Journal Of the Iraqia University (77-2) 31 October (2026)

ISSN(Print): 1813-4521 OnLine ISSN:2663-7502
Journal Of the Iraqia University
available online at
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/247

نمذجة خرائط درجات حرارة سطح الارض في محافظة صلاح الدين باستخدام المرئيات الفضائية الليلية

م.د. مـــي عبد علي محمد
الكلية التربوية المفتوحة

Modelling of surface temperature maps in Salah al-Din Governorate using night-time satellite imagery

May abed ali mohammed
The open college of Education
May.samarra978@gmail.com

المستخلص:

هدفت هذه الدراسة إلى نمذجة خرائط درجات حرارة سطح الأرض في محافظة صلاح الدين باستخدام المرئيات الفضائية الليلية وتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، من أجل تحليل التباين المكاني للحرارة وفهم العلاقة بين النشاط البشري والتغيرات الحرارية. اعتمدت الدراسة على بيانات درجة حرارة سطح الأرض المستخرجة من مرئياتLandsat ، وبيانات الأضواء الليلية المستمدة من مستشعر VIIRS ، فضلاً عن استخدام مؤشري الغطاء النباتي (NDVI) والمناطق المبنية (NDBI) بوصفهما متغيرين داعمين في التحليل.أظهرت النتائج وجود تباين مكاني واضح في درجات حرارة سطح الأرض داخل محافظة صلاح الدين، حيث تركزت القيم الحرارية المرتفعة في المناطق الحضرية والصناعية، ولا سيما في مدن تكريت وبيجي وسامراء، في حين سجلت المناطق الزراعية والمجاورة لنهر دجلة درجات حرارة أقل نسبياً. كما كشفت الدراسة عن وجود علاقة ارتباط موجبة بين شدة الأضواء الليلية ودرجات حرارة سطح الأرض، مما يؤكد تأثير الأنشطة البشرية والتوسع العمراني في تشكيل الأنماط الحرارية المكانية.وأثبتت نتائج التحليل الإحصائي والنمذجة المكانية كفاءة استخدام بيانات الأضواء الليلية في تفسير التباين الحراري والتنبؤ بدرجات حرارة سطح الأرض، كما أظهرت أهمية الغطاء النباتي في خفض درجات الحرارة والحد من تأثير الجزر الحرارية الحضرية. وتؤكد الدراسة أهمية توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دعم التخطيط البيئي والحضري وتحقيق التنمية المستدامة في محافظة صلاح الدين.الكلمات المفتاحية:(درجة حرارة سطح الأرض، الأضواء الليلية، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية، محافظة صلاح الدين، الجزر الحرارية الحضرية)

Abstract:

This study aimed to model Land Surface Temperature (LST) maps in Salah Al-Din Governorate using nighttime satellite imagery, remote sensing techniques, and Geographic Information Systems (GIS) to analyze spatial thermal variations and investigate the relationship between human activities and thermal patterns. The study utilized Landsat-derived Land Surface Temperature data, VIIRS nighttime light imagery, and supporting environmental indicators, including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Built-up Index (NDBI).The results revealed significant spatial variation in land surface temperatures across Salah Al-Din Governorate. Higher temperature values were concentrated in urban and industrial areas, particularly in Tikrit, Baiji, and Samarra, while lower temperatures were observed in agricultural lands and areas adjacent to the Tigris River. The study also identified a positive correlation between nighttime light intensity and land surface temperature, highlighting the influence of urbanization and human activities on spatial thermal distribution.Statistical analysis and spatial modeling demonstrated the effectiveness of nighttime light data in explaining thermal variability and predicting land surface temperatures. Furthermore, vegetation cover was found to play a significant role in reducing surface temperatures and mitigating the effects of urban heat islands. The study emphasizes the importance of integrating remote sensing and GIS techniques in

environmental monitoring, urban planning, and sustainable development strategies within Salah Al-Din Governorate.**Keyword:**Land Surface Temperature (LST), Nighttime Lights, Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS), Salah Al-Din Governorate, Urban Heat Island

المقدمة:

شهد العالم خلال العقود الأخيرة تطورًا كبيرًا في تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، مما أتاح إمكانات واسعة لرصد الظواهر البيئية وتحليلها على المستويات المحلية والإقليمية والعالمية. وتعد درجة حرارة سطح الأرض (Land Surface Temperature – LST) من المؤشرات البيئية المهمة التي تعكس التفاعلات بين عناصر البيئة الطبيعية والبشرية، إذ تتأثر بالعوامل المناخية والغطاء النباتي واستعمالات الأرض والنشاط البشري. وقد ساهمت المرئيات الفضائية الحرارية في توفير بيانات مكانية وزمانية دقيقة تساعد الباحثين على فهم الأنماط الحرارية وتحديد مناطق التباين الحراري والجزر الحرارية الحضرية(Weng, 2009) وتُعد المرئيات الفضائية الليلية من المصادر الحديثة التي اكتسبت أهمية متزايدة في الدراسات الجغرافية والبيئية، إذ تُستخدم في تحليل التوسع الحضري والكثافة السكانية ومستويات النشاط الاقتصادي والبشري. وتوفر بيانات القمر الصناعي VIIRS إمكانية متابعة التغيرات المكانية لشدة الإضاءة الليلية بدقة مكانية وزمانية مناسبة، مما يجعلها أداة فعالة في دراسة العلاقة بين الأنشطة البشرية والتغيرات البيئية المختلفة.(Elvidge et al., 2017) وتبرز أهمية دراسة محافظة صلاح الدين بوصفها إحدى المحافظات العراقية التي تشهد تباينًا واضحًا في الخصائص الطبيعية والبشرية، حيث تضم مراكز حضرية كبيرة مثل تكريت وسامراء وبيجي، إلى جانب مساحات زراعية واسعة ومناطق صحراوية وشبه صحراوية. ويسهم هذا التنوع في إحداث اختلافات مكانية في درجات حرارة سطح الأرض يمكن تحليلها وربطها بمؤشرات النشاط البشري المستمدة من المرئيات الليلية، الأمر الذي يساعد في فهم الأنماط الحرارية للمحافظة وتحديد مناطق الجزر الحرارية ومراكز النشاط العمراني.

الدراسات السابقة :

أجرى Elvidge وآخرون (٢٠١٧) دراسة هدفت إلى تقييم كفاءة بيانات VIIRS في تمثيل الأنشطة البشرية، وتوصلت إلى أن البيانات الليلية توفر مؤشرات دقيقة للنمو الحضري والتوسع العمراني مقارنة بالبيانات التقليدية.وفي دراسة أجراها Peng وآخرون (٢٠١٢)، تم تحليل ظاهرة الجزر الحرارية في عدد من المدن العالمية باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد، وأظهرت النتائج وجود علاقة مباشرة بين الكثافة العمرانية وارتفاع درجات حرارة سطح الأرض.كما توصل Zhao وآخرون (٢٠١٨) إلى وجود ارتباط إحصائي قوي بين شدة الأضواء الليلية ودرجة حرارة سطح الأرض في المناطق الحضرية، مما يؤكد إمكانية استخدام المرئيات الليلية في تفسير الأنماط الحرارية والتنبؤ بها.وتتميز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة بتركيزها على محافظة صلاح الدين، فضلاً عن اعتمادها على دمج بيانات درجة حرارة سطح الأرض مع المرئيات الفضائية الليلية لبناء نموذج مكاني يفسر التباينات الحرارية داخل المحافظة.

الفصل الأول: الإطار العام للبحث

مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في وجود تباينات مكانية واضحة في درجات حرارة سطح الأرض داخل محافظة صلاح الدين، إلا أن طبيعة هذه التباينات وأسبابها ما زالت غير واضحة بصورة كافية، خصوصًا خلال الفترات الليلية التي تعكس بصورة مباشرة تأثير النشاط البشري والعمراني. كما أن الدراسات المحلية التي تناولت العلاقة بين درجات حرارة سطح الأرض والمرئيات الفضائية الليلية ما تزال محدودة، الأمر الذي يستدعي إجراء دراسة علمية تعتمد على بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحليل هذه العلاقة وبناء نماذج مكانية دقيقة توضح توزيع الحرارة في المحافظة.(Voogt & Oke, 2003) وانطلاقًا من ذلك يمكن صياغة مشكلة البحث بالسؤال الرئيس الآتي:ما طبيعة العلاقة بين درجات حرارة سطح الأرض والمرئيات الفضائية الليلية في محافظة صلاح الدين، وإلى أي مدى يمكن توظيف هذه العلاقة في نمذجة الخرائط الحرارية المكانية؟ويتفرع عن هذا السؤال عدد من التساؤلات الفرعية:

١- ما التوزيع المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض في محافظة صلاح الدين؟

٢- كيف تتباين شدة الأضواء الليلية بين أقضية المحافظة؟

٣- هل توجد علاقة ارتباط بين شدة الإضاءة الليلية وارتفاع درجات حرارة سطح الأرض؟

٤- ما المناطق الأكثر تعرضًا للجزر الحرارية الليلية؟

٥- ما مدى كفاءة النماذج المكانية في التنبؤ بدرجات حرارة سطح الأرض؟

أهمية البحث

تنبع أهمية البحث من أهمية موضوع درجة حرارة سطح الأرض بوصفه أحد المؤشرات البيئية الرئيسة المرتبطة بالتغيرات المناخية والأنشطة البشرية. كما تكمن أهمية الدراسة في اعتمادها على دمج بيانات المرئيات الحرارية مع المرئيات الفضائية الليلية، وهو اتجاه حديث في الدراسات الجغرافية والبيئية يسهم في تحسين فهم العلاقة بين النمو الحضري والتغيرات الحرارية(Zhao et al., 2018) وتبرز أهمية البحث التطبيقية من خلال إمكانية الاستفادة من نتائجه في دعم خطط التنمية الحضرية وإدارة الموارد الطبيعية وتحديد المناطق الأكثر تأثرًا بالحرارة، فضلاً عن توفير قاعدة بيانات مكانية يمكن أن تسهم في اتخاذ القرارات المتعلقة بالتخطيط البيئي والحد من الآثار السلبية للجزر الحرارية الحضرية.

أهداف البحث

يسعى البحث إلى تحقيق الأهداف الآتية:

١. إعداد خرائط مكانية لدرجات حرارة سطح الأرض في محافظة صلاح الدين.

٢. تحليل التباين المكاني لدرجات الحرارة بين الوحدات الإدارية المختلفة.

٣. استخراج وتحليل بيانات الأضواء الليلية باستخدام مرئيات.VIIRS

٤. دراسة العلاقة الإحصائية والمكانية بين درجات حرارة سطح الأرض وشدة الإضاءة الليلية.

٥. بناء نموذج مكاني للتنبؤ بدرجات حرارة سطح الأرض.

٦. تحديد مناطق الجزر الحرارية الليلية داخل المحافظة.

٧. تقديم توصيات علمية تساعد في التخطيط البيئي المستدام.

فرضيات البحث

يعتمد البحث على الفرضيات الآتية:

١. توجد علاقة ارتباط موجبة بين شدة الأضواء الليلية وارتفاع درجات حرارة سطح الأرض.

٢. ترتفع درجات حرارة سطح الأرض في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الزراعية.

٣. يؤثر التوسع العمراني في زيادة شدة الجزر الحرارية داخل المحافظة.

٤. يمكن بناء نموذج مكاني ذي دقة مقبولة للتنبؤ بدرجات حرارة سطح الأرض اعتمادًا على بيانات الأضواء الليلية والمؤشرات البيئية.

حدود البحث

أولاً: الحدود المكانية

تتمثل في محافظة صلاح الدين الواقعة في الجزء الأوسط من العراق، والتي تضم عددًا من الأقضية الرئيسة مثل تكريت وسامراء وبيجي والدور وبلد والشرقاط وطوزخورماتو.

ثانياً: الحدود الزمانية

تشمل المدة الزمنية الممتدة بين عامي ٢٠١٣–٢٠٢٤، اعتمادًا على توفر بيانات المرئيات الفضائية الليلية والحرارية خلال هذه الفترة.

ثالثاً: الحدود الموضوعية

تقتصر الدراسة على نمذجة وتحليل درجات حرارة سطح الأرض وربطها بالمرئيات الفضائية الليلية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

منهجية البحث

يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي والمنهج الكمي المكاني، وذلك من خلال توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحليل البيانات الحرارية والليلية. كما سيتم استخدام الأساليب الإحصائية المكانية، ومنها معامل الارتباط والانحدار الخطي والتحليل المكاني، بهدف تفسير العلاقة بين درجات حرارة سطح الأرض والأضواء الليلية وبناء نماذج تنبؤية دقيقة.(Jensen, 2016)

هيكلية البحث

يتكون البحث من خمسة فصول رئيسة، يتناول الفصل الأول الإطار العام للبحث، بينما يتناول الفصل الثاني الأسس النظرية المتعلقة بدرجات حرارة سطح الأرض والمرئيات الفضائية الليلية. ويختص الفصل الثالث بدراسة منطقة البحث والبيانات المستخدمة، أما الفصل الرابع فيعرض منهجية المعالجة الرقمية والنمذجة المكانية، في حين يركز الفصل الخامس على عرض النتائج وتحليلها واستخلاص الاستنتاجات والتوصيات.

الفصل الثاني: الإطار النظري

مفهوم درجة حرارة سطح الأرض(Land Surface Temperature)

تُعد درجة حرارة سطح الأرض (LST) من أهم المتغيرات البيئية التي تعبر عن حالة التوازن الحراري بين سطح الأرض والغلاف الجوي، وتمثل درجة السخونة أو البرودة الفعلية للسطح الناتجة عن امتصاص وإشعاع الطاقة الشمسية. وتختلف درجة حرارة سطح الأرض عن درجة حرارة الهواء المقاسة في المحطات المناخية، إذ تعكس الخصائص الفيزيائية للسطح مثل الغطاء النباتي والرطوبة ونوع التربة والكثافة العمرانية. وتُستخدم درجة حرارة سطح الأرض في دراسة التغيرات المناخية والتصحر والجزر الحرارية الحضرية ومراقبة الموارد الطبيعية.(Weng, 2009) وقد أسهم التطور الكبير في تقنيات الاستشعار عن بعد في توفير إمكانات واسعة لقياس درجة حرارة سطح الأرض من خلال المستشعرات الحرارية المحمولة على الأقمار الصناعية. وتتميز هذه البيانات بإمكانية تغطية مساحات واسعة وبشكل دوري، مما يجعلها أكثر كفاءة من القياسات الأرضية التقليدية عند دراسة الأنماط المكانية والزمانية للحرارة.(Jensen, 2016)

أهمية دراسة درجة حرارة سطح الأرض

تمثل درجة حرارة سطح الأرض مؤشرًا مهمًا لفهم التفاعلات البيئية بين الأنشطة البشرية والعناصر الطبيعية، إذ ترتبط بصورة مباشرة بالتغيرات في استعمالات الأرض والغطاء النباتي والتوسع العمراني. كما تساعد في تحديد مناطق الإجهاد الحراري والجزر الحرارية الحضرية التي تنشأ نتيجة زيادة الكثافة العمرانية وانخفاض المساحات الخضراء.(Voogt & Oke, 2003) وتكمن أهمية دراسة درجات حرارة سطح الأرض في دورها في دعم التخطيط الحضري والبيئي، إذ يمكن الاستفادة من نتائجها في تحسين توزيع الخدمات والبنى التحتية وتطوير استراتيجيات التكيف مع التغيرات المناخية وتقليل المخاطر البيئية الناتجة عن ارتفاع درجات الحرارة، خاصة في المناطق الحضرية ذات الكثافة السكانية المرتفعة (Arnfield, 2003)

المرئيات الفضائية الحرارية المستخدمة في دراسة درجة حرارة سطح الأرض

تعتمد الدراسات الحديثة على عدد من الأقمار الصناعية لاستخراج درجة حرارة سطح الأرض، ومن أبرزها سلسلة أقمار Landsat التي توفر بيانات حرارية بدقة مكانية مرتفعة نسبيًا تصل إلى ١٠٠ متر في الحزمة الحرارية، بالإضافة إلى منتجات MODIS التي توفر بيانات حرارية دورية تغطي مساحات واسعة من سطح الأرض.(USGS, 2023) وتتميز مرئيات Landsat بإمكانية تحليل التغيرات الحرارية على المستوى المحلي والإقليمي، في حين تتميز بيانات MODIS بقدرتها على توفير سجلات زمنية طويلة تسمح بدراسة التغيرات الموسمية والسنوية لدرجة حرارة سطح الأرض. وقد أدى الجمع بين هذه البيانات إلى تحسين دقة التحليلات الحرارية المكانية في العديد من الدراسات البيئية والحضرية (NASA, 2023).

المرئيات الفضائية الليلية(Nighttime Lights)

تشير المرئيات الفضائية الليلية إلى الصور الملتقطة لسطح الأرض خلال ساعات الليل باستخدام مستشعرات قادرة على تسجيل الإضاءة الاصطناعية المنبعثة من المدن والمراكز السكانية والمنشآت الاقتصادية. وقد أصبحت هذه المرئيات من الأدوات المهمة في دراسة الأنشطة البشرية والتوسع العمراني والتوزيع السكاني والنمو الاقتصادي.(Elvidge et al., 2017) وتعد بيانات القمر الصناعي VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)من أكثر مصادر الأضواء الليلية استخدامًا في الوقت الحاضر، نظرًا لما تتميز به من دقة مكانية وإشعاعية عالية مقارنة بالأنظمة السابقة. كما تتيح إمكانية متابعة التغيرات المكانية والزمانية للأنشطة البشرية بصورة مستمرة، الأمر الذي يجعلها أداة فعالة في الدراسات الجغرافية والبيئية.(Levin & Duke, 2012)

الخصائص العلمية لبياناتVIIRS

توفر بيانات VIIRS معلومات رقمية تمثل شدة الإضاءة الليلية المنبعثة من الأنشطة البشرية، ويمكن استخدامها في تحليل النمو الحضري والتوسع العمراني والكثافة السكانية. كما تسمح بتحديد المناطق الصناعية والتجارية والسكنية من خلال التباين في مستويات الإضاءة المسجلة (Elvidge et al., 2017).وقد أثبتت العديد من الدراسات أن بيانات VIIRS تتمتع بقدرة عالية على تمثيل النشاط البشري مقارنة بالبيانات التقليدية، الأمر

الذي جعلها تُستخدم على نطاق واسع في الدراسات المتعلقة بالنمو الحضري والتخطيط الإقليمي وتحليل الأنشطة الاقتصادية والبيئية (Zhao et al., 2018).

العلاقة بين الأضواء الليلية ودرجة حرارة سطح الأرض

تشير الأدبيات العلمية إلى وجود علاقة قوية بين شدة الأضواء الليلية وارتفاع درجات حرارة سطح الأرض، حيث ترتبط المناطق ذات الإضاءة المرتفعة عادةً بمستويات عالية من النشاط البشري والعمراني. وتتميز هذه المناطق بانتشار المباني والطرق والأسطح الإسفلتية التي تعمل على امتصاص الطاقة الحرارية وإطلاقها تدريجيًا خلال الليل، مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة مقارنة بالمناطق الريفية أو الزراعية (Peng et al., 2012).

كما أظهرت العديد من الدراسات أن التوسع الحضري يؤدي إلى زيادة شدة الإضاءة الليلية بالتزامن مع ارتفاع درجات حرارة سطح الأرض، الأمر الذي يجعل من المرئيات الليلية مؤشرًا مهمًا لتفسير التباينات الحرارية المكانية في المدن والمناطق الحضرية.(Zhou et al., 2014)

الجزر الحرارية الحضرية(Urban Heat Island)

تُعرف الجزر الحرارية الحضرية بأنها ظاهرة ارتفاع درجات الحرارة في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة بها نتيجة للأنشطة البشرية والكثافة العمرانية. وتنتج هذه الظاهرة عن استبدال الغطاء النباتي بالمنشآت العمرانية والطرق والأسطح الخرسانية التي تمتلك قدرة عالية على امتصاص الحرارة وتخزينها.(Oke, 1982) وتُعد الجزر الحرارية من أبرز المشكلات البيئية المرتبطة بالنمو الحضري السريع، إذ تؤثر في استهلاك الطاقة وصحة السكان وجودة البيئة الحضرية. ولهذا السبب أصبحت دراسة الجزر الحرارية باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد من المجالات البحثية المهمة في الجغرافية البيئية والمناخ الحضري.(Arnfield, 2003)

دور نظم المعلومات الجغرافية في النمذجة الحرارية

تُعد نظم المعلومات الجغرافية (GIS) أداة رئيسة في معالجة وتحليل البيانات الحرارية المستخرجة من المرئيات الفضائية، إذ تتيح إمكانية إنشاء قواعد بيانات مكانية وإجراء التحليلات الإحصائية والمكانية وإنتاج الخرائط الموضوعية التي تساعد في تفسير الأنماط الحرارية (Longley et al., 2015). كما تسمح نظم المعلومات الجغرافية بدمج طبقات البيانات المختلفة مثل درجة حرارة سطح الأرض والأضواء الليلية والغطاء النباتي واستعمالات الأرض ضمن بيئة تحليلية واحدة، الأمر الذي يسهم في بناء نماذج مكانية دقيقة للتنبؤ بالتغيرات الحرارية وتحديد مناطق الخطورة البيئية.

الفصل الثالث: منطقة الدراسة والبيانات المستخدمة

الموقع الجغرافي لمحافظة صلاح الدين

تُعد محافظة صلاح الدين إحدى المحافظات المهمة في العراق من الناحيتين الجغرافية والاستراتيجية، إذ تقع في الجزء الأوسط من البلاد بين دائرتي عرض (٣٣° ٠٠′–٣٥° ٠٠′) شمالاً وخطي طول (٤٢° ٣٠′–٤٤° ٣٠′) شرقاً تقريباً. وتشكل حلقة وصل بين المحافظات الشمالية والوسطى، مما منحها أهمية اقتصادية وعمرانية كبيرة. ويحدها من الشمال محافظة كركوك، ومن الشمال الغربي محافظة نينوى، ومن الشرق محافظة السليمانية وديالى، ومن الجنوب محافظة بغداد، ومن الغرب محافظة الأنبار.وتبلغ مساحة محافظة صلاح الدين نحو (٢٤,٧٥١) كم^2، مما يجعلها من المحافظات واسعة المساحة في العراق. وتضم عدداً من الوحدات الإدارية المهمة مثل تكريت وسامراء وبيجي والدور وبلد والشرقاط وطوزخورماتو، فضلاً عن العديد من النواحي والمراكز السكانية التي تختلف في خصائصها الطبيعية والبشرية، الأمر الذي ينعكس على التباين المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض داخل المحافظة (الجهاز المركزي للإحصاء، ٢٠٢٣).

الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

أولاً: التضاريس

تتميز محافظة صلاح الدين بتنوع مظاهر سطح الأرض، إذ تضم السهول الرسوبية الممتدة على جانبي نهر دجلة، فضلاً عن المناطق المتموجة والهضاب الواقعة في الأجزاء الغربية والشمالية الغربية. وتعد السهول الفيضية من أكثر المناطق ملاءمة للاستقرار البشري والنشاط الزراعي، في حين تسود المظاهر الصحراوية وشبه الصحراوية في أجزاء واسعة من غرب المحافظة (الجبوري، ٢٠١٩)وتؤثر الخصائص التضاريسية بصورة

مباشرة في التوزيع المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض، إذ ترتفع درجات الحرارة في المناطق المكشوفة قليلة الغطاء النباتي، بينما تنخفض نسبياً في المناطق الزراعية والقريبة من المجاري المائية نتيجة زيادة الرطوبة والتبخر.

ثانياً: المناخ

تقع محافظة صلاح الدين ضمن الإقليم المناخي الجاف وشبه الجاف الذي يتميز بارتفاع درجات الحرارة صيفاً وانخفاضها شتاءً مع تباين حراري واضح بين الليل والنهار. وتتجاوز درجات الحرارة العظمى خلال أشهر الصيف (٤٥°م) في بعض المناطق، بينما تنخفض خلال فصل الشتاء إلى أقل من (١٠°م) في بعض الأيام (الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، ٢٠٢٣)وتعد العناصر المناخية من أهم العوامل المؤثرة في درجة حرارة سطح الأرض، إذ تؤثر الإشعاعات الشمسية والرطوبة والرياح والغطاء السحابي في كمية الطاقة الحرارية الممتصة أو المنعكسة من سطح الأرض.

ثالثاً: الموارد المائية

يمثل نهر دجلة المورد المائي الرئيس في محافظة صلاح الدين، حيث يخترق المحافظة من الشمال إلى الجنوب ماراً بعدد من المدن الرئيسة مثل سامراء وتكريت وبيجي. ويسهم النهر في تكوين بيئات زراعية ومناطق خضراء تتميز بدرجات حرارة أقل مقارنة بالمناطق الصحراوية المحيطة (وزارة الموارد المائية العراقية، ٢٠٢٢).كما تؤدي المسطحات المائية دوراً مهماً في تعديل درجات الحرارة المحلية نتيجة عمليات التبخر وزيادة الرطوبة النسبية، الأمر الذي ينعكس على الأنماط الحرارية المكانية التي تسجلها الأقمار الصناعية.

الخصائص البشرية لمنطقة الدراسة

أولاً: السكان

تشهد محافظة صلاح الدين تركزاً سكانياً في المدن الرئيسة الواقعة على امتداد نهر دجلة، ولا سيما تكريت وسامراء وبلد وبيجي. وقد أسهم النمو السكاني والتوسع الحضري خلال العقود الأخيرة في زيادة المساحات العمرانية على حساب الأراضي الزراعية والمفتوحة، الأمر الذي أدى إلى تغيرات واضحة في الخصائص الحرارية للسطح (الجهاز المركزي للإحصاء، ٢٠٢٣)وتُعد الكثافة السكانية أحد العوامل المهمة المرتبطة بارتفاع شدة الأضواء الليلية ودرجات حرارة سطح الأرض، بسبب زيادة الأنشطة الاقتصادية واستهلاك الطاقة وتركز المنشآت العمرانية.

ثانياً: استعمالات الأرض

تتنوع استعمالات الأرض في محافظة صلاح الدين بين الاستعمالات الحضرية والزراعية والصناعية والمناطق المفتوحة. وتتركز الأراضي الزراعية على طول نهر دجلة وفروعه، بينما تنتشر الاستعمالات الحضرية في مراكز المدن الرئيسة. أما المناطق الغربية والشمالية الغربية فتغلب عليها الأراضي الصحراوية وشبه الصحراوية (وزارة التخطيط العراقية، ٢٠٢٢)ويؤدي هذا التنوع في استعمالات الأرض إلى تباين واضح في درجات حرارة سطح الأرض، إذ تسجل المناطق الحضرية والصناعية درجات حرارة أعلى مقارنة بالمناطق الزراعية ذات الغطاء النباتي الكثيف.

البيانات الفضائية المستخدمة في الدراسة

تعتمد الدراسة على مجموعة من البيانات الفضائية الحديثة التي تتيح إمكانية تحليل درجات حرارة سطح الأرض وربطها بالمرئيات الليلية. وتتمثل أهم هذه البيانات في مرئيات Landsat 8 و Landsat 9الحرارية التي توفر معلومات دقيقة عن الخصائص الحرارية للسطح، إضافة إلى بيانات MODISالمستخدمة في التحليل الزمني طويل المدى.(USGS, 2023) كما تعتمد الدراسة على بيانات الأضواء الليلية المستمدة من مستشعر

VIIRSالتابع للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي(NOAA) ، والتي توفر قياسات دقيقة لشدة الإضاءة الليلية الناتجة عن الأنشطة البشرية والعمرانية.(Elvidge et al., 2017)

المؤشرات المستخدمة في الدراسة

اعتمدت الدراسة على عدد من المؤشرات الطيفية والبيئية التي تساعد في تفسير التباينات الحرارية المكانية، ومن أبرزها:

-1مؤشر الغطاء النباتي(NDVI)

يُستخدم مؤشر NDVI لقياس كثافة الغطاء النباتي وصحته، ويُعد من أكثر المؤشرات استعمالاً في الدراسات البيئية. وترتبط قيمه المرتفعة عادة بانخفاض درجات حرارة سطح الأرض نتيجة زيادة عمليات التبخر والنتح.(Jensen, 2016)

-2مؤشر المناطق المبنية(NDBI)

يُستخدم مؤشر NDBI لتحديد المناطق العمرانية والمبنية، وتُظهر الدراسات وجود علاقة موجبة بين قيم المؤشر وارتفاع درجات حرارة سطح الأرض بسبب قدرة المواد البنائية على امتصاص الحرارة وتخزينها.(Zha et al., 2003)

-3مؤشر الأضواء الليلية(NTL)

يمثل مؤشر NTL شدة الإضاءة الليلية المسجلة بواسطة مستشعرVIIRS ، ويُستخدم كمؤشر غير مباشر للكثافة السكانية والنشاط الاقتصادي والتوسع الحضري، فضلاً عن دوره في تفسير التوزيع المكاني للحرارة.(Elvidge et al., 2017)

برامج المعالجة والتحليل

اعتمدت الدراسة على مجموعة من البرامج والتطبيقات الحديثة في معالجة البيانات الفضائية وتحليلها، ومن أهمها:

١. Google Earth Engineلاستخراج ومعالجة البيانات الفضائية.
٢. ArcGIS Proلإجراء التحليل المكاني وإنتاج الخرائط.
٣. QGISفي عمليات العرض والتحليل المكاني.
٤. Microsoft Excelو SPSSللتحليل الإحصائي.
٥. Pythonفي بناء النماذج التنبؤية وتحليل البيانات.

قاعدة البيانات المكانية للدراسة

تم إنشاء قاعدة بيانات مكانية متكاملة تضم جميع الطبقات الجغرافية اللازمة للدراسة، وتشمل حدود المحافظة، الوحدات الإدارية، شبكات الطرق، المجاري المائية، استعمالات الأرض، مؤشرات الغطاء النباتي، بيانات الأضواء الليلية، وخرائط درجات حرارة سطح الأرض. وقد جرى توحيد نظام الإحداثيات ومعالجة البيانات لضمان دقة التحليل المكاني والنتائج النهائية.

الفصل الرابع: المعالجة الرقمية للمرئيات الفضائية والنمذجة المكانية لدرجات حرارة سطح الأرض

تمهيد

يُعد هذا الفصل الجانب التطبيقي الرئيس في الدراسة، إذ يتناول الإجراءات العلمية والفنية المستخدمة في معالجة المرئيات الفضائية واستخراج درجات حرارة سطح الأرض، فضلاً عن تحليل بيانات الأضواء الليلية وبناء النماذج المكانية التي تفسر العلاقة بين المتغيرات المدروسة. وتعتمد هذه الإجراءات على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية التي أصبحت من أهم الأدوات المستخدمة في الدراسات البيئية والمناخية الحديثة.(Jensen, 2016) وقد جرى تنفيذ مراحل المعالجة الرقمية باستخدام مجموعة من البرمجيات المتخصصة مثل Google Earth

Engineو ArcGIS Proو QGIS، بهدف إنتاج قاعدة بيانات مكانية متكاملة تسمح بتحليل الأنماط الحرارية وتحديد المناطق الأكثر تأثراً بظاهرة الجزر الحرارية في محافظة صلاح الدين.

إعداد قاعدة البيانات المكانية

بدأت الدراسة بإنشاء قاعدة بيانات مكانية موحدة تضم جميع الطبقات الجغرافية اللازمة للتحليل. وشملت هذه الطبقات حدود محافظة صلاح الدين والوحدات الإدارية وشبكة الطرق والمجاري المائية واستعمالات الأرض والغطاء النباتي وبيانات الأضواء الليلية ودرجات حرارة سطح الأرض.

وقد جرى توحيد جميع البيانات ضمن نظام إحداثيات موحد (WGS84 / UTM Zone 38N) لضمان التوافق المكاني بين مختلف الطبقات المستخدمة في الدراسة، فضلاً عن تنفيذ عمليات التصحيح الهندسي وإزالة الأخطاء المكانية المحتملة.(Longley et al., 2015)

الحصول على المرئيات الفضائية

اعتمدت الدراسة على مرئيات Landsat 8 و Landsat 9 Collection 2 Level-2بوصفها المصدر الرئيس لاستخراج درجات حرارة سطح الأرض، وذلك لما تتميز به من دقة مكانية مناسبة تبلغ (٣٠ مترًا) للحزم الطيفية و(١٠٠ متر) للحزمة الحرارية. كما تم الاستعانة ببيانات MODISعند الحاجة إلى التحليل الزمني طويل المدى.(USGS, 2023) أما بيانات الأضواء الليلية فقد تم الحصول عليها من قاعدة بيانات

VIIRS Day/Night Bandالتابعة للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي(NOAA) ، والتي توفر معلومات شهرية وسنوية عن شدة الإضاءة الليلية المرتبطة بالأنشطة البشرية والعمرانية.(Elvidge et al., 2017)

المعالجة الأولية للمرئيات الفضائية

تضمنت مرحلة المعالجة الأولية تنفيذ مجموعة من الإجراءات الضرورية لتحسين جودة البيانات قبل الشروع في عمليات التحليل، ومن أهمها:

١. إزالة المرئيات ذات الغطاء السحابي المرتفع.

٢. تصحيح القيم الرقمية للمرئيات.

٣. قص المرئيات ضمن حدود محافظة صلاح الدين.

٤. توحيد الدقة المكانية لجميع الطبقات.

٥. تحويل البيانات إلى الصيغ المناسبة للتحليل المكاني.

وتُعد هذه المرحلة ضرورية لضمان دقة النتائج وتقليل الأخطاء الناتجة عن التشويش أو الاختلافات الإشعاعية بين المرئيات.(Jensen, 2016)

استخراج درجة حرارة سطح الأرض(LST)

تُعد درجة حرارة سطح الأرض المتغير الرئيس في الدراسة، وقد تم استخراجها من الحزم الحرارية لمرئيات Landsat باستخدام المعادلات المعتمدة من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية.(USGS)

وتتضمن عملية الاستخراج عدة مراحل تبدأ بتحويل القيم الرقمية (DN) إلى الإشعاع الطيفي(Spectral Radiance) ، ثم حساب درجة حرارة السطوع(Brightness Temperature) ، وبعد ذلك تطبيق معامل

الانبعاثية السطحية (Surface Emissivity) للوصول إلى درجة حرارة سطح الأرض الفعلية.(Weng, 2009)

وتُحسب درجة حرارة سطح الأرض وفق المعادلة الآتية:

$$LST=\frac{BT}{1+\left(\frac{\lambda BT}{\rho}\right)\ln(\varepsilon)}$$

حيث:

- LST = درجة حرارة سطح الأرض.
- BT = درجة حرارة السطوع.
- λ = الطول الموجي للحزمة الحرارية.
- ε = الانبعاثية السطحية.
- ρ = ثابت إشعاعي.

وقد تم تحويل النتائج النهائية إلى الدرجة المئوية (°C) بهدف تسهيل تفسير الأنماط الحرارية داخل منطقة الدراسة.

حساب مؤشر الغطاء النباتي(NDVI)

استُخدم مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) لتحديد كثافة الغطاء النباتي في المحافظة، لما له من دور مهم في تفسير التباين الحراري المكاني.ويُحسب المؤشر وفق المعادلة التالية:

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

وتشير القيم المرتفعة للمؤشر إلى كثافة نباتية عالية، في حين تدل القيم المنخفضة أو السالبة على المناطق العمرانية أو الصحراوية أو المسطحات المائية.(Jensen, 2016)

حساب مؤشر المناطق المبنية(NDBI)

استُخدم مؤشر NDBI للكشف عن المناطق الحضرية والمبنية داخل المحافظة، حيث يمثل أحد أهم المؤشرات المستخدمة في دراسات التوسع الحضري والجزر الحرارية.

ويُحسب المؤشر وفق المعادلة الآتية:

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

وتشير القيم المرتفعة للمؤشر إلى زيادة الكثافة العمرانية، بينما ترتبط القيم المنخفضة بالمناطق الزراعية أو الطبيعية.(Zha et al., 2003)

معالجة بيانات الأضواء الليلية(VIIRS)

تم تحميل بيانات الأضواء الليلية السنوية والشهرية من منصةGoogle Earth Engine ، ومن ثم إجراء عمليات المعالجة المكانية اللازمة لاستخراج متوسط شدة الإضاءة داخل محافظة صلاح الدين.

وقد شملت هذه العمليات إزالة القيم الشاذة وتصحيح الضوضاء الناتجة عن الحرائق أو الانعكاسات المؤقتة، فضلاً عن حساب متوسط الإضاءة لكل وحدة إدارية بهدف المقارنة المكانية بين مناطق المحافظة.(Elvidge et al., 2017)

التحليل الإحصائي للعلاقة بين المتغيرات

اعتمدت الدراسة على عدد من الأساليب الإحصائية لقياس العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض والأضواء الليلية والمتغيرات البيئية الأخرى.

أولاً: معامل ارتباط بيرسون

استُخدم معامل ارتباط بيرسون لقياس قوة واتجاه العلاقة بين المتغيرات.

$$r=\frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2\sum (y-\bar{y})^2}}$$

وتشير القيم الموجبة إلى علاقة طردية، في حين تشير القيم السالبة إلى علاقة عكسية بين المتغيرات.

ثانياً: الانحدار الخطي المتعدد

استُخدم نموذج الانحدار الخطي المتعدد لتحديد تأثير المتغيرات المستقلة في درجة حرارة سطح الأرض.

$$LST=\beta_0+\beta_1(NTL)+\beta_2(NDVI)+\beta_3(NDBI)+\varepsilon$$

حيث يمثل:

- NTL = الأضواء الليلية.
- NDVI = الغطاء النباتي.
- NDBI = المناطق المبنية.

النمذجة المكانية

اعتمدت الدراسة على تقنيات النمذجة المكانية لبناء خرائط تنبؤية لدرجات حرارة سطح الأرض داخل محافظة صلاح الدين. وتم استخدام أساليب التحليل المكاني والإحصائي لتقدير القيم الحرارية في المناطق المختلفة وربطها بمؤشرات النشاط البشري.

كما تم توظيف تقنيات التعلم الآلي مثل Random Forest بهدف تحسين دقة النماذج التنبؤية، حيث أثبتت الدراسات الحديثة كفاءتها العالية في معالجة البيانات البيئية متعددة المتغيرات.(Belgiu & Drăguţ, 2016)

إنتاج الخرائط النهائية

أسفرت عمليات المعالجة والتحليل عن إنتاج مجموعة من الخرائط الموضوعية، شملت:

١. خريطة درجات حرارة سطح الأرض.

٢. خريطة الأضواء الليلية.

٣. خريطة مؤشر الغطاء النباتي.NDVI

٤. خريطة مؤشر المناطق المبنية.NDBI

٥. خريطة الجزر الحرارية.

٦. خريطة النموذج التنبئي لدرجات الحرارة.

وقد تم إخراج الخرائط وفق المعايير الكارتوغرافية المعتمدة بما يضمن وضوح النتائج وإمكانية الاستفادة منها في الدراسات التطبيقية والتخطيطية.

خلاصة الفصل

تناول هذا الفصل الإجراءات التطبيقية الخاصة بمعالجة المرئيات الفضائية واستخراج درجة حرارة سطح الأرض وتحليل بيانات الأضواء الليلية والمؤشرات البيئية المساندة. كما عرض الأساليب الإحصائية والمكانية المستخدمة في بناء النماذج التنبؤية، والتي تمثل الأساس العلمي الذي ستعتمد عليه الدراسة في الفصل الخامس الخاص بعرض النتائج وتحليلها ومناقشتها.

الفصل الخامس: نتائج الدراسة وتحليلها ومناقشتها

تمهيد

يمثل هذا الفصل المرحلة النهائية من الجانب التطبيقي للبحث، إذ يتناول عرض نتائج تحليل المرئيات الفضائية الحرارية والليلية الخاصة بمحافظة صلاح الدين، وتفسير الأنماط المكانية لدرجات حرارة سطح الأرض، فضلاً عن دراسة العلاقة بين الحرارة السطحية والأضواء الليلية ومؤشرات الغطاء النباتي والمناطق المبنية. كما يتضمن الفصل مناقشة النتائج في ضوء الدراسات السابقة واختبار فرضيات البحث.

وقد اعتمدت الدراسة على البيانات المستخرجة من مرئيات Landsat وVIIRS، إضافة إلى مؤشري NDVI وNDBI، بهدف تفسير التباين المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض داخل محافظة صلاح الدين وتحديد مناطق الجزر الحرارية الحضرية.(Weng, 2009)

التوزيع المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض

أظهرت نتائج التحليل الحراري وجود تباين مكاني واضح في درجات حرارة سطح الأرض داخل محافظة صلاح الدين، حيث سجلت المناطق الحضرية والصناعية أعلى القيم الحرارية مقارنة بالمناطق الزراعية والمائية. وقد تركزت أعلى درجات الحرارة في مراكز المدن الرئيسة مثل تكريت وبيجي وسامراء، نتيجة

الكثافة العمرانية وارتفاع نسبة الأسطح الخرسانية والإسفلتية التي تمتلك قدرة عالية على امتصاص الطاقة الحرارية وتخزينها (Voogt & Oke, 2003).

في المقابل، سجلت المناطق الزراعية الواقعة على امتداد نهر دجلة درجات حرارة أقل نسبيًا، ويُعزى ذلك إلى كثافة الغطاء النباتي وارتفاع معدلات التبخر والنتح التي تسهم في خفض درجة حرارة السطح. كما لوحظ انخفاض واضح في درجات الحرارة بالقرب من المجاري المائية مقارنة بالمناطق البعيدة عنها.

وتبين الخرائط الحرارية أن التدرج الحراري يتجه من المناطق الحضرية باتجاه المناطق الريفية والزراعية، الأمر الذي يؤكد التأثير المباشر لاستعمالات الأرض في تشكيل الأنماط الحرارية داخل المحافظة.

تحليل الأضواء الليلية في محافظة صلاح الدين

أظهرت نتائج تحليل بيانات VIIRS تركز القيم المرتفعة للأضواء الليلية في المدن الرئيسة ومراكز النشاط الاقتصادي، ولا سيما في تكريت وسامراء وبيجي. وتُعد هذه المناطق أكثر كثافة من حيث السكان والخدمات

والبنية التحتية، مما يفسر ارتفاع شدة الإضاءة الليلية فيها مقارنة بالمناطق الريفية والصحراوية.(Elvidge et al., 2017) كما بينت الخرائط المكانية وجود انخفاض تدريجي في شدة الإضاءة كلما ابتعدنا عن المراكز الحضرية، حيث سجلت المناطق الزراعية والصحراوية قيمًا منخفضة جدًا من الإضاءة الليلية. ويعكس هذا التباين اختلاف مستويات النشاط البشري والاقتصادي بين أجزاء المحافظة.

وقد أظهرت النتائج أن توزيع الأضواء الليلية يتوافق بدرجة كبيرة مع التوزيع المكاني للتجمعات السكانية وشبكات الطرق الرئيسة، مما يؤكد كفاءة بيانات VIIRS في تمثيل النشاط البشري والعمراني.

العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض والأضواء الليلية

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود علاقة ارتباط موجبة بين درجة حرارة سطح الأرض وشدة الأضواء الليلية، إذ تبين أن المناطق التي تسجل مستويات مرتفعة من الإضاءة الليلية تسجل في الوقت نفسه درجات حرارة أعلى مقارنة بالمناطق ذات الإضاءة المنخفضة.

وقد بلغ معامل الارتباط بين المتغيرين قيمة مرتفعة إحصائياً، مما يدل على وجود علاقة قوية بين النشاط البشري والعمراني وبين ارتفاع درجات حرارة سطح الأرض. وتنسجم هذه النتيجة مع ما توصلت إليه العديد من الدراسات العالمية التي أكدت أن التوسع الحضري وزيادة استهلاك الطاقة يؤديان إلى تعزيز ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية.(Peng et al., 2012)

وتشير النتائج إلى أن بيانات الأضواء الليلية يمكن أن تمثل مؤشراً فعالاً للتنبؤ بالتوزيع المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض، خاصة في المناطق التي تشهد توسعاً عمرانياً متسارعاً.

العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض والغطاء النباتي

أظهرت نتائج التحليل وجود علاقة عكسية بين درجات حرارة سطح الأرض ومؤشر الغطاء النباتيNDVI ، حيث انخفضت درجات الحرارة في المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف مقارنة بالمناطق قليلة الغطاء النباتي.

ويعود ذلك إلى دور النباتات في تقليل امتصاص الحرارة وزيادة معدلات التبخر والنتح، مما يسهم في تحسين الظروف المناخية المحلية وخفض درجات حرارة السطح.(Jensen, 2016)

وقد سجلت الأراضي الزراعية الواقعة على جانبي نهر دجلة أعلى قيم لمؤشر NDVI وأدنى قيم لدرجة حرارة سطح الأرض، وهو ما يؤكد أهمية الغطاء النباتي في الحد من التأثيرات الحرارية الناتجة عن النشاط البشري.

العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض والمناطق المبنية

بينت نتائج الدراسة وجود علاقة طردية واضحة بين درجة حرارة سطح الأرض ومؤشر المناطق المبنيةNDBI ، حيث سجلت المناطق العمرانية والصناعية أعلى القيم الحرارية.

وتعكس هذه النتيجة تأثير المواد البنائية المستخدمة في المدن، مثل الخرسانة والإسفلت، التي تمتاز بقدرتها العالية على امتصاص الطاقة الشمسية وإعادة إطلاقها خلال الليل، مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة مقارنة بالمناطق الطبيعية.(Zha et al., 2003)

كما أظهرت النتائج أن زيادة الكثافة العمرانية داخل المدن ترتبط بزيادة شدة الأضواء الليلية وارتفاع درجة حرارة سطح الأرض في الوقت نفسه.

تحديد الجزر الحرارية الحضرية

أوضحت الخرائط الناتجة عن التحليل المكاني وجود عدد من الجزر الحرارية الحضرية داخل محافظة صلاح الدين، تمركزت بصورة رئيسة في المدن الكبرى والمناطق الصناعية.

وقد تركزت الجزر الحرارية الأكثر وضوحاً في مدينة تكريت ومركز قضاء بيجي وأجزاء من مدينة سامراء، حيث تجاوزت درجات حرارة سطح الأرض المعدلات المسجلة في المناطق الريفية المحيطة بفروق ملحوظة.

ويرتبط ظهور هذه الجزر الحرارية بارتفاع الكثافة السكانية والتوسع العمراني وقلة المساحات الخضراء، وهي عوامل تؤدي إلى زيادة تخزين الحرارة داخل البيئة الحضرية.(Oke, 1982)

نتائج النمذجة المكانية

أظهرت نتائج النماذج الإحصائية والمكانية المستخدمة في الدراسة قدرة جيدة على تفسير التباين المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض. وقد تبين أن متغيرات الأضواء الليلية والغطاء النباتي والمناطق المبنية تفسر نسبة كبيرة من التغيرات الحرارية داخل المحافظة.

كما أظهرت نماذج الانحدار الخطي المتعدد والتعلم الآلي (Random Forest) كفاءة عالية في التنبؤ بالقيم الحرارية المستقبلية، مما يؤكد إمكانية استخدام هذه النماذج في دعم عمليات التخطيط الحضري والبيئي.

وقد حققت النماذج التنبؤية دقة مقبولة وفق مؤشرات التقييم الإحصائي، الأمر الذي يعزز من موثوقية النتائج المستخلصة من الدراسة.

اختبار فرضيات البحث

أثبتت النتائج صحة الفرضية الأولى التي تنص على وجود علاقة طردية بين شدة الأضواء الليلية ودرجة حرارة سطح الأرض.

كما أكدت النتائج صحة الفرضية الثانية المتعلقة بانخفاض درجات الحرارة في المناطق الزراعية مقارنة بالمناطق الحضرية.

وأثبتت الدراسة صحة الفرضية الثالثة التي تشير إلى تأثير التوسع العمراني في زيادة شدة الجزر الحرارية الحضرية.

أما الفرضية الرابعة فقد تحققت من خلال نجاح النماذج المكانية والإحصائية في تفسير التباين الحراري والتنبؤ بدرجات حرارة سطح الأرض بدرجة عالية من الدقة.

مناقشة النتائج

تتفق نتائج الدراسة مع الاتجاه العام للدراسات العالمية التي أكدت وجود علاقة قوية بين النشاط البشري الممثل بالأضواء الليلية وبين ارتفاع درجات حرارة سطح الأرض. كما تتوافق النتائج مع الدراسات التي بينت الدور الإيجابي للغطاء النباتي في خفض درجات الحرارة وتقليل شدة الجزر الحرارية الحضرية.(Arnfield, 2003)

وتؤكد النتائج أهمية دمج المرئيات الفضائية الليلية مع البيانات الحرارية في الدراسات الجغرافية والبيئية، لما توفره من إمكانات كبيرة لفهم الأنماط المكانية للتغيرات الحرارية وتحديد المناطق الأكثر تأثراً بالأنشطة البشرية.

استنتاجات:

١. تتباين درجات حرارة سطح الأرض مكانياً داخل محافظة صلاح الدين بصورة واضحة.

٢. تتركز أعلى درجات الحرارة في المناطق الحضرية والصناعية.

٣. توجد علاقة ارتباط موجبة قوية بين الأضواء الليلية ودرجات حرارة سطح الأرض.

٤. يسهم الغطاء النباتي في خفض درجات الحرارة وتقليل شدة الجزر الحرارية.

٥. تعد المدن الرئيسة في المحافظة مراكز للجزر الحرارية الحضرية.

٦. أثبتت النماذج المكانية كفاءتها في تفسير التباين الحراري والتنبؤ به.

٧. تمثل بيانات VIIRS مؤشراً فعالاً لتحليل الأنشطة البشرية وتأثيرها الحراري.

التوصيات:

١. زيادة المساحات الخضراء داخل المدن الرئيسة للحد من ظاهرة الجزر الحرارية.

٢. اعتماد نتائج الدراسة في إعداد الخطط الحضرية المستقبلية.

٣. استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد لمراقبة التغيرات الحرارية بصورة دورية.

٤. تشجيع الدراسات التي تربط بين الأضواء الليلية والتغيرات البيئية في المحافظات العراقية الأخرى.

٥. إنشاء قاعدة بيانات حرارية محدثة لدعم عمليات التخطيط البيئي.

٦. تطوير نماذج تنبؤية أكثر تقدماً باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق.

المصادر:

أولاً: المصادر العربية

١. الجبوري، أحمد حسن .(2019) .جغرافية محافظة صلاح الدين الطبيعية .تكريت: جامعة تكريت.

٢. الجهاز المركزي للإحصاء .(2023) .التقرير الإحصائي السنوي لمحافظة صلاح الدين .بغداد: وزارة التخطيط العراقية.

٣. الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .(2023) .التقرير المناخي السنوي للعراق .بغداد: وزارة النقل.

٤. وزارة التخطيط العراقية .(2022) .الأطلس الإحصائي للعراق .بغداد: وزارة التخطيط.

٥. وزارة الموارد المائية العراقية .(2022) .تقرير الموارد المائية في العراق .بغداد: وزارة الموارد المائية.

ثانياً: المصادر الأجنبية

6. Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology, 23*(1), 1–26.

7. Belgiu, M., & Drăguţ, L. (2016). Random Forest in Remote Sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 114*, 24–31.

8. Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Zhizhin, M., & Hsu, F. C. (2017). Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 35*, 62–69.

9. Jensen, J. R. (2016). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (4th ed.). New York: Pearson Education.

10. Levin, N., & Duke, Y. (2012). High spatial resolution nighttime light images for demographic and socio-economic studies. *Remote Sensing of Environment, 119*, 1–10.

11. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science* (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

12. NASA. (2023). *MODIS Land Surface Temperature Products User Guide*. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration.

13. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108*(455), 1–24.

14. Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Ottle, C., Bréon, F. M., ... Myneni, R. B. (2012). Surface urban heat island across 419 global cities. *Environmental Science & Technology, 46*(2), 696–703.

15. United States Geological Survey (USGS). (2023). *Landsat Collection 2 Surface Temperature Product Guide*. Reston, Virginia: USGS.

16. Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment, 86*(3), 370–384.

17. Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64*(4), 335–344.

18. Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing, 24*(3), 583–594.

19. Zhao, C., Jensen, J., & Weng, Q. (2018). A geographically weighted regression analysis of the relationship between urbanization and land surface temperature. *GIScience & Remote Sensing, 55*(5), 701–722.

20. Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Gao, C., Ge, J., ... Sobrino, J. A. (2014). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing, 6*(1), 749–770.

مواقع وقواعد البيانات المستخدمة

21. USGS Landsat Missions
22. NASA Earthdata
23. Google Earth Engine Data Catalog
24. NOAA VIIRS Nighttime Lights
25. ESA WorldCover Project