

التغيرات طويلة المدى للجفاف المناخي خلال الفترة (١٩٠١ - ٢٠٢٠) في شمالي مصر باستخدام المؤشر المعياري للتساقط المطري والتبخّر نتح (SPEI)

د/ هشام داود صدقي بدوي

مدرس الجغرافيا الطبيعية - قسم الجغرافيا - كلية الآداب - جامعة دمياط

Hesham-badawy@du.edu.eg

المستخلص:

تناول هذا البحث تتبع خصائص الجفاف المناخي في شمالي مصر، خلال الفترة الزمنية (١٩٠١ - ٢٠٢٠م)، اعتماداً على تطبيق المؤشر المعياري للتساقط المطري والتبخّر نتح (SPEI)، وتم الاستعانة بقاعدة البيانات Global SPEI database للحصول على بيانات (SPEI) الخاصة بالمنطقة، بدقة مكانية (٠,٥ × ٠,٥) دائرة عرضية وطولية، حيث مُثلت المنطقة بـ (٥١) نقطة شبكية، بمقاييس زمنية (١، ٣، ٦ و ١٢) شهراً. وتتمثل أهمية دراسة الجفاف وتتبع خصائصه خلال مدة زمنية طويلة الأمد؛ في آثارها الخطيرة على قطاعات عديدة أهمها، القطاع الزراعي، والموارد المائية، وإنتاج الغذاء، والرعي، والبيئة، وتعد المنطقة المدروسة ذات أهمية كبيرة، حيث تضم نحو ثلثي المعمور المصري، كما تستحوذ على أكثر من ٦٠٪ من سكان مصر، إضافة إلى أهميتها الاقتصادية والبيئية بوجه عام. وتشير النتائج إلى أن هناك تزايداً ذو دلالة إحصائية في تواتر فترات الجفاف خلال مدة الدراسة، كما اتضح أن الفترات الجافة تأخذ اتجاهاً عاماً صاعداً في جميع النطاقات الزمنية المختارة، يظهر هذا الاتجاه الصاعد بوضوح في العقدین الأخيرین (٢٠٠٠: ٢٠٢٠م). كما اتضح وجود تباين مكاني واضح للفترات الجافة، فقد لوحظ وجود تركيز واضح لتكرار أحداث الجفاف المتطرف والشديد خلال النطاقات الزمنية المختارة، في كلاً من: الأجزاء الجنوبية الغربية والجنوبية الشرقية من منطقة الدراسة، وكذلك شمال شرق سيناء، شمال منخفض سيوة، وعلى طول الساحل الشمالي الغربي من رشيد إلى السلوم. وتوصي الدراسة بضرورة وضع استراتيجيات قومية عاجلة للحد من أخطار الجفاف، وصياغة السياسات ذات الصلة، وإنشاء قاعدة بيانات تفصيلية للجفاف في مصر هدفها الرصد والمتابعة المستمرة لسلوكه الحالي وتوقعه مستقبلاً، والحث على اتباع أساليب ري أكثر كفاءة، وحصاد ماء المطر، ووضع آليات من شأنها التكيف مع الجفاف، والتخفيف من حدته في ظل مناخ متغير.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، الجفاف، SPEI، شمالي مصر.

تاريخ المقالة :

تاريخ استلام المقالة: ١٧ يناير ٢٠٢٣

تاريخ استلام النسخة النهائية: ٢١ فبراير ٢٠٢٣

تاريخ قبول المقالة: ١٨ مارس ٢٠٢٣

Long-term changes of meteorological drought from (1901 to 2020) over northern Egypt using the Standardized Precipitation- Evapotranspiration Index (SPEI)

Dr. Hesham Dawood Sedkey Badawy

Lecturer Of Physical geography - Department of Geography

Faculty of Arts - Damietta University

Hesham-badawy@du.edu.eg

Abstract:

Using data from 1901 to 2020, this study analyses the spatial and temporal evolution of meteorological drought across northern Egypt. The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) data at a spatial resolution of 0.50. Multi-decadal analysis of drought characteristics was performed at 1-, 3-, and 12-month timescales. Over the past 120 years, there has been a statistically significant increase in the frequency of dry events. On all time scales, the number of dry events has been on the rise. The most noticeable increase occurred in the last two decades. Spatially, drought trends were heterogeneous. Extreme and severe droughts were most common in the southwestern and southeastern parts of the study area, as well as northeastern Sinai, north of the Siwa Depression, areas close to Ismailia, and along the northwest coast from Rosetta to Salloum. Recalling that the study domain accounts for roughly two-thirds of Egypt's land area and is home to more than 60% of the country's population, it is crucial to formulate a national strategy to reduce the negative effects of drought, as well as to develop appropriate policies and a thorough database of drought in Egypt. Innovative technologies in agriculture, such as improved irrigation systems and rainwater harvesting, could fall under this category. This will mitigate the negative impacts of enhanced drought on many sectors like agriculture, water resources, food production, grazing, etc.

Keywords: Climate change; SPEI; drought; Egypt.

Article history:

Received 17 January 2023.

Received in revised form 21 February 2023

Accepted 18 May 2023

١- مقدمة:

مع تزايد وتيرة تغير المناخ وضغط الأنشطة البشرية على الموارد، ظهرت العديد من التحديات الخطيرة في البيئات القاحلة وشبه القاحلة مثل الجفاف، الأمر الذي أضحى معه من الضروري استكشاف حالات الجفاف المتغيرة في هذه البيئات الهامشية (Yongfang, et al, 2018). وتحظى دراسة الجفاف بأهمية كبيرة في الدراسات المناخية التطبيقية الحديثة، حيث يعتبر أحد أخطر الكوارث الطبيعية والبيئية وأكثرها انتشاراً، وذلك لما له من تأثيرات سلبية كبيرة على البيئة (Wilhite, 1985)، ويحدث فعلياً في جميع أنواع المناخات الجافة والرطبة إلا أن آثاره تختلف تبعاً لدرجاته، وحسب قابلية وتأثر المجتمع به، فله آثار سلبية على قطاع الزراعة، وموارد المياه، والأمن الغذائي، والنظم الإيكولوجية والطبيعية، واستدامة الموارد، وأنشطة المجتمع كافة (Giashuddin et al., 2017).

تعد المنطقة المدروسة - شأنها شأن باقي الأراضي المصرية - نموذجاً لإقليم المناخ الصحراوي الحار الجاف (القاحل) BWh، حيث ينقسم مناخ شمالي مصر طبقاً لتصنيف كوبن وتعديلات جيجر؛ إلي نطاقين ثانويين (Geiger, 1961)، الأول هو الإقليم المناخي شبه الجاف الحار الممطر شتاءً، يرمز له بـ BWhs، ويقع جغرافياً في سواحل شمالي مصر حتي دائرة عرض ٤٠° - ٣٠° (شرف، ١٩٩١)، وأبرز ملامحه وضوح موسم الأمطار الشتوي، والثاني هو الإقليم المناخي الجاف الصحراوي الحار، يرمز له بـ BWwh، ويقع جغرافياً إلي الجنوب من دائرة عرض ٤٠° - ٣٠° وأبرز ملامحه ندرة الأمطار وتذبذبها وارتفاع نسبة الفاقد منها بفعل التبخر.

والجفاف حالة نسبية وليست مطلقة، إذ يحدث الجفاف بتواتر متفاوت في جميع أنواع الأقاليم المناخية، ويبدو أن التعرض للجفاف أخذ في الازدياد في الأونة الأخيرة، ويرجع ذلك إلي حد كبير إلي النمو السكاني وتزايد طلب المجتمع والمنافسة على محدودية المياه والموارد الطبيعية الأخرى، ويضع النمو السكاني ضغوطاً إضافية على الأراضي الهشة (Wilhite, 2005).

ومن المهم التأكيد على أنه لا يوجد حتى الآن تعريف منفق عليه حول "الجفاف"؛ مما يمثل بدوره عقبة أمام فهم الظاهرة وآليات حدوثها، وقد ترتب على ذلك حالة من التقاعس من جانب صانعي القرار حول ما يخلفه الجفاف من آثار سلبية. فقد عرفته (Encyclopedia of World Climatology, 2005) بأنه: "ظاهرة تحدث نتيجة نقص ملحوظ في كمية هطول الأمطار الساقطة على مدى فترة زمنية طويلة، وعادة ما

يكون موسماً أو أكثر، ويرتبط الجفاف أيضاً بموسم الحدوث الرئيسي، والتأخيرات في بداية موسم الأمطار، وفعالية الأمطار، وبالتالي فإن كل حدث جفاف فريد من نوعه في خصائصه المناخية، ومداه المكاني وآثاره". بينما تعرفه دائرة الأرصاد الجوية الأمريكية بأنه: "نقص في الأمطار ولفترة طويلة، مما يؤثر في الحياة النباتية والحيوانية، ويؤدي إلى نقص في مصادر التغذية المائية خاصة في المناطق ذات الموارد المائية المحدودة (Hudson & Hazen, 1964).

ويرجع حدوث الجفاف بوجه عام إلى انعدام تساقط الأمطار، أو نقصها بشكل ملحوظ مدة زمنية طويلة (Moreland, 1993). ويوصف الجفاف بأنه زاحف بطيء الظهور، غالباً ما تتراكم آثاره ببطء على مدى فترة زمنية طويلة، وقد تستمر لسنوات بعد انتهاء الحدث (Gillette, 1950). ولا يمكن تفادي الجفاف، ولكن يمكن تطوير القدرات للتكيف له، وقابلية التكيف مع تأثيراته، والنجاح في كلا الأمرين يعتمد على مدى القدرة على تعريف الجفاف وحالاته، وصوره، والقدرة على تقدير خصائصه (Smakhtin et al., 2004). ويعد الجفاف من أكثر الظواهر المناخية تعقيداً، ويرجع ذلك إلى صعوبة قياس شدة الجفاف، نظراً لأننا نحدده من خلال آثاره على النظم البيئية المختلفة؛ والتي تتباين في تأثيرها بشدة (Wilhite, 1985).

يؤدي تغير المناخ إلى مزيد من حالات الجفاف الشديدة، والمتكررة في المناطق القاحلة خاصة في مصر، ويعد الجفاف حدث مناخي متكرر على الأرض يتميز بتساقط مطري أقل من المعتاد خلال فترة تتراوح من عدة أشهر إلى عدة سنوات أو حتى بضعة عقود (Ismael, 2016). ومن الصعب تحديد بداية حدوثه ومداه ونهايته، وبالتالي من الصعب تحديد خصائصه بشكل موضوعي من حيث الشدة، والحجم، والمدة، والانتشار المكاني (kirono et al, 2011).

ويصنف الجفاف حسب النوع إلى أربعة أنواع، وهي: الجفاف المناخي، والهيدرولوجي، والزراعي، والجفاف الاجتماعي والاقتصادي (Wilhite, 1985)، حيث يرتبط الجفاف المناخي بنقص هطول الأمطار، إذ تقل الأمطار عن معدلاتها الشهرية والفصلية والسببية، وتعرف السنوات الجافة على أنها السنوات التي تنخفض فيها كمية الأمطار عن معدلها العام، أما السنوات الرطبة وهي السنوات التي تزيد فيها الأمطار عن المعدل العام، لذلك توصف بأنها سنوات رطبة (أحمد، ٢٠١٨). أما الجفاف الهيدرولوجي، فيُعرف بأنه ذلك الحدث المرتبط بنقص تدفق مجاري المياه إلى أقل من مستوى معين (Keyantash & Dracup, 2002)، كما يمكن ملاحظته في الانخفاض حاد في

مستويات الأنهار والبحيرات الطبيعية والاصطناعية وغيرها من المسطحات المائية (عبد المحسن، ٢٠١٠).

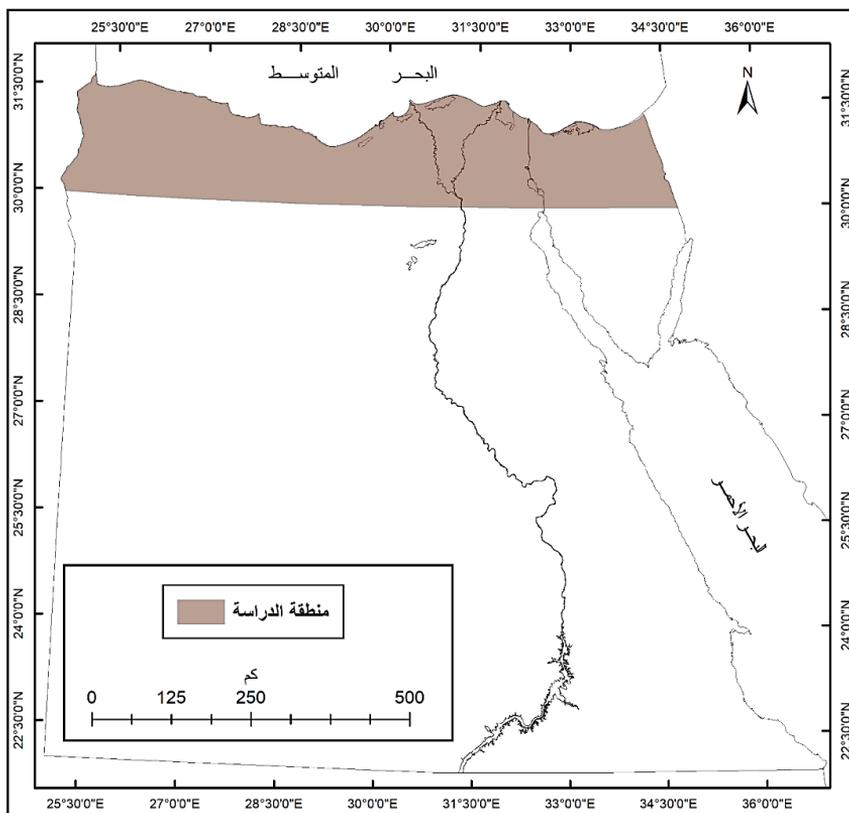
أما الجفاف الزراعي، فيحدث عندما تكون رطوبة التربة غير كافية، لنمو المحاصيل الزراعية، وتنتج قلة الرطوبة، إمّا عن طريق التغذية غير الكافية، بسبب قلة الأمطار الساقطة، أو ضياع الماء من قبل التربة والنبات (Wilhite, 2000). ويحدث الجفاف الاقتصادي-الاجتماعي عندما تكون المياه غير كافية لتلبية احتياجات السكان في تلك المناطق، وبالتالي إحداث كوارث بيئية واجتماعية يمكن أن تشكل عائقاً يقف في وجه مشاريع تنمية الأقاليم الجافة (البديري، ٢٠١٢). كما أن هناك ارتباط متتابع بين أنواع الجفاف المختلفة؛ تبدأ بالجفاف المناخي، يتبعه جفاف زراعي، ثم جفاف هيدرولوجي، ثم ينتهي بالجفاف الاقتصادي الاجتماعي، بمعنى أن الجفاف المناخي هو المسؤول عن ظهور أنواع الجفاف الأخرى (الذري، ٢٠٢١).

وتنقسم اهتمامات الدراسات التي تتناول ظاهرة الجفاف إلى دراسات تحاول فهم وتحليل الجفاف؛ كدراسات في المناخ الشمولي، تركز على التنبؤ بسنوات الجفاف مع وضع الحلول المناسبة لتفادي آثاره، والنوع الثاني، عبارة عن دراسات تطبيقية لقياس شدة ودرجة الجفاف باستخدام مختلف المعادلات والمؤشرات وصور الأقمار الصناعية، ومن هنا تنطلق فكرة هذه الدراسة، حيث تركز على تحديد وقياس الجفاف وتتبع تغيراته خلال مدي زمني طويل (١٢٠) سنة، في شمالي مصر، باستخدام المؤشر المعياري للتساقط المطري والتبخّر نتح (SPEI)، مع محاولة تفسير أسباب هذه الظاهرة، والخروج بنتائج وحلول للإسهام في التخفيف منها.

٢- حدود منطقة الدراسة:

تمتد منطقة الدراسة فلكياً بين دائرتي عرض 30° و 36° شمالاً، وبين خطي طول 24° و 40° شرقاً، وتقع جغرافياً في شمال الأراضي المصرية، يحدها البحر المتوسط من ناحية الشمال وتمتد بمحاذاته من رفح المصرية شرقاً حتى السلوم غرباً، ويحدها من الشرق (فلسطين المحتلة) ومن الغرب ليبيا، ومن الجنوب الأراضي المصرية والواقعة جنوب دائرة عرض 30° شمالاً، ويقدر أقصى امتداد لها ١٨٠ كم جنوب خط ساحل البحر المتوسط، بينما يبلغ أقصى اتساع لها من الشرق إلى الغرب نحو ٩٥٦,٨ كم. وتبلغ مساحة منطقة الدراسة نحو ١٣٢٦١٦ كم^٢؛ بما يمثل ١٣٪ من مساحة مصر، وللبحر المتوسط تأثير

واضح في مناخ شمالي مصر، وخاصة على الحرارة والرطوبة والامطار.



المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على برنامج ArcGIS 10.8

شكل (١) موقع منطقة الدراسة

وقد حدد الامتداد الجنوبي للمنطقة المدروسة بدوائر عرض ٣٠ شمالاً؛ على أساس أنها تضم أهم بقعة زراعية في مصر؛ وهي الدلتا وهوامشها الشرقية والغربية المستصلحة حديثاً مثل الصالحية والنوبارية وأبو المطامير، حيث تمثل نحو ٦٠٪ من المساحة المنزرعة في مصر؛ علاوة على أهميتها العمرانية والسكانية. بالإضافة إلى البحيرات الشمالية الخمس (البردويل، المنزلة، البرلس، إككو، ومريوط). كما تضم منطقة الدراسة أيضاً؛ المساحات الزراعية المتناثرة على طول الساحل الشمالي الغربي من الضبعة شرقاً حتى السلوم غرباً، وهي زراعات بعلية ترتبط بالمطر وموسم سقوطه، أشهرها زراعات الشعير والتين البرشومي، إضافة إلى النهضة العمرانية والسياحية الحديثة التي

تشهدها هذه المنطقة. كما تضم منطقة الدراسة الأجزاء الشمالية من شبه جزيرة سيناء؛ بما فيها من تطورات عمرانية وزراعية وسياحية، كل هذا وغيره يعطي منطقة الدراسة أهمية كبيرة في الدراسات الجغرافية والبيئية والمناخية في ظل مناخ متغير وزيادة الطلب على المياه وشح مائي تعاني منه مصر في الثلاثة عقود الأخيرة.

٣ - مشكلة الدراسة:

يسعى الباحث في هذا البحث إلى الكشف عن الخصائص العامة للجفاف المناخي شمالي مصر، كما يسعى أيضاً إلى تطبيق مؤشرات ومعادلات الجفاف القياسية من أجل معرفة أن هذه المنطقة تقع ضمن النطاق المناخي الرطب أم الجاف، وما هي الأسباب الكامنة وراء ظهور وتزايد حالات الجفاف في شمالي مصر؟

وذلك من خلال الإجابة عن التساؤلات الفرعية التالية:

- ما اتجاه وطبيعة التغير طويل الأمد في ظاهرة الجفاف في منطقة الدراسة؟

- هل يحدث تكرار لسنوات الرطوبة والجفاف وفق المعيار المعتمد في تحديد هذه الظاهرة؟

- هل هناك تباين مكاني وزماني للجفاف في المنطقة المدروسة؟

- ماهي أقاليم الجفاف في شمالي مصر اعتماداً على المؤشر المعياري للتساقط المطري والتبخّر نتح SPEI؟

- هل هناك زيادة في استخدامات المياه ذات المصادر المحدودة لأغراض الري؟

٤ - أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى:

- التقييم طويل الأمد لتغيرات الجفاف في شمالي مصر زمنياً ومكانياً، باستخدام المؤشر المعياري للتساقط المطري والتبخّر نتح SPEI.

- تحليل الخصائص الإحصائية لسنوات الجفاف في شمالي مصر من حيث الشدة والمدة والتكرار خلال الفترة من (١٩٠١: ٢٠٢٠م).

- رصد الفترات الجافة والرطبة ومدى تكرارية وتردد كل منها، وما هي طبيعة الانتقال والتعاقب من سنة رطبة إلى سنة جافة، عبر المدد التاريخية لسلسلها.

٥ - الدراسات السابقة

على الرغم من أن مناخ مصر يصنف في معظم أراضيها؛ ضمن

المناخات الحارة الجافة (القاحلة)، التي تعاني من الجفاف بدهاءة، فإن هناك ندرة في الدراسات التي تتناول سلوك ظاهرة الجفاف وتغيراتها في مصر على وجه التحديد في ظل مناخ متغير، وتقييم آثارها البيئية والاقتصادية، والتنبؤ بتغيراتها المستقبلية وتأثيراتها على مناشط البشر، وفي نفس الوقت فإن هناك اهتماماً دولياً لدراسة الظاهرة، كما أن هناك اهتماماً إقليمياً بتسليط الضوء على أبعادها وخصائصها، وخاصة في العراق والأردن وفلسطين.

ومن أهم الدراسات السابقة: دراسة (Hormozgan, 2021) بعنوان: "التغيرات المكانية والزمانية لخصائص الجفاف المناخي في إيران في ظل سيناريوهات تغير المناخ" وقد توصل البحث من خلال تطبيق مؤشر الهطول القياسي SPI أن الجفاف المناخي في إيران شهد اتجاهًا صاعدًا خلال فترة الدراسة.

وإلى جانب ذلك، فإن دراسة (Ning Yao et al., 2020) بعنوان: "توقعات خصائص الجفاف في الصين على أساس معيار مؤشر هطول الأمطار والتبخر والنتح ونماذج الدوران متعددة الأطراف" وقد أظهرت النتائج، أن معظم مساحة الصين ستشهد حالات جفاف متكررة وشديدة في المستقبل، أكثر مما كانت عليه، كما توصلت الدراسة من تطبيق مؤشر SPEI أن المناطق الأكثر جفافاً تتمثل في شمال غرب الصين، ومن المحتمل أن تعاني من ظروف جفاف أسوأ في المستقبل.

وإلى جانب ذلك، فإن دراسة (إبراهيم، ٢٠١٩) بعنوان: "اتجاهات التغير في الجفاف المناخي والهيدرولوجي وعلاقتها بالدورات الهوائية العامة في الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥ (دراسة مناخية)" وقد أشارت نتائج الدراسة إلى أن هناك علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقلبات الجفاف، وأنماط الدورة الهوائية العامة، وأن تساقط الأمطار هو أكثر المتغيرات السائدة التي تسهم في تطور الجفاف في الدلتا، وأن هناك تأثيراً واضحاً لتقلبات الجفاف على ضعف إنتاجية المحاصيل في الدلتا. ودراسة (الجبتي، ٢٠١٩) بعنوان: "تحليل الجفاف في شمال ليبيا باستخدام

مؤشر الجفاف الاستطلاعي RDI (Reconnaissance Drought Index) وقد أظهرت النتائج أن العام (١٩٧٠-١٩٧١) هو بداية الجفاف الملحوظ في كامل محطات شمال ليبيا، وكانت خريطة (٢٠٠٩-٢٠١٠) هي أسوأ سنوات الجفاف خلال فترة الدراسة. ودراسة (الشجيري والهدال، ٢٠١٩) بعنوان: "تحليل اتجاه الجفاف المناخي الفصلي في العراق خلال المدة ١٩٥٢ - ٢٠١٧" وقد أظهرت نتائج هذه الدراسة تغييراً في نظام موسمية التساقط، وأن الفصول الأعلى مساهمة في الموسم المطير والمحطات الأعلى مطراً هي الأكثر عرضة

للجفاف المناخي خلال العقدین الأخيرین. ودراسة (Cassim & Juma, 2018) بعنوان: "التحليل الزمني للجفاف في مقاطعة موينجي بمقاطعة كيتوي في كينيا باستخدام مؤشر هطول الأمطار القياسي (SPI)" وكشفت نتائج هذه الدراسة أن منطقة الدراسة تعاني من زيادة الجفاف المعتدل، ولم يسجل أي حدث جفاف شديد خلال الفترة (١٩٦٠ - ٢٠١١)، وتوصي الدراسة بتحليل الارتباط بين SPI وجميع متغيرات المناخ في منطقة الدراسة. ودراسة (Mathbout et al, 2018) بعنوان: "التحليل المكاني والزمني لتقلبات الجفاف على عدة نطاقات زمنية في سوريا خلال الفترة ١٩٦١-٢٠١٢" وقد توصلت الدراسة من خلال تطبيق المؤشرين SPI و SPEI إلى أن المناطق الثلاث في سوريا شهدت جفافاً حاداً في التسعينيات من القرن العشرين، وهو ما لم يُلاحظ من قبل في البلاد. علاوة على ذلك، أن الجفاف في الفترة من ٢٠٠٧: ٢٠١٠ كان الأشد، حيث حدث قبل بداية الصراع الأخير في سوريا. ودراسة (Bae et al, 2018) بعنوان: "تحليل كثافة واتجاه الجفاف باستخدام SPEI المعدل في كوريا الجنوبية من ١٩٨١ إلى ٢٠١٠" ودلت النتائج أن المناطق الشمالية الغربية والجنوبية الغربية من كوريا الجنوبية شهدت معدلات أعلى للجفاف لمدة شهر واحد، وشهدت المناطق الوسطى والجنوبية الغربية شدة أعلى من الجفاف لمدة ٣ أشهر. ودراسة (Páscoa et al, 2017) بعنوان: "اتجاهات الجفاف في شبه جزيرة أيبيريا خلال ١١٢ سنة الأخيرة" وتوصلت الدراسة إلى أن شبه الجزيرة الإيبيرية تعرضت لنوبات جفاف متفاوتة القوة خلال القرن الفائت، مما يعزز الحاجة إلى المراقبة المستمرة للجفاف، وأن هناك تطور لحالة الجفاف على المدى الطويل في شبه الجزيرة، باستخدام مؤشر التبخر المعياري للهطول (SPEI) ومؤشر هطول الأمطار القياسي (SPI) للفترة من ١٩٠١ إلى ٢٠١٢م. ودراسة (Ismail, 2016) بعنوان: "رصد اتجاهات الجفاف الناجمة عن تغير المناخ في مصر باستخدام بيانات القمر الصناعي MODIS NDVI ومؤشرات الجفاف" وقد توصل إلى أن بيانات الاستشعار عن بعد تعد أداة مثالية في رصد واكتشاف الجفاف وأبعاده. دراسة (Allam, 2016) بعنوان: "تقييم الجفاف باستخدام المؤشر المعياري للتساقط المطري والتبخر نتح SPEI والنماذج اللوغاريتمية الخطية لمناطق زراعية - بينية مختلفة في الهند" وقد استخدمت الدراسة مؤشر (SPEI) على نطاق زمني مدته ١٢ شهراً لستة حالات جفاف كبرى، تم استخدام نهج النمذجة اللوغاريتمية الخطية للتحقق في الاختلافات المكانية للجفاف خلال الـ ٤٨ عامًا الماضية. ودراسة (Marengo &

Bernasconi, 2015 بعنوان: "الاختلافات الإقليمية في ظروف الجفاف/ الجفاف في شمال شرق البرازيل: الحالة الحالية والتوقعات المستقبلية" وتركز هذه الدراسة على التحقق من أخطار الجفاف في الأراضي شبه القاحلة في شمال شرق البرازيل، باستخدام مجموعة متنوعة من المعلومات الرصدية وتوقعات تغير المناخ في المستقبل، عن طريق مؤشرات الجفاف. من المتوقع أن تزداد مساحة الأراضي ذات الظروف القاحلة بحلول العام ٢١٠٠م. ودراسة (Moreira et al, 2014) بعنوان: "تقييم دورات الجفاف من خلال السلاسل الزمنية لمؤشر SPI باستخدام تحليل فورييه" في هذه الدراسة، تم تقييم الجفاف في البرتغال باستخدام ٧٤ سلسلة زمنية لمؤشر هطول الأمطار القياسي (SPI) بمقياس زمني ١٢ شهراً وطول ٦٦ عاماً. ودراسة (ابراهيم، ٢٠١٣) بعنوان: "السنوات الجافة والرطوبة في المرتفعات اليمينية.. دراسة تحليلية" وتوصلت الدراسة إلى تباين نسبة السنوات الجافة المطلقة من منطقة الى اخرى بمنطقة الدراسة لتتراوح ما بين (٨% - ٦٤%) وتسجل اقل نسبة في أب، وأكبر نسبة في مناطق صنعاء وشبام (أكثر من ٥٠%) من سنوات الدراسة بهما. دراسة (سكاف وحمدان، ٢٠١٣) بعنوان: "دراسة الخصائص المكانية والزمانية للجفاف في المنطقة الساحلية من سوريا خلال الفترة من ١٩٦٦ - ٢٠٠٨" وقد أظهرت النتائج أن الجفاف يتكرر بشكل كبير في جميع أجزاء المنطقة الساحلية بنسبة ٣٥٪، وأن الأمر سيكون له آثار بيئية واقتصادية واجتماعية، بما يشكل تحدياً أمام الإنتاج الزراعي في المستقبل. ودراسة (Eleanor J. Burke et al, 2010) بعنوان: "تحليل القيمة القصوى للجفاف في المملكة المتحدة وتوقعات التغير في المستقبل" تم تقدير توقعات الجفاف حتى العام ٢١٠٠م من خلال تطبيق نظرية القيمة القصوى غير الثابتة على مؤشرات الجفاف الشهرية، وأظهرت جميع مؤشرات الجفاف زيادة عامة - ما بين الطفيفة والشديدة - في الجفاف مستقبلاً.

ودراسة (الصباحي، ٢٠٠٧) بعنوان: "موقع الجفاف في مناخ المغرب" وتوصلت الدراسة بأن الجفاف في المغرب العربي يتسم بدينامية متحركة على المستوي الزمني، وأن تردد الظاهرة من الثمانينات حتى الآن أصبح يطرح أكثر من علامة استفهام على مستقبل احتياطي الموارد المائية الذي يسير نحو الانخفاض، حيث إن كل المؤشرات توحى بتفاقم العجز المائي. هذا إضافة إلى عدد من الدراسات مثل:

(Burke & Brown و Lohani & Loganathan, 1997), (Adler et al, 1999), (Mishra & Singh, 2009), (Lorenzo Lacruz

et al., 2010), (Allen et al., 2011), (Bornean et al., 2011), (Vicente-Serrano et al., 2011b), (Wolf and Abatzoglou, 2011), (Li et al., 2012), (Paulo et al., 2012), (Wei-Guang et al., 2012), (McEvoy et al., 2012), (Wolf, 2012), (Potop et al., 2012), (Sohn et al., 2013), (Spinoni et al., 2013), (Abiodun et al., 2013), (Soo-Jin et al., 2013), (Yu et al., 2013).

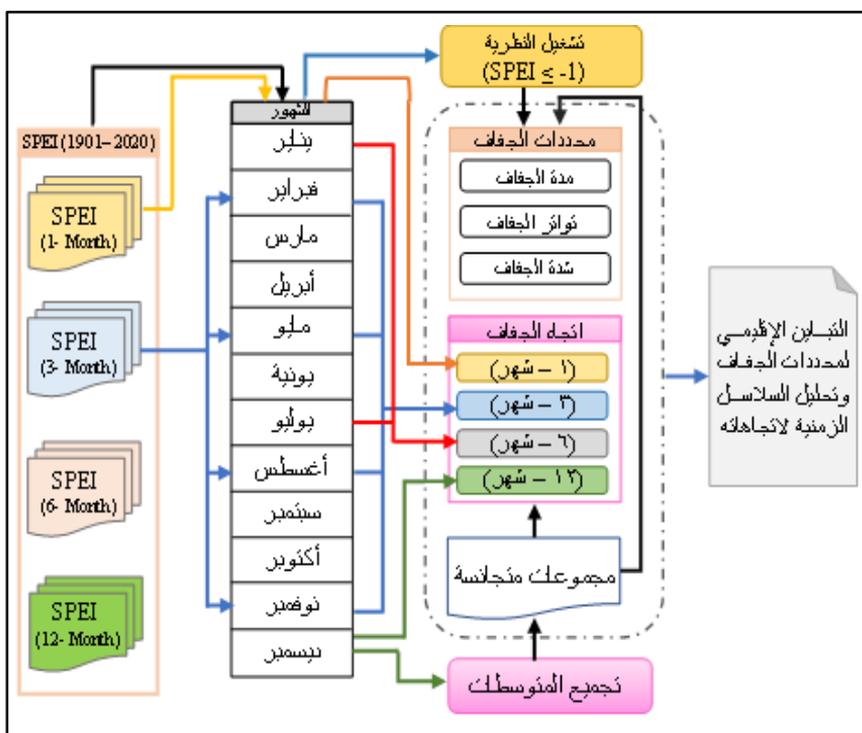
وتتميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة، في عدد من النقاط أهمها: اهتمامها بتقييم وتتبع الجفاف المناخي طويل المدى في الفترة من (١٩٠١: ٢٠٢٠) في الأجزاء الشمالية من مصر، وعلى مستويات زمنية قصيرة ومتوسطة وطويلة المدى (١، ٣، ٦، ١٢) شهر، وكذلك تتبع معدلات تكرار أحداث الجفاف المناخي ومدتها وشدتها ومقارنتها بالأحداث الرطبة في المنطقة المدروسة، ورصد التباين المكاني لفترات الجفاف والرطوبة.

٦ - منهجية الدراسة

ظهرت العديد من المؤشرات والمقاييس الرياضية خلال الخمسين سنة الماضية، من أجل وصف شدة وتواتر ومدة الجفاف، مثل مؤشر بالمر لشدة الجفاف (PDSI) Palmer Drought Severity Index الذي يعتمد على بيانات الحرارة والمطر لتقدير الجفاف النسبي، ويمكن لهذا مؤشر رصد تأثير الاحترار العالمي على الجفاف، من خلال التغيرات في التبخر المحتمل (Palmer, 1965). وقد تم تطوير مؤشر هطول الأمطار القياسي (SPI) (McKee et al., 1993)، وقد أوصت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية باستخدامه لقياس حدة الجفاف، وذلك لسهولة حسابه على نطاقات مكاني وزمانية مختلفة (WMO, 2012)، حيث إن المطر هو المُدخل الوحيد المطلوب، وبالتالي فإن هذا المؤشر أقل تعقيداً من مؤشر بالمر لشدة الجفاف (PDSI) ومؤشرات أخرى؛ مثل مقياس الشذوذات المعيارية، ومؤشر الجفاف الاستطلاعي RDI، ودليل الأعشار Deciles ، ومؤشر الجفاف المركب eCDI، ومعامل هارونا كارلسون للجفاف، إلا إنه لا يمكن لهذه المؤشرات سوي تقدير كمية النقص في الهطول، ويمكن للقيم المستمدة من البيانات الأولية أن تتغير، كما أن القيم تتغير مع ازدياد طول الفترة التي يغطيها سجل البيانات الخاصة بالجفاف (McKee et al, 1993). وقد أجري (Serrano-Vicente et al., 2010) محاولات جادة لتطوير مؤشر (SPI) والوصول إلى مؤشر قياسي جديد؛ وهو المؤشر المعياري

للحطول المطري والتبخّر نتح (SPEI)، وهو مقياس يوصي به كمقياس أكثر دقة لقياس شدة الجفاف المناخي (Vicente-Serrano et al, 2009)، وليس مجرد مقياس يعتمد على هطول الأمطار فقط، كما هو الحال في المؤشر القياسي لهطول الأمطار (SPEI) (Vicente-Serrano et al, 2014a).

حيث يتلافى نقاط الضعف الموجودة في مؤشر (SPEI)، حيث يتناول مسألة التبخر نتح الكامن (ET/ PET) من خلال إدراج مكون درجة الحرارة في حسابه (WMO, 2012). يتطلب هذا المؤشر لتشغيله متوسط درجة الحرارة، ودائرة عرض المكان، ومتوسط كمية المطر الساقطة. حيث تؤثر هذه المتغيرات على وتيرة الجفاف وشدته ومدته، إذ أنه مؤشر يعتمد على التوازن المائي المناخي في المقام الأول (Vicente-Serrano et al, 2010a)، والذي يمكن تحديده من خلال الاختلاف بين كمية التساقط وحجم التبخر الكامن. بالإضافة إلى أنه يسهل حسابه مثل المؤشر القياسي لهطول المطر (SPEI) (Vicente-Serrano et al, 2011).



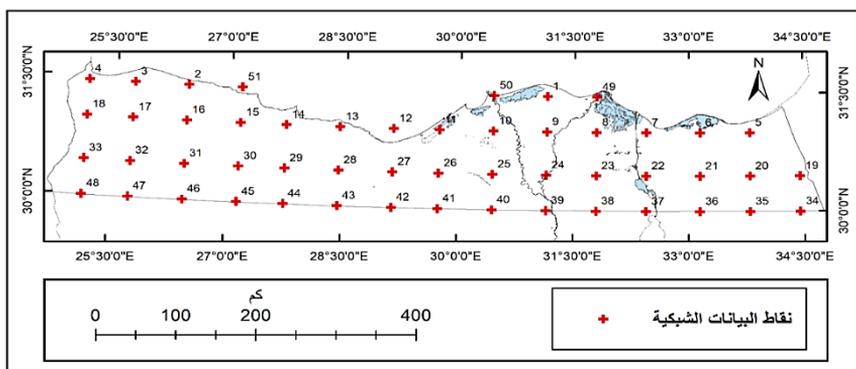
شكل (٢) خطوات منهجية الدراسة في مؤشر (SPEI).

حيث تناول مسألة التبخر نتج المحتمل من خلال إدراج مكون (درجة الحرارة) في حسابه، وكان الدور القوي لدرجات الحرارة في حساب شدة الجفاف واضحاً في الموجات الحار المدمرة في أوروبا الوسطى عام ٢٠٠٣م، والتي أدت فيها درجات الحرارة المرتفعة للغاية إلى زيادة كبيرة في التبخر، وتفاقم الجفاف الصيفي (Rebetez et al., 2006). وقد اعتمدت هذه الدراسة على مؤشر (SPEI) في تتبع الجفاف المناخي في شمالي مصر، وتتمثل المدخلات اللازمة للحصول على قيم المؤشر في: (الهطول المطري، ومتوسط درجة الحرارة، ودائرة العرض الذي تقع فيها المنطقة المطلوب دراستها)، وأهم ما يميز مؤشر (SPEI) أنه يسمح بمقارنة شدة الجفاف زمنياً ومكانياً، كما يمكن حسابه على مجموعة واسعة من المناخات، وعلاوة على ذلك فقد أشار (Keyantash and Dracup, 2002) إلى أن مؤشرات الجفاف يجب أن تكون قوية إحصائياً وأن يسهل حسابها، وأن يكون لها طريقة حسابية واضحة ومفهومة، يتم استيفاء جميع هذه المتطلبات في مؤشر (SPEI). ومع ذلك، فإن إحدى المزايا الحاسمة لهذا المؤشر على مؤشرات الجفاف الأخرى المستخدمة، هي أن خصائصه المتعددة العديدة تمكن من تحديد أنواع الجفاف وآثاره المختلفة في سياق الاحترار العالمي. وقد تم الحصول على بيانات (SPEI) الخاصة بمنطقة الدراسة من قاعدة البيانات العالمية المعروفة باسم (Global SPEI database) والتي توفر بيانات للمؤشر على المستوي المكاني لكل قارات العالم، ما عدا قارة أنتاركتيكا على الرابط التالي: Global SPEI database (csic.es) بدقة مكانية (٥,٥ × ٥,٥) دائرة عرضية وطولية، وعلى المدى الزمني، فإنها توفر بيانات لمدة زمنية (١٢٠) سنة، تمتد من (يناير ١٩٠١م) حتى (ديسمبر ٢٠٢٠م).

وقد تم تنزيل بيانات (SPEI) الخاصة بشمالي مصر لعدد (٥١) نقطة شبكية، الشكل (٣) في شكل ملف بامتداد NetCDF، وقد تم تنزيل كل نقطة أو مربع لفترة زمنية طويلة الأمد تمتد من ١٩٠١/١/١٦م حتى ٢٠٢٠/١٢/١٦م، ولمستويات قياس زمنية (١، ٣، ٦، ١٢ شهر). وقد اعتمدت الدراسة في تحقيق أهدافها على المنهج الوصفي التحليلي، لتتبع أحداث الجفاف والرطوبة في شمالي مصر خلال الفترة الممتدة من ١٩٠١ - ٢٠٢٠م وصولاً إلى توصيف دقيق للظاهرة، واتجاهات التغيير التي طرأت عليها، وتيرة شدتها ومدتها وتفسير أسبابها.

وقد تم الاستعانة بعدد من الأساليب، مثل الأسلوب الإحصائي؛ متمثلاً في اختبار سبيرمان اللامعلمي لتحديد الدلالة المعنوية لاتجاهات مؤشر SPEI، حيث أوصت باستخدامه المنظمة العالمية للأرصاد الجوية في

دليل استخدام المؤشر المعياري للهطول (WMO, 2012)، كما استخدم أسلوب The Sen's Slope Estimator Method في برنامج Excel 365 لتحديد قيم اتجاه الجفاف المناخي، في كل النقاط الشبكية المختارة، بالإضافة إلى العرض الجدولي والتمثيل البياني للبيانات الناتجة عن التحليلات الإحصائية باستخدام برنامج Excel 365، كما تم استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (برنامج ArcGIS 10.8.1) لإخراج خرائط الدراسة.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على برنامج ArcGIS 10.8.1
شكل (٣) نقاط بيانات SPEI الشبكية التي تعتمد عليها الدراسة.

جدول (١) قيم المؤشر المعياري للهطول المطري والتبخر نتح (SPEI)

التصنيف	قيم المؤشر SPEI	احتمال حدوثه (%)
جفاف متطرف	أقل من -2	2.3
جفاف شديد	من -1.99 : -1.5	4.4
جفاف معتدل	من -1.49 : -1	9.2
ظروف معتدلة	من -0.99 : 0.99	68.2
رطوبة معتدلة	من 1 : 1.49	9.2
رطوبة شديدة	من 1.5 : 1.99	4.4
رطوبة متطرفة	أكثر من 2	2.3

Source: (Bo Ming et al, 2015)

وتتراوح قيم مؤشر SPEI، كما في الجدول رقم (١) ما بين (أقل من -٢ حتى أكثر من +٢)، وتنقسم إلى سبع فئات ما بين الجفاف والرطوبة، حيث إن فئات التصنيف الجافة تحمل القيم السالبة ما بين (أقل من -٢

حتى -٠,٩٩). أما فئات التصنيف الرطبة فتحمل القيم الموجبة ما بين (أقل من ٠,٩٩ حتى أكثر من ٢) أما القيم التي تتراوح ما بين (-٠,٩٩ حتى ٠,٩٩) فتمثل الظروف المعتدلة.

٧ - النتائج ومناقشتها:

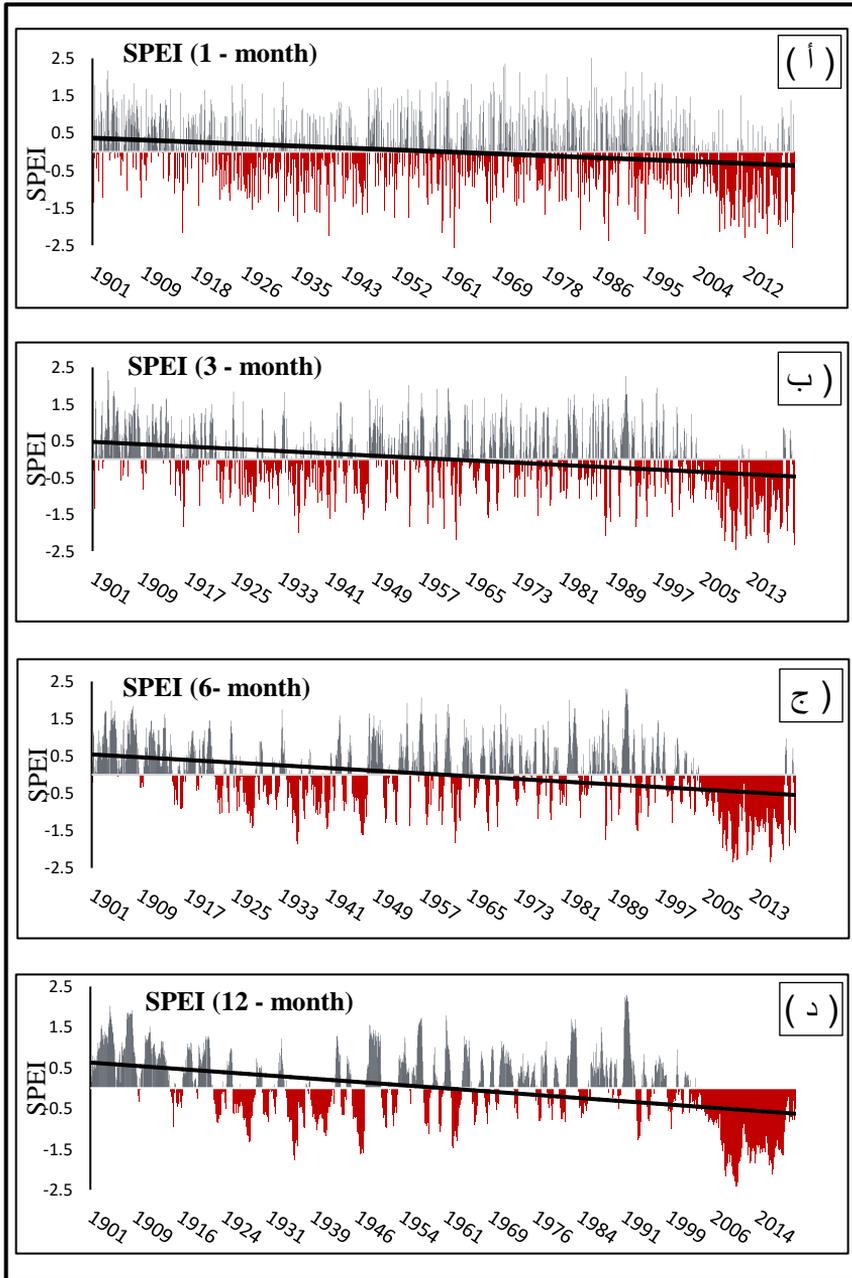
٧ - ١ - اتجاهات الجفاف بمنطقة الدراسة في مؤشر (SPEI).

٧ - ١ - ١ - اتجاهات الجفاف (١ شهر-SPEI).

يعكس استخدام مؤشر SPEI خلال المدي الزمني (١ شهر) أحوالاً قصيرة الأجل لحالة الجفاف والرطوبة، لذلك فإن تطبيقه يرتبط ارتباطاً وثيقاً بأنواع الجفاف الخاصة بالأحوال الجوية، بالإضافة إلى المحتوى الرطوبي للتربة لفترة زمنية قصيرة الأجل؛ وكذا إجهاد المحاصيل، لا سيما خلال موسم النمو. ويعد هذا المؤشر ذا أهمية كبيرة في تقديم صورة تقريبية للظروف التي يمثلها مؤشر رطوبة المحاصيل، والذي يشكل جزء من المؤشرات التابعة لمؤشر بالمر لشدة الجفاف.

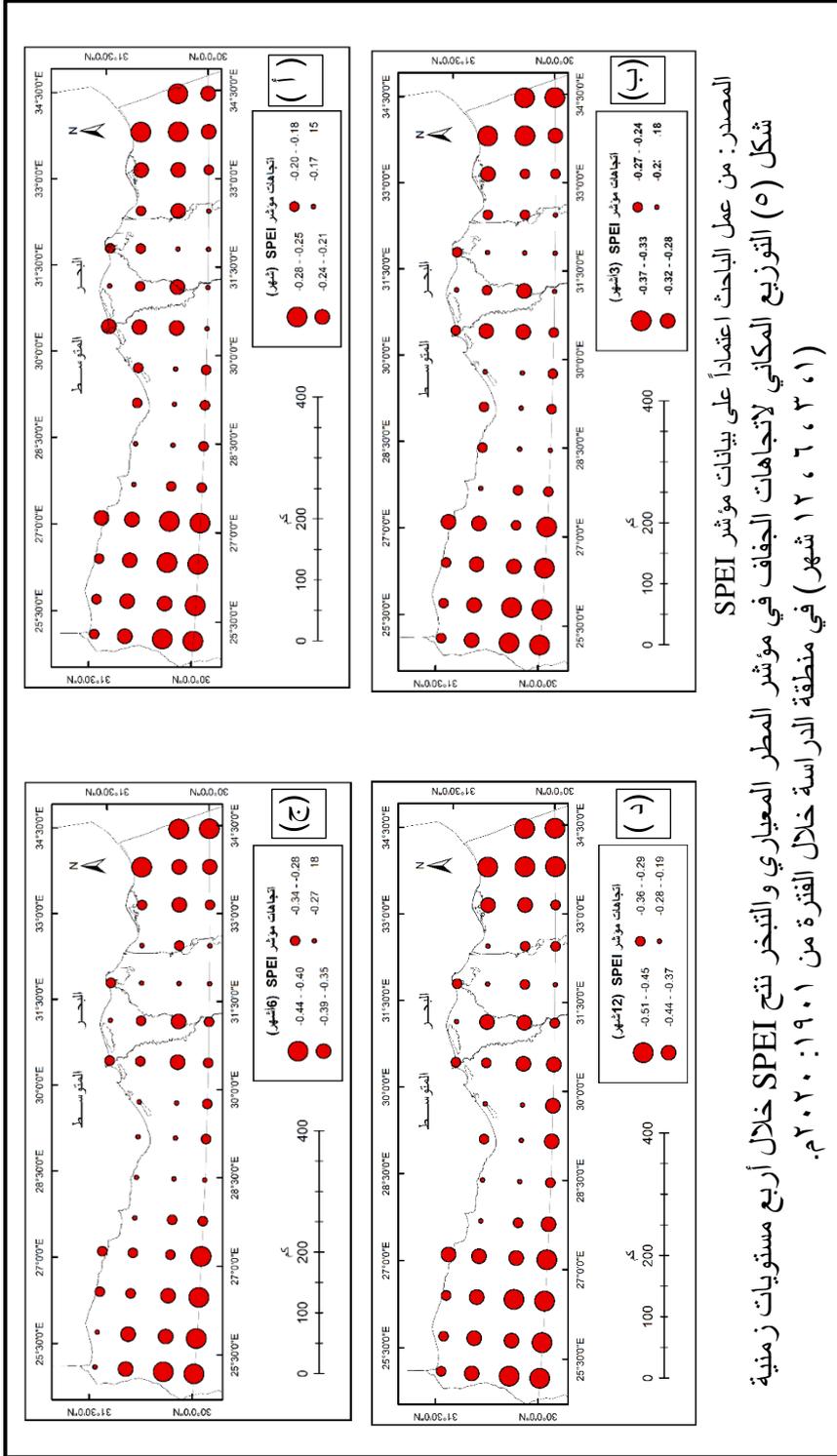
ويتضح من الشكلين (٤ - أ) و (٥ - أ) والجدول (٢) أن السلسلة الزمنية للنطاق الزمني (١ شهر) تأخذ اتجاهات عاماً نحو الزيادة في وتيرة الفترات الجافة في شمالي مصر خلال الفترة الزمنية (١٩٠١ - ٢٠٢٠م)، فمن الجدول (٢) بلغ معدل الاتجاه العام للفترات الجافة والفترات الرطبة للنطاق الزمني (١ شهر) نحو (-٠,٢١)، وبمستوي ثقة بلغ (٩٩٪)، وأن هناك تكرار للفترات الشهرية الجافة والرطبة بشمالي مصر، حيث تبين وجود حالات جفاف واضحة على طول السلسلة الزمنية بشكل متكرر، خلال الفترات التالية: (١٩٢٤ : ١٩٢٧)، (١٩٣٣ : ١٩٤٠)، (١٩٤٨ : ١٩٥٢)، (١٩٦٠ : ١٩٦٤)، (١٩٨٣ : ١٩٨٥)، (١٩٩١ : ١٩٩٥)، (٢٠٠٦ : ٢٠٢٠)، كما يلاحظ زيادة تواتر الفترات الجافة بعد العام (٢٠٠٦) في المنطقة المدروسة؛ ويمكن اعتبار ذلك هو السبب في سلوك الاتجاه العام نحو زيادة حدة الجفاف في الخمسة عشرة سنة الأخيرة، وكانت أشد الفترات الجافة في الأعوام (٢٠١٠)، (٢٠١٦)، (٢٠١٨)، (٢٠٢٠). وتتفق هذه النتائج مع النتائج التي توصلت لها العديد من الدراسات التي استخدمت مؤشر SPEI في رصد وتتبع حالة الجفاف، سواء في مصر وغيرها، مثل (عبد العال، ٢٠١٩) و (Lee et al., 2012).

ويتضح من الشكل (٥ - أ) التوزيع المكاني لاتجاهات الجفاف في مؤشر SPEI في المدي الزمني (١ شهر) في الفترة (١٩٠١ : ٢٠٢٠م)؛ أن اتجاهات المؤشر تبلغ أقصى قيمة (-٠,٢٥ : -٠,٢٨) في أقصى جنوب غرب منطقة الدراسة، وكذا أقصى شمالها الشرقي، وتبلغ اتجاهات



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (٤) المتوسط المتحرك لاتجاهات الجفاف في مؤشر SPEI خلال أربع مستويات زمنية (١، ٣، ٦، ١٢ شهر) بالنسبة لمتوسط منطقة الدراسة في الفترة من ١٩٠١: ٢٠٢٠م.



جدول (٢) اتجاهات الجفاف في مؤشر المطر المعياري والتبخّر نتج SPEI خلال أربع نطاقات زمنية لمنطقة الدراسة خلال الفترة من (١٩٠١ : ٢٠٢٠م).

النقطة الشبكية	المؤشر (١ - شهر)	المؤشر (٣ - شهور)	مؤشر (٦ - أشهر)	المؤشر (١٢ - شهر)
1	**-.18	**-.21	**-.21	**-.22
2	**-.21	**-.26	**-.28	**-.34
3	**-.19	**-.24	**-.26	**-.32
4	**-.19	**-.24	**-.26	*-.31
5	**-.28	**-.36	*-.41	*-.47
6	**-.24	**-.29	**-.31	**-.37
7	**-.21	**-.25	**-.26	**-.28
8	**-.18	**-.23	**-.23	**-.24
9	**-.19	*-.25	**-.29	**-.43
10	**-.21	**-.31	**-.30	*-.32
11	**-.19	**-.22	**-.22	**-.22
12	**-.19	**-.24	*-.27	**-.29
13	**-.17	**-.24	**-.25	**-.22
14	**-.16	**-.18	**-.18	**-.19
15	*-.23	*-.29	**-.33	**-.40
16	**-.22	**-.28	**-.33	**-.40
17	*-.23	**-.29	**-.35	**-.42
18	*-.23	**-.29	*-.36	**-.43
19	*-.25	**-.35	**-.42	**-.50
20	**-.26	**-.35	**-.38	**-.45
21	**-.23	**-.26	**-.37	**-.37
22	**-.23	**-.27	**-.32	**-.36
23	**-.18	**-.22	**-.26	**-.29
24	**-.23	*-.31	**-.37	**-.43
25	**-.23	**-.31	**-.37	*-.44
26	**-.16	**-.22	*-.24	*-.27
27	**-.15	**-.20	**-.23	**-.26
28	**-.16	**-.21	**-.23	**-.26
29	**-.20	**-.25	**-.30	**-.36
30	*-.26	**-.26	**-.30	**-.44
31	**-.25	**-.32	**-.38	**-.45
32	**-.24	**-.34	**-.36	**-.44
33	**-.26	**-.34	**-.42	**-.50
34	**-.24	**-.33	**-.41	**-.49
35	**-.22	*-.29	*-.38	*-.45
36	**-.19	**-.25	*-.30	**-.34
37	**-.17	**-.22	**-.26	**-.30
38	*-.16	**-.21	**-.24	*-.27
39	**-.18	**-.23	**-.28	**-.33
40	**-.18	**-.27	**-.32	**-.38
41	**-.19	**-.26	**-.31	*-.37
42	**-.20	**-.27	*-.32	**-.37
43	**-.18	**-.22	**-.27	**-.31
44	**-.21	**-.28	**-.33	**-.39
45	*-.28	**-.37	*-.44	**-.51
46	**-.27	**-.36	**-.41	**-.47
47	**-.27	*-.36	**-.43	**-.50
48	**-.26	*-.35	*-.42	**-.49
49	**-.19	**-.27	**-.30	**-.32
50	**-.21	**-.27	**-.30	*-.32
51	**-.23	**-.29	**-.33	**-.40
منطقة الدراسة	**-.21	**-.27	**-.32	**-.37

* دلالة معنوية (٠,٠٥)، عند مستوى الثقة ٩٥٪

** دلالة معنوية (٠,٠١)، مستوى الثقة ٩٩٪

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر (SPEI).

المؤشر أدنى قيمة بمنطقة الدراسة (-٠,١٥: ٠,١٧) في الأجزاء الوسطي من شمالي الصحراء الغربية؛ وكذا جنوب شرق الدلتا والقاهرة والأجزاء الوسطي الشمالية من الدلتا ويمكن أن يكون تفسير المؤشر المعياري للهطول خلال شهر واحد مضللاً ما لم يكن علم المناخ مفهوماً. ففي المناطق التي يكون هطول المطر فيها منخفضاً عادة خلال شهر، يمكن أن تنتج مؤشرات معيارية سلبية أو إيجابية إلى حد كبير، حتى وإن كان الابتعاد عن المعدل المتوسط صغيراً نسبياً. ويمكن أن يكون المؤشر المعياري للهطول خلال شهر واحد مضللاً أيضاً بعد قيم هطول أقل من المعتاد في المناطق ذات المجموع الصغير للهطول المعتاد خلال شهر، ومن ثم ينبغي توخي الحذر عند تحليلها (WMO, 2012).

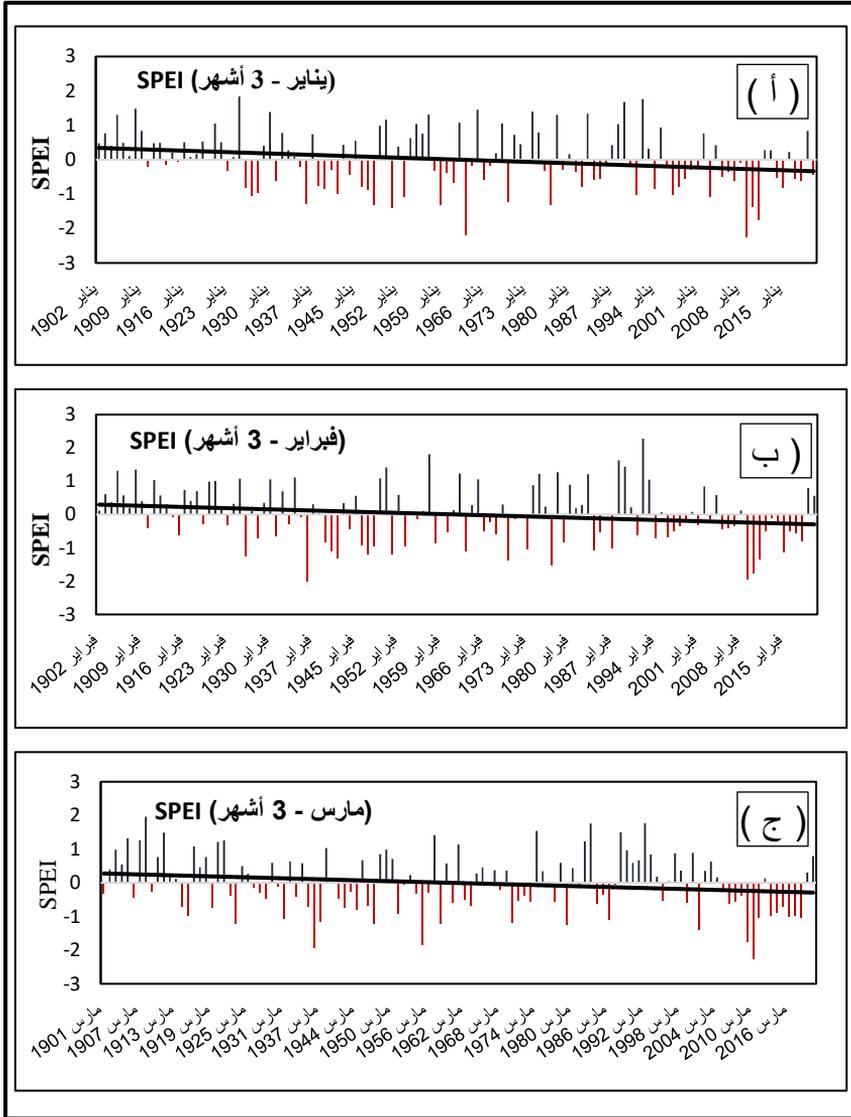
١- ٢ - اتجاهات الجفاف (٣ أشهر-SPEI).

يوفر مؤشر SPEI خلال المدي الزمني (٣ أشهر) وصفاً كميًا لحالة الجفاف والرطوبة خلال ثلاثة أشهر متتالية، فلو كان المؤشر لشهر (مارس) فإنه يماثل مجاميع الهطول خلال شهور (مارس وفبراير ويناير) في جميع الأعوام في سجل SPEI في المنطقة المدروسة. ويعكس مؤشر SPEI خلال ٣ أشهر أحوال الرطوبة في الأجلين القصير والمتوسط، ويوفر تقديراً فصلياً للهطول، وفي المناطق التي تسود فيها الزراعة يكون هذا المؤشر فعالاً في إبراز أحوال الرطوبة المتاحة مقارنة بمؤشر بالمر لشدة الجفاف وغيره من المؤشرات المتاحة حالياً.

ويتضح من الشكلين (٤ - ب) و (٥ - ب) والجدول (٢) أن السلسلة الزمنية للنطاق الزمني (٣ أشهر) تأخذ اتجاهًا عامًا صاعدًا بالنسبة للفترات الجافة في منطقة الدراسة خلال الفترة الزمنية (١٩٠١ - ٢٠٢٠م)، حيث يتضح من الجدول رقم (٢) أن معدل الاتجاه العام للفترات الجافة والفترات الرطبة للنطاق الزمني (٣ أشهر) قد بلغ نحو (-٠,٢٧)، وبدلالة معنوية (٠,٠١)، وأن هناك تكرار الفترات ربع السنوية الجافة والرطوبة بشمالي مصر، حيث تبين وجود حالات جفاف واضحة على طول السلسلة الزمنية بشكل متكرر، خلال الفترات التالية: (١٩١٤: ١٩١٦)، (١٩٢٦: ١٩٢٨)، (١٩٣٣: ١٩٣٦)، (١٩٣٨: ١٩٣٩)، (١٩٤٤: ١٩٤٧)، (١٩٦٢: ١٩٦٤)، (١٩٨٧: ١٩٨٩)، (١٩٩٢: ١٩٩٣)، (٢٠٠٦: ٢٠٢٠)، ويلاحظ كما تم رصده في النطاق الزمني (١ شهر) أن هناك زيادة تواتر الفترات الجافة بعد العام (٢٠٠٦) في المنطقة المدروسة.

ويتضح من الشكل (٥ - ب) التوزيع المكاني لاتجاهات الجفاف في مؤشر المطر المعياري والتبخر نتح في المدي الزمني (٣ أشهر) في الفترة

(١٩٠١ : ٢٠٢٠م)؛ أن اتجاهات المؤشر تبلغ أعلى قيمة (-٠,٣٣) : - (٠,٣٧) في أقصى جنوب غرب منطقة الدراسة، وكذا أقصى شرق وشمال شرق سيناء، وتبلغ اتجاهات المؤشر أدنى قيمة (-٠,١٨ : -٠,٢٠) في شرق الدلتا وجنوب العلمين والضبعة بالصحراء الغربية.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (٦) المتوسط المتحرك لاتجاهات الجفاف في مؤشر (٣ أشهر-SPEI) خلال (شهور يناير وفبراير ومارس) بالنسبة لمتوسط منطقة الدراسة في الفترة من (١٩٠١ : ٢٠٢٠م).

ولما كانت منطقة الدراسة تقع على هوامش إقليم البحر المتوسط المناخي؛ وتتسم بالفصلية الواضحة في نظامها المطري؛ فإنه ينبغي التعامل مع مؤشر SPEI لثلاثة أشهر بنوع من الحذر؛ حيث تسقط أمطار قليلة ويتوقع سقوطها في أوقات محددة من العام، تتمثل في الفترة الممتدة من (نوفمبر حتى مارس)، ومن ثم تكون المجاميع التاريخية المقابلة صغيرة، ويمكن أن تؤدي انحرافات صغيرة نسبياً على جانبي المتوسطات إلى مؤشرات SPEI سلبية أو إيجابية، ومن ثم يجب تخصيص النطاق الزمني (٣ أشهر) على شهور الهطول الفعلية؛ التي أشرنا إليها، وبيئها الشكل (٦).

ويتضح من الشكل (٦ - أ) أن السلسلة الزمنية للنطاق (يناير - ٣ أشهر) تأخذ فيها الفترات الجافة اتجاهاً عاماً نحو الزيادة في شمالي مصر، حيث يظهر بالشكل أن هناك تكرار للفترات الجافة ربع السنوية في يناير، خلال الفترات التالية: (يناير ١٩٢٧ - يناير ١٩٢٨)، (يناير ١٩٣٦)، (يناير ١٩٤٨)، (يناير ١٩٥١)، (يناير ١٩٥٣)، (يناير ١٩٥٩)، (يناير ١٩٦٣)، (يناير ١٩٧٠)، (يناير ١٩٧٧)، (يناير ٢٠٠٣)، (يناير ٢٠١٠ - يناير ٢٠١١). بالإضافة إلى وجود عدد أقل من الفترات الرطبة، إلا أنه بوجه عام فإن السلسلة الزمنية للنطاق (يناير - ٣ أشهر) يغلب عليها الفترات المعتدلة (-٠,٩ : ٠,٩) طوال المدة التي تشملها الدراسة.

ويتضح من الشكل (٦ - ب) أن السلسلة الزمنية للنطاق (فبراير - ٣ أشهر) - الذي يرصد الفترات الرطبة والفترات الجافة في شهور (فبراير ويناير وديسمبر) -، تأخذ فيها الفترات الجافة اتجاهاً عاماً نحو الزيادة في المنطقة المدروسة، حيث يظهر بالشكل (٦ - ب) أن هناك تكرار للفترات الجافة ربع السنوية في فبراير، خلال الفترات التالية: (فبراير ١٩٢٦)، (فبراير ١٩٣٦)، (فبراير ١٩٤٠ : فبراير ١٩٤١)، (فبراير ١٩٤٧)، (فبراير ١٩٥١)، (فبراير ١٩٦٣)، (فبراير ١٩٧٠)، (فبراير ١٩٧٧)، (فبراير ١٩٨٧)، (فبراير ٢٠٠٩ - فبراير ٢٠١١)، (فبراير ٢٠١٥). بالإضافة إلى وجود عدد أقل من الفترات الرطبة، إلا أنه بوجه عام فإن السلسلة الزمنية لهذا النطاق يغلب عليها الفترات المعتدلة طبقاً لـ SPEI طوال المدة التي تشملها الدراسة.

أما بالنسبة للنطاق (مارس - ٣ أشهر) والذي يرصد الفترات الرطبة والفترات الجافة في شهور (مارس وفبراير ويناير)، فيتضح من الشكل (٦ - ج) أن السلسلة الزمنية له تأخذ فيها الفترات الجافة اتجاهاً عاماً نحو الزيادة في المنطقة المدروسة، وأن هناك تكرار للفترات الجافة ربع السنوية في مارس، خلال الفترات التالية: (مارس ١٩٢٣)، (مارس

(١٩٣١)، (مارس ١٩٣٦)، (مارس ١٩٤٧)، (مارس ١٩٥٥)، (مارس ١٩٥٨)، (مارس ١٩٧٠)، (مارس ١٩٧٩)، (مارس ١٩٨٦)، (مارس ٢٠٠١)، (مارس ٢٠٠٩)، (مارس ٢٠١٠). بالإضافة إلى وجود عدد أقل من الفترات الرطبة، إلا أنه بوجه عام فإن السلسلة الزمنية لهذا النطاق يغلب عليها الفترات المعتدلة طبقاً لـ SPEI طوال المدة التي تشملها الدراسة.

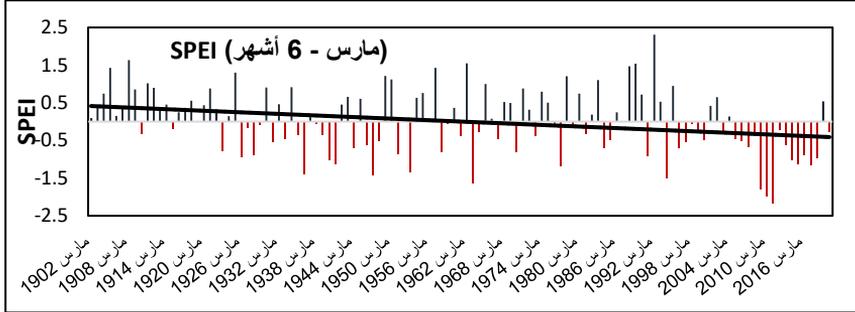
٧- ١- ٣ - اتجاهات الجفاف (٦ أشهر-SPEI).

يُنظر مؤشر SPEI خلال المدي الزمني (٦ أشهر) مجموع الهطول لستة أشهر، فمثلاً يُنظر مؤشر SPEI لـ (مارس - ٦ أشهر) مجموع الهطول في الفترة الممتدة من (مارس حتى أكتوبر). ويتضح من الشكلين (٤ - ج) و (٥ - ج) والجدول (٢) أن السلسلة الزمنية للنطاق الزمني (٦ أشهر) تأخذ اتجاهًا عامًا نحو الزيادة بالنسبة للفترات الجافة في منطقة الدراسة خلال الفترة الزمنية (١٩٠١ - ٢٠٢٠م)، حيث يتضح من الجدول (٢) أن معدل الاتجاه العام للفترات الجافة والفترات الرطبة للنطاق الزمني (٦ أشهر) قد بلغ نحو (-٠,٣٢)، وبمستوي ثقة بلغ (٩٩٪)، وأن هناك تكرار للفترات الجافة والرطبة نصف السنوية بشمال مصر، حيث تبين وجود نوبات جفاف واضحة على طول السلسلة الزمنية بشكل متكرر، خلال الفترات التالية: (١٩٢٣)، (١٩٢٨)، (١٩٣٥) : (١٩٣٧)، (١٩٤١)، (١٩٤٧)، (١٩٥١)، (١٩٥٣)، (١٩٦٠)، (١٩٦٢) : (١٩٦٣)، (١٩٦٨)، (١٩٧٠)، (١٩٧٧)، (١٩٧٩)، (١٩٨٤)، (١٩٨٨ - ١٩٨٩)، (١٩٩٣)، (١٩٩٥)، (١٩٩٩)، (٢٠٠٧) : (٢٠٢٠). ويلاحظ أن هناك زيادة تواتر للفترات الجافة بعد العام (٢٠٠٧) حتى نهاية العام (٢٠٢٠) في المنطقة المدروسة.

ويتضح من الشكل (٥ - ج) التوزيع المكاني لاتجاهات الجفاف في مؤشر (SPEI) في المدي الزمني (٦ أشهر) في الفترة (١٩٠١ : ٢٠٢٠م)؛ أن اتجاهات المؤشر تبلغ أعلى قيمة (-٠,٤٠ : -٠,٤٤) في أقصى جنوب غرب منطقة الدراسة، بالإضافة إلى أقصى شرق وشمال شرق سيناء، وتبلغ اتجاهات المؤشر أدنى قيمة بمنطقة الدراسة (-٠,١٨ : -٠,٢٧) في شرق الدلتا وغرب الإسكندرية وجنوب العلمين والضبعة بالصحراء الغربية.

ولا يزال مؤشر (SPEI - ٦ أشهر) الأكثر حساسية إزاء الظروف الفصلية للهطول في الأقاليم المختلفة، ولما كانت منطقة الدراسة تقع على هوامش إقليم البحر المتوسط ذو المطر الفصلي، فإن مؤشر (SPEI - ٦ أشهر) في نهاية شهر مارس يقدم عرضاً جيداً للغاية

لرصد الفترات الرطبة والجافة في منطقة الدراسة، ولما كان ذلك، فقد أثر الباحث أن يسلط الضوء على (مارس SPEI - ٦ أشهر) باعتباره نهاية لفصل المطر بالمنطقة المدروسة.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (٧) المتوسط المتحرك لاتجاهات الجفاف في مؤشر SPEI (مارس - ٦ أشهر) بالنسبة لمتوسط منطقة الدراسة في الفترة من ١٩٠١: ٢٠٢٠م.

ويتضح من الشكل (٧) أن السلسلة الزمنية للنطاق الزمني (مارس - ٦ أشهر) - الذي يرصد الفترات الرطبة والفترات الجافة في شهور (مارس، فبراير، يناير، ديسمبر، نوفمبر، وأكتوبر) -، تأخذ فيها الفترات الجافة اتجاهاً عاماً نحو الزيادة، حيث يظهر بالشكل (٧) أن هناك تكرار للفترات الجافة نصف السنوية في مارس، خلال الفترات التالية: (مارس ١٩٢٦)، (مارس ١٩٤٠ - مارس ١٩٤١)، (مارس ١٩٤٧)، (مارس ١٩٥٣)، (مارس ١٩٦٣)، (مارس ١٩٧٧)، (مارس ١٩٩٤)، (مارس ٢٠٠٩ - مارس ٢٠١١)، (مارس ٢٠١٤ - مارس ٢٠١٥)، (مارس ٢٠١٧). بالإضافة إلى وجود عدد أقل من الفترات الرطبة في نفس الفترة الزمنية، إلا أنه بوجه عام فإن السلسلة الزمنية لهذا النطاق يغلب عليها الفترات المعتدلة طبقاً لـ SPEI طوال المدة التي تشملها الدراسة.

١-٧ - ٤ - اتجاهات الجفاف (١٢ شهر-SPEI).

يعكس مؤشر (SPEI) في النطاق الزمني (١٢ شهر) أنماط الهطول الطويلة الأجل، حيث إنه يعد تمثيلاً للهطول خلال ١٢ شهراً متعاقبة، ونظراً لأن هذا النطاق الزمني يعد نتيجة تراكمية لفترات زمنية أقصر منه قد يكون الهطول فيها أعلى أو أدنى من المعتاد، فإنه ينحس نحو الانجذاب صوب الصفر ما لم يحدث اتجاه مطير أو اتجاه جاف مميز. ويرتبط مؤشر (١٢ شهر - SPEI) ارتباطاً وثيقاً بما يكون بمؤشر بالمر، بل يمكن للمؤشرين أن يعكساً أحوالاً مماثلة (WMO, 2012). ويتضح

من الشكلين (٤ - د) و (٥ - د) والجدول (٢) أن السلسلة الزمنية للنطاق الزمني (١٢ أشهر) لمؤشر (SPEI) تأخذ اتجاهات عاماً نحو الزيادة بالنسبة للفترات الجافة في منطقة الدراسة خلال الفترة الزمنية (١٩٠١ - ٢٠٢٠م)، بل إنه يعد انعكاساً للفترات الرطبة والجافة في النطاقات الزمنية القصيرة والمتوسطة الأجل بمنطقة الدراسة، ويتضح من الجدول (٢) أن معدل الاتجاه العام للفترات الجافة والفترات الرطبة للنطاق الزمني (١٢ شهر) قد بلغ نحو (-٠,٣٧)، وبمستوي ثقة يبلغ (٩٩٪)، وأن هناك تكرار للفترات الجافة والرطبة السنوية بشمال مصر، حيث تبين تواتر الفترات الجافة على طول السلسلة الزمنية بشكل متكرر، خلال السنوات التالية: (١٩٢٨ : ١٩٢٩)، (١٩٣٥ : ١٩٣٦)، (١٩٤٠)، (١٩٤٦ : ١٩٤٨)، (١٩٥٩ : ١٩٦٠)، (١٩٦٣)، (١٩٩٤)، (١٩٩٩)، (٢٠٠٨ : ٢٠١٨).

أما بالنسبة للتوزيع المكاني لاتجاهات الجفاف في مؤشر (SPEI) في المدي الزمني (١٢ شهر) في الفترة (١٩٠١ : ٢٠٢٠م)؛ ويتضح من الشكل (٥ - د) أن اتجاهات المؤشر تبلغ أعلى قيمة (-٠,٤٥ : -٠,٥١) في أقصى جنوب غرب منطقة الدراسة، بالإضافة إلى أقصى شرق شبه جزيرة سيناء الشرقية بمحاذاة حدودها مع فلسطين (المحتلة)، وهو نفس التوزيع المكاني لاتجاهات الجفاف في النطاقات الزمنية السابقة (القصيرة والمتوسطة)، مما يعني أن هذه المناطق تعاني من الجفاف المناخي على مستوى كل النطاقات الزمنية القصيرة والمتوسطة والطويلة. بينما تبلغ اتجاهات المؤشر أدنى قيمة (-٠,١٠ : -٠,٢٨) في شمال شرق الدلتا وجنوبها الشرقي، وكذا في الإسكندرية وجنوبها وجنوبها الغربي، بالإضافة إلى منطقتي العلمين والضبعة بالصحراء الغربية.

٧ - ٢ - التباين المكاني لنسب فئات الجفاف والرطوبة.

طبقاً للتصنيف الوارد بالجدول رقم (١) الخاص بقيم مؤشر SPEI، فإنه ينقسم إلى سبع فئات، تتراوح ما بين أقصى الجفاف وأقصى الرطوبة، حيث تحمل فئات الجفاف القيم السالبة، بينما تحمل فئات الرطوبة القيم الموجبة، وبالمجمل يلاحظ أن هناك تبايناً مكانياً واضحاً لفئات الجفاف والرطوبة في منطقة الدراسة طبقاً للتفصيل التالي:

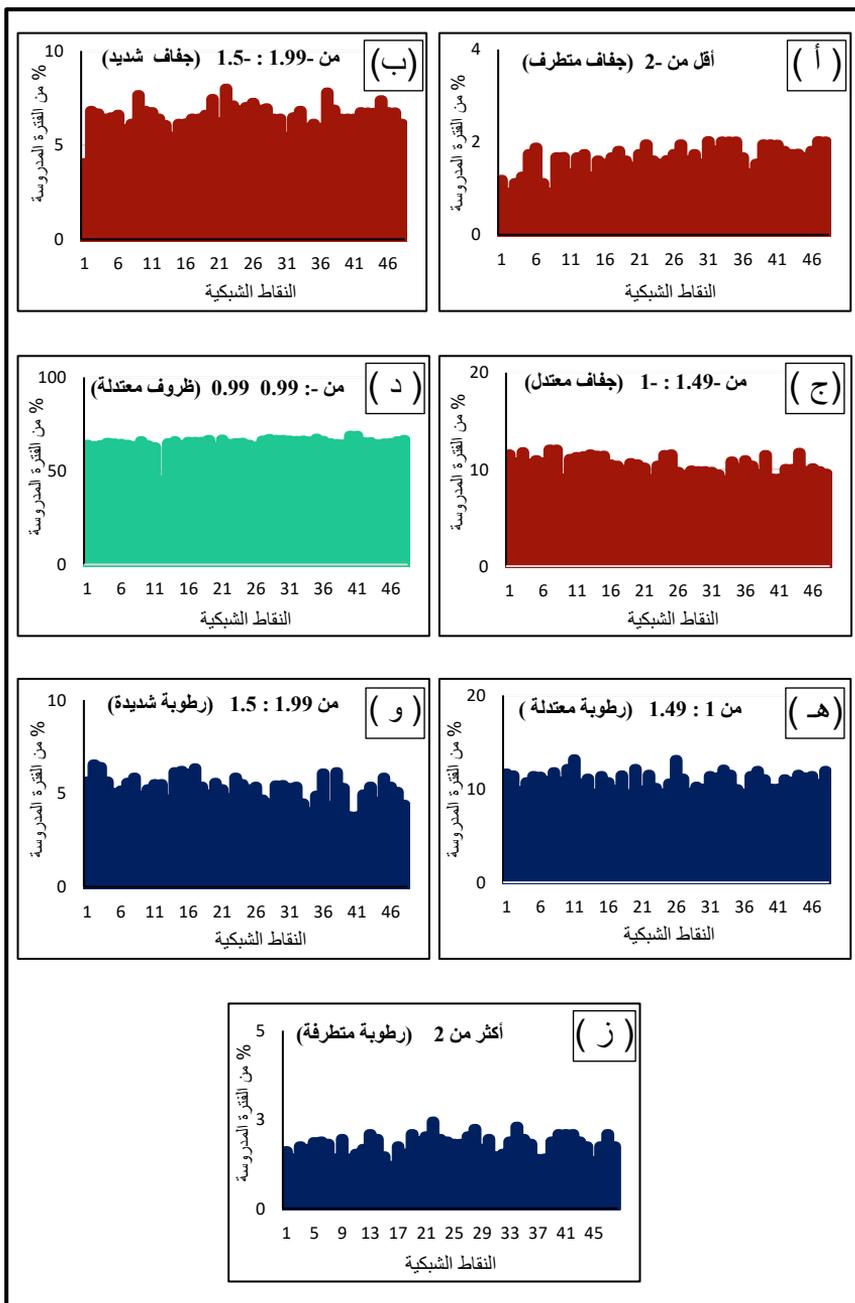
٧ - ٢ - ١ - التباين المكاني للنطاق الزمني (١ شهر - SPEI).

ويتضح من الشكلين (٨) و (٩) والجدول (٣) أن هناك تبايناً مكانياً للفترات الجافة والرطبة في شمالي مصر خلال الفترة الزمنية

(١٩٠١ : ٢٠٢٠م)، فقد بلغ المعدل العام للجفاف المتطرف في مؤشر SPEI (≥ 2) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (١,٦٤٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة). أما التوزيع الجغرافي لقيم الجفاف المتطرف؛ فإن النطاقات الأعلى (١,٨١ - ٢,٠٦٪) هي: أقصى جنوب غرب منطقة الدراسة، حيث النقاط الشبكية (٣١، ٣٣، ٤٦، ٤٧ و ٤٨)، وأقصى جنوب شرق منطقة الدراسة، حيث النقاط (٣٤ و ٣٥)، وقطاع يمتد غرب القاهرة حتي الأطراف الشرقية من منخفض القطارة؛ تمثله النقاط (٢٦، ٢٧، ٣٩، ٤٠ و ٤١) وقطاع شرق الإسماعيلية، وجنوب غرب بحيرة البردويل، على الجانب الآخر فإن قطاعات شمال شرق وشرق الدلتا وأقصى شمال غرب منطقة الدراسة في القطاع الممتد من مطروح حتى السلوم قد سجلت أدنى القيم (٠,٨ - ١,٥٪) في فئة (الجفاف المتطرف - شهر)، ويعود ذلك لوقوعها على البحر المتوسط بشكل مباشر دون وجود موانع طبيعية تحول دون تأثيره.

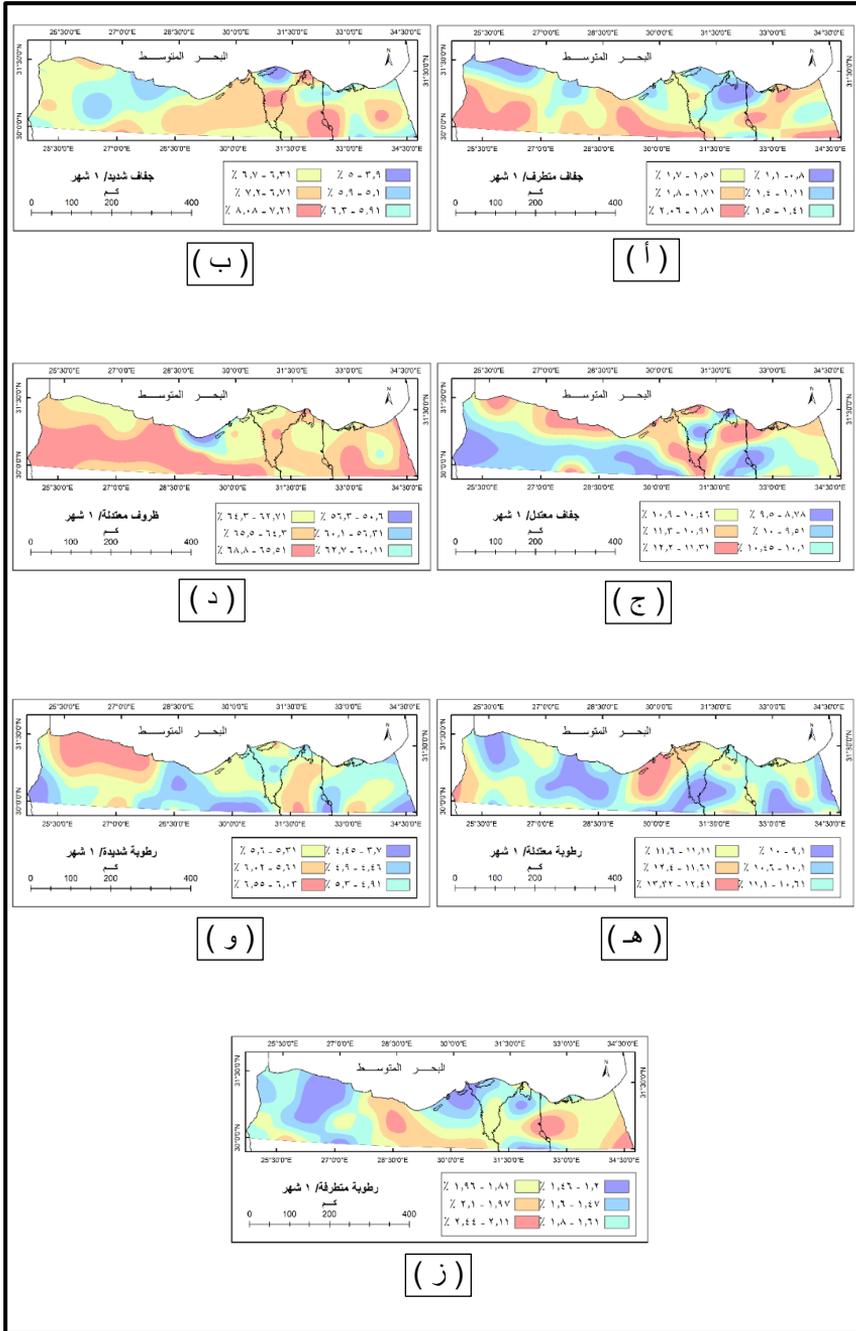
أما فئة الجفاف الشديد في مؤشر SPEI (من -١,٩٩ : -١,٥) في منطقة الدراسة فتمثل إجمالاً نحو (٦,٥٥٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة). أما التوزيع الجغرافي لقيم تلك الفئة؛ فإن الأجزاء الأعلى (٧,٢١ - ٨,٠٧٪) هي: حول الإسماعيلية والبحيرات المرة، حيث النقاط الشبكية (٢٢، ٣٧)، وأقصى شمال شرق الدلتا ووسط الدلتا والأجزاء الوسطى من سيناء، حيث النقاط (٩، ٢٠ و ٤٩). أما أدنى القيم التي سجلت في هذه الفئة (٣,٩ - ٥٪)، فتنوزع جغرافياً في الجزء الشمالي الأوسط من الدلتا وأقصى شمال شرق سيناء ومنطقتي بورسعيد والحسينية وسهل الطينة وشمال شرق سيوة.

وقد بلغ المعدل العام لفئة الجفاف المعتدل في مؤشر SPEI (من -١,٤٩ : -١) في منطقة الدراسة إجمالاً في المدي الزمني (١ شهر) نحو (١٠,١١٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة). أما التوزيع الجغرافي لقيم الجفاف المعتدل؛ فإن النطاقات الأعلى (١٢,٤١ - ١٣,٣٢٪) هي: منطقة الإسكندرية وظهيرها الجنوبي، حيث النقاط الشبكية (١١، ٢٦)، وأقصى جنوب غرب منطقة الدراسة، وكذا الأجزاء الوسطى من شمال سيناء حيث النقطة الشبكية (٢٠)، أما التوزيع الجغرافي لأقل قيم الجفاف المعتدل، فتنوزع في منطقة السلوم، حيث النقطة الشبكية (٣) والضبعة ومنخفض القطارة، حيث النقاط (١٤، ٢٨ و ٢٩) والقطاع الممتد جنوب الدلتا والقاهرة (٢٤ - ٤٠) ومنطقة هضبة التيه (٣٦، ٢١ و ١٩).



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (٨) التباين المكاني لنسب فئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخّر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنطاق الزمني (شهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠م.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (٩) التوزيع الجغرافي لنسب فئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنطاق الزمني (شهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠ م.

جدول (٣) النسب المئوية (%) لفئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنتافات الزمنية (١، ٣، ٦، ١٢ شهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠ م.

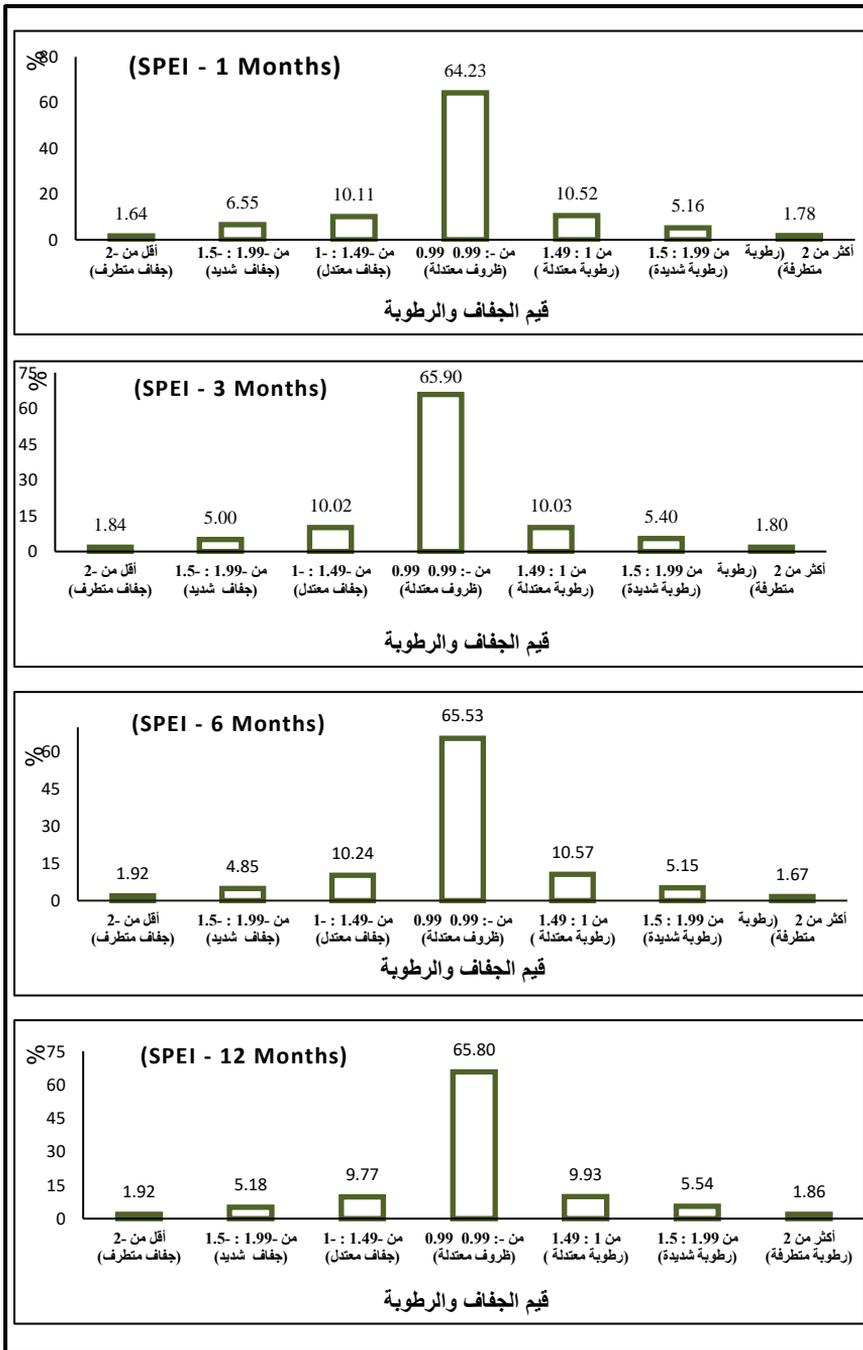
شهر ١٢	شهر ٦	شهر ٣	شهر	احتمالات	تصنيف وقيم مؤشر SPEI
(%)	(%)	(%)	(%)	SPEI	
1.92	1.92	1.84	1.64	2.3	(جفاف متطرف) أقل من -٢
5.18	4.85	5.00	6.55	4.4	(جفاف شديد) من -١,٩٩ - ١,٥
9.77	10.26	10.02	10.11	9.2	(جفاف معتدل) من -١,٤٩ - ١
65.80	65.55	65.90	64.23	68.2	(ظروف معتدلة) من ٠,٩٩ : ٠,٩٩
9.93	10.57	10.03	10.52	9.2	(رطوبة معتدلة) من ١ : ١,٤٩
5.54	5.16	5.40	5.16	4.4	(رطوبة شديدة) من ١,٥ : ١,٩٩
1.87	1.68	1.80	1.78	2.3	(رطوبة متطرفة) أكثر من ٢
100	100	100	100	100	منطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

أما فئة الظروف المعتدلة في مؤشر SPEI (من -٠,٩٩ : ٠,٩٩)، فهي تتراوح في منطقة الدراسة إجمالاً ما بين (٦,٥٠ - ٦٨,٨٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة). وهي تتوافق إلى حد كبير مع النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٦٨,٢٪). وقد سجلت أعلى قيم هذه الفئة في النطاق الجنوبي الغربي من منطقة الدراسة وشرق سيوة، وأقصى جنوب شرق منطقة الدراسة، وسجلت أعلى قيمها في منطقة ساحل العلمين وشمال منخفض القطارة.

أما فئة الرطوبة المعتدلة (من ١ : ١,٤٩)، فهي تتراوح في منطقة الدراسة إجمالاً ما بين (٩,١ - ١٣,٣٢٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة). وهي تتوافق إلى حد ما مع النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٩,٢٪)، وقد سجلت أعلى قيم هذه الفئة في منطقة الإسكندرية وظهرها الغربي والجنوبي والجنوبي الغربي، أما أدنى قيم هذه الفئة فتتوزع جغرافياً في النطاق الجنوبي الغربي من منطقة الدراسة وشرق سيوة، وأقصى جنوب شرق منطقة الدراسة، وذلك لبعدهما نسبياً عن المؤثرات البحرية وقلّة كمية المطر الساقطة عليهما مقارنة بالنطاق الساحلي.

وقد بلغ المعدل العام لفئة الرطوبة الشديدة إجمالاً نحو (٥,١٦٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة)، وهي تزيد بشكل كبير عن النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٤,٤٪)، ويتراوح توزيعها المكاني في منطقة الدراسة ما بين (٣,٧ - ٦,٥٥٪)، وقد سجلت أعلى قيم هذه الفئة في الإسكندرية وظهرها الجنوبي والجنوبي



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الجدول رقم (٣)

شكل (١٠) النسب المئوية (%) لفئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخّر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنواتج الزمنية (١، ٣، ٦، ١٢ شهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠ م.

الغربي، وأقصى جنوب غرب منطقة الدراسة، وتتوزع أديانها جغرافياً في جنوب الدلتا والقاهرة، عند النقاط الشبكية (٢٤، ٤٠)، وكذا منطقة الضبعة ومنخفض القطارة وشرق السلوم عند النقطة الشبكية (٣) وغرب هضبة التيه.

أما فئة الرطوبة المتطرفة (أكثر من ٢)، فهي تتراوح في منطقة الدراسة إجمالاً ما بين (١,٢ - ٢,٤٤٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة). وهي تتوافق مع النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (١,٨٧٪)، وتتوزع أعلى قيم هذه الفئة جغرافياً في أقصى جنوب شرق منطقة الدراسة، حيث النقطة الشبكية (٣٤)، وحول مدينة الإسماعيلية والبحيرات المرة، حيث النقطتين (٢٢ و ٣٧)، وكذا الأجزاء الغربية من منخفض القطارة وجنوب العلمين؛ حيث النقطة (٢٨)، أما أدنى قيم هذه الفئة فتتوزع جغرافياً في منطقة أبي قير ورشيد؛ حيث النقاط الشبكية (٥٠، ١١ و ١٥)، وشمال شرق الدلتا، حيث النقطة (٨)، ونطاق واسع يضم مدينة مرسى مطروح في النقاط الشبكية (٢، ٥١، ١٦ و ٣١).

٧ - ٢ - ٢ - التباين المكاني للنطاق الزمني (٣ أشهر - SPEI).

ويتضح من الأشكال (١٠)، (١١) و (١٢) والجدول (٣) أن الفترات الجافة والرطوبة في منطقة الدراسة خلال الفترة الزمنية (١٩٠١: ٢٠٢٠م)، تتسم بالتباين في نسبها وتوزيعها الجغرافي، فقد بلغ المعدل العام لفئة للجفاف المتطرف في مؤشر SPEI (≥ 2) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (١,٨٤٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة). أما التوزيع الجغرافي لقيم تلك الفئة؛ فإن أعلى القيم (١,٣ - ٢,٣٪) توجد في، النطاق الساحلي الممتد من مدينة مرسى مطروح حتى رأس الحكمة؛ في النقاط الشبكية (٢، ٥١ و ١٥)، والنطاق المحيط ببحيرة البردويل بشمال سيناء، حيث النقطة الشبكية رقم (٦). أما أدنى القيم التي سجلت في هذه الفئة، فتتوزع جغرافياً في النطاق الممتد من الضبعة حتى العلمين بشمال الصحراء الغربية؛ ويمتد حتى جنوب منطقة الدراسة، وكذا الأجزاء الجنوبية الغربية من الدلتا حيث النقاط الشبكية (٩، ١٠، ٢٥ و ٤٠).

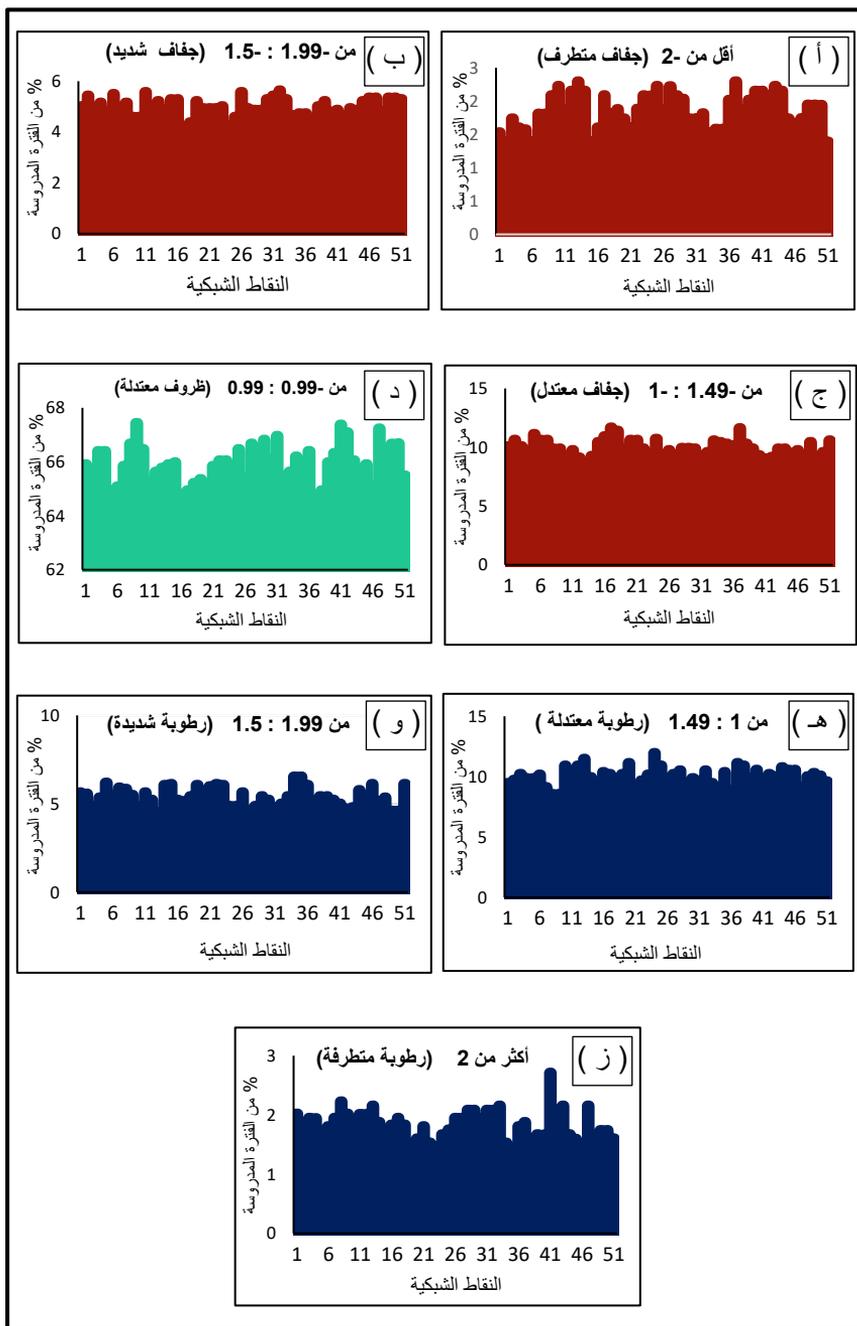
أما فئة الجفاف الشديد (من -١,٩٩ إلى -١,٥)، في مؤشر SPEI (٣ أشهر) في منطقة الدراسة، فتمثل إجمالاً نحو (٥٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة. ويتباين توزيعها الجغرافي في منطقة الدراسة؛ فالقيم الأعلى (٥,٣١ - ٥,٦٧٪) توجد في النطاق الممتد في الإسكندرية والدخيلة وامتداداتها الجنوبية، وكذا النطاق الذي يضم مدينة مرسى مطروح، ممتداً حتى جنوب منطقة الدراسة وبحيرة البردويل. أما أدنى

القيم فتتوزع جغرافياً في وسط وجنوب الدلتا، حيث النقطتان الشبكيان (٢٤ و ٢٥)، وجنوب السلوم في النقطتان (١٧ و ١٨) ومدينة السويس في النقطة الشبكية (٣٧).

وقد بلغ المعدل العام لفئة الجفاف المعتدل (من -١,٤٩ : ١) في مؤشر (SPEI - ٣ أشهر) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (١٠,٠٢٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة)، وهو يبتعد عن النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٩,٢٪)، أما التوزيع الجغرافي لقيم تلك الفئة؛ فإن القيم الأعلى تتوزع جغرافياً في العريش إلى الشرق من بحيرة البردويل (النقطة الشبكية ٥)، وكذا منطقة السويس (النقطة ٣٧)، والمنطقة الممتدة جنوبي السلوم ومرسي مطروح؛ حيث النقطتان (١ و ١٨). أما أدنى القيم في هذه الفئة (٨,٥ - ٩,٤٪) فتتوزع جغرافياً في منطقة دمياط شمال شرق الدلتا، وغرب الإسماعيلية (النقطة الشبكية ٢٣) وقطاع طولي بمحاذاة غرب الدلتا يمتد من أبي قير حتى الحدود الجنوبية لمنطقة الدراسة؛ ويشمل النقاط الشبكية (١٠، ٢٥، ٤٠، ٤١، ٢٦، ١٢، ١٣ و ١٤).

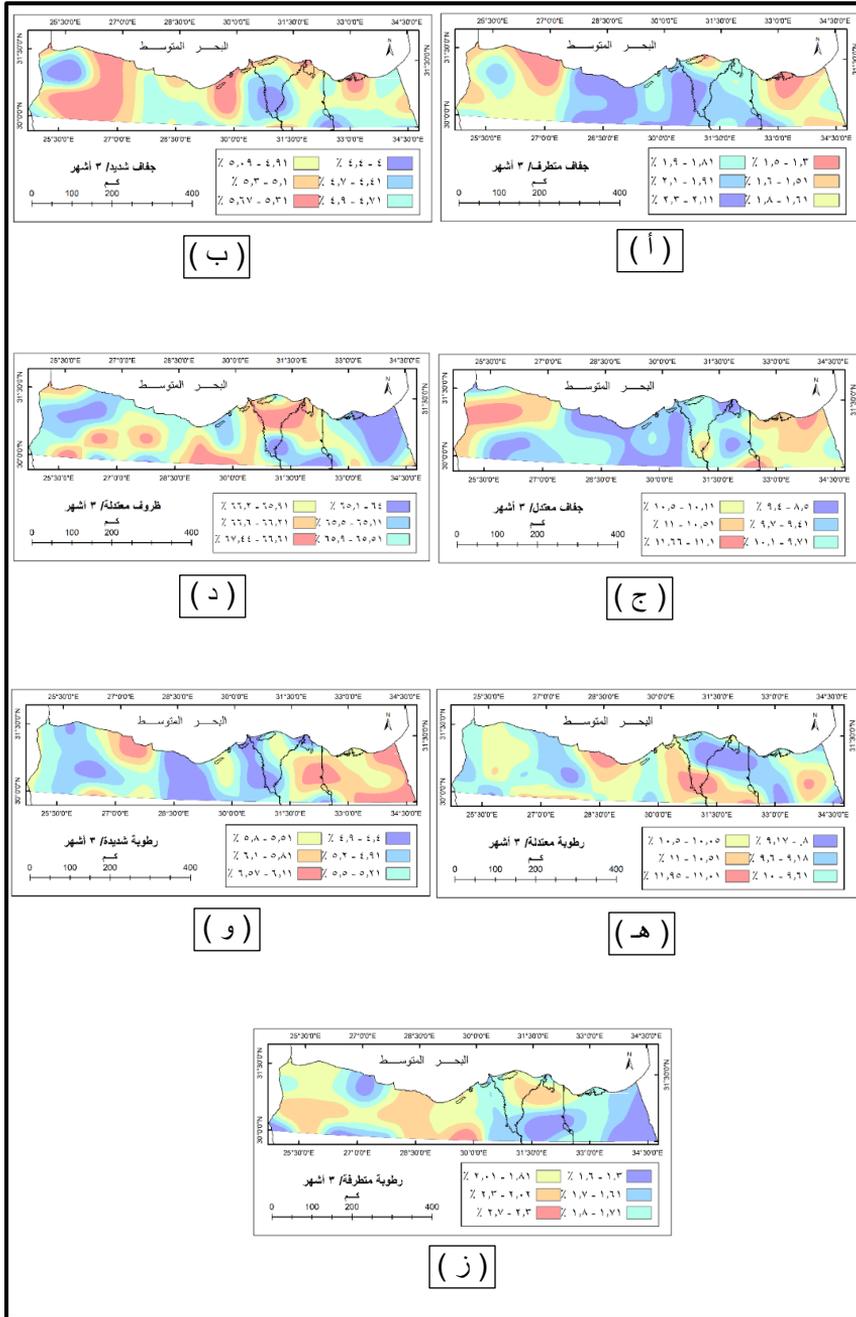
أما فئة الظروف المعتدلة في مؤشر (SPEI - ٣ أشهر)، فقد بلغ متوسط نسبتها في منطقة الدراسة إجمالاً (٦٥,٩٪) وهي تكاد تتماثل مع النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٦٥,٨٠٪)، ويلاحظ من الشكلين (١١ - د) و (١٢ - د) أن هناك تبايناً في التوزيع الجغرافي لقيم هذه الفئة، فقد سجلت أعلى القيم في الأجزاء الشمالية من الدلتا؛ في النقاط الشبكية التالية (١٩، ٨، ٩ و ١٠)، وكذا النطاق الممتد غرب منخفض القطارة في النقاط (٢٩، ٣١ و ٤٧)، وسجلت أعلى قيمها في شمال شرق سيناء، حيث النقاط (٥، ٦، ١٩ و ٢٠) وكذا جنوب الدلتا ومنطقة رأس خليج السويس.

وقد بلغ المعدل العام لفئة الرطوبة المعتدلة (من ١ : ١,٤٩) في مؤشر (SPEI - ٣ أشهر) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (١٠,٠٣٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة). وهي تقترب من النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٩,٢٪)، وتتوزع أعلى قيم هذه الفئة (١١,٠١ - ١١,٩٥٪) جغرافياً في منطقة العلمين والضبعة؛ حيث النقطة الشبكية (١٣)، وجنوب الدلتا وشمال القاهرة في النقطتان (٢٤ و ٢٥) وكذا في النقطة الشبكية رقم (٢٠) في شمال شرق سيناء. أما أدنى قيم هذه الفئة (٨,٧٪ - ٩,١٪) فتتوزع جغرافياً في نطاق جنوبي مستعرض يمتد شمال شرق الدلتا في النقاط الشبكية (٧، ٨ و ٩)، والنقطة (٢٩) غرب منخفض القطارة، وشمال غرب سيناء حول النقطة الشبكية (٣٦).



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (١١) التباين المكاني لنسب فئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنطاق الزمني (٣ أشهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠م.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (١٢) التوزيع الجغرافي لنسب فئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخّر نتج SPEI في منطقة الدراسة للفترة الزمنية (٣ - أشهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠م.

ويلاحظ من الجدول (٣) أن المعدل العام لفئة الرطوبة الشديدة في مؤشر (SPEI - ٣ أشهر) قد بلغ إجمالاً نحو (٥,٤٠٪) خلال أمد الدراسة، وهي تتوافق إلى حد كبير مع النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٥,٥٤٪).

ويتراوح توزيعها المكاني في منطقة الدراسة ما بين (٤,٤ - ٦,٥٧٪)، ويلاحظ من الشكلين (١١ - و) و (١٢ - و) أن أعلى قيم هذه الفئة تنتزع جغرافياً في شرق سيناء؛ حيث النقاط (٥، ١٩، ٣٤، ٣٥)، ومنطقة شمال الإسماعيلية؛ حيث النقطتان (٢٢ و ٢٣)، وكذا منطقة مرسى مطروح في النقطة الشبكية (٥١). وتتوزع أداها جغرافياً في قطاع طولي بمحاذاة فرع رشيد غرب الدلتا؛ حيث النقاط (٥٠، ١٠، ٢٤ و ٢٥)، وكذلك منطقة الضبعة ممتدة حتى جنوب منطقة الدراسة لتشمل النقاط الشبكية (١٣، ٢٧، ٢٧، ٤٢ و ٤٣).

أما فئة الرطوبة المتطرفة في مؤشر (SPEI - ٣ أشهر)، فهي تتراوح في منطقة الدراسة إجمالاً ما بين (١,٣ - ٢,٧٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة)، بمتوسط بلغ (١,٨٪) طبقاً للجدول (٣)، وهي تتوافق مع النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (١,٨٧٪)، وتتوزع أعلى قيم هذه الفئة جغرافياً في جنوب غرب وادي النطرون؛ حيث النقطة الشبكية (٤١)، أما أدنى قيم هذه الفئة فتتوزع جغرافياً في جنوب شرق منطقة الدراسة بشبه جزيرة سيناء؛ في النقاط (٣٥ و ١٩)، ونطاق مستعرض يشمل جنوب شرق الدلتا، يمتد حتى شرق الإسماعيلية في النقاط (٢٢، ٢٣ و ٣٨)، كما تتوزع أدنى قيم هذه الفئة في مرسى مطروح وأقصى جنوب غرب منطقة الدراسة.

٧ - ٢ - ٣ - التباين المكاني للنطاق الزمني (٦ أشهر - SPEI).

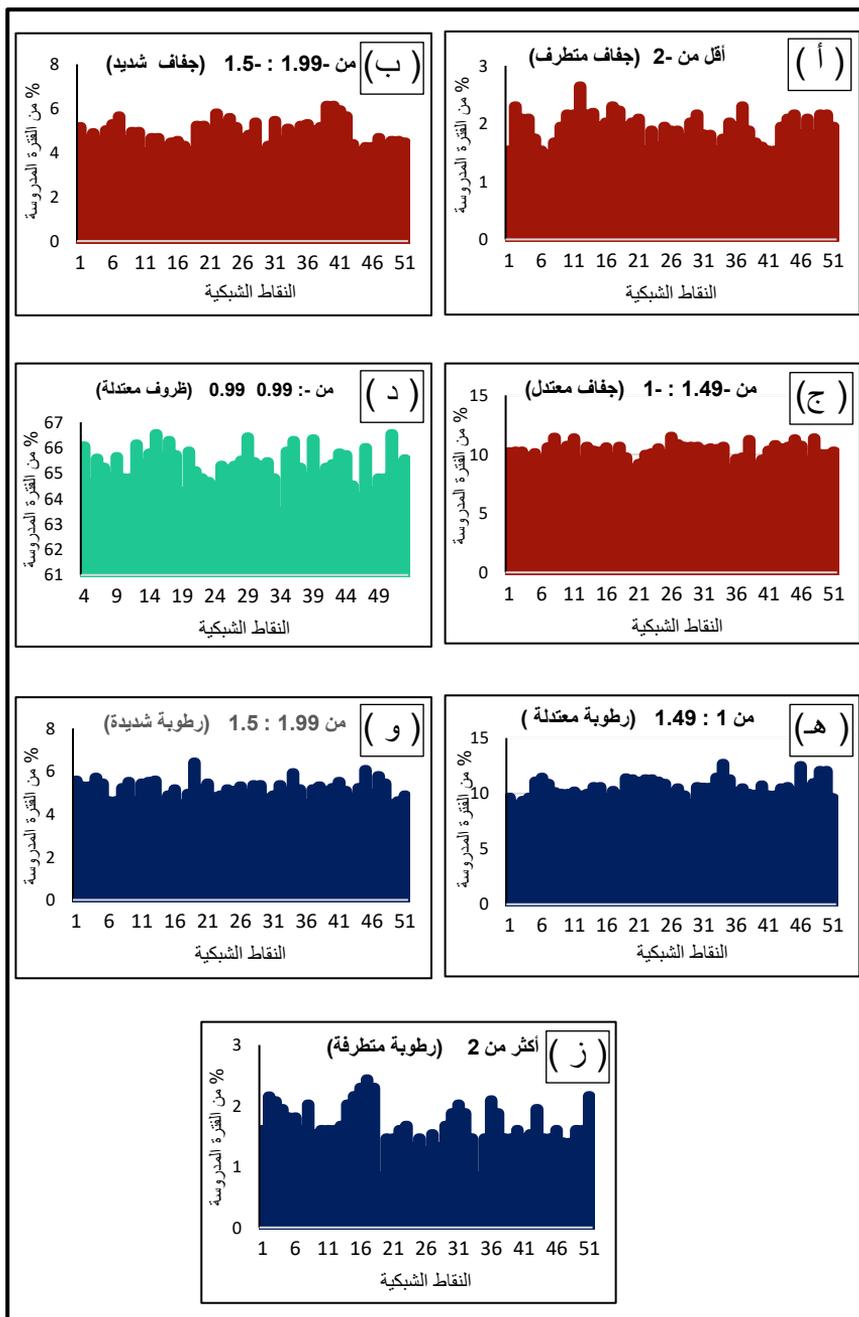
ويتضح من الأشكال (١٠)، (١٣) و (١٤) والجدول (٣) أن فترات الجفاف والرطوبة، في النطاق الزمني (٦ أشهر - SPEI)، خلال الفترة (١٩٠١: ٢٠٢٠م)، تتسم بالتباين في نسبها وتوزيعها الجغرافي، فقد بلغ المعدل العام لفئة (الجفاف المتطرف) في مؤشر (٦ أشهر - SPEI)، في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (١,٩٢٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة). أما التوزيع الجغرافي لقيم تلك الفئة؛ فإن أعلى القيم تمتد على طول ساحل الصحراء الغربية؛ ابتداءً من رشيد شرقاً حتى السلوم غرباً؛ باستثناء النطاق الممتد من مرسى مطروح حتى النجيلة، في النطاق الشبكية (٥٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤ و ٢). أما أدنى القيم التي سجلت في هذه الفئة، فتتوزع جغرافياً في شمال غرب سيناء (٦)،

٢٢ و ٧)، والمنطقة الممتدة في بلطيم وشرق البرلس، حيث النقطة الشبكية رقم (١)، وكذلك شمال غرب سيوة حيث النقطة (٣٣).

وقد بلغ المعدل العام لفئة الجفاف الشديد (من -١,٩٩ إلى -١,٥)، في مؤشر (٦ أشهر - SPEI) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (٤,٨٥٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة)، وهو يقترب من النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٤,٤٪)، ويتباين توزيعها الجغرافي في منطقة الدراسة؛ فالقيم الأعلى توجد في نطاق جنوب الدلتا وجنوبها الغربي، حيث النقاط الشبكية (٢٤، ٣٩، ٤٠، ٤١، ٤٢)، وكذلك منطقة الإسماعيلية وسهل الطينة، حيث النقاط (٢٢ و ٧). أما أدنى القيم فتتوزع جغرافياً في منطقة فوكه ورأس الكنايس على الساحل الشمالي الغربي وتمتد حتى جنوب منطقة الدراسة، يمثلها النقاط الشبكية (١٤، ٢٩، ٤٤ و ٤٥) وكذلك الإسكندرية وظهرها الصحراوي، حيث النقطة الشبكية رقم (١١)، وكذلك جنوب السلوم، حيث النقطتان (١٧ و ١٨).

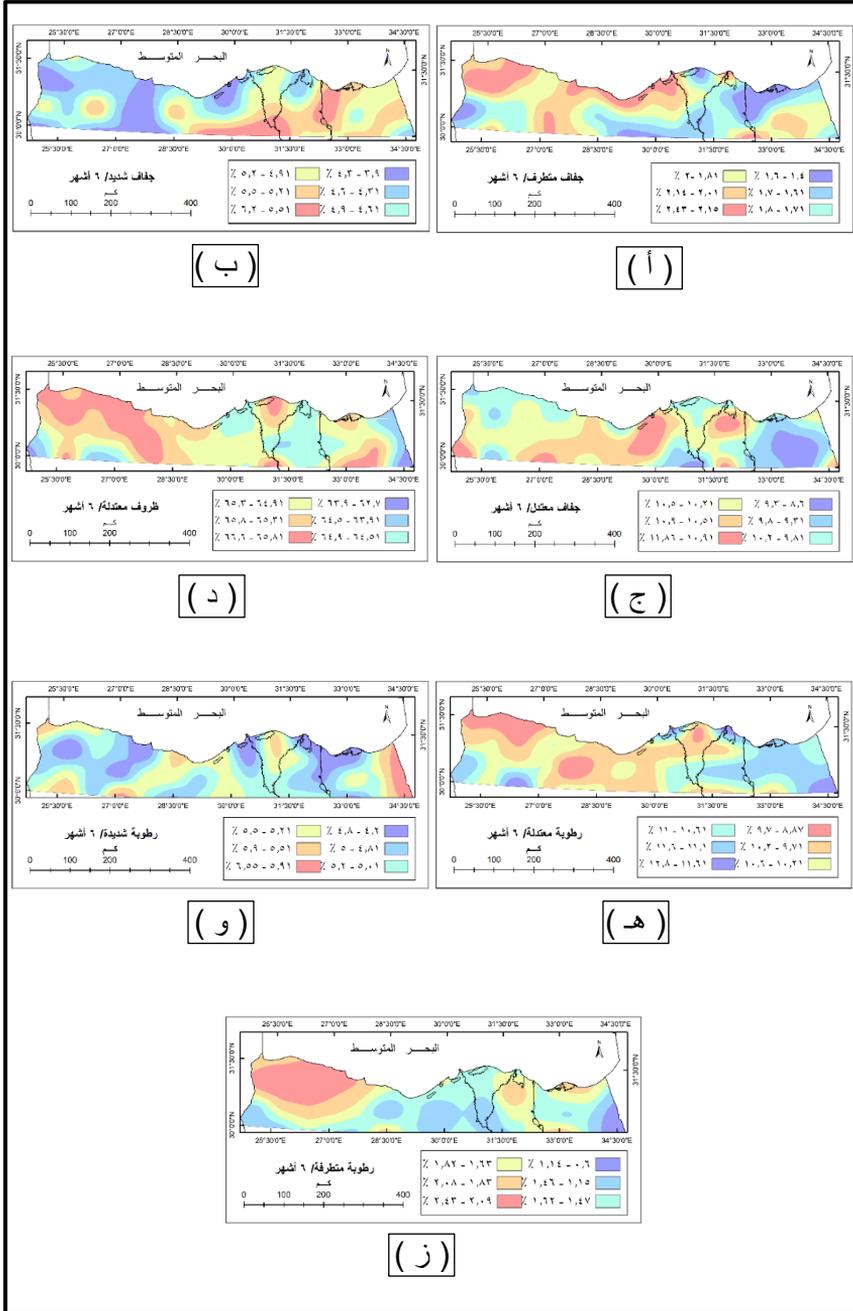
أما فئة الجفاف المعتدل (من -١,٤٩ إلى -١) في مؤشر (SPEI - ٦ أشهر) في منطقة الدراسة، فتمثل إجمالاً نحو (١٠,٢٦٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة. أما التوزيع الجغرافي لقيم تلك الفئة؛ فإن القيم الأعلى تتوزع جغرافياً في شمال شرق الدلتا، حيث النقطة الشبكية (٨)، والإسكندرية وظهرها الصحراوي؛ في النقاط الشبكية (١١، ٢٦ و ٢٧)، بالإضافة إلى نطاق صغير يمتد إلى الشمال من سيوة في أقصى جنوب غرب منطقة الدراسة؛ في النقطة الشبكية (٤٨). أما أدنى القيم في هذه الفئة (٨,٦ - ٩,٣٪) فتتوزع جغرافياً في الجزء الأوسط من شمال سيناء؛ حيث النقاط الشبكية (١٩، ٢٠، ٢١ و ٣٥)، وكذلك المنطقة الغربية من مدينتي القاهرة والجيزة في النقطة الشبكية رقم (٣٩).

أما فئة الظروف المعتدلة في مؤشر (٦ أشهر - SPEI)، فقد بلغ متوسط نسبتها في منطقة الدراسة إجمالاً (٦٥,٥٥٪) وهي تقترب من النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٦٥,٨٠٪)، ويلاحظ من الشكلين (١٣ - د) و (١٤ - د) أن هناك تبايناً في التوزيع الجغرافي لقيم هذه الفئة، فقد سجلت أعلى القيم في النطاق الممتد على طول الساحل الشمالي الغربي من السلوم حتى النجيلة؛ ثم يمتد في شكل جيب جنوب النجيلة حتى الحدود الجنوبية لمنطقة الدراسة؛ في النقاط الشبكية التالية (٥١، ٢، ٣، ٤، ١٥، ١٦، ١٧، ٣٠، ٢٩ و ٤٤)، وكذا منطقة بلطيم؛ حيث النقطة الشبكية (١). وسجلت أدنى قيمها في أقصى جنوب شرق وأقصى جنوب غرب منطقة الدراسة.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (١٣) التباين المكاني لنسب فئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخّر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنطاق الزمني (٦ أشهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠م.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (١٤) التوزيع الجغرافي لنسب فئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخّر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنطاق الزمني (٦ أشهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠م.

وقد بلغ المعدل العام لفئة الرطوبة المعتدلة (من ١ : ١,٤٩) في مؤشر (٦ أشهر-SPEI) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (١٠,٥٧٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة). وهي تتعد إلى حد ما عن النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٩,٢٪)، وتتوزع أعلى قيم هذه الفئة جغرافياً في جنوب شرق منطقة الدراسة؛ حيث النقطة الشبكية (٣٤)، وكذلك منطقة بحيرة المنزلة في النقطة (٣٤)، ورأس رشيد في النقطة الشبكية (٥٠)، ثم نطاق محدود شمال منخفض سيوة. أما أدنى قيم هذه الفئة، فتتوزع جغرافياً في النطاق الساحلي الممتد من مرسى مطروح حتى السلوم، في النقاط (٥١، ١٦، ٢، ٣، ٤)، وكذلك المنطقة الممتدة غرب منخفض القطارة، في النقطة (٢٩)، وكذلك في النقطة الشبكية رقم (١) جنوب بحيرة البرلس.

أما فئة الرطوبة الشديدة في مؤشر (٦ أشهر - SPEI) قد بلغ معدلها الإجمالي نحو (٥,١٦٪) خلال مدة الدراسة، وهي تتوافق إلى حد كبير مع النسبة الافتراضية في مؤشر SPEI لهذه الفئة (٥,٥٤٪)، ويتراوح توزيعها المكاني في منطقة الدراسة ما بين (٤,٢ - ٦,٥٥٪)، ويلاحظ من الشكلين (١٣ - و) و (١٤ - و) أن أعلى قيم هذه الفئة تتوزع جغرافياً في أقصى شرق منطقة الدراسة في سيناء، حيث النقاط الشبكية (١٩ و ٣٤)، وكذلك شمال سيوة في نطاق صغير تمثله النقطة الشبكية (٤٥). وتتوزع أداها جغرافياً في النطاق الساحلي الممتد من دمياط حتى شرق بحيرة البردويل والممتد جنوباً في منطقة القناة حتى الإسماعيلية في النقاط الشبكية (٦، ٧، ٤٩ و ٢٢)، وكذلك نطاق ينحصر بين مرسى مطروح والنجيلة يشغل النقاط الشبكية (١٤، ١٥، ٥١ و ٣٠)، ومنطقة رشيد - أبي قير؛ حيث النقطتان (١٠، ٥٠)، وكذلك النقطة الشبكية رقم (١٧) جنوب السلوم.

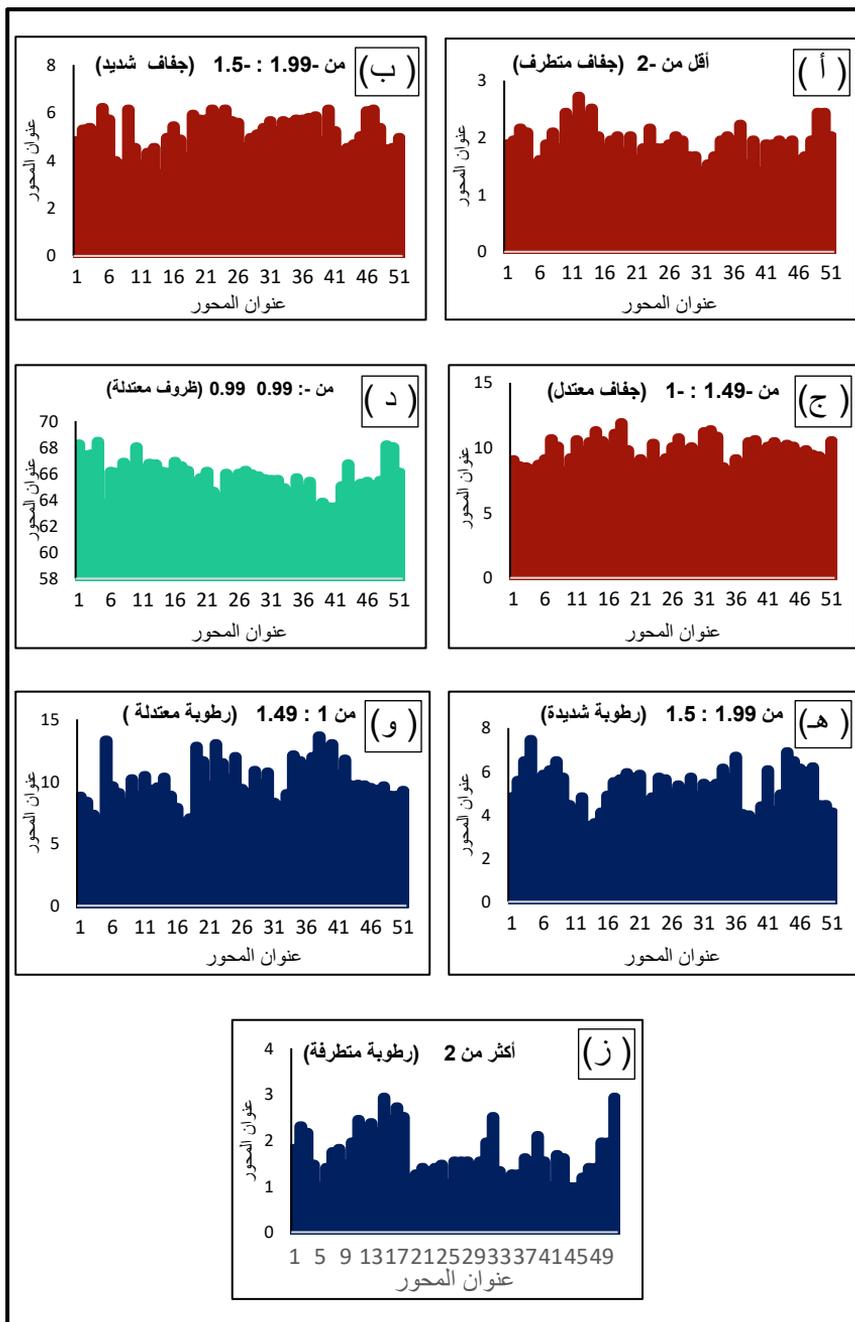
أما فئة الرطوبة المتطرفة في مؤشر (٦ أشهر - SPEI)، فهي تتراوح في منطقة الدراسة إجمالاً ما بين (٠,٦ - ٢,٤٣٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة)، بمتوسط بلغ (١,٦٨٪) طبقاً للجدول (٣)، وتتوزع أعلى قيم هذه الفئة جغرافياً في نطاق يمتد في شمال غرب منطقة الدراسة؛ من مرسى مطروح حتى السلوم، يغطي النقاط الشبكية (٥١، ٢، ٣، ٤، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨ و ٣١)، وكذلك نطاق صغير في جنوب شرق الدلتا في محافظتا الدقهلية والشرقية، حيث النقطة الشبكية رقم (٨)، أما أدنى قيم هذه الفئة فتتوزع جغرافياً في أقصى جنوب شرق منطقة الدراسة، النقطة الشبكية (٣٤)، وكذلك توجد في جنوب الدلتا والقاهرة، حيث النقاط الشبكية (٢٤، ٣٩، ٢٥).

٧ - ٢ - ٤ - التباين المكاني للنطاق الزمني (١٢ شهر - SPEI).

يتضح من الأشكال (١٠)، (١٥) و (١٦) والجدول (٣) أن فترات الجفاف والرطوبة، في النطاق الزمني (١٢ شهر - SPEI)، خلال الفترة (١٩٠١: ٢٠٢٠م)، ويلاحظ وجود تباين في نسبها وتوزيعها الجغرافي في منطقة الدراسة، فقد بلغ المعدل العام لفئة (الجفاف المتطرف) في مؤشر (١٢ شهر - SPEI) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (١,٩٢٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة). أما التوزيع الجغرافي لقيم تلك الفئة؛ فإن أعلى القيم تتمثل في منطقة دمياط وبحيرة المنزلة، وكذلك النطاق الساحلي الممتد من رشيد حتى مرسى مطروح، ممثلاً في النقاط (٥٠، ١٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤). أما أدنى القيم التي سجلت في هذه الفئة، فتتوزع جغرافياً في أقصى شمال شرق سيناء؛ حيث النقطة الشبكية (٥).

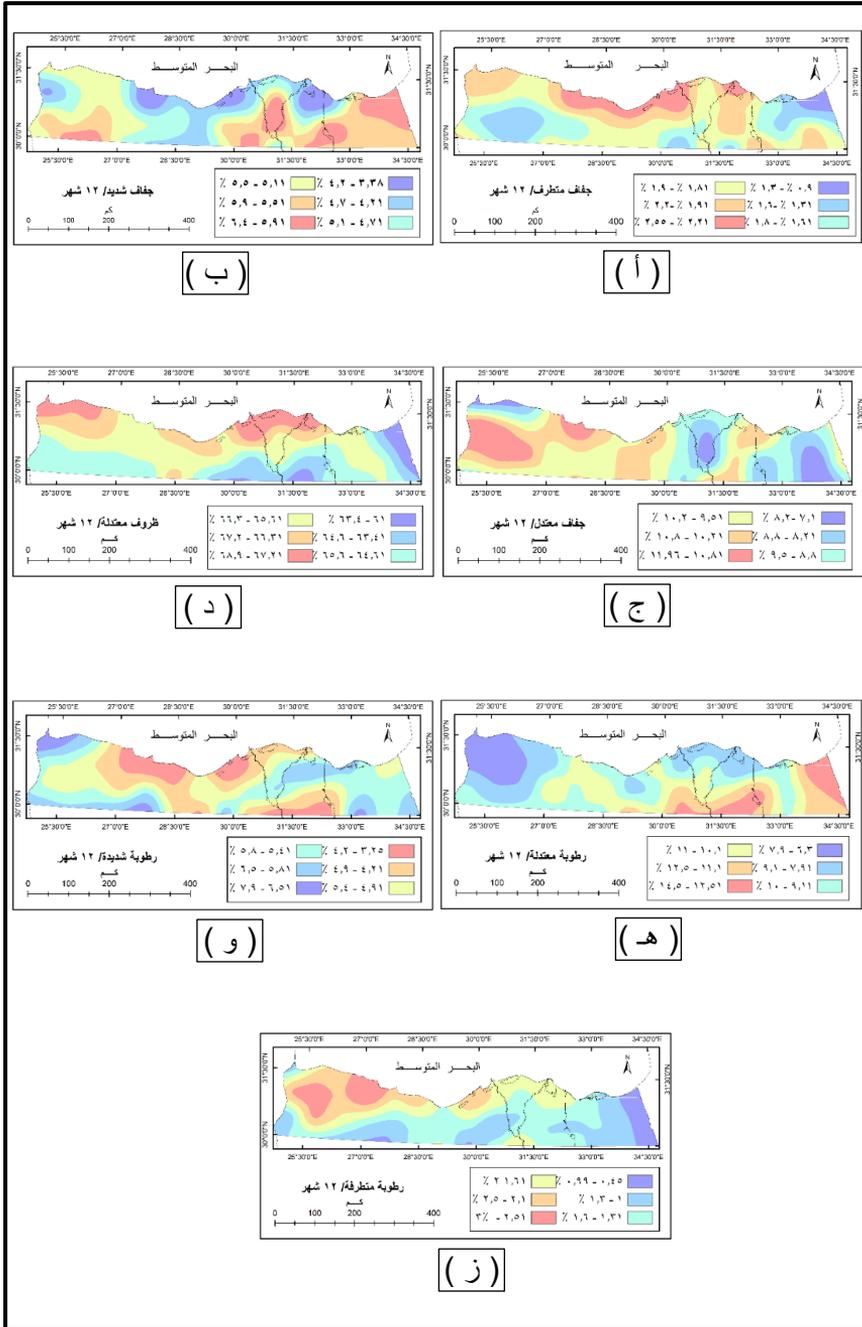
وقد بلغ المعدل العام لفئة الجفاف الشديد (من -١,٩٩ : -١,٥)، في مؤشر (SPEI - ١٢ أشهر) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (٥,١٨٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة (١٢٠ سنة)، وبتراوح مداها في منطقة الدراسة بين (٣,٣٨ - ٦,٤)، وهو يزيد قليلاً عن النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٤,٤٪)، مما يدل على تواضع كمية المطر السنوية في شمالي مصر إجمالاً، خلال فترة الدراسة. ويتباين توزيعها الجغرافي في منطقة الدراسة؛ فالقيم الأعلى توجد في شمال شرق سيناء، حيث النقاط (٥، ٦ و ١٩)، وكذلك النطاق الذي يشمل الإسماعيلية والبحيرات المرة، في النقاط الشبكية (٢٢ و ٣٨)، بالإضافة إلى وسط وجنوب الدلتا (٩ و ٢٤)، وشمال منخفض سيوة في النقاط (٤٦ و ٤٧). أما أدنى القيم فتتوزع جغرافياً في نطاق يمتد من أبي قير حتى مرسى مطروح، ويمثلها النقاط الشبكية (٥٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤ و ١٥)، بالإضافة إلى نطاق صغير يمتد جنوب السلوم في أقصى شمال غرب مصر.

أما فئة الجفاف المعتدل (من -١,٤٩ : -١) في مؤشر (SPEI - ١٢ شهر) في منطقة الدراسة، فتمثل إجمالاً نحو (٩,٧٧٪) من إجمالي المدة الزمنية المدروسة. أما التوزيع الجغرافي لقيم تلك الفئة؛ فإن القيم الأعلى تتوزع جغرافياً في نطاق يمتد من الضبعة إلى مرسى مطروح على الساحل الشمالي، يمثله النقاط الشبكية (١٤، ١٥ و ٥١) بالإضافة إلى نطاق يمتد شمال منخفض سيوة، ممثلاً في النقاط الشبكية (١٧، ١٨، ٣١، ٣٢ و ٣٣) ويرجع لك لتواضع معدل التساقط السنوي في هذه الأجزاء من المنطقة المدروسة. أما أدنى القيم في هذه الفئة، فتتوزع جغرافياً في وسط وجنوب الدلتا في النقاط الشبكية (٩، ٢٤، ٢٥)، بسبب ارتفاع المحتوي



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (١٥) التباين المكاني لنسب فئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنطاق الزمني (١٢ شهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠م.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر SPEI

شكل (١٦) التوزيع الجغرافي لنسب فئات الجفاف والرطوبة وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخر نتج SPEI في منطقة الدراسة للفترة الزمنية (١٢ شهر) خلال الفترة ١٩٠١ - ٢٠٢٠ م.

الرطوبى للتربة بفعل الري التقليدي في الدلتا، بالإضافة إلى أقصى شمال غرب منطقة الدراسة، في النقاط (٢، ٣ و ٤)، بالإضافة إلى الجزء الأوسط من شمال سيناء في النقطتان الشبكيان (٢٠ و ٣٥).

أما فئة الظروف المعتدلة في مؤشر (SPEI - ١٢ شهر)، فقد بلغ متوسط نسبتها في منطقة الدراسة إجمالاً (٦٥,٨٠٪) وهي نفس النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٦٥,٨٠٪)، ويلاحظ من الشكلين (١٥ - د) و (١٦ - د) أن هناك تبايناً في التوزيع الجغرافي لقيم هذه الفئة في منطقة الدراسة، فقد سجلت أعلى القيم في شمال الدلتا بالنطاق الممتد من بورسعيد شرقاً حتى الإسكندرية غرباً، حيث النقاط الشبكية (٧، ٨، ١، ٤٩، ٥٠، ١١ و ١٠)، وكذلك في أقصى شمال غرب الصحراء الغربية، ابتداء من مرسى مطروح حتى السلوم (٢، ٣، ٤). وسجلت أدنى قيمها في أقصى شرق سيناء، في النقاط الشبكية (٣٤، ١٩ و ٥)، وكذا في النقطة الشبكية (٣٨) في جنوب شرق الدلتا.

وقد بلغ المعدل العام لفئة الرطوبة المعتدلة (من ١ : ٤٩، ١) في مؤشر (SPEI - ١٢ شهر) في منطقة الدراسة إجمالاً نحو (١٠,٥٧٪) خلال أمد الدراسة (١٢٠ سنة). وهي تبتعد إلى حد ما عن النسبة التي افترضها مؤشر SPEI لهذه الفئة (٩,٩٣٪)، وتتنوع أعلى قيم هذه الفئة جغرافياً في أقصى شرق سيناء، حيث النقطتان الشبكيان (٥ و ١٩)، حيث تعد هذه المنطقة أكثر أجزاء منطقة الدراسة حظاً في معدل الأمطار السنوي (رفح المصرية وما حولها)، بالإضافة إلى نطاق يمتد من الإسماعيلية حتى القاهرة، تمثله النقاط الشبكية (٢٢، ٣٨ و ٤٠). أما أدنى قيم هذه الفئة، فتتوزع جغرافياً في النقاط الشبكية (٢، ٣، ٤، ١٦، ١٧، ١٨ و ٣١).

أما فئة الرطوبة الشديدة في مؤشر (SPEI - ١٢ شهر) قد بلغ معدلها الإجمالي نحو (٥,٥٤٪) خلال مدة الدراسة، وهي تتماثل مع النسبة الافتراضية في مؤشر SPEI لهذه الفئة (٥,٥٤٪)، ويتراوح توزيعها المكاني في منطقة الدراسة ما بين (٣,٢٥ - ٧,٩٪)، ويلاحظ من الشكلين (١٥ - و) و (١٦ - و) أن أعلى قيم هذه الفئة تتوزع جغرافياً في نطاق يمتد من أبي قير حتى العلمين، ممثلاً في النقاط الشبكية (١٠، ١١ و ١٢)، بالإضافة إلى نطاق يمتد من الضبعة حتى مرسى مطروح ممثلاً في النقاط الشبكية (١٣، ١٤ و ٥١)، بسبب معدل المطر السنوي المرتفع نسبياً، ونطاق يمتد من غرب القاهرة حتى الإسماعيلية والسويس ليضم النقاط الشبكية (٤٠، ٣٩، ٣٨، ٣٧ و ٢٢). وتتوزع أدنى القيم جغرافياً في أقصى شمال غرب الصحراء الغربية (السلوم) حيث النقطتان (٣ و ٤)، بالإضافة إلى النقطة الشبكية (٤٤) وتمثلها منطقة شرق سيوة

بسبب بعدها نسبياً عن ساحل البحر المتوسط، وبالتالي قلة معدلات المطر السنوي الساقط عليها طيلة مدة الدراسة.

أما فئة الرطوبة المتطرفة في مؤشر (SPEI - ١٢ شهر)، فهي تتراوح في منطقة الدراسة إجمالاً ما بين (٠,٤٥ - ٣٪) خلال أمد الدراسة، بمتوسط بلغ (١,٨٧٪) طبقاً للجدول (٣)، وتتنوع أعلى قيم هذه الفئة جغرافياً في نطاق يمتد من مرسي مطروح حتى النجيلة، وتمثله النقاط الشبكية (٥١، ٢، ١٥، ١٦)، بسبب معدل المطر السنوي المرتفع نسبياً، وكذلك المنطقة الممتدة جنوب السلوم وتشملها النقاط (١٧، ١٨ و٣٢). أما أدنى قيم هذه الفئة فتتوزع جغرافياً في نطاق يمتد بمحاذاة شرق سيناء وتمثله النقاط الشبكية (٣٤، ١٩ و٥)، وكذلك نطاق يمتد شرقي سيوة في النقطة الشبكية رقم (٤٤)، ويعود ذلك لنفس الأسباب السابق ذكرها.

٨ - خلاصة النتائج:

- تقع الأطراف الشمالية من منطقة الدراسة في الإقليم المناخي شبه الجاف الحار الممطر شتاء BWhs، بينما يقع الجزء الأكبر منها ضمن الإقليم المناخي الصحراوي الحار الجاف BWhw.
- أظهرت الدراسة وجود اتجاه عام نحو الزيادة في وتيرة الفترات الجافة بشمال مصر؛ في كل النطاقات الزمنية المختارة (١، ٣، ٦ و١٢ شهر)، خلال الفترة الزمنية الممتدة من ١٩٠١: ٢٠٢٠م، وخاصة في العقدين الأول والثاني من القرن الـ ٢١ الميلادي. فقد بلغ الاتجاه العام للفترات الجافة والرطوبة في النطاق الزمني (١ شهر) نحو (-٠,٢١)، وبدلالة معنوية بلغت ٠,٠١، وكذلك بلغ الاتجاه العام لتلك الفترات (-٠,٢٧) في النطاق الزمني (٣ أشهر)؛ مما يعني اتخاذه نفس السلوك المتزايد، وتم تخصيص النطاق الزمني (٣ أشهر) على أشهر الهطول الفعلية (نوفمبر إلى مارس)، للوقوف على سلوك الجفاف خلال شهور المطر الفعلية، وقد اتضح منها جميعاً (يناير - ٣ أشهر) و (فبراير - ٣ أشهر) و (مارس - ٣ أشهر) إن الفترات الجافة في شمالي مصر تأخذ اتجاه عام صاعداً خلال مدة الدراسة.
- وقد بينت الدراسة أن هناك اتجاه صاعد في وتيرة الفترات الجافة في شمالي مصر للنطاق الزمني ستة أشهر، حيث بلغ الاتجاه العام لتلك الفترات (-٠,٣٢)، وقد تم تخصيص النطاق الزمني (مارس - ٦ أشهر)، على اعتبار أنه يمثل نهاية فصل المطر بالنسبة للمنطقة المدروسة، وقد انتهت الدراسة إلى نفس النتائج التي تحصلنا عليها

من تطبيق المؤشر على المدى الزمني (٦ أشهر)، حيث تأخذ الفترات الجافة اتجاه عام من نحو الزيادة. كما أظهرت الدراسة الاتجاه العام للجفاف في نهاية النطاق الزمني ١٢ شهر، وإنه يأخذ اتجاهاً صاعداً وبلغ (-٣٧،٠)، وبمستوى دلالة معنوية ٠،٠١، خلال مدة الدراسة الممتدة من ١٩٠١: ٢٠٢٠م.

— شهدت منطقة الدراسة تكرار أعلى الفترات الجافة (المتطرفة والشديدة والمعتدلة)، والتي تعد مسؤولة عن تواتر الفترات الجافة في منطقة الدراسة، خلال الفترة الممتدة من ١٩٠١: ٢٠٢٠م، خلال النطاقات الزمنية (٣ - أشهر) و (١٢ - شهر) بنسب تكرار (١،٧٪، ٥،٧٪ و ١٠،٢٪) وعلى الترتيب من إجمالي الفترات الجافة والرطوبة في شمالي مصر؛ وذلك مقارنة بنسب معدلات تكرار أقل للفترات الرطبة.

— أما عن التباين المكاني للفترات الجافة والرطوبة على المستويات الزمنية (١، ٣، ٦ و ١٢ شهر) فيلاحظ ظهور تركيز واضح لتكرار فترات الجفاف المتطرف والشديد خلال المدى الزمني قصير الأجل (١ شهر) في جنوب غرب منطقة الدراسة، وجنوبها الشرقي، بالإضافة إلى قطاع يمتد من غرب القاهرة حتى الأطراف الشرقية من منخفض القطارة، وكذلك حول البحيرات المرة والإسماعيلية وأقصى شمال شرق الدلتا. أما في المدى الزمني (٣ أشهر) فقد تبين أن هناك تركيز الفترات الجافة المتطرفة والشديدة في النطاق الساحلي الممتد من مرسى مطروح حتى رأس الحكمة ونطاق بحيرة البردويل بشمال سيناء.

— أما عن التباين المكاني لفترات الجفاف والرطوبة على المستوي الزمني (٦ أشهر)، فيلاحظ ظهور تركيز واضح لتكرار فترات الجفاف المتطرف والشديد، في نطاق يمتد على طول ساحل الصحراء الغربية؛ ابتداء من رشيد شرقاً حتى السلوم غرباً؛ باستثناء النطاق الممتد من مرسى مطروح حتى النجيلة، وكذلك منطقة الإسماعيلية، وسهل الطينة، وجنوب الدلتا، وجنوبها الغربي. أما في المدى الزمني طويل الأمد (١٢ شهر)، فقد تبين أن هناك تركيز الفترات الجافة المتطرفة والشديدة، في النطاق الذي يضم محافظة دمياط وبحيرة المنزلة، وكذلك النطاق الساحلي الممتد من رشيد حتى مرسى مطروح، بالإضافة إلى النطاق الممتد في شمال شرق سيناء، والنطاق الذي يشمل الإسماعيلية والبحيرات المرة، ووسط وجنوب الدلتا بالإضافة إلى شمال منخفض سيوة بالصحراء الغربية.

٩ - التوصيات:

- دعوة للمدرسة المناخية المصرية والعربية، للتركيز على ظاهرة الجفاف والدراسات المتعلقة بها، وإجراء مزيد من الأبحاث التي تخص الجفاف بأنواعه، مع التركيز على التوقعات المستقبلية لسلوكه، وكيفية التخفيف من أثاره، أو كيفية وضع نظام إنذار مبكر للجفاف، حيث لاحظ الباحث قلة تلك الدراسات، على الرغم من وقوع مصر والعالم العربي في منطقة من أشد بيئات العالم جفافاً.
- تولي وزارات البيئة والتعليم العالي والتربية والتعليم مسؤولية "نشر الوعي بالجفاف"، وأخطاره، وصوره، وأسبابه، وأساليب التكيف معه، في جميع مراحل التعليم الجامعي وقبل الجامعي.
- إنشاء مؤسسات بحثية متخصصة تحتوي على تقنيات عالية الجودة، تعنى بظاهرة الجفاف والأخطار المناخية الأخرى، كذلك القيام بالتشجيع على إجراء المزيد من الدراسات والبحوث المتعلقة بظاهرة الجفاف حتى يمكن فهم أسباب الظاهرة والتنبؤ بأوقات حدوثها مستقبلاً.
- إنشاء قواعد بيانات تفصيلية للجفاف في مصر، وفقاً لأحدث المؤشرات الموصي باستخدامها من قبل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية WMO، مثل مؤشري SPEI، SPI، بهدف الرصد والمراقبة المستمرة لنوبات الجفاف والرطوبة، وخاصة أن الأراضي المصرية تصنف ضمن الأراضي القاحلة التي تعاني شحاً مائياً مزمناً.
- التوسع في استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من البعد في دراسة حالات الجفاف، بتوفير قاعدة بيانات مناخية يومية وشهرية وفصلية.
- حصاد مياه الأمطار بشكل علمي، وتخزينها في أماكن التجميع المناسبة، لغرض الاستفادة منها في الري وفي أوقات الشح المائي، وخاصة في شمالي سيناء وإقليم مريوط.
- تغيير أساليب الري المتبعة لتصبح أكثر كفاءة وترشيداً مثل: الري بالرش أو التنقيط أو الري المحوري، مع تبني برامج توعية دورية حول كيفية استخدام المياه بكفاءة وفاعلية في الأغراض المختلفة.
- استخدام الدورة الزراعية بطريقة مخططة، وبشكل علمي مدروس، لترشيد استهلاك المياه في الزراعة، كما أنها تتيح الفرصة أمام المزارعين لزراعة محاصيل أقل استهلاكاً للمياه في السنوات الأكثر جفافاً.

١٠ - ملاحق :

ملحق رقم (١)

نسب فئات الجفاف والرطوبة (%) من إجمالي الفترة المدروسة (٢٠ سنة) وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخّر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنطاق الزمني (شهر).

أقل من -٢ (جفاف متطرف)	من -١,٩٩ : ١,٥٠ (جفاف شديد)	من -١,٤٩ : ١- (جفاف معتدل)	من -٠,٩٩ : ٠,٩٩ (ظروف معتدلة)	من ١ : ١,٤٩ (رطوبة معتدلة)	من ١,٥٠ : ١,٩٩ (رطوبة شديدة)	أكثر من ٢ (رطوبة متطرفة)	النقطة الشبكية
1.18	4.03	11.53	63.75	11.60	5.63	1.60	1
0.90	6.81	10.69	63.13	11.39	6.53	1.39	2
1.11	6.67	11.74	63.68	9.72	6.39	1.74	3
1.25	6.39	10.56	64.86	10.69	5.63	1.67	4
1.74	6.46	10.90	64.44	11.32	5.00	1.85	5
1.88	6.60	10.69	64.38	11.25	5.14	1.88	6
1.11	5.83	12.01	63.82	10.83	5.56	1.81	7
0.90	6.11	12.00	62.99	11.74	5.83	1.39	8
1.67	7.64	9.03	65.69	10.76	4.86	1.94	9
1.67	6.81	11.04	63.47	12.08	5.21	1.39	10
1.32	6.74	11.25	62.50	13.13	5.49	1.53	11
1.67	6.39	11.32	44.72	10.56	5.49	1.67	12
1.74	6.04	11.53	64.65	11.04	4.65	2.08	13
1.25	5.42	11.39	65.69	9.44	6.11	1.94	14
1.60	6.11	11.37	63.61	11.32	6.18	1.46	15
1.53	6.13	10.49	65.42	10.69	6.04	1.18	16
1.67	6.39	10.35	65.28	9.86	6.32	1.74	17
1.81	6.39	9.93	65.35	11.39	5.35	1.53	18
1.60	6.60	10.63	66.32	9.38	4.93	2.08	19
1.46	7.43	10.49	62.50	12.08	5.56	1.88	20
1.74	6.18	10.14	66.60	9.79	5.21	2.01	21
1.94	7.99	8.96	64.38	11.46	4.72	2.43	22
1.60	7.08	10.35	64.58	10.07	5.83	1.94	23
1.53	6.81	11.46	64.86	9.44	5.49	1.88	24
1.60	7.01	11.53	63.82	10.56	5.21	1.81	25
1.74	7.22	9.72	62.78	13.06	5.35	1.81	26
1.94	6.88	9.38	65.97	11.04	4.65	2.01	27
1.60	6.94	9.86	66.88	9.51	4.44	2.22	28
1.74	6.39	9.79	66.46	10.21	5.42	1.67	29
1.53	6.39	9.79	66.39	10.00	5.42	1.94	30
2.01	5.42	9.72	66.04	11.32	5.28	1.46	31
1.81	6.46	9.44	65.90	11.18	5.35	1.53	32
2.01	6.81	8.82	65.97	12.01	4.44	1.88	33
2.01	5.90	10.76	65.56	11.46	3.96	2.29	34
2.01	6.11	10.07	67.01	9.93	4.86	1.94	35
1.67	5.90	10.90	65.83	9.44	6.04	1.81	36
1.32	7.78	10.35	64.65	11.32	4.31	1.38	37
1.53	6.88	9.44	64.17	11.88	6.11	1.39	38
1.94	6.39	11.46	63.96	10.97	5.28	1.88	39
1.94	6.39	9.03	68.68	10.00	3.75	2.08	40
1.94	6.39	9.03	68.68	10.00	3.75	2.08	41
1.81	6.74	10.00	65.21	10.97	4.93	2.08	42
1.74	6.72	10.00	65.24	10.76	5.35	1.88	43
1.74	6.70	11.67	64.03	11.46	4.51	1.74	44
1.67	7.36	9.79	64.44	11.18	5.83	1.32	45
1.81	6.73	10.07	64.72	11.32	5.35	1.74	46
2.01	6.72	9.79	65.63	10.49	5.07	2.08	47
2.01	6.11	9.51	66.32	11.88	4.38	1.74	48
1.53	7.71	9.03	65.69	10.76	4.86	1.94	49
1.67	6.74	11.04	63.47	12.08	5.21	1.39	50
1.60	6.04	11.32	63.61	11.32	6.18	1.46	51
1.64	6.55	10.41	64.58	10.92	5.26	1.78	متوسط

المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على بيانات SPEI المتاحة على Global SPEI database (csic.es)

ملحق رقم (٢)

نسب فئات الجفاف والرطوبة (%) إجمالاً للفترة المدروسة (٢٠٢٠ سنة) وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخّر نتح SPEI في منطقة الدراسة للناطق الزمني (٣ أشهر)

أقل من -٢ (جفاف متطرف)	من -١,٩٩ : -١,٥ (جفاف شديد)	من -١,٤٩ : -١ (جفاف معتدل)	من ٠,٩٩ : ٠ (ظروف معتدلة)	من ١,٤٩ : ١ (رطوبة معتدلة)	من ١,٩٩ : ١,٥ (رطوبة شديدة)	أكثر من ٢ (رطوبة متطرفة)	النقطة الشبكية
0.00	5.00	10.07	65.90	9.44	5.63	2.01	1
1.39	5.42	10.63	65.35	9.72	5.56	1.88	2
1.74	4.72	10.07	66.39	10.21	4.86	1.94	3
1.60	5.14	9.72	66.39	9.86	5.35	1.94	4
1.57	4.79	11.11	64.79	9.86	6.18	1.67	5
1.39	5.49	10.63	65.07	10.14	5.49	1.81	6
1.81	4.79	10.63	65.83	9.10	5.90	1.94	7
1.81	5.14	9.86	66.67	8.54	5.83	2.22	8
2.08	4.58	9.86	67.43	8.54	5.49	2.01	9
2.22	4.58	9.24	66.46	10.90	4.86	1.74	10
1.88	5.56	9.72	65.28	9.86	5.63	2.01	11
2.15	5.00	9.10	65.63	10.90	5.21	2.01	12
2.29	5.21	8.61	65.76	11.46	4.51	2.15	13
2.15	4.86	9.24	65.90	9.93	6.04	1.88	14
1.39	5.28	10.42	65.97	9.31	6.11	1.53	15
1.60	5.28	10.90	64.79	10.35	5.21	1.83	16
2.08	4.03	11.67	64.93	10.21	5.14	1.94	17
1.81	4.38	11.39	65.21	9.86	5.42	1.83	18
1.88	5.21	9.86	65.35	10.21	6.04	1.46	19
1.74	4.93	10.63	64.44	11.11	5.56	1.60	20
1.60	4.93	10.63	65.83	9.24	5.97	1.81	21
1.88	4.93	9.86	66.04	9.65	6.11	1.53	22
2.08	5.00	9.24	66.04	10.14	6.04	1.46	23
2.08	4.24	10.69	64.44	11.94	4.86	1.67	24
2.22	4.58	9.24	66.46	10.90	4.86	1.75	25
1.88	5.56	9.72	65.42	9.86	5.63	1.94	26
2.22	4.93	9.38	66.67	10.21	4.65	1.94	27
2.08	4.86	9.93	65.69	10.49	4.86	2.08	28
2.03	4.86	9.93	66.81	8.89	5.42	2.08	29
1.74	5.28	9.86	66.11	9.86	5.21	1.94	30
1.74	5.42	9.31	66.94	9.65	4.79	2.08	31
1.81	5.63	9.58	65.42	10.49	5.00	2.08	32
1.53	5.28	10.56	65.63	9.44	5.42	2.15	33
1.58	4.65	10.42	66.18	9.10	6.53	1.53	34
1.58	4.72	10.28	65.21	10.35	6.53	1.32	35
2.01	4.72	10.14	66.39	8.89	6.04	1.81	36
2.29	4.17	11.60	64.17	11.11	4.79	1.88	37
1.88	5.00	10.28	64.93	10.90	5.42	1.60	38
2.01	5.21	9.86	65.97	9.86	5.42	1.67	39
2.15	4.79	9.31	66.32	10.56	5.21	1.66	40
2.15	4.86	9.03	67.36	9.44	5.00	2.71	41
2.08	4.65	9.17	67.08	10.21	4.72	2.08	42
2.22	4.93	9.86	66.04	10	4.79	2.15	43
2.15	4.86	9.86	64.93	10.76	5.76	1.67	44
1.74	5.21	9.51	65.90	10.56	5.49	1.59	45
1.67	5.35	9.72	65.14	10.56	6.11	1.46	46
1.74	5.35	9.24	67.22	9.10	5.14	2.15	47
1.94	4.79	10.42	65.97	10	5.35	1.53	48
1.94	5.35	8.82	66.67	10.28	4.58	1.74	49
1.94	5.35	9.58	66.67	10.07	4.58	1.74	50
1.39	5.28	10.56	65.49	9.58	6.11	1.60	51
1.84	4.98	9.98	65.86	10.03	5.42	1.84	متوسط

المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على بيانات SPEI المتاحة على (csic.es) Global SPEI database

ملحق رقم (٣)

نسب فئات الجفاف والرطوبة (%) إمن إجمالي الفترة المدروسة (٢٠ سنة) وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخّر نتج SPEI في منطقة الدراسة للنطاق الزمني (٦ أشهر)

أقل من ٢- (جفاف متطرف)	من -١,٩٩ :- (جفاف شديد)	من -١,٤٩ :- (جفاف معتدل)	من :-٠,٩٩ (ظروف معتدلة)	من ١ : ١,٤٩ (رطوبة معتدلة)	من ١,٥ : (رطوبة شديدة)	أكثر من ٢ (رطوبة متطرفة)	النقطة الشبكية
1.53	5.14	10.14	66.11	9.58	5.56	1.60	1
2.29	4.58	10.21	66.18	8.96	5.28	2.15	2
2.08	4.86	10.21	65.69	9.31	5.28	2.07	3
2.08	4.51	9.79	66.04	9.58	5.69	1.94	4
1.74	5.00	10.07	64.58	11.04	5.42	1.81	5
1.53	5.28	9.51	65.56	11.39	4.58	1.81	6
1.46	5.63	10.56	65.21	10.83	4.58	1.60	7
1.67	4.51	11.39	64.79	10.07	5.21	2.01	8
1.94	4.93	10.21	65.63	9.93	5.49	1.53	9
2.15	4.93	10.69	64.79	9.93	4.58	1.60	10
2.15	3.96	11.32	64.79	10.14	5.42	1.60	11
2.64	4.65	9.38	66.11	9.79	5.49	1.60	12
2.15	4.65	10.63	65.35	9.93	5.56	1.67	13
2.18	4.24	10.28	65.76	10.56	4.58	2.01	14
1.94	4.44	10.21	66.53	10.56	4.86	2.15	15
2.01	4.51	10.56	65.63	9.51	5.14	2.29	16
2.29	4.31	9.72	66.25	10.21	4.44	2.43	17
2.22	4.03	10.63	65.69	9.86	4.93	2.29	18
1.94	5.21	9.72	64.24	11.32	6.39	0.83	19
2.01	5.21	8.75	65.83	11.25	5.14	1.46	20
2.08	4.79	9.17	65.07	11.04	5.42	1.46	21
1.53	5.76	9.93	64.79	11.25	4.79	1.60	22
1.88	5.28	10.07	64.65	11.25	4.86	1.67	23
1.60	5.56	10.49	64.51	11.04	5.14	1.32	24
1.94	5.14	9.93	65.28	10.83	5.07	1.46	25
1.88	4.65	11.46	65.14	10.00	5.28	1.25	26
1.88	4.79	10.83	65.28	10.42	4.93	1.53	27
1.74	5.35	10.63	65.49	9.79	5.35	1.32	28
2.01	4.03	10.63	66.39	9.03	5.35	1.67	29
2.15	4.31	10.63	65.42	10.56	4.72	1.88	30
1.81	5.42	10.35	65.28	10.49	4.86	2.01	31
1.81	4.51	10.49	65.42	10.49	5.35	1.88	32
1.53	5.07	10.42	64.79	11.39	5.00	1.46	33
1.74	4.44	10.63	63.47	12.64	5.90	0.83	34
2.01	5.21	8.75	65.83	11.25	5.14	1.46	35
1.94	5.28	9.58	66.25	10.07	4.44	2.08	36
2.29	5.00	9.72	65.21	10.42	5.14	1.88	37
1.88	5.14	11.18	64.79	9.93	5.28	1.46	38
1.67	6.11	9.03	66.32	9.86	5.07	1.46	39
1.60	6.11	9.51	64.93	10.69	5.21	1.60	40
1.53	5.90	10.28	65.21	9.79	5.49	1.46	41
1.53	5.63	10.76	65.35	9.79	5.07	1.53	42
1.94	4.38	10.49	65.76	10.42	4.72	1.94	43
2.08	4.03	10.63	65.69	10.56	5.21	1.46	44
2.15	4.24	11.25	64.51	10.14	6.04	1.46	45
1.81	4.24	10.69	64.03	12.43	4.93	1.60	46
2.08	4.65	9.38	65.97	10.42	5.76	1.39	47
1.81	4.24	11.32	64.24	10.90	5.42	1.39	48
2.15	4.51	10.00	64.79	12.01	4.44	1.60	49
2.15	4.51	10.00	64.79	12.01	4.58	1.60	50
1.94	4.44	10.21	66.53	9.51	4.86	2.15	51
1.92	4.85	10.24	65.33	10.47	5.15	1.67	متوسط

المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على بيانات SPEI المتاحة على (csic.es) Global SPEI database

ملحق رقم (٤)

نسب فئات الجفاف والرطوبة (%) من إجمالي الفترة المدروسة (٢٠ سنة) وفقاً للمؤشر المعياري للمطر والتبخر نتح SPEI في منطقة الدراسة للناطق الزمني (١٢ شهر)

النقطة الشبيكة ة	أكثر من ٢ (رطوبة متطرفة)	من ١,٩٩ : (رطوبة شديدة)	من ١,٤٩ : (رطوبة معتدلة)	من : ٠,٩٩ (ظروف معتدلة)	من : ١,٤٩ (جفاف معتدل)	من -١,٩٩ : (جفاف شديد)	أقل من -٢ (جفاف متطرف)
1	1.81	4.79	8.75	68.19	9.03	4.79	1.88
2	2.29	5.56	8.33	67.36	8.54	5.28	1.94
3	2.15	6.46	7.29	67.43	8.47	5.35	2.15
4	1.46	7.43	6.39	68.40	8.33	5.21	2.08
5	0.97	5.35	13.26	63.68	8.68	6.18	1.18
6	1.39	5.83	9.58	66.11	9.10	5.69	1.60
7	1.74	6.04	9.03	66.04	10.63	3.96	1.88
8	1.81	6.46	8.26	66.81	10.07	3.82	2.08
9	1.46	5.69	10.14	65.97	8.13	6.11	1.81
10	1.94	4.44	8.82	67.99	9.17	4.51	2.43
11	2.43	3.47	10.42	66.25	10.56	3.82	2.29
12	1.74	4.79	9.31	66.74	9.72	4.31	2.71
13	2.36	3.47	9.51	66.67	10.42	4.51	2.36
14	2.15	3.61	10.28	66.11	11.25	3.40	2.50
15	2.92	4.10	8.82	66.04	10.49	4.93	2.01
16	2.43	4.86	7.85	66.88	10.07	5.42	1.81
17	2.71	5.49	6.74	66.53	11.04	4.86	1.94
18	2.50	5.63	7.01	66.18	11.88	4.10	2.01
19	0.56	5.90	12.78	62.64	9.79	5.90	1.74
20	1.25	5.69	11.60	65.63	7.36	5.69	2.01
21	1.39	5.83	9.58	66.11	9.10	5.69	1.60
22	1.32	4.58	12.99	64.58	8.54	6.11	1.81
23	1.39	4.79	11.46	64.10	10.28	5.14	2.15
24	1.46	5.69	10.14	65.97	8.13	6.11	1.81
25	1.04	5.63	11.94	64.10	9.17	5.63	1.81
26	1.53	5.00	9.38	65.97	10.00	5.56	1.88
27	1.53	5.35	9.03	66.18	10.69	4.51	2.01
28	1.53	4.44	10.83	65.90	9.79	4.93	1.94
29	1.32	5.69	9.79	65.76	10.00	5.07	1.67
30	1.53	4.86	10.69	65.56	9.65	5.35	1.67
31	1.94	5.42	8.26	65.49	11.18	5.63	1.39
32	2.50	5.28	7.99	65.49	11.32	5.21	1.53
33	1.32	5.42	8.96	64.86	10.83	5.63	1.67
34	0.76	6.11	12.08	64.38	8.47	5.56	1.94
35	1.25	5.69	11.60	65.63	7.43	5.69	2.01
36	1.25	6.67	9.93	64.72	9.10	5.69	1.94
37	1.60	4.03	11.94	65.35	8.40	5.76	2.22
38	1.53	3.96	13.61	62.43	10.42	5.83	1.53
39	2.08	3.54	12.64	63.75	10.56	4.79	1.94
40	1.53	4.38	12.99	63.40	8.82	6.11	1.39
41	0.97	6.04	10.49	63.40	10.07	5.21	1.88
42	1.67	4.17	11.74	65.00	10.42	4.38	1.88
43	1.60	4.93	9.65	66.67	10.00	4.51	1.94
44	0.97	6.88	9.72	65.00	10.21	4.65	1.88
45	0.97	6.46	9.65	65.21	10.07	5.00	1.94
46	1.18	6.11	9.44	65.35	9.58	6.04	1.60
47	1.39	5.97	9.31	65.07	9.79	6.11	1.67
48	1.39	6.18	9.58	65.42	9.44	5.35	1.94
49	1.94	4.44	8.82	68.13	9.31	4.44	2.43
50	1.94	4.44	8.82	67.99	9.10	4.51	2.43
51	2.92	4.10	9.23	66.04	10.49	4.93	2.01
متوسط	1.66	5.24	9.93	65.7	9.67	5.16	1.92

المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على بيانات SPEI المتاحة على (csic.es) Global SPEI database

١١ - المراجع والمصادر:

أولاً: المراجع العربية

- (١) إبراهيم، محمد توفيق محمد، (٢٠١٣)، السنوات الجافة والرطوبة في المرتفعات النيمية. دراسة تحليلية، مجلة كلية الآداب - جامعة سوهاج - العدد الرابع والثلاثون.
- (٢) إبراهيم، محمد عبد العال، (٢٠١٩)، اتجاهات التغير في الجفاف المناخي والهيدرولوجي وعلاقتها بالدورات الهوائية العامة في الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠ - ٢٠١٥ (دراسة مناخية)، مجلة الجمعية الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة.
- (٣) أحمد، هدى برهان، (٢٠١٤)، التحليل المناخي لأسباب الجفاف في العراق، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة تكريت، العراق.
- (٤) البديري، أحمد لفته حمد، (٢٠١٢)، مؤشرات التغير المناخي وأثرها في زيادة مظاهر الجفاف في محافظة بابل، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة بغداد - كلية التربية ابن رشد للعلوم الانسانية - قسم الجغرافية.
- (٥) الدزبي، سالار على خضر، (٢٠٢١)، الجفاف المناخي في العراق الماضي والحاضر، دار الآداب للطباعة والنشر والتوزيع، الطبعة الأولى، بغداد، العراق.
- (٦) الحبتي، أبو بكر عبد الله، (٢٠١٧)، تحليل الجفاف في شمال ليبيا باستخدام مؤشر الجفاف الاستطلاعي (Reconnaissance RDI) Drought Index، المؤتمر الدولي للتقنيات الجيومكانية، طرابلس، ليبيا.
- (٧) الشجيري، عمر حمدان عبد الله، والهدال، يوسف محمد علي، (٢٠١٩)، تحليل اتجاه الجفاف المناخي الفصلي في العراق خلال المدة ١٩٥٢ - ٢٠١٧، مجلة بحوث الشرق الأوسط، ع ٥١، ص ٨٠ - ١١٦
- (٨) المنظمة العالمية للأرصاد الجوية WMO، (٢٠١٢)، دليل مستخدم المؤشر المعياري للهطول SPI، مينيوتيرم، على الموقع: World Meteorological Organization Extranet www.wmo.int
- (٩) شرف، محمد إبراهيم، (١٩٩١)، المناخ والزراعة في شمالي مصر - دراسة في الجغرافيا التطبيقية، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.
- (١٠) صباحي، محمد، (٢٠٠٧)، موقع الجفاف في مناخ المغرب،

مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية، ع ١٤٤، ١٠٨ – ١٣٧، على الرابط
التالي: <http://search.mandumah.com/record/570715>
(١١) عبد المحسن، كامل علي، (٢٠١٠)، *تحليل تردد الجفاف الهيدرولوجي: دراسة حالة، مجلة هندسة الرافدين، المجلد ١٨، ع ٥، جامعة الموصل كلية الهندسة، العراق.*

ثانياً: المراجع الأجنبية.

- (1) Adler, M.J., Busuioc, A., Ghioca, M., Stefan, S., (1999., *Atmospheric processes leading to drought periods in Romania*. In: Gottschalk, L., Olivoy, J.-C., Reed, D., Rosbjerg, D. (Eds.), *Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating*. IAHS Publication No. 255. IAHS Press, Wallingford, pp. 37–47.
- (2) Allam, N.M., Sharma, G.C., Moreira, E., Jana, C., Mishra, P.K., Sharma, N.K., Mandal, D, (2017)., *Evaluation of drought using SPEI drought class transitions and log-linear models for different agro-ecological regions of India*, Physics and Chemistry of the Earth, doi:10.1016/j.pce.2017.02.008
- (3) Bae, Seungjong and Lee, Sang-Hyun and Yoo, Seung-Hwan and Kim, Taegon., (2018)., *Analysis of Drought Intensity and Trends Using the Modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010*, journal of water, DOI:10.3390/w10030327
- (4) Bo MING, Yin-qiao GUO, Hong-bin TAO, Guangzhou LIU, Shao-kun LI, Pu WANG, (2015)., *SPEIPM-based research on drought impact on maize yield in North China Plain*, Journal of Integrative Agriculture, Volume 14, Issue 4, Pages 660-669, ISSN 2095-3119, [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60778-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60778-4).
- (5) Burke, E.J., Brown, S.J., (2010)., *Regional drought over the UK and changes in the future*. J. Hydrol. 394 (2010)., 471–485.
- (6) Cassim JZ, Juma GS, (2018)., *Temporal analysis of drought in Mwingi sub-county of Kitui County in Kenya using the standardized precipitation index (SPI)*,

- ©Discovery Publication. All Rights Reserved.
www.discoveryjournals.org OPEN ACCESS.
- (7) D.G.C. Kirono, D.M. Kent, K.J. Hennessy, F. Mpelasoka, (2011)., *Characteristics of Australian droughts under enhanced greenhouse conditions: Results from 14 global climate models*, Journal of Arid Environments, Volume 75, Issue 6, Pages 566-575, ISSN 0140-1963,
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.12.012>.
- (8) Eleanor J. Burke, Richard H.J. Perry, Simon J. Brown., (2010)., *An extreme value analysis of UK drought and projections of change in the future*, Journal of Hydrology, Volume 388, Issues 1–2, Pages 131-143, ISSN 0022-1694,
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.035>
- (9) Geiger, Rudolf., (1961)., *Überarbeitete Neuausgabe von Geiger, R.: Köppen-Geiger/Klima der Erde (Wandkarte 1:16 Mill.) – Klett-Perthes, Gotha.*
- (10) Gillette, H. P., A., (1950)., *creeping drought under way*. Water and Sewage Works, (March) 104–105.
- (11) Hudson, H. E., and R. Hazen., (1964)., *Drought and Low Streamflow*. In: *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, pp 1-26.
- (12) Ilham Mozaffary, Nawazaleh Moradi, Ommolbanin Bazrafshan, (2021)., *Spatio-Temporal Variability of Characteristics of Meteorological Drought in Iran under Climate Change Scenarios*, Desert Management Journal, No. 61, pages 611-631, Iran.
- (13) Ismael H., (2016)., *Monitoring drought trends induced climate variability over Egypt using MODIS NDVI satellite data and Drought Indices*, Bulletin of the Egyptian geographical society, Vol. 89, pp.91-121.
- (14) Joe A. Moreland., (1993)., *drought, U.S. Geological Survey*, U.S. Dept. of the reports, DOI.10.3133/ofr93642, Series number 93-642.
- (15) Keyantash, J. and Dracup, J.A. (2002)., *The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought*

- Indices*. Bulletin of the American Meteorological Society, 83, 1167- 1180.[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(2002\)083<1191:TQODAE>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(2002)083<1191:TQODAE>2.3.CO;2)
- (16) Keyantash, J. and Dracup, J.A. (2002)., *The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices*. Bulletin of the American Meteorological Society, 83, 1167.[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2002\)083<1191:TQODAE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2002)083<1191:TQODAE>2.3.CO;2)
- (17) Lee J.H., Seo J.W., Kim C.J., (2012)., *Analysis on trends, periodicities and frequencies of Korean drought using drought indices*, J. Korea Water Resources. Assoc., 45, 75–89.
- (18) Li W, Hou M, Chen H, Chen X. (2012)., *Study on drought trend in south China based on standardized precipitation evapotranspiration index*. J. Nat. Disasters 21: 84–90.
- (19) Lohani, V.K., Loganathan, G.V., (1997)., *An early warning system for drought management using the palmer drought index*. J. Am. Water Resource. Assoc. 33 (6), 1375–1386.
- (20) Marengo, Jose A., Bernasconi, Mauro, (2015)., *Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections*, Climatic Change Journal, <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>
- (21) Moreira, E. E., Martins, D. S., and Pereira, L. S., (2015)., *Assessing drought cycles in SPI time series using a Fourier analysis*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 571–585, <https://doi.org/10.5194/nhess-15-571-2015>.
- (22) McKee, T. B., N. J. Doesken, and Kleist, J., (1993)., *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology. Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179–184.
- (23) Md Giashuddin Miah, Hasan Muhammad Abdullah, Changyoon Jeong., (2017)., *Exploring standardized*

- precipitation evapotranspiration index for drought assessment in Bangladesh*, Environ Monit Assess, 189: 547, DOI 10.1007/s10661-017-6235-5.
- (24) Mishra, A.K., Singh, V.P., (2009)., *Analysis of drought severity–area–frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty*. J. Geophys. Res. 114, D06120.
doi:10.1029/2008JD010986.
- (25) Miah, Md Giashuddin., Abdullah, H.M. & Jeong, C. (2017)., *Exploring standardized precipitation evapotranspiration index for drought assessment in Bangladesh*. Environ Monit Assess 189, 547.
<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6235-5>
- (26) Ning Yao, Linchao Li, Puyu Feng, Hao Feng, De Li Liu, Yang Liu, Kongtao Jiang, Xiaotao Hu, Yi Li., (2020)., *Projections of drought characteristics in China based on a standardized precipitation and evapotranspiration index and multiple GCMs Crossref*, <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.135245>.
- (27) Palmer WC, (1965)., *Meteorological drought*. US Department of Commerce Weather Bureau, Washington.
- (28) P. Páscoa, C. M. Gouveia, A. Russo, R. M. Trigo, (2017)., *Drought Trends in the Iberian Peninsula over the Last 112 Years*, Advances in Meteorology Volume 2017, Article ID 4653126, 13 pages
<https://doi.org/10.1155/2017/4653126>.
- (29) Rebetez M, Mayer H, Dupont O, Schindler D, Gartner K, Kropp J, Menzel A (2006)., *Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis*. Ann For Sc 63:569–577
- (30) Shifa Mathbout, Joan A. Lopez-Bustins, Javier Martin-Vide, Joan Bech, Fernando S. Rodrigo, (2018)., *Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961–2012*, Atmospheric Research, Volume 200, P. 153-168, ISSN 0169-8095,
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.016>.

- (31) Smakhtin, V. U., and Hughes, D. A., (2004)., “*Review, automated estimation and analysis of drought indices in South Asia,*” Working Paper 83, Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute.
- (32) Vicente-Serrano SM, Beguera S, Lopez-Moreno JI, Garcea-Vera MA, Stepanek P. (2010a)., *A complete daily precipitation database for North-East Spain: reconstruction, quality control and homogeneity.* Int. J. Climatol. 30: 1146–1163
- (33) Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010)., *A Multiscale Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index.* Journal of Climate, 23(7), 1696–1718.
<http://www.jstor.org/stable/26189715>.
- (34) Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010)., *A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index,* Journal of Climate, 23(7), 1696-1718. Retrieved, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/23/7/2009jcli2909>
- (35) Vicente-Serrano SM, Begueera S, Lopez-Moreno JI. (2011)., *Comment on “Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) during 1900–2008”* by A. Dai. J. Geophys. Res. Atmos. 116: D19112, Doi: 10.1029/2011JD016410.
- (36) Vicente-Serrano SM, Lopez-Moreno J-I, Begueera S, Lorenzo-Lacruz J, Sanchez Lorenzo A, Garcya-Ruiz JM, Azurins-Molina C, Revuelto J, Trigo R, Coelho F, Espejo F. (2014)., *Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe.* Environ. Res. Lett. 9: 044001, Doi: 10.1088/1748-9326/9/4/044001.
- (37) Wang Y, Liu G, Guo E. (2018)., *Spatial distribution and temporal variation of drought in Inner Mongolia*

- during 1901-2014 using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Sci Total Environ. 2019 Mar 1; 654:850-862. Doi: 10.1016/j. scitotenv.2018.10.425. PMID: 30448674*
- (38) Wilhite, D. A. and Glantz, M. H., (1985)., ‘*Understanding the drought phenomenon: the role of definitions*’ *Water International* 10 (3), pp. 111-120, <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- (39) Wilhite, D.A., (2000)., *Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions*. DigitalCommons@University, of Nebraska-Lincoln. Chapter, 1, 1-18. Retrieved from: <https://pdfs.semanticscholar.org/978b/179885ad9cd08da8ef466ca717425a4eb82c.pdf>
- (40) Wilhite, D.A. (2005)., *Drought. In: Oliver, J.E. (eds) Encyclopedia of World Climatology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_70. Encyclopedia of World Climatology, Part of the Encyclopedia of Earth Sciences Series book series (EESS)., 2005, Drought, Donald A. Wilhite.