Studying changes of precipitation characteristics of different climatic regions in Syria under climatic changes during the period 1958-2018

Rana Saker [*]
Dr. Michael Skaf [**]
Dr. Laila Abboud [***]
Dr. Eileen Mahfoud [****]

(Received 4 / 8 / 2024. Accepted 14 / 10 /2025)

□ ABSTRACT □

Monthly precipitation data were used for six meteorological stations describing different regions in Syria during the period 1958-2018 in order to estimate the change in precipitation characteristics. Box-plots and descriptive statistical analysis with the coefficient of variation were used to study the characteristics of seasonal and annual precipitation amounts. Trends with Mann-Kendall test were used to detect change and significance in concentration and seasonality indices, and mean precipitation. To compare the statistical characteristics of precipitation amounts and their probability values at different levels between the periods 1958-1988 and 1988-2018, gamma distribution and descriptive statistical analysis with the Student t test were used.

The results showed a clear reduction in mean annual precipitation in all regions with a value ranging between 6.1mm and 29.7mm per decade, which was significant in three regions (Homs-Suwayda-Qamishli). On the other hand, the results showed that no significant changes in concentration and seasonality. This changes constitute a direct threat to water resources and rain-fed agriculture and will pose a grand challenge to ecosystems management.

Keywords Climate Change - Precipitation Change - Precipitation Concentration - Precipitation Seasonality – Syria

Copyright **:**Latakia University journal (formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

[*] **Graduate Student (PhD), Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University(formerly Tishreen), Lattakia, Syria. rana.saker@tishreen.edu.sy**
[**] **Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University(formerly Tishreen),, Lattakia, Syria.**
[***] **Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University(formerly Tishreen),, Lattakia University, Lattakia, Syria.**
[****] **Associate Professor Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University(formerly Tishreen),, Lattakia University, Lattakia, Syria.**

دراسة التغير في خصائص الهطل لمناطق مناخية مختلفة في سورية في ظل التغيرات المناخية خلال الفترة 1958-2018

رنا صقر *

د. ميشيل سكاف **

د. ليلى عبود ***

د. إيلين محفوض ****

(تاريخ الإيداع 4 / 8 / 2024. قبل للنشر في 14 / 10 / 2025)

□ ملخّص □

استخدمت قيم الهطل الشهرية لست محطات مناخية تصف مناطق مختلفة في سورية لفترة رصد مستمرة من عام 1958 حتى عام 2018 وذلك لتقدير التغير في أهم خصائص الهطل. استخدمت مخططات الصندوق والتحليل الاحصائي الوصفي مع معامل التباين لدراسة الخصائص الاحصائية لكميات الهطل الفصلية والسنوية. كما استخدمت خطوط الاتجاه Trends من أجل تحديد اتجاه وقيمة التغير في تركز الهطل وموسميته وفي المعدلات الفصلية والسنوية لكميات الهطل، وتم التحقق من معنوية التغير باستخدام اختبار مان كندال. ولمقارنة الخصائص الاحصائية لكميات الهطل وقيمها الاحتمالية عند مختلف المستويات بين الفترتين 1958-1988 و 1988-2018 استخدم توزع غاما والتحليل الاحصائي الوصفي مع اختبار T .

أظهرت النتائج وجود تراجع واضح في معدلات الهطل السنوية في جميع المناطق بقيمة تراوحت بين 6.1 و 29.7 مم لكل عقد والذي كان معنوياً في ثلاث مناطق (حمص- السويداء – القامشلي).من جهة أخرى أظهرت النتائج عدم وجود تغير معنوي في تركز الهطل وموسميته. إن هذا التغير باتجاه التناقص في معدلات الهطل يشكل تهديداً مباشراً للموارد المائية والزراعات المطرية ويفرض تحدياً أمام إدارة النظم البيئية.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ- تغير الهطل- تركز الهطل- موسمية الهطل- سورية.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* طالبة دكتوراه -كلية الهندسة الزراعية – جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- اللاذقية – سوريا rana.saker@tishreen.edu.sy

** مدرس – كلية الهندسة الزراعية – جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- اللاذقية – سوريا

*** استاذ مساعد – كلية الهندسة الزراعية – جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- اللاذقية – سوريا

**** استاذ مساعد – كلية الهندسة الزراعية – – جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- اللاذقية – سوريا

مقدمة:

تعد رطوبة التربة Soil moisture المتغير الأكثر أهمية في النظام المناخي Climate system بسبب دورها الرئيس والمحدد لنشاط التمثيل الضوئي ونتح النباتات وتأثيرها المباشر في الميزان الحراري والمائي والدورات البيوكيميائية لمختلف مناطق العالم [1] إضافةً إلى تأثيرها في المناخ، والذي يزداد قوةً في المناطق الانتقالية بين المناخات الجافة والرطبة [2-4]. على الرغم من أن القدرة التبخيرية للغلاف الجوي Atmospheric Evaporative Demand تلعب دوراً بالغ الأهمية في استنفاذ رطوبة التربة وخاصة خلال فترات نقص الهطولات [5,6] إلا أن ديناميكية رطوبة التربة ترتبط بعلاقة وثيقة مع تباين الهطل [7,8].

يعد التغير في خصائص الدورة الهيدرولوجية Hydrological Cycle بتأثير التسخين العالمي Global Warmingأحد أهم الأخطار التي تهدد المجتمعات البشرية والنظم البيئية الطبيعية في ظل التغيرات المناخية الراهنة[9]. إذ إن تغير ميزان الطاقة لسطح الأرض بفعل التسخين [10] ومايرتبط به من تأثيرات ارتجاعية Feed-backs أدى إلى تزايد نشاط الدورة الهيدرولوجية[11,12] وتغير خصائص الدورة العامة للغلاف الجوي General circulation [13,14]، الأمر الذي أدى إلى تغير نماذج الهطل Precipitation patterns في الكثير من مناطق العالم [15,16] ومنها المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط [17,18]. إن تغير نماذج الهطل سواء بالنسبة للتغير التدريجي في المعدل أو تغير التركز أو تزايد التذبذب (وبالتالي حدة التطرف) سوف يقود إلى تبدل الخصائص المكانية والزمنية لكميات الماء المتاح في التربة [20-23]. مما سيؤثر في عمليات ووظائف النظم البيئية [24,25] ، وقد يعزز نظم الاضطراب Disturbance regimes [26,27] وعموماً فإن اتجاه وحجم تأثير مثل هذه التغيرات في وظائف النظم البيئية سوف يعتمد على مقدار انحراف الهطل عن مجال التذبذب الطبيعي وقدرة النظم البيئية على مواجهة هذه التغيرات، والتي ترتبط إلى حد كبير بالتنوع الحيوي [28,29]، علماً بأن ردود فعل العمليات الأساسية في مختلف النظم البيئية تجاه تغير نماذج الهطل قد لا تظهر بشكل مباشر بل قد تكون متأخرة [30,31]، كما أن ردود الفعل تكون أكبر في النظم البيئية التي تعاني بشكل كبير من العجز المائي [32-34]

يعد تغير نماذج الهطل في الكثير من مناطق العالم أكثر أهمية بالنسبة لوظائف النظم البيئية من التغير العام في المتحكمات الأخرى كارتفاع درجات الحرارة وتزايد تركيز Co_2 [35,36]. لذلك فإن دراسة خصائص الهطل وتقدير تغيراتها في ظل التغيرات المناخية الراهنة تعد في غاية الأهمية ليس فقط بالنسبة لإدارة الموارد المائية وتخطيط الانتاج الزراعي، وإنما لصيانة الغطاء النباتي الطبيعي وحفظ التنوع الحيوي من خلال الإدارة المثلى للموارد البيئية بما يتناسب مع حجم هذه التغيرات[37].

تعد المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط أحد أهم النقاط الساخنة Hot spots بالنسبة لتغير المناخ[38,39]، وذلك لكونها مناطق مناخية انتقالية بين المناخ الحار والجاف في شمال افريقيا والمناخ البارد نسبياً والرطب في وسط أوروبا، حيث تتأثر بالعمليات الجوية لكل من العروض الوسطى والمدارية [40].

تعتمد فرضية الثبات Stationarity ، والتي استُخدمت لعقود عديدة كأساس في إدارة الموارد المائية، على أن الظروف الهيدروميناخية في منطقة معينة تتباين ضمن نطاق محدد من تذبذب المناخ Climatic variability. غير أن

التغيرات المناخية الراهنة وما يرافقها من تغير في نماذج الهطل من حيث الكميات والتوزع والتركز وحدة التطرف أدت إلى التراجع عن هذا المفهوم ليتم استبداله بمصطلح عدم الثبات Nonstationarity والذي يعبر عن تغير الخصائص الإحصائية للمتغيرات الهيدرولوجية خلال الزمن، مع التركيز على أهمية أخذ هذا التغير بعين الاعتبار لتحقيق الإدارة المثلى للموارد المائية [41-43].

أهمية البحث وأهدافه:

تعد دراسة التغير في خصائص الهطل بمثابة حجر الأساس بالنسبة لإدارة الموارد المائية وتخطيط الانتاج الزراعي وبرمجة مشاريع الري، وتزداد أهمية مثل هذه الدراسات في مناطق شرق المتوسط المعرضة لإجهاد مناخي مستمر يترافق مع تزايد في الضغوطات على الموارد بتأثير تزايد أعداد السكان وتنامي النشاطات البشرية، إضافة لكون هذه المناطق نقاطاً ساخنة بالنسبة لتغير المناخ. من هنا فإن دراسة التغير في هذه الخصائص خلال ستين عاماً في أهم المناطق الزراعية والحراجية في سورية تعد في غاية الأهمية نظراً لدور توفر المياه في تحقيق الأمن المائي والغذائي واستقرار وتطور المجتمعات البشرية وصيانة النظم البيئية بالشكل الذي يضمن التنمية المستدامة لمختلف المناطق.
تركز هدف البحث في دراسة تغير خصائص الهطل الفصلية والسنوية في ظل التغيرات المناخية الراهنة خلال الفترة 1958 -2018

طرائق البحث ومواده :

لإنجاز البحث تم استخدام القيم الشهرية لكميات الهطل لفترة رصد شملت السنوات الهيدرولوجية من عام 1958 حتى عام 2018 لست محطات تقع في مناطق مناخية مختلفة في سورية تم الحصول عليها من المديرية العامة للأرصاد الجوية بدمشق، والجدول (1) يبين احداثيات المحطات المختارة في البحث.
لدراسة خصائص الهطل في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958-2018 تم استخدام مخططات الصندوق Box-plots مع التحليل الاحصائي الوصفي Descriptive analysis وتم حساب معامل التباين (CV%) Coefficient of variation.

جدول1: إحداثيات المحطات المختارة (عن بيانات المديرية العامة للأرصاد الجوية السورية)

المحطة	خط الطول	دائرة العرض	الارتفاع عن سطح البحر(م)	معدل الهطل السنوي	التصنيف المناخي تبعاً لأمبرجيه
مطار اللاذقية	$36^{0}0\acute{3}$	$35^{0}2\acute{7}$	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

تم تحديد اتجاه وقيمة التغير في كميات الهطل السنوية والفصلية باستخدام خطوط الاتجاه Trends كذلك تم تقدير الانزياح في توزع كميات الهطل السنوية وقيمها الاحتمالية بين الفترتين 1958-1988 و 1988- 2018 بالاعتماد على توزع غاما Gamma distribution والتحليل الاحصائي الوصفي مع اختبار T Student t test.

لدراسة التغير في تركز الهطل خلال سنوات الدراسة تم حساب مؤشر تركز الهطل (PCI) Precipitation Concentration Index [44]لجميع الأعوام الهيدرولوجية لمختلف المناطق بالعلاقة التالية:

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{i=12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{i=12} P_i)^2} . 100$$

حيث: P_i كمية الهطل الشهرية

يتم تحديد طبيعة الهطل لكل منطقة تبعاً للحدود التالية لقيم المؤشر:

قيمة PCI	طبيعة الهطل
أقل من 10	منتظم
10 -15	متوسط التركز (متوسط الموسمية)
15 -20	يتركز خلال موسم محدد (موسمي)
20 -50	شديد التركز (شديد الموسمية)
أكثر من 50	غير منتظم

لتقدير التغير في موسمية الهطل لمختلف المناطق تم حساب مؤشر موسمية الهطل Seasonality index SI [45] لكل عام من السنوات الهيدرولوجية لفترة الدراسة وفق العلاقة التالية:

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{n=12} \left| Xn - \frac{R}{12} \right|$$

حيث: R كمية الهطل السنويةXn : كمية الهطل الشهرية من n=1 للشهر الأول حتى n=12 للشهر الأخير في العام الهيدرولوجي.

يتم تحديد موسمية الهطل تبعاً للحدود التالية لقيم المؤشر:

قيمة SI	موسمية الهطل
أقل من0.19	منتظم
0.20-0.39	منتظم مع فصل مطر واضح
0.40-0.59	موسمي مع فصل جاف قصير
0.60-0.79	موسمي
0.80-0.99	شديد الموسمية مع فصل جاف طويل
1.00-1.19	معظم الهطل خلال 3 أشهر أو أقل
أكثر من 1.20	متطرف معظم الهطولات خلال شهر أو أثنين

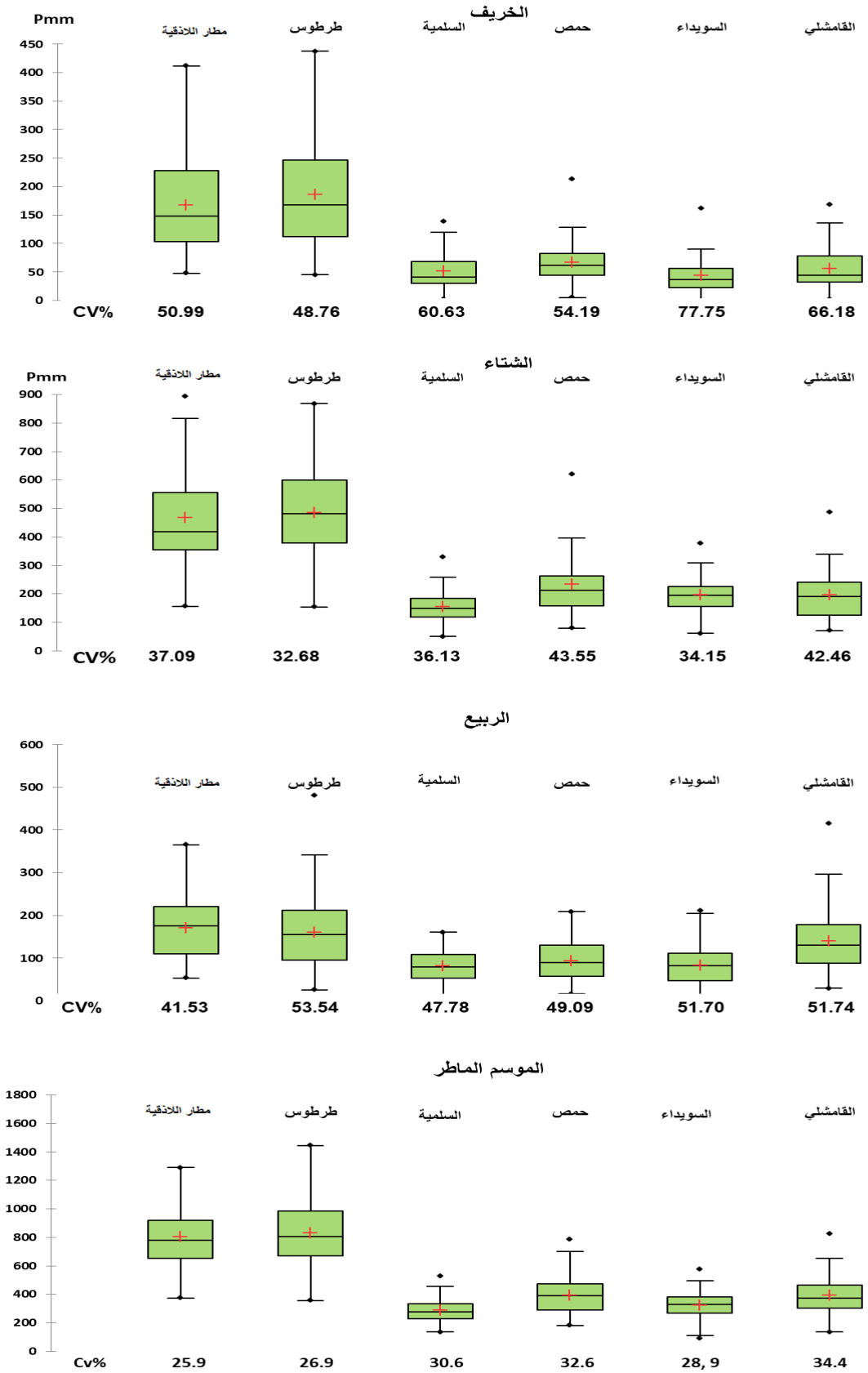
يعد اختبار مان كندال Mann-Kendall Test أحد أهم الاختبارات اللامعلمية الأكثر استخداماً في الدراسات المناخية والهيدرولوجية لتحديد فيما إذا كان هناك اتجاه مستمر نحو الزيادة أو النقصان في السلسلة الزمنية المدروسة لقيم العناصر أو المؤشرات. وهو لايتطلب بالضرورة أن تتبع البيانات التوزع الطبيعي أو أن تكون مرتبطة، وقد استُخدم برنامج Makesens Version 1.0 من أجل تقدير معنوية التغير في قيم السلاسل الزمنية لكميات الهطل والمؤشرات عند مختلف المستويات تبعاً لهذا الاختبار.

النتائج والمناقشة:

1-دراسة الخصائص العامة لهطولات الفصول والموسم الماطر في مناطق الدراسة

يبين الشكل (1) أهم الخصائص الإحصائية لكميات الهطل الفصلية والسنوية خلال فترة الدراسة لمختلف المناطق، ومنه يلاحظ أن معدل الهطل السنوي في المحطات الساحلية (مطار اللاذقية وطرطوس) يتجاوز وبشكل واضح معدلات باقي المناطق. أما خصائص الهطل الفصلية فتشير إلى أن نظام الهطل في مناطق الدراسة متوسطي نموذجي من الشكل شتاء- ربيع – خريف (ماعدا طرطوس) حيث تزيد معدلات فصل الشتاء عن مجموع معدلات الخريف والربيع، لكن وعلى الرغم من أن هطولات الشتاء هي الأعلى فإن قيم معامل التباين مرتفعة نسبياً إذ تراوحت بين 32% (طرطوس) و 43.5% (حمص)، من جهة أخرى فإن تباين الهطل خلال الخريف مرتفع للغاية ويزيد عن ما هو عليه خلال الربيع فقد تراوحت قيم معامل التباين بين 48.7 %(طرطوس) و 77.7% (السويداء). ومع أن قيم معامل التباين لكميات الهطل السنوية تقل عن قيم معامل التباين لمختلف الفصول إلا أنها مرتفعة نسبياً وتزداد مع ازدياد قحولة المنطقة.

إن المخططات المدرجة في الشكل (1) تظهر عدم انتظام الهطل والذي يظهر من خلال أدنى وأعلى القيم ومقدار ابتعادها عن الربيع الأول والأخير ومن عدم تطابق قيم المتوسط مع الوسيط.



الشكل1 الخصائص الاحصائية لكميات الهطل الفصلية والسنوية في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958-2018

2- تغير خصائص الهطل الفصلية والسنوية في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958-2018

يتضح من تحليل السلاسل الزمنية لكميات الهطل السنوية وجود تناقص حاد في جميع المناطق خلال فترة الدراسة تراوحت قيمته بين 36 مم في السلمية و178 مم في القامشلي، والتي تشكل نسبياً 12% إلى 45% على التوالي، والذي كان معنوياً في القامشلي وحمص والسويداء كما هو مبين في الجدول (2). حيث يلاحظ أن هذا التناقص يعود بالدرجة الأولى إلى التراجع الحاد في كميات الهطل لفصل الربيع في جميع المناطق والذي كان معنوياً في جميع المحطات ما عدا السلمية. إضافة إلى التناقص في كميات الهطل لفصل الشتاء والذي لم يكن معنوياً. وقد كانت أقل نسبة لتراجع الهطل خلال فصل الربيع في السلمية (23%) في حين تجاوزت النسبة في القامشلي (76%) أما خلال فصل الشتاء فقد كانت نسبة التراجع أقل وبشكل واضح حيث لم تتجاوز 4% في المنطقة الساحلية بينما قاربت 33% في القامشلي. هذا وقد كان التغير خلال فصل الخريف أقل أهمية حيث كانت حصة التغير محدودة بالنسبة لباقي الفصول وكان اتجاه التغير في المنطقة الساحلية نحو الزيادة على الرغم من الاتجاه نحو التناقص في باقي المناطق.

يبين الشكل (2) الانزياح في توزع الهطل السنوي بين الفترتين 1958-1988 و1988-2018، والذي ترافق بتناقص المعدلات خلال الفترة الثانية في جميع المناطق. فقد تراجع معدل الهطل من 846 مم إلى 766 مم في مطار اللاذقية، ومن 870 مم إلى 793مم في طرطوس، ومن 301 مم إلى 275 مم في السلمية، ومن 430 مم إلى 355 مم في حمص، ومن 349 مم إلى 297 مم في السويداء، ومن 441 مم إلى 343 مم في القامشلي. كذلك تناقصت أعلى قيمة في كل من مطار اللاذقية وطرطوس والسلمية والسويداء والقامشلي، كما تناقصت أدنى قيمة في كل من مطار اللاذقية وطرطوس وحمص والسويداء والقامشلي، كما هو مبين في الشكل (3).

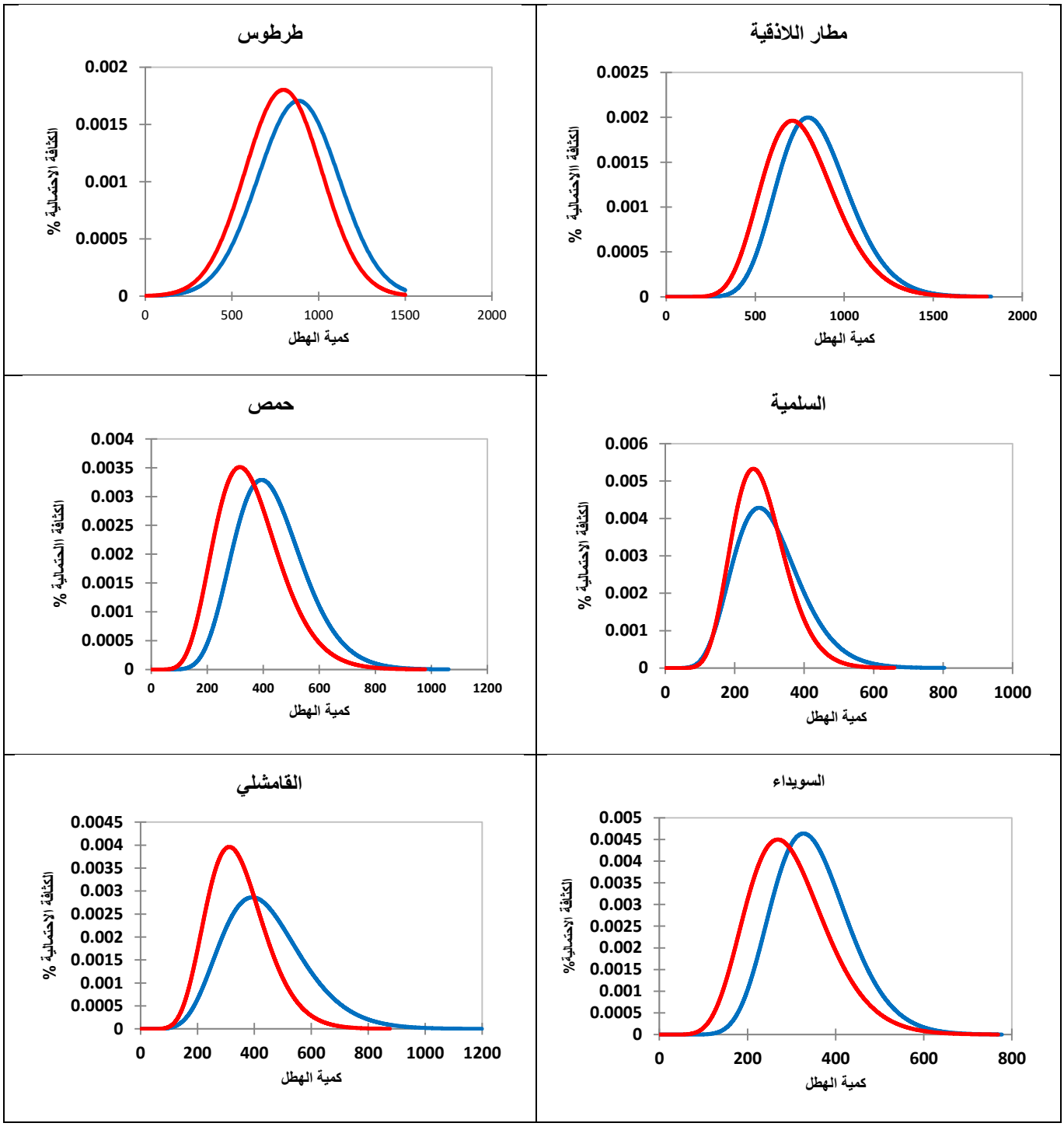
تبين المخططات المدرجة في الشكل (3-a) الفروقات في الخصائص الإحصائية لكميات الهطل السنوية بين الفترتين 1958-1988 و 1988 -2018 مع معنوية التغير المقدرة باختبار T. حيث يظهر التغير الواضح باتجاه تناقص كميات الهطل السنوية، والذي كان معنوياً في كل من حمص والسويداء والقامشلي. وقد ترافق هذا التغير بتناقص كميات الهطل خلال الفترة الثانية عند مختلف مستويات الاحتمالية كما هو موضح في الشكل (3-b)، والذي كان أكثر حدة في كل من السويداء والقامشلي.

يتضح من المخططات المدرجة في الشكل (3-b) وجود تناقص في كميات الهطل السنوية عند جميع مستويات الاحتمالية بين 5% و 95% وفي جميع المناطق، الأمر الذي يزيد من احتمال تكرار الجفاف الشديد والمتطرف الشدة وخاصة في المناطق التي كان التغير فيها كبيراً، فقد تراجعت قيم الهطل خلال الفترة الثانية عند المستوى 5% في جميع المحطات ماعدا السلمية بمقدار (10.2% و 9.5 و 11.2% و 46.4% و 32.4%) في مطار اللاذقية و طرطوس وحمص والسويداء والقامشلي على التوالي، بينما كانت الزيادة في السلمية بمقدار 13%. في حين كان التراجع عند مستوى 10% (14.5% و 9.4% و 15.1% و23.4% و 30.3%) في مطار اللاذقية و طرطوس وحمص والسويداء والقامشلي على التوالي، أما التزايد في السلمية فقد كان بمقدار 14.3%. إن هذا التناقص في معدلات الهطل في جميع المناطق، والذي ترافق بتراجع القيم عند مختلف مستويات الإحتمالية في معظم المناطق، يشكل تهديداً مباشراً للزراعات المطرية والنظم البيئية الطبيعية ويؤثر سلباً في وفرة الموارد المائية، كما يفرض تحدياً أمام تحقيق التنمية المستدامة.

جدول 2 اتجاه وقيمة التغير في كميات الهطل للفصول والموسم الماطر للمحطات المدروسة خلال الفترة 1958-2018

المحطة	الفترة	المعدل مم	قيمة التغير			معنوية التغير
			مم لكل عقد	مم لكامل الفترة	% لكامل الفترة	
مطار اللاذقية	الخريف	167.6	2.27	13.62	8.13	
	الشتاء	468.4	-3.08	-18.48	-3.95	
	الربيع	170.2	-11.23	-67.38	-39.59	*
	الموسم الماطر	806.2	-12.04	-72.23	-8.96	
طرطوس	الخريف	186.21	4.05	24.3	13.05	
	الشتاء	485.37	-2.66	-15.96	-3.29	
	الربيع	160.29	-13.58	-81.48	-50.83	+
	الموسم الماطر	831.86	-12.19	-73.14	-8.79	
حمص	الخريف	66.6	-1.91	-11.5	-17.27	
	الشتاء	233.0	-8.88	-53.28	-22.87	
	الربيع	93.5	-10.9	-65.4	-69.95	**
	الموسم الماطر	393.0	-21.7	-130.2	-33.13	**
السلمية	الخريف	51.2	-0.59	-3.54	-6.91	
	الشتاء	155.3	-2.31	-13.86	-8.92	
	الربيع	81.9	-3.21	-19.26	-23.52	
	الموسم الماطر	291.4	-6.12	-36.72	-12.60	
السويداء	الخريف	43.6	-1.2	-7.2	-16.51	
	الشتاء	196.7	-.395	-32.34	-16.41	
	الربيع	83.2	-7.94	-47.64	-57.26	*
	الموسم الماطر	323.7	-14.53	-87.18	-26.93	*
القامشلي	الخريف	55.98	-1.01	-6.06	-10.83	
	الشتاء	197.1	-10.79	-64.74	-32.91	
	الربيع	139.5	-17.86	-107.2	-76.85	**
	الموسم الماطر	392.5	-29.69	-178.14	-45.39	**

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



الشكل 2 التغير في توزع الهطل السنوي في المحطات المدروسة بين الفترتين 1958-1988 و1988-2018

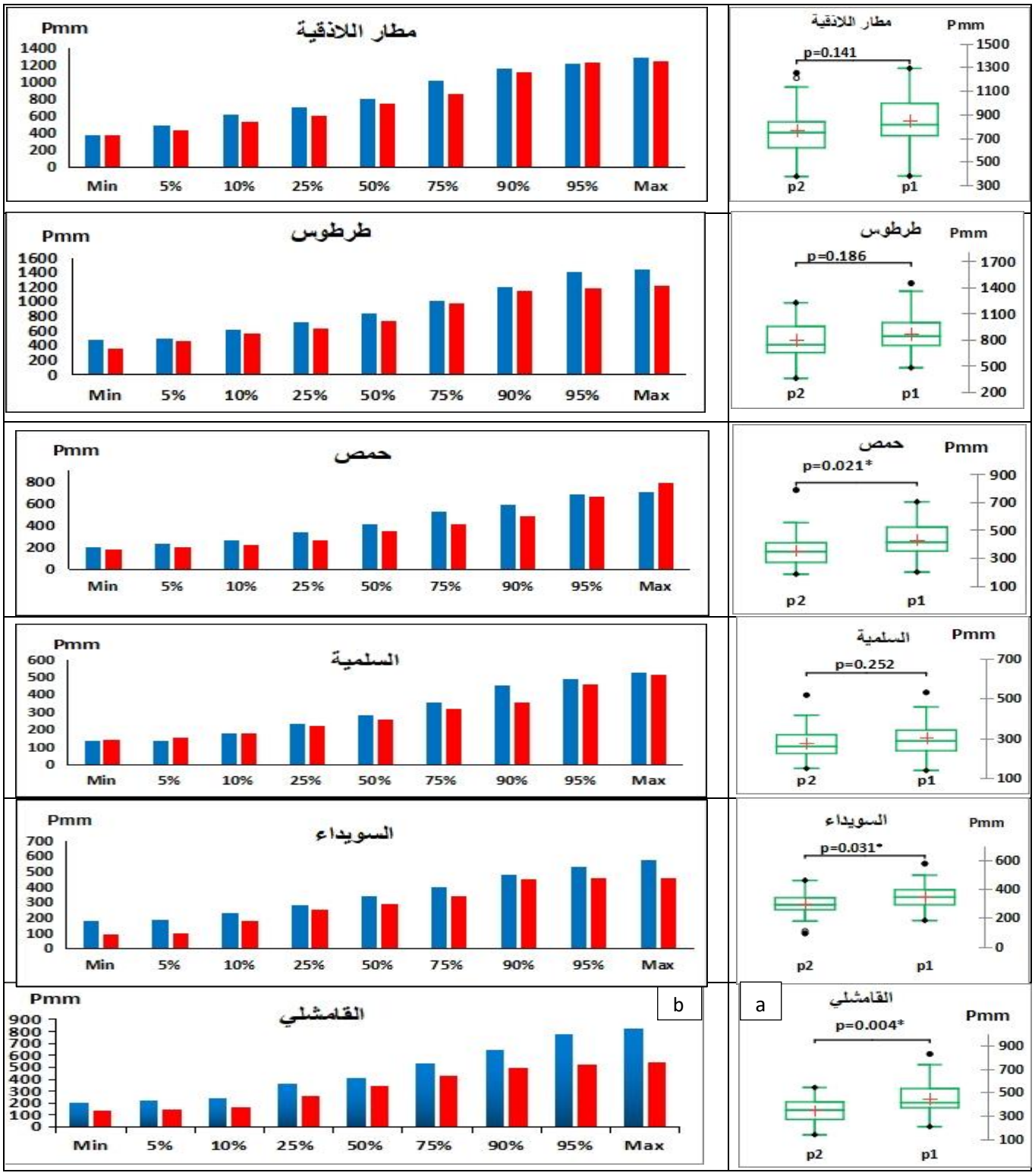
3- تغير تركز الهطل في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958-2018

تظهر المخططات المدرجة في الشكل (4) تغير قيم مؤشر تركز الهطل PCI خلال سنوات الدراسة في مختلف المناطق، ومنها يلاحظ وجود تباين مكاني وزمني في قيم المؤشر بين المناطق والسنوات فقد تراوحت أدنى القيم بين 12.6 (مطار اللاذقية) و 15.3 (السويداء) في حين تراوحت أعلى القيم بين 27.8 (طرطوس) و 43.3 (السويداء) أي أن تركز الهطل في مناطق الدراسة يختلف بين عام وآخر ومنطقة وأخرى من متوسط التركز (متوسط الموسمية) إلى شديد التركز (شديد الموسمية). وبحساب المعدل العام لقيم المؤشر خلال ستين عاماً يتضح أن الهطل يتركز خلال موسم معين (أي أن نظام الهطل موسمي) في جميع المحطات ماعدا السويداء التي تجاوزت فيها قيمة المعدل العام لمؤشر PCI قيم باقي المحطات حيث كان تركز الهطل فيها أكثر شدة (أي أن نظام الهطل شديد الموسمية).

يتبين من تحليل السلاسل الزمنية لقيم مؤشر تركز الهطل في مختلف مناطق الدراسة (الشكل 4) وجود اتجاه عام نحو تزايد تركز الهطل في جميع المحطات إلا أن هذا التغير لم يكن معنوياً في أي منها.

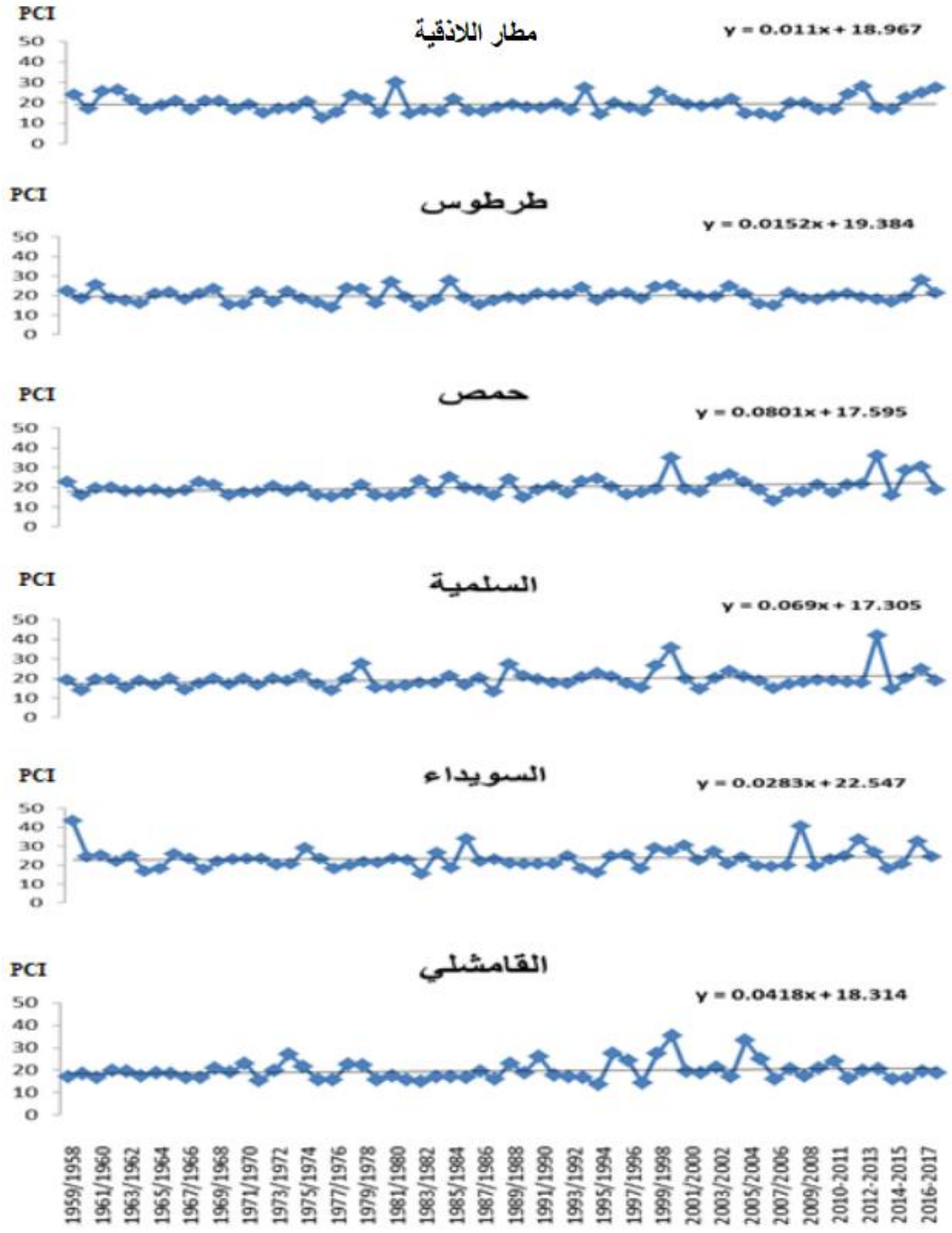
4-تغير موسمية الهطل في مناطق الدراسة خلال الفترة 1958-2018

تبين من حساب قيم مؤشر موسمية الهطل SI استناداً إلى معدلات الهطل الشهرية والسنوية -المحسوبة لمدة ستين عاماً- أن مناخ مختلف مناطق الدراسة يتميز بهطولات موسمية أو شديدة الموسمية مع فصل جاف طويل، فقد بلغت قيمة المؤشر 0.7 في كل من مطار اللاذقية والسلمية والقامشلي، و 0.8 في كل من طرطوس وحمص و 0.9 في السويداء. لكن حساب قيم المؤشر باستخدام القيم الشهرية ومحصلاتها لكل عام من فترة الدراسة ولمختلف المناطق يظهر التفاوت الكبير بين السنوات كما هو موضح في المخططات المدرجة في الشكل (5). فقد تراوحت قيم المؤشر بين السنوات والمناطق بين 0.61 (مطار اللاذقية) و 1.32 (حمص) أي نظام الهطل في مختلف المناطق يتباين بين الموسمي وشديد الموسمية مع فصل جاف طويل وقد يكون متطرفاً في بعض السنوات بحيث تتوزع معظم الهطولات خلال ثلاثة أشهر أو أقل.

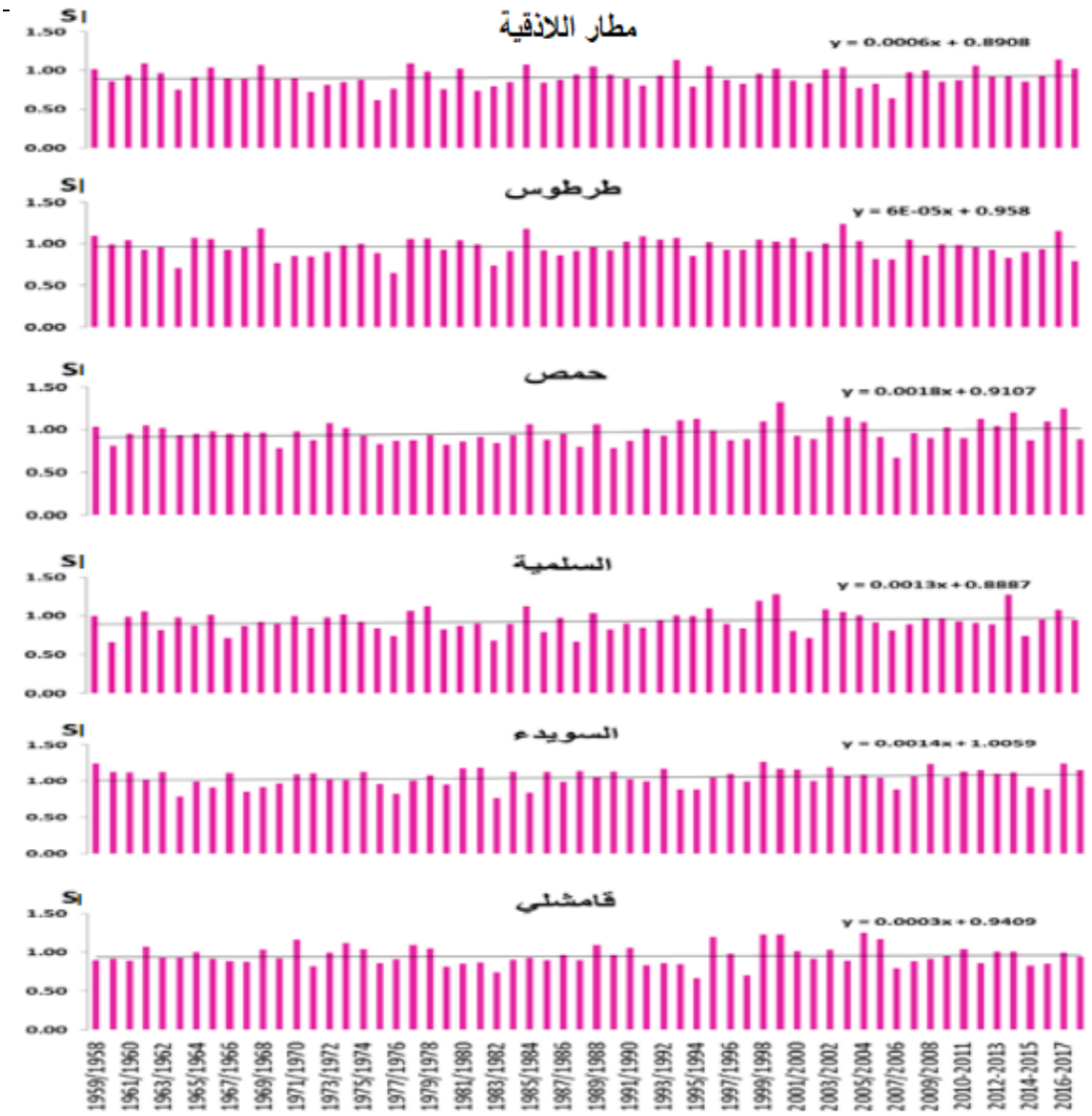


p1 p2 p2 الفترة الثانية p1 الفترة الأولى 0.05 * التغير معنوي عند مستوى

الشكل 3 تغير الخصائص الاحصائية لكميات الهطل وقيمها الاحتمالية خلال الفترتين 1958-1988و 1988-2018



الشكل4 تغير قيم مؤشر تركز الهطل PCI في مختلف المناطق خلال الفترة 1958–2018



الشكل5 تغير قيم مؤشر موسمية الهطل SI في المحطات المدروسة خلال الفترة 1958–2018

يتضح من تحليل السلاسل الزمنية لقيم مؤشر موسمية الهطل خلال فترة الدراسة (الشكل 5) وجود اتجاه نحو الزيادة الطفيفة وغير المعنوية في كل من حمص والسلمية والسويداء، في حين لا يلاحظ وجود أي تغير في باقي المناطق.

تتفق نتائج هذا البحث مع العديد من الأبحاث حول تراجع كميات الهطل في مختلف المناطق المتوسطية في العالم [8,46] ومنها حوض البحر المتوسط [47–49]، والذي يعد فصل النشاط الأعظمي في هذه المناطق [50,51] . يُفسر تراجع الهطل في المناطق المحيطة بحوض البحر المتوسط بالعديد من الأسباب والتي تشمل التغير في معدل تدفق الكتل الهوائية خلال الفترات المختلفة [52–54] وفي دورة هادلي Hadley circulation [55,56] والانحرافات في نطاقات الضغط المرتفع [8,57] إضافةً إلى التغير في مسار تحرك المنخفضات خلال فصل الشتاء [53,58,59]. إن تناقص كميات الهطل السنوية ستؤثر بدون شك في وفرة الموارد المائية وفي نوعية المياه [60,61]، الأمر الذي سيؤدي إلى تراجع إمدادات الماء للتجمعات السكانية [62]، وتراجع انتاج الطاقة الكهربائية بتأثير نقص التدفق اللازم لعمل المحطات الكهرومائية على السدود ونقص توفر ماء التبريد اللازم لعمل المحطات الحرارية [63,64].

أشارت العديد من الدراسات خلال العقد الأخير إلى أن تراجع كميات الهطل خلال فصلي الشتاء والربيع يمكن أن يزيد من احتمال حدوث موجات الحر خلال فصل الصيف [65,66]وهذا يعزز التأثيرات السلبية لنقص الأمطار سواء بالنسبة لتراجع انتاجية النظم البيئية [67–69] أو تزايد خطر نشوب وانتشار حرائق الغابات [70,71]، وكذلك تزايد معدلات موت الأشجار الحراجية [72و73].

تتوافق المراحل الحرجة لمختلف أنواع المحاصيل الشتوية مع فصل الربيع لذلك فإن تراجع معدلات الهطل لهذه الفترة قد يكون له تاثيرات سلبية كبيرة في انتاجية المحاصيل النجيلية والبقولية ونوعيتها وخاصة بالنسبة للزراعات المطرية [–76 74]، كما يكون له بالغ الأثر بالنسبة لزيادة الحاجة للري المبكر والري التكميلي بالنسبة للزراعات المروية [77–79]، مما قد يؤدي إلى استنزاف مياه الأحواض ومياه الآبار الجوفية ويعزز بالنتيجة ندرة المياه Water scarcity مما ينعكس سلباً على الانتاج الزراعي[80,81].

يتحدد صافي الانتاجية الأولية فوق سطح التربة Above ground net primary productivity للمراعي الطبيعية بكميات الهطل، لذلك فإن تراجع معدلات الهطل سوف يؤدي إلى تراجع انتاجية الغطاء النباتي لهذه المناطق [82,83] ومع تزايد عوامل الاضطراب الحيوية وأهمها الرعي الجائر والاحتطاب في ظل سوء إدارة المراعي (من حيث عدم تطبيق الحمولات الحيوانية المثلى وتحديد الفترات المناسبة للرعي)، فإن النتيجة قد تكون تصحر هذه المناطق البالغة الأهمية والتي تحتل مساحات واسعة من القطر [84–86].إن هذه التغيرات في معدلات الهطل، والتي كانت أكثر حدةً ومعنويةً خلال فصل الربيع تتطلب بالتأكيد اتخاذ الاستراتيجيات المناسبة لمواجهة الأخطار المرافقة لها والحد من التأثيرات السلبية التي قد تنتج عنها، وذلك من خلال الادارة المثلى للمحاصيل [88–87] والأشجار المثمرة [89] والغابات [90–93]

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1–يتضح من دراسة خصائص الهطل وجود تباين كبير في كميات الهطل الفصلية والسنوية بين المناطق و المواسم، وهذا التباين يظهر بشكل أكثر وضوحاً في المناطق الداخلية الأكثر قحولةً.

2–بينت نتائج الدراسة وجود اتجاه واضح نحو تناقص معدلات الهطل السنوية في جميع مناطق الدراسة والذي كان معنوياً في ثلاث منها، حيث تراوحت قيمة التناقص خلال فترة الدراسة بين 36.7 مم و 178.1 مم، وذلك بسبب التراجع الحاد في معدلات الهطل لفصل الربيع والأقل حدةً لفصل الشتاء، الأمر الذي يهدد وفرة الموارد المائية وانتاجية الزراعات المطرية واستقرار النظم البيئية في مختلف المناطق.

3–أظهرت النتائج وجود اتجاه واضح نحو تناقص معدلات الهطل وتراجع القيم عند مختلف مستويات الاحتمالية خلال العقود الثلاثة الأخيرة من فترة الدراسة في جميع المناطق والذي كان أكثر حدة في القامشلي والسويداء وحمص، وهذا يعني انزياح مناخ مختلف مناطق الدراسة نحو ظروف هيدرولوجية أشد جفافاً.

4–بينت نتائج الدراسة أنه على الرغم من وجود اتجاه نحو تزايد تركز وموسمية الهطل في مختلف المناطق إلا أن هذا التغير لم يكن معنوياً في أي منها.

التوصيات:

1-ضرورة التوسع في دراسة تغيرات الهطل لتشمل عدد أكبر من المحطات ولفترات زمنية أطول، ولتشمل بيانات أحدث، إضافة إلى دراسة التغير في خصائص الهطل الشهرية واليومية، خاصة وأن نماذج التنبؤ تؤكد على تزايد احتمال الحوادث المطرية الأكبر حجماً والأكثر تباعداً.

2-دراسة انعكاس التغير في خصائص الهطل على مختلف النظم البيئية وذلك باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد على مختلف المقاييس الزمنية والمكانية.

References:

[1] S.I. Seneviratne,T. Corti ,E.L. Davin, M. Hirschi, E.B. Jaeger, I. Lehner, ,&A. J. Teuling, " Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. Earth-Science Reviews", 99(3-4), 125-161,2010.

[2] R.D.Koster,Z.C. Guo,P.A. Dirmeyer,G. Bonan, E. Chan, P. Cox, H.Davies, C.T. Gordon, C.T., Kanae, S. Kowalczyk, E.Lawrence, D. Liu, P. Lu, C.H., Malyshev, S., Mcavaney, B., Mitchell, K., Mocko, D., Oki, T., Oleson, K.W., Pitman, A., Sud, Y.C., Taylor, C.M., Verseghy, D., Vasic, R., Xue, Y.K.,T. Yamada : "Glace: The Global Land–Atmosphere Coupling Experiment. Part I: Overview". J.Hydrometeorol.,7, 590–610.2006

[3] S.I. Seneviratne, D. Lüthi, M. Litschi ,C. Schär, " Land-atmosphere coupling and climate change in Europe", Nature, 443, 205-209.2006a.

[4] S.I.Seneviratne, R.D. Koster, Z. Guo, P.A. Dirmeyer, E. Kowalczyk, D.Lawrence, P. Liu,C. Lu, D.Mocko, K.W.Oleson, D. Verseghy. "Soil moisture memory in AGCM simulations: Analysis of Global Land-Atmosphere Coupling Experiment (GLACE) data". J. Hydrometeorol, 1090-1112., 7,2006b.

[5] A. J.Teuling, A.F.Van Loon, S.I. Seneviratne, I. Lehner, M. Aubinet, B. Heinesch, U. Spank, "Evapotranspiration Amplifies European Summer Drought". Geophysical Research Letters, ,2071-2075, 40(10), 2013.

[6] R.S. Padrón, L. Gudmundsson, B. Decharme, A. Ducharne, D.M Lawrence, J. Mao, D. Peano, G. Krinner, H. Kim, H., & S.I Seneviratne, " Observed Changes In Dry- Season Water Availability Attributed To Human- Induced Climate Change". Nature Geoscience, 13(7),2020, 477– 481, 13(7),2020.

[7] A.Khong, J.K. Wang, S.M Quiring, & T.W.Ford, " Soil Moisture Variability In Iowa" International Journal Of Climatology, 35(10),2015.

[8] R.Seager, T.Osborn, Y.Kushnir, I.Simpson, J.Nakamura And H.Liu. "Climate Variability And Change Of Mediterranean Type Climates J. Clim. 2887–915,32,2019.

[9] E.Tschumi, &J. Zscheischler, " Countrywide Climate Features During Recorded Climate-Related Disasters". Climatic Change, 593-609, 158(3),2020

[10] K.E.Trenberth, "Understanding Climate Change Through Earth's Energy Flows". Journal Of The Royal Society Of New Zealand, 331-347, 50(2),2020.

[11] R.Allan , M. Barlow , M. Byrne, A.Cherchi , H. Douville , H. " Advances In Understanding Large-Scale Responses Of The Water Cycle To Climate Change". Ann. N.Y.Acad. Sci,1–27,2020.

[12] H.Douville, K.Raghavan, J. Renwick, R. Allan, P. Arias, M. Barlow, R. Cerezo-Mota, A.Cherchi, T.Gan, J. Gergis, D. Jiang, A. Khan, W. Pokam Mba, D. Rosenfeld, J. Tierney, & O.Zolina. "Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution Of Working Group I To The Sixth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change" Cambridge University Press . 1055–1210, 2021.

[13] W.Lau, & K.Kim,. "Robust Hadley Circulation Changes And Increasing Global Dryness Due To Co2 Warming From Cmip5 Model Projections". Proceedings Of The National Academy Of Sciences, 3630-3635. 112(12), 2015.
[14] L.Terzi, G. Wotawa, M.Schoeppner,M. Kalinowski, P. Saey, P. Steinmann, P. Staten. "Radioisotopes Demonstrate Changes In Global Atmospheric Circulation Possibly Caused By Global Warming. Scientific Reports" , 2020,10695, 10(1), 2020.
[15] K.Trenberth. "Changes In Precipitation With Climate Change". Climate Research,123138, 47(1-2), 2011.
[16] H. Fowler, G. Lenderink, A. Prein, S. Westra, R. Allan, N.Ban, X.Zhang. "Anthropogenic Intensification Of Short-Duration Rainfall Extremes". Nature Reviews Earth & Environment, 107-122, 2(2), 2021.
[17] P.Ruti, S. Somot, F. Giorgi, C. Dubois, E. Flaounas, A. Obermann, A. Dell'aquila, A.Pisacane, A. Harzallah, E. Lombardi, B. Ahrens, N. Akhtar, A. Alias, T. Arsouze, R. Aznar, S. Bastin, J. Bartholy, K. Beranger, J. Beuvier, S. Bouffies-Cloche, J. Brauch, W. Cabos, S. Calmanti, J. Calvet, A. Carillo, D. Conte, E. Coppola. "Djurdjevic,V. Med-Cordex Initiative For Mediterranean Climate Studies" B. Am. Meteorol. Soc,1187–1208., 97, 2016.
[18] A.Hochman, N. Shachar, & H. Gildor. "Unraveling Sub-Seasonal Precipitation Variability In The Middle East Via Indian Ocean Sea Surface Temperature". Scientific Reports, 2919, 14(1),2024.
[19] A. Bisigato, L. Hardtke, & H. Del Valle. Soil As A Capacitor: Considering Soil Water Content Improves Temporal Models Of Productivity. Journal Of Arid Environments, 88-92, 98,2013.
[20] S.Collins, J. Belnap, B. Grimm, A. Rudgers, C. Dahm, P. D'odorico, M. Litvak, D. Natvig, D. Peters, W. Pockman, B. Wolf. "A Multiscale, Hierarchical Model Of Pulse Dynamics In Arid-Land Ecosystems". Annual Review Of Ecology, Evolution, And Systematics,397–419, 45(45), 2014.
[21] J.Gremer, J. Bradford, S. Munson, &M. Duniway. "Desert Grassland Responses To Climate And Soil Moisture Suggest Divergent Vulnerabilities Across The Southwestern United States". Global Change Biology, 4049–4062, 21,2015.
[22] C.Grossiord, S. Sevanto, J. Limousin, P. Meir, M. Mencuccini, R. Pangle, N. Mcdowell. "Manipulative Experiments Demonstrate How Long-Term Soil Moisture Changes Alter Controls Of Plant Water Use". Environmental And Experimental Botany, 19-27, 152,2018.
[23] D.Hoover, A. Pfennigwerth, & M.Duniway. "Drought Resistance And Resilience: The Role Of Soil Moisture–Plant Interactions And Legacies In A Dryland Ecosystem". Journal Of Ecology, 3280-3294, 109(9),2021.
[24] 35. A.Felton, I. Slette, M.Smith, &A.Knapp, "Precipitation Amount And Event Size Interact To Reduce Ecosystem Functioning During Dry Years In A Mesic Grassland". Global Change Biology,658–668, 26(2), 2020.
[25] O.Hajek, &A. Knapp. "Shifting Seasonal Patterns Of Water Availability: Ecosystem Responses To An Unappreciated Dimension Of Climate Change". New Phytologist, 119–125, 233(1),2022.
[26]J.Peñuelas, J. Sardans. "Global Change And Forest Disturbances In The Mediterranean Basin: Breakthroughs, Knowledge Gaps, And Recommendations". Forests, 603, 12,2021.
[27] M.Turner, &R. Seidl, " Novel Disturbance Regimes And Ecological Responses. Annual Review Of Ecology", Evolution, And Systematics, 63-83, 54,2023.

[28] F.Isbell,D. Craven, J. Connolly, M. Loreau, B. Schmid,C. Beierkuhnlein, & N. Eisenhauer. “Biodiversity Increases The Resistance Of Ecosystem Productivity To Climate Extremes”. Nature, 526(7574), 574-577, 2015.
[29] R.Dodd, D. Chadwick, W. Hill, F. Hayes, A. Sánchez-Rodríguez, D. Gwynn-Jones, S. Smart, &D.Jones. “Resilience Of Ecosystem Service Delivery In Grasslands In Response To Single And Compound Extreme Weather Events”. Science Of The Total Environment, 861, 160660, 2023.
[30]F.Johnstone, C. Allen, J. Franklin, E. Frelich, B. Harvey, P.Higuera, M.Turner. “Changing Disturbance Regimes”, Ecological Memory, And Forest Resilience. Frontiers In Ecology And The Environment, 369-378, 14(7),2016.
[31] M.Müller, & M.Bahn. “Drought Legacies And Ecosystem Responses To Subsequent Drought”. Global Change Biology,5086-5103, 28(17), 2022.
[32] C.Beer, M. Reichstein, E. Tomelleri, P. Ciais, M. Jung, N. Carvalhais, & D.Papale. Terrestrial “Gross Carbon Dioxide Uptake: Global Distribution And Covariation With Climate”. Science, 834-838, 329(5993), 2010.
[33] O.Sala, L.Gherardi, & D. Peters. "Enhanced Precipitation Variability Effects On Water Losses And Ecosystem Functioning: Differential Response Of Arid And Mesic Regions". Climatic Change, 213-227, 131,2015.
[34] A.Seddon, M.Macias-Fauria, P. Long, D. Benz, &K. Willis. "Sensitivity Of Global Terrestrial Ecosystems To Climate Variability". Nature, 229-232, 531(7593),2016.
[35] J.Weltzin, M.Loik, S.Schwinning, D.Williams, F.Fay, "Assessing The Response Of Terrestrial Ecosystems To Potential Changes In Precipitation". Bioscience, 941–952, 53,2003.
[36] L.Gherardi, & O.Sala, "Effect Of Interannual Precipitation Variability On Dryland Productivity: A Global Synthesis". Global Change Biology,269-276, 25(1), 2019.
[37] M.Caretta And A.Mukherji. "Water. In Climate Change . 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, Pp, 551–712,2022
[38] N.Diffenbaugh, & F.Giorgi, "Climate Change Hotspots In The Cmip5 Global Climate Model Ensemble". Climatic Change,813-822, 114 (N/A), 2012.
[39] A.Tuel, & E.Eltahir, "Why Is The Mediterranean A Climate Change Hot Spot? J". Clim.. 5829–5843.33,2020
[40] P.Lionello, & L.Scarascia, "The Relation Between Climate Change In The Mediterranean Region And Global Warming". Regional Environmental Change,1481-1493,18,2018.
[41] .Milly, J. Betancourt, M. Falkenmark, R. Hirsch, Z. Kundzewicz, D. Lettenmaier, & R.Stouffer, "Stationarity Is Dead: Whither Water Management?". Science, 573-574, 319(5863), 2008
[42] L.Slater, B. Anderson, M. Buechel, S. Dadson, S. Han, S. Harrigan, & R.Wilby, "Nonstationary Weather And Water Extremes: A Review Of Methods For Their Detection, Attribution, And Management". Hydrology And Earth System Sciences, 25(7), 3897-3935, 2021.
[43] J.Shao, J. Wang, W. Wang, F. Li, & C.Wu"Research On The Degree Of Non-Stationarity In Extreme Precipitation In The Continental United States". Water Resources Management, 38(2), 537-551, (2024)
[44] J.Oliver, " Monthly Precipitation Distribution: A Comparative Index". Professional Geographer, Vol. 32, 1980, 300–309.
[45] R.WALSH and D. LAWLER. "Rainfall Seasonality Spatial Patterns And Change Through Time". Weather,201–208,36,1981

[46] M.Deitch, M.Sapundjieff, & S.Feirer. "Characterizing Precipitation Variability And Trends In The World's Mediterranean-Climate Areas". Water 9, 259,1–2, 2017.
[47] B.Cook, R. Anchukaitis, D. Touchan, D. Meko, And E. Cook. "Spatiotemporal Drought Variability In The Mediterranean Over The Last 900 Years". Geophys. Res. Atmos, 2060–2074, 121,2016
[48] R.Brogli, S. Sørland, N. Kröner, & C.Schär. "Causes Of Future Mediterranean Precipitation Decline Depend On The Season". Environmental Research Letters, 114017, 14(11),2019
[49] G.Zittis, P. Hadjinicolaou, M. Klangidou, Y. Proestos, &J.Lelieveld, Multimodel, Multi-Scenario, And Multi-Domain Analysis Of Regional Climate Projections For The Mediterranean. Reg. Environ. Chang., 2621–263,19,2019
[50] S.Bartsch, A. Stegehuis, C. Boissard, J. Lathière, J. Peterschmitt, I. Reiter, & B.Guenet. "Impact Of Precipitation, Air Temperature And Abiotic Emissions On Gross Primary Production In Mediterranean Ecosystems In Europe". European Journal Of Forest Research, 111-126, 139, 2020
[51] S.Stefanidis, D.Rossiou, N. Proutsos ."Drought Severity And Trends In A Mediterranean Oak Forest. Hydrology. 10, 167,2023.
[52] R.Seager, H.Liu, N.Henderson, I.Simpson,C. Kelley, T.Shaw, Y.Kushnir And M.Ting .Causes Of Increasing Aridification Of The Mediterranean Region In Response To Rising Greenhouse Gasesj. Clim., 4655–76,27,2014.
[53] G.Zappa M. Hawcroft, L.Shaffrey E. Black And D.Brayshaw J. "Extratropical Cyclones And The Projected Decline Of Winter Mediterranean Precipitation In The Cmip5 Models". Clim. Dyn.45 (7–8), 1727–1738,2015.
[54] I.Simpson, P.Hitchcock, R.Seager, Y.Wu And P.Callaghan . "The Downward Influence Of Uncertainty In The Northern Hemisphere Stratospheric Polar Vortex Response To Climate Change J. Clim 6371–91, 31,2018
[55] J.Scheff, & D.Frierson, " Twenty-First-Century Multimodel Subtropical Precipitation Declines Are Mostly Midlatitude Shifts. Journal Of Climate, 4330- 4347, 25(12),2012.
[56] F.Giorgi, F. Raffaele & E.Coppola. "The Response Of Precipitation Characteristics To Global Warming From Climate Projections". Earth System Dynamics, 73-89, 10(1),2019
[57] F.Giorgi, P. And Lionello. "Climate Change Projections For The Mediterranean Region". Global And Planetary Change, 90-104, 63,2008.
[58] M.Rojas, L. Li, M.Kanakidoum, G. Hatzianastassiou, N.Sezeg And H. Le Treut. Winter Weather Regimes Over The Mediterranean Region: Their Role For The Regional Climate And Projected Changes In The Twenty-First Century Clim. Dyn. 551–71, 41,2013
[59] G.Zappa, B. Hoskins, And T Shepherd. "The Dependence Of Wintertime Mediterranean Precipitation On The Atmospheric Circulation Response To Climate Change Environ". Res. Lett,2015.
[60] M.Pedro-Monzonís, A. Solera, J. Ferrer, T. Estrela, J.Paredes-Arquiola. "A Review Of Water Scarcity And Drought Indexes In Water Resources Planning And Management". Journal Of Hydrology, 482-493, 527(N/A),2015
[61] C.Vorosmarty, B. Stewart-Koster, P. Green, E.Boone, M. Flörke, G. Fischer, D.Wiberg, S. Bunn, A. Bhaduri, P. Mcintyre, C. Sadoff, H. Liu, D. And Stifel. "Green-Gray Path To Global Water Security And Sustainable Infrastructure". Global Environmental Change,102344, 70(N/A), 2021
[62] K.Stahl, I. Kohn, V. Blauhut, J. Urquijo, L. De Stefano, V. Acácio, S. Dias, J. Stagge, L.Tallaksen, E. Kampragou. "And Van Lanen, H. A. Impacts Of European Drought

Events: Insights From An International Database Of Text-Based Reports". Natural Hazards And Earth System Sciences, 801-819, 16(3),2016
[63] M. Van Vliet, L. Van Beek, S. Eisner, M. Flörke, Y. Wada, & M. Bierkens. "Multi-Model Assessment Of Global Hydropower And Cooling Water Discharge Potential Under Climate Change". Global Environmental Change, 156-170, 40,2016
[64] S. Turner, N. Voisin, K. Nelson, & V. Tidwell. "Drought Impacts On Hydroelectric Power Generation In The Western United States" (No. Pnnl-33212). Pacific Northwest National Lab.(Pnnl), Richland, Wa (United States),2022.
[65] D. Miralles, P. Gentine, S. Seneviratne, And A. Teuling. "Land–Atmospheric Feedbacks During Droughts And Heatwaves: State Of The Science And Current Challenges". Annals Of The New York Academy Of Sciences, 19-35, 1436(1),2019.
[66] Z. Shi, G. Jia, Y. Zhou, X. Xu, & Y. Jiang. "Amplified Intensity And Duration Of Heatwaves By Concurrent Droughts In China". Atmospheric Research, 105743, 261,2021
[67] B. Stocker, J. Zscheischler, T. Keenan, I. Prentice, S. Seneviratne, & J. Penuelas. "Drought Impacts On Terrestrial Primary Production Underestimated By Satellite Monitoring". Nature Geoscience, 264–270, 12,2019
[68] A. Bastos, P. Ciais, P. Friedlingstein, S. Sitch, J. Pongratz, L. Fan, J. Wigneron, U.Weber, M. Reichstein, Z. Fu, & S. Zaehle. "Direct And Seasonal Legacy Effects Of The 2018 Heat Wave And Drought On European Ecosystem Productivity". Science Advances, 6(24) ,2020.
[69] Z. Hao, F. Hao, Y. Xia, S. Feng, C. Sun, X. Zhang, Y. Fu, Y. Hao, & Y. Meng. "Compound Droughts And Hot Extremes: Characteristics, Drivers, Changes, And Impacts". Earth-Science Reviews, 104241,2022.
[70] S. Sutanto, C. Vitolo, C. Di Napoli, M. D'andrea, & H. Van Lanen. "Heatwaves, Droughts, And Fires: Exploring Compound And Cascading Dry Hazards At The Pan-European Scale". Environment International, 105276, 134,2020.
[71] A.Guion, S. Turquety, J. Polcher, R. Pennel, S. Bastin, & T. Arsouze. "Droughts And Heatwaves In The Western Mediterranean: Impact On Vegetation And Wildfires Using The Coupled Wrf-Orchidee Regional Model (Regipsl). Climate Dynamics,2881-2903, 58(9-10), 2022.
[72] W.Hammond, A.Williams, J.Abatzoglou, H. Adams, T.Klein, R.López, C. Allen. "Global Field Observations Of Tree Die-Off Reveal Hotter-Drought Fingerprint For Earth's Forests". Nature Communications, 1761, 13(1),2022.
[73] N. Mcdowell, G.Sapes, A.Pivovaroff, H.Adams, C.Allen, W.Anderegg, C.Xu. "Mechanisms Of Woody-Plant Mortality Under Rising Drought, Co2 And Vapour Pressure Deficit". Nature Reviews Earth & Environment,294-308, 3(5), 2022.
[74] M.Farooq, M.Hussain, & K. Siddique. "Drought Stress In Wheat During Flowering And Grain-Filling Periods". Critical Reviews In Plant Sciences,331-349, 33(4), 2014.
[75] M.Farooq, N.Gogoi, S.Barthakur, B.Baroowa, N.Bharadwaj, S.Alghamdi, & K.Siddique." Drought Stress In Grain Legumes During Reproduction And Grain Filling". Journal Of Agronomy And Crop Science,81-102, 203(2), 2017.
[76] J.Rane, A.Singh, M.Kumar, K. BoraiahM, K.Meena, A.Pradhan, & P.Prasad. "The Adaptation And Tolerance Of Major Cereals And Legumes To Important Abiotic Stresses". International Journal Of Molecular Sciences,12970, 22(23), 2021.
[77] J.Elliott, D.Deryng, C.Müller, K.Frieler, M.Konzmann, D.Gerten, D.Wisser. "Constraints And Potentials Of Future Irrigation Water Availability On Agricultural Production Under Climate Change". Proceedings Of The National Academy Of Sciences, 3239-3244, 111(9),2014

[78] D.Rey, I.Holman, A.Daccache, J.Morris, E.Weatherhead, J.Knox. "Modelling And Mapping The Economic Value Of Supplemental Irrigation In A Humid Climate". Agric. Water Manag.,13–22,173, 2016.
[79] M.Rio, D.Rey, C. Prudhomme, & I.Holman. "Evaluation Of Changing Surface Water Abstraction Reliability For Supplemental Irrigation Under Climate Change". Agricultural Water Management, 200-208, 206, 2018
[80] S.Ashraf, A.Nazemi, & A.Aghakouchak. "Anthropogenic Drought Dominates Groundwater Depletion In Iran". Scientific Reports, 9135, 11(1),2021.
[81] T.Mieno, T. Foster, S.Kakimoto, & N.Brozović. "Aquifer Depletion Exacerbates Agricultural Drought Losses In The Us High Plains". Nature Water, 1-11,2024.
[82] L.Roche, Adaptive Rangeland Decision-Making And Coping With Drought. Sustainability,1334, 8(12), 2016.
[83] S.Ostoja, H.Choe, J.Thorne, P.Alvarez, A.Kerr, J.Balachowski, J.Reyes. "The Impact Of Climate Change On California Rangelands And Livestock Management". Agriculture,2095, 13,2023.
[84] M.Gamoun, B.Essifi, C.Dickens, & B.Hanchi. "Interactive Effects Of Grazing And Drought On Desert Rangelands Of Tunisia". Biologija, 62(2) ,2016.
[85] J.Martínez-Valderrama, J.Ibáñez, M.Ibáñez, F.Alcalá, M.Sanjuán, A.Ruiz, G.Del Barrio. "Assessing The Sensitivity Of A Mediterranean Commercial Rangeland To Droughts Under Climate Change Scenarios By Means Of A Multidisciplinary Integrated Model". Agricultural Systems,103021, 187, 2021.
[86] N.Adamo, N.Al- Ansari, V.Sissakian, K.Fahmi, And S .Abed. "Climate Change: Droughts And Increasing Desertification In The Middle East, With Special Reference To Iraq". Engineering, 235-273, 14, 2022.
[87] S.Maitra, U.Sahoo, M.Sairam, H.Gitari, E.Rezaei-Chiyaneh, M.Battaglia, & A.Hossain."Cultivating Sustainability: A Comprehensive Review On Intercropping In A Changing Climate". Research On Crops,702-715, 24(4), 2023.
[88] J.Martínez-Valderrama, J.Olcina, G.Delacámara, E.Guirado, & F.Maestre. "Tcomplex Policy Mixes Are Needed To Cope With Agricultural Water Demands Under Climate Change". Water Resources Management,2805-2834, 37(6), 2023.
[89] L.Tanasijevic, M.Todorovic, L.Pereira, C.Pizzigalli, & P.Lionello. "Impacts Of Climate Change On Olive Crop Evapotranspiration And Irrigation Requirements In The Mediterranean Region". Agricultural Water Management, 54-68, 144,2014.
[90] Z.Vacek, , S.Vacek, , & J. Cukor. "European Forests Under Global Climate Change: Review Of Tree Growth Processes, Crises And Management Strategies". Journal Of Environmental Management, 117353,332,2023.
[91] Z.Zhang, L. Zhang, H. Xu, , I.Creed, J. Blanco, X.Wei, K. Bishop."Forest Water-Use Efficiency: Effects Of Climate Change And Management On The Coupling Of Carbon And Water Processes". Forest Ecology And Management, 12085, 534,2023.
[92] N.Kalapodis, & G. Sakkas. Integrated Fire Management And Closer To Nature Forest Management At The Landscape Scale As A Holistic Approach To Foster Forest Resilience To Wildfires. Open Research Europe, 131, 4,2024.
[93] L.Liu, Y. Chen, S. Peng, & Q. Han. "Improving Forest Carbon Sequestration Through Thinning Strategies Under Soil Conservation Constraints: A Case Study In Shaanxi Province, China". Ecological Indicators,112291, 2024.