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

Journal of College of Education

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

Dr. Rusul Ali Salman[1]

Assis. lect. Mohammed Qasim Hameed[2]*

University of Wasit, College of Education for Human Sciences

Email:
rusulsalman@uowasit.edu.iq
mhameed@uowasit.edu.iq

Keywords:
UHI , LST , NDVI , NDBI

Article info

Article history:

Received 24. May 2026

Accepted 23. Jun.2026

Published 25. Aug.2026

Remote Sensing Analysis of Urban Heat Island Intensity Using NDVI and NDBI in Selected Iraqi Cities

A B S T R A C T

This study analyzes the spatial and temporal variability of the Urban Heat Island (UHI) phenomenon in selected Iraqi cities (Baghdad, Basra, Wasit, Najaf, and Mosul) over the period 1990–2018, using multi-temporal Landsat 5 TM and Landsat 8 (OLI/TIRS) imagery to derive Land Surface Temperature (LST). Land cover was classified into urban areas, vegetation, and bare land, while NDVI and NDBI indices were employed to assess environmental impacts. The results reveal a significant increase in LST across all cities, with bare land exhibiting the highest temperatures, followed by urban areas, whereas vegetated areas showed the lowest values, with temperature differences ranging from 3 to 7°C. Basra and Najaf recorded the highest thermal values. Statistical analysis indicates a strong positive correlation between LST and NDBI (R = 0.65), and a negative correlation with NDVI (R = -0.58), confirming the role of urban expansion in intensifying UHI and the cooling effect of vegetation. These findings highlight the impact of unplanned urban growth and vegetation loss, emphasizing the need for sustainable urban planning strategies to mitigate UHI effects in arid environments.

© 2026 EDUJ, College of Education for Human Science, Wasit University

DOI: https://doi.org/10.31185/eduj.Vol64.Iss2.5392

تحليل الجزر الحرارية الحضرية باستعمال الاستشعار عن بُعد اعتمادًا على مؤشري NDVI وNDBI في محافظات عراقية مختارة

م.د. رسل علي سلمان[١] م.م. محمد قاسم حميد*[٢]
جامعة واسط ـ كلية التربية للعلوم الإنسانية[١&٢]

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التباين المكاني والزماني لظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) في عدد من المحافظات العراقية (بغداد، البصرة، واسط، النجف، الموصل) خلال المدة (١٩٩٠–٢٠١٨)، باستخدام مرئيات (Landsat 5 TM) و (OLI/TIRS) (Landsat 8) لاستخراج درجة حرارة سطح الأرض (LST) تم تصنيف الغطاء الأرضي إلى مناطق حضرية وخضراء وأراضٍ عارية، مع اعتماد مؤشري (NDVI) و (NDBI)لتحليل التأثيرات البيئية. أظهرت النتائج ارتفاعًا واضحًا في(LST) ، حيث سجلت الأراضي العارية أعلى القيم تلتها المناطق الحضرية، بينما كانت المناطق الخضراء الأقل حرارة، بفروقات تراوحت بين (3–7°C) .كما سُجلت أعلى القيم الحرارية في البصرة والنجف. وأظهر التحليل الإحصائي علاقة طردية قوية بين LST و(R = 0.65) (NDBI)، وعلاقة عكسية مع– = R) (NDVI) (0.58، مما يؤكد دور التوسع العمراني في زيادة الحرارة، مقابل التأثير التبريدي للغطاء النباتي. تشير النتائج إلى أن التوسع الحضري غير المخطط وتراجع المساحات الخضراء من العوامل الرئيسة لزيادة شدة الظاهرة، مما يستدعي اعتماد استراتيجيات تخطيط حضري مستدام لتعزيز الغطاء النباتي والحد من تأثير الجزر الحرارية في المدن الجافة.

الكلمات المفتاحية: UHI، LST، NDVI، NDBI .

١. المقدمة

أدّت التوسعات الحضرية السريعة في العراق إلى تحوّلات جوهرية في أنماط استعمالات الأرض والغطاء الأرضي، ولا سيما في المحافظات الكبرى مثل بغداد والبصرة وواسط والنجف والموصل. فقد جرى استبدال الأسطح الطبيعية، بما في ذلك الغطاء النباتي والتربة العارية، بشكل متزايد بمواد حضرية غير منفذة مثل الأسفلت والخرسانة. ويسهم هذا التحول في تغيير توازن الطاقة السطحية من خلال تعديل خصائص امتصاص وانعكاس الإشعاع الشمسي، مما يؤدي إلى فروقات ملحوظة بين البيئات الحضرية والمناطق الريفية المحيطة من حيث درجة حرارة سطح الأرض (LST) ودرجة حرارة الهواء(عاتي & ياسين, ٢٠٢٤Weng, 2009; Voogt & Oke, 2003)) وتفضي هذه التباينات إلى نشوء ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية(Urban Heat Island, UHI) ، حيث تسجّل المناطق الحضرية درجات حرارة أعلى مقارنة بمحيطها الريفي. وتشير الدراسات السابقة إلى أن هذه الظاهرة قد ترفع درجات حرارة الهواء في المحافظات عالميًا بمقدار يتراوح بين ٢ و١٥ درجة مئوية، في حين يتراوح هذا الارتفاع في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، مثل العراق، بين ٢ و٤ درجات مئوية(الطاهر, ٢٠٢٢;Santamouris et al., 2015). كما يعكس التوزيع المكاني لهذه الظاهرة في المحافظات العراقية درجة التباين في البنية الحضرية، وأنماط الغطاء الأرضي، ومستويات الأنشطة البشرية. وتتأثر شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في العراق بعدة عوامل، من أبرزها الظروف المناخية (مثل قلة الأمطار وارتفاع الإشعاع الشمسي)، والتوسع الحضري المتسارع، والنمو السكاني، فضلاً عن الخصائص المورفولوجية للمحافظات(الجميلي, ٢٠٢٥; ; Oke, 1982; Zhou et al,.2018). إذ تتسم المحافظات مثل بغداد والبصرة والموصل بكثافة عمرانية عالية، ونقص في المساحات الخضراء، وارتفاع انبعاثات الحرارة الناتجة عن الأنشطة البشرية، وهي جميعها عوامل تعزز من شدة هذه الظاهرة. كما تسهم عناصر التصميم الحضري، كضيق الشوارع، وكثافة المباني، وغياب ممرات التهوية، في زيادة تراكم الحرارة

(Santamouris et al.,2015).ويؤدي الغطاء الأرضي/استخدامات الأرض (LULC) دورًا حاسمًا في تشكيل البيئة الحرارية؛ إذ تميل المناطق المبنية إلى تسجيل قيم أعلى لدرجة حرارة سطح الأرض، في حين تسهم المناطق المغطاة بالنباتات والمسطحات المائية في خفض درجات الحرارة من خلال عمليات النتح–التبخر

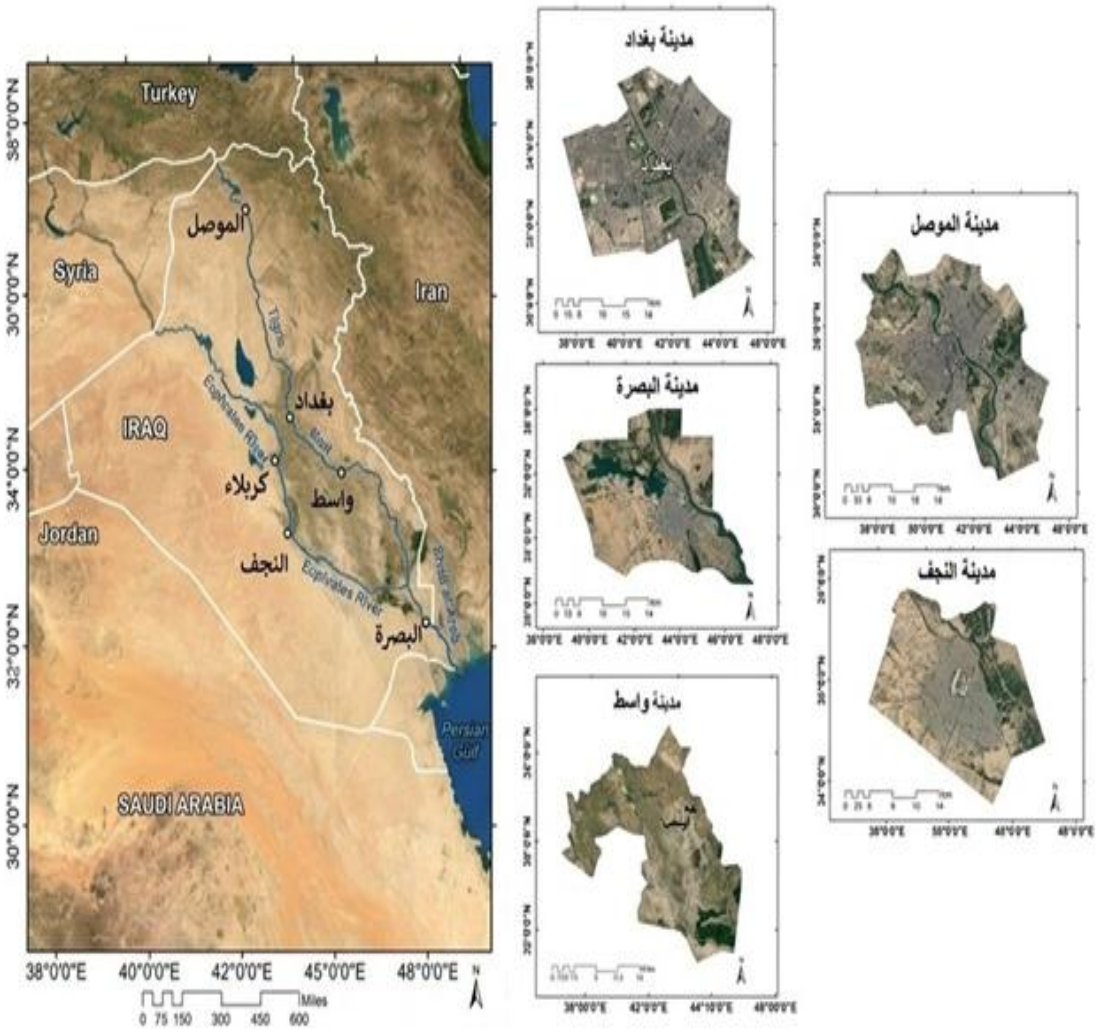
(Weng, 2009; Estoque et al., 2017). وفي المحافظات العراقية، يؤدي شح المساحات الخضراء والعناصر المائية إلى تفاقم الإجهاد الحراري، لا سيما خلال فصل الصيف. ومع ذلك، قد تُظهر مدينة الموصل، نظرًا لاختلاف ظروفها المناخية نسبيًا وقربها من نهر دجلة، أنماطًا حرارية مكانية متميزة مقارنة بالمحافظات الجنوبية مثل البصرة وواسط. وتُعد بيانات الاستشعار عن بُعد، ولا سيما تلك المستمدة من أقمار لاندسات(Landsat) ، أداة فعّالة لتحليل أنماط درجة حرارة سطح الأرض وظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في مختلف مناطق العراق. كما يمكن استخدام المؤشرات المستخرجة من صور الأقمار الصناعية، مثل مؤشر الغطاء النباتي المعياري(NDVI) ، لدراسة العلاقة بين الغطاء النباتي ودرجة حرارة السطح (Voogt & Oke, 2003) وتتيح التحليلات متعددة الأزمنة لبيانات لاندسات (مثل أعوام ١٩٩٠ و٢٠٠٠ و٢٠١٨) تقييم النمو الحضري وتأثيره في الخصائص الحرارية عبر الزمن (Zhou et al., 2018) تركّز هذه الدراسة على مجموعة مختارة من المحافظات العراقية (بغداد، البصرة، واسط، النجف، والموصل) بهدف تحليل التباينات المكانية والزمانية في درجة حرارة سطح الأرض، وعلاقتها بالتغيرات في استخدامات الأرض والغطاء الأرضي. وتعتمد الدراسة منهجًا كميًا قائمًا على تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل الارتباط بين مؤشر الغطاء النباتي(NDVI) ، والمناطق المبنية، ودرجة حرارة سطح الأرض (Estoque et al., 2017)وقد تم اختيار فصل الصيف لإجراء التحليل نظرًا لارتفاع درجات الحرارة خلاله وقلة الغطاء السحابي، مما يعزز من دقة الملاحظات الفضائية. وتهدف نتائج هذه الدراسة إلى دعم المخططين الحضريين وصنّاع القرار في العراق، من خلال توفير فهم أعمق للعوامل المسببة لظاهرة الجزر الحرارية الحضرية، واقتراح استراتيجيات للتخفيف من آثارها، مثل زيادة المساحات الخضراء داخل المحافظات ، وتحسين التصميم الحضري، واعتماد ممارسات مستدامة في تخطيط استخدامات الأرض(Santamouris et al., 2015). على الرغم من تعدد الدراسات حول الجزر الحرارية الحضرية عالميًا، إلا أن الدراسات المحلية في العراق ما تزال محدودة، خاصة تلك التي تعتمد على التحليل المقارن متعدد المدن باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد. كما تعتمد هذه الدراسة على مرئيات الأقمار الصناعية (Landsat–5) و (Landsat–8) (OLI/TIRS) كمصدر رئيسي للبيانات الحرارية.

٢. منطقة الدراسة

تتمثل المحافظات المختارة في هذه الدراسة، بغداد، والبصرة، وواسط، والنجف، والموصل (انظر الشكل ١). وتمثل هذه المحافظات مراكز حضرية رئيسة في العراق، وتؤدي دورًا محوريًا في توزيع السكان، والأنشطة الاقتصادية، وأنماط التنمية الحضرية في البلاد. تُعدّ بغداد، العاصمة، أكبر منطقة حضرية في العراق، وتشكل المركز السياسي والاقتصادي والثقافي للدولة. أما البصرة، الواقعة في جنوب العراق، فهي مركز اقتصادي مهم نظرًا لثرواتها النفطية ونشاطها الميناني. وتمثل واسط مدينة متوسطة الحجم في شرق العراق، تتسم بتوسع حضري متسارع وقربها من نهر دجلة. في حين تُعد النجف مركزًا دينيًا وحضريًا بارزًا يشهد نموًا سكانيًا مستمرًا وتغيرات في استخدامات الأرض. أما الموصل، الواقعة في شمال العراق، فتمثل بيئة مناخية وجغرافية مغايرة، إذ تتميز بدرجات حرارة أكثر اعتدالًا نسبيًا مقارنة بمحافظات الجنوب. وقد شهدت هذه المحافظات نموًا حضريًا متسارعًا خلال العقود الماضية نتيجة الزيادة السكانية، والتطور الاقتصادي، والهجرة من الريف إلى الحضر. ونتيجة لذلك، حدثت تغيّرات كبيرة في استخدامات الأرض والغطاء الأرضي، تمثلت بشكل

خاص في توسع المناطق المبنية على حساب الأسطح الطبيعية مثل الغطاء النباتي والأراضي العارية. وتغطي المحافظات المختارة نطاقات مناخية متنوعة داخل العراق، تبدأ بالظروف الجافة في الجنوب (البصرة والنجف)، مرورًا بالمناخ شبه الجاف في المناطق الوسطى (بغداد وواسط)، وصولًا إلى ظروف أكثر اعتدالًا نسبيًا في الشمال (الموصل). ويوفر هذا التنوع إطارًا تحليليًا شاملاً لدراسة التباينات المكانية في درجة حرارة سطح الأرض (LST) وظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) عبر بيئات مختلفة. علاوة على ذلك، تُعد هذه المحافظات دراسات حالة تمثيلية نظرًا لتوافر بيانات الاستشعار عن بُعد، وتباين خصائصها المورفولوجية الحضرية، وأهميتها في التخطيط الإقليمي والتنمية المستدامة. وبناءً عليه، فإنها توفر أساسًا مناسبًا لدراسة العلاقة بين التغيرات في استخدامات الأرض/الغطاء الأرضي (LULC) والخصائص الحرارية في البيئات الحضرية العراقية.

الشكل (١): منطقة الدراسة



٣. الخصائص المناخية

وفقًا لتصنيف كوبن–غايغَر (Köppen–Geiger) ، يُصنَّف مناخ العراق في معظمه ضمن المناخ الصحراوي الحار (BWh)، ولا سيما في المناطق الجنوبية والوسطى، في حين تُظهر أجزاء من شمال العراق، بما في ذلك الموصل، مناخًا شبه جاف من نوع السهوب(BSh) (Peel et al., 2007) ويجعل هذا التنوع المناخي من العراق حالة مثالية لدراسة التباينات المكانية في الخصائص الحرارية عبر بيئات مختلفة.

ويتسم مناخ العراق عمومًا بوجود فصلين رئيسين: صيف طويل شديد الحرارة، وشتاء قصير معتدل. يمتد فصل الصيف عادة من شهر أيار/مايو إلى تشرين الأول/أكتوبر، ويتميز بدرجات حرارة مرتفعة جدًا، حيث تتراوح المعدلات بين ٣٥ و٤٥ درجة مئوية، خاصة في المحافظات الجنوبية مثل البصرة والنجف. وفي الحالات القصوى، قد تتجاوز درجات الحرارة ٥٠ درجة مئوية، لا سيما خلال شهري تموز/يوليو وآب/أغسطس(الدزيي & جواد, ٢٠٠٨;Al–Ansari, 2013) . ويكاد ينعدم الهطول المطري خلال فصل الصيف، مع سيادة صفاء السماء، الأمر الذي يعزز من شدة الإشعاع الشمسي ويزيد من تسخين سطح الأرض.

أما في المناطق الوسطى مثل بغداد وواسط، فتكون درجات الحرارة الصيفية مرتفعة أيضًا، لكنها أقل حدّة نسبيًا مقارنة بالمناطق الجنوبية. وتكون الرطوبة النسبية منخفضة عمومًا في المناطق الداخلية، بينما ترتفع في المناطق الجنوبية القريبة من الخليج العربي، خصوصًا في البصرة، حيث قد تتجاوز نسبة الرطوبة ٨٠٪، مما يزيد من الشعور بالإجهاد الحراري (Bernhard et al., 2020;الدزيي & جواد, ٢٠٠٨).

وفي المقابل، تتمتع المحافظات الشمالية مثل الموصل بظروف مناخية أكثر اعتدالًا نسبيًا نتيجة لموقعها العرضي الأعلى وطبيعتها التضاريسية المختلفة. فعلى الرغم من أن الصيف يبقى حارًا، فإن درجات الحرارة تكون أقل مقارنة بجنوب العراق، كما تكون الفروقات الموسمية أكثر وضوحًا.

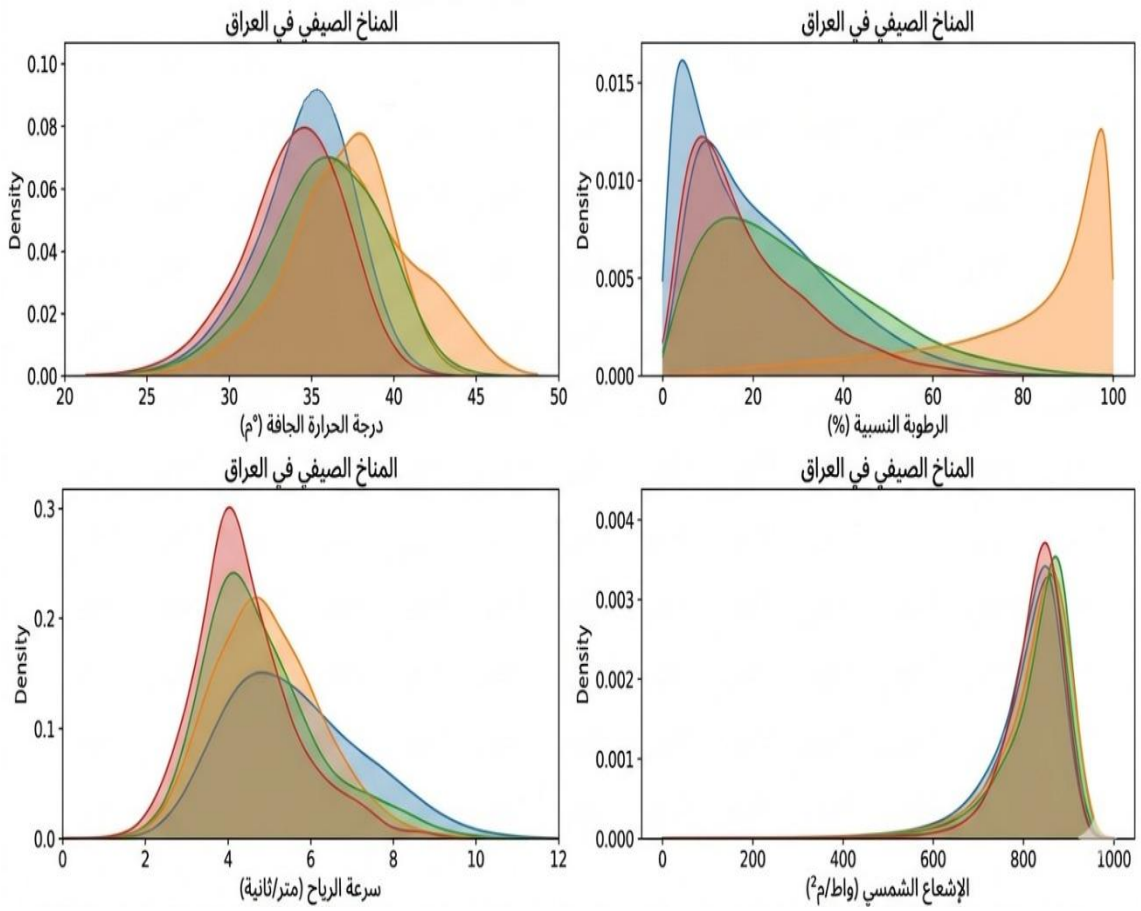
يمتد فصل الشتاء من تشرين الثاني/نوفمبر إلى آذار/مارس، ويتميز بدرجات حرارة معتدلة إلى باردة. وتتراوح المعدلات الحرارية خلال أبرد الأشهر بين ٨ و١٨ درجة مئوية، مع احتمال انخفاضها في المناطق الشمالية. ويتركز الهطول المطري خلال هذا الفصل، ويتباين مكانيًا، إذ يقل عن ١٠٠ ملم سنويًا في المناطق الصحراوية الجنوبية، ويزيد على ٤٠٠ ملم في المناطق الشمالية (انظر الجدول ١).

(Al–Ansari, 2013; Peel et al., 2007) ويرتبط سقوط الأمطار بشكل رئيس بتأثيرات المنظومات الجوية القادمة من البحر الأبيض المتوسط وتفاعلها مع الظروف الجوية الإقليمية. وتسهم هذه الخصائص المناخية، المتمثلة في ارتفاع الإشعاع الشمسي، وقلة الهطول المطري، وطول فترات الحر، بشكل كبير في نشوء وتعزيز ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) في المحافظات العراقية. كما أن صفاء السماء خلال فصل الصيف يزيد من موثوقية بيانات الاستشعار عن بُعد المعتمدة على الأقمار الصناعية، مما يجعلها مناسبة لتحليل درجة حرارة سطح الأرض (LST) وتوزيعها المكاني في البيئات الحضرية (Weng, 2009;شبيب ،٢٠٢٥). ويُظهر الشكل (٢) مثالًا على التوزيع المُعياري للخصائص المناخية خلال فصل الصيف للمحافظات العراقية المختارة.

جدول (١): تصنيف كوبن – كايغر المناخي لمنطقة الدراسة في العراق

المحافظة (المدينة)	التصنيف المناخي	الخصائص المناخية
بغداد	BWh	متوسط درجة الحرارة السنوية ≈ ٢٢–٢٣ °م (الصيف ٤٠–٤٥ °م، الشتاء ٥–١٢ °م)، متوسط الهطول السنوي ≈ ١٤٠–١٦٠ ملم، متوسط الرطوبة ≈ ٤٠–٥٥%
البصرة	BWh	متوسط درجة الحرارة السنوية ≈ ٢٥–٢٦ °م (الصيف ٤٥–٥٠ °م، الشتاء ٨–١٨ °م)، متوسط الهطول السنوي ≈ ١٠٠–١٢٠ ملم، متوسط الرطوبة ≈ ٦٠–٨٠٪ (بسبب التأثير الساحلي لمنطقة شط العرب)
واسط	BWh	متوسط درجة الحرارة السنوية ≈ ٢٣–٢٤ °م (الصيف ٤٢–٤٨ °م، الشتاء ٦–١٥ °م)، متوسط الهطول السنوي ≈ ١٢٠–١٨٠ ملم، متوسط الرطوبة ≈ ٣٥–٥٥%
النجف	BWh	متوسط درجة الحرارة السنوية ≈ ٢٣–٢٤ °م (الصيف ٤٠–٤٨ °م، الشتاء ٦–١٤ °م)، متوسط الهطول السنوي ≈ ٨٠–١١٠ ملم، متوسط الرطوبة ≈ ٣٥–٥٠%
الموصل	BWh	متوسط درجة الحرارة السنوية ≈ ٢٠–٢١ °م (الصيف ٣٤–٤٣ °م، الشتاء ٣–١٢ °م)، متوسط الهطول السنوي ≈ ٣٠٠–٣٥٠ ملم، متوسط الرطوبة ≈ ٤٥–٦٠%

الشكل (٢): خصائص المناخ في العراق خلال فصل الصيف



٤. الخصائص المورفولوجية الحضرية

شهدت المحافظات العراقية الرئيسة خلال العقود الأربعة الماضية تحولات حضرية متسارعة، إذ انتقلت من مراكز حضرية متقاربة نسبيًا إلى تجمعات حضرية مترامية الأطراف. وقد كان هذا التحول مدفوعًا أساسًا بالنمو السكاني، والتطور الاقتصادي، والهجرة من الريف إلى الحضر، أكثر من كونه نتيجة لمشروعات حضرية عملاقة قائمة على عائدات النفط كما هو الحال في دول الخليج. وقد عرفت المحافظات مثل بغداد والبصرة والموصل والنجف وواسط توسعًا عمرانيًا أفقيًا ملحوظًا، أدى إلى تغيّرات جوهرية في البنية المورفولوجية الحضرية وأنماط استخدامات الأرض (Un-Habitat, 2021؛علاوي, ٢٠٢٤) (انظر الشكل ٣)

وعلى خلاف محافظات الخليج، فإن معظم المحافظات العراقية ذات طابع قاري وليست ساحلية، باستثناء البصرة التي تقع بالقرب من الخليج العربي. وتتموضع بغداد، العاصمة، على ضفاف نهر دجلة، وقد شهدت توسعًا واسعًا بنمط شعاعي وأفقي، مما أسهم في زيادة الزحف الحضري وتقليص المساحات الخضراء. وبالمثل، تطورت مدينة الموصل، الواقعة في شمال العراق، بمحاذاة نهر دجلة، إلا أنها تُظهر نمطًا حضريًا مختلفًا متأثرًا بالعوامل التضاريسية وعمليات إعادة الإعمار بعد النزاعات(De Siqueira, 2012؛السعدي, ٢٠١٥)

أما البصرة، بوصفها المركز الساحلي والاقتصادي الأهم، فقد شهدت تحضرًا متسارعًا نتيجة أنشطة إنتاج النفط وحركة الموانئ، حيث توسعت المدينة باتجاه الأطراف مع تزايد استخدامات الأراضي الصناعية والسكنية، غالبًا على حساب الأراضي الطبيعية والزراعية. وفي المقابل، تمثل المحافظات مثل النجف وواسط مراكز حضرية متوسطة الحجم شهدت أيضًا توسعًا أفقيًا واضحًا، اتسم بانخفاض الكثافة العمرانية وضعف السيطرة التخطيطية.

وبصورة عامة، كان النمو الحضري في المحافظات العراقية أفقيًا في معظمه أكثر من كونه عموديًا، مما أدى في بعض المناطق إلى انخفاض الكثافة السكانية رغم الزيادة الإجمالية في عدد السكان. ويسهم هذا النمط في زيادة الأسطح غير المنفذة، الأمر الذي يعزز من شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية(UHI) . كما أن محدودية البنية التحتية الخضراء ونقص الغطاء النباتي الحضري يزيدان من تفاقم الإجهاد الحراري في هذه البيئات (Bernhard et al., 2020؛عباس & الستار, ٢٠١٢) (انظر الشكل ٤).

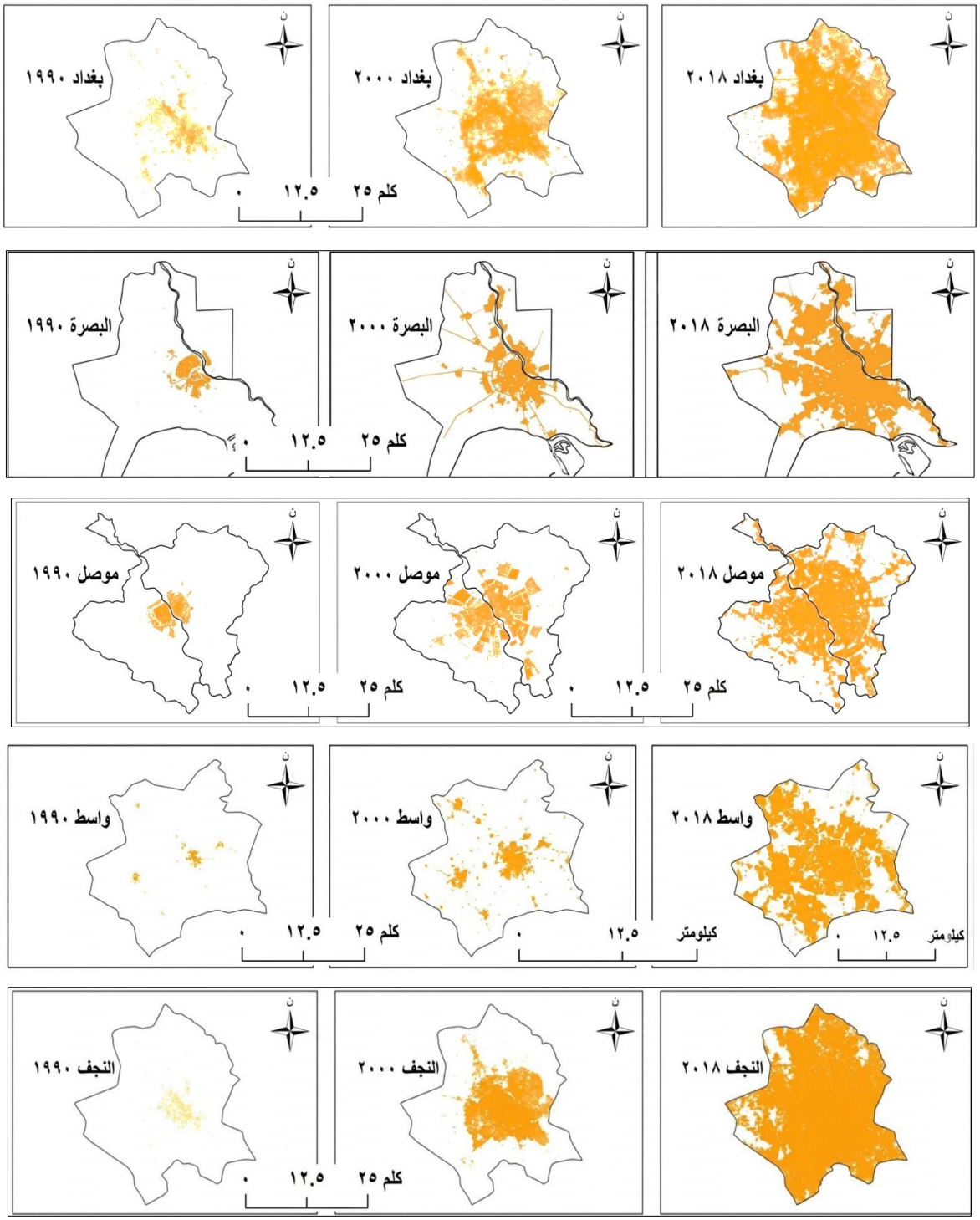
وتتباين الخصائص المورفولوجية للمحافظات العراقية تبعًا لمواقعها الجغرافية وسياقاتها الاجتماعية والاقتصادية. إذ تتميز المحافظات الجنوبية مثل البصرة والنجف بأراضٍ مستوية وكثافة عمرانية مرتفعة مع غطاء نباتي محدود، في حين تُظهر المحافظات الوسطى مثل بغداد وواسط أنماطًا حضرية مختلطة تجمع بين التركز والتشتت العمراني. أما المحافظات الشمالية مثل الموصل فتتميز بتنوع أكبر في الغطاء الأرضي، بما في ذلك الأراضي الزراعية والغطاء النباتي الطبيعي، وهو ما قد يؤثر في السلوك الحراري المحلي.

وتشير الدراسات الحديثة في البيئات الحضرية الواقعة ضمن الأقاليم الجافة وشبه الجافة إلى أن المورفولوجيا الحضرية بما في ذلك كثافة المباني، وهندسة الشوارع، وتوزيع الغطاء الأرضي تلعب دورًا محوريًا في تحديد درجة حرارة سطح الأرض (LST)وشدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية .(Zhou et al., 2018 Estoque et al., 2017;)وفي السياق العراقي، أدى التوسع الحضري السريع، وغالبًا غير المخطط، إلى زيادة الإجهاد الحراري، ولا سيما خلال فصل الصيف.

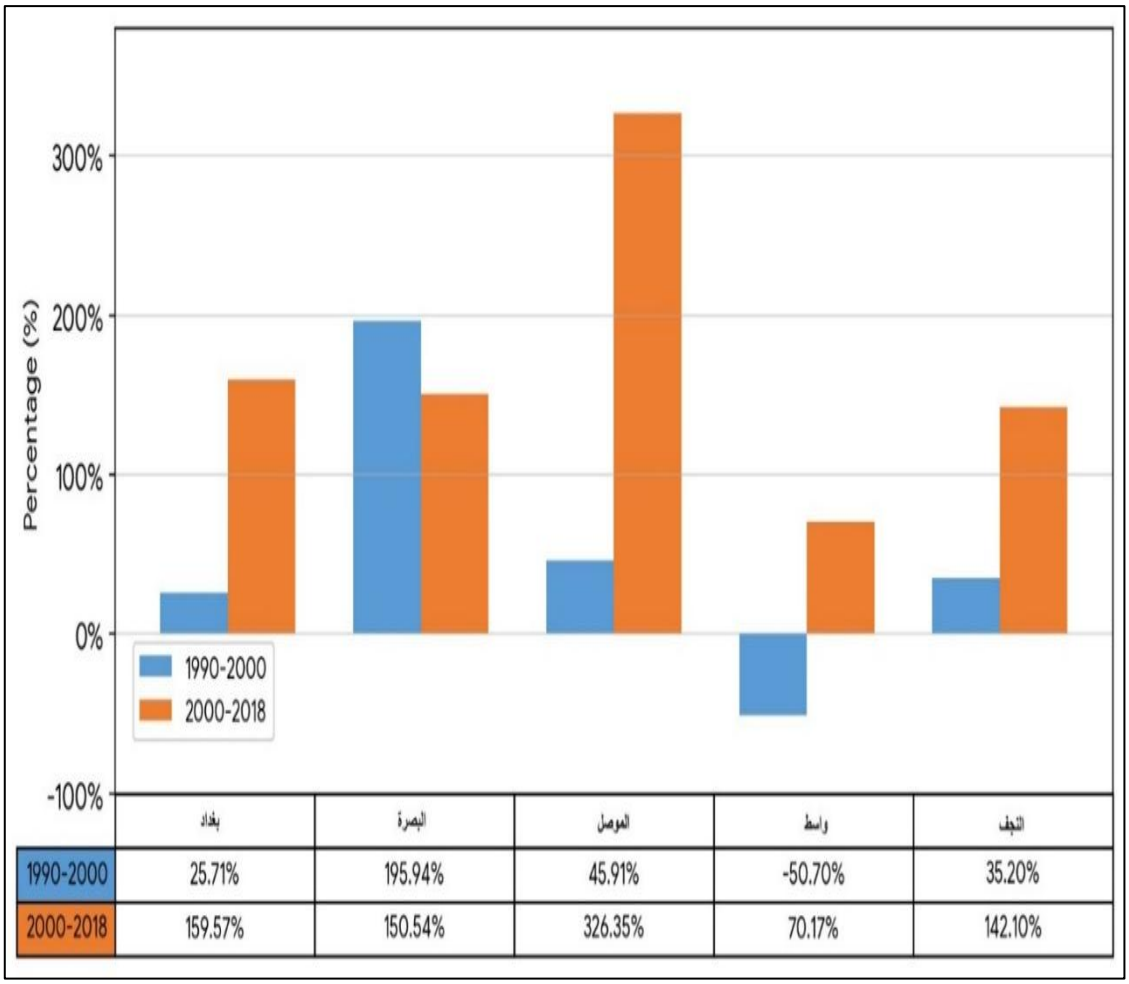
وعلاوة على ذلك، تُظهر الدراسات السابقة أن شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في المحافظات الجافة يمكن أن تتراوح بين ٢ و٧ درجات مئوية، تبعًا لخصائص الغطاء الأرضي، والكثافة العمرانية، والظروف المناخية (Santamouris et al., 2015) كذلك المستوى المحلي، تناولت دراسة وليد خالد (جامعة الموصل) ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية

باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، حيث توصلت إلى وجود ارتباط واضح بين التوسع العمراني وارتفاع درجات الحرارة السطحية، مما يدعم نتائج الدراسة الحالية، وتبرز هذه النتائج أهمية تحليل البنية المورفولوجية للمحافظات العراقية لفهم التباين المكاني لهذه الظاهرة بصورة أفضل، ودعم استراتيجيات التخطيط الحضري المستدام.(انظر الجدول ٢).

الشكل (٣): توزيع المساحات الحضرية والخضراء في منطقة الدراسة خلال الفترة ١٩٩٠–٢٠٠٠–٢٠١٨



الشكل (٤): التغير في الغطاء الأرضي والنمو السكاني بين عامي ١٩٩٠ و٢٠١٨



	بغداد	البصرة	الموصل	واسط	النجف
1990-2000	25.71%	195.94%	45.91%	-50.70%	35.20%
2000-2018	159.57%	150.54%	326.35%	70.17%	142.10%

الجدول (٢): الدراسات المختلفة التي تناولت تأثير ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) في منطقة الدراسة

الدراسة	المكان	هدف الدراسة	البيانات	المنهجية	النتائج
الجمَيلي وآخرون	بغداد، العراق	تحليل التباين المكاني والزماني لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) وتأثير التوسع الحضري في شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI)	بيانات Landsat 5 TMو Landsat 8 OLI، بيانات الغطاء الأرضي، مؤشر NDVI، مؤشر NDBI	الانحدار الخطي العادي(OLS) ، التحليل المكاني باستخدامGIS ، التصنيف بالاستشعار عن بُعد	يسهم التوسع الحضري بشكل كبير في زيادة LST، في حين يقلل الغطاء النباتي من درجة حرارة السطح؛ وجود ارتباط إيجابي قوي بين المناطق المبنية وشدة UHI
المالكي وآخرون	البصرة، العراق	دراسة تأثير التحضر الساحلي في تكوّن ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في البيئات الحارة الجافة	صور Landsat ، بيانات أرصادية، خرائط استخدامات الأرض/الغطاء الأرضي(LULC)	خوارزمية النافذة الأحادية–Mono) (window، الاستيفاء المكاني، تحليلGIS	تسجيل أعلى درجات حرارة سطحية في المناطق الصناعية والمبنية بكثافة؛ وتؤدي الرطوبة الساحلية إلى تقليل جزئي لشدةUHI
الحسيني وآخرون	واسط، العراق	تقييم العلاقة بين تغير الغطاء الأرضي وتباين درجة حرارة السطح	بيانات Landsat TM/OLI، مؤشر NDVI، مؤشر NDBI، إحصاءات النمو الحضري	التصنيف بالاستشعار عن بُعد، تحليل الارتباط (بيرسون)	يؤدي التوسع الحضري إلى زيادةLST ، في حين تسهم الرقع النباتية في التخفيف من الجزر الحرارية المحلية
الساعدي وآخرون	النجف، العراق	دراسة شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في المحافظات الدينية ذات النمو الحضري المتسارع	بيانات Landsat متعددة الأزمنة، بيانات الكثافة العمرانية	تحليل التراكب باستخدامGIS ، نماذج الانحدار	تشكّل قوي لظاهرة UHI في المراكز الحضرية الكثيفة، في حين تسجل المناطق المفتوحة وشبه الحضرية إجهادًا حراريًا أقل
الراوي وآخرون	الموصل، العراق	تقييم التوسع الحضري بعد النزاع وتأثيره في البيئة الحرارية	صور Landsat 5/7/8، مؤشر NDVI، تحليل تغير LULC	تحليل كشف التغير، الاستشعار عن بُعد، الإحصاء المكاني	تؤدي إعادة الإعمار الحضري إلى زيادة محلية فيLST ، بينما يسهم تعافي الغطاء النباتي في تقليل الشدة الحرارية في بعض المناطق

٥. المنهجية

تعتمد هذه الدراسة على تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل ومقارنة درجة حرارة سطح الأرض (LST) في مجموعة مختارة من المحافظات العراقية، وهي: بغداد، والبصرة، وواسط، والنجف، والموصل. وتمثل منطقة الدراسة أنماطًا مناخية وحضرية متنوعة داخل العراق، تتراوح بين مناطق حضرية كثيفة ومتطورة وأخرى متوسطة الحجم ذات أنماط استخدامات أرض مختلطة.

تم استخدام صور الأقمار الصناعية متعددة الأزمنة من القمر الصناعي لاندسات ٥ (Thematic Mapper – TM) للأعوام (١٩٩٠ و٢٠٠٠)، ولاندسات ٨ (– Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor OLI/TIRS) لعام (٢٠١٨)، وذلك لاشتقاق درجة حرارة سطح الأرض وتحليل الديناميكيات الحرارية الحضرية عبر الزمن. وقد استُخدم الحزام الحراري السادس (Band 6) في لاندسات ٥، في حين استُخدم الحزام العاشر (Band 10) في لاندسات ٨ نظرًا لدقته الإشعاعية المحسّنة(USGS, 2023) .

تم الحصول على جميع المرئيات الفضائية مجانًا من منصة المسح الجيولوجي للولايات المتحدة (USGS) (EarthExplorer)، وقد خضعت لعمليات المعالجة المسبقة من المستوى الأول(Level-1) ، والتي تشمل التصحيحات الإشعاعية والهندسية (EarthExplorer) وقد جرى اختيار الصور ضمن فصل الصيف لتقليل تأثير الغيوم وضمان أعلى تباين حراري ممكن، وهو أمر ضروري لتحليل ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية(UHI) (Weng, 2009) (انظر الجدول ٣) .

تم اعتماد دقة مكانية مقدارها ٣٠ م لجميع البيانات، وهي دقة شائعة الاستخدام في دراسات المناخ الحضري نظرًا لتحقيقها توازنًا بين التفاصيل المكانية والتغطية الزمنية(Li et al., 2013) . وتُعد هذه الدقة مناسبة لرصد التباينات في استخدامات الأرض/الغطاء الأرضي (LULC) وتأثيرها في درجة حرارة سطح الأرض داخل البيئات الحضرية في المحافظات العراقية.

وقد تم تصنيف ثلاثة أنماط رئيسة من الغطاء الأرضي ضمن منطقة الدراسة، وهي: المناطق المبنية، والمناطق الخضراء، الغطاء النباتي، والأراضي العارية. وتم تنفيذ هذا التصنيف باستخدام تقنيات التصنيف الموجّه (Supervised Classification) ضمن برامج نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد، بما يضمن دقة أعلى في التمييز بين الأسطح الحضرية والطبيعية (Estoque et al., 2017). تم تحليل درجة حرارة سطح الأرض (LST) وتأثير الجزر الحرارية الحضرية (UHI) كما هو موضح في الجدول (٤). كما تم استخراج القيم المُطبَّعة لمؤشر البناء(NDBI) ، ومؤشر الغطاء النباتي(NDVI) ، ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) من كل بكسل داخل منطقة الدراسة لكل نوع من نقاط البيانات.

وجميع المعلمات التي تم تقديمها في هذا القسم موضحة في الجدول (٥). وقد تضمنت عملية استخراج درجة حرارة سطح الأرض(LST) .

على الرغم من أن بيانات الدراسة تعود خلال المدة (١٩٩٠–٢٠١٨)، إلا أنها تمثل خط أساس (Baseline) مهم لتحليل تطور ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في المدن العراقية. ويُعد استخدام هذه البيانات مبررًا علميًا نظرًا لجودتها وتوفرها الكامل، فضلًا عن إمكانية مقارنتها مستقبلًا مع بيانات أحدث لرصد التغيرات الزمنية في شدة الظاهرة.

آلية استخراج درجة حرارة سطح الأرض(LST)

تم اشتقاق درجة حرارة سطح الأرض (LST) من خلال سلسلة من الخطوات المنهجية المتتابعة. في المرحلة الأولى، جرى تحويل القيم الرقمية (Digital Numbers – DN) إلى الإشعاع الطيفي (Spectral Radiance) باستخدام معاملات المعايرة الإشعاعية المستخرجة من البيانات الوصفية لمرئيات لاندسات(USGS, 2023) ، وذلك وفق المعادلة الآتية:

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L$$

حيث إن L_λيمثل الإشعاع الطيفي، وM_L معامل التحجيم الضربي، وQ_{cal} القيمة الرقمية(DN) ، وA_L معامل التحجيم الجمعي.

بعد ذلك، تم تحويل الإشعاع الطيفي إلى درجة حرارة السطوع عند قمة الغلاف الجوي (Top of Atmosphere – TOA Brightness Temperature)، باستخدام الثوابت الحرارية K_1وK_2، وذلك بالاعتماد على الإجراءات القياسية لمعالجة البيانات الحرارية الخاصة بأقمار لاندسات.

حساب مؤشري (NDVI) و(NDBI)

لتحليل الغطاء النباتي، تم استخدام مؤشر الفرق الطبيعي للغطاء النباتي(NDVI) ، والذي يُحسب وفق المعادلة الآتية:

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

حيث تتراوح قيم NDVI بين (−١) و(+١)، وتشير إلى وجود المياه، أو التربة العارية، أو الغطاء النباتي الكثيف على التوالي (Rouse Jr et al., 1974).

أما المناطق المبنية، فقد تم تحديدها باستخدام مؤشر الفرق الطبيعي للمناطق العمرانية(NDBI) ، الذي يُستخدم لإبراز الأسطح الحضرية غير المنفذة (Impervious Surfaces) مثل الخرسانة والأسفلت (Zha et al., 2003) وقد استُخدمت هذه المؤشرات معًا لتحليل العلاقة بين أنماط الغطاء الأرضي ودرجة حرارة سطح الأرض، بما يسهم في فهم التباينات الحرارية داخل المحافظات العراقية.

تصحيح الانبعاثية الحرارية وحساب درجة حرارة سطح الأرض النهائية(LST)

تم تصحيح درجة حرارة سطح الأرض (LST) بأخذ الانبعاثية السطحية (Emissivity, ε) بنظر الاعتبار، إذ تم تقديرها اعتمادًا على نسبة الغطاء النباتي المستخرجة من مؤشر(NDVI) ، وقد تم حساب الانبعاثية وفق المعادلة الآتية:

$$\varepsilon = 0.004 \times P_v + 0.986$$

حيث تمثل P_vنسبة الغطاء النباتي (Vegetation Proportion) المستمدة من قيمNDVI.

بعد ذلك، جرى استخدام درجة حرارة السطوع المصححة بالانبعاثية لحساب درجة حرارة سطح الأرض النهائية(LST) ، بالاعتماد على المعادلة القياسية التي قدمها(1982) Artis & Carnahan ، والتي تأخذ في الحسبان تأثير الانبعاثية على الإشعاع الحراري المنبعث من السطح.

وفي المرحلة الأخيرة، تم تحويل القيم الناتجة إلى الدرجات المئوية (°C) لتسهيل تفسير النتائج وتحليلها ضمن السياق المناخي والحضري للمحافظات العراقية.

التحليل الإحصائي

تم تحليل العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض (LST) ومؤشري الغطاء النباتي (NDVI) والمناطق المبنية (NDBI) باستخدام معامل ارتباط بيرسون(Pearson Correlation Analysis) ، وذلك بهدف قياس وتحديد مدى تأثير كل من الغطاء النباتي والتحضر في درجة حرارة السطح.

وقد أُجريت جميع التحليلات الإحصائية باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) الإصدار ٢٣.٠.

كما تم تنفيذ التحليل المكاني وإعداد الخرائط باستخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، وذلك لإظهار التوزيع المكاني لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) في المحافظات المدروسة، وهي بغداد والبصرة وواسط والنجف والموصل، بما يتيح فهماً بصرياً وكمياً للتباينات الحرارية داخل البيئات الحضرية المختلفة.

جدول (٣): الصور الفضائية المستخدمة لاستخراج المعلومات لمنطقة الدراسة

المدينة	معرف مشهد لاندسات	الوقت	القمر الصناعي	الدقة المكانية	المسار/الصف	تاريخ الالتقاط	زاوية السمت الشمسي	المستشعر
بغداد	LT51690342000185XXX03	06:42:15	Landsat 5	30 × 30م	169 × 034	04/06/2000	88.21	TM
بغداد	LC81690342018172LGN00	07:10:32	Landsat 8	30 × 30م	169 × 034	21/06/2018	92.45	OLI/TIRS
البصرة	LT51690452000167XXX03	06:55:40	Landsat 5	30 × 30م	169 × 045	15/06/2000	86.90	TM
البصرة	LC81690452018160LGN00	07:18:55	Landsat 8	30 × 30م	169 × 045	09/06/2018	89.77	OLI/TIRS
واسط	LT51680432000170XXX02	06:48:22	Landsat 5	30 × 30م	168 × 043	18/06/2000	85.63	TM
واسط	LC81680432018175LGN00	07:12:10	Landsat 8	30 × 30م	168 × 043	24/06/2018	90.12	OLI/TIRS
النجف	LT51680422000166XXX03	06:50:05	Landsat 5	30 × 30م	168 × 042	12/06/2000	84.98	TM
النجف	LC81680422018168LGN00	07:14:33	Landsat 8	30 × 30م	168 × 042	20/06/2018	88.34	OLI/TIRS
الموصل	LT51740342000180XXX03	07:05:18	Landsat 5	30 × 30م	174 × 034	29/06/2000	82.76	TM
الموصل	LC81740342018170LGN00	07:28:41	Landsat 8	30 × 30م	174 × 034	15/06/2018	85.90	OLI/TIRS

جدول (٤): تصنيف الغطاء الأرضي والتعريفات المستخدمة في هذه الدراسة

الفئة	التعريف
المناطق الحضرية	تشمل جميع المناطق المبنية مثل المناطق السكنية والتجارية والصناعية، إضافة إلى الطرق، ومواقف السيارات، والأسطح المعبدة، ومواقع الإنشاءات
الغطاء النباتي / المساحات الخضراء	تشمل جميع أنواع الغطاء النباتي الطبيعي والمزروع مثل الأراضي الزراعية، والبساتين، والحدائق الحضرية، والأشجار، والمروج، والأحزمة الخضراء المزروعة
الأراضي العارية	تشمل جميع الأسطح غير المغطاة بالنباتات مثل الأراضي الصحراوية، والكثبان الرملية، والصخور، والتربة المكشوفة، والأراضي المهجورة المفتوحة

جدول (٥): المختصرات الرئيسية المستخدمة في تحليل الدراسة

المعامل	التعريف
(L_{\lambda})	الإشعاع الطيفي ($W/(m^2\ sr\ \mu m)$) المستخلص من الحزم الحرارية لبيانات لاندسات
(L_{\min(\lambda)})	الحد الأدنى للإشعاع الطيفي المقاس والمقابل لأدنى قيمةDN
(L_{\max(\lambda)})	الحد الأقصى للإشعاع الطيفي المقاس والمقابل لأعلى قيمةDN
(M_L)	معامل التحجيم الضربي للإشعاع المستخرج من بيانات لاندسات الوصفية (RADIANCE_MULT_BAND_n)
(A_L)	معامل التحجيم الجمعي للإشعاع المستخرج من بيانات لاندسات الوصفية (RADIANCE_ADD_BAND_n)
(Q_{cal})	القيمة الرقمية المعيارية للبكسل(Digital Number – DN)
(T_c)	درجة حرارة قمة الغلاف الجوي (°C) المستخلصة من بيانات الأشعة تحت الحمراء الحرارية
(K_1)	ثابت التحويل الحراري الخاص بالحزمة (K1_CONSTANT_BAND_xمن بيانات لاندسات الوصفية)
(K_2)	ثابت التحويل الحراري الخاص بالحزمة (K2_CONSTANT_BAND_xمن بيانات لاندسات الوصفية)
(\varepsilon)	الانبعاثية السطحية التي تمثل كفاءة الإشعاع الحراري لسطح الأرض
(P_v)	نسبة الغطاء النباتي المستخلصة من قيمNDVI
NDVI	مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي المستخدم لتقدير كثافة الغطاء النباتي
NDVImin	أقل قيمة لمؤشر NDVI ضمن منطقة الدراسة
NDVImax	أعلى قيمة لمؤشر NDVI ضمن منطقة الدراسة
(T_B)	درجة حرارة السطوع عند قمة الغلاف الجوي قبل تصحيح الانبعاثية
(\lambda)	الطول الموجي المركزي للحزمة الحرارية (حوالي ١١.٤٥ ميكرومتر فيLandsat TIRS)
(\rho)	ثابت ($h \cdot c/\sigma = 1.438 \times 10^{-2}\ m \cdot K$) المستخدم في معادلة تحويل درجة الحرارة
NIR	نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (Landsat 8لـ0.845–0.885 μm ؛ ٠.٧٦–٠.٩٠ μmبشكل عام)
R	النطاق الأحمر (0.630–0.680 μm) المستخدم في حسابNDVI
SWIR	نطاق الأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة (1.56–1.66 μm) المستخدم في حسابNDBI

٦. النتائج والمناقشة

١.٦. الأنماط المكانية والزمانية للجزر الحرارية الحضرية

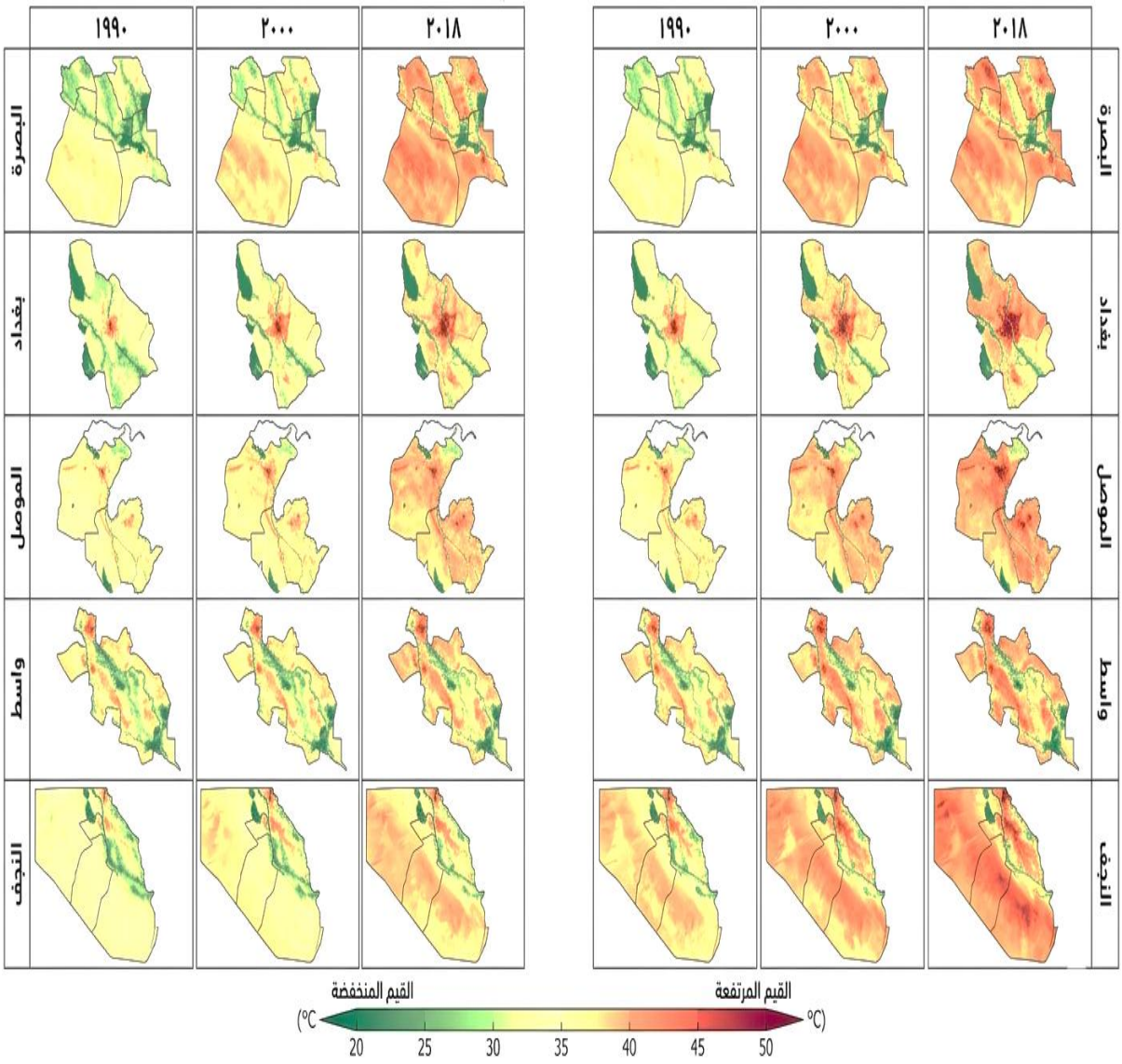
تم اشتقاق التوزيع المكاني لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) في المحافظات العراقية المختارة (بغداد، البصرة، واسط، النجف، والموصل)، وإنتاج خرائط حرارية اعتمادًا على صور لاندسات متعددة الأزمنة للأعوام ١٩٩٠ و٢٠٠٠ و٢٠١٨. وقد أظهرت الخرائط الناتجة تباينًا مكانيًا واضحًا في أنماط درجات الحرارة السطحية، يرتبط باختلاف فئات استخدامات الأرض، الغطاء الأرضي(LULC) ، كما هو موضح في الشكل(5) .

تراوحت قيم درجة حرارة سطح الأرض المستخرجة في منطقة الدراسة تقريبًا بين ٢٢ و٥٢ درجة مئوية، وذلك تبعًا لنوع الغطاء الأرضي، وكثافة العمران، والموقع الجغرافي. وقد لوحظ نمط مكاني ثابت عبر جميع المحافظات والفترات الزمنية،

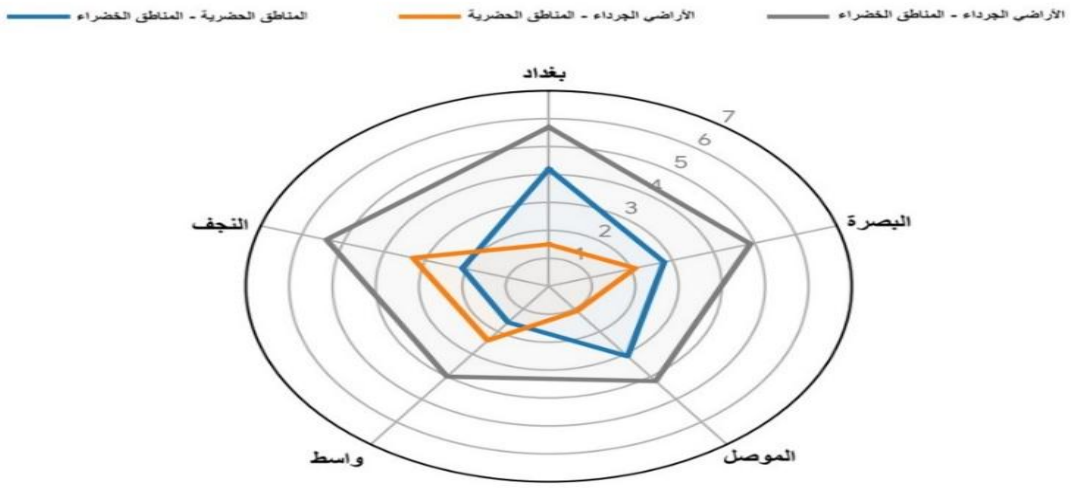
إذ سجلت المناطق المغطاة بالنباتات أدنى معدلات لدرجة حرارة السطح، تلتها المناطق المبنية، بينما سجلت الأراضي العارية أعلى قيم لدرجة حرارة السطح (انظر الجدول ٦). ويؤكد هذا النمط التأثير القوي لتكوين استخدامات الأرض/الغطاء الأرضي في السلوك الحراري السطحي(العزاوي & العزاوي, ٢٠١٣;Weng, 2009)

ومن المثير للاهتمام أن العديد من مناطق وسط وجنوب العراق أظهرت أن الأراضي العارية سجلت درجات حرارة أعلى من المناطق الحضرية المجاورة. ويشير ذلك إلى نوع من الانعكاس الجزئي للنمط التقليدي لظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) كما هو معروف في البيئات الرطبة (انظر الشكل ٦). إذ يؤدي انتشار الأسطح الرملية الجافة أو الأراضي المكشوفة، مع ارتفاع الإشعاع الشمسي وانخفاض رطوبة التربة، إلى امتصاص حراري شديد وإعادة إشعاع الحرارة، مما يجعل هذه الأسطح مماثلة حراريًا أو أكثر سخونة من المناطق المبنية خلال ساعات النهار (Santamouris et al., 2015). كما أظهرت النتائج انخفاض درجات الحرارة في المناطق القريبة من المسطحات المائية بمقدار 2–4°C مقارنة بالمناطق البعيدة، مما يؤكد التأثير التبريدي للرطوبة.

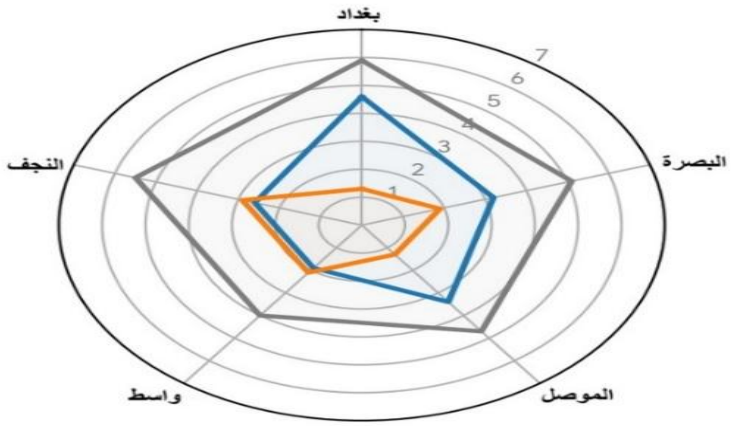
الشكل (٥): درجة حرارة سطح الأرض (LST) للمحافظات الخمس في هذه الدراسة



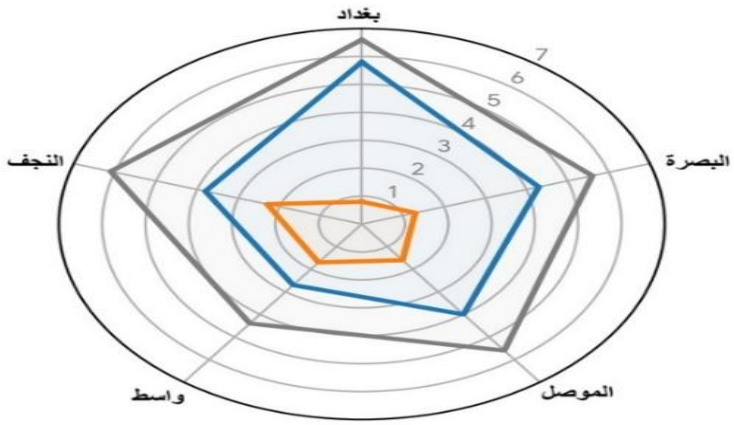
الشكل (٦): فروقات درجة الحرارة بين أنواع استخدامات/غطاء الأرض (LULC) في المحافظات الخمس: ١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٨



متوسط الفروقات في درجات حرارة سطح الأرض **(LST)** بين أنماط الغطاء الأرضي **(1990)**



متوسط الفروقات في درجات حرارة سطح الأرض **(LST)** بين أنماط الغطاء الأرضي **(2000)**



متوسط الفروقات في درجات حرارة سطح الأرض **(LST)** بين أنماط الغطاء الأرضي **(2018)**

جدول (٦): متوسط درجات حرارة سطح الأرض للمحافظات الخمس

المدينة	حضري ١٩٩٠	نباتي ١٩٩٠	عارٍ ١٩٩٠	حضري ٢٠٠٠	نباتي ٢٠٠٠	عارٍ ٢٠٠٠	حضري ٢٠١٨	نباتي ٢٠١٨	عارٍ ٢٠١٨
بغداد	39	37	41	38	35	40	44	42	46
البصرة	43	41	45	42	40	44	46	44	48
واسط	40	38	42	38	36	40	43	41	45
النجف	41	39	43	39	36	41	45	43	47
الموصل	35	33	37	33	31	35	38	36	40

التغيرات الزمنية ١٩٩٠–٢٠١٨

يكشف التحليل الزمني أن أنماط درجة حرارة سطح الأرض (LST) قد ازدادت حدة عبر الزمن نتيجة التوسع الحضري المستمر والتحول في استخدامات الأرض والغطاء الأرضي. ففي عام ١٩٩٠، كانت الفروقات الحرارية بين أنواع الغطاء الأرضي متوسطة نسبيًا، حيث تراوحت الفروقات بين المناطق المبنية والمناطق النباتية بين ١ و٣ درجات مئوية في معظم المحافظات.

وبحلول عام ٢٠٠٠، أصبحت هذه الفروقات أكثر وضوحًا، ولا سيما في المحافظات ذات التوسع السريع مثل بغداد والبصرة، حيث أدى الزحف العمراني إلى استبدال الأراضي الزراعية والمناطق النباتية. وقد وصل التباين الحراري بين التربة العارية والمناطق الخضراء إلى نحو ٥ درجات مئوية في بعض المواقع، مما يشير إلى ازدياد الإجهاد الحراري المرتبط بتدهور الغطاء الأرضي والنمو الحضري.

أما في عام ٢٠١٨، فقد أصبح التباين المكاني في درجات الحرارة السطحية أكثر وضوحًا في جميع المحافظات المدروسة. إذ تراوح الفرق بين المناطق المبنية والمناطق النباتية بين ٢ و٦ درجات مئوية، في حين وصل الفرق بين التربة العارية والمناطق الخضراء إلى نحو ٧ درجات مئوية في المحافظات الجنوبية مثل البصرة (انظر الشكل ٦). وعلى النقيض من ذلك، أظهرت مدينة الموصل فروقًا حرارية أقل نسبيًا، ويعزى ذلك إلى وجود غطاء نباتي أعلى وبنية استخدامات أرض أكثر تباينًا.

العلاقة بين استخدامات الأرض/الغطاء الأرضي ودرجة حرارة سطح الأرض(LULC–LST)

تؤكد نتائج التحليل وجود علاقة طردية قوية بين درجة حرارة سطح الأرض (LST) وبين كل من المناطق المبنية والأراضي العارية، في حين تُظهر النتائج علاقة عكسية واضحة بين الغطاء النباتي ودرجة حرارة السطح. وقد تكررت هذه العلاقة عبر جميع السنوات و المحافظات ن المدروسة، مما يؤكد الدور الحيوي للغطاء النباتي في الحد من ارتفاع درجات الحرارة السطحية من خلال عمليات النتح–التبخر وتوفير الظل (Weng, 2009;Estoque et al., 2017;محمد & الشطاوي, ٢٠١٦) وقد أسهم التوسع الحضري في محافظات مثل بغداد والبصرة في زيادة المساحات غير المنفذة (Impervious) Surfaces)، مما أدى إلى ارتفاع قيم درجة حرارة سطح الأرض وتعزيز شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) (انظر الشكل ٦) وفي المقابل، أظهرت مدينة الموصل شدة أقل نسبيًا لهذه الظاهرة، ويعزى ذلك إلى

وجود مساحات زراعية أوسع وتنوع مكاني أعلى في أنماط استخدامات الأرض، الأمر الذي يحد من التجانس الحراري داخل المدينة ويقلل من تراكم الحرارة.

الاختلافات المكانية بين المحافظات

بين المحافظات المدروسة، سجلت البصرة أعلى قيم لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) بشكل مستمر، ويعزى ذلك إلى انخفاض الارتفاع عن سطح البحر، وارتفاع الرطوبة النسبية، وشدة الإشعاع الشمسي. كما أظهرت بغداد والنجف خصائص قوية لظاهرة الجزر الحرارية الحضرية(UHI) ، نتيجة الكثافة العمرانية العالية وضعف البنية التحتية الخضراء. في حين سجلت واسط شدة متوسطة لهذه الظاهرة، بينما سجلت الموصل أدنى قيم لدرجة حرارة السطح بين المحافظات المدروسة، ويعود ذلك إلى موقعها الشمالي وامتلاكها غطاءً نباتيًا أكثر نسبيًا وطابعًا عمرانيًا أقل كثافة (انظر الشكل ٦).

وتؤكد هذه الفروقات المكانية أن شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في العراق لا تتأثر فقط بالشكل الحضري للمحافظات، بل تتأثر أيضًا بالتدرجات المناخية الإقليمية وتكوينات استخدامات الأرض والغطاء الأرضي (Santamouris, 2015; Bernhard et al., 2020; الحسين, ٢٠٢٤)

وتبرز هذه النتائج الحاجة الملحة إلى اعتماد استراتيجيات للتشجير الحضري، وتحسين تخطيط استخدامات الأرض، وتطوير تصميم حضري مستدام، بهدف الحد من التزايد المستمر في الإجهاد الحراري داخل المحافظات العراقية.

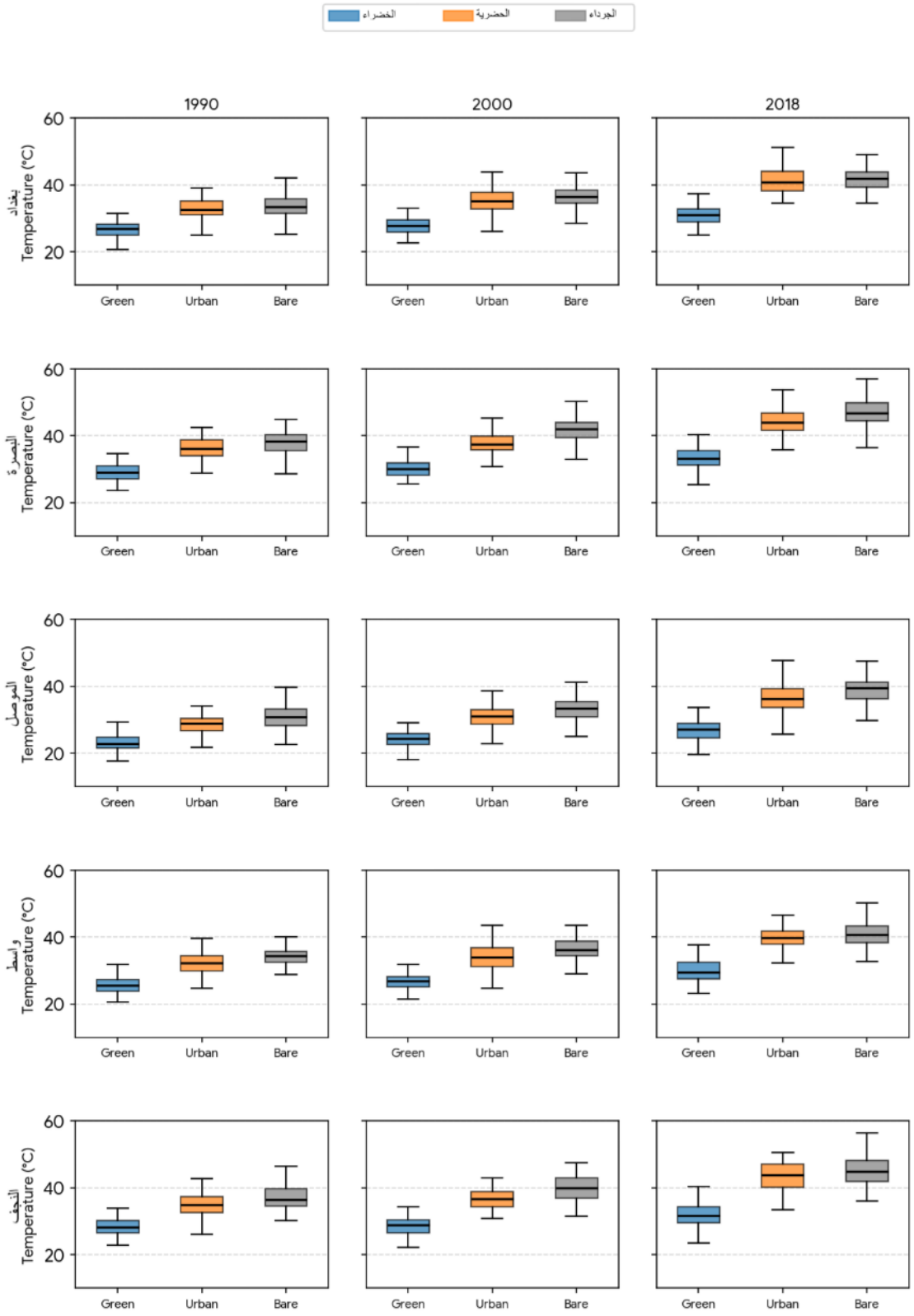
٢.٦. تأثير المناطق الحضرية على درجة حرارة سطح الأرض (LST) في الأقاليم الجافة وشبه الجافة

يعكس التوزيع المكاني لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) داخل المناطق الحضرية في المحافظات العراقية تعقيد المكونات العمرانية وتباين أنماط استخدامات الأرض. ففي المحافظات سريعة النمو مثل بغداد والبصرة وواسط والنجف والموصل، يؤدي تقارب وكثافة المناطق المبنية إلى تعزيز شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية(UHI) . وينتج هذا التعزيز عن عدة عوامل، من أبرزها ارتفاع الكثافة السكانية، وخصائص مواد البناء ذات السعة الحرارية العالية، والاستخدام المتزايد لأجهزة التكييف، بالإضافة إلى الانبعاثات الحرارية الناتجة عن حركة المرور والأنشطة البشرية (Oke, 1982; Santamouris, 2015;Talya, 2021).

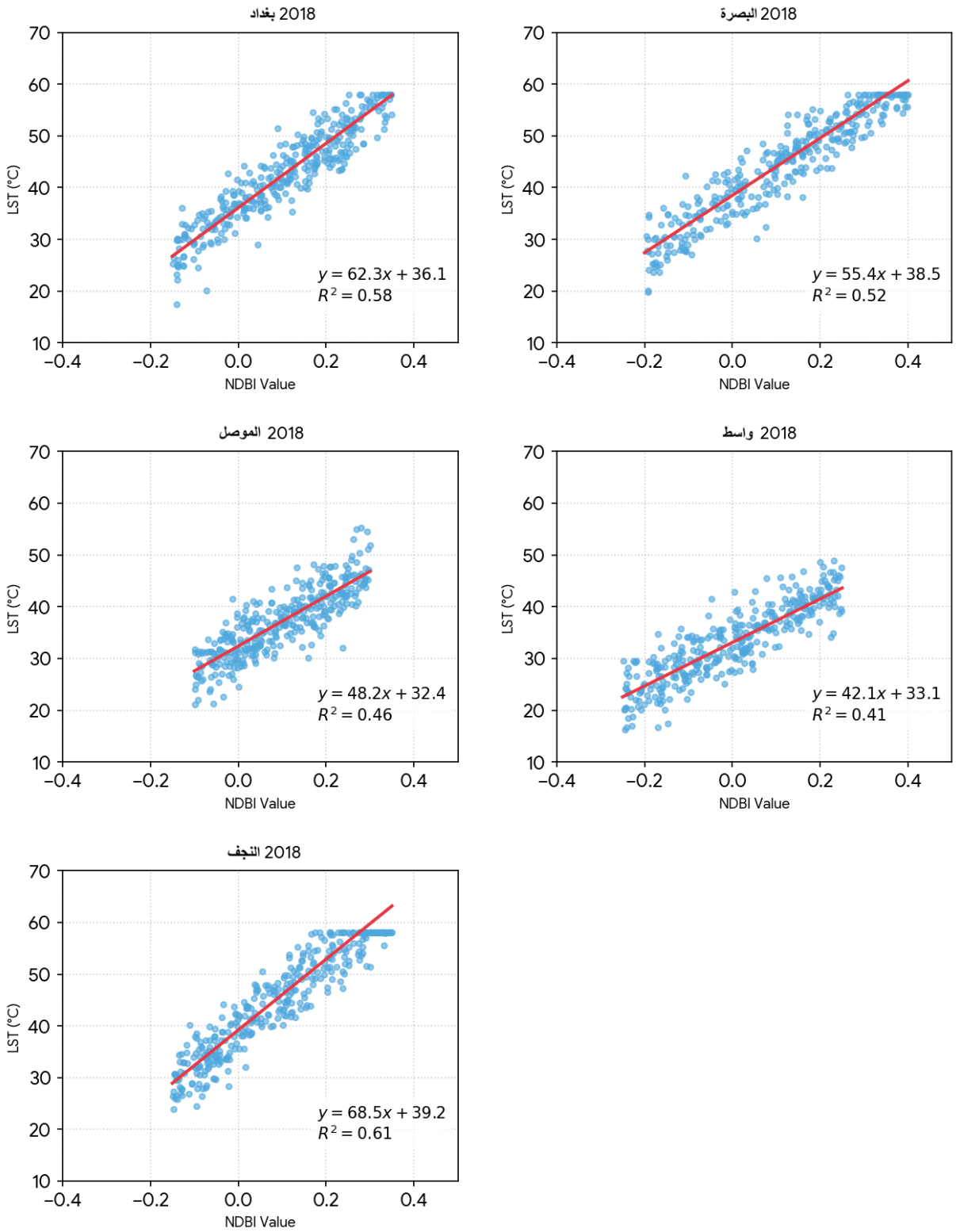
وقد تم تحليل العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض والمناطق الحضرية باستخدام تقنيات التراكب المكاني ضمن نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، من خلال دمج خرائط (LST) مع تصنيفات استخدامات الأرض/الغطاء الأرضي (LULC)، وتُظهر النتائج أن درجات حرارة سطح الأرض داخل المناطق الحضرية ليست متجانسة، بل تتسم بتباين مكاني واضح حتى داخل المدينة الواحدة. ويرتبط هذا التباين بشكل وثيق بالمورفولوجيا الحضرية المحلية، وكثافة المباني، ووجود الغطاء النباتي أو غيابه (انظر الشكل ٧)

وفي بعض الحالات، تسجل بعض المناطق الحضرية قيمًا أعلى لدرجة حرارة السطح مقارنة بالمناطق العارية المحيطة، ولا سيما في الأحياء المكتظة في بغداد والبصرة. وعلى النقيض من ذلك، تُظهر بعض المناطق الحضرية التي تحتوي على غطاء نباتي ملحوظ أو تقع بالقرب من المسطحات المائية (مثل ضفاف نهر دجلة في بغداد والموصل) قيماً أقل لدرجة حرارة السطح مقارنة بالمناطق غير الحضرية المجاورة (انظر الشكل ٥). وتشير هذه النتائج إلى أن درجة حرارة سطح الأرض لا تتحدد فقط بنوع الغطاء الأرضي، بل تتأثر بمجموعة من العوامل تشمل التصميم الحضري، ومواد السطح، والظروف المناخية المحلية الدقيقة(المعموري, ٢٠٠٩;Estoque et al.,2017) .

الشكل (٧): درجة حرارة سطح الأرض (LST) للمناطق الخضراء والحضرية والمناطق العارية



الشكل (٨): العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض (LST) ومؤشر (NDBI)



جدول (٧): العلاقة بين (LST) ومؤشر (NDBI)

المدينة	1990 (معامل بيرسون r)	الدلالة Sig.	R^2	2000 (معامل بيرسون r)	الدلالة Sig.	R^2	2018 (معامل بيرسون r)	الدلالة Sig.	R^2
بغداد	0.701**	0.000	0.4914	0.735**	0.000	0.5402	0.812**	0.000	0.6593
البصرة	0.758**	0.000	0.5745	0.801**	0.000	0.6416	0.856**	0.000	0.7323
واسط	0.682**	0.000	0.4651	0.721**	0.000	0.5198	0.789**	0.000	0.6226
النجف	0.744**	0.000	0.5535	0.776**	0.000	0.6022	0.834**	0.000	0.6956
الموصل	0.611**	0.000	0.3734	0.668**	0.000	0.4462	0.742**	0.000	0.5506

العلاقة بين LST ومؤشرNDBI

لإجراء تحليل أعمق للعلاقة بين التحضر ودرجة حرارة سطح الأرض(LST) ، تم استخراج أكثر من ٥٠٠٠ نقطة عينة مكانية باستخدام شبكة (Fishnet Grid) ضمن برنامج(ArcGIS) ، وقد استُخدمت هذه النقاط لتحليل الارتباط بين مؤشر الفرق الطبيعي للمناطق المبنية (NDBI) ودرجة حرارة سطح الأرض في جميع المحافظات المختارة .
(انظر الشكل ٨).

تُظهر النتائج وجود علاقة طردية قوية بين مؤشر (NDBI) ودرجة حرارة سطح الأرض، مما يدل على أن المناطق ذات الكثافة العمرانية الأعلى تميل إلى تسجيل درجات حرارة سطحية أعلى. إذ تُظهر معظم التجمعات الحضرية في المحافظات العراقية قيم (NDBI) تتراوح بين ٠.٠٥ و٠.٢٥، وهي مرتبطة بقيم (LST) تتراوح بين ٣٢ و٥٢ درجة مئوية، ولا سيما في وسط بغداد، والمناطق الصناعية في البصرة، والمناطق الحضرية المتوسعة في أطراف النجف وواسط (انظر الجدول ٧).

في المقابل، ترتبط قيم (NDBI) السالبة، التي تمثل المناطق النباتية أو المتأثرة بالمياه، بانخفاض واضح في درجات حرارة سطح الأرض. ويؤكد التحليل الإحصائي وجود علاقة طردية ذات دلالة معنوية بين (LST) و (NDBI) عبر جميع المحافظات المدروسة، وهو ما يتوافق مع نتائج دراسات سابقة في البيئات الحضرية الجافة (Weng, 2009; Zha et al., 2003).

الاختلافات الحرارية بين المحافظات الساحلية والداخلية

يكشف التحليل المكاني أن التأثيرات الساحلية تلعب دورًا مُعدِّلًا في توزيع درجة حرارة سطح الأرض(LST) ، ولا سيما في مدينة البصرة. إذ يسهم القرب من المسطحات المائية في إحداث تأثيرات تبريد محلية نتيجة ارتفاع الرطوبة النسبية ودوران نسيم البحر. وفي المقابل، تعاني المحافظات الداخلية مثل بغداد والنجف وواسط والموصل من تراكم حراري أكبر بسبب انخفاض الرطوبة الجوية وضعف التهوية الطبيعية.

ومع ذلك، وعلى الرغم من الطابع الساحلي لمدينة البصرة، فإن التوسع الحضري والنشاط الصناعي قد قلّلا بشكل ملحوظ من القدرة التبريدية للعمليات الساحلية الطبيعية. كما تُظهر النتائج أن المناطق الحضرية البعيدة عن المسطحات المائية

تسجل باستمرار قيمًا أعلى لدرجة حرارة السطح، مما يبرز الدور الحاسم لكل من الهندسة الحضرية، ومواد الأسطح، وتوزيع الغطاء النباتي في التحكم بالسلوك الحراري داخل المحافظات.

التوسع الحضري والحرارة الناتجة عن الأنشطة البشرية

أدى التوسع الحضري في المحافظات العراقية إلى زيادة الإجهاد الحراري نتيجة الكثافة العالية في الاستخدامات السكنية والتجارية والصناعية للأراضي. كما أن الاستخدام الواسع لمواد البناء مثل الأسفلت والخرسانة والإسمنت قد زاد من قدرة الأسطح على تخزين الحرارة وخفّض من قيمة الانعكاسية السطحية(Albedo) ، مما أدى إلى ارتفاع درجات حرارة النهار وإبطاء عملية التبريد الليلي(Oke, 1982 ;شحاذة, ٢٠٢٥)

وبالإضافة إلى ذلك، يسهم الاستخدام الواسع لأنظمة التكييف في إطلاق كميات كبيرة من الحرارة الناتجة عن الأنشطة البشرية(Anthropogenic Heat) ، مما يعزز بدوره من شدة تأثيرات الجزر الحرارية الحضرية على المستوى المحلي. كما يؤدي النمو السكاني وارتفاع استهلاك الطاقة خلال فصل الصيف الحار إلى تضخيم هذه العملية، ولا سيما في مدينتي بغداد والبصرة.

وتُعد المناطق الصناعية ومحاور النقل من أبرز بؤر ارتفاع درجات حرارة سطح الأرض(LST) ، خاصة في الأجزاء الجنوبية من البصرة والمناطق شبه الحضرية في أطراف بغداد. وتتميز هذه المناطق باستمرار ارتفاع درجات الحرارة بسبب الاستهلاك الطاقي المستمر، وضعف الغطاء النباتي، وارتفاع نسبة الأسطح غير المنفذة.

دور النسيج الحضري وإمكانات التخفيف

تؤكد النتائج أن فهم مكونات النسيج الحضري يُعد عنصرًا أساسيًا في تفسير التباينات المكانية في درجة حرارة سطح الأرض (LST). إذ يلعب وجود الغطاء النباتي، والحدائق الحضرية، والمسطحات المائية دورًا مهمًا في الحد من ارتفاع درجات الحرارة السطحية من خلال عمليات النتح–التبخر وتوفير الظل(,.Estoque et al 2017)

وتؤكد الدراسات السابقة أن تقليل الأسطح غير المنفذة وزيادة المساحات الخضراء الحضرية يمكن أن يسهم بشكل ملحوظ في خفض شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في البيئات الجافة (Santamouris, 2015)

وبناءً عليه، ينبغي أن تركز استراتيجيات التخطيط الحضري في المحافظات العراقية على دمج البنية التحتية الخضراء، واستخدام مواد بناء مستدامة، وتحسين هندسة النسيج الحضري، بهدف تقليل الإجهاد الحراري وتعزيز الاستدامة البيئية داخل المحافظات.

٣.٦. تأثير المناطق العارية على درجة حرارة سطح الأرض (LST) في الأقاليم الجافة وشبه الجافة

تتكون المناطق العارية داخل المحافظات العراقية وحولها، مثل بغداد والبصرة وواسط والنجف والموصل، بشكل رئيس من ترب رملية وأراضٍ غير مغطاة بالنباتات. ويُظهر التحليل المكاني لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) أن هذه الأسطح العارية تسجل باستمرار أعلى متوسط لقيم (LST) مقارنة بالمناطق المبنية والمناطق النباتية، كما هو موضح في الشكل (٧) والجدول (٦).

ومع ذلك، فإن قيم (LST) داخل المناطق العارية ليست متجانسة مكانيًا، إذ توجد فروقات واضحة بين القيم الدنيا والقصوى عبر جميع المحافظات المدروسة. وفي بعض الحالات، تُسجل بعض مواقع التربة العارية درجات حرارة أقل من المناطق الحضرية المجاورة وحتى من بعض المناطق النباتية.

ويُظهر التحليل المكاني أن هذه المناطق العارية ذات درجات الحرارة المنخفضة نسبيًا تقع عادة بالقرب من المسطحات المائية مثل نهري دجلة والفرات، والمناطق الساحلية في البصرة، أو في المناطق الانتقالية بين الأراضي الزراعية والمناطق الحضرية. ويعكس ذلك تأثير الرطوبة المحلية وتدرج استخدامات الأرض في تعديل الخصائص الحرارية السطحية.

لماذا تُظهر المناطق العارية قيمًا مرتفعة لدرجة حرارة سطح الأرض(LST)

تُعزى القيم المرتفعة لدرجة حرارة سطح الأرض في المناطق العارية إلى مجموعة من العوامل الفيزيائية والبيئية المتداخلة. وتشمل هذه العوامل امتصاص الإشعاع الشمسي العالي، وغياب أو ندرة الغطاء النباتي، وانخفاض الرطوبة النسبية، بالإضافة إلى شدة الجفاف في التربة السطحية. وفي سياق مناخ العراق، تؤدي الظروف الجافة الممتدة إلى تعزيز عمليات تسخين التربة بشكل كبير، لا سيما خلال أشهر الصيف.

علاوة على ذلك، تلعب الخصائص الفيزيائية للتربة دورًا محوريًا في التحكم بالسلوك الحراري السطحي. إذ تؤثر الاختلافات في لون التربة، وقوامها، وتركيبها المعدني، وتكوّن القشور السطحية في كمية الإشعاع الشمسي الممتص والمنعكس. وتنعكس هذه العوامل بشكل مباشر على الانبعاثية الحرارية (Emissivity) والموصلية الحرارية، مما يؤدي إلى تباين مكاني واضح في قيم درجة حرارة سطح الأرض عبر المناطق العارية (Weng, 2009).

رطوبة التربة وتأثير القصور الحراري

تُعد رطوبة التربة أحد أهم العوامل المسيطرة على درجة حرارة سطح الأرض (LST) في المناطق العارية. إذ تتميز الترب الرملية، التي تسود في أجزاء واسعة من جنوب ووسط العراق، بقدرة منخفضة على الاحتفاظ بالمياه وبقصور حراري ضعيف. ونتيجة لذلك، فإنها تسخن بسرعة خلال ساعات النهار وتفقد حرارتها بسرعة خلال الليل، مما يؤدي إلى تسجيل قيم مرتفعة لدرجة حرارة سطح الأرض خلال النهار.

وخلال الظروف الصيفية، يؤدي التبخر السريع إلى انخفاض إضافي في رطوبة التربة، مما يعزز من شدة تسخين السطح. وينتج عن ذلك علاقة طردية قوية بين الترب الرملية العارية وارتفاع قيم (LST) في جميع المحافظات العراقية المدروسة.

في المقابل، تُظهر الترب الطينية والأراضي الزراعية، ولا سيما في أجزاء من واسط وشمال بغداد، قدرة أعلى على الاحتفاظ بالرطوبة واستجابة حرارية أبطأ. وتُسجل هذه المناطق قيمًا أقل لدرجة حرارة السطح نتيجة زيادة تدفق الحرارة الكامنة (Latent Heat Flux)وعمليات النتح–التبخر، والتي تسهم في تنظيم درجة حرارة السطح وتخفيف الإجهاد الحراري(ج, ٢٠٢١ ;Estoque et al., 2017).

العلاقة المكانية بين الأراضي العارية والمناطق الحضرية

يُظهر التحليل المكاني أن السلوك الحراري للمناطق العارية يتأثر بشكل واضح بقربها من أنواع أخرى من استخدامات الأرض. إذ تميل الترب العارية الواقعة بالقرب من المسطحات المائية أو الأراضي الزراعية المروية إلى تسجيل قيم أقل لدرجة حرارة سطح الأرض(LST) ، وذلك نتيجة التأثيرات التبريدية المحلية وارتفاع مستويات الرطوبة في هذه البيئات.

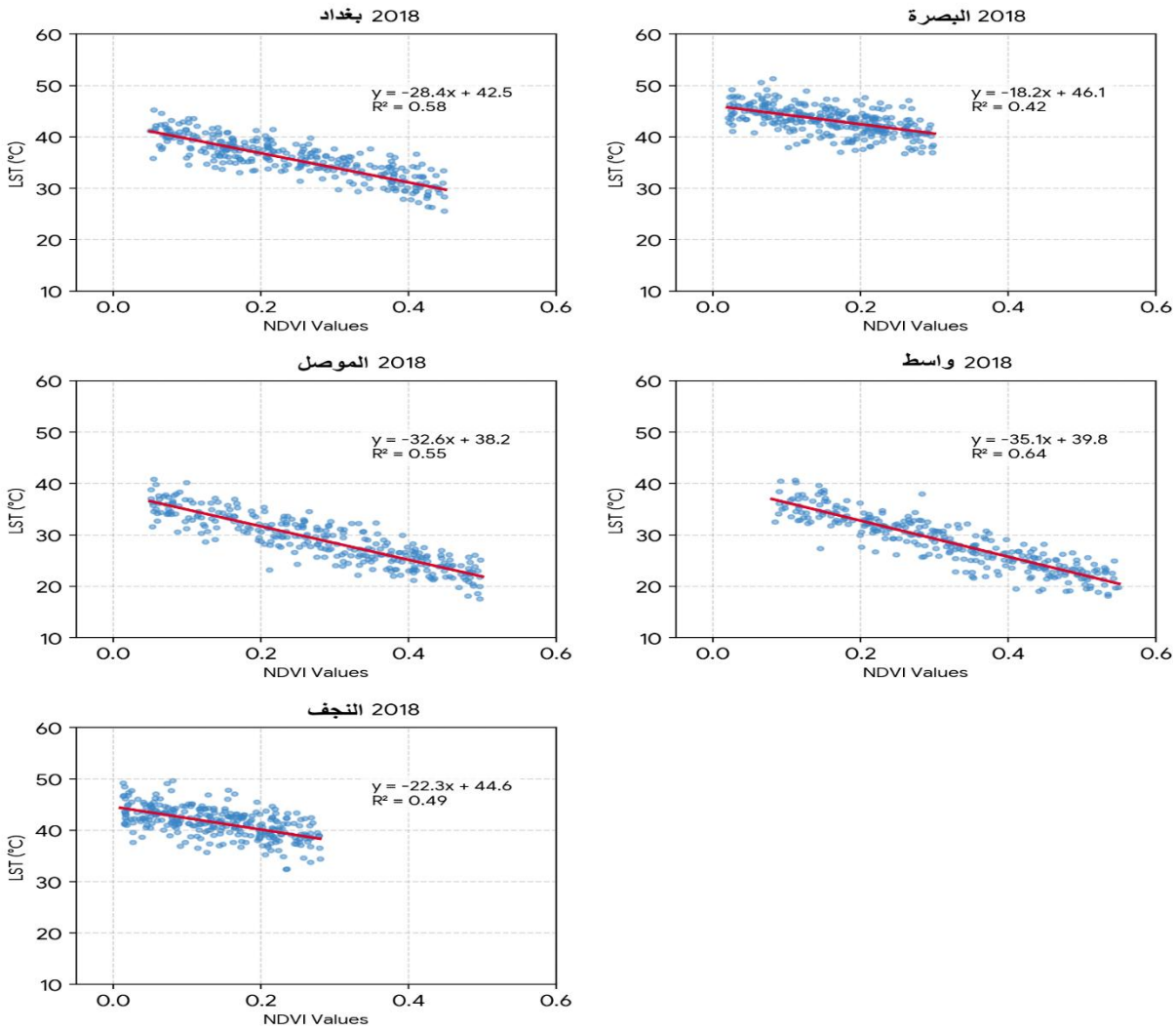
في المقابل، تُسجل المناطق العارية الواقعة عند الهوامش الحضرية أو ضمن مناطق التوسع الصناعي (مثل أطراف بغداد والبصرة) قيماً مرتفعة بشكل ملحوظ لدرجة حرارة السطح. ويعكس هذا النمط التفاعل المشترك بين تدهور الأراضي، والتوسع الحضري، وغياب الغطاء النباتي، مما يؤدي إلى تعزيز الاحتباس الحراري السطحي وزيادة الإجهاد الحراري في هذه المناطق.

٤.٦. تأثير المناطق الخضراء على درجة حرارة سطح الأرض (LST) في الأقاليم الجافة وشبه الجافة

تم إجراء تحليل مكاني للعلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض (LST) والغطاء النباتي في المحافظات العراقية (بغداد، البصرة، واسط، النجف، والموصل) من خلال دمج مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) مع قيم LST المستخرجة من صور لاندسات. وقد تم استخراج أكثر من ٥٠٠٠ نقطة عينة مكانية باستخدام شبكة (Fishnet Grid) ضمن برنامج ArcGIS ، بهدف تقييم العلاقة الإحصائية بين (NDVI) و (LST) باستخدام تحليل المخططات التشتتية ثنائية الأبعاد (انظر الشكل ٩).

وتُظهر النتائج بوضوح وجود علاقة عكسية قوية بين الغطاء النباتي ودرجة حرارة سطح الأرض، إذ تنخفض قيم LST بشكل مستمر مع ازدياد قيم (NDVI) في جميع المحافظات المدروسة (انظر الجدول ٨). ويؤكد ذلك الدور الحيوي للغطاء النباتي في التبريد داخل البيئات الحضرية الجافة وشبه الجافة، من خلال عمليات النتح–التبخر وتوفير الظل وتقليل امتصاص الإشعاع الشمسي (Weng, 2009; Estoque et al., 2017; كمونة & العزاوي, ٢٠٠٩).

الشكل (٩): العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض (LST) ومؤشر (NDVI)



جدول (٨): العلاقة بين (LST) ومؤشر (NDVI)

المدينة	1990 (معامل بيرسون r)	الدلالة Sig.	R^2	2000 (معامل بيرسون r)	الدلالة Sig.	R^2	2018 (معامل بيرسون r)	الدلالة Sig.	R^2
بغداد	−0.612**	0.000	0.3746	−0.655**	0.000	0.4290	−0.701**	0.000	0.4914
البصرة	−0.588**	0.000	0.3457	−0.621**	0.000	0.3857	−0.668**	0.000	0.4462
واسط	−0.547**	0.000	0.2992	−0.589**	0.000	0.3469	−0.642**	0.000	0.4123
النجف	−0.603**	0.000	0.3636	−0.636**	0.000	0.4045	−0.689**	0.000	0.4747
الموصل	−0.518**	0.000	0.2683	−0.552**	0.000	0.3047	−0.611**	0.000	0.3734

الغطاء النباتي بوصفه منظِّمًا للتبريد

تُظهر المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف أدنى قيم لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) في جميع المحافظات العراقية المدروسة. ويؤكد هذا النمط الدور الأساسي للبنية التحتية الخضراء في التخفيف من ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) من خلال عمليات النتح–التبخر، وتوفير الظل، وزيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة. وتؤكد النتائج الإحصائية وجود علاقة عكسية ذات دلالة معنوية بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) في جميع المحافظات، وهو ما يتوافق مع نتائج دراسات سابقة أُجريت في البيئات الجافة. إذ تُظهر مناطق القيم المرتفعة لـ (NDVI)، ولا سيما الأراضي الزراعية في واسط والمناطق النهرية على طول نهري دجلة والفرات، انخفاضًا مستمرًا في درجات حرارة السطح مقارنة بالمناطق الحضرية والمناطق العارية المحيطة.(انظر الشكل ٧) وتؤكد هذه النتائج أن الغطاء النباتي يعمل كنظام تبريد طبيعي يحد من تراكم الحرارة ويحسن الظروف المناخية المحلية الدقيقة (Santamouris, 2015؛ اليوزبكي & ألحمداني, ٢٠١٧).

التباين المكاني في تأثيرات التبريد

على الرغم من الأثر التبريدي العام للغطاء النباتي، إلا أن مقدار انخفاض درجة حرارة سطح الأرض (LST) يختلف بشكل ملحوظ تبعًا لبنية الغطاء النباتي وكثافته وتكوينه المكاني. إذ تُظهر المناطق الخضراء الكثيفة والمتصلة، مثل المناطق الزراعية في واسط والأحزمة الخضراء شبه الحضرية في بغداد، أقوى تأثيرات التبريد مقارنة بغيرها من الأنماط. في المقابل، فإن البقع النباتية المتجزئة أو المتناثرة داخل المناطق الحضرية أو ضمن الأراضي العارية تسجل قيمًا أعلى لدرجة حرارة السطح. ويشير ذلك إلى أن التكوين المكاني للغطاء النباتي لا يقل أهمية عن كميته في التحكم بدرجة حرارة السطح، إذ إن الاستمرارية المكانية للغطاء الأخضر تعزز من كفاءة التبريد وتحسن من تنظيم المناخ المحلي.

تأثير المسطحات المائية والرطوبة

يتعزز التأثير التبريدي للغطاء النباتي في المناطق القريبة من المسطحات المائية مثل الأنهار، وقنوات الري، والأراضي الرطبة. ففي مدينتي بغداد والموصل، يسهم القرب من نهر دجلة في خفض قيم درجة حرارة سطح الأرض

(LST)نتيجة ارتفاع الرطوبة النسبية وزيادة عمليات النتح–التبخر. أما في المحافظات الجنوبية مثل البصرة، فعلى الرغم من وجود الغطاء النباتي، فإن ارتفاع مستويات الرطوبة يساهم في تعديل العلاقة بين NDVI وLST؛ إذ يقلل من إجهاد النبات من جهة، لكنه في الوقت نفسه قد يحدّ من كفاءة التبريد الناتج عن التبخر–النتح خلال ظروف الصيف الشديدة الحرارة.

الإجهاد المناخي وأداء الغطاء النباتي

في البيئات شديدة الجفاف مثل النجف وبعض مناطق بغداد، يتعرض الغطاء النباتي لإجهاد مائي كبير نتيجة محدودية الهطول المطري وارتفاع معدلات التبخر–النتح. ويؤدي ذلك إلى انخفاض قيم مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) وإضعاف القدرة التبريدية للمساحات الخضراء خلال ذروة أشهر الصيف. ومع ذلك، وعلى الرغم من هذه الظروف الإجهادية، فإن المناطق النباتية لا تزال تسجل قيمًا أقل لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) مقارنة بالأسطح غير المنفذة والترب العارية، مما يؤكد دورها المستمر في الحد من التطرف الحراري الحضري والتخفيف من آثار الإجهاد الحراري داخل المحافظات.

الغطاء النباتي داخل المناطق الحضرية

داخل البيئات الحضرية، يعتمد التأثير التبريدي للغطاء النباتي على كثافته وتوزيعه ومدى ترابطه المكاني. إذ تسهم الحدائق العامة، والأشجار المحاذية للطرق، والممرات الخضراء الحضرية بشكل ملحوظ في خفض قيم درجة حرارة سطح الأرض (LST) محليًا، وتكوين ما يُعرف بـ"الجزر الباردة" (Cool Islands) داخل النسيج الحضري. في المقابل، فإن البقع النباتية المعزولة أو غير المنتظمة داخل النسيج الحضري الكثيف تُظهر تأثيرًا تبريديًا محدودًا. ويؤكد ذلك أهمية اعتماد استراتيجيات متكاملة للتخضير الحضري بدلًا من إنشاء مساحات خضراء مجزأة وغير مترابطة، بما يعزز من فعالية التخفيف الحراري على مستوى المدينة.

٧. التخطيط للتخفيف من ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) في المحافظات الجافة وشبه الجافة

تم اقتراح مجموعة واسعة من الاستراتيجيات والسياسات والتدخلات التصميمية الحضرية على المستوى العالمي للحد من ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) وتقليل درجة حرارة سطح الأرض (LST) في المحافظات سريعة التحضر. وفي سياق المحافظات العراقية مثل بغداد والبصرة وواسط والنجف والموصل، تكتسب هذه الاستراتيجيات أهمية خاصة بسبب التوسع الحضري السريع، وارتفاع درجات الحرارة الصيفية، وزيادة نسب الأسطح غير المنفذة. وتشمل هذه الاستراتيجيات بشكل عام زيادة الغطاء النباتي الحضري، وتحسين الانعكاسية السطحية (Albedo) باستخدام مواد بناء عاكسة للحرارة، وتقليل الانبعاثات الحرارية الناتجة عن الأنشطة البشرية، ودمج المسطحات المائية ضمن التصميم الحضري. إلا أن فعالية هذه التدخلات تعتمد على مجموعة من العوامل السياقية، بما في ذلك الكثافة العمرانية، والتكوين المكاني، والظروف المناخية، والخصائص الجغرافية المحلية(Oke, 1982;Santamouris, 2015; الخفاجي & نعيم, ٢٠٢٢).

التشجير الحضري كاستراتيجية أساسية للتخفيف

تؤكد نتائج هذه الدراسة أن المناطق الخضراء تؤدي وظيفة جوهرية في خفض درجة حرارة سطح الأرض (LST) في جميع المحافظات العراقية. ويُعد التشجير الحضري من أكثر الاستراتيجيات فعالية في الحد من آثار ظاهرة الجزر

الحرارية الحضرية(UHI) ، لا سيما في البيئات الجافة وشبه الجافة التي تتسم بارتفاع شديد في درجات الحرارة السطحية(Estoque et al., 2017) ومع ذلك، يواجه تطبيق مشاريع التشجير الحضري واسعة النطاق في العراق عدة تحديات، أبرزها ندرة الموارد المائية، وارتفاع تكاليف الري، وظروف الإجهاد المناخي. ولذلك، ينبغي دمج البنية التحتية الخضراء بشكل استراتيجي مع مجموعة من إجراءات التخفيف الأخرى بدلًا من الاعتماد عليها بشكل منفرد (Abulibdeh & Zaidan, 2020)

آليات التبريد للغطاء النباتي

يؤثر الغطاء النباتي بشكل كبير في البيئات الحرارية الحضرية من خلال مجموعة من العمليات البيوفيزيائية المتعددة. إذ تعمل الأشجار والشجيرات على خفض درجة حرارة السطح عبر توفير الظل، وزيادة عمليات النتح–التبخر، وتعديل أنماط حركة الرياح المحلية. وتؤدي هذه العمليات مجتمعة إلى خفض كل من درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة سطح الأرض(LST) ، مما يُسهم في تكوين ما يُعرف بالجزر الباردة (Cool Islands) داخل البيئات الحضرية (Bowler et al., 2010; Santamouris, 2015). وفي المحافظات العراقية، تُظهر المناطق النباتية الواقعة على طول الممرات النهرية مثل نهري دجلة والفرات أقوى تأثيرات تبريد، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع توفر رطوبة التربة وتعزيز عمليات النتح–التبخر. في المقابل، تُسجل المناطق المغطاة بالأعشاب فقط تأثيرات تبريد أضعف مقارنة بالمناطق المغطاة بالأشجار، مما يشير إلى أن نوع الغطاء النباتي يلعب دورًا حاسمًا في تحديد كفاءة التخفيف الحراري.

الامتداد المكاني لتأثيرات التبريد

لا يقتصر التأثير التبريدي للمناطق الخضراء على حدودها المباشرة، بل يمتد ليشمل المناطق الحضرية المحيطة بها. وتشير الدراسات السابقة إلى أن تأثير تبريد الحدائق الحضرية يمكن أن يمتد إلى عدة عشرات من الأمتار خارج حدودها الفيزيائية، ويعتمد ذلك على سرعة الرياح، وكثافة الغطاء النباتي، والظروف المناخية المحلية (Rafiee et al., 2016). وفي المحافظات العراقية، يكتسب هذا التأثير أهمية خاصة في الأحياء الحضرية الكثيفة في بغداد والبصرة، حيث يمكن للمساحات الخضراء الصغيرة أن تسهم في خفض درجات الحرارة محليًا. ومع ذلك، فإن البقع النباتية المجزأة توفر فوائد تبريد محدودة مقارنة بالممرات الخضراء المتصلة، التي تُعد أكثر كفاءة في تعزيز الاستمرارية الحرارية وتقليل تراكم الحرارة داخل النسيج الحضري.

التكامل مع التصميم الحضري

يؤدي الشكل العمراني (Urban Morphology) أثراً حاسمًا في تحديد فعالية استراتيجيات التخفيف من ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية(UHI) . إذ إن ارتفاع كثافة المباني وانخفاض معامل رؤية السماء (Sky View Factor) يؤديان إلى تقليل حركة الهواء وحبس الحرارة داخل النسيج الحضري، مما يزيد من شدة ظاهرة(UHI) ، وبناءً عليه، ينبغي أن يأخذ التخطيط الحضري في المحافظات العراقية بعين الاعتبار هندسة المباني، واتجاه الشوارع، وممرات التهوية، بهدف تعزيز كفاءة التبريد وتقليل تراكم الحرارة(Oke, 1982). كما أن دمج البنية التحتية الخضراء ضمن النسيج الحضري—مثل الأشجار المحاذية للطرق، والأسطح الخضراء، والحدائق الحضرية—يسهم بشكل كبير في خفض درجات حرارة السطح وتحسين الراحة الحرارية.

إضافةً إلى ذلك، فإن مواءمة توزيع الغطاء النباتي مع اتجاهات الرياح السائدة يعزز من كفاءة التبريد من خلال تسهيل حركة الهواء وتحسين التهوية الطبيعية داخل المحافظات.

المياه والاستراتيجيات الهجينة للتخفيف

نظرًا لطبيعة المناخ الجاف في العراق، يمكن أن تسهم الاستراتيجيات المعتمدة على المياه مثل البحيرات الاصطناعية، وقنوات الري، والنوافير في دعم البنية التحتية الخضراء وتعزيز التبريد الحضري. ومع ذلك، وبسبب محدودية الموارد المائية، فإن تطبيق هذه الاستراتيجيات يتطلب إدارة دقيقة وتكاملًا مع أنظمة استخدام المياه المستدامة لضمان عدم استنزاف الموارد الطبيعية. وعليه، تُعد الاستراتيجيات الهجينة التي تجمع بين الغطاء النباتي، والأسطح العاكسة، وتحسين الهندسة العمرانية، النهج الأكثر فعالية للحد من شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) في المحافظات العراقية. إذ يتيح هذا التكامل تحقيق توازن بين التخفيف الحراري والاستدامة البيئية ضمن بيئات حضرية تعاني من ضغوط مناخية ومائية متزايدة.

٨. قيود الدراسة والاعتبارات المستقبلية

على الرغم من الاستعمال القوي لتقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحليل درجة حرارة سطح الأرض (LST) وديناميكيات ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) عبر المحافظات العراقية، إلا أنه ينبغي الإقرار بوجود عدة قيود عند تفسير النتائج.

قد تتباين قيم درجة حرارة سطح الأرض (LST) بشكل ملحوظ عبر المواقع الجغرافية والفترات الزمنية المختلفة. وفي سياق العراق، يمكن أن تتأثر الفروقات في متوسط (LST) بين أنواع الغطاء الأرضي بعوامل متعددة، من بينها موسم الحصول على الصور، والظروف الجوية السائدة، وخصائص المستشعرات الفضائية، بالإضافة إلى نظام تصنيف استخدامات الأرض/الغطاء الأرضي (LULC) المستخدم في التحليل. كما أن الاختلافات الطبوغرافية بين المحافظات مثل الموصل (ذات الارتفاع الأعلى نسبيًا في الشمال) والبصرة (المناطق المنخفضة الجنوبية الساحلية) قد تسهم أيضًا في زيادة التباين الحراري المكاني(Weng, 2009;Estoque et al., 2017)

القيود الزمنية وقيود البيانات

ركزت هذه الدراسة بشكل أساسي على استخراج درجة حرارة سطح الأرض (LST) خلال ساعات النهار وفي فصل الصيف، باعتباره فترة الذروة للإجهاد الحراري في العراق. إلا أن استبعاد بيانات الليل والبيانات الخاصة بفصل الشتاء قد يحدّ من الفهم الشامل للديناميكيات اليومية والفصلية لظاهرة الجزر الحرارية الحضرية(UHI) . وبناءً عليه، ينبغي أن تتضمن الدراسات المستقبلية بيانات متعددة الزمن(Multi-temporal datasets) ، بما في ذلك القياسات الحرارية الليلية، من أجل فهم أفضل لعمليات احتفاظ السطح بالحرارة وإطلاقها في البيئات الحضرية. ومن شأن هذا النهج أن يوفر تصورًا أكثر شمولية للسلوك الحراري الحضري عبر الدورة اليومية الكاملة، مما يعزز دقة التحليل ويدعم تطوير نماذج أكثر واقعية للظواهر الحرارية الحضرية.

المقياس المكاني والتباين الحضري

تتعلق إحدى القيود الأخرى بمقياس الدقة المكانية وتحليل النطاق الحضري. فقد اعتمدت هذه الدراسة على بيانات لاندسات متوسطة الدقة (٣٠ متر)، والتي قد لا تكون كافية لالتقاط التباينات الدقيقة في المورفولوجيا الحضرية على

المستوى الجزئي. إذ تُظهر المحافظات العراقية درجة عالية من التباين الداخلي، تشمل مراكز تجارية عالية الكثافة، ومناطق سكنية منخفضة الكثافة، ومناطق صناعية، إضافة إلى الأحياء غير المخططة. وعليه، ينبغي أن تعتمد الدراسات المستقبلية على صور عالية الدقة وتحليلات مكانية أكثر تفصيلاً، بما يتيح التمييز بين الأنماط الحضرية المختلفة وأنواع الكتل العمرانية. ومن شأن ذلك أن يوفر تقييماً أكثر دقة لتأثير الشكل العمراني على تباين درجة حرارة سطح الأرض (LST)على المستوى داخل المدينة، ويعزز فهم العلاقة بين البنية الحضرية والسلوك الحراري.

التربة العارية والتباين السطحي

تُعد المساحات الواسعة من التربة العارية في المحافظات العراقية مصدرًا مهمًا للتباين الحراري المكاني. ومع ذلك، فإن الخصائص الحرارية لهذه الأسطح قد تختلف تبعًا لتركيب التربة، ومحتواها الرطوبي، وبنيتها المعدنية. إذ تُظهر أنواع التربة المختلفة خصائص متباينة في امتصاص الحرارة وإطلاقها، وهي جوانب لم يتم التقاطها بشكل كامل في هذه الدراسة. وعليه، ينبغي أن تركز الدراسات المستقبلية على تحليل الاستجابات الحرارية الخاصة بأنواع التربة في البيئات الجافة، بهدف فهم أدق لدور الأراضي العارية في تشكيل وتكثيف ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) وشدتها.

تأثير الغطاء النباتي وانتشار التبريد المكاني

على الرغم من أن هذه الدراسة تؤكد التأثير التبريدي للغطاء النباتي، إلا أنها لا تقيس بشكل كامل الامتداد المكاني لهذا التأثير خارج حدود المناطق الخضراء إلى الأحياء الحضرية المحيطة. ففي المحافظات العراقية، قد يختلف نطاق التأثير التبريدي للغطاء النباتي تبعًا لكثافته، ونظام الري المستخدم، ومدى قربه من المسطحات المائية. وعليه، ينبغي أن تتناول الدراسات المستقبلية مدى الامتداد المكاني للتبريد الناتج عن الغطاء النباتي، وكيفية تفاعله مع المناطق المبنية والأراضي العارية المحيطة به تحت ظروف مناخية مختلفة، بما يسهم في فهم أدق لديناميكيات التوازن الحراري داخل البيئات الحضرية.

المورفولوجيا الحضرية وتدفق الرياح

تؤدي الهندسة الحضرية (Urban Geometry) أثراً حاسمًا في التحكم في تراكم الحرارة وتشتتها داخل البيئة الحضرية. إذ يمكن للمباني المرتفعة، وشبكات الشوارع الكثيفة، والتخطيطات الحضرية غير المنتظمة أن تحد من حركة الهواء وتقلل من التبريد بالحمل الحراري(Convective Cooling) ، مما يؤدي إلى تعزيز شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) ، وعليه، ينبغي أن تتجه الدراسات المستقبلية إلى دمج مؤشرات المورفولوجيا الحضرية مثل ارتفاع المباني، ومعامل رؤية السماء(Sky View Factor) ، وخشونة السطح (Surface Roughness) مع البيانات الحرارية. ومن شأن هذا الدمج أن يسهم في فهم أكثر دقة لكيفية تأثير الشكل العمراني على توزيع الحرارة داخل المحافظات العراقية وآليات تراكمها وتشتتها.

التحليل المقارن متعدد المحافظات

أخيرًا، وعلى الرغم من أن هذه الدراسة تغطي عدة محافظات، إلا أن هناك حاجة إلى مزيد من الأبحاث المقارنة لفهم التباينات داخل المدينة الواحدة وبين المحافظات المختلفة فيما يتعلق بشدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) في العراق. إذ تشير الاختلافات في المناخ، ومعدلات النمو الحضري، وسياسات استخدامات الأرض إلى أن ديناميكيات (UHI) ليست متجانسة عبر جميع المناطق. وعليه، ينبغي أن تعتمد الدراسات المستقبلية إطارًا مقارنًا متعدد المستويات

(Multi–scale Comparative Framework)، يدمج بين المتغيرات المناخية والاجتماعية–الاقتصادية والتخطيطية الحضرية، بما يسهم في تطوير استراتيجيات أكثر فعالية للتخفيف من الإجهاد الحراري، تكون مصممة خصيصًا لتناسب خصائص كل مدينة على حدة.

٩. الاستنتاجات

تناولت هذه الدراسة تحليل نشوء وسلوك التوزيع المكاني والزماني لظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) في محافظات تقع ضمن الأقاليم الجافة وشبه الجافة، وذلك باستخدام صور الأقمار الصناعية لاندسات–٥ ولاندسات–٨ (OLI/TIRS). وقد تم تصنيف الغطاء الأرضي إلى ثلاث فئات رئيسية: المناطق الحضرية، والمناطق الخضراء، والمناطق العارية. وأظهرت النتائج أن المناطق العارية تسجل باستمرار أعلى متوسط لدرجة حرارة سطح الأرض(LST) ، في حين سجلت المناطق الخضراء أدنى القيم، مما يؤكد التأثير القوي لتركيب استخدامات الأرض على السلوك الحراري في البيئات الحضرية.

وعلى الرغم من ارتفاع قيم (LST) في المناطق العارية بشكل عام، إلا أن التحليل كشف عن وجود تباين مكاني واضح داخل كل فئة من فئات الغطاء الأرضي. إذ سُجلت في بعض المناطق الحضرية والخضراء قيم أعلى من بعض المناطق العارية، مما يشير إلى أن نوع الغطاء الأرضي ليس العامل الوحيد المحدد لدرجة حرارة السطح. بل إن عوامل إضافية مثل القرب من المسطحات المائية، وكثافة العمران، ومواد الأسطح، والهندسة الحضرية تلعب دورًا مهمًا في تشكيل أنماط (LST). ومن بين المحافظات المدروسة، أظهرت البصرة أعلى تباين في درجات الحرارة السطحية، ويُعزى ذلك إلى موقعها الساحلي وارتفاع نسب الغطاء النباتي فيها نسبيًا.

أكد تحليل الارتباط وجود علاقة طردية معنوية بين درجة حرارة سطح الأرض (LST) ومؤشر المناطق المبنية(NDBI) ، مما يدل على أن التوسع الحضري يسهم في زيادة درجات الحرارة السطحية. في المقابل، لوحظت علاقة عكسية معنوية بين LST ومؤشر الغطاء النباتي(NDVI) ، مما يبرز الدور التبريدي للغطاء النباتي في التخفيف من شدة ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية. وبشكل عام، توضح النتائج أن المناطق الحضرية والخضراء تؤثر في الخصائص الحرارية ولكن باتجاهين متعاكسين، في حين تبقى المناطق العارية المصدر الرئيس لارتفاع درجة حرارة السطح في هذه البيئات.

كما تؤكد الدراسة أن ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في المحافظات الجافة وشبه الجافة تتحكم بها مجموعة من العوامل المترابطة، تشمل أنماط استخدامات الأرض/الغطاء الأرضي والخصائص المورفولوجية الحضرية. وتراوحت الفروقات الحرارية بين أنواع الغطاء الأرضي بين ١–٧ درجات مئوية تقريبًا بحسب الموقع والمدينة. إذ تعمل المناطق الحضرية كمصادر للحرارة نتيجة مواد البناء والأنشطة البشرية، بينما تعمل المناطق الخضراء كجزر تبريد عبر الظل وعمليات النتح–التبخر . كما أثبتت الدراسة أن الغطاء النباتي يقلل درجة الحرارة بمعدل يصل إلى (٥°C)، بينما يساهم التوسع الحضري في زيادتها بنسبة (١٥–٢٠%).

وأخيرًا، تؤكد الدراسة أهمية دمج البنية التحتية الخضراء، ومواد البناء عالية الانعكاسية، واستراتيجيات التصميم الحضري المستدام ضمن سياسات التخطيط الحضري للحد من آثار ظاهرة(UHI) . كما أن زيادة الغطاء النباتي وتحسين التخطيط العمراني يمكن أن يساهما بشكل كبير في خفض درجة حرارة سطح الأرض وتحسين الراحة الحرارية في المحافظات سريعة التوسع في الأقاليم الجافة.

وتوصي الدراسة المستقبلية بضرورة إدراج بيانات الرصد الليلي، والتغيرات الموسمية، وبيانات ذات دقة زمنية أعلى، لفهم الديناميكيات الحرارية اليومية والفصلية بشكل أدق، وتطوير استراتيجيات أكثر فاعلية للتكيف مع المناخ الحضري.

المصادر

Abulibdeh, A., & Zaidan, E. (2020). Managing the water-energy-food nexus on an integrated geographical scale. *Environmental Development*, *33*, 100498.

Al-Ansari, N. (2013). Management of water resources in Iraq: perspectives and prognoses. *Engineering*, *5*(6), 667–684.

Bernhard, G. H., Neale, R. E., Barnes, P. W., Neale, P. J., Zepp, R. G., Wilson, S. R., Andrady, A. L., Bais, A. F., McKenzie, R. L., & Aucamp, P. J. (2020). Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2019. *Photochemical & Photobiological Sciences*, *19*(5), 542–584.

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, *97*(3), 147–155.

De Siqueira, A. C. (2012). The 2020 World Bank education strategy: Nothing new, or the same old gospel. In *The World Bank and Education* (pp. 67–81). Brill.

Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, *577*, 349–359.

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

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, *11*(5), 1633–1644.

Rafiee, A., Dias, E., & Koomen, E. (2016). Local impact of tree volume on nocturnal urban heat island: A case study in Amsterdam. *Urban Forestry & Urban Greening*, *16*, 50–61.

Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*.

Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of the Total Environment*, *512*, 582–598.

Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*, *98*, 119–124.

Talya, J. M. (2021). أثر التذبذب المناخي على تباين المناطق الجافة في العراق. *Al-Adab Journal*, *139*, 205–226.

Un-Habitat, U. (2021). SDG indicator metadata. *United Nations: Nairobi, Kenya*.

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

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.

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.

Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R., Qiao, Z., & Sobrino, J. A. (2018). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, *11*(1), 48.

الجميلي, م. د. س. ع. ج. (٢٠٢٥). تأثير الاحتباس الحراري على الغطاء النباتي وإدارة الموارد المائية في محافظة الأنبار–دراسة

تحليلية للآثار والتحديات المستقبلية. *مجلة كلية المعارف الجامعة*, ٣٦ (٣), ٣٢٧–٣٤٧.

الحسين, أ. م. د. ا. غ. ع. (٢٠٢٤). الخصائص الحرارية للكتل الهوائية السطحية المؤثرة في طقس العراق ومناخه . *Journal of College of Education*, *54*(1), 239–270.

الخفاجي, & نعيم, س. (٢٠٢٢). تحليل جغرافي لمشكلة التصحر والجفاف في بادية العراق الجنوبية . *Journal of Garmian University*, *9*(special issue 1), 238–262.

الدزيي, س. ع. خ., & جواد, ب. ا. (٢٠٠٨). موجات الرطوبة الصيفية في العراق–دراسة في المناخ الشمولي . *Al-Adab Journal*, *83*, 382–414.

السعدي, م. د. م. ط. م. (٢٠١٥). العناصر والظواهر المتحكمة في مناخ العراق . *Journal of the College of Basic Education*, *21*(90), 653–687.

الطاهر, أ. م. م. م. ا. د. ج. ح. (٢٠٢٢). التمثيل الخرائطي للخصائص الطبيعية المؤثرة في ظاهرة التصحر لمحافظة كركوك باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (RS) والاستشعار عن بعد .(Gis) *مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية*, ٣ (٩), ٤٩٠–٥١٢.

العزاوي, أ. م. د. ر. ر. ح., & العزاوي, أ. م. د. ر. ر. ح. (٢٠١٣). *زيادة كفاءة استخدام الماء ودوره في زيادة مساحة الأراضي المزروعة في العراق*.

المعموري, م. د. م. ع. ا. م. ا. م. م. م. خ. (٢٠٠٩). دور الجزر النهرية في تَغَيُر معامل التشعب لمجرى نهر دجلة بين مصب الزاب الاسفل وسدة سامراء. *مجلة ديالى للبحوث الانسانية*, ١ .(38)

اليوزبكي, س. م. ص., & ألحمداني, س. م. ا. (٢٠١٧). التصحر وأثره على واقع الزراعة و الغطاء النباتي في العراق للمدة (1980-2010). *Mesopotamia Journal of Agriculture*, *45*(4), 37.

ج, ت. خ. م. (٢٠٢١). قراءة وتحليل خصائص التربة واهميتها في استخراج التجوية ومراحل تطور التربة بين (حرير وبخديدة) شمال شرقي العراق. *Journal of Historical & Cultural Studies an Academic Magazine*, *12*(50, Part 1), 95 .

شبيب, و. خ. م., الأحمدي, ق. ك. ا., & قاسم, س. س. (٢٠٢٥). دور العناصر المناخية في تحديد الجزيرة الحرارية لمدينة الموصل (عناصر مختارة انموذجاً): دور العناصر المناخية في تحديد الجزيرة الحرارية لمدينة الموصل (عناصر مختارة انموذجاً). *مجلة التربية للعلوم الانسانية*, ٥ (٢٠.٤), ٧٩٩–٨٣٤.

شحاذة, ع. ع. (٢٠٢٥). التوسع العمراني غير المنظم وأثره في الاراضي الزراعية باستخدام صور الأقمار الصناعية للمدة (٢٠٠٠–٢٠٢٤) في محيط المدن الكبرى (الموصل، بغداد، البصرة). *مجلة العلوم الأساسية*, ١٩ (٣٠), ٦٥–٨٨.

عاتي, م. د. ن. ز., & ياسين, أ. د. ع. م. (٢٠٢٤). التنبؤ بتغيرات الغطاء الارضي واثره على الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية في العراق باستخدام تقانة .RS–GIS *مداد الآداب*, ١٤ (العدد الخاص بمؤتمر قسم الجغرافية), ١٦٢٨–١٦٤٨.

عباس, د. س. س., & الستار, د. ك. ا. ع. (٢٠١٢). ديناميكية النمو الحضري في العراق . *Journal of Planner and Development*, *26*, 239–257.

علاوي, م. د. إ. ع. (٢٠٢٤). العلاقات المكانية لعناصر النمو الحضري في العراق للمدة (١٩٨٧–٢٠٢٣). *مداد الآداب*, ١٤ (٣٦), ١٥٧٧–١٦٢٠.

كمونة, أ. د. ح. ع., & العزاوي, د. و. د. س. (٢٠٠٩). الزحف العمراني على المناطق الخضراء وآثاره البيئية على مدينة بغداد . *Journal of Planner and Development*, *21*, 1–34.

محمد, م. د. س. ج., & الشطاوي, م. م. د. ح. ل. (٢٠١٦). التغير المُناخي واثره على تغير درجات الحرارة في العراق–Al . *Mostansiriyah Journal for Arab and International Studies*, *13*(54), 1–25.