تحديد الجفاف المناخيّ بواسطة مؤشّر المتساقطات الموحّد (Standardized Precipitation Index) في محافظة بعلبك الهرمل

فراس العس*

الملخص

يمكن تعريف الجفاف بأنه فترة من نقص المياه ، تكون قصيرة أو طويلة، ولكنها كافية لتؤثّر على المجاري المائية والتربة والنباتات. قد تكون هذه الظاهرة دورية، أو استثنائية، وقد يشتمل أثر هذه الظاهرة على مساحات مختلفة ومناطق جغرافية كبيرة من العالم، ومع ذلك، فإن تعريف حالة الجفاف ليس فكرة مطلقة، بل تختلف باختلاف مناطق العالم ومواردها المائية. يحلّل هذا البحث التباين المكانيّ والزمانيّ للجفاف في فصل الشتاء في بعلبك – الهرمل (منطقة جغرافية لبنانية داخلية قليلة الأمطار نسبياً، تقع في الجزء الشمالي من البقاع) بين عامي ١٩٦٦ و ٢٠١٩ وذلك باستخدام مؤشر هطول الأمطار الموحّد او القياسيّ(SPI) على المستوى الفصليّ والسنويّ مقياس ٥٣ عامًا. تشير النتائج إلى أن أهمّ فترات الجفاف من حيث الكثافة والمدّة التي حدثت خلال الفترات ١٩٧٨– ١٩٨٧ و ٢٠١٧/١٩٩٧ تمّ تعميمها في جميع محطات المنطقة مع حدّ أدنى من SPI بلغ – ١,٩٩ وتشير النتائج الى ارتباط هذا الجفاف في الشتاء بهيمنة الدورة الهوائية الجافّة، فالتغيرات الفصلية في التيار العلويّ النفاث تؤدي إلى تتابع الفصول، أما تغيّر سرعته خلال الفصل الممطر فتؤدي الى تتابع نماذج الطقس المضطرب والمستقرّ.

الكلمات المفاتيح: الجفاف، مقياس الجفاف الموحّد، التيار النفاث، بعلبك –الهرمل.

*الجامعة اللبنانية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية

المقدمة

كثرت في الآونة الاخيرة وخاصّة في النصف الثاني من القرن العشرين، والنصف الأول من القرن الحاليّ السيناريوهات والأبحاث التي تتحدّث عن ظاهرة الجفاف في أنحاء متعددة من العالم، بالإضافة إلى ارتفاع درجات حرارة الأرض بسبب الاحتباس الحراريّ، و تزايد النشاط الصناعيّ والاحتراق الأحفوري، وما يتبع ذلك من نتائج وظواهر طبيعية عديدة، منها التغيّر المناخي وتغيّر الدورة الهوائية العامّة، وما يسبّبه ذلك من تغيّر لنوعيّة المتساقطات وكميّتها على مستوى الكرة الأرضية، وبالتالي حدوث الفيضانات في مناطق معيّنة وتراجع كبير في كمية المتساقطات في مناطق أخرى مما يهدّدها بالجفاف (Watson et al 1997).

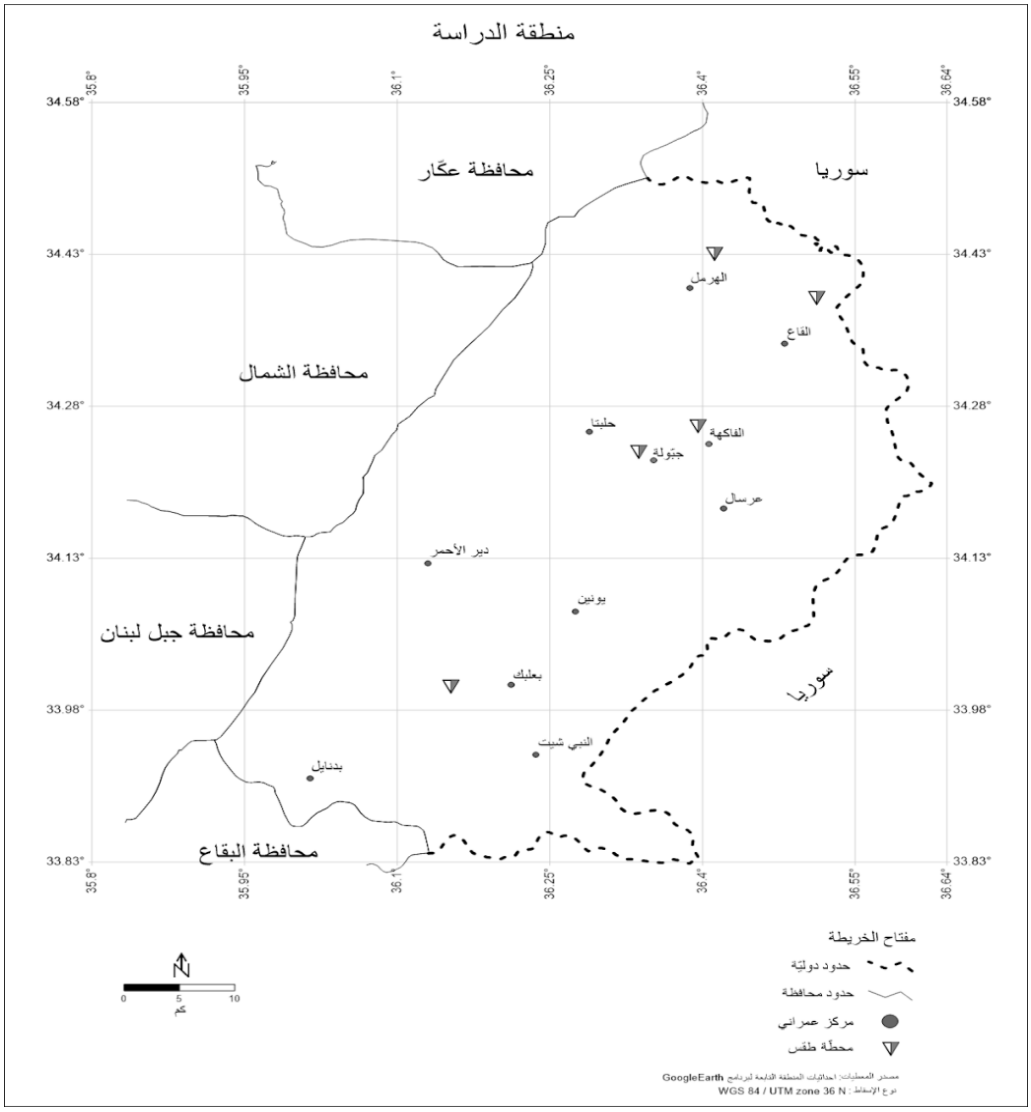
يعرَّف الجفاف الميتورولوجي بأنه عجز (Deficit) أو نقص في المتساقطات عن المعدّل العامّ وذلك لفترة طويلة قد تمتدّ لأشهر أو سنوات، وهذا النقص قد يكون محدداً في الزمان والمكان، (Punctual) وقد يكون دورياً(periodic)، الأمر الذي يمكن أن يؤثّر على القطاعات الاقتصادية (زراعة – تجارة – خدمات)، وهذا ما يسمّى بالجفاف الاقتصادي الاجتماعي (Drought Socioeconomic) وذلك بحسب المنظمة الدولية للرصد الجويّ (World Meteorological Organization 1990). بالإضافة إلى التأثير على المياه السطحيّة (مياه الانهار والبحيرات) أو على المياه الجوفية (الخزانات الجوفية والآبار الارتوازية) وهذا ما يسمّى بالجفاف الهيدرولوجي (Hydrological Drought).

من هنا تطرح إشكالية تحديد مفهوم الجفاف، وطرق قياسه، وتحديد أسبابه، من أجل اتّخاذ الإجراءات للوقاية منه والحدّ من تأثيراته ونتائجه السلبيّة. ولا بدّ من الإشارة إلى أنّ الفارق بين الجفاف (Drought) والقحولة (Aridity) كبير،ففي حين تعتبر الأولى حالة طارئة ومحددة، فإن القحولة أو المناطق القاحلة تعرّف بأنها المناطق التي تتلقّى ما بين ٥٠ و ١٥٠ ملم من الأمطار التي تهطل كل عام ضمن مناخ مستمرّ، وفي المناطق شديدة القحولة، لا يتجاوز هطول الأمطار ١٥ ملم في السنة في المتوسط.

تظهر الدراسات حول تغيّر المناخ في لبنان، ومنطقة الشرق الأوسط تراجعاً في كمية المتساقطات، يترافق ذلك مع تغيرية كبيرة في الزمان والمكان، بالإضافة إلى زيادة في درجات الحرارة وتواتر ملحوظ في فترات الجفاف في العقود الأخيرة (Traboulsi 2004;2009;2010). إن الاتّجاه السلبي في قيم مؤشر الجفاف الموحد SPI في منطقة بعلبك الهرمل يجب أن يتوافق مع زيادة تواتر نماذج الطقس الشرقية (E، S)، والتي من المحتمل أن تسبّب الجفاف في هذه المنطقة.

١. منطقة الدراسة

تقع منطقة بعلبك– الهرمل في شمال شرق لبنان على مساحة تقدّر ب ٣٠٠٩ كلم مربع أي ٣٠% من مساحة لبنان (Gwillim 2017)، يبلغ عدد السكان ٤١٦,٤٢٧ نسمة (الإحصاء المركزي، ٢٠١٩)، تمتدّ هذه المحافظة بين سلسلتي جبال لبنان الشرقية والغربية (الخريطة رقم ١). يحدّها من الشمال والشرق أراضي الدولة السورية، ومن الجنوب البقاع الأوسط، أمّا من الغرب فتحدّها أراضي المحافظات الثلاث عكار والشمال وجبل لبنان، تشكّل أراضي المنطقة سهلاً متضرّسا يتراوح ارتفاعه بين ٨٠٠ و ١٠٠٠ متر (Sanlaville ,1963) عن سطح البحر، ويبلغ أعلى ارتفاع له ١١٠٠م عند بلدة شعت، أو ما يسمّى عتبة بعلبك، وهي خطّ تقسيم المياه بين نهر العاصي الأغزر في لبنان، والذي يجري لمسافة ٤٥ كلم قبل أن يدخل الأراضي السورية والتركية ويصبّ في البحر المتوسط، ونهر الليطاني النهر الأطول ١٣٠ كلم، والذي يخترق سهل البقاع وينحرف عن بلدة القاسمية ليصبّ أيضاً في البحر الأبيض المتوسط ، يُعتبر هذان النهران مع روافدهما، شرياني الحياة الأهم للمنطقة سواء من الناحية الاقتصادية أو على مستوى مياه الريّ والشفة وتوليد الطاقة الكهربائية، ومن الممكن أن تشكّل هذه الثروة المائية لو استغلت بالشكل المطلوب مستقبل لبنان المائيّ والزراعيّ.

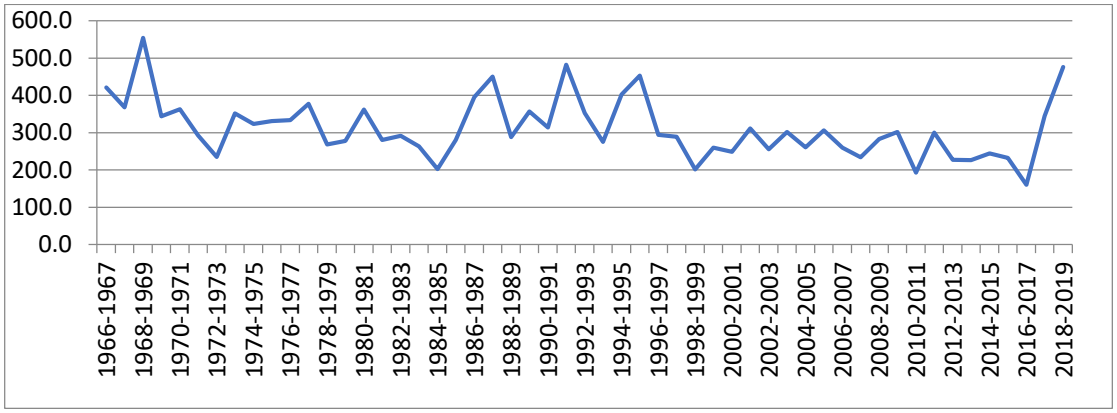


خريطة رقم ١: امتداد منطقة الدراسة وتوزّع محطّات الطقس المستعملة في البحث

وعلى الرغم من قلة المتساقطات في هذه المنطقة مقارنة بالمناطق الساحلية، إلا أنها تصنّف ضمن إطار سيطرة المناخ المتوسطي والذي يتميز بالفصول الأربعة، أي: فصلين رئيسيين، شتاء ممطر مع انخفاض في درجات الحرارة يمتدّ من تشرين حتى أيار (إختلاف كمية المتساقطات بين سنة وأخرى رسم بياني رقم ١)، وصيف جافّ حارّ نسبياً (Bolle, 2002)، وفصلين انتقاليين هما الخريف والربيع، و يتأثر لبنان بعدّة عوامل تلعب الدور الرئيسيّ في تحديد مناخه، منها :

- موقعه على خطوط العرض (على الهوامش الشمالية للصحراء العربية الكبرى من جهة، وجنوب المنطقة المعتدلة من جهة أخرى) (Traboulsi, 2010).
- يحدّه من الغرب البحر الأبيض المتوسط وهو بحر دافئ نسبياً" وشبه مغلق، وهذا ما يجعله موئلاً" للاضطرابات الجوية عند وصول كتل هوائية باردة فوقه (Traboulsi, 2019).

- وجود سلسلتين جبليتين متوازيتين مع الامتداد الساحليّ، بحيث يتلقّى الجزء المواجه للبحر والرياح الغربية الممطرة كميّة متساقطات تفوق الـ ١٠٠٠ ملم، تسجّل محطّة اللقلوق كميات تفوق ١٥٠٠ ملم، إن المنطقة المتوسطية بشكل عامّ تتأثر بالرياح الغربية وخاصة التيار النفاث العلويّ، والذي عندما يكون نطاقياً يكون التبادل الحراريّ بين العروض العليا والعروض الدنيا قليلاً، أمّا عندما يكون متعرّجاً فإنه يرسم أوديةً باردة ورؤوساً حارّة، يسبّب تتابعها في الطبقات العليا تتابعاً لنماذج الطقس المستقرّ والطقس والمضطرب فوق المنطقة المتوسطية في فصل الشتاء.



رسم بياني رقم ١ يوضح تطوركمية المتساقطات السنوية في محطات المنطقة المدروسة

إنّ ما يميز منطقة بعلبك الهرمل تحديداً هو وقوعها في ظلّأعلى قمم سلسلة جبال لبنان الغربية عكار والمكمل، والتى قد تصل إلى أكثر من ٣٠٠٠ م (القرنة السوداء ٣٠٣٨ م) (Sanlaville P;1969)، الأمر الذي يحجب عنها المؤثّرات البحرية والرياح الغربية الممطرة بشكل كبير، ويتسبّب بسخونة الهواء (رياح الفوهن) وذلك لهبوطه، وبالتالي جفافه بعد فقدانه أغلب رطوبته عند السفوح الغربية لسلسلة جبال لبنان الغربية، لذلك :

- تنخفض كميّة المتساقطات مع ارتفاع السلسلة الغربية بالاتّجاه شمالاً فتسجل محطّة بعلبك ٤١٠ ملم (Atlas climatique; ١٩٦٩) وإلى ما دون الـ ٣٠٠ ملم فتسجّل محطّة الهرمل ٢٤٠ ملم، وتتناقص هذه الأمطار كلّما اتّجهنا شرقاً حيث يغلب الطابع القاري. وبالتالي فإن أنماط تساقط الأمطار في المنطقة المدروسة لها عوامل مختلفة وخصائص محدّدة، ولا سيما التساقط الشهريّ والفصليّ والسنويّ، الذي يعتمد مع العوامل العامّة على بعض العوامل المحليّة، وبالتالي يصبح التباين بين السنوات المطريّة مرتفعاً جداً، وهي السمة الرئيسية التي تميّز مناخ منطقة بعلبك الهرمل.
- إنّ النظام الحراريّ يتميّز بوجود فروقات حراريّة كبيرة، سواء كانت يومية أو فصلية أو سنوية، هذا بالإضافة إلى انخفاض كبير في الرطوبة الجوية وخاصّة في فصل الصيف.

٢. تقنيات البحث

تعتبر مشكلة البيانات المناخية في لبنان من أكبر المشاكل التي تواجه الباحث نظراً لضياع الكثير من المعطيات خلال الحرب الأهلية،أو بسبب قلّة المحطات المناخية من جهة، وضعف صيانة وتأهيل وتجهيز المحطات الموجودة... وبالاعتماد على محطات الأرصاد الجوية اللبنانية، وخاصّة محطات مصلحة الأبحاث الزراعية تمّ استخدام المعطيات لخمس محطات مناخية في بعلبك الهرمل خلال ٥٣ سنة، هذه المحطات هي محطة دورس – محطة جبولة – محطة الفاكهة – محطة الهرمل– محطة القاع. ولمعالجةالبيانات والمعطيات المناخية وتصحيحها سيتمّ اعتماد الطرق الإحصائية التالية:

- **معامل الارتباط** (Correlation Coefficient): هذه الطريقة تعتمد على الارتباط الطولي الذي يقيس قوة العلاقة بين المتغيرات الإحصائية (متغيرين أو أكثر) ومربع هذا المعامل يمثّل قيمة الجزء المفسّر من العلاقة بين المتغيرات الإحصائية (Determination Coefficient).
- **الانحدار الخطي** (Linear Regression): إن العلاقة بين متغيّرين يعبّر عنها بخط الانحدار الذي يلخّص العلاقة بينهما . وأفضل تمثيل هو الخطّ الذي يلخّص أفضل انتشار للغيمة الإحصائية حوله.
- **مؤشر الجفاف الموحّد** (Standardized Precipitation Inde SPI): يعتمد مؤشّر هطول الأمطار الموحّد (SPI) على احتساب إحصاءات هطول الأمطار لفترة طويلة (٣٠ سنة على الأقل). تمّ تطوير هذا المؤشر SPI في عام ١٩٩٣ من قبل (Kleist , McKee, Doesken) من جامعة ولاية كولورادو لتحديد النقص في هطول الأمطار. وهو فعّال أيضاً في تحليل الفترات والدورات الرطبة، أو الفترات والدورات الجافّة.

ويمكن حسابه لعدّة مقاييس زمنية (شهر– شهرين– ستة أشهر– سنة ..) تم حساب هذا المؤشر بواسطة المعادلة التالية: $SPI = (X - \bar{X}) / \sigma$

بحيث تعتبر: X هي قيمة المتساقطات السنوية أو الشهرية أو الفصلية في محطّة معيّنة.

- $\bar{X}$ هي المتوسط (Average).
- σ هي الانحراف المعياري (Standard Deviation).

جدول رقم ١: احتمال حدوث فئات الجفاف حسب (McKee et al 1993)

فئة SPI	عدد المرات	من أصل ١٠٠	احتمال الحدوث Occurrence
٠ إلى –٠,٩٩	جفاف خفيف (Mild dryness)	٣٣	مرة واحدة كل ٣ سنوات
من –١,٠٠ إلى – ١,٤٩	جفاف معتدل Moderate dryness)	١٠	مرتين كل ١٠ سنوات
من –١,٥ إلى – ١,٩٩	جفاف شديد (Severedryness)	٥	٣ مرات كل ٢٠ سنة
–> ٢	جفاف متطرف Extreme dryness	٢	٤ مرات كل ٥٠ سنة

* ملاحظة : ينبغي أن تكون $\bar{X}$ و σ قيمة ثابتة لجميع الحسابات في سلسلة هطول الأمطار (أي محطة) يجب أن تتراوح القيم من "إيجابي (رطب) إلى سلبي (جاف)" ؛ تعتبر السنوات ذات القيم التي تتراوح من +٠.٩٩ إلى ٠,٩٩ سنوات عادية أو قريبة من المعدل بناءً على (McKee et al 1993) ويمكن أيضاً من خلال قيم ال (SPI) مراقبة الفترات الجافة والرطبة وتكرارها جدول رقم (٢).

جدول رقم ٢: تصنيف المناخ بحسب الـ SPI المعتمد منالمنظمة الدولية للأرصاد الجوية (OMM)

تصنيف المناخ	قيمة مؤشر المتساقطات الموحد SPI
جاف للغاية (Extremely dry)	$SPI \leq -2$
جاف بشدة (Severelydry)	من –١,٥ حتى –١,٩٩
جاف معتدل (Moderately Dry)	من –١ حتى –١,٤٩
قرب المعدل الطبيعي (Near normal)	من –٠,٩٩ حتى +٠,٩٩
رطب معتدل (Moderately Wet)	من ١ حتى ١,٤٩

رطب بشدة (Very wet)	من ١,٥ حتى ١,٩٩
رطب للغاية (Extremely wet)	SPI ≥ 2

المتوسّطات المتحرّكة (Moving– Average): هي نوع من أنواع المتوسطات الإحصائية المستخدمة لتحليل سلسلة من البيانات المطلوبة، غالبًا ما تكون السلاسل الزمنية، عن طريق كبح التقلبات العابرة لإبراز الاتّجاهات طويلة المدى.

يقال إن هذا المتوسط متحرك لأنه يتم إعادة حسابه باستمرار، وذلك باستخدام مجموعة فرعية من العناصر لكل عملية حسابية بحيث يستبدل فيها العنصر الأقدم بعنصر جديد أو يضاف إلى المجموعة الفرعية .

٣. نتائج وتحليل

إن احتساب قيم مؤشّر SPI لسلسلة من ٥٣ سنة مطرية في عدّة محطات في البقاع الشمالي تسمح بإجراء تحليل دقيق على مستوى المحطات المعنيّة ، وتقييم الاختلافات في هطول الأمطار السنوي وتسمح أيضاً بتحديد احتمال الحدوث وتكرار Probability ofrecurrence – جدول رقم (٣) – فئة معيّنة من الظروف المناخية، وقد تمّ احتساب قيم ال SPI على مستويين الأول سنوي (١٢ شهراً) والثاني فصلي (٤ أشهر) :

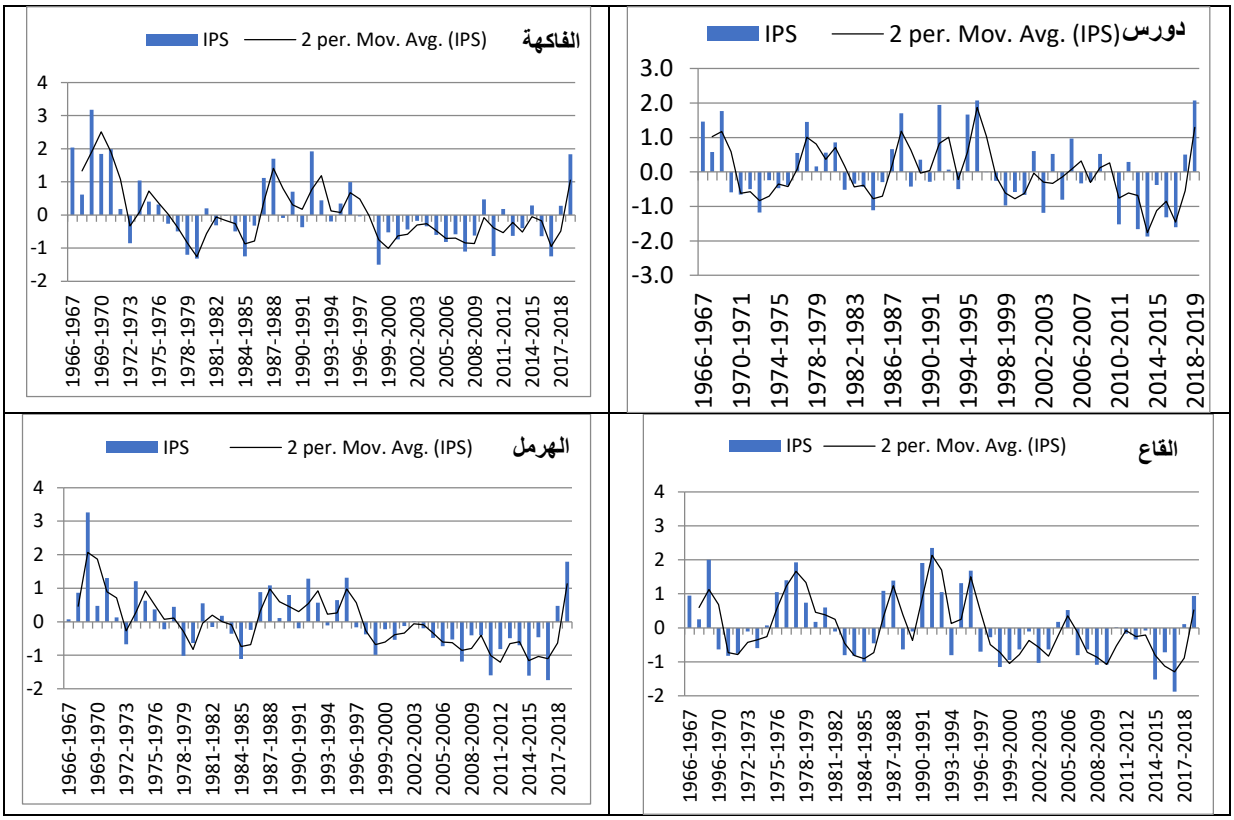
<u>على المستوى السنوي (١٢شهراً)</u>

– تظهر خريطة توزع مؤشر المتساقطات الموحد في منطقة الدراسة – خريطة رقم (٢) – تزايد فترات الجفاف بشكل تدريجي كلما توجهنا شمالاً" نحو منطقتي (القاع و الهرمل)، والسبب الأكيد هنا هو الارتفاع التدريجي للقمم الجبلية التي تصل إلى أقصى ارتفاع لها في شمال المنطقة المدروسة (عكار ٢٢٢٠م، جبل المكمل ٣٠٨٩م، جبل المنيطرة ٢٩١١م)، بالإضافة إلى اتّساعها أقل من ٣٠ كلم (Sanlaville, 1969) مشكّلة بذلك حاجزاً طبيعياً يمنع من جهة تدفّق المؤثّرات البحرية الرطبة إلى هذه المناطق، ومسبباً ظاهرة الفوهن من جهة أخرى، حيث يهبط الهواء باتّجاه المنطقة فتزداد حرارته، وتتباعد ذراته ويصبح قادراً على استيعاب كميات أعلى من الرطوبة،أي: إنه عملياً يصبح جافاً.

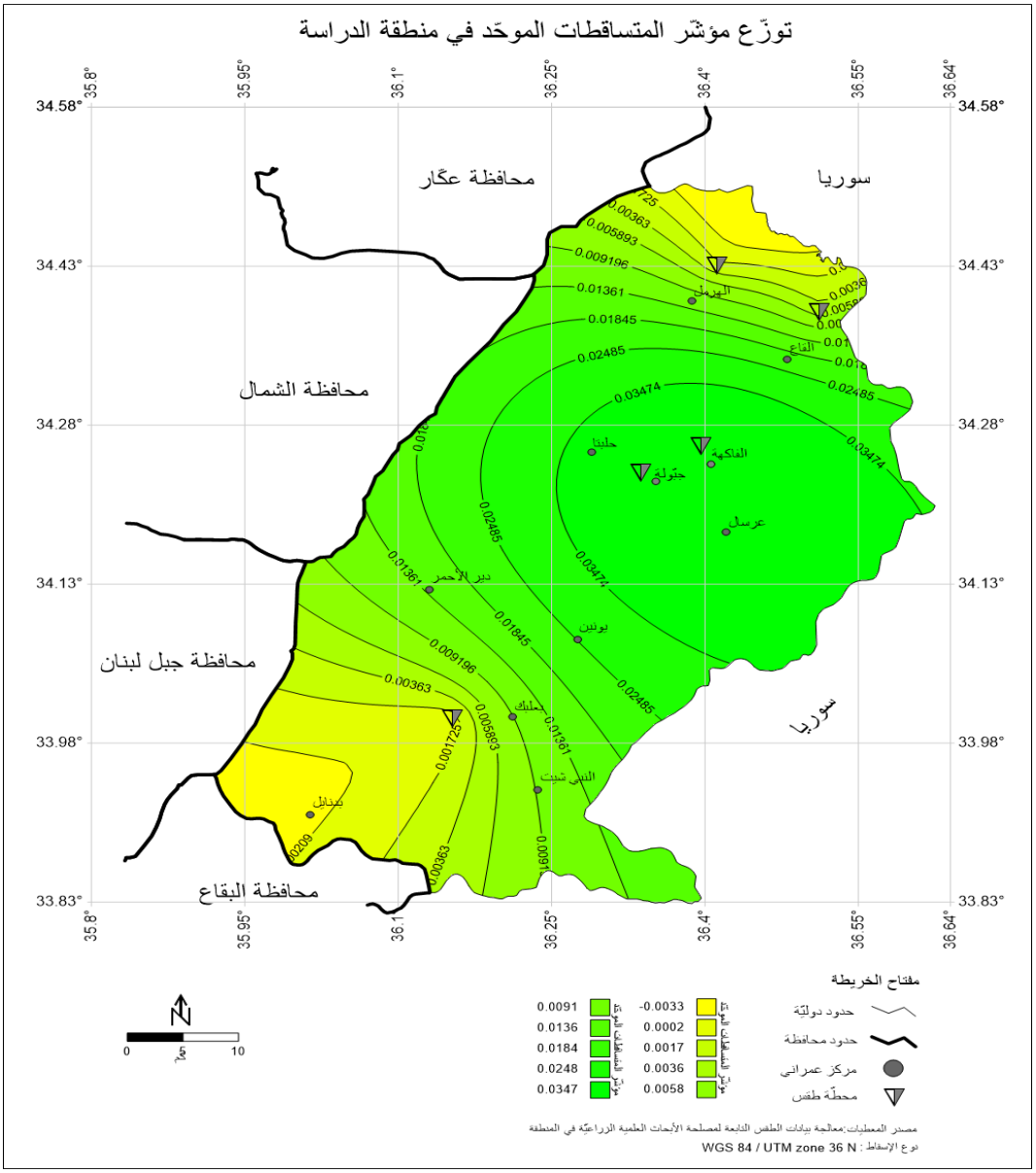
– تقلّ فترات الجفاف عند الاتّجاه شرقاً (الفاكهة – عرسال – يونين) نحو الحدود السورية، فتصبح قيم مؤشر المتساقطات الموحّد قريبة من المعدّل، ويعود السبب في ذلك إلى ارتفاع الهواء مجدداًبعد اصطدامه بالأقدام الغربية لسلسلة جبال لبنان الشرقية، وبالتالي تكاثفه وحدوث التساقط (أمطار تضاريسية).

– نحو الجنوب يسهم ممرّ عيناتا الأرز بالإضافة إلى الانخفاض التدريجي للقمم الجبلية في إيصال جزء من الرطوبة نحو الداخل، وهذا ما ينعكس زيادة في المتساقطات في محطة بعلبك، كما وأن مؤشر المتساقطات الموحّد يسجل قيماًقريبة من المعدل.

– محطة **دورس** تظهر عدة فترات جافة، مثل (١٩٧٠–١٩٧٧) (١٩٨٢–١٩٨٦)، والفترة المميزة جداً من حيث طول فترة الجفاف وحدّته وذلك بين عامي (١٩٩٦–٢٠١٧)، و تظهر أيضاً العديد من الفترات الرطبة (١٩٧٦–١٩٨١) (١٩٨٧–١٩٩٦)، وقد وصل مؤشر ال (SPI) إلى أقل من –٥.١ في عدّة سنوات ما يدلّ على الجفاف الشديد. والملفت أن هذا المؤشر كان أكبر من ١,٥ خلال ٥ سنوات في الفترة المدروسة، وهذا يدل على سنوات رطبة بشدة، في حين تخطّت قيمته ال ٢ وذلك مرتين خلال الفترة المدروسة التي تعتبر رطبة للغاية. تظهر المتوسطات المتحركة في هذه المحطة تعاقب الفترات الرطبة والجافّة – **رسم بياني رقم (٢)** – وهيمنة الجفاف خلال العشرين سنة الأخيرة، رغم أنه تخللها بعض السنوات الرطبة. أما دراسة الاحتمالات فإنها تبيّن أن تكرار الظروف المناخية الطبيعية كان بحدود ٦٨% من المرات في الفترة المدروسة، وأن الجفاف الشديد كان تكراره بحدود ٦% والجفاف المعتدل كان ٩% تقريباً.



الرسم البياني رقم ٢: قيم مؤشر الجفاف الموحد خلال الفترة (١٩٦٦–٢٠١٩) للمحطات المناخية في بعلبك – الهرمل



خريطة رقم ٢: توزّع مؤشّر المتساقطات السنوي (١٢شهر) الموحّدة في منطقة الدراسة

– تظهر في محطة **الفاكهة** الواقعة عند الأقدام الغربية لسلسلة جبال لبنان الشرقية فترات الجفاف والرطوبة أكثر وضوحاً، ففي العام ١٩٦٨ تجاوزت قيمة مؤشر الجفاف الموحد ال ٣ وهذا يدلّ على سنة رطبة للغاية مميزة عن باقي السنوات، أما القيم السلبية فلم تتجاوز ال ٢ طوال الفترة المدروسة وهذا دليل على عدم وجود مناخ جاف للغاية. الفترات الجافة المميزة كانت ما بين (١٩٧٤–١٩٨٥) والفترة الطويلة من الجفاف ما بين(١٩٩٦–٢٠١٧) والتي لم يتجاوز الـ (SPI) فيها ال –١,٥ وهذا ما يبيّن أنّ الجفاف كان معتدلاً أوقريباً من المعدل. أمّا فترات الرطوبة المميزة فكانت الفترة ما بين (١٩٦٦–١٩٧٣) والفترة (١٩٨٦–١٩٩٥). كما وتظهر المتوسطات المتحركة – **رسم بياني رقم (٢)** – تعاقباً للسنوات الممطرة والجافة (هيمنة لفترات الجفاف خلال الفترة المدروسة) مع انحدار كبير نحو الجفاف في الفترة ما بين (١٩٦٨–١٩٧٣) و الفترة ما بين الأعوام (١٩٧٥–١٩٨٠). بيّنت دراسة الاحتمالات أنّ تكرار حدوث الظروف المناخية الطبيعية كان بحدود ٦٨%، أمّا

الجفاف الشديد فكان فقط ٢%، وتكرر فقط لمرة واحدة خلال الفترة المدروسة، أمّا الجفاف المعتدل فكانت نسبته بحدود ١١%.

– تتشابه محطة **الهرمل** الواقعة عند السفوح الشرقية لسلسلة جبال لبنان الشرقية مع نظيراتها في البقاع الشمالي من حيث تعاقب فترات الجفاف و الرطوبة، فالفترة منذ العام ١٩٦٦ حتى العام ١٩٧٦ تعتبر فترة رطبة معتدلة وقريبة من المعدل، تشذّ عنها أمطار العام ١٩٦٨ والتى تعتبر سنة استثنائية رطبة للغاية. والفترة الرطبة الثانية تمتد بين العامين (١٩٨٨– ١٩٩٦) لم يتجاوز فيها معدل ال(SPI) ال ١,٥ وهي تعتبر رطبة معتدلة قريبة من المعدل.

وتعتبر الفترة ما بين الأعوام (١٩٧٨–١٩٨٧ فترة جافة بشكل عام، إلا أن هذا الجفاف هو قريب من المعدل أو معتدل، وتبدو هيمنة الجفاف طاغية في العشرين سنة الأخيرة من الفترة المدروسة وتحديداً منذ العام ١٩٩٧ حيث يسجّل مؤشر الجفاف الموحد قيماً سلبية لا تقل عن الـ –١,٥ إلا مرتين فقط، ويبقى معظمها ضمن إطار الجفاف المعتدل والقريب من الطبيعي، وتقترب من ال ٢ في السنة الأخيرة من الفترة المدروسة، والتي تعتبر من السنوات الرطبة الشديدة الرطوبة.

تظهر المتوسطات المتحركة – **رسم بياني رقم (٢)**– تتابع وتوالي السنوات الرطبة والجافة أيضاً في هذه المحطة مع فترة جفاف طويلة خلال السنوات الأخيرة. إن دراسة الاحتمالات تظهر زيادة تكرار الظروف المناخية الطبيعية إلى ٧٣% في هذه المحطة، أما الجفاف الشديد فكان بحدود ال٦% والجفاف المعتدل ٨%.

– في محطة **القاع** يظهر ال (SPI) أن فترات الجفاف كانت قريبة من المعدل، والجفاف كان معتدلاً، فقط مرتين خلال الفترة المدروسة تجاوزت القيم ال –٥.١ في العامين المطريين ٢٠١٤–٢٠١٥ وال ٢٠١٦–٢٠١٧ ولكن الملفت كانت قيم ال (SPI) في الفترات الرطبة، والتي اقتربت من ال٢ في الأعوام ١٩٦٨ – ١٩٧٨ و١٩٩٠ تجاوزت الـ ٢ عام ١٩٩٢ وهذا يعني مناخاً رطباً بشدة ورطباً للغاية في هذه السنوات.

تظهر المتوسطات المتحركة– **رسم بياني رقم (٢)**– تتابعاً للفترات الجافة والرطبة مع غلبة للفترات الجافة؛ خاصة في الثلث الأخير من الفترة المدروسة، والتى كانت أكثر حدّة من باقي السنوات. وقد تكرر حدوث الظروف الطبيعية حوالي ٦٦% من المرات، والجفاف المعتدل كان ٩% أما تكرار الجفاف الشديد فكانت نسبته ٤% تقريباً.

جدول رقم ٣: عدد السنوات الجافة والرطبة، نسبتها وامكانية حدوثها بحسب McKee et al 1993/ محطات بعلبك – الهرمل

دورس / قيمة SPI	تصنيف المناخ	عدد السنوات	عدد المرات خلال ١٠٠ عام	احتمال الحدوث
SPI ≤ −2	جاف للغاية	٠	٠	٠
من −١,٥ حتى −١,٩٩	جاف بشدة	٣	٦	٣ مرات كل ٥٠ سنة
من −١ حتى −١,٤٩	جاف معتدل	٥	٩	مرة كل عشر سنوات
من −٠,٩٩ حتى ٠,٩٩	قرب المعدل الطبيعي	٣٦	٦٨	٧ مرات كل ١٠ سنوات
من ١ حتى ١,٤٩	رطب معتدل	١	٢	مرة كل ٥٠ سنة
من ١,٥ حتى ١,٩٩	رطب بشدة	٦	١١	مرة كل ١٠ سنوات
SPI ≥ 2	رطب للغاية	٢	٤	مرة كل ٢٥ سنة
الهرمل / قيمة SPI	**تصنيف المناخ**	**عدد السنوات**	**عدد المرات خلال ١٠٠ عام**	**احتمال الحدوث**
SPI ≤ −2	جاف للغاية	٠	٠	٠
من −١,٥ حتى − ١,٩٩	جاف بشدة	٣	٦	٣ مرات كل ٥٠ سنة
من −١ حتى −١,٤٩	جاف معتدل	٤	٨	مرتين كل ٢٥ سنة
من −٠,٩٩ حتى ٠,٩٩	قرب المعدل الطبيعي	٣٩	٧٣	٧ مرات كل ١٠ سنوات
من ١ حتى ١,٤٩	رطب معتدل	٥	٩	مرة كل عشر سنوات
من ١,٥ حتى ١,٩٩	رطب بشدة	١	٢	مرة كل ٥٠ سنة
SPI ≥ 2	رطب للغاية	١	٢	مرة كل ٥٠ سنة
ألفاكهة / قيمة SPI	**تصنيف المناخ**	**عدد السنوات**	**عدد المرات خلال ١٠٠ عام**	**احتمال الحدوث**

SPI ≤– 2	جاف للغاية	٠	٠	٠
من –١,٥ حتى –١,٩٩	جاف بشدة	١	٢	مرة كل ٥٠ سنة
من –١ حتى –١,٤٩	جاف معتدل	٦	١١	مرة كل ١٠ سنوات
من –٠,٩٩ حتى ٠,٩٩	قرب المعدل الطبيعي	٣٦	٦٨	٧مرات كل عشر سنوات
من ١ حتى ١,٤٩	رطب معتدل	٣	٦	٣ مرات كل ٥٠ سنة
من ١,٥ حتى ١,٩٩	رطب بشدة	٤	٧	٤ مرات كل ٥٠ سنة
SPI ≥ 2	رطب للغاية	٣	٦	٣ مرات كل ٥٠ سنة
القاع / قيمة SPI	**تصنيف المناخ**	**عدد السنوات**	**عدد المرات خلال ١٠٠ عام**	**تردد**
SPI ≤– 2	جاف للغاية	٠	٠	٠
من –١,٥ حتى – ١,٩٩	جاف بشدة	٢	٤	مرة كل ٢٥ سنة
من –١ حتى –١,٤٩	جاف معتدل	٥	٩	مرة كل عشر سنوات
من –٠,٩٩ حتى ٠,٩٩	قرب المعدل الطبيعي	٣٥	٦٦	٧ مرات كل ١٠ سنوات
من ١ حتى ١,٤٩	رطب معتدل	٦	١١	مرة كل ١٠ سنوات
من ١,٥ حتى ١,٩٩	رطب بشدة	٣	٦	٣ مرات كل ٥٠ سنة
SPI ≥ 2	رطب للغاية	٢	٤	مرة كل ٢٥ سنة

<u>على المستوى الفصلي (٤ أشهر)</u>:

تم احتساب قيم مؤشر الجفاف الموحّد على المستوى الفصلي:

– **<u>الخريف</u>** <u>من (٢٣ ايلول حتى ٢١ ديسمبر)</u> لم تظهر في هذا الفصل، وخلال المدة المدروسة، أيّ فترات جافة للغاية، أو فترات شديدة الجفاف في حين سجّلت حالات الجاف المعتدل والرطب المعتدل ٥ مرات خلال الفترة المدروسة لكل منهما أي ١٠% من الحالات. أما النسبة الكبيرة فكانت بالقرب من المعدل الطبيعي بحيث سجّل فصل الخريف قيماً قريبة من المعدل ٤٣ مرة خلال ٥٣ سنة أي بمعدل٨٠% من الحالات – **جدول رقم (٤)**– وبتحليل المنحنى البياني والمتوسطات المتحركة، لفصل الخريف تتعاقب الفترات الجافة والرطبة، وقد ظهرت

ثلاث فترات واضحة خلال الفترة المدروسة، فترة رطبة (١٩٨٨-١٩٩٥)، فترتين جافتين من العام؛ الأولى (١٩٧٨-١٩٨٧)، والثانية من العام (١٩٩٦-٢٠١٦)- رسم بياني رقم (٣) - وهذا يعود دائماً لاختلاف تأثيرات الدورة الهوائية العامّة بين سنة وأخرى.

إن دراسة خريطة توزع قيم مؤشر الجفاف الموحد في فصل الخريف تظهر تزايد الجفاف في شمال المنطقة المدروسة، حيث تقع هذه المنطقة في ظلّ أعلى قمم السلسلة الغربية، تزداد رطوبة فصل الخريف بالاتّجاه جنوباً وخاصة بالاتّجاه إلى الجنوب الشرقيحيت ترتفع السلسلة الشرقية.

- **الشتاء** من (٢٢ ديسمبر حتى ٢١ آذار) أيضاً في فصل الشتاء لم يسجل مؤشر الجفاف الموحّد أيّحالات جافة للغاية أو شديدة الجفاف، بينما سجّل الجاف المعتدل والرطب المعتدل ٤ مرات خلال الفترة المدروسة، أي ما يعادل ٨% من الحالات، وكما في فصل الخريف فقد كان النسبة الغالبة هي بالقرب من المعدّل الطبيعي حيث تكرر ٤٣ مرة خلال الفترة المدروسة، أي بما نسبته ٨٠% .

لقد تكرر الشتاء الرطب للغاية، والرطب بشدة مرة واحدة خلال الفترة المدروسة،أي بنسبة تقل عن ال ٢%- **جدول رقم (٤)**- .

لقد أظهر تحليل المنحنى البياني والمتوسطات المتحركة لفصل الشتاء فترة واضحة جافة طويلة امتدت منذ العام ١٩٩٦ حتى العام ٢٠١٦ - رسم بياني رقم (٣)- والباقي لا يرقى لاعتباره فترة جافة، بل تعاقب للشتاءات الجافة والرطبة، وهذا يعود إلى الدورة الهوائية العامّة فوق هذه المنطقة.

إن دراسة خريطة توزع قيم مؤشر الجفاف الموحّد في فصل الشتاء، تظهر ازدياد الجفاف في كل منطقة بعلبك الهرمل مقارنة بفصل الخريف، والأمر الملفت هو اتّساع المنطقة الجافة بشكل واضح في شمال المنطقة المدروسة، ويبدو أن ذلك يعود من جهة إلى التأثير الكبير لظاهرة الفوهن في فصل الشتاء، وإلى فترات مستقرة يعرفها فصل الشتاء بالإضافة إلى استقرار نسبيّ لنماذج الطقس التى تصل إلى المنطقة في فصل الشتاء.

- **الربيع** من (٢٢آذار حتى ٢١ حزيران) لم يعرف فصل الربيع في المنطقة المدروسة أيّ فترات جافة للغاية أو شديدة الجفاف، أمّا الجفاف المعتدل فتكرر مرة واحدة خلال الفترة المدروسة، أي بمعدل يقل عن ٢%، أمّا قيم ال (SPI) التي قاربت المعدل الطبيعي فقد تكررت ٤٩ مرة خلال الفترة المدروسة، أي ما يعادل٩٢% من الحالات- **جدول رقم (٤)** -، وقدعرفت المنطقة فصل ربيع واحد فقط شديد الرطوبة، في حين لم تعرف المنطقة أيّ فصل ربيع رطب للغاية خلال الفترة المدروسة. وهذه النتائج دليل على أهمية الأمطار الربيعية وتأثيرها على المعدل العام في هذه المنطقة الداخلية. عند دراسة المنحنى البياني والمتوسطات المتحركة تظهر تعاقباً للفترات الجافة والرطبة، ومن الجدير ذكره أن الفترة الجافة (١٩٩٦-٢٠١٦)- **رسم بياني رقم (٣)** - التي ظهرت في منحنى فصلي الخريف والشتاء لم تظهر في منحنى الربيع.

جدول رقم ٤: قيمة مؤشر الجفاف الموحد الفصلي (خريف – شتاء– ربيع)/ محطات بعلبك –الهرمل خلال الفترة المدروسة

الخريف	التصنيف	عدد المرات خلال الفترة المدروسة	عدد المرات خلال ١٠٠ عام	احتمال الحدوث
SPI ≤ −2	جاف للغاية	٠	٠	٠
من – ١,٥ حتى – ١,٩٩	جاف بشدة	٠	٠	٠
من –١ حتى – ١,٤٩	جاف معتدل	٥	١٠	مرة كل ١٠سنوات
من – ٠,٩٩ حتى ٠,٩٩	قرب المعدل الطبيعي	٤٣	٨٠	٨ مرات كل ١٠سنوات
من ١ حتى ١,٤٩	رطب معتدل	٥	١٠	مرة كل ١٠ سنوات
من ١,٥ حتى ١,٩٩	رطب بشدة	٠	٠	٠
SPI ≥ 2	رطب للغاية	٠	٠	٠
الشتاء	**التصنيف**	**عدد المرات خلال الفترة المدروسة**	**عدد المرات خلال ١٠٠ عام**	**احتمال الحدوث**
SPI ≤ −2	جاف للغاية	٠	٠	٠
من – ١,٥ حتى – ١,٩٩	جاف بشدة	٠	٠	٠
من –١ حتى – ١,٤٩	جاف معتدل	٤	٨	مرتين كل ٢٠ سنة
من – ٠,٩٩ حتى ٠,٩٩	قرب المعدل الطبيعي	٤٣	٨٠	٨ مرات كل ١٠ سنوات
من ١ حتى ١,٤٩	رطب معتدل	٤	٨	مرتين كل ٢٠ سنة
من ١,٥ حتى ١,٩٩	رطب بشدة	١	٢	مرة كل ٥٠ سنة
SPI ≥ 2	رطب للغاية	١	٢	مرة كل ٥٠ سنة

الربيع	التصنيف	عدد المرات خلال الفترة المدروسة	عدد المرات خلال ١٠٠ عام	احتمال الحدوث
SPI ≤ −2	جاف للغاية	٠	٠	٠
من − ١,٥ حتى − ١,٩٩	جاف بشدة	٠	٠	٠
من −١ حتى − ١,٤٩	جاف معتدل	١	٢	مرة كل ٥٠ سنة
من − ٠,٩٩ حتى ٠,٩٩	قرب المعدل الطبيعي	٤٩	٩٢	٩ مرات كل ١٠ سنة
من ١ حتى ١,٤٩	رطب معتدل	٢	٤	مرة كل ٢٥ سنة
من ١,٥ حتى ١,٩٩	رطب بشدة	١	٢	مرة كل خمسين
SPI ≥ 2	رطب للغاية	٠	٠	٠

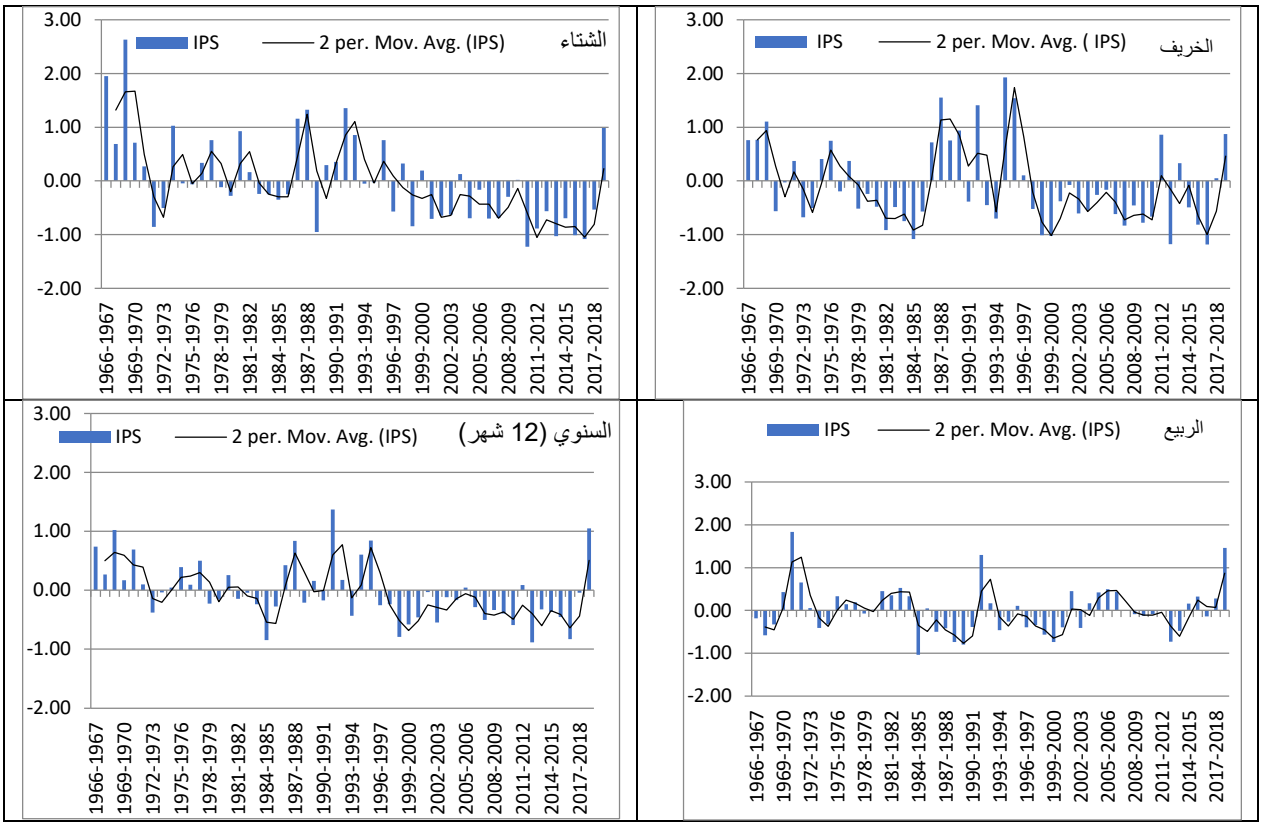
إنّ دراسة خريطة توزع مؤشر المتساقطات الموحّد في منطقة الدراسة خلال فصل الربيع– **خريطة رقم (٣)**– تظهرانحسار الجفاف تقريباً في كامل منطقة البقاع الشماليّ، ويعود ذلك إلى الأمطار الربيعية التى تشكّل كمّية وازنة من المعدّل العامّ في هذه المنطقة،أي إلى نماذج الطقس الممطر في هذا الفصل، وخاصة:

- نموذج **النقطة الباردة Cold Drop** وهي الشكل الذي تأخذه كتلة هوائية قطبية أو أركتيكية باردة في الطبقات العليا، بعد أن تصل إلى عروض دنيا كعروض المتوسط وانقطعت عن مصدر تغذيتها الأصليّ. تتشكل النقطة الباردة عندما يصبح التيار النفاث العلوي (J.S.) بطيئاً، أو يرسم وادياً جويّاً فوق الحوض الشرقي للمتوسط. هذه الوضعية تؤدّي إلى حالة عدم استقرار، وإلى نشوء منخفض جوّي بالقرب من قبرص. يكون الطقس الناتج عن وجود نقطة باردة في الطبقات العليا رديئاً جداً وعواصف رعدية مع تساقط أمطار وثلوج، أمّا درجات الحرارة فتنخفض خلال هذا النموذج.

- نموذج **الخماسين** يسبّب طقساً حاراً يترافق مع هواء شرقي، أي: صحراوي (هواء حار وجاف مليء بالغبار)، يترجم هذا الطقس بارتفاع سريع ومفاجيء في الحرارة، وانخفاض كبير في الرطوبة النسبية، تتراوح مدّة هذا الطقس بين عدّة ساعات وعدّة أيام، وينتهي هذا النموذج كما بدأ، حيث تهبّ الرياح الغربية المنعشة المصحوبة في معظم الأحيان بأمطار وحليّة، وأحياناً بتساقط أمطار غزيرة وثلوج على المرتفعات، كما حدث يوم الأحد ٢٤ أيار ٢٠٢٠.

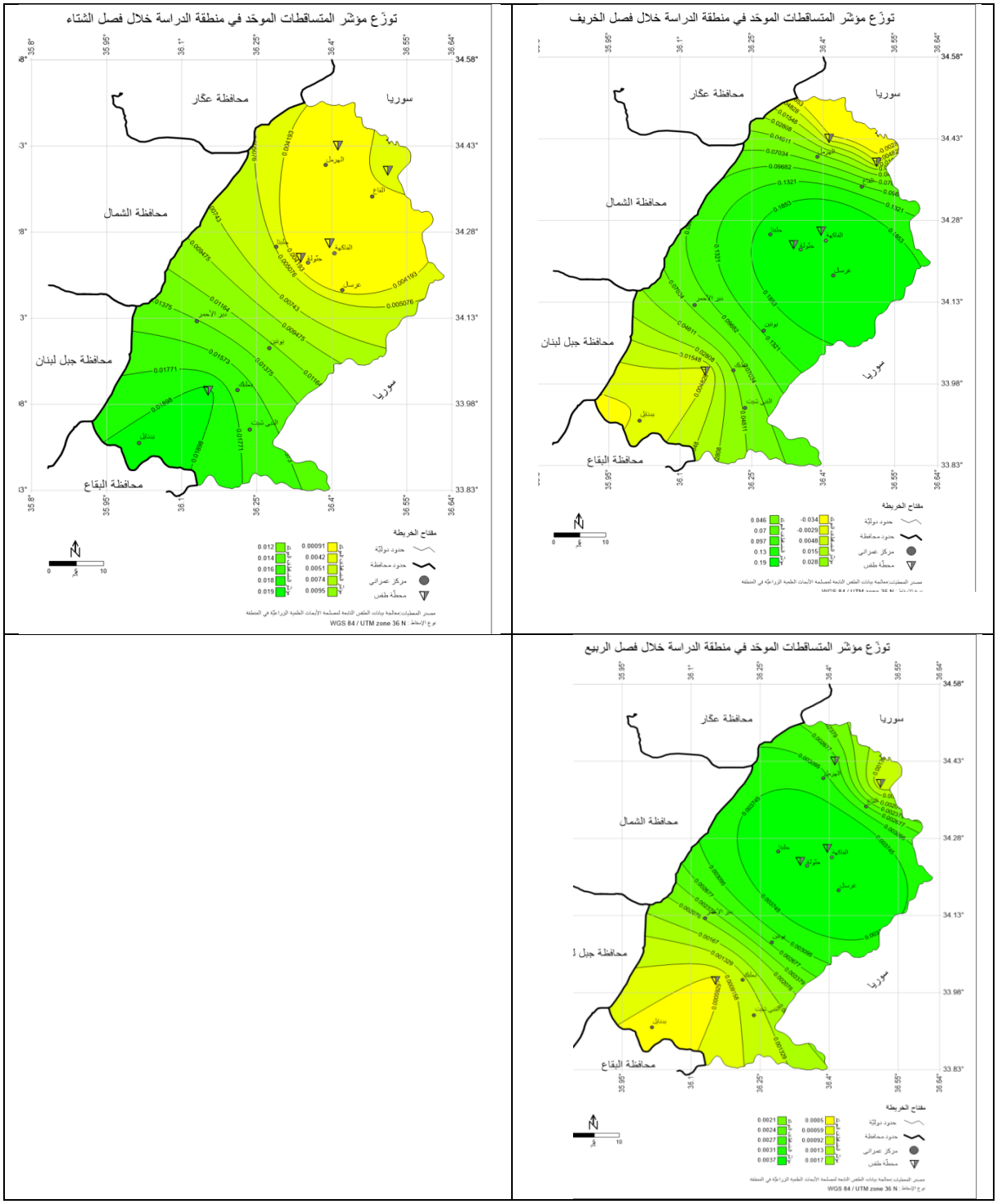
إنّ الدورة الهوائية العامّة فوق الحوض الشرقي للبحر المتوسط، إضافة إلى العوامل الجغرافية، هي التي تحدد خصوصية المناخ في هذه المنطقة. إنّ موقع لبنان على الحدود الجنوبية للتيار العلوي النفاث بعيداً عن المناطق التي تخضع لتأثيرات الجبهة القطبية من جهة، ومن جهة أخرى شمال مراكز الضغط المرتفع شبه المدارية الموجودة دائماً في الطبقات العليا من الجو، أي أنه يتميز بمناخ انتقاليّ ما بين خليّة فيريل و خليّة هادلي.
إن موقع لبنان الانتقالي ما بين خليتي فيريل وهادلي، يجعل منطقة الحوض الشرقي للمتوسط تحت تأثير التيار العلوي النفاث شبه المداري Jet–Stream من جهة، ومراكز الضغط المرتفع شبه المدارية من جهة أخرى، واللذين يتعرضان لهجرة فصلية ما بين الشتاء والصيف.

بشكلٍ عام تعمل تعرّجات التيار النفاث العلوي فوق المتوسط على وصول الكتل الهوائية القطبية الباردة إلى هذه المنطقة الدافئة نسبيّاً (الحوض الشرقي للمتوسط) وهذا ما يؤدي إلى نشوء منخفضات جوية.



الرسم البياني رقم ٣: قيم مؤشر الجفاف الموحد الفصلي خلال الفترة (١٩٦٦–٢٠١٩) للمحطات المناخية في بعلبك – الهرمل

إنّ هذه الكتل الهوائية الباردة هي أكثر وضوحاً في الطبقات العليا hPa500 حيث الفروقات الحرارية العمودية بين الطبقات السفلى والعليا من الغلاف الجوي كبيرة جدّاً ما يسبّب حالة عدم استقرار كبيرة.



خريطة رقم ٣: توزّع مؤشّر المتساقطات الفصلي (خريف – شتاء – ربيع) الموحّدة في منطقة الدراسة

إنّ نماذج الطقس المضطرب في منطقة الحوض الشرقي للمتوسط تحدّدها تعرّجات التيار العلوي حسب اتّجاه التيار النفاث العلويّ عند سطح الضغط ٥٠٠ hPa التي تدل على مصادر الكتلة الهوائية ومسلكها؛ أي: حسب شكل الأودية الباردة نميّز بين عدة نماذج من الطقس المضطرب: (النموذج الشمالي المباشر– النموذج الشمالي

غير المباشر– النقاط الباردة – النموذج الغربي – النموذج الجنوبي الغربي – المستنقع البارومتري– نموذج الخماسين (Blanchet G., 1976).

خاتمة

أظهرت دراسة قيم مؤشر الجفاف الموحّد في منطقة بعلبك الهرمل:

- تتابع فترات الرطوبة والجفاف في كل المحطات المدروسة.
- فترة جفاف طويلة خلال ال ٢٠ سنة الأخيرة من الفترة المدروسة.
- لم تعرف المنطقة فترات جافة للغاية، وقد دلّت معظم القيم على مناخ قرب المعدّل الطبيعي.
- في محطة دورس ٦٨% أظهرت قيم ال (SPI) مناخاًقرب المعدل الطبيعي و٦% مناخاً شديد الجفاف و٩% مناخاً جافاً معتدلاً.
- في محطة الهرمل ٧٣% من قيم ال (SPI) أظهرت مناخاًقرب المعدل الطبيعي ٦% مناخاً شديد الجفاف و٨% جفافاً معتدلاً.
- في محطة الفاكهة ٦٨% من قيم ال (SPI) مناخاً قرب المعدل الطبيعي ٢% مناخاً شديد الجفاف ١١% جفافاً معتدلاً.
- في محطة القاع ٦٦% قيم ال (SPI) أظهرت مناخاًقرب المعدل الطبيعي ٤% مناخاً شديد الجفاف ٩% جفافاً معتدلاً.
- تزداد قيم مؤشر الجفاف في شمال المنطقة المدروسة نظراً لوقوعها في ظلّ المطر.

<u>على المستوى الفصلي:</u>

- عرف فصل الخريف في ٨٠% من الحالات مناخاً قرب المعدل الطبيعي و١٠ % جفافاً معتدلاً.
- أظهر فصل الشتاءفي ٨٠% من الحالات مناخاً قرب المعدل الطبيعي و٨% جفافاً معتدلاً.
- سجّل فصل الربيع في ٩٢% من الحالات مناخاً قرب المعدل الطبيعي وفي ٢% من الحالات مناخاً جافاً معتدلاً.

<u>تتأثر منطقة بعلبك الهرمل بعدّة عوامل تسهم في تحديد فترات الجفاف والرطوبة، والعاملان الأبرزان هما :</u>

- موقع المنطقة في ظل المطر خلف القمم الأكثر سماكةً وارتفاعاً للسلسة الغربية، ما يعزز ظاهرة الفوهن، ويتسبب بزيادة الجفاف في قسمها الشمالي.
- موقع المنطقة بالنسبة للدورة الهوائية، فإنّ تعرّجات التيار النفاث هي التي تسبب تتابع نماذج الطقس المضطرب والمستقر، وبالتالي تحديد نماذج الطقس الواصلة وفترات الجفاف والرطوبة.

المراجع العربية

- موسى علي. (١٩٨٦). **التغيرات المناخية**. بيروت : دار الفكر.
- موسى علي. (١٩٨٩). **مناخات العالم**. بيروت : دار الفكر.
- ألعس فراس. (٢٠٠٤). **المناخ في البقاع الشمالي**. (رسالة ماستر بإشراف د. مريم مكة). الجامعة اللبنانيّة، لبنان.

المراجع الأجنبية

- Blanchet G. et Traboulsi M., (1993). *Froid, pluie, neige et tempête au Proche-Orient durant l'hiver 1991-92. Publications de l'Association Internationale de Climatologie6.*
- Guttman, N. B., (1999). *Accepting the Standardized Precipitation Index: A calculation algorithm. J. Amer. Water Resour. Association.*
- Gwillim, L (2017). *"Lebanon Provinces".* Statoids. *Retrieved 20 February 2017.*
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kliest, (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA*. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie 6 .*
- Traboulsi, M. (2004). *Les précipitations au Proche-Orient, variabilité spatio-temporelle et relations avec la dynamique de l'atmosphère (1960-61/1989-90)*.Atelier National de reproduction des thèses. Lille..
- Traboulsi, M. et Camberlin, P. (2004). *Années arrosées et années sèches au Proche-Orient. Relation avec la circulation atmosphérique régionale. Annales de l'Association Internationale de Climatologie*.
- Traboulsi, M., Ben Boubaker H. (2012). *Fortes chaleurs et circulation atmosphérique associée autour de la Méditerranée orientale : cas du littoral tunisien et syro-libanais*, *Territoire en mouvement n°14 et 15. Inégalités et iniquités face aux changements climatiques*.
- Traboulsi, M. 2012. *La saison pluvieuse au Proche-Orient : une tendance au raccourcissement. Climatologie*, *Revue de l'Association Internationale de Climatologie*.

- Sanlaville, P.(1969). *La personnalité géographique du Liban*. *In*: *Revue de géographie de Lyon*.
- _____(1963). *Les régions agricoles du Liban*. *In: Revue de géographie de Lyon*, vol. 38.