Journal homepage
www.ajas.uoanbar.edu.iq
Anbar Journal of Agricultural Sciences
(University of Anbar – College of Agriculture)

تأثير تذبذب وتغير الهطل في تزايد خطر الجفاف في بعض المناطق المناخية في سورية خلال الفترة 1958-2018

ميشيل ايميل سكاف ليلى الياس عبود ايلين ابراهيم محفوض رنا علي صقر*

كلية الهندسة الزراعية – جامعة تشرين

***المراسلة الى:** م. رنا علي صقر، كلية الهندسة الزراعية، جامعة تشرين، سورية.

البريد الالكتروني: rana.saker@tishreen.edu.sy

Article info

Received: 2024-05-30
Accepted: 2024-08-06
Published: 2024-12-31

DOI-Crossref:
10.32649/ajas.2024.184480

Cite as:
Skaff, M. E., Abboud, L. E., Mahfoud, E. E., and Saker, R. A. (2024). The effect of precipitation variability and change on the increasing drought risk in some climatic regions in Syria during the period 1958-2018. Anbar Journal of Agricultural Sciences, 22(2): 1284-1311.

©Authors, 2024, College of Agriculture, University of Anbar. This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الخلاصة

استخدمت قيم الهطل الشهرية لست محطات ميتيورولوجية تمثل مناطق مناخية مختلفة في سورية من أجل تقدير التغير في خصائص الجفاف خلال الفترة 1958 – 2018 بتطبيق مؤشر انحراف الهطل RAI على مختلف المقاييس الزمنية، وقد استخدمت خطوط الاتجاه مع اختبار مان كندال Mann–Kendall test من أجل تحديد اتجاه التغير في قيم مؤشر الجفاف وقيمته ومعنويته وفي عدد الفترات الجافة واستمراريتها. كذلك استخدم التحليل الاحصائي الوصفي مع اختبار (T) من أجل مقارنة قيم مؤشر الجفاف بين الفترتين 1958–1988 و1988–2018.

أظهرت النتائج وجود اتجاه واضح نحو تزايد شدة الجفاف السنوي بسبب التناقص الواضح في قيم مؤشر الجفاف خلال فصلي الربيع والشتاء والذي كان أكثر حدة ومعنوية في فصل الربيع، كذلك تزايد نسبة تكرار المواسم الجافة خلال العقود الأخيرة وخاصة التي تميزت بجفاف متطرف الشدة مقابل تناقص نسبة تكرار المواسم التي تميزت برطوبة شديدة أو متطرفة في جميع المناطق. إن هذه التغيرات باتجاه ظروف أشد جفافاً في جميع مناطق الدراسة سوف تؤثر سلباً في وفرة الموارد المائية، والانتاج الزراعي، واستقرار النظم البيئية وانتاجيتها، الأمر الذي يهدد الأمن المائي والغذائي ويفرض تحدياً أمام إدارة الموارد البيئية في المستقبل.

كلمات مفتاحية: الجفاف، خصائص الجفاف، التغير المناخي، مؤشر انحراف الهطل، سورية.

THE EFFECT OF PRECIPITATION VARIABILITY AND CHANGE ON THE INCREASING DROUGHT RISK IN SOME CLIMATIC REGIONS IN SYRIA DURING THE PERIOD 1958-2018

M. E. Skaff L. E. Abboud E. E. Mahfoud R. A. Saker *
Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University

***Correspondence to:** Rana Ali Saker, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Syria.
Email: rana.saker@tishreen.edu.sy

Abstract

Monthly precipitation values for six meteorological stations representing different climatic regions in Syria were used to estimate the change in drought characteristics during the period 1958-2018 by applying the Precipitation Anomaly Index (RAI) on different time scales. Trends were used with Mann-Kendall test to detect significant changes in drought index, and the number and duration of dry periods. Descriptive statistical analysis with T-test was also used to compare the values of the drought index between the periods 1958-1988 and 1988-2018.

Results showed increasing annual drought severity related to decreasing tendency in drought index values especially in spring and winter in all regions, and increment in extreme drought frequency versus diminishing frequency of extreme moisture. These changes to drier conditions in all studied regions will negatively affect water resources availability, agricultural production, and ecosystems stability and productivity, which threaten water and food security, and will Pose grand challenges to manage environmental resources in the future.

Keywords: Drought, Drought characteristics, Climate change, Rainfall anomaly index, Syria.

المقدمة

يعد التغير في خصائص الدورة الهيدرولوجية Hydrological cycle في ظل التغيرات المناخية الراهنة أحد أهم التحديات التي تواجه إدارة الموارد المائية في مختلف مناطق العالم خلال العقود الاخيرة (25 و55) فقد أدى التزايد في نشاط الدورة الهيدرولوجية بتأثير التسخين (الاحترار) العالمي Global warming منذ ثمانينات القرن الماضي (4 و 21) إلى تغير نماذج الهطل precipitation patterns وتزايد شدة وتكرار الحوادث الهيدرومناخية المتطرفة Extreme hydroclimatic events وأهمها الجفاف Drought (3 و59).

يعد الجفاف الإجهاد المناخي الأكثر تأثيراً في الوسط الحيوي (31 و89)، ويُعرَّف عامةً على أنه نقص توفر المياه مقارنة مع الظروف الطبيعية (62). وقد قدمت اللجنة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) Intergovernmental panel on climate change عدة تعاريف بسيطة للجفاف مثل "الغياب المطوَّل أو

العجز الواضح في الهطولات" و"فترة من الطقس الجاف غير الاعتيادي والذي يستمر لفترة طويلة بما يكفي لكي يؤدي نقص الأمطار لحدوث خلل هيدرولوجي خطير". لكن نظراً لتنوع القطاعات المتأثرة بالجفاف والتباين المكاني والزماني لحدوثه إضافة إلى التغير في الطلب على المياه تبعاً للنشاطات البشرية في مختلف المناطق فإنه لا يوجد تعريف عام وموحد للجفاف يمكن أن يَصلح لجميع الحالات (43) لذلك يمكن تعريف عدة أنماط من الجفاف بحسب طبيعة العجز المائي بما يخدم جميع القطاعات والتخصصات، إذ إن الفترة الزمنية التي يتراكم خلالها نقص الأمطار تفصل عملياً بين مختلف أنماط الجفاف: الميتيورولوجي Meteorological drought، والزراعي Agricultural drought، والهيدرولوجي Hydrological drought والتي يكون لها مجال واسع من التأثيرات الاقتصادية والاجتماعية يطلق عليها مصطلح الجفاف الاقتصادي الاجتماعي Socio-economic drought (47 و75).

يؤدي الجفاف إلى نقص توفر الموارد المائية وتدهور نوعيتها (77، 78 و80) ونقص إمدادات الماء للتجمعات السكانية (70) وتراجع انتاج الطاقة الكهرومائية (74 و81) وإلى استنزاف المياه الجوفية (7) وحدوث خلل بين توفر الماء واستهلاكه (34).

يعد الجفاف السبب الرئيس لتراجع انتاجية النظم البيئية الأرضية (42، 52، 71 و85) مع تأثيرات متأخرة Legacy effects قد تستمر لفترة طويلة (33 و86) لذلك فهو يؤدي إلى تراجع انتاجية المزروعات (40، 41 و44) والغابات (9، 12، 35 و92) والمراعي الطبيعية (67، 68، و84). كذلك يؤدي الجفاف إلى زيادة احتمال حدوث موجات الحر (46، 66، و83) وتزايد خطر نشوب وانتشار حرائق الغابات (1، 13، 49 و57) هذا عدا عن دور الجفاف في تدهور البيئات المائية (23) وموت الأشجار الحراجية (5، 10، 28 و64) وتصحر المراعي الطبيعية وخاصة في المناطق الجافة (2، 18، 27 و45).

يعد الجفاف ظاهرة هيدروميتيورولوجية ثلاثية الأبعاد تتصف بالشدة Intensity والاستمرارية Duration والامتداد المكاني Areal extent ويكون لكل من التكرار Frequency ووقت حدوث الظاهرة أهمية كبيرة أيضاً في تحديد قسوة severity كل حادثة (30)، غير أن خطر الجفاف في أي منطقة لا يتحدد بهذه الخصائص فقط بل يرتبط إلى حد كبير بحساسية النظم البيئية والاجتماعية تجاه هذه الظاهرة (22 و82).

تعد المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط مناطق انتقالية بين المناخ الحار والجاف في شمال افريقيا والمناخ البارد نسبياً والرطب في وسط أوروبا لذلك فإن أي تغير في خصائص الدورة العامة للغلاف الجوي قد يكون له تأثيرات عميقة في الظروف المناخية وخاصة ما يتعلق بكميات وتوزعات الهطل (17 و88).

يؤكد معظم العلماء على ضرورة التركيز على الحوادث المناخية المتطرفة، التي تمتلك تأثيرات كبيرة على الرغم من الاحتمال القليل لحدوثها، على اعتبار أن أسوأ الاحتمالات يجب أن تكون الأساس لوضع الاستراتيجيات المناسبة للتأقلم وتخفيف التأثيرات. إلا أن التقدير الدقيق لهذه الظواهر غير الملائمة يتطلب دراسة الظروف المناخية لفترة زمنية طويلة تزيد عن دورة مناخية كاملة. لذلك فإن تقدير الخصائص المكانية والزمنية للجفاف في مختلف المناطق المناخية في سورية حيث تنتشر أهم النظم البيئية الحراجية والزراعات الهامة خلال ستين عاماً يعد في غاية الأهمية، خاصة وأن نماذج التنبؤ تتوقع تزايد شدة وتكرار الجفاف في الكثير من مناطق العالم ومنها

المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط التي تعد أحد أهم النقاط الساخنة بالنسبة لتغير المناخ (20). لذلك فقد تركزت أهداف البحث في:

1- دراسة الخصائص المكانية والزمنية للجفاف من حيث الشدة والاستمرارية والامتداد المكاني في مناطق مناخية مختلفة في سورية خلال الفترة 1958-2018.

2- تقدير التغير في خصائص الجفاف خلال فترة الدراسة في ظل التغيرات المناخية الراهنة.

المواد وطرائق العمل

تم اختيار ست محطات مناخية تمثل أهم المناطق الزراعية والحراجية في القطر وتتميز بوجود سلسلة بيانات رصد مستمرة ومتجانسة دون انقطاع خلال الفترة 1958-2018، حيث استخدمت قيم الهطل الشهرية لحساب مؤشر انحراف الهطل (RAI) على مختلف المقاييس الزمنية والشكل 1 والجدول 1 يظهران احداثيات المحطات المختارة.

شكل 1: المحطات المختارة في الدراسة.

The stations selected in the study which represent different climatic regions in Syria.

جدول 1: إحداثيات المحطات المختارة (عن بيانات المديرية العامة للأرصاد الجوية السورية).

المحطة	خط الطول	خط العرض	الارتفاع عن سطح البحر(م)	معدل الهطل السنوي(مم)	التصنيف المناخي
مطار الباسل	$36^{0}0\acute{3}$	$35^{0}2\acute{7}$	47	806.19	شبه رطبة
طرطوس	$35^{0}5\acute{3}$	$34^{0}5\acute{3}$	15	831.86	شبه رطبة
حمص	$36^{0}43$	$34^{0}4\acute{5}$	487	393.04	شبه جافة
السلمية	$32^{0}0\acute{2}$	$32^{0}0\acute{0}$	480	288.42	جافة/شبه جافة
السويداء	$36^{0}3\acute{5}$	$32^{0}4\acute{2}$	1010	323.46	جافة/شبه جافة
القامشلي	$41^{0}1\acute{3}$	$37^{0}0\acute{3}$	467	392.55	شبه جافة

Coordinates of the six studied areas located in different climatic regions in Syria with annual precipitation rates, sub-humid coastal region (Al-Basil Airport - Tartous) and arid and semi-arid interior regions (Al-Salamiyah - Homs - Suwayda - Qamishli).

تم استخدام مؤشر انحراف الهطل Rainfall Anomaly Index (RAI) (76) لتقدير شدة الجفاف أو توفر المياه للفصول والموسم الماطر وذلك بعد ترتيب السلاسل الزمنية على شكل سنوات هيدرولوجية تبدأ من شهر أيلول (سبتمبر) في كل عام من أعوام الدراسة وتنتهي في شهر آب (أغسطس) من العام الذي يليه. ولتقدير شدة الجفاف على مستوى الأشهر حُسبت قيم المؤشر للفترة من تشرين الثاني وحتى حزيران بنافذة مزاحة Sliding window قدرها شهر واحد، وذلك بأخذ مجموع كميات الهطل للشهر المدروس والشهرين السابقين له على اعتبار أن الشهر لن يكون جافاً إذا كانت كميات هطل جيدة خلال الشهرين السابقين.

تكمن أهمية هذا المؤشر بأنه لا يعتمد على قيمة المتوسط الحسابي فقط بل يأخذ بعين الاعتبار طبيعة توزع الهطل Rainfall distribution للسلسلة المدروسة من خلال أدنى وأعلى عشر قيم. إذ يتم حساب انحراف الهطل للفترة المدروسة من كل عام (وبالتالي تقدير شدة الجفاف أو التوفر المائي تبعاً لهذا الانحراف) من خلال العلاقة التالية:

$$RAI = \pm 3 \frac{P - \overline{P}}{\overline{E} - P}$$

حيث: P :كمية الهطل للفترة المدروسة (مم) (شهر، فصل، موسم ماطر....).

$\overline{P}$: معدل الهطل لنفس الفترة (مم).

$\overline{E}$: متوسط القيم العشر المتطرفة في السلسلة (تؤخذ أعلى عشر قيم من أجل الانحرافات الايجابية وتؤخذ أقل عشر قيم من أجل الانحرافات السلبية).

تأخذ العلاقة الإشارة الموجبة عندما تكون $P > \overline{P}$، والسالبة عندما تكون $P < \overline{P}$.

يتم تقدير شدة الجفاف أو الرطوبة تبعاً لهذا المؤشر بالاعتماد على المجالات التالية:

قيمة مؤشر RAI	التصنيف
≤-3	جفاف متطرف
-2 إلى -2.99	جفاف شديد
-1 إلى -1.99	جفاف متوسط الشدة
-0.99 إلى 0.99	قريب من المعدل
1 إلى 1.99	رطوبة معتدلة
2 إلى 2.99	رطوبة شديدة
≥3	رطوبة متطرفة

يُعد هذا المؤشر من أفضل المؤشرات لتقدير شدة الجفاف خلال مختلف الفترات الزمنية (شهر، فصل، موسم ماطر....)، وقد تبين أنه لا توجد فروق معنوية بين هذا المؤشر والمؤشرات الأكثر تعقيداً كمؤشر قسوة الجفاف لبالمر Palmer drought severity index (PDSI) (48).

استخدمت مخططات الصندوق Box– plots والتحليل الاحصائي الوصفي Descriptive analysis ومعامل التباين Coefficient of variation (Cv%) من أجل دراسة الخصائص الاحصائية لكميات الهطل الفصلية والسنوية.

كما استخدمت خطوط الاتجاه Trends من أجل تحديد اتجاه وقيمة التغير في السلاسل الزمنية لقيم مؤشر الجفاف وعدد الأشهر الجافة الكلية وأطول فترة جافة مستمرة، وتم التحقق من معنوية التغير باستخدام اختبار مان

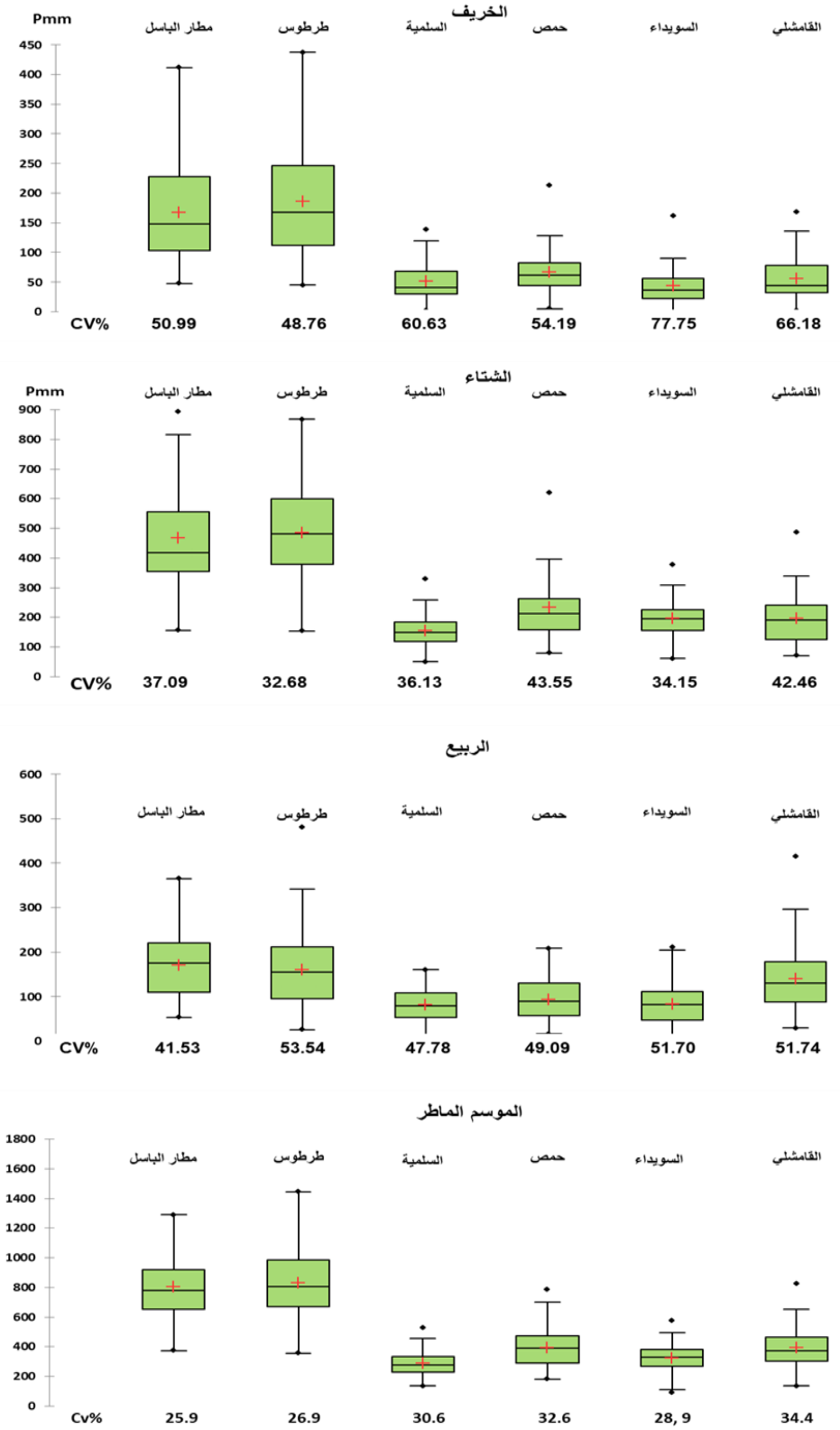
كندال Mann–Kendall test. كذلك استخدم اختبار Student's t–test T مع التحليل الاستدلالي الوصفي من أجل مقارنة قيم مؤشر الجفاف بين الفترتين 1958 – 1988، و1988 – 2018 لكل من الموسم الماطر والربيع. ومن أجل دراسة التغير في نسبة تكرار الجفاف أو التوفر الرطوبي بين الفترتين تم حساب نسبة التكرار لمختلف مجالات المؤشر بالنسبة لكل فترة ثم حُسِبَ الفرق بالنسبة لكل مجال.

النتائج والمناقشة

خصائص الهطل في مناطق الدراسة: يبين الشكل 2 أهم الخصائص الاحصائية لكميات الهطل للفصول والموسم الماطر في مختلف مناطق الدراسة خلال الفترة 1958–2018 ومنه يُلاحظ التفاوت الواضح في كميات الهطل السنوية بين المنطقة الساحلية الممثلة بمحطتي طرطوس ومطار الباسل وباقي المناطق حيث تزيد معدلات الهطل في هاتين المحطتين بشكل كبير عن مثيلاتها في المحطات الأخرى. كذلك يلاحظ التباين الكبير في كميات الهطل بين السنوات في جميع مناطق الدراسة إذ لم تقل قيمة معامل التباين عن 925% في مطار الباسل ولم تتجاوز 34.4% في القامشلي. من جهة أخرى يلاحظ عدم انتظام الهطل بين المواسم والذي يظهر من خلال أدنى وأعلى القيم ومن خلال عدم تطابق المتوسط مع الوسيط والذي كان أكثر وضوحاً في مطار الباسل والقامشلي.

يُلاحظ من المخططات الفصلية المدرجة في الشكل 2 أن معظم كميات الهطل تتركز خلال فصل الشتاء في جميع المحطات يليه فصل الربيع ثم الخريف في المحطات الداخلية أما في المحطات الساحلية فإن معدل الهطل لفصل الخريف يزيد عن معدل فصل الربيع في طرطوس ويكون قريباً منه في مطار الباسل مع ملاحظة أن أعلى القيم لفصل الخريف تزيد عن مثيلاتها لفصل الربيع في كلا المحطتين. من جهة أخرى يُلاحظ أن معامل التباين (%Cv) كبير للغاية خلال جميع الفصول. فعلى الرغم من أن التباين خلال فصل الشتاء أقل مما هو عليه بالنسبة لباقي الفصول إلا أن قيم معامل التباين تراوحت بين 32% و43%. أما خلال فصلي الخريف والربيع فقد كانت قيم معامل التباين مرتفعة للغاية إذ تراوحت بين 41.53% و.5453%خلال فصل الربيع و48.76% و77.75% خلال فصل الخريف.

إن التباين الكبير في كميات الهطل بين السنوات في جميع المناطق سواء على مستوى الفصول أو الموسم الماطر يزيد من احتمال تكرار الجفاف والذي قد يمتد لفصل أو لموسم ماطر وأحياناً لموسمين متتالين أو أكثر.



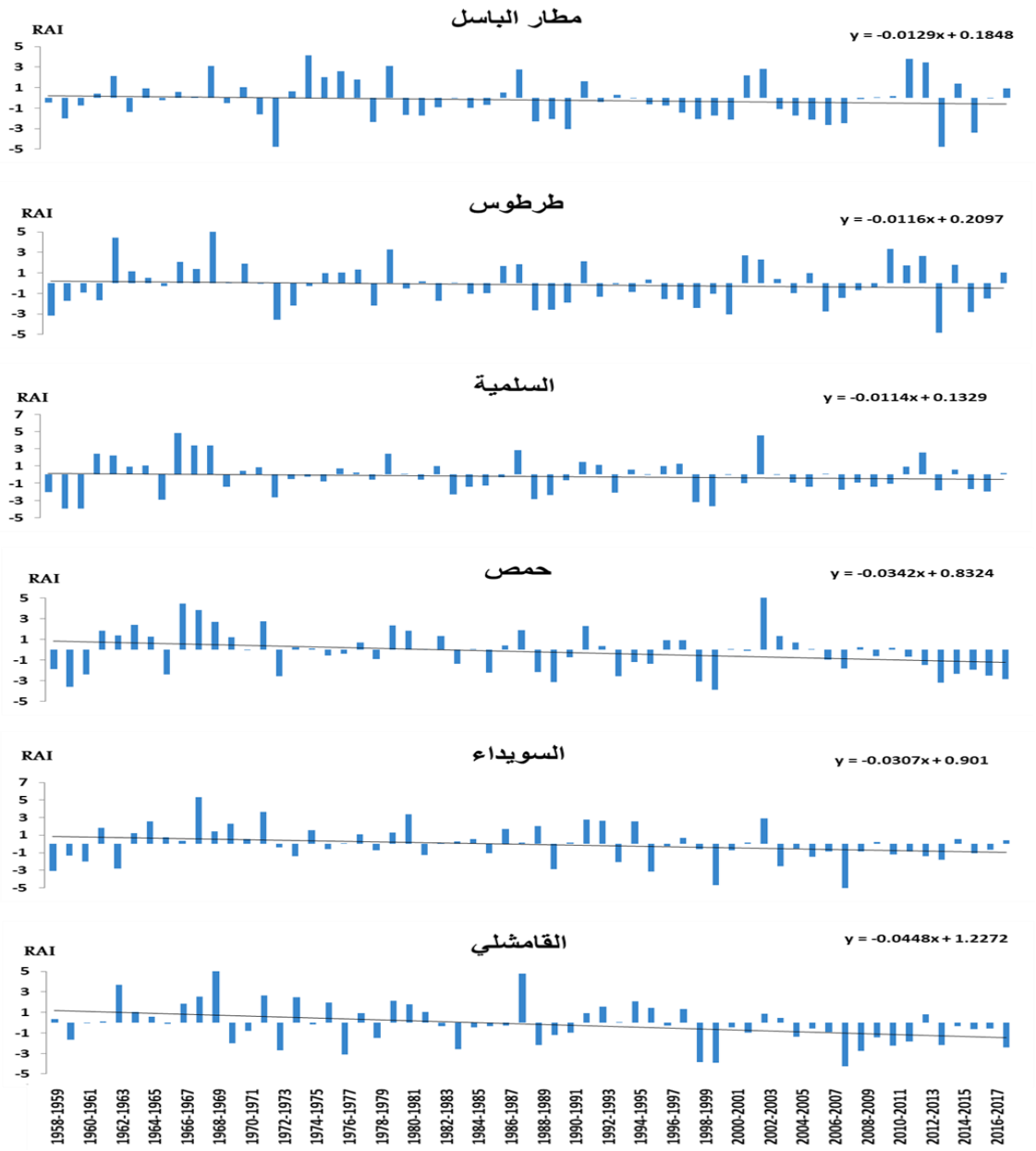
شكل 2: الخصائص الاحصائية لكميات الهطل الفصلية والسنوية في المناطق المدروسة خلال الفترة 1958-2018.

The box plots show the spatial and temporal variation in precipitation amounts in the study regions. Interannual variability is very high in all regions, and its increase with increased aridity.

الخصائص المكانية والزمنية للجفاف في مناطق الدراسة:

تغير شدة الجفاف السنوي والفصلي والشهري في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958–2018: توضح المخططات المدرجة في الشكل 3 التباين في قيم مؤشر الجفاف بين المناطق والسنوات الهيدرولوجية خلال فترة الدراسة 1958 –2018. حيث يُلاحظ أن الجفاف يتكرر بشكل كبير في مختلف المناطق وقد يستمر لسنوات متتالية، كما أنه قد يكون شديد إلى متطرف الشدة. وقد كان العام الهيدرولوجي 2013– 2014 هو الأشد جفافاً في المنطقة الساحلية حيث انخفضت قيمة المؤشر إلى –4.8 في كل من مطار الباسل وطرطوس تلاه العام 1972–1973، والذي كان أشد قسوةً في مطار الباسل (–4.76) من طرطوس (–3.59)، كذلك تميزت بعض السنوات بجفاف متطرف الشدة حيث انخفضت قيمة المؤشر إلى ما دون –3 كما حدث في عامي 2015–2016 و1990–1991 في مطار الباسل وفي عامي 1958–1959 و2000–2001 في طرطوس. أما في باقي المناطق فقد كان العام 1999–2000 متطرفاً في جفافه في جميع المحطات حيث انخفضت قيمة المؤشر إلى ما دون – 4 في كل من السويداء والقامشلي وإلى أقل من –3.5 في كل من حمص والسلمية، تلاه العام 1998–1999 والذي كان متطرف الشدة في كل من القامشلي والسلمية وحمص إذ بلغت قيمة المؤشر –3.84 و–3.2 و–3.1 على التوالي. من جهة أخرى تميز الموسم 2007–2008 بجفاف غير مسبوق في كل من السويداء والقامشلي حيث انخفضت قيمة المؤشر إلى –5 في السويداء وإلى أقل من –4.2 في القامشلي. أما باقي الأعوام الهيدرولوجية المتطرفة في جفافها فقد تباينت بين المناطق فقد شهد كل من العامين المتتالين 1959–1960 و1960–1961 انخفاضاً في قيمة المؤشر إلى ما يقارب –4 في السلمية، وقد تميزت بعض المواسم بتدني قيمة المؤشر إلى ما دون –3 كالأعوام 1959–1960 و1989–1990 و2013–2014 في حمص و1976–1977 في القامشلي و1995–1996 و1958–1959 في السويداء.

يتبين من تحليل السلاسل الزمنية لقيم مؤشر الجفاف للسنوات الهيدرولوجية الممتدة من عام 1958 حتى عام 2018 (الشكل 3) وجود اتجاه واضح نحو تزايد شدة الجفاف في جميع المناطق من خلال التناقص في قيم المؤشر، والذي كان حاداً ومعنوياً في كل من حمص والقامشلي والسويداء كما هو مبين في الشكل 3 والجدول 2.



شكل 3: اتجاه وقيمة التغير في قيم مؤشرRAI للموسم الماطر في المحطات المدروسة خلال الفترة 1958 – 2018.

Annual droughts are recurrent in all regions and can be sever or extremely sever in some years as the 1972-1973 and 2013-2014 in coastal region, 1998-1999,1999-2000 and 2007-2008 in interior regions. There is clear negative trends in drought index values in all station, and these changes to more intense annual drought were significant in three regions.

جدول 2: اتجاه وقيمة التغير في قيمة مؤشر RAI للفصول والموسم الماطر للمحطات المدروسة خلال الفترة (1958– 2018).

المحطة	الفترة	قيمة التغير		معنوية التغير
		لكل عقد	لكامل فترة الدراسة	
مطار الباسل	خريف	0.07	0.41	
	شتاء	-0.04	-0.25	
	ربيع	-0.15	-0.87	
	موسم ماطر	-0.01	-0.60	
طرطوس	خريف	0.04	0.25	
	شتاء	-0.10	-0.62	
	ربيع	-0.32	-1.89	+
	موسم ماطر	-0.01	-0.60	
السلمية	خريف	-0.02	-0.12	
	شتاء	-0.17	-1.03	
	ربيع	-0.18	-1.05	
	موسم ماطر	-0.11	-0.68	
حمص	خريف	0.19	1.15	
	شتاء	-0.07	-0.43	
	ربيع	-0.50	-2.95	**
	موسم ماطر	-0.34	-2.05	**
السويداء	خريف	-0.1	-0.59	
	شتاء	-0.22	-1.34	
	ربيع	-0.39	-2.35	*
	موسم ماطر	-0.31	-1.84	*
القامشلي	خريف	-0.02	-0.11	
	شتاء	-0.25	-1.52	
	ربيع	-0.52	-3.10	**
	موسم ماطر	-0.45	-2.69	**

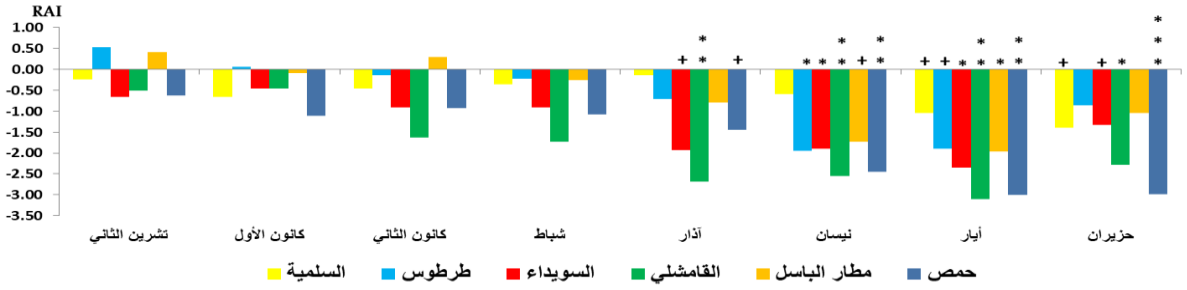
+ : التغير معنوي عند مستوى 0.1 * عند مستوى 0.05 ** عند مستوى 0.01.

There is clear tendency towards increasing annual drought intensity in all studied regions, related to decrease drought index values in spring and winter, which was significant in three stations (Homs-Suwayda– Qamishli).

إن هذا التزايد في شدة الجفاف السنوي يعود إلى تزايد شدة الجفاف خلال فصلي الشتاء والربيع في جميع مناطق الدراسة. وقد كانت قيمة التغير أكبر في فصل الربيع وبمعنوية شملت أربع محطات هي حمص والقامشلي والسويداء وطرطوس، إلا أن التغير كان أقل حدة في فصل الشتاء ولم يكن معنوياً في أية محطة. أما خلال فصل الخريف فقد تباينت الاتجاهات في قيم المؤشر حيث كان الاتجاه نحو التزايد في كل من حمص ومطار الباسل وطرطوس، ونحو التناقص في باقي المحطات إلا أن هذا التغير لم يكن معنوياً في أية منطقة.

يظهر تحليل السلاسل الزمنية لقيم مؤشر الجفاف الشهرية المحسوبة بنافذة مزاحة (الشكل 4) وجود اتجاه واضح نحو تناقص قيم المؤشر وبالتالي تزايد شدة الجفاف في المنطقة الداخلية خلال جميع الأشهر، مع ملاحظة تزايد حدة ومعنوية التغير خلال أشهر الربيع وبداية فصل الصيف. أما في المنطقة الساحلية فيلاحظ وجود اتجاه نحو التزايد المحدود وغير المعنوي في تشرين الثاني لكل من طرطوس ومطار الباسل وفي كانون الاول في طرطوس وكانون الثاني في مطار الباسل، في حين كان الاتجاه واضحاً نحو التناقص خلال باقي الاشهر، حيث كان التغير كبيراً ومعنوياً خلال شهري نيسان وأيار وبلغت قيمة التناقص في نيسان 1.73 في مطار الباسل

و1.94 في طرطوس في حين بلغت في أيار 1.97 في مطار الباسل و1.9 في طرطوس. هذا ويلاحظ أن الاتجاه نحو تناقص قيمة مؤشر الجفاف كانت الأعلى في كل من القامشلي وحمص والسويداء خلال الفترة من آذار حتى حزيران حيث بلغت قيمة التناقص في القامشلي (2.69 و2.54 و3.1 و2.29) وفي حمص (1.44 و2.45 و3.01 و2.99) وفي السويداء (1.93 و1.89 و2.35 و1.34) خلال الأشهر آذار ونيسان وأيار وحزيران على التوالي مع وجود معنوية ملحوظة للتغير.



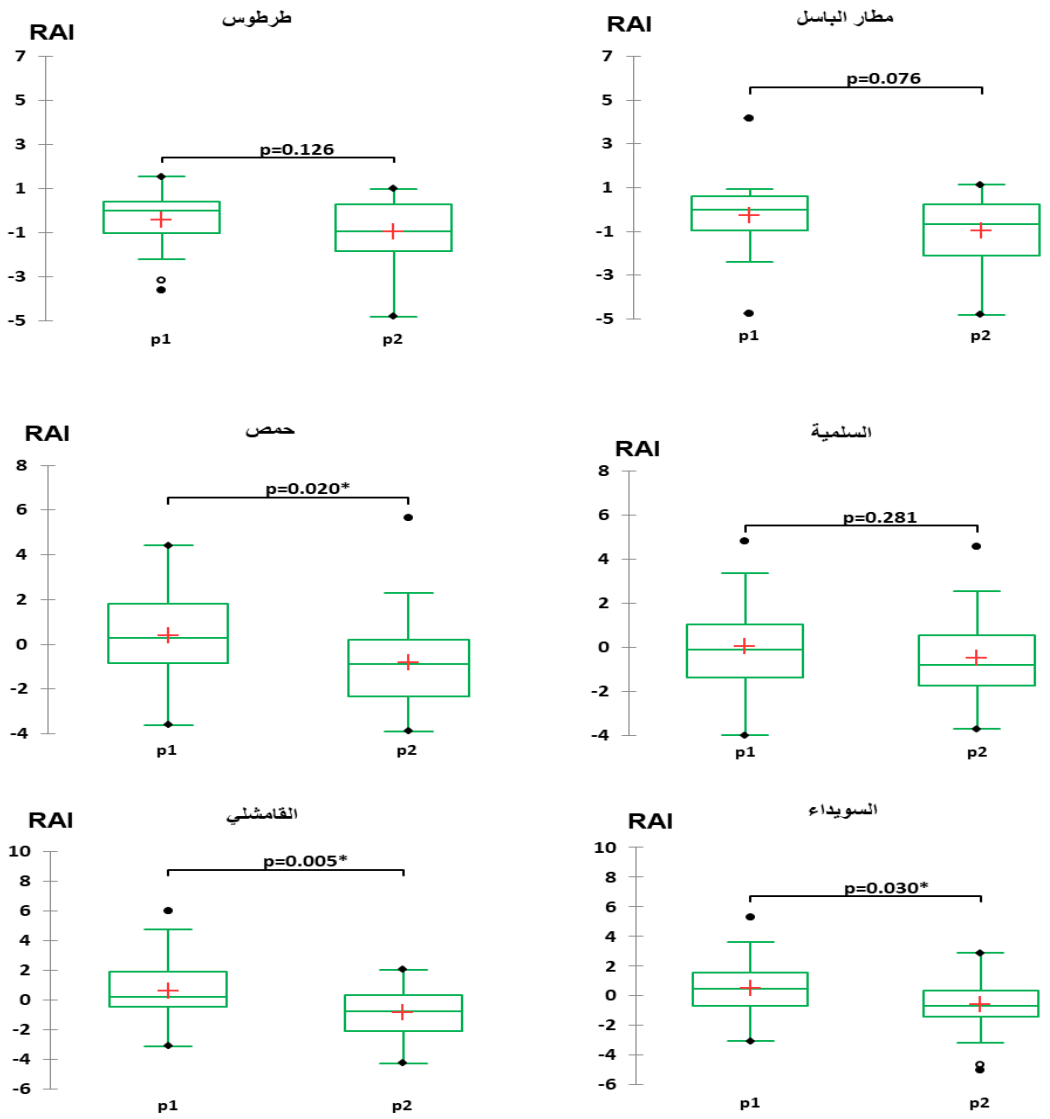
شكل 4: قيم مؤشر الجفاف الشهرية للمحطات المدروسة خلال الفترة 1958–2018.

+ : التغير معنوي عند مستوى 0.1 * عند مستوى 0.05 ** عند مستوى 0.01 *** عند مستوى 0.001.

Trends of monthly drought index values -calculated as sliding window from November to June- show decreasing tendency in all regions from February to June with significant changes in most of them. This shift toward more severe drought in spring will pose critical conditions for crop production and will exacerbate stress on ecosystems and water resources.

إن هذا التزايد في شدة الجفاف خلال أشهر الشتاء والربيع يهدد الأمن المائي لمختلف المناطق من خلال تراجع وفرة الموارد المائية كما أنه يهدد الأمن الغذائي كونه يشكل خطراً كبيراً على مختلف الزراعات المطرية خاصة وأن فصل الربيع يعد فصل النمو الأعظمي في المناطق المتوسطية. من جهة أخرى فإن هذا التزايد في قسوة الجفاف يفرض تحدياً أمام إدارة النظم البيئية الحراجية بسبب دوره الرئيس في تراجع صافي الانتاجية الأولية فوق سطح التربة ANPP وتزايد خطر نشوب وانتشار حرائق الغابات وتدهور الغطاء النباتي وتعزيز خطر التصحر.

تؤكد مقارنة الخصائص الاحصائية للقيم السنوية لمؤشر الجفاف بين فترتي الدراسة 1958–1988 و1988–2018 على وجود انزياح واضح نحو تزايد شدة الجفاف خلال العقود الأخيرة في جميع مناطق الدراسة. حيث يلاحظ الانزياح الواضح في قيم المؤشر باتجاه التناقص في جميع المحطات والذي كان معنوياً في كل من حمص والسويداء والقامشلي تبعاً لاختبار T كما هو مبين في الشكل 5، فبالإضافة إلى انزياح قيمة المعدل باتجاه التناقص في جميع المناطق فقد تراجعت أدنى قيمة للمؤشر في جميع المحطات ماعدا السلمية، وكان التراجع أكثر حدة في السويداء(من –3 إلى –5) والقامشلي (من –3.1 إلى –4.2) وطرطوس (من –3.6 إلى –4.8)، وترافق هذا الانزياح بتراجع حاد في أعلى قيمة للمؤشر في القامشلي (من 6 إلى 2) والسويداء (من 5.3 إلى 2.9) وطرطوس (من 5.2 إلى 3.3).



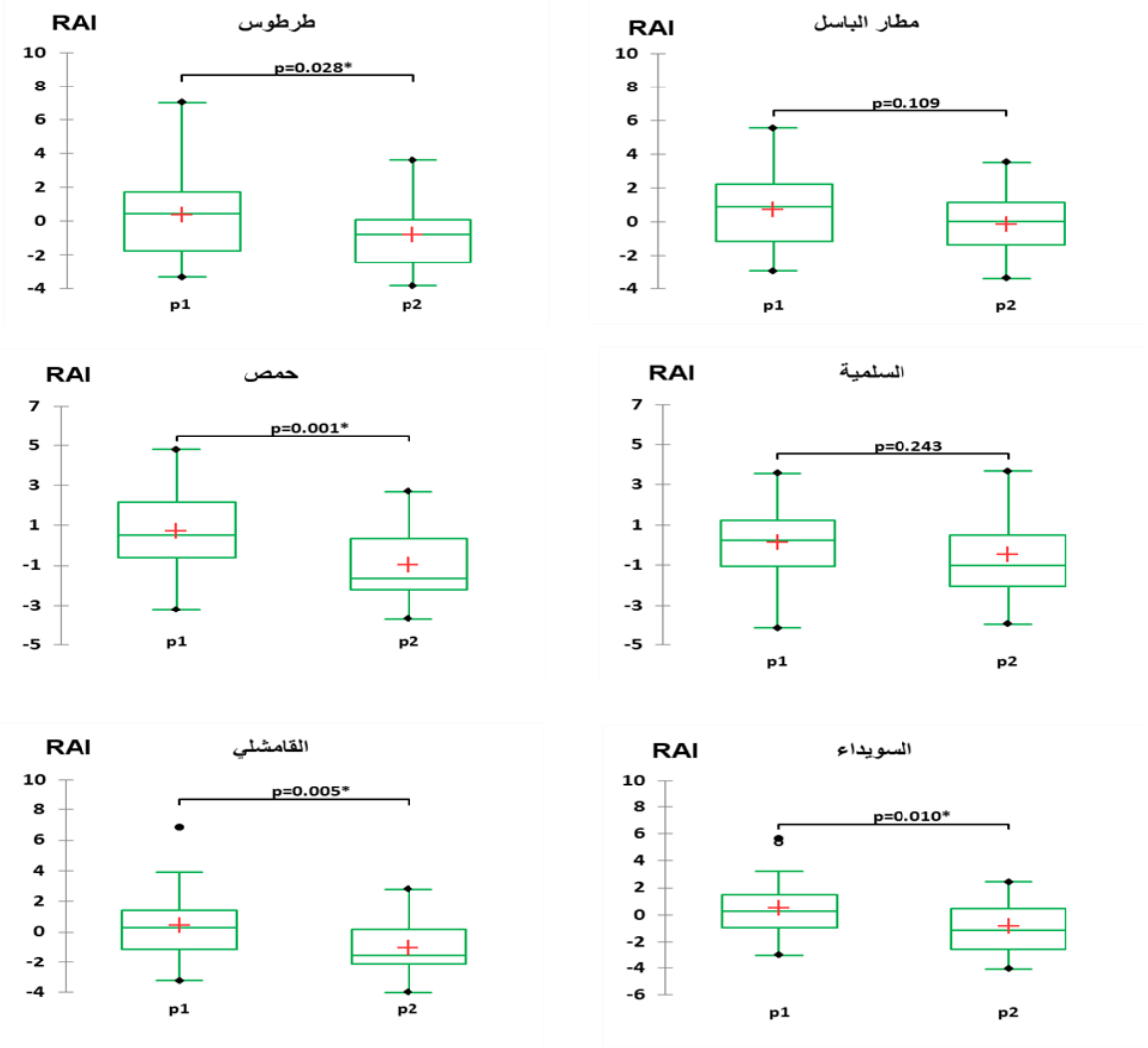
* التغير معنوي عند مستوى 0.05 p1 الفترة الأولى p2 الفترة الثانية

شكل 5: تغير الخصائص الاحصائية لكميات الهطل للموسم الماطر في المناطق المدروسة خلال فترتي الدراسة 1958-1988 و1988-2018.

The compression of annual drought index values characteristics between the two periods 1958-1988 and 1988-2018, shows clear differences in maximum, mean, median, and minimum of drought index values, which decreased in all region during the second period, and this change was significant in three stations (Homs-Suwayda– Qamishli).

تبين المخططات المدرجة في الشكل 6 صورة مشابهة لانزياح قيم مؤشر الجفاف لفصل الربيع خلال الفترة الثانية من الدراسة باتجاه التناقص حيث يُلاحظ التراجع في معدل قيم المؤشر في جميع المناطق، وكذلك التراجع الحاد في أعلى وأدنى قيمة للمؤشر في جميع المناطق ما عدا السلمية وكان التراجع معنوياً في كل من طرطوس وحمص والسويداء والقامشلي. فقد تناقصت أعلى قيمة للمؤشر في طرطوس من 7 إلى 3.6 وفي القامشلي من 6.8 إلى 2.7 وفي السويداء من 5.6 إلى 2.4 وفي حمص من 4.8 إلى 2.7 وترافق هذا التناقص بتراجع أدنى قيمة للمؤشر من 3.3- إلى 3.8- في طرطوس ومن 3.2- إلى 4- في القامشلي ومن 3-إلى 4- في السويداء

ومن 3.2- إلى 3.7- في حمص، وقد كان التناقص في أدنى قيمة للمؤشر ملحوظاً أيضاً في مطار الباسل (من 3- إلى 3.4-).



* التغير معنوي عند مستوى 0.05 p1 الفترة الأولى p2 الفترة الثانية

شكل 6: تغير الخصائص الإحصائية لكميات الهطل في فصل الربيع خلال فترتي الدراسة 1958-1988 و1988-2018.

The compression of drought index values characteristics of spring for two periods 1958-1988 and 1988-2018, illustrates similar results with shift towards more severe drought conditions during the last three decades.

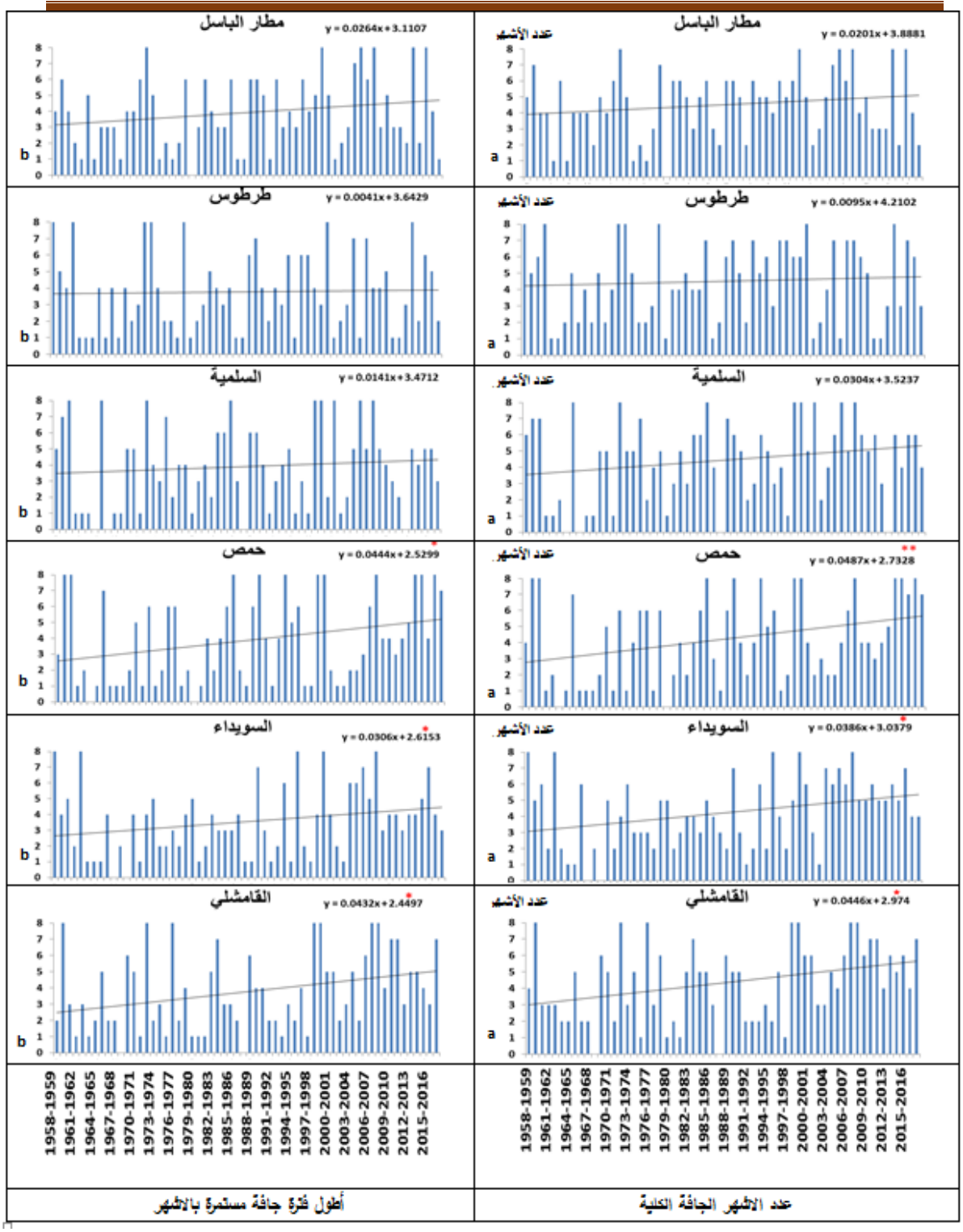
تغير استمرارية الجفاف في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958-2018: يظهر الشكل 7 a- التغير في عدد الأشهر الجافة خلال الفترة 1958-2018 في مختلف مناطق الدراسة، حيث يلاحظ أن عدد الأشهر الجافة يختلف بشكل كبير بين السنوات فقد تميزت بعض المواسم جيدة الهطل بعدم وجود أي شهر جاف في حين شمل الجفاف جميع الأشهر من تشرين الثاني حتى حزيران في العديد من السنوات كما هو الحال في الاعوام 1972-1973 في كل من مطار الباسل وطرطوس والسلمية والقامشلي، و1998-1999 في كل من السلمية وحمص والقامشلي، و1999-2000 و2007-2008 في جميع المحطات عدا طرطوس، و2013-2014 في كل من

مطار الباسل وطرطوس وحمص، إضافة إلى بعض السنوات التي تباين فيها الجفاف بين المناطق. وبتحليل السلاسل الزمنية لعدد الأشهر الجافة يتضح وجود اتجاه نحو التزايد في جميع المناطق حيث بلغت قيمة التزايد مقدرة بالأشهر خلال كامل فترة الدراسة 1.2 في مطار الباسل و0.57 في طرطوس و1.82 في السلمية مع عدم وجود معنوية للتغير، أما في حمص والسويداء والقامشلي فقد كان التغير معنوياً وبلغ 2.92 و2.32 و2.68 على التوالي.

يظهر تحليل قيم أطول فترة جافة مستمرة لمختلف مناطق الدراسة والتي تعد أكثر أهمية بالنسبة لقسوة الاجهاد للمزروعات والغطاء النبتي وجود اتجاه واضح نحو التزايد في جميع مناطق الدراسة كما هو مبين في الشكل 7 –b حيث بلغ 1.58 في مطار الباسل و0.25 في طرطوس و0.85 في السلمية ولم يكن معنوياً في أي منها في حين كان حاداً ومعنوياً في كل من حمص والسويداء والقامشلي وبلغ 2.66 و1.84 و2.59 على التوالي.

تتفق هذه النتائج مع العديد من الأبحاث السابقة والتي تؤكد على الاتجاه الواضح نحو تزايد شدة الجفاف واستمراريته وتكراره في مختلف مناطق القطر وخاصة منطقة الجزيرة السورية (65، 66 و67).

يرتبط تأثير أي ظاهرة متطرفة بكل من شدتها واستمراريتها، لذلك فإن الاتجاه نحو الزيادة في أطول فترة جافة مستمرة سوف يعزز الاجهاد الناتج عن تزايد شدة الجفاف مما يؤثر سلباً في انتاجية الزراعات المطرية والغطاء النباتي الطبيعي ويتطلب الحاجة الملحَّة للري التكميلي بالنسبة للزراعات المروية.



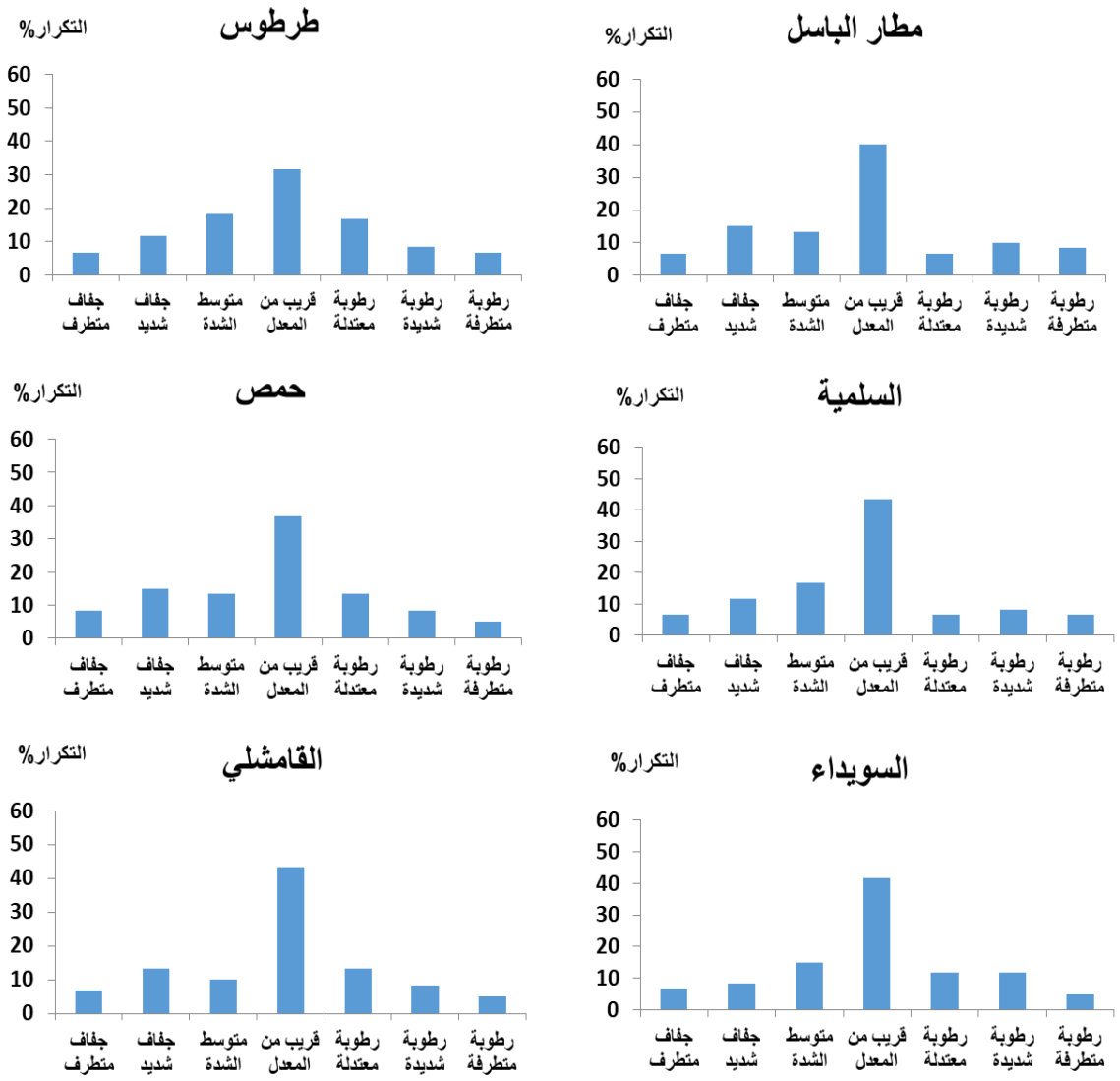
* التغير معنوي عند مستوى 0.05

شكل 7: التغير في عدد الأشهر الجافة (a) وفي أطول فترة جفاف مستمر (b) في المحطات المدروسة خلال الفترة 1958–2018.

There is a clear tendency towards increase in the number of the total dry months and the consecutive dry period during the years of study from 1958 to 2018.

تكرار الجفاف في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958–2018 وتغيراته خلال العقود الأخيرة: تظهر المخططات المدرجة في الشكل 8 نسبة تكرار السنوات الهيدرولوجية الجافة والرطبة والقريبة من المعدل في مناطق الدراسة

تبعاً لمختلف مجالات قيم مؤشر RAI خلال الفترة 1958–2018، ومنها يُلاحظ أن نسبة تكرار السنوات التي تميزت بالجفاف بشداته المختلفة مرتفعة وتزيد عن نسبة تكرار السنوات الرطبة في جميع المناطق، حيث تراوحت النسبة بين 30% (القامشلي والسويداء) و37% (طرطوس وحمص)، وقد تشابهت نسبة تكرار الجفاف متطرف الشدة في خمس محطات (7%) باستثناء حمص (8%). أما نسبة السنوات القريبة من المعدل فقد تراوحت بين 32% (طرطوس) و 43%(السلمية والقامشلي).

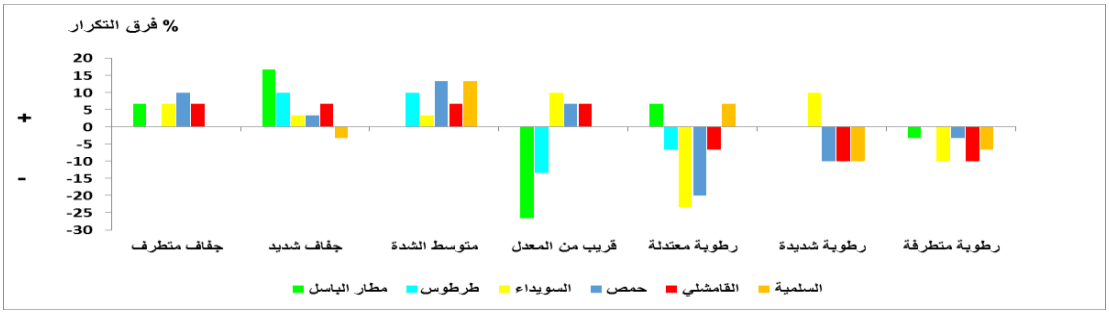


شكل 8: نسبة تكرار المواسم الجافة والرطبة والقريبة من المعدل تبعاً لقيم مؤشر RAI في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958–2018.

Annual droughts with different severity are frequent in all regions and the total percent of dry years exceed the total percent of wet years, but the distribution is not equal in the studied region.

يبين الشكل 9 التغير في نسبة تكرار السنوات الجافة والرطبة والقريبة من المعدل بين فترتي الدراسة 1958–1988 و1988 –2018 تبعاً لمختلف مجالات قيم مؤشر RAI ولمختلف المناطق ومنه يُلاحظ تزايد في نسبة تكرار المواسم المتطرفة في جفافها في أربع مناطق، ونسبة تكرار المواسم التي تميزت بالجفاف الشديد أو المتوسط

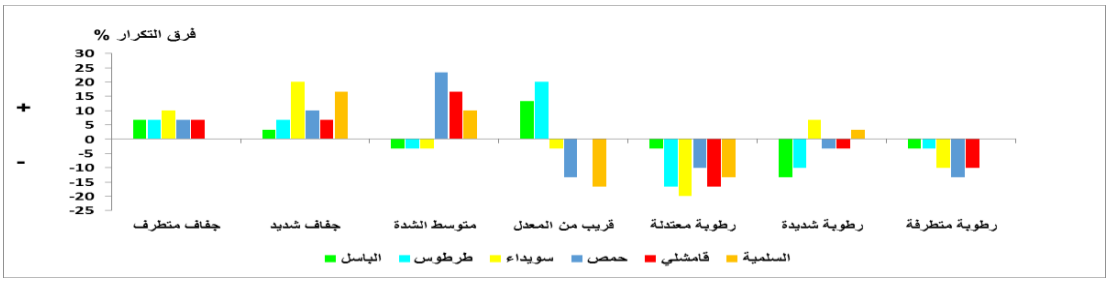
الشدة في خمس مناطق، بالمقابل فقد تناقصت نسبة تكرار المواسم التي تميزت بالرطوبة المتطرفة في جميع المناطق، ونسبة تكرار المواسم التي تميزت بالرطوبة الشديدة أو المعتدلة في أربع مناطق.



شكل 9: التغير في نسبة تكرار السنوات الجافة والرطبة والقريبة من المعدل للموسم الماطر في مختلف المناطق بين فترتي الدراسة 1958–1988 و1988– 2018.

The compression of frequency of dry wet and near normal years between two periods 1958-1988 and 1988-2018 shows clear increase in the percent of dry years against decrease in wet years. The percent of extreme drought increased in all regions, also the percent of intense and moderate drought increase in five from six of the studied regions.

يظهر الشكل 10 صورة أكثر وضوحاً لتزايد تكرار الجفاف لفصل الربيع خلال الفترة الثانية من الدراسة في مختلف المناطق، فقد تزايدت نسبة تكرار الجفاف المتطرف الشدة في خمس مناطق والجفاف الشديد في جميع المناطق، والجفاف متوسط الشدة في ثلاث مناطق، بالمقابل فقد تراجعت نسبة تكرار المواسم التي تميز ربيعها برطوبة متطرفة في خمس مناطق، وبرطوبة شديدة في أربع مناطق، وبرطوبة معتدلة في جميع المناطق.



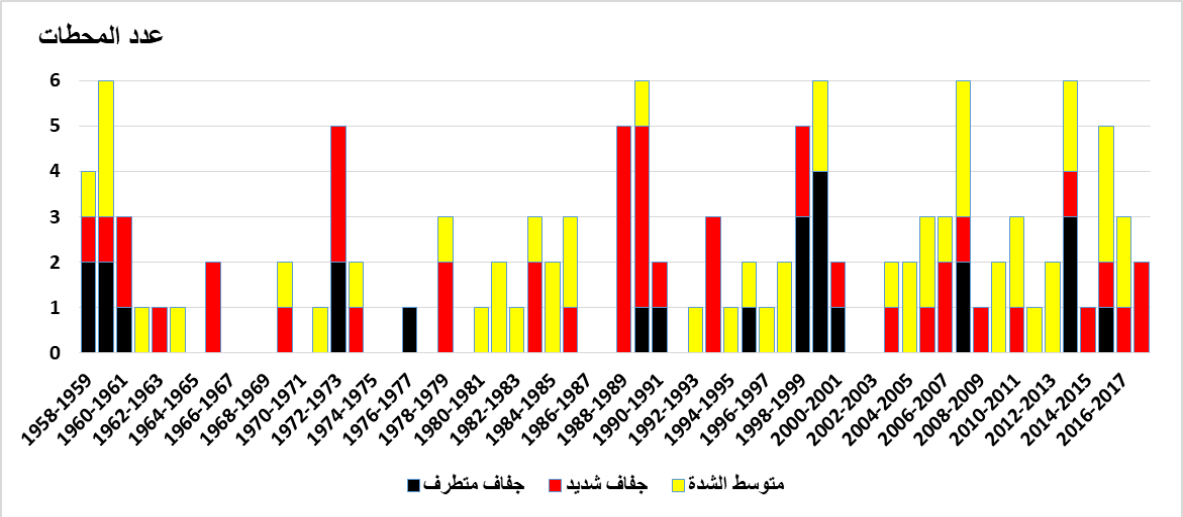
شكل 10: التغير في نسبة تكرار السنوات الجافة والرطبة والقريبة من المعدل خلال فصل الربيع في مختلف المناطق بين فترتي الدراسة 1958–1988 و1988– 2018.

The second period (1988-2018) characterized by increase in the percent of years with intense and extreme drought during spring (intense drought in all regions, extreme drought in five regions).

إن التزايد في نسبة تكرار المواسم الجافة والمواسم التي تميزت بفصل ربيع جاف يؤكد على الانزياح نحو ظروف أشد جفافاً في مختلف المناطق مما يهدد الأمن المائي والغذائي وما يترتب على ذلك من تبعات اقتصادية واجتماعية خطيرة.

الامتداد المكاني للجفاف في مناطق الدراسة: يوضح الشكل 11 عدد المحطات المتأثرة بالجفاف ضمن مختلف المجالات لمؤشر RAI خلال السنوات الهيدرولوجية الممتدة من عام 1958 حتى عام 2018، ومنه يُلاحظ أن الجفاف شمل في بعض السنوات جميع مناطق الدراسة بدرجات متفاوتة الشدة كالعام 1999–2000 الذي تميز بجفاف متطرف الشدة في جميع المناطق الداخلية وتميز بجفاف متوسط الشدة في المنطقة الساحلية. أما في العام

2013–2014 فقد شمل الجفاف متطرف الشدة كل من مطار الباسل وطرطوس وحمص أما القامشلي فقد تميزت في هذا العام بالجفاف الشديد في حين كان الجفاف متوسط الشدة في كل من السويداء والسلمية. كذلك شمل الجفاف بشداته المختلفة جميع مناطق الدراسة خلال الأعوام 1959–1960 و2007–2008 وكان متطرفاً في محطتين، وشمل خمس مناطق في الأعوام 1998–1999 و1972–1973 و1988–1989 و2015–2016 وقد تميز العام 1998–1999 بقسوة جفافه في كل من السلمية وحمص والقامشلي في حين تميز العام 1972–1973 بجفاف متطرف الشدة في المنطقة الساحلية.

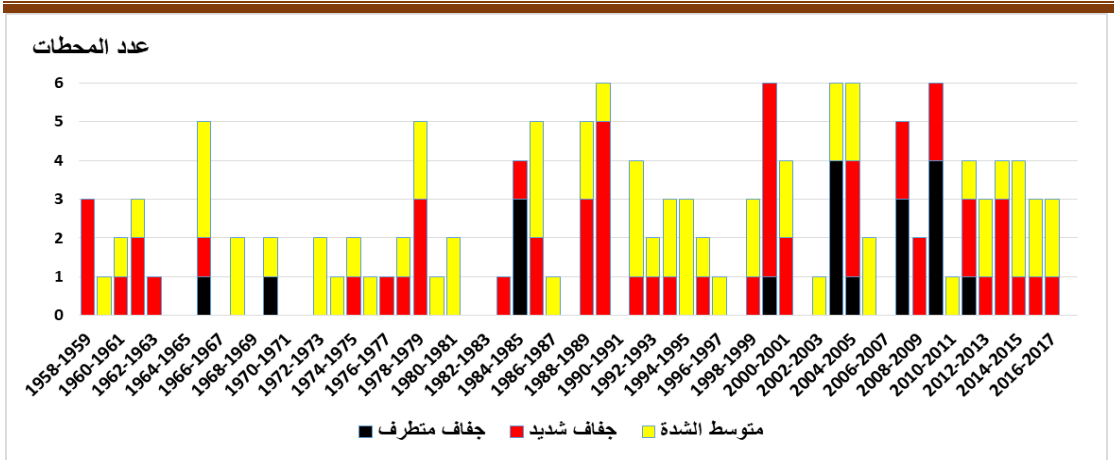


شكل 11: عدد المحطات المتأثرة بالجفاف ضمن مختلف مجالات قيم مؤشر RAI للموسم الماطر في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958–1988.

The areal extent of drought can be very high in some years (1972-1973,1988-1989, 1989-1990, 1998-1999, 1999-2000, 2007-2008, 2013-2014), and can last for two years. On the other handthere is clear increase in the extent of sever or extreme drought during the last decades.

يتضح أيضاً من الشكل 11 أن جفاف الموسم الماطر يمكن أن يتكرر لعامين متتاليين أو أكثر، وقد يكون شديد أو متطرف الشدة. من جهة أخرى يُلاحظ التزايد الكبير في تكرار الجفاف وامتداده المكاني خلال العقود الأخيرة.

يظهر الشكل 12 الامتداد المكاني للجفاف بشداته المختلفة لفصل الربيع خلال فترة الدراسة 1958–2018 حيث يلاحظ أن الجفاف المتطرف الشدة لم يضرب أية منطقة من مناطق الدراسة قبل عام 1984–1985 إلا أنه تكرر بشكل ملحوظ خلال العقود الاخيرة وشمل عدة مناطق. أما الجفاف الشديد فقد تكرر بشكل محدود في السنوات الأولى وبشكل كبير خلال السنوات الاخيرة ليشمل معظم المناطق. وقد تميزت بعض الأعوام بحدة جفافها خلال فصل الربيع حيث شمل الجفاف متطرف الشدة خمس محطات في العامين 2003–2004 و2009–2010 وثلاث محطات في العام 2007–2008.



شكل 12: عدد المحطات المتأثرة بالجفاف ضمن مختلف مجالات قيم مؤشر RAI لفصل الربيع في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958–1988.

There is little extent of sever and extreme drought during the first two decades, but the recurrence and areal extent of this type of drought during spring sharply increased since 1988. Considering that spring is the most important season for growth and reproduction in the Mediterranean regions, so the shift towards more areal extent of sever and extreme drought will pose serious threat to agriculture production and will increase the complexity of water resources management.

تشير نتائج هذا البحث إلى انزياح مناخ مختلف مناطق الدراسة باتجاه ظروف أشد جفافاً، فقد تزايدت شدة الجفاف واستمراريته وتكراره وازداد امتداده المكاني خلال العقود الثلاثة الأخيرة، وهذه النتائج تتوافق مع الكثير من الدراسات العالمية حول زيادة قسوة الجفاف في العديد من مناطق العالم (19، 69 و73) وفي المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط (11، 15 و32)، والتي يُتوقع أن تستمر خلال القرن الحادي والعشرين (16 و87) مما يهدد الأمن المائي والغذائي (14 و26) للعديد من الأقاليم، واستقرار النظم البيئية الحراجية في مختلف المناطق وخاصة المتوسطية سواءً من خلال التأثيرات المباشرة أو عن طريق تعديل نظم الاضطراب (50).

إن هذا التزايد في شدة الجفاف واستمراريته وتكراره سيكون له مجال واسع من التأثيرات الاقتصادية (8 و37) والبيئية (79) والصحية (59) من خلال تراجع انتاجية المزروعات والغابات والمراعي الطبيعية وتدهور النظم البيئية الحراجية بتأثير تزايد حرائق الغابات وانتشار الحشرات والأمراض (36، 38، 39 و51).

تتوافق أعلى معدلات لنمو النباتات في المناخات المتوسطية مع فصل الربيع، لذلك فإن الاتجاه الواضح نحو تزايد شدة الجفاف خلال هذا الفصل سيكون له تأثيرات سلبية واضحة في انتاجية المزروعات خاصةً وأن المراحل الحرجة بالنسبة لاستهلاك النبات للماء (استطالة الساق – الاسبال، ومرحلة امتلاء الحبوب بالنسبة للنجيليات ومرحلة تشكل القرون وامتلائها بالنسبة للبقوليات) تتزامن مع الفترة من أذار وحتى أواخر نيسان (53). من جهة أخرى فإن تزايد الجفاف سيكون له تأثيرات سلبية في قوة ونشاط واستقرار النظم البيئية الطبيعية. كما سيكون له تأثير واضح في تزايد الحاجة للري التكميلي من أجل الحفاظ على مستوى مرتفع من انتاجية المحاصيل والأشجار المثمرة (53 و55) وخاصة بالنسبة للخضار (58) وبعض أشجار الفاكهة كالحمضيات والزيتون (6)، الأمر الذي سيعزز ندرة المياه في مختلف المناطق ويزيد من صعوبة إدارة الموارد المائية خاصة وأن الاتجاه نحو تزايد شدة

الجفاف وتكراره خلال فصلي الشتاء والربيع سيؤدي إلى تراجع وفرة الموارد المائية (72) وهذا يتطلب الحاجة لتطوير آليات حصاد المياه واستخدام تقنيات ري متطورة (24).

الاستنتاجات

بينت نتائج الدراسة التباين الكبير مكانياً وزمنياً في كميات الهطل الفصلية والسنوية، الأمر الذي يزيد من احتمال حدوث الجفاف وتكراره على مستوى الفصول والموسم الماطر في جميع المناطق، وأن التزايد الكبير في شدة جفاف الموسم الماطر يعود بالدرجة الأولى إلى التزايد الحاد في شدة جفاف فصل الربيع يليه التزايد في شدة جفاف فصل الشتاء. كما أكدت نتائج الدراسة على الانزياح الواضح نحو ظروف أشد جفافاً خلال العقود الأخيرة من خلال التزايد في شدة الجفاف واستمراريته وتكراره في جميع المناطق مما يهدد الأمن المائي لمختلف المناطق ويؤثر سلباً في الانتاج الزراعي وخاصة بالنسبة للزراعات المطرية. إن التزايد في تكرار الجفاف الشديد والمتطرف الشدة واتساع الامتداد المكاني لكل منهما يمكن أن يهدد استقرار النظم البيئية الطبيعية في مختلف المناطق وخاصة إذا ترافقت حوادث الجفاف مع سوء الإدارة.

Supplementary Materials:
No Supplementary Materials.

Author Contributions:
Author M. Skaff, methodology, writing—review and editing writing, author R. Saker: writing and coordination and statistical analysis of climate data, author L. Abboud and E. Mahfoud Contribute to the research methodology and review the results. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding:
This research was funded by the University of Anbar- College of Agriculture, which provided research supplies, a research station, and analysis laboratories.

Institutional Review Board Statement:
The study was conducted according to the methods used in extreme weather events and climate change research and as followed in the studies of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Informed Consent Statement:
No Informed Consent Statement.

Data Availability Statement:
No Data Availability Statement.

Conflicts of Interest:
The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments:
The authors would like to thank the General Directorate of Meteorology in Syria for their assistance in providing climate data, and the Faculty of Agricultural Engineering at Tishreen University in Syria for providing technical assistance in conducting this research.

Disclaimer/Journal's Note:
The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of AJAS and/or the editor(s). AJAS and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

المصادر

1- Abdulwahhab, A. , R., S. Shada, M., & A. Mohammed, M. (2024). Speaking And Listening Skills Of Agricultural Extension Workers In Salah Al-Din Governorate. Anbar Journal Of Agricultural Sciences, 22(1), 234–249. https://doi.org/10.32649/ajas.2024.183727.

2- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Fahmi, K. J., and Abed, S. A. (2022). Climate change: Droughts and increasing desertification in the Middle East, with special reference to Iraq. Engineering, 14(07): 235-273. https://doi.org/10.4236/eng.2022.147021.

3- AghaKouchak, A., Chiang, F., Huning, L. S., Love, C. A., Mallakpour, I., Mazdiyasni, O., ... and Sadegh, M. (2020). Climate extremes and compound hazards in a warming world. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 48(1): 519-548. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055228.

4- Allan, R. P., Barlow, M., Byrne, M. P., Cherchi, A., Douville, H., Fowler, H. J., ... and Zolina, O. (2020). Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. Annals of the New York Academy of Sciences, 1472(1): 49-75.

5- Anderegg, W. R., Hicke, J. A., Fisher, R. A., Allen, C. D., Aukema, J., Bentz, B., ... and Zeppel, M. (2015). Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. New Phytologist, 208(3): 674-683.

6- Arafat, I. E., and Helal, M. E. M. (2021). Impacts of climate change on irrigation requirements and water productivity of citrus and olive crops in Egypt. Fundamental and Applied Agriculture, 6(2): 144-154. https://doi.org/10.5455/faa.57607.

7- Ashraf, S., Nazemi, A., and AghaKouchak, A. (2021). Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. Scientific reports, 11(1): 9135. https://doi.org/10.1038/s41598-021-88522-y.

8- Bachmair, S., Stahl, K., Collins, K., Hannaford, J., Acreman, M., Svoboda, M., ... and Overton, I. C. (2016). Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3(4): 516-536.

9- Bose, A. K., Gessler, A., Bolte, A., Bottero, A., Buras, A., Cailleret, M., ... and Rigling, A. (2020). Growth and resilience responses of Scots pine to extreme droughts across Europe depend on predrought growth conditions. Global Change Biology, 26(8): 4521-4537.

10- Brodribb, T. J., Powers, J., Cochard, H., and Choat, B. (2020). Hanging by a thread? Forests and drought. Science. American Association for the Advancement of Science, 368(6488): 261-266.

11- Caloiero, T., Veltri, S., Caloiero, P., and Frustaci, F. (2018). Drought analysis in Europe and in the Mediterranean basin using the standardized precipitation index. Water, 10(8): 1043. https://doi.org/10.3390/w10081043.

12- Camarero, J., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Cantero, A., Sánchez-Salguero, R., Sánchez-Miranda, A., Granda, E., Serra-Maluquer, X. and Ibáñez, R. (2018). Forest growth responses to drought at short-and long-term scales in Spain:

squeezing the stress memory from tree rings. Frontiers in Ecology and Evolution, 6: 9. https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00009.

13- Cardil, A., Vega-García, C., Ascoli, D., Molina-Terrén, D. M., Silva, C. A., and Rodrigues, M. (2019). How does drought impact burned area in Mediterranean vegetation communities?. Science of the Total Environment, 693: 133603. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133603.

14- Caretta, M. A., and Mukherji, A. (2022). Water. In Climate Change (2022). Impacts, Adaptation and Vulnerability.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, 551–712.

15- Cook, B. I., Anchukaitis, K. J., Touchan, R., Meko, D. M., and Cook, E. R. (2016). Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 121(5): 2060-2074. https://doi.org/10.1002/2015JD023929.

16- Cook, B. I., Mankin, J. S., Marvel, K., Williams, A. P., Smerdon, J. E., and Anchukaitis, K. J. (2020). Twenty-first century drought projections in the CMIP6 forcing scenarios. Earth's Future, 8(6): e2019EF001461. https://doi.org/10.1029/2019EF001461.

17- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., ... and Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. Nature Climate Change, 8(11): 972-980. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2.

18- D'Odorico, P., Rosa, L., Bhattachan, A., and Okin, G. S. (2019). Desertification and land degradation. Dryland ecohydrology, 573-602. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23269-6_21.

19- Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. Nature climate change, 3(1): 52-58. https://doi.org/10.1038/nclimate1633.

20- Diffenbaugh, N. S., and Giorgi, F. (2012). Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. Climatic change, 114: 813-822. https://doi.org/10.1007/s10584-012-0570-x.

21- Douville, H., Raghavan, K., Renwick, J., Allan, R. P., Arias, P. A., Barlow, M., ... and Zolina, O. (2021). Water cycle changes climate change 2021: The physical science basis contribution of working group i to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.

22- Eakin, H., and Luers, A. L. (2006). Assessing the vulnerability of social-environmental systems. Annu. Rev. Environ. Resour., 31(1): 365-394. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144352.

23- Esfahanian, E., Nejadhashemi, A. P., Abouali, M., Daneshvar, F., Alireza, A. R., Herman, M. R., and Tang, Y. (2016). Defining drought in the context of stream health. Ecological Engineering, 94: 668-681. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.110.

24- Fader, M., Shi, S., von Bloh, W., Bondeau, A., and Cramer, W. (2016). Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to

compensate for increases in irrigation water requirements. Hydrology and Earth System Sciences, 20(2): 953-973. https://doi.org/10.5194/hess-20-953-2016.

25- Ficklin, D. L., Null, S. E., Abatzoglou, J. T., Novick, K. A., and Myers, D. T. (2022). Hydrological intensification will increase the complexity of water resource management. Earth's Future, 10(3): e2021EF002487. https://doi.org/10.1029/2021EF002487.

26- Flörke, M., Schneider, C., and McDonald, R. I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. Nature Sustainability, 1(1): 51-58. https://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8.

27- Gamoun, M., Essifi, B., Dickens, C., and Hanchi, B. (2016). Interactive effects of grazing and drought on desert rangelands of Tunisia. Biologija, 62(2). https://doi.org/10.6001/biologija.v62i2.3336.

28- Gazol, A., and Camarero, J. J. (2022). Compound climate events increase tree drought mortality across European forests. Science of the Total Environment, 816: 151604. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151604.

29- Gazol, A., Camarero, J. J., Anderegg, W. R. L., and Vicente-Serrano, S. M. (2017). Impacts of droughts on the growth resilience of Northern Hemisphere forests. Global Ecology and Biogeography, 26(2): 166-176. https://doi.org/10.1111/geb.12526.

30- Hahn, C., Lüscher, A., Ernst-Hasler, S., Suter, M., and Kahmen, A. (2021). Timing of drought in the growing season and strong legacy effects determine the annual productivity of temperate grasses in a changing climate. Biogeosciences, 18(2): 585-604. https://doi.org/10.5194/bg-18-585-2021.

31- Hameed, S., T., & M. Abd AlFaraje, D. (2024). The Reality Of The Extension Services Provided To Vegetable Growers In The Field Of Agricultural Pest Control In Alqosh District/ Nineveh Governorate. Anbar Journal Of Agricultural Sciences, 22(1), 173–181. https://doi.org/10.32649/ajas.2024.183719.

32- Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T., and Pegion, P. (2012). On the increased frequency of Mediterranean drought. Journal of climate, 25(6): 2146-2161. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00296.1.

33- Hoover, D. L., Pfennigwerth, A. A., and Duniway, M. C. (2021). Drought resistance and resilience: The role of soil moisture–plant interactions and legacies in a dryland ecosystem. Journal of Ecology, 109(9): 3280-3294. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13681.

34- Huang, Z., Yuan, X., and Liu, X. (2021). The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability. Journal of Hydrology, 601: 126658. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126658.

35- Italiano, S. S., Camarero, J. J., Borghetti, M., Colangelo, M., Pizarro, M., and Ripullone, F. (2023). Radial growth, wood anatomical traits and remote sensing indexes reflect different impacts of drought on Mediterranean forests. Forest Ecology and Management, 548: 121406. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121406.

36- Jactel, H., Petit, J., Desprez-Loustau, M. L., Delzon, S., Piou, D., Battisti, A., and Koricheva, J. (2012). Drought effects on damage by forest insects and pathogens:

a meta-analysis. Global Change Biology, 18(1): 267-276. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02512.x.

37- Kalhory, A., D., M. L. Hasan, T., & O. Sakinaa, M. (2024). The Attitude Of Full-Time Extension Workers Towards Supervising The Work Of Private Agricultural Projects In Sulaymani Governorate. Anbar Journal Of Agricultural Sciences, 22(1), 28–40. https://doi.org/10.32649/ajas.2024.183694.

38- Kolb, T. E., Fettig, C. J., Ayres, M. P., Bentz, B. J., Hicke, J. A., Mathiasen, R., ... and Weed, A. S. (2016). Observed and anticipated impacts of drought on forest insects and diseases in the United States. Forest Ecology and Management, 380: 321-334. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.051.

39- Lantschner, M. V., Aukema, B. H., and Corley, J. C. (2019). Droughts drive outbreak dynamics of an invasive forest insect on an exotic host. Forest ecology and management, 433: 762-770. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.044.

40- Leng, G., and 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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.434.

41- Lesk, C., Coffel, E., Winter, J., Ray, D., Zscheischler, J., Seneviratne, S. I., and Horton, R. (2021). Stronger temperature–moisture couplings exacerbate the impact of climate warming on global crop yields. Nature food, 2(9): 683-691. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00341-6.

42- Liu, L., Guan, J., Zheng, J., Wang, Y., Han, W., and Liu, Y. (2023). Cumulative effects of drought have an impact on net primary productivity stability in Central Asian grasslands. Journal of Environmental Management, 344: 118734. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118734.

43- Lloyd-Hughes, B. (2014). The impracticality of a universal drought definition. Theoretical and applied climatology, 117: 607-611. https://doi.org/10.1007/s00704-013-1025-7.

44- Madadgar, S., AghaKouchak, A., Farahmand, A., and Davis, S. J. (2017). Probabilistic estimates of drought impacts on agricultural production. Geophysical Research Letters, 44(15): 7799-7807. https://doi.org/10.1002/2017GL073606.

45- Martínez-Valderrama, J., Ibáñez, J., Ibáñez, M. A., Alcalá, F. J., Sanjuán, M. E., Ruiz, A., and del Barrio, G. (2021). Assessing the sensitivity of a Mediterranean commercial rangeland to droughts under climate change scenarios by means of a multidisciplinary integrated model. Agricultural Systems, 187: 103021. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103021.

46- Miralles, D. G., Gentine, P., Seneviratne, S. I., and Teuling, A. J. (2019). Land–atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges. Annals of the New York Academy of Sciences, 1436(1): 19-35. https://doi.org/10.1111/nyas.13912.

47- Mishra, A. K., and Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of hydrology, 391(1-2): 202-216. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012.

48- Oladipo, E. O. (1985). A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. Journal of Climatology, 5(6): 655-664. https://doi.org/10.1002/joc.3370050607.

49- Pausas, J. G., and Keeley, J. E. (2021). Wildfires and global change. Frontiers in Ecology and the Environment, 19(7): 387-395. https://doi.org/10.1002/fee.2359.

50- Peñuelas, J., and Sardans, J. (2021). Global change and forest disturbances in the Mediterranean basin: Breakthroughs, knowledge gaps, and recommendations. Forests, 12(5): 603. https://doi.org/10.3390/f12050603.

51- Pirtskhalava-Karpova, N., Trubin, A., Karpov, A., and Jakuš, R. (2024). Drought initialised bark beetle outbreak in Central Europe: meteorological factors and infestation dynamic. Forest Ecology and Management, 554: 121666. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121666.

52- Qiao, L., and Xia, H. (2024). The impact of drought time scales and characteristics on gross primary productivity in China from 2001 to 2020. Geo-Spatial Information Science, 1-19. https://doi.org/10.1080/10095020.2024.2315279.

53- Rane, J., Singh, A. K., Kumar, M., Boraiah, K. M., Meena, K. K., Pradhan, A., and Prasad, P. V. (2021). The adaptation and tolerance of major cereals and legumes to important abiotic stresses. International Journal of Molecular Sciences, 22(23): 12970. https://doi.org/10.3390/ijms222312970.

54- Rey, D., Holman, I. P., Daccache, A., Morris, J., Weatherhead, E. K., and Knox, J. W. (2016). Modelling and mapping the economic value of supplemental irrigation in a humid climate. Agricultural Water Management, 173: 13-22. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.017.

55- Rio, M., Rey, D., Prudhomme, C., and Holman, I. P. (2018). Evaluation of changing surface water abstraction reliability for supplemental irrigation under climate change. Agricultural Water Management, 206: 200-208. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.005.

56- Rossi, G., and Peres, D. J. (2023). Climatic and other global changes as current Challenges in improving Water Systems Management: Lessons from the case of Italy. Water Resources Management, 37(6): 2387-2402. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03424-0.

57- Russo, A., Gouveia, C. M., Páscoa, P., DaCamara, C. C., Sousa, P. M., and Trigo, R. M. (2017). Assessing the role of drought events on wildfires in the Iberian Peninsula. Agricultural and Forest Meteorology, 237: 50-59. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.021.

58- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., and Lionello, P. (2015). Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. Agricultural water management, 147: 103-115. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.008.

59- Salvador, C., Nieto, R., Linares, C., Díaz, J., and Gimeno, L. (2020). Effects of droughts on health: Diagnosis, repercussion, and adaptation in vulnerable regions under climate change. Challenges for future research. Science of the Total Environment, 703: 134912. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134912.

60- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Luca, A. D., ... and Allan, R. (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate. In: Masson-Delmotte, V. P., Zhai, A., Pirani, S. L. and Connors, C. (eds.) Climate

Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1513-1766. https://doi.org/10.1017/9781009157896.013.

61- Senf, C., Buras, A., Zang, C. S., Rammig, A., and Seidl, R. (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. Nature communications, 11(1): 6200. https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1.

62- Sheffield, J., Wood, E. F., and Roderick, M. L. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. Nature, 491(7424): 435-438. https://doi.org/10.1038/nature11575.

63- Shi, Z., Jia, G., Zhou, Y., Xu, X., and Jiang, Y. (2021). Amplified intensity and duration of heatwaves by concurrent droughts in China. Atmospheric Research, 261: 105743. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105743.

64- Skaf, M., and Mathbout, S. (2010). Drought changes over last five decades in Syria. Economics of drought and drought preparedness in a climate change context, 107-112.

65- Saker, R., Hamdan, S., and Skaf, M. (2017). Changes in Drought Characteristics in the Coastal Region of Syria During the Period (1960-2010) and its Potential Impacts in the Forest Ecosystems.

66- Skaf, M., and Barakat, R. (2021). An assessment of changes in drought intensity and frequency in Syrian Aljazeera region (AlHassaka and AlQamshli) during the period 1957-2012. Syrian Journal of Agricultural Research – SJAR 8(4): 134-148.

67- Siebert, F., Klem, J., and Van Coller, H. (2020). Forb community responses to an extensive drought in two contrasting land-use types of a semi-arid Lowveld savanna. African Journal of Range and Forage Science, 37(1): 53-64. https://doi.org/10.2989/10220119.2020.1726464.

68- Smith, M. D., Wilkins, K. D., Holdrege, M. C., Wilfahrt, P., Collins, S. L., Knapp, A. K., ... and Sun, W. (2024). Extreme drought impacts have been underestimated in grasslands and shrublands globally. Proceedings of the National Academy of Sciences, 121(4): e2309881120. https://doi.org/10.1073/pnas.2309881120.

69- Spinoni, J., Barbosa, P., De Jager, A., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J. V., ... and Mazzeschi, M. (2019). A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. Journal of Hydrology: Regional Studies, 22: 100593. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100593.

70- Stahl, K., Kohn, I., Blauhut, V., Urquijo, J., De Stefano, L., Acácio, V., ... and Van Lanen, H. A. (2016). Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. Natural Hazards and Earth System Sciences, 16(3): 801-819. https://doi.org/10.5194/nhess-16-801-2016.

71- Stocker, B. D., Zscheischler, J., Keenan, T. F., Prentice, I. C., Seneviratne, S. I., and Peñuelas, J. (2019). Drought impacts on terrestrial primary production underestimated by satellite monitoring. Nature Geoscience, 12(4): 264-270. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0318-6.

72- Tramblay, Y., Llasat, M. C., Randin, C., and Coppola, E. (2020). Climate change impacts on water resources in the Mediterranean. Regional Environmental Change, 20(3): 83. https://doi.org/10.1007/s10113-020-01665-y.

73- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., and Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. Nature Climate Change, 4(1): 17-22. https://doi.org/10.1038/nclimate2067.

74- Turner, S. W., Voisin, N., Nelson, K. D., and Tidwell, V. C. (2022). Drought impacts on hydroelectric power generation in the western united states (No. PNNL-33212). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).

75- Van Loon, A. F., Gleeson, T., Clark, J., Van Dijk, A. I., Stahl, K., Hannaford, J., ... and Van Lanen, H. A. (2016). Drought in the Anthropocene. Nature Geoscience, 9(2): 89-91. https://doi.org/10.1038/ngeo2646.

76- Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomally index independent of time and space, notos, 14: 43-48.

77- Van Vliet, M. T. (2023). Complex interplay of water quality and water use affects water scarcity under droughts and heatwaves. Nature Water, 1(11): 902-904. https://doi.org/10.1038/s44221-023-00158-6.

78- Veettil, A. V. (2020). Multiscale hydrological drought analysis: Role of climate, catchment and morphological variables and associated thresholds. Journal of Hydrology, 582: 124533. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124533.

79- Vicente-Serrano, S. M., Quiring, S. M., Peña-Gallardo, M., Yuan, S., and Domínguez-Castro, F. (2020). A review of environmental droughts: Increased risk under global warming?. Earth-Science Reviews, 201: 102953. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102953.

80- Vörösmarty, C. J., Stewart-Koster, B., Green, P. A., Boone, E. L., Flörke, M., Fischer, G., ... and Stifel, D. (2021). A green-gray path to global water security and sustainable infrastructure. Global Environmental Change, 70: 102344. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102344

81- Wan, W., Zhao, J., Popat, E., Herbert, C., and Döll, P. (2021). Analyzing the impact of streamflow drought on hydroelectricity production: a global-scale study. Water Resources Research, 57(4): e2020WR028087. https://doi.org/10.1029/2020WR028087.

82- Ward, P. J., Blauhut, V., Bloemendaal, N., Daniell, J. E., de Ruiter, M. C., Duncan, M. J., ... and Winsemius, H. C. (2020). Natural hazard risk assessments at the global scale. Natural Hazards and Earth System Sciences, 20(4): 1069-1096. https://doi.org/10.5194/nhess-20-1069-2020.

83- Whan, K., Zscheischler, J., Orth, R., Shongwe, M., Rahimi, M., Asare, E. O., and Seneviratne, S. I. (2015). Impact of soil moisture on extreme maximum temperatures in Europe. Weather and Climate Extremes, 9: 57-67. https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.05.001.

84- Wigley-Coetsee, C., and Staver, A. C. (2020). Grass community responses to drought in an African savanna. African Journal of Range and Forage Science, 37(1): 43-52. https://doi.org/10.2989/10220119.2020.1716072.

85- Xu, C., McDowell, N. G., Fisher, R. A., Wei, L., Sevanto, S., Christoffersen, B. O., ... and Middleton, R. S. (2019). Increasing impacts of extreme droughts on vegetation productivity under climate change. Nature Climate Change, 9(12): 948-953. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0630-6.

86- Yao, Y., Liu, Y., Zhou, S., Song, J., and Fu, B. (2023). Soil moisture determines the recovery time of ecosystems from drought. Global Change Biology, 29(13): 3562-3574. https://doi.org/10.1111/gcb.16620.

87- Zhao, T., and Dai, A. (2022). CMIP6 model-projected hydroclimatic and drought changes and their causes in the twenty-first century. Journal of Climate, 35(3): 897-921. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0442.1.

88- Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., ... and Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. Reviews of geophysics, 60(3): e2021RG000762. https://doi.org/10.1029/2021RG000762.

89- Zscheischler, J., Reichstein, M., Harmeling, S., Rammig, A., Tomelleri, E., and Mahecha, M. D. (2014). Extreme events in gross primary production: a characterization across continents. Biogeosciences, 11(11): 2909-2924. https://doi.org/10.5194/bg-11-2909-2014.