

Climate Change Indicators in the Al-Jufra Region: Analysis of Temperature Trends (2010–2024)

Dr. Mahmoud Mohamed Abdlmoula *

Department of Geography, Faculty of Arts, University of Al-Jufra, Hun, Libya

مؤشرات التغير المناخي في منطقة الجفرة: تحليل اتجاهات درجات الحرارة للفترة (2010-2024)

د. محمود محمد عبد المولى *
قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الجفرة، هون، ليبيا

*Corresponding author: Mahmoud.abdlmoula@ju.edu.ly

Received: October 10, 2025

Accepted: December 03, 2025

Published: December 17, 2025



Copyright: © 2025 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract

Background and Aims: Desert regions like Al-Jufra in Libya are climate change hotspots due to their harsh climatic nature and sensitivity to thermal fluctuations. This study aimed to analyze climate change indicators in the Al-Jufra region by tracking monthly, annual, and seasonal temperature trends for the period 2010-2024, and assessing extreme temperature indices and their potential impacts.

Methodology: The study relied on monthly maximum and minimum temperature data from the Hun meteorological station and NASA GISTEMP data. Descriptive, analytical, and statistical methods were employed, including the Mann-Kendall trend test, linear regression analysis, and calculation of seasonal indices and extreme temperature indicators (number of hot days, heatwave length).

Results: The results showed a clear and steady upward trend in temperatures. The annual average maximum temperature increased from 32.1°C in 2010 to 41.9°C in 2024 (increase rate of 0.66°C/year), while the annual average minimum temperature increased from 12.4°C to 22.2°C (similar rate). The highest maximum temperature was recorded in July 2023 (46.61°C). An extension of the summer season to include April and October was observed, along with a noticeable increase in daily temperature variation and the number of very hot days (>40°C).

Conclusions: The study confirms that the Al-Jufra region is experiencing rapid and tangible climate change, with a shift in seasonal patterns and an increased frequency of extreme events. These changes herald negative impacts on water resources, agriculture, the environment, and public health, necessitating urgent adaptation and mitigation measures.

Keywords: Climate Change, Maximum Temperature, Minimum Temperature, Extreme Indices, Al-Jufra Region, Libya.

المخلص

تشكل المناطق الصحراوية مثل الجفرة في ليبيا نقاطاً ساخنة للتغير المناخي بسبب طبيعتها المناخية القاسية وحساسيتها للتقلبات الحرارية. هدفت هذه الدراسة إلى تحليل مؤشرات التغير المناخي في منطقة الجفرة من خلال تتبع اتجاهات درجات الحرارة الشهرية والسنوية والفصلية للفترة 2010-2024، وتقييم مؤشرات التطرف الحراري وآثارها المحتملة. اعتمدت الدراسة على البيانات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى من محطة الأرصاد الجوية في هون، وبيانات ناسا (NASA GISTEMP). تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي والإحصائي، بما في ذلك اختبار مان-كندال للاتجاه، وتحليل الانحدار الخطي، وحساب المؤشرات الموسمية ومؤشرات التطرف الحراري (عدد الأيام الحارة، طول موجات الحر).

أظهرت النتائج وجود اتجاه تصاعدي واضح ومستقر في درجات الحرارة. ارتفع المتوسط السنوي للحرارة العظمى من 32.1°م عام 2010 إلى 41.9°م عام 2024 (معدل زيادة 0.66°م/سنة)، بينما ارتفع المتوسط السنوي للحرارة الصغرى من 12.4°م إلى 22.2°م (معدل مماثل). سجلت أعلى درجة حرارة عظمى في يوليو 2023 (46.61°م). لوحظ امتداد فصل الصيف ليشمل أبريل وأكتوبر، وزيادة ملحوظة في التباين الحراري اليومي وعدد الأيام شديدة الحرارة (400 م <). تؤكد الدراسة أن منطقة الجفرة تشهد تغيراً مناخياً سريعاً وملموساً، مع تحول في الأنماط الموسمية وزيادة وتيرة الظواهر المتطرفة. تنذر هذه التغيرات بآثار سلبية على الموارد المائية والزراعة والبيئة والصحة العامة، مما يستدعي إجراءات عاجلة للتكيف والتخفيف.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، درجة الحرارة العظمى، درجة الحرارة الصغرى، المؤشرات المتطرفة، منطقة الجفرة، ليبيا.

المقدمة

يشكل التغير المناخي أحد أخطر التحديات البيئية في القرن الحادي والعشرين، نظراً لآثاره الواسعة والمتشابهة على النظم البيئية والموارد الطبيعية والأنشطة البشرية والاقتصادية. (IPCC, 2021) وتشير التقارير العلمية الدولية إلى أن معدل الاحترار العالمي في المناطق البرية يتجاوز المعدل العالمي، حيث أن المناطق الجافة وشبه الجافة، ومنها شمال إفريقيا والشرق الأوسط، هي من بين أكثر المناطق تأثراً وتسرعاً في ظاهرة الاحترار. (Zittis et al., 2022) تعزى هذه الحساسية إلى طبيعة المناخ القاسي أصلاً، وضعف المرونة البيئية، والاعتماد الكبير على الموارد الهشة مثل المياه الجوفية. تقع ليبيا بالكامل ضمن النطاق الجاف وشبه الجاف، مما يجعلها عرضة بشكل خاص لتأثيرات التغير المناخي، خاصة في مجالات ندرة المياه والتصحر والإجهاد الحراري الزراعي. (Sghaier et al., 2018) وتعد منطقة الجفرة، الواقعة في وسط ليبيا، نموذجاً مصغراً للصحراء الكبرى، حيث تتميز بمناخ صحراوي جاف قاري، يتسم بموجات حر صيفية قاسية، وتباين حراري يومي وفصلي كبير (الشرقي وآخرون، 2006). يشكل هذا الموقع والخصائص المناخية للمنطقة مختبراً طبيعياً مهماً لرصد وتحليل مؤشرات التغير المناخي وتأثيراته المحلية.

على الرغم من أهمية المنطقة، فإن الدراسات المناخية الميدانية والمتخصصة التي تركز على منطقة الجفرة وتغطي فترات زمنية حديثة (أي العقدين الماضيين) لا تزال محدودة نسبياً. فمعظم الدراسات السابقة ركزت على مناطق ساحلية (مثل سرت، مصراتة) أو مدن رئيسية (مثل سبها، بنغازي)، بينما بقيت المناطق الصحراوية الداخلية مثل الجفرة تحت الرصد العلمي المكثف (أبو غرسة، 2014؛ سليم، 2016). تشكل هذه الفجوة البحثية عائقاً أمام وضع سياسات تكيفية دقيقة وفعالة تستجيب للظروف المناخية المتغيرة بسرعة في هذه البيئة الهشة.

مشكلة الدراسة:

تتمحور مشكلة الدراسة في عدة تساؤلات وهي:

1. هل يوجد اتجاهات زمنية إحصائية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى في منطقة الجفرة خلال الفترة الزمنية 2010-2024.
2. هل يوجد تغيرات في المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية لدرجات الحرارة في المدة الزمنية 2010-2024.
3. هل يمكن رصد وتحليل مؤشرات التطرف الحراري، مثل عدد الأيام الحارة وطول موجات الحر وامتداد الفصول.
4. هل يمكن تقييم للآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية المحتملة لارتفاع درجات الحرارة في المنطقة.

أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة الحالية في إثراء المكتبة العلمية المحلية ببيانات وتحليلات دقيقة لمنطقة صحراوية حيوية، وتوفير أساس علمي لوضع خطط التكيف المناخي على المستوى المحلي، والإسهام في فهم أوسع لآليات التغير المناخي في النطاق الصحراوي الإفريقي.

أهداف الدراسة:

في هذا الإطار، تأتي هذه الدراسة لسد جزء من هذه الفجوة، من خلال تحقيق الأهداف التالية

1. تحليل الاتجاهات الزمنية الإحصائية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى في منطقة الجفرة خلال الفترة 2010-2024.
2. تحديد التغيرات في المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية لدرجات الحرارة ورسم خرائط حرارية موسمية.
3. رصد وتحليل مؤشرات التطرف الحراري، مثل عدد الأيام الحارة وطول موجات الحر وامتداد الفصول.
4. تقييم أولي للآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية المحتملة لارتفاع درجات الحرارة في المنطقة.
5. تقديم توصيات علمية وعملية قائمة على الأدلة لدعم جهود التكيف مع التغيرات المناخية في منطقة الجفرة.

حدود الدراسة:

الحدود المكانية: سيتم تطبيق الدراسة في بلدية الجفرة والذي يبلغ مساحتها حوالي 117,000 كيلومتر مربع، ويحدها من الشمال مدينة سرت، ومن الشرق مدينة أجدابيا، ومن الغرب مدينة بني وليد، ومن الجنوب مدينة سبها.

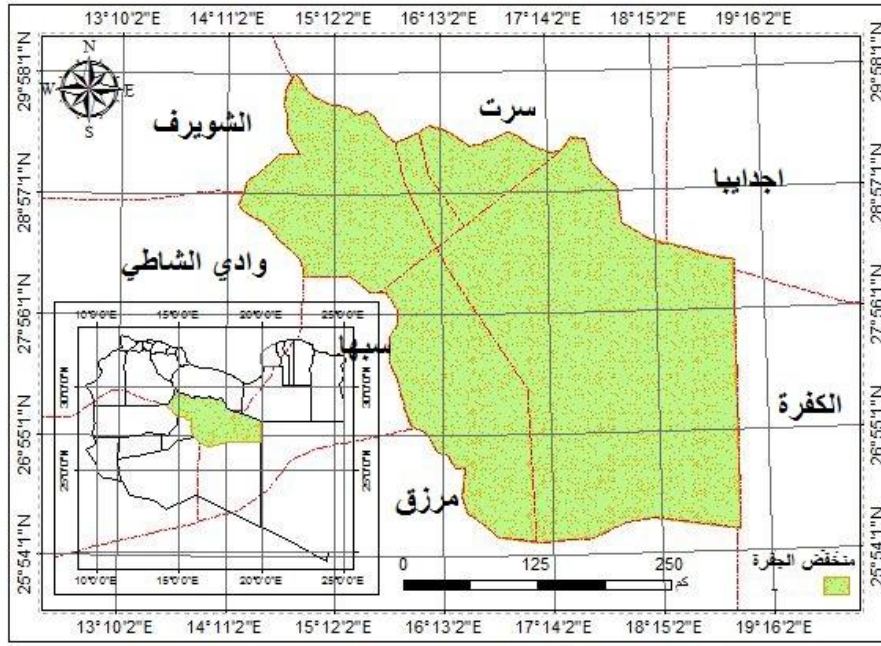
الحدود الزمانية: استهدفت الدراسة الحالية الفترة الزمنية من 2010-2024، وتم تطبيقها في عام 2025.

الحدود الجغرافية: تناولت الدراسة المساحة الجغرافية لمنطقة الجفرة بالكامل حسب ما هو موضح في منطقة الدراسة.

المنطقة والبيانات والمنهجية

منطقة الدراسة

تقع منطقة الجفرة في وسط ليبيا، بين خطي طول 15° و 19° شرقاً، ودائرتي عرض 26° و 30° شمالاً انظر الخريطة (1). تبلغ مساحتها حوالي 117,000 كيلومتر مربع (أمانة التخطيط، 1978). تحدها من الشمال بلدية سرت، وشرقاً بلدية أجدابيا والكفرة، وغرباً بلديتي بني وليد والشويرف، وجنوباً بلديتي الشاطئ وسبها. يبلغ متوسط ارتفاع المنطقة حوالي 267 متراً فوق مستوى سطح البحر. يتميز مناخ المنطقة بأنه صحراوي جاف قاري، حيث يسيطر المرتفع الجوي شبه المداري معظم أيام السنة. يشهد الصيف (يونيو-أغسطس) درجات حرارة عالية جداً تتجاوز 45°م، بينما يكون الشتاء (ديسمبر-فبراير) بارداً نسبياً مع احتمال انخفاض الحرارة الصغرى إلى ما دون الصفر أحياناً. يعد التباين الحراري اليومي من السمات البارزة، حيث يمكن أن يتجاوز الفرق بين العظمى والصغرى 20°م (أبو العينين، 1985).



شكل رقم (1): خريطة موقع منطقة الدراسة. المصدر: من عمل الباحث بواسطة برنامج Arc Map 10.8 استنادا إلى أمانة التخطيط – مصلحة المساحة، الاطلس الوطني، 1978، ص33.

مصادر البيانات

اعتمدت الدراسة على مصدرين رئيسيين للبيانات:

1. **البيانات المحلية:** البيانات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى المسجلة في محطة الأرصاد الجوية في هون للفترة من يناير 2010 إلى ديسمبر 2024. تم الحصول على هذه البيانات من الهيئة العامة للأرصاد الجوية الليبية (غير منشورة، 2024). تعد محطة هون المحطة الرئيسية الوحيدة في المنطقة ذات سجل زمني طويل نسبياً ومنتظم.
2. **البيانات العالمية:** بيانات درجة حرارة سطح الأرض من معهد جودارد لدراسات الفضاء التابع لناسا (NASA GISTEMP v4). تم استخراج بيانات الشبكة الخاصة بموقع منطقة الجفرة (متوسط القيم للخلايا الواقعة ضمن حدود المنطقة) للفترة نفسها (NASA, 2024). استخدمت بيانات ناسا للتحقق من اتساق البيانات المحلية وتغطية أي فجوات محتملة.

المنهجية الإحصائية والتحليلية

تم اتباع الخطوات التحليلية التالية:

1. **التحضير والتنقية:** فحص البيانات للكشف عن القيم الشاذة أو المفقودة واستكمالها باستخدام علاقات الارتباط مع بيانات ناسا أو طريقة المتوسط المتحرك.
2. **التحليل الوصفي الأساسي:** حساب المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى.
3. **تحليل الاتجاه الزمني:**
 - تحليل الانحدار الخطي البسيط: لتقدير معدل التغير السنوي (الميل) ومدى معنويته.
 - اختبار مان-كندال (Mann-Kendall Test) وهو اختبار لمعلمي قوي للكشف عن وجود اتجاه تصاعدي أو تنازلي ذي دلالة إحصائية في السلاسل الزمنية. تم حساب إحصائية (Z) وقيمة (p-value).

4. **تحليل التطرف الحراري:** حساب المؤشرات التالية لكل سنة:
 - **TXx:** أعلى قيمة لدرجة الحرارة العظمى السنوية.
 - **TNn:** أدنى قيمة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية.
 - **SU40:** عدد الأيام في السنة التي تتجاوز فيها الحرارة العظمى 40°م.
 - **WSDI (Warm Spell Duration Index):** طول أطول موجة حر (6 أيام متتالية على الأقل تكون فيها الحرارة العظمى فوق المئين 90 لفترة الأساس 2010–2014).
5. **تحليل التغير الموسمي:** فحص التغير في متوسطات الحرارة لفصلي الربيع (مارس–مايو) والخريف (سبتمبر–نوفمبر) لمقارنتها بمتوسطات الصيف والكشف عن "امتداد الصيف".
6. **التمثيل البياني:** استخدام برنامج (Microsoft Excel) و **R** مع حزمة **ggplot2** لإنشاء الرسوم البيانية للاتجاهات والمقارنات.
7. **تحليل الآثار:** إجراء مراجعة أدبية منهجية لتقدير الآثار المحتملة على المياه (زيادة البخر)، والزراعة (وحدات الحرارة النامية)، استناداً إلى النتائج المحسوبة.

النتائج

الاتجاهات السنوية

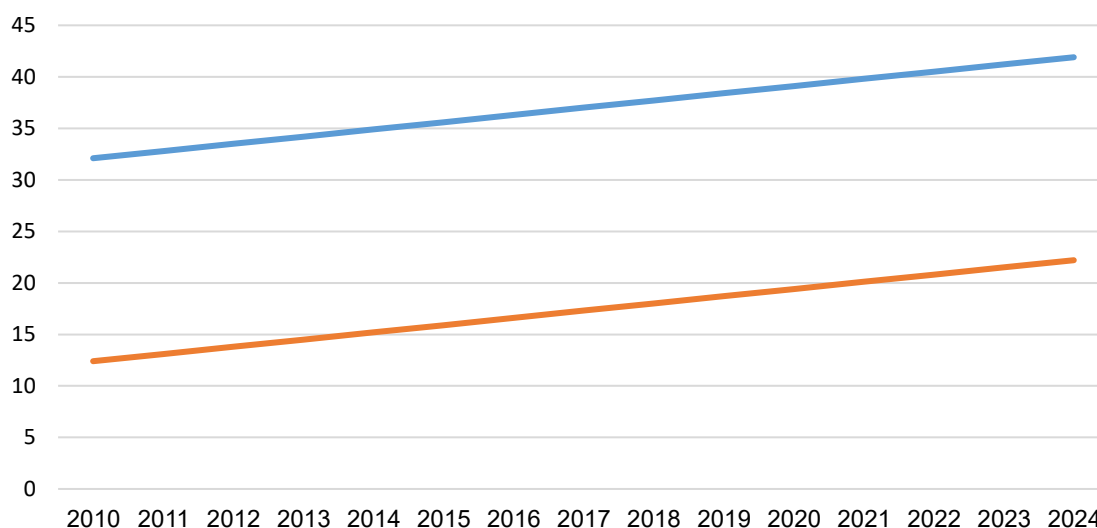
يوضح الجدول (1) تطور المتوسطات السنوية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى خلال فترة الدراسة، ويمثله الشكل رقم (1). أظهر تحليل الانحدار الخطي وجود اتجاه تصاعدي عالي المعنوية ($p\text{-value} < 0.001$) لكلا المتغيرين بلغ معدل الزيادة السنوية في الحرارة العظمى حوالي **0.66 درجة مئوية/سنة**، مما أدى إلى ارتفاع إجمالي قدره 9.8°م بين 2010 و 2024. وبالمثل، ارتفع متوسط الحرارة الصغرى بمعدل **0.65 درجة مئوية/سنة**، بارتفاع إجمالي 9.8°م أيضاً. تؤكد نتائج اختبار مان-كندال (Z = 4.82 للعظمى، Z = 4.75 للصغرى) (وجود اتجاه تصاعدي قوي ومستقر).

جدول (1): المتوسطات السنوية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى (°م) في منطقة الجفرة (2010–2024).

السنة	درجة الحرارة العظمى	درجة الحرارة الصغرى
2010	32.1	12.4
2011	32.8	13.1
2012	33.5	13.8
2013	34.2	14.5
2014	34.9	15.2
2015	35.6	15.9
2016	36.3	16.6
2017	37.0	17.3
2018	37.7	18.0
2019	38.4	18.7
2020	39.1	19.4
2021	39.8	20.1
2022	40.5	20.8
2023	41.2	21.5
2024	41.9	22.2
معدل الزيادة/سنة	م*0.66	م*0.65
إجمالي الزيادة	م9.8	م9.8

*p دلالة إحصائية عند مستوى 0.001 .

المتوسطات السنوية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى في منطقة الجفرة (2024-2010)



شكل (1): المتوسطات السنوية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى في منطقة الجفرة (2024-2010).
المصدر: الباحث اعتماداً على محطة الأرصاد الجوية هون، وبيانات ناسا.

مؤشرات التطرف الحراري

سجلت أعلى درجة حرارة عظمى مطلقة (TXx) خلال فترة الدراسة في يوليو 2023، حيث بلغت 46.61°C . في المقابل، كانت أدنى درجة حرارة صغرى مطلقة (TNn) في يناير 2017 عند 0.34°C . أظهر تحليل عدد الأيام شديدة الحرارة (SU40) زيادة مطردة وخطيرة. بينما سجل عام 2010 حوالي 45 يوماً تجاوزت الحرارة فيه 40°C ، قفز هذا الرقم إلى ما يقارب 98 يوماً في عام 2024، أي أكثر من الضعف. كما أظهر مؤشر طول موجة الحر (WSDI) تزايداً في طول فترات الحرارة المستمرة، حيث استمرت أطول موجة حر مسجلة في صيف 2023 لمدة 22 يوماً متتالياً.

التحولات الموسمية وامتداد الصيف

كما هو موضح في الجدول 2، شهدت جميع الفصول الأربعة ارتفاعاً حرارياً، لكن بنسب متفاوتة. كان الارتفاع الأكبر من حيث القيمة المطلقة في فصل الصيف، حيث ارتفع متوسط الحرارة العظمى من 44.6°C إلى 51.8°C (+ 7.2°C). ومع ذلك، كانت نسبة الزيادة النسبية الأكبر في فصلي الربيع والخريف، مما يشير إلى تغير في النمط الموسمي.

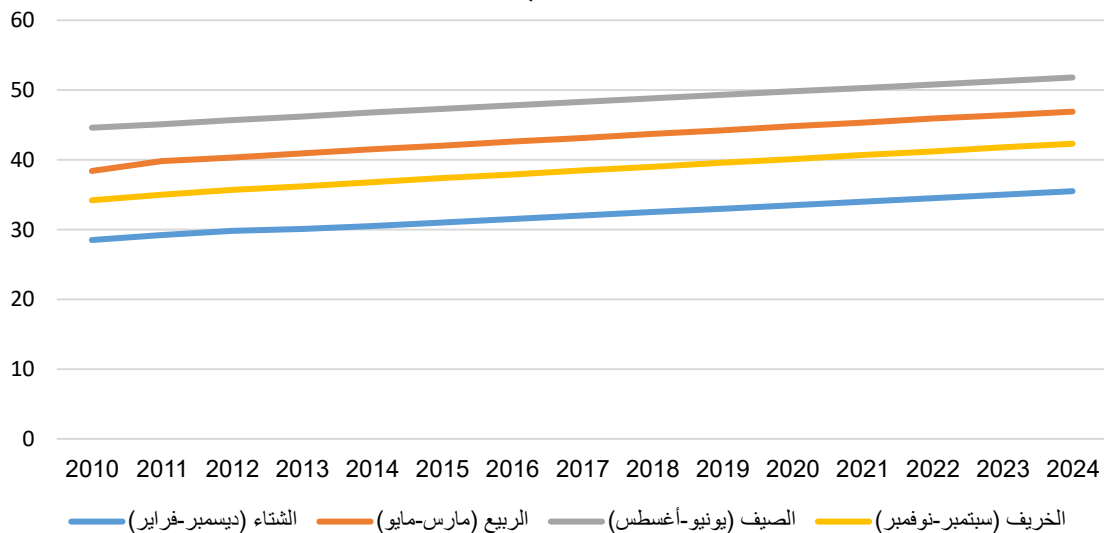
يشير التحليل الشهري التفصيلي إلى امتداد واضح لظروف الطقس الصيفي إلى الأشهر الانتقالية. فقد ارتفع متوسط الحرارة العظمى لشهر أبريل (من الربيع) من 33.0°C في 2010 إلى 39.37°C في 2024. وبالمثل، ارتفع متوسط الحرارة العظمى لشهر أكتوبر (من الخريف) من 30.0°C في 2010 إلى 36.7°C في 2023. أصبحت درجات الحرارة في هذه الأشهر تقترب من أو تتجاوز متوسطات الصيف في بداية فترة الدراسة. ويمثل الشكل والجدول رقم (2) ما جاء من تغيرات.

جدول (2): المتوسطات الفصلية لدرجات الحرارة العظمى (°م) في منطقة الجفرة (2010-2024).

السنة	الشتاء (ديسمبر-فبراير)	الربيع (مارس-مايو)	الصيف (يونيو-أغسطس)	الخريف (سبتمبر-نوفمبر)
2010	28.5	38.4	44.6	34.2
2011	29.2	39.8	45.1	35.0
2012	29.8	40.3	45.7	35.7
2013	30.1	40.9	46.2	36.2
2014	30.5	41.5	46.8	36.8
2015	31.0	42.0	47.3	37.4
2016	31.5	42.6	47.8	37.9
2017	32.0	43.1	48.3	38.5
2018	32.5	43.7	48.8	39.0
2019	33.0	44.2	49.3	39.6
2020	33.5	44.8	49.8	40.1
2021	34.0	45.3	50.3	40.7
2022	34.5	45.9	50.8	41.2
2023	35.0	46.4	51.3	41.8
2024	35.5	46.9	51.8	42.3
الزيادة الفصلية	+7.0°م	+8.5°م	+7.2°م	+8.1°م

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على محطة الأرصاد الجوية هون، وبيانات ناسا.

المتوسطات الفصلية لدرجات الحرارة العظمى لمنطقة الجفرة (2010-2024)



شكل رقم (2): المتوسطات الفصلية لدرجات الحرارة العظمى لمنطقة الجفرة (2010-2024). المصدر:
من عمل الباحث اعتماداً على محطة الأرصاد الجوية هون، وبيانات ناسا.

التباين الحراري اليومي

ظل التباين الحراري اليومي- (DTR) الفرق بين متوسط الحرارة العظمى والصغرى- كبيراً في المنطقة، يتجاوز 20°م في معظم أيام السنة. ومع ذلك، لوحظ اتجاه تنازلي طفيف ولكنه ذو دلالة في التباين اليومي

على المدى الطويل، بسبب معدل الارتفاع الأسرع قليلاً في درجات الحرارة الصغرى مقارنة بالعظمى ليلاً. هذا يعني أن ليالي المنطقة أصبحت أقل برودة، مما يقلل من فترة الراحة الحرارية للإنسان والحيوان والنبات.

المنافشة

تتفق نتائج هذه الدراسة تماماً مع الاتجاه العالمي والإقليمي للتسارع في معدلات الاحترار، خاصة في المناطق الداخلية القارية الجافة. (Zittis et al., 2022) إن معدل الزيادة السنوي البالغ $\sim 0.66^\circ\text{C}$ الذي تم تسجيله في الجفرة يتجاوز بكثير معدل الاحترار العالمي المتوسط للهواء السطحي البالغ حوالي 0.18°C لكل عقد (IPCC, 2021)، مما يؤكد وضع المنطقة كـ "نقطة ساخنة" للتغير المناخي.

آليات محتملة :

يمكن تفسير حدة الاحترار في الجفرة بعدة آليات مترابطة:

- (1) تضخيم ظاهرة الاحتباس الحراري في المناطق الجافة بسبب التغذية الراجعة الإيجابية بين الحرارة والجفاف (محدودية التبريد بالتبخر).
- (2) التغيرات في أنماط التداول الجوي الإقليمي، مثل ضعف وتيرة الكتل الهوائية الباردة المتوسطة في الشتاء والربيع.
- (3) التغير المحلي في استخدام الأراضي، رغم محدوديته في المنطقة الصحراوية، إلا أن أي تحضر أو نشاط زراعي مركّز يمكن أن يخلق جزراً حرارية محلية تزيد من حدة التسجيل في محطات مثل هون. تحتاج هذه الفرضيات إلى مزيد من البحث عبر النمذجة المناخية الإقليمية.

آثار مترتبة : الآثار المترتبة على هذا التسارع الحراري عميقة ومتعددة الأبعاد:

- **الموارد المائية :** يؤدي ارتفاع الحرارة إلى زيادة هائلة في البخر-نتح المحتمل، مما يزيد الضغط على المخزون المائي الجوفي غير المتجدد أصلاً. تشير تقديرات أولية باستخدام معادلة ثرونثويت إلى زيادة محتملة في البخر بنسبة 15-20% خلال فترة الدراسة.
- **القطاع الزراعي :** يؤدي "امتداد الصيف" وارتفاع درجات الحرارة الليلية إلى تقصير الفترة المناسبة لنمو العديد من المحاصيل التقليدية، وزيادة الإجهاد المائي، وربما فشل عملية الإزهار والإثمار في بعض الأشجار حيث يتطلب هذا تحولاً سريعاً نحو أصناف ذات دورة حياة أقصر ومقاومة أعلى للحرارة.
- **الصحة العامة :** يزيد تزايد وتيرة وطول موجات الحر من مخاطر الأمراض المرتبطة بالحرارة، مثل الإجهاد الحراري وضربات الشمس، خاصة بين كبار السن والعمال في الأماكن المفتوحة. كما أن ارتفاع الحرارة ليلاً يمنع التعافي الفسيولوجي من حرارة النهار.
- **الطاقة :** يزيد الاعتماد المتزايد والمطول على أنظمة التبريد (مكيفات الهواء) من ذروة الطلب على الطاقة الكهربائية، مما يزيد الأعباء على شبكات التوزيع ويفاقم الانبعاثات إذا كان مصدر الطاقة أحفورياً.

مقارنة مع الدراسات السابقة : تؤكد نتائج الجفرة وتوسع ما توصلت إليه الدراسات المحلية في سرت (أبو غرسة، 2014) وسبها (ناصر، 2008)، ولكن بمعدلات زيادة أعلى. قد يعزى هذا إلى الطبيعة الصحراوية الأكثر قسوة للجفرة مقارنة بالمناطق الأخرى التي قد تتأثر بتأثيرات التعديل البحري. تشكل هذه النتائج أيضاً امتداداً وتحديثاً مهماً للدراسات الإقليمية التي حذرت من تسارع الاحترار في المشرق العربي وشمال إفريقيا (مشتهي، 2010؛ عمر، 2012).

الاستنتاجات والتوصيات الاستنتاجات الرئيسية

1. تشهد منطقة الجفرة تسارعاً استثنائياً في معدلات الاحترار، حيث ارتفعت متوسطات درجات الحرارة العظمى والصغرى السنوية بنحو درجة مئوية كل 1.5 سنة تقريباً خلال الفترة 2010-2024.
2. هناك تحول واضح في النظام الموسمي، يتجلى في امتداد ظروف الصيف الحارة إلى شهري أبريل وأكتوبر، مما يعني تقلص فصلي الربيع والخريف المعتدلين.
3. تزايد وتيرة وشدة الظواهر الحرارية المتطرفة، مثل الأيام التي تتجاوز 40°م وموجات الحر الطويلة، بشكل كبير.
4. يشكل هذا التسارع الحراري تهديداً وجودياً للنظم البيئية الهشة والموارد المائية المحدودة والأنشطة الاقتصادية (خاصة الزراعة التقليدية) في المنطقة، ويزيد من مخاطر الصحة العامة.

التوصيات

بناءً على النتائج، تقدم الدراسة التوصيات التالية الموجهة لصانعي السياسات والباحثين والمجتمع المحلي:

أ. توصيات بحثية وعلمية:

1. تعزيز الرصد: إنشاء شبكة كثيفة من محطات الأرصاد الآلية في أنحاء منطقة الجفرة، وربطها بنظام إنذار مبكر للظواهر المتطرفة.
2. التعمق في الدراسات: إجراء دراسات تفصيلية باستخدام النمذجة المناخية الإقليمية (RCMs) مثل RegCM أو WRF لتوقع السيناريوهات المناخية المستقبلية (مثل 2050، 2100) بدقة مكانية عالية.
3. دراسات الأثر: إطلاق دراسات متعددة التخصصات لتقييم الآثار الدقيقة للتغير الحراري على أنواع معينة من المحاصيل، وعلى مناسيب ونوعية المياه الجوفية، وعلى انتشار الأمراض المرتبطة بالمناخ.

ب. توصيات لسياسات التكيف والتخفيف:

1. الأمن المائي: اعتماد سياسات صارمة للحفاظ على المياه، تشمل: الترويج لتقنيات الري بالتنقيط فائقة التوفير، وإعادة استخدام المياه المعالجة لأغراض غير الشرب، وحظر الزراعات ذات الاستهلاك المائي العالي غير الملائمة للمناخ الجديد.
2. الأمن الغذائي والتكيف الزراعي: دعم المزارعين في التحول إلى نظم الزراعة الذكية مناخياً، مثل زراعة الأصناف المقاومة للحرارة والجفاف (مثل بعض أنواع الذرة الرفيعة والقمح القصير الدورة)، واستخدام الصوبات الزراعية المبردة بالطاقة الشمسية، وتطوير الزراعة المائية المحدودة الاستهلاك للماء.
3. الصحة العامة: تطوير وتنفيذ خطط عمل وطنية للصحة والحرارة، تتضمن أنظمة إنذار، وتوعية للمواطنين، وتكييف للمرافق الصحية لاستقبال حالات الإجهاد الحراري، وضمان استمرارية التيار الكهربائي في أوقات الذروة الحرارية.
4. الطاقة والمباني: تشجيع اعتماد معايير البناء الأخضر في المنطقة (عزل حراري عالي، ألوان فاتحة للأسطح)، وتسريع نشر أنظمة الطاقة الشمسية لتشغيل أنظمة التبريد وتخفيف الضغط على الشبكة الوطنية وتقليل الانبعاثات.

ج. توصيات للتوعية وبناء القدرات:

1. إطلاق حملات توعية مجتمعية مستمرة بلغة بسيطة لتوضيح مخاطر التغير المناخي وآليات التكيف على مستوى الأسرة (ترشيد الاستهلاك، الزراعة المنزلية المقاومة للحرارة).
2. دمج التغير المناخي في المناهج التعليمية في المدارس والجامعات الليبية.

3. تعزيز التعاون الإقليمي والدولي لتبادل الخبرات والتكنولوجيات والتجارب الناجحة في تكيف المناطق الصحراوية مع التغير المناخي.

المراجع

1. أبو العينين، ح. س. أ. (1985). *أصول الجغرافيا المناخية*. دار الثقافة الجامعية.
2. أبو غرسة، ع. (2014). *تحليل تغير واتجاه درجة الحرارة في منطقة سرت 1948-2009*. مجلة الأبحاث الجغرافية، (1)، 45-60.
3. السامرائي، ق. ع. (2008). *المناخ والأقاليم المناخية*. دار البازوري العلمية للنشر والتوزيع.
4. الشركسي، و.، وآخرون. (2006). *جوانب من جغرافية الجفرة*. دار الكتب الوطنية زليتن.
5. أمانة التخطيط – مصلحة المساحة. (1978). *الأطلس الوطني للجماهيرية العربية الليبية* (ص. 33).
6. الهيئة العامة للأرصاد الجوية الليبية. (2024). * (البيانات الشهرية لدرجات الحرارة لمحطة هون (2024-2010) (بيانات غير منشورة).*
7. NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS). (2024). *GISTEMP v4: NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS) Surface Temperature Analysis*. Retrieved from <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
8. V. Masson-Delmotte et al., Eds. Intergovernmental Panel on Climate Change (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. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
9. Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., ... & Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics*, 60(3), e2021RG000762. <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>
10. Sghaier, M., Ouassar, M., & Ouled Belgacem, A. (2018). Climate change impacts in North Africa: Vulnerability and adaptation. In *The Mediterranean region under climate change* (pp. 537-547). IRD Éditions.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JSHD** and/or the editor(s). **JSHD** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.