

## تأثير تغير المناخ في تراجع فعالية الهطل وتزايد شدة الجفاف وتكراره في القامشلي خلال الفترة 1958-2018

ميثيل سكاف<sup>1</sup> و رنا صقر<sup>1\*</sup> و ليلي عبود<sup>1</sup> و ايلين محفوظ<sup>1</sup>



<sup>1</sup> كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سورية.

(\* للمراسلة: رنا صقر، البريد الإلكتروني: [rana.saker@tishreen.edu.sy](mailto:rana.saker@tishreen.edu.sy) هاتف 0993294699).

تاريخ القبول: 2025 / 07 / 21

تاريخ الاستلام: 2025 / 05 / 19

### الملخص

تم استخدام القيم الشهرية لمتوسطات درجات الحرارة وكميات الهطل للفترة 1958-2018 لدراسة التغير في معدلات درجات الحرارة وكميات الهطل وتأثيرها في تغير فعالية الهطل وفي تغير خصائص الجفاف في القامشلي. وقد استخدم مؤشر ثورنثوايت لحساب قيم فعالية الهطل ومؤشري الهطل القياسي (SPI) وكشف الجفاف (RD) لتقدير شدة الجفاف وتكراره خلال فترة الدراسة. وقد استخدمت مخططات الصندوق والتحليل الاحصائي الوصفي لدراسة الخصائص الاحصائية لدرجات الحرارة وكميات الهطل، كما استخدمت خطوط الاتجاه لتقدير اتجاه وقيمة التغير في العناصر والمؤشرات وتم التحقق من معنوية التغير باستخدام اختبار مان كندال، كذلك استخدم اختبار نقطة التغير لتحديد فترات حدوث التغير. ولمقارنة التغير في قيم العناصر والمؤشرات بين الفترتين 1958-1988 و 1988-2018 استخدم اختبار T مع القيم الاحتمالية والفرق في نسبة تكرار الجفاف. أظهرت النتائج وجود اتجاه حاد ومعنوي نحو تراجع فعالية الهطل بتأثير ارتفاع درجات الحرارة وتراجع معدلات الأمطار، كما بينت النتائج تزايد شدة الجفاف وتكراره خلال العقود الأخيرة.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ، فعالية الهطل، الجفاف، سورية.

### المقدمة

يعد تغير المناخ Climate change من أهم الأخطار التي تهدد استقرار الانتاج الزراعي، وأحد أهم التحديات أمام إدارة النظم البيئية وتحقيق التنمية المستدامة في مختلف مناطق العالم (Kemp et al., 2015; Huang et al., 2017)، وخاصة في المناطق القاحلة Arid regions (شبه القاحلة- القاحلة- شديدة القحولة) التي تغطي حوالي 40% من مساحة اليابسة، وتُقدّم فوائد هائلة للوسط الحيوي، ولأعداد هائلة من البشر تُقدر بأكثر من مليارين ونصف (Právālie 2016)، وتتميز بحساسية عالية تجاه تذبذب المناخ Climatic variability (CV) وتغير الظروف المناخية Climatic conditions بسبب تدني معدلات الهطل وارتفاع معدلات التبخر نتج الكامن (Gremer et al., 2015; Shriver et al., 2018).

تزايدت درجات الحرارة السطحية منذ سبعينيات القرن الماضي في مختلف مناطق العالم إلا أن وتيرة التزايد تسارعت منذ عقد التسعينيات (Samset et al., 2023; WMO, 2024)، وقد أشارت اللجنة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change إلى أن معدل الزيادة بلغ  $0.13 \pm 1.15$  درجة مئوية عن معدل الفترة 1900-1850 (IPCC, 2021)، غير أن معدل التزايد كان أعلى في المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط (Cramer et al., 2021).

2022; Zittis et al., 2018; al., 2018). وقد ترافق الارتفاع المستمر في معدلات درجات الحرارة بتزايد نشاط الدورة الهيدرولوجية منذ ثمانينات القرن الماضي (Allan et al., 2020; Douville et al., 2021)، الأمر الذي أدى إلى تغيير نماذج الهطل Precipitation patterns وتزايد شدة وتكرار الكثير من الظواهر الهيدرولوجية المتطرفة (AghaKouchak et al., 2020; Seneviratne et al., 2021). وأهمها الجفاف Drought (Spinoni et al., 2021) الذي يُتوقع أن تزداد قسوته خلال العقود القادمة (Martin 2018; Cook et al., 2020).

تحدد ديناميكية الغطاء النباتي في المناطق الجافة بشكل رئيسي بتوفر رطوبة التربة التي تتحكم بتركيب ووظائف المجتمعات النباتية (Tucker et al., 2011) من خلال دورها الواضح والمباشر في التمثيل الضوئي وإنتاج الكتلة الحية، وآلية التكاثر وموت النباتات (Martinez Vilalta, & Lloret 2016; Witwicki et al., 2016; Renne et al., 2019)، لذلك فإن النظم البيئية في المناطق القاحلة تعد بالغة الحساسية تجاه تذبذب الهطل (Petrie et al., 2016; Maurer Precipitation variability et al., 2020; Felton et al., 2021) وخاصةً بالنسبة لشدة الجفاف وتكراره (Haddad et al., 2002; Hoover et al., 2020; Lei et al., 2020; Craine et al., 2012; Dietrich & Stuart-Haëntjens et al., 2018; Luo et al., 2017; Smith 2016; Denton et al., 2017; Huang et al., 2022; Kröel-Dulay et al., 2021; al., 2021)، لذلك فإن التزايد المتوقع في الامتداد الجغرافي للمناطق القاحلة (2016)، والتي تؤكد العديد من الدراسات أنها ستشهد حوادث جفاف أكثر شدةً وتكراراً خلال العقود القادمة، سوف يعزز ظروف الاجهاد المائي في مثل هذه المناطق (Bradford et al., 2020; Denissen et al., 2022).

تعد المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط أحد أهم النقاط الساخنة Hot spots بالنسبة لتغير المناخ (Diffenbaugh & Giorgi 2012; Cos et al., 2022)، حيث تشير التسجيلات والتنبؤات إلى ارتفاع درجات الحرارة وتراجع معدلات الهطل وتزايد شدة الجفاف واستمراره وتكراره في ظل التغيرات المناخية الراهنة مع استمرار التسخين في مختلف مناطق الحوض (Lionello & Scarascia 2020)، ومنها القطر العربي السوري، حيث أشارت دراسات عدة إلى تزايد معدلات درجات الحرارة، وتزايد شدة الجفاف وتكراره في مختلف مناطق القطر (سكاف وآخرون 2013، سكاف وصقر 2015، سكاف وآخرون 2024).

#### أهمية البحث:

يعد تحقيق الأمن المائي والغذائي أحد أهم التحديات التي تواجه المجتمعات البشرية في مختلف مناطق العالم في ظل التغيرات المناخية الراهنة وتزايد أعداد السكان، وتنامي النشاطات البشرية، وخاصةً في المناطق التي تقع تحت اجهاد مناخي مستمر بتأثير القحولة Aridity ونظام الهطل الفصلي كما هو الحال في شرق المتوسط. لذلك فإن دراسة تأثير تذبذب وتغير المناخ في تباين وتغير فعالية الهطل وتغير خصائص الجفاف في أهم مناطق إنتاج المحاصيل في سورية ومنها منطقة القامشلي في الجزيرة، تعد في غاية الأهمية من أجل وضع الاستراتيجيات المثلى للاستثمار الزراعي، وإدارة مشاريع الري بالشكل الذي يحافظ على تطوير الانتاج الزراعي مع تحقيق التنمية المستدامة للمنطقة.

#### أهداف البحث:

تركزت أهداف البحث في دراسة التغير في معدلات الهطل و درجات الحرارة وتأثيرها في كل من:

أولاً: تغير فعالية الهطل خلال فترة الدراسة في منطقة القامشلي.

ثانياً: تغير خصائص الجفاف الفصلية والسنوية في المنطقة.

## مواد البحث وطرائقه:

أولاً: المعطيات المستخدمة: استخدمت لإنجاز البحث القيم الشهرية لكميات الهطل ومتوسطات درجات الحرارة لمحطة القامشلي الواقعة في منطقة الجزيرة السورية، والتي تعد من أهم مناطق الانتاج الاقتصادي لمحاصيل الحبوب في سورية، إضافةً لامتلاك هذه المحطة سلسلة رصد مستمرة لفترة زمنية طويلة تمتد من عام 1958 حتى عام 2018.

تقع محطة القامشلي في المنطقة شبه الجافة على خط عرض  $37^{\circ}03'$  وخط طول  $41^{\circ}13'$  وترتفع عن سطح البحر بمقدار 467 متراً.

## ثانياً: المؤشرات المستخدمة:

1- مؤشر فعالية الهطل Precipitation effectiveness والذي تم حسابه لكل عام هيدرولوجي من فترة الدراسة باستخدام العلاقة التالية (Thornthwaite, 1948):

$$PE = \sum_{i=1}^{i=12} 1.65 \cdot (p/(t + 12.2))^{10/9}$$

حيث: P كمية الهطل للشهر i t درجة الحرارة للشهر i i = 1... 12 بدءاً من شهر أيلول حتى شهر آب وقد تم تحديد ظروف كل عام تبعاً لقيم فعالية الهطل بالاعتماد على الحدود التالية لقيم المؤشر:

رطب جداً	رطب	شبه رطب	شبه جاف	جاف
$128 \leq$	64-127	32-63	16-31	$16 >$

2- مؤشرات الجفاف Drought indices: لتقدير شدة الجفاف على مستوى الفصول والموسم الماطر استخدم كلاً من مؤشر الهطل القياسي (SPI) Standardized precipitation index (McKee 1993)، و مؤشر كشف الجفاف (RDI) Reconnaissance drought index (Tsakiris et al., 2007)، حيث استخدمت معادلة هاريغرفس وسماني لحساب التبخر نتح الكامن (Hargreaves & Samani 1985)، والتي تعد من أفضل العلاقات وتأتي بالدرجة الثانية من حيث دقة الحساب بعد علاقة بنمان مونتنييه، غير أنها لا تحتاج لذات الكم من المعطيات التي قد لا تتوفر في المحطات المناخية.

وقد تم تقدير شدة الجفاف أو توفر الهطل لكلا المؤشرين وفق الحدود التالية:

جفاف	جفاف شديد	جفاف متوسط	قريب من المعدل	رطوبة معتدلة	رطوبة شديدة	رطوبة متطرفة
متطرف	الشدة					
$2 >$	بين 1.5- و 1.99	بين 1- و 1.49	بين 0.99- و 0.99	بين 1 و 1.49	بين 1.5 و 1.99	$2 <$

## ثالثاً: الطرق والاختبارات الاحصائية المستخدمة:

1- مخططات الصندوق Box-plots مع معامل التباين Coefficient of variation (Cv%) من أجل دراسة الخصائص الاحصائية لقيم العناصر المناخية.

2- خطوط الاتجاه Trends مع اختبار مان كندال Mann-Kendall test: استخدمت خطوط الاتجاه من أجل تحديد اتجاه وقيمة التغير في السلاسل الزمنية لكميات الهطل ودرجات الحرارة على مستوى السنوات والفصول والأشهر، وكذلك قيم مؤشر فعالية الهطل وقيم مؤشري الجفاف SPI و RDI.

3- التحليل الاحصائي الوصفي Descriptive analysis مع اختبار Student's t-test T وذلك لمقارنة التغير في الخصائص الاحصائية لكميات الهطل ومتوسطات درجات الحرارة، وكذلك قيم مؤشر فعالية الهطل بين الفترتين 1958-1988 و 1988-2018 مع استخراج القيم عند مختلف مستويات الاحتمالية لكل فترة.

4- اختبار نقطة التغير Point change analysis والذي يتم من خلاله تحديد فترة حدوث التغير من خلال الدمج بين مفهوم المجموع التراكمي Cumulative sum والمقايسة Bootstrapping (Taylor, 2000) لتقدير فيما إذا كان هناك تغير في السلسلة الزمنية لقيم العنصر المناخي المدروس ومستوى الثقة.

5- حساب تكرار المواسم الجافة والرطبة والقريبة من المعدل للفترتين 1988-1958 و 1988-2018، ومن ثم حساب فرق التكرار لتوضيح التغير خلال العقود الثلاثة الأخيرة.

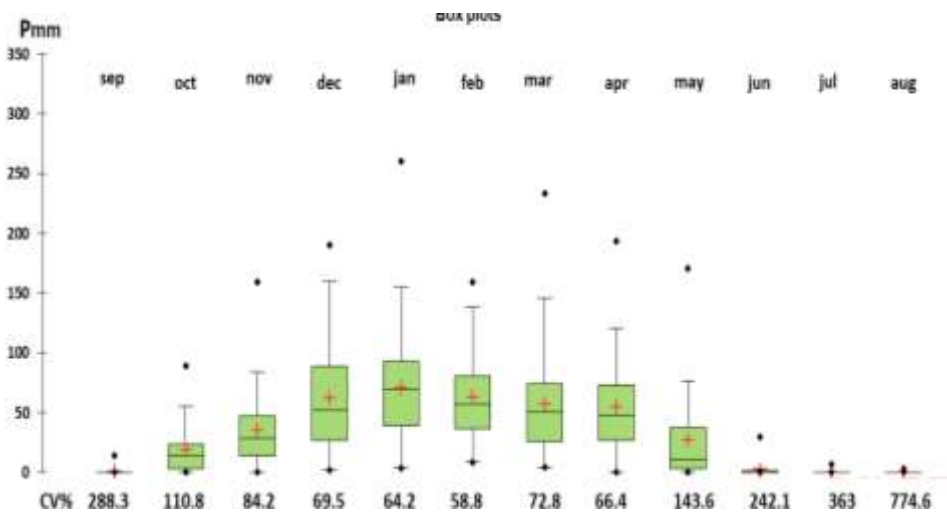
### النتائج والمناقشة:

#### 1- الخصائص المناخية العامة لمنطقة الدراسة:

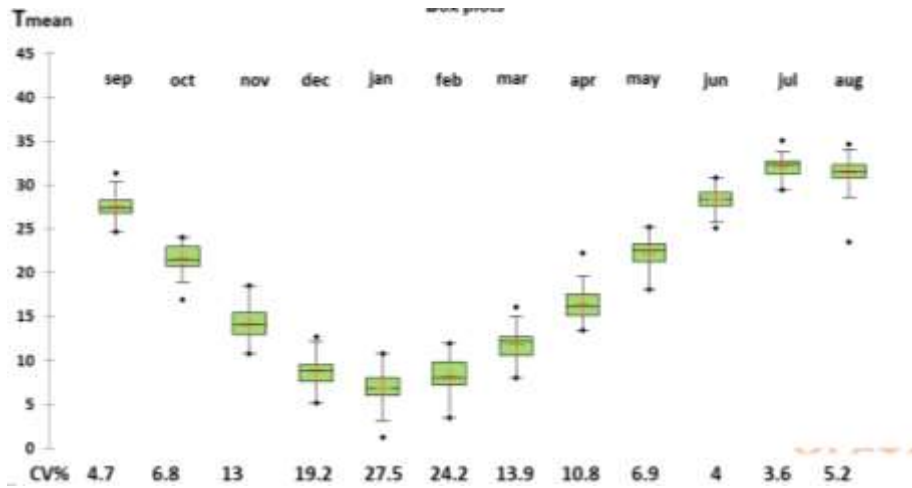
يبين الشكل (1) أهم الخصائص الاحصائية لكميات الهطل الشهرية خلال السنوات الهيدرولوجية الممتدة من عام 1958 حتى عام 2018، ومنه يُلاحظ وجود مسار واضح لتوزيع الهطل خلال العام حيث أن أعلى المعدلات توافق أشهر الشتاء وخاصة شهر كانون الثاني في حين تكون أشهر الصيف جافة تماماً. كذلك يتضح من الشكل (1) أن نظام الهطل في المنطقة متوسطي نموذجي من الشكل شتاء -ربيع- خريف مع وجود تباين كبير بين السنوات، وخاصة خلال بداية الخريف ونهاية الربيع. ومع أن معامل التباين يقل خلال أشهر الشتاء إلا أنه مرتفع للغاية حيث بلغ 58 و 64 و 69% خلال شباط وكانون الثاني وكانون الأول على التوالي.

يظهر الشكل (2) الخصائص الاحصائية لمتوسطات درجات الحرارة الشهرية في منطقة الدراسة خلال الفترة 1958-2018. ومنه يُلاحظ وجود مسار حاد وواضح لدرجات الحرارة خلال العام، حيث تتميز أشهر الشتاء بأدنى المعدلات وخاصة شهر كانون الثاني (6.8 درجة مئوية)، في حين يتجاوز معدل شهري تموز وآب  $30^{\circ}\text{C}$ ، كما أن أعلى المتوسطات الشهرية خلال فترة الدراسة بلغت 30.8 و 35.1 و 34.6 درجة مئوية خلال حزيران وتموز وآب على التوالي. من جهة أخرى يُلاحظ أن التباين بين السنوات في متوسطات درجات الحرارة خلال الفترة الحارة من العام محدود للغاية لكنه يرتفع خلال أشهر الشتاء، لكن على الرغم من ذلك فإن التباين في درجات الحرارة يقل وبشكل ملحوظ عن التباين في كميات الهطل.

إن عدم التوافق بين مساري الهطل ودرجات الحرارة يخلق ظروفاً مناخية قاسية بدءاً من أواخر فصل الربيع وحتى منتصف فصل الخريف. كما أن الفترة المثلى للنمو تتركز خلال شهر آذار وبداية نيسان حيث أن توفر الرطوبة الكافية في التربة يتوافق مع درجات حرارة مناسبة لنمو مختلف الأنواع النباتية.



الشكل (1): الخصائص الاحصائية لكميات الهطل الشهرية في القامشلي خلال الفترة 1958-2018



الشكل (2): الخصائص الاحصائية لمتوسطات درجات الحرارة الشهرية في القامشلي خلال الفترة 1958-2018

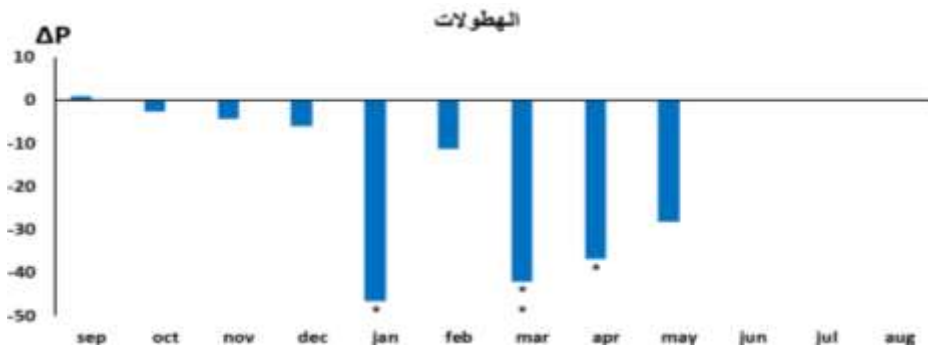
## 2- دراسة التغير في معدلات الهطل في منطقة الدراسة:

يبين الجدول (1) اتجاه وقيمة التغير في معدلات الهطل الفصلية والسنوية في منطقة الدراسة، ومنه يُلاحظ وجود تناقص حاد ومعنوي في معدلات الهطل السنوية بلغ حوالي 178 مم لكامل فترة الدراسة، وذلك بسبب التناقص الكبير والمعنوي في معدلات هطل الربيع (حوالي 107 مم لكامل فترة الدراسة)، وكذلك التناقص الملحوظ في معدلات فصل الشتاء (64.7 مم لكامل الفترة) والخريف (-6.06) لكامل الفترة والذي لم يكن معنوياً لكليهما. وتحليل السلاسل الزمنية لقيم الهطل الشهرية يتضح وجود تناقص خلال جميع الأشهر من تشرين الأول حتى أيار (الشكل 3)، إلا أن أكبر قيمة للتناقص كانت خلال شهر كانون الثاني (46.6 مم) تلتها قيمة شهر آذار (حوالي 42 مم) ثم شهر نيسان (36.9 مم) وقد كان التغير معنوياً عند مستوى 0.05 لكل من كانون الثاني ونيسان، وعند مستوى 0.01 بالنسبة لشهر آذار. وعلى الرغم من وجود تناقص ملحوظ في شهر أيار (حوالي 28 مم) إلا أن هذا التغير لم يكن معنوياً، وهذا يعود بالدرجة الأولى إلى التباين الكبير بين السنوات في كميات الهطل لهذا الشهر والذي يظهر من خلال القيم المرتفعة لمعامل التباين والتي بلغت 143.6% (الشكل 1).

الجدول (1): اتجاه وقيمة التغير في المعدلات الفصلية والسنوية للهطل لمحطة القامشلي خلال الفترة 1958-2018

العنصر	الفترة	اتجاه وقيمة التغير	
		لكامل الفترة	لكل عقد
الهطل	الخريف	-6.06	-1.01
	الشتاء	-64.74	-10.79
	الربيع	-107.22	-17.87
	العام الهيدرولوجي	-178.14	-29.69

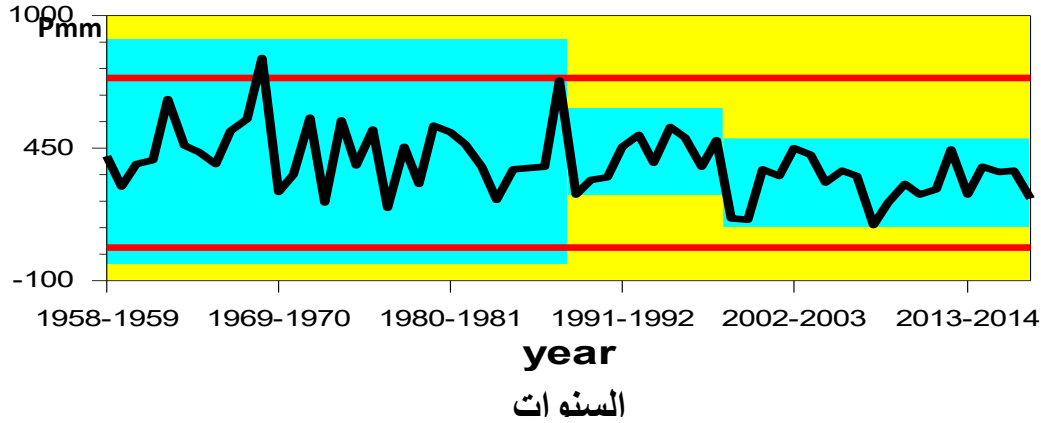
\*\*التغير معنوي عند مستوى 0.01



الشكل (3): تغير معدلات الهطل الشهرية في محطة القامشلي خلال الفترة 1958-2018

\*\* التغير معنوي عند مستوى 0.01 \* التغير معنوي عند مستوى 0.05

تؤكد نتائج اختبار نقطة التغير Point change analysis على وجود تغير في خصائص الهطل خلال الأعوام الهيدرولوجية التي شملت فترة الدراسة كما هو مبين في الشكل (4) والجدول (2). فقد تراجعت قيمة الانحراف المعياري خلال العام الهيدرولوجي 1989-1988 وكان التغير من الدرجة الأولى، في حين تناقص معدل الهطل خلال العام الهيدرولوجي 1999-1998 بشكل حاد ومعنوي وكان التغير أيضاً من الدرجة الأولى، وهذا يشير إلى الانزياح الواضح نحو ظروف أشد جفافاً في المنطقة.

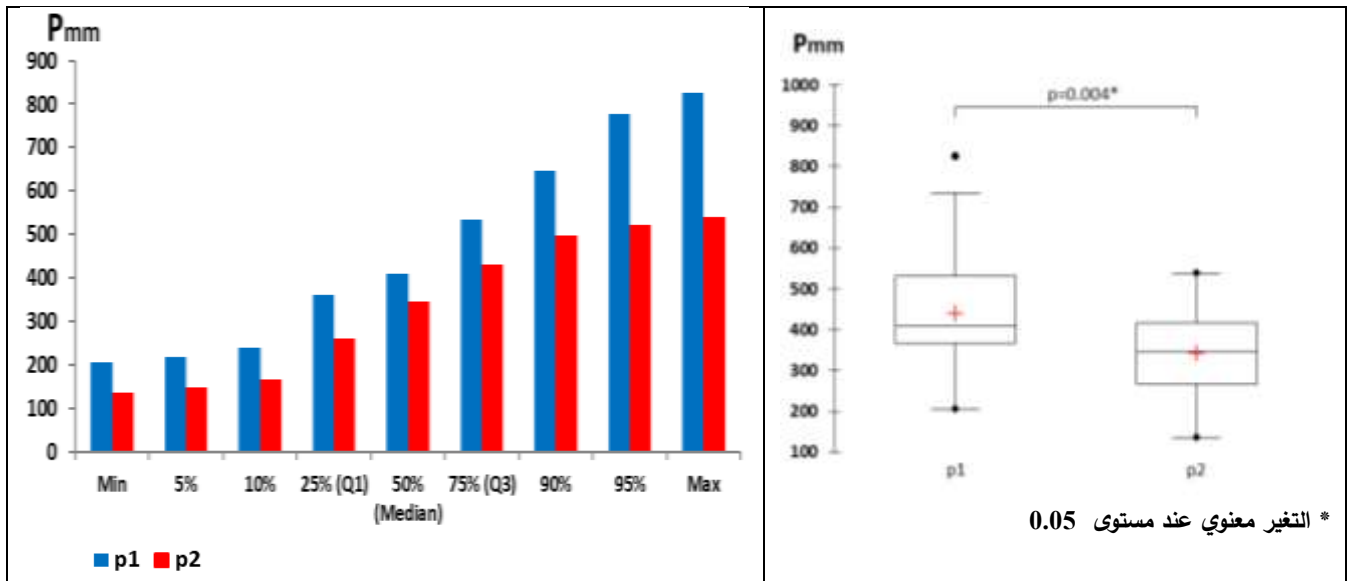


الشكل (4): فترات حدوث التغير في المعدل والتذبذب لكميات الهطل السنوية في القامشلي خلال الفترة 2018-1958

الجدول (2): فترة حدوث ومستوى التغير في المعدل والانحراف المعياري لكميات الهطل السنوية في القامشلي خلال الفترة 2018-1958

فترة حدوث التغير	مجال الثقة	مستوى الثقة	من	إلى	مستوى التغير
1999/1998	(2004-1980)	98%	435	311	1
1989/1988	(1993-1960)	97%	156	61	1

يتضح من مقارنة الخصائص الإحصائية لكميات الهطل السنوية بين الفترتين 1988-1958 و 1988-2018 (الشكل 5) وجود تغير معنوي باتجاه التناقص فقد تراجعت قيمة المعدل من 441.1 مم خلال الفترة الأولى إلى 343.9 مم خلال الفترة الثانية، كما تراجعت أعلى قيمة بشكل حاد من 825.9 مم إلى 539.4 مم، وكذلك تناقصت أدنى قيمة من 205.4 مم إلى 136 مم. وقد ترافق هذا الانزياح نحو التناقص بتراجع كميات الهطل السنوية عند مختلف مستويات الاحتمالية.



الشكل (5): تغير الخصائص الإحصائية لكميات الهطل السنوية عند مختلف مستويات الاحتمالية بين الفترتين p1 (1958 - 1988)

و p2 (1988-2018)

## 3- دراسة التغير في معدلات درجات الحرارة في منطقة الدراسة:

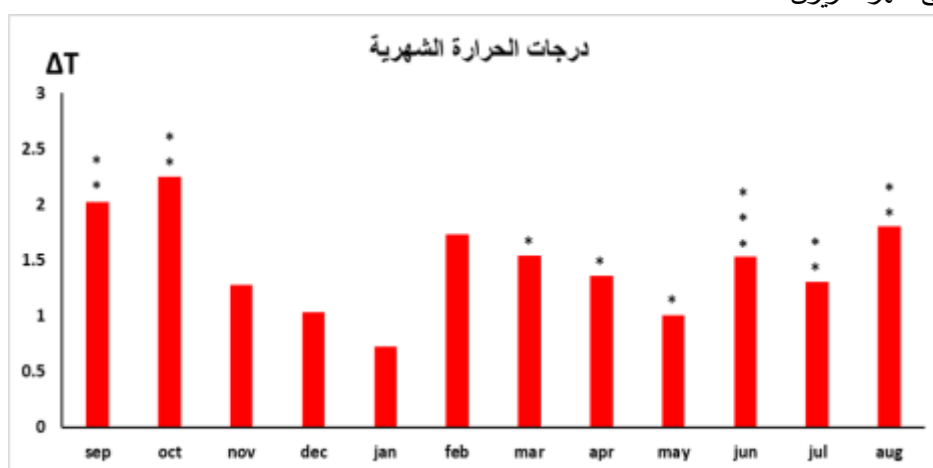
يُظهر الجدول (3) اتجاه وقيمة التغير في معدلات درجات الحرارة الفصلية والسنوية، ومنه يُلاحظ وجود تزايد حاد ومعنوي في المعدلات السنوية لدرجات الحرارة والذي بلغ (1.46 درجة مئوية لكامل فترة الدراسة)، والناتج عن التزايد الواضح في معدلات جميع الفصول. وقد بلغت أعلى قيمة للتزايد لكامل الفترة خلال فصل الخريف (1.85 درجة مئوية) تلتها قيمة فصل الصيف (1.55 درجة مئوية) وبمعنوية مرتفعة للغاية عند مستوى 0.001 لكل منهما، أما قيمة التزايد لفصل الربيع فقد بلغت 1.3 درجة مئوية عند مستوى معنوية 0.01 في حين كانت أقل قيمة للتزايد خلال فصل الشتاء بمقدار 1.16 درجة مئوية وعند مستوى معنوية 0.05.

الجدول (3): اتجاه وقيمة التغير في المعدلات الفصلية والسنوية لدرجات الحرارة لمحطة القامشلي خلال الفترة 1958-2018

معنوية التغير	اتجاه وقيمة التغير		الفترة
	لكامل الفترة	لكل عقد	
***	1.848	0.308	الخريف
*	1.164	0.194	الشتاء
**	1.296	0.216	الربيع
***	1.548	0.258	الصيف
***	1.464	0.244	العام الهيدرولوجي

\*\*\*التغير معنوي عند 0.001 \*\* التغير معنوي عند مستوى 0.01 \* التغير معنوي عند مستوى 0.05

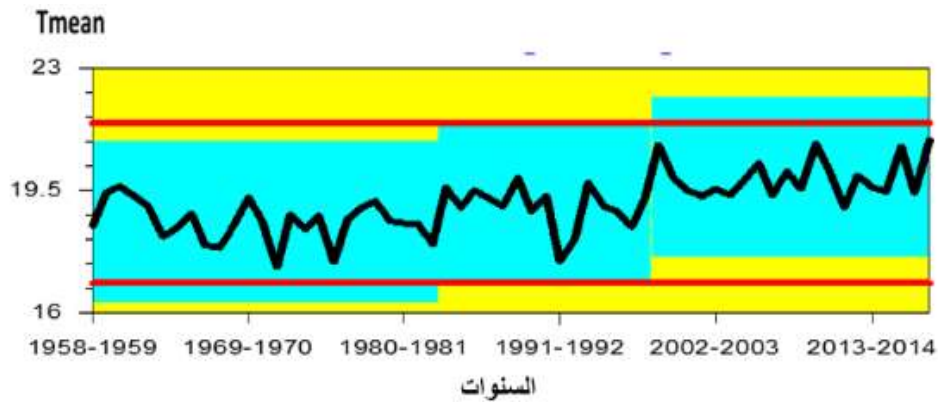
يظهر الشكل (6) التزايد في المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة في منطقة الدراسة، حيث يُلاحظ التزايد الواضح خلال جميع الأشهر والذي كان مرتفعاً للغاية خلال أشهر تشرين الأول وأيلول وآب بقيم بلغت لكامل الفترة 2.2 و 2 و 1.8 درجة مئوية على التوالي. وقد كان التغير معنوياً بدءاً من شهر آذار وحتى شهر تشرين الأول. وقد تميزت أشهر الربيع بتزايد معنوي عند مستوى 0.05، في حين كانت معنوية التزايد عند مستوى 0.01 خلال تموز وآب وأيلول وتشرين الأول، وقد اقتصر معنوية التغير عند مستوى 0.001 على شهر حزيران فقط.



\*\*\*التغير معنوي عند 0.001 \*\* التغير معنوي عند مستوى 0.01 \* التغير معنوي عند مستوى 0.05

الشكل (6) تغير المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة الجافة في محطة القامشلي خلال الفترة 1958-2018

يتضح من تطبيق اختبار نقطة التغير وجود انزياح نحو ظروف أشد حرارة خلال فترة الدراسة، إذ يُظهر الشكل (7) وجود فترتين للتزايد الأولى خلال العام الهيدرولوجي 1983-1984 والثانية خلال العام 1998-1999، وقد كان التغير الأول من الدرجة الثانية وبمستوى ثقة 97% في حين كان التغير الثاني من الدرجة الخامسة وبمستوى ثقة 100% كما هو مبين في الجدول (4).

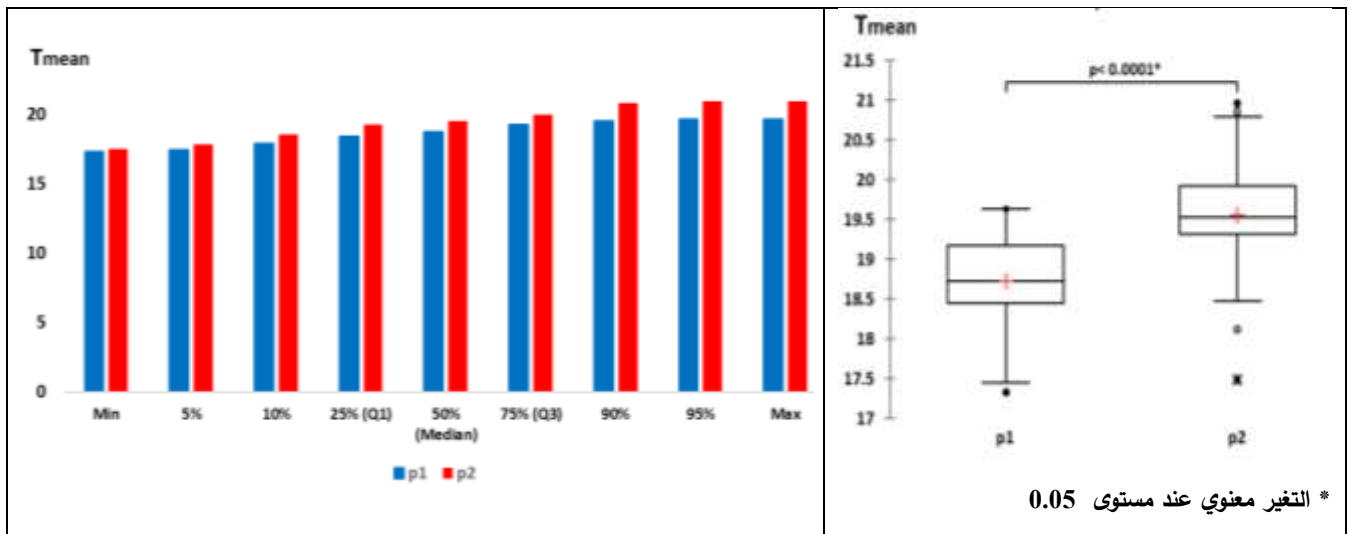


الشكل (7): فترات حدوث التغير في المعدلات السنوية لدرجات الحرارة في القامشلي خلال الفترة 2018-1958

الجدول (4): فترات حدوث ومستوى التغير في المعدلات السنوية لدرجات الحرارة في القامشلي خلال الفترة 2018-1958

فترة حدوث التغير	مجال الثقة	مستوى الثقة	من	إلى	مستوى التغير
1984/1983	(1995-1962)	97%	18.6	19.12	2
1999/1998	(2006-1990)	100%	19.12	19.9	5

تظهر مقارنة الخصائص الاحصائية لمتوسطات درجات الحرارة السنوية بين الفترتين 1988-1958 و 2018-1988 (الشكل 8) وجود تغير معنوي باتجاه التزايد خلال الفترة الثانية. فقد تزايدت قيمة المعدل من 18.7 إلى 19.6 درجة مئوية كما تزايدت أعلى قيمة من 19.6 إلى 20.9 درجة مئوية، وكذلك تزايدت أدنى قيمة من 17.3 إلى 17.5 درجة مئوية، وقد ترافقت هذه التغيرات بتزايد درجات الحرارة عند جميع مستويات الاحتمالية خلال الفترة الثانية.



الشكل (8): تغير الخصائص الاحصائية لمتوسطات درجات الحرارة السنوية عند مختلف مستويات الاحتمالية بين الفترتين p1 (1958 - 1988) و p2 (1988 - 2018)

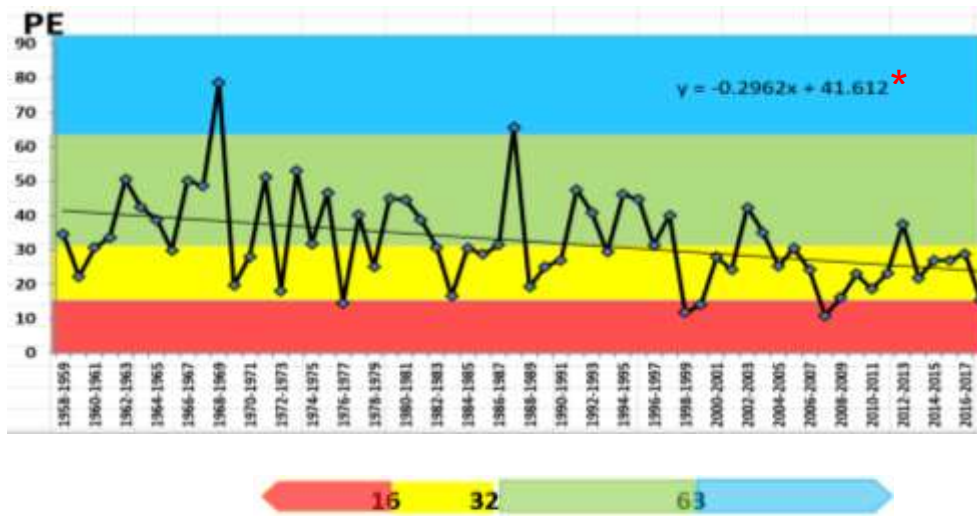
4- تغير فعالية الهطل خلال الفترة 2018-1958 في منطقة الدراسة:

يبين الشكل (9) تغير قيم مؤشر فعالية الهطل المحسوبة لكل عام هيدرولوجي من الدراسة ، ومنه يُلاحظ وجود تباين كبير بين السنوات في الظروف الميئورولوجية، حيث يتذبذب مناخ المنطقة بين الجاف والرطب مع تكرار ملحوظ للسنوات شبه الجافة أو شبه الرطبة، فقد كانت أعلى قيمة للمؤشر في الموسم 1969-1968 حيث بلغت 78.7 تلتها قيمة الموسم 1987-1988 والتي بلغت 65.6، أما أقل القيم فقد كانت للمواسم 2007-2008 و 1998-1999 و 1999-2000 حيث تدنت قيم المؤشر إلى 10.9 و 11.8 و 14.1 على التوالي.

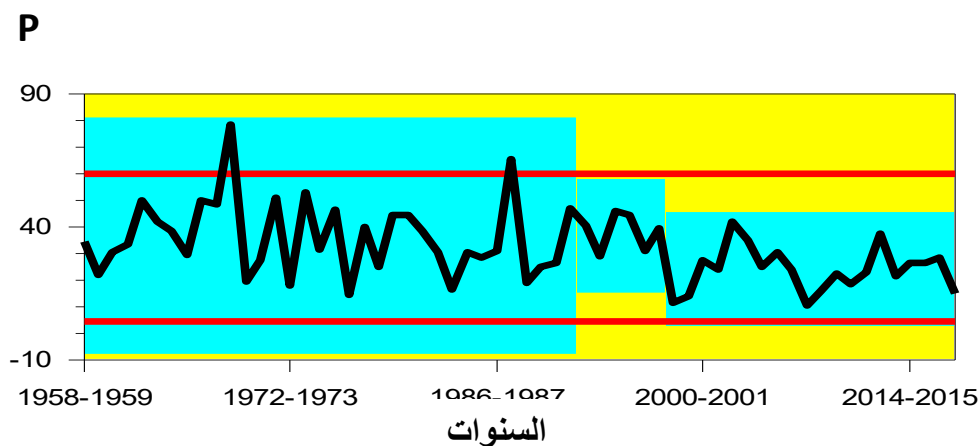
إن هذا الاختلاف الكبير في قيم المؤشر بين عام وآخر يعود بالدرجة الأولى إلى التباين في كميات الهطل الشهرية والفصلية والسنوية، والذي يفوق إلى حد كبير التباين في متوسطات درجات الحرارة لمختلف الفترات بين المواسم.

يتضح من تحليل السلاسل الزمنية لقيم مؤشر فعالية الهطل خلال كامل فترة الدراسة (الشكل 9) وجود اتجاه واضح ومعنوي نحو التناقص. فقد تراجع معدل قيمة المؤشر خلال سنوات الدراسة بمقدار 17.8 أي أن معدل الظروف المناخية للمنطقة انزاح من شبه الرطب إلى شبه الجاف.

يتبين من تطبيق اختبار نقطة التغير على السلسلة الزمنية لقيم مؤشر فعالية الهطل (الشكل 10 والجدول 5) وجود تغير في المعدل خلال العام الهيدرولوجي 1998-1999 الذي تراجعت قيمته من 36.7 إلى 24.2 مما يؤكد على انزياح ظروف المنطقة من شبه الرطبة إلى شبه الجافة، عدا ذلك فقد حدث تغير في التذبذب خلال العام الهيدرولوجي 1992-1993 حيث تناقصت قيمة الانحراف المعياري من 14.8 إلى 7.2 وكان هذا التغير من الدرجة الأولى.



الشكل (9): تباين قيم مؤشر فعالية الهطل PE بين السنوات الهيدرولوجية في القامشلي مع الاتجاه العام للتغير خلال فترة الدراسة 1958-2018 \*\* التغير معنوي عند مستوى 0.01



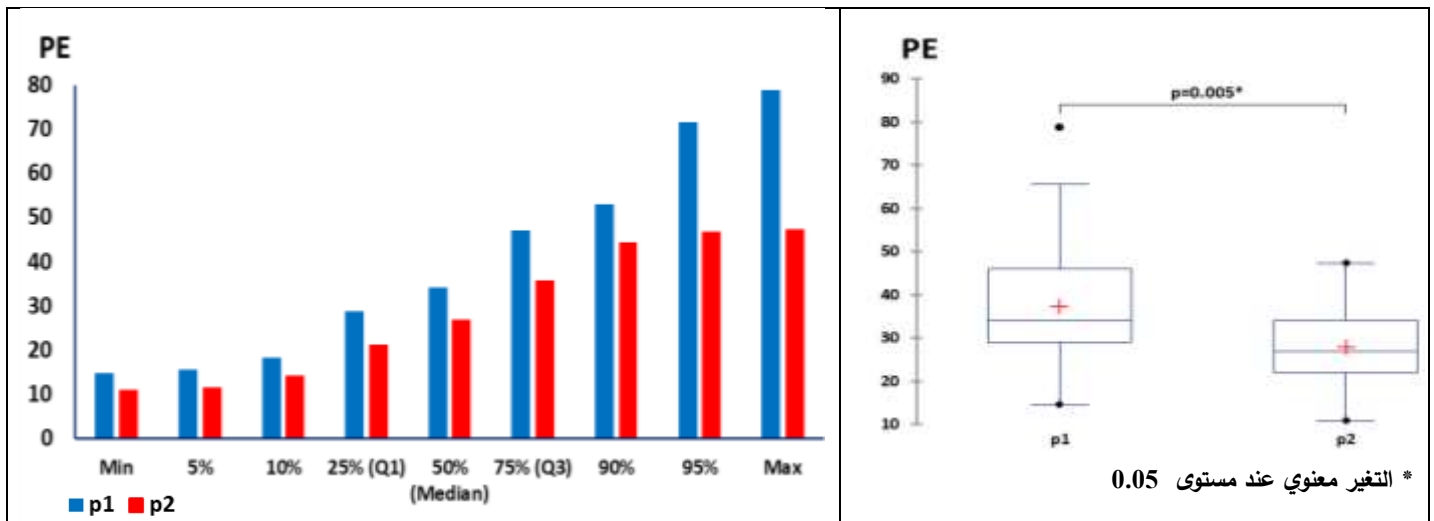
الشكل (10): فترات حدوث التغير في المعدل والتذبذب لقيم مؤشر فعالية الهطل في القامشلي خلال الفترة 1958-2018

الجدول(5): فترة حدوث ومستوى التغير في المعدل والانحراف المعياري لقيم مؤشر فعالية الهطل في القامشلي خلال الفترة 1958-2018

مستوى التغير	من	إلى	مستوى الثقة	مجال الثقة	فترة حدوث التغير	المعدل
4	36.7	24.2	99%	(2002-1972)	1999/1998	
1	14.8	7.2	98%	(1995-1960)	1993/1992	

يُلاحظ من الشكل (10) والجدول (5) أن فترة حدوث الانزياح في قيم مؤشر فعالية الهطل توافقت مع فترة حدوث التغير في كل من معدل الهطل (الشكل 4 والجدول 2) ومعدل درجات الحرارة (الشكل 7 والجدول 4) وبالنظر إلى مستوى التغير في كلا العنصرين يتضح أن المتحكم الأول في هذا الانزياح هو معدل الهطل الذي تراجع بشكل حاد، حيث كان مستوى التغير من الدرجة الأولى في حين كان مستوى التغير في معدل درجات الحرارة خلال نفس العام من الدرجة الخامسة.

يُظهر الشكل (11) اختلاف الخصائص الاحصائية لقيم مؤشر فعالية الهطل بين الفترتين 1958-1988 و 1988-2018 حيث يُلاحظ الانزياح نحو تراجع فعالية الهطل في المنطقة مع وجود معنوية واضحة للتغير، فقد تناقصت قيمة المعدل من 37.3 خلال الفترة الأولى إلى 27.8 خلال الفترة الثانية وترافق ذلك بتناقص أعلى قيمة من 78.7 إلى 47.4 وأدنى قيمة من 14.6 إلى 10.9. وقد انعكست هذه التغيرات في الخصائص الاحصائية بين الفترتين على تراجع قيم مؤشر فعالية الهطل عند جميع مستويات الاحتمالية خلال العقود الأخيرة

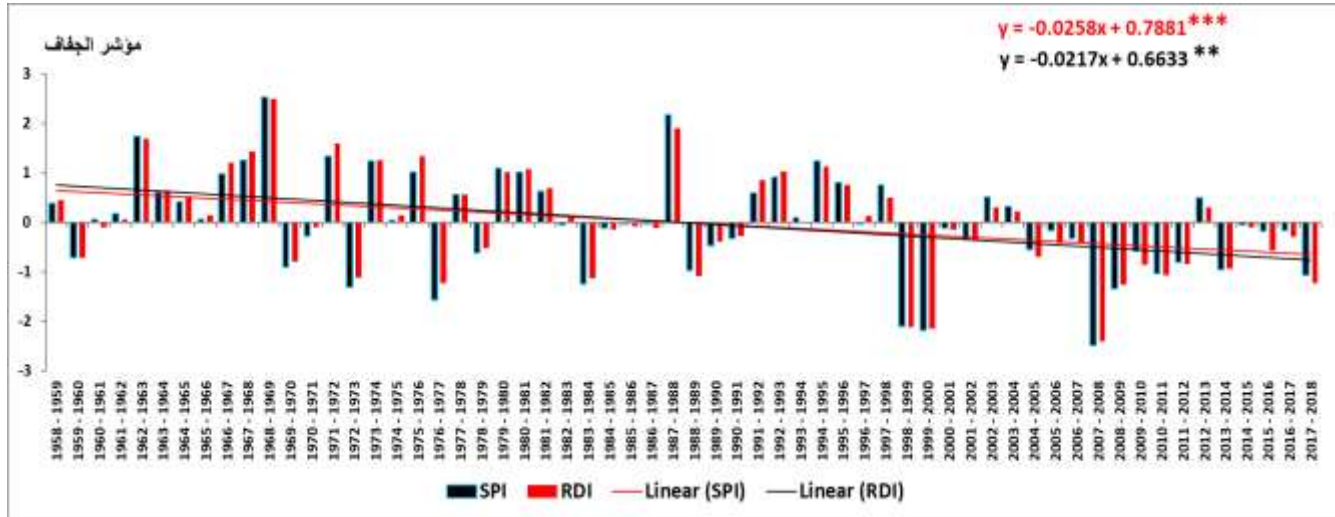


الشكل (11): تغير الخصائص الاحصائية لقيم فعالية الهطل عند مختلف مستويات الاحتمالية بين الفترتين P1 (1958 - 1988) و P2 (1988-2018)

#### تغير خصائص الجفاف في منطقة الدراسة خلال الفترة 1958-2018

تظهر السلاسل الزمنية لقيم مؤشري الجفاف SPI و RDI المحسوبة للموسم الماطر خلال السنوات الهيدرولوجية الممتدة من عام 1958 حتى عام 2018، أن الجفاف يتكرر بشكل كبير في المنطقة، وقد يكون متطرف الشدة كما هو مبين في الشكل (12). حيث يُلاحظ أن قيم مؤشر SPI انخفضت إلى -2.41 و -2.15 و -2.12 خلال المواسم 2007-2008 و 1999-2000 و 1998-1999 على التوالي. وقد كانت قيم مؤشر RDI مشابهة خلال هذه المواسم حيث تدنت قيمة المؤشر إلى -2.49 و -2.18 و -2.12 على التوالي. هذا ولم تتكرر مواسم متطرفة إلى شديدة الرطوبة خلال العقود الثلاثة الأخيرة من فترة الدراسة على الرغم من تكرارها سابقاً خلال موسمين 1968-1969 و 1987-1988 بقيم بلغت 2.5 و 1.9 على التوالي لمؤشر RDI و 2.54 و 2.18 على التوالي لمؤشر SPI .

يتضح من تحليل السلاسل الزمنية لقيم مؤشري الجفاف SPI و RDI المحسوبة للموسم الماطر وجود اتجاه واضح ومعنوي نحو التناقص لكل منهما كما هو مبين في الشكل (12) والجدول (6). فقد بلغت قيمة التناقص في مؤشر SPI 1.3 وكان التغير معنوياً عند مستوى 0.01 في حين بلغت قيمة التناقص 1.55 بالنسبة لمؤشر RDI حيث بلغت 1.55 وكان التغير معنوياً عند مستوى 0.001، وهذا يعود إلى دور ارتفاع درجات الحرارة في زيادة التبخر نتج الكامن، وبالتالي تزايد شدة الجفاف المحسوبة باستخدام هذا المؤشر.



الشكل (12): التباين بين المواسم في قيمة مؤشري الجفاف SPI و RDI والاتجاه العام للتغير خلال الفترة 1958-2018 في القامشلي.

\*\*\*التغير معنوي عند مستوى 0.01      \*\*التغير معنوي عند مستوى 0.001

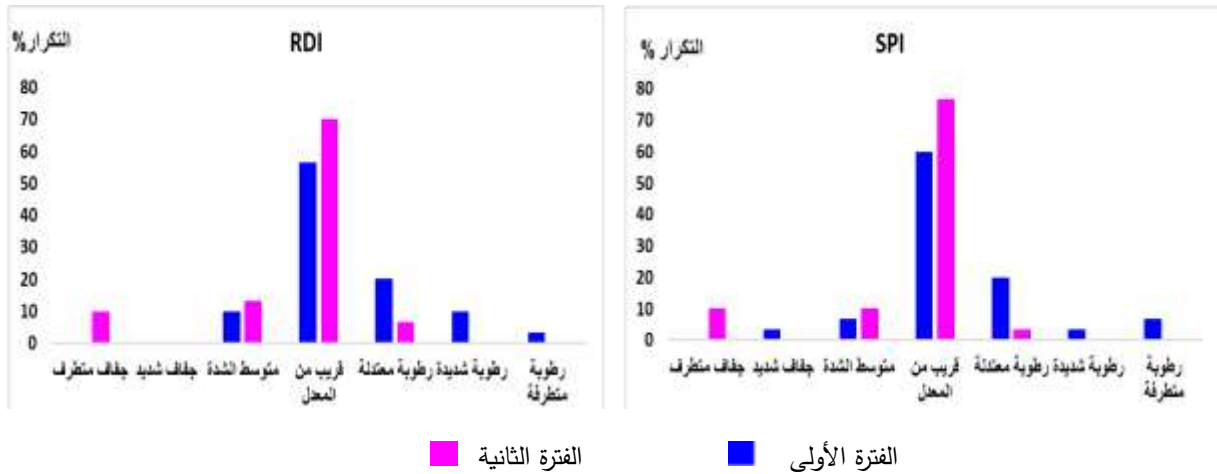
إن هذا التناقص في القيم السنوية لمؤشري الجفاف يعود بالدرجة الأولى إلى التناقص الحاد والمعنوي خلال فصل الربيع والتناقص الأقل حدة خلال فصل الشتاء ثم الخريف (الجدول 6)، فقد بلغت قيمة التراجع في قيم SPI و RDI خلال كامل فترة الدراسة لفصل الربيع 1.49 و 1.51 على التوالي، وكانت معنوية التغير عند مستوى 0.01 بالنسبة لمؤشر SPI و 0.001 بالنسبة لمؤشر RDI، أما خلال فصل الشتاء فقد اقتصر التغير على مؤشر RDI في حين كان التناقص غير معنوي خلال فصل الخريف لكلا المؤشرين.

الجدول (6): اتجاه وقيمة ومعنوية التغير في مؤشري الجفاف SPI و RDI في منطقة الدراسة خلال الفترة 1958-2018

معنوية التغير	اتجاه وقيمة التغير		الفترة	مؤشر الجفاف
	لكامل الفترة	لكل عقد		
	-0.49	-0.082	الخريف	SPI
	-0.83	-0.139	الشتاء	
**	-1.49	-0.249	الربيع	
**	-1.30	-0.217	العام الهيدرولوجي	RDI
	-0.67	-0.112	الخريف	
+	-0.77	-0.129	الشتاء	
***	-1.51	-0.252	الربيع	
***	-1.55	-0.258	العام الهيدرولوجي	

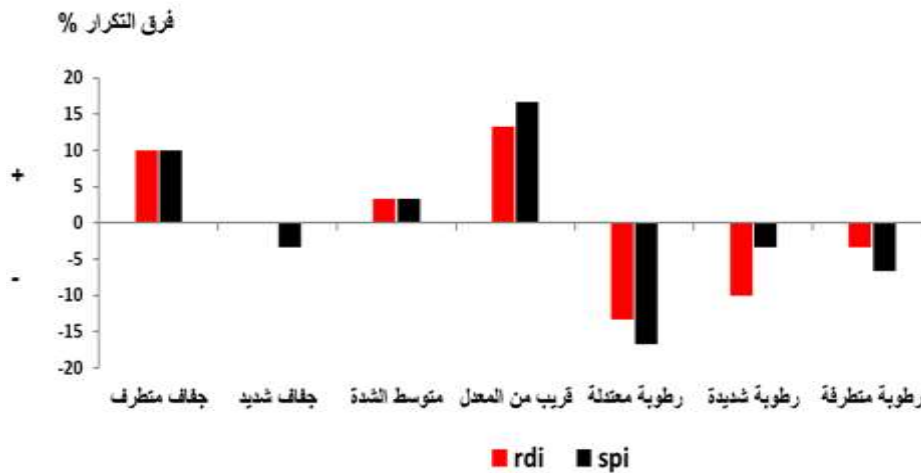
يبين الشكل (13) الاختلاف في نسبة تكرار الجفاف عند مختلف مجالات قيم المؤشرين SPI و RDI بين الفترتين 1958-1988 و 1988-2018 في منطقة الدراسة، ومنه يُلاحظ أن المواسم المعتدلة والشديدة والمتطرفة في هطولها تكررت خلال الفترة الأولى من الدراسة بالنسبة لكلا المؤشرين، وكانت النسبة متساوية لتكرار المواسم المعتدلة (20%). أما الجفاف المتطرف فلم يتكرر في أي موسم خلال الفترة الأولى، في حين تكرر خلال الفترة الثانية بنسبة 10% لكلا المؤشرين، كذلك لم يتكرر الجفاف الشديد

خلال الفترتين الأولى والثانية بالنسبة لمؤشر RDI، لكنه تكرر خلال الفترة الأولى فقط بالنسبة لمؤشر SPI بمقدار 3.3% وقد كانت أعلى نسبة تكرر للمواسم القريبة من المعدل خلال فترتي الدراسة مع وجود تغير بين الفترتين.



الشكل (13): نسبة تكرر الجفاف في منطقة الدراسة المحسوبة للفترتين 1958-1988 و 1988-2018 لمؤشري الجفاف SPI و RDI +التغير معنوي عند مستوى 0.1 \*\*التغير معنوي عند مستوى 0.01 \*\*\* التغير معنوي عند مستوى 0.001

يوضح الشكل (14) الفرق في نسبة تكرر المواسم الجافة والرطبة والقريبة من المعدل بين الفترتين 1958-1988 و 1988-2018 ومنه يلاحظ التناقص الواضح في نسبة تكرر المواسم الرطبة (المتطرفة والشديدة والمعتدلة). بالمقابل تزايدت نسبة تكرر المواسم القريبة من المعدل والمواسم التي تميزت بجفاف متوسط الشدة بالنسبة لكلا المؤشرين، كذلك تميزت الفترة الثانية بتكرار المواسم المتطرفة في جفافها وبنفس النسبة لكلا المؤشرين (10%)، على الرغم من عدم تكرر مثل هذه المواسم خلال الفترة الأولى.



الشكل (14): الفرق في نسبة تكرر المواسم الجافة والرطبة والقريبة من المعدل ضمن مختلف مجالات قيم مؤشري الجفاف SPI و RDI بين الفترتين 1958-1988 و 1988-2018 في القامشلي

تتفق نتائج هذا البحث مع الدراسات العالمية حول تزايد درجات الحرارة السطحية خلال العقود الأخيرة في مختلف مناطق العالم (Samset et al., 2023; WMO 2024) ومنها المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط (Zittis et al., 2022). كما تتفق مع العديد من الدراسات حول تغير خصائص الهطل وتراجع معدلاته في المناطق الخاضعة للمناخ المتوسطي (Deitch et al., 2017; Seager et al., 2019; Gonzalez-Hidalgo et al., 2024). كذلك تتوافق هذه النتائج مع العديد من الأبحاث حول تزايد شدة

الجفاف وتكراره في العديد من مناطق العالم (Trenberth et al., 2014; Wu et al., 2022)، وخاصةً المناطق فوق المدارية كحوض المتوسط (Hoerling et al., 2012; Caloiero et al., 2018)، بما فيها سورية (سكاف وآخرون ، 2024). إن هذه التغيرات ستؤدي إلى تزايد حساسية المحاصيل الرئيسية وتراجع إنتاجيتها (Leng & Hall 2019; Monteleone 2024; Chen et al., 2024). كما سيكون لها بالغ الأثر في توفر مياه الري والحاجة لها (Fader et al., 2016)، الأمر الذي يتطلب وضع الاستراتيجيات المناسبة لمواجهة هذه الظروف من خلال استخدام تقنيات الري الحديثة، والتي تقلل الحاجة لمياه الري (Pool et al., 2021)، ومن خلال تطوير طرق حصاد المياه (Teston et al., 2022)، إضافة إلى زراعة الأصناف الأكثر مقاومة لظروف الجفاف وارتفاع درجات الحرارة (Almagro et al., 2016).

### الإنتاجات:

- 1- يتضح من دراسة الخصائص الاحصائية لقيم العناصر الميئورولوجية وجود تباين كبير بين السنوات في كميات الهطل يفوق التباين في درجات الحرارة وهذا يظهر من خلال أدنى وأعلى القيم إضافة إلى ارتفاع معامل التباين وخاصة خلال بداية الخريف ونهاية الربيع.
- 2- أظهرت نتائج الدراسة وجود اتجاه واضح نحو تناقص معدلات الهطل السنوية، نتيجة للتراجع الحاد والمعنوي في فصل الربيع والتناقص الأقل حدة في فصل الشتاء، الأمر الذي انعكس على تراجع كميات الهطل السنوية عند مختلف مستويات الاحتمالية خلال العقود الثلاثة الأخيرة من فترة الدراسة.
- 3- بينت الدراسة وجود اتجاه واضح ومعنوي نحو ارتفاع معدلات درجات الحرارة السنوية بسبب التزايد الحاد في معدلات جميع الفصول وخاصة الخريف والصيف.
- 4- أظهرت نتائج تحليل السلاسل الزمنية لقيم مؤشر فعالية الهطل وجود اتجاه واضح ومعنوي نحو التناقص، مع وجود تباين كبير في قيم المؤشر بين السنوات الهيدرولوجية، والذي يعكس التغير الكبير في الظروف الميئورولوجية بين عام وآخر نتيجة لتذبذب المناخ.
- 5- تبين من تحليل السلاسل الزمنية لقيم مؤشري الجفاف SPI و RDI وجود اتجاه واضح ومعنوي نحو تزايد شدة جفاف الموسم الماطر، والذي يعود بالدرجة الأولى إلى تزايد شدة جفاف الربيع والشتاء، مع ملاحظة أن تزايد قسوة الجفاف كان أكبر تبعاً لمؤشر RDI وهذا يُظهر أهمية ارتفاع درجات الحرارة في زيادة القدرة التبخرية للغلاف الجوي وتعزيز تأثيرات نقص الهطولات.
- 6- أكدت النتائج على التناقص الواضح في نسبة تكرار السنوات الرطبة خلال العقود الأخيرة من فترة الدراسة، والذي ترافق بتكرار المواسم التي تميزت بجفاف متطرف الشدة، على الرغم من عدم وجود هذا التطرف خلال العقود الثلاثة الأولى من فترة الدراسة.

### المراجع:

- سكاف، ميشيل، أبو زخم، عبد الله ومثبوت، شفا. (2013). تغيرات الحرارة في المناطق شبه الجافة و الجافة و شديدة الجفاف في سورية و آثارها الكامنة في الغطاء النباتي. المجلة العربية للبيئات الجافة، مج. 6، ع. 2، ص ص. 42-54.
- سكاف، ميشيل & صقر. رنا (2015). تغير خصائص الهطل الفصلي والسنوي في المنطقة الساحلية من سورية خلال الفترة 1960-2010، مجلة جامعة تشرين للعلوم البيولوجية 37 (2).

- سكاف، ميشيل، عبود، ليلي، محفوض، ايلين، & صقر، رنا (2024). تأثير تذبذب وتغير الهطل في تزايد خطر الجفاف في بعض المناطق المناخية في سورية خلال الفترة 1958–2018، مجلة الأنبار للعلوم الزراعية 22 (2)
- AghaKouchak, A., Chiang, F., Huning, L. S., Love, C. A., Mallakpour, I., Mazdiyasi, O., & Sadegh, M. (2020). Climate extremes and compound hazards in a warming world. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 48, 519-548
- Allan RP, Barlow M, Byrne MP, Cherchi A, Douville H, Fowler HJ.(2020). Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1–27
- Almagro, M., de Vente, J., Boix-Fayos, C., García-Franco, N., Melgares de Aguilar, J., Gonzalez, D., Sol'e-Benet, A., Martínez-Mena, M., 2016. Sustainable land management practices as providers of several ecosystem services under rainfed Mediterranean agroecosystems. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 21, 1029–1043.
- Bradford, J. B., Schlaepfer, D. R., Lauenroth, W. K., & Palmquist, K. A. (2020). Robust ecological drought projections for drylands in the 21st century. *Global change biology*, 26(7), 3906-3919.
- Caloiero, T., Veltri, S., Caloiero, P., & Frustaci, F. (2018). Drought analysis in Europe and in the Mediterranean basin using the standardized precipitation index. *Water*, 10(8), 1043.
- Chen, X., Wang, L., Cao, Q., Sun, J., Niu, Z., Yang, L., & Jiang, W. (2024). Response of global agricultural productivity anomalies to drought stress in irrigated and rainfed agriculture. *Science China Earth Sciences*, 1-15.
- Cook, B. I., Mankin, J. S., Marvel, K., Williams, A. P., Smerdon, J. E., & Anchukaitis, K. J. (2020). Twenty-first century drought projections in the CMIP6 forcing scenarios. *Earth's Future*. 8,
- Cos, J., Doblas-Reyes, F., Jury, M., Marcos, R., Bretonnière, P. A., & Samsó, M. (2022). The Mediterranean climate change hotspot in the CMIP5 and CMIP6 projections. *Earth System Dynamics*, 13(1), 321-340.
- Craine, J. M., Nippert, J. B., Elmore, A. J., Skibbe, A. M., Hutchinson, S. L., & Brunsell, N. A. (2012). Timing of climate variability and grass land productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(9), 3401–3405.
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., & Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972-980.
- Deitch, M. J., Sapundjieff, M. J., & Feirer, S. T. (2017). Characterizing precipitation variability and trends in the world's Mediterranean-climate areas. *Water*, 9(4), 259.
- Denissen, J. M., Teuling, A. J., Pitman, A. J., Koirala, S., Migliavacca, M., Li, W., & Orth, R. (2022). Widespread shift from ecosystem energy to water limitation with climate change. *Nature Climate Change*, 12(7), 677-684.
- Denton, E. M., Dietrich, J. D., Smith, M. D., & Knapp, A. K. (2017). Drought timing differentially affects above- and belowground productivity in a Mesic grassland. *Plant Ecology*, 218(3), 317–328.
- Dietrich, J. D., & Smith, M. D. (2016). The effect of timing of growing season drought on flowering of a dominant C4 grass. *Oecologia*, 181(2), 391–399.
- Diffenbaugh, N. S., & Giorgi, F. (2012). Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Climatic change*, 114 (n/a), 813-822
- Douville, H., Raghavan, K., Renwick, J., Allan, R. P., Arias, P. A., Barlow, M., Cerezo-Mota, R., Cherchi, A., Gan, T. Y., Gergis, J., Jiang, D., Khan, A., Pokam Mba, W., Rosenfeld, D.,

- Tierney, J., & Zolina, O. (2021). Water cycle changes. In V. Masson-Delmotte, 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, & B. Zhou (Eds.), *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1055–1210). Cambridge University Press.
- Fader, M., Shi, S., VonBloh, W., Bondeau, A., Cramer, W., 2016. Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20, 953–973.
- Felton, A. J., Shriver, R. K., Bradford, J. B., Suding, K. N., Allred, B. W., & Adler, P. B. (2021). Biotic vs abiotic controls on temporal sensitivity of primary production to precipitation across North American drylands. *New Phytologist*, 231(6), 2150–2161
- Gonzalez-Hidalgo, J. C., Trullenque-Blanco, V., Beguería, S., & Peña-Angulo, D. (2024). Seasonal precipitation changes in the western Mediterranean Basin: The case of the Spanish mainland, 1916–2015. *International Journal of Climatology*, 1–16.
- Gremer, J. R., Bradford, J. B., Munson, S. M., & Duniway, M. C. (2015). Desert grassland responses to climate and soil moisture suggest divergent vulnerabilities across the southwestern United States. *Global Change Biology*, 21, 4049–4062
- Haddad, N. M., Tilman, D., & Knops, J. M. H. (2002). Long-term oscillations in grassland productivity induced by drought. *Ecology Letters*, 5(1), 110–120.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.
- Hoerling M, Eischeid J, Perlwitz J, Quan X, Zhang T and Pegion P.( 2012). On the increased frequency of Mediterranean drought *J. Clim.* 25 2146–61
- Hoover, D. L., Knapp, A. K., & Smith, M. D. (2014). Resistance and resilience of a grassland ecosystem to climate extremes. *Ecology*, 95(9), 2646–2656
- Huang, J., Li, Y., Fu, C., Chen, F., Fu, Q., Dai, A., ... Wang, G. (2017). Dryland climate change: Recent progress and challenges. *Reviews of Geophysics*, 55, 719–778.
- Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G., & Guo, R. (2016). Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*, 6(2), 166–171
- IPCC: 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*, edited by: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., and Zhou, B., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 3–32,
- Kemp, K. B., Blades, J. J., Klos, P. Z., Hall, T. E., Force, J. E., Morgan, P., & Tinkham, W. T. (2015). Managing for climate change on federal lands of the western United States: Perceived usefulness of climate science, effectiveness of adaptation strategies, and barriers to implementation. *Ecology and Society*, 20, 17. [http](http://www.ecologyandsociety.org/2015/01/17.html)
- Kröel-Dulay, G., Mojzes, A., Szitár, K., Bahn, M., Batáry, P., Beier, C., Bilton, M., De Boeck, H. J., Dukes, J. S., Estiarte, M., Holub, P., Jentsch, A., Schmidt, I. K., Kreyling, J., Reinsch, S., Larsen, K. S., Sternberg, M., Tielbörger, K., Tietema, A., ... Peñuelas, J. (2022). Field

- experiments underestimate aboveground biomass response to drought. *Nature Ecology & Evolution.*, 6, 540–545.
- Lei, T., Feng, J., Lv, J., Wang, J., Song, H., Song, W., & Gao, X. (2020). Net primary productivity loss under different drought levels in different grassland ecosystems. *Journal of Environmental Management*, 274, 111144
- Leng, G., & Hall, J. (2019). Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*, 654, 811-821.
- Lionello, P., Scarascia, L., 2020. The relation of climate extremes with global warming in the Mediterranean region and its north versus south contrast. *Reg. Environ. Change* 20, 31
- Luo, W., Griffin-Nolan, R. J., Ma, W., Liu, B., Zuo, X., Xu, C., Yu, Q., Luo, Y., Mariotte, P., Smith, M. D., Collins, S. L., Knapp, A. K., Wang, Z., & Han, X. (2021). Plant traits and soil fertility mediate productivity losses under extreme drought in C3 grasslands. *Ecology*, 102(10),
- Martin, E. R. (2018). Future projections of global pluvial and drought event characteristics. *Geophysical Research Letters*, 45, 11,913–11,920
- Martinez Vilalta, J., & Lloret, F. (2016). Drought-induced vegetation shifts in terrestrial ecosystems: The key role of regeneration dynamics. *Global and Planetary Change*, 144, 94–108
- Maurer, G. E., Hallmark, A. J., Brown, R. F., Sala, O. E., & Collins, S. L. (2020). Sensitivity of primary production to precipitation across the United States. *Ecology Letters*, 23(3), 527–536.
- McKee, T. B. Doesken, N. J. Kleis, J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Reprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, (1993): 179-184
- Monteleone, B., Borzì, I., Bonaccorso, B., & Martina, M. (2023). Quantifying crop vulnerability to weather-related extreme events and climate change through vulnerability curves. *Natural Hazards*, 116(3), 2761-2796.
- Petrie, M. D., Brunsell, N. A., Vargas, R., Collins, S. L., Flanagan, L. B., Hanan, N. P., Litvak, M. E., & Suyker, A. E. (2016). The sensitivity of carbon exchanges in Great Plains grasslands to precipitation variability. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 121(2), 280–294.
- Pool, S., Francés, F., Garcia-Prats, A., Pulido-Velazquez, M., Sanchis-Ibor, C., Schirmer, M., Yang, H., Jimenez-Martínez, J., (2021). From flood to drip irrigation under climate change: impacts on evapotranspiration and groundwater recharge in the Mediterranean region of Valencia (Spain). *Earth's Future*
- Právělie, R. (2016). Drylands extent and environmental issues. A global approach. *Earth-Science Reviews*, 161, 259–278
- Renne, R. R., Schlaepfer, D. R., Palmquist, K. A., Bradford, J. B., Burke, I. C., & Lauenroth, W. K. (2019). Soil and stand structure explain shrub mortality patterns following global change type-drought and extreme precipitation. *Ecology*, 100(12).
- Samset, B. H., Zhou, C., Fuglestedt, J. S., Lund, M. T., Marotzke, J., & Zelinka, M. D. (2023). Steady global surface warming from 1973 to 2022 but increased warming rate after 1990. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 400.
- Seager, R., Osborn, T. J., Kushnir, Y., Simpson, I. R., Nakamura, J., & Liu, H. (2019). Climate variability and change of Mediterranean-type climates. *Journal of Climate*, 32(10), 2887-2915.
- Seneviratne, S.I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S.M., Wehner, M.,

- Zhou, B., (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate. In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., P'ean, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (Eds.), *Climate Change 2021: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766
- Shriver, R. K., Andrews, C. M., Pilliod, D. S., Arkle, R. S., Welty, J. L., Germino, M. J., ... Bradford, J. B. (2018). Adapting management to a changing world: Warm temperatures, dry soil, and inter-annual variability limit restoration success of a dominant woody shrub in temperate drylands. *Global Change Biology*, 24(10), 4972–4982.
- Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Cescatti, A. & Dosio, A. (2021). Global exposure of population and land use to meteorological droughts under different warming levels and: A based study. *International Journal of Climatology*, 41, 6825-6853.
- Stuart-Haëntjens, E., De Boeck, H. J., Lemoine, N. P., Mänd, P., Kröel-Dulay, G., Schmidt, I. K., Jentsch, A., Stampfli, A., Anderegg, W. R. L., Bahn, M., Kreyling, J., Wohlgemuth, T., Lloret, F., Classen, A. T., Gough, C. M., & Smith, M. D. (2018). Mean annual precipitation predicts primary production resistance and resilience to extreme drought. *Science of the Total Environment*, 636, 360–366.
- Taylor, W. A. (2000). Change-point analysis: A powerful new tool for detecting changes
- Teston, A., Piccinini Scolaro, T., Kuntz Maykot, J., & Ghisi, E. (2022). Comprehensive environmental assessment of rainwater harvesting systems: a literature review. *Water*, 14(17), 2716.
- Thornthwaite C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38, 55-94.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17–22.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management* 21, (2007):821-833.
- Tucker, S. S., Craine, J. M., & Nippert, J. B. (2011). Physiological drought tolerance and the structuring of tallgrass prairie assemblages. *Ecosphere*, 2(4), 1-19.
- Witwicki, D. L., Munson, S. M., & Thoma, D. P. (2016). Effects of climate and water balance across grasslands of varying C3 and C4 grass cover. *Ecosphere*, 7,
- World Meteorological Organization, 2024. *State of the Global Climate 2023* P 1-53
- Wu, G., Chen, J., Shi, X., Kim, J.-S., Xia, J., & Zhang, L. (2022). Impacts of global climate warming on meteorological and hydrological droughts and their propagations. *Earth's Future*, 10
- Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y. & Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of geophysics*, 60(3)

## The impact of climate change on declining rainfall effectiveness and increasing severity and frequency of drought in Qamishli during the period 1958-2018

Michel Skaff<sup>1</sup>, Rana Saker<sup>1\*</sup>, Laila Abboud<sup>1</sup> and Eileen Mahfoud<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Agricultural Engineering, Latakia University, Latakia , Syria

(\*Corresponding author: Rana Saker, E-mail:[rana.saker@tishreen.edu.sy](mailto:rana.saker@tishreen.edu.sy), 0993294699).



Received: 19/ 05/ 2025

Accepted: 21/ 07/ 2025

### Abstract

Monthly meteorological data for temperature and precipitation for the period 1958-2018 were used to study changes in temperature and precipitation and their impact on the precipitation effectiveness and drought characteristics in Qamishli. The Thornthwaite index was used to calculate precipitation effectiveness. The Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI) were used to estimate drought severity and frequency during the study period. Box plots and descriptive statistical analysis were used to study temperature and precipitation characteristics. Trends were used to estimate the direction and value of change in elements and indicators. The significance of change was verified using the Mann-Kendall test. The point change analysis was also used to determine the periods of change. To compare and detect changes between the periods 1958-1988 and 1988-2018, the T-test with probability and the difference in the percentage of drought recurrence were used. The results showed a sharp and significant trend towards declining rainfall efficiency due to rising temperatures and decreasing precipitation. The results also indicated an increase in the severity and frequency of droughts in the last decades.

**Keywords:** Climate change, Precipitation effectiveness, drought. Syria.