Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences Volume (9) Issue (6) June (2026)

ISSN: 2957-3874 (Print)
Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences (JFHS)
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/95
مجلة الفارابي للعلوم الإنسانية تصدرها جامعة الفارابي

تحليل العلاقة المكانية بين الألبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية لمدينة البصرة لعام ٢٠٢٥ باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد

م.د. عبد الرحمن عبد الكريم يحيى جاسم
كلية التربية للبنات جامعة تكريت قسم الجغرافية
abdulrahman.yahya@tu.edu.iq

ملخص:

يهدف هذا البحث إلى تحليل العلاقة المكانية بين الألبيدو السطحي وشدة ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة البصرة لعام ٢٠٢٥، بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، بوصفها أدوات كمية فعالة في رصد التباينات الحرارية داخل النسيج الحضري. اعتمدت الدراسة على بيانات الأقمار الصناعية (Landsat 8–9) المزودة بالمتحسسين(OLI: Operational Land Imager) و (Thermal Infrared Sensor:TIRS)، حيث استخدمت النطاقات الطيفية المرئية وتحت الحمراء القريبة لاشتقاق الألبيدو السطحي، في حين استخدمت النطاقات الحرارية لاستخلاص درجة حرارة سطح الأرض (LST)، بعد تطبيق عمليات المعايرة الإشعاعية والتصحيح الجوي اللازمة.

ولتحقيق فهم أدق للطبيعة الديناميكية للعلاقة بين الألبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية، تم تنفيذ التحليل على أساس أربع فصول مناخية (الشتاء، الربيع، الصيف، الخريف) خلال عام ٢٠٢٥، من خلال اختيار مرئيات فضائية ممثلة لكل فصل وخالية نسبياً من الغيوم. أتاح هذا النهج الموسمي تحديد أنماط التباين المكاني والفصلي لشدة الجزيرة الحرارية، والكشف عن اختلاف استجابة السطح الحضري للتغيرات الإشعاعية والمناخية عبر فصول السنة. أظهرت الدراسة أن فصل الشتاء تسود فيه الشدة الحرارية المنخفضة والمنخفضة جداً ضمن الانعكاسية المتوسطة بمساحات (١١١.٥٢) كم² و(٧١.١٧) كم²، بينما تغيب فئات الشدة المعتدلة والشديدة جداً. في الربيع، تزداد المساحات المرتبطة بالشدة المعتدلة والمرتفعة مع ظهور الشدة الشديدة جداً بمساحات (٩٩.٦١) كم² و(٤٨.٣٤) كم². ويبلغ تأثير الألبيدو ذروته في الصيف، حيث تسجل الشدة الشديدة جداً أكبر المساحات ضمن الانعكاسية المنخفضة (٩١.٩٥) كم² والمنخفضة إلى المتوسطة (١٠.٦٢) كم². أما في الخريف، تختفي فئة الشدة الشديدة جداً وتتركز المساحات الأكبر ضمن الشدة العالية بمساحات (١١٩.٥٤) كم² و(٥٤.٢٦) كم².

الكلمات المفتاحية: الألبيدو السطحي، الجزيرة الحرارية الحضرية، درجة حرارة سطح الأرض (LST)، التحليل المكاني، الاستشعار عن بعد، مدينة البصرة.

Spatial Analysis of the Relationship Between Surface Albedo and Urban Heat Island Intensity in Basra City for 2025 Using Remote Sensing Techniques

Dr. Abdul Rahman Abdul Kareem Yahya
Salah al-Din Governorate Education Directorate - Tikrit Section
Email: abdulrahman.yahya@tu.edu.iq

Abstract

This study aims to analyze the spatial relationship between surface albedo and the intensity of the urban heat island (UHI) phenomenon in Basra during 2025, using remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) as effective quantitative tools for monitoring thermal variations within the urban fabric. The study relied on Landsat 8–9 satellite data equipped with the OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor), utilizing visible and near-infrared bands to derive surface albedo, and thermal

bands to extract Land Surface Temperature (LST), following radiometric calibration and atmospheric correction procedures.

To capture the dynamic nature of the albedo–UHI relationship, the analysis was conducted across four climatic seasons (winter, spring, summer, autumn) using representative, relatively cloud-free satellite scenes. This seasonal approach allowed for identification of spatial and temporal UHI patterns and revealed differential urban surface responses to radiative and climatic variations throughout the year. Results indicate that during winter, low and very low UHI intensities dominate areas with medium albedo, covering 111.52 km² and 71.17 km², while moderate and very high intensities are absent. In spring, areas associated with moderate and high intensities expand, with very high UHI intensities appearing over 99.61 km² and 48.34 km². The influence of albedo peaks in summer, as very high UHI intensity covers the largest areas within low (91.95 km²) and low-to-medium albedo (10.62 km²). In autumn, very high intensity disappears, and the largest areas fall under high UHI intensity, covering 119.54 km² and 54.26 km².

Keywords: Surface Albedo, Urban Heat Island, Land Surface Temperature (LST), Spatial Analysis, Remote Sensing, Basra City.

المقدمة:

تشهد المدن الحديثة تغيرات جوهرية في خصائص أسطحها نتيجة التوسع الحضري المتسارع واستبدال الأسطح الطبيعية بأسطح صناعية ذات خصائص إشعاعية وحرارية مختلفة، مما أسهم في بروز ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية بوصفها أحد أبرز التحديات البيئية المعاصرة. وتعكس هذه الظاهرة اختلال التوازن في التفاعل بين سطح الأرض والغلاف الجوي، حيث ترتفع درجات حرارة المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة، لاسيما خلال فترات النهار.

يعد الألبيدو السطحي من المتغيرات الفيزيائية الرئيسة المؤثرة في التوازن الإشعاعي لسطح الأرض، إذ يتحكم في كمية الإشعاع الشمسي المنعكس والممتص. وتشير الدراسات إلى أن انخفاض قيم الألبيدو في المناطق الحضرية، الناتج عن انتشار الأسطح الداكنة كالإسفلت والخرسانة، يسهم في زيادة امتصاص الطاقة الشمسية وتعزيز شدة الجزيرة الحرارية، مع تأثر هذه العلاقة بعوامل مكانية ومناخية متعددة.

تكتسب مدينة البصرة أهمية خاصة في هذا السياق لوقوعها ضمن إقليم مناخي حار وجاف يتميز بارتفاع الإشعاع الشمسي، إلى جانب التوسع الحضري المتسارع خلال العقود الأخيرة، مما أفرز تبايناً مكانياً واضحاً في أنماط استخدامات الأرض بين المناطق السكنية والصناعية والمناطق المفتوحة. ويهدف هذا البحث إلى تحليل العلاقة المكانية بين الألبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة البصرة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، من خلال الربط بين خرائط الألبيدو المستخرجة من المرئيات الفضائية وخرائط درجة حرارة سطح الأرض. ويسعى البحث إلى تحديد أنماط الارتباط المكاني والمناطق الأكثر تأثراً بانخفاض الألبيدو وارتفاع شدة الجزيرة الحرارية، بما يدعم اتخاذ قرارات تخطيط حضري مستدامة للحد من المخاطر الحرارية المستقبلية.

مشكلة الدراسة:

أدى التوسع الحضري في مدينة البصرة إلى تغير خصائص سطح الأرض، لا سيما انخفاض الألبيدو السطحي بسبب الأسطح العمرانية الداكنة، ما صاحبته زيادة في شدة الجزيرة الحرارية الحضرية. ومع ذلك، لا تزال طبيعة هذه العلاقة وتباينها مكانياً ضمن النسيج الحضري غير واضحة علمياً. وعليه، تتمثل المشكلة الرئيسة للدراسة في السؤال التالي: (كيف تؤثر التغيرات المكانية في الألبيدو السطحي على شدة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة البصرة، وما مدى تباين هذه العلاقة مكانياً داخل المدينة؟)

فرضية الدراسة:

تفترض الدراسة وجود علاقة عكسية بين الألبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة البصرة، بحيث تسهم المناطق ذات الألبيدو المنخفض في زيادة شدة الجزيرة الحرارية، مع تباين هذه العلاقة مكانياً حسب اختلاف استخدامات الأرض وأنماط التغطية السطحية.

اهداف الدراسة:

١- استخراج وتقدير قيم الألبيدو السطحي ودرجة حرارة سطح الأرض لمدينة البصرة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد.

٢- تحليل التوزيع المكاني لكل من الألبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية داخل النسيج الحضري للمدينة.

٣- دراسة العلاقة المكانية بين الألبيدو السطحي ودرجة حرارة سطح الأرض لتحديد نمط الترابط المكاني بينهما.

٤- تحديد المناطق الأكثر تأثراً بانخفاض الألبيدو وارتفاع شدة الجزيرة الحرارية.

٥- تقديم مؤشرات علمية قابلة للاستخدام في التخطيط الحضري المستدام بهدف التخفيف من المخاطر الحرارية وتعزيز إدارة الطاقة الحرارية في المدينة.

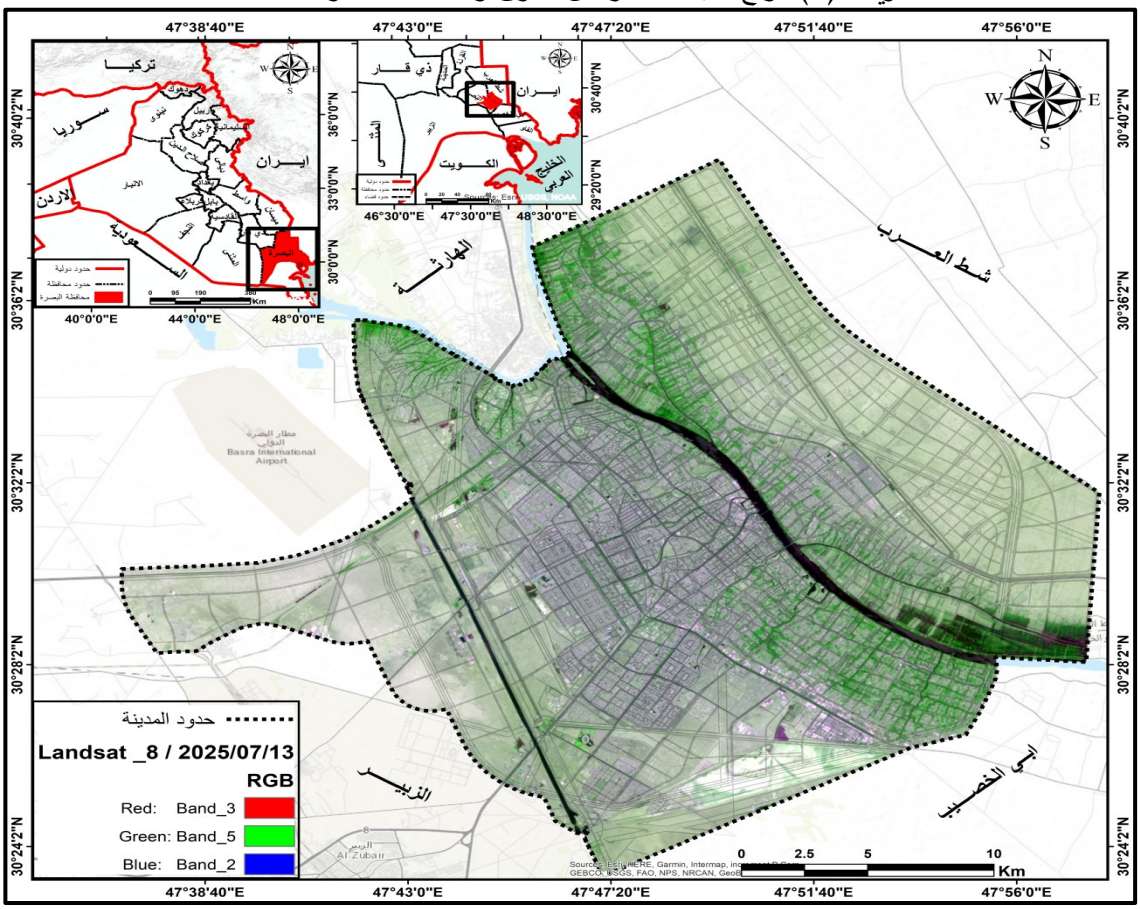
مناهج الدراسة:

اعتمدت الدراسة على مناهج متعددة تتناسب مع أهدافها، حيث استخدم **المنهج الوصفي** لوصف الخصائص المناخية والحضرية لمدينة البصرة وظاهرة الجزيرة الحرارية. واستخدم **المنهج التحليلي** لتحليل بيانات الاستشعار عن بعد وفهم العلاقة بين الألبيدو السطحي ودرجة حرارة سطح الأرض. كما تم توظيف **المنهج المكاني** لدراسة التوزيع المكاني والتباين بين المتغيرات باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. بالإضافة إلى ذلك، كما تم استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد كأداة رئيسية لاستخراج المؤشرات السطحية وإنتاج الخرائط الموضوعية الداعمة للتحليل المكاني. بالإضافة إلى ذلك، استخدم **المنهج الإحصائي** لقياس قوة العلاقة والتحقق من دلالتها.

موقع منطقة الدراسة:

يشكل مركز محافظة البصرة المركز الإداري الرئيسي، ويمتد من شط العراب شرقاً إلى شط البصرة غرباً، ومن منطقة كرمة شمالاً إلى نهر السراجي جنوباً. تقع منطقة الدراسة ضمن هذا النطاق الجغرافي، وتحديداً في الجزء الذي يشمل هذه الحدود. أما من حيث الإحداثيات الفلكية، فتقع المحافظة بين دائرتي عرض (**30°38′30″ – 30°23′0″**) وخطي طول (**47°56′10″ -47°40′40″**)، كما هو موضح في خريطة (١).

خريطة (١) موقع مدينة البصرة من العراق ومحافظة البصرة



المصدر: من عمل الباحث على وزارة الري ,الهيئة العامة للمساحة ، خارطة العراق الادارية، ١/١٠٠٠٠٠٠، ومخرجات برنامج ARCGIS10.8.

آلية وطرق العمل:

١- منصات الاستشعار عن بعد المستخدمة في الدراسة:

تم الاعتماد في هذه الدراسة على بيانات القمر الصناعي (Landsat-8/9) لرصد درجات الحرارة السطحية لعام (٢٠٢٥)، من خلال تحليل البيانات المجمعة على مدار أربع فصول هي (الشتاء، الربيع، الصيف، الخريف). ويعود سبب اختيار هذه المنصات إلى دقتها المكانية التي تصل إلى (١٥) متراً بعد إجراء عمليات التحسين، مما يمكن من رصد التغيرات الحرارية والسطحية الدقيقة على الأرض، بالإضافة إلى

توافرها على مستشعرين رئيسيين هما المستشعر الطيفي متعدد النطاقات (Operational Land Imager - OLI) ومستشعر الأشعة تحت الحمراء الحرارية (Thermal Infrared Sensor - TIRS). وقد تم معالجة المرئيات الفضائية باستخدام عدة خطوات تشمل (استقطاع ، دمج الباندات، والتحسين الطيفي والراديومتري للبيانات)، لضمان دقة وموثوقية التحليل.

يؤدي مستشعر (OLI) دوراً مهماً في جمع البيانات الطيفية عبر نطاقات متعددة من الطيف المرئي والقريب من الأشعة تحت الحمراء، مما يتيح تحليل خصائص السطح مثل نوعية التربة، التغطية النباتية، واستخدامات الأراضي(يحيى، ٢٠٢٣). أما مستشعر (TIRS) فيتمتع بقدرة عالية على قياس الإشعاع الحراري المنبعث من سطح الأرض، وهو المسؤول عن توفير بيانات درجة حرارة سطح الأرض (Land Surface Temperature - LST) الدقيقة، والتي تستخدم كأساس لتحليل ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية (UHI)(Zhao-Liang Li , et ,٢٠١٣ al).

بفضل تكامل بين مستشعري (TIRS-OLI) ومعالجة البيانات الفضائية الدقيقة، يمكن دراسة التغيرات المكانية والزمانية لدرجات الحرارة السطحية بدقة وموثوقية عالية، مما يجعل بيانات Landsat-8/9 من الأدوات المثلى في الدراسات البيئية والمناخية(Qihao Weng,2004).

جدول (١) خصائص مرئيات القمر الاصطناعي (Landsat-8/9)

الفصل	الأشهر	التاريخ	المسار	الصف	زاوية الميل
الشتاء	كانون الثاني January	١٨/٠١/٢٠٢٥	166	٠٣٩	٠,٠٠١-
الربيع	نيسان April	٠٨/٠٤/٢٠٢٥			
الصيف	تموز July	١٣/٠٧/٢٠٢٥			
الخريف	تشرين الأول October	٠٩/١٠/٢٠٢٥			

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مرئيات القمر الاصطناعي(Landsat-8) و(USGS).

كما تم استخدام بيانات القمرين الصناعيين تيرا (Terra) وأكوا (Aqua) المزودين بمتحسس MODIS لرصد الألبيدو السطحي في مدينة البصرة، إذ يوفر هذا المتحسس منتج الألبيدو اليومي من المستوى الثالث (L3) بدقة مكانية تقارب ٥٠٠ متر، بما يتيح متابعة التغيرات السطحية وتحليلها بكفاءة عالية. ويعد MODIS من المستشعرات المتقدمة في مجال الاستشعار عن بعد لاعتماده على تسجيل بيانات طيفية ضمن نطاق واسع من الأطوال الموجية، الأمر الذي يسمح بتوصيف الخصائص الانعكاسية لسطح الأرض بدقة. كما أن تكرار الرصد اليومي الناتج عن مرور القمرين الصناعيين يعزز القدرة على تتبع التغيرات الزمنية للألبيدو، في حين تحقق دقته المكانية المتوسطة توازناً مناسباً بين مستوى التفاصيل وسعة التغطية، مما يجعله ملائماً لدراسة البيئات الحضرية. فضلاً عن ذلك، يعتمد المتحسس على بيانات دالة التوزيع الاتجاهي للانعكاس (BRDF) لتقليل تأثير اختلاف زوايا الإشعاع الشمسي والرؤية، وهو ما يسهم في تحسين دقة قياسات الألبيدو وزيادة موثوقية النتائج (Crystal B Schaaf , et al،٢٠٠٢).

٢- المعادلات الطيفية المستخدمة في الدراسة:

اعتمدت الدراسة الحالية على مجموعة من المعادلات الطيفية المستخلصة من بيانات الاستشعار عن بعد، والتي استخدمت في حساب الألبيدو السطحي، ودرجات حرارة سطح الأرض (LST)، وكذلك في استخلاص وتحديد شدة ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية. وقد أختيرت هذه المعادلات لكونها الأكثر شيوعاً ودقة في تمثيل الخصائص الإشعاعية والحرارية لسطح الأرض، ولملاءمتها لطبيعة منطقة الدراسة والبيانات الفضائية المستخدمة.

٢-١ استخراج الالبيدو:

يتم استخراج قيم الألبيدو السطحي من الأسطح في مدينة البصرة بالاعتماد على نموذج الانعكاس ثنائي الاتجاه (BRDF) المدمج في منتج MODIS MCD43A3، والذي يستخدم للتوثيق العلمي لتمثيل انعكاس الطاقة الشمسية على الأسطح. وتوضح المعادلة الفيزيائية الأساسية كالتالي(Crystal B Schaaf , et al،٢٠٠٢):

$$f_{geo}\bar{K}_{geo}(\theta_i) + f_{vol}\bar{K}_{vol}(\theta_i) + {}_{iso}f = \alpha_{BSA}(\theta_i)$$

حيث:

- α_{BSA} : الألبيدو في حالة الإشعاع الشمسي المباشر (Black-Sky)
- θ_i : زاوية السمت الشمسي
- $f_{iso}, f_{vol}, f_{geo}$: معاملات نموذج BRDF
- $\bar{K}_{vol}, \bar{K}_{geo}$: دوال التكامل الاتجاهي

ولكي يتم تحويل القيم الناتجة من المعادلة الفيزيائية السابقة إلى قيم رقمية حقيقية تمثل الألبيدو المنعكس من الأسطح في مدينة البصرة، يتم استخدام المعادلة العملية التالية(Schaaf, C. B., & Wang,2015):

$$\frac{DN}{1000} = \alpha$$

حيث (DN) تمثل القيمة الرقمية للبكسل المستخرجة من بيانات MODIS، وتمثل (α) الألبيدو السطحي الحقيقي بقيم تتراوح بين (٠ و١). وتتيح هذه المعادلة تحويل البيانات الرقمية إلى ألبيدو فعلي يمكن استخدامه مباشرة في التحليل المكاني، وربطه بدرجات حرارة سطح الأرض لدراسة شدة الجزيرة الحرارية الحضرية، بالإضافة إلى تصنيف الألبيدو حسب الجدول (٢) وتحليل العلاقة بين خصائص الأسطح المختلفة وانعكاس الطاقة الشمسية.

الجدول (٢) اصناف الانعكاسية (Albedo)

الفئة	القيم الخام (Raw)	القيم بعد التحويل (Reflectance)	الصنف
1	0 – 100	0.000 – 0.100	انعكاسية منخفضة
2	101 – 200	0.101 – 0.200	انعكاسية منخفضة إلى متوسطة
3	201 – 300	0.201 – 0.300	انعكاسية متوسطة
4	301 – 400	0.301 – 0.400	انعكاسية متوسطة إلى مرتفعة
5	401 – 500	0.401 – 0.500	انعكاسية مرتفعة
6	501 – 600	0.501 – 0.600	انعكاسية مرتفعة جداً
7	601 – 700	0.601 – 0.700	انعكاسية عالية جداً
8	701 – 751	0.701 – 0.751	انعكاسية قصوى

NASA LP DAAC ,MODIS Land Surface Albedo Product (MCD43A3) User Guide.2021.

٢-٢ استخراج درجة الحرارة (LST):

لاستخراج مؤشر درجة حرارة سطح الأرض (LST)، اعتمدت الدراسة على معادلات رياضية متسلسلة تحول القيم الرقمية للصور الفضائية إلى إشعاع طيفي، ثم إلى درجة حرارة إشعاعية، وأخيراً تصحيحها بعامل الانبعاثية السطحية للحصول على درجة الحرارة الحقيقية لسطح الأرض، وهو المؤشر الأساسي لتحليل ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية.

٢-٢-١ مؤشر الإشعاع الطيفي أعلى الغلاف الجوي(TOA Radiance):

يستخدم هذا المؤشر لتحويل القيم الرقمية (DN) للحزمة الحرارية (Band 10) إلى إشعاع طيفي فعلي عند أعلى الغلاف الجوي، وهو الأساس الفيزيائي لاحتساب درجات الحرارة من بيانات Landsat، ويتم حسابة وفق المعادلة التالية(نعمان، ٢٠٢٥).

$$L(\lambda) = ML \times Band\ 10 + AL - Oi$$

- L(λ) : الإشعاع الطيفي عند حدود الغلاف الجوي(TOA Spectral Radiance).
- ML: معامل الضرب للإشعاع الخاص بالباند (band10) المستخرج من ملف **MTL.txt** والتي تكون قيمته (٠.٠٠٠٠٣٣٤٢).
- AL : معامل الجمع للإشعاع الخاص بالباند (10) المستخرج من ملف **MTL.txt** ، والذي يمثل (٠.١٠).
- Oi : قيمة التصحيح (بالنسبة للباند رقم ١٠ في Landsat 8 ، تكون(٠.٢٩).

٢-٢-٢ مؤشر درجة حرارة السطوع (BT :Brightness Temperature):

تستخدم هذه المعادلة لتحويل إشعاع الأشعة تحت الحمراء المقاس بواسطة المستشعر (Radiance) إلى درجة حرارة سطح الأرض (Land Surface Temperature) بالدرجة المئوية، مما يتيح إجراء تحليلات الحرارة المكانية مثل دراسة شدة الجزيرة الحرارية الحضرية، ويتم حسابة وفق المعادلة التالية(Elhadi K. Mustafa, et al, 2020) .

$$BT = K2 / \ln(k1/L(\lambda) + 1) - 273.15$$

- BT: درجة حرارة السطوع عند حدود الغلاف الجوي (Top of Atmosphere Brightness Temperature) بالدرجة المئوية
- L(λ): الإشعاع الطيفي عند حدود الغلاف الجوي (TOA Spectral Radiance) والذ يمثل (TOA).
- K1: ثابت K1 للباند رقم ١٠ (مستخرج من ملف MTL.txt) والذي يمثل (٧٧٤.٨٨٥).
- K2: ثابت K2 للباند رقم ١٠ (مستخرج من ملف MTL.txt) والذي يمثل (١٣٢١.٠٧٨٩).

٢-٢-٣ مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI):

يستخدم هذا المؤشر لتقدير كثافة الغطاء النباتي من خلال الفرق بين انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة والحمراء، ويساعد في التمييز بين الأسطح النباتية وغير النباتية.

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

NIR= الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، تعبر عن انعكاس النباتات بشكل قوي والذي يتمثل في (Landsat-8) هو الباند (B5).

RED= الضوء الأحمر، حيث يمتص النبات الضوء الأحمر ويعكس الأشعة تحت الحمراء، والذي يتمثل في (Landsat-8) هو الباند (B4).

٢-٢-٤ مؤشر نسبة الغطاء النباتي(PV: Proportion of Vegetation):

يمثل هذا المؤشر النسبة النسبية للغطاء النباتي داخل البكسل الواحد، ويتم اشتقاقه من قيم NDVI، ويستخدم كخطوة وسيطة لتقدير الانبعاثية السطحية بدقة أعلى(ابراهيم ، ٢٠٢٥).

$$PV = ((NDVI - NDVI\,min) / (NDVImax - NDVImin))2$$

حيث إن:

PV: نسبة الغطاء النباتي (Portion of Vegetation)

NDVI: قيم مؤشر الفرق النباتي الطبيعي (Normalized Difference Vegetation Index) من صورة NDVI

$NDVI_{min}$ / $NDVI_{max}$: القيم العظمى والدنيا لمؤشر NDVI في الصورة

لإيجاد الانبعاثية السطحية تستخدم المعادلة ادناه:

$$E = 0.004 * PV + 0.986$$

حيث إن:

E: الانبعاثية السطحية للأرض (Land Surface Emissivity).

PV: نسبة الغطاء النباتي (Portion of Vegetation).

٢-٢-٥ مؤشر الانبعاثية السطحية(LSE:Land Surface Emissivity):

يعبر هذا المؤشر عن قدرة سطح الأرض على إصدار الطاقة الحرارية، وتختلف قيمته باختلاف نوع الغطاء الأرضي، ويعد عنصراً أساسياً في تصحيح درجة الحرارة الساطعة.

٢-٢-٦ مؤشر درجة حرارة سطح الأرض (LST: Land Surface Temperature):

يمثل هذا المؤشر درجة حرارة سطح الأرض الفعلية بعد تصحيح درجة الحرارة الساطعة بعامل الانبعاثية، ويعد المؤشر الرئيس في تحليل ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية، ويحسب وفق المعادلة الاتية (Donglian and Menas,2007)، وشكل (١) في نظم المعلومات الجغرافية.

$$\mathbf{LST = BT / (1 + (\lambda * BT / C2) * \ln(E))}$$

حيث إن:

BT: درجة حرارة السطوع عند حدود الغلاف الجوي (Top of Atmosphere Brightness Temperature) بالدرجة المئوية

λ: طول الموجة للإشعاع المنبعث (Wavelength of emitted radiance)

للباند رقم ١٠ في Landsat 8: λ = 10.8 μm

للباند رقم ١١ في Landsat 8: λ = 12 μm

E: الانبعاثية السطحية للأرض (Land Surface Emissivity)

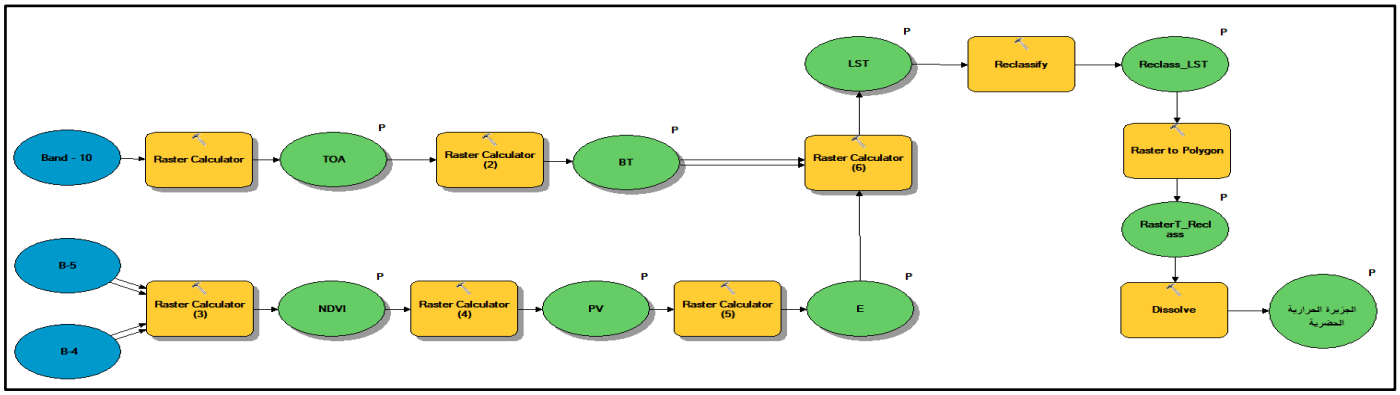
C2 = h·c / s: ثابت بلانك الثاني، قيمته C2 = 14388 م.ك (mK)

h: ثابت بلانك = ٦,٦٢٦ × ١٠$^{-34}$ J·s

s: ثابت بولتزمان = ١,٣٨ × ١٠$^{-23}$ J/K

c: سرعة الضوء = ٢,٩٩٨ × ١٠^{8}

شكل (١) النمذجة الرقمية لاستخراج مؤشر (LST) من بيانات القمر الاصطناعي (Landsat-8)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على ArcGIS.

٢-٣ استخراج شدة الجزيرة الحرارية(Thermal Intensity):

تحسب شدة الجزيرة الحرارية عبر الفرق بين متوسط درجة حرارة المناطق الحضرية ودرجة حرارة المناطق الريفية، يمثل هذا المؤشر مدى تأثير النشاط العمراني وتغطية الأسطح المختلفة (مثل المباني والأسفلت) على رفع درجات الحرارة مقارنة بالمناطق الطبيعية أو الأقل تحضراً ويتم حسابها وفق المعادلة الاتية(Oke, T. R., 1982)، وجدول (٣) الذي يوضح شدة الجزيرة الحرارية.

$$UHI_{intensity} = LST_{urban} - LST_{rural}$$

حيث إن:

LST_{urban}: درجة حرارة سطح الأرض في المناطق الحضرية.

LST_{rural}: درجة حرارة سطح الأرض في المناطق الريفية المحيطة.

جدول (٣) تصنيف شدة الجزيرة الحرارية الحضرية (UHI / UCI)

الفئة	الشدة	الصنف
1	أقل من −٣,٠	منخفضة جداً
2	إلى −١,٠ 3.0−	منخفضة
3	إلى +١,٠ 1.0−	معتدلة
4	إلى +٣,٠ 1.0+	مرتفعة
5	إلى +٥,٠ 3.0+	عالية
6	أكبر من +٥,٠	شديدة جداً

I. D. Stewart and T. R. Oke , Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, Bulletin of the American Meteorological Society, Volume 93: Issue 12, 2012.

٢- تحليل التباين الفصلي لقيم الانعكاسية السطحية (Albedo):

تظهر نتائج جدول (٤) وشكل (٢) الخاص بتصنيف قيم الانعكاسية السطحية (Albedo) في مدينة البصرة تبايناً موسمياً واضحاً يعكس الطبيعة الديناميكية لسطح الأرض في بيئة شبه جافة. ويعد هذا التباين مؤشراً مهماً لفهم سلوك الطاقة السطحية وعلاقته المباشرة بشدة ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية.

تظهر فئة الانعكاسية المنخفضة (٠.٠٠٠–٠.١٠٠) تذبذباً موسمياً ملحوظاً، إذ سجلت نسبة (٩.٠٪) في فصل الشتاء، ثم اختفت في فصل الربيع (٠.٠٪)، قبل أن تعاود الظهور في فصل الصيف بنسبة (٨.٤٪) وتصل إلى أعلى قيمة لها في فصل الخريف (١٢.٩٪). ويعكس هذا النمط سيادة الأسطح العمرانية منخفضة الانعكاسية داخل النسيج الحضري، ولا سيما في الفصول الحارة، حيث ترتفع قدرة هذه الأسطح على امتصاص الإشعاع الشمسي وتخزينه، وهو ما يعزز من شدة الجزيرة الحرارية، خاصة في الخريف نتيجة الأثر الحراري المتراكم.

أما فئة الانعكاسية المنخفضة إلى المتوسطة (٠.١٠١–٠.٢٠٠) فقد سجلت نسبة (١٦.٣٪) في فصل الشتاء، وانخفضت إلى (١٢.٨٪) في فصل الربيع، ثم ارتفعت بشكل واضح خلال فصل الصيف إلى (٣٠.٧٪)، مع بقائها مرتفعة في فصل الخريف بنسبة (٢٨.١٪). ويشير هذا التحول إلى توسع المساحات ذات الخصائص الإشعاعية المتوسطة داخل المدينة خلال الفصول الحارة، بما يعكس زيادة امتصاص الطاقة السطحية واستمرار تأثيرها الحراري بعد انتهاء ذروة الصيف. وتظهر فئة الانعكاسية المتوسطة (٠.٢٠١–٠.٣٠٠) استقراراً نسبياً خلال الفصول الباردة، حيث استحوذت على النسبة الأكبر من مساحة منطقة الدراسة في فصل الشتاء (٧٤.٧٪) والربيع (٧٤.٠٪). إلا أن هذه النسبة تنخفض بشكل حاد في فصل الصيف إلى (٣١.٤٪) وتستمر منخفضة في فصل الخريف عند (٣٠.٥٪). ويبرز هذا التغير فقدان التوازن الإشعاعي للسطح خلال الفصول الحارة، وانتقال مساحات واسعة إلى فئات انعكاسية أخرى أكثر ارتباطاً بالضغط الحراري الحضري. في المقابل، تظهر فئة الانعكاسية المتوسطة إلى المرتفعة (٠.٣٠١–٠.٤٠٠) اتجاهاً تصاعدياً واضحاً، إذ تغيب في فصل الشتاء (٠.٠٪)، ثم تظهر في فصل الربيع بنسبة (١٣.٣٪)، وتبلغ ذروتها في فصل الصيف بنسبة (٢٩.٥٪)، وتستمر مرتفعة في فصل الخريف عند (٢٨.٤٪). ويعكس هذا الاتجاه اتساع المساحات المكشوفة ذات الانعكاسية العالية خلال الفصول الحارة، وهو نمط يرتبط بزيادة الإجهاد السطحي ولا يعد مؤشراً على تحسن بيئي، خريطة (٢).

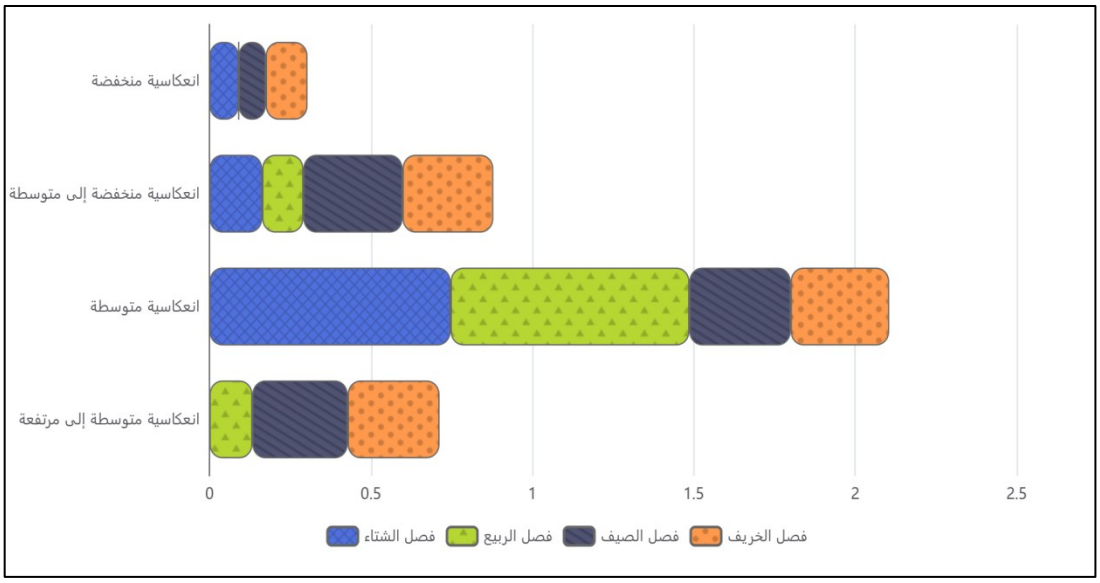
نستنتج من التحليل اعلاه أن فصلي الشتاء والربيع يمثلان مرحلة استقرار إشعاعي نسبي تهيمن فيها القيم المتوسطة، في حين يشكل فصلي الصيف والخريف مرحلة اضطراب إشعاعي تتراجع فيها الفئة المتوسطة لصالح الفئات الدنيا والعليا معاً. هذا التباين المقارن يعكس تحولات واضحة في ميزان الطاقة السطحية في مدينة البصرة، ويمثل الأساس الفيزيائي لتفسير التغيرات الموسمية في درجة حرارة سطح الأرض وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية.

جدول (٤) تصنيف الانعكاسية السطحية(Albedo) ومساحتها ونسبتها المئوية

الاصناف	الانعكاسية	فصل الشتاء		فصل الربيع		فصل الصيف		فصل الخريف	
		المساحة كم٢	%	المساحة كم٢	%	المساحة كم٢	%	المساحة كم٢	%
انعكاسية منخفضة	0.000 – 0.100	42.69	9.0	0.00	0.0	39.80	8.4	61.26	12.9
انعكاسية منخفضة إلى متوسطة	0.101 – 0.200	77.25	16.3	60.40	12.8	145.50	30.7	133.15	28.1
انعكاسية متوسطة	0.201 – 0.300	353.46	74.7	350.36	74.0	148.60	31.4	144.54	30.5
انعكاسية متوسطة إلى مرتفعة	0.301 – 0.400	0.00	0.0	62.89	13.3	139.85	29.5	134.74	28.4

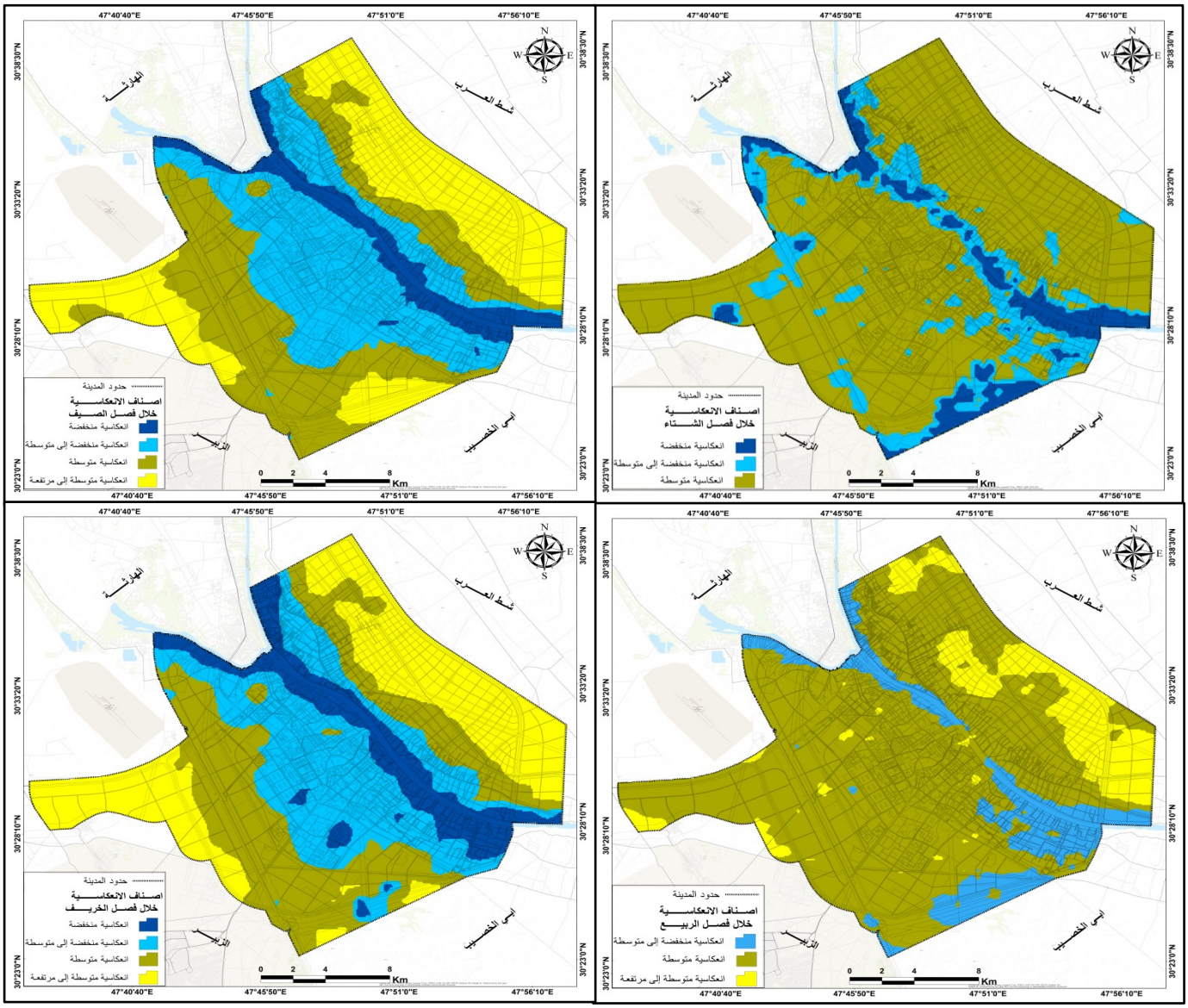
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (٢).

شكل (٢) التوزيع النسبي لأصناف الانعكاسية السطحية (Albedo) في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (٤).

خريطة (٢) التغيرات الفصلية في انعكاسية سطح الأرض (Albedo) لمدينة البصرة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (Albedo)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٣- تحليل التباين الفصلي لمؤشر الحرارة (LST):

يتضح من بيانات جدول (٥) وشكل (٣) درجة حرارة سطح الأرض (LST) لمدينة البصرة وجود تباين موسمي واضح يعكس الخصائص المناخية الحارة والجافة للمنطقة، حيث تظهر اختلافات ملحوظة بين فصول السنة في أعلى وأدنى درجات الحرارة، ومتوسطاتها، وكذلك في التباين والانحدار الخطي المرتبط بالوقت. يظهر التحليل العام أن أعلى متوسط درجة حرارة مسجل خلال فصل الصيف حيث يبلغ (٤٢.١٣ C°)، بينما أدنى متوسط يسجل في فصل الشتاء بمقدار (١٥.٢٧ C°)، مما يشير إلى مدى التغير الموسمي الكبير في المنطقة والذي يتراوح بين ما يقارب (١٥ C°) و(٤٢ C°) على مدار العام. بالنظر إلى كل فصل على حدة، يظهر فصل الشتاء أقل درجات الحرارة على الإطلاق، إذ يسجل الحد الأقصى (٢٩.٢٦ C°) والحد الأدنى (٣.٣٧ C°)، مع متوسط (١٥.٢٧ C°) وانحراف معياري منخفض نسبياً مقداره (٢.٢٩)، مما يعكس استقراراً نسبياً في درجات الحرارة خلال هذا الفصل. أما الجذر التربيعي لمتوسط المربعات، والذي يبلغ (٣.٩)، فيشير إلى تقلبات محدودة نسبياً، في حين تؤكد معادلة الانحدار الخطي (y = 0.99464x + 0.08218) على وجود علاقة قوية تقريباً بين الوقت ودرجة الحرارة خلال الشتاء.

في حين يشهد فصل الربيع ارتفاعاً ملحوظاً في درجات الحرارة مقارنة بالشتاء، حيث يصل الحد الأقصى إلى (٤٥.٨٢ C°) والحد الأدنى إلى (٢١.١٨ C°)، بمتوسط (٣٦.٠٣ C°). ويعكس الانحراف المعياري (٤.٣٦٦) والجذر التربيعي لمتوسط المربعات (٦.٠٠) زيادة في التباين الحراري، وهو متوقع نتيجة الانتقال التدريجي من الأجواء الباردة إلى الأجواء الحارة، في حين تؤكد معادلة الانحدار الخطي (y = 0.99532x + 0.16881) على استمرار النمط الخطي لارتفاع الحرارة خلال هذا الفصل.

أما فصل الصيف، فيتميز بأعلى القيم المطلقة لدرجة الحرارة، إذ يصل الحد الأقصى إلى (٥٠.٤٩ C°) والحد الأدنى إلى (٢٦.٥٩ C°)، مع متوسط مرتفع يبلغ (٤٢.١٣ C°). ويشير الانحراف المعياري (٣.٤٨) والجذر التربيعي لمتوسط المربعات (٦.٤٩) إلى أن درجات الحرارة عالية لكن مستقرة نسبياً مقارنة بفصل الربيع، ويعكس الانحدار الخطي (y = 0.9927x + 0.3090) وضوح العلاقة الخطية بين الزمن ودرجة الحرارة.

أما فصل الخريف، فهو يمثل فترة انتقالية بين الصيف الحار والشتاء البارد، حيث يسجل الحد الأقصى (٣٨.٢٢ C°) والحد الأدنى (١٥.٧ C°)، بمتوسط (٢٨.٢١ C°) وانحراف معياري (٣.٥١)، وجذر تربيعي لمتوسط المربعات (٥.٣١)، مما يشير إلى استقرار نسبي وتدرج حراري معتدل خلال هذا الفصل. كما يعكس الانحدار الخطي (y = 0.99418x + 0.16484) استمرار النمط الموسمي للارتفاع والانخفاض في درجات الحرارة.

نستنتج من التحليل اعلاه أن فصل الصيف هو الأكثر حرارةً والأكثر استقراراً نسبياً في قيم درجات الحرارة، يليه الربيع الذي يتميز بأوسع نطاق لتقلبات الحرارة. بينما يمثل الخريف مرحلة انتقالية معتدلة الحرارة، ويأتي الشتاء الأدنى حرارة مع تقلبات محدودة. هذه التباينات الموسمية لدرجات حرارة سطح الأرض تمثل مؤشراً مهماً لفهم التأثيرات البيئية والمناخية في مدينة البصرة.

جدول (٥) إحصائيات درجة حرارة سطح الأرض (LST) حسب الفصول في منطقة الدراسة

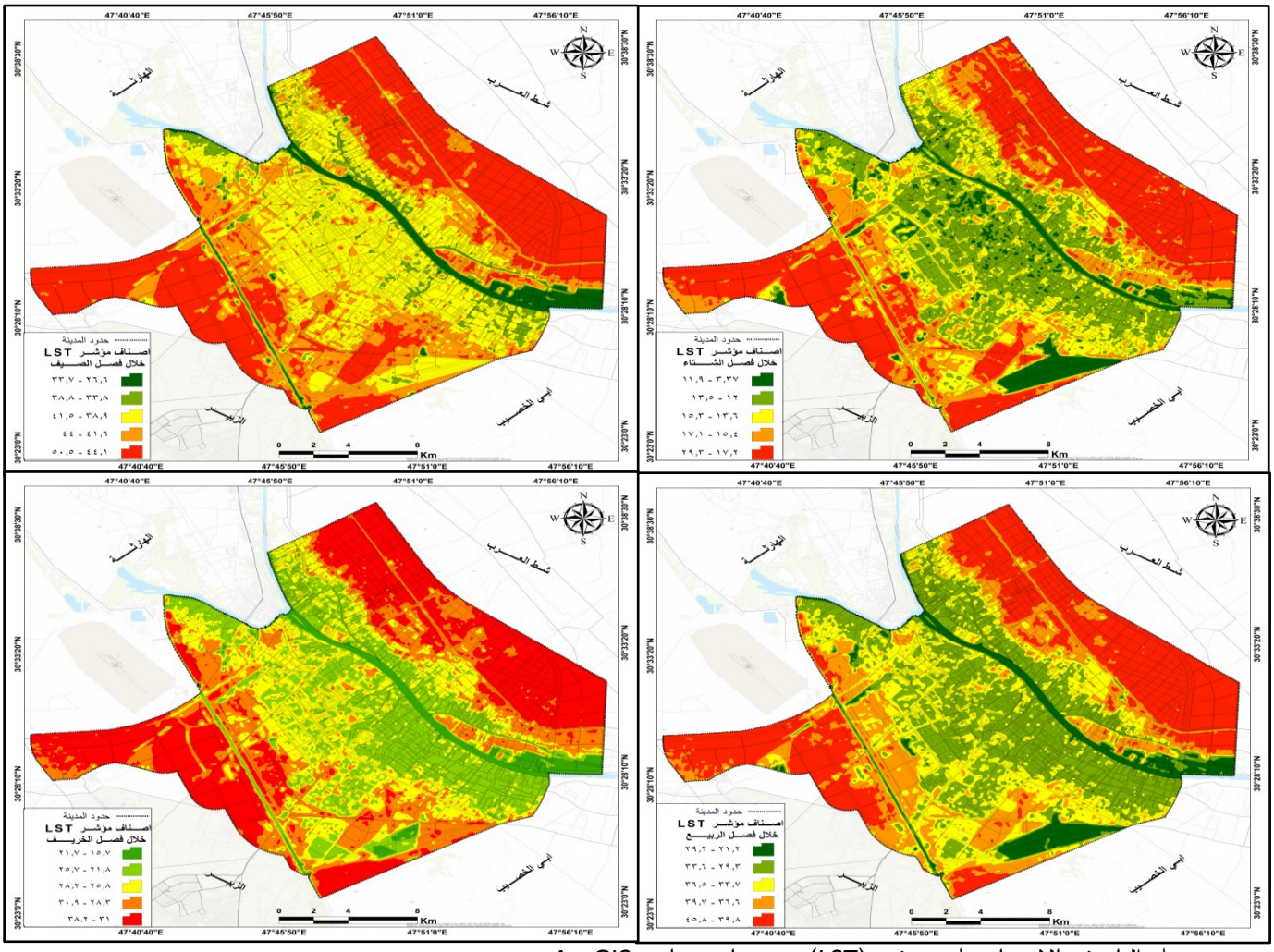
الفصول	الأحد الاعلى لدرجة الحرارة	الاحد الادنى لدرجة الحرارة	المتوسط	الانحراف المعياري	الجذر التربيعي لمتوسط المربعات	الانحدار الخطي
فصل الشتاء	29.26	3.37	15.27	2.29	3.9	y = 0.99464 x + 0.08218
فصل الربيع	45.82	21.18	36.03	4.366	6.00	y = 0.99532 x + 0.16881
فصل الصيف	50.49	26.59	42.13	3.48	6.49	y = 0.9927 x + 0.3090
فصل الخريف	38.22	15.7	28.21	3.51	5.31	y=0.99418 x+0.16484

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (٣).

شكل (٣) توزيع الإحصائيات الأساسية لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) حسب الفصول الأربعة

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (٥).

خريطة (٣) التوزيع المكاني لمؤشر درجة حرارة سطح الأرض (LST) في مدينة البصرة حسب فصول السنة



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

٤- تحليل التباين الفصلي لشدة الجزيرة الحرارية (UHI) :

يتضح من بينات الجدول () أن هناك تبايناً موسمياً واضحاً في توزيع القيم حسب الأصناف المختلفة، مما يعكس الطبيعة الديناميكية لخصائص السطح وتأثرها المباشر بعوامل الطقس والنشاط البشري المرتبط بكل فصل. ويظهر هذا التباين من خلال اختلاف النسب المئوية للأصناف بين فصول السنة، الأمر الذي يستدعي تحليل كل فصل على حدة مع إجراء مقارنة شاملة فيما بينها وبيان أسباب الارتفاع والانخفاض.

يتسم فصل الشتاء بسيادة القيم المنخفضة نسبياً، حيث بلغت نسبة الصنف المنخفض جداً (٢٦.١٪) والصنف المنخفض (١٧.٠٪)، مقابل ارتفاع نسبي في الصنفين المرتفع (٢٨.٢٪) والعالي (٢٨.٦٪)، مع غياب الصنف الشديد جداً (٠.٠٪). ويعزى هذا التوزيع إلى انخفاض درجات الحرارة، وقلة الإشعاع الشمسي، وارتفاع الرطوبة، مما يقلل من تطرف القيم ويحد من ظهور الأصناف الشديدة.

يعد الربيع فصلاً انتقالياً، ويظهر ذلك بوضوح في تنوع الأصناف، إذ انخفضت نسبة الصنف المنخفض جداً إلى (٢.٧٪)، في حين سجل الصنف المنخفض (١٥.٨٪) والمعتدل (٢٠.٢٪). كما برز الصنف الشديد جداً بنسبة مرتفعة بلغت (٣١.٥٪)، إلى جانب الصنف المرتفع (١٥.٠٪) والعالي (١٤.٨٪). ويفسر هذا التباين ببدء ارتفاع درجات الحرارة وزيادة الإشعاع الشمسي مقارنة بالشتاء، مع بقاء بعض الخصائص المعتدلة.

يتميز فصل الصيف بوضوح القيم المتطرفة، حيث سجل الصنف المنخفض جداً أعلى نسبة بلغت (٣٥.٨٪)، بينما تراجعت نسبة الصنف المنخفض إلى (١١.٤٪). في المقابل، ارتفعت نسبة الصنف العالي إلى (٢٦.٠٪) والصنف الشديد جداً إلى (٢٦.٨٪). ويعود ذلك إلى الارتفاع الكبير في درجات الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي، إضافة إلى جفاف السطح، ما يؤدي إلى اتساع نطاق القيم العالية والشديدة.

يمثل الخريف مرحلة انتقالية مع احتفاظه بتأثيرات الصيف، إذ بلغت نسبة الصنف المنخفض جداً (٣٤.٠٪)، مع غياب الصنفين المنخفض والمعتدل (٠.٠٪). في المقابل، هيمن الصنف العالي بنسبة كبيرة بلغت (٤٩.٨٪)، إضافة إلى الصنف المرتفع بنسبة (١٦.٢٪). ويعزى ذلك إلى استمرار الحرارة المتراكمة من الصيف، رغم بدء الانخفاض التدريجي في درجات الحرارة.

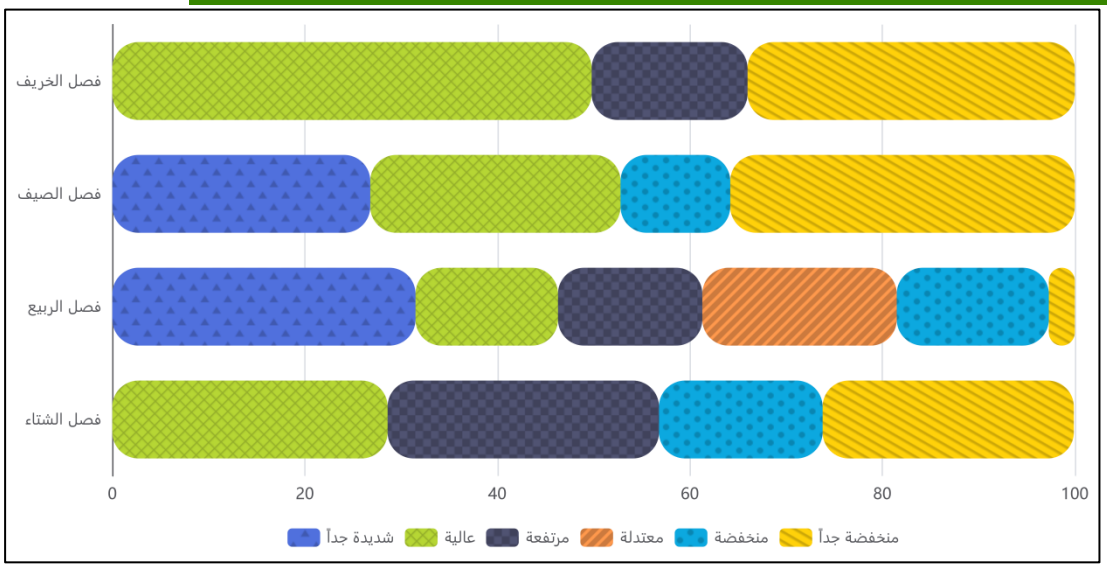
نستنتج من خلال التحليل اعلاه أن الفصول الباردة نسبياً، ولا سيما الشتاء، تميل إلى سيادة القيم المنخفضة وغياب الأصناف الشديدة، في حين تزداد القيم العالية والشديدة في الفصول الحارة أو الانتقالية مثل الصيف والربيع. أما الخريف فيحتفظ بنسبة مرتفعة من القيم العالية نتيجة الأثر الحراري المتبقي من الصيف. ويعكس هذا التدرج الموسمي التأثير المشترك للعوامل المناخية (درجة الحرارة، الإشعاع الشمسي، الرطوبة) والعوامل البشرية المرتبطة باستخدامات الأرض، ما يفسر بوضوح أسباب الارتفاع والانخفاض في القيم بين فصول السنة.

جدول (٦) شدة الجزيرة الحرارية لمدينة البصرة حسب فصول السنة

الصنف	فصل الشتاء		فصل الربيع		فصل الصيف		فصل الخريف	
	المساحة كم٢	%	المساحة كم٢	%	المساحة كم٢	%	المساحة كم٢	%
منخفضة جداً	123.87	26.1	13.03	2.7	169.43	35.8	161.15	34.0
منخفضة	80.71	17.0	74.71	15.8	54.01	11.4	0.00	-
معتدلة	-	-	95.80	20.2	-	-	0.00	-
مرتفعة	133.71	28.2	71.04	15.0	-	-	76.89	16.2
عالية	135.50	28.6	69.94	14.8	123.18	26.0	235.76	49.8
شديدة جداً	-	0.0	149.28	31.5	127.19	26.8	-	-

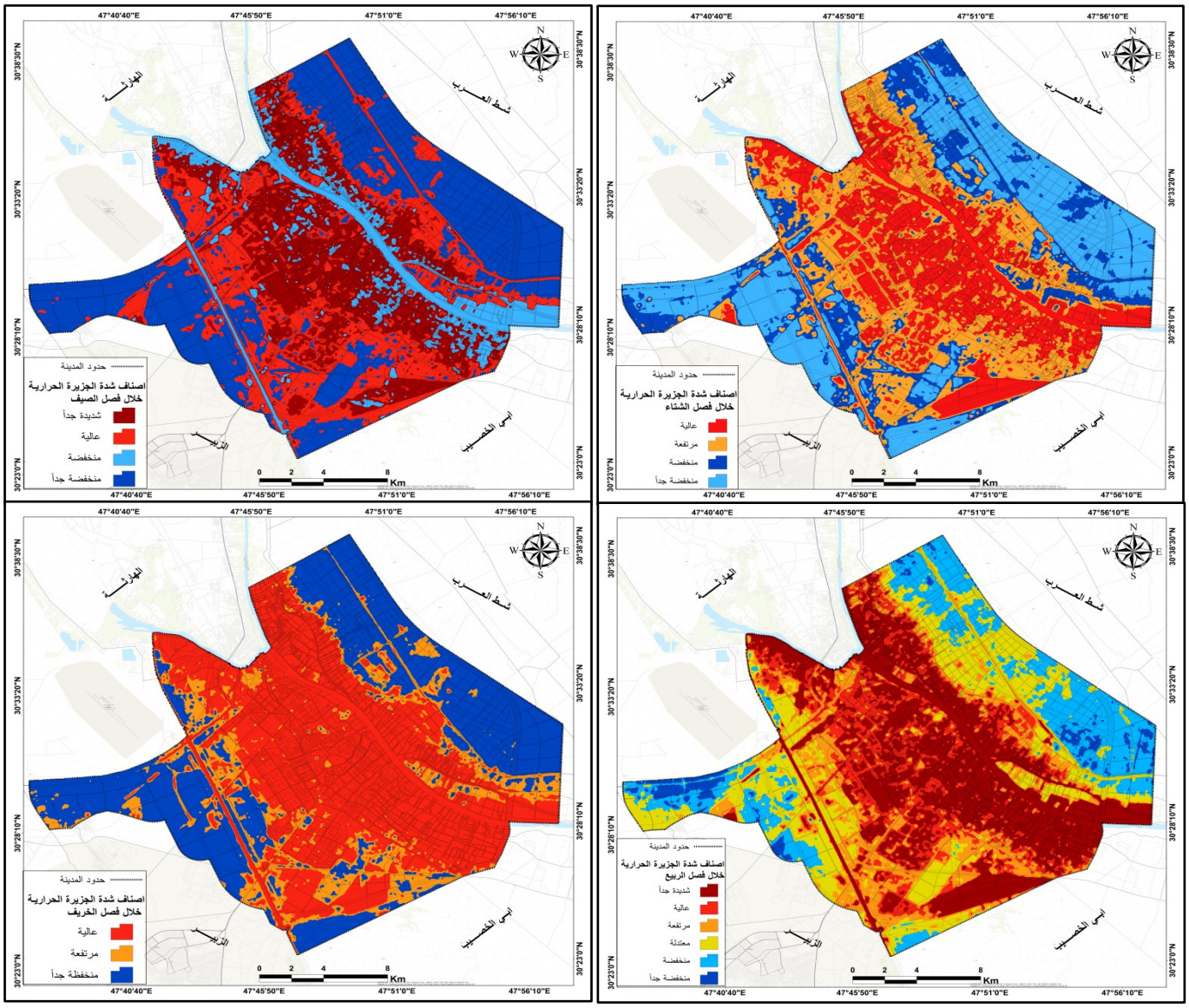
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (٤).

شكل (٤) النسبة المئوية لشدة الجزيرة الحرارية في مدينة البصرة حسب الفصول الأربعة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (٥).

خريطة (٣) التوزيع المكاني لشدة الجزيرة الحرارية في مدينة البصرة حسب فصول السنة



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

٥- تحليل العلاقية بين الالبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية:

تشير بيانات الجدول (٧) والشكل (٥) إلى وجود نمط مكاني (حراري) واضح يعكس التفاعل الفيزيائي بين الخصائص الانعكاسية للسطح الحضري والتغيرات الموسمية في ميزان الطاقة الحرارية. وبصفة عامة، تسود علاقة عكسية بين قيم الألبيدو وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية، إلا أن هذه العلاقة ليست خطية أو ثابتة، إذ تتغير استجابةً للتباين المناخي الموسمي واختلاف الخصائص المورفولوجية والسطحية للبيئة الحضرية.

في فصل الشتاء تسود المساحات المرتبطة بفئتي الشدة الحرارية المنخفضة والمنخفضة جداً، ولا سيما ضمن فئة الانعكاسية المتوسطة، إذ تسجل مساحات كبيرة تصل إلى (١١١.٥٢) كم² و(٧١.١٧) كم² على التوالي، في حين تغيب تماماً فئتا الشدة المعتدلة والشديدة جداً. ويعكس هذا النمط محدودية الإشعاع الشمسي خلال الشتاء وضعف قدرة الأسطح الحضرية على امتصاص وتخزين الطاقة الحرارية، مما يؤدي إلى انخفاض شدة الجزيرة الحرارية بشكل عام. كما يلاحظ أن فئات الانعكاسية المتوسطة تستحوذ على النصيب الأكبر من المساحات، مما يشير إلى أن تأثير الألبيدو يكون محدوداً نسبياً في هذا الفصل مقارنة بعوامل مناخية أخرى مثل فقدان الحرارة الليلي وقصر فترة النهار.

أما في فصل الربيع فيظهر تحول تدريجي في النمط الحراري، حيث تتزايد المساحات المرتبطة بالشدة الحرارية المعتدلة والمرتفعة والعالية، خاصة ضمن فئات الانعكاسية المتوسطة والمنخفضة إلى المتوسطة. كما تبدأ فئة الجزيرة الحرارية الشديدة جداً بالظهور بمساحات ملحوظة، تصل إلى (٩٩.٦١) كم² ضمن الانعكاسية المتوسطة و(٤٨.٣٤) كم² ضمن الانعكاسية المنخفضة إلى المتوسطة. ويعكس هذا التغير ارتفاع زاوية سقوط الإشعاع الشمسي مع استمرار وجود قدر من الرطوبة السطحية، مما يعزز امتصاص الطاقة الحرارية في الأسطح ذات الألبيدو المتوسط، ويجعل الربيع مرحلة انتقالية تتشكل خلالها الخصائص الحرارية التي تمهد لذروة الظاهرة في فصل الصيف.

يبلغ تأثير العلاقة بين الألبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية ذروته في فصل الصيف ، إذ تسجل فئة الجزيرة الحرارية الشديدة جداً أكبر المساحات، لا سيما ضمن فئتي الانعكاسية المنخفضة والمنخفضة إلى المتوسطة، حيث تصل المساحات إلى (٩١.٩٥) كم² و(١٠.٦٢) كم² على التوالي، مقابل تراجع واضح في المساحات المرتبطة بفئات الشدة المنخفضة ضمن الانعكاسية المرتفعة. ويعكس هذا النمط الدور الحاسم للأسطح الداكنة، مثل الأسفلت والخرسانة والأراضي الجرداء الجافة، في امتصاص الإشعاع الشمسي وتخزينه وإعادة إطلاقه على شكل حرارة محسوسة، مما يؤدي إلى تضخيم شدة الجزيرة الحرارية الحضرية. وفي المقابل، تأظهر فئات الألبيدو الأعلى قدرة نسبية على الحد من شدة الظاهرة، وهو ما يبرز الأهمية الحرارية للخصائص الانعكاسية خلال الفصول الحارة.

وفي فصل الخريف تبدأ شدة الجزيرة الحرارية بالانحسار النسبي، حيث تختفي فئة الشدة الشديدة جداً، وتتركز المساحات الأكبر ضمن فئة الشدة العالية، خاصة في فئتي الانعكاسية المنخفضة إلى المتوسطة والمتوسطة، بمساحات تصل إلى (١١٩.٥٤) كم² و(٥٤.٢٦) كم² على التوالي. ويعزى هذا النمط إلى انخفاض الإشعاع الشمسي مقارنة بفصل الصيف، مع استمرار تأثير التخزين الحراري للأسطح الحضرية، مما يؤدي إلى بقاء ظاهرة الجزيرة الحرارية ولكن بشدة أقل وحدة أضعف.

جدول (٧) المساحة العلاقة بين الالبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية في مدينة البصرة

الفصول	الالبيدو / شدة الجزيرة الحرارية	انعكاسية منخفضة	انعكاسية منخفضة إلى متوسطة	انعكاسية متوسطة	انعكاسية متوسطة إلى مرتفعة
فصل الشتاء	منخفضة جداً	2.64	9.34	111.52	0.00
	منخفضة	2.59	6.79	71.17	0.00
	معتدلة	0.00	0.00	0.00	0.00
	مرتفعة	9.33	29.91	94.24	0.00
	عالية	27.91	31.11	76.17	0.00
	شديدة جداً	0.00	0.00	0.00	0.00
فصل الربيع	منخفضة جداً	0.00	0.01	7.42	5.53
	منخفضة	0.00	0.31	40.43	33.84
	معتدلة	0.00	1.98	74.38	19.30
	مرتفعة	0.00	4.55	64.19	2.25
	عالية	0.00	5.10	64.07	0.75
	شديدة جداً	0.00	48.34	99.61	1.17

فصل الصيف	منخفضة جداً	0.42	2.40	54.52	111.87
	منخفضة	25.80	19.68	7.33	0.95
	معتدلة	0.00	0.00	0.00	0.00
	مرتفعة	0.00	0.00	0.00	0.00
	عالية	2.87	31.42	69.55	19.28
	شديدة جداً	10.62	91.95	17.04	7.56
فصل الخريف	منخفضة جداً	0.34	2.86	44.31	113.39
	منخفضة	0.00	0.00	0.00	0.00
	معتدلة	0.00	0.00	0.00	0.00
	مرتفعة	2.07	10.72	45.85	18.16
	عالية	58.75	119.54	54.26	2.95
	شديدة جداً	0.00	0.00	0.00	0.00

شكل (٥) خريطة الحرارية (Heatmap) للتوزيع المساحي للعلاقة بين الالبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة البصرة

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (٧).

الاستنتاجات:

١- أظهرت المرئيات الفضائية وتقنيات الاستشعار عن بعد دقة عالية في رصد الألبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية، حيث تمكن من كشف التباين المكاني والزماني بين المناطق المبنية والمفتوحة بسرعة وكفاءة، مما يعزز من موثوقية التحليل وفاعلية التخطيط الحضري للتخفيف من الحرارة.

٢- تشير التغيرات الموسمية لمؤشر الألبيدو (Albedo) السطحي بمدينة البصرة إلى استقرار إشعاعي خلال الشتاء والربيع مع سيادة القيم المتوسطة، مقابل اضطراب حراري في الصيف والخريف حيث تتزايد الفئات المنخفضة والعالية، ما يعكس تحولات واضحة في ميزان الطاقة السطحية ويشكل الأساس الفيزيائي لتباين شدة الجزيرة الحرارية الحضرية.

٣- أظهرت الدراسة، بالاعتماد على مؤشر حرارة سطح الأرض (LST)، أن فصل الصيف هو الأكثر حرارةً والأكثر استقراراً نسبياً في قيم درجات الحرارة، في حين تميز فصل الربيع بأوسع نطاق من تقلبات الحرارة. كما بينت النتائج أن فصل الخريف يمثل مرحلة انتقالية ذات حرارة معتدلة، بينما جاء فصل الشتاء كأبرد الفصول مع تقلبات محدودة في درجات الحرارة. وتعكس هذه التباينات الموسمية لحرارة سطح الأرض مؤشرات هامة لفهم التأثيرات البيئية والمناخية في مدينة البصرة.

٤- أظهر تطبيق معادلة الجزيرة الحرارية (UHI) في البصرة أن الفصول الباردة كالشتاء تتميز بقيم منخفضة وقلة الأصناف الشديدة، بينما تزداد القيم العالية في الربيع والصيف. يحتفظ الخريف بقيم مرتفعة بسبب حرارة الصيف المتبقية، ويعكس هذا التدرج تأثير العوامل المناخية والبشرية على توزيع الحرارة عبر الفصول.

٥- تظهر النتائج أن العلاقة بين الألبيدو السطحي وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة البصرة علاقة عكسية متغيرة موسمياً، حيث يكون تأثير الألبيدو واضحاً وقوياً في زيادة شدة الجزيرة الحرارية خلال الفصول الحارة (خصوصاً الصيف)، بينما يضعف تأثيره في الفصول الباردة (كالشتاء)، مما يشير إلى ضرورة مراعاة العوامل المناخية الموسمية والخصائص السطحية المتغيرة لفهم ديناميات الجزيرة الحرارية بشكل متكامل.

التوصيات:

١- توسيع فترة الدراسة لتشمل سنوات بعد ٢٠٢٥ لرصد التغيرات الزمنية وفهم الاتجاهات طويلة الأمد.

٢- استخدام بيانات استشعار عن بعد ذات دقة مكانية وزمانية عالية مثل Sentinel-2، Landsat 9، وMODIS، مع دمج البيانات الطيفية الحرارية.

٣- جمع بيانات ميدانية مباشرة (درجات حرارة وألبيدو) وربطها بمحطات الأرصاد الجوية لتحسين دقة النمذجة.

٤- إدخال متغيرات إضافية مثل نوعية الأرض، استخدامات الأرض، الكثافة السكانية، والعوامل المناخية (رطوبة، رياح) لتحليل أشمل.

٥- توظيف أدوات التحليل المكاني المتقدمة مثل GIS ونماذج الانحدار المكاني لتحسين تفسير العلاقة المكانية.

٦- تطوير نماذج محاكاة رقمية لحركة الحرارة المستقبلية وتأثير تغير الألبيدو على توزيع درجات الحرارة.

٧- ينصح بتوظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في تحليل البيانات الضخمة الناتجة عن الاستشعار عن بعد لتحديد الأنماط الدقيقة والعلاقات غير الخطية بين الألبيدو وشدة الجزيرة الحرارية.

المصادر :

١- يحيى، عبد الرحمن عبد الكريم ، نمذجة الخرائط الزمكانية للغطاء الثلجي للمحافظات "دهوك ، اربيل، السليمانية"، باستخدام التقنيات الرقمية الحديثة للمدة ٢٠٠٠ – ٢٠٢٢، اطروحة دكتوراه (غير منشورة)، قسم الجغرافية ، كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة تكريت، ٢٠٢٣، ص١٠٥.

٢- ابراهيم، سعد ثامر، النمذجة الخرائطية للجزيرة الحرارية في مدينة اربيل، اطروحة دكتوراه (غير منشورة)، كلية الآداب ، جامعة تكريت، ٢٠٢٥، ص١٧٧.

٣- نعمان، مروج طاهر، تطبيق تقنيات الجيوماتكس لدراسة التغيرات في الجزيرة الحرارية بمدينة كركوك لعام ٢٠٢٤ باستخدام مرئيات Landsat-8، مجلة كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة واسط، المجلد التاسع والخمسون، الجزء الاول، ٢٠٢٥.

4- Zhao-Liang Li , et al . Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. Remote Sensing of Environment, 131, 2013, p14–37.

5- Qihao Weng , Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies, Remote Sensing of Environment, Volume 89, Issue 4, 29 February 2004, P 467-483 .

6- Crystal B Schaaf , et al. First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. Remote Sensing of Environment, 83(1-2), 2002, P135–148.

7- Schaaf, C. B., & Wang, Z. ,MODIS BRDF/Albedo Products (MCD43) User Guide (Collection 6).NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). 2015.

8- Donglian Sun, and Menas Kafatos, Note on the NDVI-LST relationship and the use of temperature-related drought indices over North America, Geophysical Research Letters: Volume 34, Issue 24, 2007. https://doi.org/10.1029/2007GL031485

9- Elhadi K. Mustafa, et al, Study for Predicting Land Surface Temperature (LST) Using Landsat Data: A Comparison of Four Algorithms, Advances in Civil Engineering Articles, Volume 2020. https://doi.org/10.1155/2020/7363546

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