ISSN: 2706-6495

تحليل الجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة بمدينة مكة المكرمة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

Analysis of Heat Islands in the Holy Sites Area of Makkah Using Remote Sensing and Geographic Information Systems (Gis)

إعداد:

الباحثة/ أبرار بنت عبدالمحسن سالم المطرفي

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

Email: Abrar_almatrafi@hotmail.com

الأستاذ الدكتور/ أحمد بن محمد عبدالرحمن البسام

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

Email: absam@qu.edu.sa

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة بمدينة مكة المكرمة (منى، مزدلفة، عرفات) باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية خلال عامي 2015 و2024م. حيث تم اشتقاق درجة حرارة السطح (LST) من مرئيات القمر الصناعي Landsat 8، وتصنيفها إلى ست فئات حرارية لدراسة التوزيع المكاني للجزر الحرارية، وتحليل تأثير العوامل الطبيعية والبشرية على شدة الجزر الحرارية.

أظهرت النتائج أن درجات حرارة السطح تراوحت بين نحو 40°–63°م في كلا العامين، مع زيادة واضحة في انتشار الجزر الحرارية الشديدة عام 2024 مقارنة بعام 2015، وذلك في المناطق المنخفضة في مزدلفة وعرفات، كما بينت النتائج وجود علاقة عكسية بين الارتفاع ودرجة الحرارة، حيث بلغ معامل الارتباط نحو -0.67 عام 2015 و-0.46 عام 2024، مما يؤكد دور التضاريس في خفض الحرارة. في المقابل، أظهرت العلاقة بين الغطاء النباتي ودرجة الحرارة ارتباطًا موجبًا ضعيفًا بلغ 0.10 و0.09؛ نتيجة تمركز الغطاء النباتي في المناطق المنخفضة الحارة.

كما كشفت النتائج زيادة المساحة العمرانية خلال الفترة 2015–2024، من 17.66 كم² إلى 37.84 كم²، بالتزامن مع ارتفاع متوسط الحرارة فيها من 52.1°م إلى 55.28°م، بالتالي يوضح التحليل العام أن النظام الحراري في منطقة الدراسة نتاج تفاعل مركب بين الارتفاع والعمران والغطاء النباتي، إلا أن الارتفاع والتوسع العمراني هما العاملان الأكثر تأثيرا، بينما يبقى أثر الغطاء النباتي محدود. تؤكد الدراسة أهمية مراعاة العوامل الطبوغرافية في التخطيط العمراني، وتعزيز مشاريع التشجير واستخدام بيانات الاستشعار عن بعد لمراقبة التغيرات الحرارية وتعزيز التخطيط البيئي المستدام في منطقة المشاعر المقدسة.

الكلمات المفتاحية: الجزر الحرارية، المشاعر المقدسة، الاستشعار عن بعد، التوسع العمراني، مؤشر الغطاء النباتي.

ISSN: 2706-6495

Analysis of Heat Islands in the Holy Sites Area of Makkah Using Remote Sensing and Geographic Information Systems (Gis)

Abrar Abdulmohsen Salem Almatrafi

PhD Student, Department of Geography, College of Languages and Human Sciences, Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia.

Prof. Dr. Ahmad Mohammad Abd al-Rahman Al-Bassam

Professor of Population Geography, Department of Geography, College of Languages and Human Sciences, Qassim University, Kingdom of Saudi Arabia.

Abstract:

The study aims to analyze the Surface Urban Heat Islands in the Holy Sites of Makkah (Mina, Muzdalifah, and Arafat) using Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) techniques between 2015 and 2024. Land Surface Temperature (LST) was derived from Landsat 8 satellite imagery and classified into six thermal categories to examine the spatial distribution of heat islands and analyze the impact of natural and human factors on their intensity.

The results showed that LST ranged between approximately 40°C and 63°C in both years, with a noticeable increase in the spread of extreme heat islands in 2024 compared to 2015, particularly in the low-lying areas of Muzdalifah and Arafat. The findings revealed an inverse relationship between elevation and temperature, with correlation coefficients of approximately -0.67 in 2015 and -0.46 in 2024, confirming the role of topography in temperature reduction. In contrast, the relationship between vegetation cover (NDVI) and temperature showed a weak positive correlation (0.10 and 0.09) due to the concentration of vegetation in hot, low-lying areas.

Furthermore, the results disclosed an expansion in urban areas during the period 2015–2024, increasing from 17.66 km² to 37.84 km², accompanied by a rise in their average temperature from 52.1°C to 55.28°C. Overall, the analysis indicates that the thermal system in the study area is a product of a complex interaction between elevation, urbanization, and vegetation; however, elevation and urban expansion are the most influential factors, while the impact of vegetation remains limited. The study emphasizes the importance of considering topographical factors in urban planning, promoting afforestation projects, and utilizing remote sensing data to monitor thermal changes and enhance sustainable environmental planning in the Holy Sites.

Keywords: Urban Heat Islands (UHI), Holy Sites, Remote Sensing, Urban Expansion, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

ISSN: 2706-6495

1. المقدمة:

تؤدي الظروف البيئية الطبيعية والأنشطة البشرية المختلفة، وتدخل الإنسان في البيئة وبناء المدن والأبراج العالية والشوارع المعبدة بالاسفلت وغيرها من المظاهر المؤثرة على المدى البعيد إلى ارتفاع درجة الحرارة والتغيرات المناخية؛ مما أسهم في تكون الجزر الحرارية أحد مظاهر المناخ الحضري الذي يدرس التأثير المتبادل بين الأنشطة البشرية وحالة مناخ المدن.

وتعرف الجزر الحرارية الحضرية (Urban Heat Islands - UHI) بأنها ظاهرة مناخية ملحوظة، تنشأ عندما تكون درجات الحرارة في المناطق الحضرية أعلى بشكل واضح من المناطق الريفية المحيطة بها. وترجع أسباب هذه الظاهرة إلى عدة عوامل منها: قلة المساحات الخضراء والمائية التي تعمل على تنقية وتبريد الهواء، كما تؤدي الأنشطة البشرية مثل: الصناعة والتوسع العمراني ووسائل النقل دورا في زيادة انبعاثات الحرارة (Oke, 1982).

وقد زاد الاهتمام بظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية باعتبارها تمثل واحدة من أبرز التأثيرات البشرية على البيئة الطبيعية لكوكب الأرض (Zhou, D. et al.،2015) وهو تأثير أدى لحدوث الكثير من المشكلات مثل: زيادة استهلاك الطاقة وزيادة الإنفاق المجتمعي عليه، وصعوبة توفير الوقود اللازم بالمعدلات المطلوبة للاستهلاك، كما أن ارتفاع درجة الحرارة داخل المدن يتسبب في التأثير على التلوث الجوي وصحة الإنسان وراحته وإنتاجيته (Dezso, Z. et al., 2007).

بالتالي تكتسب دراسة الجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة بمدينة مكة المكرمة أهمية خاصة؛ بسبب الطبيعة الدينية للمنطقة ووجود الكثافة البشرية خلال موسم الحج والزائرين على مدار العام، كما أن الخصائص الجغرافية والطبوغرافية لمدينة مكة المكرمة – بين الجبال وتضاريسها المعقدة – قد تسهم في تعزيز هذه الظاهرة.

1.1. مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في أن الجزر الحرارية من أبرز الظواهر البيئية الناتجة عن التوسع العمراني والتغير في استخدامات الأرض؛ مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة السطحية وتأثيرها السلبي على البيئة وراحة الزائرين والحجاج بمدينة مكة المكرمة، وهذا يجعل من الضروري دراسة التوزيع المكاني للجزر الحرارية، وعلاقتها بالمناطق العمرانية والمساحات الخضراء.

2.1. أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى دراسة الجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة بمدينة مكة المكرمة، وتوزيعها المكاني باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية خلال الفترة 2015 – 2024م.

وذلك من خلال تحقيق الأهداف التالية:

1- تحليل التوزيع المكاني والزماني للجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة خلال الفترة 2015 – 2024م.
2- تصنيف الجزر الحرارية وتحديد شدة تباينها داخل منطقة الدراسة.
3- تحليل العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة في تكون الجزر الحرارية، وربطها بالغطاء الأرضي والغطاء النباتي والتضاريس والارتفاع في منطقة المشاعر المقدسة.

3.1. أهمية الدراسة:

1- تكتسب الدراسة أهميتها من أهمية منطقة الدراسة وهي منطقة المشاعر المقدسة بمدينة مكة المكرمة.
2- ارتباطها برؤية المملكة العربية السعودية 2030 من خلال تحسين جودة الحياة وتحسين البيئة الحضرية، حيث أن دراسة الجزر الحرارية تدعم التخطيط العمراني المستدام والحد من التلوث الحراري.

ISSN: 2706-6495

4.1. مصطلحات الدراسة:

- الجزيرة الحرارية (Heat island): ظاهرة ارتفاع درجة الحرارة في المدن الكبيرة والصناعية مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة بها (شحادة، 1998م).
- المرئيات الفضائية (Satellite image): هي عبارة عن تعبير رسومي وذلك مهما كان طول الموجة او جهاز الاستشعار عن بعد الذي تم استخدامه من أجل التقاط وتسجيل الطاقة الكهرطيسية. (الخليل، 2011م، 63)
- درجة الحرارة (Temperature): تعبير عن عادة عن حالة الجسم الحرارية، بل هي تعبير عن الطاقة الحركية للجزيئات المكونة للجسم. وكلما ازدادت كمية حرارة الجسم مال إلى السخونة وارتفعت درجة حرارته أكثر. (موسى، 2017م).
- التحليل المكاني (Spatial analysis): هو أسلوب لقياس العلاقة المكانية بين الظاهرات اعتمادا على قياسات الموقع والشكل والابعاد والمساحات والاتجاهات والمجاورة والمطابقة والارتفاع والانخفاض، والتصنيف، والتجميع والترتيب. بغرض تفسير العلاقة المكانية والاستفادة منها، وفهم أسباب وجود وتوزيع الظاهرات على سطح الأرض، والتنبؤ بسلوك تلك الظاهرات في المستقبل. (شرف، 2008م، 51).

2. الدراسات السابقة:

هناك العديد من الدراسات التي تناولت موضوع الجزر الحرارية، ودراستها من حيث التوزيع المكاني والعوامل المؤثرة في تكونها، وطرق الحد من زيادتها أو التخفيف منها مستقبلا، وتم تقسيم الدراسات السابقة إلى:

1.2. الدراسات العربية:

- دراسة المنجي والشرعبي (2011م) لخصائص الجزيرة الحرارية لمدينة مسقط، وشدتها بهدف معرفة التوزيع المكاني للجزر الحرارية وحجمها وتقلباتها الزمانية بالاعتماد على قياسات ثابتة ومتنقلة لحرارة الهواء امتدت طوال سنة، ثم حللت باستخدام برمجيات خاصة مثل نظم المعلومات الجغرافية GIS. أظهرت النتائج وجود فوارق حرارية هامه بين المنطقة الحضرية والمناطق الريفية المجاورة لها، وتتركز هذه المناطق الحارة في قلب المدينة المكتظة بالمباني وبالحركة المرورية وتمثل هذه الحرارة قلب الجزيرة الحرارية وتتوزع على شكل خلايا حاره خاصه حول الأحياء القديمة، وتساهم طبوغرافيا المكان وجيولوجية السطح بشكل كبير في ظهور هذه الخلايا الحرارية الحضرية.

- وتناول إسماعيل (2017م) تطور الجزر الحرارية السطحية في مدينة حلوان خلال الفترة "2000-2016": دراسة في مناخ الحضر باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، وهدفت الدراسة إلى التعرف على تطور الجزر الحرارية السطحية في مدينة حلوان خلال الفترة (2000-2016) وأنماط درجة الحرارة ومؤشراتها، والتباين الفصلي لشدة الجزر الحرارية السطحية ليلا خلال الفترة (2000م-2016م). وتوصلت نتائج الدراسة إلى عدم وجود نمط فصلي واضح لتطور شدة الجزر الحرارية السطحية وتباينها في عمران مدينة حلوان بالنسبة للمناطق المجاورة لها، وازدياد شدة الجزيرة الحرارية السطحية بالاتجاه نحو وسط مدينة حلوان وذلك في أغلب فصول السنة ليلا ونهارا، وانخفاض شدة الجزيرة السطحية بالاتجاه نحو الغرب نتيجة لتكون نطاق من الجزر الحرارية المعتدلة حراريا على طول نهر النيل والمناطق الزراعية المجاورة له، وأن العوامل المؤثرة في الجزر الحرارية السطحية في مدينة حلوان تنقسم إلى عاملين رئيسيين هما العوامل طبيعية المنشأ وتتمثل في الموقع الجغرافي والفلكي، ومظاهر السطح وعناصر المناخ (الإشعاع الشمسي ، درجة الحرارة، الرياح، المطر، السحب).

2.2. دراسات في المملكة العربية السعودية:

- تناولت حبيب (2007م) في دراستها عن الجزر الحرارية بمدينة الدمام باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

صور القمر الاصطناعي لاندسات (TM5)، بهدف تحويل قيم الإشعاع إلى قيم حرارية مطلقة ومئوية وتصنيف أنماط الجزر الحرارية وأحجامها وتحليلها على مستوى احياء المدينة، ومقارنتها بالريف المجاور المتمثل في مدينة القطيف. وتوصلت إلى وجود تركز الجزر الحرارية الحارة فوق المناطق الصناعية، وأن أحجام الجزر المعتدلة أكثر استقرارا ومساحة على مدينة القطيف، وأن نسيم البحر يؤثر في تخفيف الحرارة شرق مدينة الدمام، وهناك علاقة ارتباط قوية بين إزالة النباتات وارتفاع درجة الحرارة، وأن صور القمر الصناعي لاندسات جيدة في رصد الجزر الحرارية في المدن المدارية وحركاتها وأحجامها وعلاقة ذلك بنمط استخدام الأرض.

- وبالنسبة لدراسة المطيري (2014م) اشتقاق الجزر الحرارية من المرئيات الفضائية Land Sat-8 : دراسة حالة مدينة الرياض، وهدفت إلى تحليل الجزر الحرارية في مدينة الرياض باستخدام مرئيات Landsat-8 وتقنيات GIS، وتوصلت إلى وجود عدة جزر حرارية متفاوتة الشدة، تتركز بشكل واضح فوق المناطق المبنية، مع وجود علاقة قوية بين نمط استخدام الأرض وارتفاع الحرارة. كما أوضحت الدراسة تغير حجم الجزر وعددها بين الفصول، وزيادة شدتها في فصل الصيف. وتؤكد هذه الدراسة أهمية الاستشعار عن بعد في تحليل الأنماط الحرارية الحضرية.

- وحللت دراسة الشمراني والبوقري (2024م) الجزر الحرارية في مدينة جدة والعوامل المؤثرة في تكوينها، بهدف دراسة التغير في التوزيع المكاني للجزر الحرارية في مدينة جدة لعامي 1990 و2020م باستخدام صور Landsat 5 و8. وتوصلت الدراسة إلى زيادة واضحة في أحجام الجزر الحرارية مع توسع المناطق العمرانية، حيث بلغ عدد الجزر الحرارية 1183 جزيرة عام 1990 ثم انخفض العدد مع زيادة اندماجها وتوسع مساحتها عام 2020 إلى 852 جزيرة. كما أظهرت الدراسة تمركز الجزر الحرارية في الأجزاء الجنوبية الشرقية من مدينة جدة، مما يشير إلى أنماط عمرانية مرتبطة بظهور الحرارة في هذه المواقع. وتعد الدراسة مثالا لتأثير التوسع الحضري طويل المدى على ارتفاع حرارة المدن.

3.2. دراسات محلية:

- درست الجميعي (2015م) دور مشاريع التشجير في الحد من الجزر الحرارية في مدينة مكة المكرمة باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وهدفت لدراسة تأثير التشجير في تخفيف ظاهرة الجزر الحرارية من خلال تصنيف استخدامات الأراضي في مدينة مكة المكرمة وتحديد الجزر الحرارية صيفا وشتاء، وحساب المساحات الخضراء في فصلي الشتاء والصيف ودراسة دورها في تخفيف الجزر الحرارية في مدينة مكة المكرمة. حيث توصلت الدراسة إلى وجود تنوع واضح في شدة الجزر الحرارية داخل مكة (من باردة إلى شديدة الحرارة)، مع سيطرة الجزر الحارة على معظم المناطق المبنية. كما أوضحت أن مشاريع التشجير ساهمت في الحد من الظاهرة بشكل محدود صيفا وشتاء، وأن تأثيرها يختلف حسب الموقع وكثافة الغطاء النباتي، وتوضح الدراسة أهمية الغطاء النباتي في تحسين الظروف الحرارية داخل المدن.

4.2. الدراسات غير العربية:

- درس جون وآخرون (John et al، 2017) تحليل ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في مدينة كادونا متروبوليس باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، بهدف دراسة نمط وتوزيع الجزر الحرارية في مدينة كادونا بالاعتماد على صور لاندسات للأعوام 1995 و2005 و2015 والعلاقة بين الغطاء الأرضي ونشأة الجزر الحرارية. اظهرت النتائج ان تأثير الجزر الحرارية في كادونا اخذ في الازدياد ودرجات الحرارة تتأثر باختلاف الغطاء الأرضي ووصلت أكثر سخونة في عام 2015 مقارنة بعامي 1995و2005 داخل المدينة نظر لزيادة مناطق البناء على مر السنين والانخفاض المقابل على الغطاء النباتي، وان المناطق التي تشهد ارتفاعات ساخنة في الحرارة تمثل المناطق المبنية والاسطح الفضاء ومناطق تجارية أوصى الباحثون بتجديد الغطاء النباتي وانشاء مناطق خضراء.

- درس هايلماريام (Haylemariyam، 2018) رصد درجة حرارة سطح الأرض وعلاقتها بتغير استخدامات الأراضي: مدينة دير داوا في إثيوبيا، بهدف التحليل الزماني والمكاني لتغيرات الغطاء الأرضي واستخدام الأراضي ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) في مدينة خلال الفترة الزمنية بين عامي 1993 و 2017، أظهرت النتائج ان التغير في استخدام الأراضي بسبب النمو الحضري والتوسع وبناء وحدات سكنية جديدة أدى إلى زيادة درجة حرارة السطح الأرض، وتشير النتائج إلى وجود علاقة عكسية قوية مع NDVI معامل دليل الخضرة النباتية حيث سجلت المناطق المزروعة اقل قيمة لدرجة حرارة السطح واعلى قيمه ل NDVI معامل دليل الخضرة النباتية.

- أوضحت دراسة باثك وآخرون (Pathak et al، 2020) دور مؤشرات استخدام الأراضي في تشكيل الجزر الحرارية الحضرية لمدينة اجرا في الهند باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد (1992 -2019م)، بهدف دراسة كيفية تشكل الجزر الحرارية وعلاقتها بالمؤشرات الأرضية (الغطاء النباتي، الاراضي المبنية) وتطورها على مدى زمني طويل يمتد من 1992-2019م، وأظهرت النتائج ان الغابات والمناطق الرطبة تعمل على خفض درجة حرارة السطح بمقدار 3-5 درجات مئوية، بينما تسهم الأراضي المبنية والاسفلتية في رفعها بمقدار 2-5 درجة مئوية على عكس البيئة الطبيعية، وأوضحت الدراسة وجود تدرج حراري واضح من مركز المدينة نحو الأطراف، مما يؤكد تأثير كثافة البناء على شدة الجزر الحرارية، وأهمية المناطق الطبيعية في خفض الجزر الحرارية الحضرية.

5.2. التعليق على الدراسات السابقة:

يتضح من استعراض الدراسات السابقة أن الدراسات تناولت ظاهرة الجزر الحرارية مع توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تحليل التوزيع المكاني لشدة الجزر الحرارية، وربطها بأنماط استخدامات الأرض والعوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة فيها، وقد أظهرت الدراسات اتفاقا واضحا على تأثير الأنشطة الحضرية وإزالة الغطاء النباتي وازدياد المباني على ارتفاع درجات الحرارة، إضافة إلى أهمية التحليل الزمني لرصد تطور الظاهرة.

وبالنسبة للدراسات في المملكة العربية السعودية فقد ركزت على تحليل الجزر الحرارية في مدن سعودية كبرى (الرياض والدمام ومكة)، ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة في أنها تدرس منطقة المشاعر المقدسة كمنطقة ذات طبيعة عمرانية خاصة ومن المناطق ذات الأنماط الموسمية، وتركز على تحليل الجزر الحرارية لعامي 2015 و2024م، وتوزيعها والعوامل المؤثرة في تكونها عبر فترة زمنية حديثة، مما يساهم في تحسين جودة التخطيط البيئي والعمراني بمنطقة الدراسة.

3. المنهجية:

تتبع الدراسة عدد من المناهج؛ لتحقيق الأهداف وتمثلت بالتالي:

المنهج الوصفي: استخدامه لوصف توزيع ظاهرة الجزر الحرارية في منطقة الدراسة وخصائصها؛ بهدف إيجاد العلاقات بين الظاهرة والعوامل الطبيعية المؤثرة في تكوينها.

المنهج التحليلي: استخدامه في تحليل البيانات المكانية من خلال معالجة مرئيات الأقمار الصناعية (القمر الصناعي لاندسات 8 لعامي 2015 و2024م)؛ لاشتقاق درجة الحرارة السطحية وعلاقتها بالعوامل المؤثرة (الغطاء النباتي، الارتفاع والتضاريس، الغطاء الأرضي)؛ لتوضيح التغيرات في منطقة الدراسة.

المنهج المقارن: من خلال المقارنة بين حجم الجزر الحرارية خلال فترتي الدراسة 2015و 2024م؛ للكشف عن نتائج معدل التغير.

وتم اختيار عامي 2015 و2024م لتمثيل فترة زمنية كافية لرصد التغيرات الحرارية في منطقة الدراسة، حيث يعكس عام 2015م الوضع العمراني والبيئي قبل التوسع الكبير في البنية التحتية، في حين يمثل عام 2024م المرحلة الحديثة التي شهدت تطورات عمرانية

ISSN: 2706-6495

ملحوظة في منطقة المشاعر المقدسة، كما يتيح هذا الفارق الزمني تحليل التغيرات المكانية للجزر الحرارية وربطها بالتغيرات في الغطاء الأرضي والعوامل البشرية.

1.3. إجراءات جمع وتحليل بيانات الدراسة:

اعتمدت هذه الدراسة على مجموعة من الإجراءات المنهجية لجمع البيانات المكانية والوصفية اللازمة لتحقيق أهداف البحث وتحليل الجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة، وقد تنوعت مصادر البيانات بين المرئيات الفضائية، والمراجع العلمية، والبيانات الجغرافية، والزيارات الميدانية:

- تم الحصول على المرئيات الفضائية من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS للقمر الصناعي Landsat 8 للأعوام 2015 و2024م، نظرا لامتلاكه النبد الحراري TIRS (النبد 10) المناسب لاشتقاق درجات حرارة السطح (LST)، إضافة إلى توفر بيانات متعددة الأطياف تساعد في استخراج المؤشرات الطيفية: مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) والتمييز بين مظاهر السطح المختلفة.
- جمع البيانات الرقمية والخرائط الأساسية لمنطقة الدراسة من أمانة العاصمة المقدسة، بما في ذلك حدود المشاعر، وحدود الأحياء، والطبقات الطبوغرافية؛ لدعم تحليل التوزيع المكاني للجزر الحرارية.
- استعانت الدراسة بالمراجع والكتب العلمية والدراسات السابقة لتأسيس الإطار النظري وفهم العوامل المؤثرة في تكون الجزر الحرارية وتفسير النتائج الميدانية.
- إجراء عملية المعالجة والتهيئة للبيانات باستخدام برنامج ArcGIS Pro حيث تم إجراء عمليات القص، التصنيف، التحليل الإحصائي المكاني، إضافة إلى تطبيق معادلات تحويل القيم الرقمية (DN) إلى الإشعاع ثم إلى درجات حرارة السطح. كما تم استخدام بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) لتحليل أثر التضاريس والارتفاع في شدة الجزر الحرارية.
- زيارة ميدانية بتاريخ 2025/12/6م؛ للتأكد من دقة تفسير الغطاء الأرضي، ومراجعة مواقع التشجير، والمناطق المبنية والمكشوفة، مما أسهم في التحقق من صحة نتائج الاستشعار عن بعد وتحسين دقة تفسير الخرائط.

وبذلك تكاملت البيانات المكانية والحرارية والطبوغرافية؛ لتوفير قاعدة معلومات متكاملة تدعم التحليل المكاني للجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة.

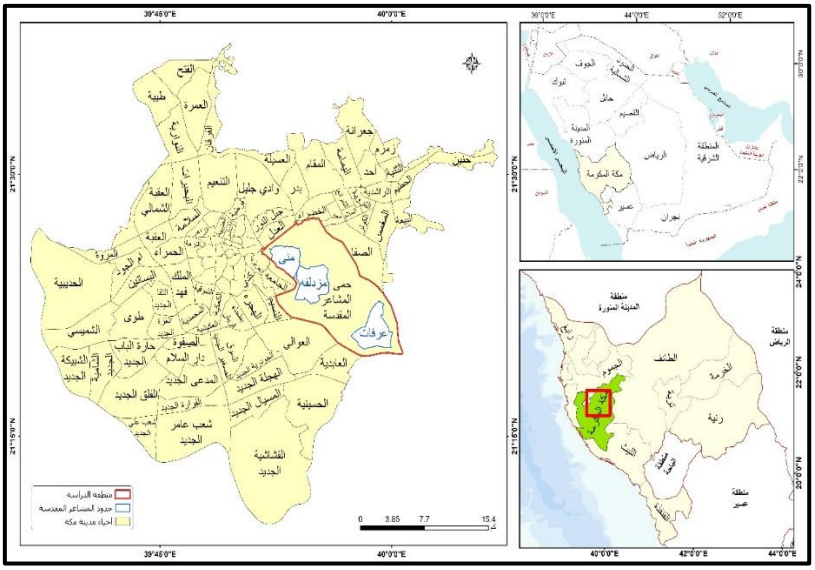
4. منطقة الدراسة:

تقع منطقة المشاعر المقدسة شرق مدينة مكة المكرمة فلكيا بين دائرتي عرض ´20 21° إلى ´27 21° شمالاً، وخط طول ´52 39° إلى 40° شرقاً، ومساحة منطقة الدراسة 119.4كم2، ويحدها من الشرق وادي المغمس، ومن الشمال الشرقي جبل الطارقي الذي يعد أعلى قمة في مدينة مكة المكرمة، ومن الغرب حي العزيزية والنسيم، ومن الجنوب الشرقي حي العوالي شكل (1).

وتضم ثلاثة مشاعر مقدسة هي منى، مزدلفه، عرفات ويصل إجمالي مساحتها 33كم2(مرزا وشاووش، 2006م):

- مشعر منى: يقع شمال غربي حي المشاعر المقدسة، وهو وادي تحيط به الجبال من الجهتين الشمالية والجنوبية.
- مشعر مزدلفة: يقع بين مشعري منى وعرفات.
- مشعر عرفات: جنوب حي المشاعر المقدسة، الأرض عبارة عن سهل واسع، ويوجد به جبل الرحمة، ويتراوح ارتفاع مشعر عرفات من الغرب إلى الشرق 300-700متر عن سطح البحر شكل (1).

ISSN: 2706-6495



شكل (1) منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على بيانات أمانة العاصمة المقدسة 2021م.

1.4. التحليل المكاني للخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة:

1- مناخ منطقة الدراسة:

تتميز مدينة مكة المكرمة بشكل عام بمناخ صحراوي مداري شديد الحرارة؛ بسبب بعدها عن المسطحات المائية، إضافة إلى تأثير التضاريس الجبلية التي تحد من حركة الهواء. الامطار تعد قليلة ومتذبذبة ويتركز هطولها في فصلي الخريف والشتاء؛ بسبب تأثير المنخفضات الجوية خلال فصل الشتاء القادمة من البحر المتوسط. وبالنسبة للرياح تعد ضعيفة بشكل عام؛ بسبب التضاريس الجبلية التي تحد من حركة الهواء.

تعد الخصائص المناخية في منطقة المشاعر المقدسة (ارتفاع درجات الحرارة، ضعف حركة الرياح، انخفاض الرطوبة، ندرة الامطار) عوامل تسهم في ظاهرة الجزر الحرارية.

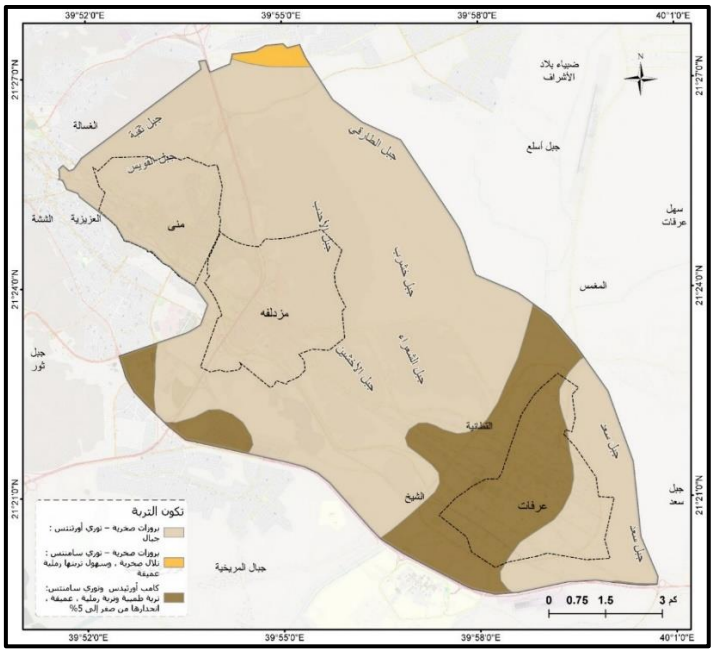
2- تربة منطقة الدراسة:

تعد التربة في مكة المكرمة محدودة الانتشار؛ اذ تغيب عن الجبال وتظهر في الاودية والسهول على شكل رواسب من الحصى والرمل والطين؛ بسبب تعرضها المستمر للجرف والنقل بفعل السيول وشدة الانحدار وضعف الغطاء النباتي (نجيم، 2000م). وتصنف التربة في منطقة الدراسة (شكل 2) إلى ثلاث أنواع:

- تربة توري اورثنتس- بروزات صخرية: تغطي المساحة الأكبر من مساحة المنطقة (96,95كم^2) بنسبة (81,20%) وتوجد على الجبال والتلال والمنحدرات، وهي تربة ضحلة صخرية منخفضة النفاذية ومرتفعة الملوحة، وغير صالحة للزراعة إلا إذا تم استخدام طرق تحسين التربة.
- تربة بروزات صخرية – توري سامنتس: تربة محدودة جدا، (0,88كم2) بنسبة 0,74%، تنتشر في بعض التلال الصخرية، والسهول الرملية العميقة.
- تربة الكامب اورثيدس - توري سامنتس: تربة طمية ورملية عميقة نفاذيتها سريعة وقدرتها على حفظ الماء منخفضة، وتمثل (21,56كم^2) بنسبة 18,06% من مساحة منطقة الدراسة، تنتشر في مجاري الأودية وسهل عرفات حيث يوجد التشجير؛ لأنها تربة جيدة وصالحة للزراعة (نجيم، 2000م).

ISSN: 2706-6495

تساهم خصائص التربة في منطقة المشاعر المقدسة – خاصة انتشار التربة الصخرية والضحلة وضعف الغطاء النباتي – في تعزيز ظاهرة الجزر الحرارية؛ فالتربة الصخرية والجافة قدرتها منخفضة على الاحتفاظ بالرطوبة وتكتسب الحرارة بسرعة وتعيد اشعاعها؛ مما يرفع درجة حرارة السطح. كما أن قلة مساحة التربة العميقة الصالحة للنبات أدى إلى محدودية الغطاء النباتي، وبالتالي ضعف قدرة المنطقة على التبريد الطبيعي. وبالنسبة لمنطقة عرفه التي تحتوي على تربة أعمق وتشجير قائم ذلك يسهم في انخفاض الحرارة السطحية مقارنة بالمناطق المحيطة ذات التربة الصخرية.



شكل (2) التربة في منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على أطلس التربة، وزارة الزراعة والمياه - إدارة استثمار الأراضي - اللجنة السعودية الأمريكية المشتركة، عام 1406هـ، مقياس 1:250000

5. تحليل النتائج ومناقشتها:

1.5. التحليل المكاني للجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة لعامي 2015 و2024م:

- التحليل المكاني للجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة 2015م:

يوضح الشكل (3) توزيع درجة حرارة السطح (LST) المستخرجة من مرئيات Landsat8 لمنطقة المشاعر المقدسة خلال فصل الصيف، حيث تتراوح درجة الحرارة السطحية بين (40 – 63م°) وهو مدى حراري مرتفع يعكس طبيعة المنطقة المناخية في فصل الصيف.

تم تصنيف درجة الحرارة إلى ست فئات تبدأ بالجزر الباردة نسبيا وتنتهي بالمناطق شديدة الحرارة، ويمكن تحليل هذه الأنماط كما يلي:

1- الجزر الحرارية منخفضة الحرارة (40°–46.4°م) تظهر هذه الفئة في المناطق المرتفعة المحيطة بالمشاعر (جبل سعد، جبل الطارقي، جبل الأحدب، جبل خشرب) ويمثل هذا النمط التأثير الواضح للتضاريس في خفض درجة الحرارة، حيث تميل المناطق المرتفعة لامتصاص حرارة أقل مقارنة بالأودية المكشوفة. وتعد هذه المناطق الأقل حرارة في كامل منطقة الدراسة.

2- الجزر الحرارية المعتدلة (46.5 – 49°م) تظهر هذه الفئة في المناطق الانتقالية بين الجبال والسهول، خصوصا في شمال منى وشمال شرق عرفات، وتتمثل في تضاريس شبه منبسطة، وتأثير طفيف للارتفاع الجبلي.

ISSN: 2706-6495

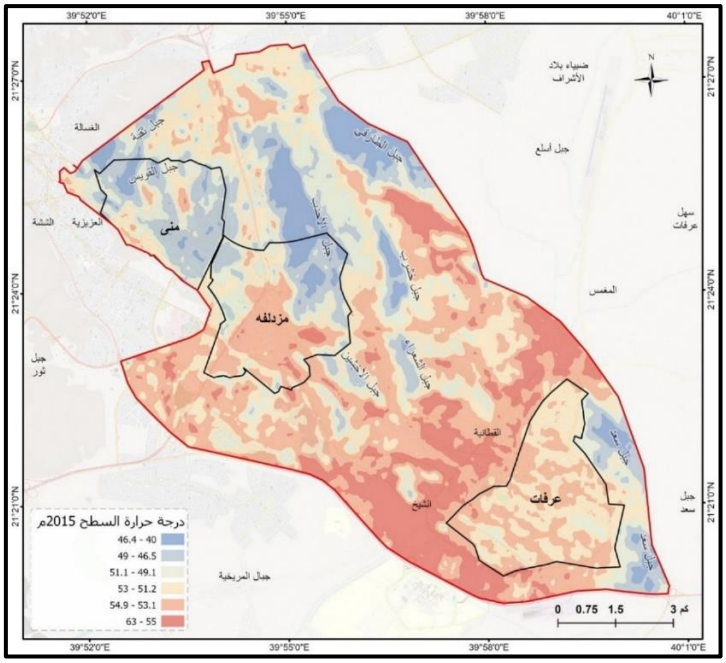
3- الجزر الحرارية الدافئة (49.1 – 51.1°م) تتضح هذه الفئة في مناطق واسعة من وسط مشعر منى وشمال مزدلفة وأجزاء من غرب عرفات؛ نتيجة انخفاض كثافة العمران في هذه المناطق.

4- الجزر الحرارية الحارة (51.2 – 53°م) تركزت في وسط وجنوب مزدلفة، وأجزاء من شمال غرب عرفات، والامتدادات الجنوبية لمنى. هذه المناطق تتصف بسطوح مكشوفة واسعة ذات قدرة عالية على امتصاص الحرارة، إضافة إلى ارتفاعها المتوسط مقارنة بالمناطق الجبلية.

5- الجزر الحرارية الحارة جدا (53.1 – 54.9°م) تظهر بوضوح في وسط وجنوب مزدلفة وتمتد بشكل شريطي نحو الجنوب والشرق، ويرتبط هذا النمط بانتشار الأسطح العمرانية الخفيفة والمناطق الترابية المكشوفة، وانخفاض الارتفاع نسبيا مقارنة بالمناطق الجبلية المحيطة؛ مما يجعلها أكثر عرضة لتجميع الحرارة.

6- الجزر الحرارية الأعلى حرارة (55 – 63°م) هذه الفئة شديدة الارتفاع تمثل قمة الجزر الحرارية وتمركزت في جنوب مزدلفة، وشرق منطقة الدراسة والامتدادات الجنوبية لمنطقة المشاعر، ويرتبط هذا النمط الحراري بارتفاع نسبة الأراضي المكشوفة وبالتراكم الحراري في الأودية المنخفضة، وتأثير التضاريس التي تحجز الحرارة، وطبيعة السطح الصخري وقلة الغطاء النباتي، ووجود البنى التحتية والطرق الإسفلتية، وتعد هذه المواقع من أشد مناطق الدراسة تأثرا بالحرارة.

بناء على خريطة درجة حرارة السطح (LST) لعام 2015م لمنطقة الدراسة نستنتج التباين الحراري داخل منطقة المشاعر المقدسة (منى، مزدلفة، عرفات) حيث تتراوح درجات الحرارة بين نحو 40°م و63°م، مع ظهور جزر حرارية متفاوتة الشدة، وتبين الخريطة أن مزدلفة والمنطقة ما بين عرفه ومزدلفة تمثل أعلى المناطق حرارة؛ نتيجة اتساع السطوح المكشوفة وارتفاع نسبة الأسطح غير النفاذة. بينما تظهر منى بدرجات حرارة أقل نسبيا متأثرة بتضاريسها الجبلية وظلال المرتفعات المحيطة. أما عرفات فتسجل درجات حرارة متوسطة إلى مرتفعة بسبب طبيعة السهل المكشوف. يعكس هذا التوزيع الدور الواضح لكل من التضاريس، وطبيعة السطح، وكثافة العمران في التحكم في شدة الجزر الحرارية.



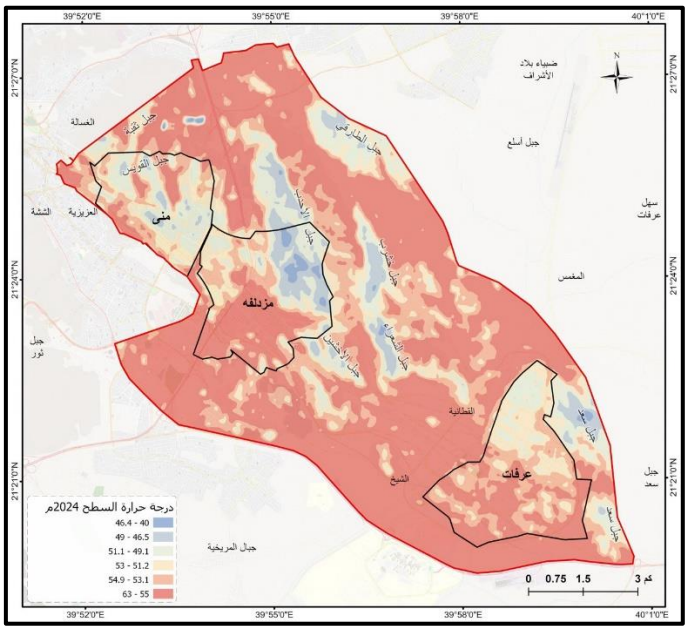
شكل (3) درجة حرارة السطح 2015م في منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على المرئية الفضائية Landsat 8، 2015/6/21م.

ISSN: 2706-6495

- **التحليل المكاني للجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة 2024:**

توضح خريطة شكل (4) درجة حرارة السطح لعام 2024م وجود تباين حراري واضح داخل منطقة المشاعر المقدسة (منى، مزدلفة، عرفات)، حيث تتراوح الحرارة بين 40°م و63°م، ويتضح اتساع وزيادة انتشار مساحة الجزر الحرارية مقارنة بعام 2015م، ونلاحظ من التوزيع أن وسط وجنوب غرب مزدلفة تعد الأكثر تعرضا للحرارة؛ نتيجة اتساع السطوح المكشوفة وارتفاع نسبة الأسطح غير النفاذة التي تسهم في امتصاص الحرارة وتراكمها داخل الأودية المنخفضة. أما عرفات فتظهر بدرجات حرارة متوسطة إلى مرتفعة؛ بسبب طبيعتها كمنطقة سهلية مفتوحة وقلة الغطاء النباتي. في المقابل، تسجل منى درجات حرارة أقل نسبيا بفضل تأثير التضاريس الجبلية والظلال التي تقلل من شدة التسخين السطحي. ويوضح هذا التباين الدور المحوري لكل من التضاريس، وطبيعة السطح، وكثافة البنية التحتية في تشكيل الجزر الحرارية وتحديد شدتها داخل منطقة الدراسة.



شكل (4) درجة حرارة السطح 2024م في منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على المرئية الفضائية Landsat 8، 2024/6/29م

- **التغير في التوزيع المكاني للجزر الحرارية في منطقة المشاعر المقدسة لعامي 2015-2024م:**

بشكل عام، توضح مقارنة خريطتي 2015 و2024 ما يلي:

- زيادة انتشار الجزر الحرارية المرتفعة في مزدلفة وعرفات وشمال منى في 2024م.
- منى هي الأكثر اعتدالا في كلا العامين بفضل طبيعتها الجبلية.
- عرفات منطقة حرارتها متوسطة إلى مرتفعة مع تحسن بسيط في الأطراف الشرقية.
- التغيرات العمرانية وزيادة الأسطح غير النفاذة أدت إلى تعزيز الجزر الحرارية الشديدة في بعض المناطق، خاصة جنوب مزدلفة.

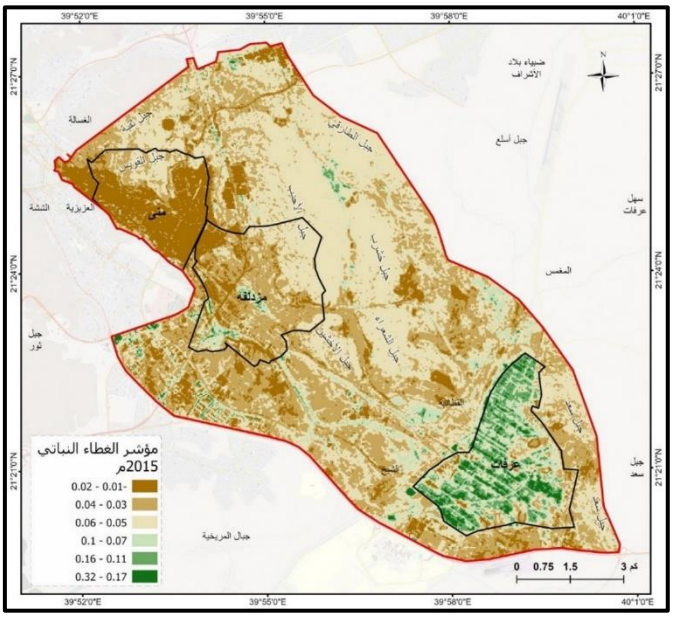
2.5. العلاقة بين الجزر الحرارية والغطاء النباتي في منطقة المشاعر المقدسة لعامي 2015 و2024م:

يتضح من شكل (5 و6) وجدول (1) نتائج الارتباط بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ودرجة حرارة السطح (LST) في منطقة المشاعر المقدسة لعامي 2015 و2024م ارتباط موجب ضعيف للغاية (0.10 و0.09)، وهو نمط يبدو ظاهريا مخالف للمنطق العلمي الذي يفترض أن زيادة الغطاء النباتي تسهم في خفض درجة حرارة السطح عبر عمليات التبخر–النتح. إلا أن هذا السلوك الإحصائي يمكن تفسيره من خلال الخصائص الجيومورفولوجية والمكانية للمنطقة. فالغطاء النباتي في المشاعر –مشروع التشجير

ISSN: 2706-6495

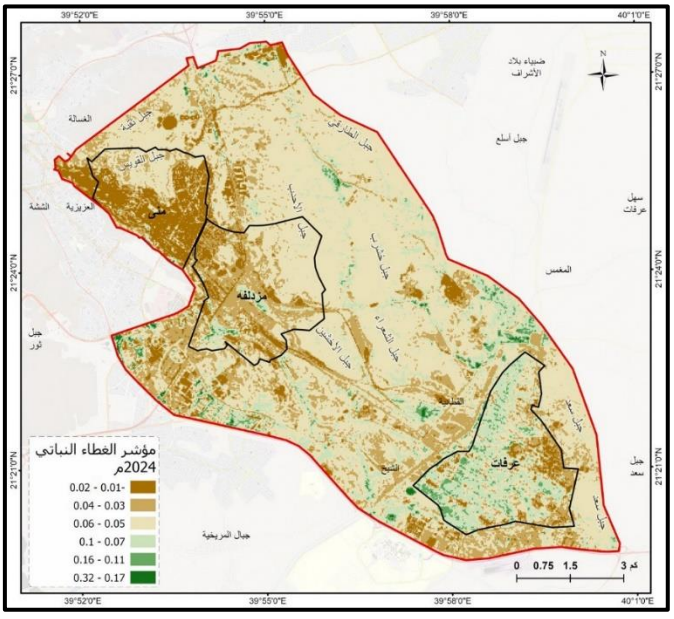
في عرفات– يتركز بشكل شبه كامل في المناطق السهلية المنخفضة، وهي بطبيعتها الأكثر حرارة نتيجة انحباس الهواء وتجمع الإشعاع الشمسي. في المقابل، تسود المرتفعات الجبلية الأبرد التي تتميز بسطوح صخرية جرداء يكاد ينعدم فيها الغطاء النباتي.

وعند حساب الارتباط المكاني معامل بيرسون (Pearson Correlation) على مستوى المنطقة ككل، يقوم النموذج الإحصائي بالتعامل مع وجود نبات في مناطق حارة (الوديان)، وغياب نبات في مناطق باردة (الجبال)، مما يؤدي إلى ظهور ارتباط موجب ضعيف، رغم أن الحقيقة البيئية أن تأثير التبريد النباتي موجود لكنه محجوب بفعل عامل الارتفاع. فالجبال باردة بسبب ارتفاعها وليس لأن سطحها خاليا من النبات، والوديان حارة رغم وجود النبات فيها، مما يدفع الارتباط الإحصائي إلى اتجاه موجب ضعيف وغير معبر عن العلاقة الحقيقية بين NDVI وLST.



شكل (5) مؤشر الغطاء النباتي 2015م في منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على بيانات القمر الصناعي لاندسات8.



شكل (6) مؤشر الغطاء النباتي 2024م في منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على بيانات القمر الصناعي لاندسات8.

جدول (1) العلاقة بين درجة حرارة السطح والغطاء النباتي.

قيمة معامل الارتباط	2015م	2024م
	0,10	0,09

3.5. العلاقة بين الجزر الحرارية والغطاء الأرضي في منطقة المشاعر المقدسة لعامي 2015 و2024م:

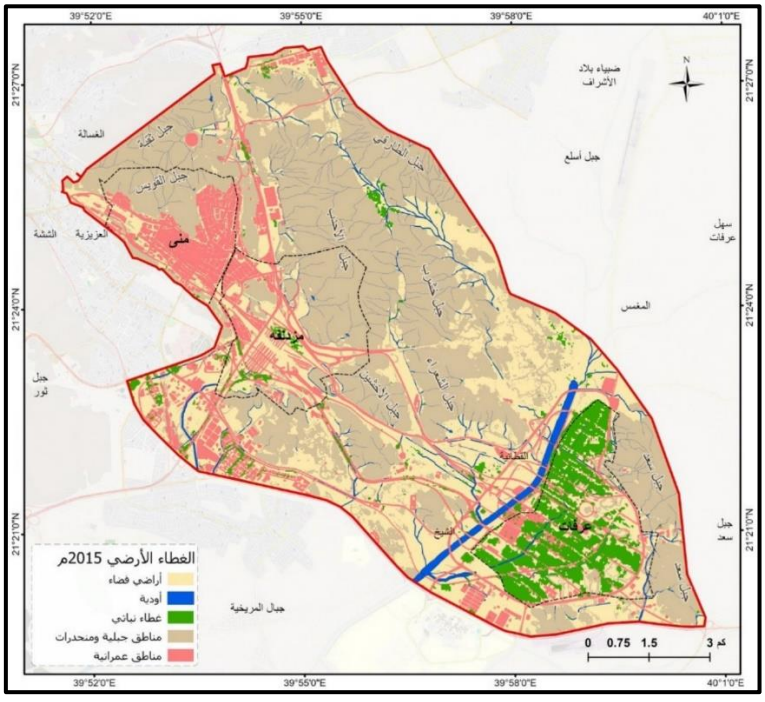
توضح نتائج الغطاء الأرضي شكل (7و8و9) وجدول (2) أن التغير في استخدامات الأراضي خلال الفترة 2015–2024م كان له تأثير في نمط درجات حرارة السطح في منطقة المشاعر المقدسة:

1- المناطق العمرانية، أعلى درجات حرارة: ازدادت مساحة العمران بشكل كبير (من 17.66كم² إلى 37.84كم²) وهذا التوسع أدى إلى ارتفاع حراري واضح من (52.10° إلى 55.28° م)؛ بسبب الأسطح الإسفلتية والخرسانية تمتص الإشعاع الشمسي وتعد المصدر الرئيس للجزر الحرارية.

2- المناطق الجبلية والمنحدرات، درجات حرارة أقل نسبيا: حافظت على مساحتها تقريبا (55.83 إلى 57.29 كم²) حيث تمثل السطوح الأبرد (53°–50°) تقريبا؛ بسبب ارتفاع التضاريس وانخفاض الكثافة السكانية، وهي مناطق شبه خالية من العمران.

3- الغطاء النباتي، تأثير محدود: مساحة الغطاء النباتي لم تتغير كثيرا (8.19 إلى 7.59كم²) بمتوسط حرارة قريب من بقية الفئات (52.7–55°)؛ لأن معظم النبات يقع في الوديان الحارة وليس في المرتفعات الباردة وتأثير التبريد النباتي موجود، لكنه محدود؛ بسبب طبيعة البيئة الجافة وقلة الكثافة النباتية.

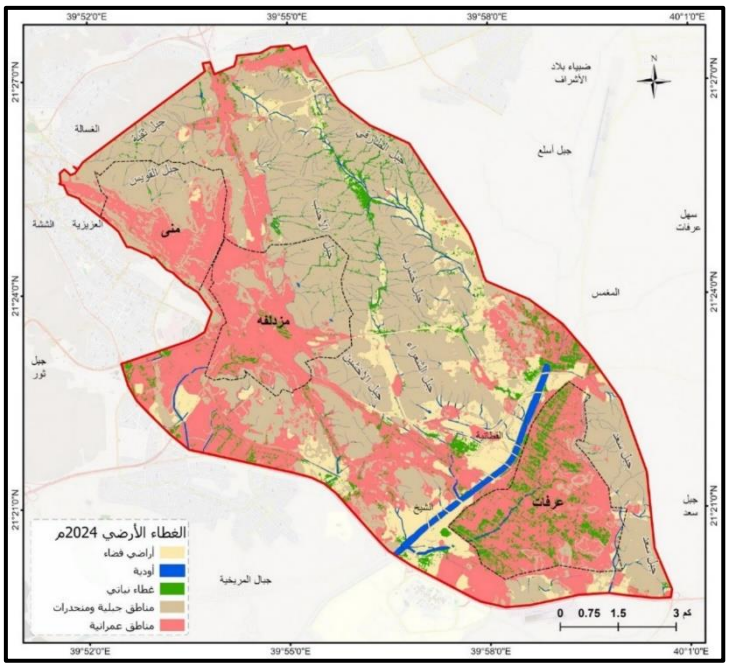
4- الأراضي الفضاء، ارتفعت حرارتها بسبب التحول العمراني، حيث انخفضت مساحتها بشكل كبير (من 35.11 إلى 14.38 كم²)، وبالتالي درجات الحرارة ارتفعت (من 53.9° إلى 57.43°)؛ بسبب تحول جزء كبير منها إلى عمران، وبالتالي انتقالها إلى فئة أكثر حرارة.



شكل (7) الغطاء الأرضي 2015م في منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على بيانات القمر الصناعي لاندسات8.

ISSN: 2706-6495

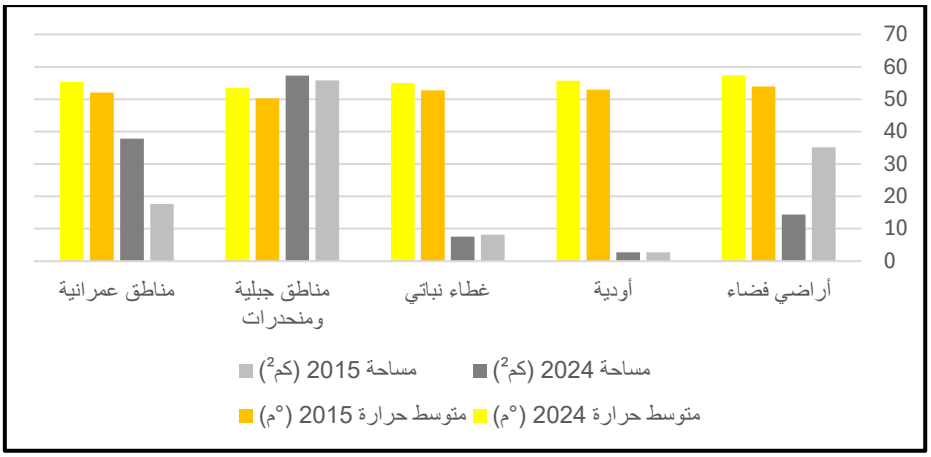


شكل (8) الغطاء الأرضي 2024م في منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على بيانات القمر الصناعي لاندسات8.

جدول (2) مقارنة تغيرات الغطاء الأرضي ومتوسط درجة حرارة السطح في منطقة المشاعر المقدسة لعامي 2015 و2024م

غطاءات الأرض	مساحة 2015 (كم²)	مساحة2024 (كم²)	متوسط حرارة 2015 (°م)	متوسط حرارة 2024 (°م)
أراضي فضاء	35.11	14.38	53.9	57.43
أودية	2.69	2.69	52.9	55.69
غطاء نباتي	8.19	7.59	52.78	55.07
مناطق جبلية ومنحدرات	55.83	57.29	50.29	53.48
مناطق عمرانية	17.66	37.84	52.1	55.28



شكل (9) مقارنة تغيرات الغطاء الأرضي ومتوسط درجة حرارة السطح في منطقة المشاعر المقدسة لعامي 2015 و2024م

مما سبق نستنتج أن:

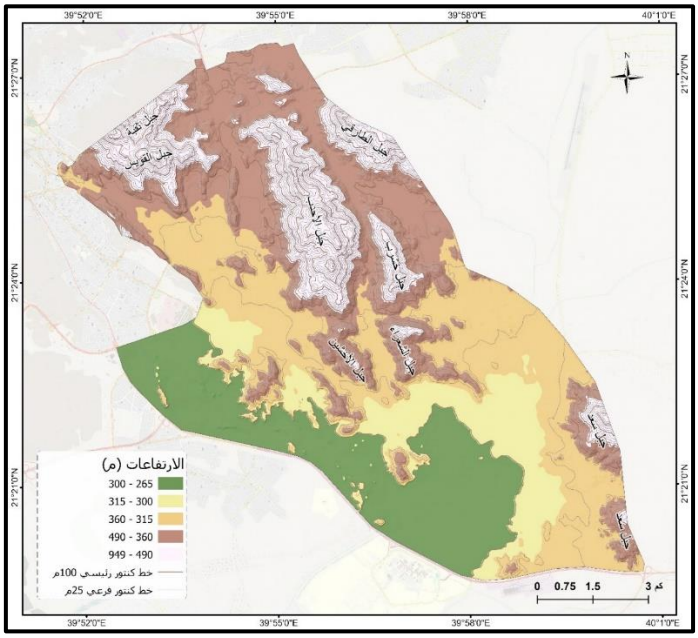
- التوسع العمراني هو العامل الأقوى في تعزيز الجزر الحرارية عام 2024.
- الغطاء النباتي لم يكن كافيا لتقليل الحرارة على مستوى المنطقة بسبب تمركزه في المناطق الحارة أصلا (الوديان).
- الجبال بقيت الأبرد بسبب ارتفاعا، لكنها لا تحتوي نبات يذكر، مما يفسر ضعف الارتباط بين الحرارة والنبات في التحليل الإحصائي.

4.5. العلاقة بين الجزر الحرارية ومظاهر السطح (التضاريس والارتفاع عن مستوى سطح البحر) في منطقة الدراسة:

تقع مدينة مكة المكرمة التي تنتمي لها منطقة الدراسة في منطقة انتقالية بين السهل الساحلي وهضبة الطائف، بمتوسط ارتفاع 300 متر عن مستوى سطح البحر، وتتميز بتضاريس جبلية من الصخور النارية والمتحولة، تتخللها اودية من ترسبات الزمن الرابع، وتشكل الجبال حوالي 53% من مساحة مكة، بينما تشكل الأودية 47% (نجيم،2000م). تتصف تضاريس منطقة الدراسة بتنوعها بين جبال وأودية وأراضي منبسطة، ويتراوح ارتفاعها بين 265-949م فوق مستوى سطح البحر شكل (10)، وقد صنفت إلى عدة فئات:

- المناطق الجبلية (360-949م) وتشمل المنحدرات الجبلية (360-490م) بمساحة 33,49كم^2، بنسبة 28,05%، والمرتفعات الجبلية (490-949م) بمساحة 18,64كم^2 بنسبة 15,62% من مساحة منطقة الدراسة.
- المناطق المتوسطة الارتفاع (315-360م) غرب المناطق الجبلية، بمساحة 31,18كم2 بنسبة 26,11%.
- المناطق المنخفضة (265-315م) جنوب غرب منطقة الدراسة، بمساحة 36كم^2، بمساحة 30% من إجمالي منطقة الدراسة.

تعد تضاريس منطقة المشاعر المقدسة بتدرجاتها الارتفاعية بين 265و949م، ووجود الجبال والمنحدرات المحيطة بالأودية عنصر مؤثر في تكون الجزر الحرارية. حيث تساهم الجبال في حصر الهواء وتقليل حركة الرياح؛ مما يزيد من تراكم الحرارة في المناطق المنخفضة والاودية ذات الكثافة العمرانية العالية، كما يؤثر اختلاف الارتفاعات في تباين درجات الحرارة السطحية، حيث تميل المناطق المرتفعة الأقل عمران إلى الاحتفاظ بدرجات حرارة اقل مقارنة بالمناطق المنخفضة المزدحمة بالعمران داخل نطاق الدراسة.



شكل (10) تضاريس منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على نموذج الارتفاع الرقمي للسطح التابع لوكالة الفضاء الأوروبية ESA الصادر عام 2021م لفترة المسح (2011 - 2015) بدقة 10م.

جدول (3) الارتباط بين الارتفاع ودرجة حرارة السطح لعامي 2015 و2024م

قيمة معامل الارتباط	2015م	2024م
	0,67-	0,46-

يوضح تحليل التضاريس في منطقة المشاعر المقدسة أن الاختلاف الرأسي في الارتفاع يعد من أهم العوامل المؤثرة في التوزيع الحراري. فقد أظهرت نتائج الارتباط الإحصائي جدول (3) بين الارتفاع عن سطح البحر (DEM) ودرجة حرارة السطح (LST) وجود علاقة عكسية واضحة، حيث بلغ معامل الارتباط –0.67 في عام 2015 و –0.47 في عام 2024، وهي قيم تعكس اتجاها ثابتا نحو انخفاض درجة الحرارة مع ازدياد الارتفاع.

حيث تعمل القمم الجبلية المرتفعة المحيطة بالمشاعر—مثل جبل الأحدب وجبال الطارقي—كمناطق تبريد طبيعي تظهر كبؤر حرارية منخفضة نسبيا مقارنة بالمناطق السهلية. وفي المقابل، تتجمع الكتل الهوائية الحارة وتزداد الطاقة الحرارية المخزنة في المناطق المنخفضة طبوغرافيا (عرفات، وادي عرنة، ومشعر منى) مما يجعلها تسجل أعلى قراءات لدرجة حرارة السطح.

ويوضح الجدول المبسط للعلاقة بين الارتفاع وحرارة السطح أن الاتجاه العكسي للعلاقة بقي ثابتا بين العامين، وإن كان أشد في 2015 مقارنة بـ 2024، كما يوضح أن تأثير الارتفاع يتفوق إحصائيا على المتغيرات الأخرى التي تم تطبيق أثرها في منطقة الدراسة؛ نتيجة لكون الفرق في الارتفاعات بين الجبال والوديان أكبر بكثير من تأثيرات الغطاء النباتي أو العمران في بعض المواقع.

6. الخاتمة:

1.6. ملخص النتائج:

1- أظهرت النتائج وجود علاقة عكسية قوية بين الارتفاع ودرجة حرارة السطح، حيث تنخفض الحرارة مع ازدياد الارتفاع؛ مما يجعل القمم الجبلية المحيطة بالمشاعر مناطق أبرد من الوديان.

2- يعد الارتفاع العامل الأكثر تأثيرا في تشكيل النمط المكاني للجزر الحرارية؛ نظرا للفروق الرأسية الكبيرة بين الجبال والمناطق المنخفضة.

3- الغطاء النباتي يسجل ارتباط ضعيف جدا مع درجة الحرارة؛ نتيجة تمركزه في الوديان الحارة بطبيعتها؛ مما قلل من قدرته على توضيح أثر التبريد في التحليل الإحصائي.

4- شهدت منطقة المشاعر توسع عمراني واضح بين عامي 2015 و2024م، وأسهم هذا التوسع في ارتفاع حرارة السطح وتعزيز الجزر الحرارية في المناطق المبنية.

5- تراجعت مساحة الأراضي الفضاء وازدادت المناطق العمرانية، وهو ما أدى إلى ارتفاع متوسطات حرارة السطح في عام 2024 مقارنة بعام 2015م.

6- يوضح التحليل العام أن النظام الحراري في منطقة المشاعر المقدسة نتاج تفاعل مركب بين الارتفاع والعمران والغطاء النباتي، إلا أن الارتفاع والتوسع العمراني هما العاملان الأكثر تأثيرا، بينما يبقى أثر الغطاء النباتي محدود.

2.6. التوصيات:

- زيادة التشجير في منطقة المشاعر المقدسة؛ للحد من الجزر الحرارية، ودعم مشاريع الغطاء النباتي المستدام منخفض استهلاك المياه.
- مراعاة التضاريس في التخطيط العمراني وتجنب التوسع في الوديان الحارة.

- متابعة التغيرات الحرارية بشكل دوري باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد؛ لرصد التغيرات الحرارية وتقييم فعالية التدخلات البيئية والعمرانية.

7. المراجع:

1.7. المراجع العربية:

إسماعيل، حسام محمد (2017) تطور الجزر الحرارية السطحية في مدينة حلوان خلال الفترة 2000-2016: دراسة في مناخ الحضر باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، رسائل جغرافية، رقم 444، جامعة الكويت، كلية العلوم الاجتماعية، قسم الجغرافيا، الكويت.

الجميعي، زين مطلق معيوض (2015م) دور مشاريع التشجير في الحد من ظاهرة الجزر الحرارية في مدينة مكة المكرمة، مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلدع38، جامعة الامام محمد بن سعود الإسلامية، الرياض.

حبيب، بدرية محمد (2007م) الجزيرة الحرارية في مدينة الدمام باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد، الملتقى الثاني لنظم المعلومات الجغرافية، المجلد2، امارة المنطقة الشرقية.

الخليل، عمر محمد (2011م) مبادئ الاستشعار عن بعد، دار شعاع للنشر والعلوم، حلب.

شحادة، نعمان (1993م) الجغرافيا المناخية، ط1، دار المستقبل للنشر، عمان.

شرف، محمد إبراهيم محمد (2008) التحليل المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

الشمراني، حورية حسن والبوقري، فايدة كامل (2024م) الجزر الحرارية في مدينة جدة والعوامل المؤثرة في تكوينها، المجلة العربية للنشر العلمي، العدد74، http://www.ajsp.net/ .

مرزا، معراج بن نواب وشاووش، عبدالله بن صالح (1427هـ/2006م) الأطلس المصور لمكة المكرمة والمشاعر المقدسة، دارة الملك عبدالعزيز، الطبعة الثانية، الرياض.

المطيري، مطيرة خويتم هلال (2014م) اشتقاق الجزر الحرارية من المرئيات الفضائية Land Sat-8 : دراسة حالة مدينة الرياض، مجلة التربية، المجلد ع161, جامعة الازهر، مصر.

المنجي، سعاد بنت سعود والشرعبي، ياسين بن عبدالرحمن (2011م) دراسة خصائص الجزيرة الحرارية لمدينة مسقط، سلطنة عمان، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة السلطان قابوس، عمان.

موسى، علي حسن(2017م) علم المناخ التحليلي، دار الاعصار العلمي للنشر والتوزيع، عمان.

نجيم، رقيه حسين (2000م) البيئة الطبيعية لمكة المكرمة: دراسة في الجغرافية الطبيعية لمنطقة الحرم المكي الشريف، ط1، مؤسسة الفرقان للتراث الإسلامي، الرياض.

2.7. المراجع الأجنبية:

Dezso, Z., Bartholy, J. and Pongrácz, R. (2007) Urban Heat Island Analysis Using MODIS Measurements for Central European Large Cities, The 6th International Conference on Urban Climate, pp. 806-809 (www.gvc2.gu.se).

Haylemariyam (2018). Detection of Land Surface Temperature in Relation to Land Use Land Cover Change: Dire Dawa City, Ethiopia. Journal of Remote Sensing & GIS ،245. doi.org,

ISSN: 2706-6495

https://www.researchgate.net/publication/328421711_Detection_of_Land_Surface_Temperature_in_Relation_to_Land_Use_Land_Cover_Change_Dire_Dawa_City_Ethiopia .

John, M. A., James, P. K., & Adamu, S. I. (2017). Analysis of urban heat island in Kaduna metropolis using remote sensing and GIS techniques. Journal of Geosciences and Environmental Planning, 9(3), 112-125.

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108(455), 1-24. https://doi.org/10.1002/qj.49710845502.

Pathak, C., Chandra, S., Maurya, G., Rathore, A. S., Sarif, Md. O., & Gupta, R. D. (2021). The Effects of Land Indices on Thermal State in Surface Urban Heat Island Formation: A Case Study on Agra City in India Using Remote Sensing Data (1992-2019). 5(1), 135–154. https://doi.org/10.1007/S41748-020-00172-8

Zhou, D., Zhao, S., Zhang, L., Sun, G. and Liu, Y. (2015) The Footprint of Urban Heat Island Effect in China, Scientific Reports, Vol. 5, Article number 11160 (http://www.nature.com/).

جميع الحقوق محفوظة © 2026، الباحثة/ أبرار عبدالمحسن سالم المطرفي، الأستاذ الدكتور/ أحمد بن محمد عبدالرحمن البسام، المجلة الأكاديمية للأبحاث والنشر العلمي (CC BY NC)

Doi: http://doi.org/10.52132/Ajrsp/v8.85.13