

تحليل اتجاهات التغير في درجة الحرارة الصغرى ببلدية غات للفترة 1981-2100

فاطمة صالح أبشير

ليسانس، جغرافيا

كلية التربية/ جامعة مصراتة

fatimaebshier@gmail.com

تاريخ النشر: 2026/8/1

علي مصطفى سليم

أستاذ مشارك، جغرافية طبيعية

كلية التربية/ جامعة مصراتة

a.salim@edu.misuratau.edu.ly

تاريخ الاستلام: 2026/7/15

ملخص البحث:

يهدف هذا البحث إلى كشف الاتجاهات العامة لدرجة الحرارة الصغرى في بلدية غات من خلال تحليل الاتجاهات الشهرية والفصلية والسوية للفترة 1981-2025، بالإضافة إلى النمذجة المستقبلية حتى عام 2100، اعتماداً على نموذج التصغير الإحصائي (Statistical Down Scaling Method (SDSM في نمذجة البيانات المستقبلية لدرجة الحرارة الصغرى باستخدام بيانات النموذج المناخي الكندي CanESM2 وفق سيناريوهين من مسارات الانبعاثات RCP2.6، RCP8.5، وتم تحليل الاتجاهات باستخدام تحليل الانحدار الخطي Simple Regression، واختبار T-Test، والمتوسطات المتحركة Moving Averages، وتحليل التباين الأحادي One-Way ANOVA، وأظهرت النتائج اتجاهات عامة للزيادة في المعدلات الفصلية والسوية لدرجة الحرارة الصغرى عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05، لصالح الفترة الثانية من الدراسة للفترة 2004-2025، في حين كانت الاتجاهات المستقبلية وفق سيناريو RCP8.5 موجبة ذات دلالة إحصائية أقل 0.001، حيث يتوقع السيناريو أن تصل الزيادة في متوسط درجة الحرارة الصغرى نحو 6.01م للفترة 2071-2100، مقارنة بفترة الأساس، بما يتماشى بشكل عام مع توقعات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC.

الكلمات المفتاحية: تحليل الاتجاه، الانحدار الخطي، النموذج المناخي الكندي، سيناريو RCP8.5، بلدية غات.

Analysis of Trends in Minimum Temperature Variability in the Municipality of GHAT for the Period 1981–2100

Ali Mustafa Salim

a.salim@edu.misuratau.edu.ly

Fatima Saleh Ibshir

fatimaebshier@gmail.com

Department of Geography, Faculty of Education, University of Misurata

Abstract

This study aims to investigate the general trends of minimum temperature in the Municipality of GHAT through the analysis of monthly, seasonal, and annual trends over the period 2004–2025, in addition to future climate projections extending to the year 2100. The study employs the Statistical Down Scaling Model (SDSM) to simulate future minimum temperature based on outputs from the Canadian Earth System Model (CanESM2), under two Representative Concentration Pathways (RCPs), namely RCP2.6 and RCP8.5. Trend analysis was conducted using Simple Linear Regression, the t-test, Moving Averages, and One-Way Analysis of Variance (ANOVA). The results indicate a statistically significant upward trend ($p < 0.05$) in seasonal and annual minimum temperatures during the historical period (1981–2025), favoring the latter part of the



study period. Furthermore, future projections under the RCP8.5 scenario reveal a statistically significant positive trend ($p < 0.005$), with minimum temperature expected to increase by approximately 1.30°C by the end of the century (2071–2100), relative to the baseline period. These findings are broadly consistent with projections reported by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Keywords: Trend analysis; Simple Linear Regression; Canadian Earth System Model (CanESM2); RCP8.5 scenario; GHAT Municipality.

أولاً: المقدمة:

يعد التغير المناخي من أبرز المشكلات البيئية المعاصرة في القرن الحادي والعشرين؛ نظراً لتأثيراته المباشرة وغير المباشرة على النظم البيئية والموارد الطبيعية، والأنشطة البشرية، ويعرف التغير المناخي بأنه التحولات أو الانحرافات طويلة الأمد في متوسطات عناصر المناخ أو في تباينها إحصائياً بعيداً عن معدلاته الطبيعية سواء على المستوى المحلي أو العالمي، وهذه الظاهرة ناتجة عن النشاط البشري بصورة مباشرة أو غير مباشرة مما يؤدي إلى زيادة تركيز الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي (الهيئة الحكومية المعنية بالتغير المناخي، 2001، ص3)، وتعد المناطق الجافة وشبه الجافة من أكثر النظم البيئية هشاشة في مواجهة التغير المناخي؛ بسبب ضعف ومحدودية مواردها المائية، وحساسيتها للتغيرات الحرارية، وتعد دراسة درجة الحرارة الصغرى وتحليل تغيراتها والكشف عن اتجاهاتها في منطقة غات من المؤشرات المهمة في رصد التغير المناخي، لما لها من تأثير مباشر على الأنظمة البيئية والتنوع الحيوي، والأنشطة الزراعية في البيئات الصحراوية، وقد شهدت ليبيا خلال العقود الأخيرة تغيرات ملحوظة في خصائصها المناخية، خاصة درجات الحرارة. وتحاول الدراسة الكشف عن التغيرات المناخية من خلال تحليل الاتجاهات الحديثة في درجة الحرارة الصغرى، بما يسهم في فهم التغيرات المناخية في البيئات الصحراوية اللبية لتوفير معلومات مناخية تدعم التخطيط البيئي وإدارة الموارد البيئية في منطقة غات.

ثانياً: مشكلة البحث:

شهدت منطقة غات تغيرات واضحة في انظمة الطقس من تغير درجات الحرارة وحدوث موجات الحر وهطول الأمطار الفجائية ما سببت في حدوث فيضانات متكررة، مما تحتاج أجهزتها الإدارية لوضع استراتيجيات تخطيطية لسبل التعامل والتكيف مع التغيرات المناخية بالمنطقة، وتحاول الدراسة الإجابة على التساؤلات الآتية:

1. هل هناك اتجاهات ذات دلالة إحصائية لزيادة المعدلات السنوية والفصلية في درجة الحرارة الصغرى ببلدية غات للفترة 1981 – 2100؟

2. إلى أي مدى يمكن توظيف نموذج التصغير الإحصائي (SDSM) Statistical Down Scaling Method في كشف الاتجاهات المستقبلية لدرجة الحرارة الصغرى السنوية وفق بيانات النموذج المناخي الكندي CanESM2 لعدد من السيناريوهات المناخية ببلدية غات للفترة 1981-2100؟

3. هل توجد فروق معنوية في تغير اتجاهات درجة الحرارة السنوية والفصلية الصغرى ببلدية غات للفترة 1981-2100؟

ثالثاً: أهداف البحث: وتهدف الدراسة إلى:

1. الكشف عن اتجاهات التغير في درجة الحرارة الصغرى ببلدية غات للفترة 1981-2100
2. تحليل الاتجاهات المستقبلية لدرجة الحرارة الصغرى السنوية من خلال استخدام نموذج التصغير الإحصائي (SDSM) Statistical Down Scaling Method.
3. تحليل معنوية الفروق في تغير اتجاه درجة الحرارة السنوية والفصلية الصغرى بمنطقة الدراسة 1981-2100.

رابعاً: فرضيات البحث:

1. هناك اتجاهات ذات دلالة إحصائية لزيادة المعدلات السنوية والفصلية في درجة الحرارة الصغرى ببلدية غات للفترة 1981-2100.
2. يمكن توظيف نموذج التصغير الإحصائي (SDSM) Statistical Down Scaling Method في كشف الاتجاهات المستقبلية لدرجة الحرارة الصغرى السنوية وفق بيانات النموذج المناخي الكندي CanESM2 لعدد من السيناريوهات المناخية ببلدية غات للفترة 1981-2100.
3. توجد فروق معنوية في تغير اتجاهات درجة الحرارة السنوية والفصلية الصغرى ببلدية غات للفترة 1981-2100.

خامساً: أهمية البحث:

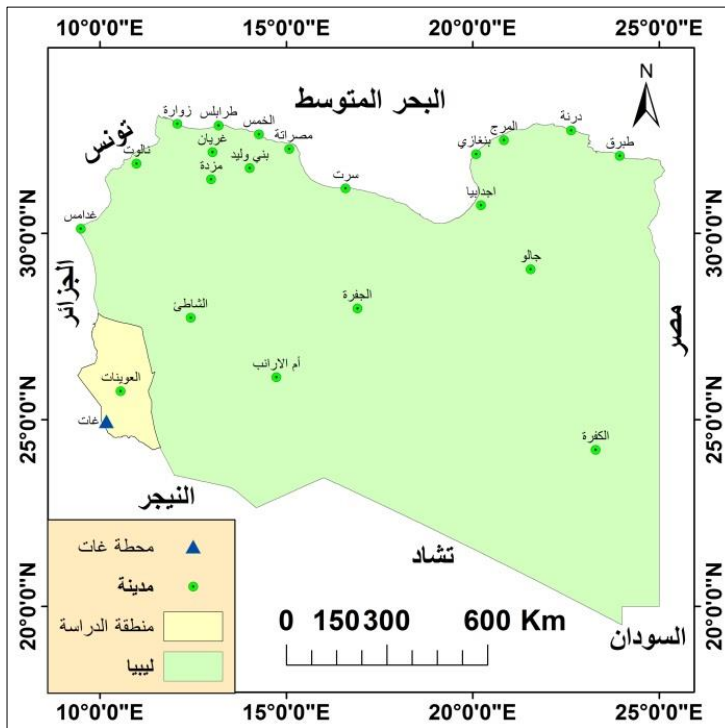
تكمن أهمية البحث في تحليل اتجاهات التغير في درجة الحرارة الصغرى ببلدية غات لفترة زمنية طويلة 1981-2100، بما يسهم في فهم التغيرات المناخية في البيئات الصحراوية، وتوفير بيانات علمية تدعم استراتيجيات التخطيط البيئي والزراعي وإدارة الموارد المائية، والحد من الأخطار المناخية في النظم البيئية الهشة.



سادساً: موقع منطقة الدراسة:

تقع بلدية غات في أقصى الجنوب الغرب لليبيا، يحدها بلدية الشاطئ من الشمال والشمال الشرقي، وبلدية أوباري ومرزق من الشرق، في حين تحدها دولتي النيجر، والجزائر من جهتي الجنوب الغرب على التوالي (الشكل 1)، وتقع فلكيا بين خطي طول $9^{\circ}29'$ و $11^{\circ}33'$ شرقاً، وبين دائرتي عرض $27^{\circ}46'$ و $24^{\circ}15'$ شمالاً، وتقدر مساحتها بنحو 27700 كم^2 (وزارة التخطيط، 1987، ص 26).

الشكل (1) موقع منطقة الدراسة والمخطة المناخية المدروسة



المصدر: الباحثين باستخدام GIS اعتماداً على (وزارة التخطيط، 1987، ص 26)

سابعاً: الدراسات السابقة:

يعد تحليل اتجاهات التغير في درجة الحرارة من أكثر المواضيع اهتماماً بين المستويات العلمية المختلفة، من باحثين أفراد ومؤسسات ومنظمات محلية ودولية، لأن زيادة درجة الحرارة أهم نتائجه وخطرها؛ لتأثير المباشر على الإنسان ونشاطاته وعلى البيئة وتنوعها الحيوي، حيث لم تخطى بلدية

غات بدراسة الاتجاهات الحديثة والمستقبلية لتغير درجة الحرارة الصغرى بدراسة حديثة حول الموضوع، مع ذلك هناك العديد من الدراسات المناخية التي تناولت موضوع التغير في عناصر المناخ في ليبيا، ونمذجتها، ومنها:

1. دراسة برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP,2000) يشير إلى حدوث زيادة درجة الحرارة السطحية بنحو 0.5م في منطقة الشرق الأوسط للفترة 1955-1994 حيث يتراوح مقدار الزيادة فيها خلال أشهر السنة بين 0.25-1م، وتتوقع النماذج المناخية المستخدمة في تقريره إلى تزايد درجة الحرارة بين 1-2 م مستقبلاً للفترة 2030-2050 ترافقها زيادة في معدلات التبخر وانخفاض في رطوبة التربة.

2. دراسة الطنطاوي (EI-Tantawi,2005) للتغير المناخي في ليبيا والتصحر في سهل الجفارة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بُعد. وتُتم الدراسة بتحديد مؤشرات التغير المناخي في ليبيا، وانعكاساتها على زيادة التصحر. وتُخلص بأن الزيادة في درجة الحرارة تتماشى مع الزيادة العالمية. وتُشير إلى تزايد درجة الحرارة في جميع أنحاء ليبيا ما بين 0.31. 0.82 م.

3. دراسة (Thakor & Parekh, 2024): هدفت الدراسة إلى تقييم شدة الأمطار ودرجة الحرارة العظمى وفقاً لثلاثة مسارات تركيز تمثيلية (RCPs)، فقد اعتمدت الدراسة على بيانات نموذج المناخ العالمي CanESM2، وباستخدام بيانات تاريخية لمدة 40 عاماً 1981-2021 لمنطقة فودودارا (Vadodara) بالهند كفترة مرجعية، حيث استخدمت الدراسة نموذج SDSM لتقدير التغيرات المستقبلية للأمطار ودرجات الحرارة العظمى على أساس عقود زمنية للفترة 2021-2100 في ظل سيناريوهات انبعاثات كربونية مختلفة، توصلت نتائج الدراسة إلى أن درجة الحرارة تميل نحو الارتفاع خلال الفترة من 2021 - 2100 مقارنة بالفترة المرجعية، كما أظهرت الدراسة أن درجات الحرارة العظمى الشهرية تزداد بشكل تدريجي، حيث سجل شهر يوليو أعلى معدل زيادة بنسبة 10.22%، وكانت أقل درجة حرارة في شهر أكتوبر بنسبة 1.27%.

4. دراسة (Rana et al, 2024): تهدف الدراسة إلى تقييم اتجاهات درجة الحرارة العظمى والصغرى، والهطول المطري في المنطقة الشمالية الغربية من بنغلاديش على المستويين الموسمي والسنوي، لثلاث فترات زمنية مستقبلية 2025-2050، 2051-2080، 2081-2100، قد تم تصغير مخرجات بيانات الغلاف الجوي واسعة النطاق المستخلصة من نموذج الدورة العامة CanESM2 إلى نطاقات أصغر على المستوى المحلي باستخدام نموذج التصغير الإحصائي SDSM، وتم تنفيذ عملية التصغير باستخدام بيانات مناخية يومية مرصودة تحت ثلاثة سيناريوهات



من مسارات التركيز التمثيلية (RCP) وهي RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5، وأظهرت النتائج توقع بارتفاع درجة الحرارة ومتوسط الهطول المطري في جميع الفصول (باستثناء فصل الشتاء من حيث الهطول) وذلك من الناحية الموسمية، أما على المستوى السنوي، من المتوقع أن ترتفع درجة الحرارة العظمى بمقدار 0.49 م° والصغرى بمقدار 1.36 م°، بينما يُتوقع أن تزداد كمية الهطول بنسبة 49% حتى نهاية القرن في ظل سيناريو الأسوأ (RCP 8.5).

5. دراسة (سليم، حويل، 2024) بهدف تحليل اتجاهات درجات الحرارة في منطقة شحات بشمال شرق ليبيا للمدة 1970-2020، من خلال تحليل البيانات الفصلية والسنوية لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى والجافة؛ للكشف عن التغيرات الموجبة والسالبة في درجة الحرارة بمنطقة الدراسة؛ اعتماداً على تقنية التحليل الإحصائي SPSS باستخدام الفروق المجمعة Cumulated Sums، واختبار: (T-t test)، والانحدار الخطي البسيط Simple Regression، ودلت نتائج الدراسة على وجود اتجاه حراري موجب في درجة الحرارة الصغرى والعظمى والجافة في منطقة شحات على مستوى دلالة إحصائية أقل من (0.05)، يتماشى مع التغيرات المناخية في منطقة حوض البحر المتوسط.

6. دراسة (سليم، 2026) يهدف هذا البحث إلى رصد الاتجاهات الحديثة للتغير الحراري في إقليم فزان الصحراوي من خلال تحليل البيانات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى والجافة للفترة 1981-2024، باستخدام من عدد الأساليب الإحصائية، منها: منحنيات الفروقات المجمعة، وتحليل الانحدار الخطي البسيط، واختبار T، كما وظفت الدراسة برنامج GIS لتمثيل النتائج في خرائط رقمية بين فترتي الدراسة، وأظهرت النتائج اتجاهات واضحة للاحتار في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05، وكانت الزيادة عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.002 في المعدلات الفصلية لدرجة الحرارة العظمى، وكانت الفروق بين 0.491 و 0.91 م° في درجة الحرارة الجافة عند مستوى معنوية أقل من 0.003 في جميع نقاط الدراسة. وعموماً تؤكد النتائج وجود اتجاه إقليمي واضح نحو الاحتار في إقليم فزان لفترة الدراسة، مما يبرز تنامي تأثيرات التغير المناخي في جنوب ليبيا.

7. دراسة (Syam et al., 2024) هدفت الدراسة استخدام نموذج التصغير الإحصائي Statistical Downscaling Model لإجراء تصغير مقياس المتغيرات المناخية الخاصة

بمحصول الأمطار (PREC)، ودرجة الحرارة العظمى (Tmax)، ودرجة الحرارة الصغرى (Tmin) في حوض نهر كريشنا Krishna حيث اعتمدت مخرجات نموذج الدوران العام (GCM) من نموذج النظام الأرضي الكندي الإصدار الثاني (CanESM2) كمتغيرات مُفسّرة، في البداية، تم معايرة نموذج SDSM باستخدام بيانات تمتد لمدة 30 سنة 1961–1990، ثم تم التحقق من دقته خلال فترة 15 سنة 1991–2005، وبعد التأكد من الأداء الجيد للنموذج، تم استخدامه لاحقاً لإسقاط المتغيرات المناخية قيد الدراسة خلال القرن الحادي والعشرين، وذلك باستخدام ثلاثة سيناريوهات من سيناريوهات مسارات التركيز التمثيلية (RCPs)، وهي: RCP2.6، وRCP4.5، وRCP8.5، وقسمت الفترة المستقبلية إلى ثلاث فترات زمنية الأولى (2011–2040)، والفترة الثانية (2041–2070)، والفترة الثالثة (2071–2100). كما تم اعتماد الفترة 1976–2005 كفترة أساس، وتمت مقارنة جميع النتائج المستقبلية بها، وأظهرت نتائج الدراسة أن حوض نهر كريشنا سيشهد زيادة في معدلات الهطول المطري خلال جميع الفصول. كما تمت مناقشة النتائج وفق السيناريو الأسوأ وهو RCP8.5 في الفترة 2071–2100، حيث يُتوقع ارتفاع متوسط درجات الحرارة العظمى والصغرى السنوية، و ستزداد القيم المتطرفة في المستقبل، ويمكن الاستفادة من نتائج هذه الدراسة في نمذجة الفيضانات في حوض نهر كريشنا، وكذلك في تقدير الطلب المستقبلي على مياه الري، والتخطيط الأمثل لأنظمة الري في المناطق الزراعية ضمن الحوض.

8. دراسة (Hadi, S. H. et al., 2024) تهدف الدراسة إلى تحليل الاتجاهات المناخية والتوقعات المستقبلية في سبع محطات في جنوب العراق، حددت الدراسة الفترة (1981–2020) كفترة أساس، بينما تم تحديد الفترتين (2021–2040) و(2041–2060) كفترتين مستقبليتين، واستخدام اختبار الاتجاه مان-كيندال (Mann-Kendall) لتقييم الاتجاهات باستخدام برنامج XLSTAT. واعتمدت الدراسة على أحدث إصدار من نموذج LARS-WG 8 للتنبؤ بالتغير المناخي باستخدام ثلاثة نماذج دوران عام (GCMs) وهي: ACCES-ESM1-5، وHadGEM3-GC31-LL، وMRI-ESM2-0، وتستند هذه المحاكاة إلى سيناريوهين هما SSP2-4.5 : وSSP5-8.5، وقد دعمت المؤشرات الإحصائية نتائج معايرة النموذج والتحقق من صحته، مما يدل على كفاءته وموثوقيته، وأظهرت نتائج التحليل وجود زيادة غير معنوية في الهطول المطري، مقابل زيادة ملحوظة في كل من درجات الحرارة العظمى والصغرى خلال الفترة 1981–2060. كما أظهرت نتائج تصغير القياس (Downscaling) زيادة في هطول الأمطار الموسمية في مدى يتراوح بين 2.233–2.831 ملم تحت سيناريو SSP2-4.5



و SSP5-8.5 على التوالي، مقارنة بالفترة المرجعية 1981-2020 خلال الفترة المستقبلية القريبة، وبين 1.988-2.543 ملم خلال الفترة المستقبلية المتوسطة. كما يتوقع ارتفاع درجات الحرارة السنوية العظمى والصغرى في مدى يتراوح بين (1.156-1.549 °م) و(1.486-1.770 °م) خلال الفترة المستقبلية القريبة، وبين (2.095-2.892 °م) و(1.486-1.770 °م) خلال الفترة المستقبلية المتوسطة، وذلك وفق السيناريوهين SSP2-4.5 و SSP5-8.5.

ثامناً: منهجية البحث:

وظفت الدراسة المنهج التاريخي والوصفي التحليلي والاستقرائي والاستنتاجي في تحليل اتجاهات التغير في درجة الحرارة الصغرى في بلدية غات واتجاهاتها المستقبلية، بالإضافة إلى الأسلوب الكارتوغرافي في تمثيلها بيانياً للفترة 1981-2100.

1. البيانات المستخدمة:

. المتوسطات اليومية لدرجة الحرارة الصغرى بمحطة غات للفترة 1981/1/1 - 2011/12/31 . كفترة أساس.

. المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة الصغرى بمحطة غات للفترة 1981. 2025، والمتاحة في منصة (NASA Power)، بالموقع: <https://power.larc.nasa.gov/data-access>.

. بيانات النموذج المناخي الكندي لنظام الأرضي من الجيل الثاني (CanESM2)، بالموقع: <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-canesc2>

2. الأساليب الإحصائية المستخدمة:

أ. اختبار التوزيع الطبيعي للبيانات المناخية Normal Distribution Test:

استخدمت الدراسة اختبار شيبورو Shapiro-Wilk للكشف عن التوزيع الطبيعي لبيانات درجة الحرارة الصغرى في محطة غات؛ لأنه شرط للقيام ببعض الاختبارات الإحصائية اللاحقة المستخدمة في هذه الدراسة.

ب. الفروقات المتجمعة (التراكمية) Cumulated Sums:

تعتمد هذه الطريقة على رسم منحى بياني يُمثل جمعاً تراكمياً للفروق عن المتوسط الحسابي لمعدلات درجة الحرارة الصغرى السنوية والفصلية للفترة 1981-2025 وتستخدم في العديد من الدراسة المناخية لتحديد الاتجاه العام للعنصر المناخي المدروس.

ج. المتوسطات المتحركة Moving Averages:

تستخدم في تحديد شكل الاتجاه العام للعناصر المناخية، وللتخلص من الذبذبات Fluctuations في ذلك الاتجاه، ووظفت الدراسة متوسط متحرك طوله 7 سنوات لتحديد الاتجاه العام لدرجة الحرارة الصغرى السنوية للفترة 2011-2100 وفق سيناريوهات الدراسة، ومتوسط متحرك طوله 3 سنوات لكل فترة من الفترات المستقبلية، وتمثيلها بيانياً في بلدية غات.

د. الانحدار الخطي البسيط Simple Regression:

وظفته الدراسة للكشف عن الاتجاهات الحديثة في درجة الحرارة الصغرى للفترة 1981-2100، حيث مثلت درجة الحرارة الصغرى المتغير التابع في حين كانت السنوات متغيراً مستقلاً لفترة الأساس وبيانات النمذجة المستقبلية.

هـ. اختبار T (T-Test):

يستخدم اختبار T لمقارنة المتوسطات الحسابية لدرجة الحرارة الصغرى بين مدتين زمانيتين متتاليتين في فترة الأساس (1981.2002)، (2004.2025)، وتحديد الاتجاه عند مستوى دلالة إحصائية أقل 0.05.

و. اختبار التباين الاحادي فان One-Way ANOVA

هو من الاختبارات الاحصائية الشائع استخدامها في الدراسات المناخية لاختبار الدلالة الاحصائية لمتوسطات درجة الحرارة الصغرى لأكثر من مجموعتين مستقلتين، ويحدد ما إذا كانت الفروق حقيقية ومعنوية أو أنها ناتجة عن التباين العشوائي في بياناتها، واستخدمته الدراسة لاختبار دلالة الفروق الإحصائية بين متوسطات درجة الحرارة الصغرى خلال أربع فترات زمنية، وهي: الأساس 2071-2100 واختبار ما إذا كانت الفروق دالة احصائياً عند مستوى أقل 0.05.

ح. نموذج التصغير الاحصائي Statistical Down scaling Model (SDSM)

اعتمدت الدراسة على بيانات نموذج المناخ العالمي (CanESM2) Canadian Earth System Model version 2، بتوظيف بيانات تاريخية لمدة 30 عاماً 1981-2010 لبلدية غات الليبية كفترة مرجعية، حيث استخدم نموذج SDSM لتقدير التغيرات المستقبلية لدرجة الحرارة الصغرى، وتم تنفيذ عملية التصغير باستخدام بيانات مناخية يومية مرصودة وفق سيناريوهين من مسارات تركيز الانبعاثات (RCP) وهي: RCP2.6، RCP8.5، وقسمت التوقعات إلى



ثلاث فترات مستقبلية: المستقبل القريب 2011-2040، المستقبل المتوسط 2041-2070، والمستقبل البعيد 2071-2100، وفق السيناريوهات الآتية:

1- سيناريو RCP2.6:

يعد هذا السيناريو الأقل من حيث معدل زيادة انبعاثات الغازات الدفيئة والإشعاع الناتج عنها، حيث أعده فريق النمذجة (IMAGE) Integrated Model to Assess the Global Environment التابع لمعهد التقييم البيئي في هولندا، ويُتوقع وفقًا لهذا السيناريو أن يصل الإشعاع إلى نحو 3.1 واط/م² في منتصف هذا القرن، ثم ينخفض تدريجيًا ليصل إلى 2.6 واط/م² بحلول عام 2100. وللوصول إلى هذا المستوى من الإشعاع، ينبغي تقليل الانبعاثات إلى 70% أو أكثر مقارنة بالمستويات الحالية.

2- سيناريو RCP 8.5:

يتميز السيناريو بالزيادة المستمرة في تراكيز الغازات الدفيئة دون إتباع سياسات للتقليل من التأثيرات المناخية أو التخفيف منها، ويُتوقع انبعاثات متزايدة إلى وصول الإشعاع نحو 8.5 واط/م² بحلول عام 2100، مع زيادة تركيز CO² إلى نحو 1000 جزء في المليون، وطوره فريق النمذجة Model for Energy Supply Strategy Alternatives and (MESSAGE) Javaherian et al, 2021, p) their General Environmental Impact (447- 448; Wayne, 2013, p14).

تاسعاً: التقنيات المستخدمة:

أ. برامج التحليل الإحصائي (SPSS):

وظفت الدراسة حزمة التحليل الإحصائي (SPSS-V26) Statistical package for Social Sciences لتحليل اتجاهات التغير في درجة الحرارة الصغرى للفترة 1981-2025 والفترة المستقبلية 2011-2100 باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط Simple Regression واختبار (t)، وتحليل التباين One-way ANOVA بين فترات الدراسة لاختبار معنوية فروق المتوسطات الحسابية لدرجة الحرارة الصغرى.

ب. نموذج التصغير الاحصائي SDSM:

يشكل نموذج التصغير الإحصائي (SDSM) أفضل الأدوات البرمجية المستخدمة في عمليات التصغير المناخي، الذي طور في قسم الجغرافيا بجامعة لوغبارو (Loughborough) بالملكة المتحدة، حيث يولد البيانات المناخية لمحة مناخية محددة تحت الظروف الحالية والمستقبلية المتأثرة بتغير المناخ، ليتم التنبؤ بالعناصر المناخية على المدى الطويل بشرط توفر البيانات اليومية لمعايرة النموذج (Arya & Prasad, 2017, p 115). وتتم عملية التصغير الإحصائي في هذا النموذج وفقاً الخطوات الآتية:

1. ضبط الجودة (Quality Control): تشكل هذه المرحلة الخطوة الأولى، يتم فيها التأكد من صحة البيانات اليومية المدخلة من حيث عدم وجود قيم مفقودة، أو فروقات في القيم، أو شذوذ غير منطقية.

2. فحص المتغيرات (Screen variables): وهي أطول الخطوات وتهدف إلى بناء العلاقة بين المتغيرات التنبؤية (Predictors) وبيانات متغيرات NCEP/NCAR والتي تضم 26 متغيراً، والمتغيرات المتنبئ بها (Predictands) البيانات المناخية المحلية، بحيث يتم اختيار المتغيرات الأكثر تأثيراً وارتباطاً من خلال الدلالة الإحصائية، وسيتم استخدام المتغيرات المختارة هنا في معايرة النموذج، ويتضح أن جميع المتغيرات الجوية المختارة من بيانات NCEP/ NCAR ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية أقل من 0.001 (الجدول 1)، حيث كان المتغير 26 والذي يمثل متوسط درجة الحرارة عند مستوى 2 متر أكثر المتغيرات تأثيراً في درجة الحرارة الصغرى المرصودة في محطة غات وبمعامل ارتباط بلغ نحو 0.933، بينما كان المتغير رقم 2 أقل المتغيرات تأثيراً في درجة الحرارة الصغرى، والذي يتمثل في سرعة الرياح على ارتفاع 1000 هكتوباسكال وبمعامل ارتباط بلغ نحو 0.065.

3. معايرة النموذج (Calibrate Model): نستخدم المتغيرات التنبؤية في مرحلة الفحص إلى جانب المتغيرات المتنبئ بها في عملية المعايرة، ونحصل على ملف مخرجات بصيغة (PAR)، ونستخدم لاحقاً في مراحل توليد بيانات الطقس والسيناريوهات، حيث أجريت معايرة نموذج SDSM للفترة 1981-2000 والتحقق من صحته للفترة 2001-2005، ولتقييم أداء النموذج خلال هذه المرحلة تم حساب المؤشرات الإحصائية المتمثلة في معامل الارتباط R^2 ، والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ RMSE.

جدول (1) المتغيرات المستخدمة في الدراسة



الترتيب	اسم المتغير	معامل الارتباط	الدلالة الإحصائية
26	Air temperature at 2 m	0.933	0.000
12	500 hPa Geopotential	0.706	0.000
24	850 hPa Specific humidity	0.342	0.000
11	500 hPa Relative vorticity of true Wind	0.240	0.000
4	1000 hPa Meridional Wind Component	0.276	0.000
23	500 hPa Specific humidity	0.208	0.000
17	850 hPa Meridional Wind Component	0.072	0.000
2	1000 hPa Wind speed	0.065	0.000

المصدر: الباحثان اعتماداً على نموذج التصغير الاحصائي SDSM

4. توليد السيناريوهات والإحصاءات الملخصة (Scenario Generation and Summary Statistics)

يستخدم ناتج نموذج المعايرة لتوليد السيناريوهات المستقبلية، ويتم الدمج بين بيانات نموذج المناخ العام (GCM)، سواء التاريخية أو سيناريوهات RCP، مع نتائج المعايرة، لإنتاج هذه السيناريوهات.

5. مقارنة النتائج Compare Results: تتم فيها مقارنة البيانات النموذجية مع البيانات

المرصودة باستخدام الإحصاءات الملخصة، وتُقارن النتائج الخاصة بالتنبؤات المستقبلية وسيناريوهات RCP المختلفة عبر الفترات الزمنية المختلفة (Farooqui & Pail, 2021, P 82).

التباين الشهري والسنوي لدرجة الحرارة الصغرى في بلدية غات

1. التوزيع الشهري والسنوي:

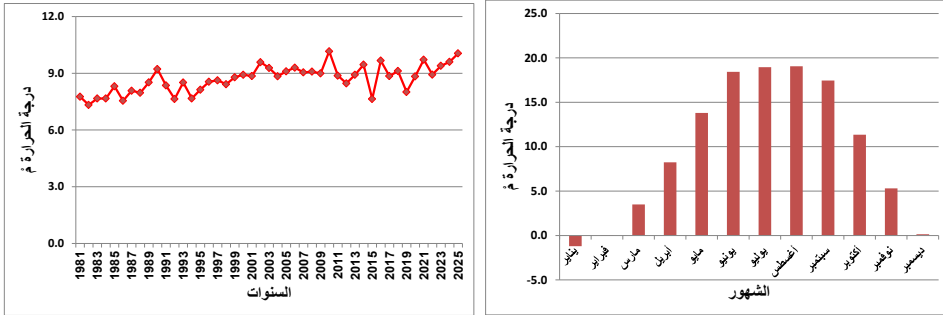
تمتاز الخصائص الحرارية في منطقة الدراسة بوجود تباين فصلي وسنوي بشكل واضح في درجة الحرارة الصغرى تظهر في شكل دورات موسمية التي تشكل خصائص المناطق الصحراوية، حيث تسجل درجة الحرارة أدنى مستوياتها في أشهر الشتاء إلى ما دون الصفر المئوي وخاصة في شهري يناير وفبراير حيث تراوحت بين -1.2م -0.1م وبمعدل عام بلغ نحو 9.6م للفترة 1981-2025، (الشكل 2) وفي فصل الربيع تبدأ درجة الحرارة بالارتفاع التدريجي إذ تنتقل من 3.5م في شهر مارس إلى

نحو 13.8م مايو، وتستمر في الارتفاع لتسجل أعلى مستوياتها في أشهر الصيف حيث وصل أعلىها في شهر أغسطس بنحو 19.1م، وبعدها تبدأ بالانخفاض التدريجي في أشهر الخريف فمن 17.4م في شهر سبتمبر إلى 5.3م في شهر نوفمبر (الشكل 2)، في حين أظهرت المعدلات السنوية تذبذب واضح حول المتوسط مع اتجاهها نحو الزيادة بشكل تدريجي (الشكل 3) حيث كانت المتوسطات أقل من 8.5م في فترة الثمانينيات في حين اقتربت من 9م في بداية التسعينيات مع اتجاه تصاعدي تدريجي، و أخيرا سجل العقدان الأخيرين وخاصة بعد سنة 2010 اتجاهها ملحوظ نحو التزايد في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى للفترة 1981 – 2025 (الشكل 3).

الشكل (3) المعدلات السنوية

الشكل (2) المعدلات الشهرية

لدرجة الحرارة الصغرى في بلدية غات للفترة 1981-2025



المصدر الباحثين اعتمادا على بيانات منصة <https://power.larc.nasa.gov>

2. اتجاهات التغير في درجة الحرارة الصغرى السنوية

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي اتجاهات ملحوظة لتغير درجة الحرارة السنوية والفصلية الصغرى بمنطقة الدراسة نفصلها في الآتي:

أ. الفروقات المجمعة:

أظهرت منحنيات الفروقات التراكمية (الشكل 4) اتجاهها ملحوظاً لزيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى بداية سنة 1997 ومستمر في الاتجاه حتى نهاية فترة الدراسة.

ب. الانحدار الخطي البسيط:

بينت نتائج تحليل الانحدار (الجدول 2)، و (الشكل 5)، وجود قيماً موجبة للتغير (b). تدل على زيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى في منطقة غات عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.001، وكانت قيمة (b) 0.037 وبنسبة التباين المفسر نحو 0.448.

جدول (2) الانحدار الخطي للمعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى في بلدية غات للفترة 1981 – 2025



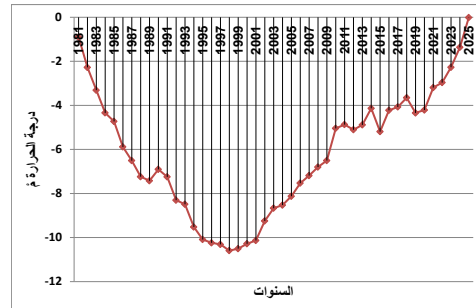
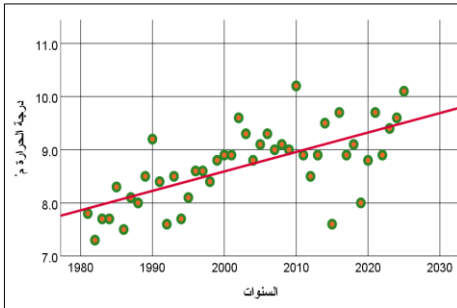
معامل الانحدار (b)	قيمة T	مستوى الدلالة الإحصائية (sig)	نسبة التباين المفسر (R^2)
0.037	5.906	0.000	0.448

المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

الشكل (5) الانحدار الخطي

الشكل (4) الفروق التراكمية

لدرجة الحرارة السنوية الصغرى في بلدية غات للفترة 1981 – 2025



المصدر الباحثين اعتمادا على بيانات منصة <https://power.larc.nasa.gov>، ونتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

ج. اختبار T:

أظهرت نتائج اختبار t فروقا في المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى بين فترتي الدراسة لصالح الفترة الثانية عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.001، فكان الفرق نحو 0.813م، للفترة الثانية 2004-2025 (الجدول 3)، لتؤكد النتائج صدق اتجاه درجة الحرارة الصغرى السنوية نحو الزيادة متماشيا مع التغيرات المناخية في البيئات الجافة.

جدول (3) الفروق في متوسط درجة الحرارة السنوية الصغرى بين فترتي الدراسة في بلدية غات

للفترة 1981 – 2025

فترة الدراسة	المتوسط السنوي لدرجة الحرارة السنوية (م)	قيمة (T)	درجات الحرية	مستوى الدلالة الإحصائية	فرق المتوسط
الأولى 1981-2002	8.282	4.51	42	0.000	0.813م
الثانية 2004-2025	9.095	4.51	41.98	0.000	

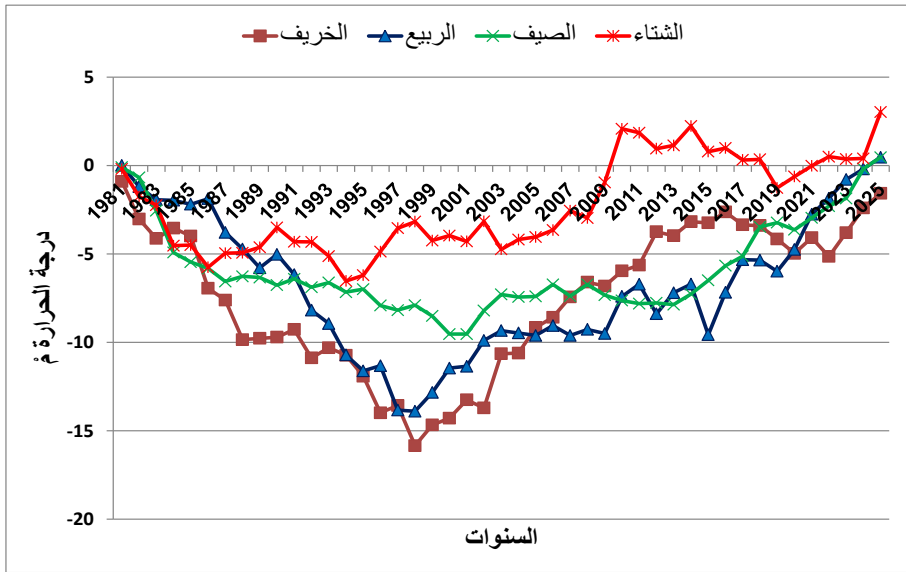
المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

3 اتجاهات التغير في درجة الحرارة الصغرى الفصلية

أ. الفروقات المجمعة:

أظهرت منحنيات الفروقات المجمعة (الشكل 6) اتجاهات واضحة لزيادة المعدلات الفصلية لدرجة الحرارة الصغرى بشكل متباين، حيث كانت الاتجاهات نحو الزيادة منذ نهاية التسعينيات في فصلي الربيع والخريف في حين كانت الاتجاهات بداية من 2001 في فصل الصيف وبشكل ملحوظ حتى نهاية سنة 2025، في حين بينت منحنيات الفروقات المجمعة اتجاهات واضحة نسبياً لزيادة المعدلات الفصلية لدرجة الحرارة الصغرى في فصل الشتاء كاتجاه نحو الاحترار بداية من سنة 1995 مع ظهور بعض الذبذبات في الاتجاه (الشكل 6).

الشكل (6) الفروقات التراكمية لدرجة الحرارة الفصلية الصغرى ببلدية غات للفترة 1981-2025



المصدر: الباحثان اعتماداً على بيانات منصة <https://power.larc.nasa.gov>

ب. الانحدار الخطي البسيط:

بينت نتائج تحليل الانحدار (الجدول 4)، و(الشكل 7)، وجود قيم موجبة لمعامل الانحدار تدل على زيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى في بلدية غات عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05، حيث كانت 0.004 في فصل الخريف وقيمة (b) 0.039 وبنسبة تباين مفسر نحو 0.175، نحو 0.002 في فصل الربيع وقيمة (b) موجبة بلغت 0.042 ووصلت إلى أقل من 0.001 في فصل الصيف وبقائمة موجبة لمعامل الانحدار بلغ 0.036، وكانت التباين المفسر بين 0.195 و0.348 على التوالي، أما الاتجاه في فصل الشتاء فقد كان نحو التزايد حيث كانت قيمة



معامل الانحدار موجبة بلغت 0.028 عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05 حيث كانت 0.032.

جدول (4) الانحدار الخطي للمعدل الفصلي لدرجة الحرارة الصغرى في بلدية غات

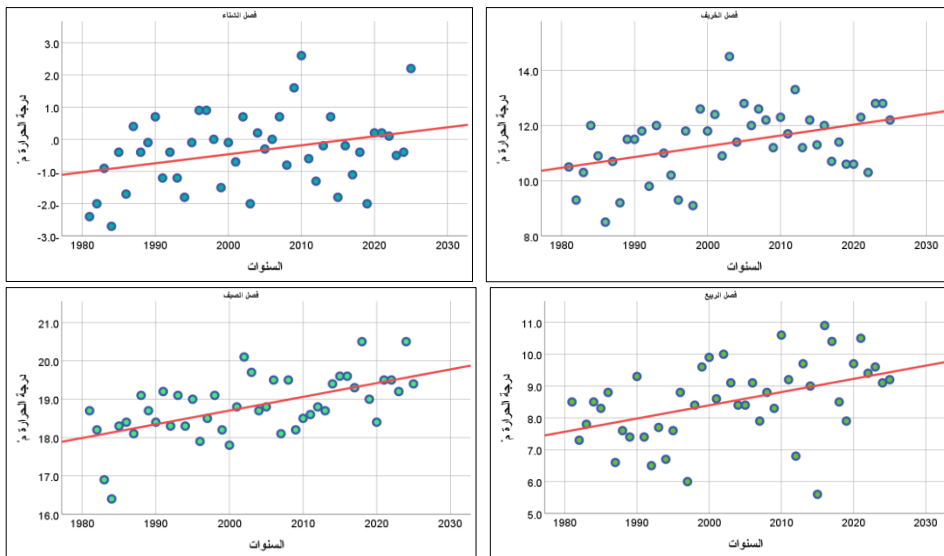
للفترة 1981 – 2025

فصول السنة	معامل الانحدار (b)	قيمة T	الدلالة الإحصائية	نسبة التباين المفسر (R^2)
فصل الخريف	0.039	2.579	0.004	0.175
فصل الشتاء	0.028	2.220	0.032	0.103
فصل الربيع	0.042	2.859	0.002	0.195
فصل الصيف	0.036	3.535	0.000	0.348

المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

الشكل (7) الانحدار الخطي لدرجة الحرارة السنوية الصغرى في بلدية غات

للفترة 1981 – 2024



المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

ج. اختبار T:

دلت نتائج اختبار t (الجدول 5) على وجود فروقاً في المعدلات الفصلية لدرجة الحرارة الصغرى بين فترتي الدراسة لصالح الفترة الثانية الممتدة 2004-2025، عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.002، في فصلي الخريف والصيف فكان الفرق نحو 1.037م، و 0.718م على التوالي، في حين أظهرت المعدلات الفصلية لدرجة الحرارة الصغرى فروقا لصالح الفترة الثانية من الدراسة عند مستوى دلالة إحصائية 0.15 في فصلي الربيع، وكان الفرق نحو 0.896م، لصالح الفترة الثانية من الدراسة 2004 - 2025، في حين كانت الفروق نحو الزيادة في فصل الشتاء لصالح الفترة الثانية بنحو 0.686م وكانت الفروق دون دلالة احصائية، إن تكرار الاتجاه نحو الزيادة في المعدلات الفصلية لصالح الفترة الثانية هو مؤشر على صدق الاتجاه نحو الاحترار في درجة الحرارة.

جدول(5) الفروق في المتوسطات الفصلية لدرجة الحرارة الصغرى بين فترتي الدراسة

ببلدية غات بين فترتي الدراسة 1981 -2002، 2004-2025

فصول السنة	فترة الدراسة	المتوسط (م)	قيمة (T)	درجات الحرية	مستوى الدلالة الإحصائية	فرق المتوسط
فصل الخريف	الأولى	10.777	3.349	42	0.002	1.037
	الثانية	11.814	3.349	37.633	0.002	
فصل الشتاء	الأولى	-0.636	1.764	42	0.085	0.686
	الثانية	-0.050	1.764	41.843	0.085	
فصل الربيع	الأولى	8.059	2.528	42	0.015	0.896
	الثانية	8.955	2.528	41.475	0.015	
فصل الصيف	الأولى	18.432	3.337	42	0.002	0.718
	الثانية	19.150	3.337	40.518	0.002	

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج التحليل الإحصائي باستخدام SPSS

4. النمذجة المستقبلية للمعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى

أولاً: تقييم أداء النموذج وفق نتائج الاختبارات الإحصائية

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي في مرحلة المعايرة ارتفاع معامل التحديد R^2 بنحو 0.999 (الجدول 6، والشكل 8) ليبين قدرة النموذج على تفسير 99.9% من تباين درجة الحرارة الصغرى المرصودة في بلدية غات، وهذا يدل على قوة العلاقة بين بيانات المرصودة والمحاكاة، ودقة النموذج في تمثيل البيانات عبر الزمن خلال فترة المعايرة، كما شهدت مرحلة التحقق ارتفاع معامل التحديد R^2



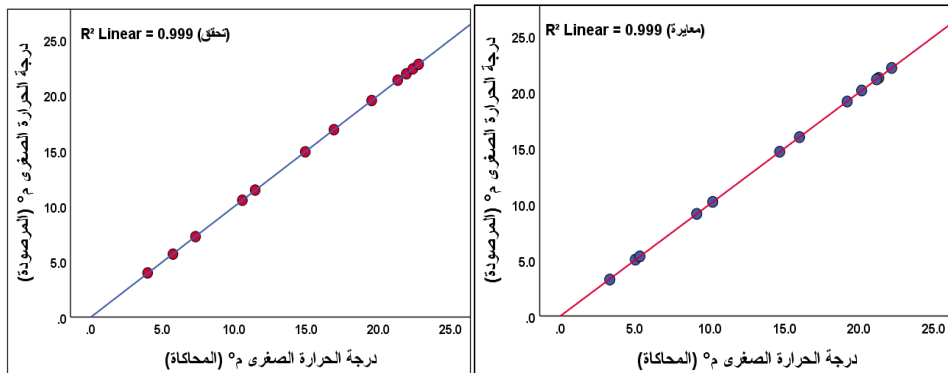
بنحو 0.999 لتؤكد القدرة التنبؤية للنموذج في توليد بيانات درجة الحرارة الصغرى بدقة عالية عند تطبيقه على بيانات مستقلة، في حين كانت نتائج الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ بين القيم المرصودة والمتوقعة ضمن الحدود المسموحة بها إحصائيا حيث تراوحت بين 0.010 في مرحلة المعايرة، و0.0002 في مرحلة التحقق، مع وجود دلالة معنوية للبيانات في المرحلتين عند مستوى 0.001 و p-value؛ لندل على قدرة حقيقية وموثوقة في تمثيل التباين في درجات الحرارة الصغرى، واستخدمه في توليد البيانات المستقبلية اليومية لدرجة الحرارة الصغرى في بلدية غات وفق سيناريو RCP2.6 وسيناريو RCP8.5.

جدول (6) الأداء الإحصائي لنموذج درجة الحرارة الصغرى خلال مرحلتَي المعايرة والتحقق للفترة 1981–2005 في بلدية غات

المؤشرات الإحصائية	المعايرة (1981–2000)	التحقق (2001–2005)
R^2 معامل الارتباط)	0.999	0.999
RMSE الخطأ التربيعي)	0.010	0.0002
الدلالة الإحصائية (Sig)	0.000	0.000

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادا على نتائج التحليل الإحصائي باستخدام SPSS

الشكل (8) العلاقة بين درجة الحرارة الصغرى المرصودة والمحاكاة خلال مرحلتَي المعايرة والتحقق للفترة 1981–2005 في بلدية غات

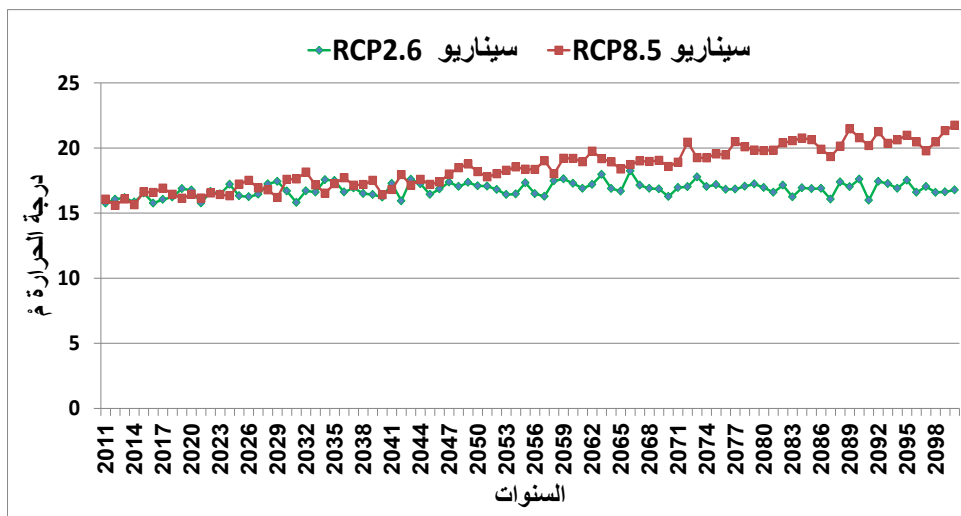


المصدر: إعداد الباحثين اعتمادا على نتائج التحليل الإحصائي باستخدام SPSS

ثانيا: النمذجة المستقبلية للمعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى وفق سيناريو RCP2.6 تشير النتائج إلى أن الاحترار المستقبلي يرتبط بمستوى انبعاثات الغازات الدفيئة بشكل واضح من خلال مقارنة بين سيناريو RCP2.6 الذي يظهر نوعا من الاستقرار النسبي في درجة الحرارة

الصغرى في بلدية غات مع ظهور اتجاه خفيف نحو الارتفاع في حين كان الاتجاه نحو الزيادة واضحاً في سيناريو RCP8.5 عالي الانبعاث (الشكل 9)، ونوجزها كالتالي:

الشكل (9) درجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريوهات مسارات التركيز التمثيلية RCP في بلدية غات للفترة 2100-2011



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

أ. المتوسطات المتحركة:

أظهرت منحنيات المتوسطات المتحركة (الشكل 10) اتجاهها ملحوظاً لزيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP2.6 منذ بداية سنة 2111 ومستمر في الاتجاه حتى عام 2100، بالرغم من تناقصها خلال الفترة المستقبلية البعيدة 2071-2100 في حين كانت الاتجاهات متباينة بين فترات الدراسة: فصلها في الآتي:

1. اتجاهات التغير في المستقبل القريب 2011-2040

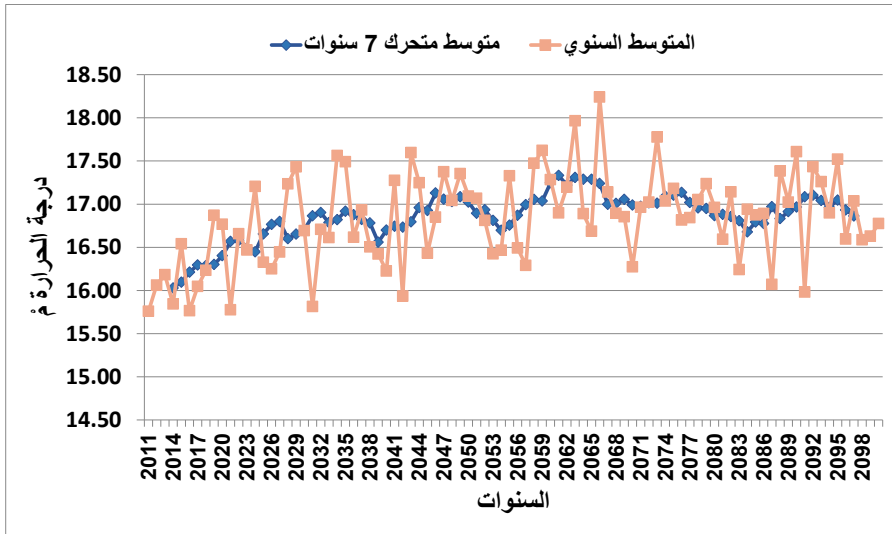
دلت منحنى المتوسطات المتحركة وجود اتجاه نحو الزيادة في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى بداية من 2011 ويستمر حتى نهاية الفترة 2040 (الشكل 11)، وهو يمثل اتجاهاً نحو الاحترار التدريجي.

2. اتجاهات التغير في المستقبل المتوسط 2041-2070

كشف منحنى المتوسطات المتحركة لثلاث سنوات اتجاهات نحو الاستقرار النسبي مع وجود احترار حراري بسيط في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى خلال النصف الأول من فترة المستقبل

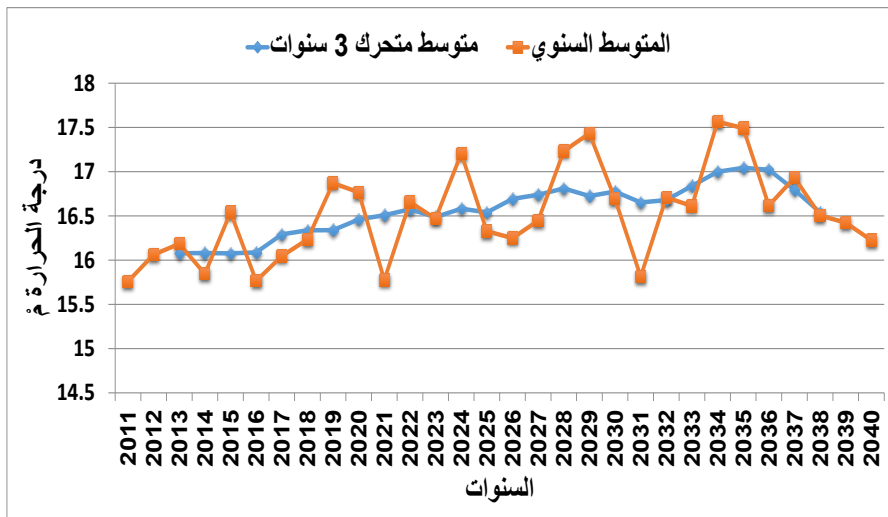


الشكل (10) المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP2.6 في بلدية غات للفترة 2100-2011



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

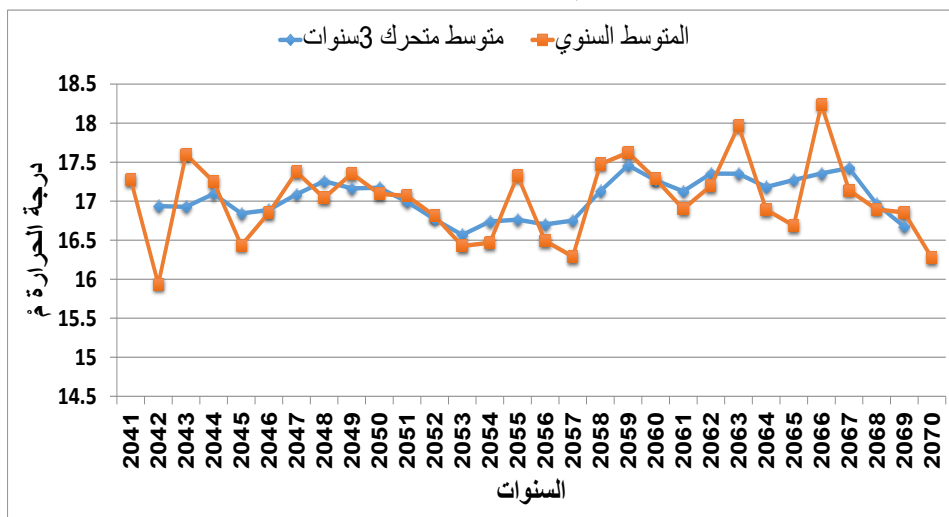
الشكل (12) المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP2.6 في بلدية غات للفترة 2040-2011



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

المتوسط 2041-2070، (الشكل 12) واستمراره في منتصف القرن وخاصة في العقد السادس، ثم يبدأ المنحى في التناقص والانخفاض نهاية الفترة.

الشكل (12) المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP2.6 في بلدية غات للفترة 2070-2041



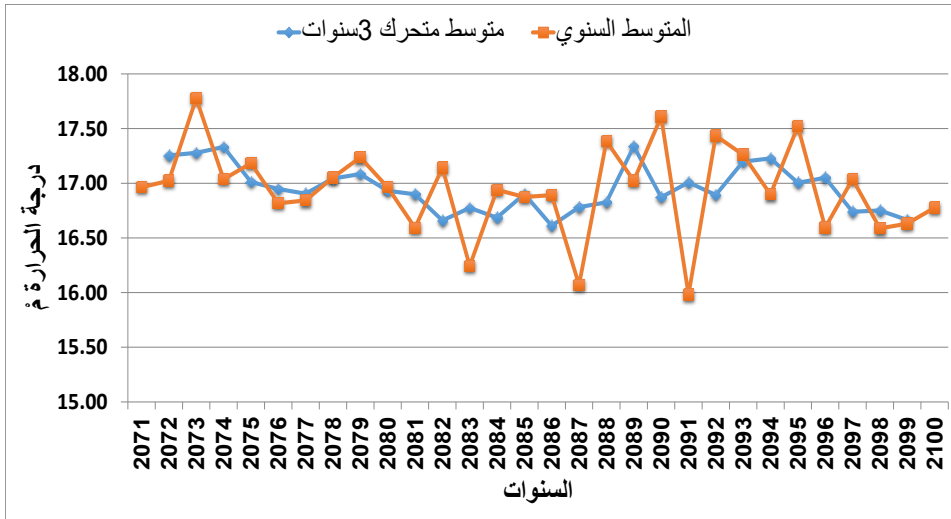
المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

3. اتجاهات التغير في المستقبل البعيد 2071-2100

بينت منحى المتوسطات المتحركة اتجاهات نحو الاستقرار في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى في فترة المستقبل البعيد 2100-2071 وفق سيناريو RCP2.6، حيث كان اتجاه المنحى يتذبذب حول المعدل الفترة البالغ 16.95م حيث تراوحت الفروق عن المعدل بين -0.88 و 0.83م، مما يدل على فترة استقرار نسبي، وبقاء درجة الحرارة الصغرى قريبة من معدلاتها (الشكل 13)، ويتوافق هذا الاتجاه مع المنظمة الدولية المعنية بالتغير المناخي IPCC حيث أشارت في تقريرها الخامس بأن سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP2.6 للتخفيف الصارم لانبعاثات الغازات الدفيئة يتميز بانخفاض معدل الاحترار العالمي خلال النصف الثاني من القرن الواحد والعشرين (الشكل 14) مع استمرار وجود تذبذب في السلسلة الزمنية لدرجة الحرارة الصغرى وميولها للاستقرار النسبي، وهذا لا يعني اختفاء الاحترار (IPCC, 2014, pp. 8-10).

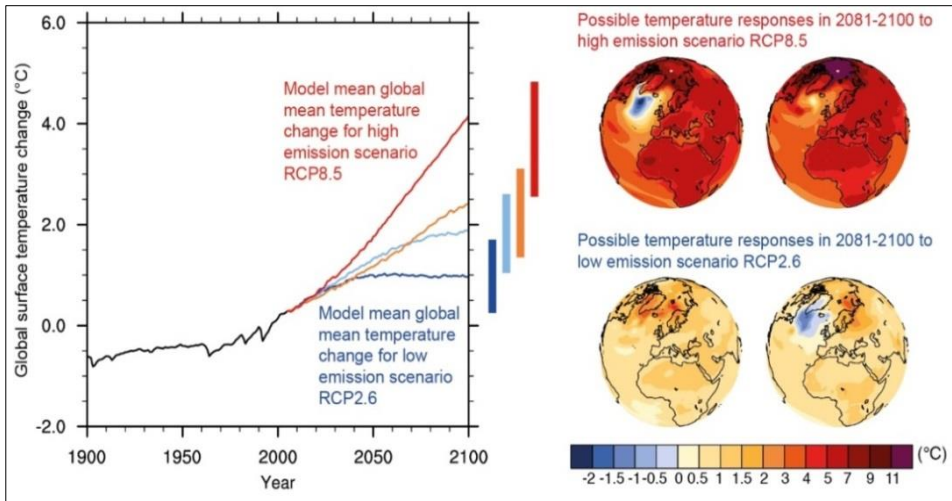


الشكل (13) المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP2.6 في بلدية غات للفترة 2071-2100



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

الشكل (14) اتجاهات درجة الحرارة المتوقعة وفق مسارات RCP حتى عام 2100



المصدر: (<https://www.ipcc.ch>)

ب. الانحدار الخطي البسيط:

بينت نتائج تحليل الانحدار (الجدول 7)، و(الشكل 15)، وجود قيماً موجبة للتغير (b). تدل على زيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية

RCP2.6 في بلدية غات عند مستوى دلالة إحصائية بلغت 0.001، وكانت قيمة (b) 0.028 ونسبة التباين المفسر نحو 0.617 للفترة 1981 - 2100.

جدول (7) الانحدار الخطي للمعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى السنوية وفق سيناريو RCP2.6 في بلدية

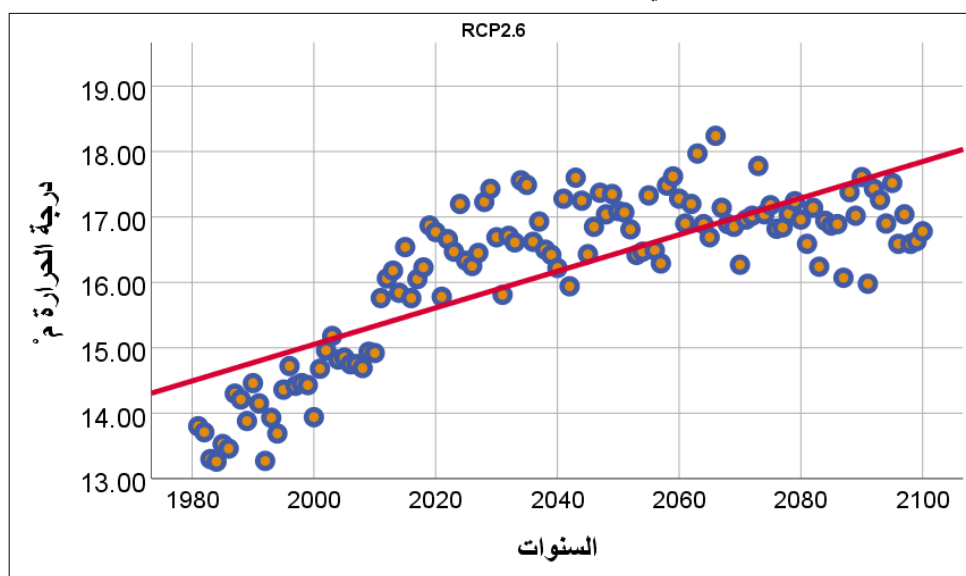
غات للفترة 1981-2100

معامل الانحدار (b)	قيمة T	مستوى الدلالة الإحصائية (sig)	نسبة التباين المفسر (R^2)
0.028	9.980	0.001	0.617

المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

الشكل (15) الانحدار الخطي لدرجة الحرارة السنوية الصغرى وفق سيناريو RCP2.6

في بلدية غات للفترة 1981-2100



المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

ج . تحليل التباين الأحادي One-Way ANOVA لسيناريو الانبعاث المنخفض

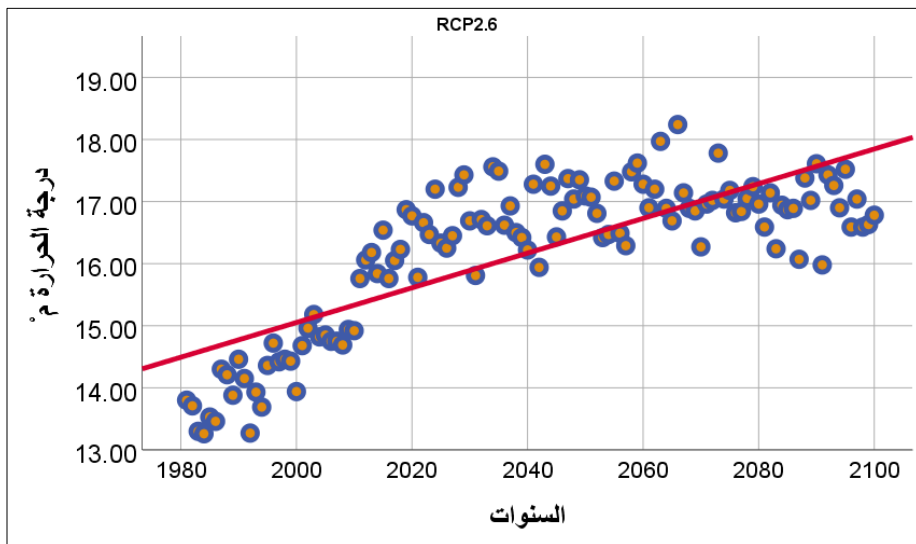
RCP2.6

بينت نتائج تحليل التوزيع الطبيعي أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي وفق اختبار Shapiro-Wilk test، وكانت الدلالة الاحصائية أكبر من 0.05 فكانت 0.095 لفترة الأساس، وبين 0.207 - 939 للفترات المستقبلية (الجدول 8)، وكما كان هناك تجانس في تباين بيانات المجموعات وفق اختبار ليفين Levene البالغة 1.93 عند مستوى دلالة احصائية 0.128 وهي أكبر من 0.05، وبهذه النتائج طبقت الدراسة تحليل التباين الأحادي ANOVA بين فترة



الأساس والفترات المستقبلية وفق سيناريو RCP2.6 المنخفض الانبعاث في بلدية غات للفترة 2011-2100، حيث كشفت نتائجه وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطات الفترات

الشكل (15) الانحدار الخطي لدرجة الحرارة السنوية الصغرى وفق سيناريو RCP2.6 في بلدية غات للفترة 2100-1981



المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

مقارنة بفترة الأساس، تدل على وجود اتجاه حراري نحو زيادة المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى في محطة غات عبر فترات الدراسة، حيث ارتفعت من 14.26 م° في فترة الأساس 1981-2010 إلى 16.51 م° في المستقبل القريب للفترة 2011-2040 تم وصلت إلى 17.02 م° في المستقبل المتوسط للفترة 2041-2070، وأخيرا إلى 16.95 في المستقبل البعيد للفترة 2071-2100 (الجدول 8 والشكل 16). وأكد تحليل التباين الأحادي وجود فروق معنوية حيث بلغت قيمة F نحو 197.78، وبدلالة إحصائية أقل 0.001، ودعم اختبار توكي Tukey البعدي هذه الفروق في ظل تجانس البيانات أن جميع الفروق المعنوية، كانت بين فترة الأساس والمستقبل القريب المتوسط والبعيد، إذ ارتفع المتوسط من 2.25 م° إلى 2.75 م° و 2.68 م° عند معنوية أقل 0.001، كما أظهرت المقارنات بين المستقبل القريب وكل من المستقبل المتوسط والبعيد فروقات معنوية حيث كانت الفروق بين 0.51 م° و 0.43 م° عند دلالة إحصائية 0.001 و 0.007 على التوالي، في حين كانت المقارنات بين المستقبل المتوسط والبعيد غير دلالة إحصائية بالرغم من وجود انخفاض طفيف في درجة

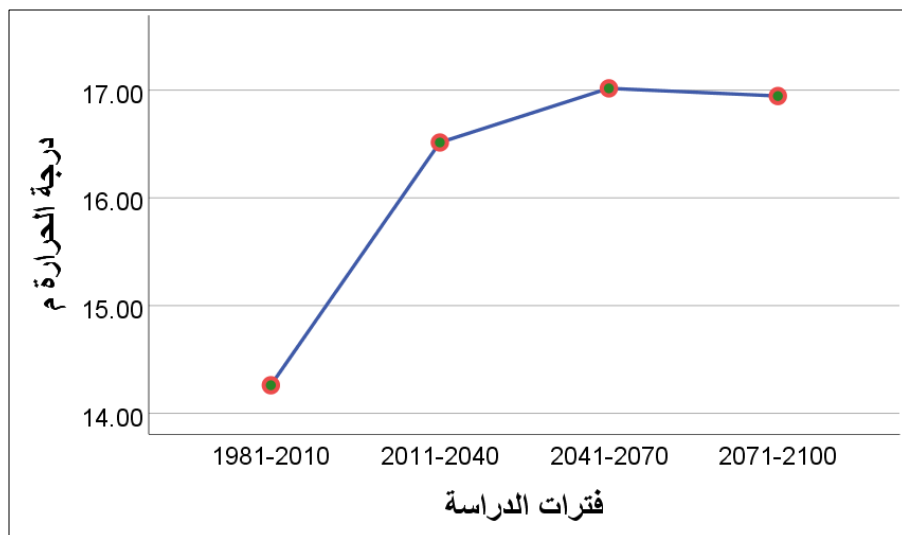
جدول(8)تحليل التباين الأحادي لمتوسط درجة الحرارة الصغرى في بلدية غات وفق سيناريو RCP2.6 بين فترات الدراسة 2100-1981

الفترة	Shapiro – Wilk test	المتوسط م	الفروق م	F	Sig
الأساس 1981-2010	0.095	14.26	-	197.78	0.001
المستقبل القريب 2011-2040	0.207	16.51	2.27		
المستقبل المتوسط 2041-2070	0.939	17.02	0.49		
المستقبل البعيد 2071-2100	0.478	16.95	-0.07		

المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

بلغ -0.07م، وهنا يظهر بأن الزيادة في درجة الحرارة الصغرى في بلدية غات تكون خلال المستقبل القريب والمتوسط للفترة 2011-2070 تم انخفاض خلال المستقبل البعيد الفترة 2071-2100، وهذا الاتجاه في السلسلة الزمنية لدرجة الحرارة الصغرى يتفق تقريبا مع تقديرات المنظمة الدولية المعنية بالتغير المناخي IPCC حول سيناريو RCP2.6 الذي يفترض انخفاض الانبعاثات للغازات الدفيئة تدريجيا والتقليل من شدة الاحترار.

الشكل(16) الاتجاه المحتمل لدرجة الحرارة السنوية الصغرى وفق سيناريو الانبعاث المنخفض RCP2.6 ببلدية غات للفترة 2100-1981



المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS



ثالثاً: النمذجة المستقبلية للمعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى وفق سيناريو RCP8.5

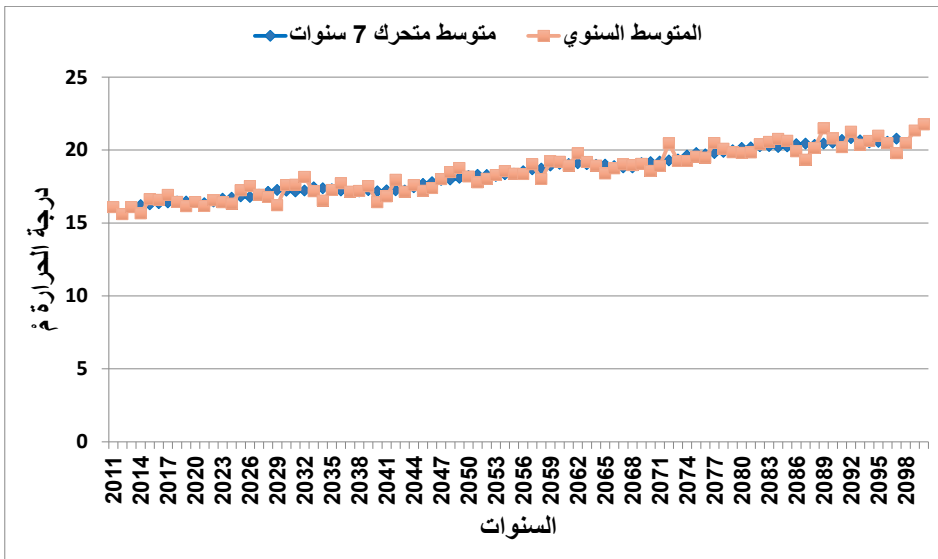
حتى عام 2100

أ. المتوسطات المتحركة:

أظهرت منحنيات المتوسطات المتحركة (الشكل 17) اتجاهها ملحوظاً لزيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP8.5 منذ بداية سنة 2011 ومستمر في الاتجاه حتى عام 2100، كاتجاه عام في حين كانت الاتجاهات متباعدة بين فترات الدراسة: نفصلها في الآتي:

الشكل (17) المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية

RCP8.5 في بلدية غات للفترة 2011-2100

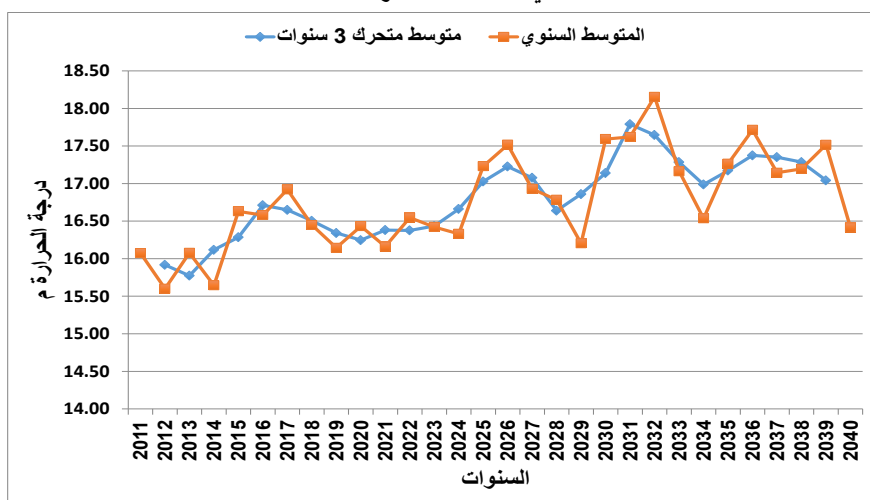


المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

1. اتجاهات التغير في المستقبل القريب 2011-2040

أظهر منحنى المتوسطات المتحركة اتجاهها واضحاً نحو الزيادة مع الزمن (الشكل 18)، ليدل على استمرار الاحترار التدريجي في فترة المستقبل القريب للفترة 2011-2040.

الشكل (18) المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP8.5 في بلدية غات للفترة 2011-2040

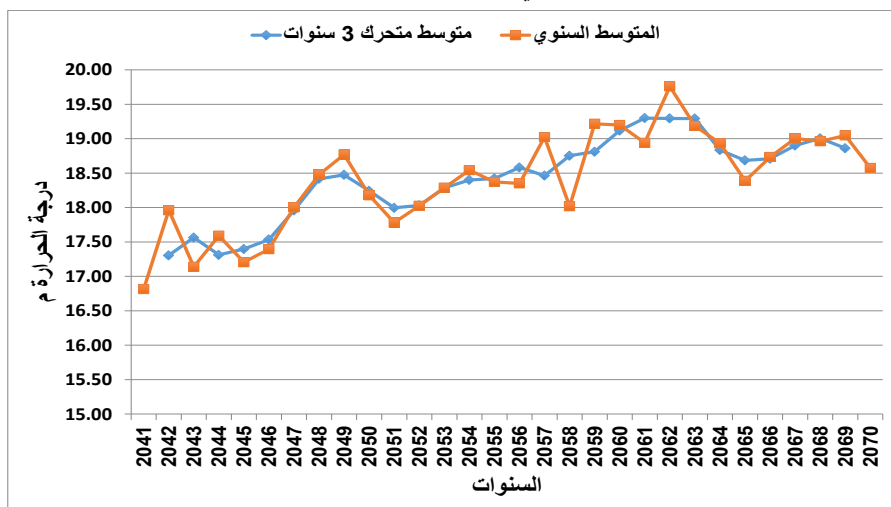


المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

2. اتجاهات التغير في المستقبل المتوسط 2041-2070

كشف منحني المتوسطات المتحركة اتجاهات نحو التزايد في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى في فترة المستقبل المتوسط 2041-2070، (الشكل 19) حيث ارتفع متوسطها إلى نحو 16.77م مقارنة بالفترة المرجحية 14.26م ما يدل على استمرار الاحترار.

الشكل (19) المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP8.5 في بلدية غات للفترة 2041-2070



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

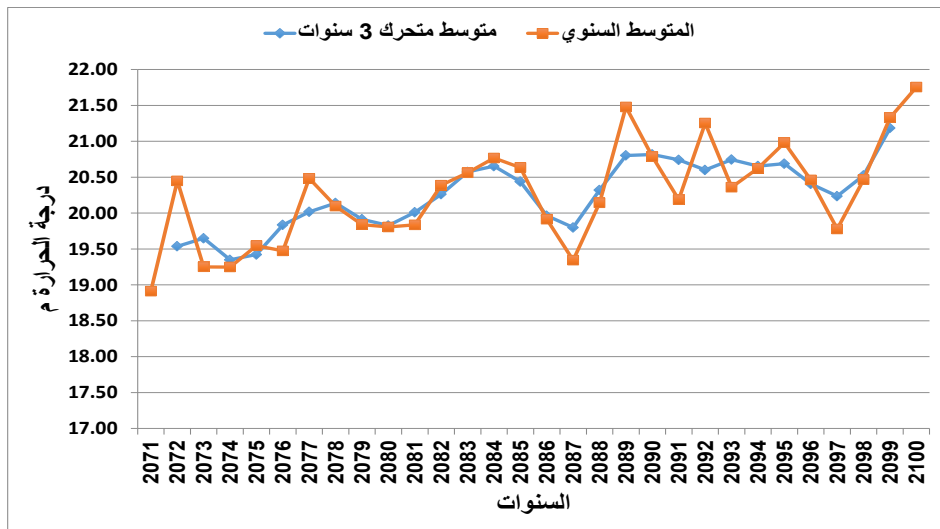


3. اتجاهات التغير في المستقبل البعيد 2071-2100

أشار منحني المتوسطات المتحركة إلى وجود اتجاه نحو الاحترار في السلسلة الزمنية للمعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى للفترة 2071-2100 (الشكل 20)، حيث زاد المتوسط عن فترة المستقبل المتوسط بنحو 1.87م، بمتوسط بلغ 20.27م، ويتوافق اتجاه التغير في درجة الحرارة الصغرى في جميع الفترات المستقبلية ببلدية غات مع المنظمة الدولية المعنية بالتغير المناخي IPCC والذي أشارت إلى أن سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP8.5 سيؤدي إلى استمرار الاحترار في هذا السيناريو الأكثر انبعاثاً (الشكل 14).

الشكل (20) المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية

RCP8.5 في بلدية غات للفترة 2100-2100



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج نموذج التصغير الاحصائي SDSM

ب. الانحدار الخطي البسيط:

كشف تحليل الانحدار (الجدول 9)، و(الشكل 21)، وجود قيمة موجبة للتغير (b). تدل على زيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP8.5 في بلدية غات عند مستوى دلالة إحصائية أقل 0.001، وكانت قيمة (b) 0.065 حيث بلغت بنسبة التباين المفسر نحو 0.953 ليدل على وجود اتجاه معنوي مؤكد ومستمر نحو الاحترار في بلدية غات للفترة 2100-2100.

جدول (9) الانحدار الخطي للمعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى السنوية المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز

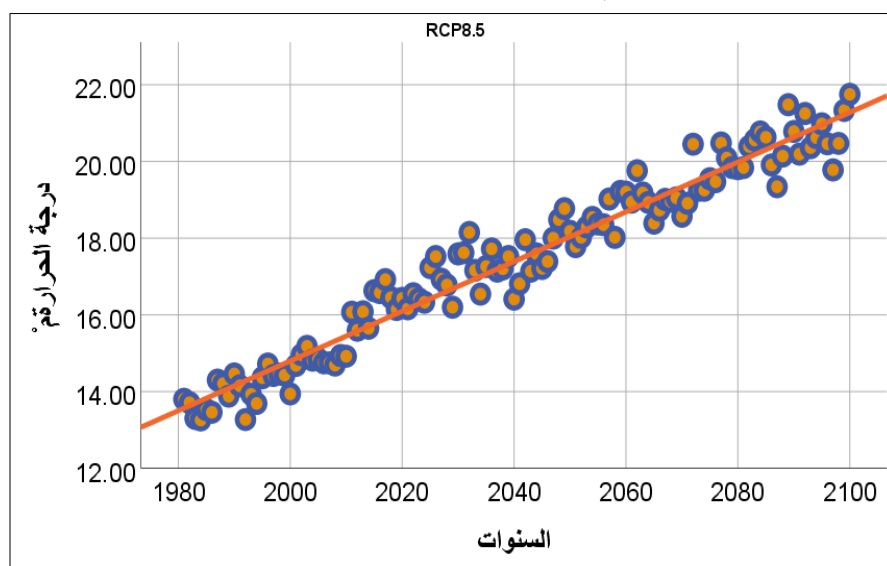
التمثيلية RCP8.5 في بلدية غات للفترة 2100-1981

معامل الانحدار (b)	قيمة T	مستوى الدلالة الإحصائية (sig)	نسبة التباين المفسر (R^2)
0.065	42.498	0.001	0.953

المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

الشكل (21) الانحدار الخطي لدرجة الحرارة السنوية الصغرى وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP2.6

في بلدية غات للفترة 2100-1981



المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

ج . تحليل التباين الأحادي **One-Way ANOVA** لسيناريو الانبعاث المرتفع **RCP8.5**

بينت نتائج تحليل التوزيع الطبيعي أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي وفق اختبار Shapiro-Wilk test، وكانت الدلالة الإحصائية أكبر من 0.05 تراوحت بين 0.095، لفترة الأساس وبين 0.616 و 0.526 و 0.909 للفترات المستقبلية على التوالي (الجدول 10)، وأظهرت بيانات المجموعات تجانساً وفق اختبار ليفين Levene البالغة 0.307 عند مستوى دلالة إحصائية 0.821 وهي أكبر من 0.05، وبهذه النتائج طبقت الدراسة تحليل التباين الأحادي ANOVA بين فترة الأساس والفترات المستقبلية وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP8.5 في بلدية غات للفترة 2100-1981، والذي كشفت نتائجه عن وجود فروق بين متوسطات الفترات مقارنة بفترة الأساس ذات دلالة إحصائية أقل 0.001 لتشير إلى وجود اتجاه حراري واضح نحو زيادة المعدلات



السنوات لدرجة الحرارة الصغرى في محطة غات عبر فترات الدراسة، حيث ارتفعت من 14.26م في سنة الأساس إلى 16.77م في المستقبل القريب تم وصلت إلى 18.40م في المستقبل المتوسط، وأخيرا إلى 20.27م في المستقبل البعيد (الشكل 22، والجدول 10)، وأكد تحليل التباين الأحادي وجود فروق معنوية حيث بلغت قيمة F نحو 453.57، وبدلالة إحصائية أقل 0.001. ودعم اختبار توكي جدول (10) تحليل التباين الأحادي لمتوسط درجة الحرارة الصغرى في بلدية غات وفق سيناريو RCP8.5 بين

فترات الدراسة 2100-1981

الفترة	Shapiro – Wilk test	المتوسط م	الفروق م	F	Sig
الأساس 2010-1981	0.095	14.26	-	453.57	0.000
المستقبل القريب 2040-2011	0.616	16.77	2.51		
المستقبل المتوسط 2070-2041	0.526	18.40	4.14		
المستقبل البعيد 2100-2071	0.909	20.27	6.01		

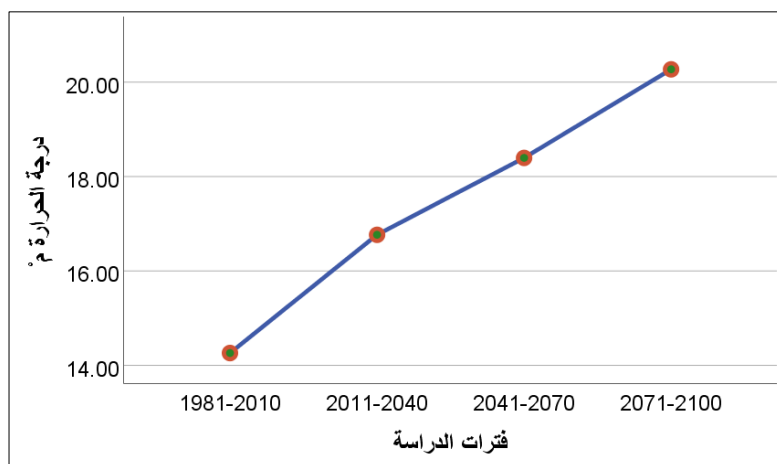
المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

Tukey البعدي هذه الفروق في ظل تجانس البيانات حيث كانت جميع الفروق معنوية، فقد كانت الفروق بين فترة الأساس والمستقبل البعيد الأعلى بنحو 6.01م عند معنوية أقل 0.001، وبين المستقبل القريب والمستقبل البعيد بنحو 3.51م عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.001، وأخيرا كانت الفروق معنوية بين المستقبل المتوسط والمستقبل البعيد بنحو 1.88م عند مستوى أقل 0.001. وبالتالي ستعاني بلدية غات عبر العقود القادمة من ارتفاع في درجة الحرارة الصغرى وزيادة الليالي الدافئة في حالة غياب سياسة تخفيض الانبعاثات وهذا الاتجاه يتماشى مع توقعات المنظمة الدولية المعنية بالتغير المناخي IPCC وفق سيناريو RCP8.5.

4. النتائج:

1. أظهرت منحنيات الفروقات التراكمية اتجاهها ملحوظاً لزيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى بداية سنة 1997 ومستمر في الاتجاه حتى نهاية فترة الدراسة 2025، وأكد نتائج تحليل الانحدار وجود قيمة موجبة للتغير (b) تدل على زيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى في منطقة غات عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.001، وكانت قيمة (b) 0.037 ونسبة تباين مفسر بلغت نحو 0.448.

الشكل(22) الاتجاه المحتمل لدرجة الحرارة السنوية الصغرى وفق سيناريو الانبعاث المرتفع RCP8.5 في بلدية غات للفترة 1981-2100



المصدر: إعداد الباحثين نتائج تحليل الانحدار باستخدام SPSS

2. أظهرت نتائج اختبار t فروقاً في المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى بين فترتي الدراسة لصالح الفترة الثانية عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.001، فكان الفرق نحو 0.813م°، للفترة الثانية 2004-2025.

3. أشارت منحنيات الفروقات المجمعة اتجاهات واضحة لزيادة المعدلات الفصلية لدرجة الحرارة الصغرى بشكل متباين بين فصول السنة.

4. بينت نتائج تحليل الانحدار قيمة موجبة لمعامل الانحدار تدل على زيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى في بلدية غات عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05.

5. دلت نتائج اختبار t على وجود فروقاً في المعدلات الفصلية لدرجة الحرارة الصغرى بين فترتي الدراسة لصالح الفترة الثانية الممتدة 2004-2025، عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.002، باستثناء فصل الشتاء الذي أظهر اتجاهها للزيادة دون دلالة إحصائية.

6. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي في مرحلة المعايير ارتفاع معامل التحديد R^2 بنحو 0.999 ليبين قدرة النموذج على تفسير 99.9% من تباين درجة الحرارة الصغرى المرصودة في بلدية غات، وهذا يدل على قوة العلاقة بين بيانات المرصودة والمحاكاة، ودقة النموذج في تمثيل البيانات عبر الزمن خلال فترة المعايير، كما شهدت مرحلة التحقق ارتفاع معامل التحديد R^2 بنحو 0.999 لتأكيد القدرة التنبؤية للنموذج في توليد بيانات درجة الحرارة الصغرى بدقة عالية عند تطبيقه على بيانات مستقلة باستخدام نموذج التصغير الإحصائي SDSM .



7. أكدت النتائج إلى أن الاحترار المستقبلي يرتبط بمستوى انبعاثات الغازات الدفيئة بشكل واضح من خلال مقارنة بين سيناريو RCP2.6 الذي يظهر نوعاً من الاستقرار النسبي في درجة الحرارة الصغرى في بلدية غات مع ظهور اتجاه واضح نحو الارتفاع لفتري المستقبل القريب والمتوسط وانخفاضه في المستقبل البعيد، في حين كان الاتجاه نحو الزيادة واضحاً في سيناريو RCP8.5.
8. بينت نتائج تحليل الانحدار وجود قيمة موجبة للتغير (b). تدل على زيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP2.6 في بلدية غات عند مستوى دلالة إحصائية بلغت 0.028، وكانت قيمة (b) 0.001 ونسبة التباين المفسر نحو 0.617.
9. اشارت منحى المتوسطات المتحركة أن خصائص سلوك السلسلة الزمنية لدرجة الحرارة الصغرى السنوية يتفق مع تقديرات المنظمة الدولية المعنية بالتغير المناخي IPCC حول سيناريو RCP2.6 الذي يفترض انخفاض الانبعاثات للغازات الدفيئة تدريجياً والتقليل من شدة الاحترار، وأكد تحليل التباين الأحادي ANOVA استمرار الزيادة في درجة الحرارة الصغرى السنوية في فتري الزمن القريب والمتوسط مقارنة بفترة الأساس وانخفاضها في فترة الزمن البعيد.
10. كشف تحليل الانحدار وجود قيمة موجبة للتغير (b) تدل على زيادة المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى المتوقعة وفق سيناريو مسارات التركيز التمثيلية RCP8.5 في بلدية غات عند مستوى دلالة إحصائية أقل 0.001، وكانت قيمة (b) 0.065 حيث بلغت بنسبة التباين المفسر نحو 0.953 ليدل على وجود اتجاه معنوي مؤكد ومستمر نحو الاحترار في بلدية غات للفترة 2011-2100.
11. بينت الاختبارات الاحصائية أن جميع الفروق معنوية، فقد كانت الفروق بين فترة الأساس والمستقبل البعيد الأعلى بنحو 6.01م عند معنوية أقل 0.001، وبين المستقبل القريب والبعيد نحو 3.50م عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.001، وأخيراً كانت الفروق معنوية بين المستقبل المتوسط والبعيد نحو 1.87م عند مستوى أقل 0.001.
12. ستعاني بلدية غات عبر العقود القادمة من ارتفاع في درجة الحرارة الصغرى وزيادة الليالي الدافئة في حالة غياب سياسة تخفيض الانبعاثات وهذا الاتجاه يتماشى مع توقعات المنظمة الدولية المعنية بالتغير المناخي IPCC وفق سيناريو RCP8.5.

5. التوصيات:

1. تعزيز شبكة الرصد المناخي في بلدية غات، وتوفير البيانات المناخية للباحثين.
2. إجراء الدراسات المستقبلية لعناصر المناخ الأخرى وخاصة درجة الحرارة العظمى والجافة، والأمطار والرطوبة النسبية باستخدام نموذج التصغير الاحصائي SDSM .
3. التوسع في الدراسات المناخية المستقبلية لتواكب توقعات السيناريوهات المناخية العالمية الحديثة.
4. التركيز على دراسة ظاهرة الليالي الدفينة في بلدية غات وتحليل آثارها على الراحة المناخية والأنشطة البشرية.
5. اعتماد نتائج هذه الدراسة في التخطيط المحلي لبلدية غات في مجالات التنمية الحضرية، وإدارة الموارد المائية، والزراعية، وضع استراتيجيات التكيف.

قائمة المراجع:

أولاً: المراجع العربية:

1. سليم، علي مصطفى، حويل، عادل أحمد. (2024). تحليل اتجاهات درجات الحرارة في منطقة شحات بشمال شرق ليبيا للمدة 1970-2020، مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية، 4 (2).
<https://doi.org/10.37375/jlgs.v4i2.2841>
2. سليم، علي مصطفى. (2026). التغيرات الحرارية في إقليم فزان الصحراوي للفترة 1981-2024. مجلة جامعة فزان العلمية، تصدر عن جامعة فزان، (تحت النشر).
3. الهيئة الحكومية الدولية المعنية بالتغير المناخي (2001)، تغير المناخ 2001، الأساس العلمي، ملخص لوضعي السياسات، تقرير الفريق العامل الأول التابع الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، والملخص الفني لتقرير الفريق العامل الأول
4. وزارة التخطيط، مصلحة المساحة، (1978)، الأطلس الوطني لليبيا، ايسيلت ، استكهولم، السويد

ثانياً: المراجع الاجنبية:

- 1-Arya, D. K., & Prasad, H. J. S. (2017). *Rainfall Prediction for Roorkee (Uttarakhand) through Statistical Downscaling. In Proceedings of the National Conference on Advances in Water Resource and Environment Research, June 29- 30, 2017, G. B. Pant University of Agriculture & Technology. India.*



- 2-Eltantawi .A.M. (2005), Climate Change in Libya and Desertification of Jifara Plain Using Geographical Information System and Remote Sensing Techniques , Gutenberg Universidad
- 3-Farooqui, Q. B. A. H., & Patil, L. G. (2021). *Assessment of Climate Change Impacts on Precipitation and Temperature Using SDSM Based on CanESM2 Predictors for Nanded, Maharashtra, India. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8(8).
- 4-Hadi, S. H., Alwan, H. H., & Al-Mohammed, F. M. (2024). *Analysis of climate change scenarios using the LARS-WG 8 model based on precipitation and temperature trends. Civil Engineering Journal*, 10(12), 4019. <https://www.civilejournal.org>
- 5-Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, R. K. Pachauri, & L. A. Meyer, Eds.). IPCC. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- 6-Javaherian, M., Ebrahimi, H., & Aminnejad, B. (2021). *Prediction of changes in climatic Parameters using CanESM2 model based on RCP scenarios (case study): Lar dam basin. Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 447-454. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.012>
- 7-Rana, M. M., Adhikary, S. K., Islam, M. B., & Rahman, M. H. (2024). *Assessment of future climate change over the north-west region of Bangladesh using SDSM and CanESM2 under RCP scenarios. Arabian Journal of Geosciences*, 17, 280. <https://doi.org/10.1007/s12517-024-12089-x>.
- 8-Syam, N. S. S., Sunil, A., Pichuka, S., & Mandal, A. (2024). *Assessment of climate change impacts on the precipitation and*

temperature: A case study on Krishna River Basin. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2310.09311>

9-Avaherian, M., Ebrahimi, H., & Aminnejad, B. (2021). Prediction of changes in climatic parameters using CanESM2 model based on RCP scenarios (case study): Lar dam basin. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 445–454. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.012>

10-Thakor, H.B., Parekh, F.P. (2024). *Statistical Downscaling Model (SDSM) for Long Term Prediction of Rainfall and Maximum Temperature*. In: Patel, D., Kim, B., Han, D. (eds) *Infrastructure. ISSI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 364. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3557-4_36

11-United Nations Environment Programme (UNEP). (2000). *Global Environment Outlook 2000 (GEO-2000)*. [UNEP GEO-2000](https://www.unep.org/geoplatform/library/assessments/geo-2000/)

12-Wayne, G. P. (2013). *The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways*. (Version 1.0, August 2013). *Skeptical Science*. <https://skepticalscience.com/rcp.php?t=3>

ثالثًا: مواقع شبكة المعلومات الدولية (الانترنت):

[-https://power.larc.nasa.gov/data-access](https://power.larc.nasa.gov/data-access).

[-https://climate-scenarios.canada.ca/?page=canesm2-predictor-notes#table2](https://climate-scenarios.canada.ca/?page=canesm2-predictor-notes#table2)

[-https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1](https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1)