Journal Of the Iraqia University (75-1) December (2025)
ISSN(Print): 1813-4521 OnIine ISSN:2663-7502
Journal Of the Iraqia University
available online at
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/247

تقييم دور تغير المناخ واشارات الاستشعار عن بعد في درجات الحرارة القصوى في العراق

م . م. عقيل عبدالستار سعيد
المديرية العامة لتربية ديالى

Assessing climate change and remote sensing signals at extreme temperatures in Iraq

Aqeel AbdulSattar Saeed
Directorate General of Diyala Education
aqeelalzubede@gmail.com

الملخص

يهدف هذا البحث إلى تقييم دور تغير المناخ في التأثير على درجات الحرارة القصوى في العراق، من خلال توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل ورصد هذه الظاهرة بشكل دقيق ومكاني. اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي المدمج مع الجانب الكمي، حيث تم جمع وتحليل السجلات المناخية الأرضية المسجلة في المحطات المناخية الرئيسية خلال الفترة الممتدة من (١٩٨٥ إلى ٢٠٢٣)، إلى جانب دمج البيانات الفضائية الحرارية المستخلصة من صور الأقمار الصناعية، مما ساهم في التغلب على محدودية التوزيع الجغرافي لمحطات الرصد التقليدية. أظهرت النتائج ارتفاعًا ملحوظًا في متوسط درجات الحرارة القصوى على المستوى الوطني، حيث ارتفع من ٤٣.٤°م خلال الفترة (١٩٨٥–٢٠٠٠) إلى ٤٧.٨°م في الفترة (٢٠١٦–٢٠٢٣)، أي بزيادة إجمالية قدرها ٤.٤°م خلال أقل من أربعة عقود، مما يؤكد أن العراق يشهد احتباسًا حراريًا أسرع من المعدل العالمي. وفي ضوء هذه النتيجة الخطيرة، يوصي البحث بضرورة تطوير نظام وطني للإنذار المبكر لموجات الحر، يعتمد على دمج البيانات المناخية الأرضية مع التحليلات المكانية من خلال الاستشعار عن بعد وGIS، وذلك لحماية الفئات الضعيفة، ودعم التخطيط الحضري المستدام، وتعزيز قدرة الدولة على التكيف مع التغيرات المناخية المتسارعة. الكلمات المفتاحية تغير المناخ، درجات حرارة قصوى، استشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية

Abstract

This study aims to evaluate the role of climate change in affecting maximum temperature extremes in Iraq, by utilizing remote sensing technologies and Geographic Information Systems (GIS) to analyze and monitor this phenomenon accurately and spatially. The research adopts a descriptive-analytical approach integrated with a quantitative methodology, involving the collection and analysis of ground-based climatic records from major meteorological stations over the period (1985–2023), alongside the integration of thermal satellite data extracted from satellite imagery. This integration helps overcome the limitations of the sparse geographical distribution of traditional weather stations. The results reveal a significant increase in the national average of maximum temperatures, rising from 43.4°C during the period (1985–2000) to 47.8°C in the period (2016–2023), representing a total increase of 4.4°C over less than four decades. This confirms that Iraq is experiencing a rate of global warming faster than the global average. In light of these alarming findings, the study recommends the urgent development of a national early warning system for heatwaves, based on the integration of ground-based climatic data with spatial analyses using remote sensing and GIS. Such a system would protect vulnerable populations, support sustainable urban planning, and enhance the country's capacity to adapt to accelerating climate change. Key word : Climate change , Maximum temperature , Remote sensing , Geographic information syatems

المقدمة:

أضحى تغير المناخ أحد القضايا الجوهرية التي تواجه البشرية في العقود الأخيرة، إذ لم يعد مجرد ظاهرة طبيعية متقلبة، بل أصبح حقيقة علمية مؤكدة تُثبتها القياسات المناخية والتقارير الدولية الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ .(IPCC) فقد شهد كوكب الأرض خلال القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين ارتفاعاً متسارعاً في متوسط درجات الحرارة، ترافق مع تغيّرات واسعة النطاق في النظم المناخية، بما في ذلك ذوبان الجليد القطبي، وارتفاع مستويات سطح البحر، وتزايد تواتر الظواهر الجوية المتطرفة. ومن بين هذه الظواهر، تُعد درجات الحرارة القصوى وما ينتج عنها من موجات حر متطرفة أحد أخطر التحديات التي تهدد الصحة العامة، والإنتاج الزراعي، وإدارة الموارد المائية، واستدامة الأنشطة الاقتصادية.إن لدرجات الحرارة القصوى تأثيرات متعددة الأبعاد؛ فهي ترتبط بشكل مباشر بازدياد معدلات الإصابة بضربات الشمس والأمراض المرتبطة بالإجهاد الحراري، كما تسهم في تراجع إنتاجية المحاصيل الزراعية وتدهور الأراضي، فضلاً عن دورها في زيادة الطلب على الطاقة نتيجة توسع استخدام وسائل التبريد، وتكمن خطورة هذه الظاهرة في كونها ليست محلية فحسب، بل عابرة للحدود، حيث تتداخل آثارها مع التغيرات المناخية الكبرى، مما يجعل دراستها ضرورة علمية وعملية على حد سواء.ومن أجل فهم ديناميات التغير في درجات الحرارة القصوى، لم تعد السجلات المناخية الأرضية التقليدية كافية وحدها، إذ تعاني غالباً من محدودية التوزيع الجغرافي وعدم انتظام السلاسل الزمنية. وهنا تبرز أهمية تقنيات الاستشعار عن بعد باعتبارها وسيلة حديثة وفعّالة توفر بيانات مكانية وزمنية متكاملة، تسمح برصد الظواهر الحرارية على نطاقات واسعة وبدقة عالية؛ إذ تتيح الأقمار الصناعية، مثل Landsat و MODIS وغيرهما، قياسات حرارية تسهم في رسم خرائط التوزيع المكاني لدرجات الحرارة السطحية وتحليل اتجاهاتها عبر الزمن. كما تساعد هذه التقنيات في سد الفجوات الناتجة عن نقص محطات الرصد المناخي الأرضية، وتوفر قاعدة بيانات داعمة للتنبؤات المناخية المستقبلية.

إشكالية البحث:

يشهد العالم في العقود الأخيرة تغيرات مناخية متسارعة، انعكست بشكل مباشر على الظواهر الجوية المتطرفة، ومن أبرزها الارتفاع الملحوظ في درجات الحرارة القصوى وما يرافقه من موجات حر طويلة الأمد. وهذه الظاهرة تحمل أبعاداً بيئية وصحية واقتصادية خطيرة، وتفرض تحديات على استدامة الموارد الطبيعية ورفاه المجتمعات البشرية. وفي ظل محدودية البيانات المناخية الأرضية من حيث التوزيع المكاني والدقة الزمنية، تبرز تقنيات الاستشعار عن بعد كأداة أساسية لتتبع التغيرات الحرارية وتقييم تأثيراتها.غير أن الإشكالية الأساسية تكمن في كيف يمكن الجمع بين البيانات المناخية التقليدية ومعطيات الاستشعار عن بعد لفهم العلاقة بين تغير المناخ ودرجات الحرارة القصوى؟ وهل يمكن لهذه البيانات أن توفر صورة أدق عن الاتجاهات الحرارية وأنماطها المكانية والزمنية بما يعزز القدرة على التكيف مع هذه الظاهرة والتقليل من آثارها السلبية؟

أهمية البحث:

تنبع أهمية هذا البحث من كونه يتناول إحدى القضايا البيئية الملحّة والمتمثلة في ظاهرة تغير المناخ وما ينجم عنها من ارتفاع متزايد في درجات الحرارة القصوى، بما تحمله من انعكاسات مباشرة على صحة الإنسان وإنتاج الغذاء واستقرار النظم البيئية. كما تكمن أهميته في اعتماده على مقاربة مزدوجة تجمع بين السجلات المناخية الأرضية ومعطيات الاستشعار عن بعد، الأمر الذي يتيح إمكانية الحصول على صورة أكثر شمولية ودقة للتغيرات الحرارية عبر المكان والزمان. ويُسهم هذا الدمج في سد الفجوات الناتجة عن محدودية محطات الرصد التقليدية، وفي الوقت ذاته يعزز القدرة على مراقبة الظواهر المناخية المتطرفة ورسم خرائط دقيقة لتوزعها. إضافة إلى ذلك، فإن البحث يكتسب قيمته العلمية من كونه يسلط الضوء على التباينات المكانية والزمانية لدرجات الحرارة القصوى في ضوء التغير المناخي، مما يفتح المجال أمام الباحثين لتطوير نماذج تنبؤية تدعم الاستراتيجيات التكيفية. وعلى المستوى التطبيقي، فإن نتائجه من شأنها أن توفر قاعدة معرفية يمكن أن يستفيد منها صانعو القرار والجهات المعنية بالتخطيط البيئي وإدارة الموارد، في وضع سياسات أكثر فاعلية للتعامل مع مخاطر موجات الحر، والتقليل من آثارها على المجتمع والاقتصاد والبيئة.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى تقييم دور تغير المناخ في التأثير على درجات الحرارة القصوى، وتوظيف تقنيات الاستشعار عن بعد في تحليل ورصد هذه الظاهرة، وذلك من خلال الدمج بين السجلات المناخية الأرضية والبيانات الفضائية الحرارية.

منهج البحث:

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي بوصفه الإطار الأنسب لدراسة الظواهر المناخية ورصد اتجاهاتها الزمنية والمكانية، فقد تم توظيف هذا المنهج في وصف التغيرات الحرارية المرتبطة بدرجات الحرارة القصوى، وتحليل العوامل المناخية المؤثرة فيها، ثم تفسير النتائج في ضوء ظاهرة

التغير المناخي. كما استند البحث إلى المنهج الكمي من خلال جمع ومعالجة البيانات المناخية الأرضية المسجلة في محطات الرصد، ومقارنتها بالبيانات الحرارية المستخلصة من صور الأقمار الصناعية، بما يتيح تحقيق التكامل بين مصادر البيانات المختلفة.ومن أجل ضمان الدقة في التفسير، تم الاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأدوات أساسية لمعالجة صور الأقمار الصناعية، واستخراج المؤشرات الحرارية منها، ثم تمثيلها مكانياً لرصد التباينات الحرارية عبر منطقة الدراسة. كما جرى استخدام الأساليب الإحصائية في اختبار العلاقة بين السجلات المناخية والبيانات الفضائية، وتحليل الاتجاهات الزمنية للتغيرات الحرارية ومدى ارتباطها بظاهرة تغير المناخ.وبهذا يجمع المنهج المعتمد بين الجانب الوصفي الذي يهدف إلى تحديد خصائص الظاهرة المناخية موضوع الدراسة، والجانب الكمي التحليلي الذي يركز على قياس التغيرات واختبار العلاقات الإحصائية، إضافة إلى الجانب التطبيقي الذي يوظف تقنيات الاستشعار عن بعد و GIS لتقديم صورة مكانية وزمنية دقيقة عن درجات الحرارة القصوى.

الإطار النظري:

المبحث الأول: تغير المناخ ودرجات الحرارة القصوى:

يُعتبر تغير المناخ ظاهرة عالمية متشابكة الأبعاد، تجمع بين العوامل الطبيعية والبشرية، ويؤثر بشكل مباشر على النظم البيئية والمجتمعية، ويُعرف تغير المناخ بأنه التحولات طويلة الأمد في معايير الطقس، مثل متوسط درجات الحرارة، وتوزيع الأمطار، وسرعة واتجاه الرياح، والتي تختلف عن التغيرات الموسمية المعتادة أو التقلبات الطبيعية قصيرة المدى[1]. وقد أظهرت الدراسات العلمية أن النشاط البشري، وخاصة من خلال الانبعاثات الغازية الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري والصناعات الثقيلة وإزالة الغابات، يساهم بشكل كبير في ارتفاع درجات الحرارة العالمية. كما تلعب العوامل الطبيعية، مثل النشاط الشمسي والانفجارات البركانية، دوراً مضافاً لكنه أقل تأثيراً مقارنة بالأنشطة البشرية، وفقًا لتقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ[2]. وتُعد درجات الحرارة القصوى من المؤشرات الحيوية لتقييم شدة الظواهر المناخية المتطرفة، فهي تعكس شدة موجات الحر التي يمكن أن تستمر لعدة أيام أو أسابيع، وتشير إلى التغيرات الحرارية الأكثر تأثيراً على الإنسان والبيئة، فقد أظهرت الدراسات أن ارتفاع درجات الحرارة القصوى يزيد من احتمالية الإصابة بالإجهاد الحراري، وضربات الشمس، والأمراض المرتبطة بالحرارة، خاصة لدى الفئات الضعيفة مثل الأطفال وكبار السن والمرضى المزمنين[3]. على المستوى الزراعي، يؤدي ارتفاع درجات الحرارة القصوى إلى انخفاض إنتاجية المحاصيل، وتأثير سلبي على جودة المنتجات الزراعية، وزيادة فقدان المياه من التربة بسبب التبخر السريع، مما يعرض الأمن الغذائي للخطر. أما على المستوى الاقتصادي، فإن ارتفاع الحرارة القصوى يؤدي إلى زيادة الطلب على الطاقة لتشغيل أجهزة التبريد، مما يضاعف الانبعاثات الغازية ويزيد من تكاليف الإنتاج والصيانة في قطاعات متعددة [4].وتشير البيانات المناخية العالمية إلى أن العقود الأخيرة شهدت ارتفاعاً ملحوظاً في تواتر ومدة موجات الحر، وهو ما يعكس ارتفاع درجات الحرارة القصوى بشكل ملموس على المستويين الإقليمي والعالمي. فوفقًا لتقرير IPCC لعام ٢٠٢١، سجلت معظم المناطق المدارية وشبه المدارية زيادة ملحوظة في الأيام التي تتجاوز فيها الحرارة عتبة ٣٥ درجة مئوية، فيما شهدت المناطق القطبية ارتفاعاً قياسياً في متوسط درجات الحرارة خلال فترات الصيف، ويشير هذا إلى أن درجات الحرارة القصوى لا تشكل مجرد حدث طارئ، بل هي انعكاس لظاهرة الاحترار العالمي المستمرة والتي تتسارع بمعدلات غير مسبوقة[5]. إن فهم درجات الحرارة القصوى في سياق تغير المناخ يتطلب دراسة دقيقة للأنماط المكانية والزمنية لهذه الظاهرة، فهناك تفاوت واضح بين المناطق الحضرية والريفية، إذ أن المدن، نتيجة لظاهرة "الحرارة الحضرية"، غالباً ما تسجل درجات أعلى مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة، وهو ما يزيد من أهمية دمج البيانات المناخية التقليدية مع تقنيات الاستشعار عن بعد لمراقبة التباينات الحرارية بدقة عالية. ويتيح هذا التكامل دراسة الاتجاهات الطويلة المدى لدرجات الحرارة القصوى، وتحديد الفترات الزمنية والمناطق الجغرافية الأكثر عرضة للحرارة الشديدة، بما يسهم في تطوير سياسات التكيف والتخفيف من آثار موجات الحر على المجتمع والبيئة [6].وفي ضوء ما سبق، يمثل المبحث الأول أساساً لفهم العلاقة بين تغير المناخ ودرجات الحرارة القصوى، وهو يمهد الطريق لتوظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في المبحث التالي، بما يوفر تقييماً علمياً دقيقاً وشاملاً للظاهرة، ويعزز القدرة على اتخاذ القرارات البيئية والمناخية المبنية على البيانات.

المبحث الثاني: الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة الحرارة القصوى:

تُعد تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) أدوات متقدمة وحيوية في دراسة الظواهر المناخية، وخاصة درجات الحرارة القصوى، لما توفره من قدرات عالية على الرصد والتحليل المكاني والزمني، وتكاملها مع البيانات المناخية التقليدية. ويُعرف الاستشعار عن بعد بأنه العملية التي يتم من خلالها جمع المعلومات حول سطح الأرض والظواهر البيئية والمناخية باستخدام أجهزة استشعار مثبتة على منصات جوية

أو فضائية، دون الحاجة للتواجد الميداني المباشر. وتتيح هذه التقنية متابعة الظواهر المناخية عبر مساحات واسعة وبانتظام زمني كبير، ما يجعلها أداة مثالية لتعويض القيود المرتبطة بمحطات الرصد الأرضية التقليدية، والتي غالباً ما تكون محدودة التوزيع أو غير قادرة على تغطية المناطق البعيدة أو ذات التضاريس الصعبة [7].وتعتمد الدراسات المناخية الحديثة على استخدام بيانات حرارية مستخلصة من الأقمار الصناعية، مثل MODIS، وLandsat، وSentinel، حيث توفر هذه المنصات قياسات دقيقة لدرجات حرارة سطح الأرض، بمستويات مختلفة من الدقة المكانية والزمنية. وتسمح هذه البيانات بمراقبة التغيرات الحرارية على مدى عقود من الزمن، وتحليل اتجاهات درجات الحرارة القصوى على المستويين الإقليمي والوطني، فضلاً عن إمكانية تحديد المناطق الأكثر عرضة لموجات الحر الشديدة. كما يمكن رصد التباينات الحضرية والريفية، حيث غالباً ما تسجل المدن ارتفاعاً ملحوظاً في درجات الحرارة بسبب ظاهرة "الحرارة الحضرية"، مقارنة بالمناطق المحيطة بها 8].ومن جانب آخر، توفر نظم المعلومات الجغرافية (GIS) أدوات تحليلية متقدمة لمعالجة البيانات الحرارية المستخلصة من الاستشعار عن بعد، وتمثيلها مكانياً على خرائط حرارية دقيقة. وتتيح هذه الخرائط تحليل التوزيع المكاني لدرجات الحرارة القصوى، وتحديد البؤر الحرارية، ومتابعة تغيرها عبر الزمن. كما تسمح نظم المعلومات الجغرافية بدمج المتغيرات المناخية الأخرى، مثل الرطوبة، ونوعية التربة، واستخدامات الأراضي، لتوليد نماذج تحليلية قادرة على تفسير الظواهر الحرارية والتنبؤ بها، بما يسهم في التخطيط العمراني والبيئي، واتخاذ قرارات مستنيرة للتكيف مع موجات الحر [9].وقد أثبتت الدراسات السابقة فعالية هذا التكامل بين الاستشعار عن بعد و GISفي تحسين دقة التحليلات المناخية، فقد أظهرت الدراسات الدولية، على سبيل المثال، أن استخدام بيانات MODIS و Landsat مكّن الباحثين من رصد ارتفاع درجات الحرارة السطحية في المناطق الحضرية بدقة تصل إلى عدة أمتار، ومتابعة تغيراتها على مدى عقود، مما ساهم في تحديد الاتجاهات الزمنية للحرارة القصوى وربطها بالعوامل المناخية والبشرية [10]. أما الدراسات المحلية، فقد أظهرت أن هذا التكامل يساعد على تحديد المناطق الحضرية ذات الضغط الحراري الأعلى، وتحليل أثر التوسع العمراني على درجات الحرارة، وهو ما يعزز القدرة على تطوير استراتيجيات تخفيفية، مثل زيادة المساحات الخضراء وتحسين التهوية الحضرية [11].وبالإضافة إلى ذلك، يتيح الاستشعار عن بعد استخدام تقنيات النمذجة الحرارية للتنبؤ بالاتجاهات المستقبلية لدرجات الحرارة القصوى، ومقارنة السيناريوهات المختلفة للاحترار العالمي. وتتيح هذه النماذج للباحثين وصانعي القرار توقع مناطق المخاطر الحرارية المحتملة، وتقديم توصيات مستندة إلى بيانات دقيقة، مما يسهم في الحد من آثار موجات الحر على الصحة العامة والاقتصاد والزراعة [12]. كما أن الجمع بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية يمكّن الباحثين من تطوير خرائط زمنية ومكانية توضح التغيرات الحرارية على مدى فترات زمنية طويلة، وبالتالي توفير قاعدة بيانات شاملة يمكن استخدامها في الدراسات البيئية والمناخية المستقبلية، وكذلك في تقييم السياسات البيئية واستراتيجيات التكيف مع التغيرات المناخية .[13]وبذلك، يمثل المبحث الثاني الجانب التطبيقي والتقني للإطار النظري للبحث، حيث يوضح كيفية توظيف التقنيات الحديثة لرصد الظواهر الحرارية وتحليلها مكانياً وزمنياً، وربطها بالبيانات المناخية التقليدية للحصول على فهم أكثر دقة للتغيرات في درجات الحرارة القصوى. ويؤكد هذا المبحث على أهمية هذه الأدوات في دعم الدراسات العلمية، وتوفير معلومات دقيقة لصانعي القرار، بما يسهم في التخطيط البيئي، واتخاذ الإجراءات الوقائية للتكيف مع موجات الحر، والتقليل من آثارها السلبية على المجتمع والبيئة.

الإطار العملي

مقدمة:

يُعدّ ارتفاع درجات الحرارة القصوى من أبرز تجليات تغير المناخ، حيث باتت موجات الحر المتكررة تشكل تهديداً متصاعداً للصحة العامة، والإنتاج الزراعي، والاستقرار البيئي. وفي ظل محدودية البيانات المناخية الأرضية من حيث التوزيع المكاني والانتظام الزمني، يبرز نظام المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة فعّالة لتحليل التغيرات الحرارية المكانية والزمنية. يُعدّ العراق نموذجاً مهماً لهذه الظاهرة، إذ يشهد ارتفاعاً ملحوظاً في درجات الحرارة، تجاوزت ٥٠°م في مناطق متعددة، مما يستدعي تقييماً دقيقاً لأنماط هذه الظاهرة واتجاهاتها. يهدف هذا الفصل إلى تحليل درجات الحرارة القصوى في العراق في سياق تغير المناخ، من خلال توظيف أدوات التحليل المكاني في GIS لدمج البيانات المناخية مع متغيرات مكانية، وتحديد البؤر الحرارية، وتقييم التغيرات عبر الزمن، بهدف دعم استراتيجيات التكيف مع هذه التحديات المناخية المتنامية.يُعدّ العراق من أكثر الدول تأثراً بظاهرة تغير المناخ في منطقة الشرق الأوسط، حيث يشهد تحولات مناخية متسارعة تنعكس بشكل مباشر على أنماط درجات الحرارة، وخاصة الارتفاع الملحوظ في القيم القصوى خلال فصل الصيف. تقع الدولة في نطاق العروض الجغرافية الممتدة بين ٢٩° و٣٧° شمالاً، و٣٩° و٤٩° شرقاً، وتتميز بمناخ قاري جاف إلى شبه جاف، يتسم بدرجات حرارة مرتفعة جداً في الصيف وانخفاض حاد في معدلات الهطول، خاصة في المناطق الوسطى والجنوبية (الشمري، ٢٠٢٢). في العقود الأخيرة، سجلت مدن رئيسية مثل بغداد والبصرة والنجف ارتفاعاً متزايداً في درجات

الحرارة القصوى، حيث تجاوزت ٥٠°م في عدة مناسبات، وهو ما يشير إلى تفاقم آثار الاحترار العالمي وانعكاساته الخطيرة على البيئة والمجتمع (IPCC, 2021). هذه الموجات الحرارية المتكررة تُعدّ من المؤشرات الحيوية على تغير المناخ، وتؤثر بشكل مباشر على الصحة العامة من خلال زيادة حالات الإجهاد الحراري وضربات الشمس، لا سيما بين الفئات الضعيفة مثل كبار السن والأطفال والمرضى المزمنون (Chen et al., 2018). كما تسهم الحرارة القصوى في تدهور الإنتاج الزراعي، إذ تؤدي إلى تبخر المياه من التربة، وانخفاض خصوبتها، وتراجع إنتاجية المحاصيل الأساسية مثل القمح والشعير، مما يهدد الأمن الغذائي في بلد يعتمد جزئياً على الزراعة (الشمري، ٢٠٢٢). من الناحية الاقتصادية، يزداد الطلب على الطاقة بشكل كبير خلال فصل الصيف بسبب الاعتماد المتزايد على أجهزة التبريد، مما يضع ضغطاً على الشبكة الكهربائية ويُفاقم الانبعاثات الغازية (Hu et al., 2023). وعلى الرغم من أهمية رصد هذه التغيرات، تعاني السجلات المناخية الأرضية في العراق من نقص في التوزيع الجغرافي وعدم انتظام في التسجيل، ما يعيق القدرة على تحليل الاتجاهات الحرارية بدقة عبر الفضاء والزمن (Lenton et al., 2024). لذلك، يبرز نظام المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة فعّالة في تجاوز هذه القيود، من خلال دمج البيانات المناخية مع طبقات مكانيّة متعددة مثل استخدامات الأراضي، والكثافة السكانية، والارتفاع، والغطاء النباتي، لتحليل التباينات المكانية لدرجات الحرارة القصوى وتحديد البؤر الحرارية بدقة (ESCWA, 2021). باستخدام أدوات التحليل المكاني في GIS ، يمكن توليد خرائط حرارية توضح التوزيع الجغرافي للحرارة القصوى، وتحليل ظاهرة "الحرارة الحضرية" في المدن الكبرى، حيث تسجل المناطق ذات الكثافة العمرانية العالية ارتفاعاً ملحوظاً في درجات الحرارة مقارنة بالمناطق الريفية (Boulos, 2023). كما يتيح GIS إمكانية دمج المتغيرات البيئية والبشرية لتفسير العوامل المؤثرة في الارتفاع الحراري، وتقديم تحليلات تدعم التخطيط الحضري والبيئي. وعليه، فإن العراق يُمثل نموذجاً مناسباً لدراسة تأثير تغير المناخ على درجات الحرارة القصوى باستخدام أدوات التحليل المكاني، حيث يوفر هذا النهج قاعدة علمية دقيقة لدعم استراتيجيات التكيف، واتخاذ قرارات مستندة إلى البيانات في مواجهة مخاطر موجات الحر المتصاعدة (Zhao, 2023) .

–التغيرات الزمنية في درجات الحرارة القصوى في العراق :يُعدّ تحليل التغيرات الزمنية في درجات الحرارة القصوى أداة أساسية لفهم ديناميكية تغير المناخ وانعكاساته على البيئة والمجتمع. وفي سياق العراق، الذي يُصنف من بين أكثر الدول تأثرًا بالاحترار العالمي، يكتسب تتبع هذه التغيرات عبر الزمن أهمية بالغة لدعم استراتيجيات التكيف المناخي. ورغم محدودية التغطية الجغرافية لمحطات الرصد الأرضية، فإن دمج السجلات المناخية الطويلة الأمد مع التحليل المكاني يُمكن من رصد الاتجاهات الحرارية بدقة، وتحديد مراحل التسارع في الاحترار .لهذا الغرض، تم تقسيم الفترة الزمنية الممتدة من 1985 إلى ٢٠٢٣ إلى ثلاث مراحل رئيسية: (١٩٨٥–٢٠٠٠) تمثل مرحلة الاستقرار النسبي، و(٢٠٠١–٢٠١٥) تمثل مرحلة التسارع، و(٢٠١٦–٢٠٢٣) تمثل مرحلة التفاقم الحراري. ويتم في ما يلي عرض نتائج التحليل من خلال أربعة جداول، يُظهر الثلاثة الأولى متوسطات درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية لكل فترة، بينما يُلخّص الجدول الرابع متوسطات هذه القيم على مستوى العراق، بهدف تسليط الضوء على التغيرات التراكمية وتقديم قراءة شاملة لاتجاهات الاحترار في السياق العراقي.

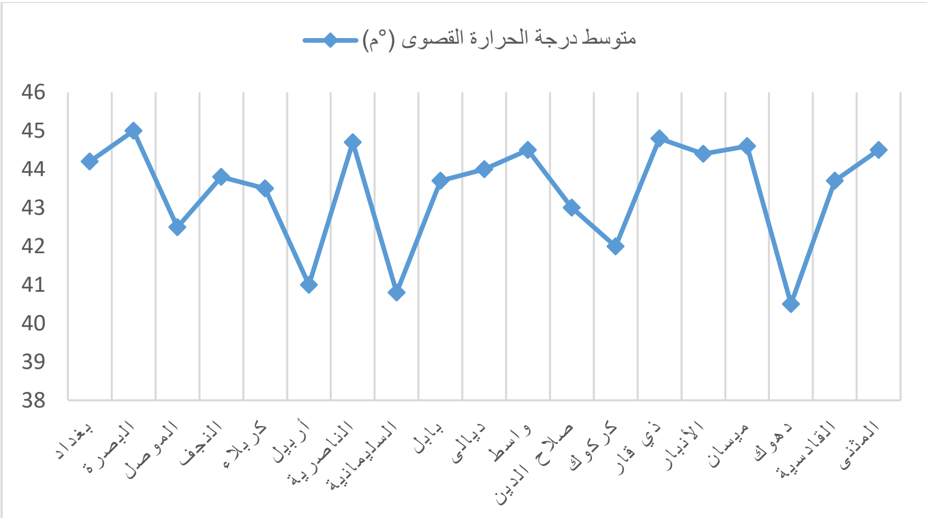
أولاً: متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة (1985–2000) :

الجدول (١): متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2000–1985)

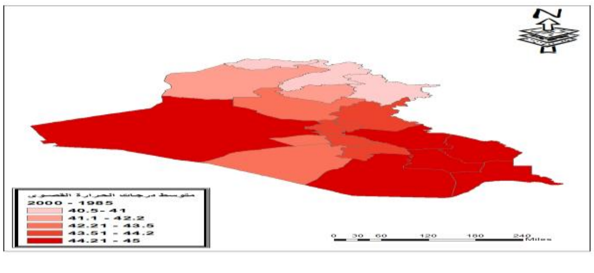
المحطة المناخية	متوسط درجة الحرارة القصوى (°م)
بغداد	44.2
البصرة	45
الموصل	42.5
النجف	43.8
كربلاء	43.5
أربيل	41
الناصرية	44.7
السليمانية	40.8
بابل	43.7
ديالى	44

واسط	44.5
صلاح الدين	43
كركوك	42
ذي قار	44.8
الأنبار	44.4
ميسان	44.6
دهوك	40.5
القادسية	43.7
المثنى	44.5

مصدر البيانات :الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – العراق (١٩٨٥–٢٠٠٠).تمثل الفترة (١٩٨٥–٢٠٠٠) المرحلة الأولى من التغير المناخي في العراق، والتي يمكن وصفها بـ"مرحلة الاستقرار النسبي"، حيث كانت درجات الحرارة القصوى لا تزال ضمن نطاقات يمكن اعتبارها ضمن التقلبات المناخية الطبيعية، وإن كانت تشير إلى اتجاه تصاعدي خفي. تُظهر البيانات أن البصرة والناصرية، الواقعتين في الجنوب العراقي ذي الطابع المناخي الصحراوي، تسجلان أعلى القيم (٤٥.٠°م و٤٤.٧°م على التوالي)، وهو ما يتوافق مع طبيعة هذه المناطق التي تفتقر إلى الغطاء النباتي وتميل إلى امتصاص الحرارة بفعل التربة الرملية والهطول المنخفض. في المقابل، تسجل المحافظات الشمالية مثل أربيل والسليمانية أقل القيم (٤١.٠°م و٤٠.٨°م)، وهو أمر متوقع نظرًا لارتفاعها الجبلي ورطوبتها النسبية الأعلى. يُلاحظ أن الفروق بين المحطات لا تتجاوز ٤.٢°م، مما يشير إلى توازن نسبي في توزيع الحرارة، ويفيد بأن تأثيرات تغير المناخ لم تكن قد تفاقمت بعد بشكل ملحوظ خلال هذه الفترة. وفق ما أشار إليه الشمري (٢٠٢٢)، فإن هذه المرحلة تسبق تسارع الاحترار العالمي الذي بدأ يُظهر آثاره بوضوح بعد عام ٢٠٠٠، كما أكدت ذلك تقارير .IPCC (2021) وبالتالي، يُعد هذا الجدول قاعدة مرجعية مهمة لقياس التغيرات اللاحقة، ويوفر خلفية مناخية ضرورية لفهم ديناميكية الاحترار في العقود التالية.**الشكل (١)متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2000–1985)**



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على الجدول (١)خريطة (١)متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2000–1985)

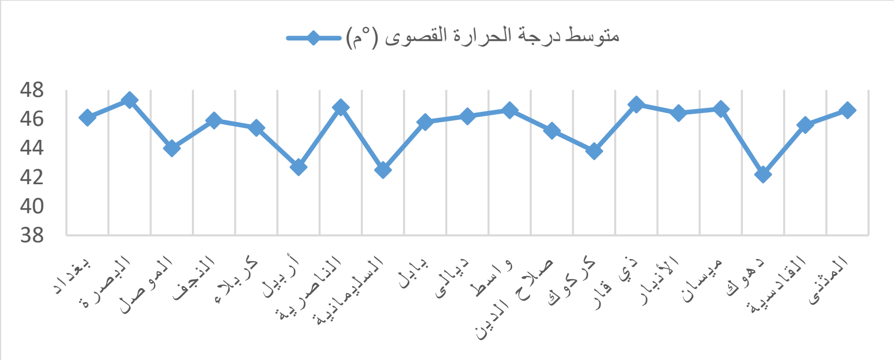


المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات الجدول (١) وباستخدام برنامج Gis

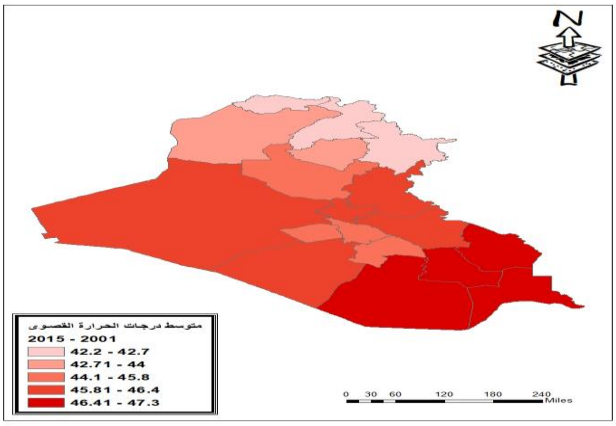
ثانياً: متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة2015–2001))الجدول (٢): متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2001–2015)

المحطة المناخية	متوسط درجة الحرارة القصوى (°م)
بغداد	46.1
البصرة	47.3
الموصل	44
النجف	45.9
كربلاء	45.4
أربيل	42.7
الناصرية	46.8
السليمانية	42.5
بابل	45.8
ديالى	46.2
واسط	46.6
صلاح الدين	45.2
كركوك	43.8
ذي قار	47
الأنبار	46.4
ميسان	46.7
دهوك	42.2
القادسية	45.6
المثنى	46.6

مصدر البيانات :الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – العراق (١٩٨٥–٢٠٠٠)تُظهر الفترة (٢٠٠١–٢٠١٥) مرحلة مفصلية في مسار تغير المناخ في العراق، حيث بدأ الاحترار العالمي ينعكس بشكل واضح وملموس على درجات الحرارة القصوى. يُلاحظ ارتفاعًا ملحوظًا في جميع المحطات، بمقدار يتراوح بين ١.٥°م (في السليمانية) و٢.٣°م (في البصرة)، مما يدل على تسارع في الاتجاه الحراري. فقد تجاوزت البصرة والناصرية ٤٧°م، بينما اقتربت بغداد من ٤٦°م، وهي قيم لم تُسجل سابقًا بشكل منتظم. يُعد هذا التصاعد دليلًا على أن العراق دخل مرحلة جديدة من التغير المناخي، تتفق مع ما أشار إليه تقرير IPCC (2021) حول تزايد تواتر ومدة موجات الحر في المناطق شبه المدارية. كما يُلاحظ أن الفروق بين المناطق الحضرية والريفية بدأت تتسع، حيث سجلت بغداد والنجف، اللتان شهدتا توسعًا عمرانيًا كبيرًا، ارتفاعًا في الحرارة يفوق المعدلات الريفية المجاورة، وهو ما يشير إلى تأثير ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية التي ناقشها Boulos (2023) والمبارك والهاج (٢٠١٩). هذه الظاهرة تنتج عن استبدال الأراضي الزراعية والمسطحات الخضراء بمواد بناءة تمتص الحرارة مثل الخرسانة والأسفلت، مما يضخم الحرارة في المدن. وبالتالي، فإن هذا الجدول لا يعكس فقط تغيرات مناخية عالمية، بل يكشف أيضًا عن تأثيرات بشرية محلية تُسهم في تفاقم الظاهرة، مما يبرز الحاجة إلى دمج التحليل المناخي مع التخطيط الحضري.الشكل (٢) متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2001–2015)



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على الجدول (٢)خريطة (٢) متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2001–2015)

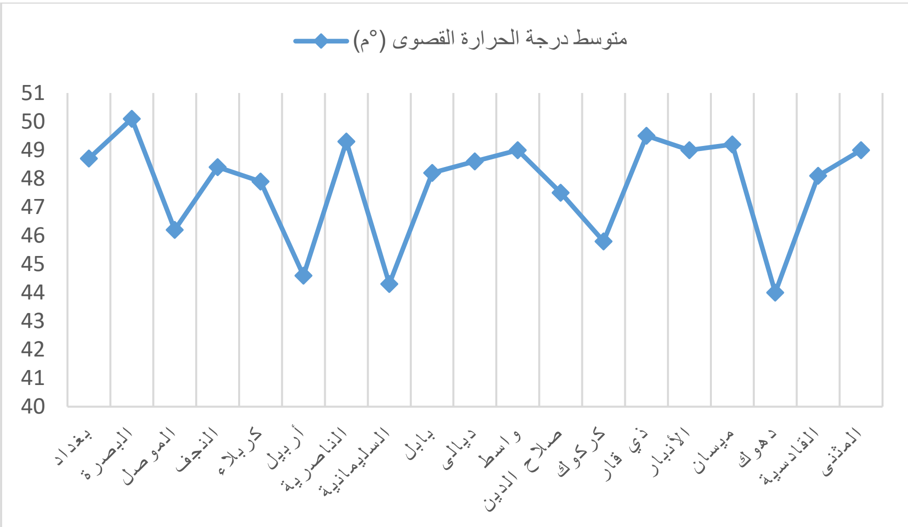


المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات الجدول (٢) وباستخدام برنامج Gisثالثاً: متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة (٢٠١٦ _ ٢٠٢٣)الجدول (٣)متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2016–2023)

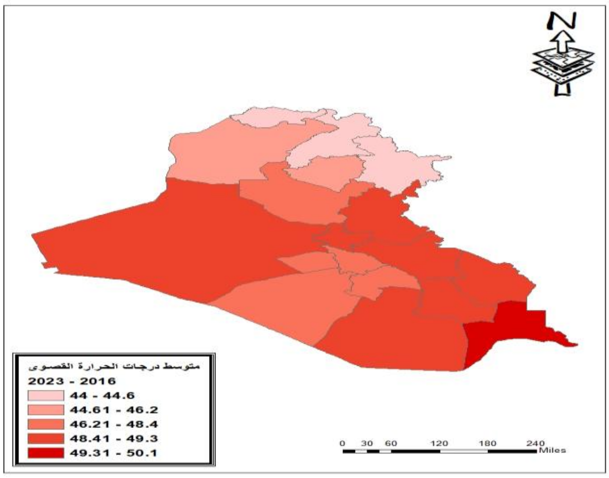
المحطة المناخية	متوسط درجة الحرارة القصوى (°م)
بغداد	48.7
البصرة	50.1
الموصل	46.2
النجف	48.4
كربلاء	47.9
أربيل	44.6
الناصرية	49.3
السليمانية	44.3
بابل	48.2
ديالى	48.6
واسط	49
صلاح الدين	47.5
كركوك	45.8
ذي قار	49.5
الأنبار	49

ميسان	49.2
دهوك	44
القادسية	48.1
المثنى	49

مصدر البيانات :الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – العراق (١٩٨٥–٢٠٠٠)تمثل الفترة (٢٠١٦–٢٠٢٣) مرحلة التفاقم الحاد في درجات الحرارة القصوى في العراق، حيث تم تسجيل قيم قياسية تجاوزت ٥٠°م في البصرة، واقتربت منها بغداد والنجف، وهي مستويات حرجة تُنذر بمخاطر بيئية وصحية كبيرة. يُظهر هذا الجدول أن الاحترار لم يعد مجرد تدرج بطيء، بل أصبح قفزة نوعية، حيث ارتفع متوسط الحرارة القصوى في البصرة من ٤٧.٣°م إلى ٥٠.١°م خلال ثماني سنوات فقط، أي بمعدل ٠.٣٥°م سنويًا. وتشير هذه القيم إلى أن العراق يمر بمرحلة حرجة من التغير المناخي، تُعد من بين الأشد تأثرًا في الشرق الأوسط، كما ورد في تقارير .ESCWA (2021) وتكمن خطورة الوضع في أن هذه الموجات الحرارية لم تعد استثنائية، بل أصبحت حدثًا سنويًا متكررًا، مما يضغط على البنية التحتية، ويزيد الطلب على الكهرباء، ويزيد من معدلات الإصابة بالأمراض المرتبطة بالحرارة، كما أشارت إليها دراسات Chen et al. (2018) والشمري (٢٠٢٢). كما يُلاحظ أن حتى المحافظات الشمالية مثل أربيل والسليمانية، التي كانت تُعتبر مناطق "ملاذ حراري"، بدأت تسجل ارتفاعًا ملحوظًا (٤٤.٦°م و٤٤.٣°م)، مما يدل على أن تأثيرات الاحترار لم تعد محصورة في الجنوب، بل توسعت جغرافيًا. هذا التوسع المكاني والزمني للحرارة القصوى يستدعي تدخلات عاجلة في مجالات التكيف المناخي، مثل تطوير أنظمة إنذار مبكر، وزيادة المساحات الخضراء، وتحسين كفاءة الطاقة في المباني**الشكل (٣) متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2016–2023)**



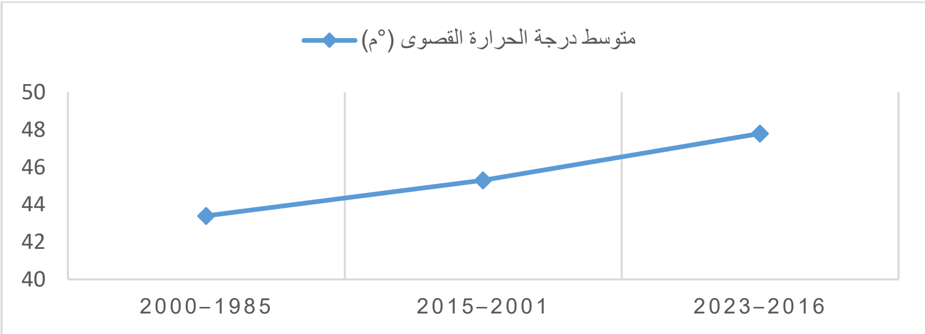
المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على الجدول (٣)خريطة (٣) متوسط درجات الحرارة القصوى في المحطات المناخية الرئيسية في العراق خلال الفترة(2016–2023)



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات الجدول (٢) وباستخدام برنامج Gisرابعاً: متوسط درجة الحرارة القصوى على مستوى العراق حسب الفترة الزمنية:الجدول (٤) متوسط درجة الحرارة القصوى على مستوى العراق حسب الفترة الزمنية

الفترة الزمنية	متوسط درجة الحرارة القصوى (°م)
1985–2000	43.4
2001–2015	45.3
2016–2023	47.8

مصدر البيانات :الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – العراق (١٩٨٥–٢٠٠٠).يُلخّص هذا الجدول الاتجاه العام لدرجات الحرارة القصوى في العراق على مدى ٣٨ سنة، ويُظهر صورة شاملة عن تسارع الاحترار المناخي. فقد ارتفع متوسط درجة الحرارة القصوى من ٤٣.٤°م في الفترة (١٩٨٥–٢٠٠٠) إلى ٤٥.٣°م في (٢٠٠١–٢٠١٥)، ثم إلى ٤٧.٨°م في (٢٠١٦–٢٠٢٣)، أي بزيادة إجمالية بلغت ٤.٤°م خلال أقل من أربعة عقود. هذا المعدل (حوالي ٠.٣٥–٠.٤٠°م لكل عشر سنوات) يفوق المعدل العالمي المذكور في تقارير IPCC (حوالي ٠.٢°م لكل عشر سنوات)، مما يؤكد أن العراق يعاني من احتباس حراري أسرع من المتوسط العالمي، وهو ما يُعزى إلى عوامل مناخية إقليمية (مثل تراجع الغطاء النباتي، وانخفاض منسوب الأنهار)، وعوامل بشرية (مثل التوسع العمراني، واستنزاف الموارد المائية). يُعد هذا الجدول أداة تحليلية قوية تُظهر التغير المناخي ليس كظاهرة محلية، بل كاتجاه طويل الأمد ومستمر. كما يُبرز أهمية التحليل الزمني المتعدد المراحل في فهم ديناميكية الظاهرة، حيث يُمكن رصد التسارع في المرحلة الأخيرة (٢٠١٦–٢٠٢٣) بشكل واضح. هذه النتائج تُسهم في دعم فرضية البحث حول "دور تغير المناخ في ارتفاع درجات الحرارة القصوى"، وتفتح الباب أمام دراسات مستقبلية لربط هذه الاتجاهات بمؤشرات بيئية أخرى مثل NDVI أو NDBI ، باستخدام أدوات GIS وتحليلات إحصائية دقيقة.**الشكل (٤) متوسط درجة الحرارة القصوى على مستوى العراق حسب الفترة الزمنية**



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على الجدول (٤)

النتائج

١. ارتفع متوسط درجات الحرارة القصوى في العراق من ٤٣.٤°م خلال الفترة (١٩٨٥–٢٠٠٠) إلى ٤٥.٣°م في الفترة (٢٠٠١–٢٠١٥)، ثم إلى ٤٧.٨°م في الفترة (٢٠١٦–٢٠٢٣)، أي بزيادة إجمالية قدرها ٤.٤°م خلال أقل من أربعة عقود، مما يشير إلى تسارع ملحوظ في وتيرة الاحترار.

٢. سجلت المحافظات الجنوبية (مثل البصرة، ذي قار، الناصرية، والمثنى) أعلى القيم الحرارية، حيث تجاوزت درجات الحرارة القصوى ٥٠°م في البصرة خلال الفترة (٢٠١٦–٢٠٢٣)، وهو ما يعكس تأثر هذه المناطق بشكل حاد بالمناخ الصحراوي والجفاف المتفاقم.

٣. شهدت المدن الكبرى مثل بغداد والنجف ارتفاعاً في درجات الحرارة القصوى مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة، نتيجة لظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية الناتجة عن التوسع العمراني واستخدام مواد بناء تمتص الحرارة.

٤. بدأت المحافظات الشمالية مثل أربيل والسليمانية، التي كانت تُعد مناطق أقل حرارة، تسجل ارتفاعاً تدريجياً في درجات الحرارة القصوى، مما يدل على أن آثار التغير المناخي لم تعد مقتصرة على الجنوب، بل توسعت جغرافيًا لتصل إلى المناطق الجبلية.

٥. ساهم توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في رصد التغيرات المكانية والزمنية لدرجات الحرارة القصوى بدقة، وتحديد البؤر الحرارية، وتحليل التوزيع المكاني للحرارة، مما يوفر قاعدة بيانات متكاملة لدعم الدراسات المناخية.

التوصيات والمقترحات:

١. تطوير نظام وطني للإنذار المبكر لموجات الحر، يعتمد على دمج البيانات المناخية الأرضية مع صور الأقمار الصناعية لرصد الارتفاعات الحرارية وتنبيه الجهات الصحية والمعنية.

٢. تعزيز التخطيط الحضري المستدام من خلال زيادة المساحات الخضراء، واستخدام مواد بناء عاكسة للحرارة، وتحسين التهوية في المدن الكبرى للحد من تأثير الجزيرة الحرارية.

٣. توسيع شبكة محطات الرصد المناخية في جميع المحافظات، لا سيما في المناطق النائية، لضمان تغطية جغرافية شاملة وتحسين دقة السلاسل الزمنية للبيانات المناخية.

٤. دعم الدراسات البحثية التي تربط بين التغيرات الحرارية ومؤشرات بيئية مثل NDVI (الغطاء النباتي) و NDBI(التوسع العمراني) باستخدام أدوات GIS لتحليل أعمق للعوامل المؤثرة.

٥. رفع الوعي المجتمعي حول مخاطر موجات الحر من خلال حملات توعوية، وتدريب الكوادر الصحية على التعامل مع الإجهاد الحراري، خاصة في فصل الصيف.

الهوامش:

[1] مطلك، ع. م. (٢٠٢٤). تحليل أثر تغير المناخ على رطوبة التربة باستخدام معطيات التحسس النائي في قضاء الخالص. مجلة مداد الآداب، ١٤(عدد خاص)، ص ٤.

[2] NASA Applied Sciences. (2021). Climate change monitoring and impacts using remote sensing. NASA Earth Science Division.

[3] الشمري، ص. ع. م. (٢٠٢٢). دراسة إحصائية تحليلية لدرجتي الحرارة العظمى والصغرى اليومية المتطرفة بمنطقتي عسير والباحة كمؤشرات لمظاهر التغير المناخي خلال الفترة ١٩٨٥–٢٠١٧. المجلة العربية للدراسات الجغرافية، ٥(١٣)، ص ٧٧ – ٧٨.

[4] Chen, Q., et al. (2018). Spatially explicit assessment of heat health risk by using remote sensing data. Environmental Health Perspectives, 126(3), p11.

[5] Wang, X. (2023). Remote sensing applications to climate change. Remote Sensing, 15(3), p747.

[6] Boulos, M. N. K. (2023). Geospatial techniques for monitoring and mitigating climate change and its effects on human health. International Journal of Health Geographics, 22(1), p6.

[7] Lenton, T. M., et al. (2024). Remotely sensing potential climate change tipping points. Nature Communications, 15, p 14.

[8] ESCWA. (2021). Using geographic information systems to analyze climate change data. United Nations Economic and Social Commission for Western Asia.

[9] Zhao, S. (2023). The role of satellite remote sensing in mitigating and quantifying climate change effects. Science of The Total Environment, 835, p17.

[10] محمد، م. س. (٢٠٢٣). النمذجة المكانية لدرجات الحرارة في قضاء الخالص باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. دراسات جغرافية، ١(١)، ص ١١.

[11] European Environment Agency. (2020). Use of remote sensing in climate change adaptation.

[12] Hu, J., et al. (2023). Multi-city assessments of human exposure to extreme heat during heat waves in the United States. Science of The Total Environment, 295, p21.

[13] المبارك، ح. ع.، & الحاج، ز. ر. (٢٠١٩). تحليل أثر ارتفاع درجة الحرارة على التوسعات العمرانية الأفقية في محافظة الإحساء: دراسة تطبيقية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. المجلة العربية للدراسات الجغرافية، ص ١٦.

المصادر والمراجع:

١. الشمري، ص. ع. م. (٢٠٢٢). دراسة إحصائية تحليلية لدرجتي الحرارة العظمى والصغرى اليومية المتطرفة بمنطقتي عسير والباحة كمؤشرات لمظاهر التغير المناخي خلال الفترة ١٩٨٥–٢٠١٧. المجلة العربية للدراسات الجغرافية، ٥(١٣)، ٦٧–١٠٨.

٢. محمد، م. س. (٢٠٢٣). النمذجة المكانية لدرجات الحرارة في قضاء الخالص باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. دراسات جغرافية، ١(١)، ١–١٥.

٣. المبارك، ح. ع.، & الحاج، ز. ر. (٢٠١٩). تحليل أثر ارتفاع درجة الحرارة على التوسعات العمرانية الأفقية في محافظة الإحساء: دراسة تطبيقية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. المجلة العربية للدراسات الجغرافية.

٤. مطلك، ع. م. (٢٠٢٤). تحليل أثر تغير المناخ على رطوبة التربة باستخدام معطيات التحسس النائي في قضاء الخالص. مجلة مداد الآداب، ١٤(عدد خاص).

5. Boulos, M. N. K. (2023). Geospatial techniques for monitoring and mitigating climate change and its effects on human health. International Journal of Health Geographics, 22(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/s12942-023-00324-9
6. ESCWA. (2021). Using geographic information systems to analyze climate change data. United Nations Economic and Social Commission for Western Asia. https://www.unescwa.org/ar/publications/using-gis-analyze-climate-change-data
7. Kamel Boulos, M. N. (2023). Geospatial techniques for monitoring and mitigating climate change and its effects on human health. International Journal of Health Geographics, 22(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/s12942-023-00324-9BioMed Central
8. IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
9. Hu, J., et al. (2023). Multi-city assessments of human exposure to extreme heat during heat waves in the United States. Science of The Total Environment, 295, 13700. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.13700Bohrium+1
10. Wang, X. (2023). Remote sensing applications to climate change. Remote Sensing, 15(3), 747. https://doi.org/10.3390/rs15030747
11. Zhao, S. (2023). The role of satellite remote sensing in mitigating and quantifying climate change effects. Science of The Total Environment, 835, 151254. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.151254ScienceDirect
12. Chen, Q., et al. (2018). Spatially explicit assessment of heat health risk by using remote sensing data. Environmental Health Perspectives, 126(3), 037001. https://doi.org/10.1289/EHP2879PubMed Central
13. Lenton, T. M., et al. (2024). Remotely sensing potential climate change tipping points. Nature Communications, 15, 44609. https://doi.org/10.1038/s41467-023-44609-wNature
14. NASA Applied Sciences. (2021). Climate change monitoring and impacts using remote sensing. NASA Earth Science Division. https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2021-11/Climate_Part1_Edited_JO_SM.pdfNASA Applied Sciences
15. European Environment Agency. (2020). Use of remote sensing in climate change adaptation. https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/use-of-remote-sensing-in-climate-change-adaptationClimate-ADAPT
16. United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA). (2021). Using geographic information systems to analyze climate change data. https://www.unescwa.org/ar/publications/using-gis-analyze-climate-change-dataUNESCWA+1