

ديناميكيات الغطاء الزراعي في مركز الخطة بمنطقة حائل ما بين عامي (2015–2025) باستخدام الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية

Agricultural Land-Cover Dynamics in Al-Khuttah Village, Hail Region (2015–2025) Using Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS)

إعداد:

الباحثة/ هدى بنت عبدالعزيز الشمري

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

Email: hdoop09@gmail.com

الأستاذ الدكتور/ أحمد بن محمد البسام

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

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى رصد وتحليل ديناميكيات الغطاء الزراعي في مركز الخطة بمنطقة حائل خلال الفترة (2015–2025)، باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية. اعتمدت الدراسة على مرئيات Landsat 8 وLandsat 9، وتمت معالجتها داخل منصة Google Earth Engine بعد فلترة الغيوم وقص المرئيات على حدود منطقة الدراسة. كما تم اشتقاق مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) سنويًا، وتقدير نسبة الغطاء الزراعي من خلال تصنيف قيم المؤشر وفق عتبة رقمية بلغت (0.35)، مع تطبيق قناع الانحدار للمناطق التي يقل ميلها عن 7 درجات. أظهرت النتائج أن متوسط القيمة السنوية القصوى لمؤشر NDVI تراوح بين 0.155 و0.194، حيث سُجلت أدنى قيمة عام 2017، وأعلى قيمة عام 2023. كما ارتفعت قيمة المؤشر من 0.159 عام 2015 إلى 0.183 عام 2025، بما يعكس تحسنًا نسبيًا في الإشارة الطيفية للغطاء النباتي. وفي المقابل، أظهرت نتائج الغطاء الزراعي المصنف تراجعًا في الامتداد المساحي من 1.374% عام 2015 إلى 1.002% عام 2025، بمعدل تغير كلي بلغ نحو -27.09%. كما أسهمت خرائط عامي 2015 و2025 وخريطة التغير المكاني في توضيح مناطق الزيادة والتراجع داخل حدود منطقة الدراسة. وتوصي الدراسة بأهمية الاستفادة من المؤشرات الطيفية والتحليل المكاني في متابعة التغيرات الزراعية، ودعم التخطيط المستدام وإدارة استخدامات الأراضي في البيئات الجافة وشبه الجافة، مع إمكانية تحديث النتائج دوريًا لمساندة القرار المكاني.

الكلمات المفتاحية: الغطاء الزراعي، الاستشعار عن بُعد، نظم المعلومات الجغرافية، مؤشر NDVI، مركز الخطة، حائل

Agricultural Land-Cover Dynamics in Al-Khuttah Village, Hail Region (2015–2025) Using Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS)

Huda Abdulaziz Fahad Alshammari

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

Professor Dr. Ahmed bin Mohammed Al-Bassam

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

Abstract:

This study aims to monitor and analyze agricultural land-cover dynamics in Al-Khuttah Center, Hail Region, during the period 2015–2025 using remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). The study relied on Landsat 8 and Landsat 9 satellite imagery, which was processed within the Google Earth Engine platform after cloud filtering and clipping the images to the boundaries of the study area. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was derived annually, and agricultural cover was estimated by classifying NDVI values using a fixed threshold of 0.35, along with applying a slope mask for areas with slopes of less than 7 degrees. The results showed that the annual peak NDVI average ranged between 0.155 and 0.194, with the lowest value recorded in 2017 and the highest in 2023. NDVI increased from 0.159 in 2015 to 0.183 in 2025, indicating a relative improvement in the spectral response of vegetation cover. In contrast, the classified agricultural cover showed a decline in spatial extent from 1.374% in 2015 to 1.002% in 2025, with an overall change rate of approximately -27.09%. The study recommends using spectral indices and spatial analysis to monitor agricultural changes and support sustainable planning and land-use management in arid and semi-arid environments.

Keywords: Agricultural land cover, Remote sensing, Geographic Information Systems, NDVI, Al-Khuttah Center, Hail Region.

1. المقدمة:

تتجه رؤية المملكة العربية السعودية 2030 إلى تعزيز استدامة القطاع الزراعي من خلال تطبيق أحدث التقنيات وتنفيذ برامج التنمية الريفية الزراعية المستدامة، لتحقيق الأمن الغذائي والاكتفاء الذاتي وزيادة المساحات الخضراء في المملكة. وقد ركزت السياسات الجديدة على الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية، والاعتماد على الأساليب الذكية في الإدارة الزراعية وتحسين الإنتاجية، بالإضافة إلى دعم المبادرات الوطنية لزيادة الغطاء النباتي والحد من التصحر كأحد مستهدفات "مبادرة السعودية الخضراء".

تُعد دراسة التغيرات المكانية والزمنية في الغطاء الزراعي من الاتجاهات العلمية الحديثة التي تسهم في تفسير العلاقة بين الأنشطة البشرية والعوامل البيئية المؤثرة في النظم الزراعية. يُعتبر الغطاء الزراعي مؤشراً حيوياً على كفاءة استخدام الموارد الطبيعية ومدى استدامة التنمية الريفية. وقد شهدت المناطق الزراعية في شمال المملكة العربية السعودية، ومنها مركز الخطة بمنطقة حائل، تحولات واضحة خلال العقد الأخير نتيجة للتغيرات المناخية، وضغوط النمو السكاني، والأنماط الزراعية المتغيرة.

تُعد تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية أدوات فعالة لرصد وتحليل التغيرات في الغطاء النباتي، إذ تتيح إمكانية الكشف الكمي والدوري عن التحولات الزراعية، ما يسهم في وضع استراتيجيات فعالة لإدارة الموارد الزراعية ومواكبة متطلبات التنمية المستدامة في البيئات الجافة وشبه الجافة (الشهري، 2023).

حيث توفر تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) أدوات متقدمة لرصد وتحليل تلك التغيرات بدقة زمنية ومكانية عالية، مما يُمكن من بناء قواعد بيانات مكانية تسهم في إعداد خرائط شاملة لتطور الغطاء الزراعي. وتتيح تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) رصد مؤشرات الغطاء النباتي مثل مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) بصورة دورية، وتحويلها إلى مؤشرات كمية وخرائط تُمكن من تتبع اتجاهات الغطاء الزراعي مكانياً وزمنياً، بما يدعم التخطيط الزراعي وإدارة الموارد على مستوى المنطقة. وعليه، تركّز هذه الدراسة على تحليل ديناميكيات الغطاء الزراعي ما بين عامي (2015-2025) بالاعتماد على صور Landsat 8 و9، وحساب NDVI سنوياً، واستخراج منحنيات التغير ومؤشرات النسبة المئوية للغطاء الزراعي ضمن حدود مركز الخطة.

1.1. مشكلة البحث:

يُعد تذبذب الغطاء الزراعي عبر الزمن من الظواهر التي تتطلب الرصد والتحليل لفهم اتجاهات التغير المكاني والزمني. وقد أسهمت تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في توفير أدوات كمية دقيقة، مثل مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI)، التي تُمكن من تتبع هذه التغيرات وتحليلها بشكل منتظم، مما يدعم تفسير ديناميكيات الغطاء الزراعي داخل مناطق الدراسة.

تواجه المناطق الزراعية في مركز الخطة بمنطقة حائل تحديات تتعلق بتذبذب الغطاء الزراعي وتغيره عبر الزمن، في ظل ضغوط بيئية وإدارية وتغيرات في أنماط استخدام الأراضي. ورغم أهمية هذا القطاع، ما تزال الدراسات التي توثق التغيرات المكانية والزمنية للغطاء الزراعي بصورة كمية داخل مركز الخطة ما بين عامي (2015-2025) محدودة، مما يقلل من وضوح الصورة حول اتجاهات الزيادة أو التراجع على مستوى المنطقة.

وتتمثل مشكلة البحث في الحاجة إلى بناء تحليل كمي يعتمد على بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لاستخراج مؤشرات قابلة للقياس والمقارنة، مثل مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر النسبة المئوية للغطاء الزراعي سنوياً، وإظهارها خرائطياً وإحصائياً. ويسعى البحث إلى سد هذه الفجوة من خلال رصد التغيرات السنوية للغطاء الزراعي وقياس اتجاهاتها داخل حدود مركز الخطة، بما يوفر أساساً معلوماتياً أدق لدعم المتابعة والتخطيط الزراعي وإدارة الموارد.

2.1. أهداف البحث:

- 1- حساب مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) سنويًا لمنطقة الدراسة ما بين عامي (2015-2025) واستخراج منحني Peak NDVI (على أساس متوسط القيم العظمى السنوية داخل المنطقة) لقياس اتجاهات النشاط النباتي.
- 2- تقدير الغطاء الزراعي سنويًا عبر تصنيف قيم NDVI بعتبة محددة (TH)، وحساب النسبة المئوية للغطاء الزراعي لكل سنة داخل حدود مركز الخطة.
- 3- إنتاج خرائط التغير المكاني ما بين عامي 2015 و2025 (زيادة/ثبات/تراجع) وإظهار مناطق التحول داخل حدود المنطقة.
- 4- حساب معدل التغير الكلي للغطاء الزراعي ما بين (2015-2025) كمؤشر كمي داعم للمقارنة الزمنية وتلخيص الاتجاه العام للتغير.
- 5- بناء قاعدة بيانات مكانية/جدولية (GIS + CSV) لنتائج NDVI والغطاء الزراعي بهدف دعم التحليل والمقارنة وإعداد الرسوم البيانية.

3.1. أهمية البحث:

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من مساهمتها في دعم الاستدامة البيئية وإدارة الموارد الزراعية وفق توجهات رؤية السعودية 2030، وذلك عبر تقديم قراءة مكانية-زمانية موثوقة للتغيرات التي تطرأ على الغطاء الزراعي في مركز الخطة بمنطقة حائل ما بين عامي (2015-2025). وتوفر الدراسة أساسًا معلوماتيًا يساعد على فهم اتجاهات التحسن أو التراجع في الغطاء الزراعي داخل المنطقة، وتقليل الاعتماد على الانطباعات العامة غير المدعومة بقياس كمي، بما يعزز جودة التخطيط والمتابعة واتخاذ القرار. وتبرز أهمية الدراسة في الآتي، إذ تُعد من أوائل الدراسات التي تناولت ديناميكيات الغطاء الزراعي في مركز الخطة بمنطقة حائل باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية:

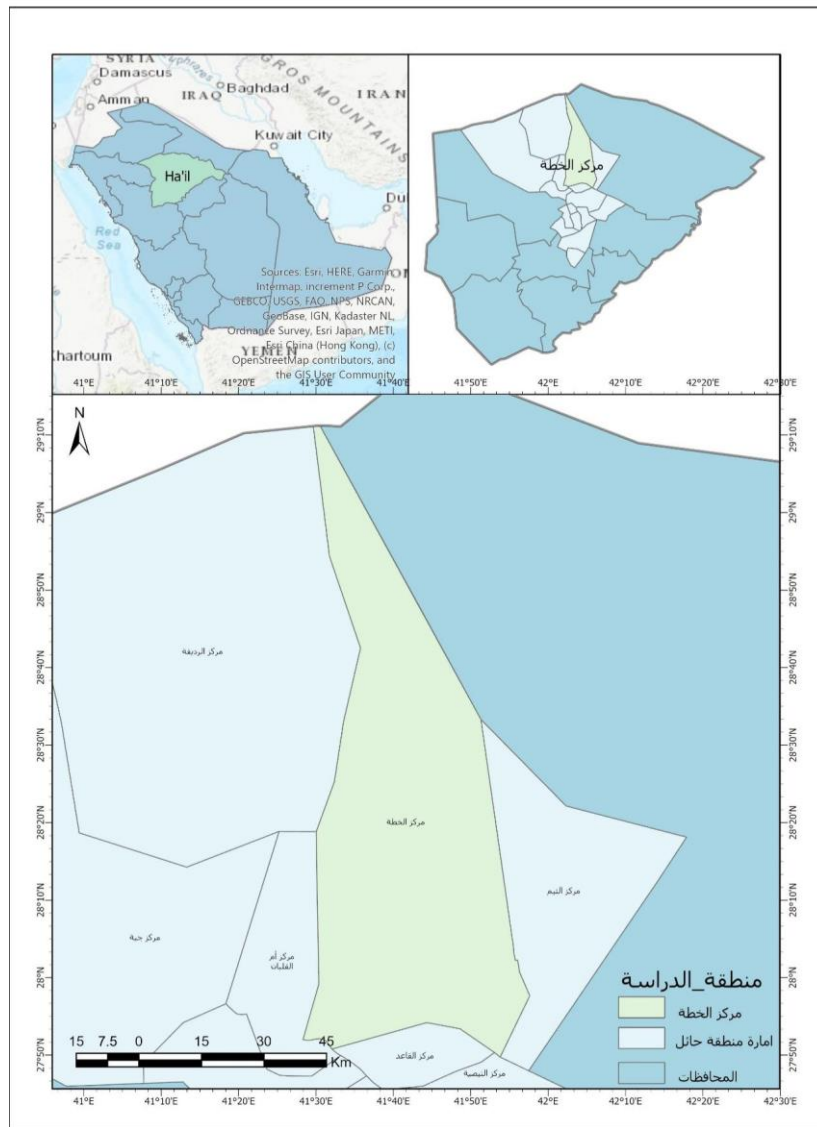
- رفع جودة القرار من خلال توفير مؤشرات كمية قابلة للمقارنة بدل التقديرات الوصفية العامة.
- مساعدة الجهات المعنية على تحديد أولويات المتابعة عبر إبراز المناطق التي شهدت تغيرًا أعلى من غيرها داخل مركز الخطة.
- دعم التخطيط الزراعي وإدارة الموارد من خلال تقييم الاتجاه العام للتغير خلال فترة الدراسة، بما يسهل وضع برامج الحفاظ والتحسين.
- تمكين إعداد تقارير ومقارنات زمنية تخدم العمل البحثي والتطبيقي، مع إمكانية تحديث النتائج دوريًا باستخدام نفس المنهجية.
- الإسهام في توثيق الحالة الزراعية للمنطقة كمرجع يمكن البناء عليه في الدراسات اللاحقة، وربطه مستقبلاً بمتغيرات أخرى (مثل المياه أو المناخ) عند توفر بياناتها.

4.1. منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في مركز الخطة بمنطقة حائل شمال المملكة العربية السعودية، ويقع المركز جغرافيًا ضمن النطاق الشمالي من منطقة حائل. أما فلكيًا، فيمتد مركز الخطة تقريبًا بين دائرتي عرض $27^{\circ}30'$ و $28^{\circ}10'$ شمالاً، وبين خطي طول $42^{\circ}00'$ و $41^{\circ}30'$ شرقاً، وذلك وفق حدود منطقة الدراسة الموضحة في شكل (1). وتمثل المنطقة نطاقًا ذا نشاط زراعي ضمن بيئة صحراوية شبه جافة، ويغلب عليها تباين مكاني واضح في الغطاء النباتي داخل حدود المنطقة. وتعد منطقة الدراسة مناسبة لرصد ديناميكيات الغطاء الزراعي وتحولاته مكانيًا وزمنيًا بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

واعتمدت الدراسة على حدود مركز الخطة (Shapefile) لتحديد نطاق التحليل المكاني، ثم استخدام صور القمرين الصناعيين (Landsat 8 و Landsat 9) ما بين عامي (2015-2025) لاشتقاق مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) على أساس سنوي، بالاعتماد على مركبات سنوية للصور، وتحويل النتائج إلى مؤشرات كمية ورسوم بيانية وخرائط التغير داخل حدود منطقة الدراسة. ويسهم ذلك في بناء قاعدة بيانات مكانية/جدولية داعمة للمقارنة والمتابعة ورصد اتجاهات التغير عبر السنوات، وتحديد الفترات الأعلى والأدنى في النشاط النباتي داخل حدود المركز.

شكل (1): خريطة موقع منطقة الدراسة (مركز الخطة - منطقة حائل، المملكة العربية السعودية).



المصدر: إعداد الباحثين (ArcGIS Pro) اعتمادًا على Shapefile أمانة منطقة حائل، 2025.

2. منهجية البحث:

يعتمد هذا البحث على منهجية تحليلية كمية تستند إلى تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لرصد وتحليل ديناميكيات الغطاء الزراعي في مركز الخطة بمنطقة حائل، والذي تم اختياره لكونه يمثل بيئة شبه جافة يظهر فيها تباين مكاني واضح في الغطاء الزراعي، إضافة إلى محدودية الدراسات التطبيقية التي تناولت هذه المنطقة على مستوى محلي دقيق، ضمن مساحة تبلغ

نحو 3,850.43 كم²، وذلك ما بين عامي (2015–2025)، حيث تم اختيار هذه الفترة الزمنية لكونها تمثل نطاقًا حديثًا وممتدًا يتيح تتبع التغيرات السنوية بصورة متصلة، مع توفر بيانات الأقمار الصناعية Landsat 8 وLandsat 9 بجودة مناسبة للتحليل الزمني والمقارنة بين السنوات.

وتقوم المنهجية على معالجة مرئيات الأقمار الصناعية من سلسلة Landsat، واشتقاق مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) على أساس سنوي، ثم تصنيف الغطاء النباتي/الزراعي وحساب المساحات والنسب داخل حدود منطقة الدراسة، مع تطبيق تحليل التغير المكاني والزمني ضمن إطار موحد للمقارنة عبر السنوات.

- جمع البيانات: يتم الاعتماد على حدود مركز الخطة بصيغة (Shapefile) لتحديد نطاق التحليل المكاني، إضافة إلى جمع مرئيات الأقمار الصناعية (Landsat 8 وLandsat 9) للفترة ما بين عامي (2015–2025)، بعد فلترة الصور مكانيًا داخل حدود منطقة الدراسة، واختيارها وفق معيار أولي للغيوم لضمان جودة المرئيات.

- المعالجة المسبقة للمرئيات: تشمل المعالجة تهيئة الصور عبر تطبيق معاملات التحويل الخاصة ببيانات الانعكاس السطحي (Scale/Offset)، وتنفيذ الفلاتر اللازمة، ثم تجهيز طبقات المؤشرات داخل حدود منطقة الدراسة (Clip) لضمان توحيد إطار المقارنة بين السنوات.

- حساب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI): يتم اشتقاق مؤشر (NDVI) من مرئيات Landsat سنويًا باستخدام النطاقين الأحمر (Red) وتحت الأحمر القريب (NIR)، ثم إعداد مركبات سنوية للصور وفق الغرض التحليلي؛ بحيث يُستخدم المركب السنوي المناسب لاشتقاق قيم المؤشر وتمثيل الغطاء النباتي بصورة متسقة عبر السنوات.

- تصنيف الغطاء الزراعي وحصره مكانيًا: يتم تقدير الغطاء الزراعي سنويًا عبر تصنيف طبقات (NDVI) باستخدام عتبة رقمية ثابتة لتحديد المناطق ذات الغطاء النباتي الأعلى، مع تطبيق قناع تضاريسي (Slope Mask) مستخرج من نموذج الارتفاعات الرقمية لتقليل الالتباس الناتج عن المناطق شديدة الانحدار أو غير الملائمة للنشاط الزراعي. وقد تم اختيار هذه العتبة استنادًا إلى طبيعة البيئة الجافة وشبه الجافة لمنطقة الدراسة، وبالاعتماد على ما ورد في الأدبيات السابقة التي تشير إلى ضرورة تكييف قيم العتبة وفق الخصائص البيئية المحلي.

- حساب المساحات والنسب المئوية سنويًا: يتم حساب المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، ثم حساب مساحة الغطاء المصنّف سنويًا بالاعتماد على مساحة البيكسل (Pixel Area)، وتحويل المساحات إلى نسب مئوية داخل حدود المركز بما يتيح المقارنة الكمية بين السنوات.

- تحليل التغير المكاني والزمني: يتم إجراء مقارنة مكانية بين طبقتي الغطاء الزراعي لعامي 2015 و2025 عبر تصنيف التغير إلى فئات مكانية (تحسن/ثبات/تراجع) داخل حدود منطقة الدراسة، إضافة إلى احتساب معدل التغير الكلي بين العامين كمؤشر كمي للمقارنة الزمنية.

- تنظيم البيانات وتصديرها: يتم تنظيم القيم السنوية في جداول مكانية/جدولية (FeatureCollection) ثم تصديرها بصيغة (CSV) لأغراض التوثيق وإتاحة التحليل الكمي والعرض داخل بيئات GIS.

3. الدراسات السابقة

1.3. الدراسات الغير عربية:

أجرى زانغ وآخرون (Zhang et al. 2023) دراسة حول الاستشعار عن بعد لتغيرات الغطاء الزراعي في جنوب وجنوب شرق آسيا، إذ ركز الباحثون على تقييم أثر النمو السكاني والتغير المناخي في التحولات الزراعية ضمن هذه المناطق الحيوية. اعتمدت

المنهجية على جمع وتحليل صور الأقمار الصناعية المتعددة ودمجها مع قواعد بيانات إنتاجية وإحصائية محلية، أتاح ذلك للباحثين تحليل الأنماط الزمنية والمكانية بدقة. وأظهرت النتائج أن هذه التقنيات تمكن من التنبؤ المستقبلي بالتغيرات الزراعية وتدعم وضع خطط استجابة سريعة لضغوط الأمن الغذائي.

قام ريدي واخرون (Reddy et al. 2025) فقد اهتموا بتحليل التحولات الزمنية للغطاء الزراعي في مقاطعة أنا ميا بالهند مستعينين ببيانات صور الأقمار الصناعية وأنظمة GIS لرصد ومقارنة توزيع الأراضي الزراعية عبر مراحل متعددة. هدفت الدراسة إلى تفسير عوامل التغيير المرتبطة بالنشاط البشري والاقتصادي، وساهم تحليل البيانات في توصيف الاختفاء التدريجي لبعض الأنماط التقليدية للزراعة. وأكدت النتائج أن التحليل الفضائي المكاني أداة فعالة لتوجيه السياسات الزراعية نحو المناطق الأكثر عرضة للتغيرات البيئية والاجتماعية.

وضّح سينغ واخرون (Singh et al. 2025) في دراسته التي ركز فيها على ولاية راجستان الهندية كيف يمكن لتقنيات الاستشعار عن بعد والذكاء الاصطناعي التنبؤ بتغيرات الغطاء واستخدامات الأراضي حتى عام 2041. قام الباحثون بتوظيف صور Landsat و Sentinel مع نماذج الشبكات العصبية وسلاسل ماركوف لتحليل التحولات المكانية والزمنية خلال ثلاثة عقود. وجاءت النتائج لتبين تراجع مساحة الأراضي الزراعية وتزايد التوسع العمراني، مما شدد على أهمية التخطيط المبكر بالاعتماد على الاستشعار الرقمي لحماية الزراعة من التدهور المستقبلي.

2.3. الدراسات العربية:

ركز باحمدان وآخرون (2022) في بحثهم على تحليل ديناميكيات المساحات الزراعية بمنطقة القصيم من خلال تتبع تحولات الأرض اعتماداً على صور الأقمار الصناعية وبرامج نظم المعلومات الجغرافية ما بين 1973 و 2020. كان هدف الدراسة تقييم مدى تأثير النشاط البشري والعوامل المناخية في استدامة الأراضي الزراعية. أظهرت المنهجية أن استخدام مؤشر NDVI وتقنيات التصنيف الرقمي مكن من رسم خرائط دقيقة للتحولات الزراعية، وكشفت النتائج عن تراجع كبير بسبب التصحر والتوسع العمراني، مما أدى إلى توصية بضرورة تطوير سياسات حماية واستدامة زراعية قائمة على بيانات فضائية.

اهتم القرادي وآخرون (2022) في دراستهم بتكامل تقنيات الاستشعار عن بعد مع نظم المعلومات الجغرافية لاختيار أنسب المواقع لزراعة البن العربي في جازان. جمع الباحثون بيانات صور أقمار صناعية وبيئية وتمت معالجتها رقمياً لإنتاج خرائط ملائمة زراعية تعتمد على المناخ والطوبوغرافيا. أما النتائج فقد بينت أن هذه الأدوات الرقمية تسهم بوضوح في دعم التخطيط الزراعي المعاصر ورفع كفاءة الزراعة الجبلية، وأوصوا بتعميم التجربة على مناطق مشابهة بالمملكة.

وفي دراسة لجامعة الملك خالد وآخرون (2023)، سعى الباحثون إلى توثيق التحولات في استخدامات الأراضي الزراعية بمدينة الطائف خلال الأعوام الأخيرة. اعتمدت المنهجية على جمع صور Landsat و Sentinel-2 وتحليلها مكانياً، وربطت النتائج بالنمو العمراني والتغيرات المناخية. بينت النتائج تراجع المساحات الخضراء بفعل الزحف العمراني، وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد التخطيط المكاني المستدام لحماية النشاط الزراعي في المدن السعودية.

تناول العسلي وآخرون (2024) في دراستهم المعنونة بـ “تطبيق مؤشرات التصحر بمنطقة القصيم باستخدام الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية” موضوع رصد مؤشرات التصحر وتحليلها مكانياً في منطقة القصيم. وهدفت الدراسة إلى توظيف تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية في تحديد مظاهر التصحر وتقييم تباينها المكاني. واعتمدت المنهجية على استخدام البيانات الفضائية والمؤشرات الطيفية وتحليلها داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خرائط توضح المناطق الأكثر تأثراً. وأظهرت النتائج أهمية هذه التقنيات في دعم رصد التدهور البيئي وتحديد أولويات المتابعة والتخطيط البيئي في المناطق الجافة وشبه الجافة.

تحليل نقدي للدراسات السابقة وتحديد الفجوة البحثية

تُظهر مراجعة الدراسات السابقة – العربية والغير عربية – أن تحليل ديناميكيات الغطاء الزراعي أصبح يعتمد بصورة متزايدة على توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية باعتبارها أدوات قادرة على رصد التغيرات المكانية والزمانية بدقة، وربطها بالعوامل المؤثرة الطبيعية والبشرية. فعلى مستوى الدراسات الغير عربية، يتضح من دراسة Zhang وآخرون (2023) أن دمج المرئيات متعددة المصادر مع قواعد بيانات إحصائية وإنتاجية يوسّع من قدرة التحليل على تفسير أنماط التغير الزراعي ضمن نطاقات واسعة، ويعزز فهم الأبعاد المرتبطة بالتغير المناخي والضغط السكانية. كما تؤكد دراسة Reddy وآخرون (2025) أهمية التحليل المكاني داخل بيئات نظم المعلومات الجغرافية في تتبع التحولات المرحلية في توزيع الأراضي الزراعية، وتحليل أدوار النشاط الاقتصادي والبشري في إعادة تشكيل المشهد الزراعي، بما يجعل المؤشرات المستخرجة أكثر قابلية للتوظيف في توجيه السياسات الزراعية. وفي السياق نفسه، تبرز دراسة Singh وآخرون (2025) اتجاهًا حديثًا يتمثل في الانتقال من الرصد والتوثيق إلى بناء سيناريوهات مستقبلية، من خلال الجمع بين بيانات الأقمار الصناعية والنمذجة الذكية، بما يدعم التخطيط المبكر وتقليل المخاطر على النشاط الزراعي.

أما الدراسات العربية، فقد اتفقت في مجملها على أهمية المؤشرات الطيفية، وعلى رأسها مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي، إلى جانب تقنيات التصنيف والتحليل المكاني في كشف التحولات الزراعية وتحديد اتجاهات التغير. وتبرز دراسة باحمدان وآخرون (2022) ودراسة العسلي وآخرون (2024) في إبراز أثر التصحر والتوسع العمراني على تراجع الغطاء الزراعي، مع التأكيد على أن المعالجة الرقمية للمرئيات وإنتاج خرائط التغير تمثل مدخلًا علميًا داعمًا لصناعة القرار. كما تدعم دراسة جامعة الملك خالد وآخرون (2023) هذا الاتجاه من خلال إبراز حساسية المناطق الزراعية داخل المدن لزحف العمران، وضرورة إدماج التخطيط المكاني المستدام لحماية المساحات الخضراء. ومن زاوية مختلفة، تُظهر دراسة القرادي وآخرون (2022) – رغم اختلاف موضوعها التطبيقي – قيمة تكامل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في بناء خرائط الملاءمة الزراعية اعتمادًا على محددات المناخ والطبوغرافيا، وهو ما يثري الجانب المنهجي ويؤكد تعدد أوجه الاستفادة من الأدوات نفسها في قضايا زراعية مختلفة.

وبناءً على ما سبق، يمكن القول إن هذه الدراسات وفرت أساسًا علميًا واضحًا من حيث المنهجيات والأدوات، لكنها في المقابل تكشف عن حاجة بحثية قائمة تتمثل في تطبيق التحليل الزمني المكاني على نطاق محلي محدد داخل منطقة حائل، وبسلسلة زمنية سنوية متصلة تغطي سنوات الدراسة كاملة، مع تحويل مؤشرات الغطاء النباتي إلى قياسات كمية قابلة للمقارنة (مساحات ونسب واتجاهات التغير) داخل حدود إدارية واضحة لمركز الخطة. ومن هنا تأتي قيمة الدراسة الحالية بوصفها امتدادًا تطبيقيًا لهذه الجهود؛ إذ تستفيد من خبرة الدراسات السابقة في تصميم خطوات التحليل والمعالجة، وفي الوقت نفسه تُسهم في سد فجوة محلية تتعلق بتوثيق ديناميكيات الغطاء الزراعي سنويًا على مستوى المركز، بما يدعم بناء قاعدة معلومات مكانية يمكن الرجوع إليها في التخطيط والمتابعة وتقييم التغير عبر الزمن.

4. الغطاء الزراعي ومؤشرات رصده بالاستشعار عن بعد:

1.4. الاستشعار عن بُعد و GIS و Google Earth Engine

تعتمد دراسات رصد الغطاء النباتي والغطاء الزراعي على تقنيات الاستشعار عن بُعد بوصفها وسيلة موضوعية لمتابعة سطح الأرض عبر الزمن من خلال المرئيات الفضائية، حيث تتيح هذه المرئيات قياس خصائص الغطاء النباتي بصورة كمية اعتمادًا على الاستجابة الطيفية للنبات. كما تُسهم نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تنظيم البيانات المكانية، وإجراء التحليلات الإحصائية المكانية، وربط النتائج بحدود منطقة الدراسة، بما يدعم المقارنة الزمنية ورصد التغيرات وتفسيرها ضمن سياق مكاني واضح.

وفي هذا الإطار، برزت منصة Google Earth Engine كبيئة تحليل سحابية متخصصة تدمج أرشيفاً ضخماً من بيانات الأقمار الصناعية مع أدوات معالجة وتحليل جاهزة، بما يساعد على تنفيذ خطوات تحليل موحدة ومتسقة على سلسلة زمنية طويلة دون الاعتماد على تنزيل البيانات محلياً، وهو عنصر مهم عند دراسة تغيرات سنوية ممتدة لعدة سنوات.

2.4. مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)

يُعد الغطاء النباتي وبشكل خاص الغطاء الزراعي أحد المؤشرات الرئيسية لاستقرار النظم البيئية وفعالية استخدام الأرض، لأنه يعكس بصورة مباشرة درجة "الحيوية النباتية" واستجابة النبات للتغيرات المناخية والضغط البشرية. وتزداد أهمية متابعة الغطاء النباتي في البيئات الجافة وشبه الجافة؛ إذ تنسم هذه البيئات بحساسية عالية تجاه التغير في الرطوبة وخصائص التربة وإدارة الموارد المائية، كما أن آثار التوسع العمراني وتغير أنماط الري والاستصلاح الزراعي تظهر فيها بسرعة مقارنةً بغيرها. لذلك تُعد مؤشرات الاستشعار عن بُعد أدوات فعالة لرصد التغيرات المكانية والزمانية للغطاء النباتي بصورة كمية وعلى مدد زمنية طويلة، وبدرجة اتساق تسمح بالمقارنة بين السنوات والمواسم المختلفة.

ومع تطور تقنيات الاستشعار عن بُعد أصبح من الممكن تحليل الغطاء النباتي عبر مؤشرات طيفية (Vegetation Indices) تعتمد على اختلاف استجابة النبات بين نطاقين طيفيين رئيسيين: النطاق الأحمر (Red) الذي يمتصه الكلوروفيل بقوة أثناء عملية البناء الضوئي، والنطاق تحت الأحمر القريب (Near-Infrared, NIR) الذي تعكسه بنية الورقة النباتية بدرجة أعلى. ومن هنا ظهر مؤشر الغطاء النباتي المعياري NDVI كأحد أكثر المؤشرات استخداماً عالمياً لمراقبة حالة الغطاء النباتي وقياس كثافته وحيويته ومتابعة تغيره عبر الزمن (Rouse et al., 1974; Tucker, 1979).

ويُحسب مؤشر NDVI وفق المعادلة التالية:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

وتتراوح قيم NDVI عادة بين -1 و +1. وتشير القيم الموجبة المرتفعة (مثل 0.5 فأعلى غالباً وفق طبيعة المنطقة وموسم النمو) إلى غطاء نباتي أكثر كثافة وحيوية أعلى، بينما تعكس القيم القريبة من الصفر أسطحاً قليلة الغطاء النباتي أو شبه عارية مثل التربة المكشوفة أو المناطق العمرانية أو الصخور. أما القيم السالبة فتظهر غالباً فوق المسطحات المائية أو السحب أو بعض الأسطح شديدة الانعكاس في نطاقات معينة. وبذلك يوفر NDVI مقياساً عددياً يساعد على توصيف الغطاء النباتي ومقارنته بين المواقع المختلفة، كما يدعم قياس مقدار التغير بين فترتين أو عبر سلسلة زمنية ممتدة بدل الاعتماد على ملاحظة وصفية أو خريطة واحدة لا تُظهر سلوك الغطاء عبر الزمن.

3.4. مبررات الاعتماد على السلاسل الزمنية (Time Series) في تحليل الغطاء النباتي

يضيف الاعتماد على السلاسل الزمنية في تحليل NDVI بعداً تفسيرياً يتجاوز قراءة قيمة سنة واحدة أو مقارنة صورتين فقط؛ إذ يتيح فهم السلوك طويل المدى للغطاء النباتي: هل الاتجاه العام يتجه إلى زيادة تدريجية أم تناقص؟ وهل التغير مستمر أم متذبذب؟ وهل توجد سنوات شاذة يمكن ربطها بمواسم مطيرة/جافة أو بتغيرات في أنشطة الإنسان مثل اتساع الرقعة المزروعة أو تقلصها؟

كما تساعد السلاسل الزمنية على تمييز التغير الحقيقي عن "الضوضاء" الناتجة عن اختلاف توقيت الالتقاط أو ظروف الغلاف الجوي أو أثر السحب والهباء الجوي أو اختلاف مرحلة النمو النباتي داخل السنة. لذلك تُستخدم السلاسل الزمنية لاستخراج مؤشرات أكثر دقة مثل: الاتجاه العام (Trend)، والتذبذب السنوي/الموسمي، وتحديد سنوات التحسن والانخفاض الحاد، ثم ربط هذه الأنماط بتفسيرات مكانية وإدارية (تغير أنظمة الري، التوسع الزراعي، تدهور التربة... إلخ).

4.4. أهمية Google Earth Engine في التحليل التطبيقي

تُعد منصة Google Earth Engine بيئة سحابية مناسبة لتحليل البيانات الفضائية على السلاسل الزمنية طويلة المدى، خصوصًا لبيانات الأقمار الصناعية مثل Landsat؛ إذ تتيح الوصول المباشر إلى أرشيف مرئيات واسع، وتطبيق خطوات معالجة موحدة ومتكررة على جميع السنوات ضمن بيئة واحدة. كما تُمكن من تنفيذ عمليات أساسية يحتاجها تحليل الغطاء النباتي، مثل: فلترة البيانات وفق معايير الجودة (ومنها السحب)، وتحديد نطاق التحليل بالقص على حدود منطقة الدراسة، وتنفيذ الحسابات الطيفية لمؤشرات الغطاء النباتي، وإجراء الإحصاءات المكانية داخل حدود المنطقة.

وبناءً على ذلك، يُوظف هذا البحث منصة Google Earth Engine بوصفها بيئة تنفيذ ومعالجة لسلسلة Landsat الممتدة ما بين عامي (2015-2025)، بهدف اشتقاق مؤشر NDVI بصورة سنوية ضمن حدود مركز الخطة، ثم تنظيم المخرجات الكمية والمكانية بشكل يدعم المقارنة الزمنية والتحليل المكاني.

5. نتائج الدراسة وتحليلها:

1.5. التحليل المكاني والزمني للغطاء النباتي/الزراعي في مركز الخطة (2015-2025)

اعتمدت الدراسة في استخراج النتائج على تطبيق منهج التحليل الزمني-المكاني لمرئيات الأقمار الصناعية داخل منصة محرك الأرض من جوجل (Google Earth Engine)، وذلك من خلال توظيف بيانات لاندسات 8 ولاندسات 9 ضمن منتجات الانعكاس السطحي. وتم تنفيذ سلسلة خطوات معيارية لضمان اتساق المقارنة بين السنوات، شملت: تحديد حدود منطقة الدراسة (مركز الخطة) (شكل 1)، ثم فلترة المرئيات مكانيًا داخل الحدود، وفلترتها بحسب الغطاء السحابي (أقل من 40%)، ثم تطبيق معاملات التحويل اللازمة للانعكاس السطحي، وبعد ذلك اشتقاق مؤشر الغطاء النباتي المعياري، واستخراج القيم الإحصائية داخل المنطقة، وإنتاج مخرجات كمية وخرائطية قابلة للعرض والتحليل.

وقد تمثلت المخرجات الرئيسية التي بني عليها في:

1. منحني سنوي لقيم مؤشر الغطاء النباتي المعياري خلال الفترة (2015-2025).
2. جداول سنوية للقيم الرقمية للمؤشر وللنسبة المئوية للغطاء الزراعي.
3. خرائط مكانية للمؤشر والغطاء الزراعي في سنوات مختارة (2015 و 2025).
4. خرائط التغير المكاني بين بداية ونهاية الفترة (زيادة/نقصان/ثبات).

2.5. تحليل مؤشر الغطاء النباتي المعياري عبر السنوات (2015-2025)

1) استخراج القيم السنوية للمؤشر داخل منطقة الدراسة

تمت معالجة مرئيات كل سنة على حدة وفق خطوات موحدة لضمان اتساق المقارنة الزمنية. وقد شملت هذه الخطوات:

- تحديد حدود مركز الخطة كمنطقة تحليل (شكل 1).
- تجميع مرئيات السنة الواحدة من لاندسات 8 ولاندسات 9 ودمجها ضمن مجموعة واحدة، ثم فلترتها مكانيًا داخل حدود المنطقة.
- فلترة المرئيات حسب نسبة الغطاء السحابي بحيث لا تتجاوز 40%.
- اشتقاق مؤشر الغطاء النباتي المعياري اعتمادًا على النطاقين الطيفيين: تحت الأحمر القريب والأحمر بعد تطبيق معاملات التحويل للانعكاس السطحي.

• تمثيل "أعلى نشاط نباتي محتمل خلال السنة" عبر إنتاج صورة سنوية تمثل القيمة القصوى داخل السنة (أعلى قيمة سنوية لكل بكسل)، ثم استخراج متوسط هذه القيم داخل حدود منطقة الدراسة للحصول على رقم سنوي واحد يمثل حالة المؤشر على مستوى المركز.

وبذلك نتج جدول سنوي يوضح قيم المؤشر عبر أحد عشر عامًا، وتم تمثيلها بيانيًا في شكل خطي يوضح الاتجاه العام والتذبذب بين السنوات.

ومن خلال الجدول (1) نعرض متوسط القيمة السنوية القصوى لمؤشر الغطاء النباتي المعياري داخل مركز الخطة (2015–2025) كما يلي:

الجدول (1) متوسط القيمة السنوية القصوى لمؤشر الغطاء النباتي المعياري داخل مركز الخطة (2015–2025)

| السنة | Peak NDVI |
|-------|-----------|
| 2015 | 0.159 |
| 2016 | 0.158 |
| 2017 | 0.155 |
| 2018 | 0.160 |
| 2019 | 0.170 |
| 2020 | 0.162 |
| 2021 | 0.172 |
| 2022 | 0.171 |
| 2023 | 0.194 |
| 2024 | 0.186 |
| 2025 | 0.183 |

المصدر: مخرجات الباحثين باستخدام منصة محرك الأرض من جوجل (Google Earth Engine) اعتمادًا على بيانات لاندسات 8 ولاندسات 9.

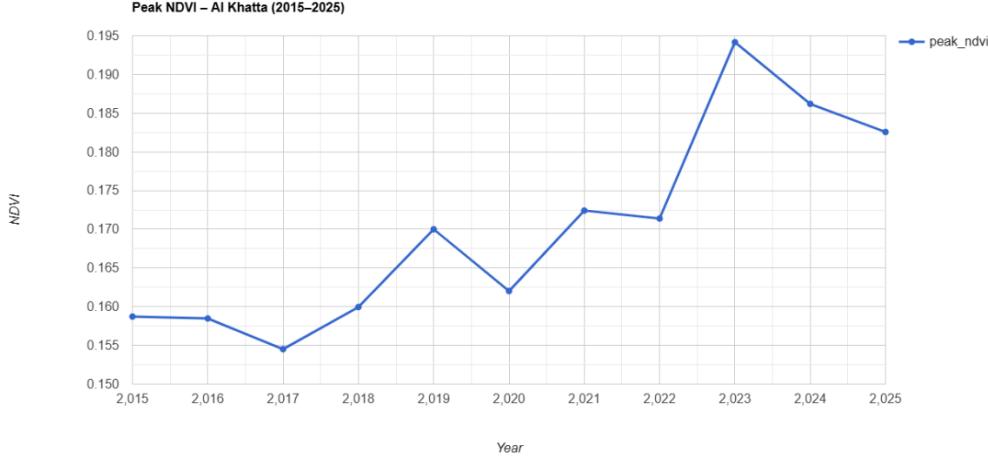
يتضح من الجدول (1) وجود تباين سنوي في قيم مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) خلال الفترة (2015–2025)، حيث سُجلت أدنى القيم في بعض السنوات مقابل ارتفاعها في سنوات أخرى، مما يعكس ديناميكية واضحة في الغطاء النباتي داخل منطقة الدراسة. ويشير الاتجاه العام إلى تحسن نسبي في الكثافة النباتية خلال السنوات الأخيرة.

ويمكن تفسير ذلك بزيادة كفاءة استخدام الموارد الزراعية أو تحسن الظروف البيئية والمناخية في بعض الفترات، إضافة إلى تطور الأنشطة الزراعية في المنطقة. كما تؤكد هذه النتائج أهمية استخدام مؤشر NDVI في رصد التغيرات النباتية، نظرًا لقدرته على تقديم مؤشر كمي يعكس الحالة الصحية للغطاء النباتي بدقة.

وبناءً على ذلك، فإن هذه النتائج تعكس وجود تغيرات مستمرة في الغطاء النباتي، مما يستدعي متابعة هذه التغيرات لدعم التخطيط الزراعي المستقبلي.

(2) توصيف الاتجاه السنوي للمؤشر

شكل (2): الاتجاه السنوي لمتوسط القيمة السنوية القصوى لمؤشر الغطاء النباتي المعياري داخل مركز الخطة ما بين عامي (2025–2015)



المصدر: مخرجات الباحثين باستخدام منصة محرك الأرض من جوجل (Google Earth Engine).

تُظهر النتائج أن أدنى قيمة للمؤشر سُجلت في عام 2017 (0.155)، بينما بلغت أعلى قيمة في عام 2023 (0.194)، وهو ما يعكس تحسناً واضحاً في مستوى "الحيوية النباتية" في السنوات المتأخرة مقارنة ببداية الفترة. كما يتضح وجود مسار عام يميل إلى الارتفاع على المدى الطويل رغم وجود تذبذب سنوي؛ إذ شهدت الفترة (2015–2017) قيمة منخفضة نسبياً، تلتها مرحلة تحسن واضحة في (2018–2019)، ثم انخفاض نسبي في 2020، ثم عودة للارتفاع في (2021–2023) وصولاً إلى الذروة في 2023، قبل أن يظهر تراجع محدود في 2024 و2025 مع بقائهما أعلى من مستويات السنوات الأولى.

وعند المقارنة الطرفية بين بداية السلسلة ونهايتها، ارتفعت قيمة المؤشر من 0.159 في 2015 إلى 0.183 في 2025، بما يمثل زيادة تقريبية قدرها نحو 15.09%، وهو ما يشير إلى تحسن نسبي في الإشارة الطيفية للغطاء النباتي داخل المنطقة عبر الزمن، مع الإشارة إلى أن تفسير هذا التحسن يحتاج لاحقاً ربطاً بالعوامل الطبيعية والبشرية (مثل الرطوبة، أنماط الري، التوسع أو الانكماش الزراعي).

3.5. تحليل الغطاء الزراعي كنسبة مئوية من مساحة مركز الخطة (2025–2015)

(1) منهجية تحويل المؤشر إلى غطاء زراعي قابل للقياس الكمي

لتحويل مؤشر الغطاء النباتي المعياري إلى تقدير "غطاء زراعي" يمكن قياسه بالمساحة والنسبة، تم اعتماد إجراء تصنيفي موحد يقوم على ما يلي:

- تكوين صورة سنوية ممثلة باستخدام القيمة الوسيطة السنوية للمرئيات، بهدف تقليل أثر القيم الشاذة وبقايا التشويش، وجعل القياس أقرب إلى الحالة العامة خلال السنة وليس إلى لقطة متطرفة.
- اعتماد عتبة رقمية للتصنيف بحيث اعتُبرت الخلايا التي تحقق قيمة مؤشر أعلى أو تساوي 0.35 ضمن نطاق غطاء نباتي مرتفع يُرجَّح ارتباطه بالنشاط الزراعي/المزروع في بيئة المنطقة.

- تطبيق قناع الانحدار (ميل أقل من 7 درجات) لتقليل أثر التضاريس والكثبان والانعكاسات غير الزراعية، وجعل التقدير أقرب إلى الأراضي الأكثر ملاءمة للزراعة.
- حساب المساحة من خلال مساحة البيكسل ثم تحويلها إلى نسبة مئوية من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، باستخدام مساحة المنطقة كمرجع ثابت في جميع السنوات.

وقد أظهرت حسابات المساحة الكلية داخل المنصة أن المساحة الإجمالية لمركز الخطة بلغت:

3,850,430,903.6 مترًا مربعًا، أي ما يعادل تقريبًا 3,850.43 كيلومترًا مربعًا، وهي القيمة التي استُخدمت كأساس ثابت لحساب النسب المئوية السنوية.

ومن خلال الجدول (2) نعرض النسبة المئوية السنوية للغطاء الزراعي داخل مركز الخطة (2015–2025) كما يلي:

الجدول (2): النسبة المئوية السنوية للغطاء الزراعي داخل مركز الخطة (2015–2025).

| السنة | (%) الغطاء الزراعي |
|-------|--------------------|
| 2015 | 1.374 |
| 2016 | 1.521 |
| 2017 | 1.214 |
| 2018 | 1.125 |
| 2019 | 1.046 |
| 2020 | 1.125 |
| 2021 | 1.258 |
| 2022 | 1.348 |
| 2023 | 1.311 |
| 2024 | 1.071 |
| 2025 | 1.002 |

المصدر: مخرجات الباحثين باستخدام منصة محرك الأرض من جوجل (Google Earth Engine) اعتمادًا على بيانات لاندسات 8 ولاندسات 9.

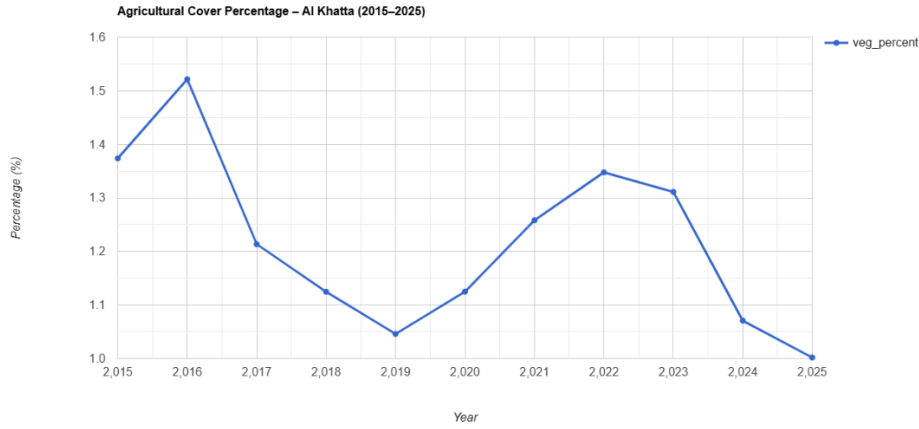
يوضح الجدول (2) التغيير في النسبة المئوية للغطاء الزراعي داخل مركز الخطة خلال فترة الدراسة، حيث يظهر اتجاه عام نحو التراجع في المساحات الزراعية، رغم وجود بعض التذبذب في القيم بين السنوات.

ويُعزى هذا التراجع إلى عدة عوامل محتملة، من أبرزها التوسع العمراني، أو تغيير أنماط استخدام الأراضي، أو تأثير الظروف البيئية على استدامة النشاط الزراعي. كما يعكس هذا التباين عدم استقرار المساحات الزراعية، مما يدل على تأثرها بعوامل متعددة متغيرة.

وتؤكد هذه النتائج أهمية تحليل التغيرات الزراعية بشكل دوري، لما لها من دور في دعم اتخاذ القرارات المتعلقة بإدارة الموارد الزراعية وتحقيق الاستدامة.

(2) توصيف الاتجاه السنوي للنسبة المئوية ومعدل التغير الكلي

شكل (3): الاتجاه السنوي للنسبة المئوية للغطاء الزراعي داخل مركز الخطة (2015-2025)



المصدر: مخرجات الباحثين باستخدام منصة محرك الأرض من جوجل (Google Earth Engine).

توضح النتائج أن أعلى نسبة للغطاء الزراعي سُجلت في عام 2016 (1.521%)، ثم بدأت النسبة في الانخفاض الواضح حتى بلغت أدنى مستوياتها في عام 2019 (1.046%)، وهو ما يشير إلى تراجع ملحوظ في الامتداد النسبي للغطاء الزراعي خلال تلك المرحلة. وبعد ذلك تظهر مرحلة تعافٍ تدريجي بين 2020 و2022 حيث ارتفعت النسبة إلى 1.348% في 2022، ثم استمر مستوى قريب في 2023 (1.311%)، قبل أن يعود الانخفاض بوضوح في 2024 و2025 حتى بلغت 1.002% في 2025.

وعند مقارنة بداية الفترة بنهايتها، يتضح حدوث تراجع إجمالي في نسبة الغطاء الزراعي بين عامي 2015 و2025. وقد بلغ معدل التغير الكلي (بين 2015 و2025) قرابة:

$$\text{Overall Change Rate (\%)} \text{ 2015-2025} = -27.087\%$$

$$\text{Overall Change Rate (\%)} \text{ 2015-2025:} \\ -27.087131426421045$$

وتعد هذه النتيجة محورية لأنها تُظهر أن التغير في الامتداد المساحي المصنف كغطاء زراعي قد يسير في اتجاه مختلف عن تحسن لإشارة الطيفية للمؤشر في بعض السنوات.

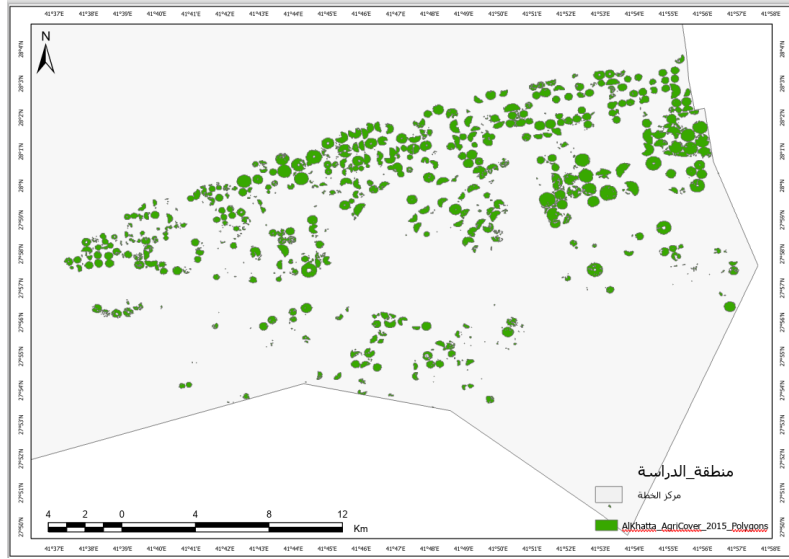
4.5. مخرجات التحليل المكاني لتغير خلال الفترة (2015 و2025)

(1) خرائط مؤشر الغطاء النباتي المعياري

جرى إنتاج خرائط للمؤشر لسنتين تمثلان بداية الفترة ونهايتها (2015 و2025) باستخدام تمثيل سنوي يبرز نمط التوزيع المكاني لقيم المؤشر داخل حدود مركز الخطة. ويهدف هذا الإخراج إلى تحديد مناطق التركيز الأعلى للمؤشر مقارنة بالمناطق الأقل، وإظهار التباين المكاني داخل المنطقة.

يوضح الشكل (4) التوزيع المكاني للغطاء الزراعي داخل مركز الخطة في بداية فترة الدراسة (2015).

شكل (4): خريطة مؤشر الغطاء النباتي المعياري داخل مركز الخطة لعام 2015

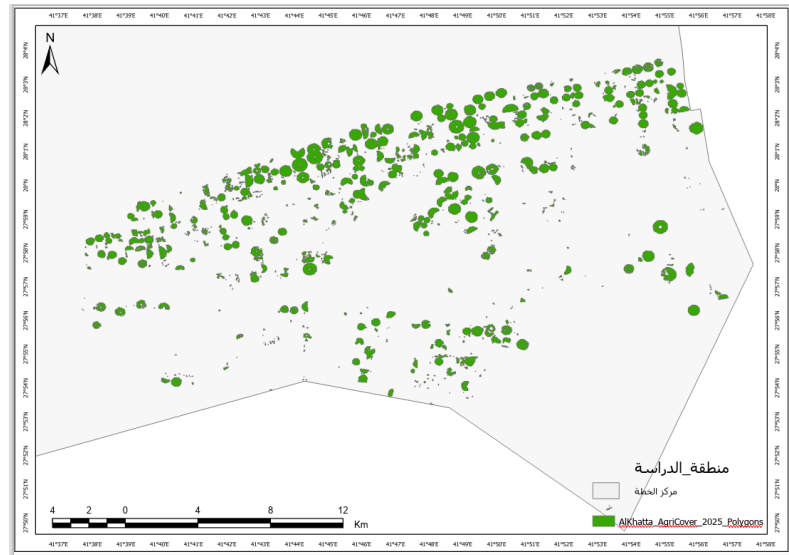


المصدر: مخرجات الباحثين باستخدام منصة محرك الأرض من جوجل (Google Earth Engine) اعتماداً على بيانات لاندسات.

يظهر من الشكل (4) أن الغطاء الزراعي يتركز في نطاقات مكانية محددة داخل منطقة الدراسة، في حين تسود القيم المنخفضة في باقي المناطق، وهو ما يعكس طبيعة البيئة شبه الجافة لمركز الخطة، حيث لا ينتشر النشاط الزراعي بشكل متجانس بل يرتبط بمواقع محددة تتوفر فيها مقومات الزراعة.

يوضح الشكل (5) التوزيع المكاني للغطاء الزراعي داخل مركز الخطة في نهاية فترة الدراسة (2025).

شكل (5): خريطة مؤشر الغطاء النباتي المعياري داخل مركز الخطة لعام 2025



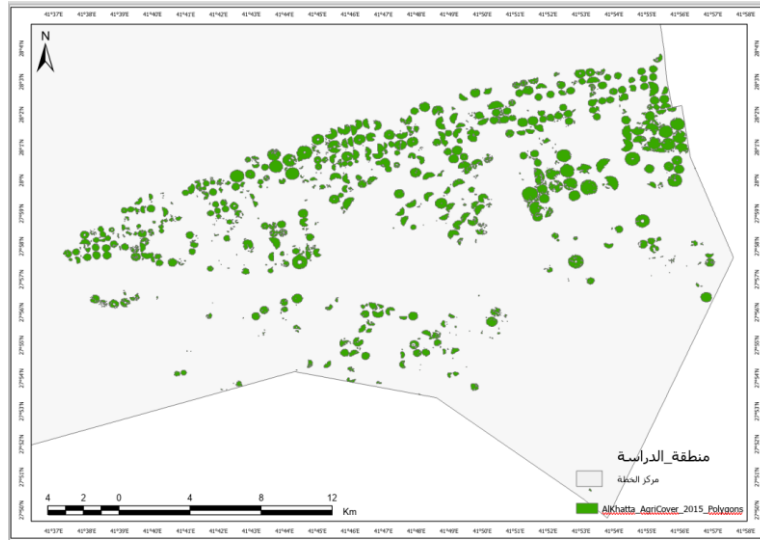
المصدر: مخرجات الباحثين باستخدام منصة محرك الأرض من جوجل (Google Earth Engine) اعتماداً على بيانات لاندسات.

يتضح من الشكل (5) استمرار التباين في توزيع الغطاء الزراعي، مع ملاحظة تغير في بعض مواقع التركيز مقارنة بعام 2015، حيث تظهر زيادات موضعية في بعض المناطق مقابل تراجع في مناطق أخرى، مما يدل على ديناميكية النشاط الزراعي داخل منطقة الدراسة.

2) خرائط الغطاء الزراعي المصنّف وفق العتبة الرقمية

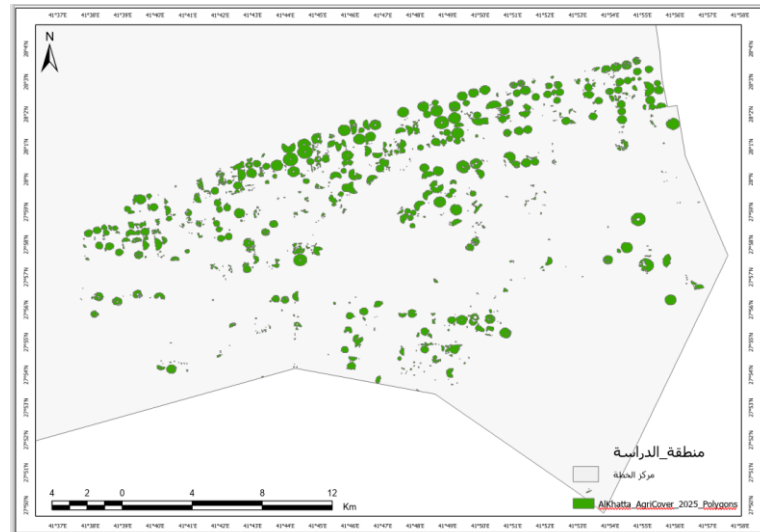
بعد إنشاء الصورة الوسيطة لكل سنة وتطبيق عتبة التصنيف (0.35) مع قناع الانحدار، تم إنتاج طبقة ثنائية تمثل "غطاء زراعي/غير غطاء زراعي" داخل مركز الخطة، ثم تحويل النتائج إلى مضلعات وإخراجها خرائطياً ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وهو ما يظهر في المخرجات (AIKhatta_AgriCover_2015_Polygons و AIKhatta_AgriCover_2025_Polygons).
يوضح الشكل (6) توزيع الغطاء الزراعي المصنّف داخل مركز الخطة لعام 2015 اعتماداً على العتبة الرقمية لمؤشر NDVI.

شكل (6): خريطة الغطاء الزراعي المصنّف داخل مركز الخطة لعام 2015



المصدر: مخرجات الباحثين اعتماداً على Google Earth Engine، والإخراج الخرائطي عبر برنامج نظم المعلومات الجغرافية.
يبين الشكل (6) أن الغطاء الزراعي المصنّف في عام 2015 يتمثل في مساحات محدودة ومركزة، وهو ما يتوافق مع القيم الرقمية للمؤشر، ويؤكد أن النشاط الزراعي كان مقتصرًا على مناطق معينة دون انتشار واسع داخل مركز الخطة.
ويوضح الشكل (7) توزيع الغطاء الزراعي المصنّف داخل مركز الخطة لعام 2025.

شكل (7): خريطة الغطاء الزراعي المصنّف داخل مركز الخطة لعام 2025



المصدر: مخرجات الباحثين اعتماداً على Google Earth Engine، والإخراج الخرائطي عبر برنامج نظم المعلومات الجغرافية.

يظهر من الشكل (7) استمرار تمركز الغطاء الزراعي في نطاقات محددة، مع تغيير في بعض المواقع مقارنة بعام 2015، حيث يمكن ملاحظة إعادة توزيع للنشاط الزراعي بدلاً من انتشاره، مما يعكس تأثيره ب عوامل بيئية وبشرية خلال فترة الدراسة.

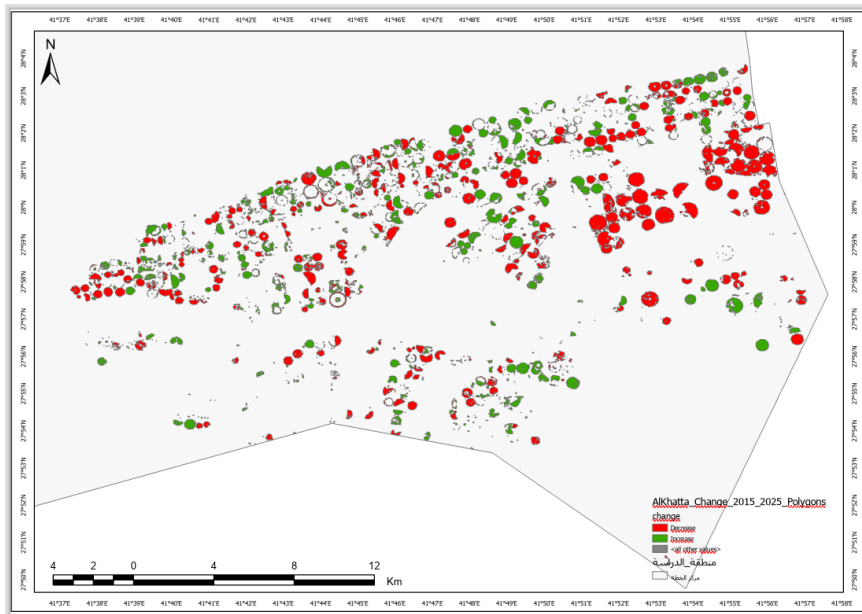
(3) خريطة التغير المكاني بين عامي 2015 و2025

لإظهار التغير المكاني بصورة مباشرة، تم حساب الفرق بين طبقتي الغطاء الزراعي لسنتي 2015 و2025 داخل حدود مركز الخطة، وإظهار الناتج بفئات واضحة تمثل اتجاه التحول:

- زيادة في الغطاء الزراعي: مناطق ظهرت في 2025 ولم تكن مصنفة زراعية في 2015 (Increase).
- نقصان في الغطاء الزراعي: مناطق كانت مصنفة زراعية في 2015 وأصبحت غير زراعية في 2025 (Decrease).
- ثبات/غير مصنّف للتغير وفق تمثيل الطبقة (All other values) بحسب طريقة الإخراج.

يوضح الشكل (8) التغير المكاني في الغطاء الزراعي داخل مركز الخطة بين عامي 2015 و2025.

شكل (8): خريطة التغير في الغطاء الزراعي داخل مركز الخطة بين عامي 2015 و2025 (زيادة/نقصان)



المصدر: مخرجات الباحثين اعتماداً على Google Earth Engine، والإخراج الخرائطي عبر برنامج نظم المعلومات الجغرافية. يبين الشكل (8) أن التغير في الغطاء الزراعي لم يكن متجانساً، حيث ظهرت مناطق شهدت نقصاناً في المساحات الزراعية مقابل مناطق أخرى سجلت زيادات موضعية. ويمكن تفسير ذلك بإعادة توزيع النشاط الزراعي داخل منطقة الدراسة، حيث قد تتراجع الزراعة في بعض المواقع وتحسن في مواقع أخرى، وهو ما يؤكد أهمية التحليل المكاني في تفسير التغيرات وعدم الاعتماد على القيم الإجمالية فقط.

ومن خلال الجدول (3) نعرض ملخصاً لأبرز مؤشرات التغير في الغطاء النباتي والغطاء الزراعي خلال الفترة (2015-2025)

جدول (3): ملخص مؤشرات التغير في الغطاء النباتي والغطاء الزراعي خلال الفترة (2015-2025)

| المؤشر | أقل قيمة (سنة) | أعلى قيمة (سنة) | التغير 2015→2025 |
|--------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| Peak NDVI | 0.155 (2017) | 0.194 (2023) | +0.024 (≈ +15.1%) |
| الغطاء الزراعي (%) | 1.002% (2025) | 1.521% (2016) | -0.372 نقطة (≈ -27.1% نسبياً) |

المصدر: مخرجات الباحثين باستخدام منصة محرك الأرض من جوجل (Google Earth Engine) اعتمادًا على بيانات لاندسات 8 ولاندسات 9.

يُظهر الجدول (3) ملخصًا عامًا لمؤشرات التغير في كل من الغطاء النباتي والغطاء الزراعي خلال الفترة (2015–2025)، حيث يتضح وجود تباين بين الاتجاه العام لمؤشر NDVI وبين التغير في المساحات الزراعية.

ففي الوقت الذي تشير فيه نتائج NDVI إلى تحسن نسبي في الكثافة النباتية، تُظهر بيانات الغطاء الزراعي تراجعًا في الامتداد المساحي، وهو ما يدل على أن زيادة الكثافة النباتية لا تعني بالضرورة زيادة في المساحات المزروعة.

ويمكن تفسير ذلك بتركيز النشاط الزراعي في مناطق محددة مع تحسين الإنتاجية داخلها، أو استخدام تقنيات زراعية حديثة تزيد من كثافة الغطاء النباتي. وتبرز هذه النتائج أهمية استخدام أكثر من مؤشر لفهم التغيرات الزراعية بشكل شامل.

5.5. توثيق المخرجات الجدولية ومصدرها:

لضمان إمكانية إعادة التحليل والتحقق من النتائج، تم تصدير الجداول السنوية بصيغة ملفات قابلة للاستخدام الإحصائي، وتشمل:

- ملف القيم السنوية لمؤشر الغطاء النباتي المعياري (قائمة السنوات وقيم المؤشر).

- ملف النسب المئوية السنوية للغطاء الزراعي (قائمة السنوات ونسبة الغطاء الزراعي).

وقد تم استخراج هذه الجداول من منصة محرك الأرض وتصديرها بصيغة قيم مفصولة بفواصل، ثم تنسيقها داخل برنامج الجداول تمهيدًا لإدراجها ضمن متن البحث.

6. مناقشة النتائج وتفسيرها:

يهدف هذا القسم إلى تفسير ما أظهرته الجداول والأشكال والخرائط الناتجة عن التحليل الزمني المكاني لمؤشر الغطاء النباتي المعياري، وتقدير الغطاء الزراعي داخل حدود مركز الخطة ما بين عامي (2015–2025). وتتبع أهمية هذه المناقشة من أن النتائج قدمت مؤشرين متكاملين لكنهما مختلفان في الدلالة:

- قيم مؤشر الغطاء النباتي المعياري بوصفها مؤشرًا طيفيًا يعكس قوة الاستجابة النباتية داخل البكسلات.

- النسبة المئوية للغطاء الزراعي المصنّف بوصفها مؤشرًا مساحيًا يصف الامتداد المكاني للغطاء المصنّف زراعيًا وفق عتبة رقمية وقناع تضاريسي.

وبالتالي فإن تفسير النتائج لا يتوقف عند "ارتفاع أو انخفاض القيمة"، بل يتطلب فهم الفرق بين تحسين الإشارة الطيفية داخل المساحات المزروعة وبين اتساع أو انكماش المساحة المصنفة زراعيًا.

أولاً: تفسير اتجاه مؤشر الغطاء النباتي المعياري عبر السنوات (2015–2025)

1) قراءة الاتجاه العام وتذبذب القيم (جدول 1، شكل 2)

أظهرت النتائج الرقمية لمتوسط أعلى قيمة سنوية لمؤشر الغطاء النباتي المعياري داخل مركز الخطة (جدول 1) أن القيم تحركت ضمن نطاق محدود نسبيًا (تقريبًا بين 0.155 و0.194)، وهو نطاق يعكس في المجمل غطاءً نباتيًا حاضرًا لكنه ليس عالي الكثافة على مستوى المنطقة ككل، لأن المتوسط محسوب على كامل حدود منطقة الدراسة بما فيها مناطق غير مزروعة أو ذات غطاء ضعيف.

ويلاحظ في المسار الزمني ثلاث سمات رئيسية:

(أ) مرحلة قيم منخفضة نسبياً في بداية السلسلة (2015–2017)

سُجّلت القيم الأدنى تقريباً في هذه الفترة، وبلغت القيمة الدنيا في عام 2017 (0.155). ويُفهم هذا النمط عادة في سياق أن كثافة الغطاء داخل المنطقة ككل كانت أقل، أو أن جزءاً أكبر من المساحة كان خارج نطاق الغطاء المزروع أو ضمن حالة نمو أضعف/أقل استمرارية خلال السنة.

(ب) مرحلة تحسن نسبي متدرج (2018–2019)

تظهر زيادة واضحة في 2018 ثم ارتفاع في 2019 إلى (0.170)، وهو ما يشير إلى تحسن في "متوسط الإشارة" داخل الحدود، ويُحتمل أن ذلك مرتبط بزيادة كثافة الغطاء داخل مساحات مزرعة قائمة، أو زيادة انتظام الغطاء الأخضر في جزء من المنطقة خلال السنة، أو اختلاف نمط إدارة الحقول (مثل نوع الغطاء المزروع أو كثافة النبات أو توقيت الذروة داخل السنة).

(ج) مرحلة ارتفاع ملحوظ ثم استقرار نسبي (2021–2025) مع ذروة في 2023

بعد انخفاض نسبي في 2020، ارتفعت القيم في 2021 و2022 ثم بلغت الذروة في 2023 (0.194)، يليها تراجع محدود في 2024 و2025 مع بقاء القيم أعلى من السنوات الأولى. ويشير هذا إلى أن القوة الطيفية للغطاء النباتي داخل المنطقة في السنوات الأخيرة أصبحت أعلى، أي أن الغطاء داخل المساحات النشطة زراعياً أو ذات النشاط النباتي أصبح أكثر وضوحاً في المرئيات.

(2) دلالة استخدام "أعلى قيمة سنوية" في تمثيل المؤشر

من المهم تفسير النتائج في ضوء طريقة استخراج المؤشر: فقد استُخدمت أعلى قيمة سنوية داخل مرئيات السنة بعد الفلترة والقص على منطقة الدراسة، ثم تم استخراج متوسط هذه الصورة السنوية داخل الحدود. وهذه الطريقة تعني أن "قيمة المؤشر" لا تمثل متوسط حالة الغطاء عبر العام كله، وإنما تميل إلى تمثيل أعلى نشاط نباتي محتمل خلال السنة (ذروة الاستجابة الطيفية)، ثم يُؤخذ متوسط الذروة داخل حدود المنطقة. لذلك فإن ارتفاع قيم المؤشر في السنوات الأخيرة يمكن فهمه على أنه تحسن في "قيمة الذروة" داخل الحقول النشطة، حتى وإن كانت المساحة المزروعة ليست بالضرورة في أعلى اتساعها (وهذه نقطة ستنتضح أكثر عند مقارنة النتائج بمؤشر الغطاء الزراعي المساحي).

(3) معنى الزيادة الطرفية (2015 مقابل 2025)

الزيادة من 0.159 في 2015 إلى 0.183 في 2025 زيادة تقريبية في حدود 15%: تحسناً نسبياً في الاستجابة الطيفية للغطاء النباتي داخل حدود المركز، وقد ينتج ذلك عن عوامل بشرية/إدارية أو تغيير نمط استخدام الأرض داخل الحقول القائمة مثل: تكثيف زراعي داخل مساحات أقل، اختلاف نوع المحصول بما يرفع كثافة الغطاء في فترة الذروة، تحسين كفاءة الري أو انتظامه داخل بعض الحقول، أو إعادة تنظيم مواقع الزراعة لتتركز في مساحات أكثر إنتاجية داخل المركز. وهنا نلاحظ أن هذه التفسيرات لا تتطلب إرجاع التغيير إلى سبب مناخي، لأنها تُقرأ ضمن التحولات التشغيلية وأنماط الاستغلال داخل المنطقة.

ثانياً: تفسير اتجاه النسبة المئوية للغطاء الزراعي المصنّف (2015–2025)

(1) معنى "الغطاء الزراعي كنسبة" وفق منهجية التصنيف (جدول 2، شكل 3)

تختلف النسبة المئوية للغطاء الزراعي المصنّف جذرياً عن قيمة المؤشر؛ لأنها لا تقيس "قوة الإشارة"، بل تقيس كم من مساحة المنطقة أصبح يقع ضمن فئة الغطاء المصنّف زراعياً بناءً على:

1. صورة سنوية ممثلة باستخدام القيمة الوسيطة السنوية.
 2. تطبيق عتبة رقمية (0.35) لتمييز الغطاء "الأكثر كثافة" الذي يُرجح ارتباطه بالغطاء المزروع.
 3. تطبيق قناع الانحدار (ميل أقل من 7 درجات) لتقليل الالتباس مع تضاريس/كثبان أو أسطح قد تعطي إشارات غير زراعية.
 4. حساب مساحة البكسلات المطابقة للشرط ثم تحويلها إلى نسبة من المساحة الكلية.
- وبناءً على ذلك، فإن أي تغير في النسبة المئوية يعكس واحدًا أو أكثر من الآتي:
- تغيير الامتداد المكاني للغطاء المصنّف زراعيًا (زيادة/نقصان المساحة).
 - أو تغيير في درجة كثافة الغطاء داخل الحقول بحيث تصبح أقل/أكثر من العتبة (فتدخل/تخرج من التصنيف).
 - أو تغيير في تركيز الزراعة داخل نطاقات أكثر استواءً (بسبب قناع الانحدار)، ما يعني أن جزءًا من الغطاء قد يظهر في المرئيات لكنه يُستبعد حسابيًا إذا لم يطابق القناع.

2) قراءة الاتجاه العام للنسبة المئوية

وفق جدول (2) وشكل (3)، يظهر أن:

- أعلى نسبة سُجلت في 2016 (1.521%).
 - ثم حدث انخفاض واضح حتى 2019 (1.046%).
 - ثم تعافٍ تدريجي حتى 2022 (1.348%) مع استمرار قرب 2023 من هذا المستوى (1.311%).
 - ثم انخفاض حاد نسبيًا في 2024 و2025 حتى 1.002% في 2025.
- والنتيجة الأبرز هنا هي أن المقارنة الطرفية تُظهر تراجعًا في الامتداد المساحي المصنّف زراعيًا بين 2015 (1.374%) و2025 (1.002%)، وهو ما تؤكد قيمة معدل التغير الكلي الظاهرة لديك (-27.09% تقريبًا).

3) تفسير التراجع الكلي

هذا التراجع لا يعني بالضرورة "اختفاء النشاط النباتي" بالكامل، بل يعني أن:

- جزءًا من المساحات التي كانت تُصنّف زراعية وفق شرط العتبة والقناع في بداية الفترة لم يعد يحقق الشرط في نهاية الفترة، أو أن جزءًا من المساحة المزروعة تحوّل إلى استخدام آخر أو أصبح غير نشط زراعيًا بالقدر الذي يجعله يتجاوز العتبة.
- ومن التفسيرات التي تتسق مع هذا النمط:

- خروج بعض الحقول من دورة الاستغلال الزراعي أو تحويلها إلى أراضٍ غير مزروعة/بور.
- إعادة توزيع النشاط الزراعي بحيث تقل المساحات المزروعة الإجمالية لكن قد تبقى بعض الحقول أكثر كثافة (تكثيف الإنتاج ضمن نطاق أقل).
- تغيير في نمط إدارة المزرعة (مثل تقليص المساحة أو تجزئة الحقول) بما ينعكس على البكسلات التي تتجاوز العتبة.
- تغييرات في استخدامات الأرض ضمن المركز (تمدد عمراني/خدمات/طرق أو أنشطة غير زراعية) تؤثر في المساحة المصنّفة زراعيًا.

ثالثًا: تفسير "التناقض الظاهري" بين تحسن المؤشر وتراجع الامتداد الزراعي

1) لماذا قد يرتفع مؤشر الغطاء النباتي المعياري بينما تتخفض نسبة الغطاء الزراعي؟

أحد أهم نتائج الدراسة هو أن المسارين لا يتحركان بالضرورة في الاتجاه نفسه:

- المؤشر ارتفع على المدى الطويل (خصوصًا حتى 2023)

- بينما النسبة المئوية للغطاء الزراعي المصنّف تراجعت إجمالاً حتى 2025.

وهذا يُفسر علميًا بوضوح عند فهم الفرق بين القياسين:

(أ) مؤشر الغطاء النباتي المعياري يقيس "شدة الاستجابة الطيفية" وليس "المساحة".

إذا بقيت الحقول الأكثر نشاطاً موجودة، أو أصبحت أكثر كثافة في فترة الذروة، فإن متوسط المؤشر قد يرتفع حتى لو انكمش عدد الحقول أو مساحتها.

(ب) النسبة المئوية تعتمد على "تحقق شرط" (عتبة 0.35 + قناع الانحدار).

حتى لو كان هناك غطاء نباتي حاضر، فإن جزءاً منه قد يصبح أقل من العتبة أو يقع في نطاق يُستبعد بالقناع، فينخفض الامتداد المصنّف زراعياً.

(2) دلالة هذا التفسير على فهم ديناميكيات الزراعة في مركز الخطة

تشير النتائج إلى احتمال انتقال نمط الغطاء داخل المركز من "اتساع نسبي لمساحات مزروعة" إلى "تركيز أكبر للنشاط داخل مساحات أقل"، بما يرفع الإشارة الطيفية داخل الحقول المتبقية، لكنه لا يرفع بالضرورة نسبة الامتداد الزراعي المصنّف.

رابعاً: مناقشة المخرجات الخرائطية وتفسير التغير المكاني (أشكال 6-8)

(1) قراءة خرائط الغطاء الزراعي لعامي 2015 و2025 (شكل 6، شكل 7)

تُظهر طبقات الغطاء الزراعي التي تم تحويلها إلى مضلعات وعرضها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية نمطاً بصرياً واضحاً يتمثل في:

- انتشار بقع/مضلعات زراعية ذات أشكال دائرية ومجموعات متقاربة، وهو نمط يتسق عادة مع حقول زراعية منتظمة (وقد يكون مرتبطاً بالحقول ذات نظم ري منتظمة).

- تركز مكاني في نطاقات معينة داخل المركز مقابل مساحات واسعة لا تظهر فيها زراعة مصنّفة.

والمهم في المقارنة بين 2015 و2025 ليس فقط "عدد الأشكال"، بل:

- هل بقيت مناطق التركيز نفسها؟

- هل اتسعت بعض التجمعات أم تراجعت؟

- هل ظهرت بقع جديدة في أطراف معينة؟

وهنا تأتي أهمية خريطة التغير.

(2) تفسير خريطة التغير (زيادة/نقص) بين عامي 2015 و2025 (شكل 8)

تمثل خريطة التغير (التي تظهر لديك بألوان الزيادة والنقص) المخرج الأكثر مباشرة في دعم النتائج الرقمية، لأنها:

- لا تكتفي بقول "النسبة انخفضت"، بل تُظهر أين حدث النقص، وأين حدثت زيادات محلية.

ومن منظور المناقشة العلمية، يمكن تناول شكل (8) بثلاث نقاط:

(أ) النقصان المكاني ليس بالضرورة متجانسًا

غالبًا ما يظهر النقص مركزًا في تجمعات أو أحزمة معينة، بينما قد تظهر زيادات متفرقة في مناطق أخرى. هذا النمط يوحي بأن التحول مرتبط بإعادة توزيع النشاط داخل المركز وليس اختفاء شامل.

(ب) وجود زيادات محلية رغم التراجع الكلي

حتى مع معدل تغير كلي سلبي، قد تظهر بقع زيادة جديدة. وهذا يدعم فكرة "الاستبدال المكاني":

اختفاء أو تراجع في مواقع مقابل ظهور أو توسع محدود في مواقع أخرى.

(ج) تفسير (الزيادة/النقص) وفق مفهومي: الاستمرارية والانقطاع

- مناطق النقص تمثل "انقطاع الاستمرارية الزراعية" بين 2015 و2025 ضمن شرط التصنيف.

- مناطق الزيادة تمثل "اكتسابًا جديدًا" لمساحات تجاوزت العتبة في 2025 ولم تكن كذلك في 2015.

خامسًا: تقييم منهجية التحليل وتأثيرها على تفسير النتائج

(1) أثر الفلترة السحابية وتوحيد المعالجة على اتساق السلسلة

اعتماد شرط الغطاء السحابي الأقل من 40 وتطبيق خطوات موحدة على كامل السنوات يدعم اتساق المقارنة ويقلل التحيز الناتج عن اختلاف إجراءات المعالجة من سنة لأخرى.

(2) الفرق المنهجي بين استخدام "أعلى قيمة سنوية" للمؤشر و"القيمة الوسيطة" للتصنيف الزراعي

هذا الفرق المنهجي جوهرى ويجب تثبيته ضمن المناقشة لأنه يفسر اختلاف سلوك المتغيرين:

- "أعلى قيمة سنوية" تُظهر الذروة وتزيد حساسية المؤشر لتحسن النشاط داخل الحقول.

- "القيمة الوسيطة" تقلل الضوضاء وتنتج تمثيلًا أكثر تحفظًا للغطاء المصنّف، وقد تجعل بعض الحقول ذات نشاط متقطع أو موسمي لا تتجاوز العتبة على أساس وسيط السنة، فتخرج من التصنيف.

وبالتالي فإن تفسير التغير يجب أن يظل مرتبطًا بهذه الحقيقة: نحن لا نقيس الشيء نفسه بطريقتين، بل نقيس مؤشرين مختلفين يخدمان فهمًا أشمل.

(3) أثر عتبة التصنيف (0.35) وقناع الانحدار (أقل من 7 درجات)

وعليه، فإن نتائج الغطاء الزراعي في هذه الدراسة تمثل الغطاء المصنّف وفق شروط منهجية محددة، ولا تُعد توصيفًا شاملًا لجميع الأنشطة الزراعية الممكنة داخل المنطقة.

يُعد اختيار العتبة الرقمية وقناع الانحدار خطوة "تنقيحها" لزيادة دقة عزل الغطاء الزراعي المحتمل عن الأسطح غير الزراعية، لكنها في الوقت نفسه:

- قد تستبعد أجزاء زراعية ضعيفة الكثافة أو متقطعة الغطاء إذا لم تتجاوز العتبة.

- وقد تستبعد أراضٍ مزروعة تقع في مواضع ذات ميل أعلى من الشرط (حتى وإن كانت مزروعة فعليًا)، لأن القناع يفرض تفسيرًا مرتبطًا بملاءمة السطح للزراعة المنتظمة.

من الأدق القول إن النتائج تمثل: الغطاء الزراعي المصنّف وفق عتبة 0.35 مع قناع الانحدار، وليس بالضرورة جميع الزراعة الممكنة دون قيد.

4) معنى انخفاض النسبة المئوية (حوالي 1%–1.5%)

القيم المساحية للغطاء الزراعي المصنّف (بين قرابة 1.0% و 1.5% من المساحة الكلية) توحى بأن الزراعة داخل مركز الخطة مركزة في رقع محدودة مقارنةً باتساع حدود المركز. وهذا تفسير منطقي في ضوء أن المنطقة تشمل مساحات غير مزروعة واسعة. وعليه، فإن أي تغير بمقدار 0.2% أو 0.3% في النسبة قد يمثل "تغيرًا ملحوظًا" في المساحة الزراعية الفعلية، حتى لو بدا رقميًا صغيرًا.

سادسًا: دلالات النتائج على مستوى الإدارة المكانية للموارد واستخدام الأرض

بناءً على ما سبق، يمكن تلخيص الدلالات التطبيقية التي تدعمها النتائج بما يلي:

1. تشير السلسلة الزمنية للمؤشر إلى أن قوة الاستجابة النباتية في سنوات متأخرة من الفترة أصبحت أعلى، وهو ما قد يعكس تحسناً في كثافة الغطاء داخل المساحات النشطة أو تغيرًا في نمط الاستغلال داخل الحقول المتبقية.
 2. في المقابل، تؤكد النسبة المئوية للغطاء الزراعي المصنّف أن الامتداد المكاني الكلي للغطاء المصنّف شهد تراجعًا إجماليًا حتى 2025، بمعدل تغير كلي يقارب -27.09%، وهو ما يرجّح وجود تحول في المساحة المزروعة أو استمراريتها عبر الزمن.
 3. تقدم خرائط 2015 و 2025 وخريطة التغير دليلاً مكانيًا مباشرًا على أن التغير لم يكن متجانسًا داخل المركز، بل اتخذ نمط "زيادات ونقصانات موضعية"، وهو ما يمكن استثماره لتحديد مواقع الأولوية للتحقق الميداني أو المتابعة عبر سنوات لاحقة.
- تُظهر المناقشة أن الاعتماد على مؤشرين (طيفي ومساحي) ضمن تحليل زمني مكاني يقدم قراءة أكثر واقعية لديناميكيات الغطاء النباتي/الزراعي في مركز الخطة؛ إذ قد يتحسن المؤشر الطيفي في فترة الذروة داخل الحقول القائمة، في الوقت الذي ينكمش فيه الامتداد المكاني للغطاء المصنّف زراعيًا وفق العتبة والقناع. وبناءً على ذلك، تأتي الاستنتاجات التالية لتلخيص أهم ما توصلت إليه الدراسة، ثم تُطرح توصيات عملية ومحددات للدقة ومقترحات لأعمال مستقبلية تستكمل تفسير نمط التغير المكاني.

7. ملخص نتائج الدراسة:

- أظهرت نتائج مؤشر الغطاء النباتي المعياري NDVI وجود تذبذب زمني خلال الفترة (2015–2025)، مع اتجاه عام نحو التحسن النسبي في السنوات الأخيرة.
- سُجلت أدنى قيمة لمؤشر NDVI عام 2017 بقيمة 0.155، في حين سُجلت أعلى قيمة عام 2023 بقيمة 0.194.
- ارتفعت قيمة مؤشر NDVI من 0.159 عام 2015 إلى 0.183 عام 2025، مما يشير إلى تحسن نسبي في الاستجابة الطيفية للغطاء النباتي.
- أظهرت نتائج الغطاء الزراعي المصنّف تراجعًا في الامتداد المساحي من 1.374% عام 2015 إلى 1.002% عام 2025.
- بلغ معدل التغير الكلي في الغطاء الزراعي بين عامي 2015 و 2025 نحو -27.087%.
- أوضحت النتائج وجود اختلاف بين تحسن مؤشر NDVI وتراجع نسبة الغطاء الزراعي؛ إذ قد تتحسن الكثافة النباتية داخل مساحات محددة دون أن يعني ذلك زيادة في الامتداد الزراعي الكلي.
- بينت الخرائط أن التغير في الغطاء الزراعي لم يكن متجانسًا داخل مركز الخطة، بل ظهر في صورة مناطق زيادة ونقصان موضعية.
- أكدت النتائج فاعلية توظيف تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية في رصد ديناميكيات الغطاء الزراعي ومتابعة تغيره مكانيًا وزمنيًا.

8. التوصيات:

- اعتماد مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) والنسبة المئوية للغطاء الزراعي المصنف كأدوات متابعة سنوية داخل مركز الخطة.
- متابعة مناطق النقصان في الغطاء الزراعي ميدانياً أو باستخدام صور فضائية عالية الدقة للتحقق من طبيعة التغير.
- معايرة العتبة الرقمية المستخدمة في تصنيف الغطاء الزراعي محلياً لتحسين دقة النتائج.
- إظهار فئات التغير المكاني في الخرائط بصورة واضحة، خاصة فئات الزيادة والنقصان والثبات.
- دمج مخرجات الدراسة في قاعدة بيانات مكانية داخل بيئة GIS لتسهيل التحديث والمقارنة المستقبلية.
- توسيع التحليل مستقبلاً إلى وحدات مكانية أصغر داخل مركز الخطة لتحديد مواقع الزيادة والنقصان بدقة أعلى.
- توظيف نتائج الدراسة في دعم التخطيط الزراعي وإدارة استخدامات الأرض داخل مركز الخطة.

9. المراجع:

1.9. المراجع العربية:

- باحمدان، ن، الموسى، ع، & العتيبي، م. (2022). مراقبة تغير المساحات الزراعية في منطقة القصيم باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. *المجلة العلمية لجامعة القصيم*، 30، 82-101.
- الشهري، عبد الله بن محمد. (2023). توظيف تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية في رصد التغيرات البيئية بالمناطق الجافة. *مجلة الجغرافيا التطبيقية*، 15(2)، 45-62.
- العسبلي، منصور؛ الحربي، محمد؛ نحاس، فاتن حامد علي. (2024). تطبيق مؤشرات التصحر بمنطقة القصيم باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. *مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد*، العدد 20، 294-317.
- القرادي، م. ب. ضايم، & الحارثي، س. (2022). التكامل بين بيانات الاستشعار عن بُعد وتحليل الملازمة المعتمد على نظم المعلومات الجغرافية لزراعة أشجار البن العربي بمنطقة جازان. *المجلة العربية للدراسات الجغرافية*، 32(2)، 47-65.
- جامعة الملك خالد. (2023). دور تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في رسم خريطة تغير استخدامات الأراضي الزراعية في مدينة الطائف. *مجلة جامعة الملك خالد للعلوم الإنسانية*، 11(2)، 155-173.
- مبادرة السعودية الخضراء. (2021). عن مبادرة السعودية الخضراء. تم الاسترجاع من

<https://www.greeninitiative.gov.sa>

2.9. المراجع الغير عربي:

- Reddy, P., Kumar, S., & Sharma, V. (2025). Temporal remote sensing and GIS analysis of land use/land cover transitions: A case study in Annamayya District, India. *Journal of Environmental Management*, 150(7), 45-58.
- Singh, A., Patel, R., & Kumar, M. (2025). Predicting changes in land use and land cover using remote sensing and artificial intelligence techniques. *Ecological Informatics*, 70, 101603. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.101603>

- Zhang, B., Wu, H., & Li, X. (2023). Remote sensing of agriculture and land cover/land use changes in South and Southeast Asian countries. *National Science Review*, 10(4), nwac290. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac290>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA SP-351[١٩٧٤] .
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*.

جميع الحقوق محفوظة © 2026، الباحثة/ هدى بنت عبدالعزيز الشمري، الأستاذ الدكتور/ أحمد بن محمد البسام، المجلة

الأكاديمية للأبحاث والنشر العلمي (CC BY NC)

Doi: <https://doi.org/10.52132/Ajrsp/v8.86.3>