مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (8) العدد(2) 2024
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (2) 2024

تحليل تقلبية الهطل واتجاهاته في حوض نهر الكبير الشمالي في شمال غرب سورية خلال الفترة 1985-2019

د. طاهر شيخو*

د. يوسف العلي**

هادي ديوب***

(تاريخ الإيداع 2023/11/22 . قُبِل للنشر في 2024/2/25)

□ ملخّص□

تُعد التغيرات في تقلبية الهطل في ظل ظاهرة الاحتباس الحراري قضية بالغة الأهمية قد يكون لها تأثير كبير على المجتمع والبيئة، حيث يُمكن أن يؤثر بشكل مباشر في الزراعة وموارد المياه. تناول هذا البحث تقلبية وتغيرات الهطل للفصول والموسم الماطر في حوض نهر الكبير الشمالي في شمال غرب سورية خلال الفترة 1985-2019، وذلك باستخدام القيم الشهرية للهطل لخمس محطات مناخية ممثلة للحوض (بوقا، سد 16 تشرين، صلنفة، عين عيدو، كسب). تمّ توصيف تقلبية الهطل باستخدام معامل الاختلاف (CV)، ودليل تركز الهطل (PCI) ودليل الهطل القياسي (SPI). واستخدم اختبار مان-كيندال ومقدّر الميل سين لتحديد اتجاهات التغير ومقداره في السلاسل الزمنية للعناصر المدروسة.

أظهرت النتائج وجود اتجاه غير معنوي نحو تراجع كميات الهطل للموسم الماطر في جميع المحطات، ويعود ذلك بشكل رئيسي إلى التناقص الواضح في هطولات الربيع بالإضافة إلى التناقص في هطولات الخريف. وأظهرت قيم دليل تركز الهطل اتجاهاً واضحاً نحو الزيادة في معظم أجزاء الحوض، وكان نظام الهطل أكثر انتظاماً (تركز منخفض للهطل) خلال فصل الشتاء مقارنة بفصلي الخريف والربيع. كما كشفت النتائج تعرض منطقة الدراسة إلى حوادث الجفاف بشكل متكرر على مستوى الموسم الماطر وبنسب مرتفعة على مستوى الفصول تزيد عن 30% في كافة أجزاء الحوض، ووجود اتجاه نحو زيادة شدة الجفاف للموسم الماطر في مختلف أجزاء الحوض وذلك بسبب زيادة شدة الجفاف لكل من فصلي الخريف والربيع. ستكون نتائج هذه الورقة مفيدة لإدارة موارد المياه على مستوى الحوض في ظل التغير المناخي.

الكلمات المفتاحية: تقلبية الهطل، اتجاه الهطل، اختبار مان-كيندال، مقدّر الميل سين، حوض نهر الكبير الشمالي.

* أستاذ مساعد- قسم الحراج والبيئة – كلية الهندسة الزراعية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

** أستاذ مساعد – قسم الجغرافيا – كلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة طرطوس – طرطوس – سورية.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) – قسم الحراج والبيئة – كلية الهندسة الزراعية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (8) العدد(2) 2024
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (2) 2024

Analysis of precipitation variability and trends in Al-Kabir Al-Shamali river basin in northwestern Syria during the period 1985-2019

Dr. Taher Cheikho*
Dr. Yousef Al-Ali**
Hadi Dayoub***

(Received 22/11/2023 . Accepted 25/2/2024)

□ ABSTRACT □

Precipitation variability change under global warming is a crucial issue that may have a substantial impact on society and the environment, as it can directly impact agriculture and water resources. This paper is concerned with the variability and changes of precipitation for the seasons and the rainy season in Al-Kabir Al-Shamali River Basin in northwestern Syria during the period 1985-2019, using monthly precipitation data of five climate stations representative of the basin (Bouqa, 16 Tishreen Dam, Slonfeh, Ain Eido, Kassab). Precipitation variability was described using the coefficient of variation (CV), the precipitation concentration index (PCI) and the Standardized Precipitation Index (SPI). Mann–Kendall's test and Sen's slope estimator were used to determine trends and the magnitude of changes in the time series of the studied elements.

The results showed a non-significant decreasing trends for rainy season rainfall for all stations used, mainly due to the apparent decrease in spring precipitation in addition to the decrease in autumn precipitation. The values of the precipitation concentration index showed a clear trend towards increase in most parts of the basin, and the precipitation regime was more regular (low concentration of precipitation) during the winter compared to the fall and spring seasons. The results also revealed that the study area was exposed to frequent drought incidents at the rainy season scale, with high rates at the seasonal scale exceed 30% in all parts of the basin, and the presence of a trend towards increasing drought severity for the rainy season in various parts of the basin due to increased drought severity for both the fall and spring seasons. The results of this paper will be helpful for basin scale water resource management under climate change.

Keywords: precipitation variability, precipitation trend, Mann–Kendall test, Sen's slope estimator, Al-Kabir Al-Shamali river basin.

* Associate Professor, Department of Ecology and Forestry, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Latakia, Syria.
**Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Arts and Humanities, Tartous University, Tartous, Syria
***Postgraduate student (Doctorate) Department of Ecology and Forestry, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Latakia , Syria.

مقدمة

يُعد تغير المناخ بلا شك أحد أبرز التحديات البيئية التي تواجه البشرية وتُهدد مستقبل التنمية المستدامة في القرن الحادي والعشرين، خاصة مع احتمال تزايد آثاره السلبية على صحة الإنسان والأمن الغذائي والنشاط الاقتصادي والموارد المائية وغيرها من الموارد الطبيعية الأخرى. على الصعيد العالمي، أدت الانبعاثات البشرية لغازات الاحتباس الحراري إلى ارتفاع درجة حرارة المناخ بنحو 1.1 درجة مئوية منذ 1850–1900، ومن المتوقع أن يصل متوسط درجة الحرارة العالمية إلى 1.5 درجة مئوية أو يتجاوزها خلال العقود القليلة القادمة (IPCC, 2021). لا تؤدي انبعاثات غازات الدفيئة إلى زيادة درجات الحرارة العالمية فحسب، بل لها أيضاً تأثير في مستويات الهطل وتوافر المياه ونوعيتها (Kerres *et al*., 2020)، فضلاً عن التقلبات الهيدرولوجية والظواهر المتطرفة مثل الفيضانات والجفاف التي ستكون أقوى وأطول أمداً، وتُعرض أجزاءً من العالم لهذه المخاطر التي لم تشهد لها مثيل في التاريخ المعروف (World Bank, 2021). ووفقاً للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، لم يشهد الإنسان المعاصر من قبل قط التغيرات الملحوظة في المناخ العالمي، وبعض هذه التغيرات لا رجعة فيها على مدى مئات إلى آلاف السنين القادمة (NASA, 2023).

يُعد الهطل من أهم عناصر المناخ وجزءًا أساسياً من الدورة الهيدرولوجية، وتُشكل التغيرات في أنماطه تحديات كبيرة لإدارة الموارد المائية بشكل مستدام (WMO, 2023). ومع تحفيز ارتفاع درجات الحرارة للدورة الهيدرولوجية، ستكون الهطولات أكثر وفرة بشكل عام، في مناطق العروض العليا والمناطق الاستوائية ومعظم مناطق الرياح الموسمية، ولكنه أكثر تقلباً على مدار الموسم ومن سنة إلى أخرى. ومع ذلك، ستتلقى بعض المناطق هطولات أقل في المستقبل، مثل البحر المتوسط والعديد من المناطق شبه الاستوائية (GIEC, 2021).

تُعد منطقة شرق البحر المتوسط والشرق الأوسط إحدى النقاط الساخنة الرئيسة لتغير المناخ في العالم (Giorgi, 2006; Zittis *et al*., 2019; Noto *et al*., 2022) التي ستتأثر بالتغيرات في الدورة الهيدرولوجية، وخاصة زيادة التبخر وانخفاض الهطل وزيادة مظاهر الجفاف (Giorgi and Lionello, 2008; Turkeş *et al*., 2008; Philandras *et al*., 2011; Hoerling *et al*., 2012; Lelieveld, 2012; Planton *et al*., 2012; Tramblay *et al*., 2013; Voss *et al*., 2013; Vicente-Serrano *et al*., 2014; Cramer *et al*., 2018; Mathbout *et al*., 2018; Brogli *et al*. 2019; Hoegh-Guldberg *et al*., 2019; Zittis *et al*., 2019; Spinoni *et al*., 2020; IPCC.2021). تنعكس آثار التغيرات المحتملة هذه على وفرة المياه السطحية والجوفية وعلى رطوبة التربة، ومن المتوقع أن تؤدي إلى تفاقم مشاكل ندرة المياه في معظم بلدان المنطقة (Bates *et al*., 2008; Sofroniou and Bishop, 2014; Tramblay *et al*., 2020)، حيث يُرجح أن تشهد موارد المياه العذبة انخفاضاً كبيراً بنسبة 2–15% عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجتين مئويتين، وهو أحد أكبر الانخفاضات في العالم (Cisneros *et al*., 2014). كما يتوقع أيضاً أن تزداد طول فترة الجفاف الميتيورولوجي بشكل كبير (Kovats *et al*., 2014; Schleussner *et al*., 2016) بالإضافة إلى زيادة حدته (Tsanis *et al*., 2011).

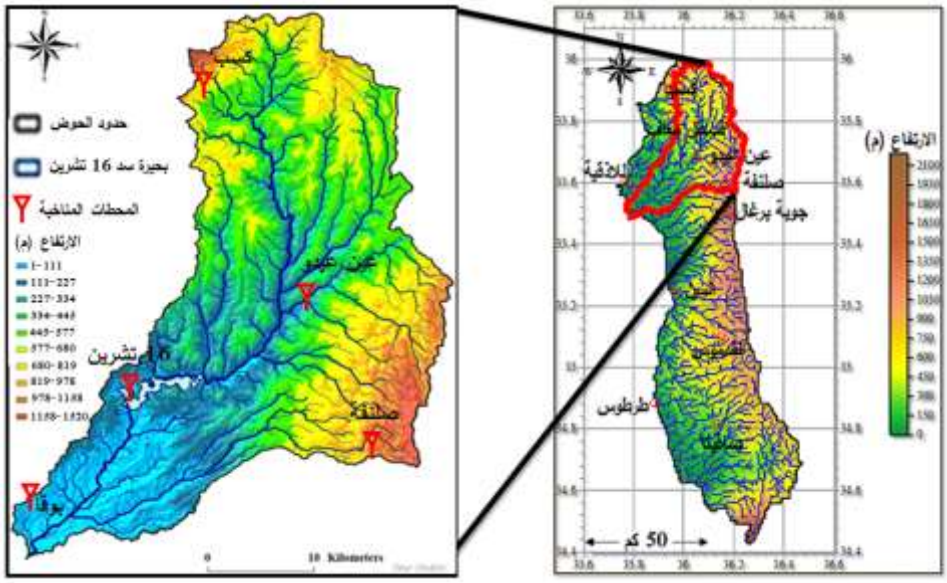
في هذا السياق من التقلبية وعدم الاستقرار في نظام الهطل في منطقة حوض البحر المتوسط، تبرز أهمية دراسة وتحليل التغيرات الزمنية والمكانية للهطل باعتبارها تؤثر بشكل مباشر في إدارة الموارد المائية والممارسات الزراعية والنظم البيئية. وتكتسب دراسة التغيرات هذه أهمية كبيرة في حوض نهر الكبير الشمالي في شمال غرب سورية باعتباره من أهم المصادر لتأمين المياه للشرب والري والمنشآت الصناعية التي تنتشر في الجزء الأدنى منه، ولما لذلك من أهمية في التخطيط الزراعي والإدارة المثلى لموارده المائية المتاحة وتخطيط وتصميم المنشآت الهيدروليكية للتخفيف من الآثار السلبية للفيضانات والجفاف. لذا جاء

هذا البحث لدراسة وتحليل تقلبية الهطل وتغيراته على مستوى الفصول والموسم الماطر في هذا الحوض خلال الفترة 1985–2019.

مواد البحث وطرائقه

١- منطقة الدراسة

يقع حوض نهر الكبير الشمالي في شمال حوض الساحل السوري، بين خطي الطول″40 ′45 °35 و ′15 °36 ″05 شرقاً، ودائرتي العرض ″30 ′28 °35 و″00 ′59 °35 شمالاً، ويُغطي مساحة قدرها 1097 كم^2 (الشكل 1). يُهيمن على الحوض المناخ المتوسطي ويتميز بشتاء ماطر بارد وصيف عذب في جزئه الأعلى وشتاء معتدل وصيف حار في جزئه الأدنى بالقرب من البحر المتوسط. تتفاوت كميات الهطل من منطقة لأخرى داخل الحوض ويُقدّر متوسطها السنوي بنحو 950 مم، وتُقدّر درجة الحرارة الجافة بنحو 17.4 °م. تتكشف في الحوض توضعات رسوبية تعود إلى عصور جيولوجية مختلفة، وتسيطر الصخور الخضراء الكتيمة على القسم الغربي والشمالي الغربي من الحوض، بينما تغطي الصخور الكلسية القسم الآخر (وزارة الدولة لشؤون البيئة والهيئة العامة للاستشعار عن بعد، 2017). ويتميز حوض النهر بكثافة غطائه النباتي وتنوع المزروعات فيه (محاصيل حقلية، خضار، بساتين الحمضيات والزيتون، الأشجار المثمرة كاللوزيات والتفاحيات)، بالإضافة إلى الأشجار الحراجية (المصري وآخرون، 2011).



الشكل (1). الموقع الجغرافي لحوض نهر الكبير الشمالي في الساحل السوري والمحطات الميتيورولوجية المستخدمة في الدراسة.

٢- البيانات الميتيورولوجية

استخدمت لإنجاز البحث بيانات مديريتي الموارد المائية والزراعة في محافظة اللاذقية وشملت القيم الشهرية للهطل لخمس محطات ميتيورولوجية تنتشر في حوض النهر (كسب، عين عيدو، صلنفة، سد 16 تشرين، بوقا) لفترة رصد امتدت لخمس وثلاثون عاماً (1985–2019). يعرض الجدول (1) الإحداثيات الجغرافية وارتفاعات هذه المحطات.

الجدول (1). الإحداثيات الجغرافية وارتفاعات المحطات الميتيورولوجية المستخدمة في الدراسة.

المحطة	دائرة العرض	خط الطول	الارتفاع عن سطح البحر (م)
كسب	35° 54′ 14″	35° 59′ 21″	490
عين عيدو	35° 44′ 34″	36° 06′ 05″	297
صلنفة	35° 34′ 22.8″	36° 11′ 19″	995
سد 16 تشرين	35° 38′ 34″	35° 55′ 06″	127
بوقا	35° 32′ 20″	35° 48′ 25″	31

تمّ التأكد من صحة البيانات (عدم وجود قيم سالبة للهطل) وخلوها من القيم المفقودة باستخدام البرنامج Excel Microsoft. كما تمّ استخدام طريقة Tukey (Zhou *et al.*, 2006 ; Schwcrtman *et al.*, 2004) لفحص القيم الشاذة (Outliers) في سلاسل البيانات، وهي القيم التي تزيد عن قيمة العتبة التي يُمكن أن تُؤثر في اكتشاف عدم التجانس (Ngongondo *et al.*, 2011) (المعادلة 1). يتم تمثيل نطاق البيانات على النحو الآتي:

$$Q_1 - 1.5 \times IQR,\ Q_3 + 1.5 \times IQR \qquad (1)$$

حيث Q_1 وQ_3 هما الربيع الأول والربيع الثالث على التوالي، و IQR هو المدى الربيعي. القيم التي تقع خارج هذا النطاق (نطاق Tukey) تُعد قيماً شاذة.

في هذا البحث، بلغ إجمالي القيم الشاذة المكتشفة في بيانات مواسم الهطل لمحطات الدراسة الخمس 7 قيم تمّ استبدالها يدوياً بالقيمة الحدية التي تُقابل [1.5 × IQR].

٣- دراسة تقلبية الهطل

لتوصيف تقلبات كميات الهطل للفصول والموسم الماطر خلال الفترة (1985–2019)، تمّ استخدام عدد من الدلائل هي: معامل الاختلاف (CV)، دليل تركز الهطل (PCI) ودليل الهطل القياسي (SPI).

3-1 معامل الاختلاف أو التغير

معامل الاختلاف Coefficient of Variation (CV) هو أحد مقاييس التشتت النسبية ويُمثل نسبة الانحراف المعياري (s) إلى المتوسط الحسابي ($\bar{x}$)، ويُعطى بالعلاقة الآتية:

$$CV\% = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \qquad (2)$$

يُستخدم معامل الاختلاف لتصنيف درجة التقلب أو التباين في حوادث الهطل على المستوى المكاني. قام Hare (2003) بتصنيف درجة تقلبية حوادث الهطل على أنها منخفضة ($CV < 20$)، ومعتدلة ($20 < CV < 30$) وعالية ($CV > 30$). ومع ذلك، فإن بارامترات التشتت وحدها لا تكفي لقياس التقلبية لأنها لا تصف التغير الزمني

لسلاسل الهطل. لذلك، ومن أجل توصيف التقلبية بشكل أفضل فإنه من الضروري استخدام دلائل أخرى كدليل تركز الهطل (PCI) ودليل الهطل القياسي (SPI).

3-2 دليل تركز الهطل

يسمح دليل تركز الهطل (Precipitation Concentration Index (PCI)) بتحديد التوزيع النسبي لأنماط الهطل، ويُعد ممثلاً جيداً للتقلبية الزمنية والمكانية للهطولات الشهرية. كما يُمكن استخدامه كمؤشر للمخاطر الهيدرولوجية مثل الفيضانات والجفاف، وعند تقدير وتوقع فقد التربة بسبب الانجراف المائي (Michiels *et al*., 1992). في هذا البحث استخدم دليل تركز الهطل (PCI) الذي قدمه Oliver (1980) وطوره De Luis وآخرون (1997؛ 2011) لتحديد التوزع الزمني للهطل على مستوى الموسم الماطر (المعادلة 3) والمستوى الفصلي (المعادلة 4).

$$PCI_{annual} = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2} \times 100 \quad (3$$

$$PCI_{seasonal} = \frac{\sum_{i=1}^{3} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{3} P_i)^2} \times 25 \quad (4$$

حيث P_i هي كمية الهطل الشهرية (مم).

والجدول (2) يعرض تصنيف لقيم PCI بحسب Oliver (1980).

الجدول (2). تصنيف قيم دليل تركز الهطل (Oliver, 1980).

قيمة PCI	موسمية الهطل
< 10	توزع متماثل للهطل (تركز منخفض للهطل)
15-10	توزع معتدل للهطل (متوسط الموسمية)
20-15	توزع غير منتظم للهطل (موسمي)
> 20	توزع غير منتظم للهطل بشكل كبير (تركز عالي للهطل أو شديد الموسمية)

3-3 دليل الهطل القياسي

يُعد دليل الهطل القياسي Standardized Precipitation Index (SPI) أحد مؤشرات الجفاف الأكثر استخداماً على نطاق واسع (Guttman, 1999; Lana *et al*., 2001; Heim, 2002; Vicente-Serrano *et al*., 2004; Mishra and Singh, 2009; Lopez-Bustins *et al*., 2013)، والذي أوصت به أيضاً المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) (WMO, 2012).

تمّ تطوير دليل الهطل القياسي (SPI) من قبل Mckee وآخرون (1993) لتوصيف ظروف الرطوبة والجفاف في منطقة ما بناءً على انحراف كميات الهطل الشهرية عن قيمتها الطبيعية المتوسطة (Normal value). يُمكن تقدير دليل SPI على مقاييس زمنية مختلفة من خلال مراكمة الهطولات الشهرية على فترات زمنية مختلفة (1، 3، 6، 12، 24، 48 شهراً) تعكس تأثير الجفاف في الأنواع المختلفة لمصادر المياه (Mckee *et al*., 1993). يقوم حساب الدليل في موقع معين على مطابقة سلاسل الهطولات التراكمية للمقياس الزمني المطلوب (1، 3، 6، 12 شهراً...) باستخدام تابع كثافة الاحتمال غاما (Gamma probability density function)، الذي يحوّل بعد ذلك إلى تابع

التوزيع الطبيعي القياسي (Standard normal distribution) بمتوسط صفر وتباين واحد (Edwards and Mckee, 1997; Guttman, 1999) والذي يمثل قيمة الدليل (SPI)، الأمر الذي يسمح بمقارنة المواقع المختلفة مع بعضها البعض.

يمثل دليل (SPI) من الناحية النظرية، عدد الانحرافات المعيارية التي تنحرف بها القيمة المرصودة عن المتوسط طويل الأجل إذا كان متغيراً عشوائياً يتبع التوزيع الطبيعي (Hayes, 2000). ويعكس أي شهر تكون فيه قيمة SPI أقل (أعلى) من الصفر الظروف الجافة (الرطبة) كما هو موضح في الجدول (3). تُعرف الفترة التي تكون فيها قيمة SPI سالبة بالفترة الجافة (MCKEE *et al.*, 1993)، ويُحدد الشهر حيث تكون قيمة SPI سالبة بداية الجفاف، والشهر حيث تكون قيمة SPI موجبة نهاية الجفاف.

الجدول (3). تصنيف الجفاف وفق دليل الهطل القياسي (Hayes *et al.*, 1999).

قيمة دليل SPI	التصنيف
+2.0 وأكثر	رطوبة متطرفة
1.5 حتى 1.99	رطوبة شديدة
1.0 حتى 1.49	رطوبة معتدلة
0.99 حتى 0.99-	قريب من المعدل
-1.0 حتى -1.49	جفاف معتدل
-1.5 حتى -1.99	جفاف شديد
2- وأقل	جفاف متطرف

٤- تحليل الاتجاهات في السلاسل الزمنية للعناصر المدروسة

تمّ استخدام اختبار مان-كيندال Mann-Kendall (MK) ومقدّر الميل سينSen's slope estimator، وهما اختباران لا معلميان، للكشف عن اتجاهات التغير ومقداره في سلاسل الهطل وقيم دليل PCI ودليل SPI باستخدام تطبيق برنامج MAKESENS (Salmi *et al.* 2002).

- **اختبار مان-كيندال Mann-Kendall (MK):** يُستخدم اختبار MK على نطاق واسع للكشف عن اتجاهات التغير في السلاسل الزمنية للبيانات الهيدرو-مناخية (Kisi &Ay, 2014; Sharma *et al.*, 2019). تنص الفرضية الصفرية (Ho) للاختبار على أنه لا يوجد اتجاه في السلسة الزمنية المدروسة الذي يتم اختبارها مقابل الفرضية البديلة (H_1) لوجود الاتجاه (Okafor *et al.*, 2017). تُحسب إحصائية الاختبار (S) على النحو الآتي:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(X_j - X_i)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n=1} \sum_{j=j+1}^{n} sgn(X_j - X_i) \quad (5$$

حيث n هو عدد البيانات، و X_j و X_i هي قيم البيانات المتسلسلة، و $Sgn\ (x_i - x_j)$ هي دالة الإشارة وتُعطى على النحو الآتي:

$$sgn(X_j - X_i) = \begin{cases} +1, & if\ (X_j - X_i) > 0 \\ 0, & if\ (X_j - X_i) = 0 \\ -1, & if\ (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (6$$

متوسط الإحصائية S هو الصفر ويُمكن حساب التباين لها ($VAR(S)$) باستخدام العلاقة الآتية:

$$VAR(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i(t_i-1)\,(2t_i+5)}{18} \quad (7$$

حيث m هو عدد المجموعات المرتبطة؛ المجموعة المرتبطة (Tied group) هي مجموعة من بيانات العينة لها نفس القيمة. في الحالة، حيث يكون حجم العينة، $n > 10$، يتم حساب إحصائية الاختبار القياسية (Z) باستخدام العلاقة الآتية:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{VAR\,(S)}} & if\ S > 0 \\ 0 & if\ S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{VAR\,(S)}} & if\ S < 0 \end{cases} \quad (8$$

يتم تقييم وجود اتجاه ذي دلالة إحصائية باستخدام إحصائية الاختبار Z. تُشير القيمة الموجبة (السالبة) لـ Z إلى اتجاه متزايد (متناقص) في سلسلة البيانات (Deng *et al.*, 2018). بتحديد مستوى المعنوية (α) من أجل اختبار ثنائي الجانب، يتم رفض الفرضية الصفرية (H_0) لعدم وجود اتجاه إذا كانت القيمة المطلقة لـ Z أكبر أو تساوي $Z_{\alpha/2}$. علماً أنّ $Z_{0.05} = 1.65$ عند مستوى معنوية 10%؛ $Z_{0.025} = 1.96$ عند مستوى معنوية 5%؛ $Z_{0.025} = 2.58$ عند مستوى معنوية 1%.

– **مُقدِّر الميل سين Sen's Slope Estimator**: تُستخدم طريقة Sen على نطاق واسع لحساب مقدار التغير في سلاسل البيانات الزمنية طويلة الأجل (Agarwal *et al.*, 2021)، وتُعد من أفضل الطرائق لتقدير الميل الحقيقي للاتجاه والكشف عن العلاقة الخطية (المعادة رقم 9) لأنها لا تتأثر بالقيم المتطرفة (Outliers) في سلاسل البيانات (Ray *et al.*, 2021).

$$f(t) = Qt + B \quad (9$$

حيث $f(t)$ هي دالة مستمرة متزايدة أو متناقصة بالنسبة للزمن، وQ هو معامل الانحدار بين قيم المتغير المدروس والزمن، وتُمثل t قيمة المتغير المستقل والذي يمثله الزمن (السنوات) وB الثابت (التقاطع).

لتقدير الميل Q يتم حساب ميل كل زوج من البيانات Q_i على النحو الآتي:

$$Q_i = \frac{(X_j - X_i)}{j - i} \quad (10$$

حيث $k < j$، و $i = 1, 2, 3, \ldots N$.

إذا كانت هناك n قيمة من xj في السلسلة الزمنية، فسنحصل على ما يصل إلى $N = n\,(n\text{-}1) / 2$ تقديراً للميل Qi. يتم ترتيب قيم Qi من الأصغر إلى الأكبر، والوسيط هو ميل سين (Q_{med}):

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{\left[\frac{N+1}{2}\right]} & if\ N\ is\ odd \\ \frac{1}{2}\left(Q_{\left[\frac{N}{2}\right]} + Q_{\left[\frac{N+2}{2}\right]}\right) & if\ N\ is\ even \end{cases} \quad (11$$

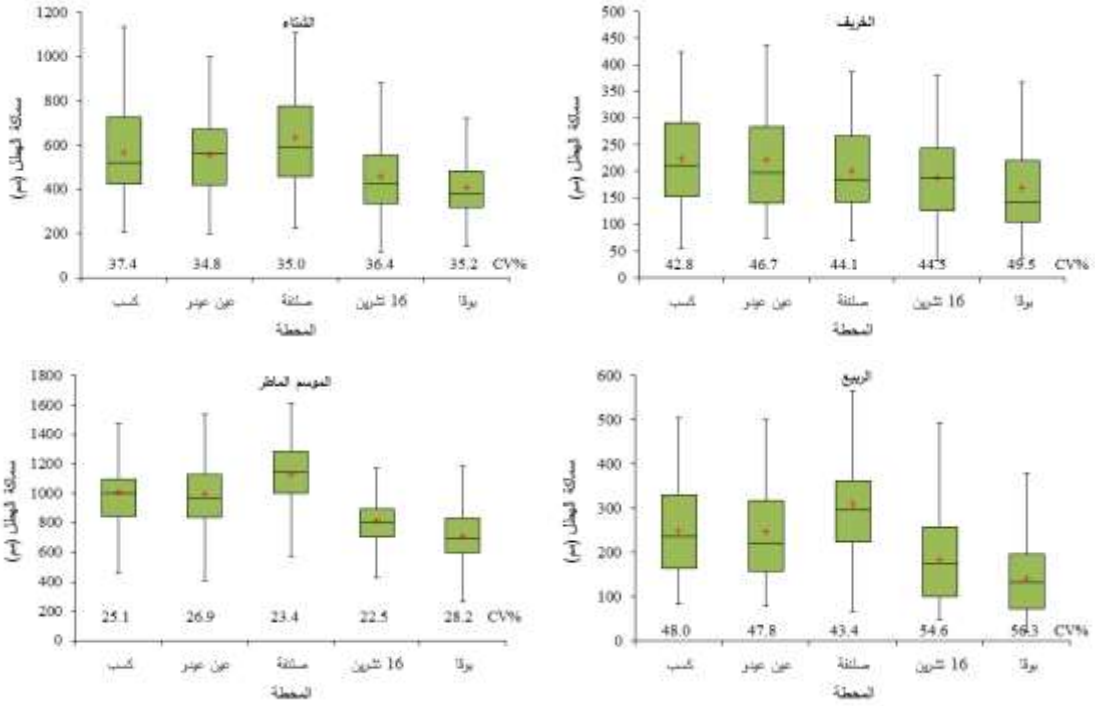
تُشير قيم Q_i الموجبة إلى وجود اتجاه متزايد، بينما تُشير القيم السالبة إلى وجود اتجاه سالب في البيانات.

لتقدير الثابت B في المعادلة (9)، يتم حساب قيم الفروق (x_i - Qt_i). يُعطي وسيط هذه القيم تقديراً لـ B (Sirois, 1998).

النتائج والمناقشة

١- التوزع الفصلي والموسمي لكميات الهطل في حوض نهر الكبير الشمالي

يُوضح الشكل (2) أهم الخصائص الإحصائية لهطولات الفصول والموسم الماطر في محطات الدراسة خلال الفترة (1985-2019)، ومن خلاله يتبين أنّ معدلات الهطل في الحوض مرتفعة نسبياً حيث تتراوح بين 713.3 مم في بوقا و1128.2 مم في صلنفة ويتركز معظمها خلال فصل الشتاء الذي يستحوذ على نسبة تزيد عن 50% من المعدل السنوي للهطل متجاوزاً بذلك مجموع معدلي الخريف والربيع في جميع المحطات. وعلى الرغم من ارتفاع معدلات الهطل في الحوض، فإنّ الهطولات تُبدي تذبذباً كبيراً في كمياتها بين المواسم والفصول ويتضح ذلك جلياً من خلال القيم المرتفعة لمعامل الاختلاف (CV%) خاصة خلال فصلي الربيع والخريف. ومع أنّ هطولات الشتاء هي الأقل تبايناً مقارنة بهطولات الخريف والربيع، إلا أنّ معامل الاختلاف يبقى مرتفعاً حيث تراوحت قيمته بين 34.8% في عين عيدو و37.4% في كسب. كما يتضح من الشكل (2) عدم الانتظام في توزع كميات الهطل خلال الفصول والموسم الماطر في محطات الدراسة من خلال ابتعاد قيمة المتوسط (إشارة + ضمن الصندوق) عن قيمة الوسيط (المستقيم ضمن الصندوق) بشكل عام، وهذا يُشير إلى اختلاف عدد المواسم التي تقل فيها كميات الهطل عن المعدل عن عدد المواسم التي تزيد فيها كميات الهطل عن المعدل.



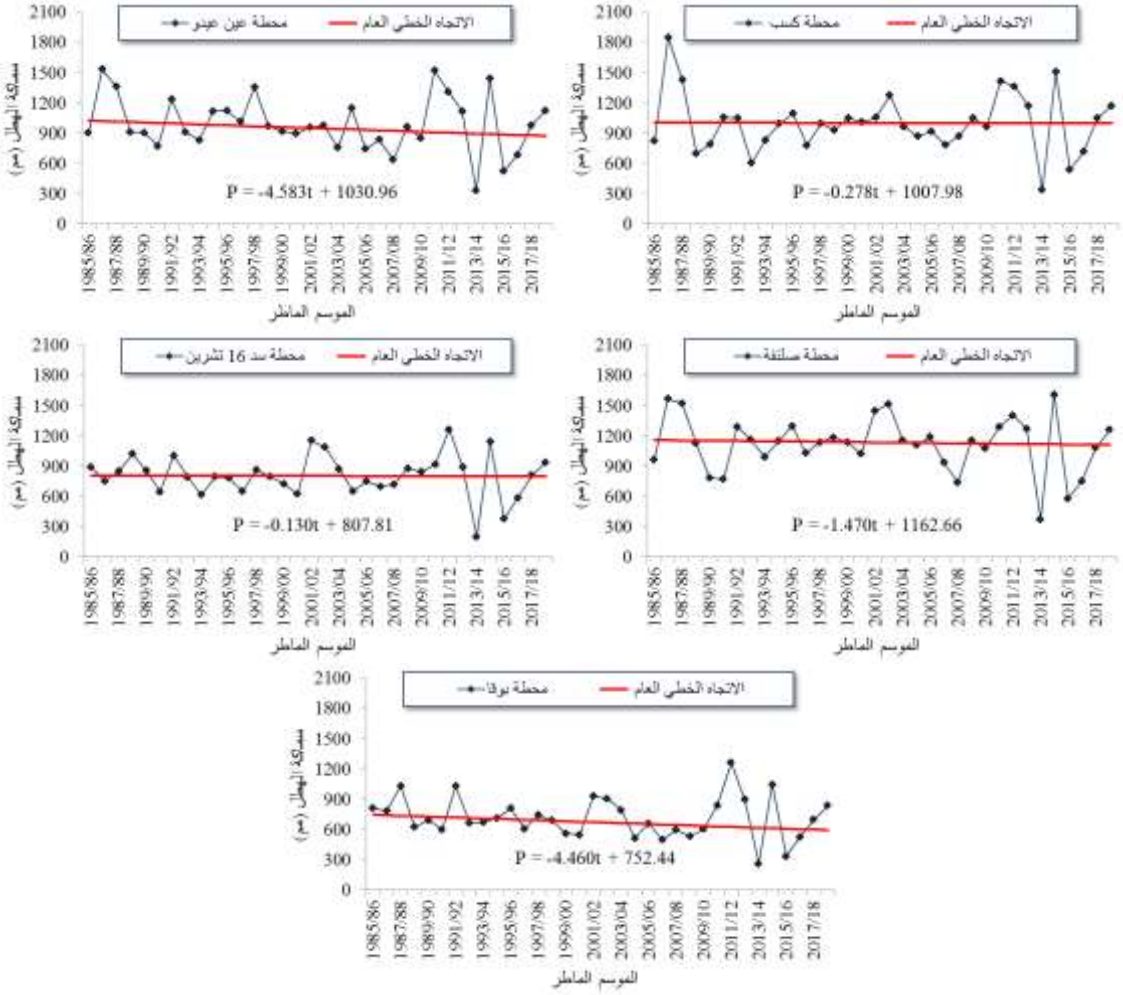
الشكل (2). المخطط الصندوقي لهطولات الفصول والموسم الماطر في محطات الدراسة للفترة 1985-2019.

٢- الاتجاه العام للتغير في المعدلات الفصلية والموسمية للهطل

يُبين الشكل (3) وجود تفاوت واضح في كميات الهطل بين المواسم في محطات الحوض وتراجع كمياته دون دلالة إحصائية في جميع المحطات بمقدار تراوح بين 4.29 مم في سد 16 تشرين و153.12 مم في بوقا وبنسبة تناقص قدرها 0.5% و21.4% خلال كامل فترة الدراسة (الجدول 4).

على المستوى الفصلي كما هو موضح من النتائج المُدرجة في الجدول (4) تراجعت هطولات الربيع بشكل كبير وبنسبة تجاوزت 25% في جميع المحطات، إلا أنّ التغير لم يكن معنوياً سوى في سد 16 تشرين حيث بلغت قيمة التناقص 138.1 مم وشكلت نسبة قدرها 75.1% خلال كامل فترة الدراسة. وسجّلت هطولات الخريف تزايداً طفيفاً في سد 16 تشرين وصلت نسبته إلى 6.8% خلال كامل فترة الدراسة، في حين سجلت باقي المحطات تراجعاً تجاوزت نسبته 25% إلا أنّ التغير لم يكن معنوياً سوى في بوقا حيث بلغت قيمة التناقص 77.1 مم وشكلت نسبة قدرها 45.8% من هطولات هذا الفصل خلال كامل فترة الدراسة. أما هطولات الشتاء فقد أظهرت اتجاهاً نحو التزايد في جميع المحطات غير أنه دون دلالة إحصائية، وتراوحت نسبة التزايد بين 13.4% في عين عيدو و28.4% في سد 16 تشرين. وعلى الرغم من أنّ كمية التزايد في بوقا كانت أقل من عين عيدو إلا أنها شكلت نسبياً زيادة أكبر بلغت 14.6%.

تُبيّن هذه النتائج بوضوح أنّ التراجع في كميات الهطل للموسم الماطر في محطات الدراسة يعود بشكل أساسي إلى التناقص الكبير في هطولات الربيع، وهذا يتفق مع نتائج الكثير من الدراسات في المنطقة. إنّ هذا التراجع الواضح في كميات الهطل المتساقطة سيؤثر سلباً بدون أدنى شك في رطوبة التربة وشدة وتكرار الجفاف، وسيؤثر أيضاً في الموارد المائية ونظام جريان النهر والإنتاج الزراعي في الحوض.



الشكل (3). اتجاه التغير في كميات الهطل للموسم الماطر في محطات الدراسة للفترة 1985–2019.

الجدول (4). اتجاه التغير ومقداره في كميات الهطل للفصول والموسم الماطر في محطات الدراسة للفترة 1985-2019.

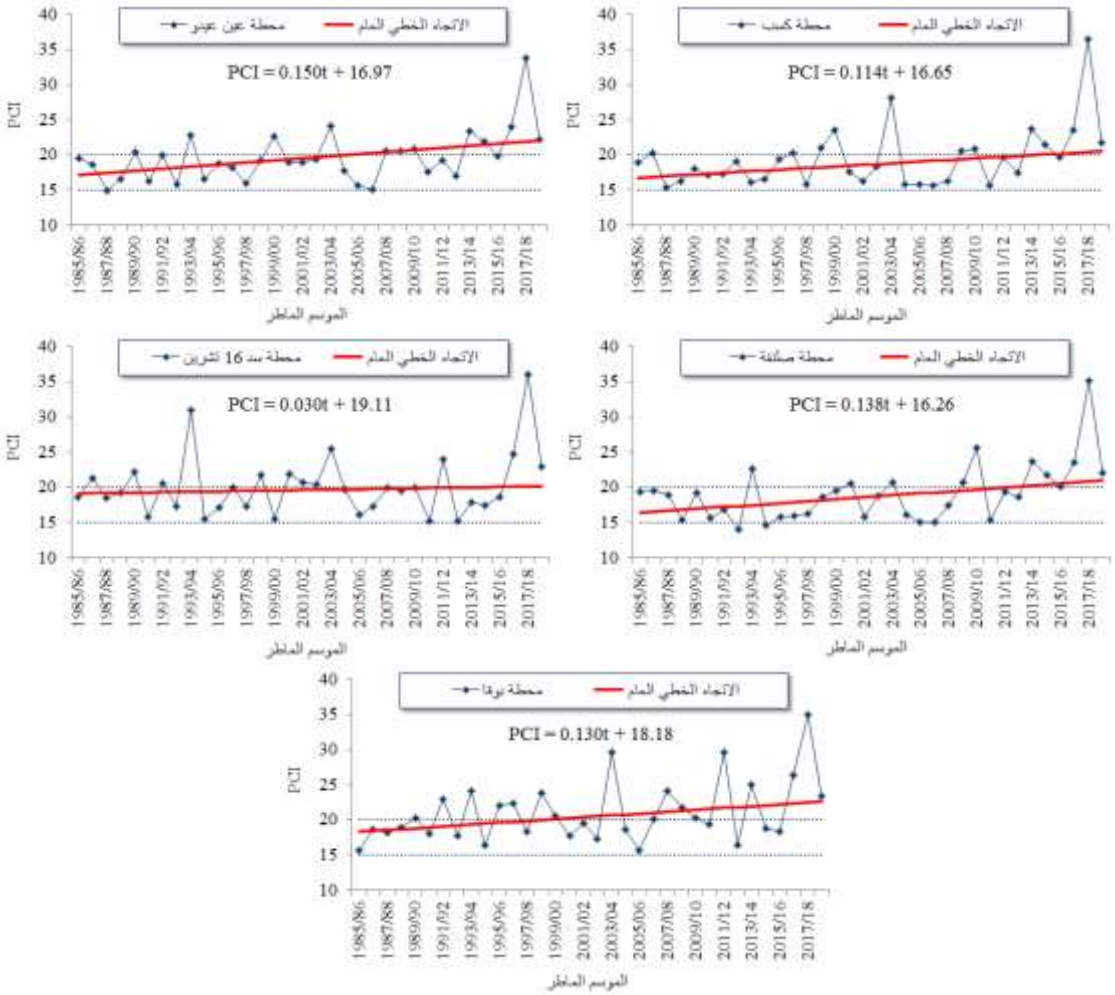
المحطة	الفترة الزمنية	المعدل (مم)	مقدار التغير			معنوية التغير
			مم/عقد	مم لكامل فترة الدراسة	% لكامل فترة الدراسة	
كسب	خريف	224.6	-18.43	-62.66	-27.90	NS
	شتاء	567.2	30.05	102.17	18.01	NS
	ربيع	248.4	-18.65	-63.41	-25.53	NS
	موسم ماطر	1001.9	-2.78	-9.18	-0.92	NS
عين عيدو	خريف	221.4	-25.50	-86.70	-39.15	NS
	شتاء	556.4	21.90	74.46	13.38	NS
	ربيع	246.7	-27.64	-93.97	-38.09	NS
	موسم ماطر	991.3	-45.83	-151.25	-15.26	NS
صلنفة	خريف	200.1	-17.32	-58.87	-29.43	NS
	شتاء	632.7	27.83	94.63	14.96	NS
	ربيع	309.3	-25.05	-85.17	-27.53	NS
	موسم ماطر	1122.3	-14.70	-48.53	-4.32	NS
سد 16 تشرين	خريف	188.7	3.75	12.75	6.76	NS
	شتاء	456.4	38.15	129.72	28.42	NS
	ربيع	183.9	-40.62	-138.11	-75.09	*
	موسم ماطر	809.1	-1.30	-4.29	-0.53	NS
بوقا	خريف	168.2	-22.67	-77.07	-45.81	*
	شتاء	407.9	17.56	59.70	14.64	NS
	ربيع	141.8	-18.99	-64.55	-45.53	NS
	موسم ماطر	715.7	-46.40	-153.12	-21.40	NS

(*): التغير معنوي عند مستوى 5%، (NS): التغير غير معنوي.

٣- التغيرات الموسمية والفصلية لتركز الهطل

أظهرت قيم دليل تركز الهطل (PCI) المحسوبة لمحطات الدراسة خلال الفترة (86/1985-19/2018) تبايناً واضحاً بين موسم وآخر وتراوحت في المتوسط بين 15 و35.3، ولم تُظهر أي من المحطات في منطقة الدراسة توزعاً منتظماً للهطل ($PCI \leq 10$) على مدار الأشهر (الشكل 4). ولذلك فإن منطقة الدراسة تندرج تحت ثلاث فئات من أنماط الهطل: معتدل وغير منتظم وغير منتظم إلى حدٍ كبير، وقد يرتبط هذا بحقيقة أنّ متوسط PCI للحوض يتأثر بشكل كبير بالتقلب المكاني للمناخ. ويُلاحظ أنه من بين المواسم الـ 34 التي تمّ تقييمها، يُشير أكثر من 50% منها إلى توزع / تركز غير منتظم للهطل ($15 < PCI \leq 20$) عبر أشهر هذه المواسم، وهذا يتفق مع نتائج دراسة سكاف وصقر (2015) حول تغير خصائص الهطل

الفصلي والسنوي في المنطقة الساحلية خلال الفترة 1960– 2010 من أنّ توزع الهطل في المنطقة يتذبذب من عام لآخر بين متوسط الموسمية (توزع معتدل للهطل) وشديد الموسمية (توزع غير منتظم للهطل بشكل كبير). ويُلاحظ من خلال تحليل السلاسل الزمنية لقيم PCI أنّ هناك اتجاهاً خطياً نحو التزايد في هذه القيم كان معنوياً في جميع المحطات فيما عدا سد 16 تشرين حيث كان معدل التزايد طفيفاً ولم يتجاوز 1% خلال كامل فترة الدراسة.



الشكل (4). الاتجاه العام للتغير في قيم دليل تركز الهطل في محطات الدراسة للفترة 1985–2019.

على المستوى الفصلي (الجدول 5)، تميز نظام الهطل في فصلي الخريف والربيع بتوزع معتدل للهطل بين الشهور، في حين كان توزع الهطل خلال فصل الشتاء أكثر انتظاماً بشكل عام خلال الشهور المؤلفة له (قيم PCI أقل). هذا ولم تُظهر قيم PCI تغيرات ملحوظة على المستوى الفصلي، حيث أنّ التغير طفيف وغير معنوي وتجلى بتراجع قيم الدليل في خريف كسب وعين عيدو وفي خريف وشتاء سد 16 تشرين وفي ربيع كسب وبوقا. بينما أظهرت قيم الدليل اتجاهاً نحو التزايد في باقي فصول المحطات.

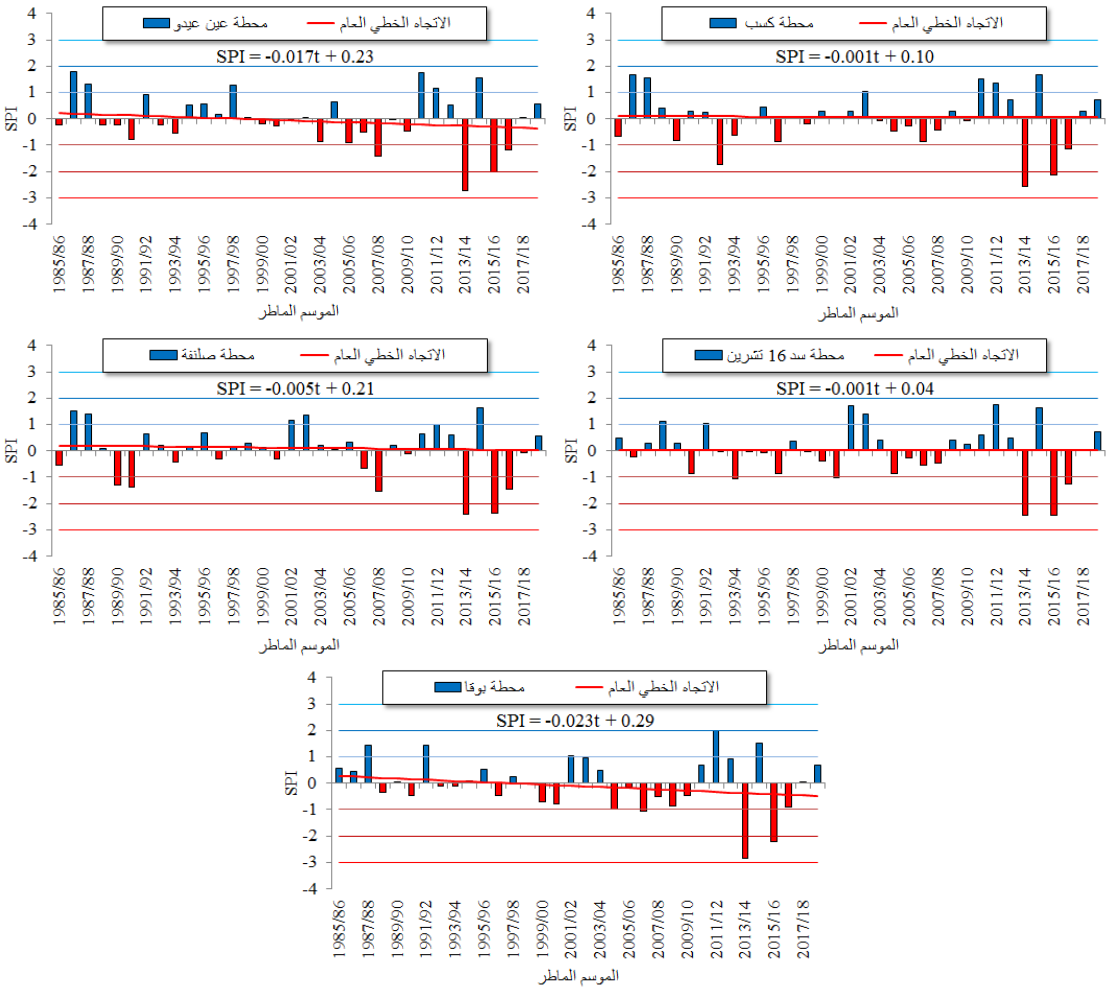
الجدول (5). اتجاه التغير ومقداره في القيم الفصلية لدليل تركز الهطل في محطات الدراسة للفترة 1985–2019.

الفترة الزمنية		المحطة				
		كسب	عين عيدو	صلنفة	سد 16 تشرين	بوقا
خريف	المعدل	12.9	13.6	13.4	13.8	13.8
	مقدار التغير	-0.048	-0.050	0.018	-0.059	0.003
شتاء	المعدل	10.0	10.3	10.0	10.3	10.7
	مقدار التغير	0.025	0.022	0.024	-0.015	0.027
ربيع	المعدل	12.1	11.7	11.5	11.9	12.4
	مقدار التغير	-0.007	0.032	0.008	0.020	-0.060

٤– التغيرات في شدة الجفاف على مستوى الفصول والموسم الماطر

تُشير نتائج تطبيق دليل SPI على كميات الهطل للموسم الماطر خلال فترة الدراسة الممتدة من 1985 حتى 2019 (الشكل 5) إلى تعرض حوض نهر الكبير الشمالي إلى حوادث الجفاف بشكل متكرر ولكن بصورة غير منتظمة وشدّات متفاوتة. تراوح عدد حوادث الجفاف على اختلاف شدّاته (SPI ≤ -1) بين 3 حوادث في بوقا و 6 حوادث في صلنفة وبنسبة 8.8% و 17.6% على التوالي. وكان الموسمان 2014/2013 و 2016/2015 أشد المواسم جفافاً وقسوةً (SPI ≤ -2) في جميع محطات الدراسة. بالمقابل يُلاحظ أنّ أكثر المواسم هطلاً كان الموسم 1987/1986 في كسب وعين عيدو والموسم 2012/2011 في سد 16 تشرين وبوقا والموسم 2015/2014 في صلنفة.

يتضح من الشكل (5) ومن النتائج المدرجة في الجدول (6) وجود اتجاه نحو تزايد شدة الجفاف خلال الموسم الماطر في جميع المحطات غير أنّه ليس ذو دلالة إحصائية؛ وكان معدل التناقص في قيم SPI أكبر في بوقا وعين عيدو وبلغ 0.2– لكل عقد، في حين بلغ 0.02– لكل عقد في كسب وسد 16 تشرين و 0.05– لكل عقد في صلنفة. ويعود هذا الاتجاه السالب للتغير إلى التناقص في قيم الدليل خلال فصلي الخريف والربيع والذي كان معنوياً فقط في ربيع سد 16 تشرين وخريف بوقا. بالمقابل، كان اتجاه التغير لسلاسل قيم SPI لفصل الشتاء موجباً في جميع محطات الدراسة، غير أنّ هذه الزيادة في قيم الدليل لا توازي التناقص المُسجل في فصل الخريف. تتفق هذه النتائج مع النتائج التي توصلت إليها العديد من الدراسات حول تزايد شدة الجفاف وتكراره في المنطقة الساحلية من سورية حيث يقع حوض نهر الكبير الشمالي (مثل، سكاف وآخرون، 2017؛ سكاف وبركات، 2021).



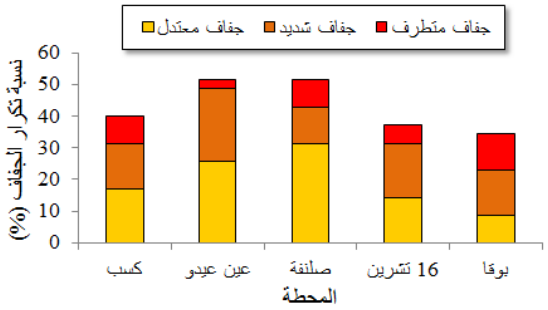
الشكل (5). تغير قيم دليل SPI للموسم الماطر في محطات الدراسة خلال الفترة 1985–2019.

الجدول (6). اتجاه التغير ومقداره في قيم دليل SPI للفصول والموسم الماطر لمحطات الدراسة خلال الفترة 1985–2019.

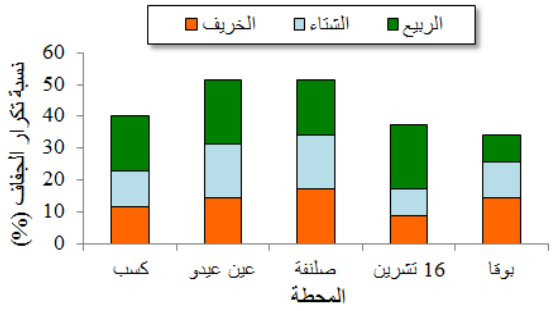
الفترة الزمنية	مقدار التغير	محطات الدراسة				
		كسب	عين عيدو	صلنفة	سد 16 تشرين	بوقا
خريف	لكل عقد	-0.214	-0.281	-0.229	0.038	-0.332
	لكامل فترة الدراسة	-0.749	-0.983	-0.803	0.133	-1.163*
شتاء	لكل عقد	0.141	0.117	0.124	0.213	0.126
	لكامل فترة الدراسة	0.494	0.408	0.436	0.747	0.441
ربيع	لكل عقد	-0.178	-0.253	-0.177	-0.436	-0.276
	لكامل فترة الدراسة	-0.622	-0.887	-0.619	-1.527*	-0.966
موسم ماطر	لكل عقد	-0.010	-0.173	-0.053	-0.007	-0.230
	لكامل فترة الدراسة	-0.035	-0.590	-0.181	-0.022	-0.781

*: التغير معنوي عند مستوى 5%.

يُبيّن الشكل (6) أنّ نسبة تكرار حوادث الجفاف الفصلية على اختلاف شداته في محطات حوض نهر الكبير الشمالي مرتفعة حيث تراوحت نسبة الجفاف الكلي (مجموع حوادث الجفاف المعتدل والجفاف الشديد والجفاف المتطرف) بين 34.3% في بوقا و51.4% في عين عيدو وصلنفة. غير أنّ تكرار الجفاف ضمن المستويات المختلفة يتفاوت بين محطة وأخرى، ويُلاحظ أنّ حوادث الجفاف المعتدل خلال الفصول كانت أكثر تكراراً في كسب وعين عيدو وصلنفة وبنسبة 17.1% و25.7% و31.4% على التوالي، بينما كانت حوادث الجفاف الشديد أكثر تكراراً في سد 16 تشرين وبوقا وبنسبة 17.1% و14.3% على التوالي. أما الجفاف المتطرف فتراوحت نسبته بين 2.9% في عين عيدو و11.4% في بوقا. ويتضح من الشكل (7) أنّ النسبة الأكبر من حوادث الجفاف على اختلاف شداته قد سُجّلت في فصل الربيع في جميع المحطات فيما عدا بوقا حيث سُجّل العدد الأكبر من حوادث الجفاف في فصل الخريف وبنسبة 14.3%، وتراوحت نسبة حوادث الجفاف في فصل الشتاء بين 8.6% في سد 16 تشرين و 17.1% في عين عيدو وصلنفة.

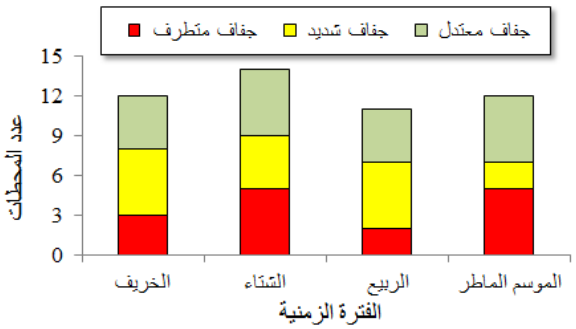


الشكل (6). نسبة تكرار الجفاف حسب شداته خلال الفصول في محطات حوض نهر الكبير الشمالي للفترة 1985–2019.

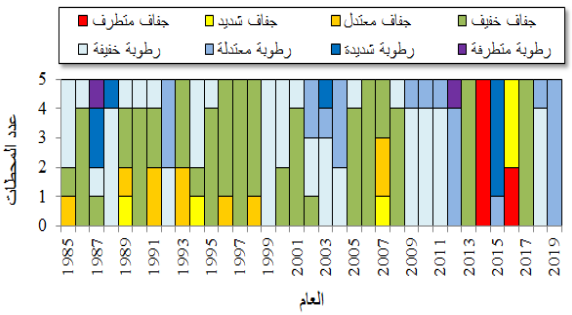


الشكل (7). نسبة تكرار الجفاف الكلي خلال الفصول في محطات حوض نهر الكبير الشمالي للفترة 1985–2019.

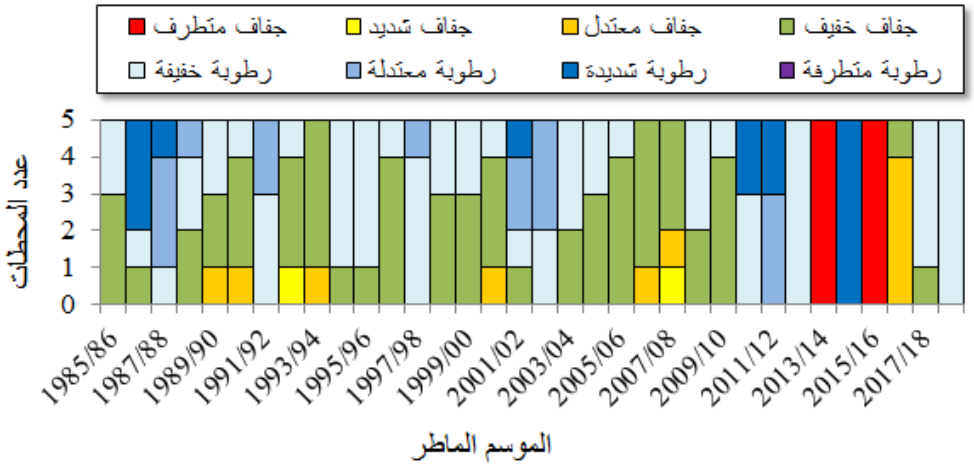
ويتضح من الشكل (8) الذي يُظهر عدد محطات الحوض المتأثرة بالجفاف خلال الموسم الماطر والفصول المختلفة للفترة (1985–2019)، أنّ الجفاف المتطرف والشديد يتكرر خلال مختلف الفصول بما فيها فصل الشتاء (الشكل 9) الذي ضرب فيه الجفاف المتطرف الشدة جميع المحطات في العام 2014 ومحطتين في العام 2016، بينما ضرب الجفاف الشديد محطة واحدة في الأعوام 1989 و 1994 و 2007 وثلاث محطات في العام 2016، الأمر الذي انعكس على جفافية الموسم الماطر حيث شمل الجفاف المتطرف جميع المحطات خلال الموسمين 2014/2013 و 2016/2015 (الشكل 10).



الشكل (8). عدد المحطات المتأثرة بالجفاف للفصول والموسم الماطر للفترة 1985–2019 في حوض نهر الكبير الشمالي.



الشكل (9). عدد المحطات المتأثرة بالجفاف والرطوبة لموسم الشتاء للفترة 1985–2019 في حوض نهر الكبير الشمالي.



الشكل (10). عدد المحطات المتأثرة بالجفاف والرطوبة على اختلاف شداتها للموسم الماطر للفترة 1985–2019 في حوض نهر الكبير الشمالي.

الاستنتاجات والتوصيات

- وجود تباين كبير في كميات الهطل وتوزعها بين المواسم والفصول في مختلف أجزاء الحوض، بما في ذلك فصل الشتاء الذي يستحوذ على نسبة تزيد عن 50% من المعدل السنوي للهطل.
- وجود اتجاه نحو تراجع كميات الهطل للموسم الماطر خلال الفترة 1985–2019 يعود بشكل أساسي إلى التناقص الكبير في هطولات الربيع إضافة إلى التناقص في هطولات الخريف، في حين كان اتجاه التغير في هطولات الشتاء نحو التزايد في جميع أجزاء الحوض غير أنه دون دلالة إحصائية.
- تذبذب نظام الهطل من موسم لآخر بين متوسط الموسمية وشديد الموسمية، ووجود اتجاه نحو التزايد في قيم دليل تركز الهطل كان معنوياً في جميع أجزاء الحوض فيما عدا سد 16 تشرين.
- توزع الهطل معتدل خلال فصلي الخريف والربيع (متوسط الموسمية)، وهو أكثر انتظاماً خلال فصل الشتاء (تركز منخفض للهطل)، مع عدم وجود تغيرات فصلية ملحوظة في قيم دليل تركز الهطل.
- تعرض حوض نهر الكبير الشمالي إلى حوادث الجفاف بشكل متكرر على مستوى الموسم الماطر، وبنسب مرتفعة على مستوى الفصول تزيد عن 30% في كافة أجزاء الحوض.
- وجود اتجاه نحو تزايد شدة الجفاف للموسم الماطر في مختلف أجزاء الحوض وذلك بسبب التزايد في شدة الجفاف لكل من فصلي الخريف والربيع، في حين كان اتجاه التغير نحو تراجع شدة الجفاف في فصل الشتاء في جميع أجزاء الحوض غير أنه دون دلالة إحصائية.

في ضوء النتائج التي توصل إليها البحث نرى أنه من الضروري زيادة عدد المحطات الميتيورولوجية بحيث تغطي التنوع التضاريسي الكبير للحوض وبما يسمح بالإحاطة بالتغيرية المكانية للهطل ورصد ظروف الجفاف المستقبلية في المنطقة بشكل أفضل، وهذا سيساعد في اتخاذ تدابير التخفيف المناسبة ووضع استراتيجيات لمواجهة هذه المخاطر والحد من آثارها السلبية على البيئة والمجتمع. ومن الضروري أيضاً إجراء المزيد من البحوث في تحليل التباين المكاني لاتجاهات الجفاف وربطها باسقاطات تغير المناخ وبما يساعد صناع القرار في ابتكار تدابير عملية لإدارة الجفاف في المناطق الحساسة من البلاد.

المراجع

المصري، محمد سعيد؛ شويكاتي، رياض؛ ماميش، سامر؛ عبد الحليم، محمد؛ الشمالي، كمال؛ جربي، باسم. (2011). استخدام النظائر المشعة الطبيعية في تعيين مصادر تلوث نهر الكبير الشمالي. هيئة الطاقة الذرية السورية، تقرير نهائي عن بحث علمي 522. 35 ص.

سكاف، ميشيل؛ صقر، رنا. (2015). تغير خصائص الهطل الفصلي والسنوي في المنطقة الساحلية من سورية خلال الفترة 1960–2010. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم البيولوجية، المجلد (37)، العدد (2): 217–232.

سكاف، ميشيل؛ سلاف، حمدان؛ صقر، رنا. (2017). تغير خصائص الجفاف في المنطقة الساحلية من سورية خلال الفترة (1960–2010) وتأثيراته الكامنة في النظم البيئية الحراجية. المجلة العربية للبيئات الجافة، 10 (1–2): 170–183.

سكاف، ميشيل؛ بركات، راما. (2021). عدم ثبات خصائص الجفاف في بعض أجزاء المنطقة الساحلية من سوريا خلال الفترة 1960–2016. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم البيولوجية، المجلد (43)، العدد (2): 193–210.

وزارة الدولة لشؤون البيئة والهيئة العامة للاستشعار عن بُعد. (2017). المراقبة والإدارة البيئية لنهر الكبير الشمالي–المرحلة الأولى.

Agarwal, S., Suchithra, A. & Singh, S. P. (2021). Analysis and interpretation of rainfall trend using Mann-Kendall's and Sen's slope method. Indian Journal of Ecology 48 (2), 453–457.

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., (2008). Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

Brogli, R., S. L. Sørland, N. Kröner, and C. Schär, (2019). Causes of future Mediterranean precipitation decline depend on the season. *Environ. Res. Lett.*, 14, 114017.

Cisneros JBE., Oki, T., Arnell, NW., Benito, G., Cogley, JG., Doll, P., Jiang, T., Mwakalila, SS. (2014). Freshwater resources. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field CB et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 229-269.

Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., et al. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, *8*(11), 972–980.

De Luis, M., Gonzales-Hidalgo, J. C., Raventós, J., Sánchez, J. R., Cortina, J. (1997). Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia em el territorio de la Comunidad Valenciana. *Cuaternario y Geomorfología*, 11 (3-4), 33-44.

De Luis, M., Gonzales-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., & Longares, L. (2011). Precipitation Concentration Changes in Spain 1946-2005. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 1259-1265.

Deng S L, Chen T, Yang N, et al. (2018). Spatial and temporal distribution of rainfall and drought characteristics across the Pearl River basin[J]. Science of the Total Environment, 619/620: 28-41.

Edwards D.C., and Mckee T.B (1997). Characteristics of 20 century drought in the United State at multiple time scales. Climatology Rep.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'evolution du climat).(2021). Synthese du rapport AR6 du GIEC publie le 09/08/2021. Synthèse vulgarisée du résumé aux décideurs du groupe de travail I de l'AR6,11 p.

Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, *33*(8), L08707. https://doi.org/10.1029/2006GL025734

Giorgi, F., and P. Lionello, 2008: Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet. Change*, 63, 90–104.

Guttman, N.B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35, 311-322.

Hare, W. (2003). Assessment of Knowledge on Impacts of Climate Change-Contribution to the Specification of Art. 2 of the UNFCCC: Impacts on Ecosystems, Food Production, Water and Socio-Economic Systems. WBGU Report, Potsdam-Berlin, Germany.

Hayes M.J., Svoboda M.D., and Vanyarhko O.V (1999). Monitoring the 1996 drought using the Standerdized Precipitation Index. Bull. Am. Meteorol. Soc. 1999, 80, 429–438.

Hayes, M. (2000) Revisiting the SPI: Clarifying the Process. Drought Network News, 12, 13-14.

Heim, R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bull. Am. Meteorol. Soc. 83, 1149–1165.

Hoegh-Guldberg, O. et al., (2019). Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. *IPCC Special Report* 52 *on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas* 53 *emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O.

Hoerling, M. Eischeid, J. Perlwitz, J. Quan, X. Zhang, T and Pegion, PH, 2012: On the increased frequency of mediterranean drought. *Journal of Climate*, doi:10.1175/jcli-d-11-00296.1.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Kerres, M., Servos, M., Kramer, A., Hattermann, F., Taenzler, D., Pilz, T., Müller, A. (2020). Stop Floating, Start Swimming. Water and climate change – interlinkages and prospects for future action. Bonn/Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 157 p.

Kisi, O., and Ay, M. (2014). Comparison of Mann–Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *J. Hydrol. X* 513, 362–375.

Kovats RS et al. (2014) Europe. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros VR et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1267-1326.

Lana, X., Serra, C., and Burgueño, A. (2001). Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain). Int. J. Climatol., 21, pp. 1669-1691, 10.1002/joc.697

Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., et al. (2012). Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic Change*, *114*(3–4), 667–687.

Lopez-Bustins JA, Pascual D, Pla E, Retana J. (2013). Future variability of droughts in three Mediterranean catchments. *Natural Hazards* 69: 1405-1421.

Mathbout, S., Lopez-Bustins, J.A., Royé, D., Martin-Vide, J., Bech, J. and Rodrigo, F.S. (2018). Observed Changes in Daily Precipitation Extremes at Annual Timescale Over the Eastern Mediterranean During 1961–2012. *Pure Appl. Geophys.* 175, 3875–3890. https://doi.org/10.1007/s00024-017-1695-7

Mckee T.B., Doeskin N.J., and Kleist j (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, January 17-23, 1993. American Meteorological Society. Boston, MA. PP. 179-184.

Michiels, P., Gabriels, D. and Hartmann, R. (1992). "Using the Seasonal and Temporal Precipitation Concentration Index for Characterizing Monthly Rainfall Distribution in Spain." Catena, 19, 43–58.

Mishra, A.K. and Singh, V.P. (2009). Analysis of drought severity-area-frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty. J. Geophys. Res. 114, D06120. doi:10.1029/2008JD010986.

NASA. (2023). The Effects of Climate Change. https://climate.nasa.gov/effects/. Accessed: May. 2023.

NOAA. (2023). Climate change impacts. https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/climate-change-impacts. Accessed: May. 2023.

Ngongondo, C., Xu, C.Y., Gottschalk, L., and Alemaw, B. (2011). Evaluation of spatial and temporal characteristics of rainfall in Malawi: a case of data scarce region. *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 106, no. 1-2, pp. 79–93.

Noto, Leonardo & Cipolla, Giuseppe & Francipane, Antonio & Pumo, Dario. (2022). Climate Change in the Mediterranean Basin (Part I): Induced Alterations on Climate Forcings and Hydrological Processes. Water Resources Management. 37 (6), 2287-2305.

Okafor, G.C.; Jimoh, O.D.; Larbi, K.I. (2017). Detecting Changes in Hydro-Climatic Variables during the Last Four Decades (1975–2014) on Downstream Kaduna River Catchment, Nigeria. Atmos. Clim. Sci. 7, 161–175.

Oliver, J. E (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. Professional Geographer, Vol. 32, 1980, 300–309.

Philandras, C. M.; Nastos, P. T.; Kapsomenakis, J.; Douvis, K. C.; Tselioudis, G.; and Zerefos, C. S. *Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., Vol. 11, 2011, 3235-3250,

Planton, S., and et al. , (2012). The climate of the Mediterranean region in future climate projections. *The Climate of the Mediterranean Region*, P. Lionello, Ed., Elsevier, 449–502.

Ray, S., Das, S. S., Mishra, P. & Al Khatib, A. M. G. (2021). Time series SARIMA modelling and forecasting of monthly rainfall and temperature in the south Asian countries. Earth Systems and Environment 5, 531–546.

Salmi, T., Määttä A., Anttila P., Ruoho-Airola T., and Amnell T., 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates- the Excel template application MAKESENS, Publications on Air Quality No. 31, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 35 pp.

Schleussner, C.-F., Lissner, T. K., Fischer, E. M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W., and Schaeffer, M. (2016). Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C, Earth Syst. Dynam., 7, 327–351.

Schwertman, N. C., Owens, M. A., and Adnan, R. (2004). A simple more general boxplot method for identifying outliers," *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 47, no. 1, pp. 165–174.

Sharma, Deepak & Kumar, Bijendra & Chand, Satish. (2019). A Trend Analysis of Machine Learning Research with Topic Models and Mann-Kendall Test. International Journal of Intelligent Systems and Applications. 11. 70-82. 10.5815/ijisa.2019.02.08.

Sirois, A. (1998). A brief and biased overview of time series analysis or how to find that evasive trend. In: Proceedings of the workshop on advanced statistical methods and their application to air quality data sets, Report WMO TD NO 956, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Christensen, J. H., et al. (2020). Future global meteorological drought hot spots: A study based on CORDEX data. *Journal of Climate*, *33*(9), 3635–3661.

Sofroniou A, Bishop S. Water Scarcity in Cyprus. (2014). A Review and Call for Integrated Policy. *Water*, 6(10):2898-2928.

Tramblay Y., El Adloun, S., Servat E. (2013). Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries. Natural Hazards and Earth System Sciences. Vol. 13p. 3235–3248.

Tramblay, Y., Llasat, M.C., Randin, C. *et al.* (2020). Climate change impacts on water resources in the Mediterranean. *Reg Environ Change* **20**, 83.

Tsanis IK, Koutroulis AG, Daliakopoulos IN, Jacob D. (2011). Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete. Climatic Change, 106(4), 667-677.

Türkeş, M., Koç, T., & Sarış, F. (2008). Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology*, *29.*

Vicente-Serrano, S.M., González-Hidalgo, J.C., de Luis, M. and Raventós, J., (2004), Spatial and temporal patterns of droughts in the Mediterranean area: the Valencia region (East-Spain). Climate Research 26: 5-15.

Vicente-Serrano SM et al. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. Environmental Research Letters, 9(4), 044001.

Voss, K.A., Famiglietti, J.S., Lo, M., Linage, C., Rodell, M. & Swenson, S.C. (2013) Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region. Water Resources Research, 49, 904–914.

World Bank. (2021). Floods and Droughts: An EPIC Response to These Hazards in the Era of Climate Change. https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/06/17/floods-and-droughts-an-epic-response-to-these-hazards-in-the-era-of-climate-change. Accessed: May. 2023.

World Meteorological Organization (WMO). (2012). Standardized Precipitation Index User Guide. (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). WMO-No. 1090. Geneva. ISBN 978-92-63-11091-6. 16p.

World Meteorological Organization (WMO). (2023). Climate change undermines nearly all sustainable development goals. https://public.wmo.int/en/media/press-release/climate-change-undermines-nearly-all-sustainable-development-goals. Accessed: May. 2023.

Zhou, Q., Li, S., Li, X., Wang, W., and Wang, Z. (2006). Detection of outliers and establishment of targets in external quality assessment programs. *Clinica Chimica Acta*, vol. 372, no. 1-2, pp. 94–97.

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Klangidou, M., Proestos, Y., and Lelieveld, J. (2019). A multi-model, multi-scenario, and multi-domain analysis of regional climate projections for the Mediterranean.