



تغير خصائص الجفاف في المنطقة الساحلية من سورية خلال الفترة (1960-2010) وتأثيراته الكامنة في النظم البيئية الحراجية

Changes in Drought Characteristics in the Coastal Region of Syria During the Period (1960- 2010) and its Potential Impacts in the Forest Ecosystems

م. رنا صقر⁽¹⁾

Michael Skaf

م. سلاف حمدان⁽¹⁾

Solaf Hamdan

د. ميشيل سكاف⁽¹⁾

Rana Saker

(1) قسم الحراج والبيئة، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

الملخص

يُعد العجز المائي المتزايد في ظل التغيرات المناخية الراهنة السبب الرئيس لزيادة انحراف النظم البيئية الحراجية في منطقة المتوسط، ولاسيما أن حوادث الجفاف في هذه المنطقة تتحكم بوظائف هذه النظم من خلال تأثيرها في توزيع الأنواع، وتعديل حيز الكربون، وحدوث وانتشار حرائق الغابات، وموت الأشجار.

تم استخدام مؤشر انحراف الهطل (RAI) Rainfall Anomaly Index لتقدير خصائص الجفاف للفصول والموسم الماطر لست محطات ميثيورولوجية في المنطقة الساحلية من سورية خلال الفترة من 1960 إلى 2010. تم التحقق من تغير شدة الجفاف باستخدام خطوط الاتجاه واختبار مان كندال، ولتقدير التغير في تواتر الجفاف تم حساب الفرق في تكرار الجفاف بين الفترتين (1960 إلى 1985) و (1985 إلى 2010).

أظهرت النتائج وجود تغيرات واضحة في خصائص الجفاف في المحطات كافة، فقد ازدادت شدة جفاف الموسم الماطر بسبب الزيادة الواضحة في جفاف الربيع والشتاء (إذ تراجع قيم المؤشر بمقدار ترواح بين 1- و 2.2- خلال الشتاء، وبين 2.15- و 2.75- خلال الربيع)، كما ازداد تكرار الجفاف المتطرف، وتناقص تكرار الرطوبة المتطرفة في الربيع. وسيكون لهذه التغيرات تأثيرات سلبية في النظم البيئية الحراجية والموارد المائية، الأمر الذي سيشكل تحدياً أمام إدارة هذه الموارد البيئية في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: سورية، الجفاف، تغير المناخ، مؤشر انحراف الهطل، النظم البيئية الحراجية، موت الأشجار.

Abstract

Water deficit increasing under the recent climate change is considered as the trigger for decline in forest ecosystems in Mediterranean regions. Droughts control the functioning of Mediterranean forest ecosystems through species distribution, carbon sequestration, fire occurrence and spread, and tree mortality.

Rainfall Anomaly Index (RAI) was used to assess seasonal and annual drought characteristics in six meteorological stations located in the Syrian coastal region during the period (1960- 2010). Changes in drought intensity were detected using trends with Mann-Kendal test. To estimate changes in drought frequency, differences in drought recurrence were computed for the two periods (1960 - 1985) and (1985 - 2010).

The results showed significant changes in drought characteristics in all stations. The drought severity of rainy season has increased owing to increasing tendency in drought intensity during spring and winter (related to decrease in drought index values between -1 to -2.2 in winter and -2.15 to -2.75 in spring), and increment in extreme drought frequency versus diminishing frequency of extreme moisture in spring. These changes will affect negatively the forest ecosystems and water resources, which will pose a challenge to manage these environmental resources in the future.

Keywords: Syria, Drought, Climate change, Rainfall Anomaly Index, Forest ecosystem, Tree mortality.

المقدمة

تغطي الغابات نحو 30 % من سطح اليابسة، وتقدم فوائد أساسية كثيرة للنظم البيئية والمجتمعات البشرية كتنظيم المناخ والدورة الهيدرولوجية (Bonan، 2008، Chapin وزملاؤه، 2008)، لذلك فإن هناك اهتمام كبير بكيفية تأثير التغيرات المناخية الراهنة في تعديل انتشار وتكوين ووظائف النظم البيئية الحراجية، والفوائد التي تقدمها، ولاسيما بالنسبة لدورة الكربون، والتأثيرات الارتجاعية في المناخ (Chapin وزملاؤه، 2008).

تركز أبحاث تغيرات المناخ وتأثيراتها في الغابات على تغير معدلات الحرارة والهطل، وقدرة الأنواع النباتية على تحمل هذه التغيرات، لكنها تهمل غالباً التغيرات في التذبذب والقيم المتطرفة، والتي قد تكون في كثير من الأحيان أكثر أهمية من التغير في المعدل (Katz و Brown، 1992؛ Jentsch وزملاؤه، 2007؛ Simth، 2011)، إذ أن الانتشار الجغرافي الحيوي للنباتات الحراجية يمكن أن يتأثر بالتغيرات في ظواهر الطقس المتطرفة أكثر من التغيرات في معدلات العناصر المناخية، والتي تستخدم عادةً في التنبؤات الجغرافية الحيوية (Badeau و Bréda، 2008)، ويتجلى هذا بشكل خاص عندما تترافق الظواهر المتطرفة مع تراجع في مرونة النظم البيئية الحراجية تحت تأثير التغيرات البيئية كالتلوث، أو سوء الإدارة أو كليهما معاً، الأمر الذي قد يقود إلى انزياحات كارثية في الغطاء النباتي (Scheffer و Carpenter، 2003؛ Mueller وزملاؤه، 2005؛ Andersen وزملاؤه، 2009).

تعرف الظاهرة المتطرفة من وجهة النظر البيئية بأنها الحادثة غير الملائمة، والتي يتم خلالها التجاوز الواضح لمقدرة الكائن الحي أو المجتمع على التأقلم، ما يؤدي إلى الموت، أو إلى مرحلة تعاف طويلة، تؤثر في ردود الفعل الفيزيولوجية والتطورية (Gutschick و Bassiriad، 2003). إن القيم المتطرفة قد تصبح أكثر قسوة مع التغيرات المناخية الراهنة، والتي يمكن أن تؤدي إلى زيادة التذبذب المناخي الطبيعي (Easterling وزملاؤه، 2000؛ Palmer و Räisänen، 2002)، وتعد الزيادة الحالية والمستقبلية في نشاط الدورة الهيدرولوجية أمراً بالغ الأهمية بالنسبة للتغيرات الإقليمية في التذبذب والظواهر المتطرفة (Huntington، 2006؛ Seager وزملاؤه، 2010)، والتي يُعد الجفاف أبرزها (Sheffield و Wood، 2008؛ Dai، 2011).

يحدث الجفاف (Drought) في مختلف مناطق العالم بما فيها المناطق الرطبة، وعلى الرغم من أنه حدث مناخي متطرف ومتكرر يتميز بهطل أقل من المعدل خلال فترة من الزمن تستمر لأشهر أو سنوات، إلا أنه فترة جافة مؤقتة عكس القحولة (Aridity) الدائمة في المناطق الجافة (Heim، 2002؛ Dai، 2011).

يُعد الجفاف المتحكم الرئيس بتبادل الماء والكربون في النظم البيئية الحراجية على اختلاف الأنواع النباتية والمناطق المناخية (Granier وزملاؤه، 2007؛ Van Der Molen وزملاؤه، 2011)، ومع أن النظم البيئية المتوسطة تبدي العديد من التكيفات تجاه الجفاف (Bréda وزملاؤها، 2006)، إلا أنها تتأثر به، وهذا يظهر بشكل واضح سواء بالنسبة للصنوبريات (Goldstein وزملاؤه، 2000)، أو مستديمات الخضرة عريضة الأوراق (Reichstein وزملاؤه، 2002؛ Rambal وزملاؤه، 2003).

يعزز الجفاف الحاد والمتكرر تراجع المسطح الورقي (Battaglia وزملاؤه، 1998؛ Le Dantec وزملاؤه، 2000)، ما يؤدي إلى تناقص إجمالي الإنتاجية الأولية (Gross Primary Productivity) (GPP) (Law وزملاؤه، 2002؛ Hoff و Rambal، 2003؛ Schwalm وزملاؤه، 2010)، والذي قد يستمر خلال الأعوام التالية لحادثة الجفاف (Krishnan وزملاؤه، 2006؛ Granier وزملاؤه، 2007؛ Arnone وزملاؤه، 2008) بسبب نقص المدخرات الكربوهيدراتية (Bréda وزملاؤها، 2006)، والتي تعد بالغة الأهمية بالنسبة لمرونة النباتات (Mc Dowell و Sevanto، 2010). يؤدي تراجع المرونة تحت تأثير الجفاف إلى زيادة القابلية للتأذي بفعل عوامل الاضطراب الأخرى، كالحشرات والأمراض، أو الصقيع، أو حوادث الجفاف اللاحقة (Lloret وزملاؤه، 2005؛ Allen وزملاؤه، 2010) إذ تتعرض الأشجار المتأثرة بالجفاف لمهاجمة الحشرات بشكل أكبر، ويمكن أن يستمر مثل هذا الهجوم عدة سنوات (Rouault، 2006؛ Staudt و Lhoutellier، 2007؛ McDowell وزملاؤه، 2008).

يمكن أن يؤدي الجفاف الحاد والمتكرر إلى موت الأشجار الحراجية، والذي يحدث إما بسبب الفشل الهيدروليكي العائد لتشكيل الفجوات الهوائية في الأوعية الناقلة (Cavitation) (Rennenberg وزملاؤه، 2006؛ Zeugin و Zweifel، 2008؛ Resco وزملاؤه، 2009)، أو عجز الكربون، أو ما

يسمى الجوع للكربون (Carbon Starvation) (Mc Dowell و Sevanto، 2010؛ Sala وزملاؤه، 2010)، والذي يحدث عندما يتجاوز معدل التنفس التمثيل الضوئي خلال فترة طويلة، ما يؤدي لاستنفاد النبات لمخزونه من الكربوهيدرات، أو نقص تكوين المركبات الدفاعية في مواجهة الحشرات والأمراض (Desprez-Loustau وزملاؤه، 2006؛ Breshears وزملاؤه، 2009)، علماً أن هذه الآليات الثلاث قد تتداخل في كثير من الأحيان لتؤدي إلى الموت (Zeppel وزملاؤه، 2011؛ McDowell وزملاؤه، 2013). إضافة إلى كل ما تقدم، فإن الجفاف يؤدي إلى زيادة خطر نشوب وانتشار حرائق الغابات بسبب نقص الرطوبة في البقايا النباتية وفرشة الغابة (Pausas وزملاؤه، 2004؛ Westerling وزملاؤه، 2006).

يُعد العجز المائي المتزايد في ظل التغيرات المناخية الراهنة السبب الرئيس لزيادة انحراف النظم البيئية الحراجية في منطقة المتوسط، ولاسيما أن حوادث الجفاف في هذه المنطقة تتحكم بوظائف هذه النظم من خلال تأثيرها في توزيع الأنواع، وتعديل حجز الكربون، وموت الأشجار، وحدوث وانتشار حرائق الغابات، لذلك فقد تركزت أهداف هذا البحث على تقدير التغير في خصائص الجفاف لست محطات تمثل جزءاً مهماً من المنطقة الساحلية في سورية، حيث الكثير من النظم البيئية - الحراجية، والزراعية - الحراجية، وذلك خلال الفترة من 1960 إلى 2010.

مواد البحث وطرائقه

تم انجاز البحث باستخدام بيانات المديرية العامة للأرصاد الجوية السورية لقيم الهطل الشهرية لست محطات موزعة في المنطقة الساحلية، ولفترة رصد امتدت من عام 1960 إلى 2010. وبين الجدول 1 إحدائيات المحطات المدروسة.

استخدمت مخططات الصندوق (Box Plot) لدراسة أهم الخصائص الإحصائية لهطولات الفصول والموسم الماطر، باستخدام برنامج XL-Stat، إذ يشير الخط داخل الصندوق إلى قيمة الوسيط، أما إشارة (+) فتشير إلى قيمة المتوسط، في حين تشير الحدود الدنيا والعليا للصندوق إلى مستوى القيم المقابلة لـ 25% و 75% على التوالي من السلسلة. بينما تشير الحدود الواقعة فوق وتحت الصندوق إلى أعلى وأدنى قيمة في السلسلة، وفي حال وجود قيم متطرفة تتحرف عن المتوسط بمقدار يزيد عن مثلي أو ثلاثة أمثال الانحراف المعياري فإنها تظهر على شكل نقاط خارج هذه الحدود.

الجدول 1. إحدائيات المحطات المختارة (عن بيانات المديرية العامة للأرصاد الجوية السورية).

المحطة	خط الطول	خط العرض	الارتفاع عن سطح البحر (م)	التصنيف المناخي
مطار الباسل	36° 03'	35° 27'	47	شبه رطبة
صافيتا	36° 08'	34° 49'	350	رطبة
طرطوس	35° 53'	34° 53'	15	شبه رطبة
القرداحة	35° 56'	35° 24'	350	رطبة
عين عبدو	36° 03'	35° 41'	500	رطبة
وادي قنديل	36° 32'	35° 08'	360	شبه رطبة

تم استخدام مؤشر انحراف الهطل (RAI) (Rainfall Anomaly Index) (Van Rooy، 1965) لتقدير الجفاف والرطوبة للفصول والموسم الماطر، وذلك بعد ترتيب السلاسل الزمنية على شكل سنوات هيدرولوجية تبدأ من شهر أيلول (سبتمبر) في عام معين، وتنتهي في شهر آب (أغسطس) من العام التالي.

تكمُن أهمية هذا المؤشر بأنه لا يعتمد على قيمة المتوسط الحسابي فقط بل يأخذ بعين الاعتبار توزيع الهطل للسلسلة المدروسة من خلال أدنى وأعلى عشر قيم، إذ يتم حساب انحراف الهطل للفترة المدروسة من كل عام (وبالتالي تقدير شدة الجفاف أو الرطوبة تبعاً لهذا الانحراف) من خلال العلاقة التالية:

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

حيث:

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

\bar{P} : معدل الهطل للفترة نفسها (ملم).

E : متوسط القيم العشر المتطرفة في السلسلة (تؤخذ أعلى عشر قيم من أجل الانحرافات الإيجابية، وتؤخذ أقل عشر قيم من أجل الانحرافات السلبية). وتأخذ العلاقة الإشارة الموجبة عندما تكون $(P > \bar{P})$ ، والسالبة عندما تكون $(P < \bar{P})$. يتم تقدير شدة الجفاف أو الرطوبة تبعاً لهذا المؤشر بالاعتماد على المجالات التالية (الجدول 2):

الجدول 2. مجالات تقدير شدة الجفاف والرطوبة وفق مؤشر انحراف الهطل (RAI).

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

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 لبالمير (Palmer drought severity index) (PDSI) (Olapido، 1985). لتحديد اتجاه وقيمة التغير في شدة الجفاف تم استخدام خطوط الاتجاه (Trends) في تحليل السلاسل الزمنية لقيم المؤشر خلال الفصول والموسم الماطر، وتم تقدير معنوية التغير باستخدام اختبار مان كندال (Mann - Kendall Test). لدراسة التغير في تكرار الجفاف والرطوبة ضمن المجالات مختلفة الشدة، تم تقسيم السلاسل الزمنية لقيم المؤشر لكل من الربيع والموسم الماطر إلى فترتين متساويتين: الأولى من 1960 إلى 1985، والثانية من 1985 إلى 2010، وتم حساب التوزيع التكراري لكل فترة، ومن ثم حساب الفرق في نسب التكرار بين الفترتين ضمن كل مجال.

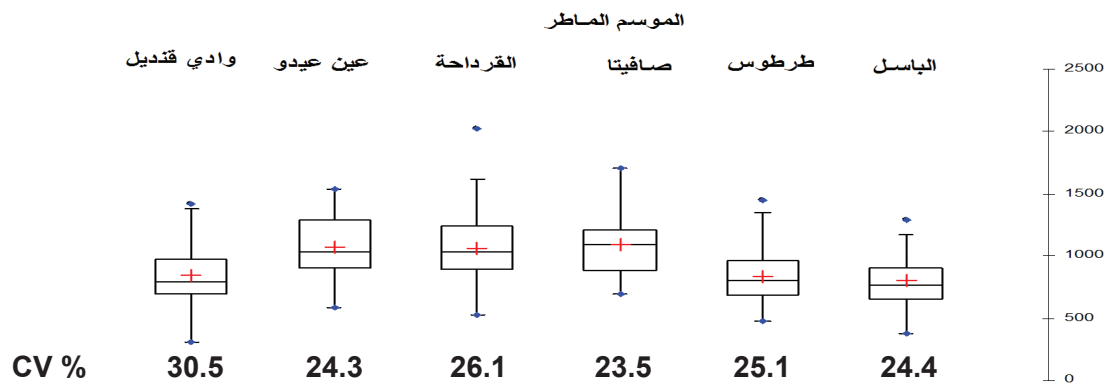
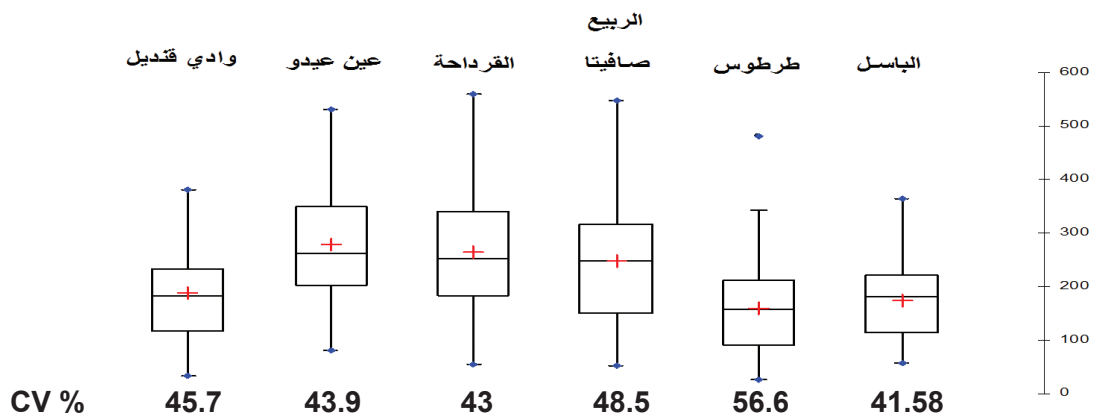
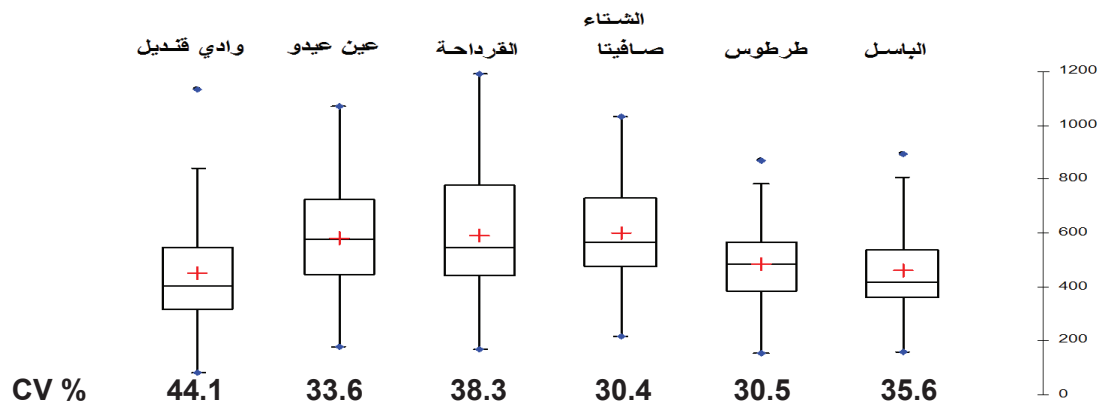
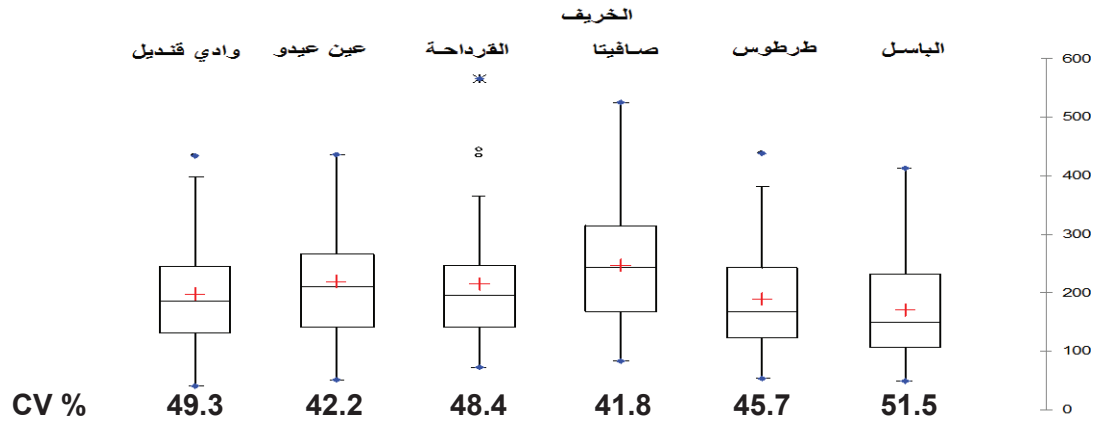
النتائج والمناقشة

1 - دراسة الخصائص العامة لهطولات الفصول والموسم الماطر في المنطقة الساحلية

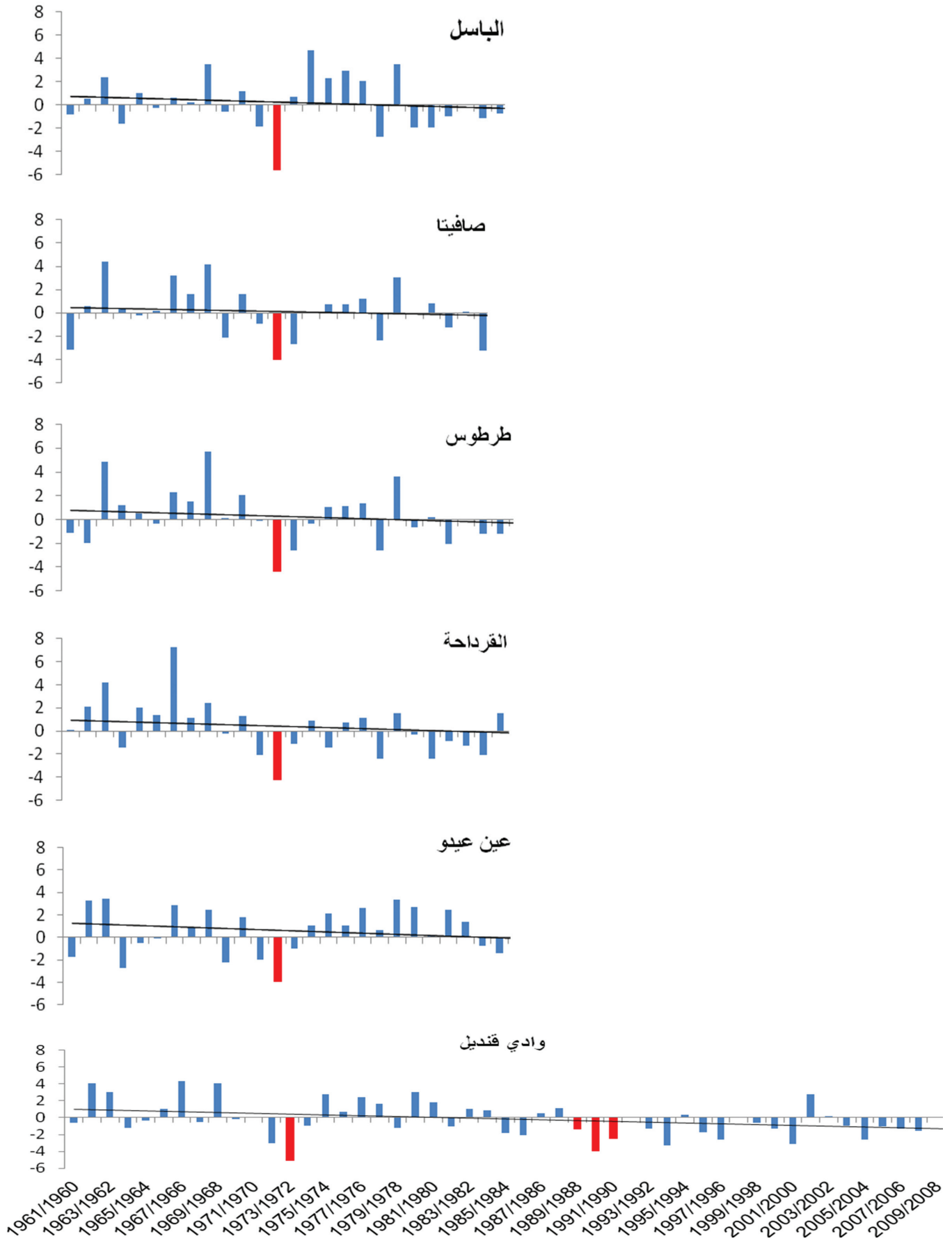
يبين الشكل 1 أهم الخصائص الاحصائية لهطولات الفصول والموسم الماطر في المحطات المختارة في المنطقة الساحلية، فيلاحظ أن معدلات الهطل في المنطقة مرتفعة نسبياً، إذ تتراوح بين 765 ملم (مطار الباسل)، و 1091 ملم (صافيتا)، ويتركز الجزء الأكبر منها خلال فصل الشتاء الذي يزيد معدل الهطل فيه عن مجموع معدلي الخريف والربيع في جميع المحطات. وعلى الرغم من ارتفاع معدلات الهطل في المنطقة فإن التباين كبير للغاية بين المحطات وبين الفصول والمواسم، وهذا يظهر بشكل واضح من خلال أعلى وأدنى القيم، ومن خلال النسب المرتفعة لمعامل التباين Coefficient of variation (cv) خلال الفصول، ولاسيما الخريف والربيع، ومع أن هطولات الشتاء أقل تبايناً فإن معامل التباين لا يقل عن 30 %، الأمر الذي ينعكس بشكل كبير على تذبذب الهطل، إذ يمكن أن تتجاوز كمية الهطل لفصل الشتاء في بعض المواسم المعدل العام للموسم الماطر في المنطقة، كذلك فإن هطولات الخريف أو الربيع قد تزيد عن هطولات الشتاء في بعض المواسم. من جهة أخرى يتضح عدم الانتظام في توزيع الهطل سواء خلال الفصول أو الموسم الماطر، والذي يظهر من خلال عدم تطابق قيمة المتوسط مع الوسيط، ومن خلال ابتعاد قيمة كل منهما عن أعلى قيمة بمقدار يزيد وبشكل واضح عن أدنى قيمة، وهذا يشير إلى أن معدلات الفصول ناتجة عن عدد كبير من المواسم ذات الهطل المتدني نسبياً مقابل عدد محدود من المواسم ذات الهطل المرتفع بشكل ملحوظ، الأمر الذي يؤدي إلى رفع قيمة المعدل.

2 - دراسة خصائص الجفاف في المنطقة الساحلية

يبين الشكل 2 تغير قيم RAI في المحطات المدروسة خلال المواسم المطرية الممتدة من 1960 إلى 2010، إذ يلاحظ أن الجفاف يتكرر بشكل كبير في جميع المحطات إنما بشدات متفاوتة، وأن الجفاف يمكن أن يتكرر لعدة مواسم متتالية في أجزاء المنطقة كافة، كما هو الحال في المواسم الثلاثة الممتدة من عام 1988 إلى عام 1991. كذلك يُلاحظ أن الموسم 1973/1972 كان من أشد المواسم قسوة، إذ شمل الجفاف متطرف الشدة جميع المحطات، تلاه الموسم 1991/1990، حيث شمل الجفاف الشديد إلى متطرف الشدة جميع المحطات. من جهة أخرى يتضح أن بعض المواسم كانت متطرفة في جفافها بالنسبة لبعض المحطات، وكانت أقل قسوة بالنسبة للبعض الآخر، كما هو الحال في الموسم 2000/2001. بالمقابل يُلاحظ أن أكثر المواسم هطلاً كان 1963/1962 و 1969/1968 و 1980/1979.

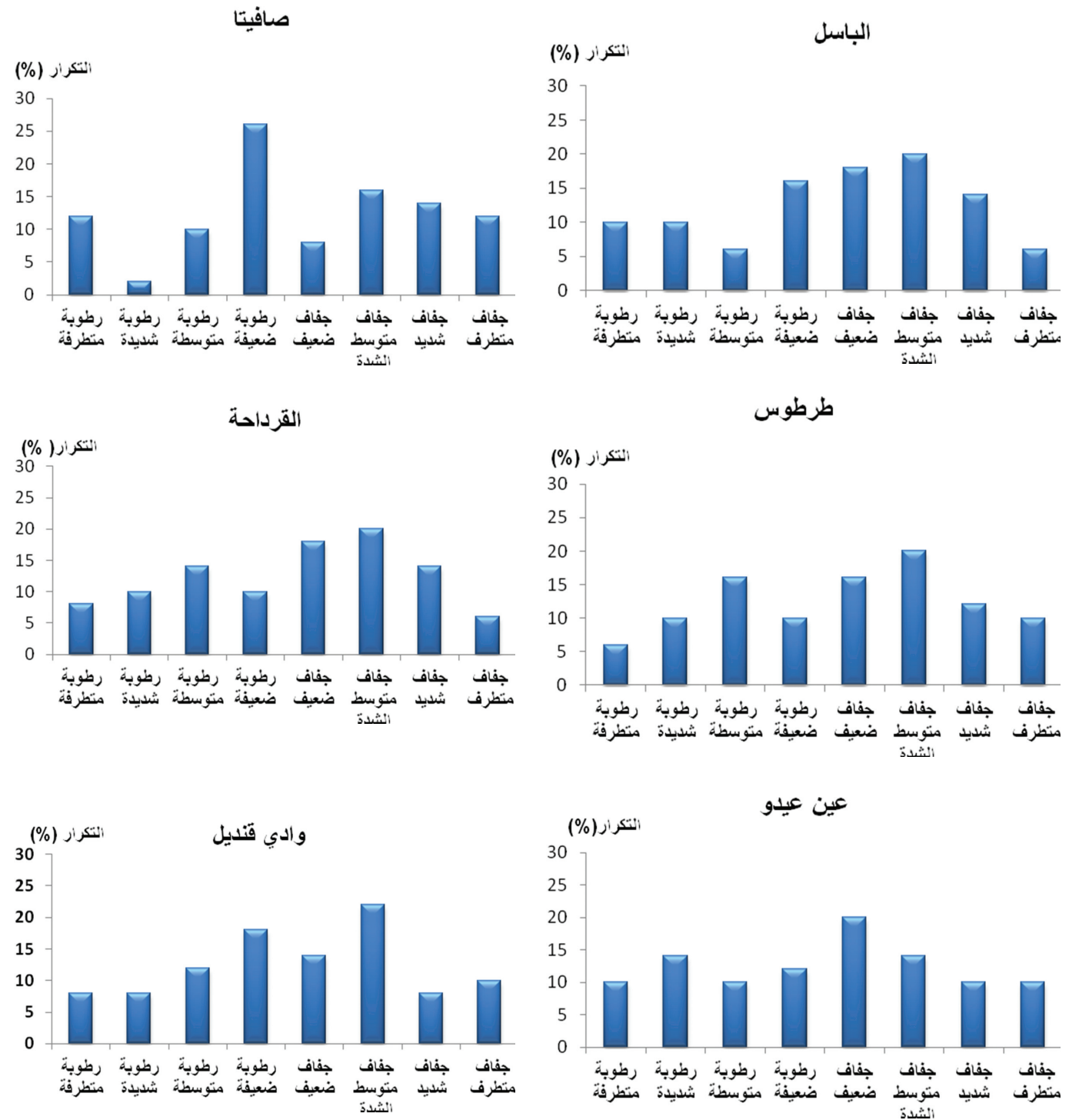


الشكل 1. الخصائص الاحصائية لهطول الفصول والموسم الماطر (ملم) في المحطات المدروسة.



الشكل 2. تغير قيم مؤشر RAI للموسم الماطر في المحطات الساحلية المدروسة خلال الفترة من 1960 إلى 2010.

هنا لا بد من الإشارة إلى قيم المؤشر المرتفعة في بعض المواسم التي تجاوزت +4، وكان أبرزها الموسم 1967/1966 في القرداحة، والموسم 1969/1968 في طرطوس، إذ تجاوزت قيمة المؤشر (+7 و +5.6) على التوالي، الأمر الذي يؤكد عدم انتظام الهطل في المحطات المدروسة في المنطقة الساحلية. يظهر الشكل 3 التوزيع التكراري للجفاف والرطوبة خلال الموسم الماطر ضمن مجالات مختلفة الشدة لمؤشر RAI في المحطات المدروسة، ويلاحظ أن نسبة تكرار الجفاف الكلي (جفاف متوسط الشدة + جفاف شديد + جفاف متطرف) في المنطقة الساحلية كانت مرتفعة ومتقاربة وتزيد عن 40% في جميع المحطات عدا عين عيدو (34%)، لكن تكرار الجفاف ضمن المستويات المختلفة يتفاوت بين محطة وأخرى، فقد تزيد نسبة تكرار الجفاف المتطرف في بعض المحطات على حساب الجفاف الشديد أو العكس. من جهة أخرى يلاحظ أن نسبة تكرار السنوات التي يكون فيها الهطل أقل من المعدل (جميع المواسم التي تكون فيها قيم المؤشر سالبة) تفوق تلك التي يكون فيها الهطل أعلى من المعدل، وهذا يؤكد عدم انتظام الهطل، والذي تمت الإشارة إليه عند دراسة خصائص الهطل في المنطقة.



الشكل 3. التوزيع التكراري للجفاف والرطوبة تبعاً لمؤشر RAI لهطولات الموسم الماطر في المحطات المدروسة

الجدول 3. اتجاه وقيمة التغير في قيمة مؤشر RAI للفصول والموسم الماطر للمحطات الساحلية المدروسة خلال الفترة من 1960 إلى 2010.

المحطة	الفترة	قيمة التغير		معنوية التغير
		لكل عقد	لكامل فترة الدراسة	
مطار الباسل	خريف	0.02	0.1	
	شتاء	-0.25	-1.25	
	ربيع	-0.49	-2.45	*
	موسم ماطر	-0.4	-2	*
طرطوس	خريف	0	0	
	شتاء	-0.26	-1.3	
	ربيع	-0.54	-2.7	*
	موسم ماطر	-0.41	-2.05	+
صافيتا	خريف	0.18	0.9	
	شتاء	-0.2	-1	
	ربيع	-0.43	-2.15	*
	موسم ماطر	-0.28	-1.4	
القرداحة	خريف	-0.04	-0.2	
	شتاء	-0.21	-1.05	
	ربيع	-0.53	-2.65	*
	موسم ماطر	-0.42	-2.1	+
عين عيدو	خريف	-0.03	-0.15	
	شتاء	-0.34	-1.7	+
	ربيع	-0.55	-2.75	**
	موسم ماطر	-0.52	-2.6	**
وادي قنديل	خريف	0.09	0.45	
	شتاء	-0.44	-2.2	+
	ربيع	-0.54	-2.7	*
	موسم ماطر	-0.48	-2.4	*

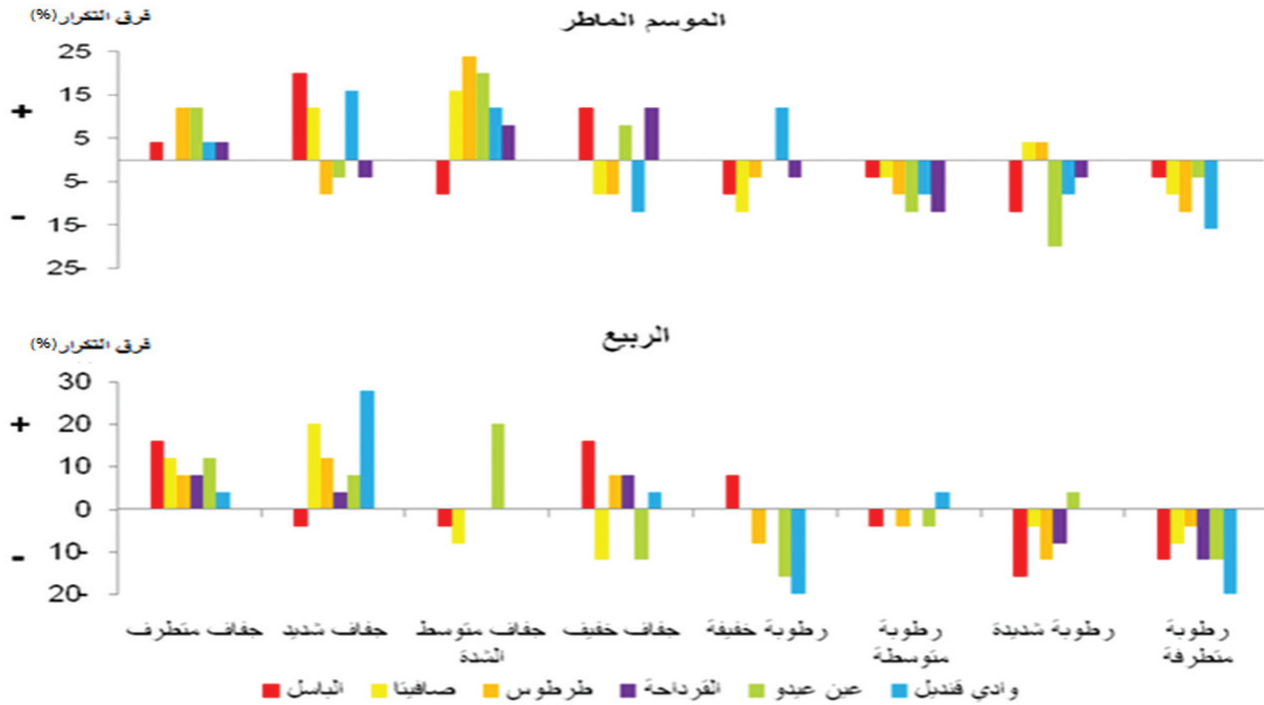
+ : التغير معنوي عند مستوى 0.1 * عند مستوى 0.05 ** عند مستوى 0.01

3 - دراسة التغيرات الفصلية والموسمية في شدة الجفاف في المنطقة الساحلية

تشير النتائج (الجدول 3) إلى اتجاه وقيمة التغير في قيم مؤشر انحراف الهطل (RAI) خلال الفصول والموسم الماطر، فيلاحظ وجود تغير واضح نحو زيادة شدة جفاف الموسم الماطر، والذي يظهر من خلال التناقص الحاد في قيم مؤشر الجفاف في المحطات الساحلية المدروسة (الشكل 2) والذي كان معنوياً في جميعها باستثناء صافيتا، ويعود ذلك إلى التناقص الواضح في قيم المؤشر خلال فصلي الشتاء والربيع، والذي كان أكثر حدة خلال فصل الربيع، وترافق بمعنوية مرتفعة في جميع المحطات، في حين اقتصرت معنوية التغير خلال فصل الشتاء على محطتي عين عيدو ووادي قنديل. بالمقابل فقد كان التغير في شدة الجفاف خلال فصل الخريف غير معنوي، وتفاوت اتجاه التغير بين السبلي في القرداحة وعين عيدو، والإيجابي في مطار الباسل وصافيتا ووادي قنديل، بينما لم يظهر أي تغير خلال هذا الفصل في طرطوس.

4 - دراسة التغير في تكرار الجفاف للربيع والموسم الماطر في المنطقة الساحلية

يبين الشكل 4 الفروقات في نسبة تكرار الجفاف والرطوبة ضمن المجالات مختلفة الشدة تبعاً لمؤشر RAI لكل من الربيع والموسم الماطر (والتي ظهر خلالها التغير الواضح في شدة الجفاف)، إذ يتضح وجود تغير ملحوظ في التوزيع التكراري للجفاف والرطوبة في المنطقة خلال الموسم الماطر، فقد ازدادت نسبة تكرار الجفاف المتطرف في جميع المحطات باستثناء صافيتا التي بقيت النسبة فيها ثابتة، كما ازدادت نسبة تكرار الجفاف متوسط الشدة في جميع المحطات عدا مطار الباسل، التي شهدت تناقصاً في نسبة تكرار الجفاف المتوسط مقابل زيادة ملحوظة في نسبة تكرار الجفاف الشديد، من جهة أخرى تناقصت نسبة تكرار الرطوبة ضمن المجالات المختلفة في جميع المحطات. أما خلال الربيع فقد ازدادت نسبة تكرار الجفاف المتطرف مقابل تناقص نسبة تكرار الرطوبة المتطرفة في جميع المحطات، مع ملاحظة أن المحطات التي ازداد فيها الجفاف المتطرف بنسب قليلة ازداد فيها الجفاف الشديد بنسب مرتفعة.



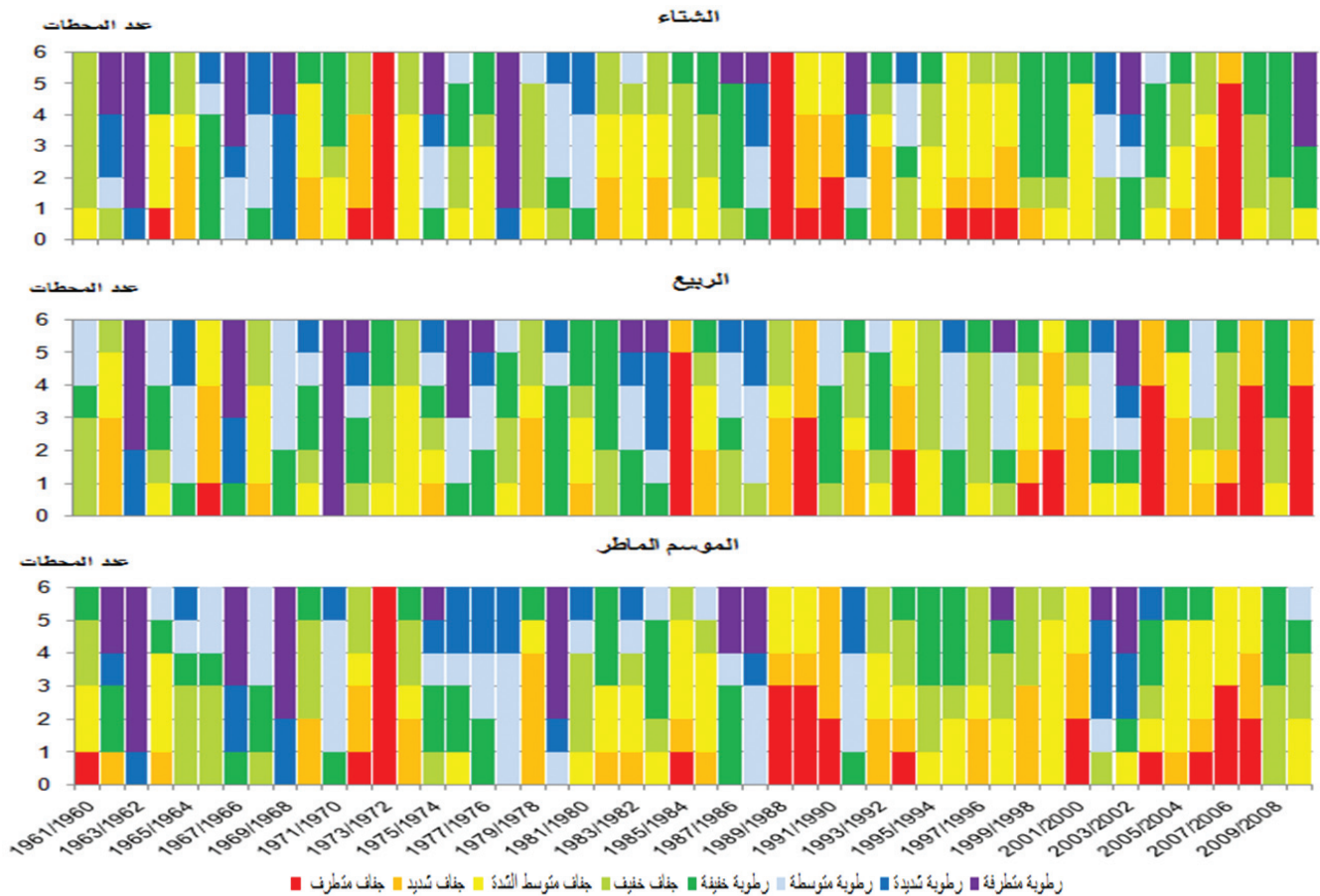
الشكل 4. التغير في نسبة تكرار الجفاف والرطوبة بين الفترتين 1985-1960 و 1985-2010 للموسم الماطر والربيع تبعاً لمؤشر RAI في المحطات الساحلية المدروسة.

5 - دراسة الامتداد المكاني للجفاف وتغيراته في المنطقة الساحلية

يظهر الشكل 5 الامتداد المكاني للجفاف والرطوبة ضمن مجالات مختلفة الشدة خلال الشتاء والربيع والموسم الماطر، ويُلاحظ أن الجفاف المتطرف والشديد يتكرر في المنطقة الساحلية خلال مختلف الفترات بما فيها فصل الشتاء الذي شمل فيه الجفاف متطرف الشدة جميع المحطات خلال الموسمين (1973/1972 و 1989/1988)، وخمس محطات خلال الموسم (2007/2006)، الأمر الذي انعكس على جفافية الموسم الماطر، إذ شمل الجفاف المتطرف جميع المحطات في الموسم (1973/1972). يُلاحظ من جهة أخرى أن الجفاف يمكن أن يتكرر لعدة مواسم متتالية في كامل المنطقة الساحلية كما حدث في المواسم الثلاثة الممتدة من عام 1988 حتى 1991.

يتضح من الشكل 5 التغير الواضح في نظام الهطل في المنطقة من خلال تناقص الرطوبة الشديدة والمتطرفة، والتي شملت جميع المحطات في بعض المواسم خلال النصف الأول من فترة الدراسة، كما هو الحال بالنسبة للموسمين 1963/1962 و 1969/1968، وازداد الجفاف ضمن المجالات مختلفة الشدة منذ عام 1988، ولاسيما خلال فصل الربيع. كذلك يُلاحظ وجود تواتر معين لتكرار الجفاف المتطرف والشديد ضمن فترة تتراوح بين 16 إلى 18 عاماً.

يتضح من خلال النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث وجود تغير واضح في خصائص الجفاف في المنطقة الساحلية، يتجلى في زيادة شدة وتكرار هذه الظاهرة وامتدادها المكاني، ولاسيما خلال فصل الربيع، الأمر الذي سيكون له انعكاسات سلبية مباشرة على الموارد المائية والنظم البيئية الزراعية والحرجية. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Hoerling وزملاؤه (2012)، والتي أكدت زيادة شدة وتكرار الجفاف خلال العقدين الأخيرين في منطقة المتوسط.



الشكل 5. عدد المحطات المتأثرة بالجفاف والرطوبة ضمن مجالات مختلفة الشدة تبعاً لمؤشر RAI خلال الفترة من 1960 إلى 2010 في المنطقة الساحلية للشتاء والربيع والموسم الماطر.

تعد أمطار الشتاء المصدر الرئيس لرطوبة التربة في النظم البيئية المتوسطة بسبب كميات الأمطار المرتفعة خلال هذا الفصل والمترافقة مع مستويات متدنية للتبخير- نتح الممكن، لذلك فإن زيادة شدة وتكرار الجفاف خلال الشتاء يمكن أن يؤثر بشكل كبير في إتاحة الماء بالنسبة لمختلف النظم البيئية، ولاسيما إذا ترافق جفاف الشتاء خلال موسم معين بجفاف لاحق خلال الربيع، الأمر الذي يؤثر في إنبات البذور وبقاء البادرات (Lloret وزملاؤه، 2005)، وفي نمو الأشجار الحراجية مؤدياً إلى تراجع انتاجيتها (Reichstein وزملاؤه، 2002؛ Granier وزملاؤه، 2007؛ Van Der Molen وزملاؤه، 2011)، ولاسيما أن الأشجار الحراجية في المناطق المتوسطة تحصل على احتياجاتها المائية في نهاية الربيع وبداية الصيف من طبقة التربة العلوية حتى عمق 1 متر، وخلال الفترة من بداية الصيف حتى منتصفه من الطبقة الوسطى حتى عمق 2 متر، في حين تحصل على معظم احتياجاتها خلال الفترة من منتصف الصيف حتى نهايته من الطبقات العميقة حتى 4 متر (Rambal وزملاؤه، 2003؛ Bréda وزملاؤها، 2006)، من جهة أخرى فإن زيادة شدة جفاف الربيع يمكن أن تؤدي إلى الجفاف المبكر لفرشة الغابة، وزيادة كميات الوقود القابل للاشتعال، ما يعزز خطر نشوب وانتشار حرائق الغابات (Pausas وزملاؤه، 2004).

إن الزيادة الواضحة في تكرار الجفاف متطرف الشدة يمكن أن يضعف الأشجار الحراجية مؤدياً إلى زيادة حساسيتها للإصابة بالأمراض (Desprez-Loustau وزملاؤه، 2006)، والحشرات (Rouault، 2006؛ Lhoutellier و Staudt، 2007)، أو التعرض للفشل الهيدروليكي بسبب تشكل الفجوات الهوائية في الأوعية الناقلة (Zeugin و Zweifel، 2008؛ Resco وزملاؤه، 2009)، أو عجز الكربون بسبب تراجع التمثيل الضوئي أمام التنفس مع استمرار الإجهاد المائي (Mc Dowell و Sevanto، 2010)، الأمر الذي قد يؤدي إلى موت بعض الأنواع الحراجية في الكثير من المواقع.

نظراً لاختلاف حساسية الأنواع النباتية تجاه الجفاف، وكذلك حجم الأشجار فإن موت الأشجار الحراجية بتأثير هذه الظاهرة يمكن أن يعدل في غنى الأنواع، وأن يؤثر في التكوين النوعي للنظام البيئي الحراجي ودوره الوظيفي (Mueller وزملاؤه، 2005)، إذ أن موت الأشجار يمكن أن يتداخل مع ديناميكية المجتمعات النباتية من خلال التأثير في قدرة الأنواع على التجدد، الأمر الذي قد يهدد استدامة النظام البيئي الحراجي (Van Mantgem وزملاؤه، 2009)، وقد يكون له تأثيرات هيدرولوجية عميقة تفوق في بعض المناطق التأثيرات المباشرة لتغير المناخ (Adams وزملاؤه، 2012).

الاستنتاجات

- 1 - أظهرت النتائج التباين الكبير في كميات وتوزعات الهطل بين الفصول والمواسم في مختلف أجزاء المنطقة الساحلية.
- 2 - بينت النتائج أن الجفاف يتكرر بنسب مرتفعة تزيد عن 40 % في معظم أجزاء المنطقة الساحلية.
- 3 - بينت النتائج أن الجفاف متطرف الشدة قد يشمل أجزاء المنطقة الساحلية كافة في بعض المواسم، كما أن الجفاف الشديد إلى متطرف الشدة قد يتكرر لثلاثة مواسم متتالية في المنطقة.
- 4 - أكدت النتائج على وجود زيادة واضحة في شدة جفاف الموسم الماطر في أجزاء المنطقة الساحلية كافة، بسبب الزيادة في شدة جفاف الشتاء، والزيادة الحادة والمعنوية في شدة جفاف الربيع.
- 5 - أظهرت النتائج الزيادة الواضحة في تكرار الجفاف المتطرف لكل من الربيع والموسم الماطر خلال العقدين الأخيرين في أجزاء المنطقة الساحلية كافة، مقابل التناقص الواضح في تكرار كميات الهطل المرتفعة.
- 6 - إن الزيادة الواضحة في شدة وتكرار الجفاف في المنطقة الساحلية لا بد أن يكون له تأثيرات عميقة في النظم البيئية الحراجية والموارد المائية، الأمر الذي سيشكل تحدياً أمام إدارة هذه الموارد في المستقبل.

المقترحات

- 1 - إن النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث يمكن أن تساعد على إدارة الموارد المائية والزراعية والحراجية في المنطقة الساحلية، إذ أن الاتجاه الواضح نحو زيادة شدة وتكرار الجفاف يتطلب تطوير تقانات حصاد المياه، ولاسيما في النظم البيئية الزراعية الحراجية لتقليل الجريان السطحي والانجراف، وزيادة المخزون المائي المتاح في التربة. من جهة أخرى فإنه لا بد من تقليل الهدر في مياه الري من خلال تحديد المقننات المائية للمحاصيل والأشجار المثمرة، واستخدام تقانات الري الحديثة، كالري بالتنقيط.
- 2 - ضرورة التوسع في دراسة تغير خصائص الجفاف لتشمل مناطق سورية كافة، وباستخدام المؤشرات المختلفة، وتطوير نظام مراقبة للجفاف من أجل وضع الاستراتيجيات الكفيلة بالاستعداد له وتخفيف آثاره بدلاً من معالجة نتائجه، ولاسيما وأنه ظاهرة طبيعية ومتكررة يزداد خطرها يوماً بعد آخر.

المراجع

- Adams, H. D., C. H., Luce, D.D. Breshears, C.D. Allen, M. Weiler, V.C. Hale, A. Smith, and T.E. Huxman. 2012. Ecohydrological consequences of drought- and infestation triggered tree die-off: insights and hypotheses. *Ecohydrology* 5: 145–159
- Allen, C. D., A.K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D.D. Breshears, E.H. Hogg, P. Gonzalez, R. Fensham, Z. Zhang, J. Castro, N. Demidova, J.H. Lim, G.R. Allard, S.W. Running, A. Semerci and N. Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.* 259(4):660–684.
- Andersen, T., J. Carstensen, E. Hernández-García and C.M. Duarte. 2009. Ecological thresholds and regime shifts: approaches to identification. *Trends Ecol.* 24(1):49–57.
- Arnone, J.A., P.S.J. Verburg, D.W. Johnson, J.D. Larsen, R.L. Jasoni, A.J. Lucchesi, C.M. Batts, C. Von Nagy, W.G. Coulombe, D.E. Schorran, P.E. Buck, B.H. Braswell, J.S. Coleman, R.A. Sherry, L.L. Wallace, Y. Luo and D.S. Schimel. 2008. Prolonged suppression of ecosystem carbon dioxide uptake after an anomalously warm year. *Nature* 455(7211):383–386.
- Battaglia, M., M.L. Cherry, C.L. Deadle, P.J. Sands and A. Hingston. 1998. Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effect of water stress and temperature, *Tree Physiol.*, 18:521–528.
- Bonan, G. B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882): 1444– 1449.
- Bréda, N. and V. Badeau. 2008. Forest tree responses to extreme drought and some biotic events: Towards a selection according to hazard tolerance? *C. R. Geosciences* 340:651–662.
- Bréda, N., R. Hu, A. Granier and E. Dreyer. 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of

- ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.*, 63:625–644.
- Breshears, D.D., O.B. Myers, C.W. Meyer, F.J. Barnes, C.B. Zou, C.D. Allen, N.G. McDowell and W.T. Pockman. 2009. Tree die-off in response to global-change-type drought: mortality insights from a decade of plant water potential measurements. *Frontiers in Ecology and Environment*, 7:185–189.
 - Chapin, F.S., J.T. Randerson, A.D. McGuire, J.A. Foley and C.B. Field. 2008. Changing feedbacks in the climate–biosphere system. *Front. Ecol. Environ*, 6(6): 313–320.
 - Dai, A. 2011. Drought under global warming: a review, *WIREs Climate Change*, 2:45-65.
 - Desprez-Loustau, M.L., B. Marçais, L.M. Nageleisen, D. Piou and A. Vannini. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science*, 63:597–612.
 - Easterling, D.R., G.A. Meehl, C. Parmesan, S.A. Changnon, T.R. Karl and L.O. Mearns. 2000. Climate extremes: Observations, modeling, and impacts, *Science*, 289:2068–2074.
 - Goldstein, A.H., N.E. Hultman, J.M. Fracheboud, M.R. Bauer, J.A. Panek, M. Xu, Y. Qi, A.B. Guenther and W. Baugh. 2000. Effects of climate variability on the carbon dioxide, water, and sensible heat fluxes above a ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada (CA). *Agric. For. Meteorol.*, 101:113–129.
 - Granier, A., M. Reichstein, N. Bréda, I.A. Janssens, E. Falge and P. Ciais. 2007. Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year 2003. *Agric. For. Meteorol.*, 143:123–145.
 - Gutschick, V.P. and H. Bassiriad. 2003. Extreme events as shaping physiology, ecology, and evolution of plants: toward a unified definition and evaluation of their consequences. *New Phytol.*, 160: 21–42.
 - Heim, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1149–1165.
 - Hoff, C., and S. Rambal. 2003. An examination of the interaction between climate, soil and leaf area index in a *Quercus ilex* ecosystem. *Ann. For. Sci.*, 60:153–161.
 - Hoerling, M., J. Eischeid, J. Perlwitz, X.-W. Quan, T. Zhang, P. Pegion. 2012. On the Increased Frequency of Mediterranean Drought, *J. Climate*, 25: 2146-2161.
 - Huntington, T.G. 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *J. Hydrol.*, 319:83–95.
 - Jentsch, A., J. Kreyling and C. Beierkuhnlein. 2007. A new generation of climate change experiments: events, not trends. *Front. Ecol. Environ.*, 5: 365–374.
 - Katz, W.R. and G. Brown. 1992. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Clim. Change*, 21: 289–302.
 - Krishnan, P., T.A. Black, N.J. Grant, A.G. Barr, E.H. Hogg, R.S. Jassal and K. Morgenstern. 2006. Impact of changing soil moisture distribution on net ecosystem productivity of a boreal aspen forest during and following drought. *Agric. For. Meteorol.*, 139:208–223.
 - Law, B.E., E. Falge, and L. Gu. 2002. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. *Agric For Meteorol.*, 113:97–120.
 - Le Dantec, V., E. Dufrene and B. Saugier. 2000. Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands. *For. Ecol. Manage.*, 134:71–81.
 - Lloret, F., J. Peñuelas and M. Estiarte. 2005. Effect of vegetation canopy and climate on seedling recruitment in a Mediterranean Shrubland. *Journal of Vegetation Science* 16:67-76.
 - McDowell, N., W.T. Pockman, C.D. Allen, D.D. Breshears, N. Cobb, T. Kolb, J. Plaut, J. Sperry, A. West, D.G. Williams, and E.A. Yezpe. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytol.*, 178 (4):719–739.

- McDowell, N.G., and S. Sevanto. 2010. The mechanisms of carbon starvation: how, when, or does it even occur at all? *New Phytol.*, 186 (2):264–266.
- McDowell, N.G., R. Fisher, C. Xu, J.C. Domec, T. Höltta, D.S. Mackay. 2013. Evaluating theories of drought-induced vegetation mortality using a multi-model-experiment framework. *New Phytologist*, 200: 304–321.
- Mueller, R.C., C.M. Scudder, M.E. Porter, R. Talbot Trotter, C.A. Gehring and T.G. Whitham. 2005. Differential tree mortality in response to severe drought: evidence for long-term vegetation shifts. *J. Ecol.*, 93(6):1085–1093.
- Olapido, E.O. 1985. A comparative performance of three meteorological drought indices. *Journal of Climatology*, 5: 655-664.
- Palmer, T. N. and J. Räisänen. 2002. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, 415: 512-514
- Pausas, J.G., R.A. Bradstock, D.A. Keith and J.E. Keeley. 2004. Plant functional traits in relation to fire in crown-fire ecosystems. *Ecology*, 85:1085–1100.
- Rambal, S., J.M. Ourcival, R. Joffre, F. Mouillot, Y. Nouvellon, M. Reichstein, and A. Rocheteau. 2003. Drought controls over conductance and assimilation of a Mediterranean evergreen ecosystem: scaling from leaf to canopy, *Glob. Change Biol.*, 9:1813–1824.
- Reichstein, M., J.D. Tenhunen, O. Roupsard, J.M. Ourcival, S. Rambal, F. Miglietta, A. Peressotti, M. Pecchiari, G. Tirone and R. Valentini. 2002. Severe drought effects on ecosystem CO₂ and H₂O fluxes at three Mediterranean evergreen sites: revision of current hypotheses? *Global Change Biology*, 8(10):999–1017.
- Rennenberg, H., F. Loreto, A. Polle, F. Brillì, S. Fares, R.S. Beniwal and A. Gessler. 2006. Physiological responses of forest trees to heat and drought. *Plant Biology*, 8:556–571.
- Resco, V., B.E. Ewers, W. Sun, T.E. Huxman, J.F. Weltzin, and D.G. Williams. 2009. Drought-induced hydraulic limitations constrain leaf gas exchange recovery after precipitation pulses in C₃ woody legume, *Prosopis juliflora*. *New Phytologist*, 181:672-682.
- Rouault, G., J.N. Candau, F. Lieutier, L.M. Nageleisen, J.C. Martin, and N. Warzee. 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the drought in Western Europe, *Ann. Sci. For.*, 63:611–622.
- Sala, A., F. Piper, and G. Hoch. 2010. Physiological mechanisms of drought-induced tree mortality are far from being resolved. *New Phytol.*, 186 (2):274–281.
- Scheffer, M. and S.R. Carpenter. 2003. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecol. Evol.*, 18:648.
- Schwalm, C.R., C.A. Williams, K. Schaefer, A. Arneeth, D. Bonal, N. Buchmann, J.Q. Chen, B.E. Law, A. Lindroth, S. Luysaert, M. Reichstein and A.D. Richardson. 2010. Assimilation exceeds respiration sensitivity to drought: A FLUXNET synthesis *Global Change Biology*, 16 (2):657–670.
- Seager, R., N. Naik and G. A. Vecchi. 2010. Thermodynamic and dynamic mechanisms for large-scale changes in the hydrological cycle in response to global warming. *J. Climate*, 23: 4651–4668.
- Sheffield, J., and E. F. Wood. 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Clim. Dyn.*, 31:79–105.
- Smith, M. D. 2011. The ecological role of climate extremes: current understanding and future prospects. *J. Ecol.*, 99:651–655.
- Staudt, M., and L. Lhoutellier. 2007. Volatile organic compound emission from Holm oak infested by Gypsy moth larvae - evidence for distinct responses in damaged and undamaged leaves. *Tree Physiology*, 27:1433–1440.
- Van der Molen, M.K., A.J. Dolman, P. Ciais, T. Eglin, N. Gobron, B.E. Law, P. Meir, W. Peters, O.L. Phillips, M. Reichstein, T.

- Chen, S.C. Dekker, M. Doubková, M.A. Friedl, M. Jung, B.J.J.M. Van den Hurk, R.A.M. de Jeu, B. Kruijt, T. Ohta, K.T. Rebel, S. Plummer, S.I. Seneviratne, S. Sitch, A.J. Teuling, G.R. Van der Werf, and G. Wang. 2011. Drought and ecosystem carbon cycling. *Agric. For. Meteorol.*, 151(7):765–773.
- Van Rooy, M. P. 1965. A rainfall anomaly index independent of time and space, *Notos* 14: 43-48
 - Van Mantgem, P.J, N.L. Stephenson, J.C. Byrne, L.D. Daniels, J.F. Franklin, and P.Z. Fule. 2009. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science* 323: 521–524.
 - Westerling A.L, H.G. Hidalgo, D.R. Cayan, and T.W. Swetnam. 2006. Warming and earlier spring increases western U.S. forest wildfire activity. *Science* 313:940–943.
 - Zeppel, M.J.B., H.D. Adams and W.R.L. Anderegg. 2011. Mechanistic causes of tree drought mortality: recent results, unresolved questions and future research needs. *New Phytol.*, 192(4):800–803.
 - Zweifel, R., and F. Zeugin. 2008. Ultrasonic acoustic emissions in drought-stressed trees-more than signals from cavitation, *New Phytologist*, 179: 1070–1079.

N° Ref: 554