ISSN: 1994-4217 (Print) 2518-5586(online)

Journal of College of Education

Available online at: https://eduj.uowasit.edu.iq

Applying Geomatics Techniques to Study Urban Heat Island Changes in Kirkuk City for the Year 2024 Using Landsat-8 Imagery

Assis . Lectu. Murooj Taher Noaman

College of Arts – University of Tikrit

Email: muroogtnumanalnieme@gmail.com

Keywords:

Urban Heat Island, Geomatics Techniques, Landsat-8 Imagery

A r t i c l e i n f o

Article history:

Received 13.Febr.2025

Accepted 6.Apr.2025

Published 10.May.2025

A B S T R A C T

The urban heat island phenomenon in the city of Kirkuk is one of the significant environmental issues that greatly affect the quality of life. This phenomenon is characterized by higher temperatures in urban areas compared to the surrounding rural areas, due to rapid urban expansion and the use of concrete surfaces such as asphalt and cement, which absorb and retain heat. The lack of green spaces also contributes to exacerbating this issue. Landsat 8 satellite data, equipped with the OLI sensor, was used to monitor the urban heat island and its changes in 2024, with a focus on the four seasons. The data showed that the heat island effect was evident throughout the year, with the hot category occupying the largest percentage during the autumn season (84.91%), while the moderate category dominated during winter at (95.83%), reflecting the overall cooling effect in winter despite the continued presence of the heat island effect. In spring, the moderate category prevailed at (55.95%) due to the gradual transition from winter to summer. During summer, the maximum impact of the urban heat island was observed, with the very hot category reaching (60.54%) due to the extensive presence of hard surfaces that absorb large amounts of heat.In terms of risk classification, the very high-impact category accounted for (24.52%) of the total area, followed by the high-impact category (23.12%), the moderate-impact category (31.53%), and finally the low-impact category (20.84%). The high heat impacts are attributed to urban expansion and the lack of green spaces, while the lower impacts are due to the presence of barren or natural areas that do not contribute to the formation of the heat island, such as green spaces or agricultural lands.

© 2022 EDUJ, College of Education for Human Science, Wasit University

DOI: https://doi.org/10.31185/eduj.Vol59.Iss1.4268

تطبيق تقنيات الجيوماتكس لدراسة التغيرات في الجزيرة الحرارية بمدينة كركوك لعام ٢٠٢٤ باستخدام مرئيات Landsat-8

م.م. مروج طاهر نعمان
جامعة تكريت / كلية الآداب

الملخص:

تعد ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة كركوك من القضايا البيئية المهمة التي تؤثر بشكل كبير على جودة الحياة. تتمثل هذه الظاهرة في ارتفاع درجات الحرارة داخل المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة، ويرجع ذلك إلى التوسع العمراني المتسارع واستخدام الأسطح الملموسة كالأسفلت والخرسانة التي تمتص الحرارة وتحتفظ بها. كما تسهم قلة المساحات الخضراء في تفاقم هذه المشكلة. تم الاعتماد على بيانات القمر الاصطناعيLandsat 8 ، المزوّد بالمتحسسOLI ، لرصد الجزيرة الحرارية وتغيراتها لعام ٢٠٢٤ مع التركيز على الفصول الأربعة. أظهرت البيانات أن تأثير الجزيرة الحرارية كان واضحاً طوال العام، حيث احتل الصنف الحار النسبة الأكبر خلال فصل الخريف (٨٤,٩١%)، بينما ساد الصنف المعتدل خلال فصل الشتاء بنسبة (٩٥,٨٣%)، مما يعكس تأثير التبريد الشامل في الشتاء رغم بقاء تأثير الجزر الحرارية، في فصل الربيع، ساد الصنف المعتدل بنسبة (٥٥,٩٥%) نتيجة الانتقال التدريجي من الشتاء إلى الصيف. أما في فصل الصيف، فظهر التأثير الأقصى للجزيرة الحرارية الحضرية حيث بلغت نسبة الصنف الحار جداً (٦٠,٥٤%) بسبب الأسطح الصلبة التي تمتص كميات كبيرة من الحرارة، من حيث تصنيف المخاطر، احتل الصنف ذو التأثير العالي جداً نسبة (٢٤,٥٢%) من المساحة الإجمالية، يليه الصنف عالي التأثير (٢٣,١٢%)، ثم الصنف متوسط التأثير (٣١,٥٣%)، وأخيراً الصنف منخفض التأثير (٢٠,٨٤%). يعود ارتفاع تأثيرات الحرارة إلى التوسع العمراني وقلة المساحات الخضراء، بينما يعود انخفاض التأثيرات إلى وجود مناطق ذات أراضٍ جرداء أو طبيعية لا تحتوي على عوامل تسهم في نشوء الجزيرة الحرارية مثل المساحات الخضراء أو الأراضي الزراعية.

الكلمات المفتاحية: الجزيرة الحرارية ، تقنيات الجيوماتكس ، مرئيات Landsat-8 .

المقدمة:

الجزيرة الحرارية الحضرية هي ظاهرة تحدث في المناطق المدينية حيث تكون درجات الحرارة أعلى بشكل ملحوظ مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة بها. يحدث هذا بسبب التغيرات في استخدامات الأراضي، مثل تزايد المساحات المغطاة بالأسطح الصلبة مثل الخرسانة والأسفلت، والذي يؤدي إلى احتباس الحرارة بشكل أكبر أثناء النهار وعدم القدرة على تبريد هذه الأسطح بشكل كافٍ في الليل. في مدينة كركوك، التي تتسم بمزيج من المناطق الحضرية والشبه الحضرية، تزداد ظاهرة الجزيرة الحرارية نتيجة لعدة عوامل تشمل التحضر المتسارع، وزيادة استخدام الأسطح الملبدة، بالإضافة إلى افتقار المنطقة للمسطحات الخضراء التي تساهم في تبريد الهواء.

التحولات السريعة في بنيان المدينة كركوك، لا سيما مع زيادة الأنشطة العمرانية والتمدد الحضرية في السنوات الأخيرة، ساهمت في تعزيز هذا الظاهرة. ويمثل هذا الأمر تحدياً بيئياً وصحياً يتطلب استراتيجيات للتقليل من التأثيرات السلبية على السكان والبيئة. يتمثل أحد أبرز أسباب حدوث الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك في تأثيرات تغيرات الغطاء الأرضي، حيث تقود المشاريع العمرانية الكبرى والتوسع في قطاع البنية التحتية إلى استبدال النباتات والتربة بالخرسانة والأرصفة، مما يؤدي إلى احتباس الحرارة وزيادة درجات حرارة الجو المحلية.

أظهرت العديد من الدراسات أن الجزر الحرارية الحضرية تؤثر بشكل سلبي على رفاهية السكان في المدن على مستوى العالم، وبشكل خاص في العراق، حيث تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى زيادة استهلاك الطاقة للتعامل مع حرارة الطقس. علاوة على ذلك، تترتب على هذه الظاهرة آثار غير مباشرة على البيئة البشرية مثل زيادة استهلاك المياه وانخفاض الإنتاجية الزراعية.

في هذا الصدد، تُعد مدينة كركوك واحدة من المدن التي تستدعي اهتماماً خاصاً من خلال الدراسات العميقة لتحليل مدى تأثير الجزر الحرارية وسبل تقليصها. يُمكن أن يسهم دراسة توزيع درجات الحرارة باستخدام تقنيات الأقمار الصناعية في المساعدة على فهم الوضع البيئي بشكل أفضل وتحديد الحلول المستدامة، مثل استخدام الأسطح العاكسة وتوفير بيئة ملائمة لزراعة النباتات داخل المدن، إلى جانب ضرورة إعادة تخطيط استخدام الأراضي لتحقيق توازن بيئي وحراري مستدام.

مشكلة الدراسة:

تواجه مدينة كركوك تحديات بيئية كبيرة، منها مشكلة تأثير الجزيرة الحرارية الحضرية (Urban Heat Island – UHI) نتيجة التوسع العمراني المتزايد وتغير استخدام الأراضي. هذه الظاهرة تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة داخل المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المجاورة، مما يسبب تأثيرات سلبية على الصحة العامة، استهلاك الطاقة، والبيئة. هناك حاجة ماسة لفهم ديناميكيات التغير في الجزيرة الحرارية، خاصة مع توفر أدوات تقنية متقدمة مثل الجيوماتكس ومرئيات الأقمار الصناعية Landsat-8 التي توفر بيانات حرارية وزمنية دقيقة.

فرضية الدراسة:

إن تطبيق تقنيات الجيوماتكس لتحليل بيانات مرئيات Landsat-8 لعام ٢٠٢٤ يمكن أن يكشف عن مدى تغير الأنماط الحرارية الناتجة عن ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة كركوك. ويفترض أن بيانات هذه التقنيات ستُظهر ارتباطاً وثيقاً بين التغيرات في استخدام الأراضي ونمو المناطق العمرانية مع زيادة درجات حرارة السطح، مما يسهم في تحديد مناطق التوسع الحراري بشكل أدق ووضع توصيات لمواجهة التحديات البيئية الناتجة.

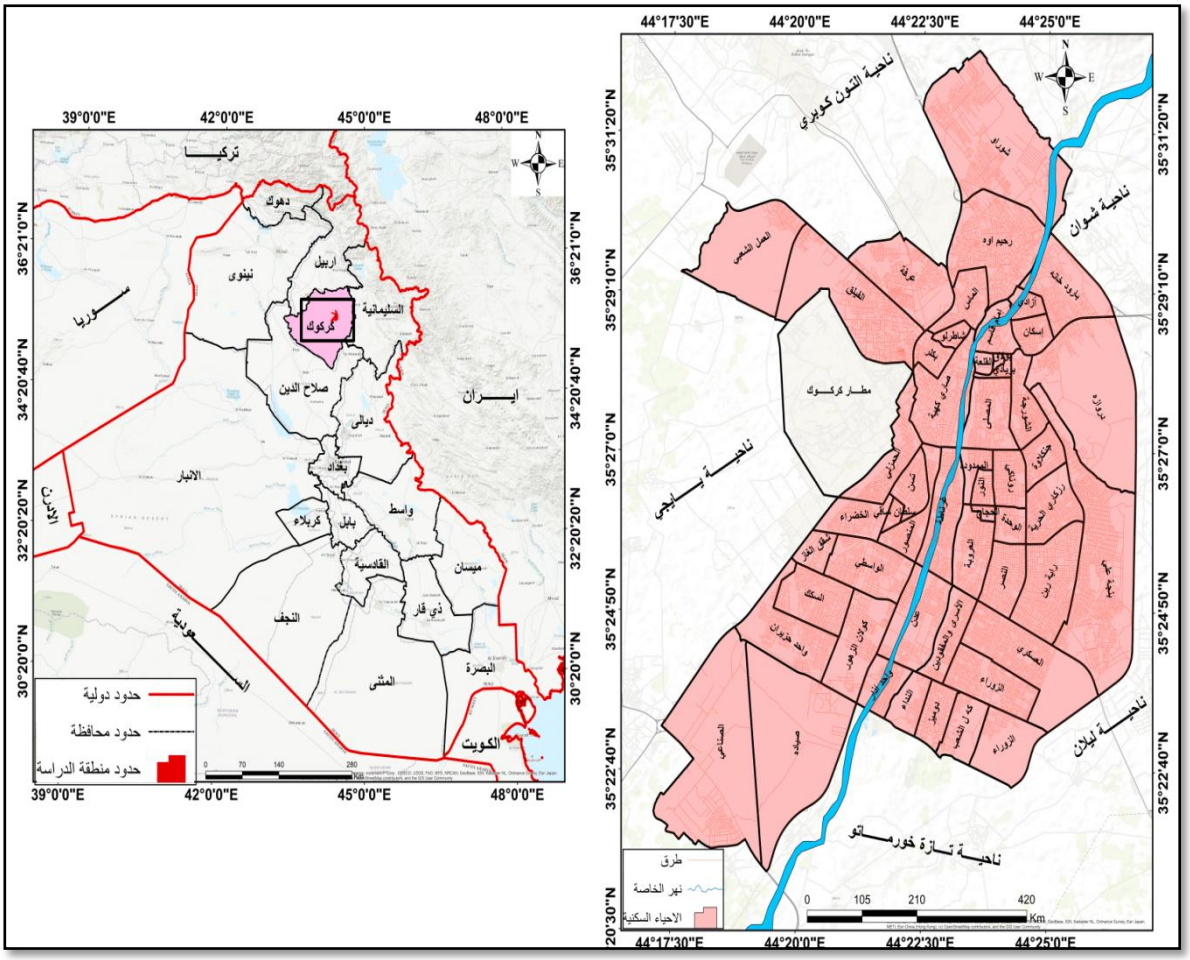
أهداف الدراسة:

١- تحليل التغيرات الزمنية في ظاهرة الجزيرة الحرارية من خلال تحديد الأنماط الحرارية لعام ٢٠٢٤، وتقييم تأثير النمو الحضري والتغيرات في استخدام الأراضي على توزيع الحرارة السطحية في كركوك.
٢- استثمار تقنيات الجيوماتكس لتحليل البيانات من خلال استخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (Remote Sensing) لتحليل ومعالجة مرئيات Landsat-8 بدقة، للكشف عن الفروقات الحرارية بين المناطق الحضرية والريفية.
٣- رصد العلاقة بين خصائص الغطاء الأرضي والجزيرة الحرارية من خلال دراسة تأثيرات الغطاء النباتي، الطرق، المباني، والمناطق المفتوحة على توزيع درجات الحرارة وتحديد المناطق الأكثر تأثراً بالجزيرة الحرارية.
٤- توفير قاعدة بيانات حرارية حديثة لمدينة كركوك من خلال إعداد خريطة حرارية مفصلة تُظهر توزيع درجات الحرارة السطحية لعام ٢٠٢٤، مع تمثيل البيانات بطريقة تسهل اتخاذ القرارات البيئية.
٥- اقتراح حلول للتقليل من تأثير الجزيرة الحرارية، مثل تحسين التصميم العمراني، زيادة المناطق الخضراء، واستخدام مواد بناء أقل امتصاصاً للحرارة.

موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في القسم الشمالي من العراق والذي يمثل مركز محافظة كركوك التي تقع بين دائرتي عرض (٨َ ٣١ْ ٣٥ْ – ٨َ ٢٥ْ ٣٥ْ) شرقاً، وخطي طول (54ً ٢٦ْ ٤٤ْ – ٢٣َ ١٧ْ ٤٤ْ) شمالاً، خريطة (١)، تحد منطقة الدراسة من الشمال ناحية قره هنجير ومن الجنوب ناحيتي ليلان وتازه ومن الغرب ناحية يايجي، تبلغ مساحة المدينة نحو (١٦٥,٣٤) كم٢ وتضم المدينة (٥٣) حياً سكنياً.

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة



المصدر: وزارة التخطيط والتعاون الانمائي لترقيم الدور السكنية لعام ٢٠٢٠، ومخرجات برنامج ArcGIS.

آلية وطرق العمل:

١- المؤشرات الطيفية المستخدمة في رصد الجزيرة الحرارية:

تشكل المؤشرات الطيفية أداة أساسية لرصد ظاهرة الجزيرة الحرارية التي تتميز بارتفاع درجات الحرارة في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة نتيجة للتغيرات الناجمة عن الأنشطة البشرية واستخدامات الأراضي. وتعتمد هذه المؤشرات على تحليل البيانات التي توفرها الأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار عن بُعد لتحديد الاختلافات الحرارية وتتبع توزيع درجات الحرارة في مناطق مختلفة. من بين هذه المؤشرات، يُستخدم قياس درجة حرارة سطح الأرض (LST Land Surface Temperature:) لتقييم السخونة المباشرة، إلى جانب مؤشر الأسطح المبنية المعدل (NDBI) و مؤشر طيفي يُستخدم بشكل رئيسي لتحليل المناطق المبنية أو العمرانية (Nagihan Aslan & Dilek Koc-San, 2021). و مؤشر Albedo (DBI) يُستخدم لتمييز المناطق ذات الأسطح الداكنة مثل الأسفلت أو الأسطح المظلمة التي

تمتص كمية كبيرة من الإشعاع الشمسي مقارنةً بالأسطح العاكسة. يتم استخدامه بشكل أساسي في تحليل المدن لتحديد الأسطح المساهمة في ظاهرة الجزيرة الحراري (Aneesh Mathew a, Sumit Khandelwal b, & Nivedita Kaul, 2017)، كما تسهم مؤشرات مثل مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) في فهم تأثير المساحات الخضراء على تقليل درجات الحرارة، فيما تساهم مؤشرات أخرى كرطوبة السطح والانبعاثية في توفير تصور دقيق لتغير الخصائص الحرارية. ومن خلال هذه الأدوات، يمكن تحليل هذه الظاهرة بعمق ووضع استراتيجيات بيئية تسهم في الحد من تأثيراتها السلبية على المدن وسكانها(Maskooni, Hashemi, Ronny , Arasteh, & Kazemi, 2020) .

١-١ مؤشر درجة حرارة سطح الأرض (LST):

هو مقياس يستخدم لرصد الجزيرة الحرارية الحضرية وتحديد المناطق الأكثر حرارة في المدن. يساعد في تقييم تأثير أسطح المباني والخرسانة في زيادة درجات الحرارة، يحسَب درجة حرارة سطح الأرض عادة باستخدام بيانات الطيف الحراري للأقمار الصناعية وتعتمد الحسابات عادة على الطيف الحراري (الذي يلتقط الأشعة تحت الحمراء) للتوصل إلى درجة الحرارة السطحية للأرض (Prafull , Noyingbeni , & Pradipika, 2017)، تم تطبيق المؤشر وفق الخطوات الآتية:

١-١-١ استخراج النطاقات الحرارية:

١-١-١-١ تستخدم بيانات الأقمار الصناعية في نطاق Band 10 أو Band 11 (الحراري) من Landsat 8، والتي تقع في الأشعة تحت الحمراء الحرارية.

١-١-١-٢ يتم استخدام هذه البيانات في الحسابات الحرارية للحصول على درجة حرارة سطح الأرض (Qihao , Dengsheng, & Jacquelyn , 2004).

١-١-٢ تحويل البيانات الطيفية إلى درجات حرارة:

١-١-٢-١ بيانات الأقمار الصناعية من Band 10 و Band 11 تمثل الإشعاع الحراري للأرض الذي يجب تحويله إلى درجة حرارة سطح الأرض (LST).

١-١-٢-٢ يتم التحويل باستخدام المعادلة التالية (باستخدام مقياس الظل الهندسي للتصحيح):

$$\frac{\mathrm{K2}}{\ln\left(\frac{\mathrm{K1}}{\mathrm{BT}}+1\right)}=LST$$

حيث:

BT: سطوع الحرارة (Brightness Temperature)، والذي يُحتسب من بيانات الأشعة تحت الحمراء.

K1 و K2: قيم ثابتة يتم تحديدها وفقاً للطيف (كثافة كل النطاقات) ويعتمدون على النظام الطيفي المستخدم (مثل Landsat 8) (Jose A, Juan C, Guillem, & Mireia , 2008).

١-١-٣ تصحيح الانبعاثات:

هو خطوة أساسية لتحويل الإشعاع الطيفي الذي تلتقطه الأقمار الصناعية إلى قيم دقيقة لدرجة حرارة سطح الأرض (LST). يتمثل الهدف من هذا التصحيح في مراعاة تأثير خصائص السطح، بالإضافة إلى الظروف الجوية والمناخية، على الإشعاع المنبعث من الأرض نحو القمر الصناعي، يتم تطبيق تصحيح الانبعاثات من خلال الخطوات الآتية:

١-١-٣-١: إزالة تأثير الغلاف الجوي:

يتم تقدير الإشعاع السطحي من الإشعاع المسجل باستخدام المعادلة (J. A. Sobrino, 2010):

$$\left(\frac{{}_{\text{down}}L}{\tau}\right) - \frac{{}_{\text{up}}L_{\text{sensor}} - L}{\tau} = {}_{\text{surface}}L$$

حيث:

$L_{surface}$: الإشعاع الصادر من السطح.

L_{sensor}: الإشعاع المسجل بواسطة القمر الصناعي.

L_{up}: الإشعاع الذي ينبعث من الغلاف الجوي باتجاه القمر الصناعي.

L_{down}: الإشعاع المنعكس من سطح الأرض نحو الغلاف الجوي.

T: النفاذية الجوية (Transmittance) أو نسبة الإشعاع الذي يصل من الأرض دون فقدان.

١-١-٣-٢ دمج معادلة الانبعاثية:

$$\frac{\text{BT}}{\ln(\varepsilon)\cdot({}_{2}\lambda\cdot\text{BT}/c)+1} = LST$$

حيث:

BT: درجة حرارة السطوع (Brightness Temperature).

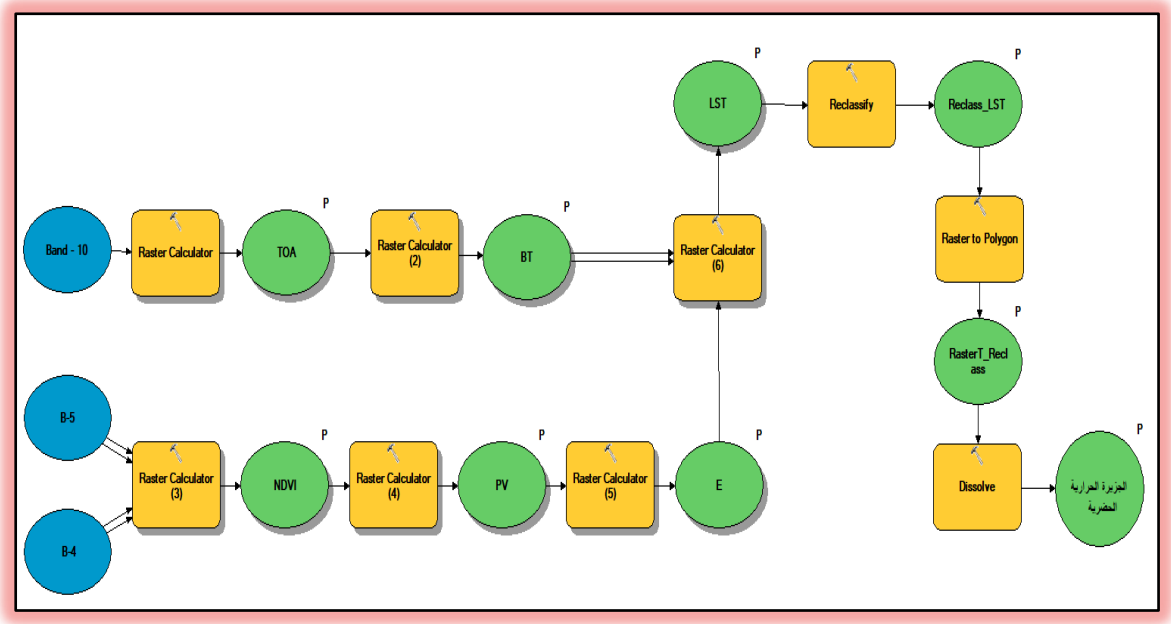
λ: الطول الموجي الفعال (Effective Wavelength) في الطيف الحراري.

ε: الانبعاثية السطحية.

c_2: ثابت بلانك الثاني ($C_2 = ١,٤٣٨ \times ١٠^{-٢}$).

ويتم حساب المعادله اعلاه في برنامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) كما في الشكل (١).

شكل (١) استخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) في تطبيق مؤشر (LST)



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (LST).

١-٢ مؤشر الأسطح المبنية المعدل (Normalized Difference Built-up Index - NDBI):

هو مؤشر يُستخدم لاستخلاص المناطق المبنية (الحضرية) من صور الأقمار الصناعية. يعتمد هذا المؤشر على استغلال الفرق بين الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR) لتحديد المناطق التي تحتوي على أبنية وأسطح مصنوعة من الخرسانة، الإسفلت، أو المواد الأخرى ذات الانعكاسية المنخفضة في الأشعة تحت الحمراء القريبة، ويتم حساب المؤشر وفق المعادلة الاتية (M Muhaimin, S Adyatma , & D Arisanty, 2020):

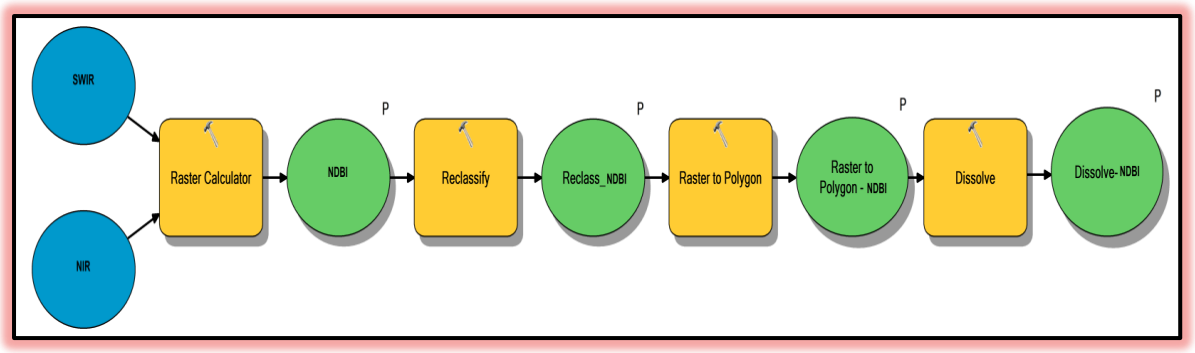
$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

حيث:

NIR (Near Infrared): النطاق الطيفي في الأشعة تحت الحمراء القريبة (مثل Band 5 في Landsat 8).

SWIR (Shortwave Infrared): النطاق الطيفي في الأشعة تحت الحمراء القصيرة (مثل Band 6 أو Band 7 في Landsat 8).

شكل (٢) استخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) في تطبيق مؤشر (NDBI)



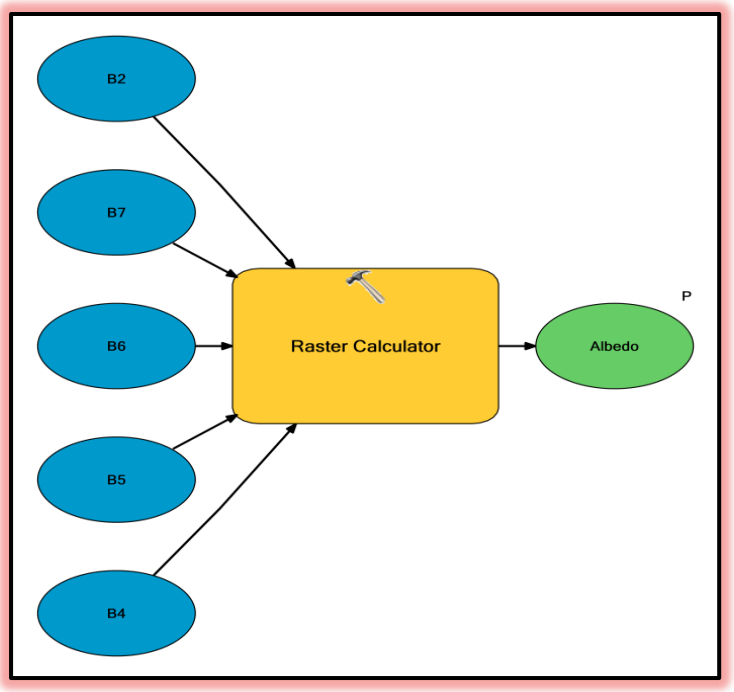
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (NDBI).

١-٣ مؤشر الانعكاسية (Albedo):

هو مقياس للنسبة المئوية للإشعاع الشمسي الذي يتم عكسه عن سطح معين مقارنةً بالإشعاع الذي يسقط عليه. يتم تطبيق هذا المؤشر بشكل أساسي في دراسات الطاقة الحرارية الأرضية، المناخ، وتحليل تأثيرات الأسطح المختلفة على درجة حرارة الأرض، يتم حساب مؤشر Albedo (DBI) وفق المعادلة الاتية (Kefayat & Mohammad, 2024):

Albedo = 1 - **((**0.254 * **"B2")** + **(**0.249 * **"B4")** + **(**0.144 * **"B5")** + **(**0.118 * **"B6")** + **(**0.108 * **"B7"))**

شكل (٣) استخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) في تطبيق مؤشر (Albedo)



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (Albedo).

٤-١ مؤشر الغطاء النباتي (NDVI):

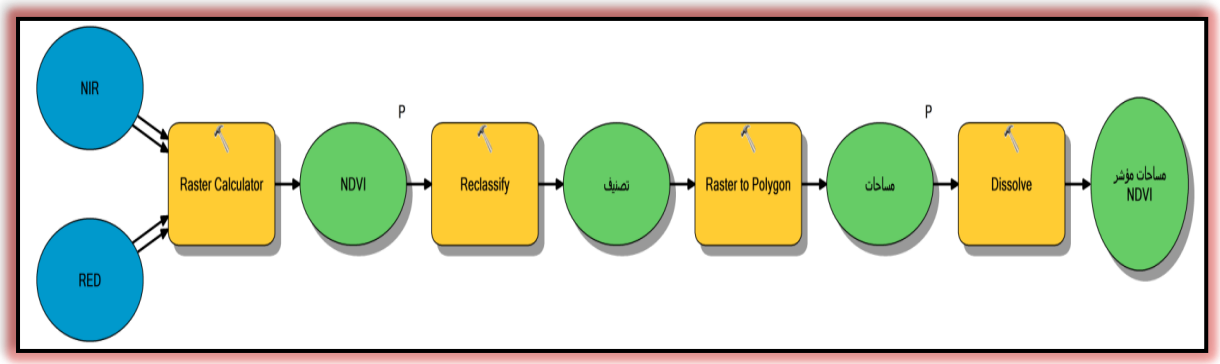
هو مؤشر مستخدم عالمياً لتحليل كثافة وصحة الغطاء النباتي، وذلك باستخدام بيانات الأقمار الصناعية. يؤدي هذا المؤشر دوراً هاماً في الدراسات المتعلقة بالمناخ، الزراعة، والبيئة، خاصة في تحليل العلاقة بين الغطاء النباتي ودرجات الحرارة، حيث يؤثر الغطاء النباتي بشكل مباشر في تعديل درجة الحرارة المحلية (G , J , & V, 2006).

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

NIR: الإشعاع القريب من الأشعة تحت الحمراء، الذي يعكسه النبات بقوة.

RED: الإشعاع في الطيف الأحمر، الذي يمتصه النبات بسبب عملية التمثيل الضوئي.

شكل (٤) استخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) في تطبيق مؤشر (NDVI)



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (NDVI).

المناطق ذات القيم العالية من NDVI تُظهر درجات حرارة سطحية منخفضة في خرائط (Land Surface Temperature: LST)، بينما تُظهر المناطق ذات الغطاء النباتي القليل أو المعدوم ارتفاعاً في الحرارة.

٢- تغير الفصلي للجزيرة الحرارية في مدينة كركوك لعام ٢٠٢٤:

تمثل الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك لعام ٢٠٢٤ ظاهرة بيئية ديناميكية تتسم بتغير تأثيراتها على مدار العام بفعل التفاعلات المعقدة بين العوامل المناخية والطبيعية والبشرية. يرتبط هذا التغير بالتباينات في درجات الحرارة واختلاف أنماط الاستخدام البشري للأراضي، إلى جانب تباين كثافة الغطاء النباتي بين الفصول. تعمل الأسطح الحضرية مثل الطرق والمباني على امتصاص الإشعاع الشمسي وإعادة إشعاعه على شكل حرارة، مما يؤدي إلى تكوين فروق ملحوظة في درجات الحرارة بين المناطق الحضرية والريفية المجاورة.

في المقابل تؤثر العوامل الطبيعية مثل معدلات التبخر، ومستويات الرطوبة النسبية، وكثافة الغطاء النباتي دوراً في تعديل هذه الفروقات الحرارية، إلا أن هذه العوامل تتفاوت شدتها وتأثيرها بناءً على التغيرات الموسمية، إذ أن تحليل هذا التغير وتفسيره يسهم في تقديم حلول علمية مستدامة لتقليل آثار الجزيرة الحرارية، مثل تعزيز زراعة الأشجار والنباتات في المناطق الحضرية، وتبني تقنيات بناء صديقة للبيئة، والتخطيط العمراني الذكي الذي يراعي توزيع الأنشطة البشرية واحتياجات البيئة على حدٍ سواء.

٢-١ أنماط الجزيرة الحرارية خلال فصل الخريف:

تتسم أنماط الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك خلال فصل الخريف تغيرات ملحوظة بفعل التبدلات التدريجية في الظروف الجوية وانخفاض درجات الحرارة مقارنة بالفصول الأشد حرارة، إذ تمتص الأسطح الحضرية، كالطرق والمباني، حرارة الشمس خلال النهار وتبدأ في إشعاعها مجدداً في المساء، مما يؤدي إلى استمرار الاختلاف الحراري بين المناطق الحضرية والريفية وإن كان بحدة أقل مقارنة بفصل الصيف. يساهم نمو الغطاء النباتي المتزايد مع بداية موسم الأمطار في تقليل درجات الحرارة المحلية من خلال عمليات طبيعية كالتبخر والنتح، ولكن تأثير الأنشطة البشرية، مثل التدفئة واستخدام وسائل النقل، يظل ملموساً ويعزز بقاء الفرق الحراري قائماً. بالتوازي مع ذلك، يؤدي تناقص طول فترة النهار وتغير زاوية سقوط أشعة الشمس دوراً في إعادة تشكيل توزيع الحرارة، وهو ما يُبرز الحاجة إلى فهم هذه الأنماط بشكل أعمق لتطبيق استراتيجيات مستدامة تسهم في التخفيف من الآثار البيئية للجزيرة الحرارية وتحسين جودة الحياة في البيئات الحضرية.

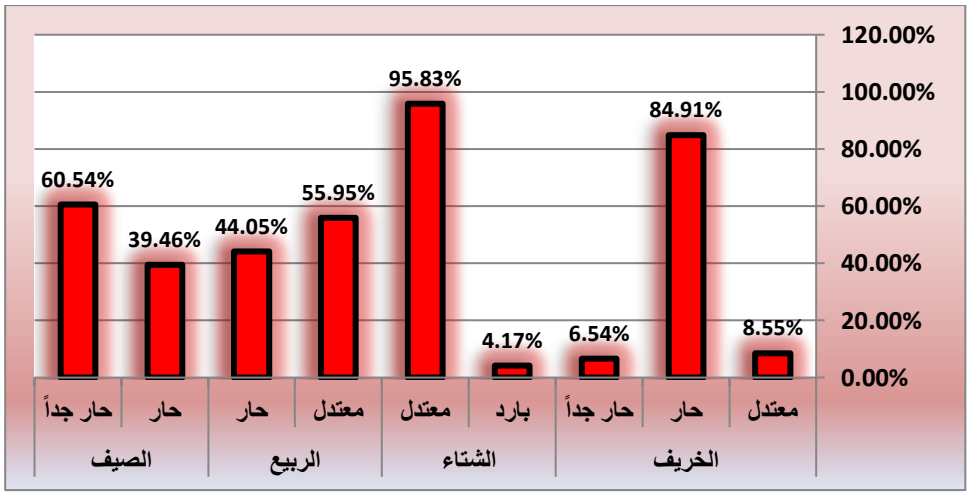
يتضح من خلال جدول (١) وشكل (٥) أن صنف الحار أحتل المساحة الاكبر في منطقة الدراسة لفصل الخريف بنسبة (٨٤,٩١%) ويشير إلى استمرار تأثير الحرارة المتراكمة من فصل الصيف، بالإضافة إلى انخفاض التبريد الليلي بسبب الغطاء العمراني، بينما احتل الصنف المعتدل المرتبة الثانية من حيث المساحة والتي بلغت نسبتها(٨,٥٥%) إذ تغطي مساحة صغيرة نسبياً، وقد يعود ذلك إلى تأثير التبريد الناتج عن انخفاض الإشعاع الشمسي مع دخول فصل الخريف، وخيراً جاء الصنف الحار جداً بمساحة صغيره جداً والتي بلغت نسبتها (٦,٥٤%) إذ أن نسبتها محدودة في منطقة الدراسة، ويرتبط ذلك بانخفاض تأثير الموجات الحارة مقارنة بالصيف. يؤدي الانخفاض التدريجي في درجات الحرارة خلال فصل الخريف إلى تقليص المساحات المصنفة ضمن فئة "حار جداً"، بينما يظل تصنيف "الحار" سائداً نتيجة احتباس الحرارة في الأسطح الحضرية.

جدول (١) توزيع أصناف الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك لعام ٢٠٢٤ وفقاً لفصول السنة.

الفصل	صنف الجزيرة الحرارية	المساحة كم٢	%
الخريف	معتدل	13.04	8.55
	حار	129.52	84.91
	حار جداً	9.98	6.54
المجموع		152.53	100
الشتاء	بارد	6.36	4.17
	معتدل	146.19	95.83
المجموع		152.55	100
الربيع	معتدل	85.36	55.95
	حار	67.19	44.05
المجموع		165.24	100
الصيف	حار	60.20	39.46
	حار جداً	92.36	60.54
المجموع		165.25	100

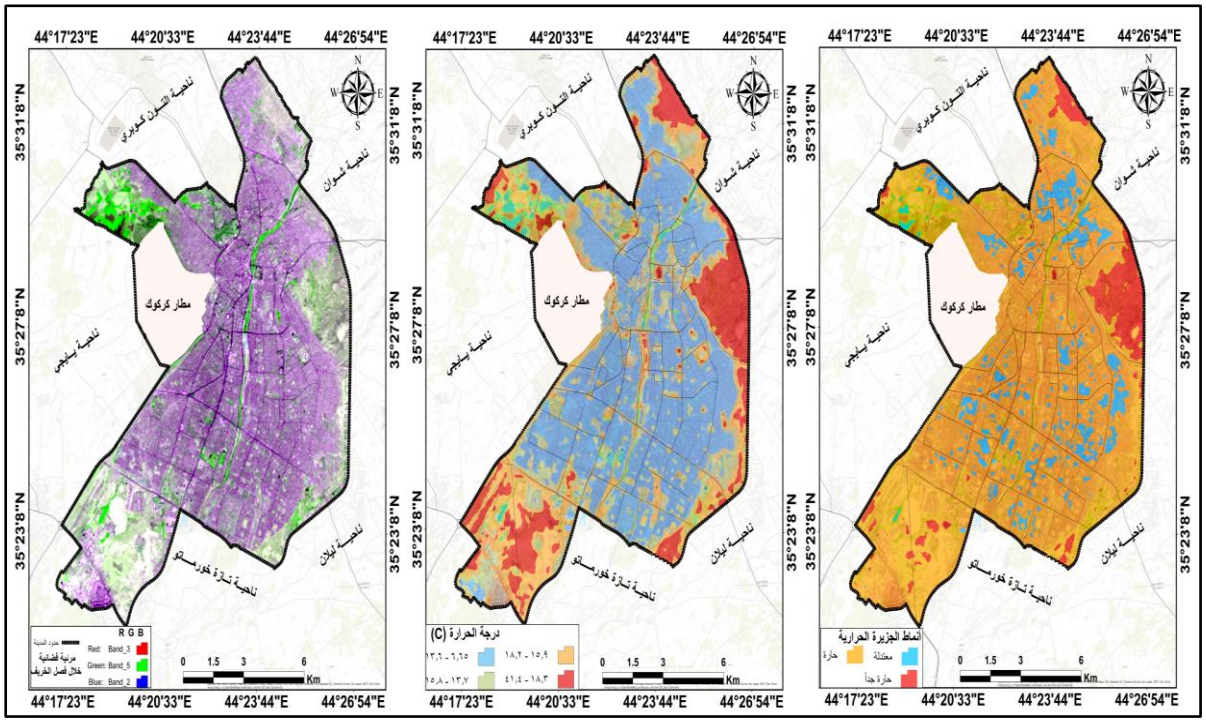
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خرائط(٢، ٣، ٤، ٥)

شكل (٥) النسبة المئوية لمساحة أصناف الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك لعام ٢٠٢٤.



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على جدول (١).

خريطة (٢) درجات الحرارة وانماط الجزيرة الحرارية خلال فصل الخريف



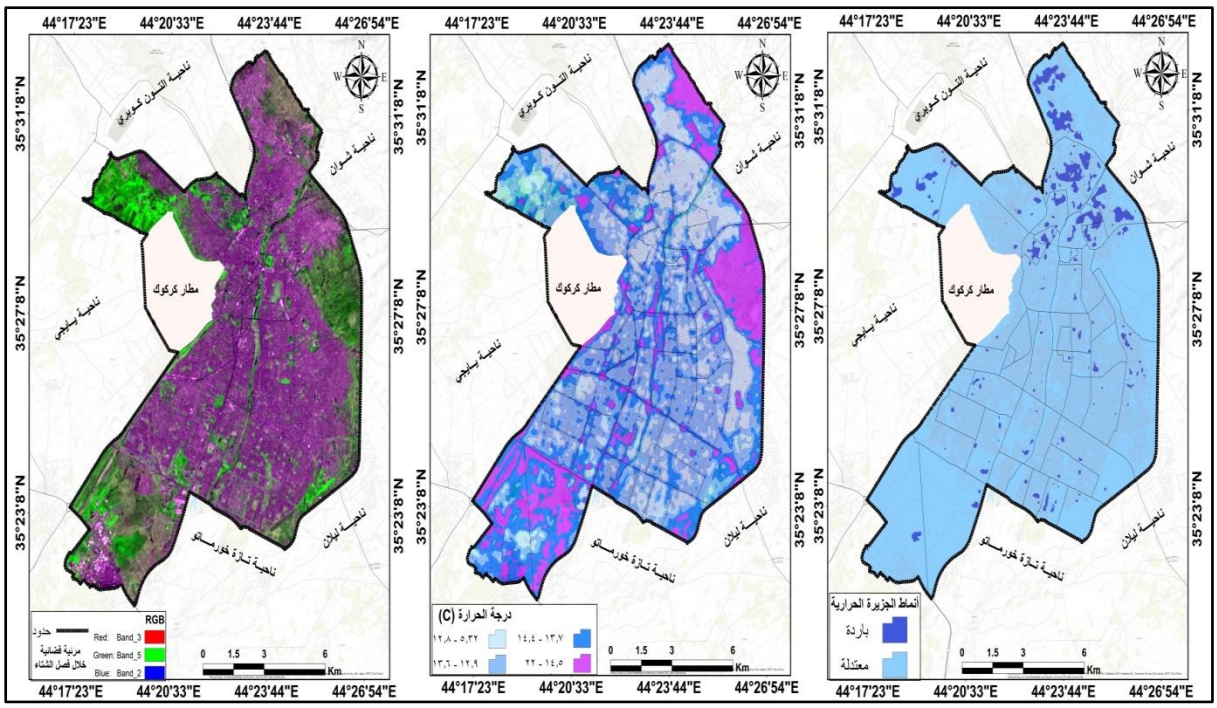
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (LST)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٢-٢ أنماط الجزيرة الحرارية خلال فصل الشتاء:

تتأثر مدينة كركوك خلال فصل الشتاء بوجود طبقة من الهواء الدافئ بالقرب من سطح الأرض بسبب احتفاظ المدن بالحرارة بشكل أفضل من المناطق الريفية، مما يسبب فارقاً في درجات الحرارة. في الليل، تكون هذه الفروق أكثر وضوحاً، حيث تبرد المناطق الريفية بسرعة أكبر مقارنة بالمنطقة الحضرية. قد يؤدي ذلك إلى اختلافات في درجات الحرارة بين داخل المدينة ومحيطها، مما يعزز تأثير الجزيرة الحرارية، هذا التأثير في مدينة كركوك يمكن أن يتسبب في ارتفاع في درجات الحرارة المحلية مقارنةً بالقرى المحيطة، حيث يظهر أثر الأسطح المبلطة والعمران الكثيف وتضييق المساحات الخضراء، مما يزيد من تفاقم الظاهرة. كما أن التوسع العمراني في المدينة يساهم في تقليل المساحات الزراعية أو المفتوحة التي تساهم في تلطيف الأجواء، ما يؤدي إلى زيادة الازدحام الحراري في المناطق الحضرية في أشهر الشتاء، من جهة أخرى، يمكن للجزيرة الحرارية أن تؤثر على تدفق الهواء داخل المدينة، مما قد يزيد من انبعاثات التلوث ويؤثر على الراحة العامة وجودة الهواء.

يتبين من جدول (١) وشكل (٥) أن صنف المعتدل أحتل المساحة الاكبر في منطقة الدراسة لفصل الشتاء بنسبة (٩٥,٨٣%) مما يعكس تأثير التبريد الشامل في الشتاء، ولكن دون الوصول إلى البرودة الشديدة بسبب تأثير الجزر الحرارية الحضرية، بينما احتل الصنف البارد المرتبة الثانية و الاخيرة من حيث المساحة والتي بلغت نسبتها(٤,١٧%) كما في خريطة (٣)، إذ تغطي مساحة محدودة من المدينة لأن المدن تحتفظ ببعض الحرارة بسبب التكدس العمراني، بصورة عمامة تنخفض درجات الحرارة بشكل واضح خلال فصل الشتاء لكن البنية التحتية والمباني تمنع فقدان الحرارة بشكل سريع، ما يفسر ندرة المناطق الباردة مقارنة بالمناطق المعتدلة.

خريطة (٣) درجات الحرارة وانماط الجزيرة الحرارية خلال فصل الشتاء



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (LST)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٢-٣ أنماط الجزيرة الحرارية خلال فصل الربيع:

خلال فصل الربيع تشهد مدينة كركوك نمطاً مختلفاً للجزيرة الحرارية مقارنةً بفصلي الصيف والشتاء، حيث تبدأ درجات الحرارة في الارتفاع تدريجياً مع بداية فترة الربيع. ورغم أن تأثير الجزيرة الحرارية يضعف نسبياً خلال هذا الموسم مقارنة بالفصول الأخرى، فإن المدينة تظل تعاني من بعض الظواهر الناتجة عن تراكم الحرارة في المناطق الحضرية.

تعود جزئياً الزيادة في درجات الحرارة في كركوك إلى تحسن الظروف المناخية وزيادة فترات سطوع الشمس، والتي تساهم في تسخين الأسطح الحضرية كالشوارع، المباني، والطرق المعبدة بشكل أسرع. وبالإضافة إلى ذلك، تبدأ الأشجار والمناطق الخضراء في المدينة بالنمو، مما قد يساعد جزئياً على تقليل التأثيرات الحرارية في بعض المناطق، لكنها تظل غير كافية لتقليل الفروق الكبيرة بين الأجواء الحضرية والمناطق المحيطة الريفية، إذ تزداد أهمية تراكم الحرارة الناتج عن أنماط البناء الحديثة والمرافق الحضرية في تعزيز هذا الظاهرة، خصوصاً في فترات الظهيرة حيث تكون تأثيرات الجزيرة الحرارية أكثر وضوحاً بسبب وجود الأسطح الصلبة التي تُشع الحرارة، مما يزيد من درجة الحرارة في مركز المدينة مقارنة بمحيطها الريفي الأكثر اعتدالاً.

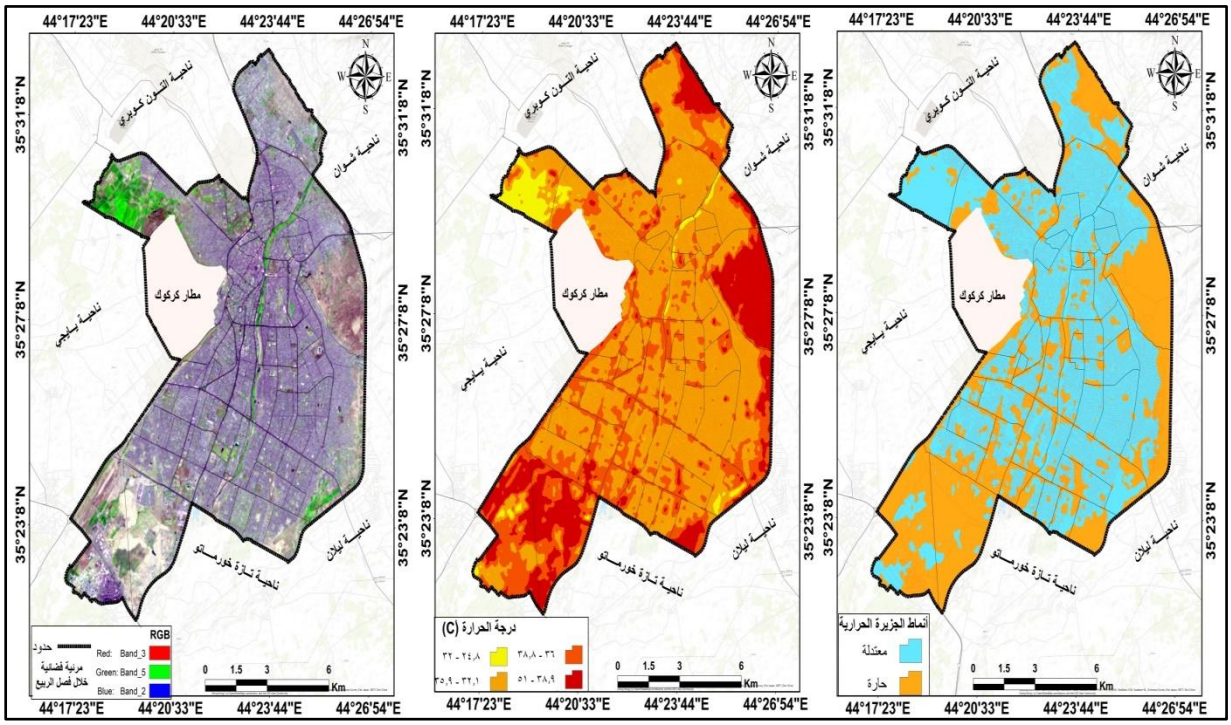
كما أن توسع المدينة العمراني يقلل من المساحات الخضراء التي تلعب دوراً مهماً في تبريد البيئة، مما يؤدي إلى استدامة ارتفاع الحرارة ضمن المناطق المأهولة بالسكان في كركوك. ورغم ذلك، فإنه في فصل الربيع غالباً ما تتغير درجات الحرارة بسرعة أكثر من الفصول الأخرى، ما يقلل نسبياً من تأثيرات الجزيرة الحرارية بشكل أكبر مقارنة بفصلي الصيف والخريف.

يشير جدول (١) وشكل (٥) أن صنف المعتدل أحتل المساحة الأكبر في منطقة الدراسة لفصل الربيع بنسبة (٥٥,٩٥%) وهو متوقع نظراً للانتقال التدريجي من الشتاء إلى الصيف، حيث تبدأ درجات الحرارة في الارتفاع ، بينما

احتل الصنف الحار المرتبة الثانية والاخيرة من حيث المساحة والتي بلغت نسبتها(٤٤,٠٥%) ويمكن تفسير زيادة هذا الصنف خلال فصل الربيع إلى تأثير الشمس القوية وزيادة امتصاص الحرارة في المناطق الحضرية.

بشكل عام، شهد ربيع عام ٢٠٢٤ في مدينة كركوك ارتفاعاً تدريجياً في درجات الحرارة، مما أدى إلى زيادة المساحات المصنفة ضمن الفئة "حار" مقارنة بالخريف، وذلك نتيجة بدء الأسطح الحضرية في امتصاص وتخزين المزيد من الحرارة.

خريطة (٤) درجات الحرارة وانماط الجزيرة الحرارية خلال فصل الربيع



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (LST)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٢-٤ أنماط الجزيرة الحرارية خلال فصل الصيف:

أما خلال فصل الصيف تشهد مدينة كركوك تأثيراً واضحاً للجزيرة الحرارية الحضرية، حيث تتزايد درجات الحرارة بشكل ملحوظ داخل المدينة مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة بها. يعود السبب في ذلك إلى عوامل عدة، أبرزها تراكم الحرارة في الأسطح الصلبة مثل الطرق المعبدة، المباني الخرسانية، والمرافق الحضرية التي تمتص الحرارة نهاراً وتحتفظ بها لفترات طويلة بعد غروب الشمس، مما يؤدي إلى تزايد درجات الحرارة ليلاً.

في فصل الصيف، تزداد فترة سطوع الشمس، مما يعزز عملية تسخين الأسطح بشكل أسرع وأطول فترة، وينتج عن ذلك تراكم كبير للحرارة في المدينة. هذا يعني أن المناطق الحضرية، نتيجة الكثافة العمرانية، تتفاعل مع حرارة الشمس بشكل أكبر من المناطق الريفية التي تحتوي على مساحات خضراء أو أراضٍ زراعية يمكنها أن تساعد في تبريد الجو من خلال التبخر.

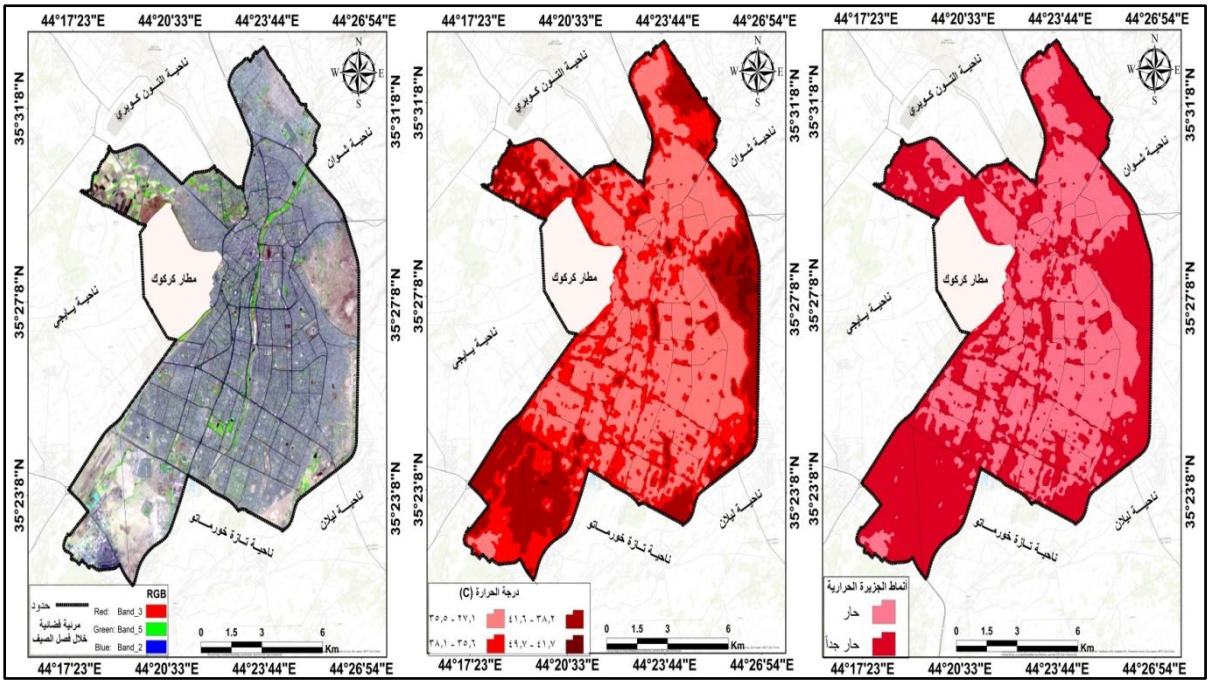
إضافةً إلى ذلك، يمكن أن يؤدي انحصار تدفق الهواء داخل المدينة بسبب المباني العالية والمناطق الضيقة إلى تجميع الهواء الساخن، مما يفاقم من حرارة الصيف. لا تقتصر تأثيرات الجزيرة الحرارية على الزيادة في درجات الحرارة فحسب، بل تمتد لتؤثر على جودة الهواء أيضاً، حيث تتسبب حرارة الصيف في زيادة انبعاثات الملوثات من وسائل النقل والمصادر الصناعية داخل المدينة، ما يجعل الهواء أكثر تلوثاً خلال هذه الفترة، كما أن التوسع العمراني في كركوك خلال السنوات الأخيرة قد أدى إلى تقليل المساحات الخضراء، مما يحد من قدرة النباتات والأشجار على امتصاص

الحرارة وتوفير بيئة أكثر اعتدالاً داخل المدينة. نتيجة لهذه العوامل، تصبح درجات الحرارة في فصل الصيف داخل المدينة أعلى بوضوح عن المناطق المحيطة، مما يزيد من تأثيرات الجزيرة الحرارية ويؤثر على الراحة العامة لسكان المدينة.

يبين الجدول (١) وشكل (٥) أن صنف الحار جداً أحتل المساحة الاكبر في منطقة الدراسة لفصل الصيف بنسبة (٦٠,٥٤%) نتيجة التعرض الشديد لأشعة الشمس، بالإضافة إلى قلة الغطاء النباتي في المناطق الحضرية، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة بشكل حاد، بينما احتل الصنف الحار المرتبة الاخيرة من حيث المساحة والتي بلغت نسبتها(٣٩,٤٦%) وهي نسبة كبيرة، مما يدل على أن بعض المناطق لا تصل إلى تصنيف "حار جداً"، ربما بسبب التهوية الجيدة أو اختلاف المواد السطحية.

بشكل عام، يُعد فصل الصيف في مدينة كركوك الفترة التي يظهر فيها التأثير الأقصى للجزيرة الحرارية الحضرية، حيث تمتص المباني والأسطح الإسفلتية كميات كبيرة من الحرارة خلال النهار وتطلقها ببطء خلال الليل، مما يؤدي إلى اتساع نطاق المناطق المصنفة ضمن فئة "حار جدًا".

خريطة (٥) درجات الحرارة وانماط الجزيرة الحرارية خلال فصل الصيف



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مؤشر (LST)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٣- نمذجة العوامل المؤثرة في نشوء الجزيرة الحرارية لمدينة كركوك لعام ٢٠٢٤:

تعتمد هذه النمذجة على تحليل البيانات المناخية والبيئية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، حيث يتم دمج المتغيرات المختلفة مثل الغطاء النباتي، وأنماط استخدام الأراضي، وخصائص السطح، والكثافة العمرانية، والتغيرات في درجات الحرارة السطحية. يساهم التوسع العمراني السريع في تفاقم ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية، إذ تؤدي زيادة المسطحات الإسفلتية والخرسانية إلى امتصاص الحرارة أثناء النهار وإشعاعها ليلاً، مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة. إضافةً إلى ذلك، تلعب العوامل الجوية مثل سرعة الرياح والرطوبة النسبية دورًا في توزيع الحرارة داخل المدينة. تُستخدم النماذج العددية والبرمجيات المتخصصة لمحاكاة التأثيرات المستقبلية لهذه العوامل، ولتحقيق هذا الهدف تم الاعتماد على التطابق الخرائطي، حيث تتمثل الظواهر الجغرافية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية بشكل طبقات (Layers) حيث تمثل كل طبقة بمعطيات

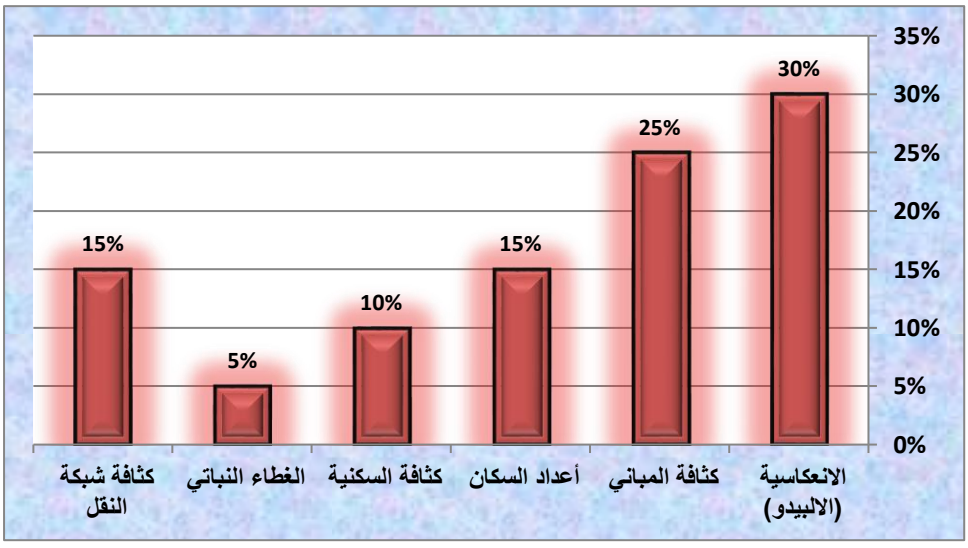
مكانية ذات صفة مشتركة وهي مسجلة عددياً مع الروابط التوبولوجية لعناصرها لتشكل قاعدة بيانات مكانية في منطقة ما من سطح الأرض (العزاوي، ٢٠٠٩)، ولغرض إبراز وإظهار العوامل المؤثرة في نشوء الجزيرة الحرارية في منطقة الدراسة، تم تصميم خريطة لتلك المخاطر باستعمال طريقة وزن الطبقات باستخدام احد وظائف برنامج نظم المعلومات الجغرافية (Overlay) ومن الجدول (٢) والشكل (٦) يوضحان الطبقات[*]، ووزنها الترجيحية التي اخضعت للاختبارات إحصائية تحليلية هرمية بحسب أهمية كل طبقة باستخدام نظام (AHP Online System – AHP–OS)، الشكل ( ) لغرض تصميم خريطة مخاطر التي تؤثر في نشوء الجزيرة الحرارية في منطقة الدراسة.

جدول (٢) الطبقات المستخدمة في تحديد المخاطر المؤثرة على الجزيرة الحرارية.

ت	أسم الطبقة		المصدر	المرتبة	الافضلية %
1	الانعكاسية (الالبيدو)	(Albedo Reflectivity)	مرئية فضائية لعام ٢٠٢٤ وتطبيق مؤشر (DBI)	1	٣٠
2	كثافة المباني	Building Density	مرئية فضائية لعام ٢٠٢٤ وتطبيق مؤشر (NDBI)	2	٢٥
3	أعداد السكان	Population Count	بالاعتماد على البيانات السكانية لعام ٢٠٢٤	3	١٥
4	كثافة السكنية	Residential Density	بالاعتماد على البيانات السكانية ومساحة الاحياء اليكنية	4	١٠
5	الغطاء النباتي	Vegetation Cover	مرئية فضائية لعام ٢٠٢٤ وتطبيق مؤشر (NDVI)	5	٥
6	كثافة شبكة النقل	Transportation Network Density	مرئية فضائية لعام ٢٠٢٤ وتصنيف موجة	6	١٥

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج .AHP Online System – AHP-OS.

شكل (٦) النسبة المئوية للعوامل المؤثر في نشوء الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك لعام ٢٠٢٤



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج AHP Online System – AHP-OS.

(*) تم تحويل جميع طبقات المدخلة ضمن خريطة المخاطر إلى صيغة (Raster)، لغرض تحليلها وتفسيرها بصورة ادق.

جدول (٣) مصفوفة الاوزان للعوامل المؤثرة في نشوء الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك لعام ٢٠٢٤

العنصر	الانعكاسية (الالبيدو)	كثافة المباني	أعداد السكان	الكثافة السكانية	الغطاء النباتي	كثافة شبكة النقل
الانعكاسية (الالبيدو)	1	1.25	1.67	1.25	2.5	2.5
كثافة المباني	0.8	1	1.33	1	2	2
أعداد السكان	0.6	0.75	1	0.75	1.5	1.5
الكثافة السكانية	0.8	1	1.33	1	2	2
الغطاء النباتي	0.4	0.5	0.67	0.5	1	1
كثافة شبكة النقل	0.4	0.5	0.67	0.5	1	1

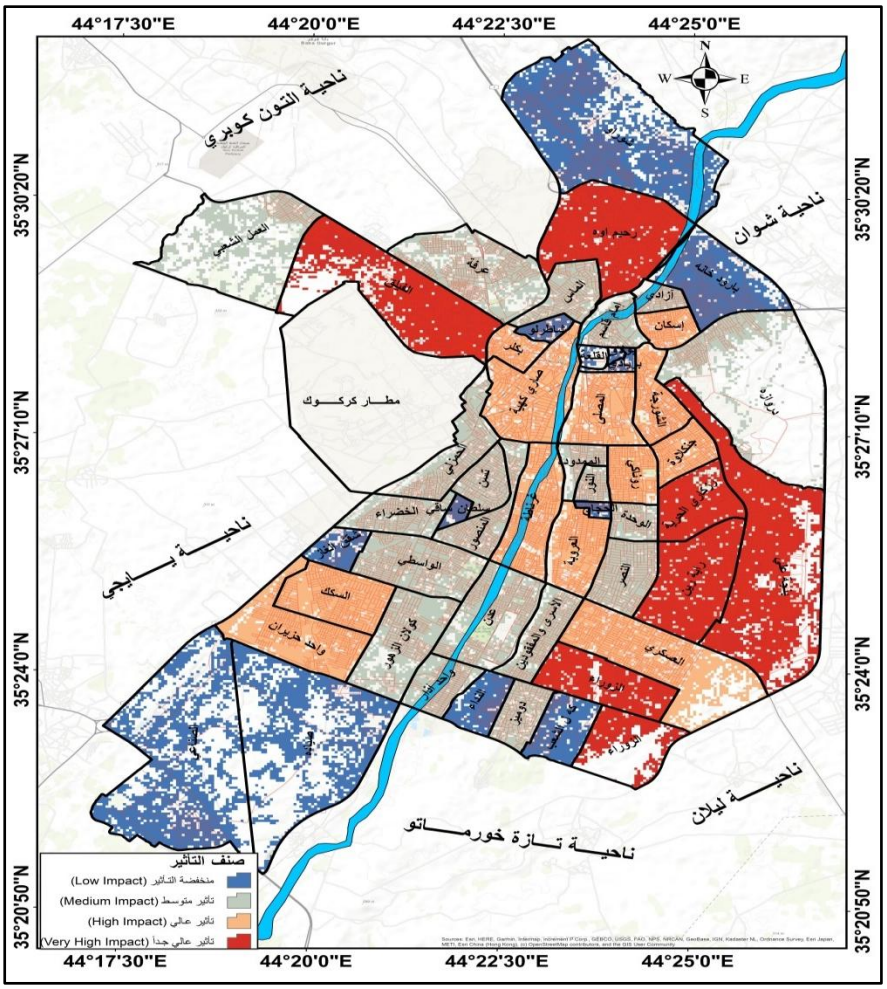
يوضح جدول (٤) والشكل (٦) وخريطة (٦) توزيع أصناف المخاطر الجزيرة الحرارية، إذ احتل الصنف ذات التأثير عالي جداً مساحة بلغت (٣٧,٣٥) كم² وبنسبة (٢٤,٥٢%) من المساحة الإجمالية، ويعكس هذا الارتفاع تأثيرات شديدة للحرارة في المنطقة، وهو ناتج عن زيادة التوسع العمراني وقلة المساحات الخضراء مما يعزز ارتفاع درجات الحرارة، أما صنف ذات تأثير عالي الذي يشمل مساحة (٣٥,٢٢) كم² وبنسبة (٢٣,١٢%) يظهر هناك تأثير حراري ملموس هذا الصنف ولكن بدرجة أقل من الصنف الأول، وقد يرجع هذا إلى تواجد بعض المصادر الحرارية مثل المناطق الصناعية أو كثافة المباني، بالنسبة لصنف ذات تأثير متوسط والذي بلغ مساحته نحو (٤٨,٠٣) كم² ويمثل ٣١,٥٣% من المساحة، يلاحظ أن المساحة الأكبر تقع ضمن هذا التصنيف، مما يشير إلى أن المناطق التي تعاني من تأثيرات حرارية معتدلة أكثر شيوعًا. هذا قد يكون نتيجة لتوازن نسبي في استخدامات الأرض، مثل وجود مناطق سكنية مختلطة مع مساحات خضراء أو تجارية، أما صنف ذات تأثير منخفض والذي بلغ مساحته (٣١,٧٥) كم² وبنسبة (٢٠,٨٤%) يمثل هذا الصنف أقل نسبة من حيث التأثير الحراري. قد يكون السبب في هذا الانخفاض هو أن هذه الصنف يتركز في المناطق ذات اراضي جرداء اي لا تحتوي على عوامل تساعد على نشوء الجزيرة الحرارية.

جدول (٤) مساحة ونسب المئوية للعوامل المؤثرة في نشوء الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك لعام ٢٠٢٤

ت	أصناف مخاطر الجزيرة الحرارية	المساحة كم²	%
١	تأثير عالي جداً (Very High Impact)	37.35	24.52
٢	تأثير عالي (High Impact)	35.22	23.12
٣	تأثير متوسط (Medium Impact)	48.03	31.53
٤	تأثير منخفضة (Low Impact)	31.75	20.84

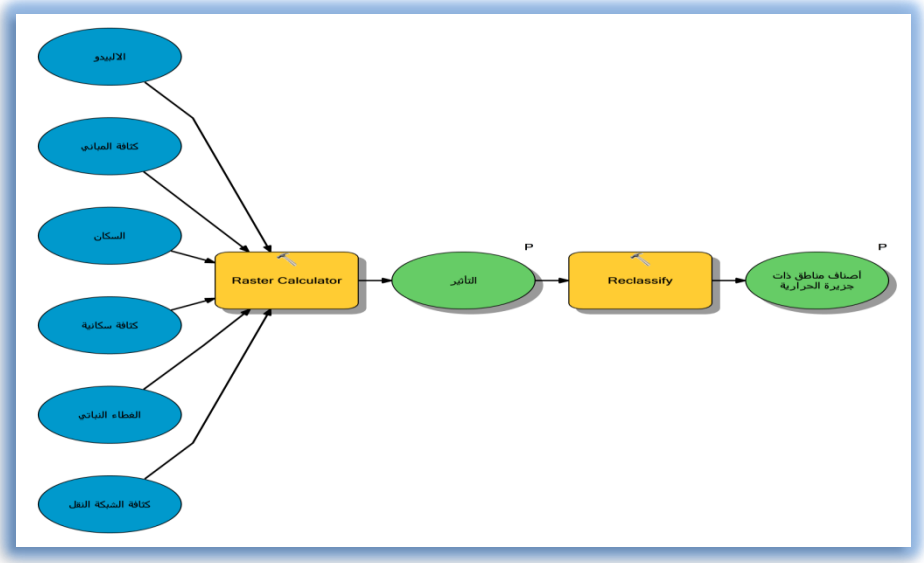
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٦).

خريطة (٦) أصناف للعوامل المؤثرة في نشوء الجزيرة الحرارية في مدينة كركوك لعام ٢٠٢٤



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج (ARC.GIS).

شكل (٧) نمذجة العوامل المؤثرة في نشوء الجزيرة الحرارية لمدينة كركوك لعام ٢٠٢٤



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج (ARC.GIS).

الاستنتاجات:

١- أظهرت نتائج التحليل أن التوسع الحضري المستمر في مدينة كركوك أدى إلى زيادة ملحوظة في درجات حرارة سطح الأرض (LST)، خاصة في المناطق ذات الكثافة العمرانية العالية والمناطق الصناعية.

٢- أوضحت الدراسة أن المناطق السكنية والصناعية تسجل درجات حرارة أعلى مقارنة بالمناطق الزراعية والمسطحات المائية، مما يعكس تأثير الغطاء الأرضي على التوزيع الحراري.

٣- أظهرت بيانات Landsat-8 TIRS & OLI دقة جيدة في رصد التغيرات الحرارية، مما يبرز أهمية تقنيات الاستشعار عن بعد في تحليل الظواهر البيئية والمناخية.

٤- بينت الدراسة أن الصنف الحار احتل النسبة الأكبر خلال فصل الخريف بنسبة(٨٤,٩١%)، بينما ساد الصنف المعتدل في الشتاء بنسبة (٩٥,٨٣%) بسبب التبريد الشامل دون بلوغ البرودة الشديدة نتيجة تأثير الجزر الحرارية الحضرية. في الربيع، كان الصنف المعتدل هو الأبرز (٥٥,٩٥%) نظرًا للانتقال التدريجي نحو الصيف،

٥- تمثل مخاطر الجزيرة الحرارية بدرجات متفاوتة، حيث يشغل الصنف عالي جدًا نسبة (٢٤,٥٢%)، يليه العالي بنسبة (٢٣,١٢%)، ثم المتوسط بنسبة (٣١,٥٣%)، وأخيرًا المنخفض (٢٠,٨٤%). يعود ارتفاع التأثيرات إلى التوسع العمراني وقلة المساحات الخضراء، بينما ينخفض التأثير في المناطق الجرداء والطبيعية.

التوصيات:

١- توصي الدراسة استخدام تقنيات (GIS)لدمج بيانات درجة حرارة سطح الأرض مع بيانات استخدامات الأراضي والبنية التحتية لدراسة العلاقة بين التحضر والجزيرة الحرارية.

٢- يوصى باستخدام أدوات التحليل المكاني مثل الانحدار الجغرافي المرجح (GWR) وتحليل الارتباط المكاني (Moran's I) لتحديد المناطق الأكثر عرضة لارتفاع درجات الحرارة.

٣- استخدام النمذجة التنبؤية (مثل الشبكات العصبية الاصطناعية أو الانحدار الخطي المتعدد) للتنبؤ بكيفية تطور الجزيرة الحرارية في كركوك خلال السنوات القادمة.

٤- يوصى باستعمال تقنيات معالجة البيانات الضخمة مثل Google Earth Engine (GEE) لمعالجة وتحليل كميات كبيرة من البيانات الفضائية بشكل أكثر كفاءة.

٥- يوصى بتقديم توصيات لصناع القرار تشمل زيادة الغطاء النباتي، تحسين المواد العاكسة للأسطح، والتخطيط العمراني الذكي لتقليل التأثيرات الحرارية السلبية.

المصادر والمراجع:

Kefayat , O. R., & M. D. (2024, August 24). Detection of land surface albedo changes over Iran using remote sensing data. *Meteorological Applications*, p. 23.

Aneesh Mathew a, Sumit Khandelwal b, & Nivedita Kaul. (2017, August 17). Investigating spatial and seasonal variations of urban heat island effect over Jaipur city and its relationship with vegetation, urbanization and elevation parameters. *Sustainable Cities and Society*, pp. 157 - 177.

G. M., J. .., & V. .. (2006, July). Assessment of NDVI- Differences Caused by Sensor Specific Relative Spectral Response Functions. *IEEE (IGARSS)* (p. 9). Denver, Colorado, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

J. N. (2010, Nov 25). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, pp. 353-366.

J. S., J. J.-M., G. S., & M. R. (2008, February 10). Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors. *Published in: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (Volume: 46, Issue: 2, February 2008)* , pp. 316 - 327.

M. D., S Adyatma , & D Arisanty. (2020). mapping build-up area density using normalized difference built-up index (ndbi) and urban index (ui) wetland in the city banjarmasin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (p. 9). Banjarmasin: IOP Publishing Ltd .

Maskooni, E. K., Hashemi, H., R. B., Arasteh, P. D., & Kazemi, M. (2020, Accepted 17). Impact of spatiotemporal land-use and land-cover changes on surface urban heat islands in a semiarid region using Landsat data. *International Journal of Digital Earth*, pp. 250-270.

Nagihan Aslan, & Dilek Koc-San. (2021, June 16). The Use of Land Cover Indices for Rapid Surface Urban Heat Island Detection from Multi-Temporal Landsat Imageries. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, p. 20.

P. S., N. K., & P. V. (2017, July 28). Impact of land use change and urbanization on urban heat island in Lucknow city, Central India. A remote sensing based estimate. *Sustainable Cities and Society*, pp. 100-114.

Q. W., D. L., & J. S. (2004, February 29). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, pp. 467-483.

علي عبد عباس العزاوي. (٢٠٠٩). *نظم المعلومات الجغرافية (أسس وتطبيقات)*. الموصل: دار ابن الاثير للطباعة والنشر.