



نمذجة التغير في درجة الحرارة العظمى في منطقة زوارا للفترة (1961 – 2050) باستخدام تقنية SDSM.

أسمهان علي المختار عثمان
قسم الجغرافيا / كلية الآداب / جامعة الزاوية

الملخص:

يهدف البحث إلى التعرف على تقنية نموذج التصغير الاحصائي ((Statistical Downscaling Model (SDSM))، ومعرفة الطرق التي تستخدم في توقع مناخ المستقبل. حيث سيتم الاعتماد على درجة الحرارة العظمى لمحطة إرصاد زوارا للفترة من (1961-2020)، والتنبؤ بمعدل الزيادة أو النقصان مستقبلا (2021 – 2050) باستخدام SDSM وذلك بالاعتماد على سيناريوهات التغير المناخي (A2a) (B2a)؛ وهي سيناريوهات معتمدة لدى الفريق المعني بالتغير المناخي IPCC في تقرير عرف بـ SRES في سنة 2000 لوضع توقعات للمناخ والبيئة بالاعتماد على غازات الاحتباس الحراري. إضافة إلى الاعتماد على أساليب التحليل الإحصائي المستخدمة في الدراسات المناخية بواسطة SPSS للكشف عن اتجاهات التغير في درجات الحرارة العظمى للفترات الثلاث، وهي: (1961-1990)، (1991-2020)، (2021-2050)، من خلال استخدام تحليل اختبار T-test، وأظهرت النتائج اتجاهات للتغير في درجة الحرارة العظمى السنوية والفصلية نحو الزيادة مقارنة الفترتين الأخيرتين بالفترة الأولى، وعند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05.

الكلمات الدالة: التصغير الاحصائي / التغير المناخي / درجة الحرارة العظمى / النموذج المناخي / سيناريوهات المناخ.

Abstract:

The research aims to identify the technique of the Statistical Downscaling Model (SDSM), and to know the methods that are used in predicting the future climate, as it will depend on the maximum temperature of the Zuwara weather station for the period (1961-2020), and to predict the rate of increase or The future decrease (21-2050) using SDSM, based on climate change scenarios (A2a) (B2a)), which are scenarios published by the IPCC in a report known as SRES in the year 2000 to develop climate and environment projections based on greenhouse gases, and then rely on Statistical analysis methods used in climate studies by SPSS, to detect trends in the maximum temperature change for the three periods (1961-1990), (1991-2020), (2021-2050) as Simple Linear Regression analysis and t-test, and the results showed trends of annual maximum temperature change. And the quarterly increase compared to the last two periods with the first and at a level of statistical significance less than 0.05

Key words: statistical minimization/climate change/maximum temperature/climate model/climate scenarios.

Components of the research: - The importance of the research and its objectives, problems and hypotheses, methodology, investigations:

1. المقدمة:

تعرف النمذجة بأنها جزء من المحاكاة للواقع (Simulation)، وقد تم تطوير عمليات المحاكاة بشكل رئيس للحصول على إجابات تتعلق بتجارب لا يمكن أو يصعب القيام بها، والمثال على ذلك يكمن في صعوبة إيجاد حلول دقيقة عند التفكير في بعض الإشكاليات والمسائل العلمية التي تواجهنا. وطبيعة الأنموذج تتجسد في البيانات المبسطة لتمثيل الواقع وبدرجة من التجريد وبمقدار من الاحتمالية في نجاحه عند تطبيقه، والتنبؤ بسلوكه في المستقبل في ظل ظروف معينة، ويمكن أن يظهر بشكل خريطة، أو صورة، أو معادلة، أو شكل بياني. وأن النماذج يمكن أن تكون نظرية أو قانوناً أو فرضيات أو فكرة بنوية (سامي العتيبي، وإياد الطائي 2012م، ص 305-309).

يعد النظام المناخي نظاماً معقداً وهو محصلة لتفاعل مجموعة من العناصر الطبيعية المتشابكة والمتداخلة في عمليات ودورات طبيعية منتظمة، فكل منها يتفاعل ويتداخل مع الآخر، وبالتالي فإن أيّ تغير أو تذبذب في خصائصها الطبيعية، سيؤدي إلى تغير النظام المناخي نفسه، وهو ما يحدث بالفعل، فمناخ الأرض نجده متقلب وغير مستقر ومتغير، فقد تغير لمرات عدة عديدة في الماضي البعيد والقريب، ومن المتوقع أن يظل كذلك في المستقبل (محمد شرف، 2001م). وقد تسببت الأنشطة البشرية في إخلال توازن هذا النظام، لاسيما الاستخدام المفرط للوقود الأحفوري الذي أدى إلى زيادة التركيز في نسبة الغازات الدفيئة، ما أسهم في تغير وتطرف المناخ، وبخاصة ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي للأرض والمحيطات بمقدار 3 درجات مئوية حتى عام 2100م (إيڤ سياما، التغير المناخي، 2015م، ص 35).

يعرف المناخ على أنه حالة الطقس لفترة طويلة لا تقل عن ثلاثين عاماً، ولذا غالباً ما يفهم التغير المناخي على أنه تحول في نمط المناخ خلال تلك الفترة الطويلة (أسمهان عثمان 2011م). وقد أظهرت الدراسات الحديثة المهتمة بالتغير المناخي إلى أنه من خلال نماذج الدورة العامة بالإمكان التنبؤ بمناخ المستقبل بواسطة نماذج عالمية، ومن بينها نموذج الدوران العام GCM الذي سنعتمد عليه في معرفة تغير واتجاه درجة الحرارة في منطقة الدراسة.

2. أهمية الدراسة:

- 1.2 - تبرز أهمية الدراسة في تسليط الضوء على إحدى التقنيات الإحصائية التي تختص بالتنبؤ المستقبلي بالعناصر المناخية.
- 2.2 - استخدام الأساليب الإحصائية في الدراسات المناخية.

3. الأهداف الدراسة:

- 1.3 - تهدف هذه الدراسة إلى إظهار قدرة نموذج التحجيم الإحصائي (SDSM)، في اشتقاق سلسلة بيانات لدرجة الحرارة العظمى المحلية لمحطة إرصاد زوارة.
- 2.3 - ادخال البيانات المشتقة من بيانات الأرصاد الجوية عن طريق نموذج GCM، ومن ثم إدخالها إلى نموذج (HadCM3) الخاص بالتنبؤ المستقبلي، وفق سيناريوهات محددة.
- 3.3 - التعرف على أهم النماذج العالمية وسيناريوهاتها لمعرفة سلوك المناخ في المنطقة.
- 4.3 - استخدام الأساليب الإحصائية في اختبار ومقارنة متوسطات درجة الحرارة العظمى لسنة الأساس مع المتوسطات المنتجة بتقنية SDSM.

4. مشكلاتها:

- 1.4 - هل للتقنيات الإحصائية القدرة بتنبؤ مناخ المستقبل؟
- 2.4 - هل هناك تغير في درجة الحرارة العظمى خلال فترات الدراسة مقارنة بفترة الأساس؟
- 3.4 - ما السلوك الذي تتبعه الزيادة في درجة الحرارة في الفترة (2021-2050) وفق سيناريو A2a أو B2a؟
- 4.4 - هل هناك تغير في درجة الحرارة العظمى الفصلية خلال فترات الدراسة؟

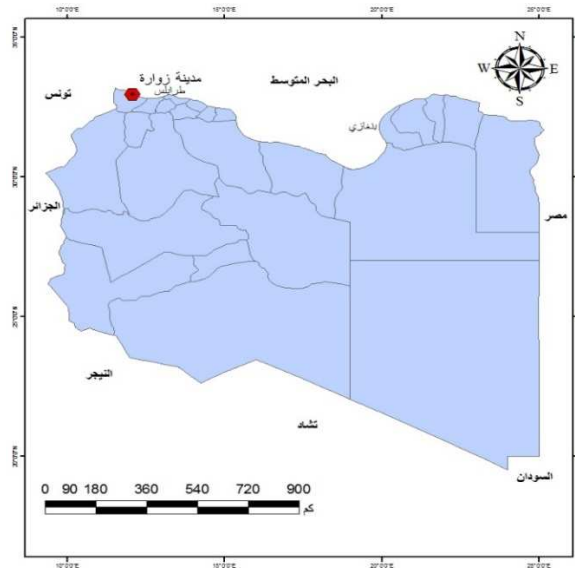
5. فرضياتها:

- 1.5 – للتقنيات الإحصائية دور كبير في معرفة مناخ المستقبل، مثل تقنية SDSM، التي لها دور في التنبؤ بدقة.
- 2.5 – هناك تغير في اتجاه درجة الحرارة نحو الارتفاع مقارنة بفترة الأساس وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05.
- 3.5 – يتبع سلوك درجة الحرارة العظمى في منطقة زوارة سيناريو A2a وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05.
- 4.5 - تتباين المعدلات الفصلية والسنوية لدرجة الحرارة العظمى في محطة زوارة خلال فترات الدراسة (1961-2050)، وعلى مستوى دلالة 0.05.

6. حدودها:

تقع منطقة زوارة في شمال غربي ليبيا، وأقصى غرب سهل الجفارة الذي يغلب عليه الاستواء، ويحدها من الشمال البحر المتوسط، أما من الشرق فتحدها منطقة صبراتة، ومن الجنوب منطقتي الجميل ورقدالين، أما فلكيا فإنها تقع على دائرة عرض 32.53 درجة شمالا وخط الطول 12.04 شرقا كما في الخريطة (1).

الخريطة (1) منطقة الدراسة.



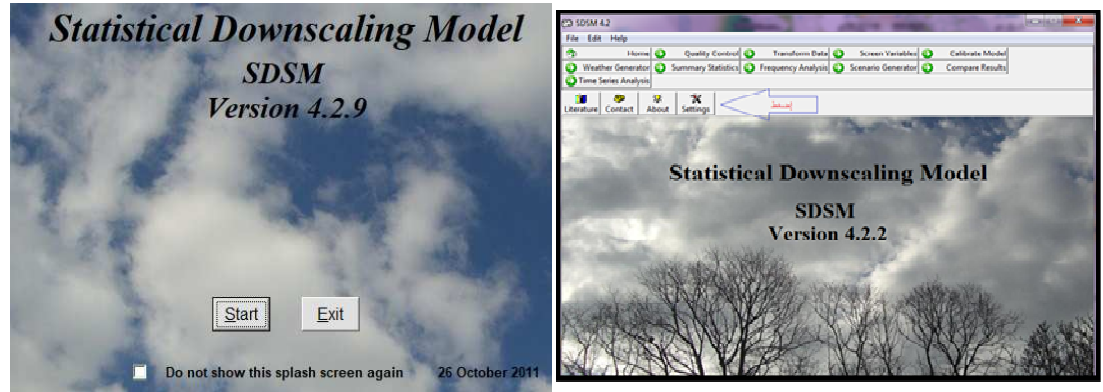
المصدر: الباحثة باستخدام GIS اعتمادا على (الأطلس الوطني، 1978، ص 25).

7. منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على بيانات درجة الحرارة العظمى لمحطة إرصاد زوارة، الصادرة عن المركز الوطني للأرصاد الجوية الليبية للفترة من 1961 - 2020، وتم استخدام تقنية SDSM، وهي أداة تستخدم لدعم اتخاذ القرارات في التنبؤ المستقبلي الصورة (1) معتمدة على سيناريوهات للنمذجة المستقبلية الصادرة عن مركز هادلي (HadCM3) The Hadley Center التابع لمكتب الأرصاد الجوية بالملكة المتحدة وهي:

السيناريو A2a: الذي يوصف عالمياً شديد التباين، يفترض أن هناك زيادة مستمرة في الكثافة السكانية في مناطق متقاربة من بعضها. أما التنمية الاقتصادية فهي مختلفة بحسب المناطق، ويكون نمو دخل الفرد والتقدم التقني أبطأ من السيناريوهات الأخرى.

السيناريو B2a: يصف عالماً يجد الحلول المحلية لمشكلاته ويأخذ في اعتباره استدامة البيئة الاجتماعية والاقتصادية، وهو أيضا يفترض أن هناك زيادة مستمرة في عدد السكان، ولكن بوتيرة أقل من السيناريو A2a، وبمعدل متوسط من التنمية الاقتصادية، وبتغير تقني أقل سرعة (عبد السلام أحمد ابراهيم، 2018م، ص 22).
كما تم الاعتماد على برنامج SPSS لاستخراج القيم المفقودة وتطبيق اختبار T_test.



(Source: Wilby and Dawson (2007)

صورة (1) يوضّح واجهة وأيقونات البرنامج SDSM.

8.المبحث الأول: نموذج التصغير الإحصائي SDSM وطرق استعماله في التنبؤ في درجات الحرارة العظمى.

تعد تقنية SDSM أحد التقنيات المعتمدة لدى الفريق الدولي المعني بتغير المناخ IPCC، حيث تستخدم للتعامل مع بيانات العناصر المناخية المختلفة؛ لدعم اتخاذ القرارات المتعلقة بالتنبؤ المستقبلي لحالة المناخ والتغيرات المناخية، وما ستكون عليه في المستقبل، وكذلك لتقييم الإحصاءات المحلية وتأثيراتها على تغير المناخ، ويستخدم من خلال هذا البرنامج سيناريوهات للمساعدة في تحديد متغيرات الطقس اليومية والشهرية والسنية، لحالة المناخ الحالية والمستقبلية (جمعة المليون وأخرون 2021، ص 37).
وقد اعتمدت هذه الدراسة في تطبيق هذه التقنية على المتوسطات اليومية لدرجة الحرارة العظمى لمحطة زوارة للفترة (1961-1990)؛ لاستخدامها في عمليات النمذجة المستقبلية للفترة 2021-2050م، وذلك بالاعتماد على مخرجات النموذج المناخي العالمي (GCM & NCEP) كمدخلات في تحليل وتحديد قوة العلاقات بين العناصر المناخية المختلفة؛ لتحديد أيهما أقوى تأثيراً على الاسقاطات المستقبلية لدرجة الحرارة العظمى في منطقة زوارة، إضافة إلى استخدام سيناريوهات للنمذجة المستقبلية الصادرة عن مركز هادلي (The Hadley Center) التابع لمكتب الأرصاد الجوية بالمملكة المتحدة الجدول (1).

جدول (1) يوضح متغيرات التنبؤ لسيناريوهات المناخ.

No	Predictor variables	predictor description	No	Predictor variables	predictor description
1	mslpaf	mean sea level pressure	14	p5zhaf	500hpa divergence
2	p_faf	surface air flow strength	15	p8_faf	850hpa air flow strength
3	p_uaf	surface zonal velocity	16	p8_uaf	850 hpa zonal velocity
4	p_vaf	Surface meridional velocity	17	p8_vaf	850 hpa meridional velocity
5	p_zaf	surface vorticity	18	p8_zaf	850 hpa vorticity
6	p_thaf	surface wind direction	19	p850af	850 hpa geopotential height
7	p_zhaf	surface divergent	20	p8thaf	850hpa wind direction
8	p5_faf	500hpa airflow strength	21	p8zhaf	850hpa divergence
9	p5_uaf	500hpa zonal velocity	22	pr500af	Relative humidity at 500hpa
10	p5_vaf	500hpa meridional velocity	23	pr850af	Relative humidity at 850hpa
11	p5_zaf	500hpa vorticity	24	rhumaf	Near surface relative humidity
12	p500af	500hpa geopotential height	25	shumaf	Surface specific humidity
13	P5thaf	500hpa wind direction	26	tempaf	Mean temperature at 2 metre

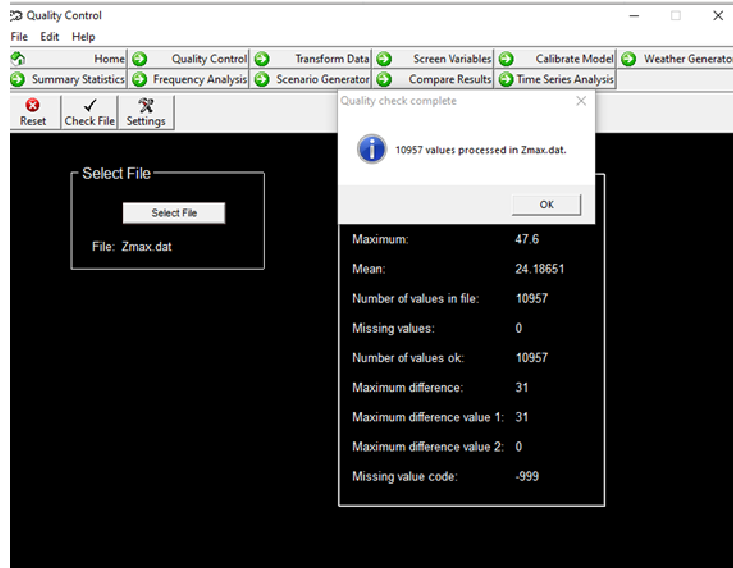
Source: Wilby and Dawson (2007)

1.8 مراحل تقنية SDSM:

يضمن البرنامج العمل على خمس مراحل، بدأً من التأكد من صحة البيانات من خلال أيقونة Quality Control، إلى Summary Statistics وهي المرحلة الأخيرة التي تلخص بيانات التنبؤ إحصائياً (Wilby and Dawson 2007). وفيما يلي نذكر هذه المراحل بالترتيب:

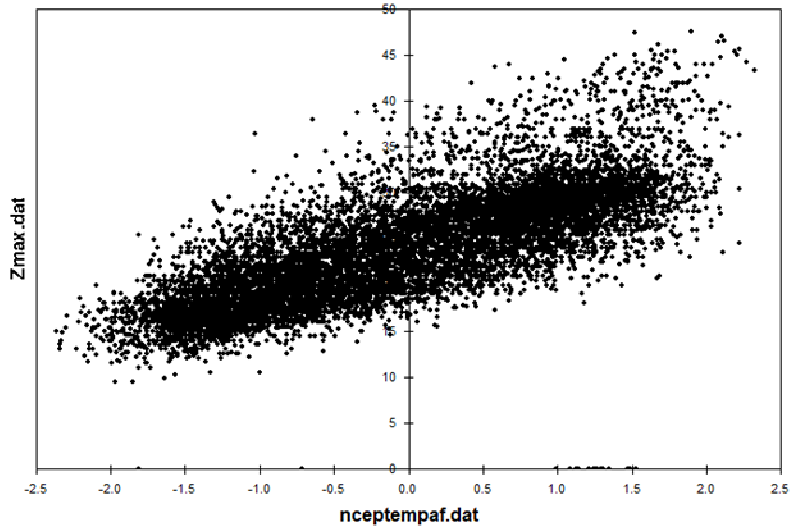
1 – مراقبة جودة البيانات Data Quality Control: يتم فيها التحقق من البيانات اليومية، بحيث يكون عدد القيم العددية (المتوسطات اليومية لدرجات الحرارة) لفترة الأساس حوالي 10957، وفيها يتم التأكد من أكبر وأصغر قيمة، والتحقق من القيم المفقودة إن وجدت - صورة (2).

2 – فحص المتغيرات screen variables: يتم التعرف على قيمة الارتباط بين درجة الحرارة العظمى في زوارة والمتغيرات الستة وعشرون في نموذج GCM، ولكل عنصر على حدة - صورة (3).



عمل الباحثة استنادا على: SDSM4.2.9

صورة (2) توضّح التحقق من دقة البيانات.



المصدر: عمل الباحثة استنادا على: SDSM4.2.9

الصورة (3) الارتباط بين درجة الحرارة العظمى لزوارة مع المتغير رقم
26 (Mean temperature at 2 metre).

جدول (2) المتغيرات الثمانية لنموذج (GCM) التي ترتبط بدرجة الحرارة العظمى في منطقة زوارة.

ترتيب المتغيرات	الرمز	N	R-NCCCCSM
26	tempaf	Mean temperature at 2 metre	0.779
12	p500af	hpa geopotential height500	0.726
25	shumaf	Surface specific humidity	0.522
4	p_vaf	Surface meridional velocity	0.468
19	p850af	hpa geopotential850	0.352
17	p8_vaf	hpa meridional velocity850	0.208
6	p_thaf	surface wind direction	0.151
13	P5thaf	hpa wind direction500	0.12

عمل الباحثة استنادا على: SDSM4.2.9

- 3 – معايرة النموذج Colibrate Model: وتعتمد على دراسة علاقة الانحدار بين بيانات درجة الحرارة العظمى وبيانات العناصر الثمانية من نموذج GCM؛ لتتحصل من خلالها على بيانات PAR & SIM.
- 4 – توليد السيناريو Scenario Generator: يتم من خلالها محاكاة المتغيرات الثمانية التي تم تحديدها في المرحلة الثانية، بواسطة السيناريوهان A2a & B2a، وفقا للفترة المستقبلية (2021-2050).
- 5 – التلخيص الإحصائي Summary Statistics: وهي المرحلة الأخيرة التي تلخص بيانات التنبؤ إحصائيا، إذ تنتج ملفات السيناريوهان A2a & B2a، كمأ هاتلاً من البيانات فتعمل على تلخيصها في متوسطات شهرية لكل سنة على حدة - جدول (3).

جدول (3) متوسط درجة الحرارة العظمى الشهرية والفصلية والسنوية لسنة 2050.

Variable	Mean	Maximum	Minimum	Variance	Sum
wdir	25.684	31.872	19.546	8.670	736.203
wmax	27.203	34.777	19.370	14.095	761.685
wmin	23.974	40.627	19.521	25.108	323.179
sl	21.532	31.386	11.998	21.314	645.966
wp	22.297	32.658	12.705	23.063	630.278
ne	21.743	31.175	13.346	18.327	652.279
ly	22.326	29.537	15.343	10.132	632.086
lquot	25.431	33.661	17.535	15.452	788.360
lpmember	25.653	34.333	17.691	15.700	769.531
ltober	23.823	32.127	16.712	13.682	738.504
lmember	24.137	32.579	17.630	14.204	724.101
linter	26.894	30.914	19.688	8.309	764.291
lring	25.892	34.864	17.301	11.723	1161.074
lrunn	24.624	40.627	11.054	38.261	2266.423
lrunm	23.162	34.096	13.150	17.417	2132.734
lruna	24.930	34.931	15.990	15.400	2232.196
lrunl	24.527	40.676	11.136	21.700	8952.502
Standard Deviations of Results:					
wdir	0.685	1.189	0.911	1.607	15.022
wmax	0.751	1.571	1.512	4.061	21.014
wmin	0.639	1.760	2.080	0.886	16.689
sl	0.762	2.654	1.636	4.630	22.656
wp	0.653	3.104	1.952	5.591	26.232
ne	0.601	1.897	1.429	3.183	18.015
ly	0.396	1.896	1.362	2.324	11.050
lquot	0.683	1.924	1.473	3.572	21.158
lpmember	0.589	2.509	1.552	3.389	17.683
ltober	0.480	1.626	1.521	2.621	14.882
lmember	0.407	1.360	1.357	2.704	12.216
linter	0.365	1.607	1.420	1.699	11.321
lring	0.298	1.546	1.123	2.108	13.408
lrunn	0.423	1.760	1.662	3.720	38.891
lrunm	0.355	1.164	1.470	2.340	32.634
lrunl	0.270	2.288	1.213	1.223	24.542

عمل الباحثة استنادا على: SDSM4.2.9

9.المبحث الثاني: التغير في درجات الحرارة العظمى في منطقة زوارة خلال الفترة (1961 – 2050).

1.9- التغير السنوي في درجات الحرارة العظمى.

تظهر نتائج جدول (4) أن الفترة الثانية شهدت ارتفاعاً في درجات الحرارة العظمى في منطقة الدراسة خلال الفترة الثانية (1991 – 2020م) مقارنة بفترة الأساس (1961 – 1990)، إذا بلغ الفارق في المتوسط بين الفترتين -1.130، وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05.

الجدول (4) التغير في درجات الحرارة العظمى السنوية للفترة من 1961 – 2020.

الفرق المتوسط	قيمة الدلالة الإحصائية P Value	درجات الحرية	قيمة T	متوسط درجة الحرارة العظمى	الفترات
-1.130	0.000	58	-8.567	24.03	1990 – 1961
				25.16	2020 – 1991

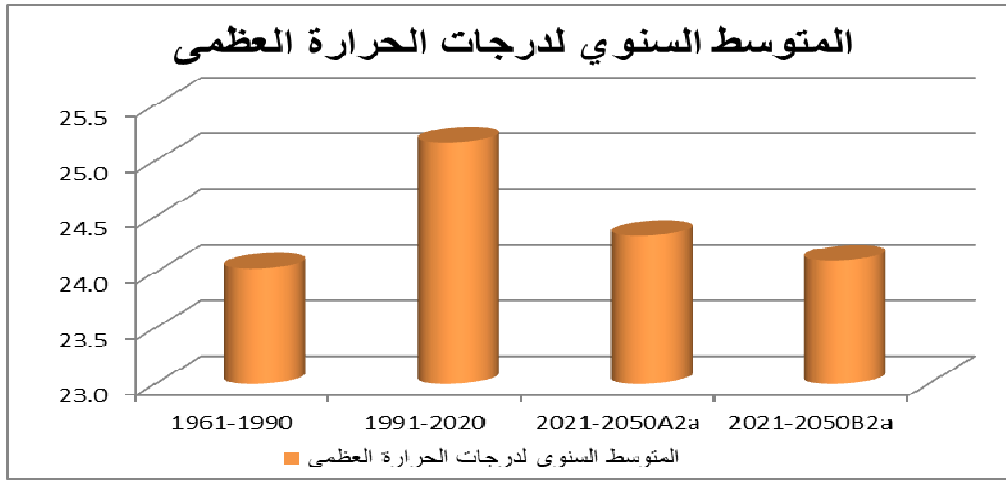
المصدر: عمل الباحثة بواسطة spss.

وعند مقارنة فترة الأساس (1961 – 1990) بالفترة المستقبلية (2021 – 2050) الجدول (5)، نجد هناك اتجاهًا لزيادة درجات الحرارة العظمى خلال الفترة المستقبلية مقارنة بفترة الأساس لصالح السيناريو A2a عند مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05، والذي بلغ 0.022 وبفارق في المتوسط بلغ -0.24.

وبمقارنة الفترة الثانية (1991 – 2020) بالفترة المستقبلية نجد أن درجة الحرارة ستتناقص خلال السيناريوهان بمستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05، ويبقى الانخفاض في سيناريو A2a أقل من السيناريو B2a بفارق في المتوسط بين الفترة الثانية مع السيناريو الأول بلغ 0.84 م - شكل (5).

الجدول (5) التغير في درجات الحرارة العظمى السنوية للفترة من 1961 – 2050 وفق السيناريوهات A2a & B2a.

الفرق المتوسط	قيمة الدلالة الإحصائية P Value	درجات الحرية	قيمة T	متوسط درجة الحرارة العظمى	السيناريو	الفترات الماضية
-0.24	0.022	58	-2.361	24.03	الفترة الأولى	1990 – 1961
				24.32	A2a	2050 – 2021
-0.07	0.604	58	-0.521	24.10	B2a	2050 – 2021
				25.16	الفترة الثانية	2020 – 1991
0.84	0.000	58	6.589	24.32	A2a	2050 – 2021
				24.10	B2a	2050 – 2021
1.06	0.000	58	7.521	24.10	B2a	2050 – 2021



المصدر: عمل الباحثة بواسطة SPSS & SDSM.

شكل (5) يوضح المتوسط السنوي لدرجة الحرارة العظمى خلال الفترات الثلاث.

2.9 - التغير الفصلي في درجات الحرارة العظمى.

عند دراسة المعدلات الفصلية لدرجات الحرارة العظمى كانت الفترة الثانية أعلى حرارة من الأولى خلال جميع الفصول، وعند مستوى الدلالة الإحصائية عدا فصل الشتاء الجدول (6)، فمن مقارنة مقدار التغير في فصل الخريف نجد أن هناك انخفاضاً في درجة الحرارة العظمى في زوارة خلال السيناريوهان A و B وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05 وبفارق في المتوسط 3.08 درجة مئوية.

أما خلال فصل الشتاء فلم نجد تغيراً في درجات الحرارة العظمى في منطقة زوارة عند مقارنة فترة الأساس (1961 – 1990) بالفترة الثانية (1991 – 2020) حيث لم يتجاوز الفارق في المتوسط 0.098 وبدون دلالة إحصائية. بينما دلت النتائج أن هناك ارتفاعاً في درجات الحرارة العظمى لصالح الفترة (2021 – 2050) وفق السيناريوهان بفارق في المتوسط بلغ 3.16 درجة مئوية، وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05.

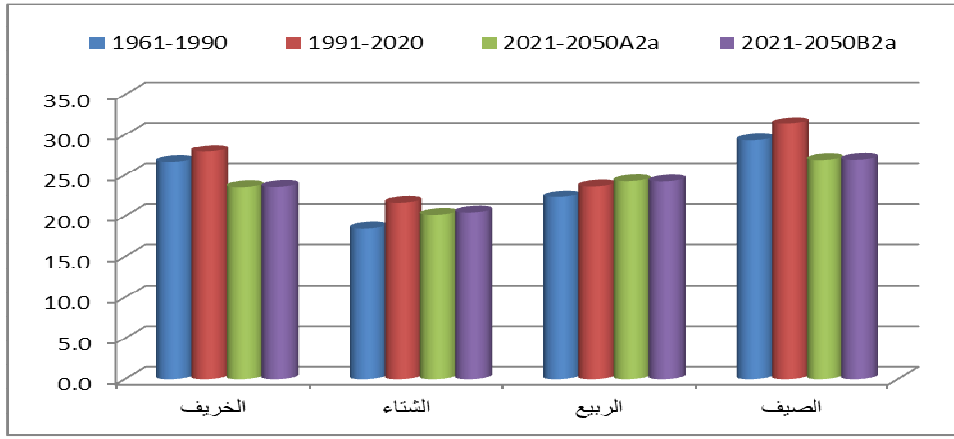
وفي فصل الربيع دلت النتائج على ارتفاع في درجة الحرارة العظمى للفترة الثانية (1991 – 2020) بفارق في المتوسط – 1.33 درجة مئوية عن فترة الأساس (الأولى) وعلى مستوى دلالة إحصائية بلغت أقل من 0.05. بينما ستزيد درجة الحرارة العظمى في الارتفاع خلال الفترة المستقبلية (2021-2050) بفارق في المتوسط عن فترة الأساس بلغ -1.96 درجة مئوية، وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05.

الجدول (6) التغير في درجات الحرارة العظمى الفصلية للفترة من 1961 – 2050 وفق سيناريوهات A2a & B2a.

الفصول	الفترة	متوسط درجة الحرارة العظمى	قيمة T	درجات الحرية	قيمة الدلالة الإحصائية P Value	فرق المتوسط
الخريف	1990 – 1961	26,63	-5.421	58	0.000	-1.26
	2020 – 1991	27.89				
	1990 – 1961	26,63	11.210	58	0.000	3.08
	A 2050 – 2021	23.54				
الشتاء	1990 – 1961	26,63	10.790	58	0.000	3.08
	B2050 – 2021	23.58				
الربيع	1990 – 1961	18.54	0.348	58	0.729	0.10
	2020 – 1991	18.44				
	1990 – 1961	18.54	-6.137	58	0.000	-3.04
	A 2050 – 2021	21.58				
الصيف	1990 – 1961	18.54	-5.983	58	0.000	-3.16
	B 2050 – 2021	21.70				
الربيع	1990 – 1961	22.30	-4.990	58	0.000	-1.33
	2020 – 1991	23.63				
	1990 – 1961	22.30	-6.825	58	0.000	-1.96
	A 2050 – 2021	24.27				
الصيف	1990 – 1961	22.30	-6.526	58	0.000	-1.94
	B 2050 – 2021	24.24				
الصيف	1990 – 1961	29.31	-7.325	58	0.000	-2.08
	2020 – 1991	31.40				
	1990 – 1961	29.31	6.124	58	0.000	2.47
	A 2050 – 2021	26.84				
الصيف	1990 – 1961	29.31	6.069	58	0.000	2.43
	B 2050 – 2021	26.88				

المصدر: عمل الباحثة بواسطة SDSM & SPSS.

ودلت نتائج فصل الصيف على ارتفاع درجة الحرارة في الفترة الثانية (1991 – 2020) بفارق في المتوسط عن فترة الأساس بلغ - 2.08 درجة مئوية، وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05. بينما أظهرت النتائج أن درجة الحرارة العظمى تتجه نحو الانخفاض في الفترة المستقبلية (2021 – 2050) عن فترة الأساس بفارق في المتوسط يبلغ 2.47 درجة مئوية، وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05 شكل (6). وهو ما أكدت عليه التنبؤات المناخية الصادرة عن الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA)، في تقرير لها يوم 2021/7/8 أن نمط شتاء 2022/2021 سيكون مكرر لنمط الشتاء الماضي، كما هو مبين بالجدول الجدول (7).



المصدر: عمل الباحثة بواسطة SDSM & SPSS.

شكل (6) يوضّح المتوسط الفصلي لدرجة الحرارة العظمى خلال الفترات الثلاث.

الجدول (7) المتوسط الفصلي والشهري لدرجة الحرارة العظمى لفصل الشتاء للفترة (2007 – 2024).

الشتاء	فبراير	يناير	ديسمبر	السنة
17.97	18.2	17.6	18.1	2008/2007
18.50	18.6	18.5	18.4	2009/2008
21.47	22.5	19.2	22.7	2010/2009
18.63	16.63	18.06	21.2	2011/2010
15.91	14.73	15.15	17.84	2012/2011
17.48	17.28	17.12	18.05	2013/2012
17.91	19.08	17.59	17.05	2014/2013
16.97	16.58	16.38	17.96	2015/2014
18.08	19.1	17.62	17.53	2016/2015
17.67	19.35	15.33	18.34	2017/2016
17.03	17.24	17.45	16.39	2018/2017
16.92	15.86	15.59	19.3	2019/2018
17.87	18.44	16.75	18.41	2020/2019
18.82	18.88	18.49	19.09	2021/2020
18.16	18.26	18.82	17.39	2022/2021
17.93	19.11	17.62	17.07	2023/2022
19.01	18.61	19.31	19.11	2024/2023

المصدر: عمل الباحثة بواسطة SDSM & SPSS.

10. النتائج:

- 1 - ترتبط درجة الحرارة العظمى بمنطقة زوارة بثمانية عناصر من نموذج الدوران العام GCM، وتعد درجة الحرارة السطح عند 2 متر من أكثر العناصر ارتباطاً، إذ بلغ معدل الارتباط 0.779.
- 2 - شهدت الفترة الثانية (1991-2020) ارتفاعاً في درجة الحرارة مقارنة بالفترة الأولى التي تمثل فترة الأساس خلال أغلب فصول السنة، وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05. باستثناء فصل الشتاء الذي لم يشهد أي تغييراً في معدلات درجة الحرارة العظمى.
- 3 - ستشهد درجة الحرارة العظمى تغير وعلى مستوى دلالة إحصائية في الفترة المستقبلية حيث ستخفض خلال فصلي الخريف والصيف بفارق في المتوسط عن فترة الأساس 3.08 و 2.47 درجة مئوية على التوالي. في حين سترتفع في الفترة المستقبلية خلال فصلي الشتاء والربيع بفارق في المتوسط سيبلغ 3.16 و 1.96 درجة مئوية على التوالي وعلى مستوى دلالة إحصائية أقل من 0.05.
- 4 - تتبع درجات الحرارة السيناريو A2a (المتشائم) في الفترة المستقبلية (2021-2050)، ما يعني أنه سيبقى هناك ارتفاع في درجة الحرارة بشكل عام بسبب عدم السيطرة على انبعاث الغازات الدفيئة.
- 5 - أثبتت النتائج قدرة SDSM على التنبؤ بدرجة الحرارة للمستقبل بدليل الدفيء والجفاف في المنطقة الغربية من البلاد، بما فيها منطقة زوارة، حيث أشار المركز الوطني للأرصاد الليبية بطرابلس أن شتاء 2021/2020 سيشبه شتاء 2010/2009، في حين أكد مركز التنبؤات المناخية التابع للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA)، في تقرير له يوم 2021/7/8 أن نمط شتاء 2022/2021 في المنطقة سيكون مكرراً لنمط الشتاء الماضي الجدول (6).

11. التوصيات:

- 1 - يجب نشر الوعي بخطورة آثار التغير المناخي.
- 2 - أخذ التدابير اللازمة لتفادي الآثار الخطيرة الناتجة عن تغير المناخ في البلاد.
- 3 - على المركز الوطني للأرصاد الجوية بطرابلس توفير البيانات اليومية لجميع محطات الرصد في البلاد خدمة للباحثين في مجال المناخ والتغيرات المناخية.
- 4 - العمل على تدريب العاملين في مجال الأرصاد والبحاث المختصين في مجال الطقس والمناخ على هذا النوع من التقنيات؛ ليتم وضع تنبؤ مستقبلي موسمي وسنوي لمناخ للبلاد.

1.12. أولاً: المراجع العربية.

- 1- عثمان، أسمهان علي، تغير المناخ دراسة تطبيقية لاتجاه وتغير درجة الحرارة في ليبيا للفترة (1971-2000)، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، جامعة الزاوية، الزاوية، ليبيا، 2011.
- 2- شرف، أمجد إبراهيم محمد، جغرافية المناخ والبيئة، دار المعرفة الجامعية، ط1، الإسكندرية، 2001.
- 3- سيما، إيف، ترجمة زينب منعم، التغير المناخي، مشورات المجلة العربية، الرياض، 2015.
- 4- المليون، جمعة، شرف الدين بن سعيد، عبد الرحمن الغافود، نمذجة التغير في درجة الحرارة العظمى في منطقة شحات للفترة 1961-2009 باستخدام تقنية SDSM، مجلة كلية الآداب، جامعة مصراتة، العدد 17 يونيو 2021.
- 5- العتيبي، سامي عزيز عباس ، إياد عاشور الطائي، الإحصاء والنمذجة في الجغرافية، مكتبة ومطبعة أكرم للطباعة والاستنساخ، بغداد، العراق، ط1/1012، ص305-309.
- 6- ابراهيم، عبد السلام أحمد محمد، نمذجة التغير في درجات الحرارة بمنطقة مصراتة باستخدام تقنية (SDSM)، مجلة جامعة الزيتونة، العدد 28، ديسمبر 2018، تروونة، ليبيا.

2.12. المراجع الأجنبية:

1- Wilby, R. L. and Dawson, C. W. (2007). SDSM 4.2 A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, Version 4.2 User Manual.

1- <https://www.facebook.com/LYLNMC> 12-9-2021AT 12.00AM.

2 - <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast>.15-7-2021 AT 2;30PM.