ISSN: 2706-6495

النمذجة المكانية المتكاملة لرصد وتقييم التغيرات في استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي في محافظة العلا

Spatial Integrated Modeling to Monitor and Evaluate Changes in Land use Land Cover in AlUla

إعداد: الباحثة/ سهام بنت سعدي بن سعيد السلمي

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

Email: sm-s-s@hotmail.com

الأستاذ الدكتور/ مساعد بن عبد الرحمن بن ناصر الجخيدب

أستاذ الجغرافيا الحضرية، قسم الجغرافيا، كلية اللغات والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية

Email: jukaideb@hotmail.com

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التغيرات في استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي بمحافظة العُلا، دعماً لجهود التخطيط العمراني والتنمية المستدامة في البيئات الجافة. اعتمدت المنهجية على دمج تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية، من خلال بيانات الأقمار الصناعية سينتينال 2A عبر منصة Google Earth Engine، لتتبع التغيرات المكانية والزمانية بين عامي 2017 و2023.

تبرز أهمية هذا البحث في توفير بيانات حديثة تسهم في توجيه متخذي القرار نحو خطط تنموية تراعي استدامة التوازن البيئي والحفاظ عليه. كما يُعد نموذجاً تطبيقياً لكيفية توظيف التكنولوجيا الحديثة في الرصد البيئي والتخطيط الحضري. استُخدمت تقنيات تصنيف متقدمة (Random Forest, SVM, CART) لتحليل بيانات الغطاء الأرضي، مع تقييم الدقة باستخدام مصفوفة الخطأ ومعامل كابا. أظهرت النتائج تغيّرات تمثل نمو المناطق العمرانية من 0.07% في 2017 إلى 0.44% في 2023، وزيادة الرقعة الزراعية من 1.4% إلى 2.78%، مقابل انخفاض الأراضي الجرداء من 98.58% إلى 96.78%، كما تم تحليل التوسع العمراني والبنية التحتية باستخدام مؤشري NDVI وNDBI.

ناقشت الدراسة التغيرات في الغطاء الأرضي وتوافقها مع أهداف التنمية المستدامة ورؤية السعودية، مركّزة على التوسع العمراني والزراعي وأثر المشاريع التنموية على البيئة. خلصت الدراسة إلى أهمية تبني نموذج تخطيط عمراني متكامل، مع ضرورة استخدام أدوات تكنولوجية متقدمة لدعم الاستدامة البيئية وتحقيق أهداف رؤية السعودية 2030.

الكلمات المفتاحية: النمذجة التكاملية المكانية، استخدام الأرض، غطاءات الأرض، تحليل النظم الجغرافية، محافظة العلا.

ISSN: 2706-6495

Spatial Integrated Modeling to Monitor and Evaluate Changes in Land use Land Cover in AlUla

Seham Saadi Saeed AL Sulami

PhD candidate, Department of Geography, College of Languages and Humanities, Qassim University, Saudi Arabia

Prof. Dr. Musaed Abdulrahman Nasser Al-Jukhaidib

Professor of Urban Geography, Department of Geography, College of Languages and Humanities, Qassim University, Saudi Arabia

Abstract:

This study analyzes LULC changes in AlUla Governorate to support urban planning and sustainable development in dry environments. The methodology integrates RS and GIS, using Sentinel-2A satellite imagery on the GEE platform to monitor spatial and temporal changes between 2017 and 2023.

The research provides up-to-date, accurate data to assist decision-makers in developing sustainable development plans that preserve the environmental balance and cultural heritage. It also presents an applied model for using modern technologies in environmental monitoring and urban planning. Advanced classification techniques (Random Forest, SVM, CART) were applied to Sentinel-2 data, and accuracy was evaluated using error matrices and the Kappa coefficient. Results showed: urban areas increased from 0.07% in 2017 to 0.44% in 2023, agricultural land expanded from 1.4% to 2.78%, while barren land declined from 98.58% to 96.78%, and analyze of urban growth using NDVI and NDBI indices.

The study evaluates land cover changes in relation to the Sustainable Development Goals and Saudi Vision 2030, emphasizing urban and agricultural transformations and the influence of development projects on land use patterns. The study concludes with a call for integrated urban planning. This should be modern technologies to align with Vision 2030's goals of balancing development and heritage preservation.

Keywords: Spatial Integrative Modeling, Land use, Land Cover, Geographic systems analysis, Alula Governorate.

ISSN: 2706-6495

1. المقدمة:

تُعد الأرض أساس التنمية ومواردها الأهم، إذ تمثل الركيزة لأي نشاط إنتاجي زراعي أو صناعي، ويُعد حسن تخطيط استخدامها خطوة محورية نحو تحقيق الرفاه الاقتصادي والاجتماعي، وترجمة عملية لمفاهيم التنمية المستدامة والمجتمع البيئي المتوازن. ويقوم تخطيط استخدامات الأرض على تصور مستقبلي شامل للتنمية العمرانية والاقتصادية والاجتماعية والبيئية (Kjell Overvag et al., 2024). وقد عرفت المدن عبر التاريخ أنماطاً متنوعة من استخدامات الأراضي، حيث تركزت الأنشطة التجارية والدينية في المراكز القديمة، وامتدت المساكن تدريجياً نحو الأطراف بحسب الطبقات الاجتماعية، كما تميزت المدن العربية والإسلامية بتكامل الاستخدامات (غنيم، 2008).

برز الاهتمام بدراسة استخدامات الأراضي في العصر الحديث منذ العقد الثاني من القرن العشرين بالولايات المتحدة الأمريكية عبر مشروعات المسح الاقتصادي لأراضي ميتشجن عام 1922، بهدف إدارة الموارد الأرضية بكفاءة (غنيم، 2008). وقد تباينت المفاهيم بين الغطاء الأرضي Land Cover الذي يشير إلى العناصر الطبيعية، واستخدام الأرض Land Use الذي يعبر عن الأنشطة البشرية، كما أوضحت منظمة الأغذية والزراعة (Di Gregorio & Jansen, 1998) وهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (Sohl et al., 2025). ومع تطور التكنولوجيا، برزت تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية كأدوات فعالة في مراقبة ورصد التغيرات في الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي، مما أتاح دراسة الاتجاهات المكانية والزمانية بدقة عالية (Younes et al., 2023).

تزداد أهمية هذه الدراسات في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تُعد من أكثر النظم البيئية تأثراً بالتغيرات الطبيعية والبشرية، لما تعانيه من تدهور بيئي نتيجة الضغوط الاجتماعية والاقتصادية والسياسية (Gebrehiwot et al., 2024). وتُعد محافظة العلا من أبرز هذه المناطق في المملكة، إذ تتميز بتنوعها الطبوغرافي ومكانتها التراثية والتاريخية، مما جعلها محوراً رئيساً في خطط التنمية المستدامة ضمن مستهدفات رؤية المملكة 2030 لتحويلها إلى وجهة عالمية للتراث والثقافة والفنون مع الحفاظ على طابعها البيئي والطبيعي (رؤية السعودية 2030).

وانطلاقا من هذه الأهمية، تهدف الدراسة إلى تحليل التغيرات في الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي بمحافظة العلا خلال الفترة (2017–2023)، لدعم قرارات التخطيط والتنمية المستدامة. وتعتمد على التكامل بين بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من خلال استخدام مرئيات القمر الصناعي الأوروبي Sentinel-2A بدقة مكانية، بما يتيح رصد ديناميكية التغير المكاني–الزماني بدقة عالية، وتقييم التحولات البيئية والعمرانية.

1.1. مشكلة البحث:

شهدت منطقة الدراسة خلال الفترة الماضية حراكا تنموياً متسارعاً تحقيقاً لرؤية المملكة 2030 نتج عنه عدد من التغيرات في الغطاء واستخدامات الأرض ضمن المشاريع الكبيرة التي تشهدها المنطقة بشكل عام، ومنطقة الدراسة بشكل خاص وإذا نعتقد أن المشاريع الكبيرة والتنموية ذات تأثير على الغطاء الأرضي واستخدامات الأرض ضمن توجه الدولة للجذب السياحي وتحقيق مصادر اقتصادية تحقق تطلعات المملكة في جوانبها الاقتصادية والبيئية وصولاً لتنمية مستدامة، لذلك تقوم هذه الدراسة على متابعة ورصد التغيرات التي طرأت على الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي وتحليلها مكانياً وزمانياً خلال الفترة من 2017 – 2023م. دراسة ماهية هذه التغيرات وأسبابها عن طريق بناء نموذج يعتمد على التكامل التقني بين بيانات الاستشعار

عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية للتغلب على الإشكالية التي تسببها الطرق التقليدية في عملية متابعة تلك التغيرات، لذلك ستعتمد الدراسة على ملائمة النموذج في متابعة التغيرات المكانية والزمانية على الغطاء الأرضي واستخدامات الأرض في منطقة الدراسة.

2.1. أسئلة البحث:

نُحاولُ من خلالِ هذهِ الدراسة الإجابة عنِ الآتي:

1. ما المحددات المكانية الطبيعية والبشرية المؤثرة في تصنيف الغطاء الأرضي في منطقة الدراسة؟
2. ما مدى التغير في مساحات استخدامات الأراضي في منطقة الدراسة بين عامي (2017 - 2023م)؟
3. ما العوامل التي أدت إلى التغير في الغطاءِ الأرضي واستخدامات الأراضي خلال فترة الدراسة؟
4. ما مدى التغير في استخدامات الأراضي لمنطقة الدراسة وملائمة هذا التغير وفقاً لرؤية المملكة 2030م؟

3.1. أهدافُ البحث:

1. رصد المحددات المكانية الطبيعية والبشرية التي أثرت في ديناميكية هذا التغير، من خلال تصنيف الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة.
2. تقييم التغيرات الكمية والزمنية لاستخدامات الأراضي في منطقة الدراسة بين عامي (2017 - 2023م).
3. تحديد العوامل المؤثرة في ديناميكيات تغير الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي.
4. تقييم التغيرات في استخدامات الأراضي في منطقة الدراسة، وملاءمةُ هذا التغير وفقاً لأهداف رؤية المملكة 2030م.

4.1. أهمية البحث:

1. تقديم تحليل كمي ومكاني لديناميكية التغيرات في استخدامات الأراضي بمنطقة الدراسة، وتحديد مقدار المساحة التي اكتسبتها أو فقدتها خلال فترة الدراسة.
2. إمكانية استفادة العديد من جهات متخذي القرار من نتائج هذه الدراسة في وضع سياسات وقرارات مبنية على أسلوب علمي تطبيقي وعلى اتخاذ الإجراءات اللازمة للمحافظة على الموارد الطبيعية وتوازنها البيئي، خصوصا في ظل التنمية المستهدفة لمحافظة العلا وفقاً لاستراتيجية للمملكة 2030م.

5.1. مصطلحات البحث:

النمذجة التكاملية المكانية (Spatial Integrative Modeling): هي عملية أساسية للتحليل المكاني، تستخدم مع نظام المعلومات الجغرافية لتحليل البيانات بشكل مرئي ووضعها بصرياً من أجل فهم أفضل من قبل الباحثين (Lei, et., al., 2021).

غطاءات الأرض (Land Cover): يقصد به المكونات السطحية للأرض الموجودة والمرئية فعلياً، ويوفر وسيلة لفحص أنماط وخصائص المناظر الطبيعية المهمة في فهم مساحة الأراضي وتوافرها وحالتها، والنظام البيئي وهيكله وحالته (Nedd,et., al., 2021).

استخدام الأرض (Land use): مجموعة الاستخدامات الكاملة للأرض التي تشكلت بواسطة أنشطة الإنسان، وتصنف إلى هذه استخدامات عمرانية حضرية وقروية، واستخدامات زراعية وغابات (يحيى والدوعان،2000م، ص11).

تخطيط استخدامات الأرض (Land use planning): هو حزمة من الخطوات الإجرائية المتسلسلة والمترابطة التي يجري إعدادها وتنفيذها بهدف إيجاد استخدام أمثل للأرض؛ من خلال دراسة وتقييم العوامل الاقتصادية والاجتماعية والطبيعية وذات العلاقة (غنيم،2008م، ص33).

التنمية المستدامة (Sustainable Development): هي التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر دون الإخلال بقدرات الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها، وتتصف بالاستقرار والاستمرار والتواصل والشمول والديمومة (عبد العظيم،2019م، ص10).

التحليل المكاني (Spatial Analysis): يعتمد على أن لكل ظاهرة حيزاً أو نطاقاً مكانياً وله انتشار وتوزيع معينان، ويهدف إلى الكشف عن العلاقات المكانية المتبادلة بين مفردات الظاهرة للوصول إلى بناء نموذج مكاني للظواهر المكانية (داود،2012م، ص5).

تحليل النظم الجغرافية Geographic systems analysis: ينظر إلى الأرض باعتبارها مجموعة نظم طبيعية وبشرية متشابكة، وتساعد نماذج النظم الجغرافية على رؤية كيف تتشابك العلاقة بين العوامل، وكيف يؤثر أي نشاط وقوة أو حدث على غيرها (الوليعي،2021م، ص55).

تصنيف الصورة الرقمية (Digital image classification): هي خوارزميات تعمل على تصنيف خلايا صورة الاستشعار عن بعد إلى فئات (Classes) تناظر غطاء الأرض في المنطقة المدروسة (عبده، 2013م، ص329).

6.1. حدود البحث:

الحدود الموضوعية: تمثل استخدامات الأرض الحضرية فرعاً مهماً من فروع الجغرافية البشرية، تركز على إجراء مسح شامل وللظاهرات القائمة على استخدام الأرض خلال مدة زمنية محددة، وتتبع ما يطرأ عليها من تغيرات. ويتمثل البعد الموضوعي للدراسة في إبراز أوجه القصور في الاستخدامات والتغيرات وتقييمها بمحافظة العلا، لوضع تخطيط سليم يقوم على أساس التوازن المتكافئ والمتوازن دون تركز مفرط.

الحدود المكانية: محافظة العلا إحدى محافظات المملكة العربية السعودية، وتتبع إدارياً لإمارة منطقة المدينة المنورة، وتبعد عنها 300 كم شمالاً، وهي من أهم الوجهات السياحية في المملكة. كانت تعرف قديماً باسم دادان، وتعد من المواقع الأثرية المسجلة لدى اليونسكو، وتتميز بتراثها الطبيعي والثقافي الغني. تبلغ مساحتها (22561.84 كم2) وتمثل 19.6% من مساحة منطقة المدينة المنورة، ويبلغ عدد سكانها 60,103 نسمة. (الهيئة العامة للإحصاء، المملكة العربية السعودية، 2022م).

الحدود الزمانية: تعتمد الدراسة على المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Sentinel-2 خلال الفترة من 2017 إلى 2023م بفاصل زمني ثلاث سنوات (2017 & 2020 & 2023م). وتهدف إلى تحليل الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي ورصد التغيرات المكانية والزمانية بمنطقة الدراسة.

2. الدراسات السابقة:

تناولت العديد من الدراسات البحثية التغير في الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي بمناطق مختلفة من العالم باستخدام الاستشعار من البعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحليل العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة وتقييم آثارها عبر فترات زمنية مختلفة:

ISSN: 2706-6495

1.2. الدراسات العربية:

درس **(صباح، 2003م)** "التركيب الحضري وانعكاساته على تخطيط استعمالات الأرض في مدينة بير نبالا الفلسطينية"، هدفت إلى دراسة الجوانب الطبيعية والجغرافية للمدينة بالإضافة إلى دراسة الخدمات الاجتماعية والاقتصادية، وتحليل التركيب الحضري وانعكاساتها على التخطيط المكاني في منطقة الدراسة، والأنشطة الاقتصادية والزراعة والصناعة. وأوضحت الدراسة أثر التركيبة الحضرية بالمدينة على تخطيط استعمالات الأراضي، وأوصت بضرورة وضع سياسات تنظيمية تتناسب مع طبيعة المكان واحتياجات السكان.

قام **(أبو حسان، 2004م)** بدراسة "المخططات التنظيمية وواقع استعمالات الأراضي في مدينة دورا بمحافظة الخليل بفلسطين"، وكان هدفها دراسة استعمالات الأراضي في المدينة، مع تحديد العوامل المؤثرة في توزيعها المكاني. وكان من نتائجها أن التوسع العمراني وزيادة الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية أدت إلى تغير أنماط استخدام الأرض، وأكدت على أهمية دمج الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية في عملية التخطيط لتحقيق التوازن المكاني.

درس (الساعدي، 2006م) "التوزيع الجغرافي لاستعمالات الأرض الحضرية في ناحية بغداد الجديدة بالعراق"، فتناولت العوامل التي شكلت صورة استعمالات الأرض، ومعرفة خصائص هذه الاستعمالات وطبيعتها والعوامل التي ساعدت على توزيعها والمشاكل التي تواجهها، وكان من أهم النتائج زيادة ملحوظة في عدد سكانها وافتقار المنطقة إلى وجود مساحات خضراء مما ينعكس على الحالة النفسية والصحية للسكان، وظهور مناطق مختلفة من حيث نمط البناء او الخدمات في شمال منطقة الدراسة ، وأوصت الدراسة بتوجيه سياسات التخطيط نحو الاستخدام الأمثل للأرض.

قدم **(الغامدي، 2006م)** دراسة بعنوان "تصنيف استخدامات الأراضي في مدينة مكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية عن طريق معالجة بيانات أقمار صناعية مدمجة"، تناولت الدراسة تصنيف استخدامات الأراضي في مدينة مكة المكرمة باستخدام الأقمار الصناعية وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية. وأظهرت النتائج دقة هذه التقنيات في تحديد فئات الغطاء الأرضي واختلاط الاستخدامات والتشابه في مكونات المنشآت وأحجامها، مما أدى إلى خفض درجة الصحة نسبياً.

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.

قام **(هادي، 2011م)** بدراسة "خرائط استعمالات الأرض التعليمية لمدينة بعقوبة بالعراق من خلال نظم المعلومات الجغرافية"، تناولت الدراسة الاستعمالات العديدة لنظم المعلومات الجغرافية في مجال الخرائط ومنها خرائط استعمالات الأرض الحضرية لمدينة بعقوبة. وأثبتت النتائج كفاءة نظم المعلومات الجغرافية من تخزين وتحليل ومعالجة البيانات المكانية، مع الحفاظ على الخرائط وتصنيفها وتنظيمها والحفاظ عليها من الضياع والتلف، وإمكانية الرجوع إلى تلك البيانات والخرائط عند الحاجة إليها، مع إمكانية تحديثها باستمرار لدعم قرارات التخطيط والتنمية المحلية بطريقة علمية دقيقة.

استعرضت دراسة **(زريقات والحسبان، 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.

رصدت دراسة **(البيشي، 2014م)** "تغيرات استخدامات الأراضي في وسط المدينة المنورة في الفترة من هجرة الرسول حتى عام 1435هـ"، فهدفت الدراسة إلى استضاح العلاقة ما بين عدد من التغيرات التي تدخل في دراسة استخدام الأرض، من خلال ربط البيانات الوصفية للاستخدامات بالبيانات المكانية التي تمثل موقع الاستخدام. ومن أهم النتائج رصد مجموعة كبيرة من التحولات والتغيرات الجوهرية في وسط المدينة، والتي تم ترجيحها إلى التطورات على المسجد النبوي والمنطقة المحيطة به.

تناولت دراسة **(عبد الخالق، 2018م)**"التغيرات في استعمالات الأراضي بقرية بيت دجن بفلسطين بين عامي 1997 – 2014م باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية "، هدفت الدراسة إلى تحديد أنماط استعمالات الأراضي، وقدمت وصف للوضع القائم فيها خلال الفترة الزمنية بين 1997 – 2014م، وذلك باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية. وأظهرت النتائج قدرة هذه النظم على تحليل المساحات وتحديد اتجاهات التوسع العمراني والزراعي بدقة عالية.

درس **(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.

قدم **(الزغول، 2020م)** دراسة بعنوان "الكشف عن التغيرات في استعمالات الأراضي والغطاءات الأرضية في محافظة محايل عسير (المملكة العربية السعودية) خلال الفترة 1990-2019م باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية"، درست التغيرات في الاستعمالات والغطاءات الأرضية اعتماداً على تحليل غطاءين من الصور الفضائية (Landsat 5 & sentinel 2) باستخدام طريقة التصنيف الموجة، وأظهرت النتائج أربعة أنماط للغطاء الأرضي وهم (الأراضي الزراعية – المناطق الحضرية – التربة – الصخر)، بلغت دقة التصنيف 90%، وخلصت الدراسة إلى تحديد أهم الأسباب التي أثرت في تغير نمط الغطاء الأرضي واستعمالات الأراضي والتي تمثلت في الزيادة السكانية بمعدل نمو سكاني بلغ 2.03% وما رافق هذه الزيادة من زيادة في الدخل وتوسع الخدمات، الأمر الذى تطلب زيادة التوسع الأفقي والرأسي لمنطقة الدراسة مؤثراً بذلك على تغير أنماط الاستعمالات ونمط الغطاء الأرضي.

تناول **(الطعانى 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.

2.2. الدراسات الأجنبية:

استعرضت دراسة **(Harris & Elmes, 1993)** "تحديد الاتجاهات في مجال تكامل نظم المعلومات الجغرافية في التخطيط الحضري والإقليمي في أمريكا الشمالية، وأظهرت أن GIS أحدثت تغيراً سريعاً في الأساليب التقليدية لمعالجة البيانات المكانية في التخطيط.

تناولت دراسة **(Ward, et., al., 2000)** "رصد النمو في المناطق سريعة التحضر باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد " في مدينة برسبان بأستراليا باستخدام مرئيات لاندسات ونموذج (VIS)، ونجحت في تصنيف أنماط الغطاء الأرضي للمناطق الريفية والحضرية بدقة.

درس **(Yuan,et., al.,2005)** "تصنيف الغطاء الأرضي وتحليل التغير في منطقة (مينيسوتا) الحضرية بواسطة الاستشعار عن بعد لاندسات متعدد الأزمنة"، وأثبتت إمكانية استخدامها في رسم الخرائط الدقيقة وتحليل التغير المكاني.

عرضت دراسة **(Baz et., al., 2009)** "تطوير وتطبيق تقنيات التحليل/النمذجة التوليفية القائمة على نظم المعلومات الجغرافية للتخطيط الحضري لمنطقة إسطنبول الحضرية" بتركيا، لتحقيق استدامة التنمية الحضرية، وأكدت أن التوسع غير المخطط يقلل المساحات ويضعف كفاءة البنية التحتية.

قام **(Bajocco et al., 2012)** بدراسة "أثر التغيرات في استخدام الأراضي/الغطاء الأرضي على ديناميكيات تدهور الأراضي" بمدينة (Dujiangyan) بالصين، وأوصت بتخطيط مستدام للمناطق المتأثرة بالزلازل والكوارث الطبيعية.

تناولت دراسة **(Rawat & Kumar, 2015)** "مراقبة استخدام الأراضي/تغير الغطاء باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: دراسة حالة منطقة حولباغ، الهند". وأظهرت الدراسة زيادة في الأراضي المبنية والغطاء النباتي مقابل تراجع المسطحات المائية والأراضي القاحلة خلال 1990-2010م.

قدمت دراسة **(Rahman, 2016)** "الكشف عن التغيرات في استخدام الأراضي/الغطاء الأرضي والزحف العمراني في الخبر، المملكة العربية السعودية: تحليل لبيانات الاستشعار عن بعد متعددة الأزمنة"، هدفت الدراسة إلى الكشف عن التغيرات في الغطاء الأرضي واستخدام الأرض والزحف العمراني في الخبر، من خلال تحليل بيانات الاستشعار عن بعد في الفترة الزمنية من 1990- 2013م، مستخدمة الأقمار الصناعية الآتية (Landsat TM, ETM+, and OLI)، وأظهرت نتائج الدراسة أن المناطق العمرانية الحضرية زادت بنسبة 117% وازدياد التشتت العمراني حتى عام 2013م، وأوصت الدراسة إلى أهمية دراسة التحديات الحالية التي يواجها سكان المدينة بسبب التوسع العمراني.

هدفت دراسة **(Kiggunda, et., al., 2018)** إلى "تقييم استخدام الأراضي والتغيرات في الغطاء الأرضي في مجمعات خليج مورشيسون في حوض بحيرة فيكتوريا في أوغندا"، وأشارت نتائج الدراسة إلى تضاعف المناطق المبنية وتراجع المناطق الزراعية مما أثر على الموارد المائية بالمنطقة. وأوصت الدراسة إلى الحاجة الماسة إلى اتخاذ التدابير اللازمة والحاسمة لتنظيم استخدامات الأراضي ومراقبتها والحفاظ عليها.

ركزت دراسة **(Alqurashi & Kumar, 2019)** على "تقييم تأثير التحضر والتغيرات في استخدام الأراضي في المدن سريعة النمو في المملكة العربية السعودية " في ثلاث مدن سعودية باستخدام صور لاندسات للأعوام 1985م - 2000 م - 2014م. تم قياس الغطاء النباتي عن طريق مؤشر (normalized difference vegetation index)، بلغت دقة التصنيف من 84 % إلى 95%. أظهرت النتائج أن المناطق الحضرية هي الغطاء الأرضي الأكثر تغيراً، في حين تراجعت الأراضي الزراعية نتيجة ندرة موارد المياه.

هدفت دراسة **(Abdallah, et., al., 2019)** إلى "تقييم التغيرات في استخدام الأراضي/الغطاء الأرضي الناجمة عن سد وادي جيزان، المملكة العربية السعودية، وتأثيرها على الكربون العضوي في التربة"، قدمت الدراسة تقييم لاستخدامات الأراضي والغطاء الأرضي التي يسببها سد جيزان بالمملكة العربية السعودية، وكانت من أهم أهداف الدراسة هي تقييم التغيرات في الغطاء الأرضي في حوض جيزان عندما بدأ عمل سد جيزان، وبعد ذلك، لتقييم توزيع الكربون العضوي للتربة في استخدامات الأراضي المختلفة في منطقة الدراسة. تم استخدام مرئيات فضائية (Landsat MSS, ETM+, and OLI images)، في الأعوام 1972م، 2000م، 2017 م على التوالي تم تحليل الصور من خلال استخدام برنامج (ERDAS Imagine 10)، تم تطبيق المؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، وأظهرت النتائج أن هناك زيادة كبيرة في مساحة الغطاء النباتي وانخفاض الأراضي الجرداء بعد إنشاء السد. أوصت الدراسة ضرورة إجراء هذه الدراسات، من أجل متابعة تنمية الأراضي الزراعية.

تناولت دراسة **(Abdelkarim, et. ,al., 2022)** "نموذج التنبؤ المكاني – الزماني للغطاء الأرضي لمحور الاستمرارية الريفي الحضري بين مدينتي الرياض والخرج في المملكة العربية السعودية في عام 2030م باستخدام تكامل نموذج CA-Markov و GIS-MCA و AHP"، هدفت الدراسة إلى رصد تغير الغطاء الأرضي في محور التواصل الريفي الحضري بين مدينتي الرياض والخرج خلال الفترة 1988م - 2020م، محاكاة النمو المستقبلي للغطاء الأرضي حتى عام 2030م باستخدام نموذج ماركوف آلي الخلوي (CA-Markov)، وتحسين قدرة CA-Markov على التنبؤ بالمستقبل من خلال دمج التحليل متعدد المعايير إستناداً إلى أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS-MCA) والتحليل، طريقة عملية التسلسل الهرمي (AHP). كشفت نتائج الدراسة عن فقد حوالي 60 كيلومتر مربع من الأراضي الزراعية. في حين زادت المناطق الصناعية والعمرانية بمعدل نمو 4٪. كانت هناك خمس فئات من الملاءمة المكانية، تتراوح بين 32% و86٪، و70٪ أو أكثر هي النسبة الموصى بها لاستخدامات الأراضي المستقبلية.

وبعد استعراض الدراسات السابقة نلاحظ أن الدراسة الحالية تشابهت مع الدراسات مثل (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) و (البيشي، 2014م) و (الطعاني وآخرون، 2020م) في تقييم استخدام الأراضي والتغيرات في الغطاء الأرضي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، كما تشابهت مع دراسة (الزغول، 2020م) في الكشف عن التغيرات في استعمالات الأراضي والغطاءات الأرضية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية اعتمادا على تحليل غطاء من الصور الفضائية Sentinel 2، وكذلك دراسة (زريقات والحسبان، 2012م) في الكشف عن التغيرات باستخدام بيانات Sentinel-2، ومع (زريقات والحسبان، 2012م) في كشف التغير عبر الصور الجوية

وتقنيات GIS. وأظهرت دراستا (شولي، 2008م) و (العامري، 2018م) فاعلية التقنيات الحديثة في رصد النمو العمراني والتغيرات المكانية والزمانية. وتتميز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة باستخدام صور Sentienel-2 بدقة مكانية أعلى خلال فترات زمنية قصيرة كل ثلاث سنوات (2017-2023م)، وربط النتائج بالمخطط الاستراتيجي لمحافظة العلا لتقييمه من منظور التغيرات في استخدامات الأرض، وذلك في ضوء خصوصية الشخصية الجغرافية للمحافظة التي تضم مساحات واسعة من المحميات الطبيعية وتشهد اهتماماً وطنياً وعالمياً متزايداً بهدف تعزيز السياحة وزيادة مواردها الاقتصادية.

وتعد العلا منطقة ذات حساسة بيئية في عمليات التخطيط والتنمية. إذ يتطلب تعاملا حذرا للحفاظ على بيئتها الفريدة وتراثها المميز. وتجنب التدهور البيئي الناتج عن التوسع العمراني الغير مخطط، وبذلك تسهم الدراسة في دعم التنمية العمرانية المستدامة ومتابعتها مكانياً بدقة عالية مستمرة. مما يتيح رصد التنمية العمرانية التي تبنتها المملكة مؤخراً ومتابعتها مكانيًا بدقة عالية، وعليه تسهم الدراسة في تحديث أدوات التقييم ومساعدة متخذي القرار في رسم السياسات التخطيطية العمرانية باستدامة.

3. منهجية البحث:

شهدت منطقة الدراسة خلال فترة الدراسة القصيرة من 2017 إلى 2023م نمواً وتطوراً تنموياً متسارعاً ضمن مشاريع رؤية المملكة 2030، مما أدى إلى تغيرات واضحة في الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي، لذا تهدف الدراسة إلى رصد وتحليل هذه التغيرات مكانياً وزمانياً من خلال نموذج متكامل جغرافي يدمج بين بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتفادي قصور الطرق التقليدية في متابعة التطور والتغيرات باستخدامات الأراضي. ويوضح الشكل رقم (1) الإطار العام للمنهجية المتبعة في البحث كما يلي:

1.3. مرحلة إعداد ومعالجة المرئيات الفضائية:

تم الحصول على صور الأقمار الصناعية Sentinel-2 (Level-2A) من منصة Google Earth Engine (GEE) لتغطية محافظة العلا خلال أعوام الدراسة. استخدمت الدراسة خوارزمية S2Cloudless المعتمدة على تقنيات التعلم الآلي (Machine Learning) لاكتشاف السحب وظلالها وإزالتها بدقة (Nasiri et al., 2022).

بعد ذلك، جرى إنشاء صور مركبة سنوية (Annual Composite) لكل عام باستخدام طريقة Median Composite خلال فصل الصيف، لتقليل الاختلافات الزمنية وتحسين الاتساق الطيفي بين الصور الفضائية (Nambiar et al., 2022). كما تم استخدام بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (SRTM – Shuttle Radar Topography Mission) لإنتاج خرائط نموذج الارتفاع الرقمي للعلا، والتي تضمنت طبقات الارتفاعات والانحدارات واتجاهات الانحدار ومجاري الأودية.

2.3. مرحلة تحليل المؤشرات الطيفية:

تم تنزيل وتحليل مؤشري الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) ومؤشر البناء العمراني (NDBI) باستخدام الدوال المدمجة في بيئة (GEE)، بالاعتماد على نطاقات الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والاشعة المرئية (RED)، دون الحاجة إلى برامج تحليل إضافية. (Velastegui-Montoya et al., 2023). ساهمت هذه المؤشرات في تحسين القدرة على التمييز الطيفي بين الفئات المختلفة للغطاء الأرضي، خصوصاً في مناطق تحديد المناطق العمرانية والخضراء.

3.3. مرحلة التصنيف الطيفي للغطاء الأرضي:

تبنى البحث أسلوب التصنيف الموجه (Supervised Classification) باستخدام خوارزمية (Random Forest) الموجودة داخل بيئة (GEE)، وعليه تم تصنيف الغطاء الأرضي على ست فئات وهم: 1.المسطحات المائية، 2.الغابات، 3.الأعشاب، 4.الأراضي الزراعية، 5.المناطق العمرانية، 6.الأراضي الجرداء.

جرى تدريب النموذج باستخدام عينات مرجعية (Training Samples) تم أخذها من صور عالية الدقة ومن منصة (Google Earth Pro) لضمان دقة التمييز بين الفئات المختلفة، بخلاف نقاط الدراسة الميدانية. (Lin et al., 2020).

4.3. مرحلة تقييم الدقة والتحقق من النتائج:

قيمت نتائج التصنيف من خلال مصفوفة الخطأ (Confusion Matrix) وحساب معامل كابا (Kappa Coefficient)، بهدف قياس مدى التطابق بين نتائج التصنيف والبيانات المرجعية (Rwanga & Ndambuki, 2017).

5.3. الإطار المنهجي والتحليلي للدراسة:

اعتمدت الدراسة على مجموعة من المناهج الجغرافية والتحليلية المتكاملة لتحليل وتفسير النتائج وربطها بالإطار التخطيطي لمحافظة العلا، ويتضمن ما يلي:

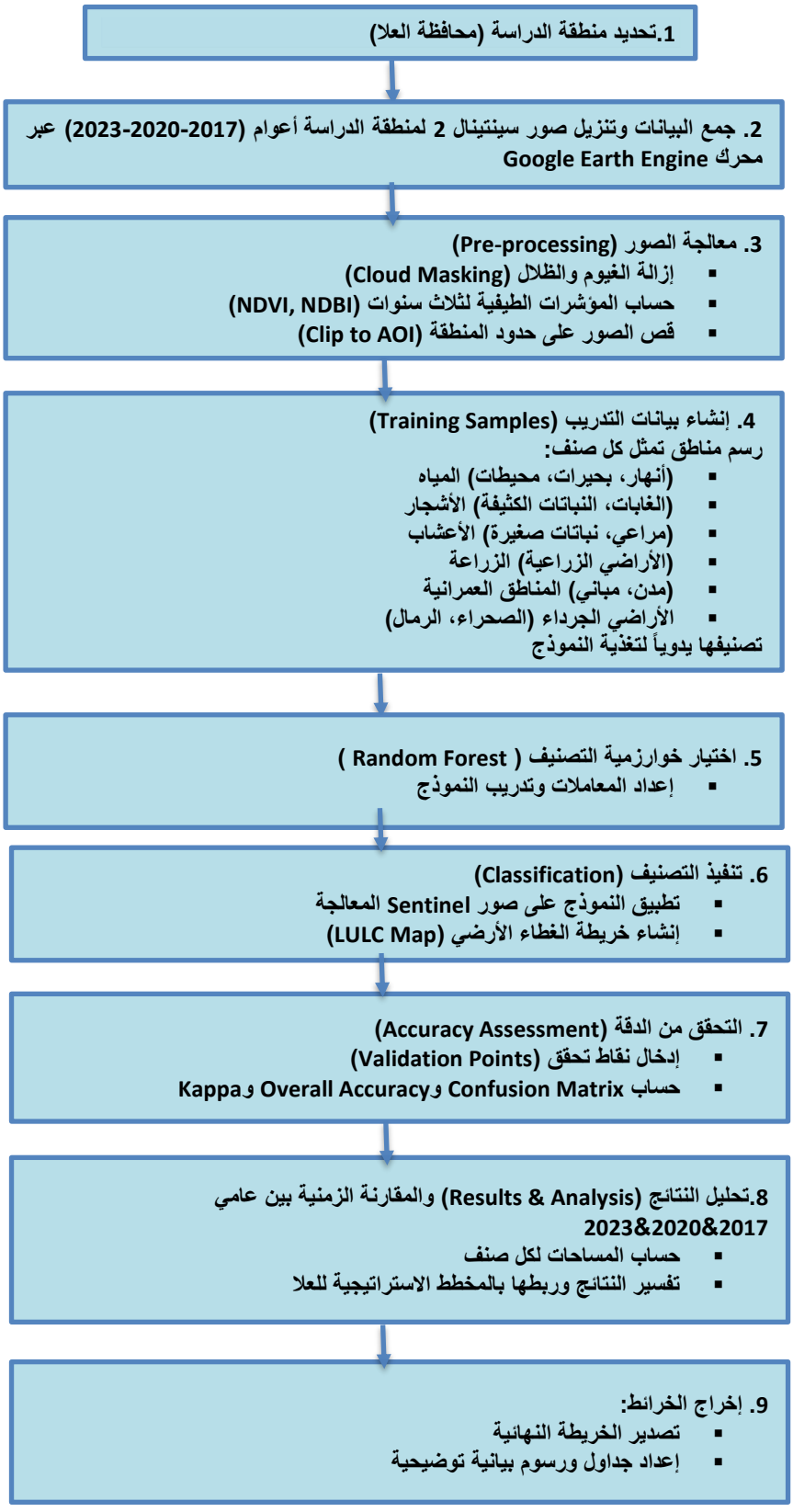
- المنهج التاريخي: تناول التطور الزمني لتغيرات استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي بمحافظة العلا خلال الفترة 2017–2023م، وربط مراحل التغير بالمخطط الاستراتيجي للعلا.
- المنهج الاستقرائي: اعتمد على تحليل الصور الفضائية ببرنامج ENVI 5.1 عبر عمليات الموزاييك والتصحيح المكاني، لاستخلاص العلاقات العامة بين أنماط الغطاء الأرضي.
- المنهج التحليل المكاني: استخدم نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد المساحات، والمقارنة بين أنماط استخدامات الأراضي، وإنتاج خرائط وفق معايير المعهد الدولي ITC.
- المنهج الوصفي المسحي: اعتمد على الملاحظات الميدانية والمقابلات لرصد اتجاهات النمو العمراني والأنشطة، والتحقق من دقة توزيع الغطاء الأرضي بمحافظة العلا.

6.3. الربط بالمخطط الاستراتيجي لمحافظة العلا:

تم ربط نتائج التحليل المكاني وتغيرات الغطاء الأرضي بمخرجات المخطط الاستراتيجي لمحافظة العلا، وذلك بهدف عرض وتحليل اتجاهات التوسع العمراني وتغير استخدامات الأراضي خلال مدة الدراسة. بخلاف تقييم مدى توافق هذه التغيرات مع الأهداف التنموية والتخطيطية للمحافظة. وقد ساهم هذا الربط في تقديم رؤية تحليلية مكانية تدعم اتخاذ القرار التخطيطي المستدام.

ISSN: 2706-6495

الشكل رقم (1) الإطار العام للمنهجية المتبعة في البحث



المصدر: من عمل الباحثين.

ISSN: 2706-6495

4. منطقة الدراسة:

تقع محافظة العلا في الشمال الغربي من منطقة المدينة المنورة ضمن سلسلة مرتفعات الحجاز في الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية، تبلغ مساحة محافظة العلا (22561.84 كم²) وتمثل 19.6% من مساحة منطقة المدينة المنورة، وبها ثالث أكبر مدنها، وتقع محافظة العلا بين دائرتي عرض (26° 00' و26° 45' شمالاً)، وخطي طول (36° 15' و37° 00' شرقاً) تقريباً. (الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، 2021)، وتعد من أقدم المناطق المأهولة في شبه الجزيرة العربية لما تحويه من مواقع أثرية وتنوع بيئي فريد (الهيئة الملكية لمحافظة العُلا، 2022). وتضم محافظة العلا 13 مركزاً وهم (مغيراء- العذيب- الحجر – الفارعة- أبو راكة – البريكة – النجيل – النشيفة – فضلا – العلا- الورد – شلال- العين الجديدة)، أكبرهم مساحة مركز مغيراء (5506.60 كم ²) بنسبة 24.40% ويعزي ذلك لأنها من المحافظات ذات الفئة (أ) وأصغرهم مركز العلا (299.3كم²) بنسبة 1.3 % من إجمالي مساحة المحافظة. وترتبط بشبكة من الطرق الإقليمية التي تسهل الحركة مثل طريق العلا – حائل، والعلا – الوجه، والمدينة – العلا. كما تحتوي على (47) مستقراً عمرانياً، أكبرهم (165.75كم²) وأصغرهم (0.029كم²)، ويبلغ عدد الأحياء (32) أكبرهم حي المطار والصداعية (42.03كم²) أقصى جنوب شرق الأحياء، وأصغرهم حي الرزيقية (0.29كم²) في الوسط أقرب للشمال. ويعد موقعها المتوسط بين تبوك (250كم²)، وحائل (400كم²) محوراً جديداً للتنمية العمرانية على المستوى الإقليمي. انظر الشكل رقم (2).

يسود محافظة العلا مناخ صحراوي قاري، حيث تقع محافظة العلا ضمن النطاق الجاف وشبه الجاف مناخياً، يتميز بارتفاع درجات الحرارة في الصيف وانخفاضها في الشتاء، مع قلة الأمطار وتفاوتها الزمني والمكاني، مما يحد من امتداد استخدامات الأراضي، خصوصاً في المناطق العمرانية. تؤثر الحرارة المرتفعة والجفاف على الأنشطة الميدانية كالبناء والزراعة والرعي، إذ تزيد من صعوبة العمل والتكاليف الإنتاجية، ما يستدعي مراعاة الظروف المناخية في التخطيط والتنمية بالمحافظة. (الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة، 2020).

وتتفاوت نسبة الرطوبة مكانياً داخل المحافظة، حيث تسجل أعلى نسبة في الجنوب والجنوب الغربي بمتوسط 31%، وتنخفض تدريجياً كلما اتجهنا نحو الشمال الشرقي لتصل إلى أدنى نسبة لها بمعدل 25%. يُلاحظ هنا وجود علاقة طردية بين درجات الحرارة ونسبة الرطوبة، فالمناطق الجنوبية من المحافظة، التي تُعد أكثر المناطق ارتفاعاً في درجات الحرارة، تُظهر أعلى نسبة من الرطوبة النسبية. تلعب الرياح دوراً محورياً في توجيه امتدادات استخدامات الأراضي في محافظة العلا، حيث تؤثر على تصميم المباني واتجاه الشوارع وتوزيع الاستخدامات المختلفة. وتُعد الرياح الجنوبية الغربية والغربية هي السائدة، بمتوسط سرعة سنوي يبلغ نحو 12 كم/ساعة، وتزداد في فصل الصيف إلى 13 كم/ساعة. وقد ساهم هذا النمط في تركز العمران بالجهة الغربية للاستفادة من التهوية الطبيعية، في حين تركزت المناطق الصناعية شرقاً في اتجاه منصرف الرياح لتحقيق التوازن البيئي والعمراني. (إسماعيل، 1988، ص 316).

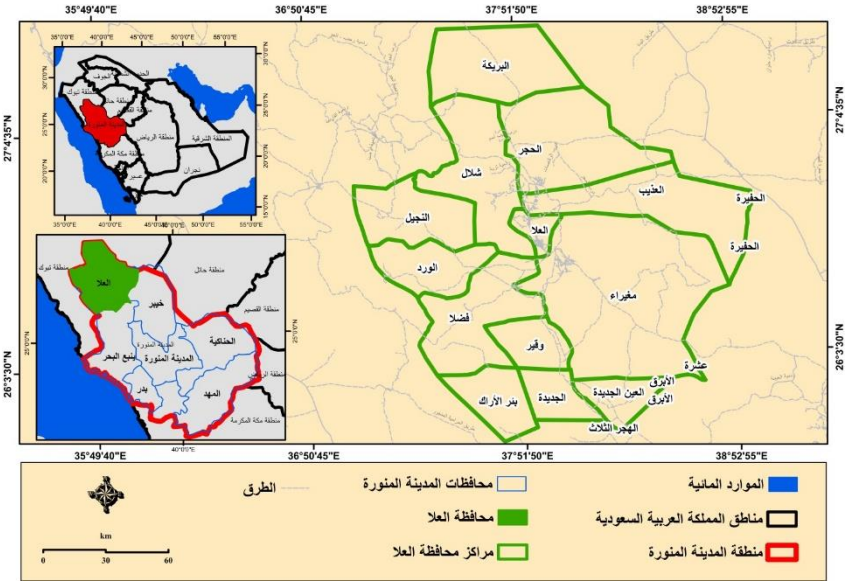
تُعد ندره الأمطار من أبرز العوائق أمام التنمية الزراعية والعمرانية. إذ يتراوح المعدل السنوي للأمطار بين 25 و50 ملم بمنطقة الدراسة، وتتركز في المرتفعات الشرقية خلال فصلي الربيع والخريف، بينما يسود الجفاف معظم أيام السنة. تعتمد الزراعة والعمران على المياه الجوفية لتعويض النقص المطري، مما يستدعي دراسات لتقدير المخزون المائي واستغلاله المستدام. كما يؤدي ضعف الأمطار إلى محدودية الغطاء النباتي الطبيعي الذي يقتصر على الحشائش والشجيرات المتناثرة،

ISSN: 2706-6495

الداعمة للنشاط الرعوي في المنطقة. أما عن التركيب الجيولوجي لمحافظة العلا فتغطي الصخور الرسوبية نحو 39.8% من مساحة المحافظة وتدعم التوسع الزراعي والعمراني، بينما تشغل الصخور النارية الصلبة 36.9% مكوّنة المرتفعات التي ساعدت في إنشاء البنية التحتية والطرق، في حين تمثل الرواسب الرملية نحو 13.2% وهي جزء من الصخور الرسوبية، وتتركز بها الكتل العمرانية والزراعية. كما تساهم المعادن والعناصر في الصخور في تحسين خصوبة التربة ودعم التنمية المستدامة. واذ يعد التركيب الجيولوجي عاملاً رئيسياً في توجيه التنمية العمرانية ورصد التغيرات في استخدامات الأراضي بمحافظة العلا، إذ ترتبط التكوينات الصخرية ارتباطاً وثيقاً بتوزيع الأنشطة الزراعية والعمرانية.

في حين تتنوع مظاهر السطح بمحافظة العلا، إذ تحيط بها المرتفعات من الشرق والغرب بارتفاعات تتراوح بين 1000م^2 و2091م^2، مما حدّ من الامتداد العمراني شرقاً وغرباً. تقع المدينة في قلب وادي القرى ذي الطابع الطولي، فكان النمو العمراني ممتداً شمالاً وجنوباً تبعاً لملاءمة الأراضي المستوية للتوسع العمراني. وتُعد الطبوغرافيا عاملاً مؤثراً في توجيه العمران وتخطيط المشاريع التنموية بالمحافظة. انظر الشكل رقم (3).

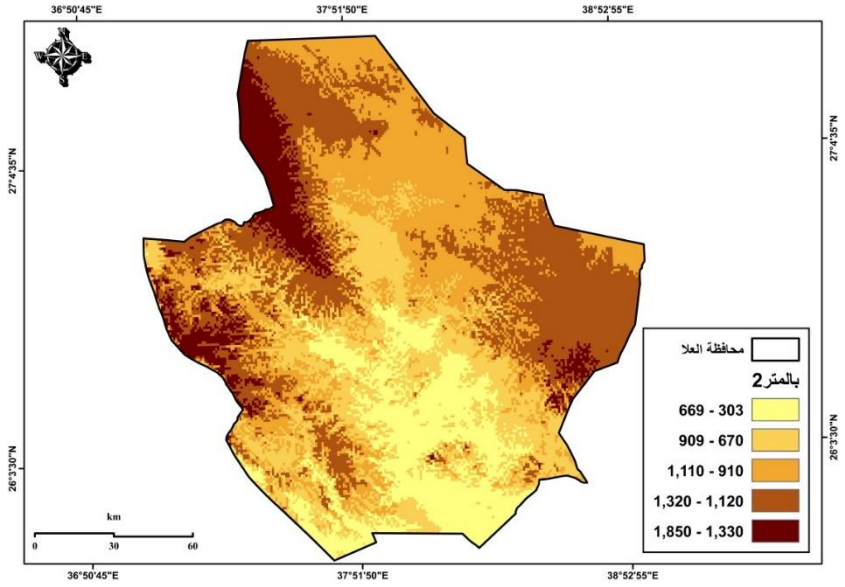
ومن أهم مظاهر السطح الطبوغرافية في منطقة الدراسة هضاباً رسوبية مثل الدهس والخريمات وأشقيمة، وأخرى بركانية كحرة العويرض. كما يشكل وادي القرى أهم الظواهر الطبوغرافية، ويمتد شمالاً وجنوباً محاطاً بالجبال، وتنتشر فيه الأودية الفرعية التي تُعد من أغنى مناطق المياه الجوفية بالمحافظة. انظر الشكل رقم (4).



شكل (2) منطقة الدراسة

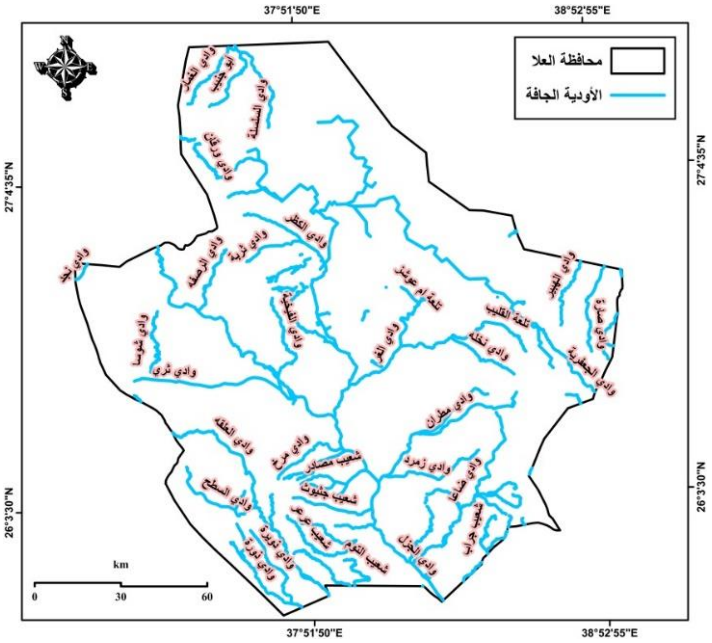
المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على: الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، 1442هـ؛ وزارة الشؤون البلدية والقروية، 2020م.

ISSN: 2706-6495



شكل (3) التوزيع المكاني لطبوغرافية السطح بمحافظة العلا

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على: بيانات مرئيات القمر الصناعي SRTM.



شكل (4) شبكة الأودية الجافة بمحافظة العلا

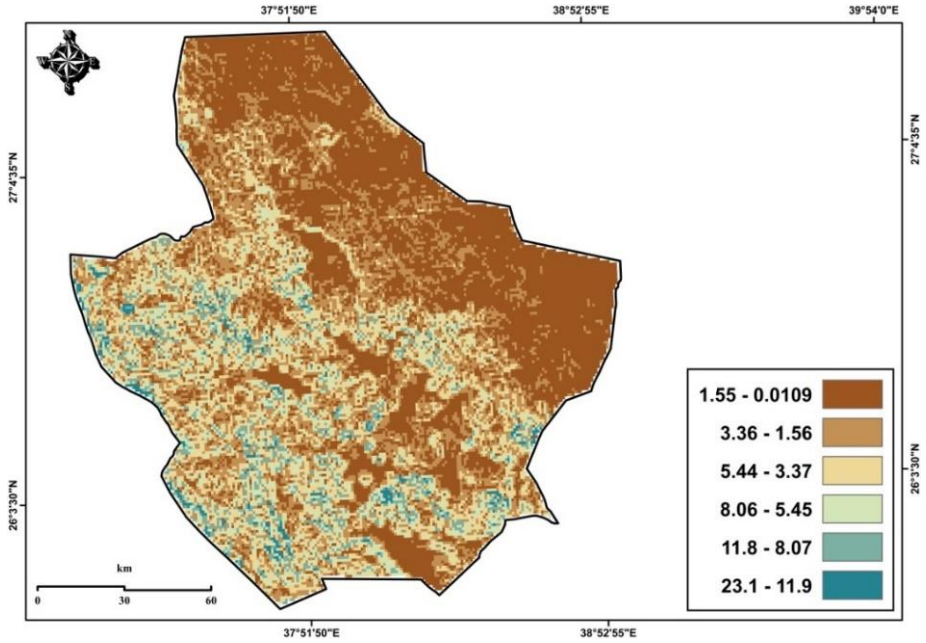
المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على الشكل رقم 3.

تتراوح الارتفاعات في محافظة العلا بين 303 و1850م²، حيث تقع نحو 95% من مساحتها على ارتفاع أقل من 900م²، وتتركز المناطق العمرانية في الأراضي شبه المستوية ما بين (519–800م²) التي تمثل 57% من مساحة المنطقة، مما جعلها الأنسب للنمو العمراني والزراعي. تُظهر تحليلات الانحدار أن معظم أراضي المحافظة ذات انحدار بسيط، وتتركز التوسعات العمرانية فيها، بينما تعيق المناطق الجبلية شديدة الانحدار الامتداد العمراني، لكنها تمثل مناطق واعدة للسياحة البيئية. كما يتجه الانحدار العام نحو الشمال والغرب، مما يفسر التمدد الطولي للعمران بمحاذاة وادي القرى. الشكل رقم (5&6).

وعلى الجانب الاخر تمثل التربة دوراً أساسياً في توجيه التوسع العمراني والزراعي بمحافظة العلا، حيث تتركز التربة الطميية الخصبة على جوانب وادي الجزل ومحور خيبر– العلا، متأثرة بالرماد البركاني الذي زاد من خصوبتها وساهم في انتشار الزراعة والعمران شمالاً. في المقابل تعاني بعض مناطق المحافظة من ضعف الخصوبة لقلة المواد العضوية، بينما تسود الترب الصخرية غرباً بنسبة تقارب الخمس، ملائمة للرعي. كما تقع التربة الرملية شرقاً لتشكل نحو ثلث مساحة المحافظة، في حين تغطي الحمم البركانية منخفضة الانحدار شمالاً مناطق حرة عويرض. الشكل رقم (7).

بشكل عام تُعد الموارد المائية عاملاً رئيساً في توجيه التغيرات في استخدامات الأراضي بمحافظة العلا، حيث تعتمد التنمية على المياه الجوفية المستخرجة من جبل الساق، أحد أهم خزانات المياه في المملكة، بعذوبة تتراوح ملوحتها بين 500 و1500 ملجم/لتر. تغطي الطبقات الحاملة للمياه نحو 57% من مساحة المحافظة، وتتركز شمال شرقها وجنوبها ضمن التكوينات الرسوبية. كما تسهم الأودية ورواسبها الطميية والرملية عالية المسامية في تعزيز تغذية الخزانات الجوفية ودعم الأنشطة الزراعية والرعوية والتنمية المستدامة بالمحافظة. الشكل رقم (8).

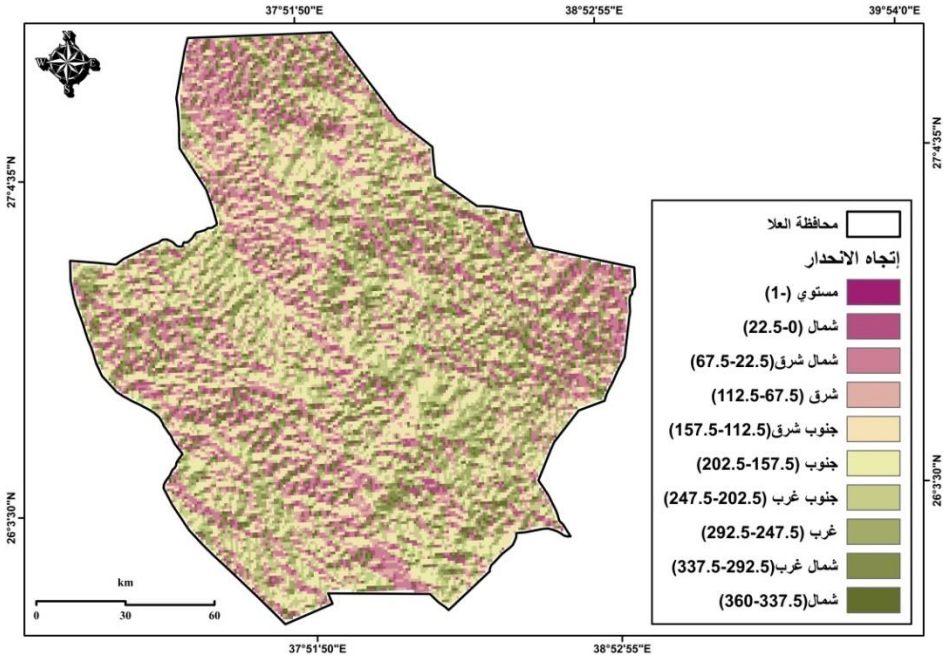
كما تُوضح الاشكال (9&10&11) الصور الفضائية لمنطقة الدراسة لعامي 2017و2020و2023م، والمأخوذة من القمر الصناعي Sentinel-2 عبر منصة Google Earth Engine، تطوراً في ملامح الغطاء الأرضي داخل محافظة العلا. وقد عُرضت الصور بألوانها الحقيقية (RGB) باستخدام النطاقات (Band 1, 2, 3)، حيث تُظهر المقارنة المكانية تغيرات في انعكاسات السطوح الأرضية، خاصة في المناطق الجبلية والوديان، مما يعكس تحولات بيئية أو عمليات تعرية وترسيب.



شكل (5) التوزيع المكاني للانحدارات الطبوغرافية بمحافظة العلا

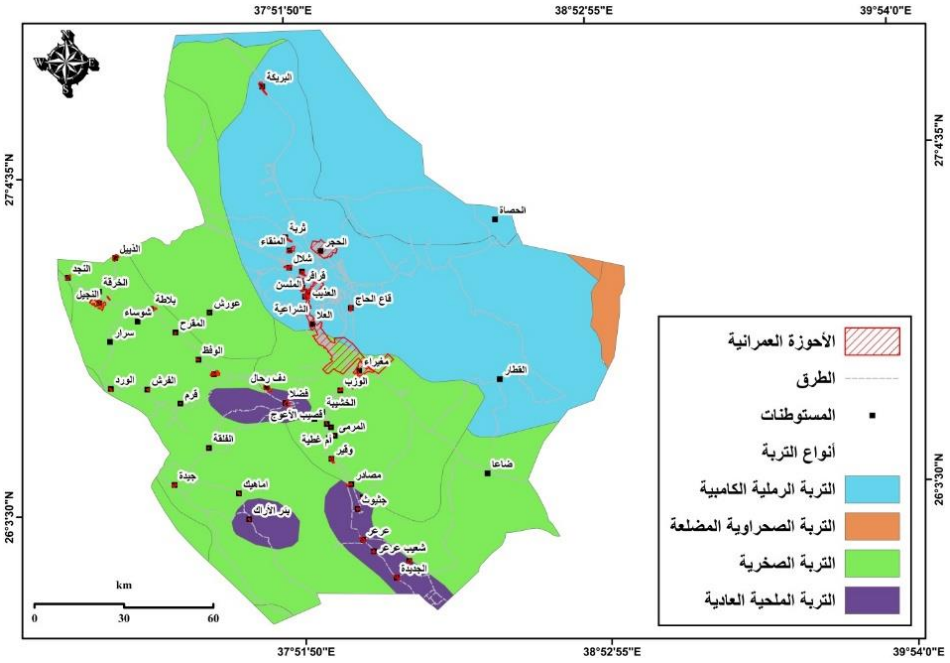
المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على: بيانات مرئيات القمر الصناعي SRTM.

ISSN: 2706-6495



شكل (6) التوزيع المكاني لاتجاهات الانحدارات الطبوغرافية بمحافظة العلا

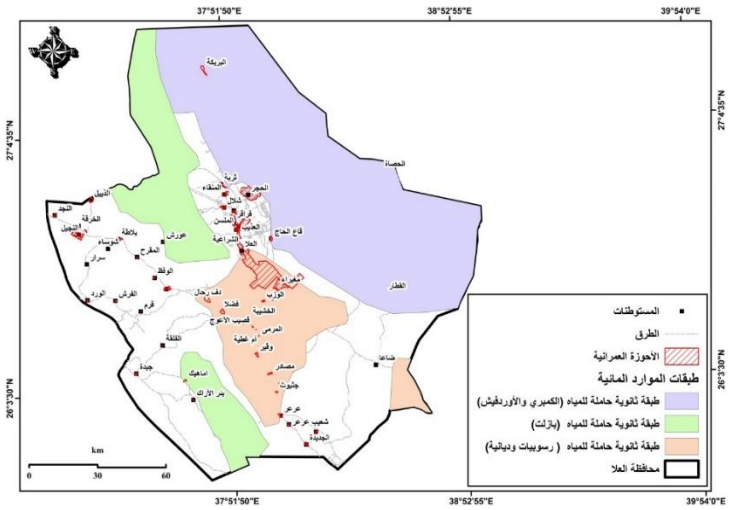
المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على: بيانات مرئيات القمر الصناعي SRTM.



شكل (7) التوزيع المكاني للتربة بمحافظة العلا

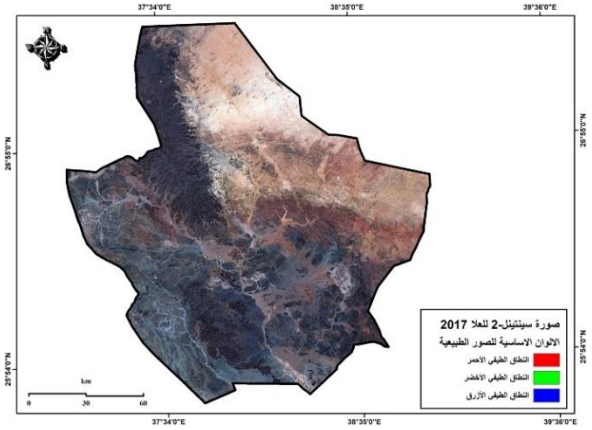
المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على: الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، (1442هـ)، خريطة المملكة العربية السعودية، وعلى خريطة التربة للمدينة المنورة، باستخدام برنامج (ArcGIS for Desktop 10.8).

ISSN: 2706-6495

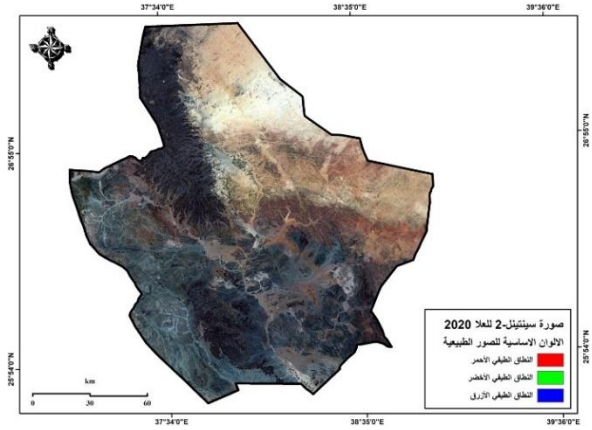


شكل (8) التوزيع الجغرافي للموارد المائية بمحافظة العلا

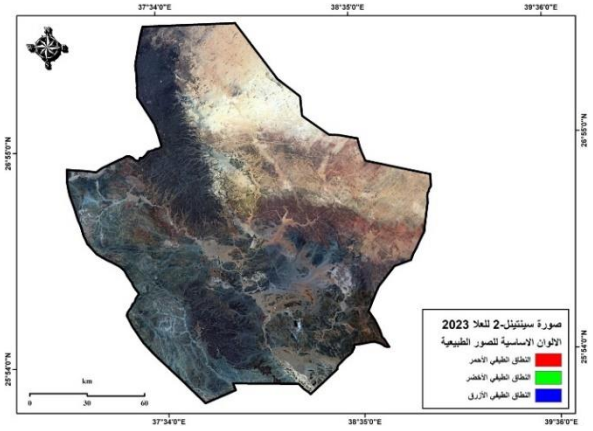
المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على: المخطط الاستراتيجي لمحافظة العلا عام 1420هـ.



شكل (9) مرئية فضائية لمحافظة العلا لعام 2017



شكل (10) مرئية فضائية لمحافظة العلا عام 2020



شكل (11) مرئية فضائية لمحافظة العلا عام 2023

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) وبرنامج كوبرنيكوس.

ISSN: 2706-6495

5. النتائج:

1.5. تقييم وتحليل وتصنيف الغطاء الأرضي لأعوام 2017و2020و2023م:

يعد مقارنة نتائج التصنيف للأعوام 2017، 2020، 2023 م الجزء الأهم في التحليل المأخوذ عبر وسائط الاستشعار عن بعد، حيث يظهر بوضوح التغيرات التي طرأت على أنماط الغطاء الأرضي في المنطقة. تعكس البيانات تغيرات ملحوظة في توزيع الفئات المختلفة، حيث شهدت بعض الفئات زيادة في المساحة، بينما تراجعت أخرى على مدار السنوات الثلاث. أنظر الشكل رقم (12) والجدول رقم (1).

1.1.5. التوسع العمراني (Built-up Areas):

تُظهر البيانات ارتفاعاً كبيراً في مساحة المناطق العمرانية، حيث ارتفعت من 0.07% (16.561 كم²) في عام 2017 م إلى 0.23% (51.341 كم²) في عام 2020م، ثم إلى 0.44% (98.829 كم²) في عام 2023م، ويشير هذا النمو إلى اتساع رقعة العمران والبنية التحتية خاصة في المناطق الجنوبية من محافظة العلا، مما يدل على نشاط تنموي متزايد في المنطقة. قد يكون هذا التوسع مرتبطاً بالمشاريع التطويرية، وزيادة عدد السكان، أو تحسين البنية التحتية، بالإضافة إلى وجود موارد اقتصادية أسهمت في الاستقرار ومن ثمَّ التنمية العمرانية بالقرب منها.

2.1.5. تغييرات في الغطاء النباتي:

بالنظر إلى المساحات الزراعية، نجد أنها ارتفعت من 1.4% (316.726كم²) في 2017 إلى 2.06% (465.032كم²) في 2020م، ثم إلى 2.78% (628.192كم²) في 2023م، يعكس هذا الاتجاه زيادة في مساحات الأراضي المزروعة، ربما نتيجة التوسع في المشاريع الاستصلاح الزراعي إضافة إلى تحسن وسائل التسويق الزراعي ما بين محافظة العلا ومدن المحافظات الرئيسة خاصة المدينة المنورة عاصمة المنطقة، وأيضاً تحسن إدارة الموارد المائية في الوقت نفسه المتمثل بترشيد الري، يشير الارتفاع في المساحة الزراعية إلى جهود في تحسين استدامة القطاع الزراعي في المنطقة.

3.1.5. استقرار وتراجع بعض الفئات الأخرى:

لم تُظهر فئة المياه (الأنهار والبحيرات) تغيرات جوهرية عبر السنوات الثلاث سوى أنها انخفضت من (0.102كم²) عام 2017م الى (0.086كم²) عام 2023م، أي أن نسبتها ثابتة تقريباً، مما يدل على استقرار المسطحات المائية أو قلة تأثير العوامل المناخية على مساحتها. بالنسبة للأشجار (النباتات الكثيفة) والأعشاب (مراعي، نباتات صغيرة)، لم يحدث تغيير ملحوظ في مساحتها عبر الفترات المدروسة فزادت من (0.101كم²) عام 2017م إلى (0.316 كم²) عام 2023م، حيث بقيت نسبتها تقريبا عند 0.00%، مما يشير إلى ثبات الوضع البيئي في هذه المناطق مع توسع محدود في التشجير.

4.1.5. تناقص مساحة الأراضي الجرداء (الصحراء، الرمال):

أحد التغيرات المهمة التي كشفتها البيانات هو التناقص التدريجي لمساحة الأراضي الجرداء، حيث انخفضت نسبتها من 98.58% (22228.534كم²) في عام 2017 إلى 97.50% (22043.464كم²) في عام 2020، ثم إلى 96.78% (21834.522كم²) في عام 2023. يُعزى هذا الانخفاض إلى التمدّد العمراني والزراعي، حيث يتم تحويل بعض المناطق

ISSN: 2706-6495

الصحراوية إلى استخدامات أخرى. وتعكس مقارنة نتائج التصنيف خلال الأعوام الثلاثة اتجاهاً واضحاً نحو التوسع الحضري والزراعي، مقابل تناقص مساحة الأراضي الجرداء. تؤكد البيانات أن المنطقة تشهد تحولات تدريجية في استخدامات الأراضي، مدفوعة بالنمو السكاني والمشاريع التنموية.

جدول (1) التغيرات في المساحات بالكم² والنسب المئوية لفئات تصنيف الغطاء الأرضي

الفئة	2017		2020		2023	
	كم²	%	كم²	%	كم²	%
المياه (أنهار، بحيرات)	0.102	0	0.067	0	0.086	0
الأشجار (النباتات الكثيفة)	0.101	0	0.098	0	0.316	0
الأعشاب (مراعي، نباتات صغيرة)	0.021	0	0.037	0	0.094	0
الزراعة (الأراضي الزراعية)	316.726	1.4	465.032	2.06	628.192	2.78
المناطق العمرانية	16.561	0.07	51.341	0.23	98.829	0.44
الأراضي الجرداء	22228.534	98.52	22045.464	97.71	21834.522	96.78
الإجمالي	22562.05	100	22562.05	100	22562.05	100

المصدر: حساب الباحثين اعتمادا على الشكل رقم (12).

2.5. المؤشرات الطيفية ودورها في تحليل التغيرات البيئية:

تُعد المؤشرات الطيفية (Spectral Indices) أدوات مشتقة من قيم انعكاس الأطياف في الصور الفضائية، صُممت لإبراز خصائص معينة للغطاء الأرضي من خلال دمج نطاقات طيفية متعددة في قيمة عددية واحدة. في دراستنا، تم التركيز على مؤشرين رئيسيين هما NDVI لتحليل الغطاء النباتي، و NDBI لتحليل الامتداد العمراني، نظراً لأهميتهما وارتباطهما المباشر بموضوع الدراسة (التغيرات في الغطاء النباتي والتوسع الحضري).

1.2.5. تقييم وتحليل التغير في مؤشر NDVI باستخدام Google Earth Engine :

مؤشر NDVI لتحليل الغطاء النباتي:

NDVI هو مؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي (Normalized Difference Vegetation Index) وهو مؤشر طيفي شائع يستخدم لقياس كثافة ونشاط الغطاء النباتي الأخضر. يُحسب NDVI بناءً على الفرق النسبي بين انعكاس النبات في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) وانعكاسه في النطاق الأحمر (Red). يأخذ المؤشر قيماً تتراوح بين -1 و +1 (بعد المطابقة)، حيث تشير القيم الموجبة العالية إلى غطاء نباتي كثيف وصحي، في حين تشير القيم المنخفضة أو السالبة إلى غطاء نباتي ضعيف أو غياب للغطاء النباتي (مثل التربة العارية أو المسطحات المائية). تكمن فعالية NDVI في أن النباتات الخضراء تمتص بشدة الضوء الأحمر في عملية التمثيل الضوئي، بينما تعكس بقوة الأشعة تحت الحمراء القريبة بسبب تركيب أوراقها؛ وبالتالي فإن الفرق المعياري بين هذين النطاقين يعطي مقياساً لكمية ونشاط الكتلة الحيوية النباتية.

ISSN: 2706-6495

يعتبر NDVI أحد أكثر المؤشرات العالمية الأكثر استخداماً على نطاق واسع في عمليات تقييم حالة الغطاء النباتي (Lasaponara et al., 2022). وتؤكد الدراسات أنه يوفر معلومات مهمة عن التوزيع المكاني والتغير الزمني للمجتمعات النباتية وكتلتها الحيوية. فالقيم المرتفعة لـ NDVI تدل على بكسلات يغلب عليها نباتات نشطة وصحية، أما انخفاض قيم NDVI عبر الزمن في منطقة معينة فقد يكون مؤشراً على تدهور الغطاء النباتي أو تغير في استخدام الأرض.

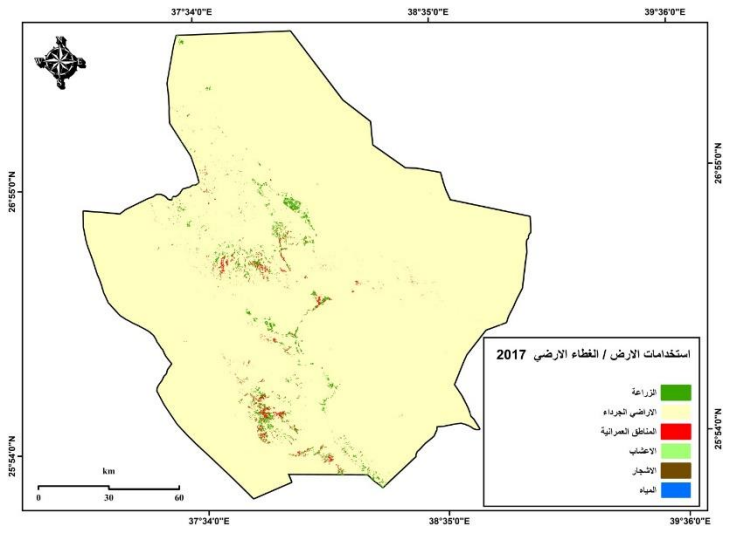
حساب NDVI باستخدام Google Earth Engine:

بعد إعداد الصور المركبة لكل سنة كما سبق، تم حساب NDVI لكل سنة ضمن منصة GEE بطريقة مباشرة، شكل (4-14) & (4-15). كما ذُكر، ويوفر GEE دالة normalized Difference التي تسهّل حساب المؤشر عبر تحديد النطاقين (NIR وRed) المرغوبين. بالنسبة لصور Sentinel-2، استُخدم النطاق B8 الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، طول موجي 842 nm، وهو النطاق الذي يتميز بقدرة عالية على عكس الأشعة من الغطاء النباتي الصحي، إذ تعكس النباتات النشطة الضوء بقوة في هذا الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي. أما النطاق B4 الأحمر (Red)، طول موجي 665 nm، فيمثل الجزء الذي تمتصه الكلوروفيل في أوراق النبات أثناء عملية التمثيل الضوئي، ولذلك فإن قيمه المنخفضة ترتبط عادة بوجود نباتات نشطة.

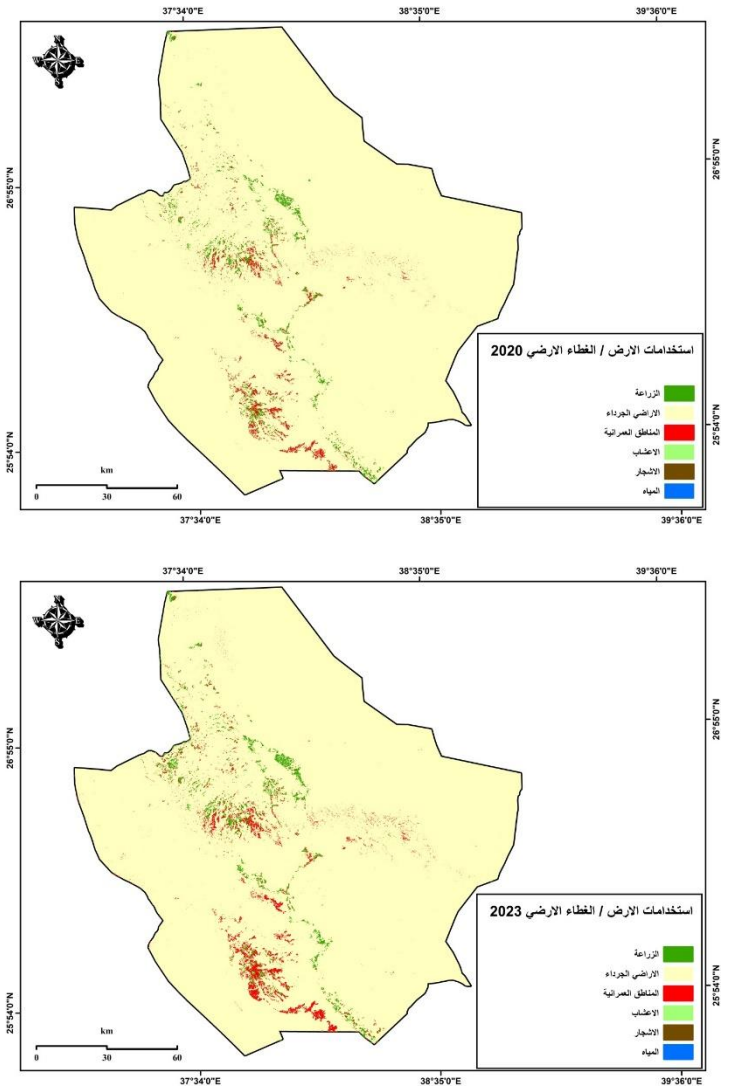
طُبقت المعادلة:

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

على أساس كل بكسل في الصورة لإنتاج طبقة جديدة تمثل قيم NDVI المكانية لكل سنة. تم أيضاً استخدام قناع السحب الذي سبق إنتاجه لضمان عدم تأثير البكسلات الملوثة بالسحاب على حساب NDVI حيث وُضع NDVI = عدم بيانات لتلك المواقع. وكانت النتيجة خرائط NDVI للعلا في 2017 و2020 و2023، تم تلوينها تدريجياً (مثلاً من البني للأراضي الجرداء ذات NDVI المنخفض، إلى الأخضر الفاتح ثم الداكن للمناطق ذات NDVI المرتفع). بعد ذلك، قمنا بتحليل هذه الخرائط لاستخراج إحصاءات كمية وكذلك أنماط مكانية.



ISSN: 2706-6495



شكل رقم (12) تصنيف الغطاء الأرضي/ استخدامات الأرض لمحافظة العلا للأعوام 2017و 2020و 2023م

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

أهمية NDVI ونتائج تحليل: (2017-2023)

أتاح NDVI كميّة موضوعية لمقارنة الغطاء النباتي عبر السنوات. بالمجمل، كشفت قيم NDVI عن تغيرات ملحوظة في الغطاء النباتي بين 2017 و2023 في بعض أجزاء محافظة العلا. على سبيل المثال، مناطق الواحات الزراعية الرئيسية أظهرت ارتفاعاً طفيفاً في متوسط NDVI عام 2023 مقارنة بعام 2017، مما قد يشير إلى تكثيف الزراعة أو تحسن في كثافة المزروعات بتلك المناطق (ربما نتيجة مشاريع تنموية في الزراعة أو تحسن إدارة المياه). في المقابل، بعض المناطق حول أطراف الواحات أو في السفوح الصخرية سجلت انخفاضاً في NDVI، مما قد يعني تقلص الغطاء النباتي الطبيعي هناك بسبب ظروف الجفاف الأخيرة أو الرعي الجائر. للتحقق أكثر، تم حساب الفرق بين خرائط NDVI لعامي 2023 و2017 NDVI change map، واتضح أن معظم التغيرات الموجبة زيادة NDVI تتركز قرب مناطق زراعية قائمة أو مشاريع خضراء

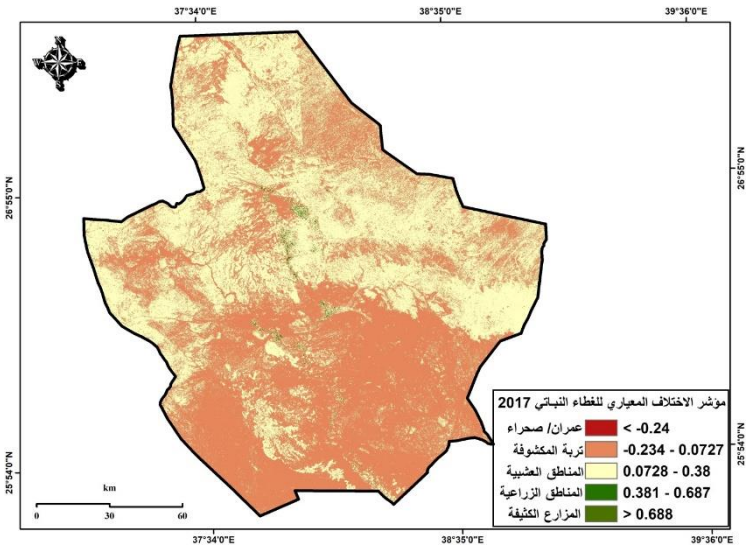
جديدة، بينما التغيرات السالبة انخفاض NDVI ظهرت في حواف المناطق الخضراء متاخمة للمناطق العمرانية أو البنية التحتية. هذه النتائج تتوافق مع التوقعات بأن التنمية الحضرية قد تؤدي أحياناً إلى تراجع الغطاء النباتي في محيطها نتيجة إزالة بعض الأشجار أو الشجيرات لصالح الإنشاءات.

في خرائط NDVI المعروضة، يتم تصنيف القيم إلى نطاقات مختلفة. عادةً، الفئات الزراعية تتميز بقيم NDVI المتوسطة إلى العالية، حيث يشير NDVI المرتفع إلى غطاء نباتي صحي وكثيف.

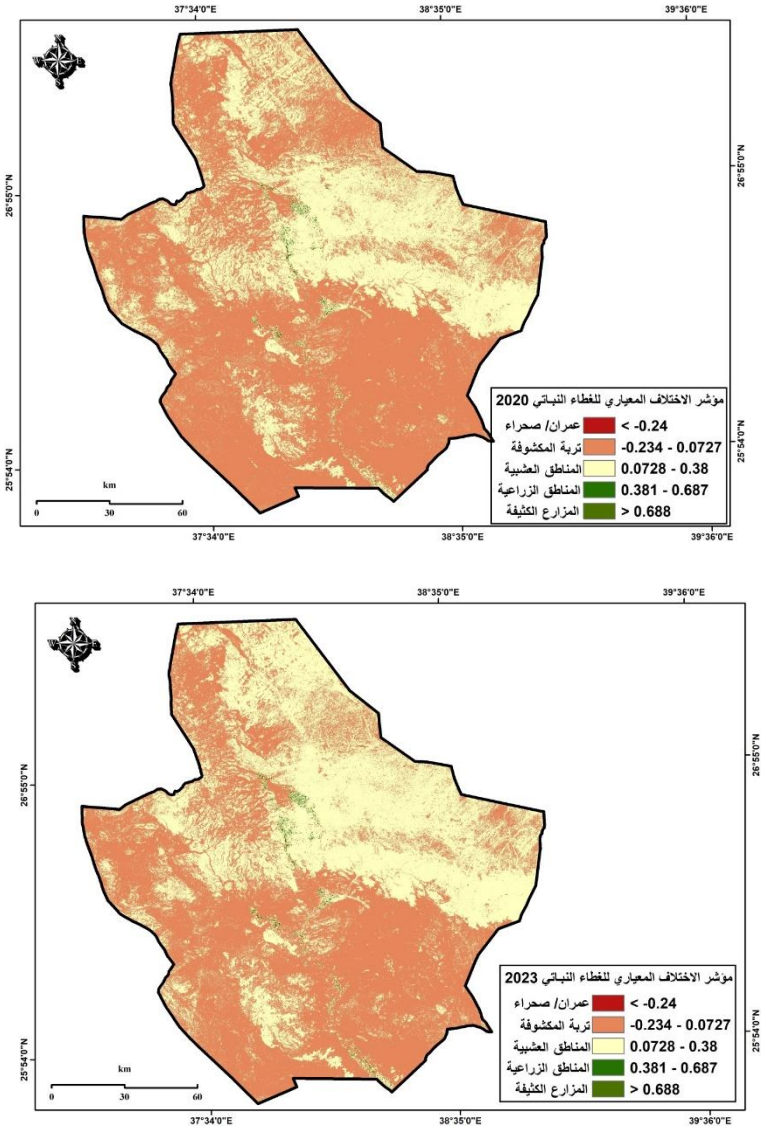
يتضح من تحليل القيم في الشكل رقم (13) الآتي:

- 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.

إذاً، فئة الزراعة غالباً تكون في النطاق: من 0.381 إلى 0.687 (أخضر مزرّق في الشكل)، وقد تمتد أيضاً إلى القيم الأعلى (0.688<) إذا كانت زراعات كثيفة وخضراء. بشكل عام، إن تغيرات قيم NDVI بين 2017 و2023 عكست اتجاهاً عاماً مستقراً إلى إيجابي طفيف في صحة وكثافة الغطاء النباتي في معظم الواحات المزروعة، مقابل انخفاض موضعي في بعض البيئات الطبيعية شبه الجافة عند أطراف المناطق التي تمددت فيها الأنشطة البشرية. ومن الجدير بالذكر، أن تغيرات NDVI تُعتبر مؤشراً موثوقاً على تغيرات الغطاء النباتي؛ فكما ذكرنا، أي ارتفاع أو انخفاض في NDVI يدل غالباً على تغير فعلي في كثافة النبات وليس مجرد تباين عشوائي (Abdelkareem & Mansour, 2023; Lasaponara et al., 2022). لذا يمكن الاستنتاج من هذا أن الفترة المدروسة شهدت بشكل إجمالي درجة من الاستقرار النسبي في الغطاء النباتي مع وجود تحسّنات محلية ربما بفعل مشاريع التشجير والزراعة، إلى جانب بعض التدهور المحدود الناجم في الغالب عن النشاط البشري أو التقلبات المناخية في أطراف المنطقة.



ISSN: 2706-6495



شكل رقم (13) تصنيف نطاقات مؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي (NDVI) لمحافظة العلا للأعوام 2017و 2020و 2023م

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

2.2.5. تقييم وتحليل مؤشر الاختلاف المعياري للمناطق المبنية (NDBI) باستخدام Google Earth Engine :

NDBI هو مؤشر الاختلاف المعياري للمناطق المبنية (Normalized Difference Built-up Index) ابتكره Zha وزملاؤه (2003) (Badlani et al., 2017) بهدف تمييز المناطق الحضرية والمبنية تلقائياً من صور الأقمار الصناعية. يعتمد NDBI على مقارنة انعكاسية السطح في نطاق الأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR) بانعكاسيته في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR). في البيئات الحضرية والمسطحات المبنية (كالخرسانة والأسفلت)، تكون الانعكاسية عادة أعلى في الـSWIR مقارنة بالـNIR، على عكس المناطق ذات الغطاء النباتي حيث يكون الـNIR أعلى. لذا صيغ المؤشر NDBI على النحو:

ينتج عن ذلك قيم NDBI عالية موجبة للمناطق المبنية، وقيم منخفضة أو سالبة للمناطق ذات الغطاء النباتي أو المياه (حيث الـNIR مرتفع نسبياً. يُعتبر NDBI مكملاً مهماً لمؤشر NDVI، فبينما يُبرز NDVI الغطاء النباتي، يُبرز NDBI الانتشار العمراني. وقد أثبتت دراسات سابقة أن NDBI فعال في استخراج المناطق المبنية من صور لاندسات وتمييزها عن الأنواع الأخرى من الأراضي. في الدراسة الأصلية لابتكار هذا المؤشر، تمكن NDBI من تحديد المناطق الحضرية بدقة تتجاوز 90% في مدينة نانجينغ الصينية عند مقارنته بالطريقة التقليدية (التصنيف الموجّه) (Badlani et al., 2017).

كما ظهر أن NDBI يمكن أن يكون بديلاً سريعاً وموضوعياً لمراقبة الامتداد العمراني على نطاق واسع دون الحاجة لإجراء تصنيف شامل لكل فئات الغطاء الأرضي. بالطبع، قد يحتاج NDBI أحياناً لدعم من مؤشرات أخرى للتمييز بين بعض الأهداف (مثلاً التربة العارية قد تعطي NDBI مرتفع نسبيًا مشابه للمباني)، لكن بدمجه مع NDVI يمكن الفصل بوضوح بين الأرض المبنية والأرض الطبيعية.

حساب مؤشر (NDBI) باستخدام Google Earth Engine:

باستخدام Google Earth Engine بطريقة مماثلة لحساب NDVI، استخدمنا دالة normalized Difference في GEE لحساب NDBI لكل سنة، مع تحديد نطاق SWIR ونطاق NIR. بالنسبة لـSentinel-2، تم استخدام نطاق SWIR-1 باند (11، 1610 nm) أو SWIR-2 (باند 12، 2190 nm) وفق الأفضلية المتاحة، مع النطاق NIR (باند 8، 842 nm). غالباً ما يُختار نطاق SWIR-1 لحساب NDBI، لذا اعتمدت الدراسة:

لكل بكسل. بعد الحساب، مُرّر الناتج أيضاً عبر قناع السحب لضمان موثوقية القيم. أُنتجت خرائط NDBI للأعوام 2017 و2020 و2023، حيث تشير القيم الموجبة الأعلى إلى احتمالية وجود إنشاءات وبنى تحتية كثيفة، بينما تشير القيم الأدنى إلى أراضٍ غير مبنية أو مغطاة بالنباتات/المياه. تم استخدام مدرج ألوان يبرز المناطق العمرانية (مثلاً درجات اللون الأرجواني لـNDBI المرتفع) مقابل المناطق الطبيعية (ألوان خضراء/زرقاء لـNDBI المنخفض) لسهولة التفسير البصري.

أهمية مؤشر (NDBI) ونتائج تحليل (2017-2023) لمحافظة العلا:

يوفر NDBI وسيلة مباشرة لرصد التوسع العمراني من خلال خرائط NDBI المستخرجة، كان من الواضح حدوث زيادة واضحة في قيم NDBI في بعض المواقع ما بين 2017 و2023. تركزت هذه الارتفاعات في أطراف المناطق العمرانية القائمة سابقاً وفي مواقع جديدة كلياً بدأت تشهد تطويراً. فعلى سبيل المثال، مركز مدينة العلا وضواحيها أظهر اتساع رقعة البكسلات ذات NDBI المرتفع في 2023 مقارنة بـ2017، مما يتوافق مع إنشاءات جديدة وتوسعات في البنية التحتية خلال هذه الفترة مثل منتجع شرعان وأزوليك العلا وأمان الحجر وفندق دار طنطورة ومتحف بمركز بومبيدو، بخلاف تطوير مطار العلا الدولي وتحديث بعض الطرق شملت طرقاً مزدوجة جديدة وتحسين البنية التحتية للنقل البري لتسهيل الوصول الى المواقع الأثرية والسياحية وتنفيذ وتوسعة طرق رئيسية تربط العلا بالمناطق المجاورة، مشروع شبكة المرافق الخضراء ويشمل إدخال شبكة للمياه والكهرباء والصرف الصحي بشكل مستدام داخل "رحلة عبر الزمن"، مركز الخدمات اللوجستية ويخدم شركات الإنشاء والسياحة، ويعد من الركائز لتسريع تنفيذ المشاريع، شبكة النقل الداخلي منخفض الكربون، مشروعات الإسكان والبنية الحضرية من خلال تطوير أحياء سكنية حديثة لموظفي الهيئة الملكية لمحافظة العلا وإنشاء مدارس جديدة،

ISSN: 2706-6495

مستشفيات، ومرافق عامة لتحسين جودة الحياة لسكان المحافظة. كذلك المواقع السياحية المستحدثة برزت بوضوح في خرائط NDBI كخطوط أو بقع ذات قيم عالية في السنوات الأخيرة. تم تأكيد هذا الاستنتاج عبر طرح قيم خارطة NDBI لعام 2017 من قيم خارطة 2023، حيث كشف الشكل فرق عن نطاقات موجبة زيادة NDBI = توسع عمراني تحيط بالمناطق المأهولة وتنتشر على شكل بقع جديدة.

أظهرت النتائج أن NDBI وسيلة موثوقة لقياس الزيادة في المناطق المبنية كما توصلت إليه دراسات مماثلة (Badlani et al., 2017) على سبيل المثال، وثّقت دراسة في الهند زيادة بلغت 73% في مساحة المبنيّات عبر تحليل NDBI وNDVI من 1989 إلى 2015 (المرجع السابق)، مما يعكس حساسية هذه المؤشرات لرصد التوسع الحضري والسحب منه استنتاجات كمية دقيقة.

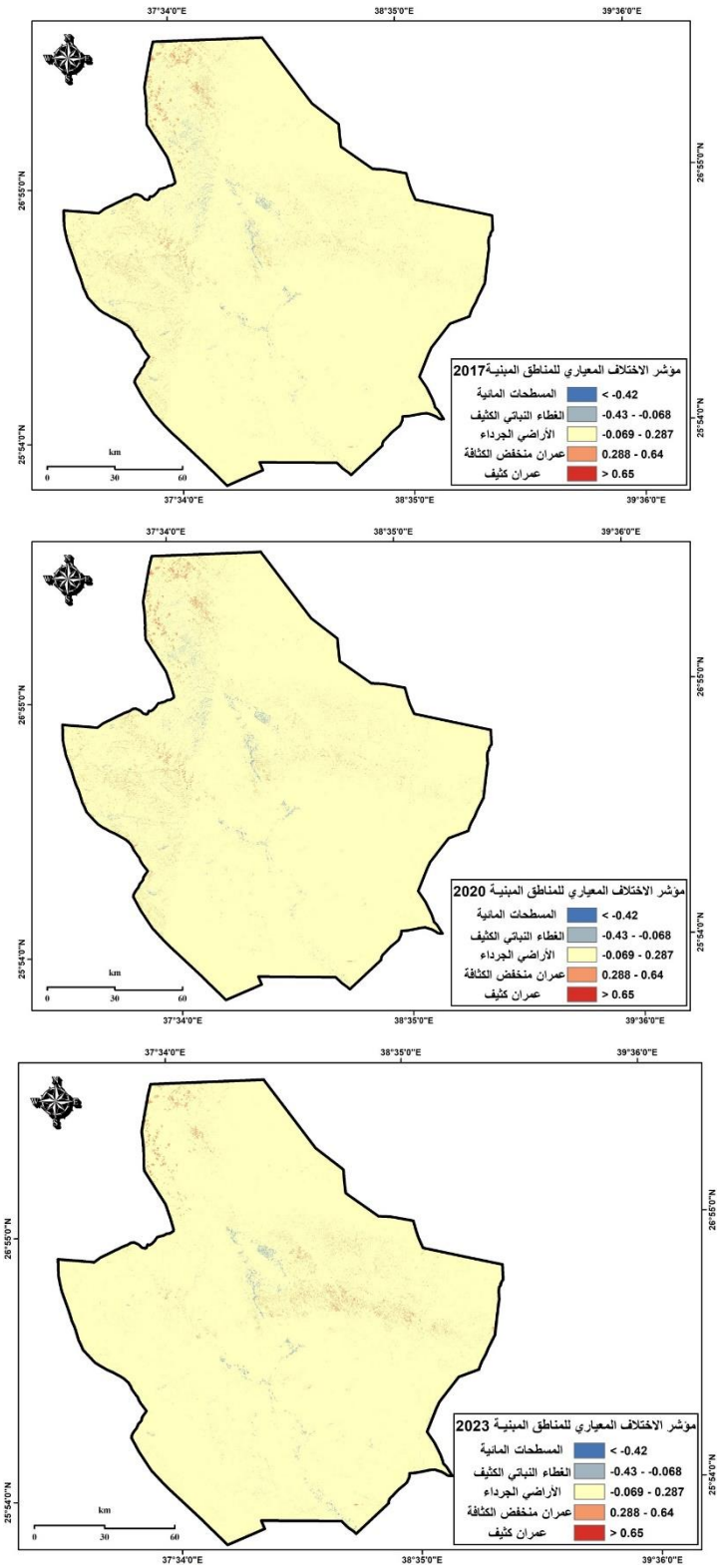
في حالتنا، وبتحليل الأرقام المستخرجة، يمكن القول أن المساحة العمرانية الإجمالية في العلا قد ازدادت بوضوح من 2017 إلى 2023، لكنها ظاهرة من الانتشار المكاني للبكسلات عالية NDBI. هذه الزيادة العمرانية تأتي على حساب الأراضي الطبيعية أو الزراعية المحيطة – وهو ما تم مناقشته في الفقرة التالية من حيث العلاقة العكسية بين NDBI وNDVI. كما تجدر الإشارة إلى أن مؤشر NDBI ليس محصوراً بالمناطق الحضرية الكبيرة فحسب، بل يكشف أيضاً عن البنية التحتية الخطية كشبكات الطرق ومواقع الإنشاء، إذ تظهر هذه العناصر بوضوح أكبر في خرائط NDBI مقارنة بصور الأقمار الأصلية، ومن ثم قدّمت خرائط NDBI أدلة بصرية وكمية قوية على مدى التغير في النسيج العمراني لمحافظة العلا خلال فترة الدراسة، مما يساعد على تقييم أثر التنمية الحضرية على البيئة المحلية. فيتضح من تحليل القيم في الشكل رقم (13) 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 و0.287 (أصفر) ← غالباً تشير إلى الأراضي الجرداء أو التربة المكشوفة التي لم يتم تطويرها بعد.
- القيم بين 0.288 و0.64 (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.

ISSN: 2706-6495



شكل رقم (13) تصنيف نطاقات مؤشر الاختلاف المعياري للمناطق المبنية (NDBI) لمحافظة العلا للأعوام 2017و 2020 و2023م

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

ISSN: 2706-6495

3.2.5. تحليل النتائج والمقارنة الزمنية:

بعد الحصول على خرائط التصنيف وفحوصات NDVI وNDBI لكل من 2017 و2020 و2023م، تم إجراء تحليل متكامل للنتائج بهدف فهم ديناميكية التغيرات المكانية والزمنية في منطقة الدراسة، وكذلك ربطها بالأسباب المحتملة الطبيعية منها والبشرية. وأبرز الاستنتاجات من المقارنة الزمنية ما يلي:

التغيرات في أنماط الغطاء الأرضي:

بينت خرائط التصنيف أنماطاً واضحة للتغير عبر السنوات الثلاث؛ فعلى الصعيد الكمي ازدادت مساحة المناطق العمرانية 0.3. سنة 2023 مقارنة بعام 2017، مما يؤكد وجود تمدد عمراني ملحوظ خلال تلك الفترة. ظهر هذا التوسع بشكل خاص حول مركز مدينة العلا والقرى المجاورة، وحيث أن التقارير الرسمية لا تذكر أسماء القرى الصغيرة المحيطة بالعلا بشكل صريح فيما يتعلق بالتمدّد العمراني إلا أن الإشارات المتاحة من خلال خطط التنمية والمصادر الحكومية تشير إلى مناطق محددة مثل: العلا الجنوبية، العلا الوسطى، الأحياء المحيطة بمركز المدينة القديمة وقد تشمل هذه الأحياء الأراضي الزراعية ذات الكثافة المنخفضة والمزارع الصغيرة في محيط العلا، حيث تحولت أجزاء من الأراضي الطبيعية أو الزراعية إلى استخدامات عمرانية أو تم إقامة مشاريع بنية تحتية عليها في المقابل، كانت مساحة الغطاء النباتي الكثيف شبه مستقرة إجمالاً، مع بعض الزيادات الموضعية كما في توسّع الواحات أو المزارع الجديدة، وبعض الانحسارات في أطراف المساحات المزروعة التي ربما تأثرت بالتوسع العمراني أو بنقص الموارد المائية. أما الأراضي الجرداء والصخرية فقد تقلّصت مساحتها قليلاً نتيجة تحويل أجزاء منها إلى مبانٍ أو طرق، لكن بقيت تغطي النسبة الأكبر من مساحة المحافظة بطبيعة حالها، أما نمط التغيرات المكانية يشير إلى ازدياد رقعة النشاط البشري (عمراناً وزراعة) ضمن واحات العلا وحول التجمعات السكانية، مقابل استقرار نسبي في المناطق النائية البعيدة عن مراكز التنمية. هذه الصورة تتفق مع ما هو متوقع في منطقة تشهد نمواً سياحياً وعمرانياً: حيث تتركز التغيرات في المناطق القريبة من خدمات البنية التحتية والطرق الرئيسية.

تأثير العوامل الطبيعية والبشرية على التغيرات:

يمكن إرجاع التغيرات الملحوظة إلى سببين رئيسيين: العوامل البشرية والعوامل الطبيعية:

بالنسبة للعوامل البشرية:

يُعَدّ التوسع العمراني من أبرز العوامل المؤثرة في تشكيل ملامح النسيج العمراني لمحافظة العلا خلال الفترة الأخيرة. فقد أدّت سياسات التنمية العمرانية، وبناء المساكن، وتشييد المرافق السياحية والخدمية إلى زيادة واضحة في عدد المباني والطرق، الأمر الذي انعكس على ارتفاع قيم مؤشر (NDBI) واتساع مساحة الفئة العمرانية ضمن تصنيفات استخدامات الأرض.

وفي المقابل، أدت الممارسات الزراعية دوراً موازياً في إعادة تشكيل الغطاء الأرضي، إذ إن استصلاح أراضٍ جديدة أو تحسين إدارة الأراضي الزراعية القائمة ساهم في رفع كثافة الغطاء النباتي وزيادة قيم مؤشر (NDVI) على المستوى المحلي. بينما أفضى إهمال بعض الأراضي الزراعية الواقعة عند أطراف الواحات أو تحويل أجزاء منها إلى استعمالات عمرانية إلى انخفاض ملحوظ في قيم NDVI.

ويمكن تفسير هذه التحولات المكانية جزئياً بعوامل بشرية مساندة، منها:

- اتجاهات الاستثمار الخاص نحو العلا، مستفيدةً من السياسات الحكومية الرامية إلى تعزيز التنمية في المنطقة.

- التسهيلات الحكومية مثل القروض الميسرة، منح الأراضي، وتبادل الخبرات مع المحيط الجغرافي للعلا.
- التوسع في شبكات الطرق.

أما العوامل الطبيعية: تشكل التباينات المناخية خلال فترة الدراسة عاملا مؤثرا، قد شهدت العلا سنوات ذات هطول مطري جيد أواخر العقد 2010-2020، فقد يفسر ذلك تحسناً عاماً طفيفاً في الغطاء النباتي الطبيعي (كالغطاء النباتي الموسمي في بطون الأودية)، والعكس صحيح؛ فسنوات الجفاف الشديد ربما قللت من نمو النباتات الطبيعية وفاقمت تدهور المراعي أيضاً، الأحداث الطبيعية المفاجئة كـالسيول أو الحرائق البرية (إن حدثت) قد تؤثر موضعياً على الغطاء الأرضي – إلا أنه لم يتم رصد تغييرات حادة غير مبررة في صور الأقمار تشير إلى أحداث كارثية خلال الفترة المدروسة، ومن ثم يمكن القول إن معظم التغيرات المرصودة هي نتاج للتدخل البشري المخطط أكثر من كونها تغيرات طبيعية عشوائية. وهذا يتسق مع الاتجاهات العالمية حيث تشكل الأنشطة البشرية المحرك الأكبر لتغير استخدامات الأراضي حالياً (Phiri et al., 2020).

الارتباط بين التغيرات في الغطاء النباتي والتمدد العمراني: عند عقد مقارنة خرائط NDVI وNDBI في فترة الدراسة، تتضح علاقة عكسية واضحة بين المؤشرين في المناطق التي شهدت تغيراً عمرانياً كبيراً. فالمناطق التي ارتفع فيها NDBI (أي زاد العمران والكتلة البنائية) تُظهر في الغالب انخفاضاً في NDVI (أي تناقص الغطاء النباتي) خلال نفس الفترة. ويُعَدّ ذلك منطقياً، إذ إن تمدد المباني والطرق يتم عادةً على حساب الأراضي الطبيعية أو الزراعية.

وقد أكدت عدة دراسات هذه العلاقة السلبية بين المؤشرين، على سبيل المثال: أشار (Zha et al.,2003) إلى أن استخدام NDVI وNDBI معاً يتيح تمييزاً فعالاً بين المناطق المبنية والمناطق النباتية، حيث وُجد ارتباط سلبي بين المؤشرين في مدينة لويانغ بالصين. كما وجدت دراسة Xu (2008) أن التوسع الحضري يؤدي غالباً إلى انخفاض NDVI بالتوازي مع ارتفاع NDBI، مشيرةً إلى أن العلاقة العكسية بين المؤشرين تُعدّ مؤشراً قوياً على التحول من الاستخدام الزراعي إلى العمراني. وأظهرت نتائج (Deng et al., 2015) في دراستهم حول النمو الحضري في شنغهاي أن ارتفاع NDBI يترافق بشكل مستمر مع انخفاض NDVI، مما يعكس استبدال الغطاء النباتي بالكتلة العمرانية. وعلى النطاق العربي، أوضحت دراسة (Alqurashi & Kumar .,2013) في السعودية أن المناطق العمرانية المتنامية تُظهر نمطاً واضحاً من العلاقة العكسية بين NDVI وNDBI عند تحليل صور Landsat.

وعلى الجانب الاخر، كلما زاد التوسع الحضري (NDBI) تراجع الغطاء الأخضر (NDVI). ففي حالتا (Saini.,2021)، نستطيع أن نرى ذلك بوضوح مثلاً في أطراف واحة العلا باتجاه الجنوب: فالمناطق التي كانت عند جنوب ووسط الواحة والتي تم رصف طريق جديد فيها أو إنشاء مبانٍ، انخفضت فيها قيم NDVI بالتزامن مع ارتفاع NDBI نتيجة اختفاء الغطاء النباتي الذي كان يغطي تلك البقعة قبل الإنشاء. وبالمثل، بعض الضواحي الجديدة مثل (سدرة المنتهي، الحي النموذجي الأول –أحياء العزيزية والسلام بجنوب العلا – العلا الوسطى) التي ظهرت في عام 2023 تتميز بقيم NDBI مرتفعة للغاية وNDVI شبه منعدم، بينما في عام 2017 كانت نفس المواقع تُظهر قيم NDVI معتدلة تدل على وجود بعض الأشجار أو الأعشاب قبل تطورها عمرانياً.

على الجانب الآخر رُصدت حالات معاكسة حيث أدى التشجير ضمن نطاق عمراني (كإنشاء حدائق أو غرس أشجار على الطرق) إلى رفع NDVI محلياً بالرغم من بقاء NDBI مرتفع، مما يدل على جهود لزيادة المسطحات الخضراء في بعض

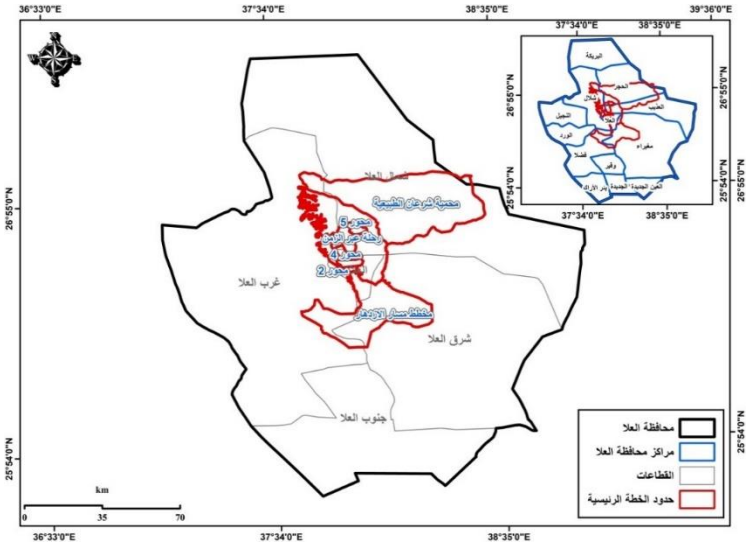
المشاريع. فعلى سبيل المثال، شهدت محافظة العلا تنفيذ مشاريع بارزة مثل تشجير محمية شرعان بزراعة نحو 500,000 شجرة وشجيرة محلية المنشأ ضمن موقع تجريبي مساحته 100 هكتار، وذلك في إطار المبادرة السعودية الخضراء (Royal Commission for AlUla, 2024) إضافة إلى خطة Journey Through Time التي تستهدف إنشاء ما يزيد عن 10 مليون متر مربع من المساحات الخضراء العامة وربطها بواحة ثقافية تمتد 9 كم ومسارات عامة بطول 20 كم (Royal Commission for AlUla, 2021). كما تضم بعض المشاريع الحضرية الحديثة مثل حي سدرة العلا والحي النموذجي الجديد مساحات خضراء داخل النطاق العمراني، بينما أُنشئ أيضاً مسار واحة العلا بطول يقارب 800 متر بمواد طبيعية معاد تدويرها لتعزيز الاستدامة البيئية. ويُمكن تلخيص أبرز هذه الجهود في أرقام: (500,000 شجرة مزروعة – 10 مليون م² مسطحات خضراء – 9 كم واحة – 20 كم مسارات عامة. (Royal Commission for AlUla, 2021)

وعلى العموم فإن العلاقة بينهم علاقة عكسية قوية: ازدياد العمران = تناقص الغطاء النباتي في أغلب المواقع، مما يتفق مع فهمنا للتنافس على موارد الأرض بين الاستخدامات البشرية والغطاء الطبيعي (Saini., 2021). وتعكس هذه العلاقة أهمية تحقيق توازن مستقبلاً، فإذا استمر التوسع العمراني دون إجراءات تعويضية (كالتشجير الحضري المتمثلة في منتزهات وطنية واسعة خضراء)، فقد يؤدي ذلك إلى تدهور عام في البيئة المحلية (بارتفاع الحرارة وتعرية التربة ونحوها). لذا فإن رصد كل من NDVI وNDBI معاً يقدّم منظوراً ثنائياً يكشف جوانب التأثير والتأثر: NDVI كمؤشر لصحة البيئة الطبيعية، وNDBI كمؤشر للنشاط البشري والتطوير العمراني. وفيما يخص مركز بئر الأراك، فقد أظهر مؤشر NDBI انخفاضاً ملحوظاً إذ لم تسجل سوى إشارات طفيفة ومتناثرة تدل على وجود مبانٍ محدودة. يشير هذا إلى عدم تعرض بئر الأراك لضغوط التوسع العمراني أو تغير الاستعمالات بشكل يذكر، وهو ما يتناسب مع كونه تجمعاً هامشياً جغرافياً.

كشفت نتائج التحليل الإحصائي لصور المرئيات الفضائية خلال فترة الدراسة عن تغيرات مكانية ونوعية ملحوظة في أنماط الغطاء الأرضي بالمحافظة تمثلت في توسع الرقعة العمرانية والزراعية على حساب الأراضي الجرداء، وهو ما يعكس توجهاً نحو التنمية المستدامة. فقد ارتفعت مساحة الأراضي المزروعة من 1.4٪ عام 2017 إلى 2.8٪ عام 2023، مع انخفاض الأراضي الجرداء بنحو 2٪ من إجمالي المساحة، بينما ظلت فئات المياه والغطاء النباتي الطبيعي شبه مستقرة. كما ساهمت المشاريع التنموية والبنية التحتية الحديثة في اتساع العمران خاصة حول مدينة العلا والمواقع السياحية، بالتوازي مع تحسن إدارة الموارد المائية في الواحات. وتشير المؤشرات الطيفية (NDVI) إلى زيادة محدودة في الغطاء النباتي داخل نطاق المشاريع العمرانية الجديدة. وبوجه عام يبرز التقييم الشامل للتغيرات أن العلا تمر بمرحلة انتقالية من المشهد الطبيعي نحو مشهد يغلب عليه طابع النشاط البشري، وهو ما يستدعي دمج نتائج هذا التقييم في عمليات التخطيط الاستراتيجي للمنطقة لضمان توافق التنمية مع مقدرات البيئة. على ضوء ما سبق، فإنه من الضروري استعراض المخططات الاستراتيجية التي وُضعت لمحافظة العلا ومقارنتها مع التغيرات الفعلية في الغطاء الأرضي.

المخطط الاستراتيجي العام لمحافظة العلا: تمثل الهيئة الملكية لمحافظة العلا (RCU)، التي أُنشئت عام 2017، الجهة المسؤولة عن تحقيق رؤية تطويرية شاملة تهدف إلى جعل العلا وجهة عالمية للسياحة الثقافية والطبيعية مع الحفاظ على الإرث الحضاري والبيئي المميز للمنطقة (Browne, 2024). ويُغطي المخطط الاستراتيجي العام مساحة تبلغ نحو 3505.54 كم² أي ما يعادل 15.53٪ من إجمالي مساحة المحافظة، وينقسم إلى ثلاثة مخططات رئيسية: رحلة عبر الزمن، ومسار الازدهار، ومحمية شرعان الطبيعية، كما يُوضح الشكل رقم (14) والجدول رقم (2).

ISSN: 2706-6495



شكل (14) المخطط الاستراتيجي العام لمحافظة العلا

المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات الهيئة الملكية للعلا عام 2024.

جدول (2) التوزيع النسبي لمساحة المخطط الاستراتيجي العام

المخطط	المساحة كم2	%
محمية شرعان الطبيعية	1524.990131	43.50225
محور 4 (الواحة النبطية)	103.130581	2.941929
محور 5 (الحجر)	30.056563	0.857401
محور 3 (جبل عكرمة)	24.517031	0.699379
محور 2 (واحة دادان)	33.454459	0.95433
محور 1(واحة العلا القديمة)	16.190404	0.461852
رحلة عبر الزمن (محور 1&2&3&4&5)	901.227059	25.70863
مخطط مسار الازدهار	871.976536	24.87422
إجمالي المخطط	3505.542764	100
إجمالي نسبة مساحة المخطط من مساحة محافظة العلا	22561.84549	15.537

المصدر: حساب الباحثين اعتمادا على بيانات الهيئة الملكية للعلا.

محمية شرعان: تُعد محمية شرعان الطبيعية الأكبر مساحةً بواقع 1524.99 كم² (43.5٪) من المخطط العام، بما يعكس أولوية الحفاظ البيئي في التخطيط. يليها رحلة عبر الزمن بمساحة 901.22 كم² (25.7٪) موزعة على خمسة محاور، أكبرها الواحة النبطية (103.13 كم²، 2.94٪)، بينما يشغل محور واحة العلا القديمة في الجنوب 16.19 كم² (0.46٪) فقط. أما مسار الازدهار فيغطي 871.97 كم² (24.87٪)، ما يشير إلى أهمية التنمية الاقتصادية والسياحية في هذا المسار الحيوي.

ويُظهر تحليل التوزيع المكاني للمخطط أن محمية شرعان تُهيمن بيئياً، بما يؤكد التزام الهيئة بمعايير الاستدامة البيئية، بينما يعكس التفاوت بين مساحات محاور "رحلة عبر الزمن" اختلاف الوظائف والكثافات العمرانية والقيود البيئية (Citaristi, 2022).

يُبرز المخطط كذلك التكامل بين الحفاظ البيئي والتنمية العمرانية بما يتوافق مع الهدف 11 من أهداف التنمية المستدامة (مدن ومجتمعات مستدامة) (Clark & Wu, 2016).

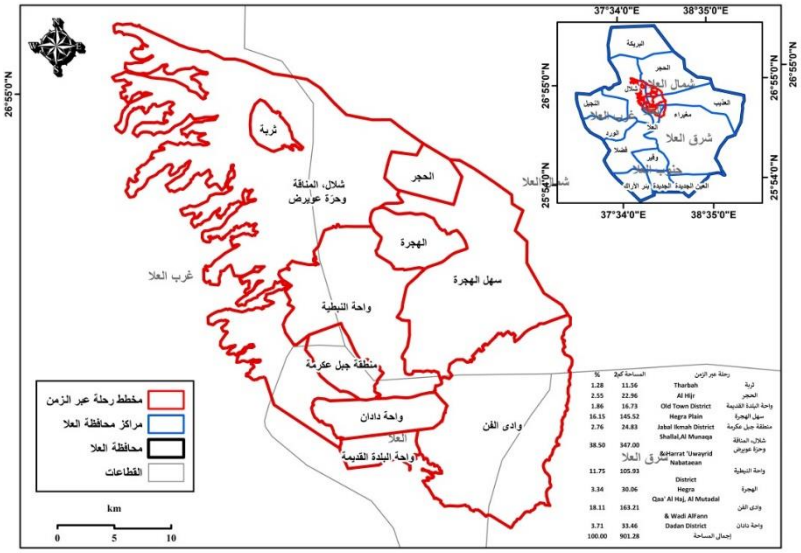
وتظهر في المقابل تحديات تخطيطية تتعلق بإدارة العلاقة بين المناطق المحمية والمناطق المطوّرة، خاصة مع محدودية مساحات بعض المحاور مثل محور "واحة العلا القديمة". لذا يُوصى بإجراء دراسات أثر بيئي تفصيلية، وتوثيق أسس تخصيص المساحات لتحقيق الشفافية، مع مراقبة التغيرات في الغطاء الأرضي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتقييم التباين المكاني والزماني وهو ما يمثل جوهر هذا البحث.

مخطط رحلة عبر الزمن: يُعد مخطط "رحلة عبر الزمن" أحد أبرز المشاريع الاستراتيجية التي أطلقتها الهيئة الملكية لمحافظة العلا عام 2016، بهدف تطوير قلب وادي العلا كوجهة ثقافية وسياحية عالمية. يمتد المخطط على مساحة 901.22 كم² تمثل 25.7٪ من إجمالي المخطط العام، ويتألف من خمسة محاور رئيسية تشمل: البلدة القديمة (واحة العلا القديمة)، واحة دادان، جبل عكرمة، الواحة النبطية، ومدينة الحجر التاريخية، إلى جانب محاور فرعية مثل سهل الهجرة، وثربة، ووادي الفن، وشلال، والمناقة، وحرّة عويرض.

يرتكز المخطط على دمج الحفاظ البيئي بالتنمية المستدامة، من خلال حلول تنقل صديقة للبيئة مثل الترام التاريخي، وشبكات المشاة والدراجات والخيول، إلى جانب إعادة إحياء الواحة الثقافية بزراعة النخيل واستصلاح الأراضي الزراعية، بما يعيد التوازن بين الماضي والحاضر (Labadi et al., 2021؛ رؤية السعودية 2030، 2016). كما يتضمن المشروع إنشاء 15 مَعلماً ثقافياً جديداً وإضافة 5000 غرفة فندقية ضمن مناطق التطوير الخمس، لتعزيز البنية السياحية المتكاملة. تُظهر نتائج التحليل الكمي للمخطط – وفق الشكل (15) والجدول (3) تبايناً مكانياً واضحاً، إذ تشكل مناطق شلال، المناقة، وحرّة عويرض في شمال العلا نحو 38.5٪ (347 كم²) من المساحة الكلية، تليها منطقة وادي الفن بنسبة 18.11٪ (163.21 كم²) كمشروع فني عالمي، ثم سهل الهجرة بنسبة 16.15٪ (145.52 كم²) الذي يضم مواقع أثرية بارزة مثل مدائن صالح. بينما يُعد محور ثربة الأصغر مساحةً بنسبة 1.28٪ (11.56 كم²)، في حين تحتل البلدة القديمة ومدينة الحجر التاريخية مساحة محدودة (22.96 كم²) لكنها ذات قيمة تراثية عالية.

وتُبرز التحليلات أن 20٪ من مساحة المخطط مخصصة للمواقع الأثرية مثل الهجرة ودادان والحجر، بينما 56.61٪ تغطيها المناطق الطبيعية كـ شلال ووادي الفن، ما يعكس تكامل السياحة الثقافية والبيئية. كما تمثل حرّة عويرض نموذجاً للتوازن بين الطبيعة والتراث من خلال تخصيصها كمنطقة طبيعية. يُظهر المخطط في مجمله تنوعاً وظيفياً وتكاملاً تخطيطياً بين عناصر الطبيعة، التراث، والفنون، بما يتوافق مع توجهات رؤية السعودية 2030 نحو تنمية عمرانية مستدامة تُعظِّم الموارد وتُرسّخ هوية العلا الثقافية والبيئية.

ISSN: 2706-6495



شكل رقم (15) المخطط الاستراتيجي لمخطط محور عبر الزمن

المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على بيانات الهيئة الملكية للعلا عام 2024.

جدول (3) التوزيع النسبي لمساحة مخطط رحلة عبر الزمن بالمخطط الاستراتيجي العام

رحلة عبر الزمن	المساحة م2	%
ثرية	11.56	1.28
الحجر	22.96	2.55
واحة البلدة القديمة (1)	16.73	1.86
سهل الهجرة	145.52	16.15
منطقة جبل عكرمة (3)	24.83	2.76
شلال، المناقة وحرّة عويرض	347.00	38.50
واحة النبطية (4)	105.93	11.75
الهجرة (5)	30.06	3.34
وادي الفن	163.21	18.11
واحة دادان(2)	33.46	3.71
إجمالي المساحة	**901.28**	**100**

المصدر: حساب الباحثين اعتمادا على بيانات الهيئة الملكية للعلا.

مخطط مسار الازدهار والتنمية الحضرية: يُعد مخطط مسار الازدهار جزءاً من المخطط العام الذي أعدّته الهيئة الملكية لتطوير المناطق الحضرية في مركز محافظة العلا وجنوبها. ويهدف إلى تحسين جودة الحياة من خلال تطوير أحياء سكنية متكاملة الخدمات، وإنشاء مراكز حضرية حديثة تضم حدائق، ومتنزهات، ومرافق تعليمية وصحية، ضمن إطار تصميمي يحافظ على الترابط البيئي مع الوادي والطبيعة المحيطة (رؤية السعودية 2030، 2016).

ISSN: 2706-6495

أوضح الشكل (16) والجدول (4) أن إجمالي مساحة المخطط بلغت 871.97 كم²، مع تباين واضح في التوزيع المكاني، إذ تهيمن مناطق واسعة مثل فضالة (397.08 كم²) والمنطقة الخارجية (335.18 كم²) بنسبة إجمالية 83.98% من المساحة، ما يعكس تخصيصها كمناطق طبيعية أو لمشروعات مستقبلية كبرى. بينما تُمثل المناطق المتوسطة والصغيرة مثل المغيرة، تلال الفقير، العلا المركزية، وجنوب العلا مساحات محدودة (لا تتجاوز 7%)، وتُعد نواة للتطوير العمراني والسياحة الثقافية والزراعة. وتشير نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 5) إلى تباين مكاني واضح بين الوحدات التخطيطية؛ حيث بلغ المتوسط الحسابي للمساحات 109 كم² والانحراف المعياري 160كم²، ما يدل على تشتت وعدم تجانس في توزيع المساحات. كما أظهر معامل التباين المرتفع (147%) تفاوتاً كبيراً بين المناطق الصغيرة مثل العلا المركزية (10.86كم²) والمناطق الكبيرة كـ فضالة (397كم²). فمن المنظور الجغرافي–التخطيطي، تُظهر الدراسة علاقة بين حجم المساحة وسرعة التنمية، إذ تسجل المناطق الصغيرة والقريبة من النواة الحضرية معدلات أسرع للتعمير نتيجة سهولة توفير الخدمات وانخفاض التكلفة، بينما تحتاج المناطق الواسعة إلى تخطيط مرحلي طويل الأمد واستثمارات كبيرة لتحقيق التنمية المستدامة. وتؤكد هذه النتائج أهمية اعتماد سياسات تنمية متوازنة تراعي الكفاءة المكانية والعدالة التنموية، بما ينسجم مع الأهداف الاستراتيجية لرؤية المملكة 2030 (الهيئة الملكية لمحافظة العلا، 2020، وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان، 2021).

جدول رقم (4) التوزيع النسبي لمساحة مخطط المسار الازدهار

المنطقة	المساحة كم2	%
العلا الخارجية	0.71	0.08
فضالة	397.08	45.54
تلال فقير	37.68	4.32
المغيرة	56.88	6.52
جنوب العلا	17.23	1.98
العلا المركزية	10.86	1.25
المنطقة الخارجية	335.18	38.44
العلا الخارجية	16.35	1.87
إجمالي مساحة المخطط	**871.97**	**100**

المصدر: حساب الباحثين اعتمادا على بيانات الهيئة الملكية للعلا.

جدول (5) المؤشرات الإحصائية لمساحات مناطق مخطط «مسار الازدهار» بمحافظة العلا

المؤشر	القيمة
المتوسط الحسابي	108.99 كم²
الانحراف المعياري	160.49 كم²
معامل التباين (CV)	147.25 %

المصدر: حساب الباحثين اعتمادا على بيانات الجدول رقم (4) في بيئة SPSS.

ISSN: 2706-6495

شكل رقم (16) توزيع مساحات مناطق مخطط «مسار الازدهار» مقارنة بالمتوسط الحسابي

المصدر: عمل الباحثين اعتمادا على بيانات الجدول رقم (4) في بيئة SPSS.

توافق المخططات مع التغيرات الواقعية في الغطاء الأرضي: يتضح عند مقارنة المخططات الاستراتيجية بالتغيرات الفعلية في الغطاء الأرضي توافقٌ واضحٌ بين التوجهات التخطيطية والواقع المكاني، إذ تركزت الزيادة العمرانية في وادي العلا والمناطق المحيطة به، وهي ذاتها المستهدفة بالتطوير السياحي في مخطط رحلة عبر الزمن، بينما يتطابق التوسع الزراعي مع جهود إحياء الواحة الزراعية.

كما أن انحسار الأراضي الجرداء يعكس توجه المخطط نحو تحويل أجزاء من الصحاري إلى استعمالات منتجة أو محميات طبيعية نشطة. ومع ذلك، فإن تحقيق الاستدامة يظل مرهوناً بآليات التنفيذ الميداني ومدى الالتزام بالضوابط البيئية. وتُعدّ منهجية التجديد الشامل التي تتبعها الهيئة الملكية ضماناً لتحقيق التوازن بين التطوير والحفاظ، من خلال التقييم البيئي والاجتماعي الدقيق لكل مشروع (Browne, 2024). وبوجه عام تُظهر المخططات الاستراتيجية للعلا استيعاباً ناجحاً لمعطيات التغيرات البيئية والمكانية؛ إذ تُوجّه النمو العمراني نحو مناطق محددة بالبنية التحتية، وتربط التوسع العمراني بإجراءات حماية بيئية متكاملة. وتبرز تجربة العلا كنموذج للتخطيط الإقليمي المتوازن الذي يدمج التنمية الاقتصادية بالحفاظ على الأصول البيئية والثقافية (Filippi & Mazzetto, 2024).

كما تؤكد الدراسات الحديثة أن مشروعات العلا تتبنى نهجاً واحداً يقوم على الاستدامة البيئية والتصميم المتكامل، بما يعكس التحول في سياسات التنمية السعودية نحو جعل صون البيئة ركيزة أساسية للتنمية الشاملة. المشروعات الجارية في التخطيط الحضري: شهدت محافظة العلا في السنوات الأخيرة إطلاق وتنفيذ حزمة من المشاريع التطويرية ضمن إطار رؤية 2030 ومبادرات التنمية المحلية، والتي كان لها أثر مباشر على أنماط الغطاء الأرضي في المنطقة. فيما يلي عرض لأبرز هذه المشروعات وتقييم ارتباطها بالتغيرات الحالية في الغطاء الأرضي من جوانب التوسع العمراني واستخدامات الأراضي والحفاظ على البيئة وتنمية السياحة والزراعة، ومنها: (مشاريع إحياء الواحات الزراعية- المحميات الطبيعية وإعادة التوطين الحيوي- المنتجعات السياحية والمرافق الثقافية البيئية – مشاريع البنية التحتية والمرافق العامة).

ISSN: 2706-6495

6. النتائج:

- تُظهر نتائج استخدامات الأراضي هيمنة الاستخدام الزراعي في بعض المراكز بنسبة 91.54%، بينما يتركز الاستخدام السكني والتجاري في مركز العلا.
- تُظهر البيانات ارتفاعاً كبيراً في مساحة المناطق العمرانية من 0.07% (16.561 كم²) عام 2017م إلى 0.44% (98.829 كم²) عام 2023م، مما يعكس التوسع العمراني السريع في محافظة العلا.
- تشهد الأراضي الزراعية زيادة مطردة من 1.4% (316.726 كم²) عام 2017م إلى 2.78% (628.192 كم²) عام 2023، نتيجة مشاريع الاستصلاح الزراعي وتحسين إدارة الموارد المائية.
- تناقصت مساحة الأراضي الجرداء من 98.58% (22228.534 كم²)عام 2017م إلى 96.78% (21834.522كم²) عام 2023م بسبب التحول إلى استخدامات عمرانية وزراعية.
- تركز التوسع العمراني في المناطق الجنوبية من المحافظة، مما يدل على اتجاه التنمية نحو هذه المناطق.
- تعكس النتائج تأثير المشاريع التنموية وسياسات التطوير، خاصة في ظل رؤية 2030، على أنماط استخدام الأراضي في المحافظة.
- يُسجّل توسع عمراني غير متوازن في محافظة العلا، حيث تركز 85% من النمو في مدينة العلا والمراكز القريبة (العذيب، فضلا) بينما شهدت المراكز البعيدة (شلال، بئر الأراك) نمواً محدوداً لا يتجاوز 5%.
- يُظهر تحليل صور الأقمار الصناعية زيادة مضاعفة للمساحة العمرانية في العلا من 16.5 كم² عام 2017م إلى 98.8 كم² عام 2023م، مع تحول 12% من الأراضي الزراعية المحيطة إلى استخدامات عمرانية.
- يكشف مؤشر NDBI ارتفاعاً حاداً في المناطق المركزية (قيم 0.65+)، مقابل بقاء المراكز النائية عند مستويات متدنية (أقل من 0.2)، مما يعكس تفاوتاً تنموياً واضحاً.
- يُبرز تحليل NDVI فقدان 8% من الغطاء النباتي حول الأطراف العمرانية، رغم تحسنه بنسبة 15% في الواحات الرئيسية بفضل مشاريع التشجير.
- أبرزت النتائج أهمية استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد في رصد التغيرات العمرانية والبيئية بدقة على فترات قريبة.
- أكدت النتائج أن التوسع العمراني في المحافظة لم يكن متجانساً، بل تأثر بالموقع الجغرافي والطبوغرافية الجغرافية والدعم التنموي وموارد كل منطقة.
- ثبتت المؤشرات الطيفية NDVI و NDB فعاليتها في توفير بيانات كمية دقيقة عن تغيرات استخدامات الأراضي.
- غطي المخطط الاستراتيجي العام 15.53% من مساحة المحافظة، موزعاً على ثلاث مكونات رئيسة.
- احتلت محمية شرعان الطبيعية 43.5% من مساحة المخطط، مما يعكس أولوية الحفاظ البيئي والحرص على استدامته.
- استحوذت مخطط "رحلة عبر الزمن" على 25.7% من المساحة، بينما يشغل "مسار الازدهار" 24.87%.
- انخفضت مساحة الأراضي الجرداء بنسبة 2% نتيجة التحول إلى استخدامات عمرانية وزراعية.
- برز المخطط الاستراتيجي أولوية الحفاظ على البيئة مع تخصيص 80% من مساحة المحافظة كمحميات طبيعية.
- سجل التوسع العمراني نمواً مدروساً مركزاً في مناطق محددة، مع الحفاظ على 80% من الأراضي كمحميات طبيعية.
- أظهرت البيانات أهمية التكامل بين التخطيط العمراني والاستدامة البيئية في تحقيق رؤية 2030.

- أستحوذ محور شلال والمناقة وحرّة عويرض على أكبر مساحة (347 كم²، 38.5%)، يعكس طبيعته الصحراوية الواسعة.
- أشارت نجاح تجربة العلا إلى إمكانية تطبيق نموذج التنمية المستدامة في مناطق صحراوية مماثلة.

7. التوصيات:

- وضع سياسات تخطيطية للوقوف على التفاوت التنموي بين المراكز الحضرية والريفية .
- تحقيق التوازن بين التوسع العمراني والحفاظ على الأراضي الزراعية، خاصةً مع تحول 12% منها إلى استخدامات عمرانية .
- دراسة إمكانية توجيه النمو العمراني نحو المناطق الجنوبية والغربية لضمان تنمية متوازنة .
- ضرورة تبني نهج تخطيطي متكامل يراعي الخصائص المحلية لكل مركز من مراكز محافظة العلا (سواء الزراعية أو السياحية أو الحضرية)، مع الأخذ في الاعتبار الفوارق البيئية والاقتصادية والاجتماعية، وبما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة 2030 في تطوير المناطق وتحقيق تنمية مكانية مستدامة.
- تعزيز التنويع الاقتصادي عبر دعم القطاع السياحي والزراعي معاً.
- تطوير سياحة بيئية وثقافية مستدامة، مع حماية المواقع الأثرية (مثل مدائن صالح).
- دمج التراث الثقافي في المشاريع التنموية (مثل استكمال ترميم البلدة القديمة) .
- ضمان مشاركة المجتمع المحلي في صنع القرار لتحقيق تنمية شاملة .
- إجراء تقييمات دورية للأثر البيئي والاجتماعي للمشاريع التنموية .
- استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بُعد لرصد التغيرات العمرانية واتخاذ قرارات مدعومة بالبيانات .

8. المصادر والمراجع:

1.8. المراجع العربية:

أبو حسان، صالح أحمد (2004م). المخططات التنظيمية وواقع استعمالات الأراضي في مدينة دورا، (رسالة ماجستير منشورة)، جامعة النجاح، فلسطين، نابلس.

إسماعيل، أحمد علي (1988م) جغرافية المدن الطبعة الرابعة، دار الثقافة والنشر والتوزيع القاهرة.

البيشي، مرعى بن محمد (2015م). رصد التغيرات استخدامات الأراضي في وسط المدينة المنورة في الفترة بين هجرة الرسول حتى عام 1435 هجرية: دراسة جغرافية، مجلة جامعة طيبة للآداب والعلوم الانسانية، السنة الخامسة، العدد 10.

داود، جمعة محمد (2012م). أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية، النسخة الأولى.

زريقات، دلال والحسبان، يسرى (2012م). كشف التغير في الغطاء الأرضي باستخدام الصور الجوية ونظم المعلومات الجغرافية في قضاء برما -جرش، المجلة الأردنية للعلوم الاجتماعية، المجلد الخامس، العدد الأول.

الزغول، ميسون بركات (2020م). الكشف عن التغيرات في استعمالات الأراضي والغطاءات الأرضية في محافظة محايل عسير (المملكة العربية السعودية) خلال الفترة 1990-2019م باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، مجلة اتحاد الجامعات العربية للآداب، المجلد 127، العدد 2، ص ص 569-596.

الساعدي، علا هاشم (2006م). استعمالات الأرض الحضرية ناحية بغداد الجديدة، (رسالة ماجستير منشورة)، جامعة بغداد.

شولى، منار محمد (2008م). دراسة غطاءات الأراضي في منطقة نابلس باستخدام الاستشعار عن بعد، (رسالة ماجستير منشورة)، كلية الآداب جامعة النجاح الوطنية، نابلس.

صباح، فيصل يوسف (2003م). التركيب الحضري وانعكاساته على تخطيط استعمالات الأرض في مدينة بيرنبالا الفلسطينية (رسالة ماجستير منشورة)، جامعة النجاح الوطنية، نابلس.

الطعانى، ايمن عبد الكريم وطاران، عايد محمد (2020م). تقييم استخدامات الأرض في المدينة المنورة باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (دراسة مقارنة)، المجلة الدولية للتخطيط الحضري والتنمية المستدامة، المجلد 3، العدد 1، المملكة العربية السعودية.

عبد العظيم، أحمد عادل (2018م). البيئة والتنمية المستدامة، الطبعة الأولى، مؤسسة طيبة للنشر والتوزيع، القاهرة.

عبده، وسام الدين (2013م). مقدمة إلى الاستشعار عن بعد وتطبيقاته، الطبعة الأولى، مكتبة المتنبي، الدمام.

الغامدي، سعد أبو راس (2006م). تصنيف استخدامات الأراضي في مدينة مكة المكرمة عن طريق معالجة بيانات أقمار صناعية مدمجة، المجلة الجغرافية العربية الجمعية الجغرافية المصرية، ع٤٧،ج، القاهرة.

غنيم، عثمان محمد (2008م). تخطيط استخدام الأرض الريفي والحضري، الطبعة الثانية، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان.

هادي، خلود على (2011م). تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في خرائط استعمالات الأرض التعلمية لمدينة بعقوبة، مجلة ديالى، العدد الثامن والأربعون، العراق.

الهيئة العامة للإحصاء (2022م). نتائج التعداد العام للسكان والمساكن في المملكة العربية السعودية. الهيئة العامة للإحصاء، الرياض.

الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة (2020م). النشرة المناخية السنوية للمملكة العربية السعودية، جدة.

الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية (1442هـ). خريطة المملكة العربية السعودية، وعلى وزارة الشؤون البلدية والقروية، أمانة منطقة المدينة المنورة ،2020م.

الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية (1442هـ). خريطة المملكة العربية السعودية وخريطة التربة لمنطقة المدينة المنورة [خرائط رقمية]. الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، الرياض. تم تحليل البيانات باستخدام برنامج ArcGIS 10.8 for Desktop.

الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية (2021م). الأطلس الوطني للمملكة العربية السعودية. الرياض: الهيئة العامة للمساحة.

الهيئة الملكية لمحافظة العُلا (2022م). تقرير التنمية المستدامة لمحافظة العُلا، العُلا: إدارة الدراسات التخطيطية.

الهيئة الملكية لمحافظة العُلا (2023م). خطة العُلا الاستراتيجية ورؤية التنمية المستدامة 2030.

وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان (2021م). التقرير الإقليمي لمنطقة المدينة المنوّرة، الرياض.

وزارة الشؤون البلدية والقروية (1420هـ). المخطط الاستراتيجي لمحافظة العُلا [تقرير تخطيطي]. وزارة الشؤون البلدية والقروية، المملكة العربية السعودية.

الوليعي، عبد الله ناصر (2021م). المدخل إلى الجغرافيا الطبيعية والبشرية، الطبعة الثامنة، مكتبة الراشد، الرياض.

يحيى، حسن عايل والدوعان، محمود إبراهيم (2000م). مختارات من المصطلحات الجغرافية، الدار الصولتية للنشر والتوزيع، الرياض.

2.8. المراجع الأجنبية:

Deng, C., Wu, C., Li, J., & Chen, R. (2015). Detecting urban growth using remote sensing and spatial metrics in Shanghai, China. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 101, 62–74.

Abdallah, S., Abd elmohemen, M., Hemdan, S., & Ibrahem, K. (2019). Assessment of land use/land cover changes induced by Jizan Dam, Saudi Arabia, and their effect on soil organic carbon. Arabian Journal of Geosciences, 12(11), 350.

Abdelkareem, M., & Mansour, A. M. (2023). Risk assessment and management of vulnerable areas to flash flood hazards in arid regions using remote sensing and GIS-based knowledge-driven techniques. Natural Hazards, 117(3), 2269-2295.

Abdelkarim, A., Alogayell, H. M., Alkadi, I. I., & Youssef, I. (2022). Spatial–temporal prediction model for land cover of the rural–urban continuum axis between Ar-Riyadh and Al-Kharj cities in KSA in the year of 2030 using the integration of CA–Markov model, GIS-MCA, and AHP. Applied Geomatics, 14(3), 501-525.

Alqurashi, A. F., & Kumar, L. (2013). Investigating the use of remote sensing and GIS techniques to detect land use and land cover change: A review. Advances in Remote Sensing, 2(2), 193-204.

Alqurashi, A. F., & Kumar, L. (2019). An assessment of the impact of urbanization and land use changes in the fast-growing cities of Saudi Arabia. Geocarto International, 34(1), 78-97.

Badlani, B., Patel, A. N., Patel, K., & Kalubarme, M. H. (2017). Urban growth monitoring using remote sensing and geo-informatics: case study of Gandhinagar, Gujarat state (India). International journal of geosciences, 8(4), 563-576.

Bajocco, S., De Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., & Salvati, L. (2012). The impact of land use/land cover changes on land degradation dynamics: a Mediterranean case study. Environmental management, 49(5), 980-989.

Baz, I., Geymen, A., & Er, S. N. (2009). Development and application of GIS-based analysis/synthesis modeling techniques for urban planning of Istanbul Metropolitan Area. Advances in Engineering Software, 40(2), 128-140.

Browne, S. J. (2024). The Comprehensive Regeneration Approach as a Framework for Sustainable Development and Biodiversity. SCIENCE, 2(5).

Citaristi, I. (2022). United nations human settlements programme—UN-habitat. In The Europa directory of international organizations 2022 (pp. 240-243). Routledge.

Clark, H., & Wu, H. (2016). The sustainable development goals: 17 goals to transform our world. Furthering the work of the United Nations, 36-54.

Di Gregorio, A., & Jansen, L. J. (1998). Land Cover Classification System (LCCS): classification concepts and user manual. FAO, Rome.

Experience AlUla. (2024). Saudi Green Initiative projects in AlUla: Expanding green spaces and sustainability programs. Royal Commission for AlUla, Saudi Arabia.

Filippi, L. D., & Mazzetto, S. (2024). Comparing AlUla and the red sea Saudi Arabia's Giga projects on tourism towards a sustainable change in destination development. Sustainability, 16(5), 2117.

Gebrehiwot, G. H., Bekitie, K. T., Yohannes, H., Anose, F. A., & Gebremichael, H. B. (2024). Time series land use/land cover mapping and change detection to support policies on sustainable environmental and economic management. Environmental Systems Research, 13(1), 33.

Harris, T. M., & Elmes, G. A. (1993). The application of GIS in urban and regional planning: a review of the North American experience. Applied geography, 13(1), 9-27.

Kiggundu, N., Abugri Anaba, L., Banadda, N., Wanyama, J., & Kabenge, I. (2018). Assessing land use and land cover changes in the Murchison Bay catchment of Lake Victoria basin in Uganda.

Labadi, S., Giliberto, F., Rosetti, I., Shetabi, L., & Yildirim, E. (2021). Heritage and the sustainable development goals: Policy guidance for heritage and development actors. International Journal of Heritage Studies.

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.

Lei, T. L. (2021). Integrating GIS and location modeling: A relational approach. Transactions in GIS, 25(4), 1693-1715.

Lin, L., Hao, Z., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Yu, K., Yang, L., & Liu, J. (2020). Monitoring land cover change on a rapidly urbanizing island using Google Earth Engine. Applied Sciences, 10(20), 7336.

Nambiar, K. G., Morgenshtern, V. I., Hochreuther, P., Seehaus, T., & Braun, M. H. (2022). A self-trained model for cloud, shadow and snow detection in sentinel-2 images of snow- and ice-covered regions. Remote Sensing, 14(8), 1825.

Nasiri, V., Deljouei, A., Moradi, F., Sadeghi, S. M. M., & Borz, S. A. (2022). Land use and land cover mapping using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A comparison of two composition methods. Remote sensing, 14(9), 1977.

Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., & Anandhi, A. (2021). A synthesis of land use/land cover studies: Definitions, classification systems, meta-studies, challenges and knowledge gaps on a global landscape. Land, 10(9), 994.

Overvag, K., Xue, J., Steffansen, R. N., & Singsaas, M. (2024). Land use planning as an instrument for more environmentally sustainable second-home developments: Hindrances and potentials. Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography, 78(4), 210-221.

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.

Rahman, M. T. (2016). Detection of land use/land cover changes and urban sprawl in Al-Khobar, Saudi Arabia: An analysis of multi-temporal remote sensing data. ISPRS International Journal of Geo-Information, 5(2), 15.

Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(1), 77-84.

Royal Commission for AlUla. (2021, April 7). Journey Through Time Masterplan. Royal Commission for AlUla. https://www.rcu.gov.sa/en/strategic-initiatives/journey-through-time-masterplan.

Royal Commission for AlUla. (2021, April 7). Journey Through Time Masterplan: The next chapter in AlUla's legacy. Royal Commission for AlUla. https://www.rcu.gov.sa/en/strategic-initiatives/journey-through-time-masterplan.

Royal Commission for AlUla. (2024, December 3). RCU plants 500,000 trees and shrubs in Sharaan Nature Reserve. Royal Commission for AlUla. https://www.rcu.gov.sa/media-resources/news-press/rcu-plants-500%2C000-trees.

Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. International Journal of Geosciences, 8(04), 611.

Sohl, T., Schleeweis, K., Herold, N., Lang, M., La Puma, I. P., Wickham, J., ... & Wu, Z. (2025). An interagency perspective on improving consistency and transparency of land use and land cover mapping (No. 1549). US Geological Survey.

Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Rivera-Torres, H., Sadeck, L., & Adami, M. (2023). Google Earth Engine: a global analysis and future trends. Remote Sensing, 15(14), 3675.

Ward, D., Phinn, S. R., & Murray, A. T. (2000). Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data. The Professional Geographer, 52(3), 371-386.

Xu, H. (2008). A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. International journal of remote sensing, 29(14), 4269-4276.

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.

Younes, A., Ahmad, A., Hanjagi, A. D., & Nair, A. M. (2023). Understanding dynamics of land use & land cover change using GIS & change detection techniques in Tartous, Syria. European Journal of Geography, 14(3), 20-41.

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.

جميع الحقوق محفوظة © 2025، الباحثة/ سهام بنت سعدي بن سعيد السلمي، الأستاذ الدكتور/ مساعد بن عبد الرحمن بن ناصر الجخيدب، المجلة الأكاديمية للأبحاث والنشر العلمي (CC BY NC)

Doi: http://doi.org/10.52132/Ajrsp/v7.80.3