اتجاهات وتقلبات الهطل المطري في المنطقة الوسطى من سورية خلال الفترة (1992– 2023)

اعداد : محمد الزهوري ، اشراف : أ.د جمال العلي ، أ. د فاروق البكدش

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل سلوك الهطل المطري في المنطقة الوسطى من سورية (محافظتا حمص وحماة) خلال الفترة الممتدة من الموسم المطري 1993/1992 إلى 2023/2022، وتقييم الآثار المترتبة على ذلك في مجال حصاد المياه والتكيف مع التغير المناخي في البيئات شبه الجافة. اعتمدت الدراسة على بيانات هطل مطري سنوية لمحطتي حمص وحماة، وطبقت مجموعة من الأساليب الإحصائية والهيدرولوجية. أظهرت النتائج وجود تباين بيني مرتفع في كميات الهطل المطري، حيث بلغ معامل الاختلاف 36.45% في حمص و41.53% في حماة، مما يعكس طبيعة مناخية غير مستقرة تتسم بتذبذب سنوي واضح. كما كشف تحليل الاتجاه أن الاتجاه غير منتظم ويتأثر بشدة بالسنوات المتطرفة في النصف الأخير من السجل. وأظهر تحليل CUSUM وجود نقطة تغير هيكلية حول عام 2006–2007 في حمص و2008–2009 في حماة، تمثل انتقالاً من ظروف هطل أقل من المتوسط إلى ظروف أعلى من المتوسط، مما يؤكد عدم استقرارية السلسلة الزمنية ويدعو إلى إعادة النظر في معايير التصميم الهندسي لمشاريع حصاد المياه. وكشف التحليل الفئوي لتطور الهطل عبر الزمن زيادة ملحوظة في متوسط الهطل بين الفترة الأولى (1993/1992–2002/2001) والفترة الثالثة (2013/2012–2023/2022) بلغت نحو 98% في كلتا المحطتين، مما يعكس تحولاً جوهرياً في نظام الهطل خلال العقود الثلاثة الماضية. وأظهر تحليل SPI تركيزاً واضحاً للسنوات الرطبة الشديدة في فترة ما بعد 2014، وعلى رأسها موسم 2019/2018 الذي سجل قيماً استثنائية بلغت 976.2 مم في حمص و986.2 مم في حماة. كما توصي الدراسة بتحديث معايير التصميم الهيدرولوجي بناءً على بيانات ما بعد نقاط التغير، وإنشاء نظام إنذار مبكر قائم على مؤشر SPI، وإجراء مزيد من الدراسات الهيدرولوجية والمناخية لتقييم آثار هذه التغيرات على الجريان السطحي والتغذية الجوفية والإنتاج الزراعي، بما يسهم في تعزيز الأمن المائي والاستقرار الزراعي في المنطقة الوسطى من سورية في ظل ظروف مناخية متغيرة وغير مستقرة.

الكلمات المفتاحية: تقلب الهطل المطري، مؤشر الهطل المعياري (SPI)، حصاد المياه، حمص، حماة.

Rainfall Trends and Fluctuations in Central Region of Syria (1992-2023)

Abstract

This study aims at analyzing rainfall patterns in the central region of Syria (Homs and Hama governorates) during the period from the 1992/1993 rainy season to 2022/2023, and assessing the implications for water harvesting and climate change adaptation in semi-arid environments. The study relied on annual rainfall data from the Homs and Hama stations and applied a range of statistical and hydrological methods. The results showed a high degree of inter-regional variability in rainfall amounts, with a coefficient of variation of 36.45% in Homs and 41.53% in Hama, reflecting an unstable climatic pattern characterized by clear annual fluctuations. Trend analysis revealed that the trend is irregular and strongly influenced by extreme years in the latter half of the record. CUSUM analysis identified a structural change point around 2006–2007 in Homs and 2008–2009 in Hama, representing a shift from below-average to above-average rainfall conditions. This underscores the instability of the time series and calls for a re-evaluation of the engineering design criteria for water harvesting projects. Categorical analysis of rainfall evolution over time revealed a significant increase in average rainfall between the first period (1992/1993–2001/2002) and the third period (2012/2013–2022/2023), reaching approximately 98% at both stations. This reflects a fundamental shift in the rainfall pattern over the past three decades. The SPI analysis revealed a clear concentration of exceptionally wet years in the post-2014 period, most notably the 2018/2019 season, which recorded exceptional values of 976.2 mm in Homs and 986.2 mm in Hama. The study recommends updating hydrological design standards based on post-variability data, establishing an early warning system based on the SPI index, and conducting further hydrological and climatological studies to assess the impacts of these changes on surface runoff, groundwater recharge, and agricultural production. This would contribute to enhancing water security and agricultural stability in central Syria under changing and unstable climatic conditions.

Keywords: Rainfall variability, Standardized Precipitation Index (SPI), Water harvesting, Homs, Hama

1. المقدمة

تُعد منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا واحدة من أكثر مناطق العالم تأثراً بتغير المناخ، حيث تشير النماذج المناخية إلى زيادة في تواتر وشدة كل من حالات الجفاف والفيضانات، إلى جانب انخفاض عام في متوسط الهطل المطري السنوي في العديد من الأحواض المائية [1، 2]. تقع سورية ضمن الحزام شبه الجاف لشرق المتوسط، وتواجه تحديات خاصة: إذ يعتمد أكثر من 60% من الإنتاج الزراعي إما على الزراعة البعلية المباشرة أو على الري التكميلي من مصادر مائية متزايدة الإجهاد. لذلك، يُعد فهم السلوك الزماني والمكاني للهطل المطري أمراً بالغ الأهمية لتخطيط الموارد المائية، وإدارة مخاطر الزراعة، واستراتيجيات التكيف مع المناخ.[3]

أظهرت الدراسات الحديثة في شرق المتوسط أنماطاً معقدة من التغيرات المطرية. ففي دراسة أجراها ساكاليس (2024) حول تحليل اتجاهات الهطل ودرجات الحرارة في حوض شرق المتوسط (1990–2021)، تم رصد اتجاهات تصاعدية في الهطل المطري السنوي، مع أن معظمها لم يكن معنوياً إحصائياً، إلى جانب اتجاهات احترار ملحوظة [4]. وبالمثل، كشفت أبحاث في منطقة البحر الأبيض المتوسط في تركيا (1970–2022) عن ارتباط بين أنماط الهطل والتذبذبات الجوية مثل مؤشر تذبذب البحر المتوسط (MOI) وتذبذب القطب الشمالي(AO) ، مع عدم وجود اتجاه ثابت للزيادة أو النقصان في الهطل، بل تحولات في توزيع الشدة [5]. تؤكد هذه النتائج على الطبيعة غير المتجانسة لتأثيرات تغير المناخ في المنطقة.

بالنسبة لسورية تحديداً، كشفت التقييمات الشاملة لمخاطر الجفاف باستخدام مؤشر الهطل المعياري (SPI)عن تباين مناخي كبير. فقد حددت دراسة استخدمت 71 محطة أرضية (1991–2009) وبيانات هطل فضائية (1983–2020) دورات جفاف متكررة كل 4–6 سنوات، مع تحديد عام 2013 كأكثر الأعوام جفافاً في السجل، وظروف جفاف شديد في أعوام 1988 و1993 و1999 و2003

و2008 و2013 و2017 [6]. وأكدت الدراسة وجود اتجاه إيجابي في قيم SPI عبر جميع المحطات، مما يشير إلى زيادة تأثير تغير المناخ على النظام الهيدرولوجي في سورية.[7]

تمثل المنطقة الوسطى من سورية، التي تضم محافظتي حمص وحماة، القلب الزراعي للبلاد. وعلى الرغم من أهميتها الاستراتيجية، لا تزال الدراسات طويلة الأمد لاتجاهات الهطل المطري في هذه المنطقة نادرة، خاصة للفترة التي أعقبت عام 2010 عندما تأثر جمع البيانات من المحطات الأرضية بالنزاع. تتميز المنطقة بمناخ متوسطي شبه جاف نموذجي، حيث يتراوحً الهطل السنوي بين 300 و500 مم تقريباً، يتركز خلال أشهر الشتاء (نوفمبر–أبريل). غالباً ما تكون أحداث الهطل قصيرة وشديدة، مما يولد جرياناً سطحياً كبيراً عند تجاوز قدرة التربة على التسلل—وهي ظاهرة موثقة في البيئات شبه الجافة وتشكل مبرراً رئيسياً لتدخلات حصاد المياه[8، 9].

أظهر حصاد المياه، الذي يُعرف بأنه جمع وتخزين الجريان السطحي للاستخدام الإنتاجي، أهمية تاريخية ومعاصرة في سورية. تشير الأدلة الأثرية من الرصافة في البادية السورية إلى أن الرومان بنوا صهاريج كبيرة (سعة إجمالية 21,000 م³) حوالي عام 300 ميلادي لتخزين مياه السطح—وهو نظام لا يزال نمذجة الجريان السطحي تشير إلى جدواه اليوم [10]. وفي الآونة الأخيرة، حددت أبحاث حول حصاد المياه في وسط سورية مواقع مناسبة لأنظمة حصاد المياه الصغيرة والفيضانية باستخدام التحليل المكاني متعدد المعايير القائمة على نظم المعلومات الجغرافية[11]. وأظهرت التجارب الحقلية في منطقة القريتين أن هياكل حصاد المياه مثل المصاطب نصف الدائرية والخطوط المتقطعة تحسّن بشكل كبير بقاء ونمو الشجيرات مقارنة بالقطع الضابطة، حتى في السنوات الجافة.[12]

تسد هذه الدراسة الفجوة المعرفية المتعلقة باتجاهات وتقلبات الهطل المطري في محافظتي حمص وحماة على مدى 30 عاماً (2023/2022–1993/1992)، مع تركيز خاص على الآثار المترتبة على إمكانيات حصاد المياه. يستخدم التحليل الإحصاء الوصفي، والانحدار الخطي، وكشف نقطة التغير بطريقة المجموع التراكمي(CUSUM) ، ومؤشر الهطل المعياري (SPI) لتوصيف نظام الهطل وتحديد التغيرات الهيكلية في السلسلة الزمنية. تُوضع النتائج في سياق الأدبيات الأوسع حول تقلب المناخ في شرق المتوسط وجدوى حصاد المياه في المناطق شبه الجافة.

2. مشكلة البحث:

تعاني المنطقة الوسطى من سورية (محافظتا حمص وحماة) من تحديات مائية وزراعية متزايدة نتيجة التغيرات المناخية والضغوط البشرية، حيث يشكل الهطل المطري المصدر الرئيسي للمياه في هذه المنطقة شبه الجافة. ورغم الأهمية الحيوية للهطل المطري في تحديد الإنتاج الزراعي وتوافر الموارد المائية، إلا أن الفهم العلمي الدقيق لسلوكه الزماني والمكاني لا يزال محدوداً، خاصة في ضوء الفجوات المعرفية التالية:

أولاً: غياب التقييم الكمي للاتجاهات طويلة الأمد: تفتقر المنطقة إلى دراسة منهجية تحلل الاتجاهات العامة للهطل المطري على مدى فترة زمنية كافية (ثلاثون عاماً أو أكثر)، مما يحول دون القدرة على تمييز التغيرات الحقيقية في النظام المطري عن التقلبات السنوية العادية، ويحد من دقة التخطيط للموارد المائية والزراعية.

ثانياً: عدم وضوح نقاط التحول الزمني في السلسلة المطرية: لم تحدد الدراسات السابقة النقاط الزمنية التي حدثت فيها تغيرات هيكلية في نظام الهطل، على الرغم من أن هذه النقاط تشكل مرجعاً أساسياً لتقييم ما إذا كانت المنطقة تشهد تحولاً نحو الرطوبة أو الجفاف، ولتعديل معايير التصميم الهندسي للمشاريع المائية وفقاً للظروف الجديدة.

ثالثاً: التباين الكبير في الهطل بين السنوات: تظهر البيانات الأولية تذبذباً شديداً في كميات الأمطار بين السنوات، حيث تراوح الهطل السنوي في حمص بين 218.4 مم و976.2 مم، وفي حماة بين 236.6 مم و986.2 مم، مما يعكس نظاماً مطرياً غير مستقر. غير أن هذا التذبذب لم يُحلل بشكل كمي لتحديد مدى تطرفه، وتصنيف السنوات إلى جافة ورطبة، وفهم ديناميكيته.

رابعاً: الفجوة بين التحليل المناخي وتطبيقات حصاد المياه: لم تُربط الدراسات المناخية في المنطقة بشكل منهجي بإمكانيات حصاد المياه، رغم أن فهم سلوك الهطل هو الأساس العلمي لتصميم أنظمة حصاد فعالة، وتحديد المواقع المناسبة، وتقدير أحجام التخزين اللازمة. كما أن التغيرات الأخيرة في نظام الهطل لم تؤخذ بعين الاعتبار في معايير التصميم التقليدية التي تعتمد على افتراض ثبات الخصائص المناخية.

خامساً: ندرة الدراسات في فترة ما بعد 2010: تأثرت شبكة الرصد المناخي في سورية بالأوضاع الراهنة بعد عام 2010، مما أدى إلى ندرة الدراسات التي تغطي العقد الأخير، على الرغم من أنه شهد تغيرات مناخية ملحوظة على المستويين الإقليمي والعالمي.

وعليه، تتمثل مشكلة البحث الرئيسية في السؤال التالي:

كيف تطور سلوك الهطل المطري في محافظتي حمص وحماة خلال الثلاثين عاماً الماضية (1992/1993–2022/2023) من حيث الاتجاه العام، ونقاط التغير الهيكلي، والتباين بين السنوات، وتصنيفها إلى جافة ورطبة؟ وما هي الدلالات الهيدرولوجية والتطبيقية لهذا التطور على إمكانيات تنفيذ مشاريع حصاد المياه في المنطقة في ظل ظروف مناخية غير مستقرة؟

3. أهداف البحث:

1. تحديد الاتجاه العام (Trend) للهطل المطري السنوي باستخدام تحليل الانحدار الخطي، وحساب معدل التغير السنوي (مم/ سنة) ومعامل التحديد (R^2)، لتقييم ما إذا كانت المنطقة تشهد زيادة أو نقصاناً في الهطل على المدى الطويل.
2. كشف نقاط التغير الهيكلي (Change Points) في السلسلة الزمنية للهطل باستخدام طريقة المجموع التراكمي للانحرافات (CUSUM)، لتحديد التواريخ الزمنية التي حدثت فيها تحولات جوهرية في نظام الهطل، وفهم ديناميكية عدم الاستقرارية في السلسلة.
3. تحليل التغيرات طويلة الأمد بتقسيم السلسلة الزمنية إلى ثلاث فترات متساوية تقريباً ومقارنة متوسطات الهطل فيما بينها، وحساب النسبة المئوية للتغير بين الفترات، لتقييم تطور النظام المطري على مقياس عقدي.
4. تصنيف السنوات إلى جافة ورطبة باستخدام مؤشر الهطل المعياري (SPI)، وتحديد السنوات المتطرفة في كلا الاتجاهين (جاف شديد، رطب شديد)، لتقييم تواتر وشدة الظروف المناخية المتطرفة في المنطقة.

4. المواد والطرائق

4.1. منطقة الدراسة

تتكون منطقة الدراسة من محافظتين في وسط سورية: حمص (حوالي 34°43′ شمالاً، 36°43′ شرقاً) وحماة (حوالي 35°08′ شمالاً، 36°45′شرقاً). تتميز المنطقة بمناخ متوسطي شبه جاف، يتميز بفصل

شتاء بارد رطب وصيف حار جاف. تراوح متوسط الهطل السنوي خلال فترة الدراسة بين 218 مم و976 مم تقريباً في حمص، وبين 237 مم و986 مم في حماة. يختلف الارتفاع عبر المنطقة، حيث تؤثر السلاسل الجبلية الساحلية على توزيع الهطل.

4.2. البيانات

تم الحصول على بيانات الهطل من محطات الرصد الجوي التابعة للهيئة العامة للأرصاد الجوية السورية للفترة 1993/1992 إلى 2023/2022. تمثل البيانات إجمالي الهطل المطري السنوي للسنة الهيدرولوجية، وتتألف من 30 موسماً كاملاً. تم تحليل محطتين: حمص وحماة. شملت مراقبة الجودة التحقق من التناقضات والثغرات؛ ولم يتم تحديد أي ثغرات كبيرة في السلسلة النهائية.

4.3. الأساليب الإحصائية

4.3.1 الإحصاء الوصفي

تم حساب المعايير الإحصائية الأساسية لكل محطة، وتشمل:

متوسط الهطل السنوي:(μ)

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i$$

الانحراف المعياري:(σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(P_i - \mu)^2}$$

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{\mu} \times 100$$

المدى :القيمة القصوى – القيمة الدنيا للهطل.

4.3.2 تحليل الاتجاه

تم إجراء تحليل الاتجاه الخطي باستخدام الانحدار الخطي البسيط:

$$P_t = a \cdot t + b$$

حيث Pt هو الهطل السنوي في السنة T ، و a هو الميل (معدل التغير بالمليمتر/سنة)، و b هو المقطع. تم حساب معامل التحديد (R^2) لتقييم نسبة التباين المفسرة بالاتجاه الخطي.

4.3.3. كشف نقطة التغير(CUSUM)

تم تطبيق طريقة المجموع التراكمي للانحرافات (CUSUM) للكشف عن الانقطاعات الهيكلية في السلسلة الزمنية للهطل [13]. تم حساب إحصائية CUSUM St على النحو التالي:

$$S_t = \sum_{i=1}^{t}(P_i - \bar{P})$$

حيث P- هو متوسط السلسلة بأكملها. النقطة التي تصل عندها St إلى قيمتها الدنيا (مشيرة إلى تحول من قيم أقل إلى قيم أعلى) أو القصوى (مشيرة إلى تحول من قيم أعلى إلى قيم أقل) تشير إلى نقطة تغير محتملة. يُعد كشف نقطة التغير مهماً بشكل متزايد لفهم عدم الاستقرارية(Non–stationarity) في البيانات الهيدرو–مناخية، خاصة في ظل تغير المناخ.[14]

4.3.4 مؤشر الهطل المعياري(SPI)

تم حساب SPI باتباع منهجية ماكي وآخرين (1993) [15]. يحول SPI بيانات الهطل إلى توزيع طبيعي معياري:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma}$$

حيث Pi هو الهطل السنوي للسنة i، $\bar{P}$ هو المتوسط طويل الأمد، و σ هو الانحراف المعياري. تم تصنيف الظروف الرطبة والجافة وفقاً للجدول التالي:

قيمةSPI	التصنيف
≥ 2.00	رطب شديد
1.50 – 1.99	رطب جداً
1.00 – 1.49	رطب معتدل
−0.99 – 0.99	طبيعي (قريب من المتوسط)
−1.00 – −1.49	جاف معتدل
−1.50 – −1.99	جاف شديد
≤ −2.00	جاف شديد جداً

تم التحقق من فعالية SPI كأداة لرصد الجفاف في سورية [6 ، 7].

4.3.5. التحليل الفئوي

تم تقسيم السلسلة الزمنية التي تبلغ 30 عاماً إلى ثلاث فترات متساوية تقريباً لفحص التطور الزمني:

الفترة الأولى: 1993/1992 – 2002/2001 (10 سنوات)
الفترة الثانية: 2003/2002 – 2012/2011 (10 سنوات)
الفترة الثالثة: 2013/2012 – 2023/2022 (11 سنة)

5. النتائج والمناقشة

5.1. الإحصاء الوصفي

يُعرض في الجدول 1 الخصائص الإحصائية للهطل السنوي لكلتا المحطتين، حيث يتجاوز متوسط الهطل السنوي في حمص (470.7 مم) نظيره في حماة (437.4 مم) بنسبة 7.6% تقريباً، مما يعكس الظروف الأكثر رطوبة قليلاً في محطة حمص. قد يُعزى هذا الاختلاف، رغم تواضعه، إلى الوضع الطبوغرافي لمحطة حمص بالنسبة للرياح الغربية المحملة بالرطوبة.

يكشف **معامل الاختلاف (CV)** تبايناً بينياً كبيراً: 36.45% لحمص و 41.53% لحماة. هذه القيم مرتفعة مقارنة بالمناطق المتوسطية الرطبة (15–25% عادةً) ولكنها متسقة مع البيئات شبه الجافة حيث يكون الهطل متقلباً بطبيعته. يشير ارتفاع CV في حماة إلى تقلب مطري أكبر، مما يوحي بأن النظم الزراعية في حماة تواجه حالة من عدم يقين بيني أعلى مقارنة بحمص. وتتطابق النتائج مع الدراسات السابقة حيث يُعد هذا التقلب سمة مميزة للمناخات شبه الجافة ويدعم الأساس المنطقي لتدخلات حصاد المياه [8، 16].

يمتد **المدى المطري** (757.8 مم لحمص، 749.6 مم لحماة) من سنوات العجز المائي الحاد(>) 250مم إلى سنوات الفائض الاستثنائي(975 <) مم. تعكس هذه التطرفات موقع المنطقة في منطقة

انتقالية حيث تنتج كل من الأنظمة الجبهوية المتوسطية والعواصف الحملية أحياناً هطلاً متغيراً للغاية. إن حدوث سنوات يزيد فيها الهطل عن 4 إلى 5 أضعاف الحد الأدنى خلال نفس السجل الذي يبلغ 30 عاماً له آثار عميقة على تخطيط الموارد المائية: فالأنظمة المصممة لمتوسط الظروف ستفشل حتماً في السنوات المتطرفة.

تتوافق هذه النتائج مع الأنماط الإقليمية الأوسع. فقد وثقت دراسات في شرق المتوسط تقلباً بينياً مرتفعاً في الهطل، مع تحديد المناطق شبه الجافة (≈300 مم متوسط سنوي) على أنها الأكثر حساسية لتغير الهطل [1، 17]. كما أكد تقييم مخاطر الجفاف في سورية أن فصول الجفاف تتكرر كل 4–6 سنوات في المتوسط، مع تسجيل ظروف جفاف شديد في أعوام 1993 و1999 و2003 و2008 و2013 و2017 [6].

الجدول 1: الخصائص الإحصائية للهطل المطري السنوي(1992/1993–2022/2023)

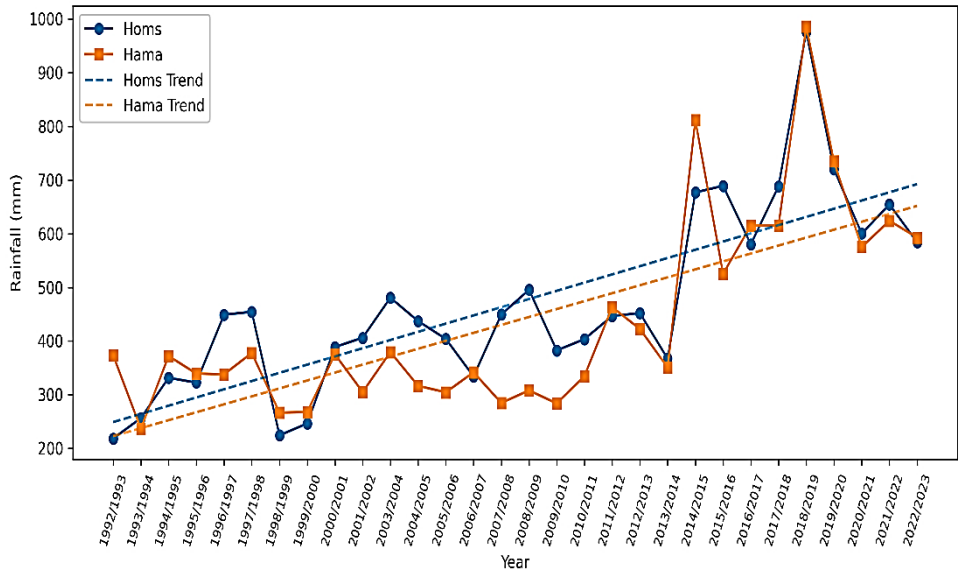
المؤشر	حمص (مم)	حماة (مم)
عدد السنوات	30	30
المتوسط السنوي	470.74	437.44
القيمة القصوى	976.2	986.2
القيمة الدنيا	218.4	236.6
المدى المطري	757.8	749.6
الانحراف المعياري	171.60	181.68

المؤشر	حمص (مم)	حماة (مم)
معامل الاختلاف(%)	36.45	41.53

المصدر. حسابات الباحث، 2026

5.2. السلاسل الزمنية للهطل السنوي

يُعرض في الشكل 1 السلاسل الزمنية للهطل السنوي لكلتا المحطتين إلى جانب خطوط الاتجاه الخطي.



شكل1. السلاسل الزمنية للهطل السنوي لكلتا المحطتين إلى جانب خطوط الاتجاه الخطي

يكشف التطور الزمني عن عدة سمات بارزة:

1. **الفترة المبكرة (1992–2002)** :(سجلت كلتا المحطتين هطلاً أقل من المتوسط، مع سنوات جافة متعددة (1993/1992، 1999/1998، 2002/2001). سجلت حمص 218.4 مم

في 1993/1992—وهي السنة الأكثر جفافاً لتلك المحطة—بينما سجلت حماة أدنى قيمة لها 236.6 مم في 1994/1993.

2. **الفترة الوسطى) 2003– 3013)** :(زاد الهطل لكنه ظل متغيراً. حدثت عدة سنوات أكثر رطوبة (على سبيل المثال، 2004/2003: 480.8 مم في حمص، 379.5 مم في حماة)، لكن الزيادات لم تكن متسقة. يجسد موسم 2008/2007 في حمص (449.4 مم) وموسم 2012/2011 في حماة (463.1 مم) هذا التقلب.
3. **الفترة المتأخرة (2014–2023)** : تظهر زيادة دراماتيكية في الهطل منذ عام 2014 فصاعداً. سجلت كلتا المحطتين أطرافها الأكثر رطوبة خلال هذه الفترة، حيث وصلت حمص إلى 976.2 مم في 2019/2018 وحماة إلى 986.2 مم في نفس العام. وهذا يمثل زيادة تبلغ حوالي 100% فوق المتوسط طويل الأمد. كما تبرز سنوات 2018/2017 (688.4 مم في حمص، 615.4 مم في حماة) و2020/2019 (720.1 مم في حمص، 734.8 مم في حماة) كسنوات رطبة بشكل استثنائي.

كشف تحليل الاتجاه الخطي عن:

- **حمص** : زيادة قدرها 15.3 مم/ سنة، $R^2 = 0.32$
- **حماة** : زيادة قدرها 14.8 مم/ سنة، $R^2 = 0.28$

في حين أن الاتجاه الإيجابي واضح، تشير قيم R^2 المنخفضة نسبياً إلى أن الاتجاه الخطي يفسر فقط 28–32% من التباين. وهذا يشير إلى أنه على الرغم من زيادة الهطل في المتوسط، فإن الاتجاه غير منتظم ويتأثر بشدة بالسنوات الرطبة الشديدة في النصف الأخير من السجل. يتسق هذا النمط مع النتائج من شرق المتوسط، حيث تم الإبلاغ عن "اتجاهات تصاعدية في الهطل السنوي خلال 1990–2021"، مع أن معظمها "غير معنوي إحصائياً" [4]. في منطقة البحر الأبيض المتوسط في تركيا، أظهرت نتائج تحليل الاتجاه المبتكر" (ITA) عدم وجود اتجاه مستقر للزيادة أو النقصان في بيانات الهطل"، مع ملاحظة اتجاهات متزايدة للأحداث ذات الشدة الصغيرة والمتوسطة واتجاهات متناقصة للأحداث الكبيرة [5].

يتزامن الارتفاع الدراماتيكي بعد عام 2014 أيضاً مع فترة من التقلبات المناخية الإقليمية الكبيرة. ربطت دراسات التغيرات في الهطل في شرق المتوسط بالتذبذبات الجوية، بما في ذلك تذبذب شمال الأطلسي (NAO)ومؤشر تذبذب البحر المتوسط [5] .

5.3. التحليل الفئوي

يتبين من **الجدول 2** تحولاً مذهلاً في نظام الهطل عبر العقود الثلاثة:

الفترة الأولى (1992–2002) تمثل خط أساس جاف نسبياً، حيث بلغ متوسط الهطل السنوي حوالي 330 مم في كلتا المحطتين—أقل من المتوسط طويل الأمد وقريب من الحدود شبه الجافة.

الفترة الثانية (2003– 2012) تظهر زيادات معتدلة: ارتفع الهطل بحمص بنسبة 30% (إلى 428.6 مم)، بينما ارتفع الهطل بحماة بنسبة 5.8% فقط (إلى 343.9 مم). شكلت هذه الفترة بداية الاتجاه التصاعدي، على الرغم من أن الزيادة في حماة كانت أكثر تدريجية.

الفترة الثالثة (2013– 2023) تمثل تحولاً جوهرياً، حيث سجلت كلتا المحطتين متوسطات أعلى من 640 مم— ما يقرب من ضعف متوسطات الفترة الأولى. هذه الزيادة البالغة 98% على مدى ثلاثة عقود ملحوظة، وبينما قد تكون متأثرة بتذبذبات مناخية على مقياس عقدي، تشير إلى تغير كبير في نظام الهطل في وسط سورية.

لهذه النتائج آثار حاسمة على تخطيط الموارد المائية والإدارة الزراعية. تشير الزيادة الكبيرة في متوسط الهطل خلال العقد الأحدث إلى أن:

1. **البنية التحتية المصممة على أساس متوسطات طويلة الأمد تقلل من تقدير توافر المياه .** فإن أنظمة حصاد المياه، والسدود، وخزانات الري المخططة بناءً على متوسط 30 عاماً (470 مم لحمص، 437 مم لحماة) ستكون الآن ممتلئة بشكل أقل باستمرار، مما يفوت فرصاً لالتقاط المياه في السنوات الأكثر رطوبة.

2. **تتجاوز السنوات الرطبة الشديدة الآن المعايير التاريخية بشكل كبير** . كان موسم 2019/2018 (976–986 مم) ضعف متوسط الفترة الأولى تقريباً وأكثر من 100% فوق متوسط الفترة الثالثة. توفر مثل هذه السنوات فرصاً استثنائية لإعادة تغذية المياه الجوفية من خلال أنظمة التغذية المدارة للخزانات الجوفية وحصاد المياه على نطاق واسع.
3. **تحولت فترة تكرار السنوات الرطبة والجافة** .في حين حددت تقييمات مخاطر الجفاف في سورية دورات جفاف كل 4–6 سنوات [6]، تظهر الفترة بعد 2014 سلسلة من السنوات الرطبة المتتالية دون سنوات جافة كبيرة، مما قد يعكس تغيراً في حالة المناخ على المقياس العقدي.

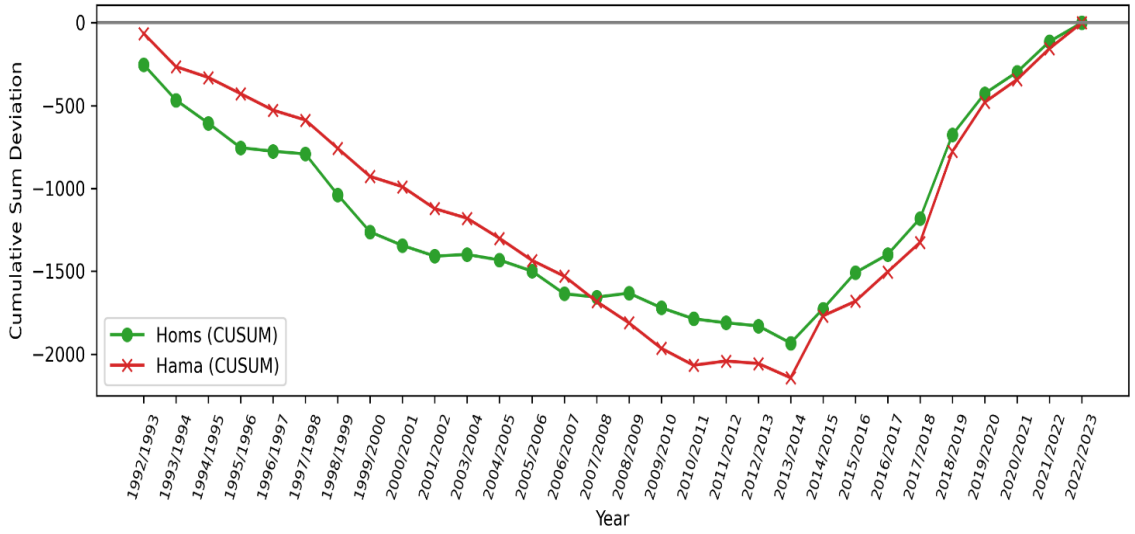
الجدول 2: متوسط الهطل المطري حسب الفترة الزمنية.

الفترة	حمص (مم)	حماة (مم)
الأولى: 1993/1992 – 2002/2001	329.82	325.20
الثانية: 2003/2002 – 2012/2011	428.62	343.93
الثالثة: 2013/2012 – 2023/2022	653.78	643.20
التغير: الأولى ← الثالثة	+98.2%	+97.8%

المصدر. حسابات الباحث، 2026

5.4. كشف نقطة التغير(CUSUM)

يُعرض في الشكل 2 مخطط CUSUM لكلتا المحطتين.



شكل 2 مخطط CUSUM لكلتا المحطتين

تحليل CUSUM لحمص:

يظهر المجموع التراكمي للانحرافات عن المتوسط انخفاضاً مطرداً من بداية السجل حتى حوالي 2006–2007، حيث يصل إلى قيمته الدنيا حوالي تلك النقطة. بعد ذلك، ينعكس مسار CUSUM ويرتفع باستمرار خلال ما تبقى من السجل. يشير هذا النمط إلى:

- **قبل 2007** : هطل أقل من المتوسط باستمرار، مع تراكم العجز عبر السلسلة.
- **بعد 2007** : هطل أعلى من المتوسط باستمرار، مع تراكم الفوائض.

يشير الحد الأدنى في مسار CUSUM حوالي 2006–2007 إلى نقطة تغير محتملة—النقطة التي انتقلت عندها السلسلة من ظروف أقل من المتوسط إلى ظروف أعلى من المتوسط.

تحليل CUSUM لحماة:

يُلاحظ نمط مماثل، على الرغم من أن الحد الأدنى لمسار CUSUM يتحقق بعد ذلك بقليل، حوالي 2008–2009. يشير هذا إلى أنه:

- عانت حماة من ظروف أقل من المتوسط لفترة أطول من حمص قبل التحول.
- حدث الانتقال إلى ظروف أعلى من المتوسط في حماة بعد حوالي سنتين من حمص.

تفسير نقاط التغير:

إن تحديد نقاط التغير حوالي 2007–2009 مهم لعدة أسباب:

أولاً، يتوافق مع الأنماط الإقليمية الأوسع. وثقت دراسات في شرق المتوسط تحولات في نظم الهطل خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، على الرغم من اختلاف التوقيت حسب الموقع. تقع نقطة التغير المحددة هنا (2007–2009) ضمن نطاق التحولات الموثقة في حوض المتوسط [4،5]
.

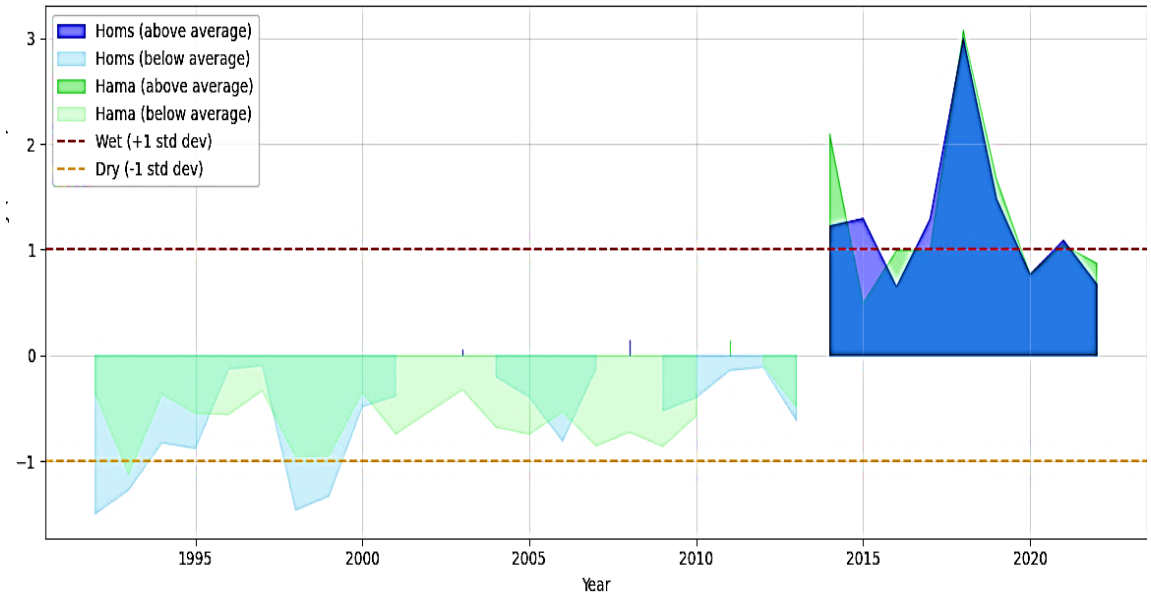
ثانياً، لنقطة التغير آثار عملية على التصميم الهيدرولوجي. مفهوم **عدم الاستقرارية** في السلاسل الزمنية للهطل– فكرة أن الخصائص الإحصائية للسلسلة تتغير بمرور الوقت– راسخ الآن في الأدبيات الهيدرولوجية [14]. عندما يتحول المتوسط أو التباين أو الخصائص الإحصائية الأخرى، تصبح البنية التحتية المصممة على أساس افتراض الاستقرارية إما أكبر أو أصغر حجماً بشكل منهجي. تشير نقطة التغير 2007–2009 إلى أن وسط سورية قد دخل نظاماً مطرياً جديداً، مع متوسط هطل أعلى بشكل ملحوظ وخصائص تباين مختلفة محتملة.

ثالثاً، يتزامن توقيت نقطة التغير مع تحولات مناخية موثقة في شرق المتوسط. ربطت دراسات تقلب الهطل المتوسطي بتذبذبات جوية مثل NAO و MOI و .[5] AO قد تمثل الفترة 2007–2009 تحولاً طورياً في هذه المحركات، على الرغم من أن إثبات السببية يتطلب مزيداً من التحقيق.

تم التحقق من صحة **منهجية CUSUM** كأداة فعالة لكشف نقطة التغير في البيانات الهيدرو–مناخية. وجدت دراسة مقارنة لطرق كشف نقطة التغير في كوريا الجنوبية أن الأساليب القائمة على CUSUM تحدد بكفاءة الانقطاعات الهيكلية في سلاسل الهطل [18]. وبالمثل، حدد تحليل نقطة التغير في نيجيريا عام 2002 كتاريخ أولي لنقطة تغير الهطل باستخدام اختبارات CUSUM غير المعلمية [19]. في جنوب غرب أستراليا—وهي منطقة ذات مناخ متوسطي مماثل—كشف تحليل نقطة التغير عن تحولات في الهطل في أربعينيات–ستينيات القرن العشرين و1995–2000 [20]، مما يدل على قيمة هذه الأساليب لتوصيف عدم الاستقرارية في نظم الهطل.

5.4. تحليل مؤشر الهطل المعياري(SPI)

يُعرض في الشكل 3 قيم SPI لكلتا المحطتين خلال فترة الدراسة.



شكل 3 قيم SPI لكلتا المحطتين خلال فترة الدراسة

تصنيف السنوات المتطرفة:

الجدول 3: تصنيف السنوات المتطرفة

الفئة	حمص	حماة
رطب شديد (SPI ≥ 2.0)	2018/2019 (2.94)، 2015/2014 (2.20*)	2018/2019 (3.02)، 2015/2014 (2.06)

الفئة	حمص	حماة
رطب جداً (1.5 – 1.99)	2017/2018 (1.27)، *2020/2019 (1.45)*	2019/2020 (1.64)، 2022/2021 (1.03*)
جاف شديد جداً (SPI ≤ −2.0)	لا يوجد (الحد الأدنى: −1.47 في 1993/1992)	لا يوجد (الحد الأدنى: −1.10 في 1994/1993)
جاف شديد (−1.5 إلى −1.99)	1992/1993 (−1.47)، *1999/1998 (−1.44)*	1993/1994 (−1.10*)

المصدر. حسابات الباحث، 2026

تشير القيم إلى مستوى التصنيف

الملاحظات الرئيسية:

1. **تتركز السنوات الرطبة الشديدة في فترة ما بعد 2014:** كان العامان الأكثر استثنائية في السجل بأكمله هما 2015/2014 و2019/2018، وكلاهما يقع في الفترة الثالثة. يدعم تركيز الأحداث الرطبة الشديدة هذه نتائج كشف نقطة التغير.
2. **توجد السنوات الجافة في الغالب في الفترة المبكرة:** وقعت السنوات الأكثر جفافاً لكلتا المحطتين في أوائل إلى منتصف تسعينيات القرن الماضي. لم يتم تسجيل أي جفاف شديد (SPI ≤ −2.0)لأي من المحطتين خلال فترة 30 عاماً، على الرغم من ملاحظة ظروف جفاف شديد (SPI ≤ −1.5) في حمص في 1993/1992 و1999/1998.
3. **اشتد التقلب بين السنوات:** لا تتمتع فترة ما بعد 2014 بمتوسط هطل أعلى فحسب، بل أيضاً بانحرافات أكبر عن المتوسط. تمثل قيم SPI لعام 2019/2018 (حوالي +3.0) انحرافاً يبلغ حوالي 3 انحرافات معيارية فوق المتوسط—وهو حدث نادر للغاية في سلسلة موزعة بشكل طبيعي.

4. **التماسك المكاني مع التباين** . تظهر سلاسل SPI لحمص وحماة ارتباطاً عالياً، مما يشير إلى أن كلتا المحطتين تستجيبان بشكل مماثل لأنظمة الطقس نفسها. ومع ذلك، فإن حجم الانحرافات ليس متطابقاً— تُظهر حماة قيم SPI إيجابية أكثر تطرفاً من حمص لحدث 2019/2018، وهو ما يتوافق مع ارتفاع CV قليلاً في حماة.

وفي مقارنة مع الدراسات في سورية والإقليمية:

تتوافق نتائج SPI مع الدراسات حول مخاطر الجفاف في سورية. حدد التقييم الأكثر شمولاً لمخاطر الجفاف في سورية، باستخدام 71 محطة وبيانات فضائية (1983–2020)، دورات جفاف كل 4–6 سنوات ووثق ظروف جفاف شديد في أعوام 1993 و1999 و2003 و2008 و2013 و2017 [6]. تُظهر سلسلة SPI في هذه الدراسة ظروفاً جافة في حمص وحماة في 1993/1992 و1999/1998 و2009/2008 و2013/2012—مما يتطابق مع النمط الوطني الأوسع.

تم التحقق من صحة فائدة SPI لرصد الجفاف في سورية في دراسات متعددة. وجدت أبحاث في محافظة اللاذقية باستخدام SPI للفترة 1993–2023 أن المحطات في المنطقة سجلت فترات جفاف محلية بتردد 10–25% على مقاييس زمنية 6 أشهر [3]. في الدراسة الحالية، يوفر SPI السنوي منظوراً مكملاً، يركز على التباين بين السنوات بدلاً من التباين دون السنوي.

آثار نتائج SPI على حصاد المياه:

يكشف تحليل SPI عن نمط مهم لتخطيط حصاد المياه: تحولت المنطقة من نظام يتسم بهطل أقل من المتوسط مع ظروف جافة عرضية إلى نظام يهيمن عليه هطل أعلى من المتوسط مع أحداث رطبة شديدة. لهذا التحول عدة آثار:

- **زادت إمكانيات حصاد المياه** . في منطقة ذات هطل أعلى وأحداث رطبة شديدة أكثر تواتراً، زاد حجم المياه المتاحة للالتقاط والتخزين بشكل كبير.

- **زادت متطلبات سعة التخزين** . يعني حجم الأحداث المتطرفة (SPI > 2.0) أن الأنظمة المصممة للمتوسط التاريخي ستكون غير كافية لالتقاط الحجم الكامل للجريان الناتج خلال أحداث من نوع 2019/2018.
- **لم تختف مخاطر الجفاف** . على الرغم من ظروف المتوسط الأكثر رطوبة، تظل دورة الجفاف التي تتراوح بين 4–6 سنوات الموثقة لسورية مصدر قلق. قد يمثل التحول إلى ظروف أكثر رطوبة تذبذباً عقدياً، وقد تعود ظروف الجفاف.

6. الاستنتاجات

بناءً على تحليل 30 عاماً من بيانات الهطل (2023/2022–1993/1992) من محافظتي حمص وحماة في وسط سورية، تم استخلاص الاستنتاجات التالية:

1. **يعد التقلب البيني المرتفع في الهطل** سمة مميزة للمنطقة، مع معاملات اختلاف 36.5% (حمص) و41.5% (حماة). هذا التقلب، النموذجي للمناخات شبه الجافة، يؤكد الحاجة إلى تخزين المياه واستراتيجيات الإدارة التكيفية. يشير ارتفاع التقلب في حماة إلى مخاطر زراعية أكبر في تلك المحافظة.
2. **لوحظ اتجاه خطي إيجابي** يبلغ حوالي 15 مم/سنة لكلتا المحطتين، على الرغم من أن الاتجاه يفسر فقط 28–32% من التباين، مما يشير إلى تقدم غير منتظم مع قيم متطرفة في الجزء الأخير من السجل.
3. **تم تحديد نقطة تغير هيكلية** حوالي 2006–2007 في حمص و2008–2009 في حماة باستخدام تحليل .CUSUM يمثل هذا التحول الانتقال من ظروف هطل أقل من المتوسط إلى ظروف أعلى من المتوسط وله آثار كبيرة على تصميم بنية حصاد المياه في ظل ظروف مناخية غير مستقرة.
4. **زاد متوسط الهطل بنسبة 98% تقريباً** بين الفترة الأولى (1992–2002) والفترة الثالثة (2013–2023)، من حوالي 330 مم إلى أكثر من 640 مم في كلتا المحطتين. يمثل هذا تحولاً جوهرياً في نظام الهطل خلال فترة الدراسة.

5. **تبرز السنوات الرطبة الشديدة** (2015/2014 و2019/2018) في تحليلSPI ، مع قيم SPIتتجاوز +2.0، مما يشير إلى أحداث نادرة في مناخ مستقر. يؤكد تركيز السنوات الرطبة الشديدة في فترة ما بعد 2014 التحول نحو ظروف أكثر رطوبة.
6. **زادت إمكانيات حصاد المياه** مع زيادة الهطل وتزايد تقلبه. يمكن أن يوفر التقاط وتخزين فائض الجريان خلال السنوات الرطبة مياهًا للزراعة والثروة الحيوانية وتغذية المياه الجوفية خلال فترات الجفاف الحتمية. تشير دورة الجفاف التي تتراوح بين 4–6 سنوات الموثقة لسورية إلى أن فترة الرطوبة الحالية ستعطي في النهاية مجالاً لظروف أكثر جفافاً.

7. **التوصيات:**

1- تحديث معايير التصميم الهيدرولوجي باستخدام بيانات ما بعد 2007–2009 مع إضافة عامل أمان 25% لاستيعاب التقلبات المتزايدة.
2- بناء مشاريع تخزينية (سدود، بحيرات، تغذية جوفية) بسعات تعادل متوسط هطل عامين، للاستفادة من الفترة الرطبة والتحسب لدورات الجفاف كل 4–6 سنوات.
3- إنشاء نظام إنذار مبكر قائم على مؤشر SPI لتوجيه قرارات حصاد المياه وترشيد الاستهلاك موسمياً.
4- إعادة تقييم خرائط المواقع المناسبة للحصاد باستخدام بيانات الهطل المحدثة، مع التركيز على المناطق الأعلى هطلاً للتغذية الجوفية والمتوسطة للزراعة البعلية.
5- دمج حصاد المياه في السياسات الوطنية، مع تدريب المزارعين وإجراء دراسات هيدرولوجية تكميلية لتقييم الآثار على الجريان والتغذية والإنتاج.

المراجع

[1] Sternberg, M., & Shoshany, M. (2006). The effects of daily rainfall variability on annual plant communities in the eastern Mediterranean. Global Change Biology.

[2] IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.

[3] Fayad, R. A., & Ali, Y. M. (2024). Spatiotemporal variations of rainfall in Lattakia Governorate using the Standardized Precipitation Index (SPI). Journal of the University of Libya.

[4] Sakalis, V. D. (2024). Trend analysis and forecast of annual precipitation and temperature series in the Eastern Mediterranean region. Atmósfera, 38.

[5] Bozkurt, D., & Sen, O. L. (2025). Relationship between Mediterranean region temperatures and precipitation with atmospheric oscillations and ITA results. *Journal of Coastal Conservation*, *29*, Article 90. https://doi.org/10.1007/s11852-025-01123-5

[6] Al-Taani, A. A., & Al-Rawabdeh, A. M. (2025). Assessment of drought risks in arid regions utilizing remote sensing data and the standardized precipitation index in the context of climate change. *Earth Systems and Environment*. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s41748-025-00567-1

[7] Al-Taani, A. A., & Al-Rawabdeh, A. M. (2026). Assessment of drought risks in arid regions utilizing remote sensing data and the standardized precipitation index in the context of climate change. *Earth Systems and Environment*, *10*, 1349–1368. https://doi.org/10.1007/s41748-026-00612-7

[8] Bensaid, S., & Khettal, M. (2006, May). Water management and soil conservation in semi-arid environments. In *Proceedings of the 14th*

International Soil Conservation Organization Conference (pp. 245–252). Marrakech, Morocco.

[9] Berking, J., Beckers, B., & Schütt, B. (2010). Runoff in two semi-arid watersheds in a geoarchaeological context: Naga, Sudan, and Resafa, Syria. *Geoarchaeology*, *25*(6), 815–836. https://doi.org/10.1002/gea.20340

[11] Oberle, A. (2025). *GIS-based identification of suitable areas for various kinds of water harvesting in Syria* (Master's thesis). Karlsruhe Institute of Technology, Germany.

[12] Food and Agriculture Organization [FAO]. (2022). *Water harvesting and sustainable agriculture in the Syrian Badia* (FAO Technical Report No. 2022/15). Rome, Italy: FAO.

[13] Page, E. S. (1954). Continuous inspection schemes. *Biometrika*, *41*(1/2), 100–115. https://doi.org/10.1093/biomet/41.1-2.100

[14] Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, *319*(5863), 573–574. https://doi.org/10.1126/science.1151915

[15] McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings*

of the 8th Conference on Applied Climatology (pp. 179–184). Anaheim, CA: American Meteorological Society.

[16] Šraj, M., & Bezak, N. (Eds.). (2015). Water harvesting in semi-arid environments [Special issue]. *Hydrological Sciences Journal*, *60*(7–8). https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1057312

[17] Sternberg, M. (2006). *Climate change and daily rainfall variability effects on annual plant communities in the Middle East* (Doctoral dissertation). University of Potsdam, Germany.

[18] Kim, S., & Lee, J. (2025). Comparison between change point detection methods with synthetic rainfall data and application in South Korea. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *58*, Article 102234. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102234

[19] Nwachukwu, P. O., & Okoro, C. A. (2024). Establishing climate change on rainfall trend, variation and change point pattern in Umuahia, Nigeria. *International Journal of Environment and Climate Change*, *14*(3), 112–128. https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i34123

[20] Tramblay, Y., & Hertig, E. (2022). A structured framework to interpret hydro-climatic and water quality trends in Mediterranean climate zones. *Journal of Hydrology*, *615*, Article 128567. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128567

[21] Pellicani, R., & Parisi, A. (2026). Trend analysis of hourly rainfall in the Mediterranean: Basilicata, Southern Italy (2001–2024). *Theoretical and*

Applied Climatology, *157*, Article 10. https://doi.org/10.1007/s00704-026-05234-0