

تحليل التوزيع المكاني للجزر الحرارية في مدينة بريدة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ومنصة Google Earth Engine

مشعل بن سويلم عايض الرشيد

ماجستير التقنيات الجغرافية والبيئية، كلية اللغات والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية
Meshal0591703@gmail.com

أحمد بن عبدالله الدغيري

أستاذ الجيومورفولوجيا والاستشعار عن بعد، كلية اللغات والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية
adgerie@qu.edu.sa

ملخص البحث

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف وتحليل النمط المكاني لظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في مدينة بريدة، بالاعتماد على توظيف أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستفادة من قدرات منصة Google Earth Engine في معالجة وتحليل بيانات الاستشعار عن بعد، حيث اعتمدت الدراسة على مرئيات الأقمار الصناعية Landsat لعام 2025 لاشتقاق درجة حرارة سطح الأرض (LST)، إلى جانب تطبيق مجموعة من المؤشرات الطيفية، مثل مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر رطوبة التربة (NDMI)، وذلك بهدف تحليل العلاقة بين التغيرات الحرارية وأنماط استخدامات الأراضي والغطاء الأرضي.

وأظهرت النتائج وجود تباين مكاني ملحوظ في توزيع درجات حرارة سطح الأرض، حيث تراوحت القيم بين 29°م و 57°م، مع هيمنة واضحة للفئات الحرارية المرتفعة، مما يعكس شدة ظاهرة الجزر الحرارية داخل النسيج العمراني للمدينة. كما أوضحت نتائج التحليل الإحصائي المكاني باستخدام مؤشر موران (Moran's I) أن التوزيع الحراري يأتي في نمط تجميعي (Clustered) ذي دلالة إحصائية مرتفعة، إذ بلغت قيمة المؤشر 0.245، وقيمة z-score 47.79، و p-value 0.000، مما يؤكد وجود ترابط مكاني واضح بين المناطق المتشابهة حراريًا. وأكدت الدراسة وجود علاقة عكسية بين كثافة الغطاء النباتي ودرجات الحرارة، في حين ارتبطت القيم الحرارية المرتفعة بالمناطق الجرداء والمفتوحة ذات الرطوبة المنخفضة.

وتبرز أهمية هذه الدراسة في تقديم نموذج تحليلي مكاني متكامل يساعد على فهم ديناميكيات الجزر الحرارية الحضرية، ويوفر أساسًا علميًا يدعم صُنّاع القرار والمخططين في تبني سياسات التخطيط العمراني المستدام. كما تسهم في توجيه الجهود نحو تعزيز الغطاء النباتي وتحسين أنماط استخدامات الأراضي، بما يحد من التأثيرات البيئية والمناخية السلبية داخل بريدة، ويتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في رفع جودة الحياة وتحقيق كفاءة استخدام الطاقة.

الكلمات المفتاحية: الجزر الحرارية، درجة حرارة سطح الأرض (LST)، Google Earth Engine، مدينة بريدة.

Spatial Analysis of the Urban Heat Island Distribution in Buraidah City Using Geographic Information Systems and the Google Earth Engine Platform

Meshal Suwailm Ayed Al-Rashidi

Master of Geographic and Environmental Technologies, College of Languages and Human Sciences, Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia
Meshal0591703@gmail.com

Ahmed Abdullah Al-Dughairi

Professor of Geomorphology and Remote Sensing, College of Languages and Human Sciences, Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia
adgierie@qu.edu.sa

Abstract

This study aims to explore and analyze the spatial pattern of the Urban Heat Island (UHI) phenomenon in Buraidah City by employing Geographic Information Systems (GIS) tools and utilizing the capabilities of the Google Earth Engine platform for processing and analyzing remote sensing data. The study relied on Landsat satellite imagery for the year 2025 to derive Land Surface Temperature (LST), along with the application of several spectral indices, including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Moisture Index (NDMI), in order to analyze the relationship between thermal variations and land use/land cover patterns.

The results revealed a noticeable spatial variation in the distribution of Land Surface Temperature values, ranging between 29°C and 57°C, with a clear dominance of high-temperature classes, reflecting the intensity of the Urban Heat Island effect within the urban fabric of the city. Furthermore, the results of spatial statistical analysis using Moran's I Index indicated that the thermal distribution follows a clustered pattern with high statistical significance, where the index value reached 0.245, the z-score was 47.79, and the p-value was 0.000, confirming a strong spatial correlation among thermally similar areas. The study also confirmed an inverse relationship between vegetation density and temperature values, while higher thermal values were associated with barren and open areas characterized by low moisture levels.

The importance of this study lies in presenting an integrated spatial analytical model that contributes to understanding the dynamics of Urban Heat Islands and provides a scientific basis to support decision-makers and planners in adopting sustainable urban planning policies. It also contributes to guiding efforts toward enhancing vegetation cover and improving land use patterns, thereby reducing negative environmental and climatic impacts within Buraidah City, in alignment with the objectives of Saudi Arabia's Vision 2030, particularly in improving quality of life and enhancing energy efficiency.

Keywords: Urban Heat Island, Land Surface Temperature (LST), Google Earth Engine, Buraidah City.

المقدمة

يشهد العالم توسعاً عمرانياً متسارعاً، ترافق مع زيادة مطردة في أعداد السكان، الأمر الذي انعكس بشكل مباشر على أنماط استخدامات الأرض داخل المدن. فقد أسهمت هذه التحولات في إحلال البنية التحتية الصلبة – المتمثلة في المباني الخرسانية، والطرق المسفلتة، والأرصفت، ومواقف السيارات، إلى جانب الأنشطة الصناعية والتجارية – محل المساحات الخضراء ومشاريع التشجير، لاسيما ضمن النطاقات الحضرية الداخلية. وقد أفضت هذه التغيرات إلى بروز عدد من الآثار البيئية السلبية، من أبرزها ارتفاع درجات الحرارة في المدن مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة، وهي الظاهرة المعروفة بـ الجزر الحرارية الحضرية. وتنشأ هذه الظاهرة نتيجة الخصائص الفيزيائية لمكونات السطح الحضري، التي تتسم بقدرتها العالية على امتصاص وتخزين الطاقة الشمسية، مقابل انخفاض الغطاء النباتي الذي يؤدي دوراً مهماً في التبريد من خلال عمليات التظليل والنتح. كما يترتب على ذلك زيادة الطلب على الطاقة، خصوصاً لأغراض التبريد، وتفاقم مستويات تلوث الهواء والمياه، إلى جانب انعكاساته السلبية على صحة السكان وجودة الحياة الحضرية بشكل عام (العتيبي، 2015).

في سياق التوسع العمراني المتسارع وما يصاحبه من تحولات جوهرية في استخدامات الأرض، برزت في المدن الكبرى – لاسيما الصناعية منها – مشكلة بيئية معقدة تُعرف بـ ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية. وتعكس هذه الظاهرة ارتفاع درجات الحرارة في النطاقات الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية أو الطبيعية المجاورة، نتيجة الاستبدال التدريجي للأسطح الطبيعية بالمواد الصلبة كالخرسانة والإسفلت والمنشآت الصناعية. وتُعد هذه التحولات امتداداً مباشراً لما سبق الإشارة إليه من تراجع في الغطاء النباتي وزيادة في الكثافة العمرانية، حيث تتميز المواد الحضرية بقدرتها العالية على امتصاص الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار وتخزينه، ثم إعادة إطلاقه تدريجياً خلال الليل.

ويؤدي هذا السلوك الحراري إلى تكوين بيئة حضرية أكثر دفئاً واستقراراً حرارياً، مما يعزز من شدة ظاهرة الجزر الحرارية ويبطئ من مدتها الزمنية. وعليه، فإن الجزر الحرارية الحضرية تمثل نتيجة تفاعلية مركبة بين خصائص السطح الحضري (مثل نوعية المواد وكثافة البناء) وانخفاض المساحات الخضراء، وهو ما يتقاطع مع الآثار البيئية المشار إليها سابقاً، كزيادة استهلاك الطاقة، وتفاقم مستويات التلوث، وتدهور جودة الحياة الحضري تصنف الجزر الحرارية كواحدة من أبرز الظواهر المناخية التي تظهر بشكل أساسي داخل البيئات الحضرية. وتتمثل هذه الظاهرة في ارتفاع ملحوظ في درجة حرارة الغلاف الجوي فوق المدن ذات الكثافة العمرانية العالية، وذلك عند مقارنتها بالمناطق الريفية المحيطة بها والتي تهيم عليها المساحات الخضراء أو المسطحات المائية، حيث يعود السبب الجوهري لارتفاع درجات الحرارة في المدن إلى عملية التحول الهيكلي للسطح؛ حيث يتم استبدال الغطاء النباتي والأسطح الطبيعية بأسطح اصطناعية غير نفوذة (مناطق عمرانية) نتيجة لنمو المدينة وتوسعها. ويؤدي هذا التغيير في استعمالات الأراضي إلى زيادة كبيرة في قدرة المناطق المدنية على امتصاص واختزان الحرارة.

ووفقاً لنوعية القياسات المستخدمة (سواء لدرجة حرارة الهواء أو درجة حرارة السطح)، يتم تقسيم الجزر الحرارية إلى ثلاثة أنواع رئيسية: (Voogt & Oke, 2003)

1. الجزر الحرارية الجوية: (Atmospheric Heat Island) المتعلقة بتسخين الهواء في طبقات الغلاف الجوي القريبة من السطح.
2. الجزر الحرارية السطحية: (Surface Heat Island) التي تقيس درجة حرارة الأسطح الصلبة والمباني مباشرة.
3. الجزر الحرارية تحت السطحية: (Under-ground Heat Island) التي تركز على التغيرات الحرارية في التربة والطبقات التحتية للمدينة.

يشير الباحث (Voogt, 2009) إلى ضرورة التمييز بين أنواع الجزر الحرارية نظراً لاختلاف آلية عمل كل نوع منها.

تُقسم الجزر الحرارية الجوية إلى نوعين رئيسيين بناءً على الطبقات الجوية العمودية:

1. النوع الأول: يرتبط بدرجة حرارة الهواء في الطبقة الجوية التي تمتد من سطح الأرض وحتى متوسط ارتفاع المباني، وتسمى طبقة غطاء المدينة. (Urban Canopy Layer – UCL)

2. النوع الثاني: يتمثل في الطبقة التي تعلو النوع الأول (طبقة غطاء المدينة) وتسمى طبقة المظلة الحضرية (Urban Boundary Layer – UBL).

أما فيما يخص الجزر الحرارية السطحية، فهي تتعلق بقياس درجة حرارة السطح مباشرة. تُعد ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (Urban Heat Islands) من الظواهر المناخية البارزة التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالنمو العمراني المتسارع، حيث تتمثل في ارتفاع درجات الحرارة داخل المدن مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة بها. وينطبق هذا المفهوم بشكل واضح على بريدة، التي شهدت توسعًا عمرانيًا ملحوظًا خلال السنوات الأخيرة، مما أدى إلى تغير خصائص السطح واستبدال الغطاء النباتي بأسطح صلبة كالإسفلت والخرسانة، وهي مواد تمتاز بقدرتها العالية على امتصاص وتخزين الحرارة وإعادة إشعاعها، مما يساهم في تكوين الجزر الحرارية داخل النطاق الحضري (Voogt & Oke, 2003).

وتتشكل الجزر الحرارية في بريدة نتيجة تفاعل مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية، حيث يلعب المناخ الصحراوي دورًا مهمًا في تعزيز هذه الظاهرة، نظرًا لارتفاع درجات الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي وقلة الغطاء النباتي. كما تسهم الأنشطة البشرية، مثل التوسع العمراني واستخدام مواد البناء غير المنفذة، بالإضافة إلى الأنشطة الصناعية وحركة النقل، في زيادة الانبعاثات الحرارية داخل المدينة. ويؤدي انخفاض الغطاء النباتي إلى تقليل عمليات التبخر والتنج، مما يقلل من قدرة البيئة الحضرية على التبريد الطبيعي، ويزيد من تراكم الحرارة السطحية (Santamouris, 2015).

كما تتأثر شدة الجزر الحرارية في بريدة بخصائص النسيج العمراني، مثل كثافة المباني وتوزيعها، حيث تساهم هذه الخصائص في تقليل حركة الهواء واحتجاز الحرارة داخل ما يُعرف بتأثير "وادي الشوارع" (Urban Canyon Effect). بالإضافة إلى ذلك، قد يساهم الغبار العالق في الغلاف الجوي في تقليل فقدان الإشعاع الحراري، مما يؤدي إلى زيادة درجات الحرارة داخل المدينة (Arnfield, 2003).

ومن ناحية أخرى، تتباين شدة الجزر الحرارية في بريدة زمنيًا ومكانيًا، حيث تزداد خلال فترات الليل نتيجة بطء فقدان الحرارة من الأسطح العمرانية، كما تتركز في المناطق ذات الكثافة العمرانية المرتفعة أو الأراضي الجرداء، بينما تنخفض في المناطق الزراعية أو التي تحتوي على غطاء نباتي. ويؤكد ذلك أهمية دراسة هذه الظاهرة في المدن ذات المناخ الجاف مثل بريدة، لما لها من تأثيرات مباشرة على استهلاك الطاقة وجودة الحياة والبيئة الحضرية (Voogt, 2009).

مشكلة الدراسة

ويعزز ذلك ما شهدته مدينة بريدة من تحول حضري ملحوظ، إذ ارتفعت نسبة التحضر فيها خلال فترة 12 عامًا من 38.7% عام 2010م إلى 61.5% عام 2022م. كما بلغت نسبة تملك المساكن نحو 67.9% في عام 2022م، في حين وصل معدل النمو السكاني إلى نحو 3% خلال الفترة (2010-2022).

وعلى صعيد الحجم السكاني، فقد ارتفع عدد السكان من 467,410 نسمة عام 2010م إلى 782,452 نسمة عام 2022م، مع توقعات ببلوغه نحو 1,440,891 نسمة بحلول عام 1442هـ، مما يعكس تسارعًا واضحًا في وتيرة النمو السكاني والتوسع الحضري في المدينة (المضيان، 2025).

الأهداف

1. تحديد العوامل الرئيسية المسببة لتشكيل ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في مدينة بريدة، من خلال تحليل الخصائص الفيزيائية لاستخدامات الأرض والغطاء الأرضي.
2. تحليل التوزيع المكاني لشدة وانتشار الجزر الحرارية الحضرية داخل النطاق العمراني لمدينة بريدة، والكشف عن أنماطها المكانية.
3. دراسة العلاقة بين انتشار ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHIs) وأنماط استخدامات الأرض في مدينة بريدة لعام 2025، بالاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ومنصات التحليل المكاني والاستشعار عن بعد، بهدف تفسير التباينات الحرارية وتحديد مناطق التركيز الحراري.

أسباب اختيار الموضوع

1. تتوافق الدراسة مع رؤية المملكة 2030 وأهداف التنمية الحضرية المستدامة، وخاصة فيما يتعلق بتحسين جودة الحياة.
2. توفر للمخططين ومنتخذي القرار أدوات وبيانات مكانية تساعد في وضع سياسات فاعلة لاستخدام الأراضي وزيادة المساحات الخضراء وتحسين التصميم العمراني للتكيف مع المناخ والحد من ظاهرة الجزر الحرارية.
3. تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحليل يربط بين حرارة السطح والغطاء النباتي والخصائص العمرانية، مما يمكن من تطوير نماذج تفسيرية دقيقة للظاهرة.
4. الدراسات القليلة التي تتناول الجزر الحرارية بشكل معمق في مدينة بريدة.

الأهمية

- الاستفادة من منصة Google Earth Engine لما توفره من قدرات حاسوبية فائقة لمعالجة البيانات الضخمة والسلاسل الزمنية الطويلة بدقة عالية.
- تقديم معلومات مكانية دقيقة تساعد في فهم آليات تشكل الجزر الحرارية ومراقبتها داخل النسيج العمراني والصناعي للمدينة والاستفادة منه في الدراسات المناخية والبيئية للمدن.
- المساهمة في وضع استراتيجيات الاستدامة البيئية بما يتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030.

الدراسات السابقة

- الدراسات المحلية:

1. دراسة الرحيلي (2025): تهدف هذه الدراسة إلى تحليل ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في مدينة الجبيل الصناعية السعودية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (مثل أقمار Landsat ونظم المعلومات الجغرافية GIS). أظهرت النتائج أن المناطق الصناعية بالمدينة، وخاصة مجمعات البتروكيماويات، هي الأكثر تأثراً بارتفاع درجات حرارة السطح، وذلك بسبب قلة الغطاء النباتي وتركيز الأنشطة الصناعية كثيفة الانبعاثات. وقد اقترحت الدراسة استراتيجيات للتخفيف من هذه الظاهرة، تشمل زيادة المساحات الخضراء، واستخدام مواد بناء عاكسة للحرارة، واعتماد ممارسات التخطيط الحضري المستدام. وهنا تختلف دراستنا عن تلك الدراسة باستخدام التطبيقات الحديثة مثل منصة جوجل إيرث ودراسة الغازات الدقيقة.
2. دراسة العصيمي والاحمدي (2020): أظهرت الدراسة أن النمو الاقتصادي في المملكة العربية السعودية يؤدي إلى ارتفاع نسب التلوث البيئي ودرجات الحرارة، مما يعزز ظاهرة الجزر الحرارية. وأوصت بإنشاء مراكز طبية متطورة لمتابعة صحة السكان والتنبؤ بالأمراض المرتبطة بالتلوث والتغير الحراري، وكذلك إنشاء معهد علمي متخصص لإعداد الدراسات ووضع مقترحات للتخفيف من الأزمة البيئية.
3. دراسة المطيري (2014): تناولت دراسة حديثة استخدمت مرئيات القمر الصناعي Landsat-8 لاشتقاق وتحليل الجزر الحرارية في مدينة الرياض. وقد أوضحت أهمية تقنيات الاستشعار عن بعد في تسهيل الحصول على بيانات مناخية دقيقة دون الاعتماد على محطات الأرصاد التقليدية، ما يتيح دراسة الظواهر المناخية فوق المدن مثل الجزر الحرارية، وعلاقتها بالعوامل الجغرافية المختلفة.
4. دراسة العتيبي (2015) ركزت الدراسة على دور مشاريع التشجير في تخفيف ظاهرة الجزر الحرارية في مدينة مكة المكرمة. وتم استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل استخدامات الأراضي وتوزيع الجزر الحرارية، وأكدت الدراسة أن مشاريع التشجير الحالية لها دور محدود في مواجهة الجزر الحرارية، رغم انتشارها الواسع في المدينة. ويعود ذلك أساساً إلى ضآلة المساحات الخضراء (8,51%) مقابل سيطرة الأراضي المعمورة. وتُظهر النتائج الحاجة الملحة لتعزيز التشجير، خاصة في المناطق المصنفة كخطرة.

- الدراسات الإقليمية:

1- دراسة قابيل (2022): تناول البحث دراسة الجزر الحرارية السطحية (SHI) في مدينة دمشق من خلال تحليل درجة حرارة السطح (LST) باستخدام بيانات القمر الصناعي Landsat-7 الحرارية بدقة عالية. أظهرت النتائج ارتباطاً وثيقاً بين توزيع الجزر الحرارية وبين المناطق العمرانية غير المنفذة والمساحات المبنية، بينما ظهرت الأراضي الزراعية كمناطق باردة على أطراف المدينة. وخلص البحث إلى التأكيد على أهمية التخطيط لزيادة المساحات الخضراء للتخفيف من هذه الظاهرة.

2- دراسة محمود (2018): اعتمدت دراسة الجزيرة الحرارية في مدينة المنصورة على تحليل بيانات الأقمار الصناعية (Landsat 8) بالتزامن مع الرصد الميداني، واستخدام تقنيات إحصائية مثل الانحدار الخطي البسيط. وهدفت إلى تحليل توزيع الظاهرة في الصيف وفهم العوامل البشرية المؤثرة فيها.

- الدراسات العالمية:

1- دراسة (Bornstein 1968) : تناولت هذه الدراسة تحليل التباين الموسمي لشدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في مدينة نيويورك، حيث أظهرت النتائج أن شدة الجزيرة الحرارية تبلغ ذروتها خلال فصل الشتاء مقارنة ببقية فصول السنة. ويُعزى ذلك إلى زيادة الأنشطة البشرية المرتبطة بالتدفئة وعمليات الاحتراق داخل المباني، والتي تؤدي إلى إطلاق كميات كبيرة من الطاقة الحرارية تتجاوز بشكل ملحوظ الطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح المدينة، مما يعزز من حدة الظاهرة خلال هذا الفصل.

2- دراسة (Hafner 1999): ركزت هذه الدراسة على تحليل الخصائص الزمنية لظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في مدينة أتلانتا بالولايات المتحدة الأمريكية، حيث كشفت النتائج عن وجود فروق ملحوظة في شدة الظاهرة بين فترتي النهار والليل. وقد أرجعت الدراسة هذا التباين إلى اختلاف ديناميكيات الطاقة الحرارية، بما في ذلك تباين الإشعاع الأرضي، وتدفق الطاقة، ودور الحرارة الكامنة في الغلاف الجوي، مما يؤثر بشكل مباشر على سلوك الظاهرة خلال اليوم.

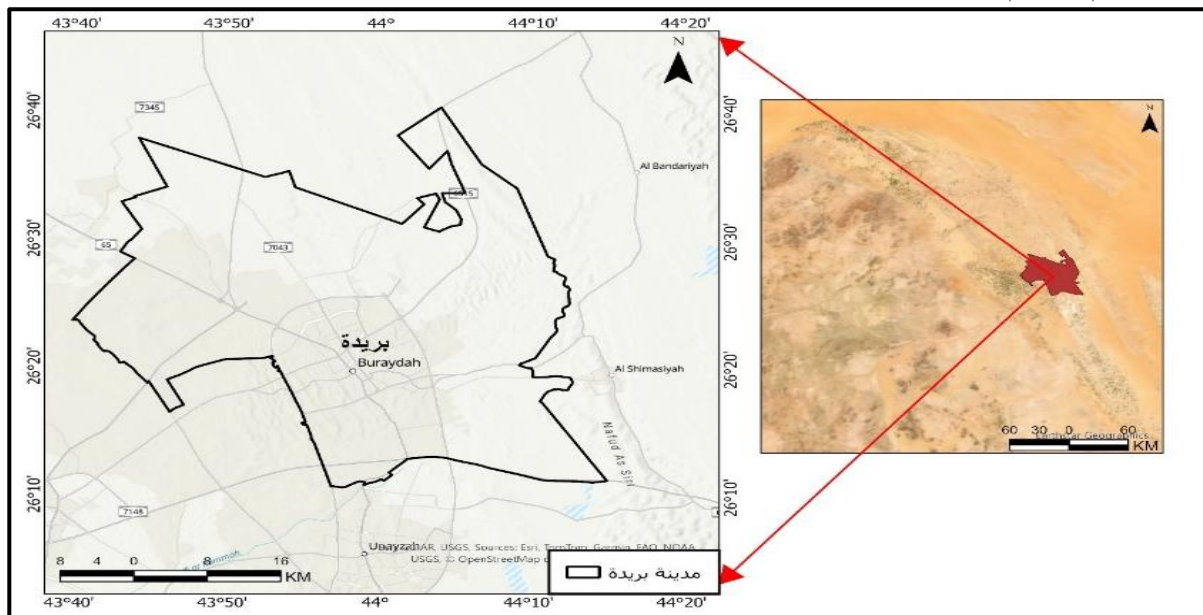
على الرغم من ثراء الدراسات السابقة، إلا أنها تُظهر عدداً من الفجوات التي تسعى الدراسة الحالية إلى معالجتها، ويمكن تلخيصها فيما يلي:

1. نقص الدراسات التطبيقية على مدينة بريدة: تفتقر الأدبيات إلى دراسات متخصصة تُحلل الجزر الحرارية الحضرية في مدينة بريدة، رغم ما تشهده من نمو عمراني وسكاني متسارع.
2. محدودية استخدام منصات الحوسبة السحابية المتقدمة: اعتمدت معظم الدراسات السابقة على التحليل التقليدي لبيانات الاستشعار عن بعد، دون توظيف إمكانات منصة Google Earth Engine في معالجة البيانات الضخمة وتحليلها مكانياً وزمانياً بكفاءة عالية.
3. ضعف الربط بين الجزر الحرارية ومؤشرات بيئية متقدمة: مثل الغازات الدفيئة أو المؤشرات الحرارية المركبة، حيث ركزت الدراسات السابقة غالباً على درجة حرارة السطح فقط (LST).
4. غياب التحليل المكاني المتكامل لاستخدامات الأرض: حيث لم تُدمج بعض الدراسات بين أنماط استخدامات الأرض والتحليل الحراري بشكل تفصيلي عالي الدقة داخل المدن. وعليه ستأتي هذه الدراسة لتبني على ما قدمته الدراسات السابقة من أطر نظرية وتطبيقية، مع تقديم إضافة نوعية تتمثل في تطبيق منهج تحليلي متقدم يجمع بين نظم المعلومات الجغرافية ومنصة Google Earth Engine، بهدف تحليل التوزيع المكاني للجزر الحرارية في مدينة بريدة، وربطها بأنماط استخدامات الأرض والمؤشرات البيئية، بما يساهم في سد الفجوة البحثية وتقديم نتائج أكثر دقة تدعم التخطيط الحضري المستدام.

منطقة الدراسة

أولاً: الحدود المكانية:

تقع مدينة بريدة بين دائرتي عرض $26^{\circ}15'$ و $26^{\circ}26'40''$ شمالاً، وبين خطي طول $43^{\circ}19'$ و $44^{\circ}10'$ شرقاً، على ارتفاع يبلغ نحو 650 متراً فوق مستوى سطح البحر، كما هو موضح في الشكل (1). وتُعد مدينة بريدة المدينة الإدارية لمنطقة القصيم ومركزها الإداري والتجاري. وتبلغ مساحتها نحو 492.5 كم²، وتضم 70 حياً، وقد بلغ عدد سكانها 571,169 نسمة وفقاً لإحصاءات عام 2022م.



شكل (1) موقع مدينة بريدة -المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على shapfile المناطق الادارية للمملكة العربية السعودية من أمانة بريدة باستخدام برنامج ARC GIS PRO .

منهجية الدراسة

تعتمد الدراسة على المنهج الإقليمي من حيث تحديد إقليم واضح ومحدد وهو مدينة بريدة، واستخدام المنهج الوصفي التحليلي لتحليل البيانات المكانية والوصفية وتوزيع الجزر الحرارية وأسباب تكونها.

كما تعتمد منهجية هذه الدراسة على استخدام منصة Google Earth Engine (GEE) كمنصة حاسوبية سحابية لتحليل البيانات المكانية الضخمة، حيث تبدأ بمعالجة السلاسل الزمنية لصور الأقمار الصناعية (مثل Landsat 8) المغطية لمدينة بريدة خلال عام (2025). وتتضمن المنهجية تطبيق عدة تحليلات لاستخلاص درجة حرارة سطح الأرض (LST) ، مع إجراء كافة التصحيحات الجوية والإشعاعية الضرورية لضمان دقة النتائج في ظل الظروف المناخية للمنطقة.

- كما سيتم دمج مؤشرات الغطاء النباتي (NDVI) والذي تتراوح قيمة المؤشر بين (1-، 1-)، حيث أن في حالة النبات السليم يتم امتصاص جزء كبير من الأشعة الحمراء ولكن عند سقوط الأشعة تحت الحمراء يتم امتصاص جزء منها وانعكاس نسبة كبيرة منها، وفي حالة النبات المريض يتم انعكاس جزء كبير من الأشعة الحمراء ولكن عند سقوط الأشعة تحت الحمراء يتم انعكاس نسبة أقل من النبات السليم.

جدول (1) قيمة NDVI

الحالة	قيمة ndvi
غطاء نباتي سليم ومناطق نباتية	1- 0
لا تمثل غطاء نباتي	1- - 0

ويتم تطبيق المؤشر على مرئية 8 land sat، داخل google earth engine حيث يتم تحديد نطاق الأشعة الحمراء infrared band:5، وتحديد نطاق الأشعة تحت الحمراء band: 4، ويتبع البرنامج المعادلة الخاصة بالمؤشر:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

$$\text{NDVI} = \text{Band 5} - \text{Band 4} / \text{Band 5} + \text{Band 4}$$

كما سيتم استخدام مؤشر المياه (NDWI – Normalized Difference Water Index) بهدف الكشف عن المسطحات المائية وتحديد درجة وجود المياه في منطقة الدراسة، حيث تتراوح قيمة المؤشر بين (-1 إلى +1). وتعتمد فكرة المؤشر على اختلاف انعكاس المياه للأطوال الموجية، إذ تمتص المياه جزءاً كبيراً من الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، بينما تعكس جزءاً أكبر من الأشعة الخضراء (Green)، مما يساعد في تمييزها عن باقي الظواهر الأرضية.

ويتبع البرنامج المعادلة الخاصة بالمؤشر:

$$\text{NDWI} = (\text{Green Band} - \text{NIR}) / (\text{Green Band} + \text{NIR})$$

$$\text{NDWI} = \text{Band 3} - \text{Band 5} / \text{Band 3} + \text{Band 5}$$

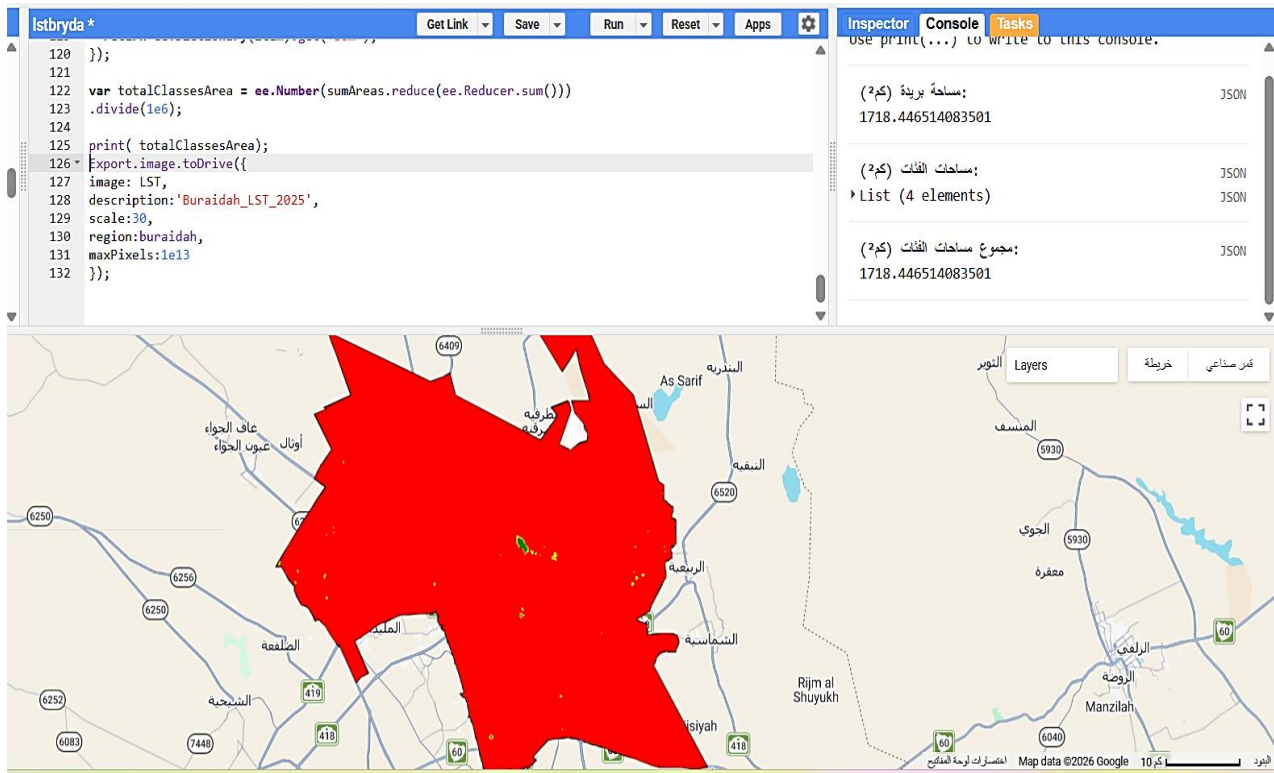
الأكواد التي تطبيقها داخل منصة Google Earth Engine

حساب درجة حرارة سطح الأرض لمدينة بريدة:

اعتمدت الدراسة في استخلاص درجة حرارة سطح الأرض (Land Surface Temperature - LST) على منصة Google Earth Engine بوصفها بيئة حوسبة سحابية متقدمة تتيح معالجة البيانات الفضائية الضخمة بكفاءة عالية. وقد استُهلّت مراحل المعالجة الرقمية باستدعاء الحدود الإدارية لمدينة بريدة بصيغة FeatureCollection من بيئة المشاريع، تلا ذلك تهيئة بيئة العرض الخرائطي عبر توسيط النطاق الجغرافي للمدينة باستخدام أمر Map.addLayer و Map.centerObject، مما أتاح مرجعاً مكانياً دقيقاً لجميع مراحل التحليل اللاحقة.

وللحدّ من التأثيرات الجوية التي قد تُخلّ بدقة القراءات الطيفية، جرى تطوير دالة برمجية متخصصة لإزالة الغطاء السحابي والظلال المصاحبة له، اعتماداً على قناة جودة البكسل (QA_PIXEL) عبر تطبيق عمليات البت (bitwiseAnd) وفق المعايير المعتمدة لمجموعة بيانات Landsat من المستوى الثاني. وقد استُديعت مجموعة صور القمر الصناعي Landsat 8 من مجموعة البيانات (LANDSAT/LC08/C02/T1_L2)، وخُضعت لسلسلة من المرشحات المتكاملة؛ إذ طُبقت مرشحات مكانية (filterBounds) لخصر نطاق التحليل ضمن الحدود الجغرافية لمدينة بريدة، ومرشحات زمنية (filterDate) لتقييد السلسلة الزمنية بعام 2025، ثم أُخضعت الصور لدالة إزالة السحب، واستُخرجت القيمة الوسيطة (median) لكل وحدة بكسلية تقيلاً للتباين الناجم عن التقلبات الموسمية، وقُصت الصور الناتجة على الحدود الإدارية للمدينة (clip).

وفي مرحلة اشتقاق درجة حرارة السطح، جرى تحويل القيم الرقمية للقناة الحرارية (ST_B10) إلى درجات الحرارة المطلقة بالكلفن (Kelvin) بتطبيق المعامل القياسي المعتمد من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)، المتمثل في ضرب قيم القناة في (0.00341802) وإضافة (149.0)، ثم تحويل الناتج إلى درجات مئوية (Celsius) بطرح ثابت (273.15)، وفق الصيغة الرياضية المعيارية المعتمدة في الأدبيات العلمية المتخصصة (Chander et al., 2009). وعُرِضت الخريطة الحرارية الناتجة بسلم لوني تدرجي يمتد من الأزرق دلالةً على المناطق الأكثر برودة، وصولاً إلى الأحمر دلالةً على بؤر التركيز الحراري الأشد سخونة.



شكل (2) واجهة استخدام البرنامج لحساب درجة الحرارة

وفي مرحلة التصنيف الحراري، خُضعت خريطة LST لعملية تصنيف كمي إلى أربع فئات حرارية متدرجة بالاستعانة بدالة التعبير الرياضي (expression)، تمثل الفئة الأولى المناطق الباردة نسبياً بقيم دون 30 درجة مئوية، والثانية المعتدلة بين 30 و35 درجة، والثالثة المرتفعة بين 35 و40 درجة، فيما تضم الرابعة المناطق شديدة الارتفاع الحراري فوق 40 درجة مئوية. وحُسبت مساحة كل فئة حرارية بالكيلومتر المربع عبر دالة (ee.Image.pixelArea) المدمجة مع (ee.Reducer.sum) بتجميع حسب الفئة (group)، وأُخرجت النتائج الإحصائية في وحدة التحكم، ثم صُدِّرت الخريطة الحرارية النهائية إلى منصة Google Drive بأمر (Export.image.toDrive) بدقة مكانية بالغة 30 متراً.

حساب الغطاء النباتي لمدينة بريدة:

اعتمدت الدراسة في تقييم الغطاء النباتي وتحليل خصائصه الطيفية على مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI)، بوصفه الأداة الأكثر شيوعاً وموثوقية في الأدبيات العلمية المتخصصة لقياس الكثافة النباتية والحالة الفسيولوجية للغطاء الأرضي (Rouse et al., 1974). واستُهلَّت مراحل المعالجة الرقمية باستدعاء الحدود الإدارية لمدينة بريدة وتهيئة بيئة العرض الخرائطي، تلا ذلك تطبيق دالة إزالة الغطاء السحابي والظلال المصاحبة بالاستناد إلى قناة جودة البكسل (QA_PIXEL) وعمليات البت (bitwiseAnd). واستُديعت مجموعة صور Landsat 8 من المجموعة (LANDSAT/LC08/C02/T1_L2)، وحُضمت للمرشحات المكانية (filterBounds) والزمنية (filterDate) لحصر السلسلة الزمنية بنطاق المدينة وعام 2025، ثم استُخرجت القيمة الوسيطة (median) لكل وحدة بكسيلية وقُصَّت الصور على الحدود الإدارية.

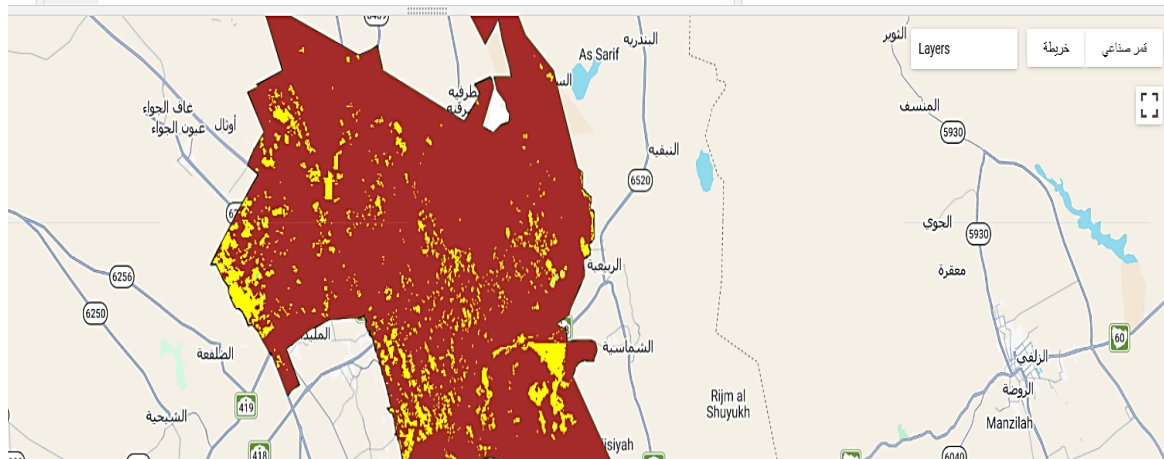
وجرى احتساب مؤشر NDVI رياضياً عبر دالة (normalizedDifference) المطبَّقة على القناة الخامسة (SR_B5) للأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والقناة الرابعة (SR_B4) للطفيف الأحمر المرئي (Red)، وفق الصيغة الرياضية المعيارية: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ ، حيث تتراوح قيم المؤشر بين (-1) و(+1)؛ إذ تعكس القيم الموجبة المرتفعة الغطاء النباتي الكثيف والنشط، فيما تشير القيم السالبة أو المنخفضة إلى الأسطح المبنية والأراضي الجرداء.

وبغية تحقيق تحليل مكاني مفصل، خُضع المؤشر لعملية تصنيف كمي إلى أربع فئات طيفية متدرجة باستخدام دالة (expression)؛ تمثل الفئة الأولى الأراضي عديمة الغطاء النباتي بقيم أقل من (0.1)، والفئة الثانية الغطاء الضعيف الكثافة بين (0.1) و(0.3)، والفئة الثالثة الغطاء المتوسط بين (0.3) و(0.5)، فيما تضم الفئة الرابعة الغطاء الكثيف النشط فوق (0.5). وحُسبت مساحة كل فئة بالكيلومتر المربع، وأُخرجت النتائج الإحصائية في وحدة التحكم، ثم صُدِّرت خريطة NDVI النهائية إلى منصة Google Drive بأمر (Export.image.toDrive) بدقة مكانية 30 متراً.

```

110     class: item.get('class'),
111     area_km2: ee.Number(item.get('sum')).divide(1e6)
112   });
113 });
114
115 print('تقدير مساحة الغطاء النباتي (كم²):', area_km2);
116
117 * Export.image.toDrive({
118   image: NDVI,
119   description: 'Buraidah_NDVI_2025',
120   scale:30,
121   region:buraidah,
122   maxPixels:1e13
123 });

```



شكل (3) واجهة استخدام البرنامج لحساب مساحات الغطاء النباتي

حساب رطوبة التربة لمدينة بريدة:

اعتمدت الدراسة في تقدير محتوى الرطوبة في التربة والغطاء النباتي على مؤشر الرطوبة المعياري (Normalized Difference Moisture Index - NDMI)، وهو مؤشر طيفي راسخ في الأدبيات العلمية المتخصصة يُستخدم لرصد المحتوى المائي في النظم البيئية الأرضية اعتماداً على التباين في الخصائص الانعكاسية للأطوال الموجية المختلفة (Wilson & Sader, 2002). واستُهلَّت مراحل المعالجة الرقمية باستدعاء الحدود الإدارية لمدينة بريدة وتهيئة بيئة العرض الخرائطي، ثم تطبيق دالة إزالة الغطاء السحابي والظلال باستخدام قناة جودة البكسل (QA_PIXEL) وعمليات البت (bitwiseAnd). واستُديعت مجموعة صور Landsat 8 وخُضعت للمرشحات المكانية (filterBounds) والزمنية (filterDate) لعام 2025، واستُخرجت القيمة الوسيطة (median) وقُصَّت الصور على الحدود الإدارية.

وجرى احتساب مؤشر NDMI رياضياً عبر دالة (normalizedDifference) المطبَّقة على القناة الخامسة (SR_B5) للأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والقناة السادسة (SR_B6) للأشعة تحت الحمراء متوسطة الموجة (SWIR)، وفق الصيغة الرياضية: $NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ ، حيث تعكس القيم المرتفعة الموجبة ارتفاع المحتوى المائي في التربة والنباتات، فيما تُشير القيم المنخفضة والسالبة إلى الجفاف وشح المحتوى المائي.

- خصائص التوزيع المكاني للجزر الحرارية بمدينة بريدة.

التحليلات والمناقشة

- استخدام الأرض بمدينة بريدة:

تعد مدينة بريدة من المدن التي نشأت في بيئة يتخللها العديد من الأودية الجافة، حيث تمر في أراضيها مجموعة من الأودية الداخلة إلى المدينة من جهة الشمال متجهة نحو الجنوب، ابتداءً من النطاق العمراني الشمالي، مروراً بالأحياء المأهولة، بالإضافة إلى امتداد وادي الرمة في جزئها الجنوبي الشرقي (المضبان، 2024)، ونتج عن تلك الأودية أخذها الشكل العمراني للمدينة الامتداد الطولي حيث تأخذ الشكل الشريطي من الشمال للجنوب.

وقد مرت مدينة بريدة خلال نموها العمراني القديم بثلاث مراحل من النمو العمراني، الأولى خلال الفترة من (985 - 1154 هـ) والثانية خلال الفترة (1154 - 1234 هـ)، والثالثة خلال الفترة (1235 - 1326 هـ)، وكان يفصل بين كل مرحلة والتي والأخرى سور رئيسي يحيط بحدود النمو العمراني للمدينة خلالها (العبد المنعم، 2002).

اعتمدت هذه الدراسة على تقنية التصنيف الموجه (Supervised Classification) لتحليل وتحديد استخدامات الأراضي وأنماط التغير العمراني في مدينة بريدة لعام 2025. تم تطبيق التصنيف الموجه باستخدام طريقة آلات الدعم الناقل (Support Vector Machine - SVM)، وهي إحدى أكثر طرق التصنيف فعالية في التعامل مع البيانات ذات الأبعاد العالية. حيث تعتمد هذه الطريقة على إنشاء فاصل (Hyperplane) يعمل على زيادة الفصل بين الفئات المختلفة لاستخدامات الأراضي/غطاء الأرض (LU/LC)، مما يساهم في تعزيز دقة التصنيف، مع تميزها بأداء عالٍ حتى عند توفر عينات تدريبية محدودة.

قد تم اعتماد الفئات الرئيسية لاستخدامات الأراضي كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (2) أسماء الفئات ووصفها.

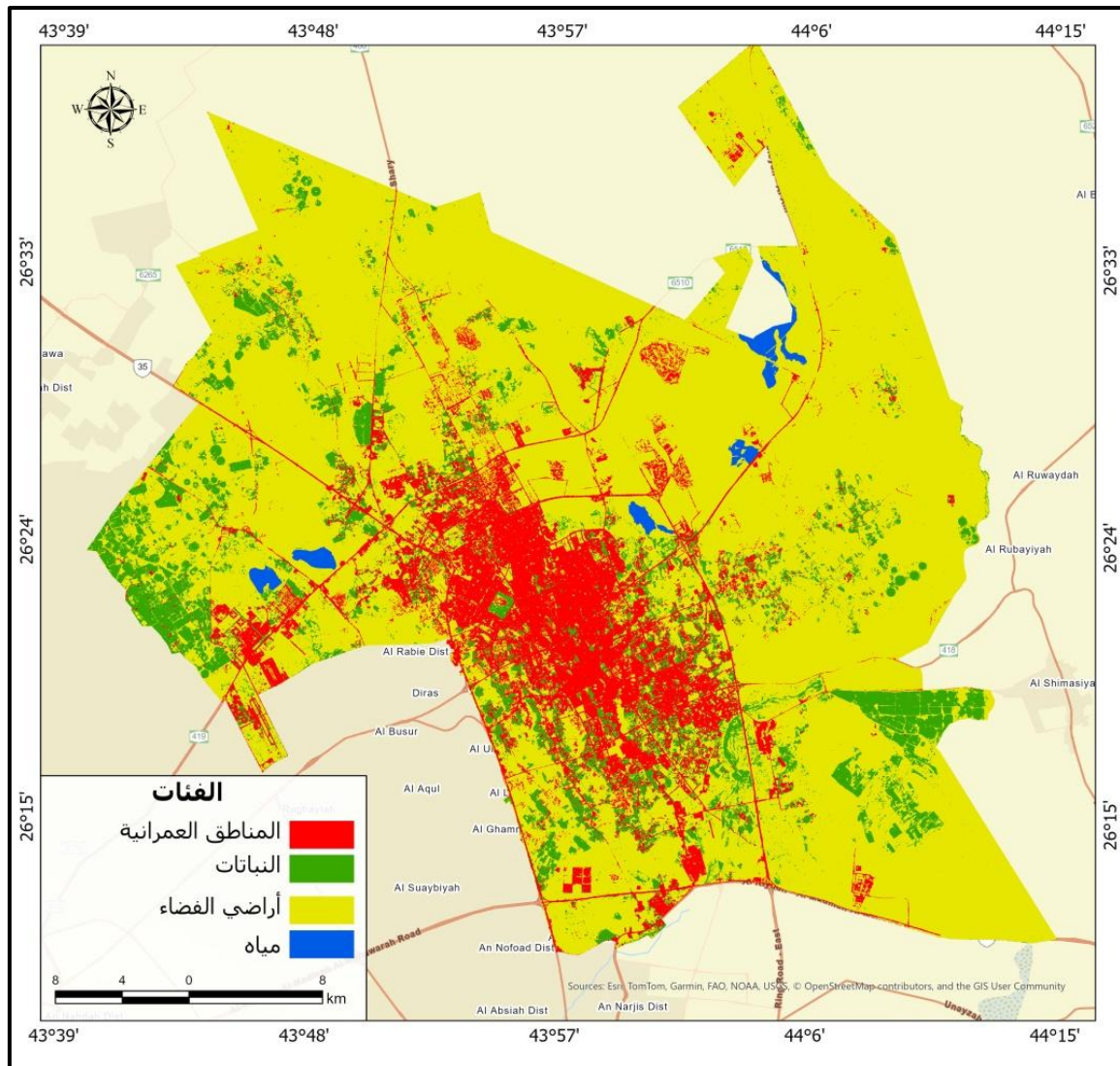
رقم	اسم الفئة / الوصف
1	(المنطقة الحضرية-العمرانية): تشمل جميع المناطق الحضرية مثل السكنية، التجارية، الصناعية، النقل، الطرق، والمناطق العمرانية المختلطة والإنشاءات البشرية.
2	(المنطقة الزراعية): تشمل المناطق المزروعة، والمزارع، والمتنزهات.
3	(الأراضي الجرداء): تشمل الأراضي غير المستخدمة والتربة العارية التي لا تحتوي على إنشاءات عمرانية أو أراضي زراعية.
4	(المياه): تشمل جميع المسطحات المائية مثل البحر، البحيرات، أحواض السباحة، تجمعات المياه الموسمية، والمسطحات الرطبة مثل السبخات والخلجان.

تم عمل تصنيف مراقب للرؤية الفضائية LANDSAT9 كما بشكل (2)، حتى تتمكن من استنتاج المنطقة العمرانية والتي بلغت مساحتها 238,98 كم²، بلغت الدقة الإجمالية (Overall Accuracy) لتصنيف استخدامات الأراضي لعام 2025م (95.45%)، ومعامل كابتا (0.939)، مما يشير إلى أن التصنيف يتمتع بدقة عالية جداً ويوجد اتفاق قوي بين النتائج المصنفة والبيانات المرجعية، ويتجاوز التصنيف العشوائي بشكل كبير، و بالنسبة لدقة المنتج (Producer's Accuracy) فقد سجلت فئتا المناطق العمرانية والمياه دقة منتج كاملة (1.0)، مما يدل على تصنيف صحيح لكافة العينات الحقيقية ضمن هاتين الفئتين. بينما حققت فئة الزراعة دقة منتج (0.9)، وفئة الأراضي المفتوحة سجلت (0.93)، وهي نسب عالية تعكس دقة تصنيف قوية مع وجود فروقات طفيفة طبيعية مقارنة ببقية الفئات، أما فيما يتعلق بدقة المستخدم (User's Accuracy) قد والتي حققت فئة الأراضي المفتوحة والمياه دقة مستخدم كاملة بنسبة (1.0)، مما يشير إلى تصنيف مثالي خالٍ من الأخطاء لهذه الفئات. في حين حققت فئتا العمران والزراعة دقة مستخدم (0.9) لكل منهما، مما يدل على تصنيف قوي جداً مع وجود نسبة طفيفة من الالتباس لا تؤثر على الأداء العام للتصنيف.

وبشكل عام، تعكس النتائج أن جميع الفئات تم تصنيفها بدقة عالية جداً، مما يعزز موثوقية النتائج ويؤكد نجاح عملية التصنيف، مع فرص محدودة فقط لتحسين الأداء في الفئات التي سجلت نسباً أقل من الكمال.

جدول (3) دقة تصنيف الفئات لعام 2025- المصدر : من عمل الطالب اعتماداً على مقارنة نقاط العينات بالتصنيف النهائي

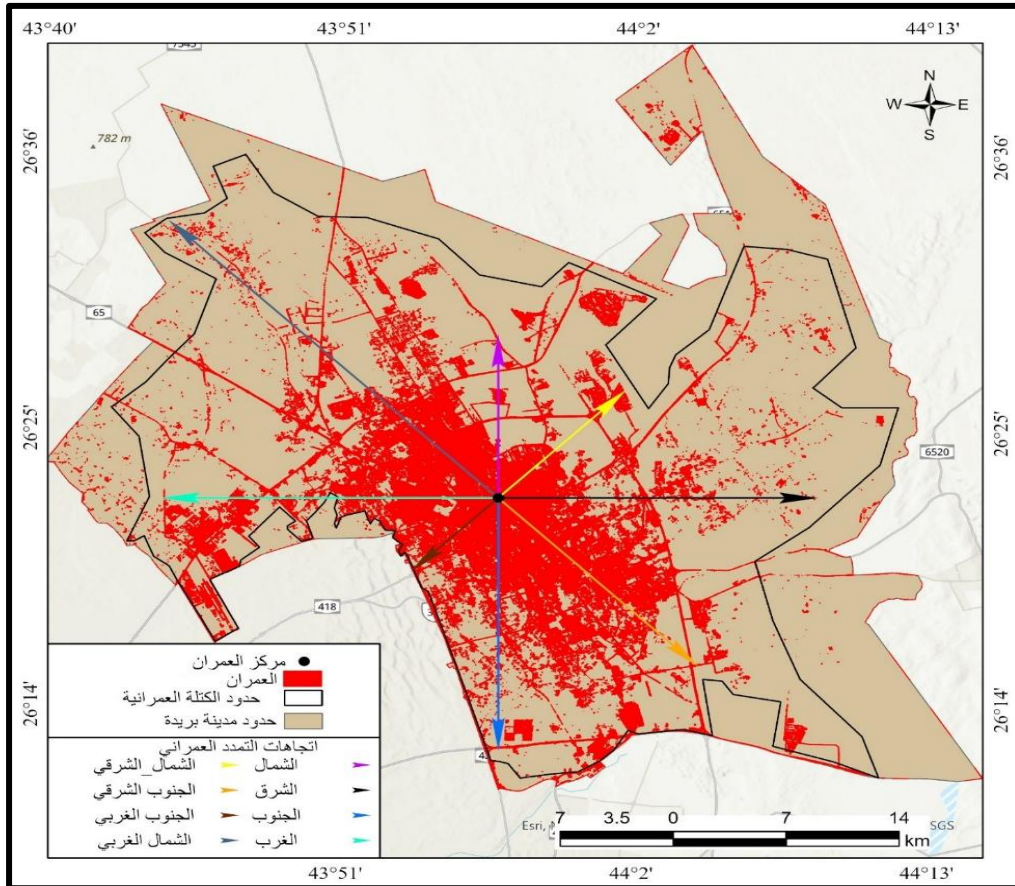
التصنيف	العمران	أرض فضاء	المياه	الغطاء النباتي	الإجمالي	دقة المستخدم %
العمران	15				15	100
أرض فضاء	2	13			15	86.6
المياه			10		10	100
الغطاء النباتي				15	15	100
الإجمالي	17	13	10	15	55	
إجمالي الدقة						96.36
الدقة المنتجة %	88	100	100	100		
كبا %						95.1



شكل (4) التصنيف المراقب لمدينة بريدة عام 2025- المصدر : من عمل الطالب اعتماداً على المرئية الفضائية LANDSAT9 باستخدام برنامج .ARC GIS PRO

- توزيع الكتلة العمرانية لمدينة بريدة:

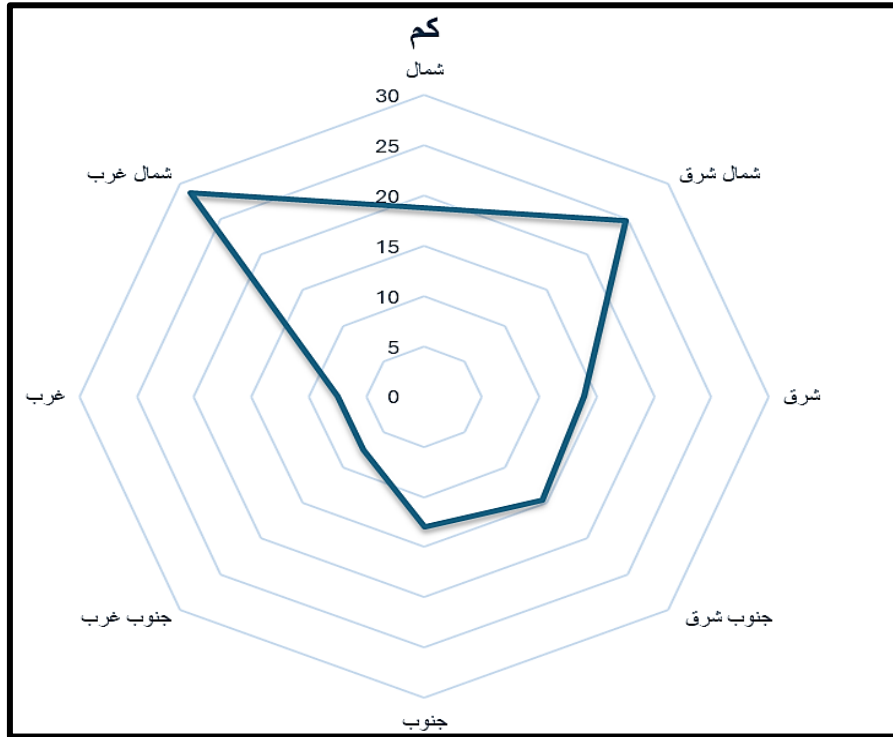
شهدت مساحة الكتلة العمرانية زيادة ملحوظة خلال عام 2025، حيث توسع العمران في العديد من الجهات فقد امتد العمران بنحو 19 كم تجاه الشمال ونحو 24 كم صوب الشمال الشرقي، و 28.7 كم اتجاه الشمال الغربي، وربما يرجع ذلك للزيادة السكانية فقد بلغ سكان مدينة بريدة عام 2022 نحو 571169 نسمة ونتج عن ذلك استصلاح الأراضي للزراعة والاستقرار بجوارها.



شكل (5) اتجاهات التمدد العمراني بمدينة بريدة خلال عام (2025)- المصدر: من عمل الطالب باستخدام برنامج ARC GIS PRO.

جدول (4) اتجاهات النمو العمراني بمدينة بريدة خلال (2025)- المصدر: من إعداد الطالب اعتماداً على تصنيف المرئيات الفضائية

عام 2025		اتجاه النمو العمراني
%	كم	
14.5	18.8	شمال
10.1	13	جنوب
10.8	13.9	شرق
5.8	7.5	غرب
19.3	24.8	شمال شرق
22.3	28.7	شمال غرب
11.4	14.67	جنوب شرق
5.8	7.43	جنوب غرب
100	128.8	الاجمالي

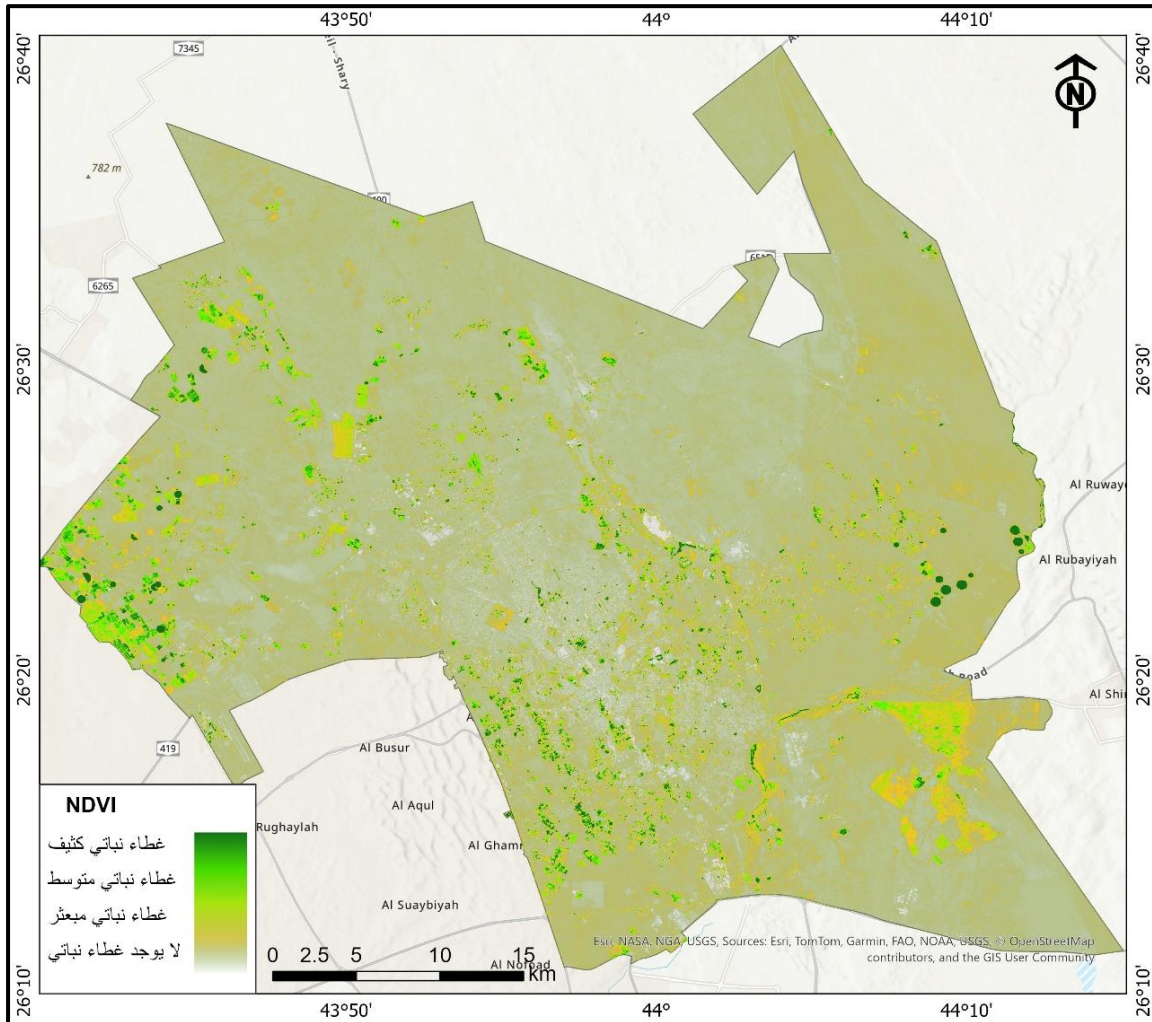


شكل (6) اتجاهات النمو العمراني في مدينة بريدة لعام (2025م)

- توزيع الغطاء النباتي بمدينة بريدة NDVI:

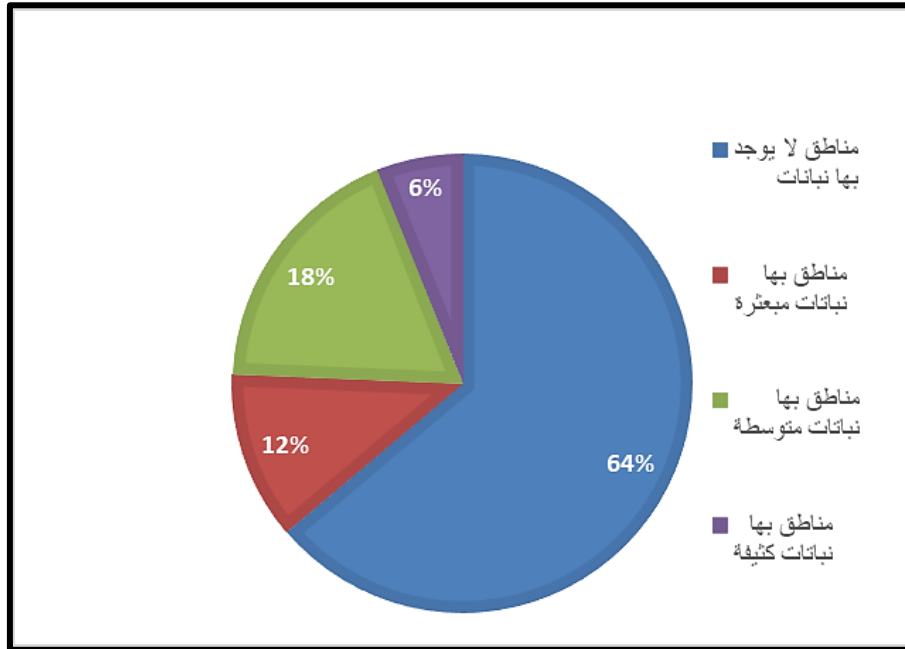
ويعد استخدام مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) هام في سرعة التنبؤ بحجم الغطاء النباتي بصورة أسرع من القياسات الحقلية والدراسات الميدانية، حيث يعد مؤشر (NDVI) مؤشر الاختلاف النباتي القياسي من أكثر المؤشرات تجربة واستخداماً في العالم لدراسة الغطاء النباتي، وهو مؤشر بيئي يقوم على العلاقة بين كمية الأشعة المنعكسة من القناة تحت الحمراء القريبة وتلك المنعكسة من القناة الحمراء، ويرتبط هذا المؤشر بنوع الغطاء الأرضي، فالنباتات الخضراء تمتص الأشعة الحمراء بشدة، وبالتالي فإن المناطق التي يوجد بها غطاء نباتي كثيف تختلف في خصائصها الطيفية في الجزء الأحمر من الطيف عن الخصائص التي تبديها في نطاق الأشعة تحت الحمراء القصيرة (جوهره وآخرون، 2022).

ويتم تطبيق مؤشر الغطاء النباتي NDVI والذي يربط البيانات من الأشعة تحت الحمراء القريبة مع بيانات المنطقة الطيفية الحمراء، حيث تمتص النباتات الخضراء الحيوية معظم الأشعة الحمراء وتعكس الجزء الأكبر من الأشعة تحت الحمراء القريبة. تتراوح قيمة المؤشر من -0.719 وحتى 0.94، ويتضح من التحليل العام للمؤشر أن من -1 وحتى صفر فهي مناطق لا يوجد بها نباتات ومن صفر وحتى 1 هي مناطق توزيع النباتات بكثافات مختلفة.



شكل (7) تصنيف الغطاء النباتي لمدينة بريدة-المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على المرئية الفضائية LANDSAT9 باستخدام برنامج ARC GIS PRO.

حيث تشغل مساحة المنطقة التي لا تغطي بالنباتات نحو 86.196 كم²، بينما تشغل مساحة المناطق التي بها نباتات أو حشائش وربما بعض الزراعات المبعثرة 15.99 كم²، وتغطي المناطق التي بها كثافة متوسطة من الغطاء النباتي مساحة 24.8 كم²، بينما لا تتجاوز مساحة المناطق كثيفة النباتات مساحة 8 كم²، وبالتالي نجد أن أكثر من 64% من مساحة مدينة بريدة هي منطقة خالية من النباتات والأراضي الزراعية وهذا يتفق حيث المناطق العمرانية والامتداد الأفقي للمناطق الصحراوية، وتشغل المناطق ذات الكثافة العالية للنباتات نسبة 6% وهي تمثل البؤر الزراعية للمدينة، وحولها بنسبة 12% مناطق النباتات المتوسطة الكثافة التي هي أيضاً تمثل مناطق لأراضي زراعية.



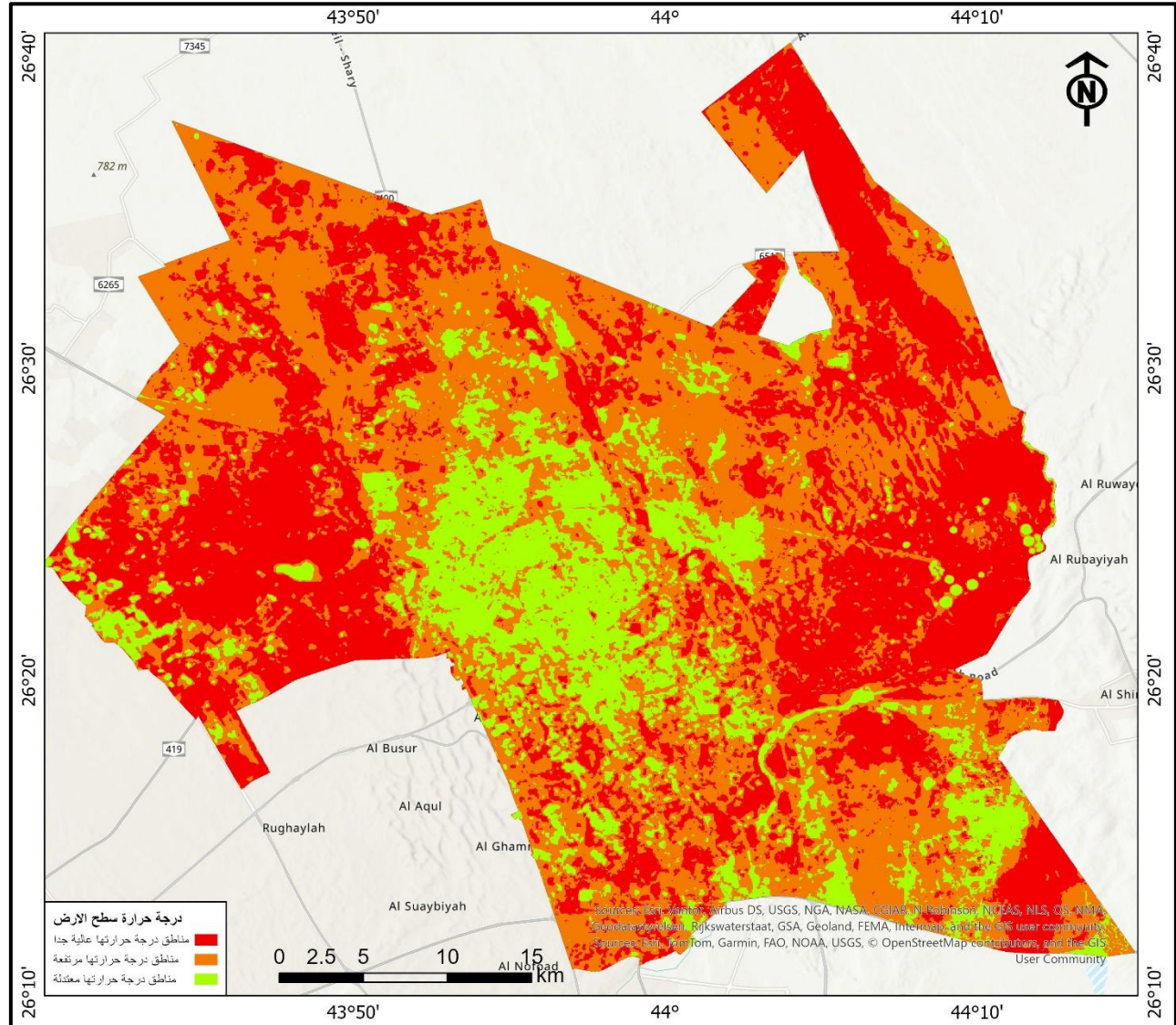
شكل (8) النسب المئوية للغطاء النباتي لمدينة بريدة- المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على مساحات تصنيف الغطاء النباتي باستخدام برنامجي Excel- ARC GIS PRO.

- حساب درجة حرارة سطح الأرض لمدينة بريدة (LST):

تعرف درجة حرارة سطح الأرض (LST) بأنها المؤشر الذي يحدد الحرارة الفعلية المنبعثة من السطح الأرضي، سواء تم قياسها عبر الأقمار الصناعية أو أجهزة الاستشعار الأرضية. لا تقتصر أهميتها على كونها قيمة رقمية، بل تعبر عن الإشعاع الحراري الصادر عن المكونات الطبيعية والبشرية للسطح، كالتربة، والغطاء النباتي، والمباني. تُعد LST مؤشراً محورياً في مجالات البيئة والمناخ، إذ تعكس التغيرات في استخدامات الأرض وأنماط الغطاء الأرضي، مثل التوسع العمراني وإزالة الغابات. (Qadri et al., 2023) كما تشكل أداة أساسية لفهم تأثيرات التغير المناخي واتساع رقعة المدن، إلى جانب استخدامها في تحليل ظاهرة "الجزر الحرارية الحضرية"، حيث تُسجل درجات حرارة مرتفعة في الأوساط الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المجاورة.

يتم حساب درجة حرارة سطح الأرض (Land Surface Temperature - LST) لمدينة بريدة باستخدام منصة Google Earth Engine من خلال سلسلة من الخطوات التحليلية المعتمدة على بيانات الاستشعار عن بُعد. تبدأ العملية باختيار صور القمر الصناعي Landsat 9 التي تحتوي على الحزمة الحرارية (Thermal Band)، ثم تطبيق عمليات المعالجة المسبقة مثل إزالة الغيوم والتصحيح الإشعاعي. بعد ذلك يتم تحويل القيم الرقمية (DN) إلى الإشعاع الطيفي، ثم إلى درجة حرارة السطوح (Brightness Temperature) باستخدام الثوابت الحرارية الخاصة بالمستشعر. وفي مرحلة لاحقة، يتم حساب مؤشر Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) لاشتقاق نسبة الغطاء النباتي (Pv) ومن ثم تقدير الانبعاثية السطحية (ε)، والتي تُستخدم لتصحيح درجة حرارة السطوح للحصول على درجة حرارة سطح الأرض الفعلية.

وتتراوح درجة حرارة سطح الأرض التي تم تسجيلها فيما بين 29 درجة و57 درجة مئوية وتم تقسيمها إلى ثلاث فئات من مناطق ذات درجات حرارة قريبة من الاعتدال وهي تمثل 16.6% من مساحة مدينة بريدة ومناطق مرتفعة درجة الحرارة وتمثل 45.8% وبالتالي هي تمثل أعلى نسبة من مساحة المدينة بينما تمثل المناطق ذات الارتفاع الشديد في درجات الحرارة نسبة 37.6%، وهذا ما توضحه الخريطة التالية.



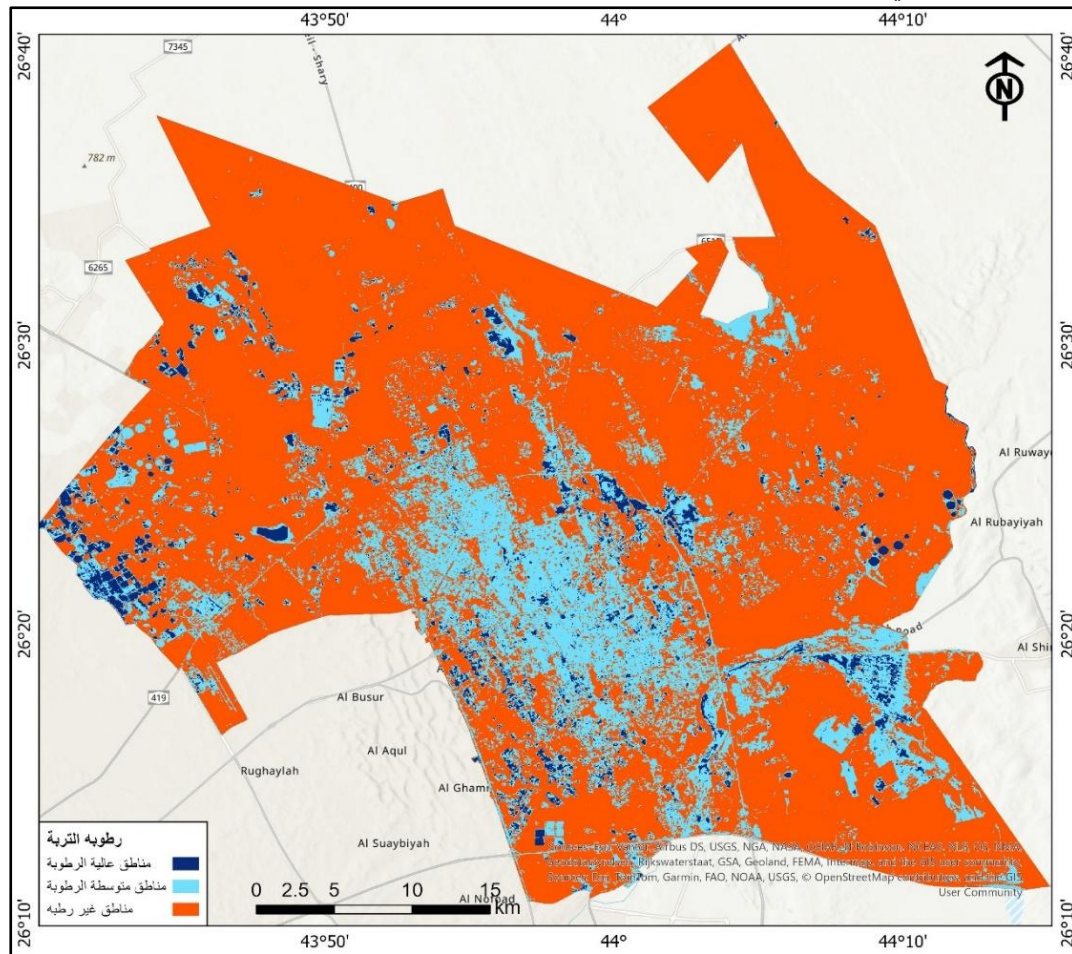
شكل (9) تصنيف درجات حرارة سطح الأرض لمدينة بريدة- المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على المرئية الفضائية LANDSAT8 باستخدام برنامج ARC GIS PRO.

ومما سبق نلاحظ أن هناك ارتباط عكسي بين التوزيع الحراري والغطاء النباتي فنجد أن المناطق التي بها غطاء نباتي تمثل المناطق التي تسجل درجات حرارة متوسطة، وكان المتوقع أن مناطق الكتلة العمرانية تمثل الأعلى في درجة حرارة سطح الأرض ولكننا نجد أنها تدخل ضمن الفئة المعتدلة والمرتفعة وربما ذلك لتخلل النباتات المناطق العمرانية، ونجد أن المناطق ذات الحرارة المرتفعة جداً تتوزع على بُعد من كل المناطق الزراعية والعمرانية.

ونتيجة التحليل السابق كان لا بد من الحصول على درجة رطوبة سطح الأرض والتي تم تطبيقها لمعرفة اسباب انخفاض درجة حرارة سطح الأرض في المناطق العمرانية، مؤشر رطوبة التربة المعروف بـ Normalized Difference Moisture Index من المؤشرات الطيفية المهمة في مجال الاستشعار عن بُعد، حيث يُستخدم لتقدير محتوى الرطوبة في التربة والغطاء النباتي اعتماداً على الخصائص الانعكاسية للأطوال الموجية في النطاق القريب من الأشعة تحت الحمراء (NIR) وتحت الحمراء قصيرة الموجة (SWIR). ويُحسب هذا المؤشر من خلال العلاقة $(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ ، إذ

تعكس القيم المرتفعة وجود رطوبة عالية في التربة أو النباتات، بينما تشير القيم المنخفضة أو السالبة إلى الجفاف وقلة المحتوى المائي (Wilson & Sader, 2002).

وكانت النتيجة كما بالخريطة التالية أنه بالفعل المناطق العمرانية هي مناطق متوسطة الرطوبة والتي تصل إلى 0.3، وهذا يفسر الانخفاض الطفيف في درجة الحرارة بتلك المناطق.



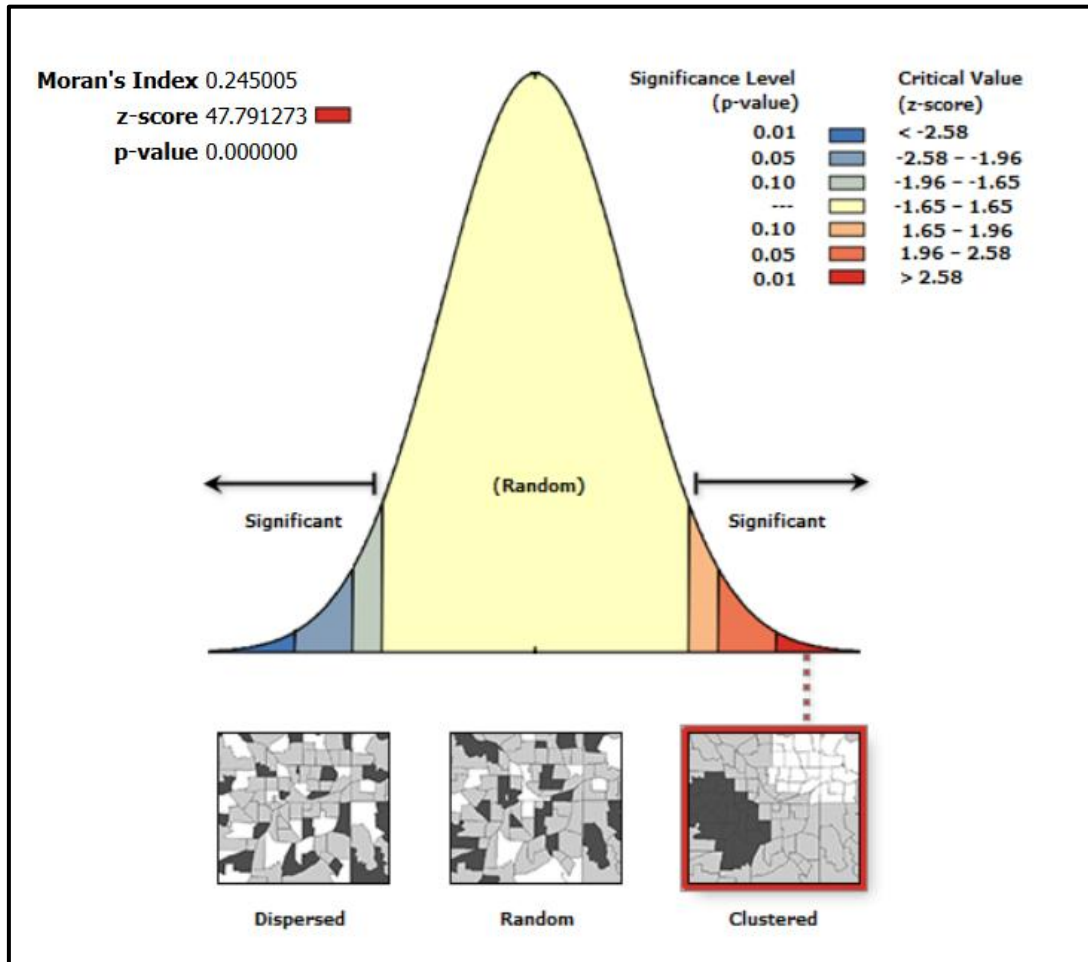
شكل (10) تصنيف رطوبة التربة لمدينة بريدة- المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على المرئية الفضائية LANDSAT8 باستخدام برنامج ARC GIS PRO.

- التوزيع المكاني للجزر الحرارية بمدينة بريدة:

وحتى تتمكن من معرفة خصائص التوزيع المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض لمعرفة شكل تجمع الجزر الحرارية نجد تم الاعتماد على نتائج تحليل مؤشر موران المكاني (Moran's I) لتوزيع درجات حرارة سطح الأرض (LST) في بريدة نمطاً مكانيًا تجميعيًا ذا دلالة إحصائية مرتفعة، حيث بلغت قيمة المؤشر (0.245)، وهي قيمة موجبة تعكس وجود ترابط مكاني بين القيم المتشابهة حراريًا. كما سجلت قيمة (z-score) مقدارها (47.79)، وهي أعلى بكثير من القيمة الحرجة (2.58) عند مستوى ثقة 99%، في حين بلغت قيمة (p-value) (0.000)، مما يشير إلى أن احتمال ظهور هذا النمط نتيجة الصدفة الإحصائية يكاد يكون معدومًا. وبناءً على ذلك، يمكن تصنيف التوزيع المكاني لدرجات الحرارة السطحية ضمن النمط التجميعي (Clustered) بدلاً من النمط العشوائي أو المنتثر.

وتعكس هذه النتائج وجود تنظيم مكاني واضح في توزيع درجات الحرارة، حيث تتجمع القيم المرتفعة في نطاقات جغرافية محددة، وكذلك الحال بالنسبة للقيم المنخفضة، بما يدل على وجود بنية مكانية مترابطة. ويُعزى هذا النمط إلى تفاعل مجموعة من العوامل، من أبرزها تفاوت الكثافة العمرانية، وتوزيع الغطاء النباتي، واختلاف أنماط استخدامات الأرض، إلى جانب تأثير محدود للعوامل الطبيعية. كما تتوافق هذه النتائج مع خصائص ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (Urban Heat Islands)، التي ترتبط بزيادة التركيز العمراني وارتفاع النشاط البشري، حيث تسجل المناطق المبنية كثيفة الاستخدام درجات حرارة أعلى مقارنة بالمناطق الزراعية أو المفتوحة.

وتكتسب هذه النتائج أهمية تطبيقية في دعم عمليات التخطيط الحضري والبيئي، إذ توفر أساساً علمياً لتوجيه سياسات التنمية المستدامة في المدينة، من خلال تحديد مناطق الأولوية للتدخل، مثل تعزيز المساحات الخضراء، وتحسين توزيع الكتل العمرانية، بما يساهم في التخفيف من حدة الجزر الحرارية وتقليل آثار التغير الحراري المحلي.



شكل (11) نمط توزيع درجات حرارة سطح الأرض لمدينة بريدة- المصدر: من عمل الطالب اعتماداً على المرئية الفضائية LANDSAT8 باستخدام برنامج ARC GIS PRO.

النتائج

1. سجلت درجات حرارة سطح الأرض (LST) في المدينة مدى يتراوح بين 29°C و 57°C ، حيث شكّلت المناطق مرتفعة الحرارة (45.8%) والشديدة الارتفاع (37.6%) النسبة الأكبر من المساحة، بينما لم تتجاوز المناطق المعتدلة 16.6% .
2. أظهرت الدراسة أن التوسع العمراني الأفقي السريع، خاصة في الاتجاهات الشمالية والشمالية الغربية، ساهم في زيادة المساحات المعرضة لظاهرة الجزر الحرارية نتيجة استبدال الأسطح الطبيعية بمواد بناء غير منفذة.
3. لوحظ وجود علاقة عكسية بين توزيع درجات الحرارة والغطاء النباتي، حيث تركزت المناطق الأكثر اعتدالاً حرارياً في النطاقات الزراعية ومواقع الغطاء النباتي.
4. أظهرت نتائج تحليل استخدامات الأراضي أن المناطق العمرانية لا تمثل دائماً أعلى درجات الحرارة، بل تقع ضمن الفئات المتوسطة والمرتفعة، وهو ما يُعزى إلى تداخل بعض المساحات الخضراء داخل النسيج العمراني.
5. أظهر مؤشر الرطوبة (NDMI) أن المناطق العمرانية سجلت قيم رطوبة متوسطة (تصل إلى 0.3)، مما يفسر انخفاضاً نسبياً في درجات حرارتها مقارنة بالمناطق المفتوحة الجافة.
6. أظهر تحليل مؤشر موران المكاني (Moran's I) وجود نمط تجمعي (Clustered) لتوزيع درجات الحرارة السطحية، حيث بلغت قيمة المؤشر 0.245، و $z\text{-score}$ 47.79، و $p\text{-value}$ 0.000، مما يؤكد أن النمط الحراري ليس عشوائياً، ويعكس ترابطاً مكانياً قوياً بين المناطق المتشابهة حرارياً.
7. أثبتت تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، خاصة عبر منصة Google Earth Engine، كفاءتها العالية في تحليل الظواهر الحرارية ورصد التغيرات المكانية والزمانية بدقة كبيرة.

التوصيات

1. الحفاظ على الأراضي الزراعية ومنع التعدي عليها، نظراً لدورها الحيوي في التوازن الحراري وتقليل شدة الجزر الحرارية .
2. تعزيز استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ومنصة Google Earth Engine في الرصد الدوري لدرجة حرارة سطح الأرض، بما يساهم في متابعة التغيرات البيئية بشكل مستمر .
3. تطوير استراتيجيات تخطيط حضري مستدام تعتمد على توزيع متوازن للكثل العمرانية والمساحات المفتوحة، مع مراعاة التهوية الطبيعية داخل المدينة.
4. ضرورة إنشاء أحزمة خضراء ومنتزهات حضرية في البؤر الحرارية مرتفعة التركيز، مع اختيار أنواع نباتية ملائمة للمناخ الصحراوي، مع التركيز على المناطق التي أظهرت أعلى قيم حرارية.

المراجع

- العتيبي، زين بنت مطلق معيوض الجميعي. (2015) دور مشاريع التشجير في الحد من ظاهرة الجزر الحرارية في مدينة مكة المكرمة: دراسة تحليلية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية، ع38.
- العصيمي، مشاعل حباب شباب، والأحمري، إيمان مشيب عوضه. (2020) الجزيرة الحرارية بالدمام: تحليل الأسباب والآثار وآليات العلاج. مجلة رماح للبحوث والدراسات، ع 19.
- الرحيلي، عائشة غالي. (2025) رصد وتحليل الجزر الحرارية الحضرية في مدينة الجبيل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية خلال الفترة من 2020 إلى 2024. المجلة العربية للدراسات الجغرافية، ع23.
- المطيري، مطيرة بنت خويتم هلال. (2014) اشتقاق الجزر الحرارية من المرئيات الفضائية: Sat Land-8 دراسة حالة مدينة الرياض. مجلة التربية، ع 161.

- قابيل، هالة. (2022) استعمال الصور الفضائية Landsat-7 في تحديد الجزر الحرارية السطحية لمدينة دمشق. مجلة جامعة دمشق للآداب والعلوم الإنسانية، مج 38، ع 14.
- محمود، وائل محمد طاهر. (2018) الجزر الحرارية في مدينة المنصورة. مجلة كلية الآداب، ع 12.
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review. *International Journal of Climatology*.
 - Bornstein, R. D. (1968). Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City. *Journal of Applied Meteorology*, 7, 575–582.
 - Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat sensors. *Remote Sensing of Environment*.
 - Hafner, J., & Kidder, S. Q. (1999). Urban Heat Island Modeling in Conjunction with Satellite-Derived Surface/Soil Parameters. *Journal of Applied Meteorology*, 38, 448–465.
 - Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*.
 - Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434–440.
 - Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities. *Science of the Total Environment*.
 - USGS (2020). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*.
 - Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57(3), 167–184.
 - Voogt J. A. & Oke T. R., (2003), Thermal remote sensing of urban climates, *Remote Sensing of Environment*, vol. 86, n° 3, pp. 370-384.
 - Voogt J. A., (2009), *How researchers measure urban heat islands*, London, University of Western Ontario, 34 pages.
 - Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483.
 - Wilson, E. H., & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 385–396.