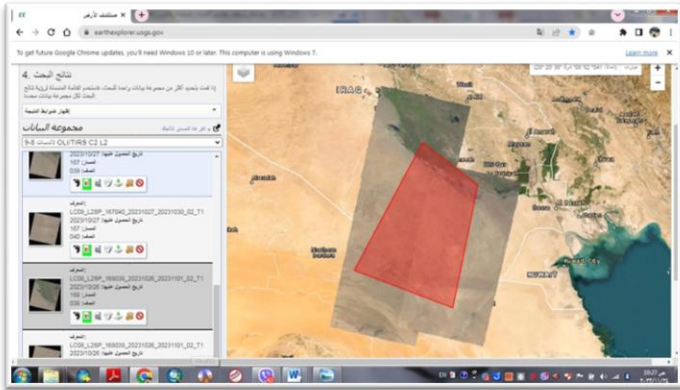
بين خطي طول (" 8.077' 32' 44° - " 23.302' 27' 45°) شرقاً ودائرتي عرض (" 10.110' 12' 29° - " 51.738' 23' 31°) شمالاً ، اما الحدود الزمانية فتمثلت

بسنة 2023.

أولاً: خطوات العمل:

1- المرئيات الفضائية التي تم استخدامها في الدراسة: تم الاعتماد في هذه الدراسة على (5) مشاهد فضائية غطت منطقة الدراسة ، يلاحظ شكل (1) ، من بيانات المتحسسات (OLI/TIRS C2L2) ، العائدين للقمر الأمريكي (Landsat 9-). (8) ، يلاحظ جدول (1).

شكل (1) يمثل تحميل المرئيات الفضائية التي غطت قضاء السلمان



المصدر: [6]

جدول (1) أرقام وتاريخ الاستحواذ للمرئيات الفضائية المستخدمة 9 -

Landsat8

ت	رقم المشهد	تاريخ الالتقاط
1	المسار: 168 الصف: 039	2023/11/3
2	المسار: 168 الصف: 040	2023/11/3
3	المسار: 167 الصف: 039	2023/10/27
4	المسار: 167 الصف: 040	2023/10/27
5	المسار: 168 الصف: 038	2023/10/26

المصدر: [6]

2- معالجة المرئيات الفضائية

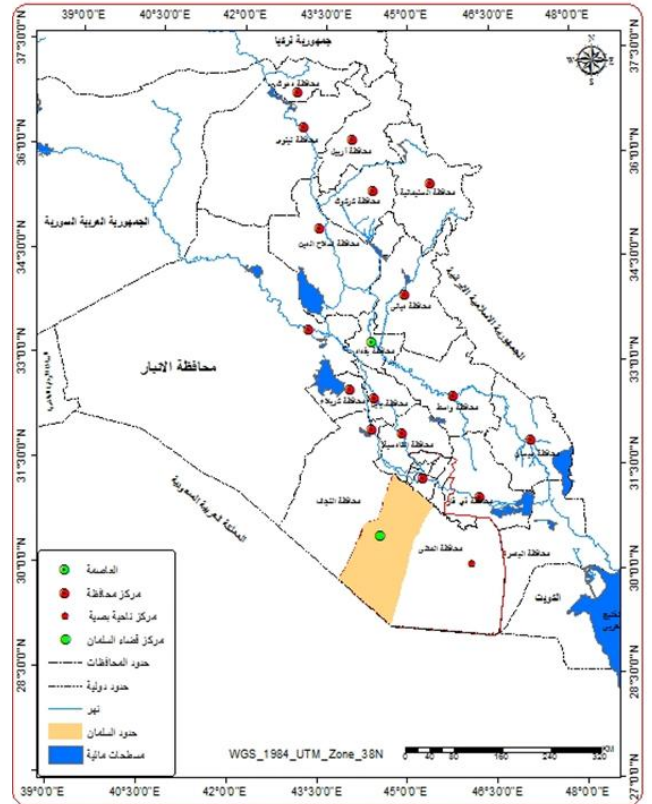
يمكن الاستفادة من العديد من المعالجات الإحصائية للمرئيات الفضائية ، من خلال تطبيق عمليات الجمع والطرح والقسمة ، فضلاً عن عمليات الخلط اللوني ، ويتطلب ذلك استخدام عدد من الحزم وحسب معدلات خاصة الغرض منها الوصول إلى نتائج تتناسب وهدف الدراسة .

اشتملت الدراسة العديد من المعالجات منها (عملية الموزايك وعملية القطع ، فضلاً عن عملية التحسين بتقنية خلط الألوان) :

1-2- عملية الموزايك (Mosaic) : تتلخص هذه الخطوة بضم (5) مشاهد

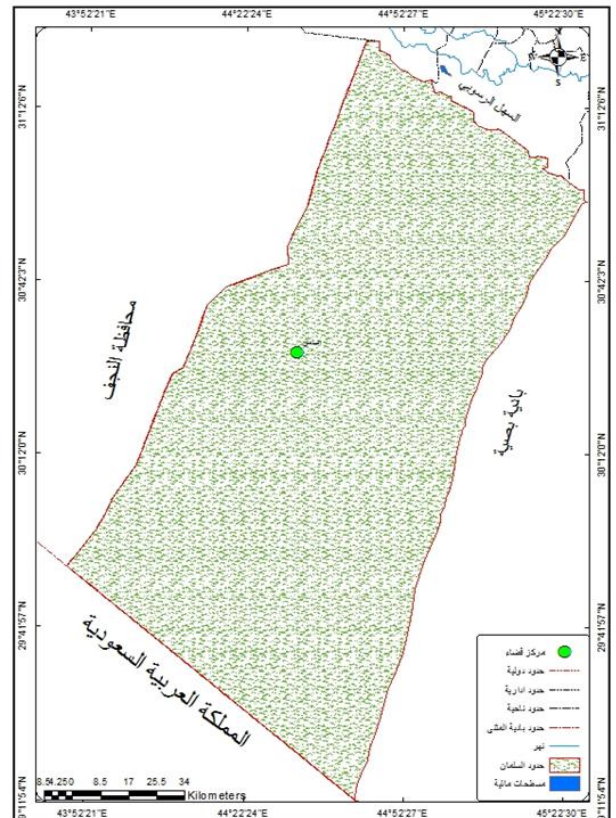
تم الحصول عليها من موقع الهيئة العامة للمسح الجيولوجي الأمريكي

خريطة (1) الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة من العراق



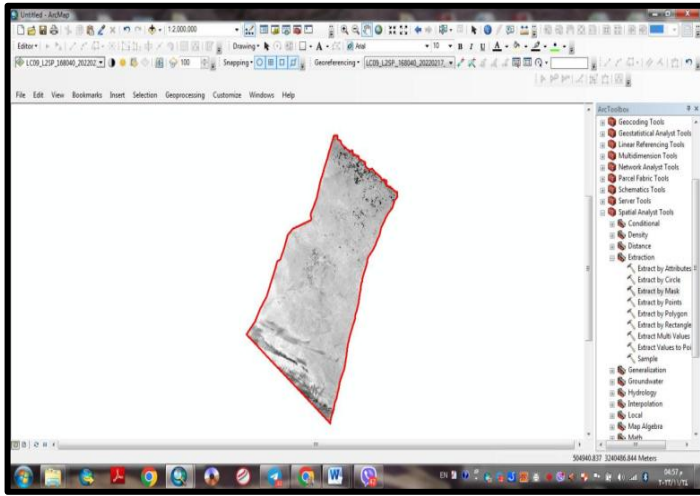
المصدر: [1-2-3]

خريطة (2) الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة من محافظة المثنى



المصدر: [3-4-5]

شكل (5) يمثل عملية القلع (Clipping) باستخدام الاداة (Extract by Mask)



المصدر: [6]

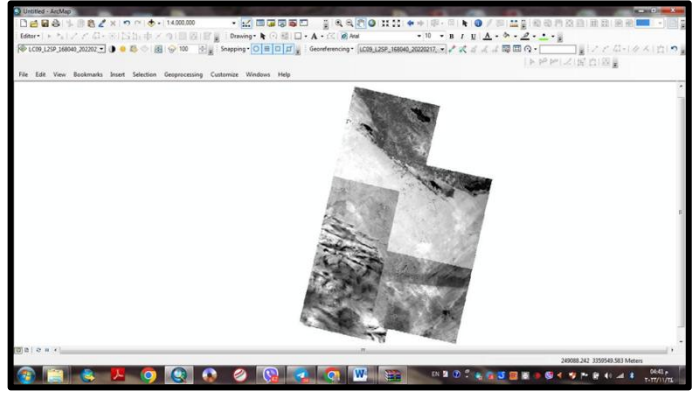
3-2-التحسين بتقنية خلط الالوان: تعد عملية تحسين المرئيات باستخدام تقنية خلط الالوان ذات أهمية بالغة في مضمار معالجة المرئيات الفضائية ، إذ إن الصور الملونة توفر بيانات أكثر من صور الابيض والاسود ، فضلاً عن إن إمكانية العين البشرية في رصد الفوارق اللونية ودرجة تشبع كل لون أكثر بكثير من قدرتها على تحليل وتفسير والاحساس بالتباين اللوني في درجات القيم الرمادي في حال المرئية الرمادية [7، ص 89] ، إذ إن أساس عرضها يعتمد على التباين في شدة انعكاسية المعدن المراد إظهاره من تلك الحزم [8، ص 38] ، وفي الغالب يلجأ المفسر إلى اختيار ثلاث نطاقات (Bands) لعرضها بتشكيلة لونية تتكون من (3) الوان (الأحمر ، الأخضر ، الأزرق) (RGB) كون هذه الالوان هي الاساس في تمثيل الصورة في حالتها الطبيعية .

ولتطبيق هذه التقنية على منطقة الدراسة فقد عملت الباحثة على خلط (3) حزم لتفسير أكاسيد الحديد والمعادن الطينية والمتمثلة بنطاقات (5،7،3) ، وقد تم تحليل الحزم الناتجة عن الخلطة اللونية المزيفة التي تم ذكرها سابقاً واجراء عميلة مطابقة مع الخرائط الطبوغرافية لقضاء السلمان وخرائط الغطاء الارضي لتحديد قدرة هذه التقنية على الكشف عن المعادن الحديدية وكما يأتي :

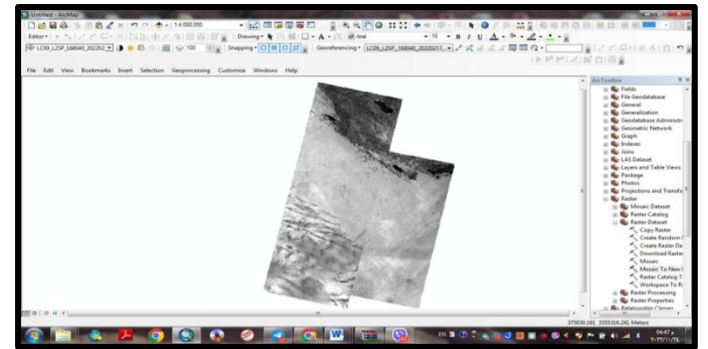
1- مرئية أكاسيد الحديد والمعادن الطينية للمركب اللوني (3،5،7) : تم وضع الحزمة (5) في المركب (R) والحزمة (7) في مركب (G) ووضع الحزمة (3) في مركب (B) لعمل خلطة لونية مزيفة ، وتبين من خلال تطبيق هذه التقنية إن أكاسيد الحديد تظهر باللون الاصفر المخضر بسبب الانعكاس المتوسط لأكاسيد الحديد في الحزمتين (5،7) نتيجة لمزج اللون الاحمر مع اللون الاخضر ، في حين برزت المعادن الطينية بلون بنفسجي نتيجة لانعكاس متوسط في الحزم (5،3) بسبب مزج اللون الاحمر والازرق ، يلاحظ خريطة (3) وشكل (6) الذي يوضح البصمة الطيفية لأكاسيد الحديد والمعادن الطينية الناتجة عن الخلطة اللونية الزائفة .

(usgs) بمشهد واحد ، وقد امكن تنفيذ هذه الخطوة من خلال الأدوات التي يوفرها برنامج ArcGIS وعمل موزائيك للمرئيات الفضائية (فسيفساء) ، وجمعها في مشهد واحد وذلك من خلال الاداة (mosaic to new raster) ، يلاحظ شكل (2)، (3).

شكل (2) يمثل تحميل المشاهد الخاصة بمنطقة الدراسة



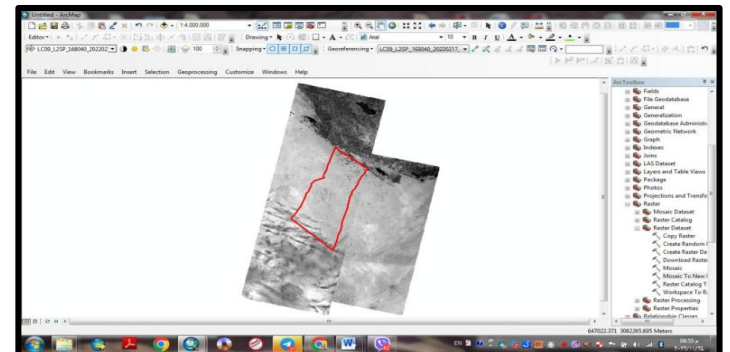
المصدر: [6]



المصدر: [6]

2-2-عملية القلع (Clipping) : تستخدم هذه العملية لتقليل البيانات وتسريع المعالجات واستبعاد المناطق التي لا تدخل ضمن حدود منطقة الدراسة ، عن طريق تحديد منطقة الدراسة بـ(Shapefile) من نوع (Polygon) باستخدام الاداة(Extract by Mask) ، يلاحظ شكل (4) ، (5) .

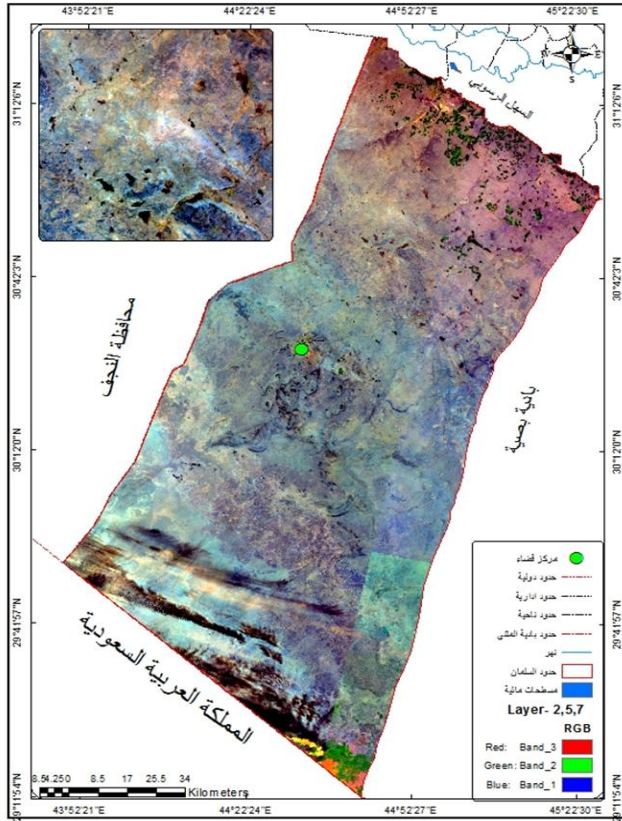
شكل (4) يمثل تحديد منطقة الدراسة بـ(Shapefile) من نوع (Polygon)



المصدر: [6]

مجموعة من القيم الرقمية (DN) في كل حزمة (Band) ، ويسمى حاصل قسمة هذا الرقم مع بكسل الحزمة التي تقابلها بالمعدل (Ratio Band) [10، ص 137]. وتأتي أهمية هذه المرئيات المحسنة من خلال تسليطها الضوء على التغيرات الطيفية الضعيفة فضلاً عن تقليل تأثير قيم السطوح للمواد السطحية المماثلة التي تنتج عن تضاريس الأرض والظلال وشدة أشعة الشمس وزاوية سقوطها [p.76،13] وبالتالي تسليط الضوء على معالم الظواهر قيد الدراسة.

خريطة (4) تمثل تطبيق الخلطة اللونية للمركب اللوني (2.5.7)

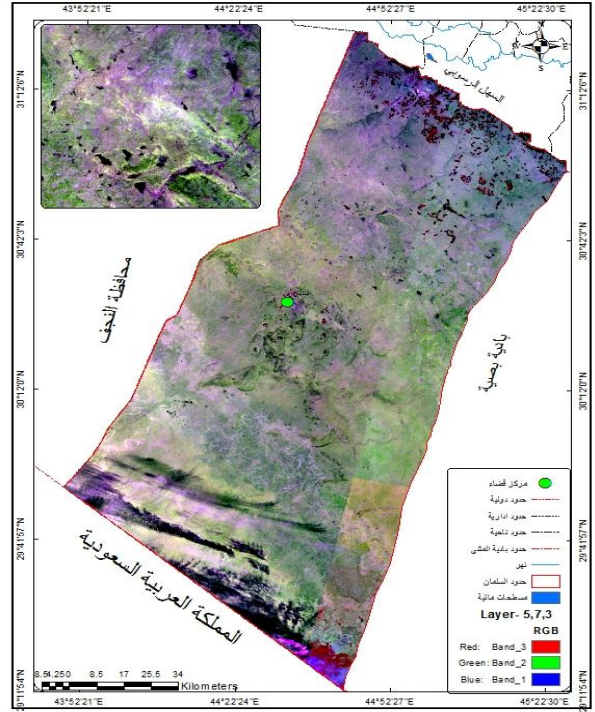


المصدر: [3]

وقد تم تطبيق النسب الطيفية في قضاء السلطان للكشف عن أكاسيد الحديد والمعادن الحديدية ، إذ استخدمت النسب الطيفية 6/5 و 4/2 لإنتاج لون زائف للكشف عن أكاسيد الحديد والمعادن الحديدية [p.25، 14] ، وتعد نسب الحزم الطيفية أحد أساليب المعالجة الرقمية للمرئيات الفضائية متعددة الاطراف ، إذ تقوم على اساس ان لكل معدن استجابة معينة اتجاه الأمواج الطيفية الكهرومغناطيسية من حيث الامتصاص والعكس ، ويمكن استخدام هذه التقنية في مجال الكشف عن المركبات المعدنية [11، ص 22]: وكما يأتي:

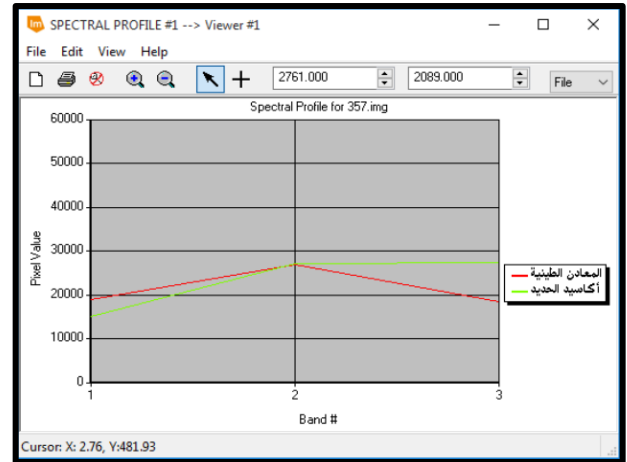
1- **مرئية أكاسيد الحديد** : تنتج هذه المرئية من حاصل قسمة الحزم (4/2) ، ويمكن من خلال الخريطة (5) ملاحظة التوزيع المكاني لأكاسيد الحديد التي تظهر بلون ناصع البياض ، إذ توزعت في العديد من أجزاء منطقة الدراسة ولا سيما المناطق الشمالية من قضاء السلطان وهي مطابقة مع التوزيع المكاني

خريطة (3) تمثل تطبيق الخلطة اللونية للمركب اللوني (5.7.3)



المصدر: [3]

شكل (6) تمثل البصمة الطيفية لأكاسيد الحديد والمعادن الطينية للمركب اللوني (5.7.3)



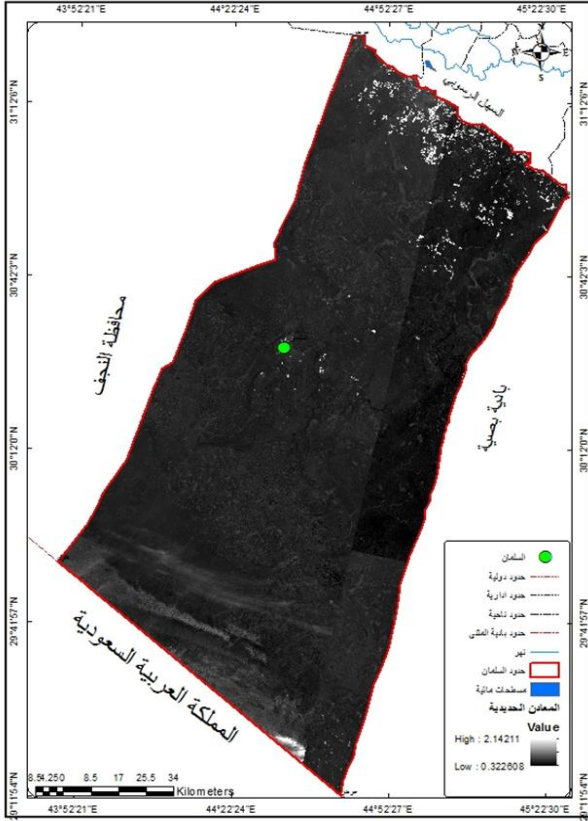
المصدر: [9]

2- **مرئية أكاسيد الحديد والمعادن الطينية للمركب اللوني (2.5.7)** : يمكن من خلال هذه الخلطة تمييز المعادن الطينية بانعكاس متوسط في الحزمتين (2,5) بلون أصفر ، في حين تظهر أكاسيد الحديد باللون أزرق مخضر بسبب الانعكاسية المتوسطة ضمن الحزمتين (7,5) ، يلاحظ خريطة (4).

3- التفسير بتقنية نسب الحزم الطيفية:

تعد مرئيات النسب الطيفية من المرئيات المحسنة التي تنتج عن تقسيم قيم الانعكاسية في مجال طيفي معين على القيم التي تقابلها في مجال طيفي آخر لغرض انتاج مرئية رقمية جديدة [p.102، 12] ، وتتألف المرئية الفضائية من

خريطة (6) تمثل التوزيع المكاني للمعادن الحديدية في قضاء السلمان



المصدر: [3]

نتائج البحث :

1- أثبتت نتائج الدراسة أن توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية أسهم بكفاءة في تحديد التوزيع المكاني لأكاسيد الحديد في قضاء السلمان، من خلال معالجة وتحليل مرئيات Landsat (8-9) باستخدام تقنيات النسب الطيفية والخلط اللوني.

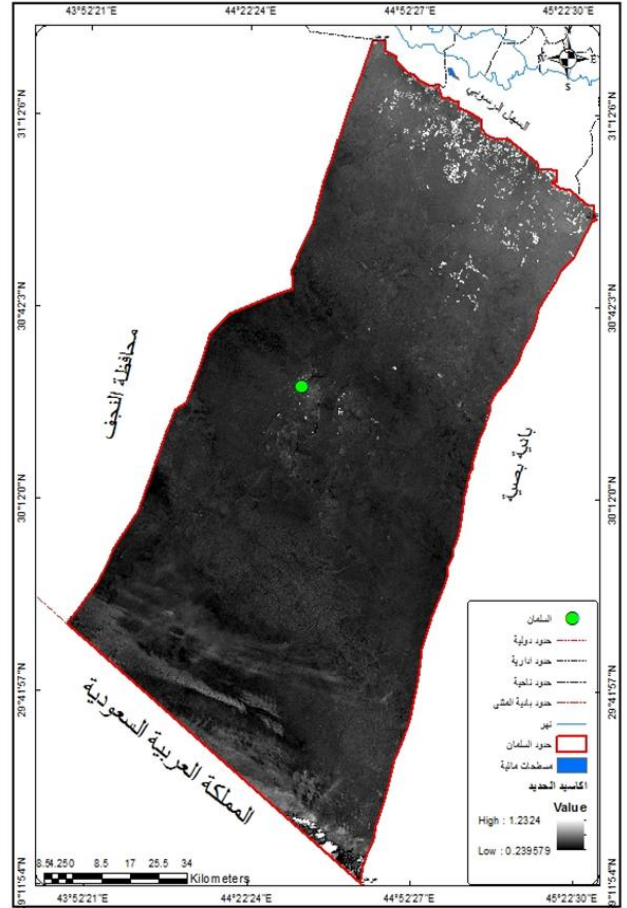
2- أظهرت خرائط التحليل وجود تباين مكاني واضح في انتشار أكاسيد الحديد داخل منطقة الدراسة، إذ تركزت أعلى مؤشرات ظهورها في الأجزاء الشمالية والشمالية الغربية، بينما سجلت المناطق الجنوبية والجنوبية الشرقية انتشاراً أقل، بما يعكس اختلاف الخصائص السطحية بين أجزاء المنطقة.

3- بينت نتائج المقارنة بين المؤشرات الطيفية المستخدمة اختلافاً في كفاءتها على إظهار أكاسيد الحديد، حيث أظهر مؤشر (5/6) نطاقاً مكانياً أوسع لمناطق الانتشار، في حين وفر مؤشر (4/2) قدرة أفضل على تمييز المواقع ذات التراكيز المرتفعة.

4- أسهم التكامل بين بيانات الاستشعار عن بعد وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية في إنتاج خرائط مكانية دقيقة توضح توزيع أكاسيد الحديد، مما وفر قاعدة بيانات مكانية يمكن الاستفادة منها

لمواقع ترسبات الحديد المستخدمة في معامل الاسمنت في شمال قضاء السلمان ، كما ويمكن ملاحظة وجود اماكن اخرى لأكاسيد الحديد في وسط منطقة الدراسة قرب مركز قضاء السلمان ، فضلاً عن المناطق الواقعة إلى أقصى جنوب منطقة الدراسة قرب الحدود الدولية الفاصلة بين جمهورية العراق والمملكة العربية السعودية .

خريطة (5) تمثل التوزيع المكاني لأكاسيد الحديد في قضاء السلمان



المصدر: [3]

2- مرئية المعادن الحديدية : تنتج هذه المرئية من حاصل قسمة الحزم (5/6) ، تظهر هذه المرئية بلون رمادي نظراً لكون النسب الطيفية تتكون من حزمتين ، وعند النظر إلى خريطة (6) يمكن ملاحظة التوزيع المكاني للمعادن الحديدية وتركزه في المناطق الشمالية من منطقة الدراسة وهو يطابق التوزيع المكاني لمناطق استثمار الحديد لمعامل الاسمنت في منطقة الدراسة ، كما ويمكن ملاحظة وجود مناطق اخرى لأماكن تواجد المعادن الحديدية في وسط منطقة الدراسة قرب مركز قضاء السلمان ، فضلاً عن أقصى جنوب منطقة الدراسة ، وهو يطابق نتائج المرئية السابقة.

بما يسهم في توجيه الجهود نحو المناطق الأكثر ملاءمة من الناحية الاقتصادية.

المصادر

- 1- وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، قسم إنتاج الخرائط، خريطة العراق الادارية، بمقياس 1:1000 000، بغداد، 2022.
- 2- وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، قسم إنتاج الخرائط، خريطة محافظة المثنى، بمقياس 1:500 000، بغداد، 2022.
- 3 – الهيئة الجيولوجية الأمريكية
[/https://earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov) (Landsat)
- 4-وزارة الموارد المائية ، الهيئة العامة للمساحة ، قسم إنتاج الخرائط ، خريطة العراق الادارية ، بمقياس ، 1:1000000، بغداد ، 2018 .
- 5- وزارة الموارد المائية ، الهيئة العامة للمساحة ، قسم أنتاج الخرائط ، خرائط محافظة المثنى ، بمقياس ، 1:500000، بغداد ، 2016.
- 6- الهيئة الجيولوجية الأمريكية
[/https://earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov) وبرنامج GIS.
- 7- عبد رب النبي عبد الهادي ، معالجة بيانات الاقمار الصناعية ورسم الخرائط ، ط 1 ، الدار العربية للنشر والتوزيع ، القاهرة ، 1992 ، ص 89.
- 8- ارسلان احمد عثمان الجاف ، التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة بعض الظواهر الجيولوجية والترسبات المعدنية في الصحراء الغربية في العراق ، رسالة ماجستير ، غير منشورة ، كلية الاداب ، جامعة بغداد ، 2008 ، ص 38
- 9- الباحثة بالاعتماد على Erdas 2016
- 10- شيرين حسين النصور ، الاستشعار عن بعد ، ط 1 ، مكتبة المجتمع العربي ، عمان ، الاردن ، 2014 ، ص 137 .
- 11- ابتهال تقي حسن ، تطبيق بعض تقنيات الاستشعار عن بعد لكشف الترسبات المعدنية لمنطقة بحر النجف باستخدام بيانات لاندسات 8 (OLI) ، مجلة الكوفة للفيزياء ، الرقم 10 ، العدد 1 ، ص 22 .
<https://journals.uokufa.edu.iq/index.php/kjph>
- 12- de Araujo, T. P., de Mello, F. M., & Bilal, E. (2013). Comparison between IHS-RGB transformations and ratio bands methods from LANDSAT imagery in the Rio de Janeiro region, Brazil. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(1), 102.
<https://cjees.ro/viewIssue.php?issueId=23>
- 13- Carbonneau, P. E., & Piégay, H. (2012). *Fluvial remote sensing for science and management*. John Wiley & Sons., p76.

في عمليات التحليل والاستكشاف المعدني.

- 5- أظهرت النتائج وجود توافق مكاني بين مناطق تركيز أكاسيد الحديد وبعض مواقع استثمار المواد الخام المستخدمة في صناعة الإسمنت، الأمر الذي يعزز من القيمة الاقتصادية للمناطق التي كشفت عنها الدراسة.
- 6- أكدت الدراسة أن استخدام تقنيات GIS وRS يمثل أسلوباً علمياً فعالاً للكشف الأولي عن مناطق انتشار أكاسيد الحديد، ويسهم في توجيه أعمال الاستكشاف وتقليل الوقت والجهد والكلفة مقارنةً بالاعتماد على المسوحات التقليدية.

التوصيات :

- 1-يوصى بتوسيع نطاق تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في الدراسات الخاصة بالكشف عن الخامات المعدنية، ولاسيما في البيئات الصحراوية التي تتسم باتساع مساحاتها وصعوبة الوصول إلى أجزاء منها.
- 2-العمل على إنشاء قاعدة بيانات مكانية محدثة للموارد المعدنية في قضاء السلطان، مع ردها بصورة دورية بالمرئيات الفضائية الحديثة لضمان توفير معلومات مكانية دقيقة تدعم أعمال التخطيط والاستثمار.
- 3- توجيه الدراسات الجيولوجية التفصيلية نحو المواقع التي أظهرت مؤشرات مرتفعة لوجود أكاسيد الحديد، بهدف تقييم احتياطياتها والتحقق من جدواها الاقتصادية.
- 4- اعتماد مرئيات فضائية ذات دقة مكانية وطيفية أعلى، مع دمجها بطرائق التحليل الرقمي المختلفة، بما يسهم في تحسين دقة تحديد مناطق انتشار أكاسيد الحديد وتقليل نسبة الخطأ في التفسير.
- 5- تعزيز التعاون بين المؤسسات الأكاديمية والجهات المعنية بالموارد المعدنية لتوسيع استخدام تقنيات GIS وRS في برامج الاستكشاف، لما تتميز به من سرعة في الإنجاز وانخفاض في الكلفة مقارنة بوسائل المسح التقليدية.
- 6- إعداد قاعدة خرائط رقمية متكاملة للموارد المعدنية في قضاء السلطان، تتضمن توزيع أكاسيد الحديد وبقية المؤشرات الجيولوجية، لتكون مرجعاً داعماً للباحثين ومتخذ القرار.
- 7- تنفيذ بحوث مستقبلية تجمع بين نتائج التحليل الفضائي وأعمال التحقق الحقلية والاختبارات المخبرية، بما يعزز موثوقية النتائج ويرفع مستوى دقتها.
- 8- الاستفادة من المخرجات المكانية التي توصلت إليها الدراسة عند وضع الخطط المستقبلية الخاصة بالاستكشاف والاستثمار المعدني،

[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119940](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119940791)

[791](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119940791)

14- Liu. J. G., & Mason. P. J. (2016). Image processing and GIS for remote sensing: Techniques and applications (2nd ed.). John Wiley & Sons.p25.

[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118724](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118724194)

[194](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118724194)