

تقييم الاستدامة البيئية في محمية شرعان عبر تقنيات AI&GEE ضمن منظور الجيوماتكس
ومبادرة السعودية الخضراء

Assessing Environmental Sustainability in Sharaan Reserve Using AI and GEE Techniques
within a Geomatics Perspective and the Saudi Green Initiative

إعداد: الباحثة/ سهام بنت سدي بن سعيد السلمي

طالبة دكتوراه، قسم الجغرافيا، كلية اللغات والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية

Email: sm-s-s@hotmail.com

الدكتور/ مرشد بن معيوض بن عواض السلمي

قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك عبدالعزيز، المملكة العربية السعودية

Email: morshidm@yahoo.com

الملخص:

تستعرض هذه الدراسة تقييم الاستدامة البيئية في محمية شرعان بمحافظة العلا بالمملكة العربية السعودية، التي تقع في بيئة شبه جافة تواجه تحديات مناخياً وبيئياً، بما يتوافق مع مبادرة السعودية الخضراء وأهداف المملكة 2030. تهدف الدراسة إلى رصد وتحليل التغيرات المكانية والزمانية في استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي خلال الفترة من 2017م إلى 2023م، مع التركيز على تقنيات الجيوماتكس، مثل صور سينتينال 2، GIS، الذكاء الاصطناعي، ومنصة الحوسبة السحابية.

انتهجت الدراسة منهجية تحليلية شملت معالجة الصور، وحساب NDVI و NDBI لرصد التوسع العمراني. كما استخدمت خوارزمية الغابة العشوائية المعتمدة على تقنيات الذكاء الاصطناعي لتصنيف الغطاء الأرضي، مع تقييم دقة التصنيف بواسطة مصفوفة الخطأ ومعامل كابا.

دلت النتائج عن زيادة ملحوظة في المساحات المزروعة بأقصى الشمال الغربي للمحمية، فقد زادت من 1.148464 كم² إلى 5.169507 كم² بزيادة قدرها 4.021043 كم²، مع تحسن واضح في قيم NDVI، ونجاح جهود التشجير ومكافحة التصحر. كما سجلت الدراسة توسع عمراني محدود من 0.015095 كم² إلى 0.346358 كم² بزيادة قدرها 0.331263 كم² بالنطاق الشمال الغربي وبعض المتناثرات بوسط المحمية وغربها، إلا أن هذا التوسع بقي محدوداً مكانياً ولا يشكل تهديداً حالياً للاستدامة البيئية. كذلك تم رصد ظهور تجمعات مائية محدودة جديدة بالجنوب الشرقي للمحمية. وتوصي الدراسة بتعزيز الوعي البيئي لدى المجتمعات المحلية، وتطوير ممارسات الزراعة المستدامة باستخدام التقنيات الحديثة، ومتابعة التوسع العمراني عبر تقييمات دورية للأثر البيئي. كما تؤكد على أهمية التخطيط العمراني المستدام. وتعد هذه الدراسة مساهمة علمية قيمة لدعم عمليات صنع القرار البيئي والتخطيط المكاني المستدام في محمية شرعان، بما يتماشى مع أهداف المبادرة الخضراء ورؤية السعودية 2030.

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بعد، منصة الحوسبة السحابية، مؤشر الغطاء النباتي، مؤشر المناطق العمرانية، صور سينتينال-2، الذكاء الاصطناعي

Assessing Environmental Sustainability in Sharaan Reserve Using AI and GEE Techniques within a Geomatics Perspective and the Saudi Green Initiative

Seham Saadi Saeed AL Sulami

Department of Geography – College of Languages and Humanities – Qassim University

Dr. Morshid Mawid Awad Al Sulami

Department of Geography and Geographic Information Systems - Faculty of Arts and Humanities - King Abdulaziz University

Abstract:

This study presents an evaluation of environmental sustainability in the Sharaan Nature Reserve, located in AlUla Governorate. The research aligns with the objectives of the Saudi Green Initiative and Vision 2030. It aims to monitor and analyze changes in land use and land cover between 2017 and 2023, geomatics technologies, including RS using Sentinel-2 imagery, GIS, AI, and GEE cloud computing platform. The study adopted an analytical methodology satellite imagery and calculation of NDVI and NDBI. The Random Forest algorithm was applied to classify land cover, and accuracy was evaluated using error matrix and Kappa coefficient.

The results revealed increase in cultivated areas between 2017 and 2023, particularly in the northwestern part of the reserve, from 1.148464 km² to 5.169507 km² — an increase of 4.021043 km² — accompanied by a clear improvement in NDVI values, indicating successful afforestation efforts. Urban expansion was also detected, rising from 0.015095 km² to 0.346358 km², an increase of 0.331263 km². However, this expansion remains limited and does not threaten environmental sustainability. Additionally, limited new water bodies in the southeastern part of the reserve.

Based on these findings, the study recommends enhancing environmental awareness among local communities, promoting sustainable practices through modern technologies, and monitoring urban growth via periodic environmental assessments. Furthermore, it emphasizes adopting sustainable urban planning to maintain natural resource conservation.

This study provides a contribution to support sustainable environmental planning in the Sharaan Reserve, Saudi Green Initiative and Vision 2030.

Keywords: Remote Sensing, Google Earth Engine, Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Built-up Index, Sentinel-2 Imagery, Artificial Intelligence

1. المقدمة:

في ظل التحديات البيئية المتزايدة التي تشهدها البيئات الجافة وشبه الجافة، تبرز الحاجة الملحة إلى تطوير أدوات وتقنيات حديثة فعالة لتقييم الاستدامة البيئية، ورصد التغيرات التي تطرأ على النظم الطبيعية نتيجة الضغوط البشرية والمناخية (عبد الرحيم، 2020، El Bastawesy et al., 2013). وتعد تقنيات الجيوماتكس، بما في ذلك نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS)، من الركائز الرئيسية المحورية في تحليل الظواهر البيئية على المستويين الزماني والمكاني (Chuvieco & Huete, 2010، أبو عرام، 2021).

وقد أسهم دمج هذه الأدوات مع تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) ومنصات الحوسبة السحابية، مثل Google Earth Engine (GEE)، في تطوير منهجيات أكثر كفاءة لرصد التغيرات البيئية وتحليل مؤشرات الاستدامة بدقة وموثوقية عاليتين (Gorelick et al., 2017، إسماعيل، 2022).

وتأتي هذه الدراسة في سياق دعم مبادرة السعودية الخضراء، التي تهدف إلى تعزيز الغطاء النباتي، ومكافحة التصحر، والحفاظ على التنوع البيولوجي (Ministry of Environment, Water and Agriculture, 2021). وتركز الدراسة على محمية شرعان، بوصفها منطقة نموذجية لتقييم الاستدامة البيئية، نظراً لما تتمتع به من قيمة طبيعية فريدة ضمن نطاق محافظة العلا. وتتمثل منهجية الدراسة في تحليل التغيرات البيئية التي طرأت بين عامي 2017 و2023، وذلك بالاعتماد على صور الأقمار الصناعية من القمر Sentinel-2، من خلال منصة GEE، واستخلاص وتحليل عدد من المؤشرات البيئية الرئيسية، وهي:

- مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) لقياس كثافة الغطاء النباتي (Weier & Herring, 2000).
- مؤشر الفرق المعياري للمناطق العمرانية (NDBI: Normalized Difference Built-up Index) لرصد التوسع العمراني أو انتشار المناطق المبنية (Zha et al., 2003).
- تحليل تغيرات استخدامات الأرض والغطاء الأرضي (Land Use/Land Cover) خلال فترة الدراسة (Lu & Weng, 2007).

وتهدف هذه المؤشرات مجتمعة إلى تقديم تقييم شامل لحالة الاستدامة البيئية في المحمية، بما يسهم في دعم اتخاذ قرار بيئي مبني على البيانات، وتوجيه جهود الحماية والتخطيط المستدام في المناطق ذات الأهمية البيئية في المحمية (Li et al., 2019؛ الخطيب، 2023).

1.1. مشكلة البحث:

تشهد محمية شرعان تحولات بيئية ناتجة عن مشاريع تنمية ضمن رؤية السعودية 2030 ومبادرة السعودية الخضراء، مما أثر على أنماط استخدامات الأرض والغطاء الأرضي. ونظراً لحساسية البيئة الطبيعية في المنطقة، تبرز الحاجة إلى رصد هذه التغيرات بدقة، وتحليل أبعادها المكانية والزمانية باستخدام أدوات وتقنيات حديثة تتجاوز الطرق التقليدية.

لذا تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التغير في استخدامات الأرض والغطاء الأرضي بالمحمية خلال الفترة من (2017/2023)، من خلال نموذج تحليلي متكامل يوظف تقنيات الاستشعار عن بعد، GIS، وGoogle Earth Engine، لدعم الاستدامة البيئية واتخاذ القرار الجغرافي المبني على البيانات المكانية.

2.1. تساؤلات البحث:

تتمحور هذه الدراسة حول الإجابة عن مجموعة من التساؤلات البحثية المرتبطة بتقييم الاستدامة البيئية في محمية شرعان، وذلك من خلال توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي ومنصة Google Earth Engine في إطار الجيوماتكس والتنمية المستدامة، ويمكن تلخيص هذه التساؤلات في الآتي:

- ما مقدار التغير الكمي في استخدامات الأرض والغطاء الأرضي في منطقة الدراسة بين عامي 2017 و2023؟
- إلى أي مدى طرأت تغيرات مكانية وزمنية على استخدامات الأراضي ضمن المحمية خلال فترة الدراسة؟
- كيف يمكن تقييم مدى ملائمة التغيرات في استخدامات الأراضي داخل محمية شرعان لأهداف الاستدامة البيئية التي تنص عليها رؤية المملكة 2030؟
- ما مدى كفاءة تقنيات الذكاء الاصطناعي ومنصة GEE في رصد وتحليل التغيرات البيئية الدقيقة في المحميات الطبيعية؟
- كيف يمكن توظيف نتائج هذه الدراسة في دعم مبادرة السعودية الخضراء ووضع سياسات مكانية مستدامة للمحافظة على النظم البيئية بمحمية شرعان والمناطق ذات القيمة البيئية المماثلة؟

3.1. أهمية البحث:

تستمد هذه الدراسة أهميتها في ضوء التوجهات العالمية والمحلية نحو تحقيق التنمية المستدامة، لاسيما في البيئات الجافة وشبه الجافة، وتحديدًا في ظل رؤية المملكة العربية السعودية 2030. وتتمثل أبرز أوجه الأهمية فيما يلي:

- تقديم تحليل كمي ومكاني دقيق لديناميكية التغيرات في استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي بمنطقة الدراسة في فترة زمنية قصيرة (6 سنوات)، وتحديد مقدار المساحات التي تم اكتسابها أو فقدها خلال الفترة من عام 2017م إلى 2023م.
- دعم صناع القرار والمخططين بنتائج علمية تطبيقية يمكن توظيفها في وضع السياسات البيئية وتوجيه التنمية المكانية بطريقة تراعي الحفاظ على الموارد الطبيعية والتوازن البيئي.
- الإسهام في تعزيز أساليب الرصد البيئي الذكي من خلال توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية، ومنصات الحوسبة السحابية (Google Earth Engine)، بما يحقق فعالية وكفاءة في المتابعة المستمرة للتغيرات البيئية.
- دعم جهود مبادرة السعودية الخضراء ومشاريع التنمية البيئية في محافظة العلا، من خلال تقديم تقييم موضوعي لمدى ملائمة التغيرات المكانية مع الأهداف البيئية والاستراتيجية لرؤية 2030.

4.1. أهداف البحث:

بينما تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والتطبيقية، يمكن تلخيصها في النقاط الآتية:

- رصد وتحليل العوامل الطبيعية والبشرية التي أثرت في ديناميكية التغير في الغطاء الأرضي بمنطقة الدراسة، اعتمادًا على تقنيات متقدمة في تصنيف الصور الفضائية.
- تقييم التغيرات المكانية والزمانية لاستخدامات الأراضي والغطاء الأرضي بين عامي 2017م و2023م، باستخدام صور الأقمار الصناعية (Sentinel-2) عبر منصة Google Earth Engine.
- تحديد العوامل المؤثرة في ديناميكيات التغير في الغطاء الأرضي، سواء كانت بشرية كالتوسع العمراني أو بيئية.

- فحص مدى توافق التغيرات في استخدامات الأراضي مع توجهات التنمية المستدامة التي نصت عليها رؤية المملكة 2030، خاصة فيما يتعلق بحماية البيئة والاستدامة البيئية والتخطيط العمراني المستدام.

5.1. حدود البحث:

الحدود الموضوعية:

تمثل دراسة الاستدامة البيئية من منظور التغيرات في استخدامات الأرض والغطاء الأرضي أحد المحاور الرئيسية في الدراسات الجغرافية التطبيقية الحديثة، التي تهدف إلى رصد وتحليل التحولات البيئية الناتجة عن الأنشطة التنموية خلال فترة زمنية محددة. ويكمن البعد الموضوعي لهذه الدراسة في تقييم التغيرات البيئية والمكانية في محمية شرعان من خلال توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي ومنصة GEE، بما يساهم في تحديد أوجه القصور والضغوط البيئية واقتراح بدائل تخطيطية مستدامة تدعم تحقيق التوازن البيئي ضمن مستهدفات رؤية السعودية 2030 ومبادرة السعودية الخضراء.

الحدود المكانية:

تقتصر الدراسة على محمية شرعان الطبيعية الواقعة ضمن نطاق محافظة العلا بمنطقة المدينة المنورة، عند دائرة عرض 26.866° شمالاً وخط طول 38.1912° شرقاً. أنشئت رسمياً عام 2019م من قبل الهيئة الملكية لمحافظة العلا لدعم الاستدامة البيئية ومبادرة السعودية الخضراء. تبلغ مساحتها نحو 1,500 كم²، أي ما يعادل 12.5% من مساحة محافظة العلا (نحو 11,000 كم²)، نظراً لأهميتها البيئية واحتوائها على نظم بيئية حساسة تتأثر بالتحولات التنموية.

الحدود الزمانية:

تعتمد الدراسة على تحليل المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Sentinel-2 لمحمية شرعان الطبيعية، التي تعد إحدى الركائز الاستراتيجية الثلاث لتنمية محافظة العلا، وذلك خلال الفترة الزمنية من 2017 إلى 2023م، بفواصل زمني ثلاثي السنوات (2017، 2020، 2023م). ويهدف هذا الإطار الزمني إلى رصد وتحليل التغيرات المكانية والزمانية في الغطاء الأرضي، من خلال حساب مؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر الاختلاف المعياري للمناطق المبنية (NDBI)، بما يساهم في تقييم ديناميكية التحول البيئي ودعم مبدأ الاستدامة البيئية في ضوء مستهدفات رؤية السعودية 2030 ومبادرة السعودية الخضراء.

6.1. أدوات البحث:

شهدت منطقة الدراسة، ممثلة في محمية شرعان بمحافظة العلا، خلال السنوات الأخيرة حراكاً تنموياً متسارعاً في إطار تحقيق مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، مما انعكس على التوسع في تنفيذ المشاريع الكبرى، خاصة السياحية والبيئية، وأسفر عن تغيرات واضحة في الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي. وتطرح هنا الإشكالية البحثية المتمثلة في: مدى تأثير هذه المشاريع الكبرى والتحولات التنموية على التوزيع المكاني والزمني للغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي، في ظل توجه الدولة نحو تنمية مستدامة تراعي الجوانب البيئية والاقتصادية.

لرصد هذه التغيرات وتحليلها بدقة، تم الاعتماد في هذه الدراسة على منهجية تحليلية متكاملة تجمع بين تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بما يضمن تجاوز القيود التقليدية في تتبع التغيرات البيئية والمكانية. وقد شملت أدوات البحث ما يلي:

الأدوات التقنية المستخدمة: منصة (Google Earth Engine (GEE: استخدمت لتنزيل ومعالجة صور Sentinel-2، وبناء تصنيف لاستخدامات الأراضي والغطاء الأرضي (LULC)، واستخلاص المؤشرات البيئية، ومن البرامج المستخدمة في تحليل وإنتاج الخرائط:

- ENVI 5.3: لمعالجة الصور الفضائية واستخلاص المؤشرات الطيفية.
- ArcGIS 10.7: لإجراء التحليل المكاني، إنتاج الخرائط، وتصميم الإخراج الكارتوغرافي.
- المؤشرات البيئية (الطيفية) المستخدمة: تم استخدام مجموعة من المؤشرات البيئية المستخرجة من صور الأقمار الصناعية Sentinel2 عبر منصة GEE، ومنها:
- (NDVI) Normalized Difference Vegetation Index: لقياس كثافة الغطاء النباتي، تعكس القيم الموجبة وجود غطاء نباتي وتزداد كلما اقتربت من +1.
- (NDBI) Normalized Difference Built-up Index: لرصد التمدد العمراني، تشير القيم الموجبة إلى مناطق حضرية ذات انعكاس عالي (Abd Rahman & Sandi, 2012).

2. الدراسات السابقة:

شهدت الدراسات الجغرافية والبيئية العربية والأجنبية اهتماماً متزايداً بتطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في رصد وتحليل التغيرات البيئية واستخدامات الأرض، لاسيما في إدارة المحميات الطبيعية.

1.2. الدراسات العربية:

تناولت دراسة (غيث، 2005م) الخصائص الطبيعية لمحميات سيناء، موضحة أثر العوامل الجيولوجية والطبوغرافية في تشكيل البيئات المحمية. كما قدمت (شولي، 2008م) دراسة بعنوان "دراسة غطاءات الأراضي في منطقة نابلس بفلسطين باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد"، ركزت الدراسة على تحليل أنماط التباين في الغطاء النباتي باستخدام تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، تمثلت النتائج في قدرة الاستشعار عن بعد في إنتاج خرائط دقيقة لغطاءات الأراضي في البيئات ذات تنوع طبوغرافي معقد كالمناطق الجبلية حيث يصعب في مثل هذه المناطق إجراء العمل الميداني، وقد أوصت الدراسة بضرورة استخدام تقنية الاستشعار عن بعد في دراسة التغيرات في استخدامات الأراضي لما يتميز به هذا العلم من تحديث دائم للبيانات، ومراقبة التغيرات للغطاء الأرضي.

كما سلطت دراسة (بظاظو، 2010-2011م) الضوء على استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تطوير السياحة البيئية بمحمية دبين بالأردن، من خلال تصميم قواعد بيانات مكانية تدعم التخطيط البيئي والحفاظ على التنوع الحيوي. واستعرضت دراسة (زريقات والحسان، 2012م) "كشف التغير في الغطاء الأرضي باستخدام الصور الجوية ونظم المعلومات الجغرافية في قضاء برما -جرش بالأردن" التغير الحاصل في أنواع الغطاء الأرضي لقضاء برما - محافظة جرش خلال الفترة (1978-2009م)، من خلال استخدام الصور الجوية ونظم المعلومات الجغرافية. وكشفت النتائج إلى تحديد ثلاثة أنواع رئيسية للغطاء الأرضي في قضاء برما، وتناقص مساحة الغابات بنسبة 29% نتيجة للأنشطة البشرية والتوسع العمراني. وأوصت بضرورة تطبيق خطط بيئية للحفاظ على الغطاء النباتي ومراقبة التغيرات المستقبلية عبر تقنيات RS.

كما تناولت دراسة (العامري، 2018م) "محاكاة النمو العمراني وتغير استعمالات الأرض في مدينة الديوانية بالعراق باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية"، فهدفت الدراسة إلى إبراز فاعلية التقنيات الحديثة في رصد أنماط النمو العمراني ومتابعتها بمنطقة الدراسة خلال الفترة من 2000 إلى 2018م، والكشف عن التباينات المكانية والزمانية التي ساهمت في تغيرها. وأظهرت نتائج الدراسة تطور المساحة العمرانية للمدينة إلى 6406078 هكتاراً، وأن اتجاه الامتداد العمراني المتوقع لا يختلف كثيراً من ناحية التوزيع المكاني للنمو العمراني من موقع لآخر. وفي السياق ذاته،

وركزت دراسة (الزغول، 2020م) فقد اعتمدت على صور الأقمار الصناعية Landsat و Sentinel2 وتقنيات التصنيف الآلي لتحليل التغيرات المكانية والزمانية في الغطاء الأرضي بمحافظة محاليل عسير، مع توظيف مؤشري NDVI و NDBI لتحقيق دقة تصنيف تجاوزت 90%.

كما تناول (الطعاني وآخرون، 2020م) "تقييم استخدامات الأرض في المدينة المنورة باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (دراسة مقارنة)"، فاتجهت الدراسة إلى استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد من خلال صور المرئيات الفضائية لمنطقة الدراسة، وأظهرت النتائج تنوع الاستخدامات في منطقة الدراسة لتصل إلى ثلاثة عشر صنف من الاستخدام بينما نظام المسح الهولندي للأرض (TTC) يصل إلى سبعة أصناف، وهذا مؤشر واضح على تطور تقنيات الاستشعار عن بعد، ويحتل الاستخدام السكني في منطقة الدراسة أكثر نسبة، وتقل المساحات المخصصة للاستخدامات الأثرية والثقافية. وأوصت الدراسة بتبنيها كأداة أساسية في التخطيط الحضري المستدام.

كما ركزت دراسة (حمادي، 2022م) الإدارة البيئية لمحمية وادي العلاقي في مصر، معتمدةً على تحليل الصور الفضائية ومؤشرات الحساسية البيئية لتقييم ملائمة المواقع المقترحة للتنمية المستدامة ضمن المحمية.

تشير هذه الدراسات مجتمعة إلى أهمية الدمج بين صور الأقمار الصناعية الحديثة (مثل Sentinel-2) وخوارزميات التصنيف الآلي (Image Classification) وتحليل مؤشرات الغطاء النباتي والعمراني (NDVI/NDBI)، وذلك لرصد التغيرات البيئية الكمية داخل المحميات، وتعزيز فعالية إدارتها ضمن إطار التنمية المستدامة. وتطرح هذه الدراسات تساؤلاً محورياً يتمثل في: "ما مقدار التغير الكمي في استخدامات الأرض والغطاء الأرضي بين عامي 2017 و 2023 ضمن المحميات الطبيعية؟" وهو ما تسعى الدراسة الحالية إلى معالجته من خلال توظيف منصة Google Earth Engine وخوارزميات الذكاء الاصطناعي في التصنيف وتحليل السلاسل الزمنية للصور الفضائية.

2.2. الدراسات الأجنبية:

في دراسة (Yuan et al., 2005) بولاية مينيسوتا في الولايات المتحدة، تم تطبيق تصنيف هجين متعدد المستويات للغطاء الأرضي باستخدام مرئيات Landsat TM/ETM عبر سنوات متعددة. وقد أوضحت النتائج دقة تصنيف بلغت نحو 95% للفئات الرئيسية من الغطاء، مع دقة تقدير بنسبة 96% لمناطق الأسطح الغير منفذة مثل المناطق العمرانية.

في حين تناولت دراسات أخرى مثل (Bajocco et al., 2012) دراسة حول استخدام الأراضي ومخاطر الكوارث الطبيعية بالصين، واستفادت من تحليل الغطاء الأرضي/استخدامات الأراضي في توجيه التخطيط المستدام في المناطق المتأثرة بالنشاط الطبيعي والبشري. أفادت دراسة (Rawat & Kumar., 2015) بمنطقة حولباغ في الهند بين عامي 1990 و 2010، حيث استخدم الباحثين تقنيات GIS و RS لرصد التطورات في الغطاء النباتي والمناطق المبنية. وكشفت النتائج عن زيادة ملحوظة في الحجم العمراني والغطاء النباتي، مصحوبة بانخفاض ملحوظ في المساحات الزراعية والمساحات المائية.

في حين درس (Rahman., 2016) التحولات في استخدامات الأراضي والزحف العمراني بمدينة الخبر بالسعودية بين عامي 1990 و2013، باستخدام بيانات Landsat متعددة التواريخ وتصنيف ISODATA، وقياس مؤشر Shannon's entropy لقياس تشتت العمران. وبلغت الدقة حوالي 85%، مع زيادة عمرانية بنسبة 117% من 1990-2001، و52% بين 2001-2013، إضافة إلى تضاعف نسبة الغطاء النباتي.

أما دراسة (Abdelkarim et al., 2022) فاستخدم فيها نموذج CA-Markov بالتكامل مع تحليل AHP عبر تقنية GIS لمحاكاة وتحليل التغيرات في الغطاء الأرضي بمحور ريفي حضري بين الرياض والخرج حتى عام 2030، وتقدير اتجاهات النمو العمراني في المستقبل.

واستعرضت دراسة (Wang et al., 2022) باستخدام خوارزمية LandTrendr ضمن منصة GEE مقارنة بين التغيرات المكانية الزمانية لمؤشر NDVI داخل وخارج المناطق المحمية في الصين عامي 2011-2020، وتوصلت إلى أن مناطق الاسترجاع النباتي والاستقرار كانت أعلى داخل المحميات، رغم بعض التقلبات المرتبطة بالأنشطة البشرية.

كما تناولت دراسة (MDPI., 2023) مراجعة منهجية لموضوع تكامل الذكاء الاصطناعي مع GEE، موضحة التحديات والفرص في تحليل الصور الفضائية، وتطبيقات الذكاء الاصطناعي البيئية ضمن خرائط الغطاء الأرضي والتنبؤ بوضع الأنظمة البيئية المستقبلية.

في حين حللت دراسة دولية حديثة (Weynshet et al., 2024) تغيرات استخدامات الأراضي في حوض Robit بإثيوبيا خلال الفترة 1993-2023، من خلال GEE وتقنيات التعلم الآلي (Random Forest، SVM، CART)، واستخرجوا مؤشرات مثل NDVI وNDBI لقياس التطورات البيئية بدقة تصل فوق 96%.

وبعد عرض الدراسات السابقة، تبين أن الدراسة الحالية للباحثين تتقاطع مع عدد من الدراسات في المنهجية والأدوات والهدف العام، فقد تشابهت مع دراسات (Yuan et al., 2005)، و(Bajocco et al., 2012)، و(Rawat & Kumar., 2015)، و(Rahman., 2016)، و(Kiggunda et al., 2018)، و(Abdelkarim et al., 2022)، ودراسة (الطعاني وآخرون، 2020م) في استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لرصد التغيرات المكانية في استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي. كما تشابهت مع دراسة (الزغول، 2020م) التي اعتمدت على صور الأقمار الصناعية Sentinel-2 وتقنيات Google Earth Engine (GEE) لاستخلاص مؤشرات التغير مثل NDVI وNDBI، وكذلك مع دراسة (زريقات والحسبان، 2012م) في توظيف الصور الجوية للكشف عن التحولات في الغطاء الأرضي. وأظهرت دراسات (شولي، 2008م) و(العامري، 2018م) فاعلية دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليل الجغرافي في إنتاج خرائط دقيقة للتغيرات، وتحديد أنماط النمو المكاني والتوسع الحضري.

أظهرت الدراسات الدولية أهمية تطبيق تقنيات GIS والاستشعار عن بعد في رصد وتحليل التغيرات في استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي، مع التركيز على التغيرات المكانية والزمانية عبر فترات متعددة، وبتوظيف منهجيات حديثة مثل التعلم الآلي ومنصة (Google Earth Engine (GEE، كشفت الأدبيات عن إمكانيات قوية في مراقبة وتحليل التغيرات داخل المحميات الطبيعية والمناطق ذات الحساسية البيئية. وتوضح هذه الدراسات أن دمج GEE مع الذكاء الاصطناعي يقدم أدوات قوية لرصد التغيرات البيئية بدقة عالية، مما يعزز من كفاءة تقييم الاستدامة البيئية ووضع الخطط المستقبلية.

ومن هذا المنطلق، رأى الباحثين الاستفادة من هذه الخبرات والتقنيات في هذه الدراسة الحالية، حيث تنفرد بتحليل التغيرات في الغطاء الأرضي داخل محمية شرعان خلال الفترة من 2017 إلى 2023 باستخدام صور Sentinel-2 بشكل كمي ومكاني، مع توظيف خوارزميات التصنيف الآلي ضمن بيئة GEE. ويعد هذا التوجه امتداداً طبيعياً لتطور الدراسات السابقة، لكنه يمثل في الوقت ذاته إضافة نوعية من حيث الموقع (محمية شرعان كم منطقة طبيعية لم تدرس من قبل بهذه الأدوات)، ومن حيث دمج أدوات الاستشعار والتحليل الجغرافي والذكاء الاصطناعي في بيئة واحدة. وتسهم هذه الدراسة في دعم الجهود الوطنية ضمن رؤية السعودية 2030 ومبادرة السعودية الخضراء، من خلال تقديم تقييم دقيق للتغيرات البيئية داخل المحميات في فترة زمنية قصيرة، مما يدعم الخطط الاستراتيجية من خلال اتخاذ القرار البيئي المستند إلى بيانات مكانية حديثة.

3. منهجية البحث:

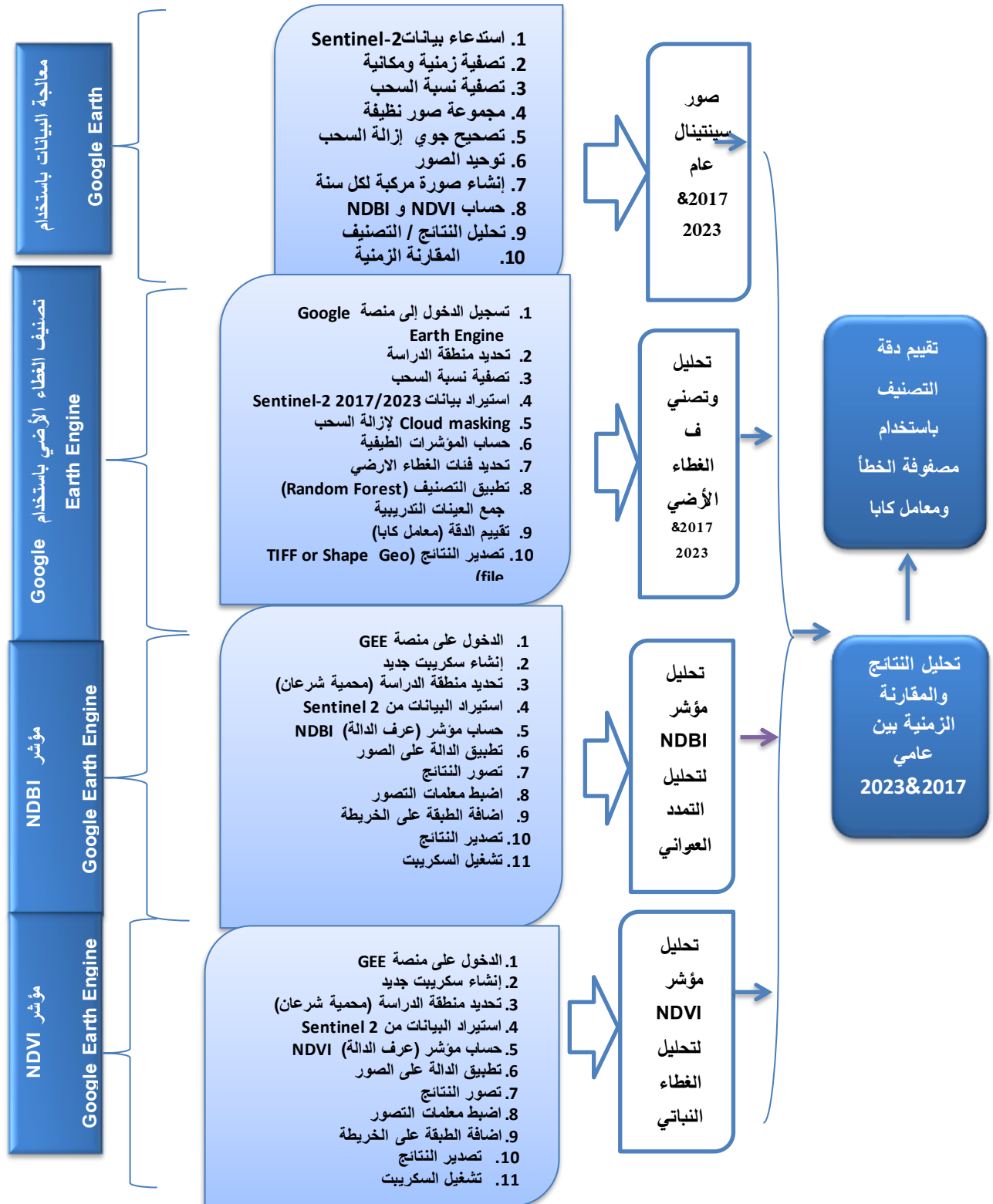
ويوضح الشكل رقم (1) رسم تخطيطي للمنهجية كما يلي:

- **تجميع الصور ومعالجتها:** تم استدعاء صور (Sentinel-2 Level-2A) عبر المعرف "COPERNICUS/S2_SR"، مع تطبيق مرشحات زمانية ومكانية، بالإضافة إلى استخدام خوارزمية (S2Cloudless) المعتمدة على التعلم الآلي لاكتشاف السحب وظلالها (Nasiri et al., 2022). ثم تم إنتاج صور مركبة لكل سنة باستخدام (Median Composite) خلال فصل الصيف لتقليل التباينات الزمنية.
- **حساب المؤشرات الطيفية:** تم حساب NDVI و NDBI من خلال دوال GEE الجاهزة، بالاعتماد على نطاقات الأشعة تحت الحمراء والمرئية، دون الحاجة لبرمجيات خارجية (Velastegui-Montoya et al., 2023).
- **تصنيف الغطاء الأرضي:** استند الباحثين في هذه الدراسة على أسلوب التصنيف الموجه (Supervised Classification) باستخدام خوارزمية (Random Forest) ضمن مكتبة GEE، وتم تصنيف الغطاء الأرضي إلى ست فئات: مياه، غابات، أعشاب، زراعة، مناطق عمرانية، أراضي جرداء (Phiri et al., 2020) تم تدريب النموذج باستخدام عينات مرجعية من صور عالية الدقة وجوجل إيرث برو.
- **تقييم الدقة:** سيتم تقييم نتائج التصنيف باستخدام مصفوفة الخطأ (Confusion Matrix) ومعامل كبا (Kappa Coefficient). (Rwanga & Ndambuki, 2017).

المناهج التحليلية المستخدمة:

- المنهج الوصفي التحليلي: لفهم وتحليل التغيرات في استخدامات الأراضي من منظور جغرافي بيئي.
- المنهج الكمي التحليلي: لتحليل البيانات الرقمية باستخدام النسب المئوية ومعامل كبا.
- المنهج الكارتوجرافي: لإنتاج الخرائط التفسيرية من خلال دمج نظم المعلومات الجغرافية مع الصور الفضائية.

شكل (1) رسم مخططي يوضح الخطوات المتبعة



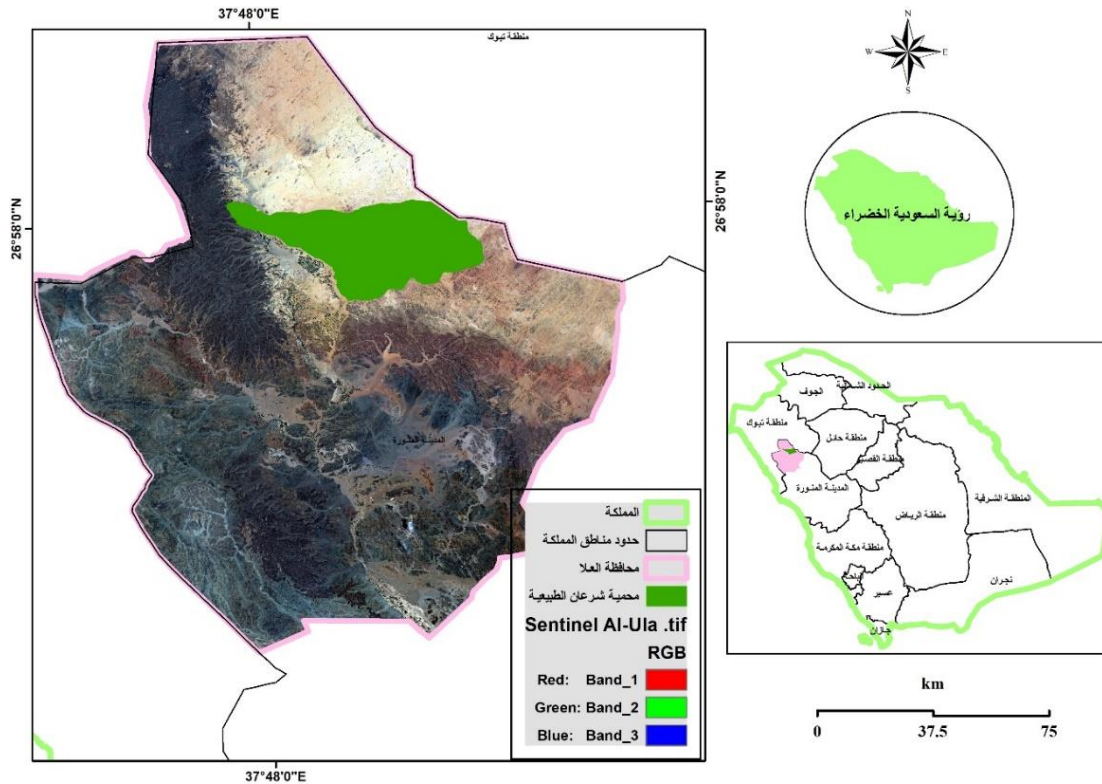
المصدر: من عمل الباحثين.

4. منطقة الدراسة:

تعد محمية "شرعان" من المحميات المهمة ليس فقط بمحافظة العلا ولكن بالمملكة العربية السعودية، وتقع ضمن النطاق الجغرافي لمحافظة العلا في منطقة المدينة المنورة، شمال غرب المملكة، وتقع تقريباً عند دائرة عرض 26.866° شمالاً (أي نحو 26° 51' 58" شمالاً) ودائرة طول 38.1912° شرقاً (أي نحو 38° 11' 28" شرقاً). أعلن عن إنشائها رسمياً في عام 2019م من قبل الهيئة الملكية لمحافظة العلا، كجزء من جهود حماية التراث الطبيعي وتعزيز الاستدامة البيئية، بما يتماشى مع رؤية السعودية 2030، ومبادرة السعودية الخضراء.

تبلغ مساحة محمية "شرعان" نحو 1,500 كيلومتر مربع، أي ما يعادل حوالي 12.5% من إجمالي مساحة محافظة العلا البالغة نحو 11,000 كيلومتر مربع تقريباً، وما يمثل حوالي 0.07% من إجمالي مساحة المملكة التي تقدر بـ 2,150,000 كيلومتر مربع. وتمثل هذه النسبة أهمية بيئية عالية بالنظر إلى التنوع الطبيعي الغني الذي تحتويه المحمية مقارنةً بمساحتها. انظر الشكل رقم (2).

شكل رقم (2) منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين اعتماداً على بيانات الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية (1442هـ) خريطة المملكة العربية السعودية.

وتعد المحمية إحدى الركائز الرئيسة لمشروع "الرحلة عبر الزمن" (The Journey Through Time) الذي يهدف إلى صون التنوع البيئي وحماية الإرث الطبيعي والثقافي للمنطقة (الهيئة الملكية لمحافظة العلا، 2023). تمتد المحمية على مساحة واسعة تتنوع فيها التضاريس ما بين الجبال الصخرية، الأودية العميقة، السهول المفتوحة، والمناطق المنخفضة، وهو ما يؤدي إلى تباين

ملحوظ في توزيع الحياة الفطرية، تبعاً لعوامل طبيعية تشمل شكل التضاريس، توافر المياه، وكثافة الغطاء النباتي (Aloufi & Eid, 2014).

وتتميز المحمية بتنوع جيولوجي وبيئي فريد، حيث تحتوي على تكوينات صخرية ضخمة، وأودية، وسهول، وتعد موطناً ومأوى لمجموعة من الأنواع الحيوانية والنباتية النادرة. ومن أبرز الكائنات التي تعمل المحمية على حمايتها: المها العربي، والوعل النوبي، والثعلب الرملي، والنسر الأصلع، إلى جانب العديد من أنواع النباتات الصحراوية مثل: الأرتي، والسدر، والأكاسيا، ما يجعلها نموذجاً متكاملًا لحفظ التنوع البيولوجي في البيئات الجافة.

وفي إطار رؤية السعودية 2030 ومبادرة "السعودية الخضراء"، تسعى الهيئة الملكية لمحافظة العلا إلى حماية الحياة البرية وتنمية الموائل الطبيعية، مستهدفة أن تكون 80% من مساحة العلا محميات طبيعية. وتعد محمية شرعان نموذجاً لهذه الجهود، حيث يعمل فريق متخصص من الجواله المؤهلين دولياً على مراقبة المناطق المحمية وإدارتها على مدار الساعة، باستخدام تقنيات متقدمة مثل أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS)، مسوحات SMART، والرصد الصوتي والمرئي، إضافة إلى إجراء المسوحات الميدانية والتوعية البيئية للمجتمع المحلي.

تعد مواقع تجمع المياه الموسمية من أبرز عناصر البنية البيئية للمحمية، حيث تسهم في دعم التنوع الحيوي من خلال توفير موائل مؤقتة للحياة البرية والنباتية. ومن أبرز هذه المواقع:

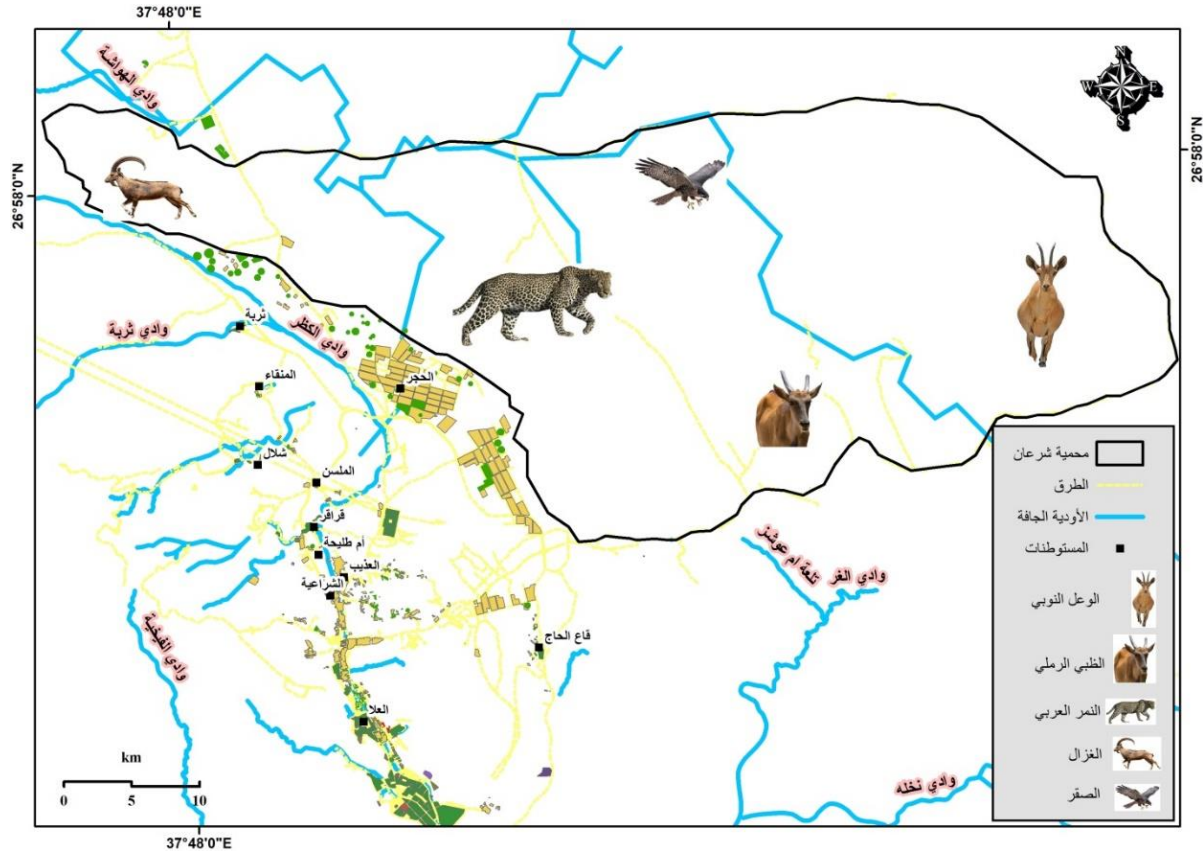
1. وادي شرعان (وادي القرى): أكبر الأودية في المنطقة، حيث تتجمع فيه مياه الأمطار، مما يخلق بيئة خصبة للنباتات والحياة البرية، كما يتميز بتكوينات جيومورفولوجية فريدة ونقوش أثرية عريقة. (Alshahrani et al., 2022)
2. الأودية الفرعية حول جبال شرعان: وهي أودية صغيرة منخفضة بين الكتل الجبلية، تحتفظ بالمياه لفترات مؤقتة، وتشكل نقاط جذب للحيوانات البرية.

3. مناطق السبخات: تتشكل في المنخفضات الملحية بعد هطول الأمطار، حيث تتجمع المياه لفترات وجيزة قبل تبخرها، وتوفر بيئة خاصة للكائنات القادرة على التكيف مع الملوحة العالية.

كما تحتضن المحمية طيفاً واسعاً من الكائنات الفطرية، من بينها الوعل النوبي (Nubian Ibex)، الغزال الإدمي أو الغزال الصحراوي (Sand Gazelle)، النعام، الذئب العربي، والثعلب الأحمر، بالإضافة إلى تنوع ملحوظ من الطيور مثل الوروار الشرقي، الحمامة الضاحكة، القبرة، والطيور الجارحة كالنسور والصقور، كما تشير تقارير بيئية إلى أن المنطقة كانت تاريخياً موطناً لعدد من الأنواع المهددة بالانقراض مثل النمر العربي.

أظهرت الدراسة الميدانية للباحثين أن التوزيع المكاني للحياة البرية داخل المحمية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بخصائص الموائل، حيث تتركز الوعل النوبي والظباء الرملية في الأجزاء الجنوبية والشرقية ذات التضاريس الجبلية والأودية الوعرة، بينما تنتشر الطيور الجارحة في الأجزاء الشمالية والغربية الأكثر انفتاحاً وانسباً. كما تعد المناطق القريبة من الينابيع أو تجمعات المياه الموسمية، خاصة بعد الأمطار، نقاط التقاء رئيسة لمختلف الكائنات الفطرية من جميع أنحاء المحمية (Abu-Zinada et al., 2003). انظر الشكل رقم (3)

شكل رقم (3) التوزيع الجغرافي لأهم الحيوانات البرية بمحمية شرعان

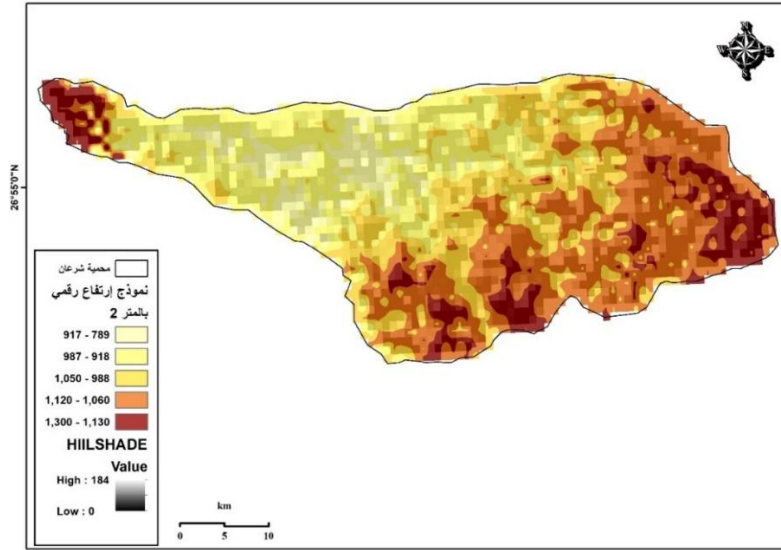


المصدر: عمل الباحثين اعتماداً على بيانات الهيئة الملكية لمحافظة العلا.

ونظراً لأهمية المحمية البيئية والاستراتيجية، فإن تحليل مؤشرات الاستدامة فيها باستخدام تقنيات الجيوماتكس، مثل: نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والاستشعار عن بعد (RS)، ومنصة Google Earth Engine، إلى جانب الذكاء الاصطناعي (AI)، يعد ضرورياً لفهم التغيرات البيئية الحاصلة، لدعم سياسات فعالة للحفاظ على النظم البيئية ضمن أهداف التنمية المستدامة في المملكة العربية السعودية.

في حين يوضح الشكل رقم (4) نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) لمحمية شرعان، مع إبراز الفروق الطبوغرافية من خلال التدرج اللوني الذي يتراوح بين (789) متراً و(1300) متر فوق مستوى سطح البحر، إلى جانب تأثير التظليل (Hillshade) الذي يمنح وضوحاً مجسماً لشكل السطح. وتشير النتائج إلى أن الجزء الغربي والأوسط من المحمية يغلب عليه الارتفاع المنخفض والمتوسط (789-988م)، فيما تتركز الارتفاعات الأعلى (1060-1300م) في الأجزاء الشرقية والجنوبية الغربية، وهي مناطق تتسم بوعورة نسبية وتضاريس جبلية واضحة (الهيئة الملكية لمحافظة العلا، 2023). وينعكس هذا التباين في الارتفاعات مباشرة على توزيع الغطاء النباتي والكثافة الحيوية، حيث تمثل المناطق المنخفضة بيئات أكثر انفتاحاً، بينما توفر المرتفعات مواطن طبيعية للأنواع البرية النادرة. ويكتسب هذا الجانب أهمية خاصة عند ربطه بصور Sentinel-2 للأعوام 2017 و2023، إذ يساعد على تحليل ديناميكية الغطاء الأرضي وتقييم مؤشرات الاستدامة البيئية ضمن إطار مبادرة السعودية الخضراء، وبما يتماشى مع أهداف رؤية المملكة 2030 في الحفاظ على النظم البيئية الفريدة للمحمية (Smith وآخرون، 2024).

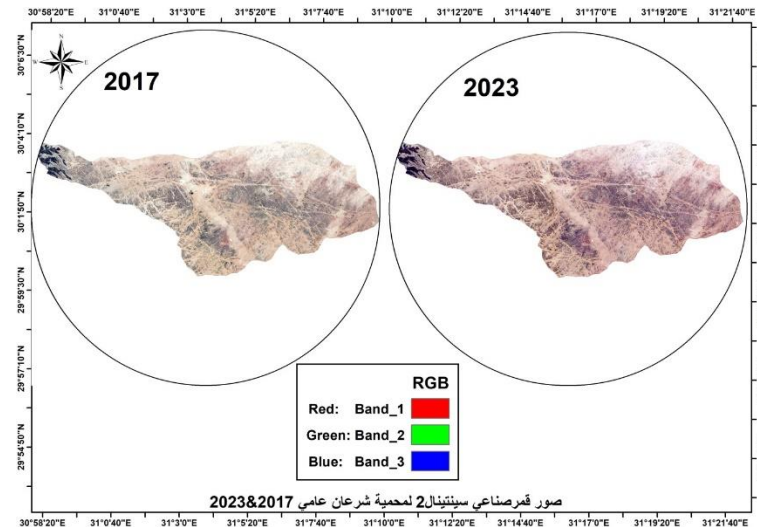
شكل رقم (4) نموذج للارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين اعتماداً على بيانات مرئيات القمر الصناعي SRTM.

ويتضح من الشكل رقم (5) صورتين فضائيتين لمنطقة الدراسة لعامي 2017 و 2023 ويتضح من المشاهدة البصرية التطور المحدود في ملامح الغطاء الأرضي في محمية شرعان، بالاعتماد على صور القمر الصناعي Sentinel-2 المأخوذة من منصة Google Earth Engine. تم عرض المشاهد باستخدام تراكيب لونية حقيقية (RGB) بحيث يمثل النطاق الأحمر (Band 1)، والنطاق الأخضر (Band 2)، والنطاق الأزرق (Band 3). يلاحظ من المقارنة المكانية وجود تغيرات في انعكاسات السطوح الأرضية، خاصة في المناطق الجبلية والوديان، مما قد يعكس تحولات في الأنماط البيئية أو عمليات التعرية والترسيب. وتمثل منطقة الدراسة جزءاً من النطاق البيئي الصحراوي لشمال غرب المملكة العربية السعودية (European Space Agency, 2023، هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، 2023).

شكل رقم (5) صور الأقمار الصناعية المستخدمة لمنطقة الدراسة 2023&2017م



المصدر: عمل الباحثين اعتماداً على وكالة الفضاء الأوروبية (2025م) صور القمر الصناعي سينتينل-2، تم الحصول عليها عبر منصة Google Earth Engine.

5. النتائج:

التغير في تصنيف الغطاء الأرضي بين عامي 2017 و2023م:

عند مقارنة نتائج تصنيف الغطاء الأرضي لعامي 2017 و2023 في محمية شرعان، تظهر تغيرات واضحة وملحوظة في توزيع فئات الغطاء الأرضي، مما يعكس ديناميكيات التحول في استخدام الأراضي خلال السنوات البيئية. وأظهرت البيانات زيادة في مساحة بعض الفئات وتراجعاً في أخرى، مما يوفر رؤية شاملة حول التغيرات البيئية والعمرانية في المحمية، بما يتماشى مع أهداف الاستدامة البيئية. ويتضح من الجدول رقم (1) والشكل رقم (6) الآتي:

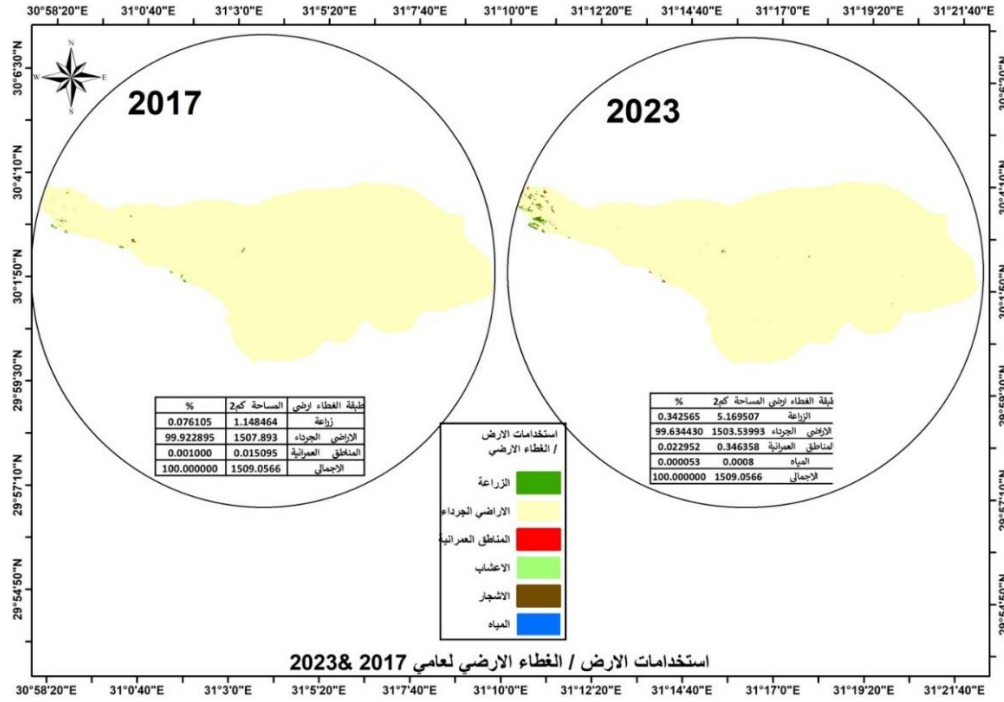
بين عامي 2017 و2023م، شهدت المساحات المزروعة زيادة كبيرة، فقد زادت من 1.148464 كم² (0.076105%) إلى 5.169507 كم² (0.342565%)، بزيادة قدرها 4.021043 كم² (350.03%)، مما يشير إلى تعزيز الأنشطة الزراعية المستدامة، ولعل ذلك كان نتيجة مبادرات لزيادة الغطاء النباتي ومكافحة التصحر. في المقابل انخفضت مساحة الأراضي الجرداء من 1507.893037 كم² (99.922895%) إلى 1503.539931 كم² (99.634430%)، بانخفاض قدره 4.353106 كم² (0.29%)، مما يعكس تحويل جزء من هذه الأراضي إلى استخدامات زراعية أو عمرانية. كما سجلت المناطق العمرانية نمواً ملحوظاً من 0.015095 كم² (0.001000%) إلى 0.346358 كم² (0.022952%)، بزيادة قدرها 0.331263 كم² (2194.66%)، مما يدل على توسع عمراني محدود ولكنه كبير نسبياً بالنطاق الشمال الغربي وبعض المتناثرات بوسط المحمية وغربها بالقرب من المستوطنات العمرانية القائمة وخصوصاً مدينة الحجر الأثرية. بالإضافة إلى ذلك، ظهرت تجمعات المياه في عام 2023م بمساحة ضئيلة قدرها 0.0008 كم² (0.000053%) جديدة بالجنوب الشرقي للمحمية خلال فترة الدراسة. بينما لم تسجل في عام 2017م، مما قد يعكس تحسينات في دقة التصنيف أو ظهور مساحات مائية صغيرة. أما فئتي الأعشاب والأشجار فلم تسجلا أي مساحة في كلا العامين، مما يشير إلى غياب هذه الفئات أو عدم اكتشافها ضمن البيانات.

جدول رقم (1) مراقبة التغيرات في المساحات ب كم² والنسب المئوية لفئات تصنيف الغطاء الأرضي (LULC)

2023م		2017م		(الفئة) طبقة الغطاء أرضي
%	المساحة كم ²	%	المساحة كم ²	
0.343	5.170	0.076	1.148	زراعة
99.634	1503.540	99.923	1507.893	الأراضي الجرداء
0.023	0.346	0.001	0.015	المناطق العمرانية
0.000	0.001	0.000	0.000	المياه
100	1509.057	100	1509.057	الإجمالي

المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على الشكل رقم (6).

شكل رقم (6) التغير في استخدامات الارض / الغطاء الأرضي لمحمية شرعان بين عامي 2017 & 2023م



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات تصنيف الغطاء الأرضي للمراقبة الفضائية Sentinel-2 باستخدام برنامجي Google Earth Engine, Arc GIS 10.8.

التغير في مؤشر NDVI باستخدام Google Earth Engine :

بعد تجهيز الصور المركبة لكل سنة من سنوات الدراسة، تم حساب مؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي (NDVI) باستخدام منصة (GEE)، وذلك بالاعتماد على الدالة الجاهزة (normalized Difference) التي تنتج احتساب المؤشر من خلال تحديد النطاقين الطيفيين المرغوبين: الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والنطاق الأحمر (Red). وبالنسبة لصور القمر الصناعي Sentinel-2، استخدم النطاق B8 (الأشعة تحت الحمراء القريبة، بطول موجي 842 نانومتر) والنطاق B4 (الأشعة الحمراء، بطول موجي 665 نانومتر) لاحتساب المؤشر وفق المعادلة المعيارية على أساس كل بكسل في الصورة (Lasaponara et al., 2022). طبقت المعادلة:

$$\frac{NIR-RED}{NIR+RED} = NDVI$$

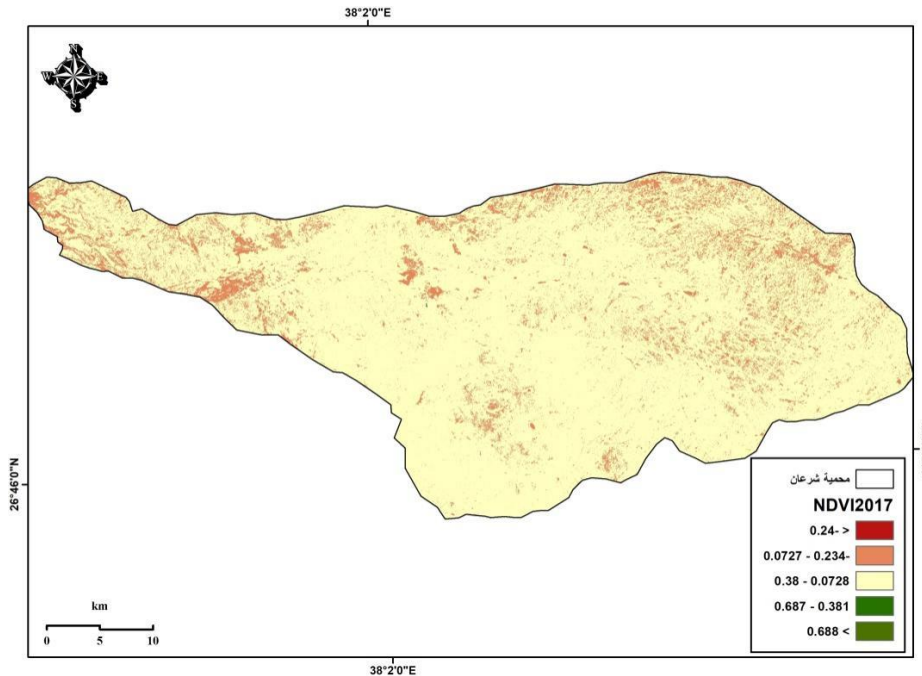
تم كذلك تطبيق قناع السحب المعد مسبقاً لضمان استبعاد البكسلات المتأثرة بوجود السحب، حيث أسند لها قيمة NDVI "لا بيانات". ونتج عن ذلك إنتاج خرائط NDVI لمناطق الدراسة في الأعوام 2017 و 2023، ملونة تدريجياً من البني (للأراضي الجرداء منخفضة القيم) إلى الأخضر الفاتح ثم الداكن (للمناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف). بعد ذلك، أجري تحليل مكاني وإحصائي لهذه الخرائط بهدف تحديد الأنماط المكانية ورصد التغيرات الزمنية في الغطاء النباتي.

يتضح من تحليل القيم في الشكلي رقم (7&8) الآتي:

- القيم الأقل من 0 (مثل -0.24) → غالباً تمثل المناطق غير النباتية مثل المناطق العمرانية أو الأراضي الجرداء والصحاري.
- من -0.234 إلى 0.0727 → مناطق منخفضة الغطاء النباتي أو تربة مكشوفة.
- من 0.0728 إلى 0.38 → غطاء نباتي ضعيف إلى متوسط، قد يشمل بعض المناطق العشبية أو الأراضي الزراعية الأقل كثافة.
- من 0.381 إلى 0.687 → غطاء نباتي جيد، وهو غالباً الفئة التي تمثل المناطق الزراعية.
- أكبر من 0.688 → مناطق ذات غطاء نباتي كثيف جداً مثل الغابات أو المزارع الكثيفة.

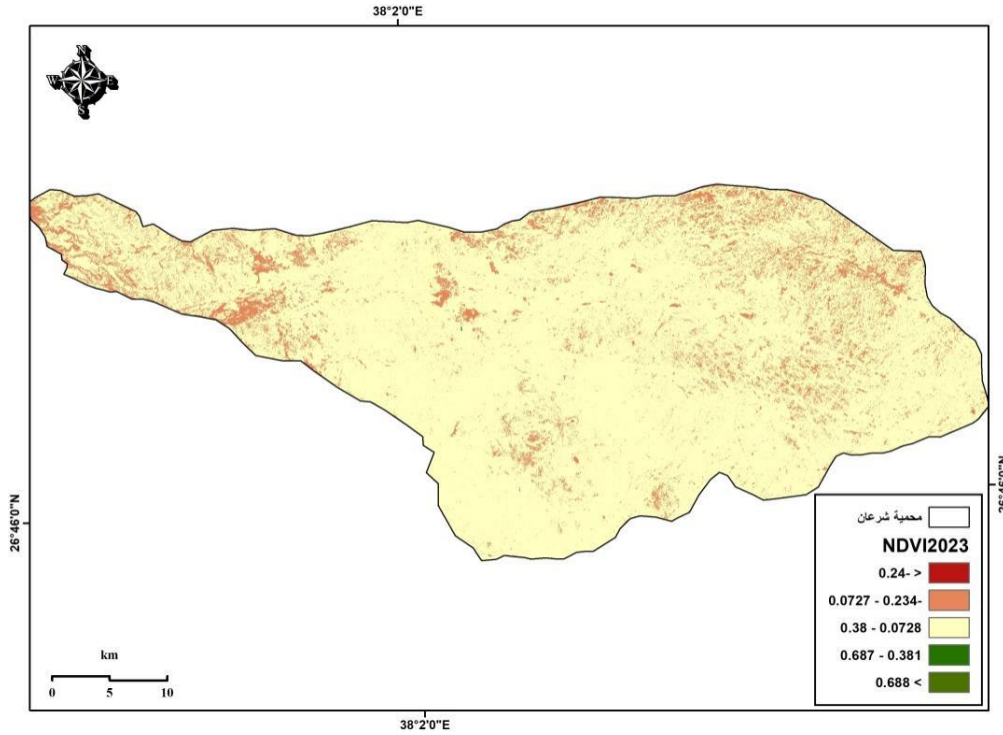
وتظهر نتائج تحليل مؤشر الاختلاف النباتي الطبيعي (NDVI) لمحمية شرعان خلال فترة الدراسة تحسناً ملحوظاً في الغطاء النباتي بالنطاق الشمالي والشمالي الغربي بالمحمية، حيث ارتفعت مساحة المناطق الخضراء من 1.15 كم² إلى 5.17 كم² بنسبة زيادة بلغت 350%. وقد تراوحت قيم NDVI في عام 2017 بين 0.072 و 0.234، بينما سجلت تحسناً واضحاً في 2023 لتبلغ 0.234-0.387 في المناطق المحسنة، رغم استمرار هيمنة الأراضي الجرداء التي تشكل أكثر من 85% من المساحة الكلية. وأظهر التحليل الطبوغرافي أن 80% من مساحة المحمية تقع تحت ارتفاع 23 متراً، بينما تركزت أفضل حالات الغطاء النباتي في المناطق المرتفعة (23-40 م). كما لوحظ أن التوسع العمراني المحدود (0.35 كم²) لم يؤثر سلباً على المؤشر النباتي.

شكل رقم (7) مؤشر الاختلاف النباتي الطبيعي لمحمية شرعان لعام 2017م



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات تصنيف الغطاء الأرضي للمريئة الفضائية Sentinel-2 لعام 2017م باستخدام برنامجي Google Earth Engine, Arc GIS 10.8.

شكل رقم (8) مؤشر الاختلاف النباتي الطبيعي لمحمية شرعان لعام 2023م



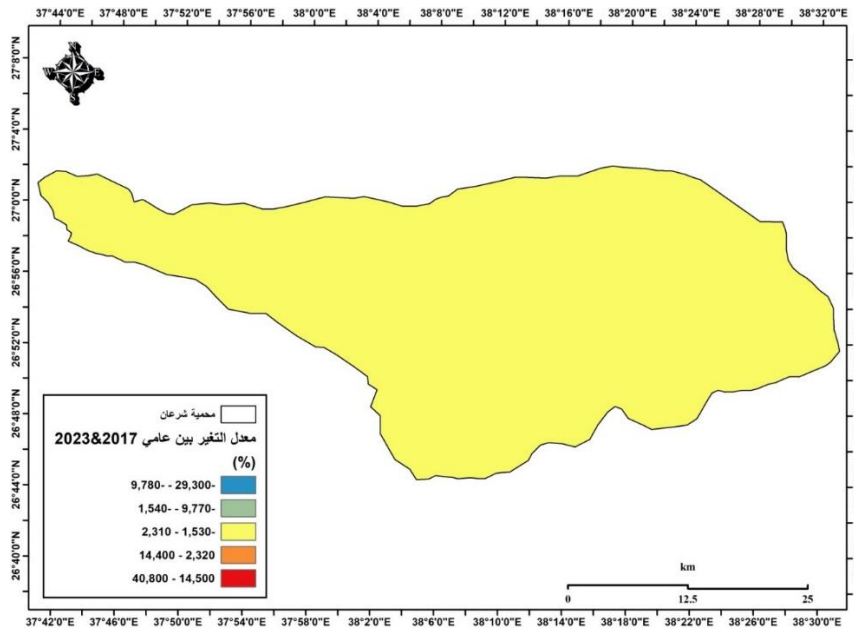
المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات تصنيف الغطاء الأرضي للمرئية الفضائية Sentinel-2 لعام 2023 م باستخدام برنامجي Google Earth Engine, Arc GIS 10.8.

على الجانب الآخر يوضح الشكل رقم (9) التوزيع المكاني لمعدل التغير الكمي والمكاني لمؤشر الاختلاف النباتي الطبيعي (NDVI) داخل محمية شرعان خلال الفترتين. ويلاحظ أن غالبية مساحة المحمية تقع ضمن الفئة الصفراء (2,310 – 1,530)، وهو ما يشير إلى أن التغير في الغطاء النباتي كان طفيفاً أو محدوداً في معظم المناطق، مما يعكس استقرار النظم البيئية المحلية. وقد يكون هذا الاستقرار ناتجاً عن ندرة الأنشطة البشرية المؤثرة، إضافة إلى طبيعة البيئة الجافة وشبه الجافة التي تحد من التغيرات الموسمية الحادة في الغطاء النباتي.

من ناحية أخرى، تظهر بعض المناطق المحدودة تغيرات أكبر (قيم أعلى أو أقل) موزعة بشكل غير منتظم على الأطراف، مما قد يعكس تأثيرات طبيعية كالأعاصير الموسمية أو التعرية، أو تأثيرات بشرية محلية كالرعي أو المرور. وتشير هذه النتائج إلى أهمية الاستمرار في مراقبة المؤشر باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد للكشف المبكر عن أي تغيرات بيئية قد تؤثر على استدامة المحمية (هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، 2023، Tucker، 1979).

وتعكس هذه النتائج فاعلية جهود الزراعة المستدامة في محمية شرعان، مع الحفاظ على خصائصها البيئية الأصلية. كما تشير إلى أهمية تكثيف برامج التشجير في المناطق منخفضة الكثافة النباتية، وتعزيز أنظمة المراقبة للتوسع العمراني المستقبلي، بما يضمن استدامة النظم البيئية وحماية الغطاء النباتي من التدهور.

شكل رقم (9) التغير في مؤشر الاختلاف النباتي الطبيعي لمحمية شرعان بين عامي 2017 و2023م



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات تصنيف مؤشر الاختلاف النباتي الطبيعي NDVI للترئية الفضائية-Sentinel-2 لعامي 2023 و2017م باستخدام برنامجي Google Earth Engine, Arc GIS 10.8.

التغير في مؤشر NDBI باستخدام Google Earth Engine:

يعد مؤشر الاختلاف المعياري للمناطق المبنية (Normalized Difference Built-up Index - NDBI)، الذي ابتكره Zha وزملاؤه (2003) وطوره Badlani وآخرون (2017)، أداة فعالة لتمييز المناطق الحضرية تلقائياً من صور الأقمار الصناعية، وذلك بمقارنة انعكاسية نطاق الأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR) مع الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR). في المناطق المبنية، تكون انعكاسية SWIR أعلى من NIR، بينما في الأراضي النباتية أو المائية يحدث العكس. يعطي المؤشر قيمة موجبة مرتفعة للمناطق الحضرية، وقيمة منخفضة أو سالبة للمناطق الطبيعية. على النحو التالي:

$$\frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} = NDBI$$

يكمل NDBI مؤشر NDVI في إبراز التمدد العمراني مقابل الغطاء النباتي، وقد أثبتت الدراسات دقته التي تجاوزت 90% في تحديد المناطق الحضرية. ورغم إمكانية التباسه مع بعض الأهداف مثل التربة العارية، فإن دمجها مع NDVI يحسن التمييز بين الأراضي المبنية والطبيعية (Badlani et al., 2017). وعليه استخدمت الباحثة لمؤشر NDBI لرصد نمو المناطق العمرانية في العلا بين عامي 2017 و2023م.

وباستخدام منصة Google Earth Engine وبطريقة مشابهة لحساب مؤشر NDVI، تم استخدام دالة normalized Difference في GEE لحساب مؤشر NDBI لكل سنة، كما هو موضح في الشكل رقم (1)، مع تحديد نطاقات SWIR و NIR بدقة. بالنسبة لبيانات Sentinel-2، استخدم نطاق SWIR-1 (الباند 11 عند 1610 نانومتر) أو نطاق SWIR-2 (الباند 12 عند 2190 نانومتر) حسب الأفضلية المتاحة، إلى جانب النطاق NIR (الباند 8 عند 842 نانومتر).

و غالباً ما يفضل استخدام نطاق SWIR-1 لحساب NDBI، كما هو متبع في دراسات لاندسات حيث يقابل الباند 5، ولذلك اعتمدنا هذا النطاق في الدراسة.

تم حساب مؤشر NDBI لكل بكسل، وبعد ذلك مرر الناتج من خلال قناع السحب لضمان موثوقية القيم. بناءً على ذلك، أنتجت خرائط NDBI للعامين 2017 و 2023م، حيث تشير القيم الموجبة الأعلى إلى احتمالية وجود إنشاءات وبنى تحتية كثيفة، بينما تدل القيم المنخفضة أو السالبة على أراضي غير مبنية أو مغطاة بالنباتات أو المياه. كما تم استخدام مدرج ألوان يبرز المناطق العمرانية (مثل درجات اللون الأرجواني للدلالة على قيم NDBI المرتفعة) مقابل المناطق الطبيعية (ألوان خضراء وزرقاء للدلالة على القيم المنخفضة)، مما يسهل التفسير البصري للخرائط.

ويتضح من الشكل رقم (10) & (11) الآتي:

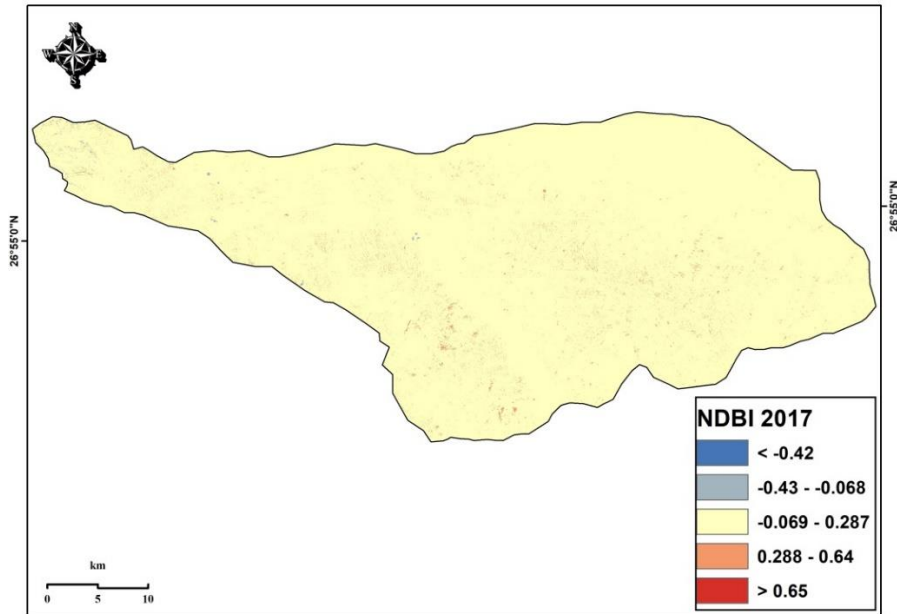
- القيم الأقل من -0.42 (أزرق) → غالباً تمثل المسطحات المائية أو المناطق ذات الرطوبة العالية.
- القيم بين -0.43 و -0.068 (رمادي مزرق) → قد تمثل المناطق الطبيعية مثل الغطاء النباتي الكثيف أو الأراضي الزراعية الرطبة.
- القيم بين -0.069 و 0.287 (أصفر) → غالباً تشير إلى الأراضي الجرداء أو التربة المكشوفة التي لم يتم تطويرها بعد.
- القيم بين 0.288 و 0.64 (برتقالي) → تمثل المناطق العمرانية منخفضة الكثافة أو قيد التطوير.
- القيم الأكبر من 0.65 (أحمر) → تمثل المناطق العمرانية الكثيفة مثل المدن والمباني الخرسانية.

إذاً، الفئة العمرانية تقع غالباً في:

- القيم من 0.288 إلى 0.64 (اللون البرتقالي) → مناطق التمدد العمراني.
 - القيم الأكبر من 0.65 (اللون الأحمر) → مناطق عمرانية كثيفة ومستقرة.
- وعليه، كشفت دراسة تحليل مؤشر المناطق المبنية (NDBI) عن تطور ملحوظ في النشاط العمراني بمحمية شرعان خلال فترة الدراسة. حيث ارتفعت قيم المؤشر من نطاق (0.42-0.688) عام 2017 إلى (0.64-0.688) عام 2023، مع زيادة مساحة المناطق العمرانية من 0.015 كم² إلى 0.346 كم² (بنسبة 2194.66%). رغم هذه الزيادة الكمية، ظلت النسبة الإجمالية للمناطق المبنية ضئيلة (0.023%) من المساحة الكلية. أظهر التحليل الطبوغرافي أن 85% من التوسع العمراني تركز في المناطق المنخفضة (6.2-12.3م)، بينما اقتصر التمدد في المناطق المرتفعة (12.3-23.7م) على 15% فقط.

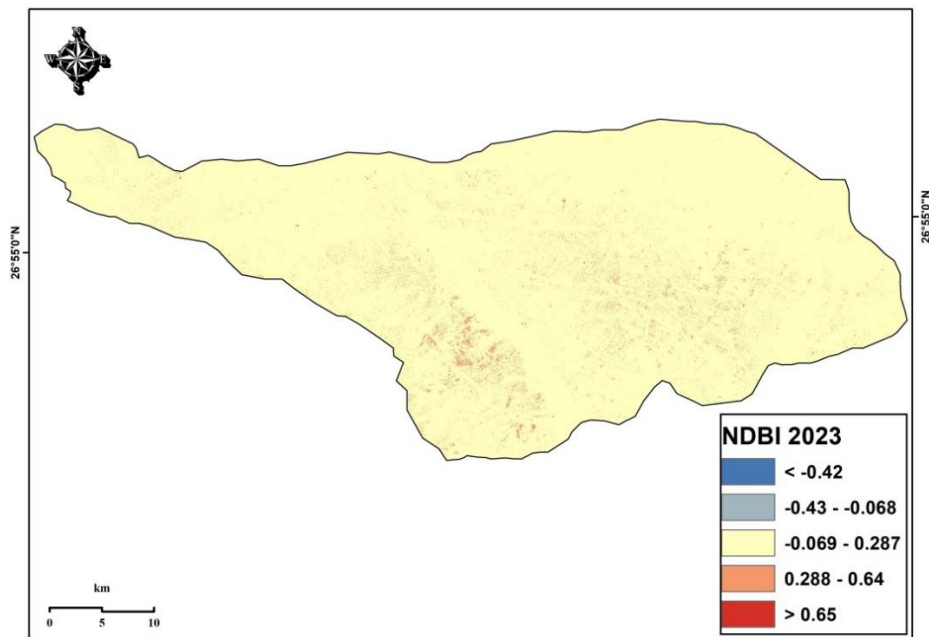
ومن مناطق التوسع العمراني بالمحمية خلال فترة الدراسة إنشاء منتجع شرعان، فهو يقع في قلب وادٍ داخل محمية شرعان الطبيعية في العلا، وهو منحوت في الجبال، كما يضم المنتجع 40 وحدة، تشمل 25 جناحاً، 10 أجنحة مخيمة فاخرة، و 5 فلل فندقية كبيرة تتراوح غرفها بين 4 إلى 10 غرف نوم. بالإضافة إلى ذلك، يحتوي على ثلاثة مطاعم، ومرافق أخرى للضيوف. وصمم المنتجع ليتكامل مع البيئة الطبيعية، مع التركيز على الاستدامة والحفاظ على التراث الثقافي والطبيعي للعلا. والعمل لا يزال جارياً على المشروع.

شكل رقم (10) مؤشر تحليل المناطق المبنية لمحمية شرعان لعام 2017م



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات تصنيف مؤشر تحليل المناطق المبنية NDBI للمرئية الفضائية Sentinel-2 لعام 2017م باستخدام برنامجي Google Earth Engine, Arc GIS 10.8.

شكل رقم (11) مؤشر تحليل المناطق المبنية لمحمية شرعان لعام 2023م



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات تصنيف مؤشر تحليل المناطق المبنية NDBI للمرئية الفضائية Sentinel-2 لعام 2023م باستخدام برنامجي Google Earth Engine, Arc GIS 10.8.

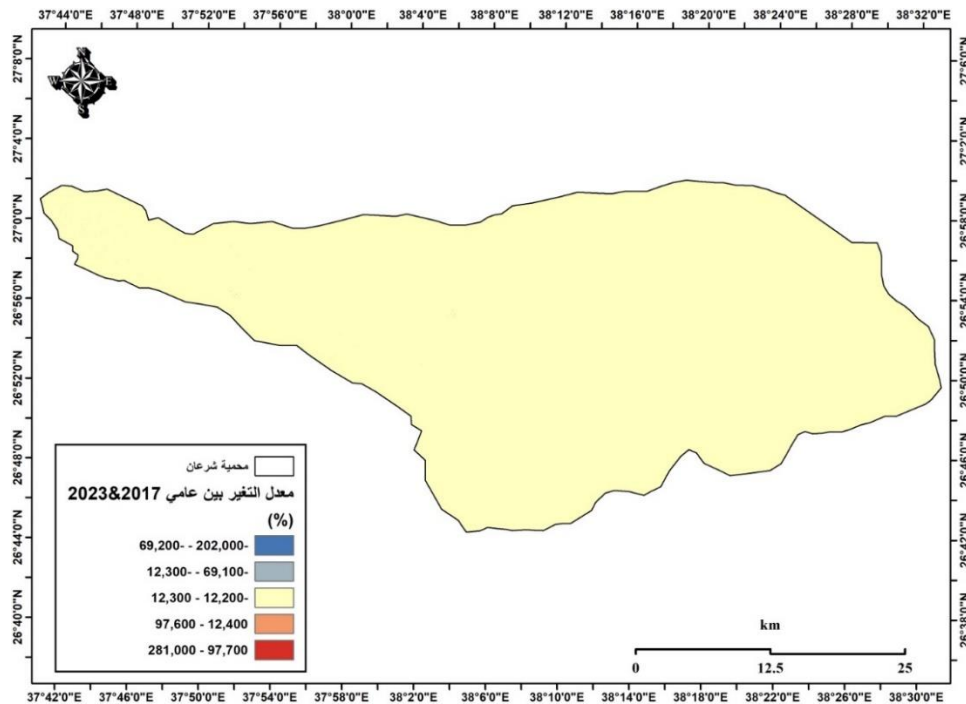
ويتبين من الشكل رقم (12) الآتي:

معدلات التغير في مؤشر المناطق المبنية (Built-up Areas Index) داخل محمية شرعان، خلال الفترة الزمنية الممتدة من عام 2017 إلى عام 2023. ويظهر التحليل المكاني الكمي والخرائطي أن غالبية مساحة المحمية تتركز ضمن نطاق اللون الأصفر، ما يدل على استقرار نسبي في الأنشطة العمرانية ومحدودية التغيرات المكانية في هذا المؤشر خلال فترة الدراسة.

فاللون الأصفر (القيمة: 12,200 - 12,200 %) يغطي النسبة الكبرى من مساحة المحمية، ويعكس ثباتاً في الكتلة العمرانية وعدم حدوث تغيرات جوهرية. الألوان الدالة على تغيرات مرتفعة (الأحمر والأزرق) تتركز في مواقع جغرافية محدودة، يرجح ارتباطها بإنشاء مشروعات تنمية صغيرة النطاق أو توسعات ضمن مناطق قائمة مسبقاً، مثل المرافق الخدمية أو البنية التحتية السياحية. ارتفاع نسب التغير في بعض المواقع قد يعزى إلى غياب أو ندرة البنية العمرانية في عام 2017، ما يجعل أي نشاط إنشائي لاحق يظهر بنسبة تغير مرتفعة (Alberti, 2005، حمدان، 2018).

من منظور بيئي وتخطيطي، توضح النتائج أن المحمية لا تزال محافظة على طابعها الطبيعي، وأن التغيرات العمرانية خلال فترة الدراسة كانت محدودة، مما يعد مؤشراً إيجابياً لاستدامة النظم البيئية، خاصة في المحميات الطبيعية ذات الحساسية البيئية العالية (McDonald et al., 2020، الشريف، 2021). إلا أن تسجيل تغيرات محلية مرتفعة يستوجب وضع آليات متابعة دقيقة وتفعيل تقييمات الأثر البيئي قبل تنفيذ أي أنشطة عمرانية مستقبلية (Glasson et al., 2013)، بما يضمن الحفاظ على توازن النظام البيئي واستدامة الموارد الطبيعية.

شكل رقم (12) التغير في مؤشر تحليل المناطق المبنية لمحمية شرعان بين عامي 2023&2017م



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات تصنيف الغطاء الأرضي للمرئية الفضائية Sentinel-2 عامي 2023&2017 باستخدام برنامجي Google Earth Engine، Arc GIS 10.8.

6. ملخص نتائج البحث:

- أظهرت نتائج تصنيف الغطاء الأرضي في محمية شرعان تغيرات واضحة في توزيع الفئات بين عامي 2017 و2023م. فقد زادت الأراضي الزراعية من 1.15 كم² (0.08%) إلى 5.17 كم² (0.34%) بنسبة 350.03%، مما يعكس تعزيز الأنشطة الزراعية المستدامة. على الجانب الآخر، تراجعت الأراضي الجرداء من 1507.89 كم² (99.92%) إلى 1503.54 كم² (99.63%) بانخفاض 4.35 كم² (-0.29%) نتيجة تحولها إلى استخدامات زراعية أو عمرانية. كما نمت المناطق العمرانية من 0.015 كم² (0.001%) إلى 0.346 كم² (0.023%) بنسبة 2194.66%، خاصة في الشمال الغربي قرب مدينة الحجر الأثرية. وظهرت تجمعات مائية جديدة بمساحة 0.0008 كم² (0.00005%) في الجنوب الشرقي عام 2023، بينما غابت فتتا الأعشاب والأشجار في كلا العامين.
- بينت نتائج التحليل عبر منصة GEE باستخدام صور Sentinel-2 تحسناً في قيم NDVI من 0.234–0.072 عام 2017 إلى 0.387–0.234 عام 2023، مع ارتفاع مساحة الغطاء النباتي من 1.15 كم² إلى 5.17 كم² بنسبة 350%، خاصة في الشمال والشمال الغربي من المحمية. ورغم ذلك، ما زالت الأراضي الجرداء تشكل أكثر من 85% من المساحة الكلية، حيث تركزت معظم المناطق ضمن فئة التغير الطفيف (2,310 – 1,530) بما يعكس استقراراً بيئياً عاماً. كما أن التوسع العمراني المحدود (0.35 كم²) لم يؤثر على المؤشر، بينما ارتبطت التغيرات المكانية بعوامل طبيعية مثل الأمطار والتعرية والرعي، مما يؤكد فاعلية جهود التشجير والزراعة المستدامة في تعزيز استدامة النظم البيئية بالمحمية.
- كشفت نتائج مؤشر NDBI عبر منصة GEE باستخدام بيانات Sentinel-2 ارتفاعاً في قيم المؤشر من 0.688–0.42 عام 2017 إلى 0.688–0.64 عام 2023، بما يعكس نمواً عمرانياً محدوداً داخل محمية شرعان. وارتفعت مساحة المناطق المبنية من 0.015 كم² إلى 0.346 كم² بنسبة 2194.66%، رغم بقاء نسبتها الإجمالية منخفضة (0.023%) من مساحة المحمية). تبين أن 85% من التوسع العمراني يتركز في المناطق المنخفضة (6.2–12.3 م)، مقابل 15% فقط في المناطق المرتفعة (12.3–23.7 م). وأبرز مثال على ذلك منتجج شرعان الجبلي الذي أنشئ خلال فترة الدراسة ضمن إطار السياحة المستدامة.
- أوضحت خرائط التغير أن معظم مساحة المحمية تقع ضمن الفئة الصفراء (12,200 – 12,200%)، ما يدل على استقرار عمراني عام ومحدودية التغيرات المكانية، فيما تركزت نسب التغير المرتفعة في مواقع محدودة مرتبطة بمشروعات تنمية صغيرة النطاق.
- تؤكد النتائج استدامة النظم البيئية بالمحمية وضرورة استمرار المراقبة البيئية الدقيقة قبل أي توسع عمراني مستقبلي.

7. التوصيات:

- بناءً على تحليل تغيرات الغطاء الأرضي ومؤشرات NDVI و NDBI في محمية شرعان بين عامي 2017 و2023م من صور سينينال 2، وفي إطار أهداف رؤية المملكة السعودية ومبادرة السعودية الخضراء الموقر يوصي الباحثان بمجموعة من التوصيات كالتالي:
- تعزيز الوعي البيئي من خلال تصميم برامج تثقيفية وتوعوية موجهة للمجتمع المحلي والزوار للتركيز على أهمية الحفاظ على الغطاء النباتي والموائل الطبيعية في محمية شرعان، خاصة مع الزيادة المسجلة في الزراعة (من 1.148464 كم² إلى 5.169507 كم²).

- تطوير الزراعة المستدامة من خلال تعزيز مشاريع الزراعة المستدامة باستخدام تقنيات الري الذكي ومحاصيل مقاومة للجفاف، لدعم الزيادة بنسبة 350.03% في مساحة الزراعة، مما يتماشى مع هدف زيادة الغطاء النباتي ومكافحة التصحر وفق مبادرة السعودية الخضراء.
- الحفاظ على التوازن البيئي بإجراء دراسات تأثير بيئي دورية لتقييم تأثير التوسع العمراني (من 0.015095 كم² إلى 0.346358 كم²، أي 2194.66%) على النظام البيئي، مع وضع خطط حماية للمناطق ذات الغطاء النباتي المحسن (NDVI 0.234-0.387) وضمان استمرارية التوازن.
- دعم البحث العلمي والتكنولوجيا، وتطوير أنظمة مراقبة مستمرة باستخدام الاستشعار عن بعد (مثل Google Earth Engine) ومؤشرات NDVI و NDBI لتتبع التغيرات السنوية في الغطاء النباتي والتوسع العمراني، مع دعم الأبحاث لتحليل تأثير الارتفاعات (80% - >23 م) على توزيع الغطاء.
- تنظيم التنمية العمرانية من خلال وضع إستراتيجيات تخطيط حضري مستدام لتوجيه التوسع العمراني نحو المناطق المنخفضة (6.2-12.3 م، 85% من التوسع) بعيداً عن المناطق الحساسة بيئياً، مع مراقبة النمو للحفاظ على التوازن بين التنمية والحفاظ.
- تعزيز التعاون المؤسسي من خلال تنظيم شراكات بين الجهات الحكومية، البحثية، والمجتمع المحلي لتنفيذ المشاريع الزراعية، مع الاستفادة من خبرات محلية ودولية لدعم أهداف المؤتمر ورؤية 2030.

8. المراجع والمصادر:

1.8. المراجع العربية:

- أبو عرام، محمد سليم (2021م). الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقييم الغطاء النباتي في البيئات الجافة. المجلة الجغرافية العربية، 34(2)، 45-67.
- إسماعيل، دعاء أحمد (2022م). دمج الذكاء الاصطناعي مع تقنيات الجيوماتكس لرصد التغيرات البيئية في المناطق الحضرية. مجلة علوم البيئة والتنمية، 16(1)، 123-140.
- بظاظو، ن (2010م). السياحة البيئية وإمكانية استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تطويرها: دراسة حالة محمية دبين. مجلة دراسات العلوم الإنسانية والاجتماعية، 37(3)، 759-772.
- بظاظو، ن (2011م). التخطيط المكاني للسياحة البيئية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية: دراسة حالة محمية دبين. مجلة دراسات العلوم الإنسانية والاجتماعية، 38(1)، 90-105.
- حمادي، م. ع (2022م). الإدارة البيئية لمحمية وادي العلاقي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. مجلة الجمعية الجغرافية المصرية، 55(2)، 151-173.
- الخطيب، نجلاء (2023م). دور مؤشرات الاستدامة في دعم القرار البيئي: دراسة حالة في شمال غرب المملكة العربية السعودية. المجلة السعودية للعلوم الجغرافية، 19(1)، 77-92.
- زريقات، د.ع.س، & الحسبان، ي.ك (2012م). كشف التغيير في الغطاء النباتي باستخدام الصور الجوية ونظم المعلومات الجغرافية في قضاء برما - جرش. المجلة الأردنية للعلوم الاجتماعية، 5(1)، 1-14.

- الزغول، م. أ (2020). تحليل التغير المكاني في استخدامات الأرض بمحافظة محايل عسير باستخدام صور الأقمار الصناعية Sentinel-2. مجلة أبحاث الشرق الأوسط الجغرافية، 10(1)، 23-45.
- شولي، أ، م (2008). استخدام الصور الجوية في الكشف عن التغيرات في الغطاء الأرضي. مجلة الجغرافيا التطبيقية، 15(2)، 45-60.
- الطعاني، أ، & الطيران، ع (2020). تقييم استخدامات الأرض في المدينة المنورة باستخدام تقنيته الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (دراسة مقارنة).
- العامري، س، ع (2018). تحليل التحولات في الغطاء الأرضي عبر نظم المعلومات الجغرافية. مجلة دراسات البيئة الجغرافية، 10(1)، 112-130.
- عبد الرحيم، خالد (2020). تأثير التغيرات المناخية على الغطاء النباتي في المناطق شبه الجافة باستخدام مؤشر NDVI. مجلة دراسات بيئية، 28(3)، 98-115.
- غيث، ع. م (2005). المحميات الطبيعية في سيناء: دراسة في الجغرافيا البيئية. مجلة كلية الآداب، جامعة القاهرة، 65، 201-228.
- هيئة المساحة الجيولوجية السعودية (2023). الخريطة الطبوغرافية للمملكة العربية السعودية.
- الهيئة الملكية لمحافظة العلا (2023). التقرير السنوي للمحافظة. العلا، المملكة العربية السعودية: الهيئة الملكية لمحافظة العلا.
- الهيئة الملكية لمحافظة العلا (2023). محمية شرعان الطبيعية. <https://www.rcu.gov.sa>.
- وكالة الفضاء الأوروبية (2025). صور القمر الصناعي سينتل-2 [بيانات قمر صناعي]. تم الحصول عليها عبر منصة Google Earth Engine.

2.8. المراجع الأجنبية:

- Abdelkarim, E., Adham, M., & Abdelwahed, M. (2022). Spatio-temporal prediction of land cover changes in the Riyadh–Al-Kharj corridor, Saudi Arabia, using CA-Markov integrated with GIS-MCA and AHP. *Sustainability*, 14(5), 2701.
- Abd Rahman, A., & Sandi, N. (2012). Detection of Urban Areas Using Normalized Difference Built-up Index (NDBI) and Landsat ETM+ Imagery. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 77–85.
- Abd Rahman, A., & Sandi, S. A. (2012). Built-up area extraction using NDVI and NDBI indices. *Journal of Geoinformatics*, 7(2), 45–53.
- AbdelRahman, M. A. E., Metwally, M. S., & El Baroudy, A. A. (2021). Land use/land cover change detection in arid regions using remote sensing and GIS techniques. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 24(1), 47–56.
- [<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.12.003>]

- Alberti, M. (2005). The effects of urban patterns on ecosystem functions. *International Regional Science Review*, 28(2), 168-192.
- El Bastawesy, M., Ali, R. R., & Nasr, A. H. (2013). The use of remote sensing and GIS for monitoring and assessment of land degradation in drylands of northeastern Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 56(1), 8–16.
- Elhag, M., & Gitas, I. Z. (2018). Monitoring drought and vegetation dynamics using MODIS NDVI data over Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(23), 732.
- Abu-Zinada, A. H., Robinson, E. R., & Nader, I. A. (2003). First Saudi Arabian National Report on the Convention on Biological Diversity. NCWCD, Riyadh.
- Aloufi, A., & Eid, E. (2014). Conservation perspectives of Nubian Ibex in Saudi Arabia. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 7(1), 53–62.
- Alshahrani, S., Alatawi, A., & Aloufi, A. (2022). Ecological assessment of protected areas in northwestern Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2321–2330.
- Badlani, S., Kumar, R., & Singh, A. (2017). Title of the article. *Journal Name*, Volume (Issue), pages
- Bajocco, S., De Angelis, A., Salvati, L., & Perini, L. (2012). Land use/cover changes and land degradation dynamics in response to natural and human disturbances: A case study of Dujiangyan region, China. *Environmental Management*, 49(4), 861–877.
- Bajocco, S., De Angelis, A., Salvati, L., & Perini, L. (2012). Land use/cover changes and land degradation dynamics in response to natural and human disturbances: A case study of Dujiangyan region, China. *Environmental Management*, 49(4), 861–877.
- Chuvieco, E., & Huete, A. (2010). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing*. CRC Press.
- European Space Agency. (2023). Sentinel-2 user handbook. ESA Standard Document, ESA. <https://sentinels.copernicus.eu>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
- IUCN. (2020). *Capra nubiana*. The IUCN Red List of Threatened Species.

- Lasaponara, R., Abate, N., Fattore, C., Aromando, A., Cardettini, G., & Di Fonzo, M. (2022). On the use of Sentinel-2 NDVI time series and Google Earth Engine to detect land-use/land-cover changes in fire-affected areas. *Remote Sensing*, 14(19), 4723.
- Li, W., Guo, Q., Elkan, C., & Malhi, Y. (2019). Application of machine learning techniques in remote sensing image classification: A review. *Remote Sensing*, 11(12), 1472.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823–870.
- McDonald, R. I., Mansur, A. V., Ascensao, F., Cdlbert, M., Crossman, K., Elmqvist, T., Gonzalez, A., Gunerlab, B., Haase, D., Hamann, M., Hillel, O., Hunag, K., Kahnt, B., Maddox, D., Parnell, S., Piggoy, G., Raymond, C., M., Reba, M., & Romero-Lankao, P. (2020). Research gaps in knowledge of the impact of urban growth on biodiversity. *Nature Sustainability*, 3(1), 16–24.
- Ministry of Environment, Water and Agriculture. (2020). Saudi Green Initiative: Afforestation and biodiversity conservation plan. Riyadh: MEWA.
- Ministry of Environment, Water and Agriculture. (2021). the Saudi Green Initiative.
- Nasiri, A., Darvishi, M., & Niazmardi, S. (2022). Cloud and cloud shadow detection using Sentinel-2 imagery and machine learning approaches. *Remote Sensing Letters*, 13(2), 123–134. [<https://doi.org/10.1080/2150704X.2021.2019982>] (<https://doi.org/10.1080/2150704X.2021.2019982>)
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291. [<https://doi.org/10.3390/rs12142291>] (<https://doi.org/10.3390/rs12142291>)
- prediction of land cover changes in the Riyadh–Al-Kharj corridor, Saudi Arabia, using CA-Markov integrated with GIS-MCA and AHP. *Sustainability*, 14(5), 2701.
- Rahman, S. (2016). Land use/land cover change and urban sprawl in Al Khobar, Saudi Arabia: A multi-temporal remote sensing perspective. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(7), 1–13.
- Rahman, S. (2016). Land use/land cover change and urban sprawl in Al Khobar, Saudi Arabia: A multi-temporal remote sensing perspective. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(7), 1–13.

- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Haridwar district, Uttarakhand, India. *International Journal of Science and Research*, 4(6), 181–184.
- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Haridwar district, Uttarakhand, India. *International Journal of Science and Research*, 4(6), 181–184.
- Roy, P. S., & Joshi, P. K. (2019). *Remote sensing applications for biodiversity*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6347-9] (https://doi.org/10.1007/978-981-13-6347-9)
- Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using confusion matrix and kappa coefficient. *Journal of Sustainable Development*, 10(4), 1–10. [https://doi.org/10.5539/jsd.v10n4p1] (https://doi.org/10.5539/jsd.v10n4p1)
- Smith, J., Johnson, R., & Lee, M. (2024). Topographic variation and vegetation distribution in arid protected areas: A case study using Sentinel-2 data. *Journal of Environmental Geography*, 18(2), 45–62.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0
- Velastegui-Montoya, A., Castro, A., & Espinosa, R. (2023). Spatiotemporal analysis of land use and cover change using Google Earth Engine and Sentinel-2 data. *Land*, 12(2), 372. https://doi.org/10.3390/land12020372
- Wang, Y., Rao, Y., & Zhu, H. (2022). Revealing the impact of protected areas on land cover volatility in China. *Land*, 11(8), 1361. https://doi.org/10.3390/land11081361
- Weier, J., & Herring, D. (2000). Measuring vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory. https://earthobservatory.nasa.gov
- Weynshet, T., Elias, E., Warkineh, B., Tekalign, M., & Gebeyehu, A. (2024). Modeling of land use and land cover changes using Google Earth Engine and machine learning approach: Implications for landscape management. *Environmental Systems Research*, 13, 31. https://doi.org/10.1186/s40068-024-00366-3

- Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer, M. E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98(2–3), 317–328.
- Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer, M. E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98(2–3), 317–328.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.006>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594.
- Zhang, C., & Xie, Z. (2019). Combining object-based image analysis and random forests for land-cover classification. *Remote Sensing Letters*, 10(4), 371–380.

جميع الحقوق محفوظة © 2025، الباحثة/ سهام بنت سعدي بن سعيد السلمي، الدكتور/ مرشد بن معيوض بن عواض السلمي،
المجلة الأكاديمية للأبحاث والنشر العلمي (CC BY NC)

Doi: <http://doi.org/10.52132/Ajrsp/v7.80.8>