Middle East Journal of Humanities and Cultural Studies
Homepage: http://meijournals.com/ar/index.php/mejljs/index
ISSN: 2710-2238 (PRINT)
ISSN: 2788-4686 (ONLINE)
مجلة الشرق الأوسط للعلوم الإنسانية والثقافية
MESR منار الشرق للدراسات والأبحاث Manar Elsharq for Studies & Research

التحليل المكاني – الزماني لاتجاهات الهطول وخصائص الجفاف الأرصادي متعدد المقاييس الزمنية في محافظة نينوى باستخدام بيانات CHIRPS v3 ومؤشر SPI للمدة 2025–1981

ياسر صكبان عبدالله محمد

المديرية العامة لتربية صلاح الدين قسم الدجيل – وزارة التربيه

استلام البحث: 14-06-2026 مراجعة البحث : 14-07-2026 قبول البحث: 07-08-2026

الملخص

استهدف البحث تحليل التباين المكاني–الزماني للهطول وخصائص الجفاف الأرصادي في محافظة نينوى خلال المدة (1981–)2025، بالاستناد إلى بيانات CHIRPS v3 الخماسية ذات الدقة المكانية 0.05°، وتجميعها إلى 540 طبقة شهرية. شمل التحليل الهطول السنوي والموسم المطري (تشرين الأول–أيار) والشتاء (كانون الأول–شباط) والربيع (آذار–أيار)، فضلا عن مؤشر الهطول المعياري SPI عند المقاييس 3 و6 و12 شهرا. قُدرت اتجاهات الهطول بميل سن، واختبرت دلالتها باختبار مان–كندال بعد المعالجة المسبقة الخالية من الاتجاه للارتباط الذاتي من الرتبة الأولى، مع ضبط تعدد الاختبارات مكانيا بطريقة Benjamini–Hochberg. كما استخرجت خصائص أحداث الجفاف وفق نظرية التتابعات: التكرار، والمدة، والشدة، ومتوسط الشدة، والذروة، والمساحة المتأثرة، وأجريت مقارنة بين الفترات 1981–1995 و1996–2010 و2011–2025، واختبار Pettitt لنقاط التحول. بلغ المتوسط الإقليمي للهطول السنوي 429.2 ملم، وبلغ متوسط الموسم المطري 427.0 ملم. كان عام 1989 الأشد جفافا سنويا (215.6 ملم؛ شذوذ −51.8%)، في حين كان 2018 الأكثر مطرا (801.6 ملم؛ +79.3%). أظهر ميل سن الإقليمي انخفاضا مقداره −1.18 ملم/سنة للهطول السنوي و−0.69 ملم/سنة للموسم المطري، إلا أن الاتجاهين لم يكونا دالين إحصائيا. مكانيا، غطت الميول السالبة 90.4% من مساحة المحافظة للهطول السنوي، لكن لم تبق أية خلايا دالة بعد تصحيح FDR. ارتفع تكرار الجفاف في الفترة 2011–2025 مقارنةً بـ1981–1995 بنحو 5.0 و10.4 و10.0 نقاط مئوية لمقاييس SPI–3 وSPI–6 وSPI–12، على التوالي. وسجلت أبرز الأحداث الإقليمية خلال 2020–2022 على SPI–3، و2007–2009 على SPI–6، و2021–2024 على SPI–12. لم يكشف اختبار Pettitt عن نقطة تحول معنوية في سلاسل الهطول أو عدد أشهر الجفاف. وتدل النتائج على انتقال نحو جفاف أكثر تكرارا واتساعا في الفترة الحديثة، من دون دليل إحصائي كافٍ على تحول فجائي أو اتجاه طويل الأمد معنوي بعد التصحيح المكاني.

الكلمات المفتاحية: نينوى: CHIRPS v3, مؤشر SPI, الجفاف الأرصادي, ميل سن، مان–كندال, التحليل المكاني–الزماني، Google Earth Engine.

Abstract:

This study analyzes the spatiotemporal variability of precipitation and meteorological drought characteristics in Nineveh Governorate during 1981–2025 using 0.05° CHIRPS v3 pentadal precipitation aggregated into 540 monthly layers. Annual, rainy-season (October–May), winter (December–February), and spring (March–May) precipitation were assessed. The Standardized Precipitation Index was computed at 3-, 6-, and 12-month timescales using a zero-adjusted Gamma distribution. Precipitation trends were quantified by Sen's slope and

tested using the Mann–Kendall test after trend-free prewhitening; spatial multiple testing was controlled by the Benjamini–Hochberg false discovery rate procedure. Drought events were characterized by frequency, duration, severity, intensity, peak, and affected area, and were compared across 1981–1995, 1996–2010, and 2011–2025. Pettitt's test was used to identify possible abrupt change points. The regional annual precipitation mean was 429.2 mm, while rainy-season precipitation averaged 427.0 mm. The driest annual condition occurred in 1989 (215.6 mm; −51.8% anomaly), whereas 2018 was the wettest year (801.6 mm; +79.3%). Regional Sen slopes were −1.18 mm yr−1 for annual precipitation and −0.69 mm yr−1 for the rainy season, but neither trend was statistically significant. Negative annual slopes covered 90.4% of the governorate, although no grid cell remained significant after FDR correction. Relative to 1981–1995, drought frequency during 2011–2025 increased by approximately 5.0, 10.4, and 10.0 percentage points for SPI-3, SPI-6, and SPI-12, respectively. The most prominent regional events occurred in 2020–2022 (SPI-3), 2007–2009 (SPI-6), and 2021–2024 (SPI-12). Pettitt's test detected no significant change point. Results indicate a recent increase in drought frequency and spatial extent, but not a statistically robust abrupt shift or long-term precipitation trend after spatial multiplicity correction.
Keywords : Nineveh ; CHIRPS v3 ; SPI ; meteorological drought; Sen's slope; Mann–Kendall ; spatiotemporal analysis.

المقدمة

يمثل الجفاف الأرصادي واحدا من أكثر الأخطار المناخية تعقيدا بسبب بطء نشأته، واتساع آثاره مكانيا وزمنيا، وتفاوت انعكاساته بين الزراعة والموارد المائية والنظم البيئية. ولا يعرف الجفاف بوصفه قيمة مطلقة للهطول، بل بوصفه عجزا نسبيا عن الحالة المناخية المعتادة يمتد مدة كافية لإحداث ضغط على الأنظمة الطبيعية والبشرية (Ahmad & Kamaruddin, 2021, p. 4481), وتزداد أهمية هذا الموضوع في البيئات شبه الجافة، حيث يكون التباين السنوي والموسمي مرتفعا، وتؤدي بضعة مواسم مطرية ضعيفة متعاقبة إلى تضخيم الأثر التراكمي للعجز المائي.

أدى ضعف كثافة محطات الرصد وطول الفجوات الزمنية في عدد من مناطق العراق إلى توسيع استخدام منتجات الهطول الشبكية. وتوفر CHIRPS v3 سجلاً شبه عالمي يبدأ عام 1981، بدقة 0.05°، يجمع بين تقديرات الأقمار الاصطناعية الحرارية ومحطات القياس والمناخية عالية الدقة ((Al-Quraishi & Gaznayee, 2021, p. 2)). وقد حسن الإصدار الثالث تمثيل المتوسط والتباين والأحداث المتطرفة مقارنةً بالإصدار السابق (Ahmad & Kamaruddin, 2021, p. 4481) . كما تتيح منصة Google Earth Engine معالجة السلاسل الطويلة وإجراء التحليلات المكانية المتكررة بكفاءة (Al-Timimi, 2014, p. 36). وأثبتت دراسات شمال العراق قدرة CHIRPS على إعادة بناء سلاسل SPI بدرجات ارتباط مقبولة في المواقع التي توفرت فيها بيانات محطات (Awchi & Kalyana, 2017, p. 451)، بينما بيّنت دراسات عراقية أخرى تكرار سنوات جفاف بارزة، منها 1989 و1999–2000 و2008–2009 و2011–2012 و2021 (Al-Timimi, 2014, p. 36; Awchi & Kalyana, 2017, p. 451; Jasim & Awchi, 2020, p. 1; Al-Quraishi et al., 2021, p. 2)يعد مؤشر الهطول المعياري SPI من أكثر المؤشرات استخداما لتوصيف الجفاف الأرصادي بسبب بساطة مدخلاته وإمكان حسابه عند مقاييس زمنية متعددة (Climate Hazards Center, 2025, Repository). فالمقياس القصير SPI-3 أكثر حساسية للعجز الموسمي ورطوبة التربة، في حين يعكس SPI-6 تراكما موسميا أطول،(Farr et al., 2007, p. 1) ويقترب SPI-12 من الاستجابة السنوية لمكونات التخزين

والجريان. غير أن الاعتماد على قيمة SPI الشهرية وحدها لا يصف البنية الكاملة للحدث؛ لذلك ينبغي تحليل المدة والشدة والذروة والمساحة المتأثرة وفق مفهوم التتابعات(McKee et al., 1993, p. 179) .

تكمن الفجوة البحثية في الحاجة إلى تحليل متكامل لمحافظة نينوى يجمع بين: الاتجاهات المكانية للهطول السنوي والموسمي، الجفاف متعدد المقاييس، خصائص الأحداث والمساحات المتأثرة، مقارنة فترات متساوية الطول، وضبط مشكلة تعدد الاختبارات مكانياً. ويهدف البحث إلى توفير هذا التكامل للمدة 1981–2025 باستخدام CHIRPS v3، مع التمييز الصريح بين اتساع الميل المكاني وبين دلالته الإحصائية بعد تصحيح FDR.

1.1 مشكلة البحث

تتمثل المشكلة في عدم وضوح ما إذا كانت محافظة نينوى شهدت تغيراً منظماً في كميات الهطول وخصائص الجفاف خلال العقود الأربعة والنصف الماضية، وما إذا كان التغير الحديث يمثل اتجاهاً طويل الأمد أو مجرد تذبذب بين فترات مناخية رطبة وجافة. كما أن استخدام مقياس زمني واحد للجفاف قد يقود إلى استنتاجات ناقصة، لأن عدد الأحداث ومددها وشدتها تتغير جذرياً باختلاف نافذة التراكم.

1.2 فرضيات البحث

1. تتباين معدلات الهطول مكانيا تبعا للتدرج التضاريسي من الجنوب والغرب نحو الشمال والشمال الشرقي.
2. تسود ميول تناقصية للهطول في أجزاء واسعة من المحافظة، لكن دلالتها قد تتراجع بعد تصحيح تعدد الاختبارات مكانيا.
3. ترتفع مدة الجفاف وشدته كلما ازداد مقياس SPI، في حين ينخفض عدد الأحداث بسبب اندماج الفترات الجافة القصيرة في أحداث أطول.
4. تتميز الفترة 2011–2025 بتكرار ومساحة جفاف أعلى من الفترتين السابقتين، حتى في حال غياب نقطة تحول فجائية معنوية.

1.3 أهداف البحث

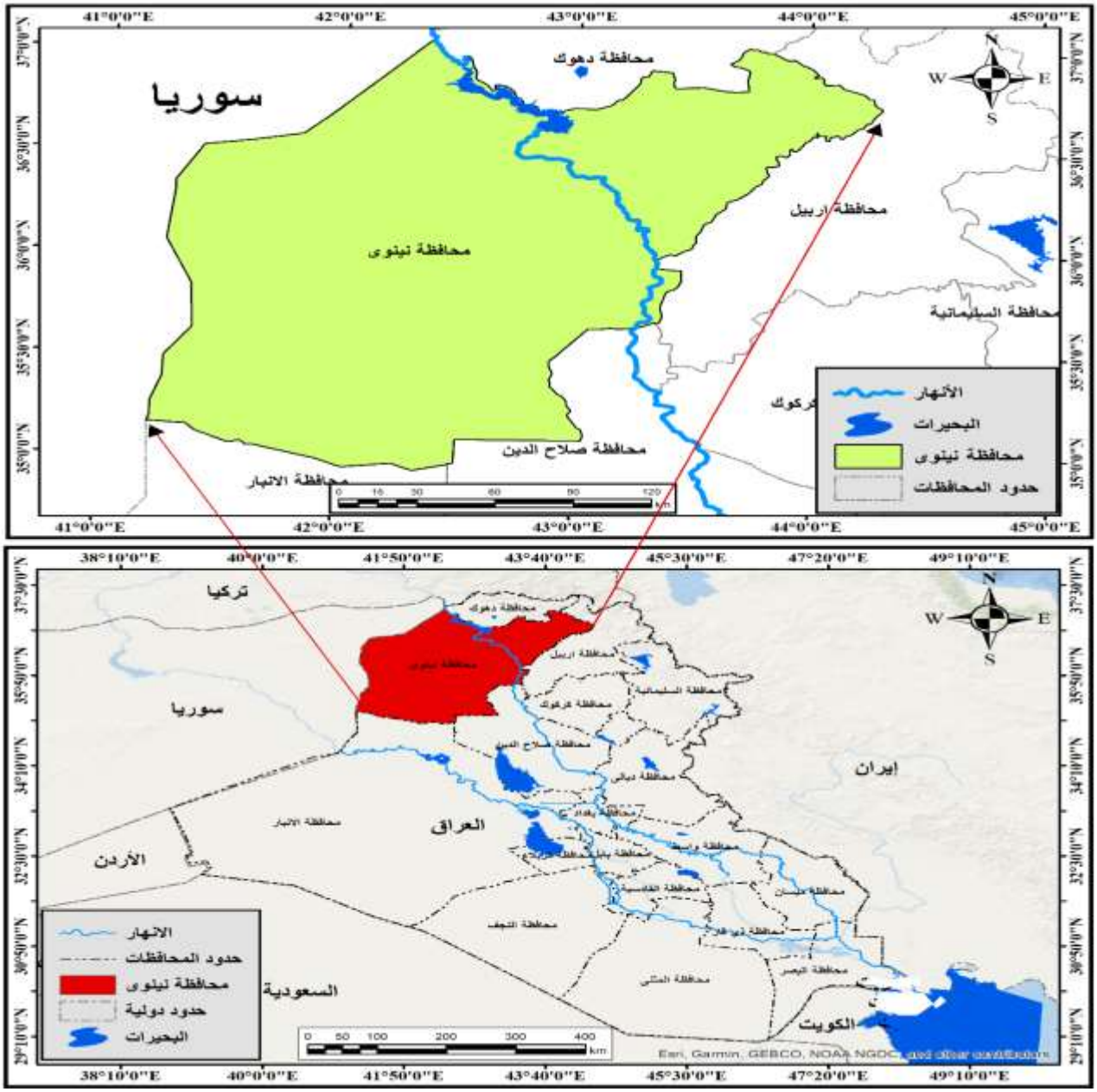
1. تحديد الأنماط المكانية للهطول السنوي والموسمي والتباين النسبي خلال(1981–2025).
2. قياس اتجاهات الهطول بميل سن واختبار دلالتها بعد معالجة الارتباط الذاتي وتصحيح FDR.
3. حساب SPI–3 وSPI–6 وSPI–12، واستخراج تكرار الجفاف وخصائص أحداثه ومساحاته المتأثرة.
4. مقارنة خصائص الجفاف بين ثلاث فترات متساوية الطول، واختبار نقاط التحول في السلاسل الإقليمية.
5. إنتاج لوحات خرائطية وجداول وأشكال قابلة للاستخدام في بحث ترقية علمية.

2. منطقة الدراسة

تقع محافظة نينوى في شمال العراق ضمن المجال التقريبي 34.93–37.06° شمالا و41.22–44.33° شرقا، وفق الحدود المكانية المرفقة. بلغت مساحة المضلع المستخدم في الحسابات نحو 40,846 كم²؛ ومن ثم فإن جميع النتائج

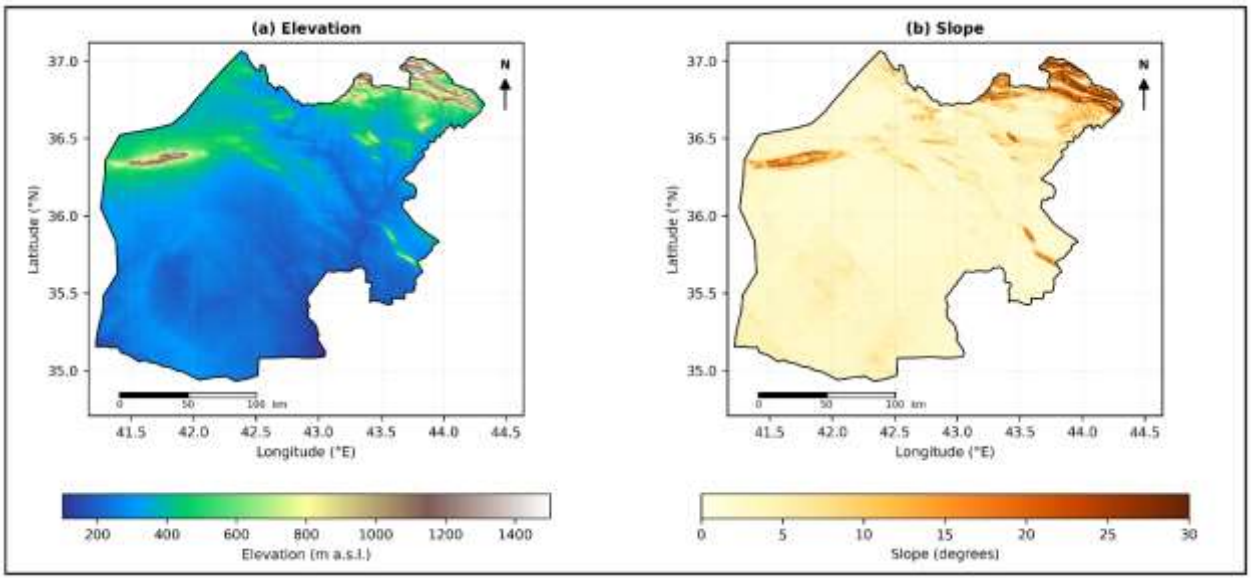
المساحية في هذا البحث مرتبطة بهذه الحدود الرقمية تحديدا. يتدرج الارتفاع من قرابة 95 م إلى 1,939 م فوق مستوى البحر، مع تركز المرتفعات في الشمال والشمال الشرقي وانخفاض التضرس في الأجزاء الوسطى والجنوبية والغربية. استخدمت بيانات SRTM لتوصيف الارتفاع والانحدار (Mishra & Singh, 2010, p. 202) . ويتوقع أن يسهم هذا التدرج في زيادة الهطول شمالا وشرقا بفعل الرفع التضاريسي، مقابل انخفاضه في السهول والهوامش الجنوبية الغربية.

خريطة رقم (1) لمنطقة الدراسة



المصدر / من اعداد الباحث بالاعتماد على برنامج Gis

شكل (1): الارتفاع والانحدار في محافظة نينوى وفق نموذج **SRTM**.



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على *SRTM* والحدود الإدارية المرفقة(Mishra & Singh, 2010, p. 202).

3. البيانات وطرائق العمل

3.1 مصادر البيانات والمعالجة الأولية

استُخدمت مجموعة CHIRPS v3 الخماسية في Google Earth Engine بالمعرف UCSB-CHC/CHIRPS/V3/PENTAD. تغطي المجموعة اليابسة بدقة 0.05°، ويبلغ الحجم الاسمي للبكسل في كتالوج Earth Engine نحو 5,566 م (Ahmad & Kamaruddin, 2021, p. 4481). جمعت قيم الخماسيات داخل كل شهر لتكوين 540 طبقة شهرية للمدة كانون الثاني 1981–كانون الأول 2025. ثم جمعت الأشهر لتكوين الهطول السنوي، والموسم المطري الممتد من تشرين الأول من السنة السابقة إلى أيار من السنة الحالية، والشتاء DJF، والربيع MAM. أظهرت طبقة الاكتمال توافر 100% من الأشهر في جميع خلايا منطقة الدراسة.

جدول (1): مواصفات البيانات وخطة التحليل.

العنصر	المواصفة
بيانات الهطول	CHIRPS v3 PENTAD، 0.05°، 1981–2025
عدد الطبقات الشهرية	540 شهراً
المقاييس الزمنية للهطول	سنوي؛ موسم مطري Oct–May؛ شتاء DJF؛ ربيع MAM
مقاييس SPI	3، 6، 12 شهراً
الفترة المرجعية للشذوذ	1991–2020

العنصر	المواصفة
فترات المقارنة	1981–1995؛ 1996–2010؛ 2011–2025
منصة المعالجة	Google Earth Engine [3]
الدقة والتصدير	EPSG:4326؛ شبكة 0.05°
الحدود المكانية	المضلع المرفق لمحافظة نينوى؛ مساحة ≈40,846 كم²

المصدر: إعداد الباحث استناداً إلى الخوارزمية والمخرجات المرفقة وبيانات CHIRPS v3.

3.2 الإحصاءات المناخية والشذوذات

يتم حساب المتوسط والانحراف المعياري ومعامل الاختلاف لكل خلية، ويعبر معامل الاختلاف عن عدم الاستقرار النسبي للهطول:

$$CV = (SD / \bar{P}) \times 100$$

ولحسب الشذوذ المطلق والنسبي بالقياس إلى متوسط 1991–2020، وهي الفترة القياسية المناخية المستخدمة في المخرجات:

$$A_t = P_t - \bar{P}_{1991-2020} \; ; \; A_t(\%) = A_t / \bar{P}_{1991-2020} \times 100$$

3.3 تحليل الاتجاهات المكانية

قُدر مقدار الاتجاه بواسطة ميل سن، وهو وسيط ميول جميع الأزواج الزمنية، ويتميز بالمتانة أمام القيم المتطرفة (Gorelick et al., 2017, p. 18):

$$\hat{\beta} = \text{median}[(x_j - x_i) / (j - i)] \; , \; i < j$$

ويتم اختبرت الدلالة باختبار مان–كندال غير المعلمي [(Funk et al., 2026, p. 1). ولتقليل أثر الارتباط الذاتي من الرتبة الأولى، طُبقت المعالجة المسبقة الخالية من الاتجاه (TFPW), إزالة اتجاه سن، تقدير r_1 على البواقي، إزالة(AR1)، ثم إعادة الاتجاه وتطبيق الاختبار (Guttman, 1999, p. 311)، استخدم حد تقريبي $|r_1| > 1.96/\sqrt{n}$ لتفعيل المعالجة. (Jasim & Awchi, 2020, p. 1) وبعد استخراج قيم p ثنائية الطرف، طُبق إجراء Benjamini–Hochberg عند $q=0.05$ لضبط معدل الاكتشافات الكاذبة بين الخلايا (Kendall, 1975, p. 22).

3.4 حساب مؤشر SPI

يتم حسب مؤشر SPI لكل شهر تقويمي على حدة بعد تجميع الهطول في نوافذ 3 و6 و12 شهرا. لُيتوائم القيم الموجبة بتوزيع غاما ذي المعلمتين، مع احتمال منفصل للقيم الصفرية، ثم حولت الاحتمالات التراكمية إلى التوزيع الطبيعي

المعياري, Guttman, 1999, p. 179; Edwards & McKee, 1997, p. 10) McKee et al., 1993, p. 311; WMO, 2012, p. 4; Stagge et al., 2015, p. 4027). استخدمت الخوارزمية تقريب Thom:

$$A = \ln(\bar{x}) - \text{mean}[\ln(x)]$$

$$\alpha = [1 + \sqrt{(1 + 4A/3)}] / 4A \quad ; \quad \beta = \bar{x} / \alpha$$

$$G(x) = q + (1 - q)G(x;\alpha,\beta) \quad ; \quad SPI = \Phi^{-1}[H(x)]$$

حيث q نسبة القيم الصفرية، وG دالة التوزيع التراكمي لغاما، وΦ^{-1} معكوس التوزيع الطبيعي المعياري. واعتمدت فئات WMO المبينة في الجدول الآتي .

جدول (2): تصنيف قيم مؤشر **SPI**.

قيمة **SPI**	التصنيف
≥ 2.00	رطب جداً جداً
1.50 إلى 1.99	رطب جداً
1.00 إلى 1.49	رطب متوسط
0.99− إلى 0.99	قريب من الطبيعي
1.00− إلى 1.49−	جفاف متوسط
1.50− إلى 1.99−	جفاف شديد
$\geq 2.00-$	جفاف متطرف

المصدر: (*WMO*).

3.5 تعريف حدث الجفاف وخصائصه

عرف الحدث وفق قاعدة McKee/WMO: يبدأ عندما تصبح SPI سالبة، ويعد حدثا مؤهلا إذا بلغ $SPI \leq -1$ مرة واحدة على الأقل، وينتهي عندما تعود SPI إلى الصفر أو القيم الموجبة (Farr et al., 2007, p. 1). وتتفق هذه الصياغة مع منطق التتابعات في تحليل الجفاف(McKee et al., 1993, p. 179). حسبت الخصائص الآتية لكل خلية وللسلسلة الإقليمية الموزونة بالمساحة:

المدة D: عدد الأشهر المتصلة داخل الحدث.

الشدة S: مجموع القيم المطلقة السالبة، $S = \Sigma(-SPI_t)$.

متوسط الشدة I: النسبة S/D.

الذروة: أدنى قيمة SPI داخل الحدث.

المساحة المتأثرة: مساحة ونسبة الخلايا التي تحقق SPI ≤ −1 و−1.5 و−2 في كل شهر.

تكرار الجفاف: نسبة الأشهر التي تحقق العتبة إلى العدد الصالح من الأشهر.

3.6 المقارنة المرحلية والسنة الهيدرولوجية ونقاط التحول

قُسم السجل إلى ثلاث فترات متساوية تقريبا: P1=1981–1995، P2=1996–2010، P3=2011–2025. أعيد حساب الأحداث داخل كل فترة مع قص الأحداث عند حدود الفترة لتجنب إسناد مدة عابرة للفترات إلى مرحلة واحدة. كما حسب عدد أشهر الجفاف في السنة الهيدرولوجية من تشرين الأول إلى أيلول. واستخدم اختبار Pettitt غير المعلمي لاكتشاف نقطة تحول واحدة محتملة في كل سلسلة إقليمية (Mann, 1945, p. 245).

3.7 ضبط الجودة وقابلية التكرار

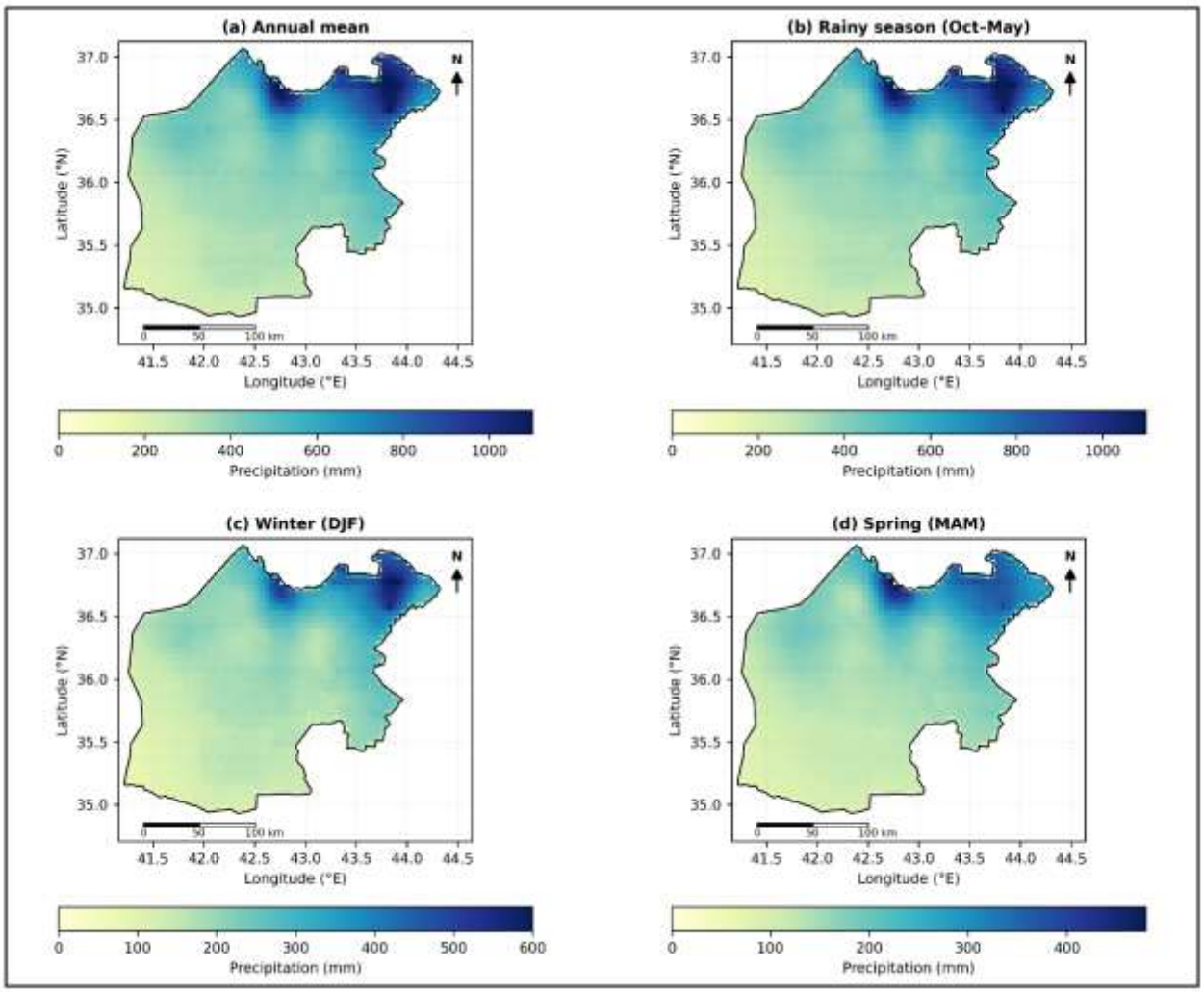
تضمنت المخرجات طبقات لجودة ملاءمة غاما بعدد السنوات الموجبة لكل شهر تقويمي، وطبقات لاكتمال البيانات، وجداول كاملة للأحداث الشهرية والمساحات. وقد نفذت جميع الخطوات في مراحل مستقلة داخل الخوارزمية المرفقة، مما يسمح بإعادة تشغيل كل مرحلة وتدقيق مخرجاتها. ومع ذلك، لم تتضمن الحزمة المرفقة نتائج تحقق مستقل باستخدام محطات مطرية؛ لذلك تفسر النتائج بوصفها توصيفا معتمدا على CHIRPS v3، لا تحققا نهائيا من الدقة المحلية.

. النتائج

4.1 التوزيع المكاني للهطول والتباين

أظهر المتوسط المكاني نمطا واضحا يزداد من الجنوب والغرب الى اتجاه الشمال والشمال الشرقي. بلغ المتوسط الإقليمي الزمني للهطول السنوي 429.2 ملم، ومتوسط الموسم المطري 427.0 ملم، أي أن معظم الهطول السنوي يتركز بين تشرين الأول وأيار. بلغ متوسط الشتاء 203.3 ملم، ومتوسط الربيع 165.9 ملم. مكانيا، تراوح المتوسط السنوي داخل المضلع من نحو 89.7 إلى 1,166.1 ملم، بما يعكس الفارق الكبير بين السهول الجافة والمرتفعات الشمالية الشرقية.

شكل (2): المتوسط المكاني للهطول السنوي والموسم المطري والشتاء والربيع خلال 1981–2025.

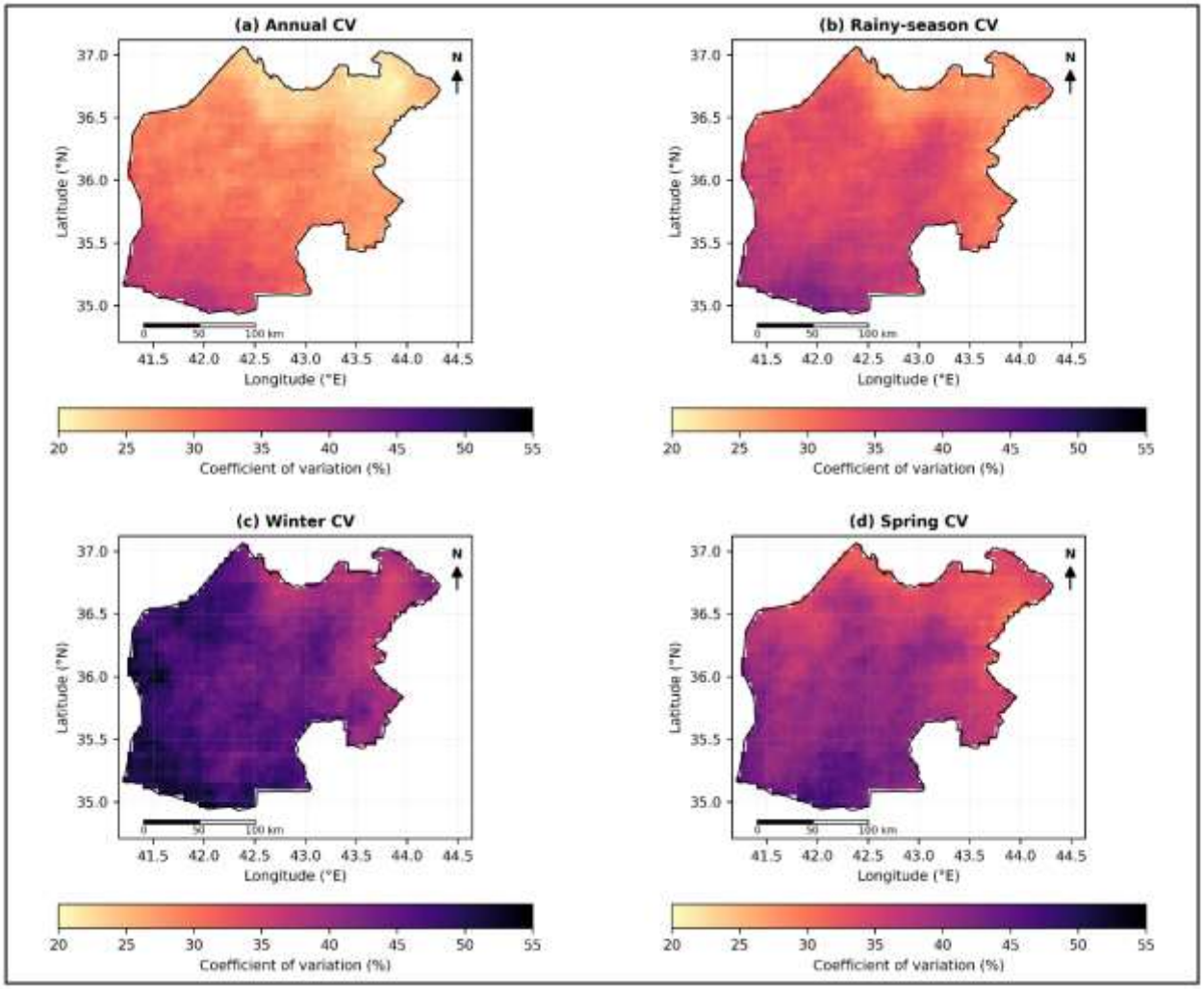


المصدر: إعداد الباحث اعتمادا على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

بلغ المتوسط المساحي لمعامل الاختلاف 28.9% سنويا، و33.3% للموسم المطري، و44.5% شتاء، و38.5% ربيعا. ويشير ارتفاع CV في الشتاء والربيع إلى أن التذبذب النسبي للمطر الموسمي أكبر من التذبذب السنوي، رغم أن

كميات الهطول المطلقة أعلى في المناطق الجبلية. ويعني ذلك أن الاعتماد على المتوسط وحده لا يكفي لتقدير استقرار المورد المطري.

شكل (3): معامل الاختلاف للهطول السنوي والموسمي خلال 1981–2025.

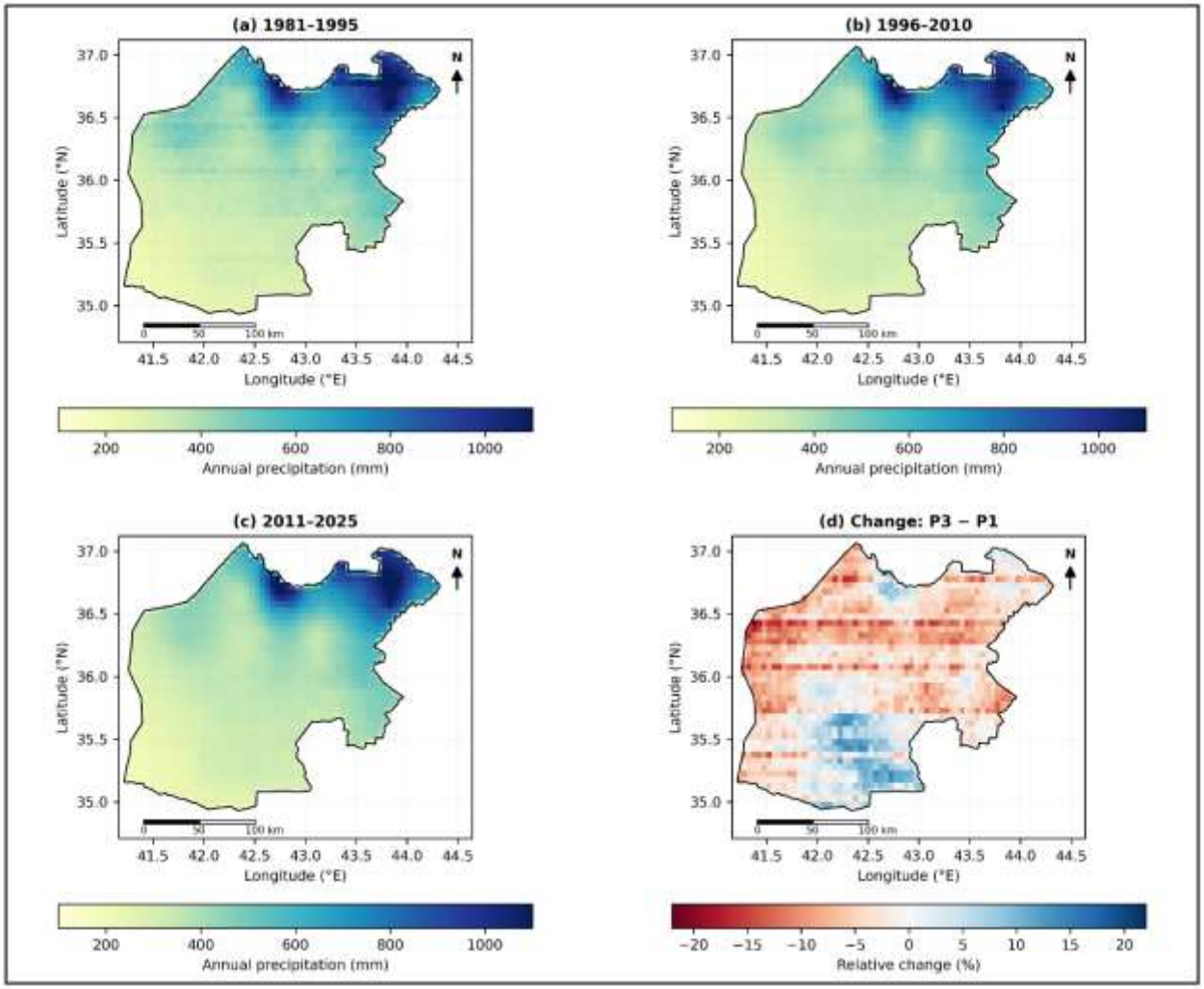


المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

4.2 المقارنة بين الفترات الثلاث

بلغ المتوسط المساحي للهطول السنوي 443.5 ملم في P1، ثم انخفض إلى 427.4 ملم في P2، واستقر عند 428.8 ملم في P3. وبلغ الفرق بين P3 وP1 نحو −14.7 ملم، أي −2.87% في المتوسط المكاني. لم يكن الانخفاض متجانسا؛ إذ تراوحت التغيرات النسبية بين −20.95% و+15.26%، لكن الاتجاه السالب كان الأكثر انتشارا، ولا سيما في قطاعات من الشمال والوسط.

شكل (4): متوسط الهطول السنوي للفترات الثلاث والتغير النسبي بين 2011–2025 و1981–1995.

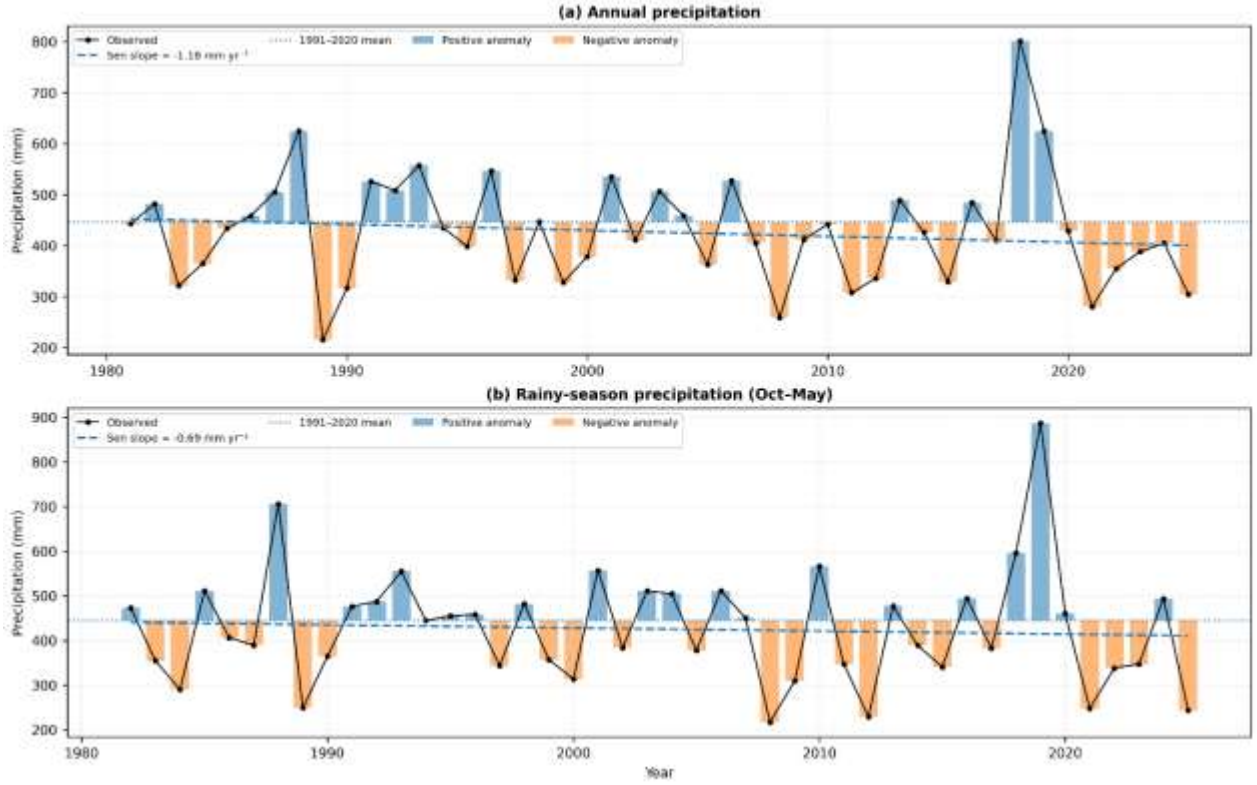


المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

4.3 التذبذب الزمني والشذوذات

يُظهر السجل تذبذبا بين سنوات رطبة جدا وأخرى جافة، من دون انتقال خطي منتظم. بلغ المتوسط المرجعي 1991–2020 نحو 447.18 ملم سنويا و445.65 ملم للموسم المطري. كان عام 1989 الأشد جفافا على المستوى السنوي بكمية 215.63 ملم وشذوذ −51.78%، تلاه 2008 (259.16 ملم؛ −42.05%) و2021 (280.42 ملم؛ −37.29%) و2025 (304.83 ملم؛ −31.83%). أما أكثر الأعوام مطرا فكان 2018 بكمية 801.59 ملم وشذوذ +79.25%. وعلى مستوى الموسم المطري، كان موسم 2008/2007 الأشد عجزا (217.41 ملم؛ −51.22%)، بينما كان موسم 2019/2018 الأكثر مطرا (886.71 ملم؛ +98.97%).

شكل (5): السلاسل الزمنية للهطول السنوي والموسم المطري وشذوذاتهما عن متوسط 1991–2020.



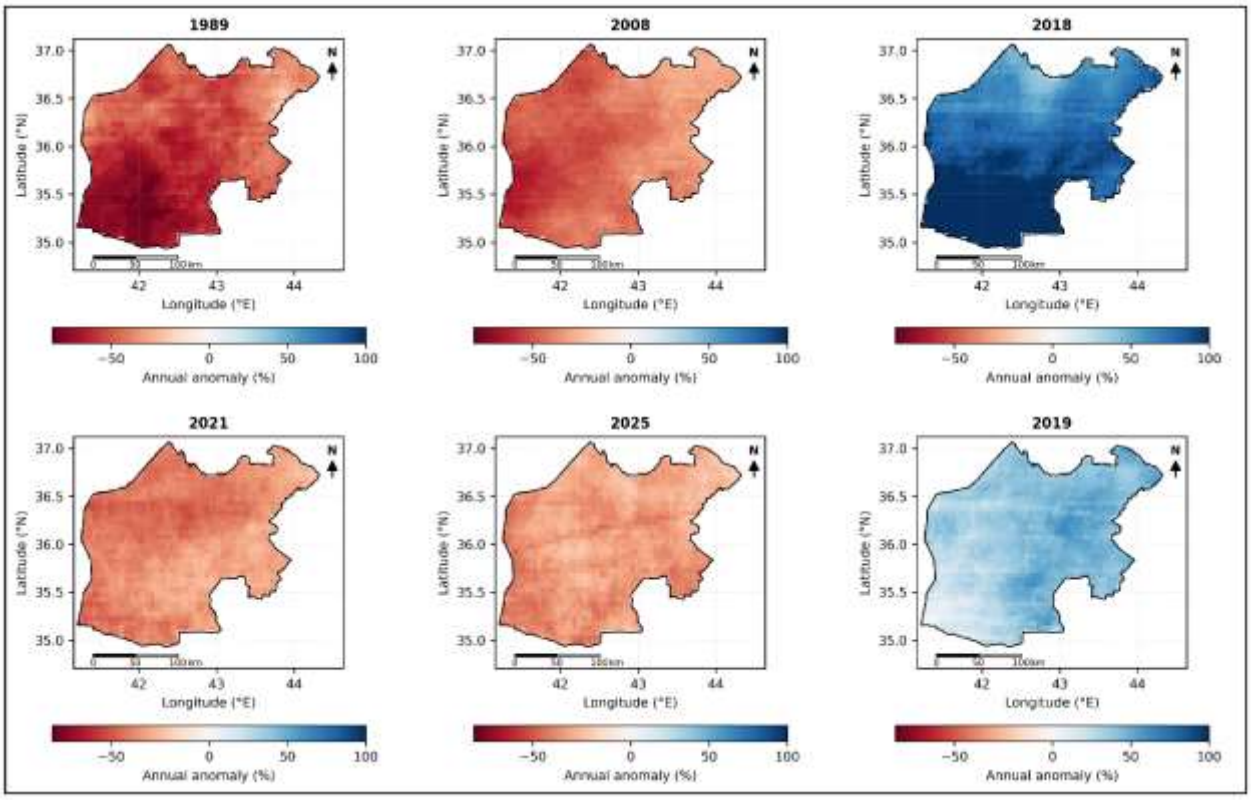
المصدر: إعداد الباحث اعتمادا على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

جدول (3): أبرز السنوات والمواسم المتطرفة وفق الشذوذ عن 1991–2020.

الترتيب	العام/الموسم	الهطول (ملم)	الشذوذ (%)	الوصف
1	1989 سنوي	215.63	−51.78	الأشد جفافاً
2	2008 سنوي	259.16	−42.05	جاف جداً
3	2021 سنوي	280.42	−37.29	جاف جداً
4	2025 سنوي	304.83	−31.83	جاف
5	2011 سنوي	307.90	−31.15	جاف
—	2018 سنوي	801.59	+79.25	الأكثر مطراً
—	2019 موسم مطري	886.71	+98.97	أعلى موسم مطري

المصدر: حسبت من السلاسل الإقليمية الموزونة بالمساحة.

شكل (6): نماذج مكانية مختارة للشذوذ النسبي السنوي في سنوات جافة ورطبة بارزة.



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

4.4 اتجاهات الهطول ودلالتها

بلغ ميل سن الإقليمي للهطول السنوي −1.18 ملم/سنة، لكنه لم يكن معنويا (Kendall τ=−0.111؛ p=0.282). وبلغ الميل للموسم المطري −0.69 ملم/سنة (p=0.558)، وللشتاء −0.13 ملم/سنة (p=0.952)، وللربيع −0.18 ملم/سنة (p=0.769). مكانيا، كان المتوسط الموزون لميل الخلايا −1.085 ملم/سنة للهطول السنوي و−0.906 ملم/سنة للموسم المطري. غطت الميول السالبة (90.4%) من مساحة المحافظة سنويا و(87.3%)في الموسم المطري، لكنها كانت دالة عند p<0.05 قبل التصحيح في 1.47% و0.12% فقط من المساحة، على التوالي. وبعد تطبيق BH–FDR لم تبقَ أية خلية دالة في أي موسم.

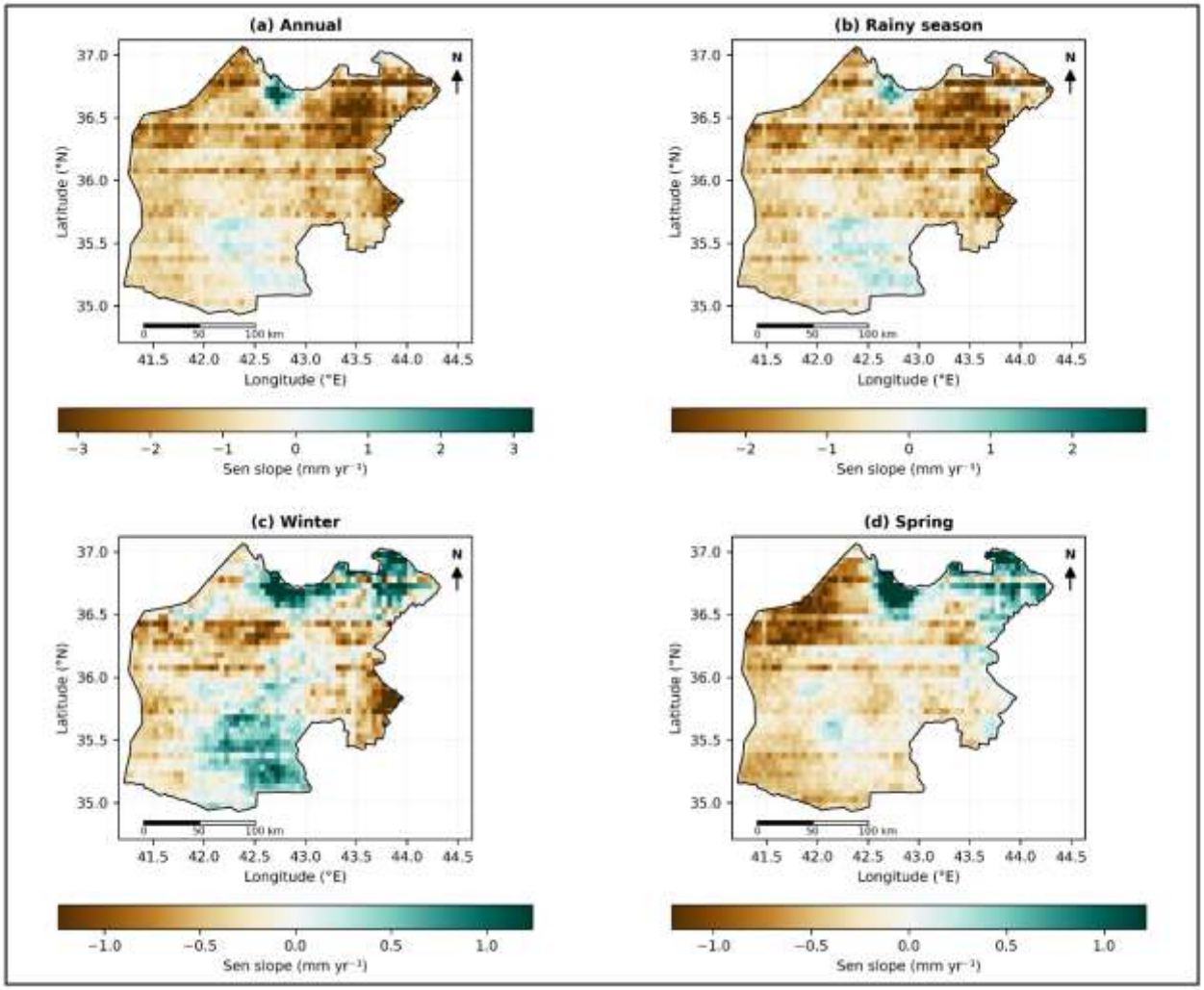
جدول (4): ملخص الاتجاهات الإقليمية والمكانية للهطول.

الفترة	ميل سن الإقليمي	قيمة p	المساحة ذات الميل السالب (%)	السالب الدال خاماً (%)	الدال بعد FDR (%)
سنوي	−1.18 ملم/سنة	0.282	90.42	1.47	0.00
الموسم المطري	−0.69 ملم/سنة	0.558	87.27	0.12	0.00

الفترة	ميل سن الإقليمي	قيمة **p**	المساحة ذات الميل السالب (%)	السالب الدال خاماً (%)	الدال بعد **FDR** (%)
الشتاء	−0.13 ملم/سنة	0.952	58.62	0.00	0.00
الربيع	−0.18 ملم/سنة	0.769	76.40	0.12	0.00

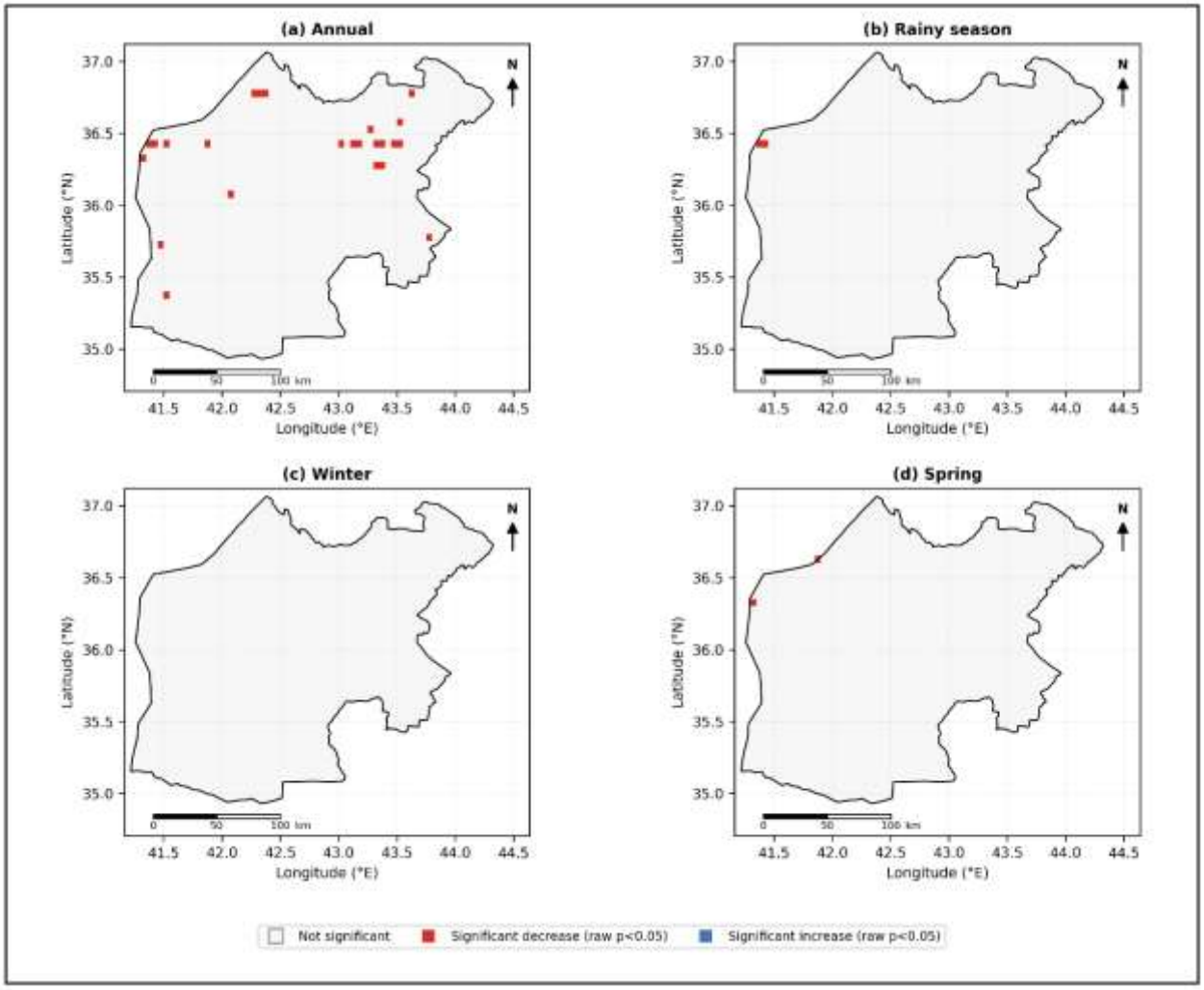
المصدر: ميل سن واختبار مان–كندال بعد *TFPW* وتصحيح *BH–FDR*.

شكل (7): التوزيع المكاني لميل سن للهطول السنوي والموسمي.



المصدر: إعداد الباحث اعتمادا على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

شكل (8): الدلالة الخام لاتجاهات الهطول ونتيجة التصحيح المكاني **FDR**.



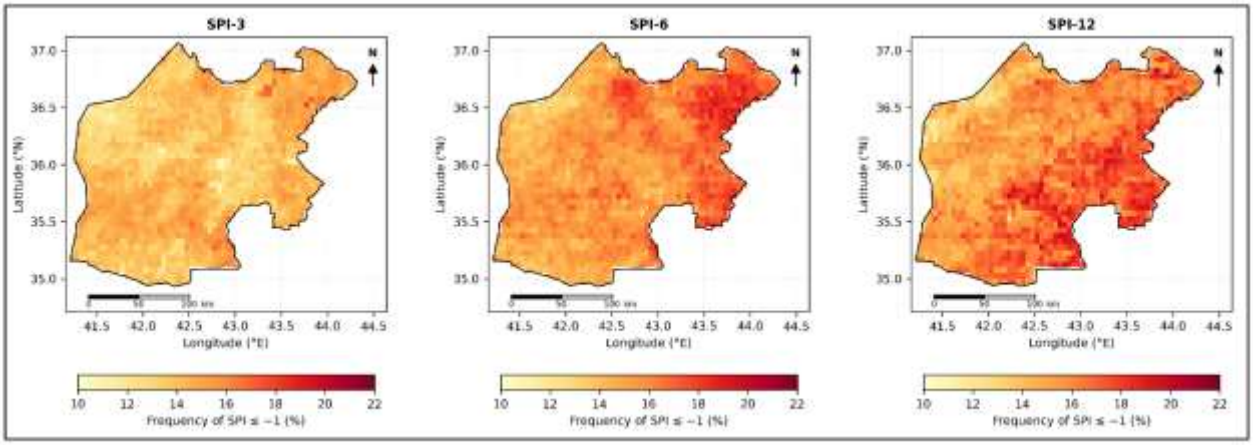
المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

تدل هذه النتيجة على ضرورة الفصل بين انتشار الميل السالب وثبوت الاتجاه إحصائيا. فالخريطة تصف غلبة الانخفاض، لكن التباين بين السنوات كبير بما يكفي لعدم رفض فرضية عدم الاتجاه بعد التصحيح. ومن ثم لا يصح وصف نينوى بأنها شهدت انخفاضا معنويا شاملا للهطول خلال 1981–2025.

4.5 تكرار الجفاف متعدد المقاييس

بلغ المتوسط المساحي لتكرار SPI≤−1 نحو 14.02% عند SPI-3، و15.68% عند SPI-6، و15.98% عند SPI-12. وتراوح التكرار مكانياً من 10.22–18.22% و11.96–19.81% و11.53–20.60%، على التوالي. لم يكن الفرق بين المقاييس في التكرار الكلي كبيرا، لكنه كان جوهريا في بنية الأحداث: انخفض عدد الأحداث وازدادت مدتها وشدتها كلما طال مقياس التراكم.

شكل (9): التكرار المكاني للجفاف المتوسط فأشد (**SPI**≤−1) عند المقاييس 3 و6 و12 شهرا.



المصدر:من إعداد الباحث بالاعتمادا على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

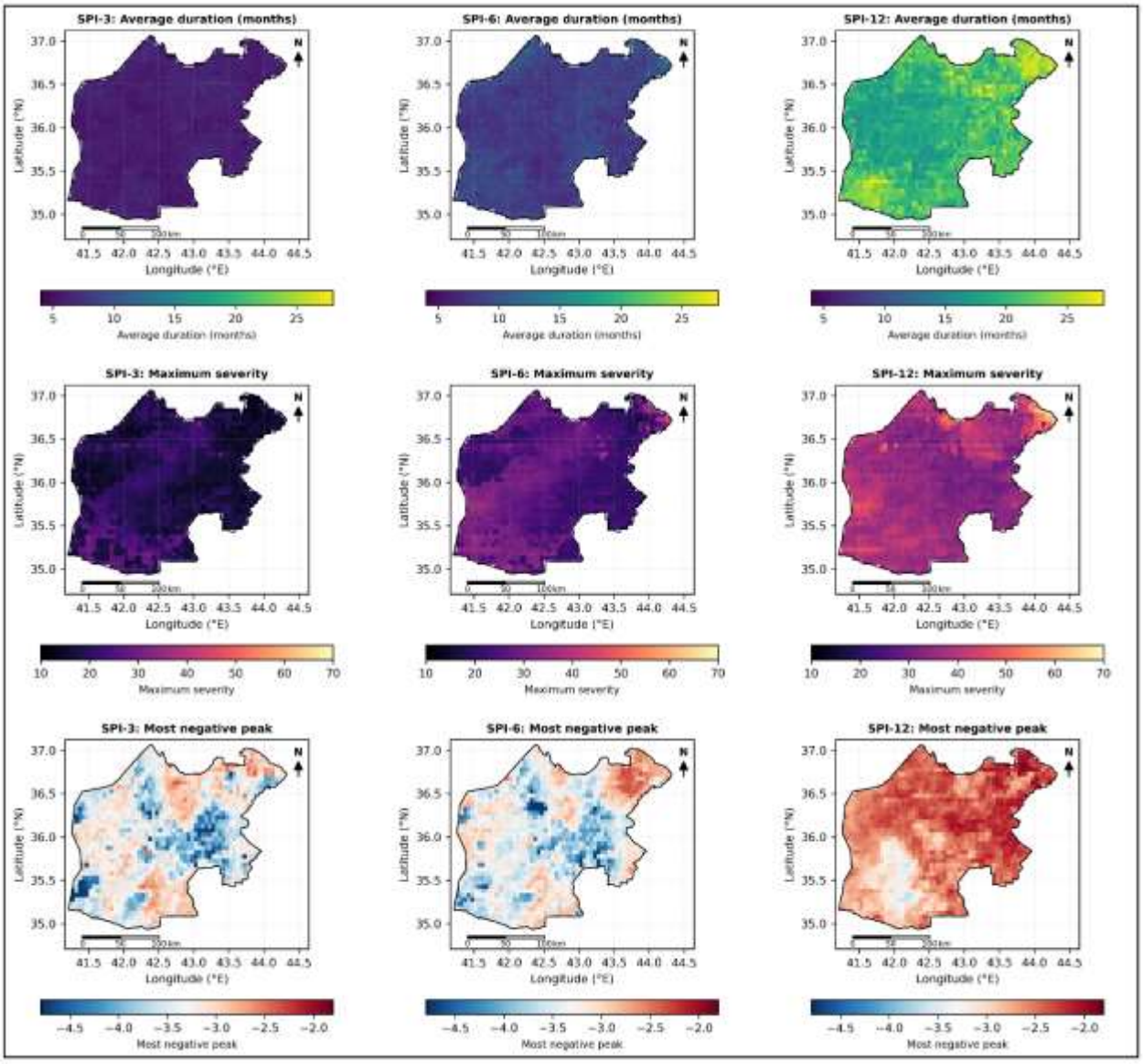
جدول (5): الخصائص المكانية العامة لأحداث الجفاف خلال كامل المدة.

المؤشر	التكرار (%)	عدد الأحداث الخلوي	متوسط المدة (شهر)	متوسط شدة الحدث	متوسط أقصى شدة	متوسط أدنى ذروة
SPI−3	14.02	33.18	6.07	5.51	18.59	3.41−
SPI−6	15.68	21.74	8.53	8.53	26.00	3.38−
SPI−12	15.98	9.19	20.30	20.21	36.79	2.56−

المصدر: متوسطات موزونة بالمساحة من طبقات خصائص الأحداث.

يظهر SPI−3 أحداثا أكثر عددا وأقصر مدة، في حين يدمج SPI−12 العجز المتقطع في أحداث طويلة قد تتجاوز عامين. وبلغ المتوسط المكاني لأقصى مدة داخل خلية 20.2 شهرا عند SPI−3، و23.9 شهرا عند SPI−6، و33.9 شهرا عند SPI−12، ووصل الحد الأقصى المحلي إلى 71 شهرا عند SPI−12. وتبرز هذه النتيجة اختلاف الدلالة التطبيقية للمقاييس: فالمقياس القصير مناسب للمراقبة الزراعية الموسمية، بينما المقياس السنوي أكثر ارتباطا بالعجز المتراكم.

شكل (10): المدة المتوسطة وأقصى شدة وأدنى ذروة لأحداث الجفاف عند المقاييس الثلاثة.

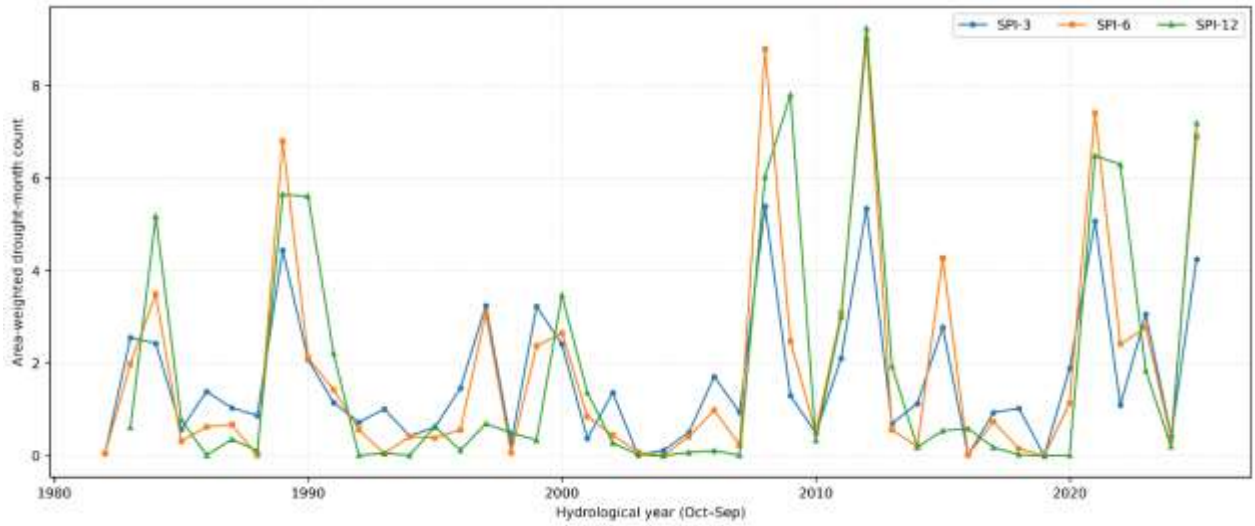


المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

4.6 السلاسل الهيدرولوجية والمساحة المتأثرة

تكررت السنوات الهيدرولوجية الحرجة في المقاييس الثلاثة، ولا سيما 1989 و2008 و2012 و2021 و2025. سجلت سنة 2012 أعلى متوسط مساحي لعدد أشهر الجفاف عند 8.99) 6–SPI شهر) و9.24) 12–SPI شهر)، بينما كانت 2008 الأعلى عند 5.39) 3–SPI شهر). في المقابل، اقترب عدد أشهر الجفاف من الصفر في 2019 على المقاييس الثلاثة، متسقا مع الموسم المطري الاستثنائي 2019/2018.

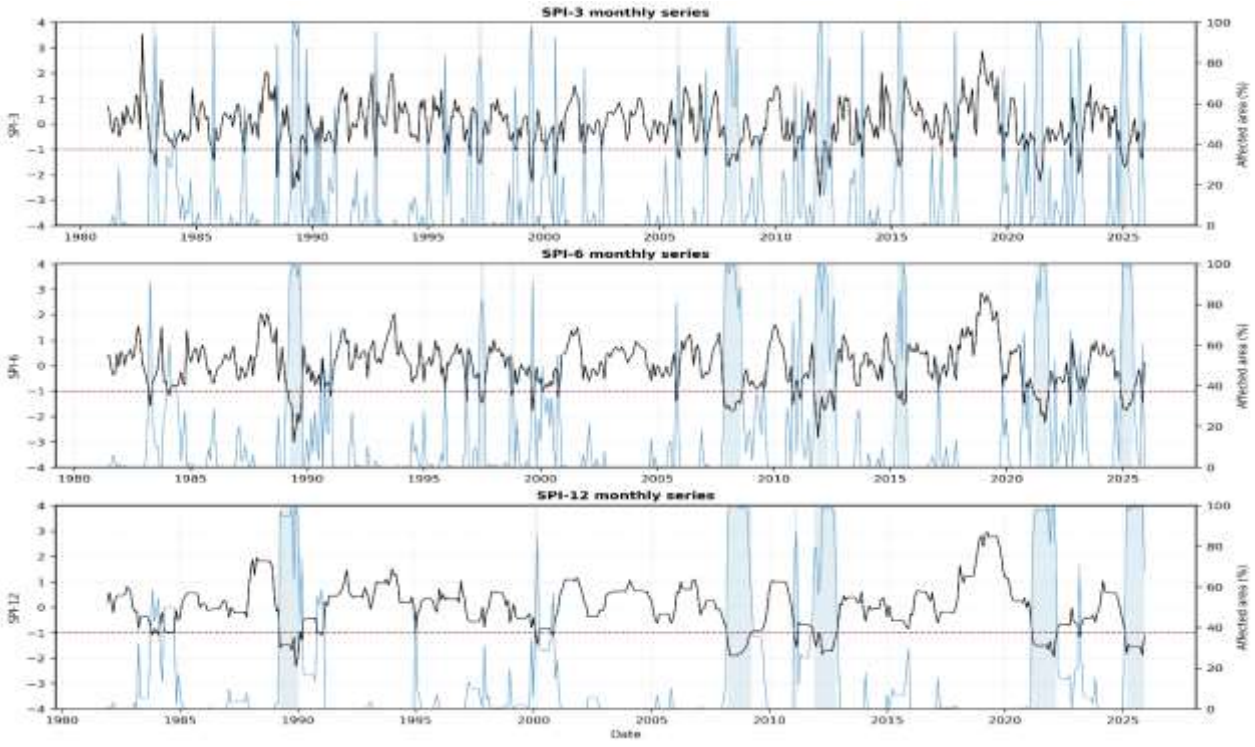
شكل (11): عدد أشهر الجفاف الموزون بالمساحة في السنة الهيدرولوجية عند **SPI-3** و**SPI-6** و**SPI-12**.



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادا على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

توضح السلاسل الشهرية أن انخفاض المتوسط الإقليمي لـSPI لا يعني بالضرورة تجانس الجفاف؛ فقد تكون القيمة الإقليمية معتدلة بينما تتسع المساحة المتأثرة في قطاع معين. لذلك جُمعت في التحليل بين متوسط SPI ونسبة المساحة التي تحقق SPI≤−1.

شكل (12): المتوسط الإقليمي الشهري لـ**SPI** ونسبة المساحة المتأثرة بالجفاف من المتوسط الى الأشد.

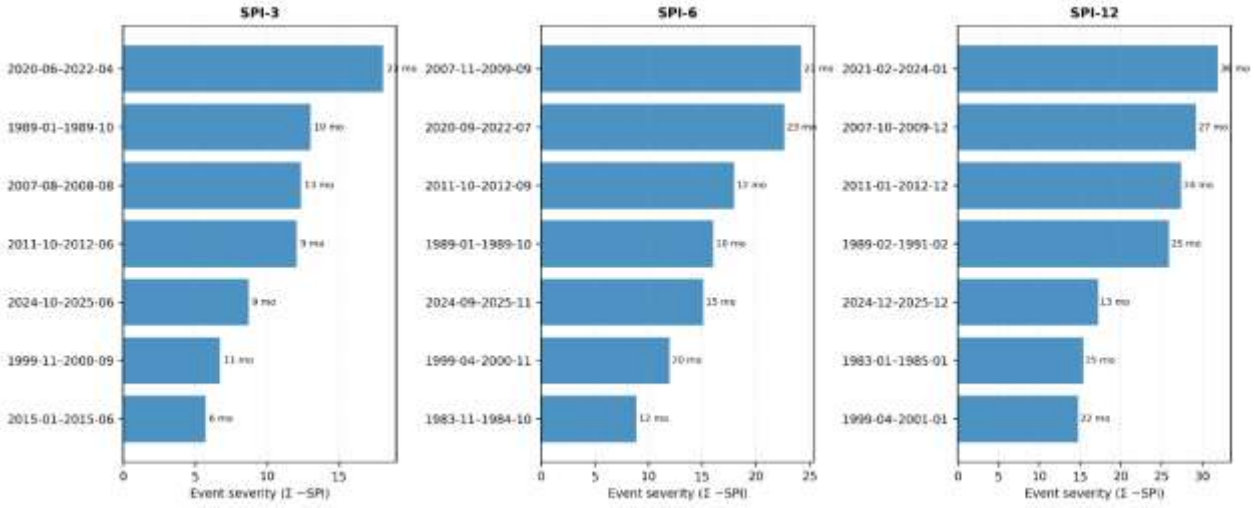


المصدر: إعداد الباحث اعتمادا على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

4.7 أحداث الجفاف الإقليمية الأبرز

بلغ عدد الأحداث المؤهلة في السلسلة الإقليمية 29 حدثا عند SPI–3، و18 حدثا عند SPI–6، و8 أحداث عند SPI–12. كان الحدث الأعلى شدة عند SPI–3 ممتدا من حزيران 2020 إلى نيسان 2022 لمدة 23 شهرا وشدة 18.07، وبلغت ذروته –2.246 في حزيران 2021، مع وصول المساحة ذات SPI≤–1 إلى 100%، والشديدة إلى 99.08%، والمتطرفة إلى 80.27%. أما SPI–6 فسجل أعلى شدة في حدث تشرين الثاني 2007–أيلول 2009 (23 شهراً؛ شدة 24.22)، في حين جاء حدث 2020–2022 ثانياً. وعند SPI–12 كان الحدث الأشد من شباط 2021 إلى كانون الثاني 2024 (36 شهرا؛ شدة 31.94؛ ذروة –1.95 في شباط 2022).

شكل (13): أشد أحداث الجفاف الإقليمية مرتبة بالشدة مع بيان مدة كل حدث.



المصدر: إعداد الباحث اعتمادا على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

جدول (6): أشد ثلاثة أحداث إقليمية عند كل مقياس زمني.

المقياس	مدة الحدث	الأشهر	الشدة	الذروة	أقصى مساحة SPI≤–1 (%)
SPI–3	06–2020 04–2022	23	18.07	2.246–	100.0
SPI–3	01–1989 10–1989	10	13.00	2.542–	99.8
SPI–3	08–2007 08–2008	13	12.33	1.672–	98.4
SPI–6	11–2007	23	24.22	1.782–	99.8

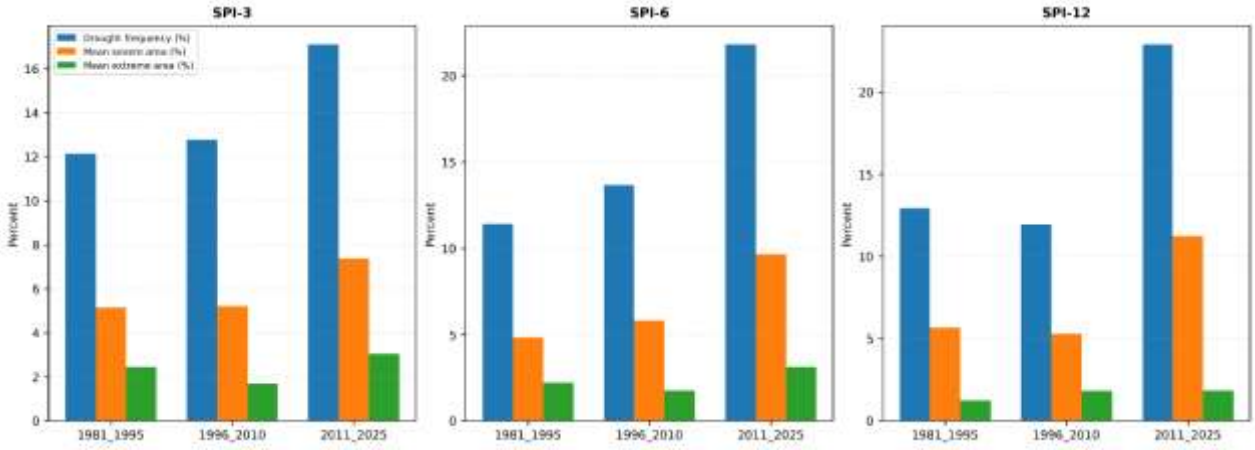
المقياس	مدة الحدث	الأشهر	الشدة	الذروة	أقصى مساحة SPI≤−1 (%)
	09-2009				
SPI-6	09-2020 07-2022	23	22.65	2.252-	100.0
SPI-6	10-2011 09-2012	12	17.95	2.826-	100.0
SPI-12	02-2021 01-2024	36	31.94	1.950-	99.8
SPI-12	10-2007 12-2009	27	29.25	1.897-	100.0
SPI-12	01-2011 12-2012	24	27.44	1.850-	98.9

المصدر: كتالوج أحداث الجفاف الإقليمي المرفق.

4.8 تغير خصائص الجفاف بين الفترات

أظهرت المقارنة المرحلية زيادة واضحة في الفترة الحديثة. ارتفع متوسط تكرار الجفاف من 12.13% إلى 17.11% عند SPI-3، ومن 11.40% إلى 21.83% عند SPI-6، ومن 12.93% إلى 22.90% عند SPI-12 بين P1 وP3. وارتفع متوسط المساحة الشهرية ذات الجفاف الشديد SPI≤−1.5 من 5.15% إلى 7.39% عند SPI-3، ومن 4.82% إلى 9.65% عند SPI-6، ومن 5.68% إلى 11.23% عند SPI-12. ويشير ذلك إلى أن الإشارة الحديثة أوضح عند المقاييس المتوسطة والطويلة.

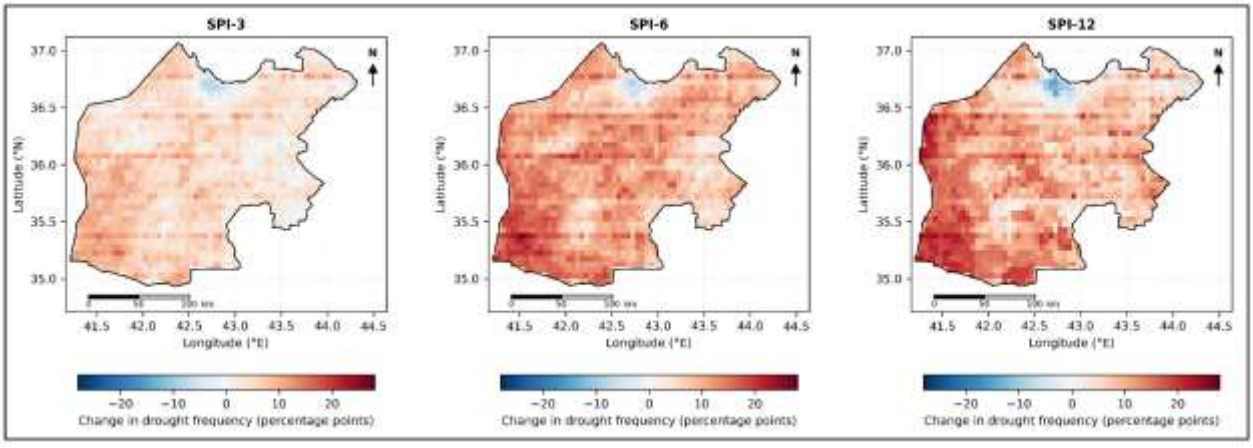
شكل (14): مقارنة تكرار الجفاف ومتوسط المساحة الشديدة والمتطرفة بين الفترات الثلاث.



المصدر: إعداد الباحث اعتمادا على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

مكانيا، بلغ متوسط تغير تكرار الجفاف P1−P3 نحو +4.97 نقطة مئوية عند SPI−3، و+10.42 عند SPI−6، و+9.96 عند SPI−12. كانت الزيادة موجبة في 93.7% و98.4% و95.4% من مساحة المحافظة، على التوالي. وبذلك تعد زيادة التكرار في الفترة الحديثة أكثر اتساقا مكانيا من اتجاه الهطول الخطي، وهو اختلاف منطقي لأن مقارنة الفترات تلتقط التحولات في توزع السنوات الجافة حتى عندما لا يكون الميل الرتبي معنويا .

شكل (15): التغير في تكرار الجفاف بين 2011–2025 و1981–1995 عند المقاييس الثلاثة.



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المخرجات المكانية والجداول المرفقة.

جدول (7): تغير تكرار الجفاف بين الفترات.

المقياس	تكرار **P1** (%)	تكرار **P2** (%)	تكرار **P3** (%)	فرق **P3−P1** (نقطة مئوية)	المساحة ذات الزيادة (%)
SPI−3	12.13	12.78	17.11	+4.98	93.69

المقياس	تكرار **P1** (%)	تكرار **P2** (%)	تكرار **P3** (%)	فرق **P3−P1** (نقطة مئوية)	المساحة ذات الزيادة (%)
SPI-6	11.40	13.68	21.83	+10.43	98.41
SPI-12	12.93	11.95	22.90	+9.97	95.36

المصدر: ملخص المقارنة المرحلية والطبقات المكانية.

4.9 اختبار نقاط التحول

لم يكشف اختبار Pettitt عن نقطة تحول معنوية عند $\alpha=0.05$. كانت السنة المرشحة للهطول السنوي 2006 ($p=0.629$)، وللموسم المطري 2007 ($p=0.896$)، وللشتاء 2020 ($p=0.730$)، وللربيع 2015 ($p=1.000$). كما كانت السنوات المرشحة لعدد أشهر الجفاف 2005 لـSPI-3 و2007 لـSPI-6 وSPI-12، مع قيم p بين 0.462 و1.000. لذلك تعد هذه السنوات نقاط انقسام وصفية لا كسورا مناخية مثبتة.

جدول (8): نتائج اختبار **Pettitt** للسلاسل الإقليمية.

السلسلة	سنة التحول المرشحة	**Pettitt K**	**p** التقريبية	النتيجة
Annual rainfall	2006	134	0.629	غير معنوي
Rainy-season rainfall	2007	108	0.896	غير معنوي
Winter rainfall	2020	121	0.730	غير معنوي
rainfall Spring	2015	100	1.000	غير معنوي
SPI-3 drought-month count	2005	88	1.000	غير معنوي
SPI-6 drought-month count	2007	130	0.625	غير معنوي
SPI-12 drought-month count	2007	141	0.462	غير معنوي

المصدر: نتائج الاختبار المرفقة.

5. المناقشة

5.1 دلالة التدرج المكاني

يتوافق ازدياد الهطول نحو الشمال والشمال الشرقي مع التدرج التضاريسي ومع موقع نينوى بين السهول الداخلية والمرتفعات. وتظهر خرائط المتوسط أن الموسم المطري يفسر معظم التباين السنوي، بينما يزداد معامل الاختلاف في الشتاء والربيع. وهذا يعني أن المناطق ذات المتوسط المرتفع ليست بالضرورة الأكثر استقرارا نسبيا. وقد أشارت دراسات شمال العراق إلى قدرة CHIRPS على تمثيل البنية المكانية والاحتمالية لـSPI مع تفاوت في مؤشرات الأداء بين المواقع(Awchi & Kalyana, 2017, p. 451).

5.2 لماذا لا يساوي الانتشار المكاني دلالة إحصائية؟

تغطي الميول السالبة معظم المحافظة، لكن قيمتها صغيرة مقارنة بالتذبذب السنوي الكبير، كما أن 45 سنة، رغم ملاءمتها لتحليل SPI، قد لا تكفي لإثبات ميل ضعيف في بيئة شديدة التذبذب. يضاف إلى ذلك أن إجراء آلاف الاختبارات المكانية يرفع احتمال الدلالات الكاذبة؛ ومن هنا جاء تطبيق FDR (Kendall, 1975, p. 22). النتيجة الصفرية بعد التصحيح لا تنفي وجود انخفاض محلي، لكنها تمنع تعميمه بوصفه اتجاها إقليميا قويا. وهذه صياغة أكثر تحفظا من دراسات تعتمد p الخام لكل خلية من دون تصحيح.

5.3 اختلاف الاستنتاج باختلاف مقياس SPI

تنسجم زيادة المدة والشدة مع طول مقياس SPI مع الأساس النظري للمؤشر (Edwards & McKee, 1997, p. 10). فـSPI–3 يلتقط الاستجابة السريعة للعجز المطري، ولذلك سجل أحداثا أكثر عددا، في حين يقوم SPI–12 بتنعيم التذبذب ودمج الأشهر المتقاربة في أحداث طويلة. ويؤكد هذا أن اختيار مقياس واحد لا يكفي؛ فحدث 2021–2024 يبدو طويل الأثر عند SPI–12، بينما يظهر في SPI–3 كسلسلة أقصر وأكثر تقطعا. لذلك يفضل ربط SPI–3 بالمراقبة الزراعية الموسمية، وSPI–6 بإجمالي الموسم، وSPI–12 بالتراكم السنوي، من دون مساواة SPI بالجفاف الهيدرولوجي الفعلي.

5.4 الفترة الحديثة مقارنةً بالاتجاه طويل الأمد

تكشف المقارنة المرحلية زيادة قوية في تكرار الجفاف خلال 2011–2025، خاصة عند SPI–6 وSPI–12، بينما لا يكشف ميل مان–كندال أو Pettitt عن اتجاه أو كسر معنوي. لا يوجد تناقض إحصائي بين النتيجتين: المقارنة المرحلية حساسة لتجمع عدة سنوات جافة حديثة، مثل 2011–2012 و2020–2022 و2025، أما اختبار الاتجاه فيقيس ترتيب السلسلة كاملة ويوازنها بسنوات شديدة الرطوبة مثل 2018–2019. وعليه، يمكن القول إن الفترة الحديثة أكثر تعرضاً للجفاف في العينة، لكن لا يمكن إثبات تحول مناخي دائم أو إسناده إلى تغير مناخي من خلال SPI والهطول وحدهما. وتؤكد WMO أن SPI يقيس عجز الهطول ولا يدخل الحرارة أو التبخر (Climate Hazards Center, 2025, Repository).

5.5 المقارنة مع الأدبيات الإقليمية

تتفق السنوات الحرجة 1989 و2008–2009 و2011–2012 و2021 مع ما ورد في دراسات شمال العراق والعراق عموما(Yue & Wang, 2002, p. 1068) . إلا أن البحث الحالي يضيف ثلاثة عناصر: استخدام CHIRPS v3 بدلاً من الإصدار السابق، تحليل المساحة المتأثرة شهريا، وتصحيح الدلالة المكانية بـFDR. كما يوضح أن 2018–2019 كان رطباً استثنائياً، وهو ما خفف الاتجاه الخطي رغم تزايد الجفاف في السنوات اللاحقة.

6. القيود المنهجية ومصادر عدم اليقين

1. لم تتضمن الحزمة نتائج تحقق بمحطات مطرية مستقلة. ورغم أن دراسة شمال العراق سجلت ارتباطا بين CHIRPS وSPI المرصود تراوح تقريبا بين 0.64 و0.87 (Awchi & Kalyana, 2017, p. 451)، فلا يجوز نقل هذه الدقة تلقائياً إلى جميع خلايا نينوى أو إلى CHIRPS v3.
2. يفترض SPI ثبات التوزيع الاحتمالي خلال فترة المعايرة 1981–2025. إذا كان المناخ غير ساكن، فقد تتغير دلالة القيم المعيارية بحسب فترة الأساس.
3. في بعض خلايا الحافة الجافة انخفض عدد السنوات ذات التراكم الموجب لـSPI–3 في آب إلى 12 سنة فقط، رغم تجاوز حد القبول البرمجي 10 سنوات؛ لذلك تكون تقديرات ذيل غاما هناك أقل استقرارا.
4. لا تتضمن صيغة مان–كندال البرمجية تصحيحا صريحا للتعادل. يتوقع أن يكون أثر ذلك محدودا للهطول المستمر، لكنه قد يصبح أوضح في مؤشرات عدد الأشهر ذات القيم الصحيحة.
5. إجراء BH الأصلي يفترض استقلالا أو اعتمادا موجبا ملائما ؛ وبسبب الارتباط المكاني بين الخلايا، ينبغي تفسير FDR بوصفه ضبطاً عمليا محافظا لا حلا كاملا لبنية الاعتماد المكاني.
6. تعكس النتائج حدود المضلع المرفق ومساحته الرقمية؛ أي اختلاف في النسخة الرسمية للحدود سيغير المساحات المطلقة قليلا.
7. SPI مؤشر للجفاف الأرصادي فقط؛ ولا يدمج درجة الحرارة أو التبخر–نتح أو رطوبة التربة أو الجريان، ولذلك لا ينبغي مساواته مباشرة بالجفاف الزراعي أو الهيدرولوجي.

7. الاستنتاجات

1. يتدرج الهطول مكانيا من قيم منخفضة في الجنوب والغرب إلى قيم مرتفعة في الشمال والشمال الشرقي، وبلغ المتوسط الإقليمي السنوي 429.2 ملم.
2. تُظهر السلسلة تباينا شديدا؛ كان 1989 الأشد جفافا و2018 الأكثر مطرا، وكان موسم 2019/2018 رطبا استثنائيا.
3. غلبت الاتجاهات السالبة مكانيا، ولا سيما للهطول السنوي والموسم المطري، لكن الاتجاه الإقليمي غير معنوي ولم تبق خلايا دالة بعد FDR.

4. بلغ تكرار الجفاف المتوسط فأشد قرابة 14–16% من الأشهر، وازدادت مدة الحدث وشدته بوضوح من SPI-3 إلى SPI-12.
5. تميزت الفترة 2011–2025 بزيادة واسعة في تكرار الجفاف؛ وكانت الزيادة أقوى عند SPI-6 وSPI-12، إذ قاربت عشر نقاط مئوية مقارنةً بـ1981–1995.
6. كانت أحداث 1989، 2007–2009، 2011–2012، 2020–2022، و2024–2025 من أهم الأحداث، بينما كشف SPI-12 عن حدث طويل خلال 2021–2024.
7. لم يظهر اختبار Pettitt نقطة تحول معنوية؛ لذلك تُفسر الزيادة الحديثة كتجمع زمني للأحداث داخل السجل، لا ككسر مناخي مثبت.

8. التوصيات

1. إجراء تحقق مستقل لـCHIRPS v3 باستخدام محطات نينوى، مع حساب الارتباط والانحياز وRMSE وكفاءة Kling–Gupta، والتحقق من SPI لا الهطول فقط.
2. إعادة الحساب بعد التأكد من استخدام المنتج النهائي Final لعام 2025، وتوثيق تاريخ تنزيل البيانات وإصدارها في النسخة المقدمة للمجلة.
3. إضافة SPEI أو مؤشر مائي يدمج التبخر–نتح لتقييم أثر الاحترار، مع إبقاء SPI مرجعاً للجفاف الأرصادي.
4. إجراء تحليل حساسية لتوزيع غاما مقابل Pearson III أو توزيعات بديلة، خاصة في خلايا الغرب ذات الأشهر الصفرية المتكررة.
5. تفعيل حدود الأقضية وإنتاج جداول مكانية إدارية لتسهيل ترجمة النتائج إلى سياسات زراعية ومائية.
6. ربط الأحداث بمؤشرات الغطاء النباتي ورطوبة التربة والمحاصيل لتحديد التأثير الفعلي لا مجرد الخطر المناخي.

المصادر

1. Funk, C., Peterson, P., Harrison, L., et al .(2026) .The Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Stations ,Version 3. Scientific Data, 13, 718. doi:10.1038/s41597-026-07096-4.
2. Climate Hazards Center. (2025). Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Stations version 3 (CHIRPS3) Data Repository. doi:10.15780/G2JQ0P.
3. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M ,.Ilyushchenko, S., Thau, D & ,.Moore, R. (2017). Google Earth Engine :Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18–27. doi:10.1016/j.rse.2017.06.031.
4. Ahmad, H. Q., Kamaruddin, S. A., Harun, S. B ,.Al-Ansari, N., Shahid, S & ,.Jasim, R. M. (2021). Assessment of spatiotemporal variability of meteorological droughts in

northern Iraq using satellite rainfall data. KSCE Journal of Civil Engineering, 25, 4481–4493 .doi:10.1007/s12205-021-2046-x.

5. Awchi, T. A & ,.Kalyana, M. M .(2017) .Meteorological drought analysis in northern Iraq using SPI and GIS. Sustainable Water Resources Management, 3, 451–463. doi:10.1007/s40899-017-0111-x.
6. Al-Timimi, Y. K. (2014). Drought assessment in Iraq using analysis of Standardized Precipitation Index (SPI). Iraqi Journal of Physics, 12(23), 36–43. doi:10.30723/ijp.v12i23.336.
7. World Meteorological Organization (WMO) .(2012) .Standardized Precipitation Index User Guide (WMO-No. 1090). Geneva :WMO.
8. McKee, T. B., Doesken, N. J & ,.Kleist, J .(1993) .The relationship of drought frequency and duration to time scales .Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 179–184.
9. Edwards, D. C & ,.McKee, T. B .(1997) .Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. Climatology Report 97-2, Colorado State University.
10. Mann ,H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13(3), 245–259 .doi:10.2307/1907187.
11. Kendall ,M. G. (1975). Rank Correlation Methods (4th ed.). London: Charles Griffin.
12. Sen ,P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau . Journal of the American Statistical Association, 63, 1379–1389 . doi:10.1080/01621459.1968.10480934.
13. Yue ,S., Pilon, P., Phinney, B & ,.Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series .Hydrological Processes, 16, 1807–1829. doi:10.1002/hyp.1095.
14. Yue ,S & ,.Wang, C. Y. (2002). Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann–Kendall test. Water Resources Research, 38(6), 1068. doi:10.1029/2001WR000861.
15. Benjamini ,Y & ,.Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 57(1), 289–300 .doi:10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x.
16. Pettitt ,A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society, Series C, 28(2), 126–135. doi:10.2307/2346729.

17. Yevjevich ,V. (1967). An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Droughts. Hydrology Paper No. 23, Colorado State University.
18. Farr ,T. G., Rosen, P. A., Caro, E., et al. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, 45, RG2004. doi:10.1029/2005RG000183.
19. Funk ,C., Peterson, P., Landsfeld, M., et al. (2015). The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations—A new environmental record for monitoring extremes . Scientific Data, 2, 150066. doi:10.1038/sdata.2015.66.
20. Barlow ,M., Zaitchik, B., Paz, S., Black, E., Evans, J & ,.Hoell, A. (2016). A review of drought in the Middle East and Southwest Asia. Journal of Climate–8547 ,29 , .8574doi:10.1175/JCLI-D-13-00692.1.
21. Wilhite ,D. A & ,.Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International, 10(3), 111–120 . doi:10.1080/02508068508686328.
22. Mishra ,A. K & ,.Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391, 202–216. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.012.
23. Guttman ,N. B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: A calculation algorithm. Journal of the American Water Resources Association, 35(2), 311–322 . doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x.
24. Stagge ,J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F & ,.Stahl, K . .(2015)Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). International Journal of Climatology, 35, 4027–4040 .doi:10.1002/joc.4267.
25. Al-Quraishi ,A. M. F., Gaznayee, H. A. A & ,.Messina, J. P. (2021). Drought severity trend analysis based on the Landsat time-series dataset of 1998–2017 in the Iraqi Kurdistan Region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science .012083 ,779 ,doi:10.1088/1755-1315/779/1/012083.
26. Jasim ,R. M & ,.Awchi, T. A. (2020). Regional meteorological drought assessment in Iraq. Arabian Journal of Geosciences, 13, 284. doi:10.1007/s12517-020-5234-y.

ملحق (أ): تدقيق منهجي للمخرجات البرمجية

يوثق هذا الملحق أهم نقاط التدقيق التي ينبغي الحفاظ عليها عند إعادة تشغيل الكود أو تعديل البحث:

تُشغّل مراحل التصدير واحدة في كل مرة، ويجب تثبيت SELECTED_SPI_SCALE عند 3 ثم 6 ثم 12 للمراحل الخاصة بالمؤشر.

جميع خرائط الدراسة في هذا المستند قصت إلى حدود المحافظة؛ لأن ملفات GeoTIFF المصدرة تحمل إطارا مستطيلا ويجب ألا تُحلل خارج المضلع.

السلسلة الإقليمية والمساحات حسبت بترجيح مساحة البكسل، وهو أدق من المتوسط الحسابي البسيط في الإحداثيات الجغرافية.

يجب عدم وصف الخلايا ذات p الخام بأنها معنوية نهائياً قبل الرجوع إلى طبقة FDR_q05.

أحداث المقارنة المرحلية مقصوصة عند حدود الفترات، ولذلك لا تُقارن أعدادها مباشرة بكتالوج الأحداث الكامل دون توضيح معالجة الحدود.

النتائج الخاصة بعام 2025 ينبغي تثبيت نوع منتج CHIRPS v3 (Final أو Preliminary) وتاريخ الوصول في النسخة النهائية.

ملحق (ب): قائمة المخرجات الأساسية المستخدمة

1. Nineveh_Annual_Rainfall_Anomaly_Maps_1981_2025.tif
2. Nineveh_Annual_Rainfall_Anomaly_Series_1981_2025.csv
3. Nineveh_Annual_Rainfall_Trend_1981_2025.tif
4. Nineveh_Governorate_Boundary_Clean.shp
5. Nineveh_Pettitt_ChangePoint_Results.csv
6. Nineveh_Rainfall_Anomaly_1991_2020_Reference.tif
7. Nineveh_Rainfall_Climatology_and_Period_Comparison_1981_2025.tif
8. Nineveh_RainySeason_Rainfall_Anomaly_Maps_1982_2025.tif
9. Nineveh_RainySeason_Rainfall_Anomaly_Series_1982_2025.csv
10. Nineveh_RainySeason_Rainfall_Trend_1982_2025.tif
11. Nineveh_Regional_Rainfall_and_Drought_Series.csv
12. Nineveh_SPI12_Drought_Frequency_and_Event_Metrics.tif
13. Nineveh_SPI12_Drought_Period_Comparison_1981_2025.tif
14. Nineveh_SPI12_Drought_Period_Comparison_Regional_Summary.csv
15. Nineveh_SPI12_Gamma_Fit_Quality.tif
16. Nineveh_SPI12_HydrologicalYear_DroughtMonth_Series.csv
17. Nineveh_SPI12_HydrologicalYear_DroughtMonth_Summary.tif
18. Nineveh_SPI12_Monthly_Area_and_Mean_Series.csv
19. Nineveh_SPI12_Regional_Drought_Event_Catalog.csv
20. Nineveh_SPI12_Top10_Regional_Drought_Events.csv
21. Nineveh_SPI3_Drought_Frequency_and_Event_Metrics.tif
22. Nineveh_SPI3_Drought_Period_Comparison_1981_2025.tif
23. Nineveh_SPI3_Drought_Period_Comparison_Regional_Summary.csv
24. Nineveh_SPI3_Gamma_Fit_Quality.tif
25. Nineveh_SPI3_HydrologicalYear_DroughtMonth_Series.csv
26. Nineveh_SPI3_HydrologicalYear_DroughtMonth_Summary.tif
27. Nineveh_SPI3_Monthly_Area_and_Mean_Series.csv
28. Nineveh_SPI3_Regional_Drought_Event_Catalog.csv
29. Nineveh_SPI3_Top10_Regional_Drought_Events.csv
30. Nineveh_SPI6_Drought_Frequency_and_Event_Metrics.tif
31. Nineveh_SPI6_Drought_Period_Comparison_1981_2025.tif

32. Nineveh_SPI6_Drought_Period_Comparison_Regional_Summary.csv
33. Nineveh_SPI6_Gamma_Fit_Quality.tif
34. Nineveh_SPI6_HydrologicalYear_DroughtMonth_Series.csv
35. Nineveh_SPI6_HydrologicalYear_DroughtMonth_Summary.tif
36. Nineveh_SPI6_Monthly_Area_and_Mean_Series.csv
37. Nineveh_SPI6_Regional_Drought_Event_Catalog.csv
38. Nineveh_SPI6_Top10_Regional_Drought_Events.csv
39. Nineveh_SRTM_Elevation_and_Slope.tif
40. Nineveh_Spring_Rainfall_Trend_1981_2025.tif
41. Nineveh_Winter_Rainfall_Trend_1982_2025.tif