



التغير الزمني لدرجات الحرارة والأمطار وانعكاسه على الموارد المائية في محطة شحات للفترة بين 1981-2024م

"Temporal Changes in Temperature and Precipitation and Their Impact on Water Resources at Shahat Station for the Period 1981–2024"

د: فدوي إبراهيم سالم العقوري

fadwa Ibrahim salem elagori

قسم الجغرافيا – كلية الآداب والعلوم الايبير - جامعة بنغازي

Fadwa.elagori@uob.edu.ly

الملخص

تناولت هذه الدراسة التغير الزمني لدرجات الحرارة والأمطار في محطة شحات خلال الفترة 1981–2024م، وتحليل انعكاسها على الموارد المائية. أظهرت النتائج ارتفاع المتوسط السنوي لدرجة الحرارة عند 2 متر من حوالي 14.24 °C في يناير إلى 19.96 °C، مع زيادة ملحوظة في القيم القصوى التي بلغت 35 °C في يوليو، مقابل أدنى درجة حرارة وصلت إلى 3.27 °C في فبراير، ما يعكس تزايد التطرف الحراري والفجوة بين القيم العظمى والدنيا. أما الهطول، فتراوح إجمالي الهطول الشهري بين 0.01 مم في يوليو و1.89 مم في يناير، مع تذبذب سنوي شديد في مجموع الهطول السنوي الذي بلغ ذروته 58.5 مم، ما يدل على عدم انتظام المطر. انعكس ذلك على الموارد المائية، حيث سجلت الرطوبة النسبية عند 2 متر انخفاضًا من 72.28% إلى 68.93%، بينما حافظت رطوبة التربة على عمق 2 متر على استقرار نسبي بين 11.32 و17.11، مما يوضح قدرة التربة على تخزين المياه لمواجهة فترات الجفاف وزيادة الطلب التبخيري

Abstract

This study examined the temporal changes in temperature and rainfall at Shahat station during the period 1981–2024, and analyzed their impact on water resources. The results showed a rise in the annual average air temperature at 2 meters from approximately 14.24 °C in January to 19.96 °C, with a notable increase in maximum temperatures reaching 35 °C in July, compared to a minimum of 3.27 °C in February, reflecting increased thermal extremes and a widening gap between daily highs and lows. As for precipitation, monthly total rainfall ranged from 0.01 mm in July to 1.89 mm in January, with high annual variability in total yearly precipitation, peaking at 58.5 mm, indicating irregular rainfall patterns. This was reflected in water resources, as relative humidity at 2 meters decreased from 72.28% to 68.93%, while soil moisture at 2-meter depth remained relatively stable between 11.32 and 17.11, demonstrating the soil's ability to store water to cope with drought periods and increased evaporative demand.

استلام الورقة: 2026-02-16 - قبول الورقة: 2026-02-24 - نشر الورقة: 2026-03-02

الكلمات المفتاحية: اتجاهات درجات الحرارة، تذبذب الأمطار، الموارد المائية، رطوبة التربة، التغير المناخي

Keywords: Temperature Trends, Rainfall Variability, Water Resources, Soil Moisture, Climate Change.



مقدمة البحث

تعد تغيرات المناخ من أبرز التحديات البيئية والاقتصادية في القرن الحادي والعشرين، لما لها من تأثير مباشر على النظم البيئية والزراعية والمصادر المائية (IPCC, 2022, , pp. 1-4). يشمل هذا التأثير ارتفاع درجات الحرارة، وتزايد موجات الحر، بالإضافة إلى التذبذب الكبير في كميات الهطول المطري، مما يزيد من ضغوط الطلب على المياه ويهدد الأمن الغذائي. تقع منطقة شحات في شرق ليبيا وتتميز بمناخ صحراوي متأثر بالبحر الأبيض المتوسط، حيث تتسم بفصول حارة وجافة صيفاً وفصول معتدلة إلى باردة شتاءً، ويعتمد السكان والزراعة بشكل رئيسي على الموارد المائية المحدودة، سواء من مياه الأمطار أو مخزون المياه الجوفية. دراسة التغيرات الزمنية لعناصر المناخ الأساسية مثل درجة الحرارة، الهطول المطري، ورطوبة التربة تساعد على فهم تأثير هذه التغيرات على الموارد المائية. يوفر هذا الفهم قاعدة علمية لتطوير استراتيجيات فعالة لإدارة المياه والزراعة، وتقليل تأثير التغير المناخي على المجتمع المحلي والنظام البيئي

مشكلة الدراسة

تشهد منطقة شحات تغيرات مناخية ملحوظة تتمثل في ارتفاع درجات الحرارة وتقلب الأمطار، مما يؤدي إلى ضغوط متزايدة على الموارد المائية السطحية والجوفية. عدم انتظام الهطول وتقلب درجات الحرارة قد يسبب شحاً مائياً في السنوات الجافة، ويزيد الطلب التبخري على المياه، ما يستدعي دراسة تأثير هذه التغيرات على الموارد المائية لضمان استدامتها.

أهمية الدراسة

1. توفير بيانات تحليلية دقيقة عن التغيرات المناخية في منطقة شحات خلال الفترة 1981-2024م.
2. تقييم أثر التغيرات في درجات الحرارة والأمطار على الموارد المائية السطحية والجوفية.
3. دعم اتخاذ القرارات والتخطيط المستدام لإدارة المياه والزراعة في المنطقة.
4. المساهمة في فهم علاقة التطرف الحراري والهطول المطري بالموارد المائية.
5. توفير مرجع علمي للباحثين والجهات المختصة في ليبيا حول التغير المناخي المحلي.

أهداف الدراسة

1. تحليل السلاسل الزمنية لدرجات الحرارة وأقصى وأدنى درجات الحرارة في محطة شحات للفترة 1981-2024م.
2. دراسة تغيرات الهطول المطري وإجمالي الهطول السنوي وتأثيرها على الموارد المائية.
3. تقييم انعكاس التغيرات المناخية على رطوبة التربة بمختلف الأعماق ومنطقة الجذور.
4. تحديد الاتجاهات العامة في الحرارة والرطوبة والضغط الجوي.
5. استنتاج أثر التطرف المناخي على الموارد المائية السطحية والجوفية.
6. تقديم توصيات لإدارة المياه والزراعة في المنطقة بناءً على النتائج.

اسئلة الدراسة

1. كيف تغيرت درجات الحرارة ، الحد الأقصى والحد الأدنى في محطة شحات خلال الفترة 1981-2024م؟
2. ما هي التغيرات الزمنية في هطول الأمطار وإجمالي الهطول السنوي، وما أثرها على الموارد المائية السطحية والجوفية؟
3. كيف انعكست التغيرات المناخية على رطوبة التربة في أعماق مختلفة ومنطقة الجذور؟
4. ما هي الاتجاهات العامة للحرارة، الرطوبة، وضغط السطح الجوي خلال الفترة المدروسة؟

منطقة الدراسة

مدينة شحات هي مدينة في شمال شرق ليبيا ضمن منطقة جبل الأخضر، شرق مدينة البيضاء بحوالي 10 كم تقريباً. احداثيات الموقع (GPS): دائرة عرض 32.827778° N (Latitude):

خط طول 21.862222° E 32° $49'$ $40''$ شمالاً، 21° $51'$ $44''$ شرقاً (<https://power.larc.nasa.gov>)

شكل (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة بناءً على (<https://power.larc.nasa.gov/data-access>)

منهجية الدراسة

1. جمع البيانات المناخية والهيدرولوجية:
 - 0 تم الحصول على بيانات محطات الرصد المناخي في شحات للفترة من 1981 إلى 2024م. شملت البيانات:
 - 0 درجة الحرارة عند 2 متر (T2M)، وأقصى وأدنى درجات الحرارة اليومية (T2M_MIN، T2M_MAX)
 - 0 الهطول المطري الكلي والإجمالي (PRECTOTCORR_SUM، PRECTOTCORR)
 - 0 الرطوبة الجوية، وبخار الماء النوعي. ورطوبة التربة عند السطح وعمق 2 متر، ورطوبة منطقة الجذور.
 - 0 درجة حرارة الندى (T2MDEW) ودرجة حرارة السطح (TS).
 2. تحليل البيانات:
 - 0 حساب المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية لكل متغير لمراقبة الاتجاهات الموسمية وطول الفترة.
 - 0 استخراج القيم القصوى والدنيا السنوية لتحديد مدى التطرف الحراري والمطري.
 - 0 تحليل التذبذبات السنوية والشهرية للتعرف على أنماط عدم الانتظام في الهطول ودرجات الحرارة.
 3. تحديد الاتجاهات والتغيرات:
 - 0 استخدام الرسوم البيانية للسلاسل الزمنية لرصد الاتجاهات الطويلة الأمد (ارتفاع درجات الحرارة، انخفاض الرطوبة النسبية، تذبذب الأمطار).
 - 0 مقارنة القيم الحالية بالسنوات السابقة لتقييم زيادة التطرف المناخي (موجات الحر، الجفاف، أمطار غزيرة).
 4. ربط العناصر المناخية بالموارد المائية:
 - 0 تحليل تأثير ارتفاع الحرارة وتغير الرطوبة على الرطوبة السطحية والعميقة للتربة.
 - 0 تقييم قدرة الطبقات العميقة للتربة على تخزين المياه خلال فترات الجفاف (الذاكرة الهيدرولوجية للتربة).
 - 0 دراسة العلاقة بين تذبذب الهطول المطري ومعدلات التبخر وفقدان المياه السطحية.
 5. استخدام المؤشرات المناخية:
 - 0 الاستفادة من المدى الحراري اليومي، الرطوبة النسبية، وبخار الماء النوعي لفهم الضغط التبخري على الموارد المائية.
 - 0 الربط بين التغيرات الحرارية والمطرية وتأثيرها على استدامة المياه السطحية والجوفية والزراعة.
 6. الاستنتاجات العلمية:
 - 0 تحديد العلاقة بين التغيرات الحرارية والمطرية وانعكاسها على الموارد المائية في شحات.
 - 0 تقديم توصيات عملية لإدارة المياه والزراعة في ظل التغير المناخي.



الدراسات السابقة

- ② نشرت دراسة البشير الطاهر مسعود في 2015 لتحليل الاتجاه العام لمعدلات الأمطار في منطقة سهل أجفارة ودورها في ظهور ظاهرة التصحر. وأظهرت النتائج أن انخفاض وتذبذب الأمطار ساهم بشكل كبير في زيادة مساحة الأراضي المتصحرة بالمنطقة.
- ② في دراسة لجمعة أرحومة جمعة الجالي: اتجاهات التغير في كميات الأمطار بشمال شرقي ليبيا خلال الفترة من (1961-2010م) - حلل اتجاهات التغير في معدلات الأمطار السنوية في محطات منها شحات وأظهر اتجاهًا نحو الانخفاض بالأغلب، ما يؤثر على موارد المياه والتربة.
- ② وتطرق الباحث علي مصطفى سليم وعادل أحمد حويل: الي تحليل اتجاهات درجات الحرارة في منطقة شحات بشمال شرق ليبيا للمدة 1970-2020 -الدراسة بينت وجود اتجاهات نحو الزيادة في درجات الحرارة الصغرى والعظمى، مما يعكس التغير المناخي في المنطقة.
- ② وذكر علي مصطفى سليم، الصادق مصطفى سولم، وفاطمة صالح أبشير: التحليل المناخي لمؤشرات التغير في درجات الحرارة بمحطة أرصاد مدينة طرابلس (1919-2020) -دراسة طويلة الأمد لدرجات الحرارة وأدوات التحليل الإحصائي لكشف مؤشرات التغير المناخي.
- ② هذا ودرس الباحث محمد عياد مقيلي: الاحتباس الحراري العالمي وأثره على التطرف المطري والحراري في محطات الأرصاد الليبية - اذ يناقش كيف أثرت التغيرات المناخية على التطرفات المطرية والحرارية، مما يرتبط بتذبذب الأمطار والجفاف.
- ② وفي دراسة للباحث عمر أحمد علي عنيبة: عن تحليل اتجاه التغير في متوسطات أمطار فصل الخريف في مصراتة (1960-2023م) -ركزت الدراسة على اتجاهات الأمطار واتضح وجود اتجاه نحو التناقص، ما يؤثر على التوازن المائي والزراعة.
- ② وفي دراسة للباحث محمود سعد إبراهيم (2010): عن اتجاهات التغير في كميات الأمطار في شرق الجبل الأخضر وأظهرت نتائج انخفاضًا ملحوظًا في معدلات الهطول المطري خلال العقود الماضية، مما ساهم في زيادة مظاهر التصحر وتدهور الأراضي الزراعية في المنطقة.
- ② كما تطرق الباحث محمود محمد عبد المولى (2025): الي تحليل مؤشرات التغير المناخي في منطقة الجفرة عبر دراسة اتجاهات درجات الحرارة خلال الفترة 2010-2024، وكانت النتائج دالة على ارتفاع مستمر في درجات الحرارة السنوية ما ينعكس سلبيًا على الموارد المائية ويزيد مخاطر الجفاف.
- أظهرت الدراسات السابقة انخفاضًا في معدلات الأمطار وزيادة درجات الحرارة في مناطق مختلفة من ليبيا، مما أثر على الموارد المائية وزاد من مخاطر التصحر والجفاف. وتعزز الدراسة الحالية فهمنا للتغيرات المناخية في شحات من خلال دمج مجموعة واسعة من المتغيرات الجوية والتربة والإشعاعية، مما يتيح رصد الأنماط التحليلية بشكل أكثر دقة ويساعد على تقييم تأثير التغيرات المناخية على الموارد المائية بشكل شامل

العناصر المناخية

تشمل الدراسات المناخية عادة مجموعة من المتغيرات الجوية الأساسية التي تساعد على فهم التغيرات المناخية وأثرها على البيئة. درجة الحرارة وأقصى وأدنى درجات الحرارة توفر معلومات عن التذبذبات الحرارية اليومية والموسمية، بينما درجة حرارة الندى تعكس الرطوبة الجوية. ورطوبة التربة عند أعماق مختلفة ومنطقة الجذور تلعب دورًا مهمًا في تحديد توفر المياه للنباتات ودورة المياه في التربة. والمدى الحراري والإشعاع الشمسي قصير الموجة ودرجة حرارة السطح وضغط السطح الجوي هي مؤشرات حيوية لفهم الطاقة الحرارية وانتقالها في الغلاف الجوي والأرض. والهطول المطري يمثل المصدر الرئيسي للمياه السطحية والجوفية ويعكس الأنماط المطرية على المدى الطويل. والرطوبة النسبية ومقدار بخار الماء النوعي تساعد في تقييم الرطوبة الجوية وتأثيرها على التبخر والعمليات المناخية المختلفة. ان مجمل هذه العناصر يوفر إطارًا شاملاً لرصد التغيرات المناخية وتحليل تأثيرها على البيئة الطبيعية



والموارد المائية. وسيتناول البحث تحليل هذه العناصر المناخية من خلال دراسة متوسطاتها الشهرية والسنوية والفصلية، بهدف التعرف على الأنماط الزمنية والتقلبات المناخية وتأثيرها المحتمل على الموارد المائية.

جدول (1) "المتوسطات الشهرية للعناصر المناخية ورطوبة التربة في محطة شحات (1981-2024م)"

العناصر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط
درجة الحرارة عند 2 متر	14.24	13.93	15.08	17.34	20.31	23.51	25.49	26.22	25.02	22.64	19.27	16.06	19.96
درجة حرارة الندى عند 2 متر	9.21	8.71	9.63	11.15	13.95	17.48	20.35	20.94	19.12	16.46	13.14	10.65	14.26
رطوبة التربة على عمق 2 متر	11.73	11.32	12.36	14.25	17.13	20.49	22.92	23.58	22.07	19.55	16.2	13.35	17.11
أقصى درجة حرارة عند 2 متر	19.62	20.49	23.55	27.86	31.3	33.25	31.22	31.71	32.84	30.73	26.09	21.65	35
أدنى درجة حرارة عند 2 متر	10.31	9.8	10.73	12.43	15.01	18.45	21.86	23.23	21.28	18.31	15.07	11.7	9.25
المدى الحراري	3.34	3.8	4.63	5.51	5.77	5.28	4.35	4.13	4.19	4.16	3.81	3.27	4.35
الإشعاع الشمسي قصير الموجة الواصل من الأعلى عند طبقة الغلاف الجوي العليا	-49.6	-45.05	-39.3	-34.16	-30.91	-29.72	-30.48	-33.2	-37.69	-43.33	-48.48	-51.02	-39.39
درجة حرارة السطح	16	15.38	15.96	17.63	20.52	24.23	26.79	27.67	26.49	24	20.74	17.9	21.14
ضغط السطح الجوي	100.55	100.45	100.3	100.12	100.14	100.11	99.99	100	100.22	100.42	100.46	100.54	100.27
رطوبة التربة	0.5	0.52	0.5	0.46	0.42	0.39	0.37	0.36	0.36	0.38	0.4	0.44	0.43
رطوبة منطقة الجذور	0.51	0.53	0.51	0.47	0.42	0.39	0.36	0.36	0.37	0.38	0.41	0.45	0.43
رطوبة سطح التربة	0.5	0.51	0.48	0.41	0.34	0.27	0.19	0.15	0.19	0.27	0.37	0.44	0.34
إجمالي الهطول	1.89	1.4	0.82	0.33	0.34	0.05	0.01	0.05	0.4	0.73	1.11	1.88	0.75
مجموع إجمالي الهطول	58.5	39.42	25.29	9.87	10.67	1.41	0.21	1.45	12.15	22.61	33.44	58.16	273.16
مقدار بخار الماء النوعي عند 2 متر	7.29	7.06	7.53	8.36	10.06	12.65	15.11	15.65	13.95	11.78	9.5	8.04	10.6
الرطوبة النسبية عند 2 متر	72.28	71.55	71.11	68.93	69.29	70.95	74.38	73.7	70.71	69.15	68.53	70.87	70.96

المصدر: من عمل الباحثة بناءً على بيانات الموقع (<https://power.larc.nasa.gov/data-access>)

التحليل الموسمي للعناصر المناخية وانعكاسه على الموارد المائية في محطة شحات

تُظهر المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة عند 2 متر نمطاً موسميًا واضحًا يتميز بارتفاع تدريجي من فصل الشتاء نحو الصيف، حيث تسجل أدنى القيم خلال شهري يناير وفبراير، بينما تبلغ الذروة خلال شهري أغسطس وسبتمبر. ويعكس هذا التدرج الحراري الانتقال من ظروف باردة نسبيًا إلى ظروف حارة، ما يؤدي إلى زيادة الطلب التبخري خلال النصف الدافئ من السنة. ويتطابق هذا النمط مع سلوك درجة حرارة السطح التي تسجل قيمًا أعلى من درجة حرارة الهواء، خاصة في أشهر الصيف، ما يشير إلى زيادة امتصاص الطاقة الحرارية وتسارع عمليات التبخر السطحي.

وتؤكد القيم الشهرية لكل من T2M_MAX و T2M_MIN وجود اتساع موسمي في المدى الحراري، حيث يرتفع الفرق بين القيم العظمى والصغرى خلال أشهر الصيف مقارنة بالشتاء. ويُعد هذا السلوك مؤشرًا على زيادة التطرف الحراري اليومي خلال الفترة الحارة، وهو ما ينعكس سلبًا على التوازن المائي من خلال تسريع فقدان الرطوبة من التربة والغطاء النباتي. كما أن ارتفاع درجات الحرارة القصوى خلال الصيف يعزز من شدة الإجهاد الحراري على الموارد الطبيعية.

من حيث الإشعاع الشمسي قصير الموجة، تُظهر القيم الشهرية تزايدًا واضحًا من الشتاء إلى الصيف، ما يساهم في رفع درجة حرارة السطح والهواء خلال الأشهر الحارة. إلا أن هذا الارتفاع الموسمي المنتظم لا يفسر وحده الاتجاه التصاعدي طويل الأمد لدرجات الحرارة، بل يعكس السلوك الإشعاعي الطبيعي للدورة السنوية. ويتزامن هذا السلوك مع انخفاض طفيف في ضغط السطح الجوي خلال الصيف، وهو ما يتوافق مع الظروف الحرارية المرتفعة.



أما الهطول المطري، فيتضح نمط موسمي شديد التباين، حيث تتركز الأمطار خلال أشهر الشتاء، خاصة ديسمبر ويناير وفبراير، بينما تكاد تنعدم خلال أشهر الصيف. ويؤدي هذا التوزيع غير المتوازن إلى فائض مائي شتوي يقابله عجز مائي صيفي واضح. ورغم أن مجموع الهطول السنوي يُظهر قيمًا معتبرة، إلا أن تركز الأمطار في فترة زمنية قصيرة يقلل من كفاءتها في تغذية الموارد المائية السطحية على مدار العام، وتتعاكس هذه الخصائص الحرارية والمطرية على السلوك الموسمي للرطوبة الجوية، حيث يسجل بخار الماء النوعي ودرجة حرارة الندى أعلى القيم خلال الصيف، نتيجة قدرة الهواء الدافئ على حمل كميات أكبر من بخار الماء. في المقابل، تنخفض الرطوبة النسبية خلال الأشهر الحارة رغم ارتفاع الرطوبة المطلقة، ما يشير إلى زيادة الطلب التبخري للغلاف الجوي. ويُعد هذا التناقض أحد العوامل الرئيسية في زيادة فقدان المياه خلال فصل الصيف، وعلى مستوى التربة، تُظهر رطوبة سطح التربة أدنى القيم خلال أشهر الصيف نتيجة ضعف الهطول وارتفاع درجات الحرارة، بينما ترتفع خلال الشتاء متأثرة بالأمطار. في المقابل، تحافظ رطوبة منطقة الجذور ورطوبة التربة على عمق 2 متر على استقرار نسبي عبر الفصول، ما يدل على قدرتها على تخزين المياه الشتوية واستخدامها لاحقًا خلال الفترات الجافة. ويبرز هذا السلوك الدور الحيوي للطبقات العميقة في دعم الموارد المائية الزراعية. وبالربط بين هذه العناصر، يتضح أن المناخ في محطة شحات يتسم بدورة موسمية حادة تتمثل في شتاء رطب نسبيًا وصيف حار وجاف، وهو ما يؤدي إلى عدم توازن زمني بين توفر المياه وذروة الطلب عليها. وتزداد حدة هذا الخلل في ظل الاتجاه التصاعدي لدرجات الحرارة، ما يضاعف من الضغط على الموارد المائية، خاصة خلال فصل الصيف. وتشير هذه النتائج إلى ضرورة إدارة الموارد المائية وفق الفهم الموسمي والاتجاهي معًا، وليس بالاعتماد على المتوسطات السنوية فقط.

جدول (2) "المتوسطات الشهرية للعناصر المناخية ورطوبة التربة في محطة شحات (1981-2024م)"

السنوات	درجة الحرارة عند 2 متر	درجة حرارة الندى عند 2 متر	رطوبة التربة على عمق 2 متر	أقصى درجة حرارة عند 2 متر	أدنى درجة حرارة عند 2 متر	المدي الحراري	الواصل من الأعلى عند طبقة الغلاف الإنبعاث الشمسي قصير الموجة	درجة حرارة السطح	ضغط السطح الجوي	رطوبة التربة	رطوبة منطقة الجذور	إجمالي الهطول	مجموع إجمالي الهطول	مقدار بخار الماء النوعي عند 2 متر	الرطوبة النسبية عند 2 متر	رطوبة سطح التربة
1981	19.86	14.38	17.12	37.42	8.45	4.34	-999	21.01	100.2	0.45	0.46	1.19	434.87	10.64	71.81	0.38
1982	19.52	13.81	16.67	36.24	9.03	4.45	-999	20.6	100.29	0.42	0.42	0.5	184.4	10.35	70.65	0.32
1983	19.28	13.51	16.39	34.73	7.17	4.45	-999	20.37	100.35	0.44	0.44	0.91	331.57	10.07	70.45	0.38
1984	19.52	13.25	16.39	34.89	9.03	4.69	30.79	20.4	100.25	0.43	0.44	0.86	314.43	9.86	68.54	0.34
1985	19.86	13.87	16.86	32.36	8.24	4.72	30.82	20.79	100.24	0.43	0.43	0.65	237.99	10.26	69.7	0.35
1986	19.67	13.88	16.77	34.88	10.4	4.46	30.82	20.71	100.27	0.41	0.41	0.71	261.53	10.32	70.51	0.33
1987	19.32	13.67	16.49	33.27	8.09	4.39	30.83	20.45	100.3	0.43	0.43	0.73	265.27	10.26	70.92	0.35
1988	19.92	13.66	16.79	37.29	9.55	4.61	30.8	20.87	100.25	0.41	0.41	0.95	347.58	10.22	68.78	0.31
1989	19.39	13.68	16.54	32.35	9.47	4.33	30.84	20.36	100.41	0.46	0.47	0.7	254.37	10.16	70.75	0.41
1990	20.03	14.06	17.05	35.18	10.15	4.4	30.84	21.13	100.41	0.42	0.42	0.62	226.81	10.4	69.93	0.33
1991	19.45	13.65	16.55	35.04	8.31	4.31	30.84	20.63	100.29	0.4	0.41	1.02	371.27	10.16	70.46	0.33
1992	19.17	13.56	16.36	33.52	7.57	4.23	30.8	20.3	100.4	0.47	0.48	0.77	281.33	10.08	71.32	0.39
1993	19.61	13.84	16.72	35.78	8.92	4.38	30.83	20.68	100.37	0.43	0.44	0.9	329.18	10.29	70.67	0.34
1994	20.09	14.52	17.31	33.74	10.12	4.46	30.83	21.26	100.28	0.41	0.41	0.63	231.37	10.81	71.55	0.31
1995	19.73	13.85	16.79	35.54	9.24	4.5	30.82	20.78	100.31	0.43	0.43	0.7	255.94	10.3	70.14	0.34
1996	19.48	13.89	16.69	33.93	8.9	4.4	30.79	20.5	100.2	0.42	0.43	0.59	214.31	10.31	71.26	0.34
1997	19.46	13.89	16.67	36.05	9.79	4.25	30.83	20.63	100.32	0.42	0.43	0.69	252.47	10.31	71.31	0.34
1998	19.73	14.51	17.12	32.88	9.44	4.29	30.84	21	100.3	0.41	0.41	0.78	283.28	10.8	72.98	0.33
1999	20.2	14.47	17.34	34.07	9.8	4.42	30.84	21.39	100.29	0.41	0.41	0.39	143.91	10.76	70.93	0.32
2000	19.63	14.12	16.87	33.94	8.87	4.39	30.81	20.91	100.36	0.41	0.41	0.56	204.1	10.5	71.78	0.32
2001	20.15	14.53	17.34	34.76	10.55	4.55	30.85	21.45	100.25	0.4	0.41	0.82	297.49	10.79	71.51	0.3
2002	20.04	14.62	17.33	37.36	8.97	4.37	30.85	21.32	100.29	0.44	0.44	0.49	180.04	10.81	72.17	0.37
2003	20.12	14.68	17.4	34.31	8.81	4.27	30.84	21.5	100.22	0.4	0.4	0.53	191.89	10.99	72.05	0.32



0.25	70.96	10.53	108.36	0.3	0.38	0.38	100.28	21.05	30.8	4.52	7.54	33.5	17.03	14.16	19.9	2004	
0.35	71.7	10.5	294.72	0.81	0.43	0.42	100.3	20.9	30.83	4.25	9.25	36.5	16.82	14.07	19.56	2005	
0.32	72.51	10.64	194.96	0.53	0.41	0.41	100.3	20.95	30.83	4.18	8.23	37.36	16.97	14.32	19.62	2006	
0.36	72.07	10.86	251.82	0.69	0.43	0.42	100.24	21.26	30.83	4.27	9.65	32.03	17.37	14.66	20.09	2007	
0.33	70.29	10.82	295.39	0.81	0.42	0.42	100.27	21.52	30.79	4.4	7.05	32.79	17.48	14.54	20.41	2008	
0.35	70.61	10.7	277.93	0.76	0.43	0.43	100.14	21.28	30.83	4.4	10.11	34	17.26	14.38	20.14	2009	
0.3	68.99	10.73	242.57	0.67	0.41	0.41	100.08	21.67	30.83	4.67	10.85	37.33	17.56	14.46	20.66	2010	
0.37	71.28	10.54	258.58	0.71	0.44	0.44	100.24	21.11	30.84	4.11	9.95	36.42	17	14.21	19.78	2011	
0.31	70.87	10.93	186.57	0.51	0.41	0.41	100.19	21.66	30.81	4.22	8.99	33.52	17.43	14.58	20.28	2012	
0.27	69.11	10.58	200.5	0.55	0.4	0.4	100.2	21.57	30.84	4.43	10.69	35.05	17.29	14.2	20.38	2013	
0.32	70.88	10.76	157.78	0.43	0.41	0.41	100.23	21.65	30.84	4.31	11.6	35.46	17.45	14.6	20.29	2014	
0.38	71.43	10.72	392.49	1.08	0.44	0.43	100.35	21.39	30.85	4.02	8.52	34.3	17.17	14.4	19.93	2015	
0.34	70.36	10.87	235.08	0.64	0.43	0.43	100.32	21.8	30.8	4.48	8.04	35.63	17.64	14.7	20.58	2016	
0.36	71.38	10.59	304.83	0.83	0.44	0.43	100.33	21.27	30.83	4.1	7.84	35.15	17	14.23	19.77	2017	
0.33	70.71	11	199.6	0.55	0.42	0.41	100.18	21.84	30.83	4.35	10.25	36.2	17.76	14.87	20.65	2018	
0.38	71.99	10.86	400.62	1.1	0.45	0.45	100.17	21.3	30.83	4.21	9.44	34.11	17.29	14.58	20.01	2019	
0.39	72.16	10.89	546.62	1.49	0.47	0.47	100.3	21.45	30.8	4.06	10.82	37.06	17.45	14.72	20.17	2020	
0.37	70.54	10.9	289.36	0.79	0.45	0.45	100.31	21.65	30.84	4.26	8.74	34.31	17.56	14.67	20.45	2021	
0.44	72.09	11.02	384.15	1.05	0.49	0.48	100.29	21.43	30.85	4.15	8.7	37.14	17.5	14.79	20.21	2022	
0.46	72.79	11.32	637.79	1.75	0.5	0.49	100.22	21.72	30.86	4.08	10.6	33.75	17.9	15.27	20.53	2023	
0.3	69.51	11.34	208.35	0.57	0.41	0.41	100.27	22.6	30.82	4.4	11.1	38.81	18.32	15.25	21.39	2024	
0.34	70.96	10.60	273.16	0.75	0.43	0.43	100.27	21.14	-	39.39	4.35	9.25	35.00	17.11	14.26	19.96	المتوسط السنوي

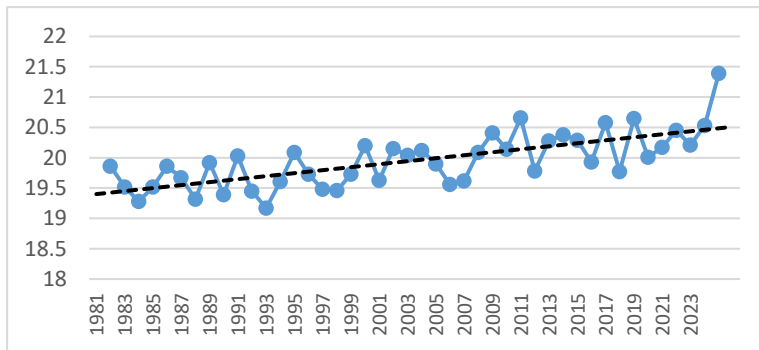
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على بيانات الموقع (<https://power.larc.nasa.gov/data-access>)

عناصر الدراسة (العناصر المناخية):

أولاً: درجة الحرارة عند 2 متر.

تُظهر السلسلة الزمنية لدرجة الحرارة عند ارتفاع 2 متر في محطة شحات خلال الفترة (1981-2024) اتجاهًا تصاعديًا واضحًا، حيث ارتفع المتوسط السنوي تدريجيًا من قيم أقل خلال عقد الثمانينات إلى قيم أعلى في السنوات الأخيرة. ويلاحظ أن الزيادة أصبحت أكثر وضوحًا بعد عام 2000، ما يشير إلى حدوث احتراق تدريجي في الهواء السطحي. ورغم وجود تذبذبات سنوية، إلا أن الاتجاه العام يبقى موجبًا، وهو ما يعكس تغيرًا مناخيًا محليًا طويل الأمد. كما أن هذا الارتفاع لا يقتصر على سنوات محددة بل يظهر بشكل متواصل عبر السلسلة الزمنية. ويعكس هذا السلوك حساسية درجة حرارة الهواء للتغيرات المناخية. وتؤكد النتائج أن المتوسطات وحدها لا تخفي الاتجاه الحراري العام المتصاعد.

شكل (2) درجة الحرارة عند 2 متر في محطة شحات (1981-2024م)



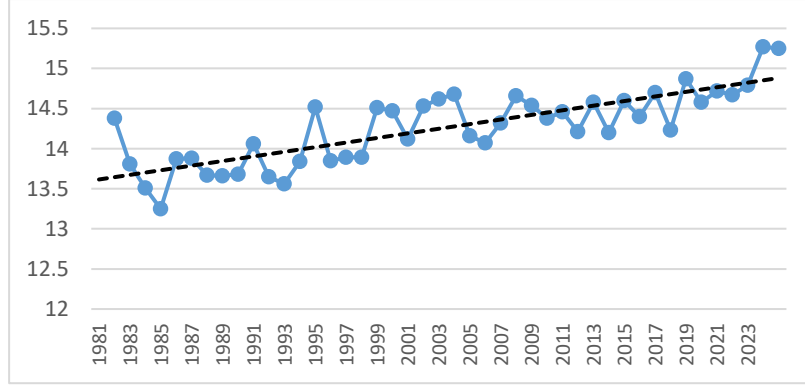
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

ثانياً: درجة حرارة الندى عند 2 متر.



تُظهر السلسلة الزمنية لدرجة حرارة الندى اتجاهًا تصاعديًا ملحوظًا عبر السنوات. ويشير ذلك إلى ارتفاع مستوى الرطوبة الجوية الفعلية. كما يعكس زيادة احتمالية تشكل الندى والضباب في بعض الفترات. ويتوافق هذا الاتجاه مع زيادة بخار الماء النوعي. ولا يظهر تذبذب حاد، بل تغير تدريجي مستمر. ويؤكد هذا السلوك تغير الخصائص الرطوبة للهواء. وتُعد درجة الندى مؤشرًا داعمًا لتحليل الرطوبة الجوية.

شكل (3) درجة حرارة الندى عند 2 متر في محطة شحات (1981-2024م)

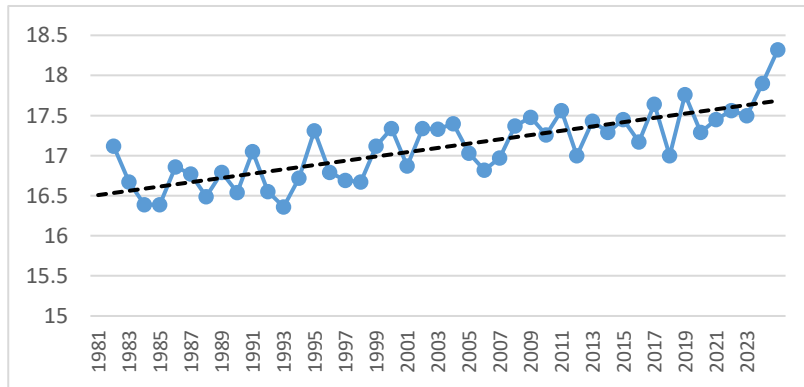


المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

ثالثاً: رطوبة التربة على عمق 2 متر.

تُظهر السلسلة الزمنية لرطوبة التربة على عمق 2 متر خلال فترة الدراسة اتجاهًا تصاعديًا طفيفًا ومستقرًا نسبيًا، حيث تراوحت القيم بين حوالي 16.3 و18.3 مع زيادة تدريجية في السنوات الأخيرة. ويلاحظ أن التذبذب السنوي محدود مقارنة بطبقات التربة السطحية، ما يعكس قدرة هذه الطبقة العميقة على الاحتفاظ بالرطوبة لفترات أطول. كما أن التغيرات المناخية قصيرة المدى، مثل تذبذب الهطول أو ارتفاع الحرارة، لا تنعكس بشكل مباشر وسريع على هذه الطبقة. ويبرز هذا العمق كخزان مائي مستقر نسبيًا داخل النظام الأرضي. وتظهر السنوات الحديثة قيمًا أعلى نسبيًا، ما يشير إلى تحسن طفيف في التخزين الرطوبي العميق. ويعزز ذلك مفهوم الذاكرة الهيدرولوجية للتربة. وتؤكد النتائج أن رطوبة التربة العميقة أقل حساسية للتطرف المناخي مقارنة بالطبقات العليا.

شكل (4) رطوبة التربة على عمق 2 متر في محطة شحات (1981-2024م)



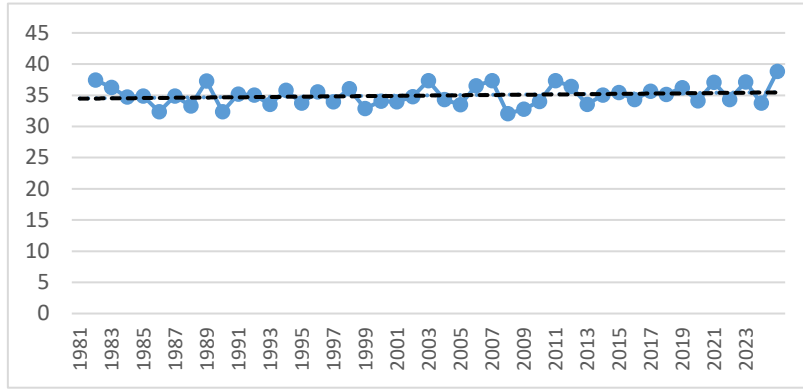
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)



رابعاً: أقصى درجة حرارة عند 2 متر .

تشير نتائج تحليل السلسلة الزمنية لأقصى درجة حرارة عند 2 متر إلى اتجاه تصاعدي أقوى مقارنة بدرجة الحرارة المتوسطة، حيث لوحظ ارتفاع واضح في القيم القصوى خلال العقود الأخيرة. وتبرز سنوات ما بعد 2000 بزيادة ملحوظة في درجات الحرارة العظمى، ما يدل على تزايد حدوث موجات الحر. كما أن القيم المرتفعة أصبحت أكثر تكراراً مقارنة بالفترات السابقة. ويعكس هذا السلوك تزايد التطرف الحراري بدل الارتفاع المنتظم فقط. ويُعد هذا المؤشر من أهم عناصر عدم التجانس المناخي في المنطقة. وتشير النتائج إلى أن الاحترار يظهر بشكل أوضح في القيم القصوى.

شكل (5) أقصى درجة حرارة عند 2 متر في محطة شحات (1981-2024م)

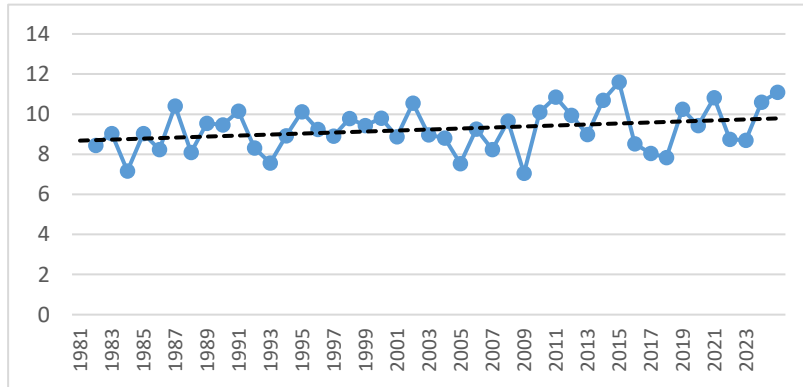


المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

خامساً: أدنى درجة حرارة عند 2 متر.

توضح السلسلة الزمنية لأدنى درجة حرارة عند 2 متر اتجاهًا تصاعديًا طفيفًا مقارنة بدرجات الحرارة القصوى، حيث سجلت القيم الدنيا ارتفاعًا تدريجيًا عبر الزمن. ويلاحظ انخفاض تكرار القيم المتدنية جدًا في السنوات الأخيرة، ما يشير إلى تراجع شدة البرودة. ورغم أن هذا الارتفاع أقل حدة من T2M_MAX، إلا أنه يعكس تغيرًا في السلوك الحراري الليلي. ويساهم هذا التغير في تقليص فترات البرودة الشديدة. كما يعكس اختلاف الاستجابة الحرارية بين القيم العليا والدنيا. ويؤكد ذلك زيادة عدم التوازن الحراري على المدى الطويل.

شكل (6) أدنى درجة حرارة عند 2 متر في محطة شحات (1981-2024م)



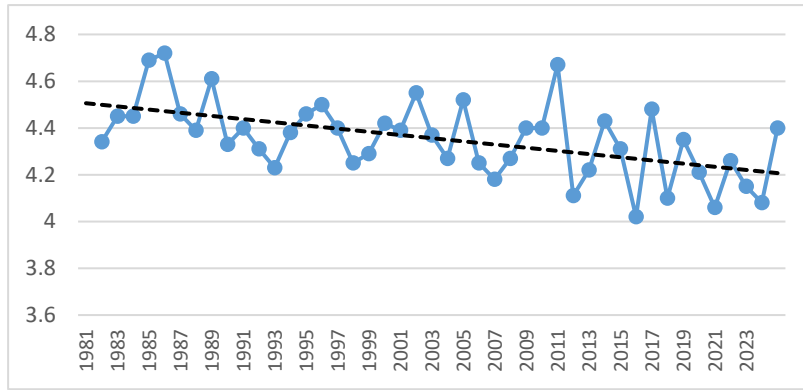
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)



سادساً: المدى الحراري.

يبين تحليل السلسلة الزمنية للمدى الحراري وجود تذبذب سنوي ملحوظ مع ميل عام للزيادة الطفيفة خلال فترة الدراسة. وتظهر بعض السنوات الحديثة بقيم أعلى للمدى الحراري مقارنة بالثمانينات والتسعينات. ويشير هذا السلوك إلى تزايد الفارق بين درجتي الحرارة العظمى والصغرى. كما يعكس ذلك زيادة التطرف وعدم التجانس الحراري. ويُعد المدى الحراري مؤشراً حساساً للتغيرات المناخية المحلية. وتبرز أهميته في تأثيره المباشر على الأنظمة البيئية والزراعية. وتدل النتائج على تغير في الخصائص الحرارية اليومية.

شكل (7) المدى الحراري في محطة شحات (1981-2024م)

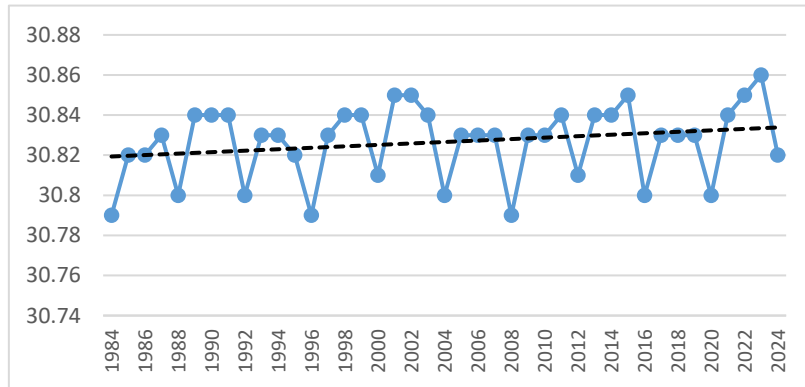


المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

سابعاً: الإشعاع الشمسي قصير الموجة.

تشير نتائج تحليل السلسلة الزمنية للإشعاع الشمسي قصير الموجة إلى استقرار نسبي في القيم السنوية مع تذبذب محدود عبر فترة الدراسة. ولا يظهر اتجاه تصاعدي أو تنازلي واضح يمكن أن يفسر الارتفاع المسجل في درجات الحرارة. ويعكس ذلك أن التغير الحراري في محطة شحات لا يعود إلى زيادة مباشرة في الإشعاع الشمسي الواصل. كما يؤكد دور العوامل الحرارية الأخرى في التأثير على المناخ المحلي. ويُعد هذا العنصر ثابتاً نسبياً مقارنة ببقية المتغيرات. وتبرز أهميته في تفسير التوازن الإشعاعي. وتدعم النتائج فرضية الاحترار غير الإشعاعي.

شكل (8) الإشعاع الشمسي قصير الموجة في محطة شحات (1981-2024م)



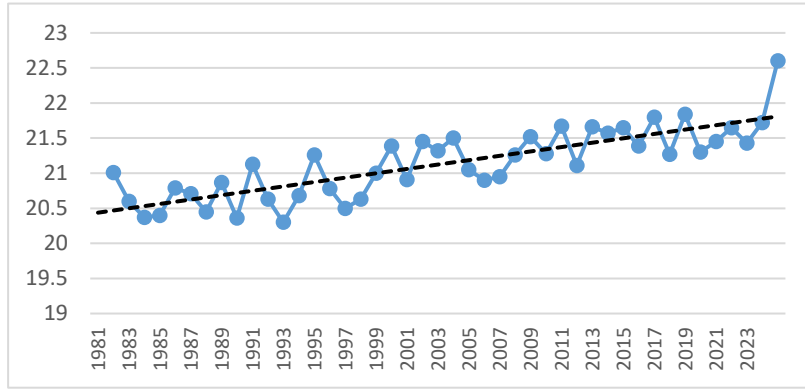
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)



ثامناً: درجة حرارة السطح:

تُظهر السلسلة الزمنية لدرجة حرارة السطح اتجاهًا تصاعديًا واضحًا ومتسقًا مع ارتفاع درجة حرارة الهواء. وتتميز درجة حرارة السطح بكونها أعلى من درجة حرارة الهواء في معظم السنوات، ما يشير إلى زيادة امتصاص الإشعاع الحراري. كما لوحظ تزايد القيم المرتفعة في السنوات الأخيرة، خاصة بعد عام 2000. ويعكس هذا السلوك تغيرًا في التوازن الحراري السطحي. وتؤكد النتائج أن السطح يستجيب بسرعة للتغيرات المناخية. كما يُظهر هذا العنصر دورًا مهمًا في تفسير التطرف الحراري المحلي. ويُعد مؤشرًا داعمًا لظاهرة الاحترار.

شكل (9) درجة حرارة السطح في محطة شحات (1981-2024م)

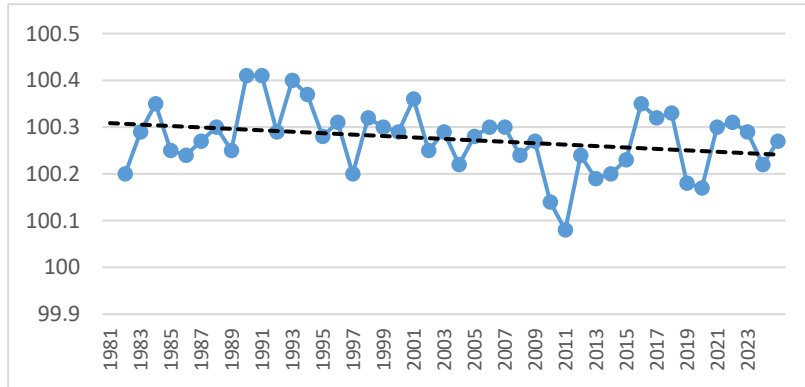


المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

تاسعاً: ضغط السطح الجوي.

تشير نتائج تحليل السلسلة الزمنية لضغط السطح الجوي إلى استقرار واضح مع تذبذب محدود جداً عبر فترة الدراسة. ولا يظهر أي اتجاه طويل الأمد ذي دلالة إحصائية. ويعكس ذلك ثبات الخصائص الديناميكية العامة للغلاف الجوي فوق المنطقة. كما يدل على أن التغيرات الحرارية والرطوبة لا ترتبط بتغير في الضغط السطحي. ويُعد هذا العنصر أقل المتغيرات تأثراً بالتغير المناخي المحلي. وتبرز أهميته كعنصر مرجعي ثابت. وتدعم النتائج استنتاج أن التغيرات المسجلة ذات طابع حراري ورطوبي بالأساس.

شكل (10) ضغط السطح الجوي في محطة شحات (1981-2024م)



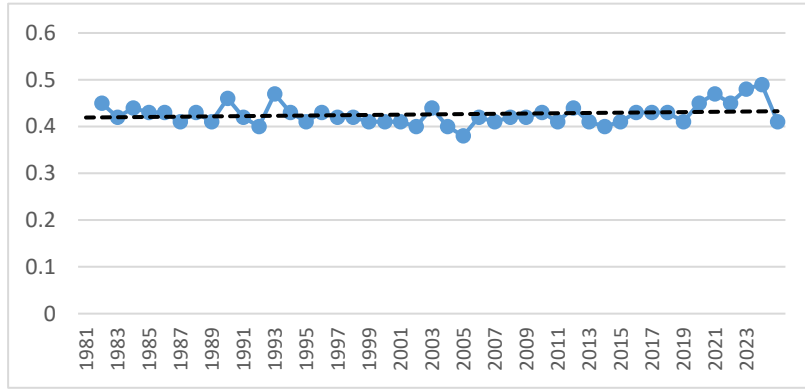
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)



عاشراً: رطوبة التربة.

توضح السلسلة الزمنية لرطوبة التربة استقراراً نسبياً عبر فترة الدراسة مع تذبذب محدود بين السنوات. ولا يظهر اتجاه تصاعدي أو تنازلي واضح رغم التغيرات المطرية المسجلة. ويعكس ذلك قدرة التربة على امتصاص الصدمات المناخية. كما يشير إلى أن زيادة الهطول لا تؤدي بالضرورة إلى تحسن دائم في رطوبة التربة. ويبرز تأثير التبخر ودرجة الحرارة في التحكم بالمحتوى الرطوبي. وتُعد رطوبة التربة مؤشراً مركباً يتأثر بعدة عوامل. وتدعم النتائج مفهوم الذاكرة المائية للتربة.

شكل (11) رطوبة التربة في محطة شحات (1981-2024م)

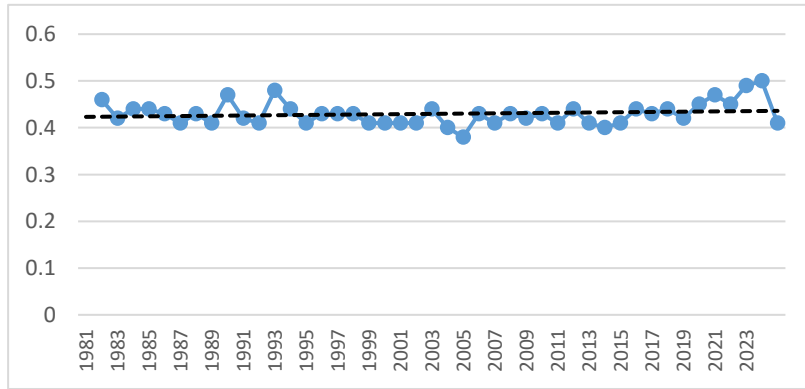


المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

الحادي عشر: رطوبة منطقة الجذور:

تشير نتائج تحليل السلسلة الزمنية لرطوبة منطقة الجذور إلى استقرار واضح مقارنة ببقية طبقات التربة. وتتميز هذه الطبقة باستجابة بطيئة للتغيرات المناخية قصيرة المدى. ويعكس ذلك قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة لفترات أطول. كما يبرز دورها كمخزن مائي للنباتات. ولا تظهر تقلبات حادة بين السنوات، حتى في الفترات الجافة. ويؤكد هذا السلوك مفهوم الاستقرار الهيدرولوجي النسبي. وتدلل النتائج على أهمية هذه الطبقة في تخفيف آثار التطرف المناخي.

شكل (12) رطوبة منطقة الجذور في محطة شحات (1981-2024م)



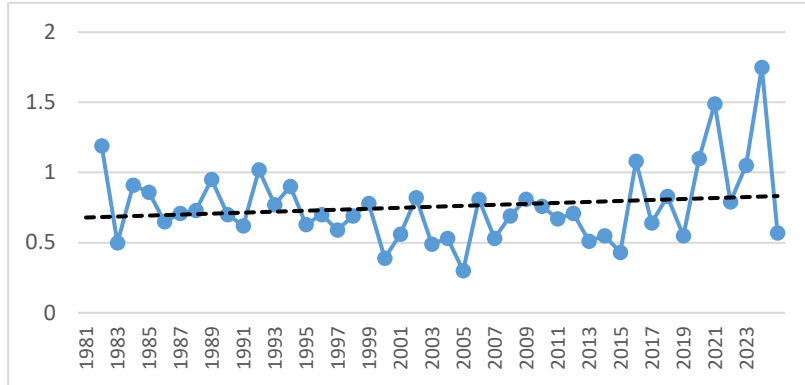
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)



الثاني عشر: إجمالي الهطول المطري .

تُظهر السلسلة الزمنية لإجمالي الهطول المطري تذبذبًا سنويًا كبيرًا دون وجود اتجاه عام واضح نحو الزيادة أو النقصان. وتتميز القيم المطرية بعدم التجانس الشديد بين السنوات، حيث تتناوب سنوات مطيرة وأخرى جافة. كما يلاحظ أن التغيرات المطرية أكثر حدة مقارنة بالعناصر الحرارية. ويعكس هذا السلوك طبيعة النظام المطري غير المنتظم في المنطقة. ولا تعكس المتوسطات السنوية حقيقة هذا التذبذب. ويُعد الهطول من أكثر العناصر المناخية تطرفًا. وتؤكد النتائج محدودية الاعتماد على المتوسطات فقط.

شكل (13) إجمالي الهطول المطري في محطة شحات (1981-2024م)

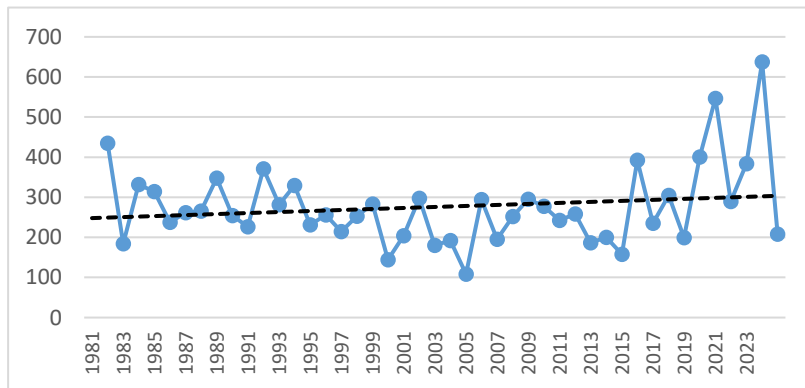


المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

الثالث عشر: مجموع إجمالي الهطول .

يبين تحليل السلسلة الزمنية لمجموع الهطول المطري تذبذبًا عاليًا مع تسجيل بعض السنوات الحديثة لكميات مرتفعة بشكل استثنائي. ولا يظهر اتجاه تصاعدي منتظم، وإنما تركزت الزيادات في سنوات محددة. ويشير ذلك إلى تزايد التطرف المطري بدل الزيادة التدريجية. كما يعكس عدم استقرار النظام المطري على المدى الطويل. وتبرز سنوات حديثة كحالات مطرية قصوى. ويؤكد هذا السلوك وجود عدم تجانس زمني واضح. وتدل النتائج على تغير نمط توزيع الأمطار.

شكل (14) مجموع إجمالي الهطول في محطة شحات (1981-2024م)



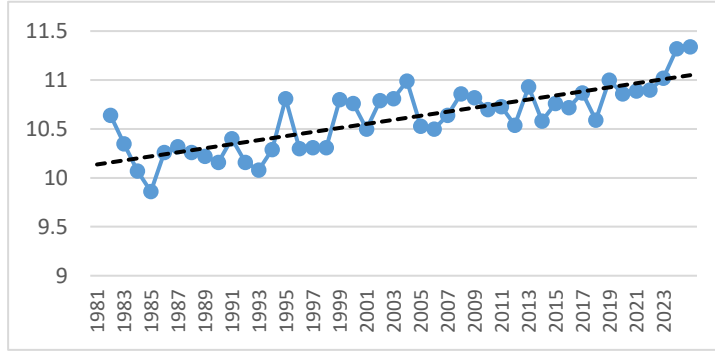
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)



الرابع عشر: بخار الماء النوعي عند 2 متر: (QV2M)

يبين تحليل السلسلة الزمنية لبخار الماء النوعي اتجاهًا تصاعديًا واضحًا خلال فترة الدراسة. ويعكس ذلك زيادة المحتوى الرطوبي الفعلي في الهواء. ويتوافق هذا الاتجاه مع الارتفاع في درجات الحرارة. كما تشير النتائج إلى قدرة الهواء الدافئ على حمل كميات أكبر من بخار الماء. ويُعد هذا المتغير مؤشرًا مهمًا للتغيرات الهيدرولوجية والمناخية. ويبرز تباين واضح بينه وبين الرطوبة النسبية. وتؤكد النتائج زيادة الرطوبة المطلقة للغلاف الجوي.

شكل (15) بخار الماء النوعي في محطة شحات (1981-2024م)

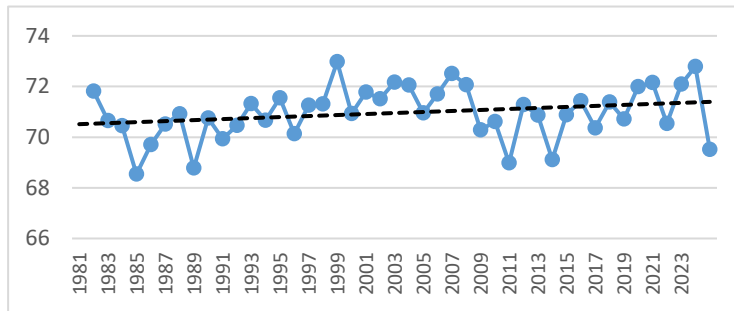


المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

الخامس عشر: الرطوبة النسبية عند 2 متر .

تشير السلسلة الزمنية للرطوبة النسبية عند ارتفاع 2 متر إلى ميل تنازلي طفيف عبر فترة الدراسة. ويحدث ذلك رغم الزيادة المسجلة في بخار الماء النوعي. ويُفسر هذا السلوك بارتفاع درجات الحرارة الذي يقلل من درجة التشبع النسبي للهواء. كما تعكس النتائج تغيرًا في خصائص الراحة المناخية. ولا تظهر تقلبات حادة، بل تغير تدريجي. ويبرز التباين بين الرطوبة النسبية والمطلقة. وتؤكد النتائج التأثير غير المباشر للاحتراق.

شكل (16) الرطوبة النسبية عند 2 متر في محطة شحات (1981-2024م)



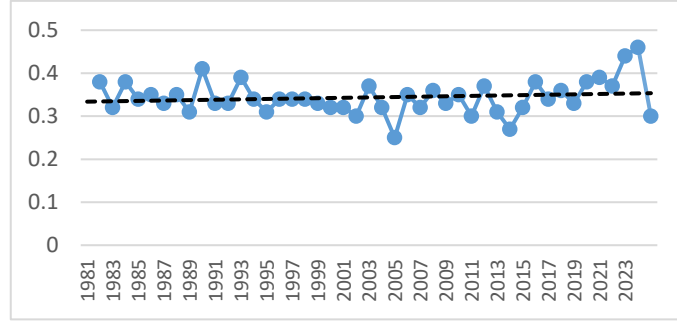
المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

السادس عشر: رطوبة سطح التربة:

تُظهر السلسلة الزمنية لرطوبة سطح التربة تذبذبًا أكبر مقارنة برطوبة منطقة الجذور. وتتميز بحساسية عالية للتغيرات المطرية والحرارية السريعة. كما تسجل انخفاضات واضحة خلال السنوات الجافة أو الحارة. ويعكس ذلك تأثير التبخر المباشر ودرجة حرارة السطح. ولا يظهر اتجاه طويل الأمد واضح، بل تذبذب موسمي وسنوي. وتبرز هذه الطبقة كأكثر طبقات التربة تأثرًا بالعوامل المناخية. وتؤكد النتائج عدم تجانس الاستجابة الرطوبية.



شكل (17) رطوبة سطح التربة في محطة شحات (1981–2024م)



المصدر: من عمل الباحثة بناءً على الجدول رقم (2)

وانعكاسه على الموارد المائية في محطة شحات(1981–2024)

تُظهر نتائج تحليل السلاسل الزمنية لعناصر المناخ في محطة شحات خلال الفترة (1981–2024) وجود تغير زمني واضح يتمثل في اتجاه تصاعدي عام لدرجات الحرارة مقابل تذبذب وعدم انتظام في كميات الهطول المطري. فقد سجلت درجة الحرارة عند 2 متر، إضافة إلى القيم القصوى والدنيا، اتجاهًا تصاعديًا مستمرًا، مع بروز أوضح لارتفاع القيم القصوى بعد عام 2000، ما يعكس تزايد التطرف الحراري. ويؤكد تزايد المدى الحراري اليومي هذا السلوك، حيث يشير إلى اتساع الفجوة بين درجات الحرارة العظمى والصغرى، وهو أحد مظاهر عدم التجانس المناخي في المنطقة.

في المقابل، لم يُظهر الإشعاع الشمسي قصير الموجة اتجاهًا تصاعديًا واضحًا، ما يدل على أن الارتفاع الحراري المسجل لا يعود إلى زيادة مباشرة في الطاقة الإشعاعية الواصلة، بل إلى تغير في التوازن الحراري العام للغلاف الجوي. ويتعزز هذا الاستنتاج من خلال الارتفاع المتزامن في درجة حرارة السطح، التي سجلت قيمًا أعلى من درجة حرارة الهواء في معظم السنوات، ما يشير إلى زيادة امتصاص السطح للطاقة الحرارية وتسارع عمليات التسخين السطحي، خاصة خلال العقود الأخيرة.

أما من حيث الهطول المطري، فتُظهر نتائج التحليل عدم وجود اتجاه زمني منتظم في إجمالي الهطول أو مجموع الهطول، مقابل تذبذب سنوي شديد وتكرار لسنوات مطرية قصوى وأخرى جافة. ويعكس هذا السلوك تحول النظام المطري من نمط شبه منتظم إلى نمط أكثر تطرفًا وعدم تجانس، حيث تتركز كميات كبيرة من الأمطار في سنوات محددة دون ضمان استمراريتها. ويُعد هذا التغير أحد أهم مظاهر التغير المناخي المحلي، نظرًا لارتباطه المباشر بالموارد المائية.

ويظهر انعكاس هذا التباين الحراري والمطري بوضوح في عناصر الرطوبة المختلفة. فقد سجلت الرطوبة النسبية عند 2 متر تباينًا طفيفًا، رغم الزيادة الواضحة في بخار الماء النوعي ودرجة حرارة الندى، وهو ما يشير إلى أن الهواء أصبح أكثر احتواءً على بخار الماء، لكنه أقل تشبعًا بسبب ارتفاع درجات الحرارة. ويُعد هذا التناقض بين الرطوبة المطلقة والنسبية مؤشرًا على زيادة الطلب التبخيري للغلاف الجوي، ما يؤثر سلبيًا على توازن المياه السطحية.

أما على مستوى التربة، فتُظهر رطوبة سطح التربة استجابة سريعة للتغيرات المطرية والحرارية، مع تذبذب واضح وانخفاضات خلال الفترات الحارة والجافة، ما يعكس ارتفاع معدلات التبخر وفقدان المياه السطحية. في حين أظهرت رطوبة منطقة الجذور ورطوبة التربة على عمق 2 متر استقرارًا نسبيًا واتجاهًا تصاعديًا طفيفًا، ما يدل على قدرة الطبقات الأعمق على تخزين المياه لفترات أطول وامتصاص الصدمات المناخية قصيرة المدى. ويعزز هذا السلوك مفهوم "الذاكرة الهيدرولوجية" للتربة، حيث لا تستجيب الموارد المائية الجوفية الضحلة مباشرة للتقلبات السنوية في الهطول.

ومن خلال الربط بين هذه النتائج، يتضح أن التغير الزمني في محطة شحات يتسم باحترار متزايد يقابله عدم انتظام مطري، ما يؤدي إلى ضغط متزايد على الموارد المائية السطحية، خاصة خلال السنوات الجافة. ورغم تسجيل بعض السنوات الحديثة لكميات مطرية



مرتفعة، إلا أن ارتفاع درجات الحرارة وزيادة الطلب التبخري يقللان من فعالية هذه الأمطار في تحسين الرصيد المائي السطحي. في المقابل، تحتفظ الطبقات العميقة من التربة بجزء من هذه المياه، ما يخفف جزئيًا من آثار الجفاف، لكنه لا يعوض النقص طويل الأمد في الموارد المائية المتجددة.

وعليه، تشير نتائج تحليل الاتجاه الزمني إلى أن منطقة شحات تشهد تحولًا مناخيًا يتمثل في ارتفاع حراري مستمر وتزايد في التطرف المطري، الأمر الذي يفرض تحديات مستقبلية على استدامة الموارد المائية، خاصة في القطاعات الزراعية والبيئية. وتؤكد هذه النتائج أهمية الاعتماد على مؤشرات الاتجاه والتذبذب المناخي، وليس المتوسطات فقط، عند تقييم أثر التغير المناخي على الموارد المائية المحلية. العناصر المناخية الفصلية:

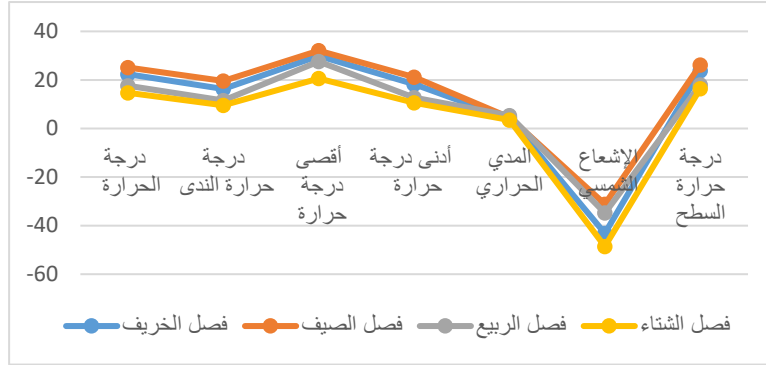
هي المتغيرات المناخية الموسمية تبرز أهميتها لأنها تساعد على فهم نمط التغير السنوي وتأثيراته على الأنظمة البيئية. أن التغيرات الفصلية في المتغيرات المناخية مثل درجات الحرارة والهطول تُعد عنصرًا أساسيًا لتعريف المناخ وفهم تذبذب النظم المناخية عبر الزمن، ويُعرّف بدور هذه المتغيرات خلال العام وليس فقط بالمتوسطات السنوية (Carré, 2017, p.173-177)

جدول (3) "المتوسطات الفصلية للعناصر المناخية ورطوبة التربة في محطة شحات (1981-2024م)"

العناصر	فصل الشتاء	فصل الربيع	فصل الصيف	فصل الخريف
درجة الحرارة عند 2 متر	14.74	17.58	25.07	22.31
درجة حرارة الندى عند 2 متر	9.52	11.58	19.59	16.24
رطوبة التربة على عمق 2 متر	12.13	14.58	22.33	19.27
أقصى درجة حرارة عند 2 متر	20.59	27.57	32.06	29.89
أدنى درجة حرارة عند 2 متر	10.60	12.72	21.18	18.22
المدى الحراري	3.47	5.30	4.59	4.05
الإشعاع الشمسي قصير الموجة	-48.56	-34.79	-31.13	-43.17
درجة حرارة السطح	16.43	18.04	26.23	23.74
ضغط السطح الجوي	100.51	100.19	100.03	100.37
رطوبة التربة	0.49	0.46	0.37	0.38
رطوبة منطقة الجذور	0.50	0.47	0.37	0.39
رطوبة سطح التربة	0.48	0.41	0.20	0.28
إجمالي الهطول	1.72	0.50	0.04	0.75
مجموع إجمالي الهطول	52.03	15.28	1.02	22.73
مقدار بخار الماء النوعي عند 2 متر	7.46	8.65	14.47	11.74
الرطوبة النسبية عند 2 متر	71.57	69.78	73.01	69.46

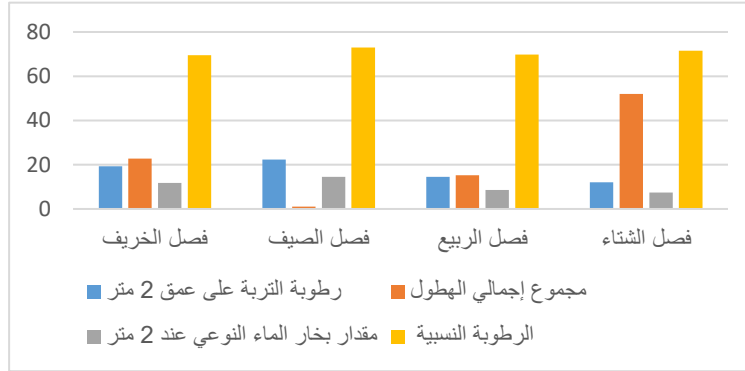
المصدر: من عمل الباحثة بناءً علي الجدول رقم (1)

شكل (18) المتوسطات الفصلية لعناصرالحرارة في محطة شحات (1981-2024م)



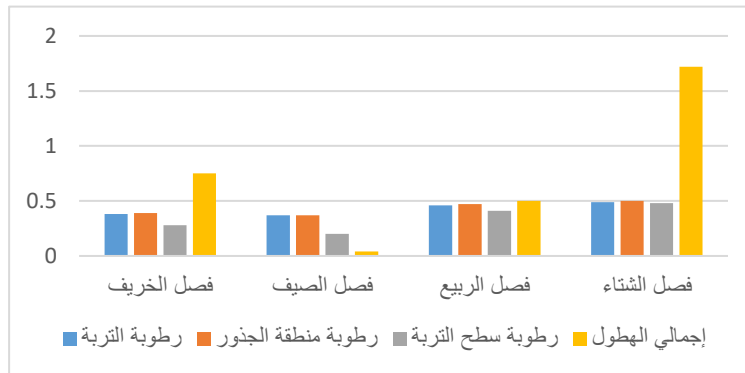
المصدر: من عمل الباحثة بناءً علي الجدول رقم (3)

شكل (19) المتوسطات الفصلية لعناصرالرطوبة في محطة شحات (1981-2024م)



المصدر: من عمل الباحثة بناءً علي الجدول رقم (3)

شكل (20) المتوسطات الفصلية لإجمالي الهطول وعناصررطوبة التربة في محطة شحات (1981-2024م)



المصدر: من عمل الباحثة بناءً علي الجدول رقم (3)



التحليل الفصلي للعناصر المناخية و انعكاسها على الموارد المائية في محطة شحات

تُظهر المتوسطات الفصلية لدرجة الحرارة عند 2 متر في محطة شحات تباينًا حراريًا واضحًا بين الفصول، حيث يسجل فصل الصيف أعلى القيم الحرارية، يليه فصل الخريف، بينما تنخفض درجات الحرارة خلال فصل الشتاء لتسجل أدنى مستوياتها. ويعكس هذا التدرج الحراري الموسمي زيادة الطلب التبخري خلال الصيف مقابل تحسن نسبي في الظروف المائية خلال الشتاء. كما يتوافق هذا السلوك مع توزيع درجة حرارة السطح التي تبلغ ذروتها في الصيف، ما يعزز من فقدان المياه السطحية خلال هذا الفصل.

وتؤكد القيم الفصلية لدرجات الحرارة العظمى والدنيا وجود تطرف حراري صيفي واضح، حيث يسجل فصل الصيف أعلى قيم لكل من T2M_MAX و T2M_MIN، بينما يتميز فصل الشتاء بانخفاض واضح في القيم الحرارية. ويظهر المدى الحراري اليومي أعلى قيمه خلال فصل الربيع ثم الصيف، ما يشير إلى تذبذب حراري أكبر خلال الفترات الانتقالية والحارة، وهو ما ينعكس سلبًا على استقرار الموارد المائية السطحية والتربة.

أما الإشعاع الشمسي قصير الموجة، فيُظهر نمطًا فصليًا منتظمًا يتمثل في ارتفاعه خلال فصل الصيف وانخفاضه خلال فصل الشتاء، ما يفسر جزئيًا الارتفاع الحراري الصيفي. ويتزامن ذلك مع انخفاض نسبي في ضغط السطح الجوي خلال الصيف مقارنة بالشتاء، وهو سلوك مناخي طبيعي يعكس سيادة الظروف الحارة والمنخفضات الحرارية خلال هذا الفصل.

ويُظهر الهطول المطري تباينًا فصليًا حادًا، حيث يتركز الجزء الأكبر من الأمطار خلال فصل الشتاء، بينما يكاد ينعدم الهطول خلال فصل الصيف. ويسجل فصل الخريف والربيع كميات متوسطة مقارنة بالشتاء. ويؤدي هذا التوزيع غير المتوازن إلى فائض مائي موسمي خلال الشتاء يقابله عجز مائي واضح خلال الصيف، ما يعكس طبيعة النظام المطري المتوسطي السائد في المنطقة.

تُظهر بيانات محطة شحات خلال الفترة (1981-2024م) تغيرًا زمنيًا ملحوظًا في درجات الحرارة والأمطار انعكاس بشكل مباشر على الموارد المائية. فقد بلغ متوسط درجة الحرارة السنوية عند ارتفاع مترين نحو 19.96°C ، مع تسجيل أعلى قيم سنوية وصلت إلى 35°C مقابل أدنى قيم بحدود 9.25°C ، ما يدل على اتجاه عام نحو ارتفاع الحرارة. كما بلغ متوسط المدى الحراري السنوي 4.35°C ، وازداد التباين الشهري ليصل إلى 5.77°C خلال شهر مايو، وهو ما يعزز زيادة معدلات التبخر وفقدان المياه السطحية، خاصة خلال الفترات الحارة. ويتزامن هذا الارتفاع الحراري مع زيادة بخار الماء النوعي ليصل إلى 14.47 غ/كغ في فصل الصيف، في حين استقرت الرطوبة النسبية بين 70% – 73% ، وهي قيم تشير إلى طاقة تبخر مرتفعة تؤدي إلى استنزاف الموارد المائية وارتفاع الاحتياجات المائية للزراعة. وفي المقابل، تُبرز بيانات الهطول المطري تذبذبًا واضحًا وعدم انتظام زمني، حيث بلغ متوسط الهطول السنوي حوالي 273.16 ملم ، إلا أن توزيعه الفصلي غير متوازن، إذ سُجِّلَت أعلى القيم خلال فصل الشتاء بمتوسط 52.03 ملم مقابل انخفاض شديد في فصل الصيف لم يتجاوز 1.02 ملم . كما أظهرت السجلات سنوات جافة تمامًا مقابل سنوات مطيرة بلغت فيها القيم القصوى 182.68 ملم ، ما يعكس عدم استقرار التغذية المائية للموارد السطحية والجوفية. وتدعم هذه النتائج بيانات رطوبة التربة، حيث تراوحت رطوبة التربة على عمق مترين بين 18.32% – 16.39% ، وهو ما يدل على قدرة الطبقات العميقة على الاحتفاظ بالمياه لفترات أطول، في حين انخفضت رطوبة منطقة الجذور إلى 0.53 – 0.36 ووسط التربة إلى 0.51 – 0.15 ، ما يؤكد تأثير الطبقات العليا بالجفاف الصيفي السريع.

وبالاستناد إلى هذه الأرقام، يتضح أن تزامن ارتفاع درجات الحرارة واتساع المدى الحراري مع عدم انتظام الهطول المطري يؤدي إلى زيادة الضغط على الموارد المائية في محطة شحات، خاصة خلال فصل الصيف، حيث يعتمد النظام المائي بدرجة أكبر على المخزون الرطوبي في التربة العميقة للتخفيف من آثار الإجهاد المائي. وفي المقابل، تسهم الأمطار الشتوية في إعادة تغذية جزئية لهذه الموارد، إلا أن عدم انتظامها الزمني يجعل استدامة الموارد المائية مرتبطة بشكل مباشر بالتغيرات الحرارية والهيدرولوجية المستمرة في المنطقة.



النتائج :

1. سجلت درجة الحرارة عند 2 متر (T2M) ارتفاعًا تدريجيًا خلال الفترة 1981-2024م، مع زيادة أوضح بعد عام 2000.
2. ارتفعت أقصى درجات الحرارة (T2M_MAX) بشكل أكبر من المتوسطات، ما يدل على تزايد موجات الحر.
3. سجلت أدنى درجات الحرارة (T2M_MIN) ارتفاعًا تدريجيًا، مما يقلل من فترات البرودة الشديدة.
4. ارتفع المدى الحراري اليومي مع اتساع الفارق بين القيم العظمى والصغرى.
5. لم يُظهر الإشعاع الشمسي قصير الموجة أي اتجاه تصاعدي، ما يشير إلى أن الاحترار ليس بسبب زيادة الإشعاع.
6. لم يظهر الهطول المطري إجماليًا أو مجموع اتجاهًا زمنيًا منتظمًا، بل تذبذب شديد بين السنوات.
7. لوحظ انخفاض طفيف في الرطوبة النسبية عند 2 متر مع زيادة بخار الماء النوعي ودرجة حرارة الندى، ما يعكس زيادة الطلب التبخري.
8. أظهرت رطوبة سطح التربة تذبذبًا كبيرًا وانخفاضًا خلال الفترات الحارة والجافة.
9. حافظت رطوبة منطقة الجذور ورطوبة التربة على عمق 2 متر على استقرار نسبي واتجاه تصاعدي طفيف، ما يعكس قدرة التربة العميقة على تخزين المياه.
10. أدى الاحترار وتذبذب الهطول المطري إلى ضغوط متزايدة على الموارد المائية السطحية، مع حفاظ جزئي للطبقات العميقة على جزء من الرطوبة.

التوصيات:

1. تعزيز مراقبة درجات الحرارة والهطول المطري لتحديث البيانات المناخية المحلية بشكل مستمر.
2. تحسين إدارة الموارد المائية السطحية والجوفية لمواجهة التقلبات المناخية.
3. اعتماد أساليب الزراعة المقاومة للجفاف لتقليل الضغط على المياه خلال السنوات الجافة.
4. تعزيز استراتيجيات الاحتفاظ بالرطوبة في التربة السطحية والعميقة مثل استخدام التغطية النباتية.
5. استخدام مؤشرات التطرف الحراري والمطري، وليس المتوسطات فقط، عند التخطيط المائي والزراعي.
6. تطوير خطط تحوطية لتقليل تأثير موجات الحر والجفاف على الموارد المائية والزراعة المحلية.

المراجع

المراجع العربية :

1. البشر الطاهر مسعود، *الاتجاه العام لمعدلات الأمطار ودورها في حدوث ظاهرة التصحر في منطقة سهل أجفارة*، المجلة الجامعية، المجلد 2، العدد 17، أغسطس 2015.
2. جمعة أرحومة جمعة الجالي – اتجاهات التغير في كميات الأمطار بشمال شرقي ليبيا خلال الفترة من 1961 إلى 2010 م، *مجلة المختار للعلوم الإنسانية*، مجلد 38 عدد 1، ليبيا، 2020.
3. علي مصطفى سليم وعادل أحمد حويل – تحليل اتجاهات درجات الحرارة في منطقة شحات بشمال شرق ليبيا للمدة 1970-2020، *مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية*، مجلد 4 عدد 2، ليبيا، 2024.
4. علي مصطفى سليم، الصادق مصطفى سواالم، وفاطمة صالح أبشير – التحليل المناخي لمؤشرات التغير في درجات الحرارة بمحطة أرصاد مدينة طرابلس خلال الفترة 1919-2020، *مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية*، مجلد 6 عدد 1، ليبيا، 2024.
5. عمر إمام محمد علي عنينة – تحليل اتجاه التغير في متوسطات أمطار فصل الخريف في مصراتة (1960-2023 م)، *مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية*، مجلد 6 عدد 1، ليبيا، 2024.
6. محمد عياد مقبلي – الاحتباس الحراري العالمي وأثره على التطرف المطري والحراري بمحطتي أرصاد ليبية، *مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية*، مجلد 4 عدد 2، ليبيا، 2024.



7. محمود سعد إبراهيم – اتجاهات التغير في كميات الأمطار وأثرها في التصحر في شرق الجبل الأخضر، مجلة المختار للعلوم الإنسانية، مجلد 10 عدد 1، ليبيا، 2010.

8. محمود محمد عبد المولى – مؤشرات التغير المناخي في منطقة الجفرة: تحليل اتجاهات درجات الحرارة للفترة 2010–2024، مجلة الأبعاد العلمية والإنسانية، مجلد 1 عدد 2، ليبيا، 2025.

المراجع الأجنبية:

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC, Geneva, Switzerland, pp. SPM-1–SPM-4.

2. Carré, M. & Cheddadi, R. (2017). Seasonality in Long-Term Climate Change. *Quaternaire*, 28(2), 173–177.

المراجع الإلكترونية:

1. <https://power.larc.nasa.gov>