



عنوان البحث: "تقييم فعالية ERDAS IMAGINE Objective
في تصنيف البنية العمرانية بمدينة الطائف"

الباحثان: سلوى بنت حسن قحل
سهام بنت سعدي السلمي



"تقييم فعالية ERDAS IMAGINE Objective في تصنيف البنية العمرانية بمدينة الطائف"

أسماء المؤلفين:

سهام بنت سعدي السلمي

سلوى بنت حسن قحل

٥١٤٤٥ - ٢٠٢٤ م

مستخلص البحث باللغة العربية:

"تقييم فعالية ERDAS IMAGINE Objective في تصنيف البنية العمرانية بمدينة الطائف"

أسماء المؤلفين:

سهام بنت سعدي السلمي

سلوى بنت حسن قحل

المُلخَص:

تُمثّل عمليّة استخراج البيانات المستهدفة من صور الأقمار الصناعيّة أحد التّطبيقات الأساسيّة في مجال الاستشعار عن بُعد. يتطلّب استخراج البيانات المكانية من صور الاستشعار عن بُعد عادةً استعمال طُرُق التّحويل الرّقمي اليدوي، والتي تتسم بتعقيدها وتكلفتها العالية. وعلى الرغم من الجهود البحثيّة الواسعة لتطوير تقنيات تصنيف هذه الصّور - بما في ذلك الصّور الجوّيّة وصور الأقمار الصناعية - لكنّ العديد من هذه التقنيات مازالت بحاجةٍ إلى تحسيناتٍ قبل أن تُعتبر فعّالةً وقابلةً للتّطبيق في الواقع العملي. تنقسم تقنيات تصنيف صور الاستشعار عن بُعدٍ إلى فئتين رئيسيتين: الأولى تُركّزُ على تصنيف الصّور بناءً على البكسلات، والثّانية تستند إلى تصنيف الصّور بناءً على الكائنات. وعليه يستهدف البحث استعراض النهج المتكامل الذي يتبنّاه برنامج ERDAS IMAGINE Objective، والذي يقدّم مجموعةً متكاملةً من الأدوات التي يمكن تعديلها لتفي بالمتطلّبات والغايات الخاصّة بالمستخدم، بهدف استخراج الصور بكفاءة. وعليه فإنّ الهدف من هذه الدراسة هو تصنيف واستخراج البنية العمرانيّة في مدينة الطائف من خلال استخدام صور الأقمار الصناعية (Sentinel-2) من خلال تنفيذ أداة التّصنيف الموضوعي ضمن برنامج الاستشعار عن بُعد (ERDAS IMAGINE Objective)، وهي الطريقة الأحدث والأكثر تقدّمًا لتصنيف مرئيات الأقمار الصناعيّة. اعتمد الباحثان منهجيّةً تضمّنت معالجة البيانات الأوّليّة وإعدادها، يليها تحليل البيانات من حيث تصنيف الأراضي الحضريّة واستخراجها. وبالتالي، تمّ الحصول على خريطة موضوعية توضح توزيع البنية العمرانية داخل منطقة الدراسة، إلى جانب نسب وإحصاءاتٍ مختلفة تُشير إلى مدى التّحصّر في منطقة الدّراسة. بلغت المساحة المقدّرة للبنية العمرانية ٥٦,٩٤ كيلومترًا مربعًا، وهو ما يُمثّل حوالي ٨,٠٣٪ من إجمالي مساحة الأرض في منطقة الدّراسة. نُعتبرُ هذه النسبة كبيرةً، ممّا يُشيرُ إلى توزيع غير متوازنٍ لاستخدام الأراضي. علاوةً على ذلك فقد وصل تصنيف واستخراج الأراضي الحضريّة إلى نسبة ٨٤٪، وهو ما يُمكنُ اعتباره مُرضيًا. وقد لوحظَ أنّ تحقيق مستوى عالٍ من الدقّة في تصنيف واستخراج الأراضي الحضريّة يُمثّلُ تحدّيًا بسبب التّشابه في الخصائص الانعكاسيّة بين المناطق الحضريّة والأراضي الصّحراويّة، ممّا يؤدي إلى تقليل دقّة التّصنيف. تُوصي الدّراسة بتطبيق هذا النوع المُحدّد من التّصنيف للظواهر الجغرافيّة البشريّة، حيثُ إنّهُ أكثرُ ملاءمةً لمقارنته بطرق التّصنيف الأخرى المُصمّمة أساسًا للظواهر البيئيّة الطبيعيّة.

الكلمات المفتاحيّة:

الاستشعار عن بُعد /RS/ Remote Sensing، تصنيف الصور ERDAS IMAGINE Objective،
Image classification، Sentinel-2 images، ERDAS IMAGINE Objective.

"Evaluating the Effectiveness of ERDAS IMAGINE Objective Program in Classifying Urban Infrastructure in Taif City using Remote Sensing"

Abstract:

Extracting targeted data from satellite images represents a fundamental application in the field of remote sensing. The extraction of spatial data from remote sensing images typically requires the use of manual digital transformation methods, which are complex and costly. Despite extensive research efforts to develop image classification techniques, including aerial and satellite imagery, many of these techniques still require improvements before they can be considered effective and practical for real-world applications. Remote sensing image classification techniques are divided into two main categories: the first focuses on pixel-based image classification, and the second is based on object-based image classification. This research aims to review the integrated approach adopted by the ERDAS IMAGINE Objective program, which offers a comprehensive set of customizable tools designed to meet the specific requirements and goals of the user, with the aim of efficiently extracting images. Therefore, the objective of this study is to classify and extract urban infrastructure in the city of Taif using satellite images (Sentinel-2) through the implementation of the objective classification tool within the remote sensing program (ERDAS IMAGINE Objective), which represents the latest and most advanced method for classifying satellite imagery. The researchers adopted a methodology that included processing and preparing the raw data, followed by analyzing the data in terms of classifying and extracting urban lands. Consequently, a thematic map was obtained that illustrates the distribution of urban infrastructure within the study area, along with various ratios and statistics indicating the extent of urbanization in the study area. The estimated area of urban infrastructure was 56.94 square kilometers, representing about 8.03% of the total land area in the study area. This ratio can be considered significant, indicating an imbalanced distribution of land use. Furthermore, the classification and extraction of urban lands reached an accuracy of 84%, which can be considered satisfactory. It was observed that achieving a high level of accuracy in classifying and extracting urban lands represents a challenge due to the similarity in reflective properties between urban areas and desert lands, leading to reduced classification accuracy. The study recommends the application of this specific type of classification for human geographic phenomena, as it is more suitable compared to other classification methods primarily designed for natural environmental phenomena.** **Key words:** remote sensing, image classification, ERDAS IMAGINE Objective, Sentinel-2images, ERDAS IMAGINE Objective.

*General Authority for Remote Sensing.

مقدمة:

العمران هو دراسة تصميم وتخطيط وتطوير المدن والبيئات الحضرية. وهي تشمل مجموعة واسعة من التخصصات، منها: الهندسة المعمارية، والجغرافيا، وعلم الاجتماع، والاقتصاد، والعلوم السياسية. تُعتبر دراسة جغرافية العمران مهمة لعدد من الأسباب. حيث تُعد المدن موطناً لنسبة كبيرة ومتنامية من سُكَّان العالم، وفهم كيفية عملها وكيفية تحسينها أمرٌ ضروريٌّ لرفاهية سُكَّانها وازدهارهم. كما يلعبُ العمرانُ أيضًا دورًا رئيسًا في مواجهة التَّحديات العالمية مثل: تغيُّر المناخ، وعدم المساواة، ونضوب الموارد، حيثُ تستهلك المدن قدرًا غير متناسبٍ من الطَّاقة والموارد الأخرى في العالم.

يُمكنُ أن يساعد التَّخطيط والتَّصميم الحضريُّ الفعَّال في إنشاء مدنٍ صالحةٍ للعيش ومُستدامةٍ وعادلةٍ تُلبِّي احتياجات سُكَّانها. كما يمكنُ أن يساهم أيضًا في التنمية الاقتصادية والحيوية الثقافية للمدن من خلال تعزيز نمو الأعمال التجارية ودعم مجموعةٍ متنوِّعةٍ من الأنشطة الثقافية والاجتماعية. تُواجه عمليَّات التخطيط والتطوير للمدن بشكلٍ عامٍّ مزيدًا من التَّحديات لتجاوز البيئة المبنية وفهم تأثير التطوير العمراني وتداخل العوامل الاجتماعية والمادية والبيئية والاقتصادية والتكنولوجية وغيرها، لإنشاء مجتمعٍ أكثر سعادةً ومشاريع تطوير تجمع الناس معًا في بيئةٍ متكاملةٍ تمامًا، مع مُراعاة جميع جوانب العيش والقاطنين داخل هذا المجتمع للارتقاء بجودة حياتهم.

وقد شهدت العديد من المدن في جميع أنحاء العالم مُعدَّلات نموٍّ سريعةٍ ومفاجئةٍ في مجال التَّحضر بسبب التَّقدُّم الكبير في مجال النُّقل، والارتفاع الكبير في عدد السُّكَّان، ممَّا أدَّى بالتالي إلى زيادة الطَّلب على الإسكان والخدمات داخل هذه المُدن. نظرًا للفترة المزدهرة لإنتاج النُّفط وما يترتَّب على ذلك من مكاسب اقتصادية في مدن المملكة العربية السعودية. تحوَّلت العديد من القرى الصغيرة والنُّجوع إلى مُدنٍ حضريةٍ مترامية الأطراف في الوقت الحاضر، ممَّا يُظهر مُعدَّلات نموٍّ سكانيٍّ وعُمرايٍّ سريعةٍ (التوحيدي وآخرون، ٢٠١٨). يشمل هذا التَّقدُّم مجموعةً واسعةً من المجالات، بدءًا من التعليم والرعاية الصحية، وبيُّغ ذروته في التنمية التكنولوجية والحضرية، وإضافةً لعوامل أخرى لا يزال دور الجغرافيِّ والمُخطَّط حاسمًا في فهم التنمية الحضرية وتدابيرها، بهدف فهم الواقع، وتحديد وتحسين الاستخدام الأمثل للأرض لأي هدفٍ أو غرضٍ مُعيَّن .

تزيد مساحة المدن الكبرى حول العالم عن آلاف الكيلومترات المربَّعة، ولذلك فقد تطلَّب تحديد أماكن هذه الأراضي ومساحتها على الميدان الكثير من الوقت والجهد والمال، وهنا تبرز أهميَّة استخدام تقنيات الاستشعار عن بُعدٍ بشكلٍ رئيسٍ في قدرتها المتميِّزة على التَّعرُّف وتصنيف الأهداف أو العناصر المختلفة داخل الصُّور ومنها الأراضي العمرانية. وعلى الرغم من التَّقدُّم الكبير في تقنيات الاستشعار عن بُعدٍ وأدواتها، ما زال التحليل البصري يُعدُّ طريقةً أساسيةً يتمُّ الاعتماد عليها، ممَّا يتطلَّب جهدًا وموارد زمنيةً كبيرةً. تسعى الأبحاث الرئيسية في هذا المجال إلى تطوير منهجياتٍ وأساليبٍ آليَّةٍ تُحاكي القُدَّرات البشرية في التحليل البصري للصُّور بهدف الحصول على المعلومات بفعاليَّةٍ وسُرعةٍ عالية. تلعب الدقَّة المكانية والطيفيَّة دورًا حاسمًا في تحليل وفهم الصُّور المستخدمة في الاستشعار عن بُعد. إذ يُؤدِّي تحسين الدقَّة المكانية إلى تعزيز القدرات البشرية في تفسير الصور، بينما يُقلِّل من قدرة الحاسوب على إجراء تصنيفاتٍ دقيقة. من ناحية أخرى، تُساعد زيادة الدقَّة الطيفيَّة (عبر استخدام أعدادٍ أكبر من الأطياف) على تحسين فُرص الحواسيب في إجراء تصنيفاتٍ آليَّةٍ ناجحةٍ (Weng، وGrossman-Clarke، Myint، وGober، ٢٠١١). عند التَّعرُّف على المباني في الصُّور الفضائيَّة، تُعطى الأفضليَّة للدقَّة المكانية على الطيفية. ومع ذلك، تُؤدِّي زيادة الدقَّة المكانية مع خفض الدقَّة الطيفية إلى انخفاض في أداء التَّصنيف الآلي للحواسيب بسبب زيادة التَّفاصيل غير الصُّورية. سهَّلت التَّطوُّرات في الدقَّة المكانية لأجهزة الاستشعار مثل Sentinel-2، تحديد الميزات الأرضيَّة، ولكنَّ خفض عدد الأطياف يقلِّل من التَّنوع في الانعكاس الضوئي للأهداف، ممَّا يزيد من احتماليَّة الخطأ في التصنيف. لذا تهُدِّف طرق التصنيف الصُّوري الحديثة إلى تقليد القُدَّرات البشرية في

التحليل، معتمدةً على عوامل مثل: المنطقة، والشكل، والملمس، والنمط لتعزيز النتائج (Chepkochei, 2011). يستخدم برنامج ERDAS IMAGINE Objective - الممتاح تجارياً - نماذج الميزات لتحويل الصور المُجزأة إلى بياناتٍ شعاعيةٍ للتحليل اللاحق، معتمدةً على مُتغيّراتٍ هندسيةٍ ونسجيةٍ (Lack & Bleisch, 2010). مع زيادة الدقّة المكانية، وتزداد تفاصيل المناطق الحضرية، ممّا يُحسّن من قدرة تمييز الهياكل، لكنّ ذلك يجلبُ أيضًا تحدياتٍ للحواسيب بإدخال بياناتٍ غير ضروريةٍ قد تُؤثّر على دقّة التصنيف (Benediktsson, Pesaresi, Amason 2003). يُعدّ التصنيف القائم على الغرض وتجزئة الصور عُنصرًا مهمًّا في استخراج المباني من الصور الفضائية، حيث يعتمد نجاح استخراج المباني على دقّة تجزئة الصور والعتبات المطبّقة. مع تزايد تعقيد الصور الحضرية، تصبح عملية التجزئة أكثر صعوبةً، ممّا أدّى إلى تطوير عدّة طرقٍ لاستخراج شكل أسطح المباني بطريقةٍ آليّةٍ وفعّالةٍ (Cui, Yan, & Reinartz, 2012; Khoshelham, Li, & King, 2005).

مشكلة الدراسة:

تكثر في المناطق العمرانية التفاصيل المعمارية والبنوية المعقّدة، التي تبرز عادةً بوضوح في الصور المكانية ذات الطابع البصري المعقّد، الذي يسود المشهد الحضري المزدهم. على الرغم من ذلك، تُعاني الطرق التقليدية لتصنيف الصور - وخصوصًا تلك الأساليب التي تعتمد على تحليل البكسلات - من نقص في القدرة على إنتاج خرائط رقميةٍ تعكس بشكلٍ دقيقٍ وكاملٍ التّعقيدات البنوية لهذه الفضاءات العمرانية. هذا القصور يتعمّق بسبب التحديات في الحصول على صورٍ مكانيةٍ بدقّةٍ طيفيةٍ مرتفعةٍ تسمح بتصنيفٍ دقيقٍ ومفصّلٍ لهذه المناطق. نتيجةً لذلك، يبدو اللجوء إلى التعداد اليدوي خيارًا لا مفرّ منه، على الرغم من الصعوبات والتكاليف الكبيرة المرتبطة بهذه العمليّات، سواءً من ناحية الجهود أو التكلفة المالية. لذلك، تبرز الحاجة الماسّة إلى استكشاف وتطوير آليّاتٍ بديلةٍ لتصنيف الصور الفضائية بشكلٍ أوتوماتيكيٍ ودقيقٍ، بهدف تقليل الأعباء الثقيلة واستهلاك الموارد الناتجة عن الطرق التقليديّة للتصنيف اليدوي.

أهميّة الدراسة وأهدافها:

تُعدّ دراسة العمران مجالًا مهمًّا يمكن أن يكون له تأثيرٌ كبيرٌ على نوعيّة الحياة في المدن ورفاهية سُكّانها. وعليه لابدّ من تطوير منهجياتٍ رصد وقياس البيئات العمرانية بشكلٍ دوريٍّ بدقّةٍ عاليةٍ من خلال تطوير تقنيات الاستشعار عن بُعد باستخدام صور أقمارٍ صناعيةٍ لطرق التصنيف. فطرق التصنيف القائمة على الكائنات تُشكّل استراتيجيّةً فعّالةً لإتمام عملية التصنيف، حيث تستهدف تحديد وتصنيف الكائنات المتنوّعة. على الرغم من ذلك، يظلّ استخدام هذه الطرق في السياقات العمليّة محدودًا بسبب التحديات التي تنشأ من تعدّد الخطوات والإجراءات المطلوبة خلال عملية التصنيف. هذا التنوّع في الخطوات يُضفي مستوىً من التعقيد يجعل تطبيقها أكثر صعوبةً. يُعدّ تصنيف الصور الفضائية عمليةً تشمل سلسلةً من الخطوات المتنوّعة التي تعتمد على الأهداف الخاصّة بالتصنيف وخصائص الصور المستخدمة. بالإضافة إلى ذلك، يزيد التنوّع في الميزات التي يمكن استخراجها من الصور الفضائية، مثل البنائات والطرق، من تعقيدات عملية التصنيف. وعليه تُركّز هذه الدراسة على الأهداف التالية:

١. الكشف عن الخطوات الحاسمة التي لها تأثيرٌ مباشرٌ على دقّة الخرائط الناتجة من عملية التصنيف (Objective of classification).

٢. تقييم صحّة التصنيف (Accuracy assessment) للبنية العمرانية وفقًا لأشكالها على الأرض.

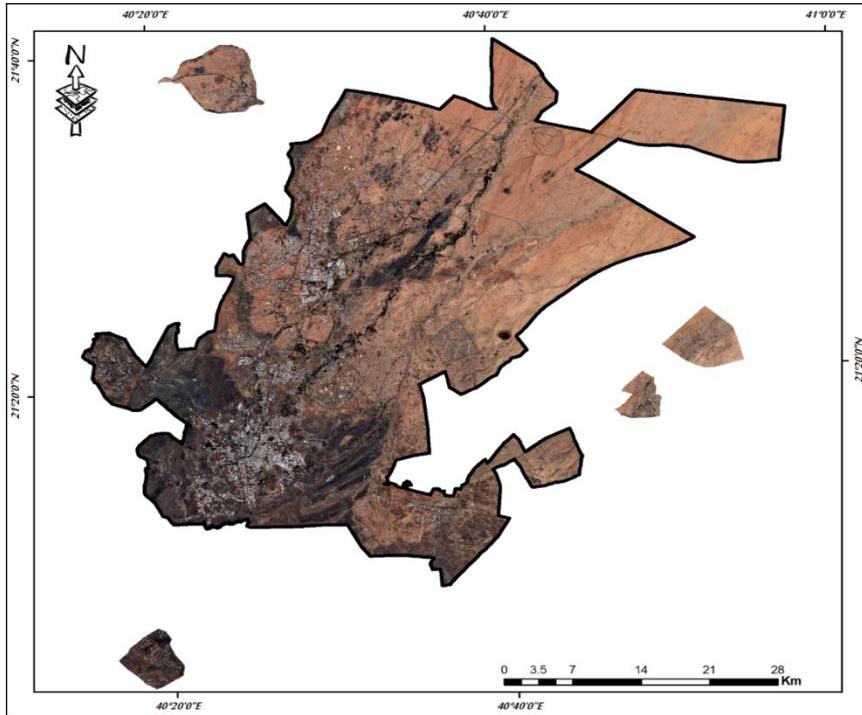
تساؤلات الدراسة:

وعليه تُحاول الدراسة الإجابة عن الاسئلة الآتية:

١. ما هي الإجراءات والأدوات والمراحل لتنفيذ طريقة تصنيف الأهداف على البنية العمرانية داخل منطقة الدراسة؟

شكل (١) منطقة الدراسة

المصدر: الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية (١٤٤٢هـ)، خريطة المملكة العربية السعودية.



شكل (٢) صورة قمر صناعي Sentinel-2A لمنطقة الدراسة (مدينة الطائف)
المصدر: القمر الصناعي Sentinel-2A

الدراسات السابقة:

سعت دراسة (القرادي والقحطاني، ٢٠٢٢) إلى تصنيف واسترجاع المناطق البيضاء في الخرج بالرياض، الواقعة في قلب المملكة العربية السعودية، باستخدام مقاطع فيديو الأقمار الصناعية عالية الدقة مع تحديد مكاني دقيق. اعتمد التحقيق على تنفيذ أدوات متقدمة ودقيقة في مجال برامج تكنولوجيا الاستشعار عن بعد من خلال استخدام طريقة التصنيف الموضوعي، والتي تشمل سلسلة من المراحل الهرمية لتوليد الناتج النهائي، أي استخراج الأراضي البيضاء. بعد ذلك، تم إجراء تقييم شامل لعملية التصنيف، وبلغ ذروته في خريطة موضوعية تشمل البيانات المكانية والوصفية المتعلقة بهذه الأراضي. كشفت نتائج هذه الدراسة أن ما يقرب من ٤٩٪ من إجمالي مساحة مدينة الخرج تحتلها الأراضي البيضاء، مما يدل على نسبة كبيرة. وتؤكد هذه النتيجة التوزيع غير العادل لأنماط استخدام الأراضي. علاوة على ذلك، بلغت نسبة صلاحية التصنيف ٨٠٪ وهي جديرة بالثناء، ويمكن أن يعزى ذلك إلى عوامل مختلفة تؤثر على دقة التصنيف، مثل التشابه في الخصائص الانعكاسية بين الأراضي الفضائية والظواهر الجغرافية الأخرى مثل أسطح المباني والشوارع، مما يؤدي إلى انخفاض صلاحية التصنيف. يؤكد هذا التحقيق على أهمية استخدام تقنية التصنيف الموضوعي (OC) في مجال التخطيط الحضري والدراسات داخل المدن نظراً لدقتها الاستثنائية وقدرتها التي لا غنى عنها كأداة تحليلية في تسهيل عمليات صنع القرار.

هدفت دراسة (المجلى، ٢٠١٧) إلى تصنيف واستخراج المناطق المكانية في الرياض من خلال استخدام صور الأقمار الصناعية المتطورة وأداة التصنيف الموضوعي (Objective Classification) ضمن

برنامج الاستشعار عن بعد (ERDAS). يُمثّل استخدام تقنية التصنيف الحديثة هذه ذروة طرق التصنيف المرئي للأقمار الصناعية، وقد التزم الباحث بدقةً بنهج منهجيّ يشملُ معالجة البيانات وإعدادها، يليه تحليلٌ شاملٌ للبيانات لتصنيف واستخراج المناطق المكانية عبر سبع مراحل متميّزة. كما تحقّق الباحث من دقّة عمليّة التصنيف والاستخراج للمناطق المكانية، وكرّر الإجراء لاحقاً لتعزيز متانة النتائج. أسفرت النتائج عن خريطةٍ مُحايدةٍ تعرض توزيع المناطق المكانية داخل منطقة الدراسة، إلى جانب العديد من النّسب والإحصاءات التي تُوضّح مدى الأراضي المكانية داخل منطقة الدراسة. تمّ تقدير مساحة وكميّة قطع الأراضي المكانية، مع حساب مساحة الأرض المكانية بـ ٤٩ كيلومتراً مربعاً، أي ما يُعادل ٣٠,٨٪ من إجماليّ مساحة الأرض في منطقة الدراسة. وهي نسبةٌ كبيرةٌ، ممّا يؤكّد التوزيع غير العادل لاستخدام الأراضي، وتُوصي الدراسة بأهميّة تطبيق هذا النوع من التصنيف للظواهر الجغرافية البشرية مقارنةً بالأنواع الأخرى من التصنيف التي هي أكثر ملاءمةً لظواهر البيئة الطبيعية.

تناولت دراسة (Shixin, W., et., al., 2013) التوصيف الموضوعي لاستخراج الأراضي الزراعية المهجورة في الصين والذي هو موضوع التحقيق. افترض الباحث أنّ التحقق الميداني - كوسيلةٍ لتحديد الأراضي الزراعية المهجورة - يفشل في تحقيق النتيجة المرجوة. وفي المقابل، يؤدّي استخدام تكنولوجيا الاستشعار عن بُعدٍ إلى نتائج دقيقةٍ لاستخراج الأراضي الزراعية المهجورة. استخدم الباحث صورة (SPOT-5) لإجراء مسح واستخراج الأراضي الزراعية المهجورة. تشير النتائج إلى أنّ التصنيف الموضوعي يحمل إمكاناتٍ كبيرةً لاستخراج الأراضي الزراعية المهجورة بدقةً، لا سيّما بمساعدة التقنيات الداعمة مثل برامج نظم المعلومات الجغرافية.

سعت دراسة (Briggs & Walker, 2007) إلى إجراء تصنيف الأهداف بهدف تمييز النباتات الخشبية في النظام البيئي الحضري الجاف من خلال استخدام التصوير الجوي عالي الدقة والألوان الحقيقية. كان هذا الإجراء مُتجدّداً في التقنية الموضوعية لتصنيف الظواهر، والتي تضمّنت تحديد وحدات البكسل الفردية والتجزئة اللاحقة للصورة. من خلال تحديد المعالم ذات الصلّة، أصبح من الممكن عزل حدود الغطاء النباتي بدءاً من الشجيرات إلى الأشجار الشاهقة، وتمييز الخصائص الطيفية المميّزة التي تُميّز النباتات الخشبية.

هدفت دراسة (Sugg, et., al., 2014) إلى ابتكار منهجيةٍ فعّالةٍ من حيث التكلفة وشبه آليّةٍ لرسم خرائط الأسطح غير المنقّدة في سيرا فيستا بولاية أريزونا، سواءً على مستوى الحيّ أو على مستوى مستجمعات المياه الفرعية الأكبر. يوضّح التحليل الذي تم إجراؤه على مقياس الجوار أنّ تصنيف الكائنات لصور Quick Bird تنتج عنه نتائج مُتنسقةً بمستوى من الدقّة جدير بالثناء. أدّى تطبيق هذا النهج على مساحةٍ تمتدّ على ١١٧٩ كيلومتراً مربعاً إلى إنشاء خرائط لأسطح غير منقّدة، ممّا أظهر مُتوسّط دقّةٍ إجماليّةٍ يبلغ ٨٨,١ بالمائة. يُسلّط هذا التحقيق الضوء على أهميّة استخدام التصنيف المُستهدف للصّور عالية الدقّة كوسيلةٍ للمراقبة الافتراضية لتوسع المناطق الحضرية في المناطق القاحلة، عبر مختلف النّطاقات المكانية. يعمل هذا المسعى على سدّ الفجوات المعرفية الحيويّة، وبالتالي تسهيل الإدارة الفعّالة لمستجمعات المياه.

هدفت دراسة (Benarchid, 2013) إلى استخراج المباني بطريقةٍ آليّةٍ من خلال استخدام التصنيف الموضوعي ومعلومات الظل إلى حدّ كبير. وتمّ استخدام صورٍ ساتليةٍ عالية الدقّة ومتعدّدة الأطياف في المنطقة الحضرية بتطوان، التي تقع في المغرب. تمّ تقييم جودة هذا النهج على مُستويين متميّزين: مستوى المنطقة ومستوى الظاهرة. يقوم المستوى الأوّل بتقييم فعالية ترسيم المباني، بينما يقوم المستوى الأخير بتقييم دقّة تحديد المواقع المكانية للمباني. والجدير بالذكر أنّ إحدى النّاتج البارزة كشفت عن مُعدّل اكتشاف ٨٧,٦٠٪ للمباني عندما تمّ تعديل المُعلّفات بشكلٍ مناسب، وتصميمها وفقاً للخصائص المحدّدة للمناطق قيد التحقيق.

أدوات الدراسة :

خلال هذه الدراسة، استعملنا برنامج ERDAS IMAGINE Objective الذي يُعدُّ جزءًا من حزمة برامج ERDAS Imagine 2020، والذي يسهل الوصول إليه. تم الاعتماد كذلك على صورة من القمر الصناعي Sentinel-2 بخصائصها المكانية العالية الجودة، كما هو موضح في الجدول رقم (١). تتميز هذه الصورة بدقة مكانية عالية تصل إلى ١٠ أمتار، وتغطي نطاقًا طيفيًا يتراوح بين ٠,٩٦ إلى ٠,٣٩. بالإضافة إلى ذلك، تتمتع بالقدرة على التمييز المكاني بدقة ١٠ أمتار عبر ثلاثة نطاقات طيفية مُحَدَّدة، وهي: ٦٦٤,٦ um، ٥٥٩,٨ um، و ٤٩٢,٤ um. يُذكر أن هذه الصورة الفضائية قد تم تحميلها في عام ٢٠٢٤.

جدول (١) خصائص القمر الصناعي (Sentinel 2A)

| رقم النطاق | نطاقات التصوير | الطول الموجي المركزي (نانومتر) CW (um) | Wave Length (min-max) | عرض النطاق الترددي Bandwidth | الدقة المكانية (الإيضاحية) (م) |
|------------|--------------------------------------|--|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | بداية الضوء المرئي C/A | 442.7 | 0.421-0.457 | 0.036 | 60 |
| 2 | الضوء المرئي الأزرق | 492.4 | 0.439-0.535 | 0.096 | 10 |
| 3 | لضوء المرئي الأخضر | 559.8 | 0.537-0.582 | 0.045 | 10 |
| 4 | الضوء المرئي الأحمر | 664.6 | 0.646-0.685 | 0.039 | 10 |
| 5 | حافة نباتية حمراء | 704.1 | 0.694-0.714 | 0.020 | 20 |
| 6 | حافة نباتية حمراء | 740.5 | 0.731-0.749 | 0.018 | 20 |
| 7 | الغطاء الأحمر للنباتات | 782.8 | 0.768-0.796 | 0.028 | 20 |
| 8 | NIR | 832.8 | 0.767-0.908 | 0.141 | 10 |
| 8_A | الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR_A | 864.7 | 0.848-0.881 | 0.033 | 20 |
| 9 | بخار الماء W-V | 945.1 | 0.931-0.958 | 0.027 | 60 |
| 10 | بداية الأشعة تحت الحمراء Cirrus SWIR | 1373.5 | 1.338-1.414 | 0.076 | 60 |
| 11 | الأشعة تحت الحمراء المتوسطة SWIR | 1613.7 | 1.539-1.681 | 0.142 | 20 |
| 12 | SWIR | 2020.4 | 2.072-2.312 | 0.240 | 20 |

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

تم استخدام مرئية القمر الصناعي الأوروبي (Sentinel-2A)، وتم تشغيله من قبل وكالة الفضاء الأوروبية، وتم تطويره من قبل شركة (Airbus Defense and Space)، وقد تم إطلاق أول قمر صناعي في ٢٣ يونيو ٢٠١٥ الساعة ١,٥٢ بالتوقيت العالمي على مركبة Sentinel-2A، وكانت خصائصه:

- متعدد الأطياف والبيانات (١٣ طيف).
- تغطيته عالمية منهجية لأسطح الأرض من ٥٦ درجة جنوبًا إلى ٨٤ درجة شمالًا.
- تتم إعادة الزيارة كل ١٠ أيام في نفس زوايا المرئيات في خطوط العرض المرتفعة، ويتداخل مخطط Sentinel-2 وتتم ملاحظة بعض المناطق مرتين أو أكثر كل ١٠ أيام، ولكن بزوايا مرئيات مختلفة.
- الدقة المكانية ١٠ م و ٢٠ م و ٦٠ م.
- مجال الرؤية ٢٩٠ كم.
- سياسة البيانات مجانية ومفتوحة.
- إسقاط البيانات: (Universal Transverse Mercator UTM)

■ النطاق: عالمي

■ صور المصدر: Sentinel-2

■ حجم الخلية: ١٠ م

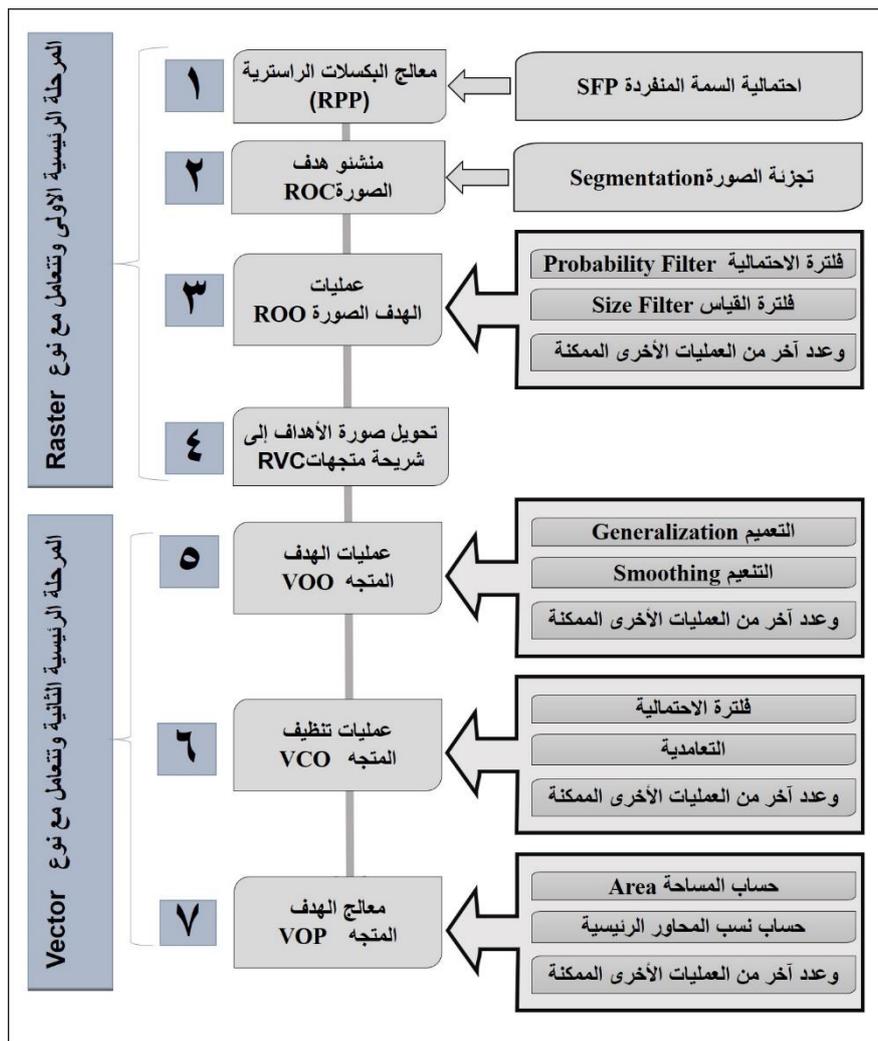
تمّ تنزيل الصور من موقع Hub Access Open Copernicus علماً أنّ تغطية الغيوم كانت معدومةً على كامل المرئية في الصورة المستخدمة. [/ https://scihub.copernicus.eu/](https://scihub.copernicus.eu/) منهجية الدراسة:

هذه الدراسة اعتمدت على المنهج الوصفي، التحليلي، والاستشعار عن بُعد. تمّ التركيز على فحص وتحليل الخطوات الضرورية لتحقيق تصنيف دقيقٍ لأهدافٍ مُعيّنةٍ من خلال الصور الفضائية، وقد كان الهدف تحديد العناصر الرئيسية التي تؤثر بشكلٍ كبيرٍ على جودة النتائج، مع إجراء مقارناتٍ بصريةٍ لتحديد الدقّة دون تقييمٍ كمّيٍ لها. الغاية من هذا الجهد البحثي كانت تبسيط الإجراءات المنهجية الموصى بها والسعي للوصول إلى معايير دقّة مقبولة ضمن الأوساط العلمية.

الإجراء المنهجي لاستخلاص البيانات باستخدام ERDAS IMAGINE Objective :

عملية استخلاص البيانات تنقسم إلى مرحلتين أساسيتين لتطوير نموذج السّمات. المرحلة الأولى: تشمل تحليل الصورة كمصفوفة من البكسلات، والمعروفة بالراستر. المرحلة الثانية: تُعالج الأجزاء المستخلصة كشرائح من البيانات الخطيّة، أو المُتجهات. يتمّ تقسيم المرحلة الأولى إلى أربع خطواتٍ فرعيّةٍ هي: تحديد احتمالية انتماء كل بكسل إلى الهدف المطلوب، وتجزئة الصورة، ومعالجة الكتل الخلوية المتجزّئة، وتحويلها إلى شكلٍ خطّيٍ يمكن أن يظهر كمضلعات أو خطوط. هذه الخطوات تُكمل المرحلة الأولى من تحليل الراستر.

المرحلة الثانية تتكوّن من ثلاث خطواتٍ هي: معالجة أوليّةٍ للأشكال الخطيّة، وإجراء عمليّاتٍ حسابيّةٍ وتخزينها بجدولٍ خصائص، وأخيراً تنقيح ومعالجة النتائج لإنتاج الشكل النهائي. لتوضيح العملية، يُقدّم الشكل (٣) رسماً بيانيّاً يوضّح الخطوات السبع الفرعية، مُقسّمةً بين معالجة الراستر والمُتجه، ويُظهر الأدوات المتاحة في كل خطوة. تتميّز هذه الأدوات بمرونتها، حيثُ يمكن تعديلها وإعادة ترتيبها لتُناسب المهمة الخاصة بها، كما أنّ كلّ واحدةٍ مُزوّدةٌ بمُعلماتٍ قابلةٍ للتعديل لتحقيق الدقّة المطلوبة في معالجة البيانات.



شكل (٣) رسمٌ مخططي يوضح الخطوات المتتالية

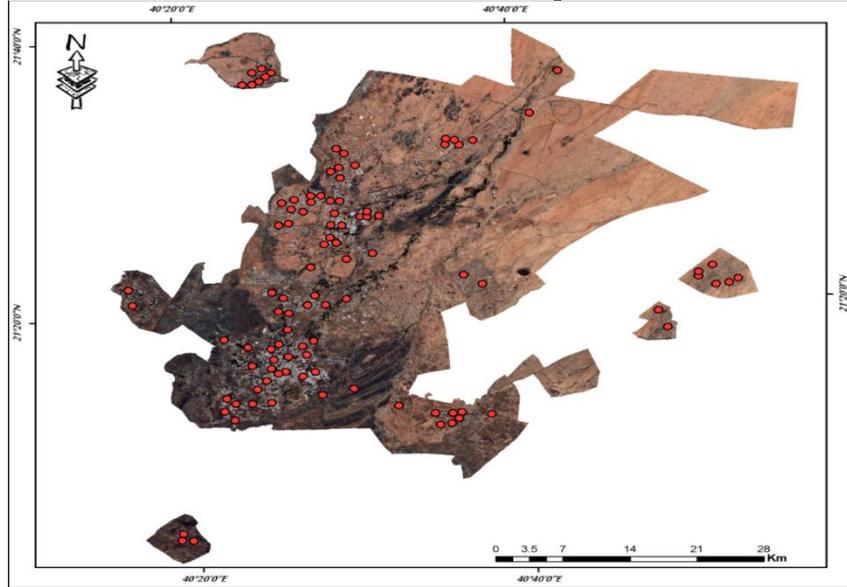
الخطوات المتتالية ضمن برنامج ERDAS IMAGINE Objective :

خلال استخدام برنامج ERDAS IMAGINE Objective ، تم إنشاء وتحديد المشروع بالإضافة إلى نموذج الخصائص المستخدم لفصل طبقة المباني باستعمال صورة فضائية، وذلك من خلال الخصائص المتغيرة. يُقدّم البرنامج هيكليةً مرحليةً مُنظمةً لنموذج الخصائص، ممّا يسمح بالعمل عبر سبع مراحل بشكلٍ تتابعيٍّ، ويمنح المستخدمين إمكانية اختيار أدواتٍ مُحددةٍ ضمن كلِّ مرحلة .

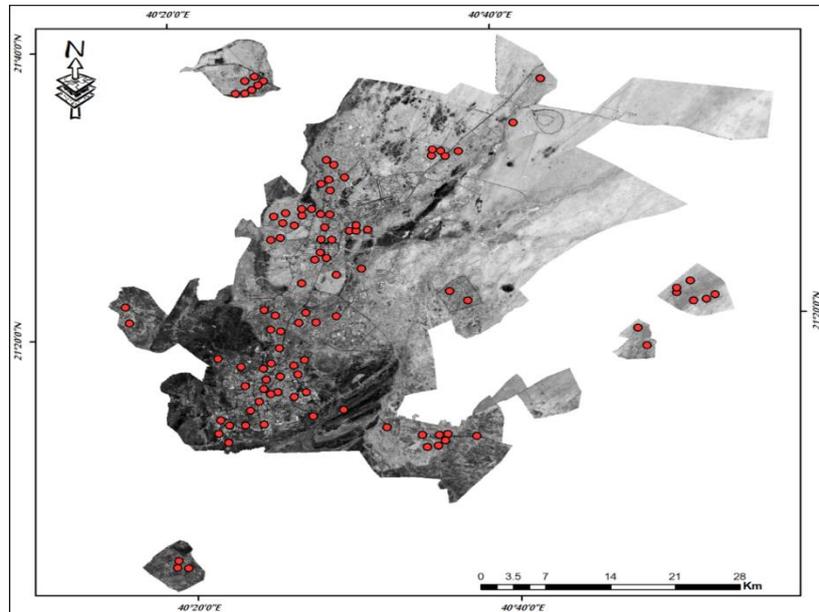
١- المرحلة الأولى هي استخدام مُعالج البكسلات الـ RPP:

حيث تستفيد من احتمالية الخاصية الفردية (SFP) كمؤشرٍ للبكسل. باستخدام عينات التدريب المُحددة، شكل ٤. حيث تم تصنيف البكسلات بصورة فردية. يحظى المستخدمون بالقدرة على انتقاء

عيناتٍ من المباني لاستخلاصها دون إدراج الخلفية. في هذه الدراسة، تمَّ اختيار عيناتٍ من المباني كعيناتٍ تدريبٍ لعملية التّصنيف، موزّعة بشكلٍ مُتساوٍ داخل منطقة الدراسة ومُحدّدة كمُضلعَاتٍ تُغطّي الأسطح. بالرغم من إمكانية اختيار عيناتٍ للخلفية، يُفضّل التركيز على الأهداف المُحدّدة لتحقيق الكفاءة في الوقت والجهد. يُقدّم البرنامج كذلك خاصيّة تحديد بكسلات الخلفية بشكلٍ آليٍّ. بناءً على مقارنة البكسلات بعينات التّدريب، يُولّد مُصنّف البكسلات مقطع احتمال البكسل (PPL)، الذي يُخصّصُ قيمًا من صفرٍ إلى واحدٍ لكل بكسل، بناءً على احتمالية انتمائها للهدف المُحدّد (المباني). يتمُّ عرض مثالٍ على مقطع احتمال البكسل المُولّد من RPP في الشكل ٥.

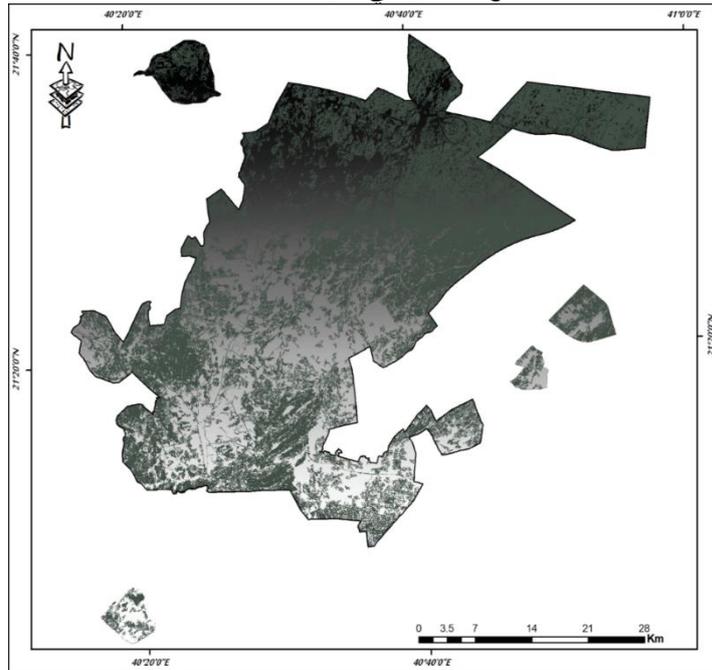


شكل (٤) العينة المختارة من المباني



شكل (٥) مثالٌ على مقطع احتمال البكسل المُولّد من RPP

رغم نقص القنوات الطيفية الإضافية في الصورة المتوفرة لمنطقة الدراسة، والتي كانت ستُعزِّز من قدرتنا على التمييز بين الانعكاسات الخاصة بالأهداف المرجوة (المباني)، إلا أنه تمَّ ملاحظة أنَّ المباني تنعكس بشكل كبير في النطاق الأحمر. لذا، يمكننا تحديد عتبةٍ لاحتمالية لتحسين دقة التصنيف. يُتيح البرنامج ضبط هذه العتبة عبر لوحة خصائص SFP، ما يُساعد أيضًا في اختيار عينات الخلفية بشكلٍ آلي. تمَّ تحديد عتبة احتمالية بقيمة ٠,٩، لهذه الدراسة، وذلك بناءً على التباين الواضح في انعكاس المباني. الشكل ٦ يعرض النتائج المُحقَّقة بعد تطبيق هذه العتبة. من خلال المقارنة مع النتائج السابقة المعروضة في الشكل ٥، يُلاحظ بوضوح أنَّ بكسلات طبقة المباني قد تمَّ التمييز بينها بشكلٍ أكثر وضوحًا. وعليه، ستكون هذه النتيجة أساسًا للخطوة التالية في البحث.

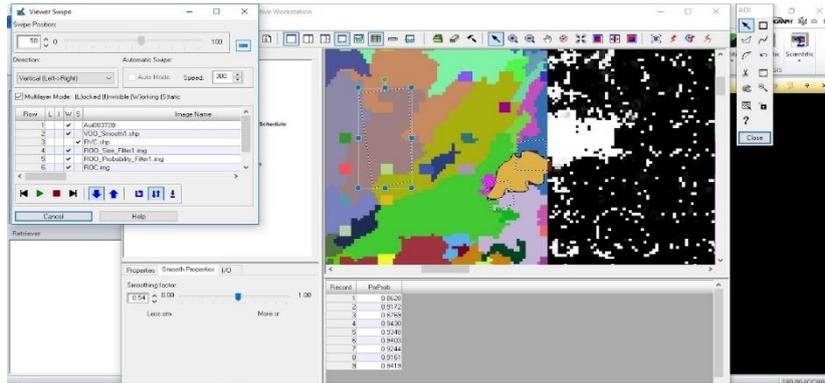


شكل (٦) النتائج المُحقَّقة بعد تطبيق قيمة عتبة (٠,٩)

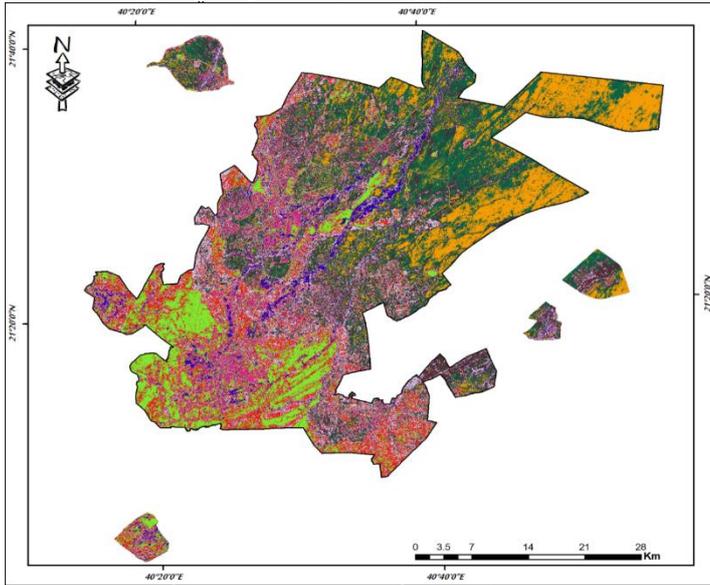
٢- إنشاء هدف الصورة الرقمية (ROC) Raster Object Creators :

في عملية إنشاء هدف الصورة الرقمية (ROC - Raster Object Creators)، تُستخدم تقنيات تجزئة الصورة وكشف الحواف لتحديد مناطق مُتجانسة. تعتمد عملية تجزئة الصورة على تحليل التشابه والقرب بين بكسلات الصورة، مما يُبسِّط الصورة ويجعلها أسهل للتحليل. يُمنح المستخدمون القدرة على اختيار معايير التجزئة، مثل: المسافة الإقليدية، الفرق الأدنى في القيمة، عامل التباين، العتبة، والحد الأدنى لعدد البكسلات لتمثيل هدف. يُؤدِّي هذا إلى إنشاء طبقة تُعرف باسم طبقة الكائن النقطية (ROL)، حيثُ يحصل كلُّ عنصرٍ على مُعرِّفٍ فريدٍ يمثل جزءًا مُحدَّدًا من الصورة، وكلُّ جزءٍ يتكوَّن من بكسلات مُتجاورة ومتشابهة. يُستخدم هذا الجزء أيضًا البيانات المُستمدَّة من مقطع احتمالية العنصر PPL المُحصَّلة في المرحلة السابقة، RPP، لحساب مُتوسِّط الاحتمال لكلِّ هدفٍ داخل الصورة. في التطبيق العملي المُستخدم كمثال، تمَّ اختيار أداة التجزئة لتقسيم الصورة باستخدام كلِّ الطبقات المُتاحة، مع تحديد الإعدادات الافتراضية للاختلاف في القيمة الدنيا وعامل التباين من خلال خاصية "Compute Settings" ضمن لوحة "Segmentation Properties". ومن خلال الوصول إلى

"Advanced Settings"، تمّ استخدام كشف الحوافّ بعتبة ١٥، وحدّ أدنى للطول يبلغ ٥٠ بكسل، بالإضافة إلى تحديد الحدّ الأدنى للمساحة بـ ٤٠٠ بكسل. كما يوضّح الشكلان ٧ و ٨، الخطوات والصورة الناتجة من عملية التجزئة في مرحلة ROC، مستخدمة الإعدادات التجريبية المذكورة أعلاه. يعكس كلّ جزء أو هدف داخل الصورة المُجرّأة قيمة احتمالية تُمثّل متوسط احتماليّات البكسلات المكوّنة لهذا الهدف، والتي يتمّ تخزينها في حقل "Pix-Pro" بجدول خصائص الصورة المُجرّأة. تُعدّ هذه المرحلة من تجزئة الصورة خطوة حاسمة تتطلّب دقّة عالية لضمان نتائج موثوقة. بناءً عليه، يُمكن القول إنّ المرحلتين الأولى والثانية، RPP و ROC، تُشكّلان الأساس الرّئيس لعملية التصنيف فيما يخصّ تحديد الأهداف المختلفة.



شكل (٧) عملية التجزئة في مرحلة ROC



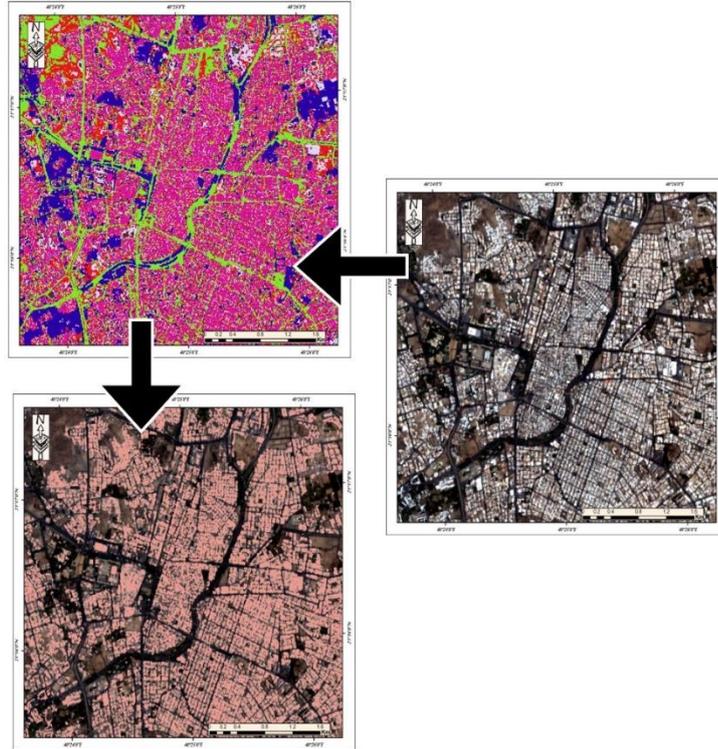
شكل (٨) الصورة الناتجة من عملية التجزئة في مرحلة ROC

٣- عمليات هدف الصورة الرقمية (ROO) Raster Object Operators :

- في هذا القسم من العملية، تتمّ معالجة مقطع ROL المستخرج من المرحلة السابقة، ROC، باستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات المُحدّدة لتحسين النتائج. يتمّ توفير عدّة أدوات قابلة للتطبيق والتنظيم حسب الرّغبة خلال هذه المرحلة، بما في ذلك:
- إزالة الأهداف بناءً على احتمالاتها: هذه الوظيفة تقوم بإقصاء الأهداف التي لا تُلبّي حدّ احتمالٍ معيّن.
 - التّنقية حسب الحجم: تُستخدم لإزالة الأهداف التي تقع خارج نطاق حجمٍ مُحدّد.
 - التّمُدّد: يعمل على زيادة حجم الأهداف بإضافة عناصر صورةٍ مُجاورةٍ لها.

- التآكل: يُقلل من حجم الأهداف بإزالة عناصر الصورة المحيطة بها.
- التصفية بناءً على قياس الكتلة: تهدف إلى إزالة الكتل ذات القيم الأصغر التي تنتج من دمج الكتل المجاورة.

هذه العمليات تؤدي في النهاية إلى إنشاء مقطع نهائي يعرض مجموعات بكسل مُعبّرة عن المباني المستخرجة ومُتوسّطات احتمالاتها. في الاستخدام العملي لهذه الأدوات، تمّ الاقتصار على استخدام ثلاثٍ منها فقط: تصفية الاحتمالات، تصفية التآكل، وتصفية الحجم، مع تعيين الحد الأدنى لاحتمال الفلتر عند ٠,٥ واستخدام قالب بحجم 3×3 بكسل لعملية التآكل، ومن ثمّ إزالة الأهداف التي تقل مساحتها عن ٤٠٠ بكسل، شكل ٩.



شكل (٩) يُبيّن نتيجة تطبيق هذه الأدوات

٤- تحويل الصورة إلى مُتجهات (RVC) Raster to Vector Conversion :

يتضمّن تحويل الصورة إلى مُتجهات، والمعروف أيضًا باسم RVC، وإنشاء مقاطع مُضلّعة مُتّجهة من الصورة المُعالجة في المراحل السابقة. هذا التحويل يُنتج طبقةً من الأهداف المُتّجهة (VOL)، حيث يتمّ تمثيل كلِّ هدفٍ بمُضلّعاتٍ تشمله.

٥- عمليات الهدف المُتّجه (VOO) Vector Object Operators :

خلال مرحلة عمليات الهدف المُتّجه (VOO)، تتمّ مُعالجة طبقة VOL باستخدام عملياتٍ تهدف إلى تحسين وتبسيط المُضلّعات عبر التعميم والتنعيم، ممّا يُقلل من عدد المُضلّعات غير الصّوريّة. كما يُمكن خلال هذه المرحلة استخدام أداةٍ خاصّةٍ لإزالة الجزر الدّاخليّة داخل المُضلّعات، مهما كان حجمها، ممّا يُؤدّي إلى إنشاء طبقة VOL مُحدّثة.

٦- عمليات تنظيف المُتجه (VCO) : Vector Cleanup Operators

في المرحلة النهائية، التي تُسمى عمليات تنظيف المُتجه (VCO)، تُستخدم مجموعة من الأدوات لتحسين الشكل النهائي للمقاطع المُضلعة. هذه الأدوات تشمل:

- فلتر الاحتمالية: يستبعد المُضلعات بناءً على قيمة احتمال مُعيّنة.
- التّنعيم: يعمل على تحسين جودة ونعومة حدود المُضلع.
- التّعَامُدِيّة: يتم تبسيط الحدود المُعقّدة للمُضلع بالتقليل من الزوايا الحادّة، عبر عمليّة مُحدّدة تبدأ بالتّنعيم، متبوعة بإزالة الجزء غير المطابق للمعايير المُحدّدة، وأخيراً تدوير الأجزاء لتحقيق زوايا عموديّة.

في التّطبيق العملي لهذا النّموذج، تمّ استخدام أداة التّعَامُدِيّة لإنتاج مُضلعات بزوايا شبه قائمة، كما يظهر جلياً في الشكل (١٠) الذي يعرض النتيجة النهائية للمنهجية المُقترحة. هذا الشكل يُبيّن بوضوح كيف تمّ تحديد وتصنيف معظم المباني ضمن المنطقة المدروسة بِدِقّة.

٧- استخلاص مساحات البنية العمرانيّة :

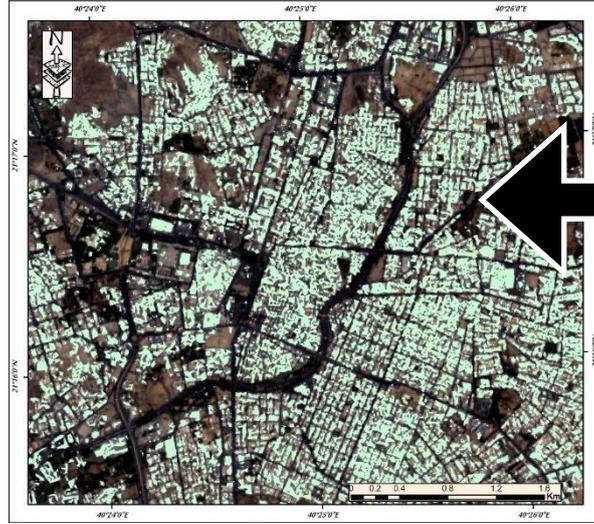
جدول (٢) النّتائج الوصفية بعد عمليّة تصنيف واستخلاص البنية العمرانيّة

| المساحة بالكم ^٢ | الوصف |
|----------------------------|---------------------------------------|
| ١٧٧٢ | مساحة منطقة الدراسة |
| ٥٦,٩٤ | مساحة طبقة البنية العمرانية المستخلصة |

إثر إجراءات: المعالجة، والتحليل، والتصنيف المُطبّقة على الصّور الفضائيّة بالاعتماد على أسلوب التّصنيف الهدي لاستخراج المعالم العمرانيّة، توّصلنا إلى نتائج عُرضت ضمن طبقة خَطِيّة مُستقلّة بتنسيق (Shapefile)، أسهمت في إنشاء خريطة ذات موضوع خاصّ (شكل ١٠)، تُبيّن تفاصيل توزيع المعالم العمرانية في كافّة أنحاء منطقة البحث. هذه الطبقة مكّنتنا من تحليل ومعالجة وفهم نتائج التّصنيف هذا، حيث قدّمت بياناتٍ مكانيّةً ووصفيّةً تُخصّ توزيع المعالم العمرانية في مدينة الطائف. البيانات المكانية كشفت عن أنماط توزيع وانتشار المعالم العمرانية، بينما ساهمت البيانات الوصفية في توفير معلوماتٍ حول مساحة هذه المعالم ونسبتها من إجمالي المنطقة المدروسة، ممّا يجعل هذه المعلومات ذات قيمةٍ كبيرةٍ للمؤسسات والجهات الحكومية في سياق اتّخاذ القرارات المتعلقة بها. وتبلغ مساحة المعالم العمرانية ٥٦,٩٤ كيلومتراً مربّعاً.



صورة القمر
الصناعي



الطبقة
النهائية

شكل (١٠) صورة القمر الصناعي وطبقة المباني النهائية
الناجمة عن الخطوات: ٤ و ٥ و ٦

٨- معالجة الهدف المتجه (VOP) Vector Object Processor :

في هذه الخطوة، التي تُعرف بمعالجة الهدف المتجه (VOP)، يتم إجراء مجموعة واسعة من العمليات الحسابية على الطبقة الخطية VOL، والتي تم إنشاؤها من خلال المرحلة السابقة لعمليات الهدف المتجه (VOO). ضمن نطاق المؤشرات المتاحة للعمليات، تتم الاستفادة من عدة معلومات لأغراض الحساب، حيث يقوم النظام بتخزين النتائج في جدول يخص مواصفات الطبقة الخطية. من الجدير بالذكر أن هذه المرحلة لا تُعدّل في شكل المضلعات داخل الطبقة، بل تقوم بإضافة بيانات إلى جدول المواصفات بناءً على المؤشرات المحددة مسبقاً. بالإضافة إلى ذلك، يتم إدخال حقل جديد يُسمى (Probability)، يُعبّر عن فرصة كلّ مضلع في أن يكون جزءاً من الهدف المُستهدف. استناداً إلى مقارنة بيانات التدريب، فإن تأثير شكل بيانات التدريب يكون ملحوظاً في هذه المرحلة، حيث يمكن اختيار بيانات التدريب بناءً على البكسلات أو الكائنات أو كليهما، بما في ذلك التّحديد بواسطة (Bot) لعدّة مرّات. العينات المختارة بناءً على البكسل تُستخدم بشكلٍ حصريّ لحساب احتمالية النقاط المحددة مسبقاً في المرحلة الأولى من RPP. ومع ذلك، عند اختيار العينات بناءً على الكائن أو كلّ من البكسل والكائن، يُستخدم هذا النوع من العينات لتحديد قيمة حقل (Probability). لذا، يجب أن يعكس شكل العينات المختارة بدقة شكل الهدف المطلوب. الهدف الرئيسي من تحديد قيم المؤشرات هو إتاحة الفرصة للمستخدم لتحسين وتعديل هذه القيم لاحقاً بناءً على المعايير المناسبة لتصنيف الأهداف الخطية المُستخرجة، مثل المباني، من خلال تقديم مجموعة من الحسابات للمؤشرات الممكنة خلال هذه المرحلة.

■ حساب مؤشرات الشكل الهندسي لكلّ مضلع: هذا يشمل حساب المساحة الصافية للمضلع بالنظر إلى المساحات الداخلية المستبعدة، والمحيط الكلي مع مراعاة المحيطات الداخلية للجزر. من الأهمية بمكان أيضاً حساب نسبة مربع المحيط إلى المساحة، وهو مقياس فعّال لتمييز الأشكال المختلفة للمضلعات؛ حيث تُظهر المضلعات الدائرية القيمة الأدنى، وتزداد القيمة مع تعقيد أو استطالة الشكل. كما يُؤخذ في الحسبان طولي المحورين الرئيسي والثانوي للمضلع ونسبتهما، ممّا يساعد على تقييم مدى قرب شكل المضلع من المستطيل.

- **مؤشر الارتباط بالظل:** يُعتبر هذا المؤشر أساسيًا لقياس التّواصل المكاني بين المصنّع والظواهر المحدّدة مثل: الظلال، والتي يتمّ تحديدها من خلال ملفّ مُتّجه خاصّ يستخرج الظلال المرتبطة بالمباني. يمكن للمستخدمين تحديد الزاوية بين قطعة البناء والظل المرتبط بها، حيثُ تدلُّ الزاوية صفر على اتّجاه شرقيّ، وتزداد الزاوية بشكلٍ عكسيّ لعقارب الساعة، ممّا يدلُّ على تغيُّر اتّجاه الظل. يُمكن أيضًا تحديد هذه الزاوية آليًا عبر تصنيفٍ يعتمدُ على فحص الاحتمالات وتحليل المصنّعات المُجاورة.
 - **مؤشر تحليل التّوزيع التجريبي (EDA):** يُستخدمُ هذا المؤشر لتقييم مدى تطابق التوزيع الإحصائي لعناصر الصورة ضمن الهدف المستخرج مع تلك الموجودة في عينات التدريب. يختلف EDA عن الأساليب الإحصائية الأخرى برصده للتكرار النسبي للقيم العددية لكلّ هدف، ممّا يُوفّر فهمًا دقيقًا لتوزع البيانات ضمن الهدف.
- في التطبيق العملي لهذا النموذج، تمّ تحديد ثلاثة مؤشّراتٍ رئيسيةٍ وهي: المساحة، ونسبة مرّبع المحيط إلى المساحة، ودرجة المستطيلية. يُوضّح الشكل رقم (١١) جزءًا من الجدول الخاص بالخصائص المرتبطة بالنتائج المُحصّلة. كما أشرنا في وقتٍ سابقٍ. البيانات الناتجة من المرحلة السّابقة، المعروفة بـ VOO، تبقى كما هي دون تعديل، لكن تمّت إضافة عدّة حقولٍ جديدةٍ إلى جدول الخصائص. من أبرز هذه الإضافات حقل الاحتمالية، الذي يُقدّم نظرةً عامّةً على مدى التّشابه بين كلّ مصنّع والعينات التّدريبية المُختارة للهدف المُحدّد.

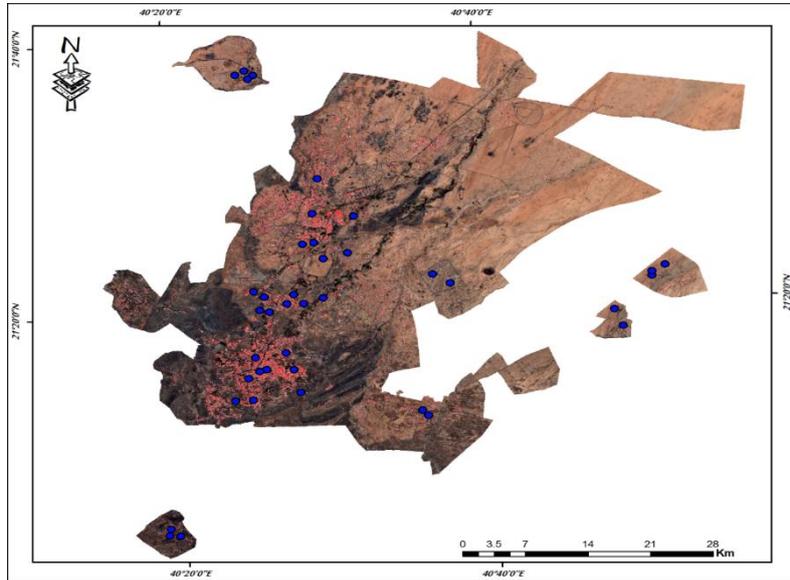
| Record | PixProb | Area | Axis2_Axis1 | Rectangular | Probability |
|--------|---------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 31 | 0.8803 | 2732.0313 | 0.7458 | 0.6578 | 0.8091 |
| 32 | 0.9380 | 2655.0781 | 0.7573 | 0.4238 | 0.7076 |
| 33 | 0.8933 | 1892.1875 | 0.6689 | 0.6273 | 0.7901 |
| 34 | 0.9119 | 1914.0625 | 0.6568 | 0.5522 | 0.7711 |
| 35 | 0.8589 | 3136.3281 | 0.9901 | 0.6802 | 0.7632 |
| 36 | 0.9388 | 2192.9688 | 0.9239 | 0.6976 | 0.8313 |
| 37 | 0.8117 | 2673.4375 | 0.8110 | 0.6171 | 0.7937 |
| 38 | 0.8812 | 2662.5000 | 0.7822 | 0.5528 | 0.7514 |
| 39 | 0.7877 | 2927.3438 | 0.8652 | 0.6299 | 0.7605 |
| 40 | 0.8975 | 2834.3750 | 0.7692 | 0.5598 | 0.7703 |
| 41 | 0.9729 | 2202.1484 | 0.8264 | 0.5432 | 0.7670 |
| 42 | 0.8886 | 2275.3906 | 0.7690 | 0.6604 | 0.8038 |

شكل (١١) جزء من جدول المواصفات للشريحة الناتجة عن مرحلة VOP

٩- اختبار صحّة التّصنيف Accuracy Assessment:

تعدُّ عمليّة التّحقّق من صحّة التّصنيف إحدى الخطوات الأساسيّة لتحديد مستوى دقّة التّصنيف في أي نوع من أنواع الاختبارات، سواءً كانت التّصنيفات تحت إشرافٍ أو بدون إشرافٍ، هدفية، أو ضمن آليّات تطابق النتائج وغيرها. كما يمكن إجراء اختبارات الصحة في أي برنامج. في هذه الدراسة، تمّ استخدام اختبار الصحّة الكليّة في برنامج ArcGIS، من خلال إجراء عينة عشوائية موزّعة استراتيجيًا، حيثُ تمّ توزيع ٥٠ نقطة عشوائيًا عبر منطقة الدراسة (كما هو موضّح في الشكل ١٢)، وقد أظهرت نتائج التّصنيف دقّة بلغت ٨٤٪، وتُعتبر نسبةً مرتفعةً. علاوةً على ذلك، تمّت مقارنة نتائج التّحليل مع الصّور الفعلية لمنطقة الدّراسة، وتبيّن أنّ بعض المباني لم يتم تصنيفها كذلك؛

وذلك يعود إلى وجود أراضي صحراوية بينها، حيث إن الخصائص الطيفية المنعكسة لهذه الأراضي تتشابه مع خصائص الأشعة الطيفية للمناطق العمرانية، مما يؤدي إلى تقليل دقة التصنيف.



شكل (١٢) توزيع عينات اختبار صحة التصنيف

النتائج:

تُعتبر عملية التصنيف باستخدام برنامج ERDAS IMAGINE Objective ناجحةً عند الوفاء بمعايير الأهداف المحددة مسبقاً، وهذا النجاح يعتمد بشكل رئيس على عاملين مهمين:
- العامل الأول يتعلق بالدقة المحققة في التعرف على احتمالات وجود الأهداف في الصورة، الناتجة عن الخطوة الأولى في سلسلة تحليل السمات، المعروفة بـ SFP - RPP لتحديد احتمالية وجود هدفٍ مُعيّن بدقة، من الضروري وجود تباين في الخصائص الطيفية للهدف ضمن الصورة. لذلك، يُنصح باقتناء صور ذات أطرافٍ متنوعة لزيادة دقة التصنيف. من الاقتراحات المفيدة تقسيم الصورة المُستهدف تصنيفها إلى مجموعة من الأهداف ذات الخصائص الطيفية المُتميّزة، وتطوير نموذج سمةٍ مُحدّد لكل هدف.

-العامل الثاني يخص نجاح تجزئة الصورة في مرحلة إنشاء الهدف الخلوي ROC، والذي له تأثير مباشر على الدقة. يُوفّر برنامج ERDAS IMAGINE Objective مجموعة متنوعة من خوارزميات التجزئة وإمكانية تعديل إعداداتها لتحقيق نتائج ممتازة. مع التطور المستمر في بحوث الخوارزميات، من المفيد البحث في إمكانية دمج خوارزميات جديدة وفعّالة داخل البرنامج لتعزيز دقة التصنيف. كما أنّ توافر صور عالية الجودة وذات دقة مكانية عالية يُعزّز بشكل كبير من فعالية عملية التجزئة. عند التخطيط لإنشاء نماذج سماتٍ لأهدافٍ مُتعدّدة، يمكن تنفيذ عملية التجزئة مرّةً واحدةً وإعادة استخدام نتائجها في كلّ نموذج، ممّا يُوفّر الوقت ويجعل العملية أكثر فعالية. بالتالي، يُبدل جهدٌ مُركّز على الخطوات الأولى في إعداد نموذج السمات، يمكن توقّع تحسين كبير في دقة التصنيف النهائي. ومع ذلك، فإنّ تأثير الخطوات اللاحقة على الدقة يُعتبر ثانوياً وأقل أهمية عند المقارنة.

من خلال المقارنة البصرية بين الصورة التي تمّ تحليلها باستخدام طريقة التصنيف التي نقتربها والصورة الأصل، يمكننا أن نُؤكّد بثقة على الدقة الملحوظة التي تمّ تحقيقها. يجب الإشارة، مع ذلك، إلى أنّ تقييم

الدقة لم يتم بشكلٍ كمّيٍّ بسبب العوائق المتعلقة بجودة الصورة المُستخدمة. للأسف، لم يتسنَّ لنا الوصول إلى صورةٍ بالجودة المكانية المثالية لإجراء هذا التحليل. لذلك، ركّز التقييم بشكلٍ أساسيٍّ على الجوانب النوعية، مُحققًا بذلك الهدف الرئيس للبحث الذي يتمثل في استكشاف كفاءة تقنية التصوير في تمييز وتصنيف المباني الحضريّة بشكلٍ آليٍّ لتحسين دقة التصنيف. على الرغم من عدم استغلال كافة الأدوات المتوفرة بشكلٍ كامل، إلا أنّ الدقة المحقّقة تُعتبر مُمتازة نظرًا لجودة الصورة المستخدمة. لتحسين نتائج التصنيف، يُنصح بشراء صور أقمارٍ صناعية ذات جودة أعلى، وتحسين النموذج المقترح من خلال إضافة أدواتٍ تحليليةٍ إضافية. من المهم التأكيد على أهميّة اختيار عينات تدريبٍ دقيقةٍ وشاملةٍ تُغطّي الخصائص المطلوبة للهدف، بما في ذلك الخصائص الطيفية والهندسية المختلفة. على سبيل المثال، لا يمكن الاستفادة الكاملة من الأدوات المُقدّمة في المرحلة ٦ (VOP) دون اختيار عينات تدريبٍ تعكس بدقة الشكل الهندسي للهدف. والأدوات والخوارزميات المتوفرة في ERDAS IMAGINE Objective، بالإضافة إلى بيئة العمل التفاعلية، التي تُسهّم بشكلٍ كبيرٍ في تسريع عملية التصنيف الآلي للصّور في المناطق الحضريّة، ممّا يُسهّل إجراء الدراسات الحضريّة المختلفة.

تمّ استخدام اختبار الصّحة الكليّة في برنامج ARCGIS، من خلال إجراء عينة عشوائيةٍ مُوزّعةٍ استراتيجيةً، حيث تمّ توزيع ٥٠ نقطة عشوائيةً عبر منطقة الدراسة، وقد أظهرت نتائج التصنيف دقةً بلغت ٨٤٪، و تُعتبر نسبةً مرتفعةً. علاوةً على ذلك، تمّت مقارنة نتائج التحليل مع الصّور الفعلية لمنطقة الدراسة، وتبيّن أنّ بعض المباني لم يتمّ تصنيفها كذلك، وذلك يعود إلى وجود أراضٍ صحراويةٍ بينها، حيث إنّ الخصائص الطيفية المنعكسة لهذه الأراضي تتشابه مع خصائص الأشعة الطيفية للمناطق العمرانية، ممّا يُؤدّي إلى تقليل دقة التصنيف، وقد بلغت مساحة البنية العمرانية ٥٦,٩٤ كيلومترًا مُربّعًا.

التوصيات:

١. نوصى باستخدام الأدوات والتقنيات المعاصرة في عملية التصنيف، حيث أثبتت أدوات التصنيف المستهدفة (Objective of classification) المستخدمة في هذه الدراسة فعاليةً ودقةً ملحوظةً في استخراج البنية العمرانية في مدينة الطائف، فقد كانت مُتفوّقةً على أدوات التصنيف الأخرى.
٢. أهميّة تفعيل استخدام تقنيات الاستشعار عن بُعدٍ ونظم المعلومات الجغرافية المُتقدّمة لتصنيف واستخلاص الظواهر الجغرافية وتحديث الخرائط، لأنّها الأوفر والأدق والأسرع، ولا تتطلّب مجهودًا كبيرًا.
٣. ضرورة اعتماد مُتخذي القرار ومُخطّطي المُدن على تحديّثات القياسات الحضريّة للبنية العمرانية من خلال صور الأقمار الصناعيّة قبل البدء في وضع مُخطّطات المدن، حتّى يتسنى لهم وضع رؤيةٍ شاملةٍ مُستدامةٍ من واقع الأرض للتوسّعات العمرانية واتّجاهاتها.

المصادر والمراجع:

أولاً: المراجع باللغة العربيّة:

- ١- القرادي، مفرح، القحطاني، مرّام مبارك. (٢٠٢١). التصنيف الهدفي المعتمد على تقنيات الاستشعار عن بعد لاستخلاص الأراضي البيضاء: دراسة تطبيقية على مدينة الخرج دراسة تطبيقية على مدينة الخرج. المجلة الجغرافية العربية، المجلد ٥٢، العدد ٧٧، الجزء الأول ٢٠٢٢ ص ٤٩٢-٤٧١.
- ٢- التويجري، حمد بن أحمد والعتيبي، محمد هزاع والمدلج، عبد الله محمد والمالكي، فواز معيض. (٢٠١٨). التمديد العمراني لمدينة الرياض (١٩٨٧-٢٠١٧): دراسة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد

- و نظم المعلومات الجغرافية. مجلة جامعة الملك سعود: العمارة و التخطيط، المجلد ٣٠، العدد ٢، ص ١٩٥-٢١٣. <https://search.emarefa.net/detail/BIM-923429>
- ٣- المجلي، فيصل بن سليمان والغامدي، علي بن معاضة.(٢٠١٧). التصنيف الهدي لاسخلاص الأراضي الفضاء من صور الأقمار الصناعية عالية الوضوح : دراسة تطبيقية على مدينة الرياض. مجلة جامعة الملك سعود: العمارة و التخطيط، المجلد ٢٩، العدد ٢، ص ٢١١-٢٤١. <https://search.emarefa.net/detail/BIM-840974>
- ٤- الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية (١٤٤٢هـ). خريطة المملكة العربية السعودية.
- ٥- الهيئة العامة للإحصاء، المملكة العربية السعودية (٢٠٢٢م).

ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية:

- 1- Benediktsson, J. A., Pesaresi, M., & Amason, K. (2003). Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 41(9), 1940-1949.
- 2- Cui, S., Yan, Q., & Reinartz, P. (2012). Complex building description and extraction based on Hough transformation and cycle detection. Remote Sensing Letters, 3(2), 151-159.
- 3- Khoshelham, K., Li, Z., & King, B. (2005). A split-and-merge technique for automated reconstruction of roof planes. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 71(7), 855-862.
- 4- Lack, N., & Bleisch, S. (2010). Object-based change detection for a cultural-historical survey of the landscape—From cow trails to walking paths. Proceedings of the GEOBIA.
- 5- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. Remote sensing of environment, 115(5), 1145-1161.
- 6- Shixin, W., Wenjun, L., Yi, Z., Futao, W., & Qilong, X. (2013, November). Object-oriented Classification Technique for Extracting Abandoned Farmlands by Using Remote Sensing Images. In 3rd International Conference on Multimedia Technology (ICMT-13) (pp. 1490-1497). Atlantis Press.
- 7- Walker, J. S., & Briggs, J. M. (2007). An object-oriented approach to urban forest mapping in Phoenix. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 73(5), 577-583.

- 8- Sugg, Z. P., Finke, T., Goodrich, D. C., Moran, M. S., & Yool, S. R. (2014). Mapping impervious surfaces using object-oriented classification in a semiarid urban region. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 80(4), 343-352.
- 9- Benarchid, O., Raissouni, N., El Adib, S., Abbous, A., Azyat, A., Achhab, N. B., ... & Chahboun, A. (2013). Building extraction using object-based classification and shadow information in very high resolution multispectral images, a case study: Tetuan, Morocco. *Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision*, 4(1), 1-8.
- 10- Chepkochei, L. C. (2011, November). Object-oriented image classification of individual trees using Erdas ERDAS IMAGINE Objective: case study of Wanjohi area, Lake Naivasha Basin, Kenya. In *Proceedings, Kenya Geothermal Conference*.

ثالثاً: المواقع الإلكترونية:

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>