

تطبيق نموذج التحويل الرياضي ذي القبعة المشرشبة على بيانات المسح الاستشعاري لإعداد خرائط جيومكانية وتقييم أراضي التعدين السطحي في وادي كنتا غرب ماليزيا

أسامة أحمد أبو لبدة
قسم الحفر والموارد المائية المعهد العالي
لشؤون المياه، مدينة العجيلات- ليبيا



Tasselled Cap Transformation of Remotely Sensed Data for Geospatial Mapping and Assessment of Surface Mining Lands in Kinta Valley, West Malaysia

O. A. M. Abu-Libda

Dept. of Drilling & Water Resources, Higher Institute of Water Affairs, Ajailat City,
Libya

الملخص

يشتهر استخدام نموذج القبعة المشرشبة لتحويل البيانات الاستشعارية في العديد من برامج مراقبة الأرض والدراسات النباتية، وأعمال التخطيط وإعداد الخرائط، واستكشاف واستغلال الثروات الطبيعية. تتناول الدراسة الحالية تطبيقات نموذج القبعة المشرشبة في مسح وإعداد خرائط جيومكانية رقمية، وتشخيص بيئات أراضي المناجم وأعمال التعدين السطحي في الجزء الغربي من الحقل القصديري لوادي كنتا الماليزي. استعانت الدراسة بمرئية استشعارية فضائية متعددة الأطياف لساتل لاندسات-5 للخرائط الموضوعية، وتغطي الأبعاد الجغرافية للمنطقة المستهدفة. أجريت على البيانات عمليات معالجة رقمية تشمل ما يلي: (أ) المعايرة بحسب نوع المستشعر. (ب) التحسين الطيفي بواسطة النموذج الرياضي ذي القبعة المشرشبة. بعد إدخال

معاملات التصحيح المطلوبة، جرى بواسطة النموذج تحويل البيانات الاستشعارية بقصد إبراز ثلاثة مكونات طيفية تعبر عن ثلاثة دلائل أساسية في المنظر المبصر، ومرتبطة بالغطاء النباتي في الموقع (تربة، ماء، وكثافة خضرية)، وهي كالأتي: قرينة السطوح، وقرينة الإرتاب، وقرينة الاخضرار. تم إحصار نتائج النمذجة في هيئة مخرجة مرئية، والتي بدورها أعانت على تمييز السطوح الأرضية ما بين مناطق تعدين، وبرك الحفر التعدينية، ومناطق خالية من أنشطة التعدين. بينت نتائج التحليل أن المناطق الشرقية والجنوبية كانت أكثر الأماكن المتأثرة بعمليات التعدين، حيث السطوح الأرضية يعترها اضطراب شديد وتدهور بيئي؛ يُستدل على ذلك من ارتفاع قرينة السطوح وانخفاض قرينة الاخضرار في المنظر. وتنتشر في بعض تلك المواقع الحفر الاستخراجية التي امتلأت بماء المطر مع مرور الزمن، حتى كونت بركاً مائية ذات قرينة إرتاب مرتفعة، وأحياناً متدرجة في الزرقة إذا ما اختلطت مياهها بنفايات المناجم. أما المناطق الغربية والشمالية فلم تشهد إجمالاً عمليات استغلال منجمي تذكر، وخلت السطوح الأرضية تقريباً من تشوهات؛ وهو ما يفسر ارتفاع قرينة اخضرارها وانخفاض قرينة سطوعها. خلصت نتائج هذه الدراسة إلى إمكانية استخدام نموذج القبعة المشرشبة في مسح وإعداد خرائط جيومكانية لأراضي المناجم والتعدين السطحي في وادي كنتا، والاستعلام عن الحالة البيئية لتلك الأراضي، في وقت وجيز وبجهد أقل، مع إمكانية الاستفادة من هكذا خرائط في أغراض متعددة تفيد في أعمال التخطيط التنموي وإصدار القرارات المعنية بهذه الأراضي. توصي الدراسة باعتماد تقنيات الاستشعار عن بعد في برامج المسح الجيومكاني وإدارة الأراضي المنجمية، ومراقبة الأنشطة التعدينية، وتقييم الآثار البيئية لمشاريع الاستغلال المعدني في البلاد.

كلمات مفتاحية: تحويل القبعة المشرشبة - المناجم والتعدين السطحي - قرينة طيفية - مسح جيومكاني - معالجة المرئيات الاستثمارية

Abstract

Tasselled Cap Transformation has been widely used in many remote sensing-based investigations, such as Earth observation, vegetation studies, mapping programs, and natural resources exploration

and development. In the present study, Tasselled Cap Transformation was used in modelling Landsat 5 multispectral remotely sensed data for producing a geospatial map that would aid in locating and assessing the situation of surface mining areas in Kinta Valley Tinfield, West Malaysia. Two phases of digital image processing were carried out: (a) sensor-based calibration; and (b) spectral enhancement via Tasselled Cap modelling. Following the correction and modelling procedures, the transformed data were presented in three main indices, called: Brightness Index, Wetness Index, and Greenness Index, that manifest the present landscape conditions of soil, water, and vegetation, respectively. The modelling outputs were visualized in raster format to facilitate a quick framework for locating, identifying and evaluating three types of landscape: mining lands, mining ponds, and non-mining lands. The results showed that mining lands were vastly aggregating in the eastern and southern parts of the study area, where landscape surfaces exhibited high Brightness Index and low Greenness Index. This is attributed to severe mining-induced disturbances and deteriorative qualities in the land's environment. In these areas, also, ex-mining ponds were widespread, distinguishable by their landscape surfaces having Wetness Index range between high (as water is clean) to moderate (as water is contaminated with mining wastes). In contrary, the northern and western areas were generally not disturbed by mining operations, evidenced by prevailing landscape surfaces of high Greenness Index and low Brightness Index. The study concludes that the present methodology is efficient in providing a quick and cost-effective setting for mining land surveillance and inquiry. Furthermore, the mapping outputs themselves can be used in diverse applications pertaining to developing and managing these lands. The study recommends that national authorities are strongly advised to embed remote sensing technology with their future plans of geospatial mapping, land management, environmental observation and impact assessment of mining activities in the country.

Keywords: Tasselled Cap Transformation – Surface Mining – Spectral Index – Geospatial Mapping – Image Processing

1. مقدمة

ترغب السلطات المحلية عادة في إجراء حصر مكاني للمناجم ومناطق التعدين، سواء أكانت نشطة أو مهجورة، الموجودة في البقاع الجغرافية الواقعة تحت نفوذها؛ وذلك لدواعٍ مختلفة: كتطوير المناجم وأعمال الاستكشاف، ومراقبة وضبط أعمال استغلال الثروات المعدنية، وتخطيط وإدارة استخدامات الأراضي، وتقييم الآثار البيئية لمشاريع التعدين، وإعادة تأهيل وترميم الموقع. وفي ذلك، قد تحتاج السلطات إلى القيام بمسح شامل لهذه المناطق؛ بغية إعداد خرائط جيومكانية مرشدة وتسهل عمليات الحصر والتصنيف والتقييم. ومثل هذه الخرائط المسحبة من شأنها أن تساعد المخططين وواضعي السياسات التنموية على فهم ما يجري على الأرض، وتقديم التصورات المقاربة للحقيقة، وصياغة القرارات الحكيمة، واتخاذ الإجراءات المناسبة. فمن المعلوم أن أراضي التعدين تعتبر أكثر البيئات التي تعاني من تدهور واختلال في الاتزان الطبيعي، وتحمل قضايا إدارتها الواعية الكثير من التحديات في وجه شركات التعدين وصانعي السياسات. كما أن التغيرات الطارئة على الغطاء الأرضي في مناطق التعدين تختلف وتتميز عن تلك الموجودة في المناطق الأخرى؛ مما يستوجب تطبيق سياسات إدارية من نوع خاص تراعي هذا الاختلاف (Sonteret al., 2014). وقد استخدمت تكنولوجيا المسح الجيومكاني -كالاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية- على نطاق واسع في أعمال المناجم والتعدين، وكانت حاضرة في جميع مراحل مشروع الاستغلال المعدني: بدءاً من مرحلة الاستطلاع والتحري الموقعي، مروراً بفعاليات التنقيب وفتح المنجم وتطويره، وانتهاءً بإغلاق المنجم وإعادة تأهيله. وفي السنوات الأخيرة، توسعت تطبيقات المسح الجيومكاني لتشمل برامج مراقبة المناطق التعدينية، ومتابعة أحوالها بعد انتهاء أعمال الانتفاع الاقتصادي؛ وذلك لرصد أية مخاطر محتملة أو آثار ارتدادية قد تظهر لاحقاً على مستخدمي الموقع، في حال نقرر إعادة تطويره في المستقبل بمشاريع أخرى. ويعزى تفوق وانتشار هذه التكنولوجيا في قطاع التعدين إلى الإمكانيات الاستيعابية

والتحليلية والإبصارية الهائلة التي تتمتع بها أدواتها، وقدرتها على التطويع للعمل وفقا لطبيعة التطبيق أو الحاجة.

في دراسات المسح الاستشعاري، يقوم المحللون عادةً بتفحص استجابات الأجسام المتفاعلة مع مجالات الطاقة المختلفة للطيف الكهرومغناطيسي؛ بغية التعرف على كينونة هذه الأجسام وتفريقها عن أنواع الأجسام الأخرى. وهذه الاستجابات ترصدها المستشعرات على شكل اشارات طيفية تعبر عن الخواص الانعكاسية والامتصاصية والإنفاذية للجسم، والتي تختلف درجاتها بين جسم وآخر، وفقا لطبيعة مواده الداخلية المكونة له. وتعتبر خاصية الانعكاسية تحديدا عن قدرة الجسم على عكس الطاقة الكهرومغناطية الساقطة عليه؛ فلكل جسم نمط معين من الانعكاسية المميزة له، تسمى بالطبعة الطيفية، والتي يمكن استخدامها كأداة تحليل للمريئات الاستشعارية، واستنباط الكثير من المعلومات الهامة حول طبيعة الظواهر الأرضية الموجودة في المكان، وماهية التغيرات الطارئة عليها. وفي الدراسات الاستشعارية المهمة بالنبات والتربة والماء، نجد أن انعكاسية هذه المواد تتباين ضمن مجالات الطاقة المختلفة للطيف الكهرومغناطيسي؛ وإن هذه التباينات في السلوك الطيفي للمواد يمكن رصدها بالمستشعرات المختلفة. ولأن هذه المكونات الثلاثة (التربة والماء والنبات) تشكل العناصر الأساسية للبيئة السطحية، فإن تحسس الفروق في استجاباتها الطيفية ومدى شذوذها عن السلوك الطيفي الطبيعي يمكن أن يساعد المحلل على تشخيص الحالة العامة للسطح الأرضي فيما لو كان مضطربا أو غير مضطرب. فإذا حدث تغير أو تشويه للسطح الأرضي نتيجة لتأثيرات طبيعية (كالتعرية)، أو أنشطة بشرية (كالتعدين)؛ فإن الآثار الناتجة ستعكس بلا شك على السلوك الطيفي لهذه المكونات الأساسية في المنظر المُبصر في المرئية. ويعتبر السلوك الطيفي النباتي عنصراً مهماً في الاستدلال على الظروف والمتغيرات الموجودة في البيئة السطحية؛ نظرا للعلاقة الارتباطية الوثيقة ما بين المكون النباتي والمكونين المائي والترابي. فالنبات المعافي يدل على توفر خصائص جيدة في البيئة المحيطة به، من تربة، ورطوبة، وتغذية، وعدم اضطراب. أما النبات المريض، فيدل على

خصائص متدهورة في الظروف المحلية: كثرة ذات نوعية رديئة، أو اضطراب في السطح الأرضي، أو نقص في الغذاء والماء، وغير ذلك. لذا، إن حدث اختلالاً بيئياً السطح الأرضي؛ فإن آثاره ستظهر بطريقة معينة على الحالة العامة للنبات وصحته، ومن ثم على شاراته الطيفية المرصودة في المرئية. ولو أُتيح للمحلل إضفاء تحسين طيفي على هذه البيانات الاستشعارية الجيوماتية، ووصفها بطرق كمية، بغية تحويلها إلى معلومات ذات مغزى معبر، ومعنى مفهوم ومدلل على الخواص الجيوفيزيائية للسطح الأرضي؛ فإنه يمكن بذلك استشفاف معلومات كامنة حول الموقع المبصر، وتقديم تشخيص لحالته الراهنة، وإعطاء تفسيرات للتغيرات الطارئة عليه، وذلك على نحو أقرب ما يكون متوافقاً مع الواقع الحقيقي. ولحسن الحظ، هناك أنواع عديدة من طرق التحسين الطيفي للبيانات الاستشعارية يستخدمها المحللون، من أشهرها طريقة تحويل القبعة المشرشفة، المستخدمة على نطاق واسع في الدراسات النباتية وتقييم العاكسية (الألبيدو) (Baiget al., 2014).

2. مشكلة الدراسة

يحتل وادي كنتا في شبه الجزيرة الماليزية أهمية اقتصادية كبيرة لما يحتويه من موارد طبيعية وفيرة، ومساحات أراضي، مواتية للأنشطة البشرية المختلفة والانتفاع الاقتصادي طويل المدى. ومنذ القرن التاسع عشر، كان وادي كنتا من أكبر الحقول المعدنية إنتاجاً للصدير على مستوى العالم، بالإضافة إلى معادن استراتيجية أخرى ذات أهمية في قطاعات البناء والتصنيع والزراعة. وقد شجعت وفرة الثروات الجيولوجية في الوادي إلى تهافت المستثمرين والصناعيين والحرفيين على افتتاح المشاريع الإنمائية المختلفة واستخدام الأرض في أغراض متنوعة تخدم المجتمع والاقتصاد الوطني، وعلى رأسها مشاريع التطوير المعدني المعتمدة على خام الصدير بالدرجة الأولى. ففي الفترة ما بين عامي 1876 و1950، بلغ إنتاج الصدير من هذا الوادي وحده 1,200,000 طن (Ingham & Bradford, 1960)، وشكلت عوائد استغلال هذا الخام وتصنيعه الرفاعة الأساسية لنهضة إقليم كنتا وتطوير بنيته

التحتية وازدهار الأحوال الاجتماعية والاقتصادية للسكان المحليين طيلة عقود طويلة من تاريخ المنطقة.

إن اشتداد وتيرة الاستغلال المنجمي ونمو الاستثمارات في مشاريع التعدين في وادي كنتا، قد استدعى تعريض نوعية البيئة وموارد الأرض الطبيعية إلى ضغوط كبيرة ومرهقة، وأدت مع مرور الوقت إلى تدهورها واستنزافها. إذ كانت شركات التعدين في الماضي لاتعبر القضايا البيئية اهتماما يذكر، سواء تلك المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية للعاملين في الموقع، أو المرتبطة بالانبعاثات والمخلفات الصناعية في البيئة. وفي ذلك الوقت أيضا لم تكن السلطات الماليزية مهتمة بجدية بتطبيق المعايير البيئية في قطاع المحاجر والمناجم. لكن استمرار الأنشطة التعدينية المدمرة للبيئة في ثمانينات القرن المنصرم، قد بدأ يثير حفيظة السكان المحليين في وادي كنتا، وقادهم في مناسبات عديدة إلى تنظيم تظاهرات شعبية تطالب الحكومة بوضع حد لهذا التدهور والإهمال، ومساءلة الأشخاص وشركات التعدين غير المنضبطين، وتطبيق معايير صارمة ضد المخالفين (Rasiah, 1999). ومع نهايات ثمانينات القرن المنصرم، تقلص التهافت المحلي والعالمي على استغلال خام القصدير في إقليم كنتا على نحو ملحوظ ومستمر (Moore&Fairbridge, 1997)؛ نتيجة لتناقص احتياطي الخام المتاح للاستغلال، وارتفاع تكاليف استخراجها، وتذبذب أسعاره في السوق العالمي، وضعف الطلب عليه لصالح مواد ومعادن بديلة أخرى حلت محله وأرخص ثمنًا منه، إضافةً إلى نضوج الوعي البيئي العام لدى الجمهور حول الآثار الارتدادية الشائكة لتعدين القصدير على الصحة العامة والنظام البيئي. كما أن المساحات الجغرافية المتاحة لتدشين مشاريع منجمية جديدة، قد أخذت بالتناقص المنسارع أيضًا، ولحساب مشاريع أخرى غير تعدينية؛ نتيجةً لظهور خطط إنمائية جديدة، منافسة ومن نوع آخر، تلبي الحاجات الغذائية والإسكانية والتجارية للسكان المحليين. وهو ما قاد في نهاية المطاف إلى تدني وتيرة عمليات التعدين والاستخراج المنجمي، وانحسارها تدريجياً، وعزوف أصحاب المصالح عن الاستثمار في قطاع المناجم والمعادن في إقليم

كنتا. وعليه، أخذت الأنشطة التعدينية في بعض المواقع بالتضاؤل شيئاً فشيئاً إلى أن توقفت كلياً، وهُجر كثير منها دون معالجة أو ترميم. وأدى هذا الانحسار والركود الصناعي إلى تكوين ظاهرة الأراضي المنجمية المهجورة (تعرف علمياً أيضاً باسم "الأراضي السمراء" *brown fields*) التي تُركت فيها بقايا العمليات الصناعية القديمة والمخلفات المعدنية الملوثة على حالها؛ حاملةً في طياتها مخاطر على الأحياء والبيئة المحيطة. وهذه المواقع منتشرة على مساحات كبيرة من وادي كنتا، ومبعثرة فيما بين المناطق السكنية، والزراعية، والصناعية، وغيرها من أنماط استخدام الأرض الأخرى. وتفتقر هذه المواقع عموماً إلى الدراسات المسحية التي تحدد أماكن تواجدها وتوزيعاتها وأبعادها وأصنافها، وإلى التشخيص الفني الذي يعتمد على مثل هذه المعلومات المكانية في توصيف أحوال الأراضي، وتقييم الأخطار التي تحملها على الأحياء، وجدوى معالجتها، وتقدير مدى ملاءمتها للتطوير وإعادة الاستخدام، خصوصاً لأغراض التوسع المدني المخطط له في السنوات القادمة لمواجهة الانفجار السكاني، والطلب المتزايد على موارد الأرض لتحقيق أهداف التنمية الشاملة في إقليم كنتا (MuhdRazali *et al.*, 1993؛ Mohamad & Hassan, 1997).

علاوة على ذلك، فإن تصميم برامج مسح ومراقبة مستمرة لهذه الأراضي، يترتب عليه تخصيص موارد مالية ثقيلة العبء على الدولة، وتستلزم إدارتها توظيف كوادر بشرية كثيرة العدد وراقية التأهيل لتنفيذ أعمال المسح الميداني، والتوثيق الفني، وإعداد الخرائط. كما أن برامج المسح وحصر الأراضي يتطلب تنفيذها عادةً إطاراً زمنياً طويلاً لاستكمالها، وتغطيةً تفصيليةً للقطاعات الأرضية، وإنتاجاً غزيراً من الخرائط الجيومكانية مختلفة المقاييس؛ ليتسنى بواسطتها إرساء الدراسات الهندسية التي تقرر مدى صلاحية الأرض للمشاريع المزمع تدشينها. وفي ذلك كله تحديات كبيرة في وجه السلطات المحلية، يتطلب منها استخدام تقنيات مسح حديثة ومتطورة، تلائم طبيعة هذه المهمات والمراحل المتعددة، وتوفر عليها التكاليف المالية والجهد المبذول والوقت المصروف على إنجازها، خصوصاً أن

الضغط الجماهيري على الأراضي ومواردها يتصاعد مع توالي الزمن، للإيفاء بالاحتياجات الإسكانية والصناعية والزراعية وغيرها من المتطلبات التنموية الحيوية للمجتمع المعاصر .

3. فرضية الدراسة

لمواجهة التحديات المذكورة آنفا، فإن الدراسة نفترض بأن تقنيات الاستشعار عن بعد المعتمدة على التحليل والمعالجة الرقمية للمربعات الفضائية تمنح طواقم المسح ومديري الأراضي أدوات حديثة مؤتمتة، تمتاز بالتلقائية والعملائية في إجراء مسح وحصر وتصنيف وتقييم لأراضي التعدين السطحي، على نحوٍ أوفر في الكلفة والجهد والوقت، وأسرع في الإعداد والإنجاز، وأشمل في التغطية والفحص؛ مقارنة بالطرق التقليدية الأخرى (غير المؤتمتة)، المعتمدة في فلسفتها على العنصر البشري بالدرجة الأساس، في إنجاز هذه الأعمال. وتقنية الاستشعار عن بعد بذلك تشكل بديلا حقيقيا يعتمد عليه في تعزيز جهود السلطات في حصر وتصنيف وإدارة أراضي التعدين في البلاد.

4. أهداف الدراسة

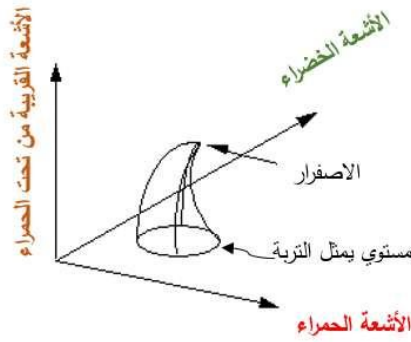
تنقسم أهداف الدراسة الحالية إلى عامة وخاصة. أما أهدافها العامة فتذهب إلى محاولتها جذب اهتمام المخططين وأولي الأمر في الحكومة الماليزية نحو التفكير بالإمكانات الكبيرة لتقنيات الفضاء والاستشعار عن بعد، إذا ما وُظِّفت على وجهٍ أمثل، في برامج إدارة مناطق التعدين في البلاد. فإن في هذا الاتجاه فوائد عديدة تتبلور في مخرجات إضافية جديدة ذات قيمة للمجتمع (معرفية، مهارية، تقنية، الخ) ومواكبة لثورة الاتصالات والمعلومات الحديثة. أما الأهداف الخاصة فتذهب إلى دراسة جدوى أحد النماذج الرياضية المستخدمة في المعالجة الرقمية الذكية على مربعات الاستشعار الفضائي، والمسمى بنموذج التحويل الرياضي ذي القبعة المشرشرة، وذلك لتحقيق ما يلي: (أ) إعداد خرائط جيومكانية لتوزيعات أراضي المناجم والتعدين السطحي في القطاع الغربي من إقليم التمدن القصديري بوادي كنتا. (ب) تشخيص الظروف البيئية في تلك الأراضي. والغاية من إنشاء مثل هذه الخرائط

هو مساعدة المخططين والتمويين في هذا الإقليم على تحديد أماكن هذه الأراضي، وحصرها، وتصنيفها، وتقييم حالتها، بطرق آلية حديثة، بدلا عن الطرق التقليدية المعمول بها حاليا.

5. تحويل القبعة المشرشبة

تحويل القبعة المشرشبة (Tasseled Cap Transformation) هو أحد النماذج الرياضية الخطية المصممة لإضفاء تحسين طيفي على البيانات الاستشعارية، بهدف تسهيل عمليات تحليل وتفسير المرئية، وإنتاج خرائط للتغيرات التي ظهرت في الخصائص الجيوفيزيائية للمنظر الأرضي. قام الباحثان كاوث وتوماس (Kauth & Thomas, 1976) من معهد أبحاث البيئة بمتشيغان باستحداث هذا النموذج منتصف سبعينات القرن المنصرم، أثناء تفحصهما السحابة الفراغية (أو مخطط التبعثر) التي تنتزع فيها البيانات الانعكاسية الطيفية لمنظر أرض زراعية على محاور متجهة في الأبعاد المختلفة، والتي تمثل الأحزمة الطيفية المستخدمة في الرصد. فقد لاحظ الباحثان أن سلوك النبات المتغير أثناء أطوار حياته المختلفة - بدءاً من مرحلة ما قبل الإنبات، ثم الإنبات والنضوج والإثمار، وانتهاءً بمرحلة الهرم والشيخوخة والموت - كان يقابله تغيرات مماثلة في الانعكاسية بالسحابة الفراغية. وكانت قيم النقاط النورانية (pixels) للمنظر الأرضي قد تغيرت بالموازاة مع التغيرات الزمنية التي طرأت على خصائصه الفيزيائية. كما أن النقاط النورانية توزعت ضمن مناطق منفصلة في السحابة فيما بين المحاور (الحزم الطيفية) المختلفة، بما يسمح من تمييزها وتفريقها عن بعضها. واتخذ ذلك التوزيع عموماً شكل القبعة المشرشبة (شكل 1)؛ قاعدته السفلية تمثل محوراً تتجمع عنده قيم انعكاس التربة (الطبعة الطيفية للتربة). في مراحل ما قبل الإنبات، تكون النقاط النورانية للمنظر الأرضي قريبة من هذا المحور؛ نظراً لسيادة انعكاسية التربة في هذه المرحلة، ونفوق شاراتها على شارات النبات. ومع نمو النبات وبلوغه مرحلة النضوج والإثمار، تبدأ النقاط النورانية للمنظر الأرضي بالتحرك بعيداً عن

محور التربة، لتتجه نحو الجزء العلوي من القبعة، وتتجمع هناك عند محور الخضرة (الطبعة الطيفية للنبات). فقد بدأت انعكاسية النبات تسود في هذه المرحلة، وشاراته تزامم اشارات التربة، وتطغى عليها في المنظر. ومع تقدم العمر بالنبات أكثر، ووصوله إلى مرحلة الهرم، تبدأ نقاطه النورانية بالتحرك بعيدا عن محور الخضرة، وتتجه نحو محور الاصفرار؛ حيث أخذت الشارات النباتية بالضعف نتيجة لتحول لون النبات عن الخضرة. ومع ولوج النبات مرحلة الشيخوخة المتقدمة أو المرض والموت، تتحرك النقاط النورانية للمنظر الأرضي نحو الأسفل، عائدة مرة أخرى إلى محور التربة؛ إذ لم تعد الشارات النباتية تنافس اشارات التربة في هذه المرحلة.



شكل 1: مخطط القبعة المشرشبة في السحابة الفراغية (بتصرف عن Kauth & Thomas, 1976)

هذا السلوك الطيفي المميز ألهم الباحثين كاوث وتوماس، وقادهما إلى فكرة تطوير نموذج رياضي من الجبر الخطي من شأنه القيام بإجراء تحويل على بيانات الحزم الطيفية لمستشعر لاندسات، بهدف ضغط السحابة الفراغية بعدد محاور أقل لكنه يضم أكثر المحاور أهمية في استشفاف المعلومات ذات الجدوى النافعة، وأصدقها تعبيراً عن حقيقة الظروف الفيزيائية للمنظر الأرضي. وتحقيق هذا الأمر -من وجهة نظرهما- سيوفر على الشخص المحلل عناء التعامل مع تركيب معلوماتي ضخم ومعقد، وسيختصر الوقت المبذول في معالجته، وسيحسن من قدرة فصل البيانات المختلفة وتفريقها عن بعضها (التربة والنبات

مثلا) بما يخدم أغراض تفسير المرئية. وقد اهتمدى الباحثان في نهاية المطاف إلى معادلة رياضية يتم فيها تحويل قيم النقاط النورانية الأصلية في المرئية إلى قيم جديدة مركبة. ويتخذ هذا التحويل الصيغة الرياضية العامة كما يلي (Richards, 1993):

$$u = Rx + c \dots\dots\dots (1)$$

حيث x هي متجه قيم النقاط النورانية الأصلية المخزنة في الحزمة الطيفية؛ u هي متجه القيم المتحولة الجديدة؛ R هي مصفوفة التحويل التي تحسب التباينات بين قيم النقاط النورانية في الأحزمة المختلفة؛ c هو ثابت تتحدد قيمته بما يسمح بالتخلص من القيم المتحولة ذات الإشارة السالبة. ويعتبر تحويل القبعة المشرشرة أحد أشكال تحليل المركبات الأساسية (PCA) المعمول به في معالجة البيانات الاستشعارية متعددة الأطياف.

عند تطبيق هذا التحويل الخطي على بيانات لاندسات، تنتج محاور جديدة ويتناسق جديد في السحابة. وعند تدوير هذه السحابة، يمكن اكتشاف أهم المحاور التي تحتضن في الفراغ أكبر قدر ممكن من التباينات بين النقاط النورانية للمنظر، والتي تعتبر (الحزم الطيفية المهمة) الأكثر ارتباطا بالخصائص الفيزيائية للمنظر. وبذلك يتسنى للمحلل تركيز البحث والتحليل على هذه المحاور حصرا، لتحسين عملية فصل البيانات وتفسيرها، دون الحاجة إلى التعامل مع كل المحاور (الأحزمة الطيفية الأخرى) المكونة للمنظر. وعند تطبيق هذا التحويل على بيانات مستشعر لاندسات للخرائط الموضوعية (TM) ذي الحزم الطيفية السبعة، فإن أكثر المعلومات المخزونة بالمنظر تتواجد في الفراغ ثلاثي الأبعاد المحصور بين ثلاثة محاور رئيسية، والتي تعبر عن ثلاثة مركبات أساسية- يطلق عليها مصطلح "القرائن" (indices) - وتفصيلها كالاتي (Crist 1986; Crist & Cicone, 1984):

أ- المحور الأول يسمى بقرينة السطوع (Brightness Index) وتظهر بالمرئية بلون أحمر، وتحسب إحصائيا بالمجموع الوزني لقيم الانعكاسات في كل الأحزمة الطيفية.

وهذه المركبة مسئولة عن تفسير التباينات الكبيرة في المرئية. ويؤشر اتجاه هذه المركبة ناحية قيم الطبعة الطيفية المميزة للترب العارية أو المغطاة جزئياً، أو للمظاهر الصناعية التي يبنها الإنسان، كالتراكيب الإسمنتية، والإسفلتية؛ أو للمناطق المغطاة بالحصى؛ أو المنكشفات الصخرية؛ أو غيرها من السطوح الجرداء.

ب- المحور الثاني يسمى بقرينة الاخضرار (Greenness Index) وتظهر بالمرئية بلون أخضر، وهو محور متعامد مع محور السطوح، ويؤشر اتجاه مركبته ناحية قيم الطبعة الطيفية المميزة للسطوح المغطاة بكساء نباتي أخضر.

ج- المحور الثالث يسمى بقرينة الإرتاب (Wetness Index) وتظهر بالمرئية بلون أزرق، وفي وضعية متعامدة مع المحورين السابقين. وترتبط مركبة هذا المحور بمحتوى الرطوبة في التربة، والمسطحات المائية، وأنواع أخرى من السطوح المبللة.

أما المحاور الباقية، فتعبر عن بيانات التشويش والإزعاج (noise) التي رافقت عملية المسح والتسجيل في المرئية، مثل التأثيرات الناتجة عن تداخل بعض المظاهر الجوية مع الشارات المرصودة، كالغيم، والاعبرار، واختلاف زاوية الإضاءة الشمسية، وغيرها. وهذه البيانات الضوضائية جرى نزعها وإزالتها من بيانات المركبات الثلاثة المهمة أثناء عملية التحويل، فتخلفت في فراغ السحابة كمركبات منعزلة ليست بذي أهمية أو نفع. والمرئية المتحولة الجديدة تضم ما نسبته 97% من بيانات المرئية الأصلية؛ وهذه النسبة تتضمن أكثر المعلومات أهمية وقابلية للفهم على المحلل، وتنفع أكثر من غيرها في عملية تفسير المرئية (Kauth & Thomas, 1976).

وعن معاملات التحويل في هذا النموذج، فهي تمثل وحدات متجه (unit vector)، وقيمها تعتمد على طبيعة المستشعر الذي تم بواسطته تحصيل البيانات الطيفية. ويتم إدخالها كمعاملات حسابية في عملية تحويل كل صف بمصفوفة التحويل، بحيث تُضرب قيمتها بقيمة النقطة النورانية. هذه المعاملات هي التي تضبط اتجاه كل مركبة من المركبات المتحولة في فراغ السحابة الجديدة. أما الأوزان في مصفوفة التحويل، فإنها ثابتة ولا تتغير

بتغير المنظر المَبْصَر في المرئية (وهو سبب اعتبار النموذج من نماذج التحويل الثابتة)، وهذا ما يتفوق به نموذج تحويل القبعة المشرشفة على النماذج الأخرى لتحليل المركبات الأساسية (PCA) التي تختلف نتائجها باختلاف المنظر المَبْصَر. ويلاحظ أن المحاور المتحولة في نموذج القبعة المشرشفة تستطيع أن تستوعب بين أحضانها السحابة التي تنتشر فيها النقاط النورانية للمنظر على نحو أفضل مما تستطيع عليه الأنواع الأخرى من نماذج تحليل المركبات الأساسية PCA. وكلما كبرت أبعاد السحابة المتحولة في القبعة المشرشفة، كان ذلك ملائما للمحاور الأساسية لأن تحتفظ بوضعها المتعامد على بعضها. وكلما صغرت أبعاد السحابة، مالت هذه المحاور إلى خسارة هذا التعامد (Crist et al., 1986).

لقد توسع استخدام هذا النموذج التحويلي في السنوات الأخيرة ليتعدى دوره التقليدي في مراقبة المحاصيل الزراعية، وتحليل وإعداد خرائط نباتية، إلى أدوار جديدة تدعم مجالات الدراسات الغابية، وإدارة النظام البيئي، وحجز الكربون، والنمو الحضري، وغيرها. كما أن منافعه لم تقتصر على بيانات أنظمة لاندسات القديمة، بل أصبحت تدعم أنظمة استشعار أخرى حديثة تتميز بقوة تمييز عالية، كأنظمة لاندسات الحديثة Landsat: لاندسات-7 (Huang et al., 2002)، ولاندسات-8 (Baiget al., 2014)؛ ونظام موديس MODIS (Lobseret al., 2007)؛ ونظام ورلدفيو WorldView (Yarbrough et al., 2014) وغيرها. وبينت التجارب السابقة تمتع تحويل القبعة المشرشفة بعدد من الميزات التي يمكن تلخيصها إجمالاً فيما يلي:

أ- يمنح محلل المرئية وسيلة تحليل تمكنه من رصد ومقارنة التغيرات التي جُدت على النبات والتربة، والمظاهر غير الطبيعية التي يصنعها الإنسان، وذلك على فترات زمنية مختلفة الأجل.

ب- يمنح محلل المرئية وسيلة تحليل تمكنه على نحو مباشر من إجراء مقارنة بين أنماط مختلفة من الغطاء الأرضي، ومرصودة بواسطة أنظمة استشعار مختلفة الأنواع.

ج- يقلل من حجم البيانات الاستشعارية المخزنة في عدد كبير من القنوات متعددة الأطياف، ويجعلها مقتصرة على ثلاثة أحزمة (محاور) رئيسية، والتي تشكل المركبات الأساسية المهمة لعملية التحليل. أي يحصل للسحابة الأصلية انضغاط في أبعادها، ويستقر عدد محاورها الكبير على عدد أقل يحوي أكثر المحاور أهمية من ناحية معلوماتية. وهذه المحاور تضم في سحابتها الفراغية أكبر تباين موجود بين النقاط النورانية لكل الحزم الطيفية في المنظر. وتتكون بذلك سحابة جديدة أقل تعقيدا وضخامة في البناء والحجم من السحابة الأصلية، وهو ما يسهل معالجة بياناتها بجهد أقل ووقت أسرع، ويعين كثيرا في عملية تحليل وتفسير المرئية.

د- يقلل من التشويش أو الإزعاج الناتج عن تأثيرات الغلاف الجوي، أو المكونات المسببة للموضوع في البيانات الاستشعارية للمرئية؛ مما يتيح الحصول على نتائج تحليل أقرب إلى الدقة، وأكثر تمثيلا للواقع (أي موثوقية أعلى).

ويبدو من الشرح السابق أن العيب الوحيد الكامن في تطبيق هذا التحويل هو اعتماده على نوع المستشعر المستخدم، وما يترتب على ذلك من ضرورة استخراج معاملات تحويل جديدة وخاصة بكل نظام استشعاري، من أجل ضمان الحصول على نتائج عالية الموثوقية- وهي مهمة، على أي حال، ليست بالهينة على محلي المرئيات الاستشعارية.

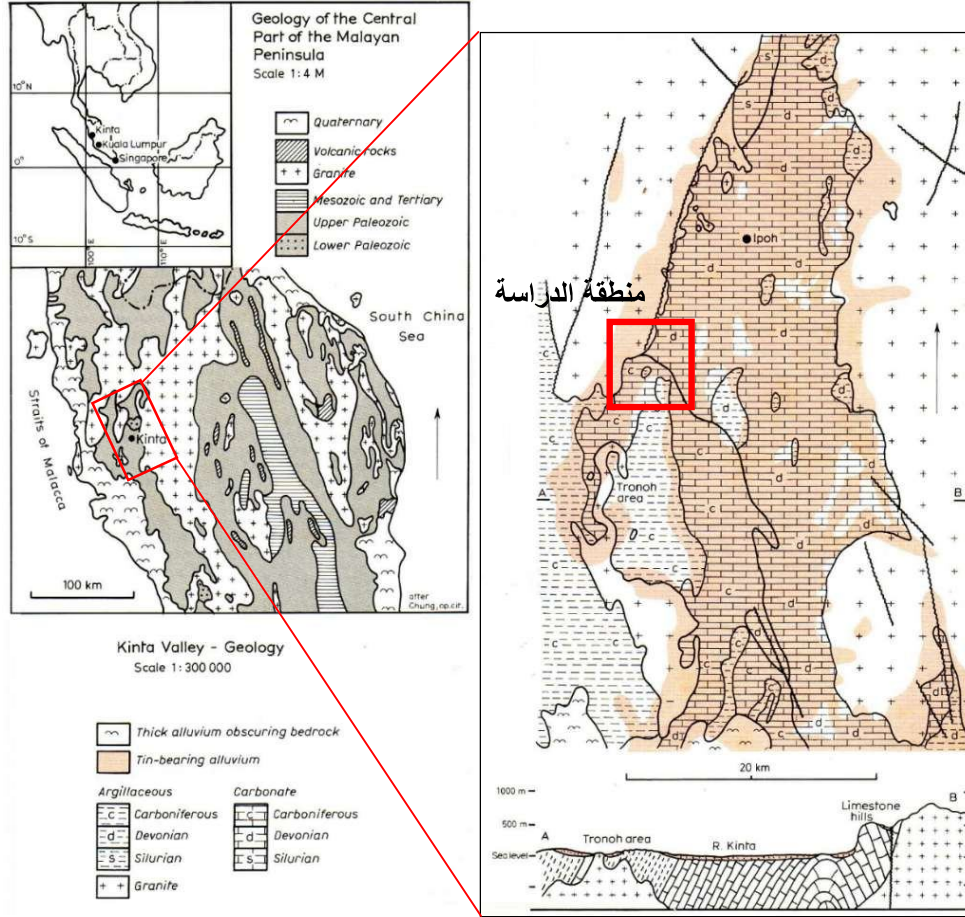
6. وصف عام لمنطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في الجهة الغربية من وادي كنتا غرب ماليزيا (شكل 2) وتغطي رفعتها الجغرافية مساحة 30 كيلومتر مربع. تمتاز منطقة الدراسة عموما بمناخ استوائي حار ومطير طوال عام، وتنمو فيها الغابات الاستوائية دائمة الخضرة. وتعتبر هذه المنطقة من المناطق التي شهدت أعمال تعدين مكثفة عبر التاريخ في وادي كنتا؛ نظرا لاغتنائها بتنوع كبير من الثروات المعدنية، كمعادن الكاسيترايت، والسنانيت، والتنجستن، والتورمالين، والزرنيخات والفلورايت، والكبريتيدات، والمونازيت، والزركون، والمعادن الغنية بالفلزات الترابية

النادرة. نشأت هذه المعادن بفعل سلسلة من العمليات النارية والتحولية التي ضربت منطقة جنوب شرق آسيا إبان الحقبة الجيولوجية الوسطى، وأفضت إلى نشوء حزم تمعدن إقليمي غنية بأنواع مختلفة من الفلزات. تتضمن جيولوجية منطقة الدراسة ثلاثة أنواع رئيسة من الصخور، وهي: صخور الجرانيت النارية التي نشأت في الحقبين الجيولوجيين القديمة والوسطى، وصخور رسوبية جيرية-طينية نشأت في أواخر الحقبة القديمة، وصخور الشيست المتحولة التي تطورت منذ أواخر الحقبة القديمة وحتى الحقبة الوسطى. يضاف إلى ذلك انتشار غطاء رسوبي على أرضية الوادي من الطمي الذي ترسب من الحمولات المنقولة بواسطة الأنهار والمياه الجارية الحديثة إبان فترة العصر الرباعي من الحقبة الجيولوجية الحديثة. ويتخلل معظم هذه التكوينات الصخرية في عدة أماكن أنظمة صدوع رئيسة وتابعة، ذات توجه عام شمالي-جنوبي أو شمالي شرقي-جنوبي غربي (Ingham & Bradford, 1960). ومن ناحية جيومورفولوجية، تتصف منطقة الدراسة بأنها عبارة عن حوض جابية، تستجمع في بطنه مياه الأمطار التي تغذي المجاري النهرية بالتدفق السطحي. ويحيط بالجابية شرقا تلال يبلغ متوسط ارتفاعها 250 متر فوق مستوى سطح البحر، وغربا الجبال الصخرية التابعة لسلسلة كيلاندغ البنائية، والتي يصل ارتفاعها إلى أكثر من 700 متر فوق مستوى سطح البحر. ينشط على المواد الجيولوجية في المنطقة عمليات التجوية الكيماوية والتفتيت الميكانيكي بسبب الرطوبة النسبية العالية (المتوسط اليومي 83%) والحرارة المرتفعة (المتوسط السنوي 28° مئوية) والتساقط المطري الغزير (المتوسط السنوي 2600 ملمتر) (Gobbett & Hutchison, Hosking, 1973؛ Riley, 1967؛ Rastall, 1927) (Khoo&Lubis, 2005؛ Metcalfe,2005؛ Rajah, 1979؛ 1973).

تطبيق نموذج التحويل الرياضي ذي القبعة المشرشرة على بيانات المسح الاستشعاري لإعداد خرائط جيومكانية وتقييم أراضي التعدين السطحي في وادي كنتا غرب ماليزيا

أسامة احمد ابولبدة



شكل 2: خارطة توضح موقع منطقة الدراسة وتكويناتها الجيولوجية في وادي كنتا (المصدر : Dixon, 1984). الصناديق المرسومة داخل الخرائط هي رمزية وللتوضيح فقط، ولا تخضع لمقياس رسم محدد

رصدت الدراسات السابقة (Ingham & Wilbourn, 1946؛ Scrivenor, 1913؛ Bradford, 1960؛ Khoo & Lubis, 2005) قيام مشاريع صناعية عديدة تم فيها توظيف طرق متنوعة في استخراج وتعدين الموارد المعدنية التي تزخر بها منطقة الدراسة. بدأت ممارسة هذه الطرق الاستغلالية منذ القرن التاسع عشر، واستمر بعضها حتى الوقت

الحالي، واشتملت في غالبيتها على طرق التعدين الجاف (كالمقالع الحجرية والحفر المكشوفة)، وطرق التعدين الرطب (كالجرف النهري بالكزّاءة (dredging)، والضخ بالقوة النابذة للحصى (gravel-pumping)، وإزالة الرواسب بالنفث المائي (hydraulicking). وفي الوقت الحالي، تجتذب منطقة الدراسة اهتمام السلطات المحلية لإعادة استغلال الأرض في مشاريع إنمائية مستقبلية أخرى ما بعد مرحلة التعدين، والتي يؤمل من ثمارها أن تلبي الحاجات اليومية المتزايدة للمجتمع المحلي من إسكان وزراعة وتجارة وغيرها، وتحقق المستوى المرغوب من الرفاه الاجتماعي والرخاء الاقتصادي، وفق رؤية وطنية شاملة وطموحة حول التنمية المستدامة، رسمها وأعلنها بوضوح السياسيون وامتدوا القرارات الماليزيون في خطتهم الخمسية الحادية عشر للفترة 2016-2020 (PMD EPU, 2016).

7. الأدوات وطريقة العمل

اعتمدت الدراسة على المنهج الكمي الرقمي في معالجة وتحليل البيانات، وتحصيل النتائج الحسابية على هيئة رمزية غير حسابية تتمثل بشكل خريطة بصرية سهلة الإدراك والفهم، وتعين المحلل على تفحص وتقييم وتفسير المنظر الأرضي، والتعرف على أنواع سطوحه، وتصنيفها، ووصفها، وتشخيص حالتها الراهنة، وإصدار القرارات بشأنها. استخدمت في هذه الدراسة مرئية استشعارية التقطت بسائل لاندسات-5 للخرائط الموضوعية (Thematic Mapper) وتغطي حدود منطقة الدراسة (شكل 3). تم سلفاً تصحيح المرئية وإسنادها إلى نظام الإسقاط الخرائطي نوع UTM من قبل وكالة الاستشعار عن بعد الماليزية. تحتوي المرئية المستخدمة على بيانات متعددة الأطياف، ومسجلة ضمن سبعة حزم موجية. يوضح الجدول (1) الخصائص العامة لهذه البيانات. استخدمت الحزمة البرمجية إيرداس إيماجن (Erdas Imagine) في المعالجة الرقمية للبيانات الاستشعارية، وفي تمثيل نتائج التحسين الطيفي إبصارياً على هيئة خرج شبكي. في المرحلة الأولى من

المعالجة، وقبل تطبيق نموذج التحويل على البيانات، تم استبعاد الحزمة رقم 6 من المعاملة؛ بسبب اختلاف دقة تمييزها عن الحزم الموجية الأخرى، ولتجنب حدوث أخطاء في العمليات الحسابية. أُجري باستخدام أداة المعالجة المسماة "مفسر المرئية" (Image Interpreter) في برنامج إبرداس عملية معايرة بحسب نوع المستشعر لاندسات-5؛ لتحقيق الموازنة في مصفوفة التحويل الرياضي (المعادلة 1 المذكورة آنفاً)، وذلك بإدخال معاملات التصحيح المناسبة بالمصفوفة، وضربها في قيم النقاط النورانية لبيانات كل حزمة من الحزم الستة الأصلية، مضافاً إليها مقداراً ثابتاً للتخلص من الإشارات السالبة في النتائج المتحولة.



شكل 3: مرئية استشعارية فضائية من سائل لاندسات-5 لمنطقة الدراسة ومبصرة بالألوان الحقيقية (الطبيعية) (المصدر: وكالة الاستشعار عن بعد الماليزية)

جدول 1: خصائص المرئية الاستشعارية لاندسات-5 (نوع TM) لمنطقة الدراسة

الحزمة الموجية	مجال الطاقة التشغيلي (الحزمة الطيفية)	الأطوال الموجية (ميكرومتر)	دقة التمييز المكاني (متر)
الحزمة 1	الزرقاء	0.52 - 0.45	30
الحزمة 2	الخضراء	0.60 - 0.52	30
الحزمة 3	الحمراء	0.69 - 0.63	30
الحزمة 4	القريبة من تحت الحمراء	0.90 - 0.76	30
الحزمة 5	تحت الحمراء قصيرة الموجة	1.75 - 1.55	30
الحزمة 6	تحت الحمراء الحرارية	12.50 - 10.40	120
الحزمة 7	تحت الحمراء قصيرة الموجة	2.35 - 2.08	30

بعد إدخال المعاملات التصحيحية، أُجري في المرحلة الثانية عملية التحسين الطبقي، عبر تطبيق نموذج القبعة المشرشرة على بيانات الحزم الستة الأصلية، ومن ثم الحصول على مخرجات التحويل مختزلة في ثلاثة حزم أساسية تعبر عن ثلاثة قرائن رئيسة في المنظر الجديد، ووفقاً للحسابات الآتية (Crist *et al.*, 1986):

$$\begin{aligned} & \text{قرينة السطوح (الحزمة المتحولة 1)} = 0.2909 \text{ (حزمة 1)} + 0.2493 \text{ (حزمة 2)} + \\ & 0.4806 \text{ (حزمة 3)} + 0.5568 \text{ (حزمة 4)} + 0.4438 \text{ (حزمة 5)} + \\ & 0.1707 \text{ (حزمة 7)} + 10.3695 \end{aligned}$$

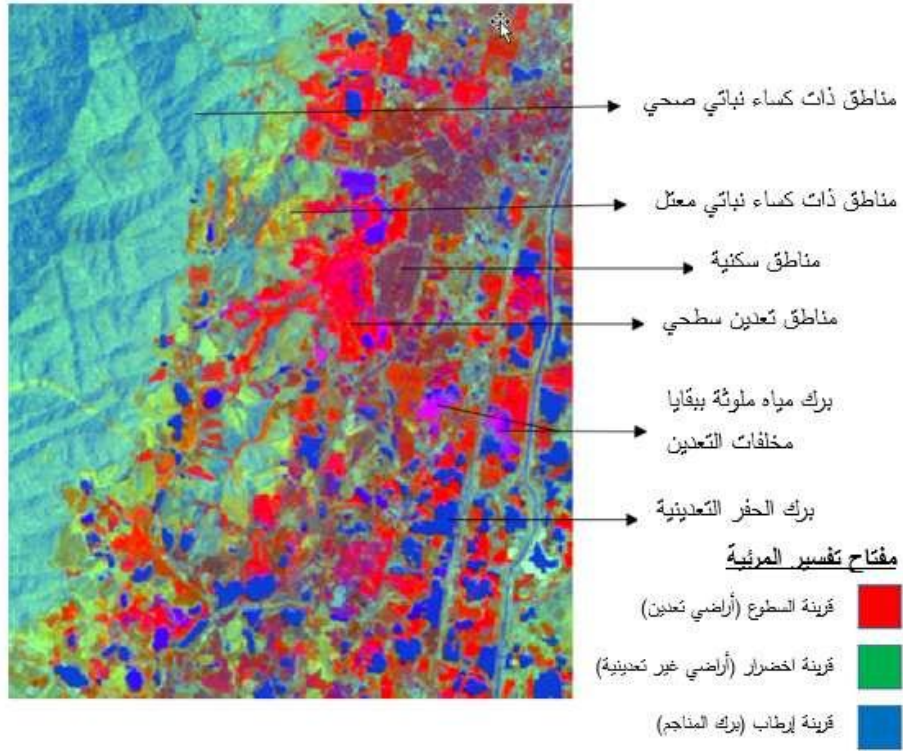
$$\begin{aligned} & \text{قرينة الاخضرار (الحزمة المتحولة 2)} = -0.2728 \text{ (الحزمة 1)} - 0.2174 \text{ (الحزمة 2)} - \\ & 0.5508 \text{ (الحزمة 3)} + 0.7221 \text{ (الحزمة 4)} + 0.0733 \text{ (الحزمة 5)} - \\ & 0.1648 \text{ (الحزمة 7)} - 0.7310 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \text{قرينة الإرتاب (الحزمة المتحولة 3)} = 0.1445 \text{ (الحزمة 1)} + 0.1761 \text{ (الحزمة 2)} + \\ &- \text{(الحزمة 3)} 0.3322 + \text{(حزمة 4)} 0.3396 - \text{(الحزمة 5)} 0.6210 - \\ &0.4186 \text{ (الحزمة 7)} - 3.3828 \end{aligned}$$

وفي المرحلة الأخيرة، جرى إخراج نتائج التحويل وعرضها في مرئية ملونة بالألوان الأساسية الثلاثة (RGB)؛ لتسهيل عملية تفسير المنظر الأرضي بصريا، وتمييز السطوح المختلفة، وتشخيص حالة الأراضي.

8. النتائج والتفسير

يوضح الشكل (4) مخرجات نموذج تحويل القبعة المشرشفة على بيانات المرئية الاستشعارية لمنطقة الدراسة. ويظهر في الشكل أن مناطق التعدين السطحي تنتشر بشكل ملحوظ ومركز في الجهات الشرقية والجنوبية من منطقة الدراسة، وامتازت سطوحها الأرضية بارتفاع قرينة السطوح وانخفاض قرينة الاخضرار. ويفسر ذلك بسيادة التربة الجرداء منخفضة الرطوبة، وظروف بيئية مضطربة غير معينة على نمو النباتات؛ نتيجة لتأثيرات عمليات التعدين والحفر وإزالة الغطاء الرسوبي العلوي، التي تتسبب إما باختفاء أي تواجد للنبات، أو تجعله يعاني من حالات إجهاد فسيولوجي أثناء أطوار حياته المختلفة، مع نقص في عوامل التغذية الرئيسية؛ مما لا يشجع على انتشار الكساء الخضري ووفرتة بكثافة معتبرة في المكان (شكل 5). ونظرا لشيوع عنصر التربة في البيئة المبصرة بتلك المناطق العارية، وغلبة استجابته (بصمته) الطيفية على استجابة عنصر المياه والنبات، فإن الشارات الطيفية للتربة كانت الأكثر لمعانا (أحمر ساطع)، والأقوى تأثيرا في المنظر المستشعر.



شكل 4: نتائج التحويل الرياضي ذي القبة المشرشرة على البيانات الاستشعارية لمنطقة الدراسة



شكل 5: نبات بري مجهود صحيا بمرض اصفرار الأوراق في أحد المناجم القديمة بمنطقة الدراسة نتيجة
لافتقار التربة إلى مقومات دعم نمو النبات وتشوه البيئة السطحية بفعل أعمال التعدين (تصوير: الباحث)

وعلى أراضي التعدين القديمة رصدت أيضا بعض التجمعات السكانية ذات السطوح الصناعية من مواد البناء التي شيدها الإنسان؛ وهذه عموما امتازت بقربنة سطوح خفيضة، ويمكن تفريقها بسهولة عن مواقع التعدين ذات السطوح المرتفع. كما ويلاحظ أيضا في عدد من مناطق التعدين المرصودة، انتشار واسع للبرك المائية التي كانت فيما مضى مناجم مهجورة أو حفر استخراجية قديمة، قامت مياه الأمطار بملئها والتجمع فيها مع مرور السنين، حتى كونت مسطحات مائية مختلفة الأبعاد والأشكال الهندسية. وتمتاز السطوح الأرضية في هذه المناطق الرطبة عموما بارتفاع قربنة الإرتاب، فظهرت بلمعان أزرق ساطع، يدل على غلبة الشارات الطيفية للمياه وطغيان بصمتها الطيفية على بصمة التربة في المنظر المستشعر. ولكن هناك بعض البرك التي ظهرت سطوحها الأرضية بقربنة إرتاب منخفضة بعض الشيء، ومتدرجة في الزرقة؛ نتيجة لاختلاط مياهها بحمولات رسوبية منقولة إليها من النفايات المعدنية وبقايا المناجم المجاورة، والذي انعكس إجمالاً على ضعف الشارات الطيفية للمياه نوعا ما. ويحتمل أن تكون مياه هذه البرك حاوية على نسب أملاح ومعادن مرتفعة التركيز ودرجات سامة، وتحتضن ظروفًا قاسية ومتطرفة تهدد حياة الكائنات الحية، بحيث لا تؤهلها للنمو والاستيطان في المكان، كما يوضحه الشكل (6).

وعموما إذا ما أرادت السلطات المحلية إعادة استغلال هذه الأراضي التعدينية في مشاريع إنمائية أخرى في المستقبل، فإنه ينصح قبل الشروع في ذلك القيام بجدولة هذه المواقع وإدراجها في برامج الإصحاح والترميم البيئي؛ تمهيدا لإحياء وتجديد النظام الإيكولوجي، وإزالة المخاطر الكامنة في المكان على الإنسان والأحياء الأخرى. وعن المناطق الخالية من أنشطة التعدين، فيلاحظ في الشكل (4) تركزها في الجهات الغربية من منطقة الدراسة. ويستدل على ذلك بارتفاع قربنة الاخضرار، وانعدام قربنة السطوح للسطوح الأرضية في تلك المواقع؛ مما يؤشر على أن عمليات التعدين لم تطلها بعد، وأن بيئتها غير مضطربة، وترتبتها السطحية ما زالت على طبيعتها الأولى، ويتوفر فيها ظروف مواتية لنمو النبات بشكل صحي وبكثافة جيدة في المكان. ولما كانت الغلبة للغطاء النباتي في مثل هذه

المواقع، فإن بصمته الطيفية كانت هي الأبرز، وشاراته الطيفية هي الأكثر لمعانا (في الخضرة)، والأقوى تأثيرا في المنظر المستشعر، مقارنة بشارات التربة والمياه. ومثل هذه الأماكن تعتبر نظيفة بيئيا وأمنة على الأحياء ومستخدمي الموقع، وبإمكان السلطات المحلية المباشرة في استغلال هذه الأراضي وإرساء مشاريعها التطويرية في المستقبل، بدون الحاجة إلى تطبيق برامج الإصحاح والترميم البيئي.



شكل 6: ظروف متطرفة في البيئة السطحية لبرك الحفر التعدينية في منطقة الدراسة لا يطيق النبات على مقاومتها والعيش فيها (تصوير: الباحث)

إن نتائج التحويل ذي القبعة المشرشبة، والمعلومات المستفادة من التحليل في هذه الدراسة، تتفق مع نتائج دراسات سابقة أجريت على بيانات لاندسات بغرض إعداد خرائط للأراضي التي تعاني من تشوهات واضطرابات بيئية أضرت بأنظمة التربة والنبات؛ نتيجة لأنشطة بشرية غير رفيعة: كقطع الأشجار (Healey et al., 2005؛ Jin & Sader, 2005)، وحرائق الغابات (Mbowet al., 2004؛ Lobodaet al., 2013)، أو بسبب أنشطة طبيعية، كتملح الترب بفعل التطرف المناخي (Gutierrez & Johnson, 2010). وأكدت تلك الدراسات على أن القرائن الدليلية المستخرجة بواسطة نموذج القبعة المشرشبة،

كانت تساهم بجدية في مراقبة وفهم وتفسير التغيرات الدينامية عبر الزمن التي حدثت في النظام الأرضي والإيكولوجيا المحلية، سواء أكانت تلك التغيرات تتصف بالتدهور أو الانتعاش. وأشارت مخرجات تلك الدراسات إلى فعالية المرئيات المتحولة في إنشاء خرائط وطبقات معلوماتية مفيدة في تقييم الخطورة البيئية، وتصنيف المناطق على أساس الأضرار وشدها. وفي دراسات أخرى حاولت تقييم أراضي التعدين باستخدام تحويل القبعة المشرشفة (Erener, 2011)، وأشارت نتائجها إلى فوائد المرئيات المتحولة بهذا النموذج الذكي في إعطاء معلومات آنية عن الموقع، وتقديم آلية سريعة ورخيصة التكلفة في إنشاء الخرائط، وتقييم نتائج أعمال الترميم الإيكولوجي، ومراقبة مشاريع إعادة تأهيل أراضي المناجم، التي تطبق عادة بعد مرحلة إغلاق المنجم، وانتهاء عمليات الاستغلال المعدني.

يمكن لمخرجات نموذج القبعة المشرشفة الموضحة بالشكل (4) أن تفيد المستخدمين في تطبيقات عديدة ومتنوعة الأغراض: فهي قابلة لأن تسهم كطبقة مُدخّلات في نظام المعلومات الجغرافي، تغذي بمعطيات جيومكانية مميزة، ويمكن بواسطتها إنشاء خرائط موضوعية ذات قيمة عالية للمستخدم، يستعمل منها -على سبيل المثال- عن مقدار مساحات أراضي التعدين بالوحدات المربعة التي تحتاج إلى استصلاح وترميم بيئي بالدرجة الأولى، أو الإحداثيات الجغرافية التي تتواجد عندها تلك المواقع، وغيرها من المعلومات الهامة في برامج حصر وتقييم أراضي المناجم، ودراسة جدوى استصلاحها. كما يمكن الاستفادة من طريقة العمل المتبعة في هذه الدراسة في بناء قاعدة معلومات مكانية تساعد المخططين والسلطات المختصة على إصدار القرارات المناسبة فيما يتعلق بقضايا تقييم الأثر البيئي لمشاريع التعدين في وقت متزامن مع تقدم مراحل مشروع التطوير المعدني، خصوصا أن منهجية الدراسة أثبتت إمكانية إعداد خرائط عن الموقع وتشخيص حالته في وقت وجيز جدا وبأقل التكاليف، إلى جانب اعتمادها على مكونات معلوماتية بسيطة في عمليات المعالجة والتحليل، والتي تتركز أساسا حول المكون الجيونيبياتي، مقارنة بغيرها من الطرق المستندة إلى مكونات معلوماتية متعددة النوع ومتشعبة الطبيعة وكبيرة الحجم. ونخشى أن العيب الأبرز

في طريقة العمل المتبعة بهذه الدراسة، يكمن في اقتصار فعالية النموذج على المناطق التي تنصف بوجود غطاء نباتي معتبر فيها، كالذي يوجد في الأقاليم المعتدلة والاستوائية - فالتحويل الرياضي ذي القبعة المشرشبة هو بالأصل مصمم للتعامل مع البيانات الاستشعارية النباتية ومراقبة الغطاء الخضري وتقييم حالته الصحية؛ الأمر الذي ربما لا يؤهل هذه الطريقة للتطبيق بكفاءة في مناطق التعدين السطحي في الأقاليم الجافة وشبه الجافة من العالم، حيث الغطاء النباتي مبعثر أو شبه منعدم.

9. الاستنتاجات والتوصيات

خلص تحليل البيانات الاستشعارية باستخدام نموذج تحويل القبعة المشرشبة في هذا البحث إلى أن مناطق المناجم والتعدين السطحي تتوزع في الجهات الشرقية والجنوبية من منطقة الدراسة، ويتركز شديد يعبر عن كثافة عمليات التعدين والاستخراج المنجمي المتراكمة عبر السنوات الماضية. وتنتشر في تلك المناطق مساحات كبيرة من الحفر الاستخراجية التي امتلأت بماء المطر وأصبحت بركا بأشكال وأبعاد مختلفة. وتنصف هذه الأراضي إجمالاً بتدهور جيوفيزيائي عام في بيئتها، وتشوهات بصرية في السطح الأرضي. فإذا ما قررت السلطات المحلية في المستقبل إعادة تطوير واستغلال هذه المواقع، فلا بد قبل ذلك من تنفيذ برامج اتصال ومعالجة هندسية، لإزالة المخاطر البيئية المحتملة أو التخفيف من وقعها، وإعادة بعث الحياة (التجديد) للنظام الإيكولوجي. أما المناطق الغربية فامتازت بوجود مناطق غير تعدينية، وأراضيها خالية من أنشطة التدمير والتخريب السطحي، وبيئتها المحلية تنصف بالانتعاش والصحة؛ وعليه، لا تحتاج هذه المواقع إلى تطبيق أية إجراءات للمعالجة والإصحاح البيئي. بينت طريقة العمل المتبعة في هذه الدراسة كذلك إمكانية استخدام نموذج تحويل القبعة المشرشبة في إجراء مسح وتشخيص سريع وغير مكلف لمناطق المناجم والتعدين في وادي كنتا، وإعداد خرائط تصنيفية سهلة المعالجة والإخراج والتفسير، وقابلة للاستخدام في أغراض متعددة. توصي الدراسة الجهات المختصة والمهتمين بقطاع التعدين بضرورة توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد، في خطط التنمية المستقبلية، وعمليات إصدار

القرارات، وتصميم برامج المسوح الوطنية المرتبطة بمشاريع التطوير المعدني؛ لما لها من فوائد وإمكانات كبيرة ومتعددة الأغراض تعين المسؤولين والمؤسسات المهمة بإدارة كل ما يتعلق بهذا القطاع الصناعي، من نواحي اقتصادية، وبيئية، وقانونية، وغير ذلك.

الهوامش:

1. Baig, M. H. A., Zhang, L., Shuai, T. and Tong, Q. (2014). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5):423–431.
2. Crist, E. P. and Cicone, R. C. (1984). A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data---The TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-22(3):256–263.
3. Crist, E. P. and Kauth, R. J. (1986). The Tasseled Cap de-mystified. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(1):81–86.
4. Crist, E. P., Laurin, R. and Cicone, R. C. (1986). Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In *Proceedings of IGARSS' 86 Symposium*, 1465-70. Ref. ESA SP-254. Paris: European Space Agency.
5. Dixon, C. (1984). *Atlas of Economic Mineral Deposits*, Chapman & Hall, London, UK
6. Erener, A. (2011). Remote sensing of vegetation health for reclaimed areas of Seyitömer open cast coal mine. *International Journal of Coal Geology*, 86(1): 20–26
7. Gobbett, D.J. and Hutchison, C.S. (1973). *The Geology of the Malay Peninsula – West Malaysia and Singapore*. Wiley-Interscience, New York, USA
8. Gutierrez, M. and Johnson, E. (2010). Temporal variations of natural soil salinity in an arid environment using satellite images. *Journal of South American Earth Sciences*, 30(1): 46–57
9. Healey, S.P., Cohen, W.B., Zhiqiang, Y. and Krankina, O.N. (2005). Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in

- forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment*, 97(3): 301–310
10. Hosking, K.F.G. (1973). Primary mineral deposits. In *Geology of the Malay Peninsula*, Gobbett, D.J. and Hutchison, C.S. (eds), Wiley-Interscience, New York, USA, pp. 335-390
 11. Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C. and Zylstra, G. (2002). Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 23(8):1741–1748
 12. Ingham, F.T. and Bradford, E.F. (1960). *The geology and mineral resources of the Kinta Valley, Perak*, Govt. Press, Kuala Lumpur, Malaysia.
 13. Jin, S. and Sader, S.A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94(3): 364–372
 14. Kauth, R. J., and Thomas, G. S. (1976). The tasselled cap - A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, West Lafayette, Indiana, USA, (29 June-1 July), pp. 41–51
 15. Khoo, S. N. and Lubis, A. R. (2005). *Kinta Valley: Pioneering Malaysia's Modern Development*. Perak Academy, Malaysia.
 16. Loboda, T.V., French, N.H.F, Hight-Harf, C., Jenkins, L. and Miller, M.E. (2013). Mapping fire extent and burn severity in Alaskan tussock tundra: An analysis of the spectral response of tundra vegetation to wildland fire. *Remote Sensing of Environment*, 134: 194–209
 17. Lobser, S. E. and Cohen, W. B. (2007). MODIS tasselled cap: land cover characteristics expressed through transformed MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*, 28(22):5079–5101.
 18. Mbow, C., Goïta, K. and Bénié, G.B. (2004). Spectral indices and fire behavior simulation for fire risk assessment in savanna ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 91(1): 1–14

19. Metcalfe, I. (2005). South East. In *Encyclopedia of Geology*, Vol. 1 (Metcalfe, R.C., Cocks, L.R.M. and Plimer, I.R. (eds), Elsevier Academic Press, UK, pp. 169-196
20. Mohamad, H. and Hassan, W.F. (1997). Mining: What Environmental Impact?, *CAP-SAM National Conference: State of the Malaysian Environment*. Penang: Consumers' Association of Penang, Malaysia (5-9 Jan.)
21. Moores, E.M., and Fairbridge, R.W. (1997). *Encyclopedia of European and Asian Regional Geology*, Chapman & Hall, London, UK
22. MuhdRadzali, M., Salim, K., Yusof, A. and Abu Bakar, I. (1993). Use of Landsat Thematic Mapper™ data for characterization of tin tailing areas in Malaysia. *Seminar Penggunaan Data Penderiaan Jauh dalam Sains Bumi di Kawasan Tropika*. Bangi: Univeristi Kebangsaan Malaysia, Malaysia (14-15 Dec).
23. PMD EPU (2016). Tenth Malaysian Plan. Economic Planning Unit, Prime Minister's Department, Putrajaya, Malaysia
24. Rajah, S.S. (1979). The Kinta Tinfield, Malaysia, *Bull. Geol. Soc. Malaysia*, 11:111-136
25. Rasiah, R. (1999). *Transnational Corporations and the Environment: The Case of Malaysia*. Occasional paper no. 4, Report as part of UNCTAD/CBS Project: Cross Border Environmental Management in Transnational Corporations, CBS (May)
26. Rastall, R.H. (1927). The geology of the Kinta Valley. *Min. Mag.*, 39: 328-338
27. Richards, J.A. (1993). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction* (2nd Ed.), Springer-Verlag, Berlin, Germany
28. Riley, G. (1967). The cassiterite-stannite occurrence at Tekka Mines, Kinta. *Newsl. Geol. Soc. Malaysia*, 7:10-12
29. Scrivenor, J.B. (1913). *The Geology and Mining Industry of the Kinta District, Perak Federated Malay States*. Govt. Press, Kuala Lumpur, Malaysia
30. Sonter, L.J., Moran, C.J., Barrett, D.J. and Soares-Filho, B.S. (2014). Processes of land use change in mining regions. *Journal of Cleaner Production*, 84: 494-501

31. Willbourn, E.S. (1946). The Relationship of the Geological Survey to the Mining Industry of Malaya, *Bulletin of the Imperial Institute*, Vol. XLIV, No. 2, p.128-148
32. Yarbrough, L. D., Navulur, K. and Ravi, R. (2014). Presentation of the Kauth–Thomas transform for WorldView-2 reflectance data. *Remote Sensing Letters*, 5(2):131–138.