

تحديد الخصائص الطيفية للمعادن في محمية كاركونوجو الوطنية

في بولندا من المرئيات فائقة الأطياف للمجس APEX

أ. م. د. محمد أحمد مياس*

الملخص:

توفر مجسات الاستشعار عن بعد فائقة الأطياف عددًا كبيرًا من القنوات الطيفية لكل بكسل في الصورة الواحدة، بحيث يمكن الحصول على كمية كبيرة من المعلومات لمختلف الظواهر الطبيعية والبشرية، وتعتبر الدراسات الجيولوجية واستكشاف المعادن من أهم التطبيقات التي تعتمد على هذه التكنولوجيا في العقود الأخيرة، فمرئيات Hyper-spectral Imaging (HSI) تقوم بتسجيل الانعكاسات الطيفية لكل معدن وتحفظها في قنوات بطول موجي محدود لكل قناة، مما يساعد في الحصول على بيانات ذات دقة طيفية عالية يمكن استعمالها بشكل فعال في تحليل وتفسير أنواع المعادن والصخور، واستخراج ورسم خرائط دقيقة لأصناف المعادن، تهدف هذه الدراسة إلى استخراج بعض أنواع المعادن التي تشتهر بها منطقة الدراسة اعتمادًا على بيانات الانعكاس الطيفي للمعادن من مرئيات (HSI)، وتغطي الدراسة محمية كاركونوجو الوطنية (Karkonosze National Park) التي تقع في جنوب غرب بولندا، وقد تم تقسيم منهجية الدراسة إلى جزأين رئيسيين: الجزء الأول يتم فيه تصحيح تأثير الغلاف الجوي من خلال تطبيق طريقة التصحيح الجوي السريع (Quick Atmosphere Correction QUAC)، وطريقة الحد الأدنى من التشويش (Minimum Noise Fraction MNF)، والجزء الثاني يناقش

* أستاذ الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية المشارك- قسم الجغرافيا-كلية الآداب- جامعة صنعاء، الجمهورية

استخراج المعادن الموجودة في منطقة الدراسة، والجزء الثالث يعرض تصنيف المرئية الفضائية عن طريق إدخال البصمة الطيفية للمعادن التي تم الحصول عليها باستعمال راسم الزاوية الطيفي (Spectral Angle Mapper SAM) اعتمادًا على بيانات الانعكاسات الطيفية للمعادن التي أصدرتها هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)، وكذلك الانعكاسات الطيفية للمعادن المسجلة من قبل (Jet Propulsion Laboratory JPL) باعتبارها مرجعية لاستخراج انعكاسات المعادن المماثلة من مرئيات (HSI). وقد بلغ عدد المعادن والصخور التي تم استخراجها من مرئية (HSI) وتصنيفها ستة معادن هي السيوليت، والصابونيت، والجرانيت، والكوارتز، والكولينيت، والكاسيتريت.

Determination of spectral Signatures of minerals in Karkonosze National Park in Poland from Hyper-spectral Imaging of APEX Sensor

Dr. Mohammed Ahmed Maiyas

Abstract:

Hyper-spectral Imaging (HSI) remote sensors provide a large number of spectral channels per pixel for each image. In this regard, a large amount of information can be obtained for various natural and human phenomena. Geological studies and mineral exploration are the most important applications based on this technology in recent decades. The Hyper-Spectral Imaging (HSI) records the spectral reflections of each metal and saves them in channels with a limited wavelength per channel, which helps in obtaining high-spectral accuracy data that can be effectively used in the analysis, interpretation, extraction and mapping of accurate of mineral and rock types. This study covers the Karkonosze National Park located in southwestern part of Poland. The study aims to extract some types of minerals in the study area based on spectral reflection data of metals from HSI imageries. The study is divided into three sections; the first section corrects the atmospheric effect by applying the Quick Atmosphere Correction (QUAC) method and the Minimum Noise Fraction (MNF) method. The second section discusses the extraction of minerals from (HIS) imageries. The third section displays the classification of the hyper-spectral image based on spectral signatures of minerals using Spectral Angle Mapper (SAM). The result was compared with library data of Jet Propulsion

Laboratory (JPL) and USGS as a reference for reflections of similar minerals from HSI imageries. The number of minerals and rocks extracted from HSI imageries is six minerals which are sepiolite, saponite, granite, quartz, kaolinite, and cassiterite.

مقدمة

تعتبر المرئية الفضائية فائقة الأطياف (HSI) من أهم البيانات الرقمية في الاستشعار عن بعد، وتستعمل في كثير من التطبيقات المدنية والعسكرية، وتحتوي هذه المرئيات على قنوات طيفية كثيرة قد يصل عددها إلى عدة مئات من القنوات الطيفية التي يمكن تسجيلها في المرئية الواحدة تبعًا لنوع المجس المستعمل، والشركة المصنعة؛ مما يسمح برصد انعكاسات طيفية كثيرة لكل خلية (pixel) داخل المرئية، كما أنها توفر إمكانية التمييز بين مختلف مظاهر سطح الأرض التي تمتلك خصائص امتصاص وانعكاس طيفي بنطاقات طيفية ذات أطوال موجية ضيقة ومحددة، قد تفقد أثناء استعمال نطاقات طيفية بأطوال موجية واسعة من قبل المجسات متعددة الأطياف التقليدية.

وتعتبر الدراسات الجيولوجية واستكشاف المعادن من أهم التطبيقات التي تعتمد على هذه التكنولوجيا في العقود الأخيرة، وتعتبر المعادن إحدى أهم الموارد الطبيعية الأساسية لأي بلد، والاستعمال السليم لهذا المورد يلعب دورًا رئيسيًا في اقتصاد وتنمية البلاد، وتسمح التركيبة الكيميائية للمعادن والصخور بتسجيل الخصائص الطيفية في مختلف أنحاء الطيف الكهرومغناطيسي بحسب المعدن أو الصخر المستعمل⁽¹⁾، فمرئيات (HSI) تقوم بتسجيل الانعكاسات الطيفية لكل معدن وتحفظها في قنوات بطول موجي محدود لكل قناة، مما يساعد على الحصول على بيانات ذات دقة طيفية عالية يمكن استعمالها بشكل فعال في تحليل وتفسير أنواع المعادن والصخور، واستخراج ورسم خرائط دقيقة لأصناف المعادن في المنطقة المراد دراستها، بحيث يمكن للمستعمل الحصول على خرائط تفصيلية للتوزيع المكاني لكثير من المعادن، وبذلك تعتبر أداة مثالية في وضع الخرائط الجيومورفولوجية⁽²⁾.

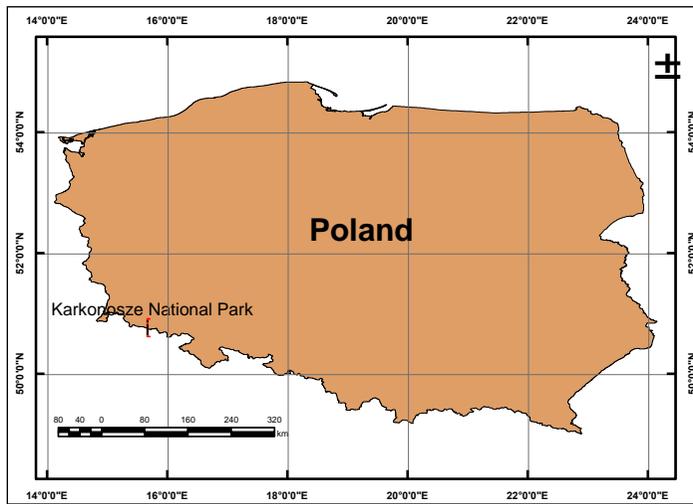
لقد بدأ الباحثون في الكشف عن التغيرات الفيزيائية والكيميائية للمعادن مثل تركيب المعدن وشكله ولونه، وشكل الانعكاس الطيفي الذي تسجله المرئية منذ النصف الثاني من القرن الماضي^{(3)،(4)،(5)}، وقد عرض⁽⁶⁾ خوارزمية تمثل دراسة كمية تركز على رصد الانعكاسات الطيفية للمعادن تشمل جمع وتحليل البيانات الطيفية والبيانات المكانية، فالقدرات الحالية لنظم (HSI) تُمكن المستعمل من إمكانية الحصول على بيانات ذات دقة مكانية تتراوح بين مترين إلى 20 متراً لكل بكسل، ودقة طيفية عالية تتراوح بين 10 nm و20nm، وبذلك يمكن الحصول على معلومات قيمة في كل نطاق طيفي عن طريق مقارنة كل منحى بما يمثله من انعكاس طيفي لكل معدن، وتزيد دقة نتيجة التصنيف كلما زاد عدد النطاقات الطيفية المستعملة.

إن استخراج الانعكاس الطيفي من مرئيات (HSI) يساعد في التعرف المباشر على كثير من المعادن مثل مكونات الحديد في الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والمعادن التي تحتوي على الكربونات والكبريتات في موجات الأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR)، والمعادن التي تحتوي على السيليكات في موجات الأشعة تحت الحمراء الطويلة (FIR)، كما أن عمق الامتصاص للبصمة الطيفية يتم تسجيله على شكل ذبذبات تمثل انعكاس المعادن أو الصخور، وتختلف من معدن إلى آخر، ويعود ذلك إلى حجم الحبيبات التي تشكل كل معدن؛ لأن كمية انتشار أو امتصاص الضوء تعتمد على حجم حبيبات كل صخر أو معدن، فكلما زاد حجم الحبيبات زاد عمق الذبذبة في مقياس الطيف الكهرومغناطيسي⁽⁷⁾.

وتتميز المجسات المستعملة في إنتاج مرئيات (HSI) بدقة طيفية عالية، مقابل احتواء تلك المرئيات على دقة مكانية منخفضة، فالمساحة الأرضية التي تغطيها الخلية الواحدة قد تحتوي على عدة ظواهر، إلا أن الانعكاس الطيفي الذي يتم تسجيله لهذه الخلية هو للظاهرة الأكثر انعكاساً، ومن ثم تختفي انعكاسات بقية الظواهر الأخرى، وينطبق الأمر نفسه على مكونات المعادن⁽⁸⁾، فالصخور قد تحتوي على أكثر من معدن فيتم تسجيل انعكاس أكثر المعادن تواجداً في الصخر، ولا تظهر انعكاسات بقية المعادن، وللتغلب على هذه المشكلة فقد ظهرت دراسات متعددة تهتم بفصل المكونات الفردية للمعادن الأخرى، التي تم رصدها وتوجد داخل كل خلية، عن طريق تحليل الانعكاس الطيفي لكل خلية إلى مجموعة من الأطياف الأخرى، بحيث يجب إجراء معالجة مسبقة للمرئية للحصول على أفضل النتائج النهائية.

إن من أهم التقنيات التي ظهرت لتحليل الصور الفائقة الطيفية هو ما يعرف بخوارزمية فصل خليط المكونات المتجانسة لمكونات المعدن (unmixing) في كل خلية، وتحليل الانعكاسات الطيفية لبقية المكونات داخل كل خلية، وفصلها إلى مجموعة من الأطياف المكونة الأخرى (9)، (10)، (11).
منطقة الدراسة:

تغطي الدراسة محمية كاركونوج الوطنيّة (Karkonosze National Park) التي تقع في جنوب غرب بولندا، على الحدود التشيكية، وهي منطقة جبلية تعتبر أغنى منطقة في وسط أوروبا من حيث التنوع الحيوي، بمساحة قدرها 56 كم² (شكل 1).



(شكل 1): منطقة الدراسة في محمية كاركونوج الوطنيّة (Karkonosze National Park) في بولندا

هدف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى استخراج بعض أنواع المعادن التي تشتهر بها منطقة الدراسة، اعتمادًا على بيانات الانعكاس الطيفي للمعادن من مرئيات (HSI)، اعتمادًا على بيانات الانعكاسات الطيفية للمعادن التي أصدرتها هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)، وكذلك الانعكاسات الطيفية للمعادن المسجلة من قبل (JPL).

البيانات المستعملة:

المرئية الفضائية المستعملة في الدراسة هي مرئية فائقة الأطياف (HSI)، وتم التقاطها في 10 سبتمبر 2012م بواسطة المجس (APEX Airborne Spectrometer) المثبت على طائرة تصوير

على ارتفاع 6050م فوق سطح البحر، خلال الفترة الزمنية من الساعة 10:35 صباحًا وحتى الساعة 14:12 ظهرًا بالتوقيت المحلي لبلوندا، بالتعاون مع مركز أبحاث الفضاء الألماني (DLR Braunschweig) وشركة (VITO) البلجيكية، وتحتوي المرئية الفضائية على 288 قناة، بطول موجي يمتد من $0.3937\mu\text{m}$ إلى $2.4673\mu\text{m}$ ، وتشمل نطاقات الطيف المرئي، والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، والأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR).

منهجية الدراسة:

تم تقسيم منهجية الدراسة إلى ثلاثة أجزاء رئيسية: الجزء الأول تم فيه تصحيح تأثيرات الغلاف الجوي على الصورة من خلال تطبيق طريقة التصحيح الجوي السريع Quick Atmosphere Correction (QUAC)، ثم تقليص التشوش من خلال استعمال طريقة الحد الأدنى من التشويش (Minimum Noise Fraction (MNF)، والجزء الثاني يتعلق بطريقة استخراج المعادن الموجودة في منطقة الدراسة اعتمادًا على بيانات الانعكاسات الطيفية للمعادن التي أصدرتها هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)، وكذلك الانعكاسات الطيفية للمعادن المسجلة من قبل (JPL) باعتبارها مرجعية لاستخراج انعكاسات المعادن المماثلة من مرئيات (HSI)، والجزء الثالث يعرض تصنيف المرئية الفضائية عن طريق إدخال البصمة الطيفية للمعادن التي تم الحصول عليها باستعمال راسم الزاوية الطيفي (Spectral Angle Mapper (SAM).

تؤثر مكونات الغلاف الجوي في نتائج تحليل المرئية، وتعتبر عملية تصميم مكونات الغلاف الجوي البداية الصحيحة لتحليل المرئية، فكثير من البيانات التي يتم استخراجها من المرئية تتطلب إجراء تصحيح مكونات الغلاف الجوي من خلال معايرة بيانات المرئية مقابل الإشعاع المنعكس من سطح الأرض مع إضافة المعلومات المتعلقة بنوعية المجس المستعمل في التصوير وارتفاع الطيران أثناء التصوير، وبذلك يمكن التعرف على توزيع المعادن على سطح الأرض، وقد تم استعمال طريقة التصحيح الجوي السريع (QUAC)، بهدف تصحيح تأثير الغلاف الجوي على الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس من الأجسام على سطح الأرض باتجاه المجس، وتعتمد هذه الطريقة على تصحيح كل خلية من خلايا المرئية كل على حده؛ لأن كل خلية في مرئيات (HSI) تحتوي على قياس مستقل، بحيث يتم حساب امتصاص بخار الماء في الغلاف الجوي في كل نطاق طيفي، ونتيجة طريقة التصحيح الجوي السريع هي الحصول على مرئية خالية من تأثير الغلاف الجوي، لكن بعدد قنوات طيفية أقل من

الصورة الأصلية، حيث تم تقليل عدد القنوات المستعملة من 288 قناة إلى 229 قناة، دون أن يؤثر ذلك على القنوات التي تم استعمالها في التحليل وتمتد بطول موجي من $0.35\mu\text{m}$ إلى $2.5\mu\text{m}$ ، وهو الطول الموجي المطلوب في الدراسات الجيولوجية.

كما تم استعمال طريقة الحد الأدنى من التشويش (MNF) لمعالجة بيانات المرئية وعزل التشويش الذي قد يحدث في تلك البيانات، من خلال حساب مصفوفة التغير لتقدير التشويش المسجل في المرئية بشكل آلي من بداية أول قناة وحتى آخر قناة طيفية تحتويها المرئية، وقد تم تقسيم البيانات إلى جزأين: الجزء الأول يرتبط بالقيم الأصلية للمرئية، والجزء الثاني هو جزء مكمل للقيم الأصلية، يتم فيه فصل التشويش من البيانات، ومن ثم تحسين نتائج المعالجة الطيفية للمرئية.

بعد أن تم إجراء تصحيح الغلاف الجوي والحد من التشويش المصاحب لبيانات المرئية فإن الخطوة الثانية تتمثل في مطابقة الانعكاس الطيفي (Signature Matching) لخلايا مرئية (HSI) مع الانعكاس الطيفي المائل من USGS Spectral Library للحصول على البصمة الطيفية للمعادن المتوفرة في المنطقة لكل من معدن السيبوليت sepiolite، والصابونيت saponite، والجرانيت granite، والكوارتز quartz، والكولينيت kaolinite، والكاسيتريت cassiterite.

أما الخطوة الأخيرة فهي تصنيف المرئية الفضائية عن طريق إدخال البصمة الطيفية للمعادن التي تم الحصول عليها باستعمال راسم الزاوية الطيفي (SAM) وهو تصنيف طيفي للمرئيات الفضائية يستعمل لمطابقة كل بكسل في المرئية الفضائية مع البصمة الطيفية التي تم استخراجها لكل بكسل، ويستند تصنيف (SAM) على تحديد التشابه بين الطيف الذي لم يتم تحديده من داخل المرئية (t) والطيف المرجعي المستخرج من (USGS) ورمزه (r) بحسب المعادلة الرياضية الآتية⁽¹²⁾:

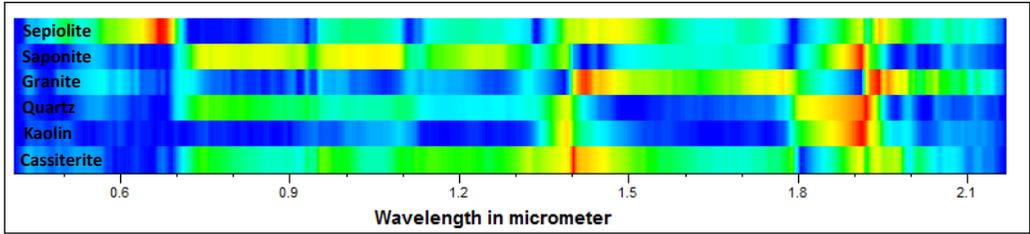
$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2)^{1/2} (\sum_{i=1}^{nb} r_i^2)^{1/2}} \right]$$

حيث تمثل nb عدد القنوات الطيفية التي تحتويها المرئية الفضائية.

النتائج والمناقشة:

إن شكل وتركيب المعدن من أهم المعايير التي تحدد شكل وعمق الانعكاس الطيفي لكل معدن، ومن ثم تحدد البصمة الطيفية لكل معدن على حدة، وقد بلغ عدد المعادن والصخور التي

تم استخراجها من مرئية (HSI) وتصنيفها ستة معادن هياسيبوليت sepiolite، والصابونيت saponite، والجرانيت granite، والكوارتز quartz، والكولينييت kaolinite، والكاسيتريت cassiterite. تختلف هذه المعادن من حيث تركيبها الكيميائي والمجموعة التي تنتمي إليها، وقد نتج عن تحليل الانعكاسات الطيفية لكل معدن ظهور خصائص الانعكاس الطيفي في مقياس الطيف لدى الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) التي تتراوح بين $0.35\mu\text{m}$ و $1.3\mu\text{m}$ والأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR) ذات الأطوال الموجية بين $1.3\mu\text{m}$ و $2.50\mu\text{m}$ ، وبين (شكل 2) البصمة الطيفية للمعادن التي تم استخراجها من المرئية، فالبصمة الطيفية لمعدن السيبوليت تظهر بوضوح في الأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة (NIR) وتحت الحمراء القصيرة (SWIR)، في حين نجد أن البصمة الطيفية لمعدن الصابونيت والكاسيتريت والكولين يمكن رصدهما في أشعتي (NIR) و (SWIR)، في حين يمكن رصد البصمة الطيفية لمعدن الكوارتز وصخر الجرانيت في الأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR).



شكل 2: البصمة الطيفية للمعادن المستخدمة في الدراسة

وقد تم الحصول على الانعكاس الطيفي للمعادن من خلال معرفة الانعكاس الطيفي ودراسة الخصائص الطيفية لكل معدن على حدة، عن طريق دراسة موضع وعمق وشكل الامتصاص الطيفي، وقراءة الطول الموجي في مقياس الأطياف؛ ولذلك فقد تم فحص مناطق الطول الموجي وانحدار منحني الطيف التي تؤثر على قوة وشكل الامتصاص، وتحديد الحد الأعلى من الشكل العام للانعكاس الطيفي.

1. معدن السيبوليت Siplite

معدن لونه أبيض يتكون من مكونات معقدة من سيليكات المغنيسيوم، ويظهر بأشكال صلبة، ويطفو على الماء أو السطح بسبب ثقله النوعي المنخفض ومساميته العالية، ويوضح (شكل 3) أن الانعكاس الطيفي لمعدن السيبوليت ظهر في الأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة والقصيرة، إلا أنه

يمكن قراءة مؤشر الانعكاس الطيفي للسيبوليت عند الأطوال الموجية $0.31 \mu\text{m}$ ، $1.393 \mu\text{m}$ ، $1.94 \mu\text{m}$ ، وهذه النتيجة تتطابق مع الانعكاس الطيفي المسجل من قبل (USGS) و (JPL) لمعدن السيبوليت.

2. معدن الصابونيت Saponite

الصابونيت خليط من الحديد والمغنسيوم وهو معدن قابل للذوبان في حمض الكبريتيك، ويتواجد في تجايف الصخور النارية وخاصة البازلت، ونتيجة مؤشر الانعكاس الطيفي المسجل للصابونيت في منطقة الدراسة تظهر عند الطول الموجي $0.71 \mu\text{m}$ وهي المنطقة التي يمكن تسجيل مكونات الحديد فيها، ناهيك عن الأطوال الموجية $1.118 \mu\text{m}$ ، $1.397 \mu\text{m}$ ، $1.932 \mu\text{m}$ ، وهذا يتوافق مع نتيجة الانعكاس الطيفي المسجل من قبل (USGS) و (JPL) لمعدن الصابونيت، خاصة عند الطول الموجي $0.468 \mu\text{m}$ وكذلك $1.15 \mu\text{m}$ ، كما هو موضح في (شكل 3).

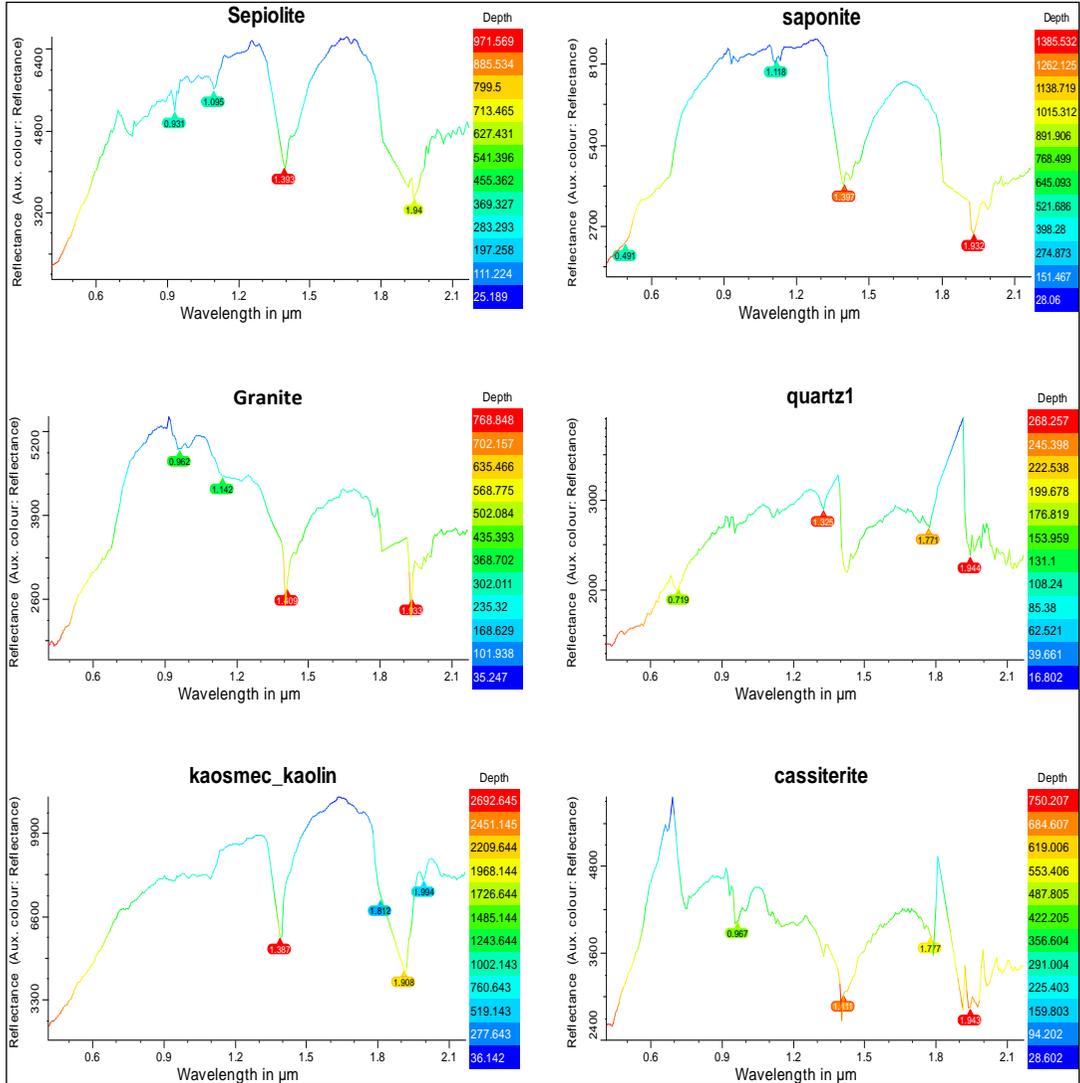
3. صخر الجرانيت Granite

الجرانيت من الصخور الشائعة التي تتواجد في مناطق الصخور البركانية، ويتكون من الكوارتز، والميكا، والفلسبار، ويتراوح الانعكاس الطيفي للجرانيت عادةً بين $0.9 \mu\text{m}$ و $2 \mu\text{m}$ ، والسبب يرجع إلى أن الجرانيت يتكون عادةً من الفلسبار بنسبة 36%، والكوارتز بنسبة 30%، والميكروكلين بنسبة 28%، والبيوتيت بنسبة 5%، والكلوريت بنسبة 1%، وهذا يفسر ظهور عدد من الانعكاسات الطيفية المسجلة ضمن الانعكاس الطيفي للجرانيت، إلا أن أقوى مؤشر انعكاس تم رصده للجرانيت يظهر في النطاق الطيفي عند قيمة $1.409 \mu\text{m}$ التي تمثل انعكاس الفلسبار، وكذلك $1.93 \mu\text{m}$ التي تمثل انعكاس الكوارتز (شكل 3).

4. الكوارتز Quartz

يتواجد الكوارتز النقي كثيرًا في الشقوق الصخرية في الصخور النارية، والانعكاس الطيفي للكوارتز يكون واضحًا في الأشعة تحت الحمراء القصيرة عند قيمة $1.93 \mu\text{m}$ ، وبين (شكل 3) بوضوح

ارتفاع قيمة الانعكاس الطيفي عند الطول الموجي $1.93\mu\text{m}$ مع وجود بعض القيم التي تم رصدها لبعض المعادن المختلطة مع الكوارتز، مثل خام الحديد الذي يظهر بوضوح عند قيمة $0.719\mu\text{m}$ ، ويعود الانعكاس الواضح للكوارتز في الأشعة تحت الحمراء القصيرة إلى شكل ومظهر حبيبات المعدن التي تظهر بشكل مضلع بمسارات مستقيمة.



(شكل 3): الانعكاس الطيفي للمعادن المستخدمة في الدراسة

5. معدن الكولين Kaoline

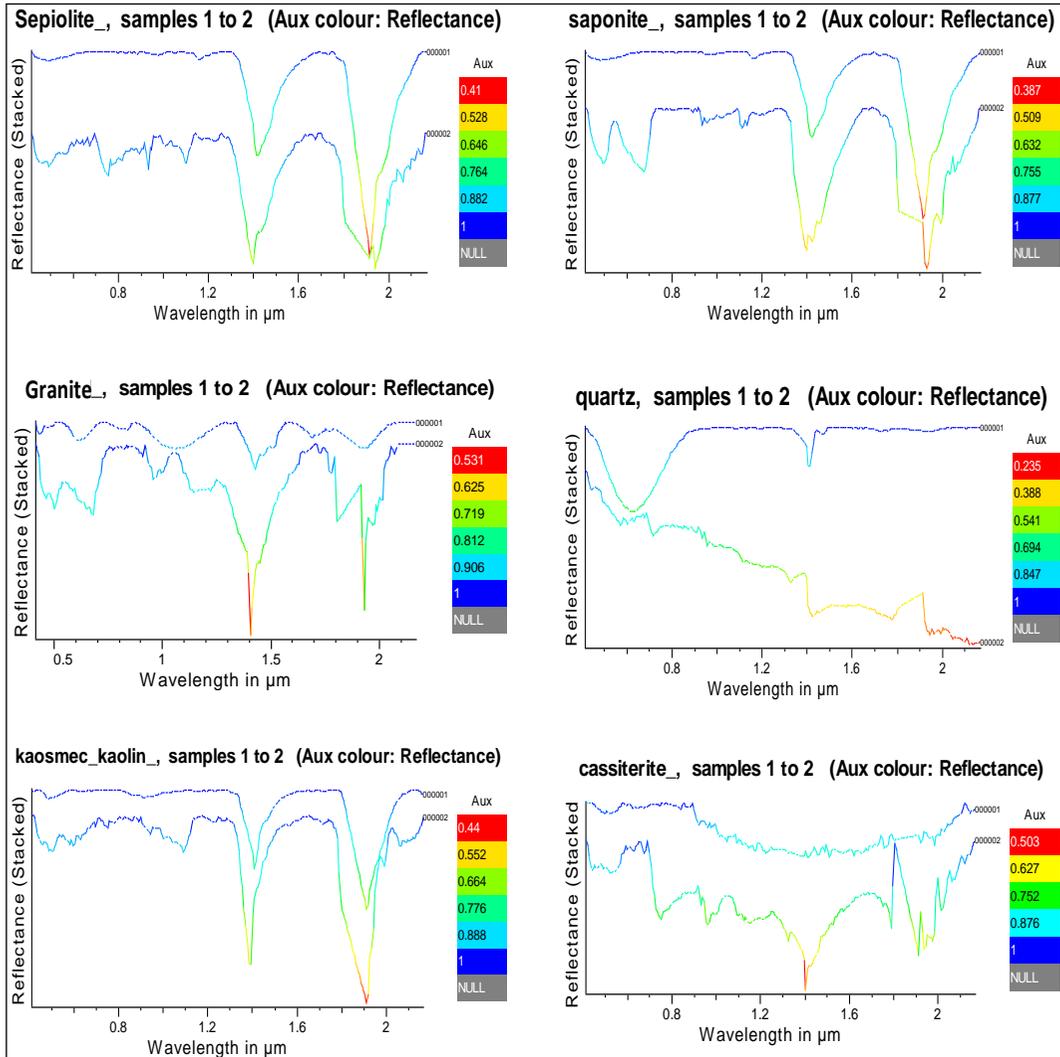
الكولين معدن طيني أبيض اللون، ذو درجة انصهار عالية، يستعمل في صناعة الإسمنت والخزف والدهانات والصناعات الورقية، والانعكاس الطيفي لمعدن الكولين يحدث عند الطول الموجي $1.812\mu\text{m}$ ، والطول الموجي $1.908\mu\text{m}$ (شكل 3)، وهذا يتوافق مع الانعكاس الطيفي المسجل من قبل USGS عند الطوال الموجي $1.816\mu\text{m}$ و $1.908\mu\text{m}$ على التوالي.

6. معدن الكاسيتريت Cassiterite

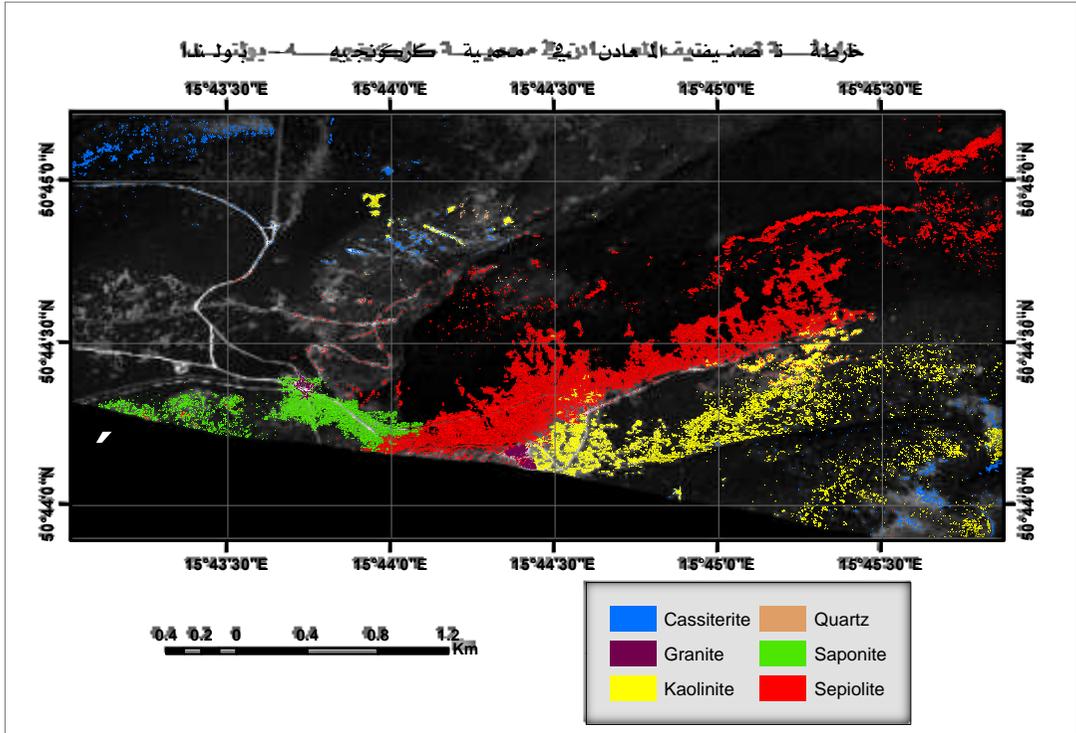
الكاسيتريت معدن لونه بُي ضارب للحمرة، ويعتبر المصدر الرئيسي للقصدير ويتواجد في الصخور النارية، وهو من أكثر المعادن التي تشتهر بها منطقة الدراسة التي تعتبر من أهم ثلاثة مواقع لمعدن الكاسيتريت في بولندا، والانعكاس الطيفي للكاسيتريت يحدث عند الطول الموجي $1.7\mu\text{m}$ (شكل 3).

كما تمت مطابقة كل انعكاس طيفي تم استخراجها من مرئية (HSI) مع الانعكاس الطيفي المسجل مرجعًا ضمن المكتبة الطيفية المرجعية التي تم إعدادها بواسطة (USGS) بهدف التأكد من صحة النتائج، و(شكل 4) يوضح علاقة التطابق الكامل بين الانعكاس الطيفي في معادن السيبوليت والصابونيت والجرانيت والكولين، والتطابق شبه الكامل بين الكوارتز والكاسيتريت.

أما (شكل 5) فيوضح خريطة تصنيف المعادن في منطقة الدراسة، ويظهر بوضوح أن أكثر المعادن تواجدًا في منطقة الدراسة هو الكاسيتريت والكولين والصابونيت والسيبوليت، ونسبة لا بأس بها من الجرانيت.



(شكل 4): التطابق بين الانعكاس الطيفي من المجس APEX والانعكاس الطيفي المسجل بواسطة USGS



(شكل 5): خريطة تصنيف المعادن في محمية كاركونجية الوطنية - بولندا

الهوامش والإحالات:

- 1) Hueni, A., and Tuohy, M., "Spectroradiometer Data Structuring, Pre-Processing and Analysis - an IT Based Approach" *Spatial Science Journal*, vol. 51, no. 2, 2006, Taylor & Francis, page: 94.
- 2) Kruse, F., "Mineral Mapping Using Spectroscopy: From Field Measurements to Airborne and Satellite-Based Imaging Spectrometry", 2010, Page:4 <https://pdfs.semanticscholar.org/fb95/f3a9ae1be73f24e631c37711854fe17c092e.pdf>
- 3) Kruse, F., "Use of Airborne Imaging Spectrometer Data to Map Minerals Associated with Hydrothermally Altered Rocks in the Northern Grapevine Mountains, Nevada, and California:" *Remote Sensing of Environment Journal*, vol. 24, 1988, Page:38.
- 4) Hunt, G. R., and Ashley, R. P., "Spectra of altered rocks in the visible and near infrared", *Journal of Economic Geology*. vol. 74, no. 7, 1979, Page:1617.

- 5) Hunt, G. R., and Salisbury, J. W., "Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: II. Carbonates", *Journal of Modern Geology*. Vol. 2, 1971, page 25.
- 6) Plaza, J., Hendrix, E., García, I., Martín, G, Plaza, A., "On Endmember Identification in Hyperspectral Images Without Pure Pixels: A Comparison of Algorithms", *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, vol. 42, no. 2-3, 2012, Page: 165.
- 7) Isaacson, P, J., and Pieters, C, M., "Deconvolution of lunar olivine reflectance spectra: Implications for remote compositional assessment", *international journal of solar system studies*, vol. 210, no. 1, Elsevier Inc, 2010, Page: 9.
- 8) Sanches, I, D., Tuohyt, M, p., Hedley, M, J., Breth-Erton, M, R., "Large, durable and low-cost reflectance standard for field remote sensing applications" *International Journal of Remote Sensing*, vol. 30, no. 9, Taylor & Francis, 2009, Page: 2311.
- 9) Nascimento, J., & Dias, J., "Independent component analysis applied to unmixing hyperspectral data", *Image and Signal Processing for Remote Sensing*, vol. 5238, SPIE, Barcelona, Spain, 2004, Page: 310.
- 10) Nascimento, J., & Dias, J., "Vertex component analysis: a fast algorithm to unmix Hyperspectral data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 43, no. 4, 2005, Page: 899.
- 11) Keshava, N., and Mustard, J., "Spectral unmixing", *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 19, no. 1, 2002, Page: 47.
- 12) Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., and Goetz, A. F. H. "The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data" *Journal of Remote Sensing Environment*, vol. 1.1, no. 44, Elsevier Science Publishing, 1993, Page: 146.

