اتجاهات التغير في الجفاف المناخي والهيدرولوجي وعلاقتها بالدورات الهوائية العامة في الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥

"دراسة مناخية"

د. محمد محمد عبد العال إبراهيم*

الملخص:

يُعد الجفاف خطرًا طبيعيًا معقدًا، له تأثيرات ضارة بيئية واقتصادية واجتماعية (على سبيل المثال: الهيدرولوجيا ومصادر المياه وضعف المحاصيل والتنوع البيولوجي، وغيرها)، كما تعاني كثير من مناطق العالم من نوبات الجفاف الشديدة والمتكررة خلال العقود القليلة الماضية، لذا تهدف تلك الدراسة إلى تقييم التغيرات المكانية والزمنية طويلة الأمد لجفاف الأرصاد الجوية والهيدرولوجية مقارنة بالأحداث الرطبة في الدلتا، وهي إحدى المناطق الساخنة في مصر من حيث الوزن السكاني والأهمية الاقتصادية. وقد تم إجراء هذا التقييم للفترة من عام ١٩٥٠ إلى عام ٢٠١٦ باستخدام مؤشر المؤشر المعياري للتساقط المطري والتبخر النتحي (SPEI)، والذي يمكن حسابه باستخدام مدخلات مختلفة لعدة متغيرات مناخية (مثل: درجة حرارة الهواء والأمطار وسرعة الرياح وضغط الهواء وأشعة الشمس، والرطوبة النسبية). وقد مثُلت الدلتا بعدد ٢٢ نقطة شبكية Grid، كما استُخدم المؤشر SPEI بمقاييس زمنية مختلفة (١، ٣، ٦، ٩، ١٢ و ٢٤ شهرًا)، مما يسمح بتوصيف كل من آثار الأرصاد الجوية والهيدرولوجية والزراعية للتغيرات المناخية الحديثة في الدلتا. وقد تم تقييم التغيرات في وتيرة الجفاف باستخدام إحصائية سبيرمان (رو) اللامعلمية؛ حيث تشير النتائج عمومًا إلى زيادة ذات دلالة إحصائية في تواتر الجفاف خلال فترة الدراسة، والبالغة ٦٦ سنة، كان هذا الاتجاه الإيجابي نحو الزيادة أكثر وضوحًا في الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية من الدلتا. كذلك تم ربط تقلبات الجفاف أيضًا بمجموعة من الأنماط الرئيسية للدورات الهوائية في الغلاف الجوي، والتي تفسر في الغالب تقلب المناخ في المناطق التي تقع خارج النطاق المداري والعروض الوسطى، ومنها: تذبذب شمال الأطلسي (NAO)، ومؤشر التذبذب الجنوبي (SOI)، ومؤشر تذبذب البحر الأبيض المتوسط (MOI). كما تشير النتائج إلى أن هناك علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقلبات الجفاف وأنماط الدورة الهوائية العامة عند مستوى دلالة ٩٥% ($P<0.05$). كذلك ومن أجل

* مدرس الجغرافيا الطبيعية، قسم الدراسات الاجتماعية، كلية التربية – جامعة المنصورة.

تقييم المساهمة النسبية للمتغيرات المناخية المحلية المختلفة لتطور الجفاف طُبق تحليل الارتباط الجزئي، وقد أظهرت النتائج أن تساقط الأمطار هو أكثر المتغيرات السائدة التي تسهم في تطور الجفاف في الدلتا. أيضًا تم تقييم تأثيرات تقلبات الجفاف على ضعف المحاصيل الزراعية وإنتاجها في الدلتا خلال الفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٥، مع التركيز بشكل خاص على القمح والبرسيم، وقد تم التحقق من هذه الآثار، خاصة بالنسبة للمحافظات ذات المساحة الأكبر، والأكثر إنتاجية لتلك المحاصيل.

الكلمات المفتاحية: الجفاف، المؤشر المعياري للأمطار والتبخر النتحي، اتجاه التغير، الدورات الهوائية العامة، الدلتا المصرية.

المقدمة :

تُعد التغيرات المناخية أحد أهم التحديات البيئية العالمية، والتي يظهر تأثيرها على النظم الإيكولوجية الطبيعية وإمدادات المياه العذبة، بل تمتد تأثيراتها على كافة المجتمعات، خاصة خلال القرن الحادي والعشرين (Bohn and Piccolo, 2018). وتخضع المناطق المحيطة بالبحر المتوسط في كل من جنوب أوروبا وشمال أفريقيا والشرق الأوسط إلى تغييرات مناخية دراماتيكية، تؤثر على استدامة الموارد المائية، وكميتها، وجودتها، وإدارتها، بما يشكل مصدر قلق كبير، يؤدي إلى زيادة في الطلب على المياه خلال القرن الحالي (Iglesias, et al., 2007; Garca-Ruiz, et al., 2011, Cook, et al., 2016)، علمًا بأن أكثر من نصف أراضي حوض البحر الأبيض المتوسط المخصصة للزراعة تستهلك ما يقرب من ٦٠-٨٠% من إمدادات المياه بالمنطقة (ESPERE, 2006; Hoerling, et al., 2012)، فلتقلبات الجفاف والرطوبة آثار عميقة على النظم البيئية والزراعية والهيدرولوجية وإدارة المياه، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، حيث تتحكم ردود فعل أحداث الجفاف والرطوبة بتلك المناطق في مدى وفرة المياه وانتظامها داخل هيئة الأرض، وتؤثر أيضًاعلى توزيع النباتات والنماذج الزراعية السائدة (Tao, et al., 2014).

ويُعد الجفاف من أصعب الأخطار المناخية التي يمكن إدراكها وفهمها وتمييزها؛ نظرًا لطبيعته المعقدة ولصعوبة تقدير شدته؛ لأننا نميز الجفاف بآثاره وتأثيراته على أنواع النظم المختلفة (الزراعة وموارد المياه والبيئة والغابات والاقتصاد، وغيرها)، ولكن لا يوجد متغير طبيعي واحد فقط يُمكن قياسه؛ لتحديد كمية أو قيمة الجفاف، وكذلك تحديد حالاته في الزمان والمكان، خاصة تحديد اللحظة التي يبدأ فيها الجفاف وينتهي، وكذلك قياس مدتها وحجمها ومداها المكاني (Vicente-Serrano, et al., 2012; Spinoni, et al., 2019). بل يعتبر الجفاف أحد أغلى

الكوارث الطبيعية والبيئية وأكثرها انتشارًا، لما له من آثار سلبية على الزراعة، وموارد المياه، والنظم الإيكولوجية الطبيعية، وأنشطة المجتمع كافة، فعلى سبيل المثال تقدر متوسط التكلفة أو الخسائر التي يسببها الجفاف سنويًا على مستوى العالم بحوالي من ٦ إلى ٨ مليار دولار تقريبًا، والتي تؤثر بشكل جماعي على عدد أكبر من الأشخاص مقارنة بأي كارثة طبيعية أخرى (Li, et al., 2015; Bae, et al., 2018, Benitez and Domecq, 2014). كما تتراكم آثار الجفاف ببطء وعلى مدى فترة زمنية طويلة، وقد تبقى لسنوات بعد انتهاء الحدث، ولذا يشار غالبًا إلى الجفاف بأنه ظاهرة أو كارثة زاحفة A creeping phenomenon (Koutroulis, et al., 2011).

تتباين أنواع وأنماط الجفاف، لذا لا يوجد تعريف فريد للجفاف؛ بسبب تباين الخصائص البيئية والاقتصادية والاجتماعية للمناطق الجغرافية، ولذا فقد أمكن تمييز عدة حالات وأنواع للجفاف، وهي: الجفاف المناخي حيث انحراف الأمطار عن معدلها الطبيعي أو متوسط كميتها سلبًا والزراعي وهو الظروف التي لا تستطيع عندها رطوبة التربة أن تلبي احتياجات النبات، والهيدرولوجي يظهر خلال آثار فترات نقص الأمطار على إمدادات المياه السطحية وتحت السطحية كتدفق المجاري المائية ومستوى الخزانات والبحيرات والمياه الجوفية، والاجتماعي الاقتصادي حيث يربط العرض والطلب لبعض السلع أو الخدمات الاقتصادية بعناصر الجفاف المناخي والزراعي والهيدرولوجي: بالنسبة للجفاف المناخي (Wilhite, 2000; BAMS, 2004; Mishra and Singh, 2010).

ولرصد الجفاف وقياسه، يجب التقييم الموضوعي والكمي لمدة الجفاف وشدته ومداه المكاني، وذلك عن طريق استخدام أدوات علمية، وهي: مؤشرات الجفاف، والتي يتم إنشاؤها بناءً على متغيرات مناخية وهيدرولوجية مختلفة ومتعددة، يمكنها أن تعكس جوانب مختلفة من الجفاف وخصائصه، وتحدد بدرجة كافية درجة مخاطر الجفاف على النظم البيئية، خاصة الحساسة منها، وقد بُذلت كثير من الجهود خلال العقود الماضية لتطوير تلك المؤشرات المختلفة من خلال مناقشة عيوب ومميزات كل منها على نطاقات جغرافية مختلفة وواسعة (Vicente-Serrano, et al., 2012; Li, et al., 2015; Rajsekhar, et al., 2015). وقد أوضحت عديُد من الدراسات الارتباط القوي بين التغير الزمني لمؤشرات الجفاف المختلفة ومتغيرات الاستجابة للأنظمة الطبيعية، مثل: نمو الأشجار والغابات، والتصريف النهري، ومستوى المياه الجوفية، والمحاصيل الزراعية، والنشاط النباتي، ومنها: دراسات (Pasho, et al., 2011; Hannaford, et al., 2011; Fiorillo and Guadagno, 2010; Vergni and Todisco, 2011; McAuliffe and Hamerlynck, 2010). وتُعرف مؤشرات الجفاف بأنها متغيرات أو معلمات رقمية، تستخدم لوصف حالات الجفاف، تشتمل على مدخلات مناخية وهيدرولوجية وغيرها، على سبيل المثال: تساقط الأمطار، ودرجة الحرارة،

والاشعاع الشمسي، والتبخر، والرياح، وتدفق المجاري المائية، والمياه الجوفية، ومستويات الخزان، ورطوبة التربة، ونوع التربة، ودرجة حرارة نقطة الندى، وكثافة الثلوج، والغطاء الأرضي، وبيانات المحاصيل، وبيانات مستشعرة، وغيرها. ولأنه لا يوجد تعريف موحد للجفاف، فلا يوجد مؤشر واحد يمكن أن يفسر ويطبق على جميع أنواع الجفاف وأنظمة المناخ والقطاعات المتضررة، ولذا تتعدد مؤشرات الجفاف وتختلف تبعًا لمدخلات تكوينها، وللهدف من استخدامها وسهولتها، وتبعًا لمدى ملاءمتها للبيئة الجغرافية، وقد تعددت وتنوعت تلك المؤشرات داخل خمسة أصناف رئيسة، وهي: مؤشرات مناخية أو للأرصاد الجوية، ومؤشرات لرطوبة التربة، ومؤشرات هيدرولوجية، ومؤشرات استشعار عن بعد، ومؤشرات مركبة أو منمذجة Composite Modeled (للتفاصيل يمكن الرجوع إلى: WMO, 2016).

وقد تعددت الدراسات التي استخدمت المؤشر المعياري للهطول والتبخر النتحي Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) على المستوى العالمي والإقليمي، وذلك لقياس شدة الجفاف، ومداه، واتجاهات تغيره، ومنها على سبيل المثال على المستوى العالمي: دراسة (Vicente-Serrano, et al., 2010a; Vicente-Serrano, et al., 2010b; Wang, et al., 2014; Spinoni, et al., 2019) التي اهتمت بدراسة الخصائص الزمنية والمكانية للجفاف وبناء مؤشراته وتطويرها.أما على المستوى الإقليمي منها على سبيل المثال: دراسة (Alam, et al., 2017; Yu, et al., 2014; Hernandez and Uddameri, 2014; Yagoub, et al., 2017; Mathbout, et al., 2018; Nezhad, et al., 2018) عن التحليل المكاني والزماني لتقلبات الجفاف باستخدام مؤشر SPEI خلال نطاقات زمنية متعددة مناطق عديدة، وهي الهند، والصين، وأمريكا، والسودان، وسوريا، وإيران. أما على المستوى المحلي فتعددت الدراسات السابقة لمنطقة الدراسة وموضوعها، ومن أهمها: دراسة (أبو راضي، ١٩٧٢) عن الجغرافيا المناخية للدلتا المصرية، ودراسة (موسى، ٢٠٠٣) عن المناخ وأثره على المحاصيل الزراعية الرئيسية بين فرعى دمياط ورشيد، ودراسة (مجد، ٢٠٠٧) عن المخاطر المناخية وأثرها على الزراعة في الهوامش الغربية لدلتا النيل، ودراسة (حسان، ٢٠٠٩) عن التغير في بعض عناصر المناخ بدلتا النيل خلال القرن العشرين، ودراسة (بدوي، ٢٠١٢) عن أثر المناخ على التصحر في شرق الدلتا المصرية وغربها، حيث أشارت فقط إلى أهمية تطبيق مؤشر بالمر لقياس حدة الجفاف (PDSI)، ودراسة (إبراهيم، ٢٠١٢) كأول الدراسات التي تناولت أحداث الجفاف على مستوى السواحل المصرية باستخدام مؤشر المطر القياسي SPI للمستوى الزمني (شهر، ثلاثة شهور)، والتي بينت تأثر السواحل بالأحداث المتطرفة الرطبة أكثر من الأحداث الجافة؛ وذلك خلال النصف الثاني من القرن العشرين، ودراسة (إبراهيم، ٢٠١٨) عن الاتجاهات طويلة الأمد لتطرفات الحرارة اليومية في الدلتا المصرية، وكذلك دراسة (Ismail, 2016) في مراقبة اتجاهات الجفاف الناجمة عن تغير المناخ في مصر باستخدام

بيانات القمر الصناعي MODIS NDVI ومؤشرات الجفاف، حيث تعرضت لمؤشر SPEI بالنسبة لمتوسط الجمهورية فقط خلال النطاق الزمني (٦، ١٢) شهرًا.

ومن خلال العرض السابق لأهم الدراسات السابقة التي تناولت منطقة الدراسة يتضح أهمية الدراسة الحالية، واختلافها، وتميزها عن الدراسات السابقة في عدة نقاط، وهي: اهتمامها بتقييم اتجاهات الجفاف مقارنة بأحداث الرطوبة على مستوى مكاني دقيق، وذو أهمية، وهي الدلتا المصرية، وذلك خلال مستويات زمنية مختلفة ومتعددة قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل (١، ٣، ٦، ٩، ١٢، ٢٤)، توضح حالات الجفاف المناخي والزراعي والهيدرولوجي، وتحديد معدلات التكرار لأحداث الجفاف ومقارنتها بأحداث الرطوبة في منطقة الدلتا خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥، دراسة أثر أنماط الدورات الهوائية العامة Atmosheric Circulations على الجفاف في منطقة الدلتا المصرية، وتقييم علاقة بعض عناصر المناخ في الدلتا المصرية بأحداث الجفاف من معامل الارتباط الجزئي، وكذلك دراسة تطبيقية لأثر الجفاف على بعض المحاصيل الرئيسة في منطقة الدلتا المصرية على مستوى محافظاتها خلال الفترة ١٩٩٩-٢٠١٥.

وبذلك **فقد هُدف خلال** الدراسة الحالية إلى:

١- تحديد اتجاهات تغير الجفاف على المستوى الزماني والمكاني في منطقة الدلتا المصرية وتقييمها باستخدام المؤشر المعياري للهطول والتبخر النتحي (SPEI).
٢- التعرف على تردد الأحداث الجافة وتكرارها ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا المصرية.
٣- تقييم أثر أنماط الدورات الهوائية العامة على الجفاف واتجاهاته في منطقة الدلتا المصرية.
٤- تقييم دور بعض عناصر المناخ، وارتباطها بمؤشرات الجفاف في منطقة الدلتا المصرية.
٥- دراسة تطبيقية لأثر الجفاف على إنتاجية بعض المحاصيل الرئيسية ومساحاتها في الدلتا المصرية.

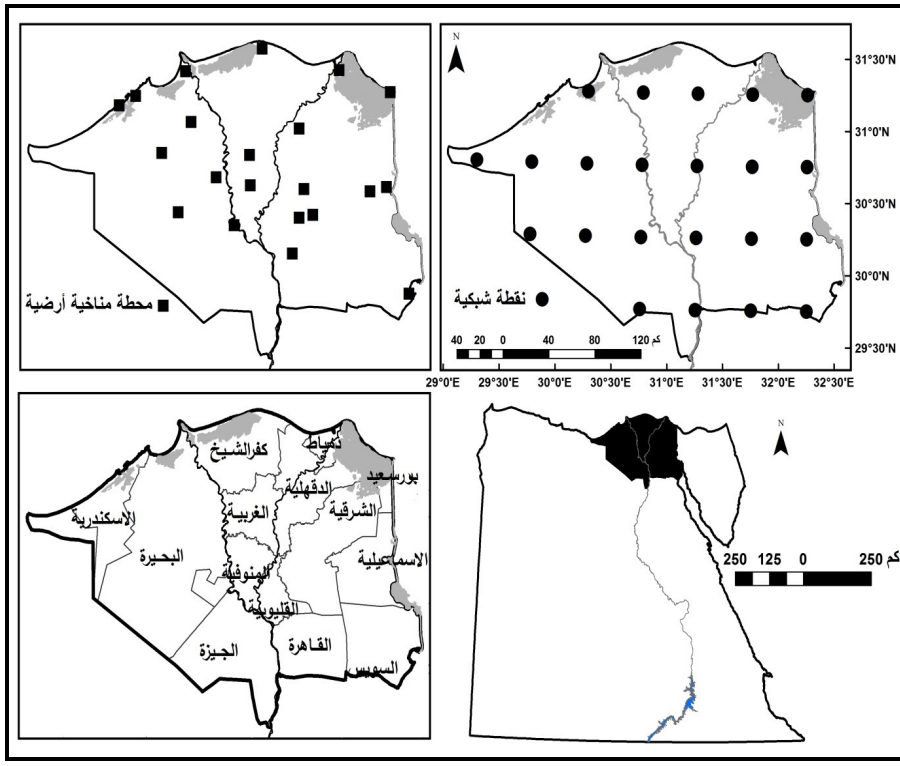
تحديد منطقة الدراسة :

تقع منطقة الدراسة أقصى شمال وادي النيل في مصر، بين دائرتي عرض ٢٣َ ٢٩°، و٣٥َ ٣١° شمالاً، وبين خطي طول ٢٩°، و ٣٥َ ٣٢° شرقًا. وتبلغ مساحة منطقة الدراسة ٤٨٩٤٧ كيلومترًا مربعًا، بنسبة ٥% تقريبًا من إجمالي مساحة مصر(تتمثل في الدلتا المصرية الفيضية وهوامشها الصحراوية ومعظم مساحات محافظات القناة)، وتمثل مساحة الدلتا الفيضية ٢٢ ألف كيلومتر مربع بنسبة ٤٥% من إجمالي منطقة الدراسة، وبنسبة ٦٠% تقريباً من إجمالي المعمور

المصري. ويحدها من الجنوب الحد الإداري الجنوبي لمحافظة القاهرة وطريق القطامية العين السخنة والحد الإداري الجنوبي لمحافظة الجيزة، ومن الشمال البحر المتوسط، ويحدها من الغرب والجنوب الغربي الحد الإداري الغربي والجنوب الغربي لمحافظات الإسكندرية والبحيرة والجيزة، ومن الشرق والجنوب الشرقـي قناة السويس وخليج السويس، كما يتضح من الشكل رقم (١). وتُعد منطقة الدراسة منطقة ساخنة وبؤرة تركز سكاني وعمراني وزراعي ولكافة الأنشطة البشرية في مصر، مما يعطيها أهمية كبيرة في الدراسات الجغرافية والبيئية والمناخية المصرية، خاصة في ظل التغيرات المناخية والاحترار العالمي والتغيرات السكانية وزيادة الطلب على المياه والعجز المائي المستمر والواضح في مصر خلال العقود الأخيرة. وتشتمل منطقة الدراسة على عدد (١٦ بعد إضافة ٦ أكتوبر وحلوان) محافظة إدارية من إجمالي (٢٩) محافظة إدارية في مصر، وبعدد سكان بلغت نسبتهم في منطقة الدراسة ٦٩% من إجمالي عدد سكان مصر (يناير ٢٠١٨)، كما يبلغ عدد القرى بمنطقة الدراسة ٢٥٨٤ قرية بنسبة ٦٠% من إجمالي قرى مصر، وعدد المدن ١٢١ مدينة بنسبة ٥٤% من إجمالي مدن مصر، واستحوذت كذلك على ١٥ مدينة عمرانية جديدة بنسبة ٥٦% من إجمالي المدن العمرانية الجديدة في مصر.

كما بلغت مساحات الحيازات الزراعية في منطقة الدراسة (٦٣٥٠٤٩٧) فدانًا بنسبة ٦٥% من إجمالي مساحة الحيازات الزراعية في مصر عام ٢٠١٠، تمثل ٥٢% تقريبًا من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، كما تبلغ مساحة الأراضي المستفيدة بنظام الصرف المغطى في منطقة الدلتا ٤٣٣٩٢٠٠ فدان بنسبة ٧٢% من إجمالي مساحات الصرف المغطى بمصر (عام ٢٠١٧)، وبنسبة ٦٨% من إجمالي مساحة الحيازات الزراعية في مصر. وقد قُدرت نسبة مياه الري المستخدمة لمحاصيل العروات الثلاث والفاكهة وفقًا لمقننات الحقل بمنطقة الدراسة ٦٠% من إجمالي الكمية المستخدمة في مصر (عام ٢٠١٦). كما تشمل منطقة الدراسة على عدة بحيرات طبيعية غير عذبة (المنزلة، والبرلس، ومريوط، وادكو، والبحيرات المرة، وبحيرة التمساح)، تقدر مساحتها بـ ١٧٤٣ كيلومترًا مربعًا، وتُعد مصدرًا مهمًا للثروة السمكية، بلغت (١٤٠ ألف طنًا) تقدر نسبتها بـ ٨% من إجمالي الإنتاج السمكي في مصر، وتتميز البحيرات الشمالية بوجود مناطق محميات طبيعية، كما أن لها أهمية بيئية كبيرة في الحفاظ على الدلتا المصرية وخصوبتها، باعتبارها مصدات طبيعية ضد غزو مياه البحر المالحة داخل الدلتا الزراعية الطينية الخصبة (الكتاب الإحصائي السنوي، الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، ٢٠١٠، ٢٠١٦، ٢٠١٨)، كما يجرى في الدلتا فرعا نهر النيل: فرع دمياط بطول ٢٤٢ كم ومتوسط عرض ٢٧٠ متر، وفرع رشيد بطول ٢٣٦ كم وبمتوسط عرض ٥٠٠ متر، ويمتاز الفرعان بكثرة المنحنيات لقلة انحدار الأرض (متر لكل ١٤ كيلومترًا) وبطء التيار، وانخفاض جسورهما، وليونة الرواسب التي تتألف منها (صفي الدين، ١٩٩٨؛ وفتحي، ٢٠٠٠)؛

مما يساعد أيضًا على زيادة فقدان المياه بالتبخر، خاصة في ظل ما تشهده الدلتا ومصر من ارتفاع درجات الحرارة والاحترار، وبالتالي تعرضها للجفاف وتأثيراته.



شكل (١) : منطقة الدراسة ونقاطها الشبكية المستخدمة ومحطاتها المناخية الأرضية ومحافظاتها الإدارية.
المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات متغيرات الدراسة وباستخدام برنامج ArcGIS.

بيانات الدراسة :

يُعد مؤشر المؤشر المعياري للهطول والتبخر النتحي Standard Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) أحد مؤشرات الجفاف التي وضعت مؤخرًا، ومن أكثرها شيوعًا، خاصة بعد أن أكدت العديد من الدراسات قدرته على الوصف الجيد لتطور الجفاف، كا أنه الأكثر ملاءمة لدراسة الجفاف وتقييم شدته في مناخات مختلفة، وقد طور من قبل (Vicente-Serrano, et al., 2010a)، ويتشابه ذلك المؤشر مع مؤشر المطر القياسي Standardised Precipitation Index (SPI) في الفرضية الأساسية للتكوين والشكل، بينما يمتاز عن مؤشر

المطر القياسي أو المعياري الذي يعتمد فقط في حسابه على المطر، ولا يوجد به مكون خاص بالرصيد المائي للتربة، وبالتالي لا يمكن حساب نسب التبخر النتحي / والتبخر النتحي الكامن (ET/PET)، بينما يعتمد حساب المؤشر المعياري للتساقط المطري والتبخر النتحي على متغيرات أخرى حرجة بالإضافة إلى المطر، ومنها: الحرارة، ودرجة عرض المكان لتحديد درجة التبخر نتح الكامن باستخدام معادلة ثورنثويت (Thornthwaite, 1948)، والتي يُمكن لتلك المتغيرات أو العناصر أن تأثر بشكل كبير على الجفاف وشدته، فهو مؤشر يعتمد على التوازن المائي المناخي، الذي يتم تحديده من خلال الاختلاف بين التساقط المطري والتبخر الكامن، ولذلك فللمؤشر القدرة على تتبع الجفاف الزراعي والهيدرولوجي بشكل أكثر كفاءة، إلى جانب أنواع الجفاف الأخرى وتأثيراتها في إطار ظاهرة الاحتباس الحراري (Vicente-Serrano, et al., 2010a; Wang, et al., 2015b; Li, et al., 2015; Yihdego, et al., 2019). ويصف المؤشر المعياري للهطول والتبخر النتحي العجز في المياه على نحو فعال على نطاقات زمنية متعددة، بداية من قصيرة الأجل ومتوسطة (١، ٦) شهور، حيث رطوبة التربة، وعلاقتها بإجهاد المحاصيل الزراعية، خاصة في أثناء موسم نموها، وبالتالي يعجز النبات عن الحفاظ على غطائه الخضري، وتضعف إنتاجيته، وتقل بالضرورة مساحاته، وحتى النطاقات طويلة الأجل، والتي ترتبط بتدفقات المجاري المائية ومستودعات التخزين ومستويات المياه الجوفية (٩، ١٢، ٢٤، ٤٨) شهرًا. فالمؤشر يعكس العلاقة الفاصلة بين الموارد المائية المختلفة وسقوط الأمطار والتبخر نتح، ولذا فهو مناسب جدًا للمناطق القاحلة وشبه القاحلة (Polong, et al., 2019 ؛ المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، ٢٠١٢). وتُشير قيم المؤشر SPEI السالبة إلى معدلات جفاف، بينما تشير القيم الموجبة إلى معدلات رطبة؛ حيث يعرف الجفاف عندما تكون قيمة SPEI أقل من أو تساوي −١ في فترة معينة، وينتهي الجفاف عندما تصبح القيمة موجبة، كما يتضح من الجدول الآتي رقم (١).

وقد تم الحصول على بيانات المؤشر المعياري للهطول والتبخر النتحي من خلال قاعدة البيانات المتوفرة للمؤشر على مستوى العالم من الموقع الالكتروني الآتي: https://spei.csic.es/database.html#p1، في شكل ملفات، بصيغة netcdf، وقد تم تحميل الملفات لنقاط شبكية ذات دقة مكانية ٠,٥ درجة عرضية وطولية، وبلغ عدد النقاط الشبكية داخل منطقة الدلتا المصرية (٢٢) نقطة شبكية، تغطي منطقة الدراسة، وسلاسل بياناتها شهرية وطويلة الأمد خلال الفترة ١٩٠١–٢٠١٥، ولمستويات قياس تراكمية للجفاف، تبدأ من شهر إلى ٤٨ شهرًا. وقد اعتُمد في إنشاء ذلك المؤشر على قاعدة البيانات العالمية CRU TS 3.23، لأنها مجموعة البيانات الأكثر اكتمالاً وتحديثًا عن هطول الأمطار الشبكية والتبخر المحتمل على المستوى العالمي، ولها دقة مكانية قدرها ٠,٥ درجة، وتغطي الفترة الزمنية ١٩٠١–٢٠١٥.

جدول (١) : تصنيف درجات الجفاف والرطوبة للمؤشر المعياري للمطر والتبخر النتحي SPEI.

م	قيمة مؤشر SPEI	التصنيف
١	أقل من −٢	جفاف متطرف
٢	−1.99 to −1.50	جفاف شديد
٣	−1.49 to −1.00	جفاف معتدل
٤	−0.99 to 0.99	ظروف معتدلة
٥	1.00 to 1.49	رطوبة معتدلة
٦	1.50 to 1.99	رطوبة شديدة
٧	أكثر من ٢	رطوبة متطرفة

المصدر: (Li, et al., 2015; Polong, et al., 2019).

ولحساب المؤشر SPEI، من الضروري تحديد الطلب التبخيري في الغلاف الجوي (AED)، والذي يتأثر بشدة بالعوامل الطبيعية، ويشتمل على مزيج من المركبات أو العناصر الإشعاعية والديناميكية الهوائية، وتم دمج هذه المكونات بواسطة (Penman, 1948)، الذي طور معادلة لقياس الطلب التبخيري للغلاف الجوي باستخدام بيانات الأرصاد الجوية (سرعة الرياح والإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء) (Vicente-Serrano, et al., 2016a)، إلا إنه ولوجود مشكلة شائعة في توفير بيانات مستمرة وطويلة لأغلب تلك العناصر، خاصة الإشعاع الشمسي والرطوبة والرياح؛ لذلك السبب فقد تم بناء مؤشر SPEI اعتمادًا على بيانات الأمطار والتبخر النتحي باستخدام معادلة ثورنثويت.

كذلك اعتُمد على بيانات سلاسل شهرية لبعض عناصر المناخ، وهي (متوسط لدرجة الحرارة العظمى، ومتوسط درجة الحرارة الصغرى، والرطوبة النسبية، وكمية المطر) خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠٠٦، وذلك لعدد ٢١ محطة مناخية، موزعة في منطقة الدلتا المصرية، كما يوضح الشكل رقم (١). أما بالنسبة لبيانات أنماط دوران الغلاف الجوي، فقد اعتُمد على بيانات سلاسل شهرية لعدد (٦) أنماط، تُعد من أكثر الأنماط تأثيرًا في مناخ مصر وتغيراته، وهي: (تذبذب شمال الأطلنطيNAO، وتذبذب شرق الأطلنط EA، وتذبذب شرق الأطلنطي غرب روسيا EAWR، وتذبذب غرب البحر المتوسط WEMOI، وتذبذب البحر المتوسط MOI_CAIRO بين القاهرة والجزائر، ومؤشر التذبذب الجنوبي SOI والمعبر عن ظاهرة النينو، وقد تم

الحصول على بيـانات تلك الأنمـاط والمؤشرات من المواقـع الإلكترونيـة المذكـورة ضمن المراجـع أدنـاه (للاستزادة يمكن الرجوع إلى: إبراهيم، ٢٠١٢، ٢٠١٤، ٢٠١٨). كذلك خلال الجزء التطبيقي لبحث آثر الجفاف على الزراعة وتقييمه؛ فقد اعتُمد على بيانات إنتاجية محصولي القمح والبرسيم المستديم ومساحتهما في منطقة الدراسة، وعلى مستوى محافظاتها خلال الفترة ١٩٩٩-٢٠١٥، والتي تم الحصول عليها من وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، قطاع الشئون الاقتصادية، سنوات مختلفة.

مناهج الدراسة وأدواتها :

اعتُمد خلال الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي في دراسة خصائص أحداث الجفاف، ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا، وتحليل العوامل المؤثرة فيه، وتشمل أهم أنماط الدورات الهوائية في الغلاف الجوي، وبعض عناصر المناخ المحلية في منطقة الدراسة، ومقارنة النتائج بنتائج دراسات أخرى محلية وإقليمية؛ للوصول لتوصيف واضح للظاهرة، ومقوماتها، وآثارها، كذلك اعتمدت الدراسة على المنهج التاريخي في تتبع التطور الزمني للجفاف، مقارنة بأحـداث الرطوبة، ومعرفة اتجاهات تغيره خلال فترة زمنية ماضية طويلة الأمد، كما اعتُمد على منهج دراسة الحالة في دراسة تأثير الجفاف على بعض المحاصيل الرئيسية في الدلتا المصرية. أما بالنسبة للأدوات فقد اعتُمد على الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف لقياس مدى التشتت المكاني لمعدلات تكرار أحداث الجفاف والرطوبة في الدلتا خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٧.

كذلك استُخدم الاختبار اللامعلمي سبيرمان Spearman's Rho tests لتحديد الدلالة المعنوية للاتجاه لمؤشر الجفـاف خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥ في منطقة الدلتا المصريـة، وذلك عند مستوى دلالـة معنوية (٠,٠٥)، وقد أوصت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية بذلك الاختبار للتحقيق في دلالة الاتجاه الزمني لعناصر المناخ وعوامل الأرصاد الجوية المائية بما فيها المطر والجريان السطحي والتبخر ومؤشرات الجفاف، كما تم تحديد قيمة الاتجـاه من خلال أسلوب The Sen's Slope Estimator Method باستخدام برنامج EXCEL (Sneyers, 1990; Rahmat, et al., 2012; Paulo, et al., 2012; Yao, et al., 2018; ؛ أبوراضي، ٢٠٠٠). واعتُمد أيضًا على اختبار بيرسون Person Correlation في دراسة العلاقة الارتباطية بين سلاسل بيانات الجفاف، وبعض عناصر المناخ الأخرى وتحليلها، وهي: كالحرارة العظمى، والصغرى، والرطوبة النسبية، والمطر، وكذلك مؤشرات دوران الغلاف الجوي كالناو، والنينو وغيرها، وذلك من أجل استكشاف

وجود تذبذبات ذات دلالة إحصائية بينها وبين مؤشر الجفاف SPEI، وكذلك للكشف عن العلاقة بين مؤشر الجفاف وإنتاجية بعض المحاصيل الرئيسية في الدلتا ومساحتها. وقد اعتُمد على أداة الاستكمال المكاني Inverse Distance Weighting (IDW) في برنامج ArcGIS 10.5 لتمثيل البيانات خرائطيًا، كما استُخدم برنامج EXCEL في حساب التكرارات ورسم الأشكال البيانية.

كما اعتُمد على اختبار الارتباط الجزئي The Partial Correlation Coefficient، وهو اختبار إحصائي يقيس درجة العلاقة بين متغيرين، مع تثبيت أو عزل أثر متغيرات أخرى ترتبط بهما، وذلك من خلال التحكم في عزل العوامل المختلفة الأخرى، واحدًا بعد الآخر (صفوح، ٢٠٠٠)، وذلك في أثناء تقييم العلاقة بين مؤشر الجفاف، وبين بعض عناصر المناخ المتوفر بياناتها لفترات زمنية طويلة الأمد، وذلك لعدد من المحطات المناخية الأرضية في منطقة الدلتا، وهي: درجة الحرارة العظمى، والصغرى، والرطوبة، والمطر؛ بهدف تحديد أكثر تلك العناصر تأثيرًا في الجفاف، وعلى مستويات نطاقات زمنية متعددة قصيرة ومتوسطة وطويلة الأمد في الدلتا المصرية، ولتحديد نطاقات التأثر بكل عنصر مناخي عن غيره، ويمتاز ذلك الاختبار بقدرته على تحديد تأثير كل عامل أو عنصر على ظروف الجفاف، مع الأخذ في الاعتبار تأثير بقية العناصر الأخرى بعد عزلها أو تثبيت تأثيرها، فكل تلك العناصر تتداخل مع بعضها البعض بيئيًا في التأثير على الجفاف، ومن غير المفيد فصل إحداها عن الآخرى عند دراسة تأثيرهم على الجفاف وعلاقة ارتباطه بهم، لذا فقد تم استخدام أسلوب الارتباط الجزئي للتعرف على دور كل عنصر في ضوء علاقته ببقية العناصر المتداخلة الأخرى معه في البيئة، ومقارنة تلك النتائج بنتائج علاقة الارتباط البسيط بين مؤشر الجفاف وكل متغير منفصلاً، وتوضيح التوزيع المكاني لتلك الفروق بين علاقة الارتباط الجزئي والبسيط، وقد اعتمدت كثير من الدراسات في مجال دراسة المناخ والتغيرات المناخية والجفاف على الارتباط الجزئي. ومنها: دراسة (Liu, et al., 2011; Sayari, et al., 2013; Liang, et al., 2014; Ficklin, et al., 2015).

النتائج والمناقشات :

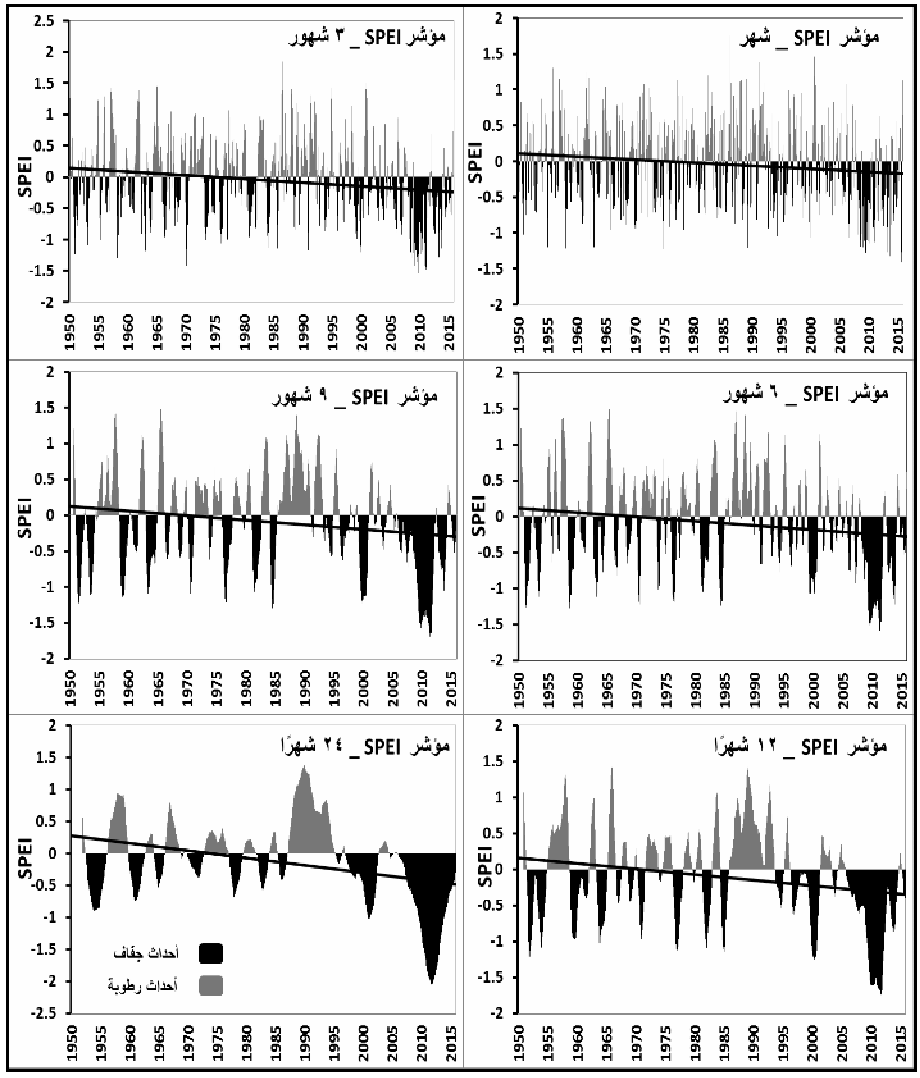
١) بالنسبة لاتجاهات الجفاف في منطقة الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥:

يبين الجدول الآتي رقم (٢) والأشكال أرقام (٢)، (٣) اتجاهات الجفاف في مؤشر المطر المعياري والتبخر النتحي SPEI لكامل السلسلة الشهرية على مستويات زمنية مختلفة قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل.

جدول (٢) : اتجاهات الجفاف لمؤشر SPEI للنطاقات الزمنية المختلفة، ولمستويات فصلية في منطقة الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥. (القيم z المعيارية لكل عقد سنوي)

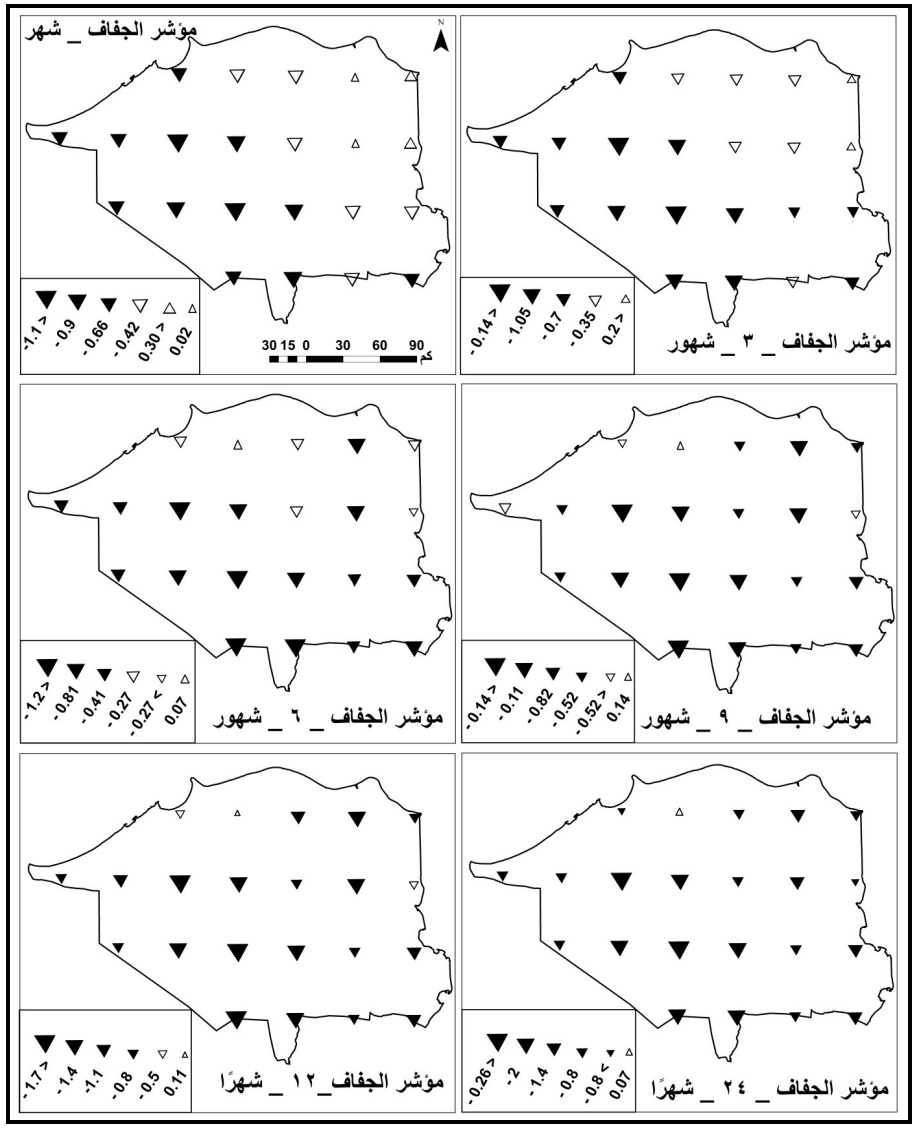
نقط شبكية	المؤشر شهر	المؤشر ٣ شهور	المؤشر ٦ شهور	المؤشر ٩ شهور	المؤشر ١٢ شهرًا	المؤشر ٢٤ شهرًا	فبراير لمؤشر ٣ شهور	نوفمبر لمؤشر ٣ شهور	مارس لمؤشر ٦ شهور
1	-0.82**	-0.63**	-0.50*	-0.40	-0.50*	-0.80**	-0.01	-0.06	-0.03
2	-0.70**	-0.63**	-0.54*	-0.50*	-0.62**	-1**	-0.03	-0.05	-0.03
3	-0.70**	-0.64**	-0.60*	-0.60*	-0.80**	-1.1**	-0.04	-0.05	-0.06
4	-1**	-1.1**	-1**	-1.1**	-1.4**	-2**	-0.09	-0.05	-0.09
5	-1.1**	-1.4**	-1.3**	-1.4**	-1.8**	-2.6**	-0.12	-0.06	-0.14*
6	-0.80**	-0.73**	-0.31	-0.30	-0.33	-0.60**	-0.01	-0.04	-0.03
7	-0.65**	-1**	-1.2**	-1.4**	-1.7**	-2.5**	-0.12	-0.02	-0.11
8	-1.2**	-1.6**	-1.7**	-2**	-2.3**	-3.3**	-0.15*	-0.05	-0.17**
9	-1**	-1.1**	-1**	-1.1**	-1.4**	-2.2**	-0.09	-0.03	-0.10
10	-0.31	-0.30	0.07	0.14	0.11	0.07	0.01	0.01	0.01
11	-1**	-1.3**	-1.3**	-1.3**	-1.5**	-2**	-0.12*	-0.09	-0.11
12	-1**	-1.2**	-1.1**	-1.3**	-1.5**	-2.3**	-0.10	-0.03	-0.10
13	-0.20	-0.40	-0.40	-0.5*	-0.6**	-1**	-0.03	-0.01	-0.04
14	-0.10	-0.30	-0.40	-0.6*	-0.80**	-1.1**	-0.05	-0.04	-0.07
15	-0.30	-0.40	-0.45*	-0.5*	-0.53**	-0.70**	-0.10	-0.05	-0.06
16	-0.40	-0.50*	-0.50*	-0.51*	-0.62**	-0.90**	-0.06	-0.04	-0.05
17	0.04	-0.40	-0.82*	-1**	-1.2**	-1.7**	-0.10	-0.07	-0.12
18	0.001	-0.40	-0.84*	-1.1**	-1.3**	-1.8**	-0.10	-0.10	-0.13*
19	-0.64**	-0.84**	-0.90*	-1**	-1**	-1.3**	-0.10	-0.09	-0.08
20	-0.30	-0.50*	-0.63**	-0.80**	-1**	-1.4**	-0.07	-0.05	-0.08
21	0.40	0.20	-0.04	-0.20	-0.32	-0.50*	-0.03	-0.04	-0.05
22	0.30	0.10	-0.30	-0.50*	-0.70**	-1.1**	-0.04	-0.11	-0.06
متوسط الدلتا	-0.52**	-0.70**	-0.71**	-0.81**	-1**	-1.4**	-0.07	-0.05	-0.08
الدلالة المعنوية عند ٠,٠٥ /٠,٠١ عند (قيمة ٠,٠٦٩ / ٠,٠٩ للمؤشر) حيث طول السلسلة ٧٩٢ قيمة شهرية									(*) / (**)
تختفي المعنوية بالنسبة لشهور (فبراير , نوفمبر , ومارس) لأن مستوى الدلالة ٠,٠٥ عند (قيمة ٠,٢٣ للمؤشر) حيث طول السلسلة ٦٦ قيمة سنوية									

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر الجفاف SPEI.



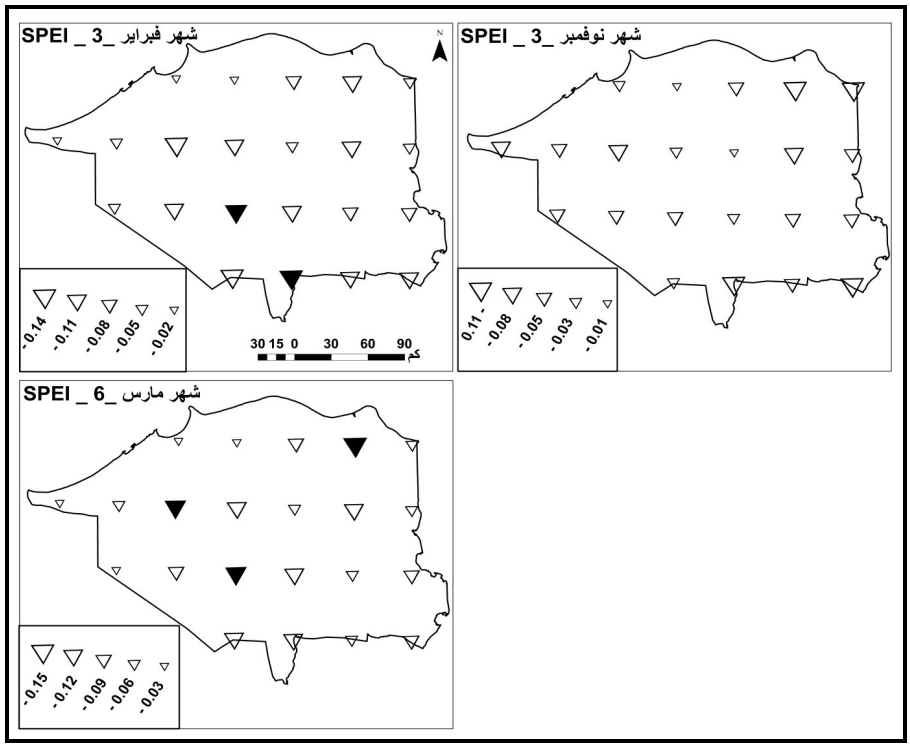
شكل (٢) : المتوسط المتحرك لاتجاهات مؤشر الجفاف الشهري للنطاقات الزمنية المختلفة بالنسبة لمتوسط الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر الجفاف SPEI.



شكل (٣) : التوزيع المكاني لاتجاهات مؤشر الجفاف الشهري خلال النطاقات الزمنية المختلفة، ولمستويات فصلية في منطقة الدلتا خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر الجفاف SPEI.



تابع شكل (٣)

يتضح من الجدول والأشكال السابقة ما يلي :

- وجود اتجاه عام نحو زيادة الجفاف بالنسبة لمتوسط منطقة الدلتا المصرية لكل النطاقات الزمنية خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥، وبدلالة معنوية مرتفعة عند مستوى (٠,٠١) لكل النطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل؛ حيث بلغ معدل الاتجاه للنطاق الزمني شهر (-٠,٥٢) لكل عقد سنوي، ولنطاقي ٣، ٦ شهور (-٠,٧٠) لكل عقد سنوي، كذلك زاد المعدل للنطاقات المتوسطة والطويلة الأمد، فبلغ للمستوى الزمني ٩ شهور (-٠,٨) لكل عقد سنوي، كما بلغ (-١) لنطاقي ١٢، ٢٤ شهرًا. أيضًا فقد اتضح من الشكل رقم (٣) التطور الزمني لأحداث الجفاف والرطوبة لمتوسط منطقة الدلتا المصرية، وتبين وجود حالات جفاف واضحة بشكل متكرر خلال كل النطاقات الزمنية التراكمية، خاصة خلال فترة ١٩٥٠- ١٩٥٥، وفترة ١٩٦٠-١٩٦٥، وفترة ١٩٧٥-١٩٨٥، وفترة ١٩٩٤-٢٠٠٠، والفترة اللاحقة لعام ٢٠٠٥، ويمكن اعتبارها المسئولة بشكل كبير عن زيادة

الاتجاه العام نحو الجفاف في منطقة الدراسة؛ حيث تفاقمت حالات الجفاف حتى نهاية فترة الدراسة عام ٢٠١٥، وكانت أشد حالات الجفاف وضوحًا عام ٢٠١٠، وهو ما أكدت عليه كثير من الدراسات التي استخدمت مؤشر SPEI في مناطق مختلفة في العالم كالصين، وكوريا، والسودان، والأرجنتين، وشبه جزيرة أيبيريا، وكينيا، وحوض البحر المتوسط، خاصة بلاد الشام، والتي واجهة موجات جفاف شديدة ومتصلة خلال الفترة ١٩٩٨–٢٠١٢، ومن تلك الدراسات ما يلي: (Zhang, et al., 2012; Yang, et al., 2012; Lee, et al., 2012; Li, et al., 2015; Cook, et al., 2016; Yagoub, et al., 2017; Páscoa, et al., 2017; Bae, et al., 2018; Bohn and Piccolo, 2018; Polong, et al., 2019)، كما أنه على المستوى العالمي زادت شدة الجفاف من ١٩٥١–١٩٨٠ إلى ١٩٨١–٢٠١٠ على أكثر من نصف مساحة اليابس (باستثناء أنتاركتيكا والمناطق الباردة والصحراوية شديدة الجفاف) (Vogt, et al., 2018).

- بالنسبة للنطاقات الزمنية قصيرة الأجل: (شهر)، والذي يمكن أن يرتبط تطبيقه وتأثيره بأنواع الجفاف الخاصة بالظروف الجوية، ورطوبة التربة قصيرة الأجل، وإجهاد المحاصيل الزراعية خاصة في أثناء موسم النمو، ونسبة الغطاء النباتي، فقد لوحظ أن هناك اتجاهًا عامًا نحو زيادة أحداث الجفاف في أغلب النقاط الشبكية بمنطقة الدراسة، وبدلالة معنوية في أكثر من ٥٠% من إجمالي عدد النقاط الشبكية في منطقة الدلتا، تركزت في غرب وجنوب وجنوب غرب منطقة الدلتا المصرية، بينما ظهر اتجاه دون دلالة معنوية نحو نقصان أحداث الجفاف وزيادة الأحداث الرطبة في شمال شرق منطقة الدلتا، حيث بحيرة المنزلة الساحلية والأراضي الرطبة.أما النطاق الزمني قصير الأجل (٣ شهور)، والذي يمكن أن يرتبط تطبيقه أيضًا بأنواع الجفاف الخاصة برطوبة التربة وقدرتها على الاحتفاظ بها، ومناطق الزراعة الأساسية، فلوحظ أن هناك اتجاهًا عامًا أيضًا نحو زيادة أحداث الجفاف في أغلب النقاط الشبكية بمنطقة الدراسة، واتضحت الدلالة المعنوية لحوالي ٦٠% من إجمالي عدد النقاط الشبكية في منطقة الدلتا، وتركزت أيضًا في جنوب وجنوب غرب منطقة الدلتا المصرية.
- أما بالنسبة للنطاقات الزمنية متوسطة الأجل (٦ شهور، ٩ شهور)، والتي يتضح تأثيرها على الإنتاجية الزراعية للمحاصيل، فقد لوحظ أن هناك اتجاهًا عامًا واضحًا نحو زيادة أحداث الجفاف في كل النقاط الشبكية بمنطقة الدراسة، مع زيادة واضحة في الدلالة المعنوية لتشمل ٨٠% من إجمالي عدد النقاط الشبكية في منطقة الدلتا، بينما اختفت الدلالة الإحصائية في أقصى شمال غرب منطقة الدلتا.

- بالنسبة للنطاقات الزمنية الهيدرولوجية طويلة الأجل (١٢ شهرًا، ٢٤ شهرًا) والتي ترتبط بتدفقات المجاري المائية، أو مستويات المياه في الترع والقنوات، ومستويات المياه الجوفية؛ لوحظ أيضًا اتجاه عام نحو زيادة أحداث الجفاف في كافة منطقة الدراسة، وبدلالة معنوية واضحة في أغلب النقاط الشبكية بمنطقة الدراسة، وبزيادة واضحة نحو الجفاف في غرب وجنوب غرب منطقة الدراسة، وفي كافة النطاقات الزمنية قيد الدراسة.
- أيضًا بالنسبة لدراسة اتجاهات مؤشر الجفاف على المستوى الفصلي، فقد اُختير شهر فبراير معبرًا عن الجفاف قصير الأجل للنطاق الزمني السابق له (٣ شهور)، والذي يعكس مدى تراكم الجفاف أو الرطوبة خلال فترة محددة تمثل شهور (ديسمبر، ويناير، وفبراير) وهي شهور فصل الشتاء فصل المطر الرئيسي بمنطقة الدراسة، وكذلك شهر نوفمبر معبرًا عن الجفاف قصير الأجل للنطاق الزمني السابق له (٣ شهور)، والذي يعكس مدى تراكم الجفاف خلال فترة محددة، تمثل شهور (سبتمبر، وأكتوبر، ونوفمبر) وهي شهور فصل الخريف الأقل مطرًا بمنطقة الدراسة، كما اُختير شهر مارس معبراً عن الجفاف متوسط الأجل للنطاق الزمني السابق له (٦ شهور)، والذي يعكس مدى تراكم الجفاف أو الرطوبة خلال فترة محددة تمثل شهور (أكتوبر، ونوفمبر، وديسمبر، ويناير، وفبراير، ومارس)، تمثل نصف السنة الممطر بمنطقة الدراسة. وقد لوحظ أيضًا وجود اتجاه عام نحو زيادة أحداث الجفاف في منطقة الدراسة لكافة النطاقات الزمنية الشهرية سابقة الذكر، وبدلالة معنوية أقل، تركزت في جنوب منطقة الدلتا وغربها، وبذلك يتضح زيادة الجفاف في شهور المطر الرئيسة في منطقة الدراسة، خاصة مع الاحترار التي تشهده منطقة الدراسة خلال العقود الأخيرة، وما لذلك من آثار على رطوبة التربة، ومستويات المياه السطحية والجوفية، والزراعة والنبات الطبيعي.

٢) بالنسبة لمعدلات تكرار ونسب أحداث الجفاف واتجاهاتها، ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا المصرية، وفقاً لتصنيفات مؤشر SPEI :

يبين الجدول الآتي رقم (٣) والأشكال أرقام (٤-١٣) معدلات تكرار أهم أحداث الجفاف وتشتتها المكاني واتجاهات تغيرها طبقًا لتصنيفات المؤشر، ومقارنتها بأحداث الرطوبة في منطقة الدلتا المصرية، خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥. حيث يتضح من الجدول أن هناك تشتتًا مكانيًا واضحًا لقيم تكرارات أحداث الجفاف المتطرف لأغلب المستويات الزمنية مقارنة بأحداث الجفاف الأخرى، والأحداث الرطبة، كما ظهر ذلك التشتت بوضوح خلال النطاقات الزمنية التراكمية طويلة الأجل مقارنة ببقية النطاقات الزمنية متوسطة وقصيرة الأجل.

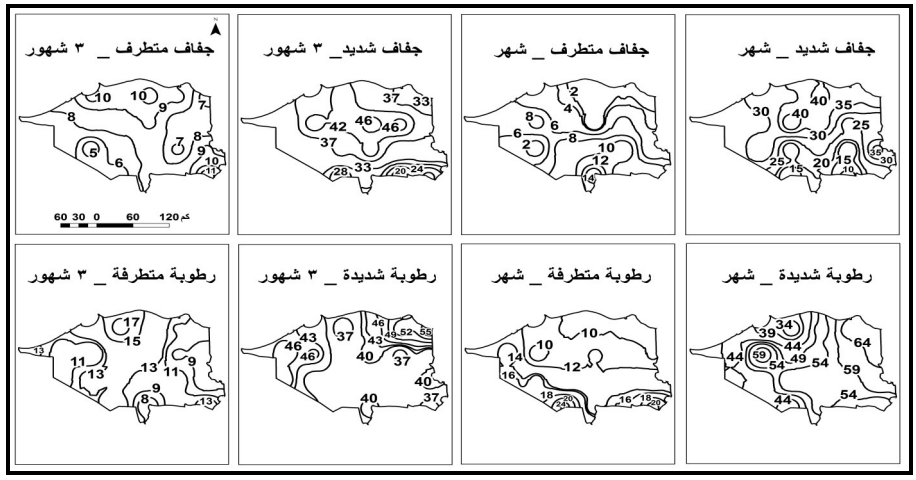
جدول (٣) : معدلات تكرار أحداث الجفاف وقيم تشتتها المكاني واتجاهاتها ومقارنتها بالأحداث الرطبة للنطاقات الزمنية المختلفة خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥ للدلتا المصرية (قيم تكرارية مطلقة).

جفاف متطرف						جفاف شديد					
النطاق الزمني	1	3	6	9	12	24	1	3	6	9	12	24
إجمالي التكرارات	146	168	165	241	330	394	615	812	967	1079	1110	1080
الانحراف المعياري	3.7	2.3	4.2	6.9	9.2	10.4	9.7	7.8	7.7	8.8	15.7	14.6
معامل الاختلاف (%)	55.7	30.4	55.8	62.8	61.0	58.3	34.9	21.2	17.6	17.9	31.1	29.7
تكرار/لكل عقد زمني	0.6**	0.8**	11.8	1.1**	2**	4**	1.3**	1.4**	11.6	1	0.7	3.5**
رطوبة متطرفة						رطوبة شديدة						
النطاق الزمني	1	3	6	9	12	24	1	3	6	9	12	24
إجمالي التكرارات	335	295	308	294	317	247	1166	977	964	922	828	826
الانحراف المعياري	4.0	1.9	5.0	6.6	8.7	12.1	8.8	5.4	10.1	13.0	14.5	15.3
معامل الاختلاف (%)	26.2	14.5	36.0	49.6	60.3	107.4	16.7	12.2	23.2	31.1	38.5	40.7
تكرار/لكل عقد زمني	0.3-	0.4-	10-	1-**	1-**	0.5-*	0.8-	1.4-*	15.5-	2.4-**	2.6-**	2.1-**
جفاف معتدل						رطوبة معتدلة						
النطاق الزمني	1	3	6	9	12	24	1	3	6	9	12	24
إجمالي التكرارات	2345	2310	2373	2359	2200	2165	1604	1825	1673	1603	1587	1656
الانحراف المعياري	12.8	10.2	15.9	19.0	24.6	22.7	17.1	14.9	9.6	15.1	21.0	24.7
معامل الاختلاف (%)	12.0	9.7	14.8	17.7	24.6	23.1	23.5	17.9	12.6	20.8	29.2	32.9
تكرار/لكل عقد زمني	3**	3.1**	11	2*	2*	3.5**	1.3-*	1-	10.3-	2-**	3-**	3.6-**
ظروف معتدلة						(**) دلالة معنوية للاتجاه عند مستوى (٠,٠١)						
النطاق الزمني	1	3	6	9	12	24	(*) دلالة معنوية للاتجاه عند مستوى (٠,٠٥)					
إجمالي التكرارات	11142	10992	10974	10926	11052	11055						
الانحراف المعياري	26.1	17.8	24.3	31.6	35.0	41.2						
معامل الاختلاف (%)	5.2	3.6	4.9	6.4	7.0	8.2						
تكرار/لكل عقد زمني	2.4-	3 -*	0.6-	2	3*	4.4 -**						

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات المؤشر SPEI.

أ- بالنسبة للنطاقات الزمنية قصير الأجل لمؤشر الجفاف (شهر، ٣ أشهر):

- بلغت نسب تكرار أحداث الجفاف المتطرف والشديد والمعتدل ١%، ٥%، ١٤% تقريبًا على التوالي من إجمالي تكرار أحداث الجفاف والرطوبة والاعتدال بمنطقة الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥، وبلغت نسب تكرار أحداث الجفاف المتطرف والشديد والمعتدل ٥%، ٢٥%، ٧٥% تقريبًا على التوالي من إجمالي تكرار أحداث الجفاف فقط بمنطقة الدلتا المصرية. بينما بلغت نسب تكرار أحداث الرطوبة المتطرف والشديدة والمعتدلة ٢%، ٧%، ١١% تقريباً على التوالي من إجمالي تكرار كل أحداث الجفاف والرطوبة والاعتدال بمنطقة الدلتا المصرية، وبلغت نسب تكرار أحداث الرطوبة المتطرفة والشديدة والمعتدلة ١١%، ٣٧%، ٥٩% على التوالي من إجمالي تكرار أحداث الرطوبة فقط بمنطقة الدلتا المصرية.

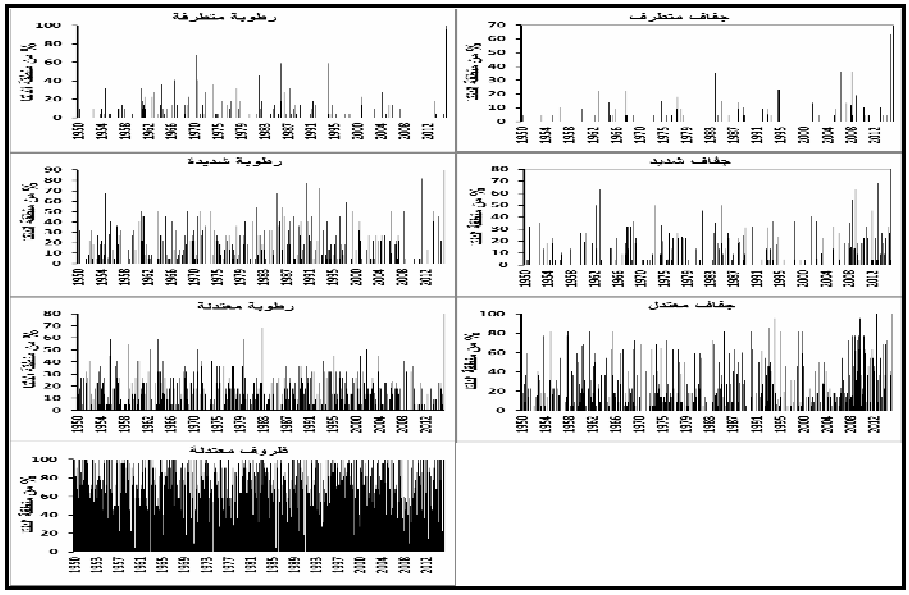


شكل (٤) : الأنماط المكانية لمعدلات تكرار أهم أحداث الجفاف والرطوبة للنطاقات الزمنية المختلفة قصيرة الأجل خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥ في منطقة الدلتا المصرية.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

- لوحظ تركز لتكرار الأحداث المتطرفة الجافة في جنوب الدلتا لمستوى (شهر) في حين يُعد شمال وجنوب شرق الدلتا أكثر المناطق تأثرًا بالأحداث المتطرفة الجافة لمستوى (٣ شهر)، بينما لوحظ تركز واضح لمعدل تكرار أحداث الجفاف الشديدة في وسط وشمال وشمال شرق منطقة الدلتا للمستويين (شهر، ٣ أشهر). أما بالنسبة لأحداث الرطوبة المتطرفة على مستوى (شهر) فقد تبين تكرار أحداثها في مناطق قليلة جنوب الدلتا،

بينما زيادة واضحة لمعدلات تكرارها في وسط وشمال الدلتا، بينما لوحظ تركز واضح لأحداث الرطوبة الشديدة في وسط وشرق وشمال شرق منطقة الدلتا المصرية، ونطاق مكاني محدود غرب الدلتا. وعلى مستوى (٣ أشهر) ظهرت زيادة واضحة لمعدلات تكرار أحداث الرطوبة الشديدة في أغلب الدلتا، بينما معدلات أقل لأحداث الرطوبة المتطرفة وبتركز واضح في شمال الدلتا المصرية، وتوافقت تلك النتيجة مع نتيجة دراسة (إبراهيم، ٢٠١٢)، رغم اختلاف مؤشر الدراسة بينهما.

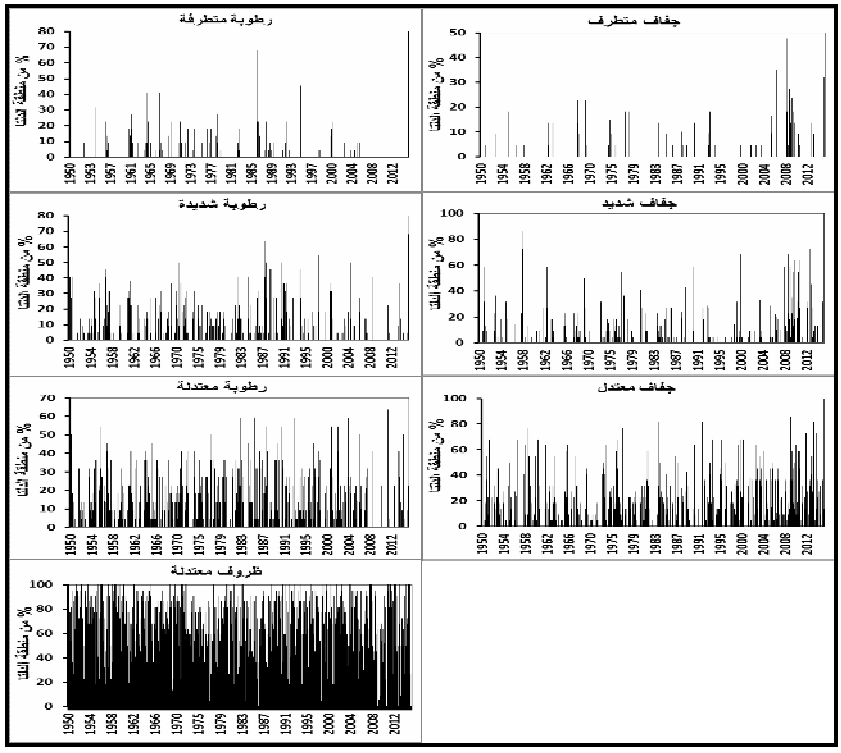


شكل (٥) : التطور الزمني لنسب تأثر مساحة السطح بأحداث الجفاف، ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا المصرية للنطاق الزمني القصير (شهر) خلال الفترة ١٩٥٠– ٢٠١٥.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

- أما على مستوى التطور الزمني لنسب تأثر أراضي منطقة الدراسة بمعدلات تكرار الأحداث الجافة والرطبة والظروف المعتدلة، فقد اتضح أن أحداث الجفاف المتطرفة أثرت على مساحات تمثل نصف مساحة منطقة الدراسة تقريبًا خاصة منذ الثمانينيات، وخلال أوائل القرن الواحد والعشرين، ففي أعوام ٢٠١٥ و ٢٠٠٨ و ٢٠٠٦ و ١٩٩٥ و١٩٧٧ و ١٩٦٨ و١٩٦٣ تأثرت حوالي ٦٤% و ٤٠% و ٣٦% و ٢٤% و ٢٠% و ٢٣% و ٢٢% من مساحة منطقة الدلتا على التوالي بأحداث الجفاف المتطرف، أما أحداث الجفاف الشديد فقد اتسعت مساحة الأراضى المتأثرة بها في منطقة الدلتا، خاصة خلال العقود الأخيرة؛ حيث

بلغت في أعوام ٢٠١٣ و ٢٠٠٩ و ٢٠٠١ و ١٩٨١ و١٩٦٣ و ١٩٥٨ حوالي ٧٠% و٦٨% و ٤٠% و ٤٥% و ٦٣% و ٨٤% على التوالي. أما بالنسبة لأحداث الرطوبة المتطرفة فقد أثرت على مساحات كبيرة من منطقة الدراسة خاصة خلال عقود الستينيات والسبعينات والثمانينات القرن الماضي، أكبرها عام ٢٠١٥، ففي أعوام ٢٠١٥ و ١٩٨٦ و١٩٨٢ و ١٩٧١ و ١٩٦٧ تأثرت حوالي ٩٥% و ٦٨% و ٤٥% و ٦٨% و ٤١% على التوالي من منطقة الدلتا المصرية بأكبر معدل تكرار لأحداث الرطوبة المتطرفة. أما بالنسبة لأحداث الرطوبة الشديدة فقد لوحظ تأثيرها أيضًا على مساحات واسعة من منطقة الدلتا خلال فترة الدراسة، ففي أعوام ٢٠١١ و ١٩٩٣ و ١٩٨٥ و ١٩٦١ و ١٩٥٤ تأثرت مساحات واسعة من منطقة الدراسة تبلغ نسبتها من منطقة الدراسة حوالي ٨٢% و ٧٢% و٦٨% و ٤٥% و٦٨% على التوالي.

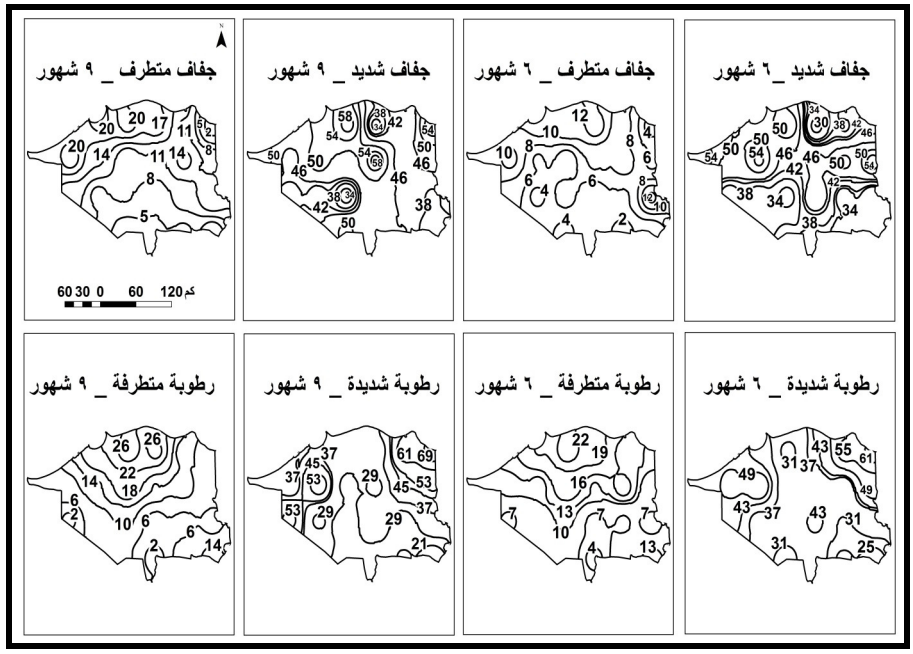


شكل (٦) : التطور الزمني لنسب تأثر مساحة السطح بأحداث الجفاف ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا المصرية للنطاق الزمني (٣ شهور) خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

ب- بالنسبة للنطاقات الزمنية متوسطة الأجل لمؤشر الجفاف (٦، ٩ شهور):

- قُدرت نسب تكرار أحداث الجفاف المتطرف والشديد والمعتدل بـ ١% و ٦% و ١٤% تقريبًا على التوالي من إجمالي تكرار أحداث الجفاف والرطوبة والاعتدال في الدلتا خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥، وبلغت نسب تكرار أحداث الجفاف المتطرف والشديد والمعتدل ٦% و٢٩% و ٦٨% تقريبًا على التوالي بالنسبة لإجمالي تكرار أحداث الجفاف فقط في الدلتا. بينما كانت نسب تكرار أحداث الرطوبة المتطرف والشديدة والمعتدلة ٢% و ٦% و ١٠% تقريبًا على التوالي من إجمالي تكرار كل أحداث الجفاف والرطوبة والاعتدال بمنطقة الدلتا المصرية، وبلغت نسب تكرار أحداث الرطوبة المتطرفة والشديدة والمعتدلة ١٠% و ٣٣% و٥٧% على التوالي من إجمالي تكرار أحداث الرطوبة فقط بمنطقة الدلتا المصرية.

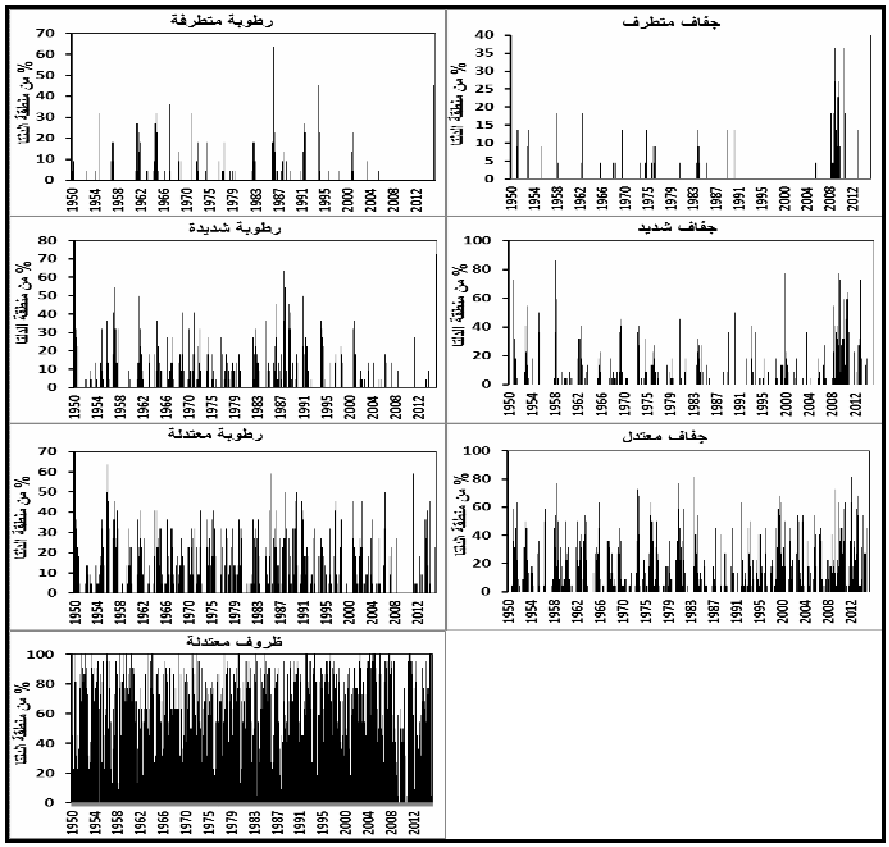


شكل (٧) : الأنماط المكانية لمعدلات تكرار أهم أحداث الجفاف والرطوبة للنطاقات الزمنية المختلفة متوسطة الأجل خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥ في منطقة الدلتا المصرية.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

- لوحظ أن شمال وشمال غرب منطقة الدلتا وبعض أجزاء من شرقها أكثر المناطق تأثرًا بتكرار الأحداث المتطرفة الجافة والشديدة، أما بالنسبة لأحداث الرطوبة المتطرفة والشديدة فقد تكررت بمعدل أكبر في شمال وشمال شرق الدلتا المصرية في مقابل معدل

أقل في جنوب وجنوب شرق وجنوب غرب، حيث منطقة صحراء شرق الدلتا والهوامش الصحراوية شرق الدلتا وغربها.

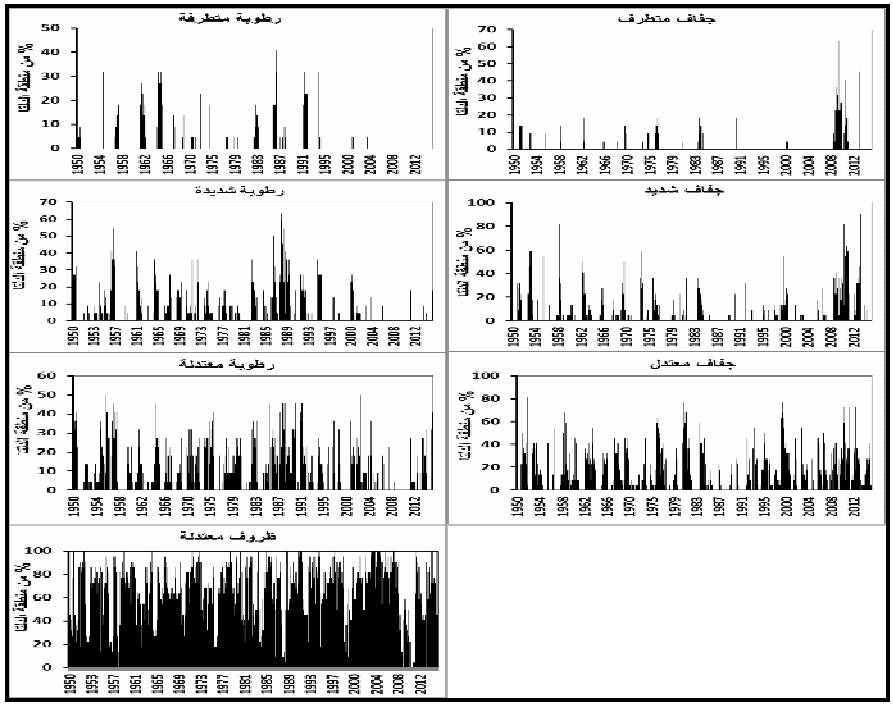


شكل (٨) : التطور الزمني لنسب تأثر مساحة السطح بأحداث الجفاف ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا المصرية للنطاق الزمني (٦ شهور) خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

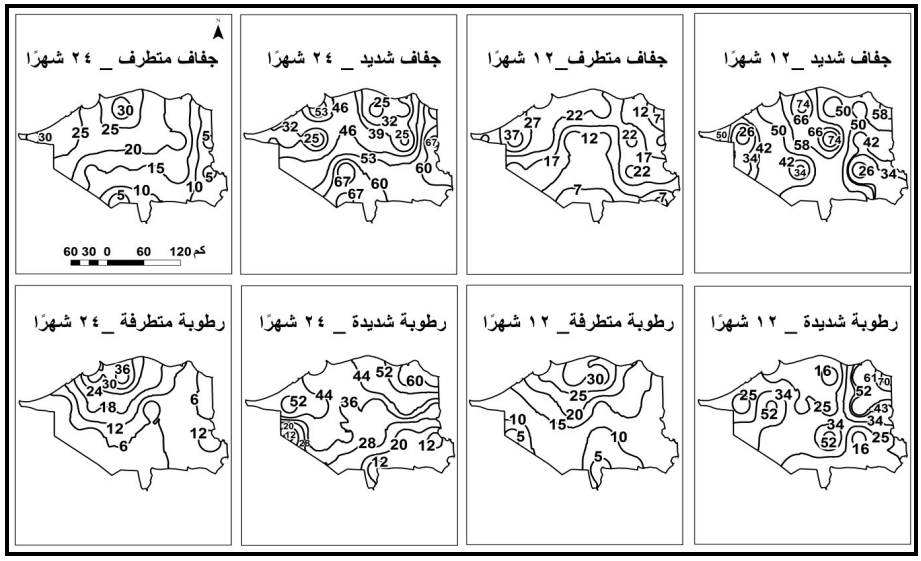
- أما بالنسبة للتطور الزمني لنسب تأثر مساحة سطح الدلتا بمعدلات تكرار الأحداث الجافة والرطبة والظروف المعتدلة، فقد اتضح تأثر حوالي نصف مساحة منطقة الدراسة بأحداث الجفاف المتطرفة، خاصة خلال العقد الأول من القرن الواحد والعشرين، ففي أعوام ٢٠١٣، و٢٠١١، و٢٠٠٩ تأثرت ٤٥%، و٤٠%، و٤٦% من الدلتا على التوالي بأحداث الجفاف المتطرف، أما بالنسبة لأحداث الجفاف الشديد فقد زادت مساحة الأراضى المتأثرة بها في منطقة الدلتا لأكثر من النصف، خاصة خلال العقدين الأول

والأخير للفترة ١٩٥٠–٢٠١٥، ففي أعوام ٢٠١٣ و ٢٠١٠ و ٢٠٠٩ و ١٩٩٩ و١٩٥٨ و ١٩٥٠، تأثرت حوالي ٩٠% و ٨١% و ٧٧% و ٧٧% و ٨٦% و ٧٢% على التوالي من مساحة منطقة الدراسة بأحداث الجفاف الشديدة. أما بالنسبة لمعدلات تكرار أحداث الرطوبة المتطرفة فقد ظهر تأثير تكرار حدوثها على مساحات متباينة من منطقة الدراسة، خاصة خلال عقدي الستينيات والثمانينات، ففي أعوام ٢٠١٥، و١٩٩٤، و١٩٨٦، و١٩٦٧، و١٩٦٥ تأثرت ٤٥%، و٤٥%، و٦٣%، و٣٦%، و٣٢% على التوالي من الدلتا. أما بالنسبة لأحداث الرطوبة الشديدة فقد اتضح تباين تأثيرها في الدلتا خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥، ففي أعوام ٢٠١٥ و ١٩٨٨ و ١٩٧١ و١٩٦٥ و ١٩٥٧ تأثرت أراضي واسعة من منطقة الدراسة بأكبر معدل لتكرار أحداث الرطوبة الشديدة؛ حيث بلغت نسب تلك المناطق حوالي ٧٣% و ٦٣% و ٤٠% و٣٦% و ٥٤% على التوالي من إجمالي الدلتا.



شكل (٩) : التطور الزمني لنسب تأثر مساحة السطح بأحداث الجفاف، ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا المصرية للنطاق الزمني (٩ شهور) خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.



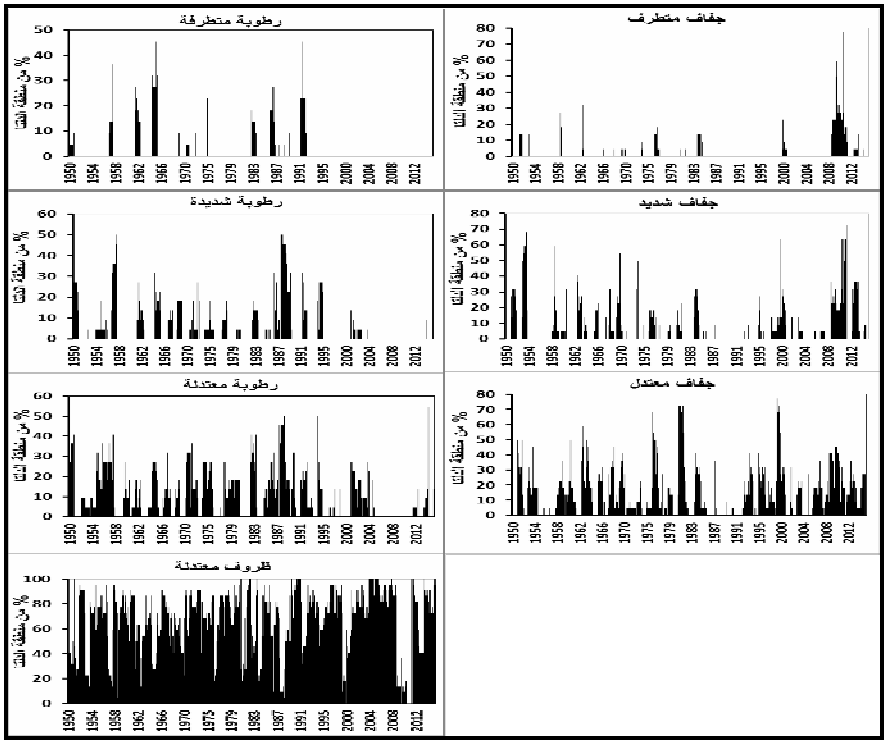
المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

شكل (١٠) : الأنماط المكانية لمعدلات تكرار أحداث الجفاف والرطوبة للنطاقات الزمنية المختلفة طويلة الأجل خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥ في منطقة الدلتا المصرية.

ج- بالنسبة للنطاقات الزمنية الهيدرولوجية طويلة الأجل لمؤشر الجفاف (١٢، ٢٤ شهرًا):

- فقد قُدرت نسب تكرار أحداث الجفاف المتطرف والشديد والمعتدل بـ ٢%، و٦%، و١٣% تقريبًا على التوالي من إجمالي تكرار أحداث الجفاف والرطوبة والاعتدال بمنطقة الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥، وبلغت نسب تكرار أحداث الجفاف المتطرف والشديد والمعتدل ١١%، و٣٠%، و٦٠% تقريبًا على التوالي بالنسبة لإجمالي تكرار أحداث الجفاف فقط بمنطقة الدلتا المصرية. بينما كانت نسب تكرار أحداث الرطوبة المتطرفة والشديدة والمعتدلة ٢%، و٥%، و١٠% تقريبًا على التوالي من إجمالي تكرار كل أحداث الجفاف والرطوبة والاعتدال بمنطقة الدلتا المصرية، وبلغت نسب تكرار أحداث الرطوبة المتطرفة والشديدة والمعتدلة ١٢%، و٣٠%، و٥٨% على التوالي من إجمالي تكرار أحداث الرطوبة فقط بمنطقة الدلتا المصرية.
- بالنسبة لمستوى (١٢ شهرًا) ظهر تأثر شمال وشمال غرب منطقة الدلتا ووسطها بأعلى معدل تكرار للأحداث الجافة المتطرفة والشديدة، أما بالنسبة لأحداث الرطوبة المتطرفة والشديدة فقد تكررت بمعدل أكبر في شمال وشمال شرق منطقة الدلتا المصرية في مقابل معدل أقل في جنوب وجنوب شرق وجنوب غرب. بينما للمستوى الزمني طويل الأجل

الهيدرولوجي (٢٤ شهرًا) لوحظ تأثر شمال وشمال غرب ووسط منطقة الدلتا بأكثر معدل تكرار للأحداث المتطرفة الجافة، على العكس شهدت منطقة جنوب وجنوب شرق منطقة الدلتا أكثر معدل لتكرار أحداث الجفاف الشديدة، أما بالنسبة لأحداث الرطوبة المتطرفة والشديدة فقد تكررت بمعدل أكبر في شمال وشمال شرق وشمال غرب منطقة الدلتا المصرية في مقابل معدل أقل في جنوب وجنوب شرق وجنوب غرب منطقة الدلتا.



شكل (١١) : التطور الزمني لنسب تأثر مساحة السطح بأحداث الجفاف، ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا المصرية للنطاق الزمني طويل الأجل (١٢ شهرًا) خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥.

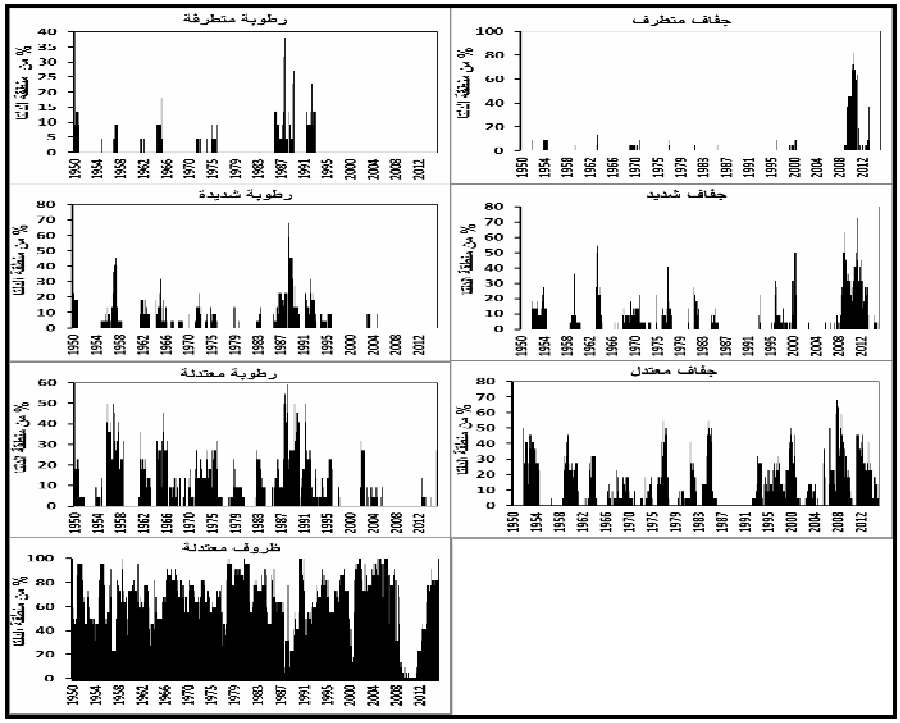
المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

- أما بالنسبة للتطور الزمني لنسب مساحات السطح الدلتاوي المتأثرة بمعدلات تكرار الأحداث الجافة والرطبة والظروف المعتدلة في منطقة الدلتا؛ فقد اتضح زيادة تكرار أحداث الجفاف المتطرفة المؤثرة، خاصة خلال العقد الأول من القرن الواحد والعشرين وللمستوى الزمني الهيدرولوجي ٢٤ شهراً (موجة جفاف ٢٠٠٩–٢٠١٣)، ففي عامي ٢٠١١ و ٢٠٠٩ تأثرت ٨١% و ٦٠% من منطقة الدلتا على التوالي بأحداث الجفاف المتطرف، أما بالنسبة

لأحداث الجفاف الشديد فقد زادت مساحة الأراضى المتأثرة بها في منطقة الدلتا لأكثر من النصف، خاصة خلال العقد الأخير والعقد الأول في الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥، في شكل عدة موجات جفاف طويلة (٢٠٠٨–٢٠١٣، و١٩٩٨–٢٠٠٠ و ١٩٦٢–١٩٦٤ و١٩٦٨–١٩٧٤ و ١٩٥١–١٩٥٤)، ففي أعوام ٢٠١١، و٢٠٠٩ و ١٩٩٩ و ١٩٦٢ و ١٩٥٣ تأثرت ٧٣% و ٦٤% و ٦٤% و ٤١% و ٦٨% على التوالي من مساحة منطقة الدراسة بأحداث الجفاف الشديدة. أما بالنسبة لتكرار أحداث الرطوبة المتطرفة فقد ظهر تأثير تكرار حدوثها على مساحات كبيرة من منطقة الدراسة خاصة خلال عقود الستينيات والثمانينيات والتسعينيات (موجة رطوبة ١٩٦١–١٩٦٥)، وموجة رطبة (١٩٨٦–١٩٨٩)، وموجة رطوبة (١٩٩١–١٩٩٢)، ففي أعوام ١٩٩٢ و١٩٨٩ و١٩٦٥ تأثرت ٤٥% و٣٨% و٤٥% على التوالي من منطقة الدلتا المصرية. أما بالنسبة لأحداث الرطوبة الشديدة فقد اتضح تأثيرها في منطقة الدراسة خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥ في شكل عدة موجات متباينة (١٩٥٤–١٩٥٨ و١٩٦٢–١٩٦٦ و١٩٨٦–١٩٨٨ و١٩٨٧–١٩٩٥)، ففي أعوام ١٩٩٣ و١٩٨٩ و١٩٦٥ و١٩٥٧ تأثرت أراضي واسعة من منطقة الدراسة بأكبر معدل لتكرار أحداث الرطوبة الشديدة بحيث بلغت نسب تلك المناطق ٢٥% و ٦٣% و٣٠% و٥٤% على التوالي من إجمالي منطقة الدراسة.

- وقد بينت الدراسة أن هناك زيادة في نسب الأحداث الجافة المتطرفة والشديدة والمعتدلة عنها بالنسبة للأحداث الرطبة المتطرفة والشديدة ومعتدلة الرطوبة؛ حيث تساوت نسبهما تقريبًا في النطاق الزمني القصير (شهر)، وتباينت نسبيًا خلال النطاقات الزمنية الأخرى، فبلغت للنطاق الزمني (٣ شهور) ٥٢% لأحداث الجفاف في مقابل ٤٨% لأحداث الرطوبة، وبزيادة مستمرة لبقية النطاقات الزمنية التراكمية حيث بلغت في نطاق (٦ شهور) ٥٤% لأحداث الجفاف في مقابل ٤٦% لأحداث الرطوبة، كما بلغت في نطاقات طويلة الأجل (٩ شهور و ١٢ شهرًا و ٢٤ شهرًا) ٥٧% لأحداث الجفاف في مقابل ٤٣% لأحداث الرطوبة. وقد كشفت نتائج دراسة النطاقات الزمنية التراكمية قصيرة الأجل على مستوى (شهر و ٣ شهور و ٦ شهور) عن وتيرة زمنية أعلى للأحداث الجافة والرطبة بعكس النطاقات الزمنية الأكثر طولًا وأجلاً على مستوى (٩ شهور و١٢ شهرًا و ٢٤ شهرًا)، والتي تُبين ترددًا أكثر استقرارًا، حيث تستجيب ببطء أكثر وبشكل أكثر اتساقًا للتغيرات في سقوط الأمطار ودرجة الحرارة الشهرية، وتساعد بالتالي في الكشف عن فترات واضحة من السنة والسنوات متعددة الجفاف والرطوبة؛ مما يعني أن النطاقات الزمنية الأطول هي الأنسب للكشف عن أحداث الجفاف والرطوبة المهمة تاريخيًا، بينما أقصر النطاقات الزمنية أهم لإظهار الاختلافات الموسمية وبين السنوية.

ومن الناحية التطبيقية يُعد حدث الجفاف قصير الأجل بمثابة مقدمة لحادثة الجفاف الطويلة الأجل، والتي تؤدي إلى آثار هيدرولوجية (انخفاض مستويات الخزان، والتدفق المحدود للمجاري المائية، واستنزاف المياه الجوفية، وغيرها).

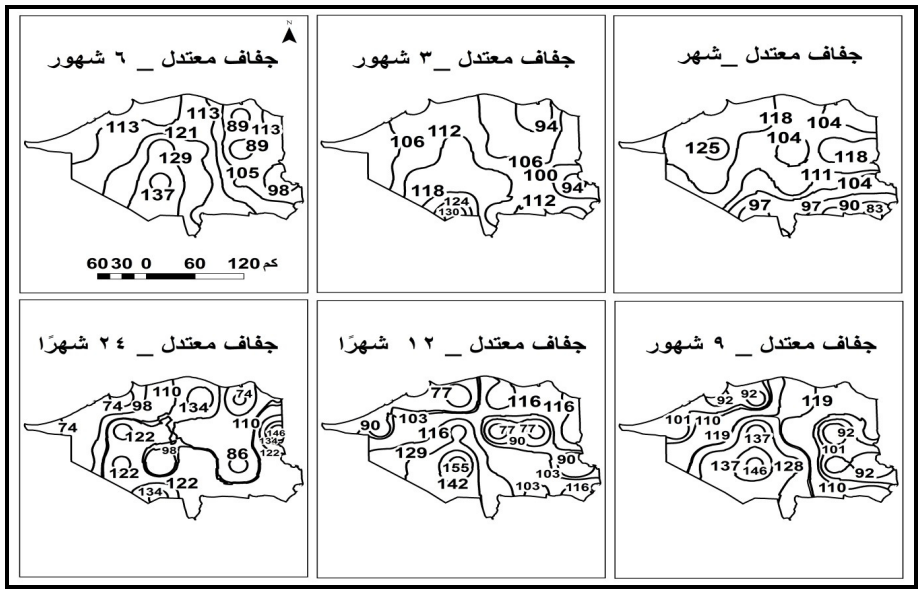


شكل (١٢) : التطور الزمني لنسب تأثر مساحة السطح بأحداث الجفاف، ومقارنتها بالأحداث الرطبة في منطقة الدلتا المصرية للنطاق الزمني طويل الأجل (٢٤ شهرًا) خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

- أما بالنسبة لاتجاه معدلات تكرار الأحداث الجافة والرطبة خلال كل النطاقات الزمنية لمتوسط الدلتا المصرية في الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥؛ فقد تبين أن هناك اتجاهًا عامًا نحو الزيادة في تكرار أحداث الجفاف المتطرفة، وبدلالة معنوية مرتفعة عند مستوى (٠,٠١) خلال كل النطاقات الزمنية لمؤشر SPEI، ولأحداث الجفاف الشديد بدلالة معنوية فقط خلال نطاقات قصيرة وطويلة الأجل (١ و ٣ و ٢٤) شهرًا، كما اتضحت الدلالة المعنوية للاتجاه نحو الزيادة في أحداث الجفاف المعتدل خلال أغلب النطاقات الزمنية للمؤشر؛ حيث كانت معدلات تكراره خلال كل النطاقات الزمنية في زيادة مستمرة مقارنة بالرطوبة المعتدلة، وبتركز

واضح على المستوى قصير الأجل في شمال الدلتا، بينما في وسط وجنوب وجنوب غرب منطقة الدلتا للمستويات الزمنية متوسطة وطويلة الأجل، كما يوضح الشكل رقم (١٣)، أما الظروف المعتدلة فقد لوحظ تباين الاتجاه على للمستويات الشهرية للمؤشر، فظهر الاتجاه نحو النقصان لمستويات قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل، خاصة خلال المستوى (٣، ٢٤) شهرًا، وبدلالة معنوية. أما بالنسبة للأحداث الرطبة فقد تبين الاتجاه العام نحو النقصان في الأحداث الرطبة المتطرفة والشديدة والمعتدلة، وبمعدلات نقصان أكبر، وبدلالة معنوية مرتفعة عند مستوى (٠,٠١) خلال المستويات الزمنية متوسطة وطويلة الأجل (٩ و ١٢ و ٢٤) شهرًا، وبدلالة أقل خلال المستويات قصيرة الأجل (١، ٣) شهور.



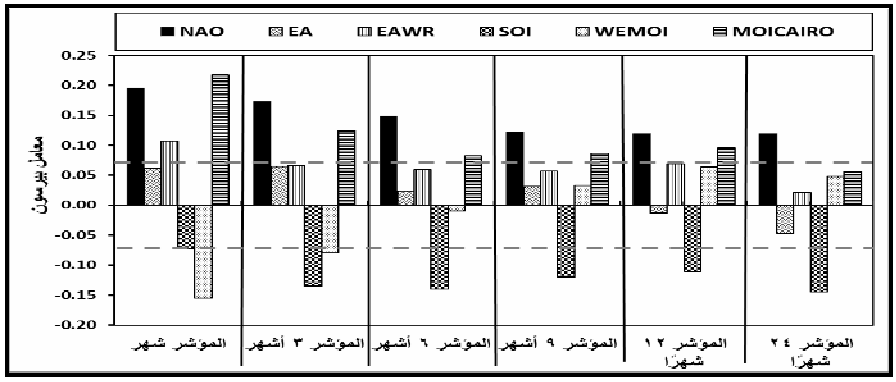
شكل (١٣) : الأنماط المكانية لمعدلات تكرار أحداث الجفاف المعتدل للنطاقات الزمنية المختلفة خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥ في منطقة الدلتا المصرية.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر SPEI.

٣) بالنسبة لعلاقات الارتباط بين الجفاف SPEI وأهم أنماط الدورات الهوائية العامة :

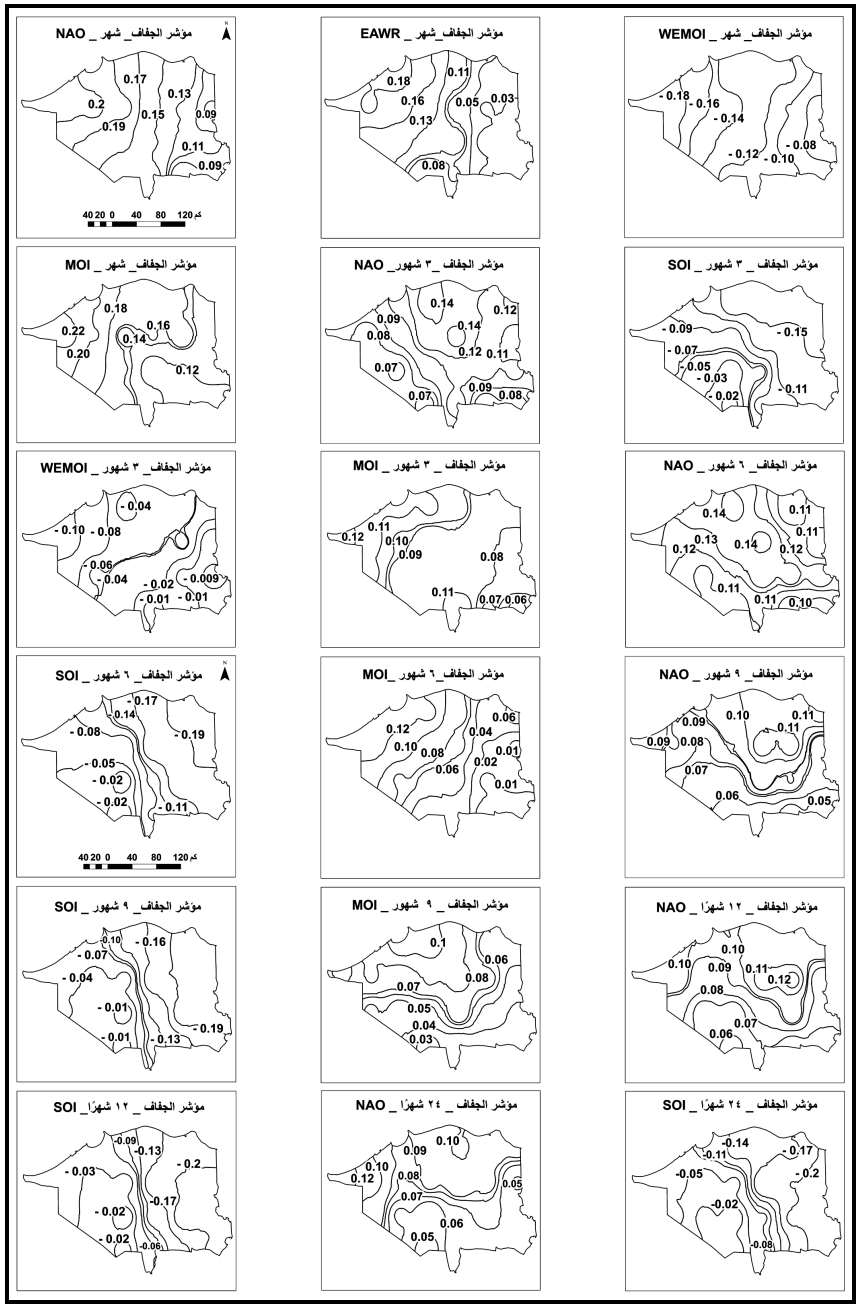
- يُعرف الاتصال عن بعد Teleconnections في الغلاف الجوي بأنه المناطق البعيدة التي تتأثر بالتغيرات واسعة النطاق لأنماط الدورة الهوائية في الغلاف الجوي. وتوجد العديد من المؤشرات لقياس تلك التقلبات والتغيرات في درجات الحرارة والضغط الجوي لسطح البحار

والمحيطات والغلاف الجوي؛ لذلك من المهم للغاية فهم ارتباط الجفاف بالعوامل المناخية المحلية والمحيطية (المتعددة، والمعقدة) باعتبارها أحد المحركات الرئيسة للجفاف، فعادة ما ترتبط الظروف الجافة (الرطبة) بأضداد الأعاصير (الأعاصير)، حيث إن العلاقة القوية بين الجفاف والحرارة المفرطة تعكس جزئيًا الدور الرئيس للأعاصير المضادة في تنمية الجفاف؛ فأضداد الأعاصير أو مناطق الضغط المرتفع تمنع هطول الأمطار عن طريق عرقلة أو تحويل أنظمة الرياح الغربية والعواصف، وزيادة التشميس المرتبط بالسماء الصافية، ومن ثم زيادة درجات الحرارة، وقلة سقوط الأمطار عكس ظروف الأعاصير (Schubert, et al., 2014; Ionita, et al., 2015; Vicente-Serrano, et al., 2016b)، فغالبًا ما ترتبط ظروف الجفاف والرطوبة بمؤشرات وأنماط التذبذب المناخي في دوران الغلاف الجوي لمسافات طويلة عن بعد؛ كتغيرات درجات حرارة سطح البحر الشاذة، وعلى سبيل المثال ظاهرة النينو، واللانينيا، التي أوضحت عديد من الدراسات تأثيرها على أحداث الجفاف، ومن تلك الدراسات على المستوى العالمي والإقليمي: (Dai, 2011; Vicente-Serrano, et al., 2011; Hoerling Kumar, 2003; Edossa, et al., 2014; Ionita, et al., 2015; Vicente-Serrano, et al., 2016a; Yao, et al., 2019)، وقد طُبق اختبار الارتباط الاحصائي على سلاسل البيانات الكاملة الشهرية للمؤشر وللأنماط الهوائية بعد إزالة أثر الاتجاه منها Detrended Time Series باستخدام برنامج EXCEL. ويوضح الشكلان الآتيان رقما (١٤، ١٥) علاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف SPEI وبين أهم أنماط الدورات الهوائية العامة في الغلاف الجوي خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥.



شكل (١٤) : علاقة الارتباط بين الجفاف لمتوسط الدلتا وأهم مؤشرات دوران الغلاف الجوي خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥ (الخط المتقطع بداية الدلالة المعنوية عند مستوى ٠,٠٥).

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مؤشر الجفاف، وبيانات أنماط الدورات الهوائية في الغلاف الجوي.



شكل (١٥) : التوزيع الجغرافي لعلاقة الارتباط بين الجفاف في الدلتا، وأهم أنماط الدورات الهوائية خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥ (مستوى الدلالة المعنوية ٠,٠٥ عند قيمة ارتباط ٠,٠٦٩).

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر الجفاف وبيانات أنماط الدورات الهوائية.

يتضح من الشكلين رقمي (١٤، ١٥) تأثر أحداث الجفاف بالعديد من أنماط الدورات الهوائية كالآتي:

- بالنسبة لمتوسط منطقة الدراسة فقد اتضح وجود علاقة ارتباط موجبة ودالة إحصائيًا عند مستوى (٠,٠١) بين مؤشر SPEI وبين الوجه السالب لنمط تذبذب شمال الأطلنطي أو الناو NAO (حيث الظروف الأكثر جفافاً في منطقة جنوب أوروبا وحوض البحر الأبيض المتوسط) على مستوى كافة النطاقات الزمنية قيد الدراسة (شهر و ٣ شهور و ٦ شهور و ٩ شهور و ١٢ شهرًا و٢٤ شهرًا)، كما أكدته نتائج عديد من الدراسات، خاصة في جنوب أوروبا من حيث الارتباط الموجب بين الناو ومؤشر الجفاف SPEI كدراسات: (Lopez-Moreno and Vicente-Serrano, 2008; Wang, et al., 2015a; Ionita, et al., 2015; Vicente-Serrano, et al., 2016b; Miksovsky, et al., 2019). كما تبين وجود علاقة ارتباط سالبة ودالة معنويًا عند مستوى (٠,٠١) في أغلبها بين المؤشر وبين نمط التذبذب الجنوبي SOI، المعبر عن ظاهرة النينو على مستوى كافة النطاقات الزمنية، وبذلك يتبين تأثر أحداث الجفاف في منطقة الدراسة بمؤشر التذبذب الجنوبي والوجه الموجب الدافئ لظاهرة النينو، فمع زيادة ظاهرة النينو ونشاطها تزداد أحداث الجفاف في منطقة الدراسة، فأحداث النينو تؤدي إلى توليد المزيد من حالات الجفاف على مستوى العالم أكثر من أحداث اللانينا، ومن أخطرها في التاريخ المسجل: نينو ١٩٨٢-١٩٨٣، والتي قد تسببت في أحداث جفاف ورطوبة واسعة النطاق، طالت أيضًا منطقة الدلتا المصرية خلال عقد الثمانينيات (Vicente-Serrano, 2011; Edossa, et al., 2014)، والعكس بالنسبة للوجه الآخر البارد، والمعروف باللانينا؛ حيث تزداد معه أحداث الرطوبة، أيضًا اتضحت دلالة العلاقة الارتباطيــة الموجبة عند مستوى (٠,٠١، ٠,٠٥) بين مؤشر الجفاف ونمط تذبذب البحر المتوسط (القاهرة – الجزائر) MOI؛ حيث وجهه السالب الذي يعكس ظروفًا أكثر جفافًا مع تبخر عالي (Criado-Aldeanueva and Soto-Navarro, 2013) وذلك خلال أغلب النطاقات الزمنية، عدا نطاق (٢٤ شهرًا)، أما بالنسبة للعلاقة الارتباطية لمؤشر الجفاف مع نمط تذبذب غرب البحر المتوسط WEMOI فكانت سالبة ودالة معنويًا عند مستوى (٠,٠٥) لنطاق (شهر و ٣ أشهر) فقط؛ حيث الارتباط بالوجه الموجب المسبب لأحوال الجفاف في منطقة غرب حوض البحر المتوسط، كما أكدته أيضًا نتائج دراسة (Manzano, et al., 2019) جنوب شرق أسبانيا، كذلك اقتصرت الدلالة المعنوية للارتباط الموجب بين تذبذب شرق الأطلسي غرب

روسيا EAWR وبين مؤشر الجفاف على مستوى النطاق الزمني (شهر) فقط، بينما لم يُلحظ تأثير نمط تذبذب شرق الأطلنطي EA على مؤشر الجفاف SPEI على مستوى كافة النطاقات الزمنية التراكمية لمؤشر الجفاف، وهذا ما أكدتـه عديد من الدراسات من ضعف تأثير نمطي EA وEAWR على مؤشر الجفاف؛ كدراسة (Vicente-Serrano, et al., 2016b).

- أما بالنسبة للتوزيع الجغرافي لعلاقة الارتباط بين المؤشر وبين أنماط الدورات الهوائية العامة ومؤشر الجفاف، فقد يتبين ما يلي: ظهر بشكل واضح تأثير نمط تذبذب الناو NAO كأحد الأنماط الهوائية المؤثرة في مؤشر الجفاف خلال النطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة الأجل (١، ٣، ٦) أشهر، وذلك في أغلب الدلتا، خاصة شمالها وشمال غربها، كذلك اتضح تأثير نمط التذبذب الجنوبي SOI على مؤشر الجفاف للنطاقات الزمنية قصيرة الأجل، وبتركز واضح في شرق وشمال شرق الدلتا المصرية، أيضًا أظهرت النتائج تأثر مؤشر الجفاف بنمط تذبذب البحر المتوسط، خاصة خلال الفترات الزمنية قصيرة الأجل للمؤشر (١، ٣) أشهر، وبتركز واضح في شمال وشمال غرب منطقة الدلتا. كما اتضح تأثير نمط تذبذب غرب البحر المتوسط WEMOI على المؤشر خلال الفترات القصيرة الأجل (١، ٣) أشهر، وبتركز واضح في وسط وغرب الدلتا المصرية، أما بالنسبة لفترات أو نطاقات المؤشر طويلة الأجل (٩، ١٢، ٢٤) شهرًا، فقد بينت النتائج غلبة تأثير نمطي: التذبذب الجنوبي أو النينو على مؤشر الجفاف، وبتركز واضح في وسط وشرق وجنوب شرق منطقة الدراسة، ونمط تذبذب البحر المتوسط أو الناو على مؤشر الجفاف، وبتركز كبير في شمال وشمال شرق ووسط وشمال غرب الدلتا.

٤) بالنسبة للعلاقة بين الجفاف وبعض عناصر المناخ في الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٥٠-٢٠١٥:

يتضح من الجدول رقم (٤) والشكلين رقمي (١٦)، (١٧) مقارنة بين متوسط علاقات الارتباط البسيط والجزئي بين بعض عناصر المناخ ومؤشر الجفاف SPEI لكل السلسلة ولكافة النطاقات الزمنية، والتوزيع الجغرافي لعلاقات الارتباط البسيط والجزئي وبين عناصر المناخ والمؤشر، والفروق بينهما في منطقة الدلتا المصرية خلال كل النطاقات الزمنية، خاصة قصيرة الأجل الأكثر وضوحًا (١، ٣ شهور)، ما يلي:

جدول (٤) : علاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف وبعض عناصر المناخ للدلتا المصرية للفترة ١٩٥٧–٢٠٠٦.

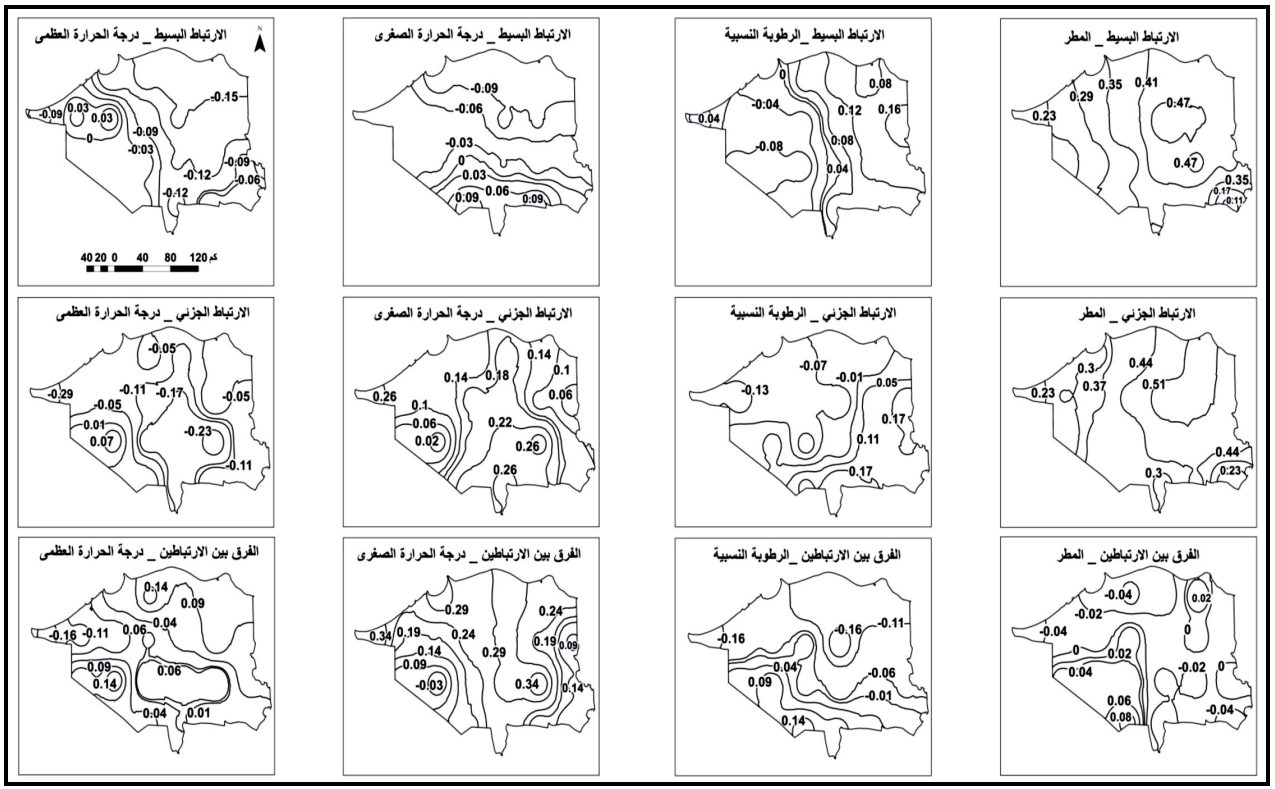
	مؤشر الجفاف_ شهر			مؤشر الجفاف _ ٣ شهور			مؤشر الجفاف _ ٦ شهور		
	ارتباط بسيط	ارتباط جزئي	الفروق	ارتباط بسيط	ارتباط جزئي	الفروق	ارتباط بسيط	ارتباط جزئي	الفروق
درجة الحرارة العظمى	-0.082*	*-0.090	-0.008	-0.011	-0.022	-0.011	0.003	-0.002	-0.005
درجة الحرارة الصغرى	-0.015	*0.173	0.189	0.024	*0.094	0.070	0.030	0.067	0.037
الرطوبة النسبية	0.064	0.010	-0.054	0.007	0.020	0.013	0.004	0.025	0.021
المطر	*0.398	*0.412	0.014	*0.245	*0.273	0.027	*0.210	*0.241	0.031
	مؤشر الجفاف _ ٩ شهور			مؤشر الجفاف _ ١٢ شهرًا			مؤشر الجفاف _ ٢٤ شهرًا		
	ارتباط بسيط	ارتباط جزئي	الفروق	ارتباط بسيط	ارتباط جزئي	الفروق	ارتباط بسيط	ارتباط جزئي	الفروق
درجة الحرارة العظمى	-0.003	0.001	0.003	-0.010	-0.002	0.007	0.007	0.001	-0.006
درجة الحرارة الصغرى	0.024	0.051	0.027	0.005	0.037	0.032	0.020	0.029	0.009
الرطوبة النسبية	0.051	0.015	-0.036	0.029	0.028	-0.001	0.024	0.013	-0.011
المطر	*0.191	*0.212	0.021	*0.145	*0.146	0.002	*0.082	*0.093	0.011

الفروق = الارتباط الجزئي - الارتباط البسيط

الارتباط لكامل السلسلة الزمنية للمؤشر وبيانات عناصر المناخ (٦٠٠ شهرا لعنصري المطر والحرارة خلال الفترة ١٩٥٧-٢٠٠٦) , (٤٤٩ شهرًا للرطوبة خلال الفترة ١٩٦١-١٩٩٨)

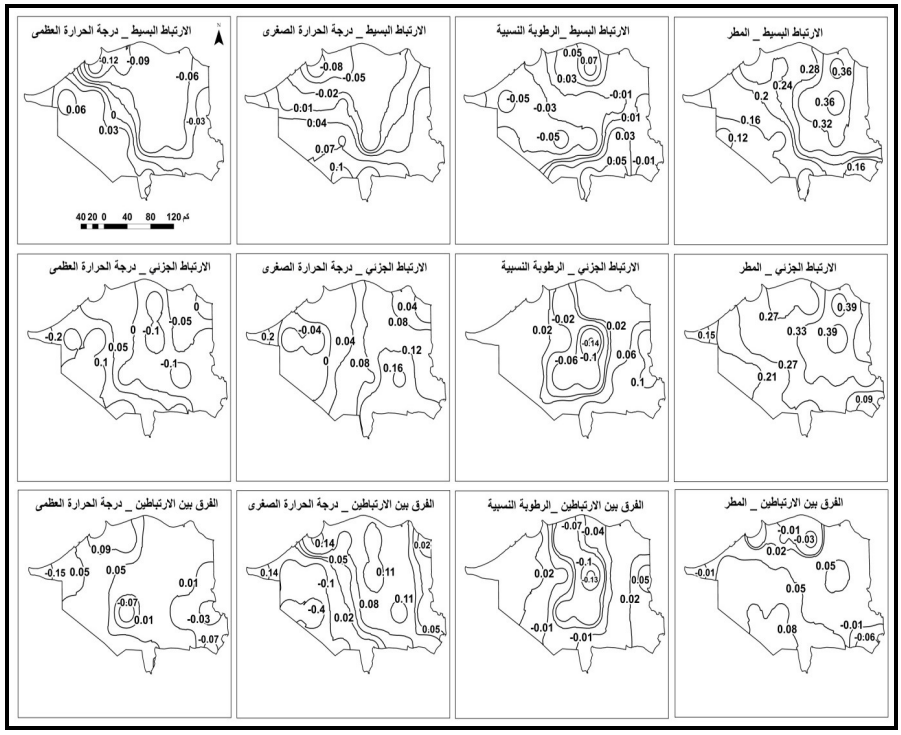
(*) دلالة معنوية عند مستوى ٠,٠٥ (قيمة الارتباط ٠,٠٧٩ للسلسلة ٦٠٠ شهر , وقيمته ٠,٠٩٢ للسلسلة ٤٥٠ شهر).

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات المؤشرSPEI، وبيانات عناصر المناخ للمحطات الأرضية.



شكل (١٦) : التوزيع الجغرافي لعلاقات الارتباط البسيط والجزئي بين عناصر المناخ ومؤشر الجفاف في الدلتا المصرية على مستوى (١، و ٣ شهور) خلال الفترة ١٩٥٧-٢٠٠٦.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات المؤشر SPEI، وبيانات عناصر المناخ للمحطات الأرضية.



شكل (١٧) : التوزيع الجغرافي لعلاقات الارتباط البسيط والجزئي بين عناصر المناخ ومؤشر الجفاف في الدلتا المصرية على مستوى (٣ شهور) خلال الفترة ١٩٥٧-٢٠٠٦.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات المؤشر وبيانات عناصر المناخ للمحطات الأرضية.

- بالنسبة لمتوسط الدلتا المصرية، كانت عدم الدلالة الإحصائية لعلاقات الارتباط البسيط والجزئي مع مؤشر SPEI هي السائدة لأغلب العناصر المناخية (لكل سلسلة البيانات الشهري)، عدا عنصر المطر في كافة النطاقات الزمنية، وبشكل أوضح للنطاقين (١، ٣ شهور)، كما اتضح تغير شكل علاقة الارتباط وقيمته بزيادة الارتباط الجزئي، حيث بلغت علاقات الارتباط الجزئي بين المطر والمؤشر على مستوى قصير الأجل (شهر) ٠,٤، وعلى مستوى الأمد المتوسط (٦ شهور) ٠,٢، وقلت بالنسبة للنطاق طويل الأجل (٢٤ شهرًا) حيث بلغت ٠,١، وبدلالة معنوية عند مستوى (٠,٠٥)؛ مما يشير إلى أهمية المطر في أحداث الجفاف في منطقة الدراسة؛ حيث مع زيادة المطر يقل الجفاف والعكس. كما تبين وجود زيادة في مقدار الارتباط الجزئي بين المطر وبين مؤشر SPEI عنه في الارتباط البسيط بعد عزل أو تثبيت أثر بقية العناصر بشكل غير ظاهر، وذلك في إطار العلاقة البيئية المتداخلة

والمعقدة؛ مما يعني أهمية دور المطر في الأحداث الجافة في منطقة الدراسة خلال كل النطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل. كما ظهر أيضًا تأثير عنصر درجة الحرارة العظمى والصغرى على مؤشر الجفاف SPEI، وبدلالة معنوية واضحة فقط على المستوى قصير الأجل (شهر)، وبالرغم من ضعف العلاقة بين تلك العناصر والجفاف في منطقة الدراسة خلال نطاقات زمنية أكبر، إلا إن الجفاف بأنواعه المختلفة يتأثر بعوامل كثيرة، وأن عاملاً واحدًا قد لايؤثر بشكل أساسي على ظروف الجفاف في منطقة الدلتا. وقد اتفقت النتائج الحالية مع نتائج عديد من الدراسات التي اهتمت بتقييم علاقة الارتباط الجزئي لعناصر المناخ مع الجفاف، ومنها: دراسة (Liu, et al., 2011; Sayari, et al., 2013; Liang, et al., 2014; Ficklin, et al., 2015).

- بالنسبة للتوزيع الجغرافي لعلاقات الارتباط، فقد ظهرت الدلالة المعنوية بشكل أوضح خلال المستوى الزمني قصير الأجل (شهر وثلاثة شهور) فقد تبين وجود تغير واضح بين الارتباطين والمؤشر لصالح الارتباط الجزئي بعد عزل أو تثبيت أثر بعض العناصر المناخيــة بشكل غير ظاهر، ففي الارتباط الجزئي علـى مستوى (شهر) جاء المطر كأهم العناصر المؤثرة في مؤشر الجفاف في كل منطقة الدراسة، وبدلالة معنوية خاصة في شمال شرقها وشرقها، كما ظهر تأثير درجة الحرارة العظمي على المؤشر بشكل كبير في أغلب المنطقة، وبدلالة معنوية واضحة في وسط منطقة الدلتا وجنوبها وغربها، فكلما زادت درجات الحرارة العظمى ساعد ذلك على زيادة الجفاف، كذلك اتضح تأثير درجة الحرارة الصغرى على المؤشر، وبدلالة معنوية تركزت في وسط منطقة الدلتا وجنوبها وغربها، فمع انخفاض درجات الحرارة الصغرى يزداد المدى الحراري، وبالتالي ظروف مناخية أكثر قارية وتبخر عالٍ وجفاف، وبالنسبة للرطوبة فقد اتضحت دلالة ارتباطها الجزئي وتأثيرها على مؤشر الجفاف في وسط وشمال غرب منطقة الدراسة، فمع زيادة الرطوبة يزداد الجفاف، خاصة وأن تلك المناطق تشهد ارتفاعًا في درجات الحرارة، كذلك في جنوب منطقة الدلتا وشرقها، رغم قلة الرطوبة إلا أن الجفاف يزداد؛ لأن جزءًا كبيراً منها يمثل صحراء شرق الدلتا وهوامش صحراوية، وهي مناطق تشهد اتجاهًا نحو زيادة الاحترار، وكذلك كل الدلتا المصرية (إبراهيم، ٢٠١٨). أما على مستوى النطاق الزمني (٣ شهور) كان أيضًا المطر أهم العناصر المؤثرة في مؤشر الجفاف خلال الارتباط الجزئي في كل منطقة الدراسة، وبدلالة معنوية خاصة في وسط وشرق وشمال شرق منطقة الدلتا، كذلك اتضح تأثير الحرارة العظمى والصغرى بدلالة معنوية في وسط وشرق وجنوب شرق منطقة الدلتا، أما عنصر الرطوبة فظهر تأثيره في وسط وشرق منطقة الدلتا.

٥) بالنسبة لأثر الجفاف على محصولي القمح والبرسيم المستديم في منطقة الدلتا المصرية خلال الفترة ١٩٩٩-٢٠١٥:

يتضح من الجدول رقم (٥) علاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف SPEI للنطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة الأجل (١ و ٣ و ٦ شهور) وبين إنتاج محصول القمح ومساحاته المزروعة سنويًا (فترة زراعة تصل إلى ٦ شهور) في محافظات منطقة الدلتا المصرية خلال الفترة ٢٠٠٠- ٢٠١٥، ما يلي:

جدول (٥) : علاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف SPEI للنطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة الأجل وبين إنتاج محصول القمح ومساحاته المزروعة سنويًا في محافظات الدلتا خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٥.

	مؤشر الجفاف (٦ شهور)		مؤشر الجفاف (٣ شهور)		مؤشر الجفاف (شهر)		متوسط	%	متوسط	%
	علاقة الارتباط		علاقة الارتباط		علاقة الارتباط					
	للإنتاج	للمساحة	للإنتاج	للمساحة	للإنتاج	للمساحة	الإنتاج (طن)		المساحة (فدان)	
الإسكندرية	-0.07	-0.03	-0.14	-0.10	-0.25	-0.21	167574.44	3.69	65265.313	3.99
البحيرة	-0.40	*-0.48	*-0.51	*-0.55	**-0.62	**-0.63	815258.5	17.94	285419.38	17.46
الغربية	*-0.49	**-0.62	**-0.65	**-0.74	**-0.68	**-0.74	409183.5	9.00	142897.5	8.74
كفر الشيخ	**-0.64	**-0.69	**-0.77	**-0.82	**-0.81	**-0.86	587740.69	12.93	216309.63	13.23
الدقهلية	*-0.48	**-0.61	*-0.50	**-0.61	*-0.50	*-0.57	797885.25	17.55	279376.06	17.09
دمياط	**-0.58	**-0.66	**-0.68	**-0.72	**-0.67	**-0.68	67275.75	1.48	25869	1.58
الشرقية	-0.36	**-0.61	*-0.52	**-0.74	**-0.67	**-0.84	970957.44	21.36	362180.31	22.15
الإسماعيلية	*-0.52	**-0.63	**-0.61	**-0.67	**-0.74	**-0.75	106919.25	2.35	43995.875	2.69
بورسعيد	**-0.69	**-0.69	**-0.76	**-0.67	**-0.72	**-0.58	30375.813	0.67	13306.813	0.81
السويس	-0.07	-0.08	-0.04	-0.04	-0.24	-0.25	8855.375	0.19	3623.3125	0.22
المنوفية	-0.19	-0.21	-0.33	-0.36	*-0.54	*-0.57	334670.69	7.36	110011.31	6.73
القليوبية	-0.16	-0.29	-0.25	-0.38	-0.42	*-0.56	134522.56	2.96	48759.813	2.98
القاهرة	0.33	0.32	0.16	0.15	0.25	0.24	399.75	0.01	164.875	0.01
الجيزة	0.23	0.04	0.30	0.12	0.25	0.09	113589.69	2.50	37870.5	2.32
متوسط الدلتا	-0.40	*-0.54	*-0.51	**-0.62	**-066	**-0.73	4545208.7	100	1635049.7	100
(**) دلالة معنوية عند مستوى ٠,٠١ ---------- (*) دلالة معنوية عند مستوى ٠,٠٥										

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر الجفاف، وبيانات زارة الزراعة واستصلاح الأراضي، قطاع الشئون الاقتصادية، مديريات الزراعة بالمحافظات، سنوات مختلفة.

- يُعد القمح أحد أهم الحبوب الغذائية الرئيسة في مصر؛ نتيجة اعتماد الانسان عليه في غذائه بشكل كبير، ومع ذلك توجد فجوة كبيرة بين إنتاج القمح واستهلاكه، ولذا تقوم الدولة باستيراد حوالي ٤-٦ مليون طن سنويًا. وتبلغ فترة زراعته تقريبًا (٦ شهور) في مصر، حيث يزرع في الخريف، ويحصد في الربيع وبداية الصيف، وتُعد أنسب فترة لزراعته من ١٥ إلى ٣٠ نوفمبر، وتُزرع منه العديد من الأصناف، ويُقدر المقنن المائي للقمح بحوالي ١١٠٠ متر مكعب من

المياه في الوجه البحري، في حين يبلغ ١٤٨٠، ١٩٨٠ مترًا مكعبًا في مصر الوسطى والعليا على التوالي، وبذلك يبلغ المقنن المائي له في الوجه البحري تقريبًا نصف المقنن المائي في الوجه القبلي، نظرًا لأن القمح الشتوى يقضى بداية حياته فى فترة نهاية الخريف، حيث تنخفض فيها درجة الحرارة، كما أنه يزرع فى الدلتا التى يسقط المطر فيها ولو بقلة شتاءً (وزارة الزراعة، ٢٠٠٣، ٢٠١٤).

- وفي منطقة الدلتا التي تضم (١٤) محافظة إدارية، تستأثر محافظات (الشرقية، والبحيرة، والدقهلية، وكفر الشيخ، والغربية) بما يقرب من ٨٠% من إجمالي المساحات المزروعة بالقمح وإنتاجه في منطقة الدلتا خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٥، وبنسبة ٤٥% تقريبًا من إجمالي المساحة والإنتاج في مصر خلال ذات الفترة، وبالرغم من ذلك تتعرض تلك المنطقة لظروف جفاف مناخي وزراعي وهيدرولوجي واسعة، خاصة خلال العقود الأخيرة، تؤثر في الكفاءة الإنتاجية والمساحية للمحاصيل، وعلى رأسها القمح، وهو ما يتضح من الجدول رقم (٥)، الذي يبين علاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف SPEI للنطاق الزمني (٦ شهور) وبين إنتاج محصول القمح ومساحاته المزروعة سنويًا (فترة زراعتة تصل إلى ٦ شهور) في محافظات منطقة الدلتا المصرية؛ وذلك لأن الزراعة في الدلتا مروية، ولا تتأثر كثيرًا بالنقص المباشر من الأمطار بقدر تأثرها كذلك بالحرارة، وزيادة معدلات التبخر النتحي خلال فترة وجود المحصول في الأرض، وقد تبين وجود علاقة ارتباط عكسية ذات دلالة معنوية عند مستوى (٠,٠٥) في أغلب تلك المحافظات خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٥، خاصة محافظة الدقهلية والغربية وكفر الشيخ؛ حيث تعرضت الدلتا لأشد حالات الجفاف خلال تلك الفترة، كذلك ما تؤكده عديد من الدراسات العالمية والإقليمية عن الاتجاه نحو الاحترار العالمي وأثر ذلك بالضرورة على كافة الأنشطة: (Kostopoulou and Jones, 2005; Zhang, et al., 2005; Alexander, et al., 2006; Donat, et al., 2013)، وفي مصر كدراسة (Hasanean, 2004; Kenawy, et al., 2010; Mohamed and Hussein, 2014; Nashwan, et al., 2019)، وعن الدلتا المصرية، كدراسة (إبراهيم، ٢٠١٨)، التي بينت أن الدلتا المصرية تواجه اتجاهًا عامًا نحو الزيادة في مؤشرات التطرف الحراري الدافئة لدرجات الحرارة العظمى والصغرى على المستوى السنوي والفصلي، ويتبع ذلك الاحترار من زيادة التبخر وتعرض التربات لفقدان أكثر للمياه بما يؤثر على الوفاء باحتياجات المحاصيل المائية، ومع زيادة الجفاف على المستويات طويلة الأمد. ورغم تنظيم مياه الري في الدلتا إلا أنه لا مجال للشك أن الدلتا تتعرض لجفاف هيدرولوجي (نقص أمطار وحرارة وتبخر)، ونقص بدرجة ما في إمداداتها من مياه الري عن المعدلات الطبيعية، وبالتالي نقص مياه الترع والقنوات المائية وانخفاض منسوبها، خاصة وأنه

ما زالت كثير من الترع والمصارف في الدلتا غير مغطاة. كما يتضح من الجدول (٥) أيضًا زيادة الدلالة المعنوية لعلاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف SPEI والإنتاجية والمساحة المحصولية في الدلتا خلال مستوى زمني أقل (١، ٣) على اعتبار الآثار التي يسببها الجفاف المناخي خلال تلك الفترات قصيرة الأجل على المحصول أثناء فترة نموه؛ تسبب إجهادًا يتبعه بالضرورة حدوث نقص في الإنتاجية والمساحة المقدرة والمروية.

- أما بالنسبة لمحصول البرسيم المستديم، فيعد البرسيم المستديم المصري أحد أهم محاصيل العلف الأخضر وأكثرها انتشارًا في مصر ومنطقة الدلتا المصرية، والذي يزرع خلال فصل الشتاء، وتنجح زراعته في الأراضى الأكثر احتفاظًا بالرطوبة، كما أنه يُعد من المقومات الأساسية لاستدامة خصوبة التربة المصرية من خلال تحسينه لخواصها الطبيعية والكيميائية والحيوية، ويعد العلف الرئيس للثروة الحيوانية في مصر والدلتا، باعتباره غذاءً كاملاً للحيوانات، كما أنه أيضًا من أهم المحاصيل المستخدمة كغذاء لنحل العسل، ويوفر لمصر ٣,٥ مليار دولار سنويًا إذا ما تم استيراده من الخارج، ويُزرع في النصف الأول من أكتوبر، ويستمر حتى نهاية الربيع (وزارة الزراعة، ٢٠٠١، ٢٠٠٧).
- وتبلغ متوسط نسبة المساحة المزروعة منه في مصر أكثر من مليون ونصف فدان خلال الفترة ١٩٩٩-٢٠١٥، وتبلغ مساحة المحصول في الدلتا المصرية أكثر قليلاً من مليون فدان، بنسبة ٦٣% من إجمالي مساحات المحصول على مستوى الجمهورية، كما بلغ متوسط إنتاج المحصول ما يقرب من خمسين مليون طن خلال الفترة ١٩٩٩-٢٠١٥، تستأثر محافظات منطقة الدلتا قيد الدراسة حوالي ٦٣% من إجمالي إنتاج الجمهورية بمقدار ٣٠ مليون طن خلال الفترة ١٩٩٩-٢٠١٥. ويتبين من الجـدول رقم (٦) وجود ارتباط بين الجفاف على مستوى النطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة الأمد وبين إنتاجية محصول البرسيم المستديم ومساحته خلال الفترة ١٩٩٩-٢٠١٥، خاصة في المحافظات الأكثر إنتاجاً والأكبر مساحة للمحصول. كما يتضح من الجدول (٦) أيضًا زيادة الدلالة المعنوية لعلاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف SPEI والإنتاجية والمساحة المحصولية لمحصول البرسيم المستديم في الدلتا خلال مستوى زمني أقل (١ و ٣) شهور على اعتبار الآثار التي يسببها الجفاف المناخي خلال تلك الفترات قصيرة الأجل على المحصول في أثناء فترة نموه؛ تسبب إجهادًا يتبعه بالضرورة حدوث نقص في الانتاجية والمساحة المقدرة والمروية، خاصة وأن المحصول يتم الاستفـادة منه على مراحل متتاليـة أو ما يسمـــى (حشة أو حشات) متتابعة خلال فترة وجوده بالأرض (٦ شهور تقريبًا).

جدول (٦) : علاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف SPEI للنطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة الأجل وبين إنتاج محصول البرسيم المستديم ومساحاته المزروعة سنويًا في محافظات الدلتا خلال الفترة ١٩٩٩-٢٠١٥م.

	مؤشر الجفاف (٦ شهور) علاقة الارتباط		مؤشر الجفاف (٣ شهور) علاقة الارتباط		مؤشر الجفاف (شهر) علاقة الارتباط		متوسط الإنتاج (طن)	%	متوسط المساحة (فدان)	%
	للإنتاج	للمساحة	للإنتاج	للمساحة	للإنتاج	للمساحة				
الإسكندرية	0.01	0.12	0.00	0.08	0.03	0.11	606720	1.96	27696	2.63
البحيرة	0.33	0.29	0.43	0.41	*0.53	*0.54	5119360	16.52	160343	15.25
الغربية	0.10	0.15	0.20	0.35	0.38	**0.57	3082889	9.95	115051	10.94
كفر الشيخ	*0.55	*0.48	**0.63	**0.64	**0.7	**0.73	5005693	16.15	132739	12.63
الدقهلية	**0.66	*0.55	**0.71	*0.55	**0.69	*0.5	3652851	11.79	165208	15.72
دمياط	**0.66	0.38	**0.77	*0.46	**0.74	*0.5	1050324	3.39	49072	4.67
الشرقية	*0.44	*0.47	**0.6	**0.66	**0.78	**0.83	5384959	17.38	173058	16.46
الإسماعيلية	-0.33	-0.41	-0.34	-0.45	-0.23	-0.38	659709	2.13	28543	2.72
بورسعيد	**-0.62	*-0.55	**-0.69	**-0.66	**-0.61	**-0.62	279205	0.90	13347	1.27
السويس	0.26	-0.15	0.28	-0.26	0.16	-0.15	371826	1.20	5579	0.53
المنوفية	-0.28	0.02	-0.17	0.17	-0.12	0.39	4334468	13.99	133062	12.66
القليوبية	0.30	0.29	0.43	0.41	**0.66	**0.64	1403603	4.53	45836	4.36
القاهرة	0.14	0.17	-0.02	-0.01	-0.04	0.00	34998	0.11	1730	0.16
متوسط الدلتا	*0.54	0.34	**0.59	*0.46	**0.71	**0.66	30986606	100	1051263	100

(**) دلالة معنوية عند مستوى ٠,٠١ ---------- (*) دلالة معنوية عند مستوى ٠,٠٥

المصدر : من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات مؤشر الجفاف، وبيانات وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، قطاع الشئون الاقتصادية، مديريات الزراعة بالمحافظات، سنوات مختلفة.

الخاتمة :

١) النتائج :

- بينت الدراسة وجود اتجاه عام نحو زيادة الجفاف بالنسبة لمتوسط منطقة الدلتا المصرية، وخاصة في جنوب وجنوب غرب منطقة الدلتا، وعلى مستوى كل النطاقات الزمنية خلال السلسلة الزمنية للفترة ١٩٥٠–٢٠١٥، وبخاصة خلال العقد الأول من القرن العشرين، وبدلالة معنوية مرتفعة عند مستوى (٠,٠١)، لكافة النطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل، والمرتبطة بآثار الجفاف المناخي والزراعي والهيدرولوجي. كما لوحظ وجود اتجاه عام نحو زيادة الجفاف في منطقة الدراسة على المستوى الفصلي دون دلالة معنوية واضحة، خلال شهر فبراير معبرًا عن الجفاف قصير الأجل في الشتاء المتراكم خلال الشهور السابقه له، وكذلك شهر نوفمبر معبرًا عن الجفاف قصير الأجل لفصل الخريف، كما أُختير شهر مارس معبرًا عن الجفاف متوسط الأجل لنصف السنة الممطر (٦ شهور).
- شهدت منطقة الدراسة معدلات تكرار أعلى لأحداث الجفاف المتطرفة والشديدة والمعتدلة خلال الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥، خلال النطاقات الزمنية طويلة الأجل (١٢ و ٢٤ شهرًا)، والمسئولة عن الجفاف الهيدرولوجي وآثاره، بنسب معدلات تكرار بلغت ٢% و ٦% و ١٣% على التوالي من إجمالي أحداث الجفاف والرطوبة في منطقة الدراسة، وذلك مقارنة بنسب معدلات تكرار أقل للأحداث الرطبة. بينما على المستوى الزمني قصير ومتوسط الأمد لوحظ زيادة واضحة لمعدلات تكرار أحداث الجفاف المعتدل بنسب بلغت ١٤% تقريبًا من إجمالي الأحداث الجافة والرطبة والظروف المعتدلة، وذلك عنها بالنسبة للأحداث الرطبة المعتدلة التي بلغت نسبتها ١٠%، كذلك ظهرت معدلات تكرار أعلى قليلاً للأحداث الجافة الشديدة خلال النطاق الزمني المناخي والزراعي متوسط الأمد (٦ و ٩ شهور)، أما على المستوى المناخي والزراعي قصير الأجل (١ و ٣ شهور) فقد تبين زيادة معدلات تكرار الأحداث الرطبة المتطرفة والشديدة وبفارق ليس بكبير مقارنة بالأحداث المتطرفة الجافة والشديدة في الدلتا.
- ظهر تركز واضح لتكرار الأحداث المتطرفة الجافة في شمال وجنوب الدلتا، ولأحداث الجفاف الشديدة في وسط وشمال وشمال شرق وجنوب شرق منطقة الدلتا على مستوى النطاقات المناخية قصيرة الأجل (١ و ٣) شهور. أما على مستوى النطاق الزمني متوسط الأمد فقد ظهر تأثر شمال وشمال غرب منطقة الدلتا وبعض أجزاء من شرقها بمعدلات أكبر لتكرار الأحداث المتطرفة الجافة والشديدة، أما على مستوى النطاق الزمني الهيدرولوجي طويل الأمد (١٢ و ٢٤) شهرًا؛ فقد اتضح تأثر مساحات كبيرة بمعدلات تكرار أكبر للأحداث المتطرفة الجافة والشديدة، خاصة شمال وشمال غرب منطقة الدلتا ووسطها.

- أما على مستوى التطور الزمني لنسب تأثر مساحات السطح في منطقة الدراسة بمعدلات تكرار الأحداث الجافة والرطبة والظروف المعتدلة، فقد ظهر تأثر مساحات أوسع من منطقة الدراسة بالأحداث الجافة المتطرفة والشديدة والمعتدلة مقارنة بالأحداث الرطبة، خاصة خلال النطاقات الزمنية طوية الأجل، فقد اتضح على المستوى الزمني قصير الأجل (شهر، وثلاثة أشهر) أن أحداث الجفاف المتطرفة والشديدة تؤثر على مساحات زادت عن نصف مساحة منطقة الدراسة تقريبًا، خاصة منذ الثمانينيات، بنسب بلغت ٦٤% و ٧٠% عامي ٢٠١٥ و٢٠١٣ على التوالي. وبالنسبة للنطاق الزمني متوسط الأجل (٦ و ٩) شهور؛ تأثرت أكثر من نصف مساحة منطقة الدراسة خاصة خلال العقد الأول من القرن الواحد والعشرين بأحوال الجفاف المتطرف، أما أحداث الجفاف الشديد فقد زادت مساحة السطح المتأثرة بها في منطقة الدلتا لأكثر من نصف مساحته، خاصة أوائل القرن الواحد والعشرين؛ حيث بلغت ٩٠% عام ٢٠١٣. أما على مستوى النطاق الزمني الهيدرولوجي طويل الأجل (١٢ و ٢٤) شهرًا؛ فقد تبين تأثر مساحات أوسع من منطقة الدلتا بلغت ٨١% بأحداث الجفاف المتطرف والشديد في شكل موجات طويلة، خاصة خلال العقد الأول والأخير من الفترة ١٩٥٠–٢٠١٥.
- كما أوضحت الدراسة أن هناك اتجاهًا عامًا نحو الزيادة في تكرار أحداث الجفاف المتطرفة وبدلالة معنوية مرتفعة عند مستوى (٠,٠١) خلال كل النطاقات الزمنية لمؤشر SPEI، ولأحداث الجفاف الشديد بدلالة معنوية فقط خلال نطاقات قصيرة وطويلة الأجل (١ و ٣ و ٢٤) شهرًا، كما اتضحت الدلالة المعنوية للاتجاه نحو الزيادة في أحداث الجفاف المعتدل خلال أغلب النطاقات الزمنية للمؤشر، في المقابل لوحظ ظهور اتجاه عام نحو النقصان في الأحداث الرطبة المتطرفة والشديدة والمعتدلة، وبمعدلات نقصان أكبر، وبدلالة معنوية مرتفعة عند مستوى (٠,٠١) خلال المستويات الزمنية متوسطة وطويلة الأجل (٩ و ١٢ و ٢٤) شهرًا، وبدلالة أقل خلال المستويات قصيرة الأجل (١ و ٣) شهور.
- كما بينت الدراسة وجود علاقة ارتباط موجبة ودالة إحصائيًا عند مستوى (٠,٠١) بين مؤشر الجفاف وبين الوجه السالب لنمطي تذبذب شمال الأطلنطي أو الناو NAO (حيث الظروف الأكثر جفافًا في منطقة جنوب أوروبا وحوض البحر الأبيض المتوسط) على مستوى كافة النطاقات الزمنية قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل، وذلك في أغلب منطقة الدراسة، خاصة شمالها وشمال غربها. كذلك ظهرت علاقة ارتباط سالبة ودالة معنويًا عند مستوى (٠,٠١) في أغلبها بين المؤشر وبين نمط التذبذب الجنوبي SOI، المعبر عن ظاهرة النينو على مستوى كافة النطاقات الزمنية، وبتركز واضح في شرق وشمال شرق منطقة الدلتا المصرية، أيضًا اتضحت دلالة العلاقة الارتباطيــة الموجبة عند مستوى (٠,٠١) و (٠,٠٥) بين مؤشر

الجفاف ونمط تذبذب البحر المتوسط (القاهرة – الجزائر) MOI، واقتصرت الدلالة المعنوية للارتباط بين الجفاف ونمط تذبذب غرب البحر المتوسط WEMOI خلال النطاق قصير الأمد (١ و ٣) شهور، بينما ضعفت علاقة الارتباط بين مؤشر الجفاف ونمطي تذبذب شرق الأطلسي غرب روسيا EAWR، وتذبذب شرق الأطلنطي EA، وقد اتفقت تلك النتائج مع نتائج عديد الدراسات الإقليمية، خاصة داخل منطقة حوض البحر المتوسط.

- أما بالنسبة لعلاقة الارتباط الجزئي بين مؤشر الجفاف SPEI وبين بعض عناصر المناخ في منطقة الدلتا، فكان ضعف الارتباط مع ضعف الدلالة المعنوية هي السائدة لأغلب العناصر المناخية (لكل سلاسل البيانات الشهرية)، عدا عنصر المطر في كافة النطاقات الزمنية، وبشكل أوضح للنطاقين الزمنين (١ و ٣ شهور)، مما يشير إلى أهمية المطر في أحداث الجفاف في منطقة الدراسة، خاصة شرق وشمال شرق منطقة الدلتا؛ حيث مع زيادة المطر يقل الجفاف والعكس، كما تبين وجود زيادة في مقدار الارتباط الجزئي بين المطر وأغلب العناصر وبين مؤشر SPEI عنه في الارتباط البسيط، وذلك بعد عزل أو تثبيت أثر بقية العناصر بشكل غير ظاهر إحصائيًا، وذلك في إطار العلاقة البيئية المتداخلة والمعقدة، مما يبين أهمية استخدام الارتباط الجزئي في الدراسات الجغرافية والمناخية منها.
- أكدت الدراسة على وجود تأثير واضح لأحداث الجفاف خلال المستويات قصيرة ومتوسط الأجل (١ و ٣ و ٦) شهور على إنتاجية القمح ومساحته (فترة زراعته ٦ شهور تقريبًا) في محافظات الدلتا المصرية خلال الفترة ٢٠٠٠–٢٠١٥، حيث اتضحت العلاقة الارتباطية بين مؤشر الجفاف وإنتاجية ومساحة محصولي القمح والبرسيم المستديم الشتويين ذات الدلالة المعنوية لحوالي نصف محافظات الدلتا، خاصة محافظة الدقهلية والغربية وكفر الشيخ، نتيجة تعرض الدلتا لأشد حالات الجفاف خلال تلك الفترة، ونتيجة الآثار التي يسببها الجفاف المناخي خلال تلك الفترات قصيرة الأجل على المحصول في أثناء فترة نموه؛ تسبب إجهادًا يتبعه بالضرورة حدوث نقص في الإنتاجية والمساحة المقدرة والمروية، خاصة وأن البرسيم المصري المستديم يتم الاستفادة منه على مراحل متتالية أو ما يسمى (حشات) متتابعة خلال فترة وجوده بالأرض (٦ شهور تقريبًا).

٢) التوصيات :

في ضوء نتائج الدراسة، **يمكن التوصية بما يلي:**

- ضرورة الاستفادة من مؤشرات الجفاف، باعتبارها أدوات مهمة جدًا للبحث والإدارة البيئية في المناطق القاحلة، فقيمها ليست فقط مهمة لقياس التباين الزماني المكاني لأحداث الجفاف

وتحديده؛ ولكن هي أيضًا أدوات مفيدة لتوجيه متخذي القرار لإعلان الطوارئ في حالات الجفاف، وتصميم خطط مختلفة للتخفيف من الجفاف وحدته.

- ضرورة تكاتف الجهود البحثية الأكاديمية والحكومية بين الهيئات المختصة والمراكز البحثية؛ لإنشاء قواعد بيانات تفصيلية للجفاف ومؤشراته، وبدقات مكانية عالية تصل إلى أمتار، ولفترات زمنية طويلة الأمد ومحدثة باستمرار، وذلك للمناطق الزراعية في مصر: الدلتا، والوادي، والساحل الشمالي الغربي، وشمال سيناء، وكذلك مناطق الجريان المائي المتدفق النسبي في جنوب سيناء، وجبال البحر الأحمر، وغيرها؛ بهدف الرصد والمراقبة المستمرة لحالات الجفاف والرطوبة في تلك النطاقات المهمة، خاصة في ظل العجز المائي الذي تشهده مصر من مياه نهر النيل.
- دراسة مؤشرات الجفاف المناخي والزراعي على مستويات شهرية وفصلية وتأثيرها على الغطاء النباتي ومدى تمدده أو انكماشه عبر فترات زمنية طويلة الأمد، وجودة كافة المحاصيل الزراعية وإنتاجيتها؛ وذلك على نطاقات مكانية دقيقة (حوض زراعي أو عزبة أو قرية)، وكذلك مؤشرات الجفاف الهيدرولوجي وتأثيرتها على مستويات التخزين المائي، والمياه الجوفية، ومناسيب البحيرات، والخزانات، والترع وغيرها.
- يُقترح في نهاية الدراسة دراسة العلاقة الارتباطية (بطريقة الارتباط الجزئي) بين مؤشرات الجفاف وعدد أكبر من العناصر المناخية الأخرى كالرياح والإشعاع الشمسي والسحب خلال فترات زمنية طويلة الأمد.
- التأكيد على أهمية تسجيل وحصر بيانات المساحة والإنتاج والإنتاجية الزراعية للمحاصيل الزراعية المختلفة في الدلتا المصرية وبقية مناطق الجمهورية المعمورة بدقة وواقعية وموضوعية بالغة، وذلك على مستوى نطاقات مكانية دقيقة، بما يُمكن من استخدامها عند دراسة أثر الجفاف وغيره من المظاهر المناخية على الزراعة وأنشطتها.
- أهمية الرصد والمتابعة المستمرة والتسجيل لمستويات المياه في الترع والقنوات المائية، والمياه الجوفية ومستوياتها، وكذلك رطوبة التربة وقياسها بشكل دقيق؛ لتوفير بيانات دقيقة وحقيقية وموضوعية، تُفيد عند الحاجة في تقييم آثار الجفاف الهيدرولوجي في منطقة الدراسة ومناطق تركزه، وبالتالي وضع الخطط الحالية والمستقبلية لمواجهته.

المراجع

أولاً : المراجع باللغة العربية.

١. إبراهيم، محمد محمد عبد العال (٢٠١٤)، الأقلمة المكانية لعلاقات الارتباط بين تغيرات الأمطار في مصر وأهم أنماط دوران الغلاف الجوي خلال الفترة ١٩٦١-٢٠٠٦، المؤتمر السنوي الدولي لمعهد البحوث والدراسات الأفريقية – الآثار المحتملة للتغيرات المناخية على القارة الأفريقية، جامعة القاهرة، ١٨-٢٠ مايو، الجزء الأول، ص ص ٦٨٣-٧١٩.

٢. إبراهيم، محمد محمد عبد العال (٢٠١٨)، الاتجاهات طويلة الأمد لتطرفات الحرارة اليومية في الدلتا المصرية دراسة خلال الفترة ١٩٦٠-٢٠١٠ دراسة مناخية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد ١١١، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة.

٣. إبراهيم، محمد محمد عبد العال (٢٠١٢)، التغيرات المناخية لأمطار السواحل المصرية دراسة في الجغرافيا المناخية، رسالة دكتوراه، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة المنصورة، المنصورة.

٤. أبو راضي، فتحي عبد العزيز (١٩٧٢)، الجغرافيا المناخية للدلتا، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، الإسكندرية.

٥. أبوراضي، فتحي عبد العزيز (٢٠٠٠)، مقدمة الأساليب الكمية في الجغرافيا، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ٢٠٠٠، ص ٤٦٣.

٦. بدوي ، هشام داود صدقي (٢٠١٢)، أثر المناخ علي التصحر في شرق وغرب الدلتا المصرية دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه ، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة المنصورة، المنصورة.

٧. حسان، وليد عباس عبد الراضي (٢٠٠٩)، التغير في بعض عناصر المناخ بدلتا النيل خلال القرن العشرين دراسة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عين شمس، القاهرة.

٨. خير، صفوح (٢٠٠٠)، الجغرافيا موضوعها ومناهجها وأهدافها، دار الفكر، دمشق، سوريا، ٢٠٠٠، ص ص ٣٠٥-٣٠٦.

٩. صفي الدين، محمد (١٩٩٨)، مورفولوجية الأراضي المصرية، الطبعة الأولى، دار غريب للطباعة والنشر، القاهرة، ص ٢٢٣.

١٠. فتحي، محمد فريد (٢٠٠٠)، في جغرافية مصر، الطبعة الثانية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ص ص ٩٨-٩٩.

١١. مجد، زينهم السيد إبراهيم (٢٠٠٧)، المخاطر المناخية وأثرها علي الزراعة في الهوامش الغربية لدلتا النيل، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة طنطا، طنطا.
١٢. المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (٢٠١٢)، دليل مستخدمي المؤشر المعياري للهطول، مطبوع رقم ١٠٩٠، ISBN 978-92-63-61090-4
١٣. موسى، محمد عيد (٢٠٠٣)، المناخ وأثره على المحاصيل الرئيسية بين فرعي دمياط ورشيد، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب – فرع بنها – جامعة الزقازيق، الزقازيق.
١٤. وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، قطاع الشئون الاقتصادية، مديريات الزراعة بالمحافظات، سنوات مختلفة.
١٥. وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، مركز البحوث الزراعية، الإدارة المركزية للإرشاد الزراعي (٢٠٠١)، البرسيم المصري، نشرة رقم ٧١٦.
١٦. وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، مركز البحوث الزراعية، الإدارة المركزية للإرشاد الزراعي (٢٠٠٧)، البرسيم المصري، نشرة رقم ١٠٧٧.
١٧. وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، مركز البحوث الزراعية، الإدارة المركزية للإرشاد الزراعي (٢٠٠٣)، زراعة القمح في الأراضي القديمة (أراضي الوادي)، نشرة رقم ٨٣٨.
١٨. وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، مركز البحوث الزراعية، الإدارة المركزية للإرشاد الزراعي (٢٠١٤)، زراعة القمح في الأراضي القديمة (أراضي الوادي)، نشرة رقم ١٣٣٢.

ثانياً : المراجع باللغة غير العربية.

1. Alam 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, Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C.
2. Alexander L.V., et al. (2006): Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, Journal of Geophysical Research, Vol. 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
3. Bae S., Lee S., Yoo S., Kim T. (2018): Analysis of Drought Intensity and Trends Using the Modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010, Water, 10, 327.
4. Benitez J.B., Domecq R.M. (2014): Analysis of meteorological drought episodes in Paraguay, Climatic Change, 127:15–25.
5. Bohn V.Y, Piccolo M.C. (2018): Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) As A tool to Determine The Hydrological Dynamic of Plain Regions (Argentina), São Paulo, UNESP, Geociências, Vol. 37, No. 3, pp. 627-637.

6. Bulletin of the Meteorological Society (BAMS) (2004): American Meteorological Society (AMS): Statement on Meteorological Drought, Bull. Am. Meteorol. Soc., 85: 771-773.
7. Cook B.I, Anchukaitis K.J, Touchan R., Meko D.M., Cook, E.R. (2016): Spatio-temporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years, Journal of Geophysical Research: Atmospheres 10.1002/2015JD023929.
8. Criado-Aldeanueva F., Soto-Navarro F.J. (2013): The Mediterranean Oscillation Teleconnection Index: Station-Based versus Principal Component Paradigms, Advances in Meteorology, Volume 2013, Article ID 738501.
9. Dai, A. (2011): Drought under global warming: A review, Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang., 2: 45-65.
10. Donat M.G. et al. (2013): Changes in extreme temperature and precipitation in the Arab region: long-term trends and variability related to ENSO and NAO, Int. J. Climatol., DOI: 10.1002/joc.3707.
11. Edossa D.C., Woyessa Y.E., Welderufael W.A. (2014): Analysis of Droughts in the Central Region of South Africa and Their Association with SST Anomalies, International Journal of Atmospheric Sciences, Volume 2014.
12. ESPERE, cited (2006): Climate encyclopedia—Food and climate. [Available online at http://espere.mpch-mainz.mpg.de/ documents/pdf/.
13. Ficklin D.L., Maxwell J.T., Letsinger S.L., Gholizadeh H. (2015): A climatic deconstruction of recent drought trends in the United States, Environ. Res. Lett., 10, 044009.
14. Fiorillo F., and Guadagno F.M., (2010): Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI,Water Resour. Manage., 24.
15. Garcia-Ruiz J. M., Lopez-Moreno J. I., Vicente-Serrano S. M., Lasanta-Martinez T., Begueria S. (2011): Mediterranean water resources in a global change scenario, Earth Sci. Rev., 105(3-4): 121-139, doi:10.1016/j.earscirev. 2011.01.006.
16. Hannaford J., Lloyd-Hughes B., Keef C., Parry S., Prudhomme C. (2011): Examining the large scale spatial coherence of European drought using regional indicators of precipitation and streamflow deficit, Hydrol. Proc., 25.
17. Hasanean H.M. (2004): Wintertime Surface Temperature in Egypt in Relation to The Associated Atmospheric Circulation, Int. J. Climatol. 24: 985-999.
18. Hernandez E.A., Uddameri V. (2014): Standardized precipitation evaporation index (SPEI)-based drought assessment in semi-arid south Texas, Environ Earth Sc., i 71(6):2491–2501. https://doi.org/10.1007/s12665-013-2897-7.
19. Hoerling M., Eischeid J., Perlwitz J., Quan X., Zhang T., Pegion P. (2012): On the Increased Frequency of Mediterranean Drought, Journal of Climate, Vol. 25, 15 March.
20. Hoerling M., Kumar A. (2003): The perfect ocean for drought, Science, 299.
21. http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml
22. http://www.ub.edu/gc/English/wemo.htm
23. https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/
24. https://spei.csic.es/database.html#p1
25. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao.shtml

26. Iglesias, A., Garrote L., Flores F., Moneo M. (2007): Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean, Water Resour. Manage., 21(5): 775-788, doi:10.1007/s11269-006-9111-6.
27. Ionita M., Boroneanț C., Chelcea S. (2015): Seasonal modes of dryness and wetness variability over Europe and their connections with large scale atmospheric circulation and global sea surface temperature, Clim. Dyn., DOI 10.1007/s00382-015-2508-2.
28. 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.
29. Kenawy A., Lopez Moreno J.I, Vicente Serrano S.M., Abdelaal M. (2010): Temperature Variability along the Mediterranean Coast and its links to large-scale atmospheric Circulations (1957-2006), Bulletin of the Egyptian Geographical Society, Vol. 83.
30. Kostopoulou E., Jones P.D.(2005): Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean, Meteorol. Atmos. Phys., 89: 69-85.
31. Koutroulis A.G., Vrohidou A.K., Tsanis I.K. (2011): Spatiotemporal Characteristics of Meteorological Drought for the Island of Crete, Journal of Hydrometeorology, Vol. 12.
32. 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 Resour. Assoc., 45: 75-89.
33. Li X., He B., Quan X., Liao Z., Bai X. (2015): Use of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) to Characterize the Drying Trend in Southwest China from 1982-2012, Remote Sensing, 7, 10917-10937; doi:10.3390/rs70810917.
34. Liang L., Shu-he Z., Zhi-hao Q., Ke-xun H., Chong C., Yun-xiao L. Xing-dong Z. (2014): Drought Change Trend Using MODIS TVDI and Its Relationship with Climate Factors in China from 2001 to 2010, Journal of Integrative Agriculture, 13(7): 1501-1508.
35. Liu Y. Guo M., Wang X., Tani H., Yi K. (2011): Analysis the Impact of Drought on NDVI in Drought Periods Combined with Climate factors and Land Cover in Southwest China, Conference: 34nd International Symposium on Remote Sensing of Environment, At Sydney, Australia, April.
36. Lopez-Moreno J.I., Vicente-Serrano S.M. (2008): Extreme phases of the wintertime North Atlantic oscillation and drought occurrence over Europe: a multi-temporal-scale approach, J. Clim., 21: 1220-1243.
37. Manzano A., et al. (2019): Analysis of the atmospheric circulation pattern effects over SPEI drought index in Spain, Atmospheric Research, 24 July, 104630.
38. Mathbout S., Lopez-Bustins J.A., Martin-Vide J., Bech J., Rodrigo F.S. (2018): Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961-2012, Atmospheric Research, Vol. 200, 1 February.
39. McAuliffe J.R., Hamerlynck E.P. (2010): Perennial plant mortality in the Sonoran and Mojave deserts in response to severe, multi-year drought, J. Arid Environ., 74: 885-896.

40. Miksovsky J., Brazdil R., Trnka M., PiSoft P. (2019): Long-term variability of drought indices in the Czech Lands and effects of external forcings and large-scale climate variability modes, Climate of the Past, 15: 827-847.
41. Mishra A.K., Singh V.P. (2010): A review of drought concepts, Journal of Hydrology, Volume 391, Issues 1–2, 14 September, pp. 202-216.
42. Mohamed E.E.E., Hussein M.M.A. (2014): Observed changes in minimum and maximum temperatures in Nile Delta, Egypt in 20th century. Journal of King Abdul- Aziz University: Marine Science. 25(1): 117-140.
43. Nashwan M.S., Shahid S., Abd Rahim N.(2019): Unidirectional trends in annual and seasonal climate and extremes in Egypt, Theoretical and Applied Climatology, April, 136(1-2): 457-473.
44. Nezhad M.E., Bazrafshan O., Bazrafshan J. (2018): Spatio-temporal variations of meteorological drought using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in Iran, Journal of Agricultural Meteorology, Vol. 5, No. 2, Autumn &Winter, pp. 35-46.
45. Páscoa P., Gouveia C.M., Russo A., Trigo R.M. (2017): Drought Trends in the Iberian Peninsula over the Last 112 Years, Advances in Meteorology, Volume, Article ID 4653126, 13 pages.
46. Pasho E., Camarero J.J, de Luis M., Vicente-Serrano S.M. (2011): Impacts of drought at different time scales on forest growth across a wide climatic gradient in north-eastern Spain, Agric. For. Meteor., 151: 1800-1811.
47. Paulo A.A., Rosa R.D., Pereira L.S. (2012): Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12: 1481-1491.
48. Polong F., Chen H., Sun S., Ongoma V. (2019): Temporal and spatial evolution of the standard precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Tana River Basin, Kenya, Theoretical and Applied Climatology, 17 April.
49. Potop V, Mozny M (2011): The application a new drought index–standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. In: Mikroklima a mezoklima krajinnych structur a antropogenních prostredi, Vol. 2.
50. Rahmat S.N., Jayasuriya N., Bhuiyan M. (2012): Trend analysis of drought using Standardised Precipitation Index (SPI) in Victoria, Australia, 34th Hydrology and Water Resources Symposium 19-22 November 2012, Sydney, Australia.
51. Rajsekhar D., Singh V.P., Mishra A.K. (2015): Multivariate drought index: An information theory based approach for integrated drought assessment. J. Hydrol., 526: 164-182.
52. Sayari N., Bannayan M., Alizadeh A., Farid A. (2013): Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrood basin), Meteorological Applications, 20: 115-127.
53. Schubert S.D., Wang H., Koster R.D., Suarez M.J., Groisman P.Y. (2014): Northern Eurasian heat waves and droughts, J. Clim., 27: 3169-3207.
54. Sneyers R. (1990): On statistical analysis of series of observations, WMO Technical note No. 143, WMO No. 145. Geneva, Switzerland, 192 pp.
55. Spinoni J., et al. (2019): A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016, Journal of Hydrology: Regional Studies, 22.

56. Tao H., Borth H., Fraedrich K., Su B., Zhu X. (2014): Drought and wetness variability in the Tarim River Basin and connection to large scale atmospheric circulation, Int. J. Climatol., 34:2678–2684doi:10.1002/joc.3867.
57. Thornthwaite C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate, Geogr. Rev., 38: 55-94.
58. Vergni L., Todisco F. (2011): Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in central Italy, Agric. For. Meteor., 151: 301-313.
59. Vicente-Serrano S.M., Begueria S., LopeZ-Moreno J.I. (2010a): A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, Journal of Climate, Vol. 23, pp. 1696-1718.
60. Vicente-Serrano S.M., Beguería S., Lorenzo-Lacruz J., Camarero J.J., López-Moreno J.I., Azorin-Molina C., Revuelto J., Morán-Tejeda E., Sanchez-Lorenzo A.(2012): Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. Earth Interactions, 16: 1-27.
61. Vicente-Serrano S. M., et al. (2016a): The complex influence of ENSO on droughts in Ecuador,Climate Dynamics, March, 10.1007/s00382-016-3082-y.
62. Vicente-Serrano S.M. (2011): A multiscalar global evaluation of the impact of ENSO on droughts, Journal of Geophysical Research, Vol. 116, D20109.
63. Vicente-Serrano S.M., Begueria s., Lopez-Moreno J.I., Angulo M., El Kenawy A. (2010b): A New Global 0.58 Gridded Dataset (1901–2006) of a Multiscalar Drought Index: Comparison with Current Drought Index Datasets Based on the Palmer Drought Severity Index, Journal of Hydrometeorology, Vol. 11.
64. Vicente-Serrano S.M., et al. (2016b): The Westerly Index as complementary indicator of the North Atlantic oscillation in explaining drought variability across Europe, Clim. Dyn, 47:845–863, DOI 10.1007/s00382-015-2875-8.
65. Vogt J.V., Naumann G., Masante D., Spinoni J., Cammalleri C., Erian W., Pischke F., Pulwarty R., Barbosa P. (2018): Drought Risk Assessment. A conceptual Framework. EUR 29464 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-97469-4, JRC113937.
66. Wang H., Chen Y., Pan Y., Li, W. (2015a): Spatial and temporal variability of drought in the arid region of China and its relationships to teleconnection indices, J. Hydrol., 523: 283-296.
67. Wang H., Chen Y., Pan Y. (2015b): Characteristics of drought in the arid region of northwestern China, Climate Research, 62: 99-113.
68. Wang Q. et al.(2014)Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale, Quaternary International, Volume 349, 28 October, pp. 10-21.
69. Wilhite, D. A., Eds., (2000): Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. Drought: A Global Assessment, Natural Hazards and Disasters Series, Vol. 2, Routledge Publishers, pp. 3-18.
70. World Meteorological Organization (WMO), The Global Water Partnership (GWP), National Drought Mitigation Center (NDMC) (2016): Handbook of Drought Indicators and Indices, Integrated Drought Management Programme (IDMP) WMO-No. 1173.

71. Yagoub Y.E. et al. (2017): Detection of Drought Pattern in Sudan Using Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI), International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research, Vol. 4, Issue 4, pp. 2546-2554, April.
72. Yang J., Gong D., Wang W., Hu M., Mao R. (2012): Extreme drought event of 2009/2010 over southwestern China, Meteorol. Atmos. Phys., 115.
73. Yao J., Tuoliewubieke D., Chen J., Huo W., Hu W. (2019): Identification of Drought Events and Correlations with Large-Scale Ocean–Atmospheric Patterns of Variability: A Case Study in Xinjiang, China, Atmosphere, 10, 94.
74. Yao J., Zhao Y., Yu X. (2018): Spatial-temporal variation and impacts of drought in Xinjiang (Northwest China) during 1961-2015, PeerJ, 6,e4926.
75. Yihdego Y, Vaheddoost B., Al-Weshah R.A. (2019): Drought indices and indicators revisited, Arabian Journal of Geosciences, 12, 69.
76. Yu M., Li Q., Hayes M.J., Svoboda M.D., Heim R.R. (2014): Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951-2010? Int. J. Climatol., 34.
77. Zhang X., et al. (2005): Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, D22104, doi:10.1029/2005JD006181.
78. Zhang L., Xiao J., Li J., Wang K., Lei L., Guo H. (2012): The 2010 spring drought reduced primary productivity in southwestern China, Environ. Res. Lett, 7, 045706.

Changes in Meteorological and Hydrological Drought and their Connection to Atmospheric Circulation over the Egyptian Delta from 1950 to 2015

Dr. Mohamed Mohamed Abdelaal Ibrahim
Lecturer at Physical Geography, Social Studies Department
Faculty of Education, Mansoura University

ABSTRACT

Drought is a complex natural hazard, with adverse environmental and socioeconomic impacts (e.g. hydrology, water resources, crop failure, biodiversity, etc). Many regions worldwide have suffered from frequent and intense drought episodes over the past few decades. This study endeavors to assess long-term spatial and temporal changes of meteorological and hydrological droughts Comparing to wet events in the delta: one of the hotspot regions in Egypt in terms of population weight and economic significance. This assessment was made for the period from 1950 to 2016 using the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), which accounts for different input climatic variables (e.g. air temperature, precipitation, wind speed, air pressure, sunshine insolation and relative humidity). Which has been calculated using the gridded CRU TS 3.23 dataset, where the delta was represented by 22 grids. The SPEI was calculated at different time scales (1-, 3-, 6-, 9-, 12-, and 24-month), allowing for characterizing both meteorological, hydrological and agricultural impacts of recent climate change in the delta. Changes in drought frequency were assessed using the non-parametric Spearman' rho statistic. Overall, results suggest a statistically significant increase in drought frequency over the 66-yr study period. This positive trend was more pronounced in the southern and southwestern portions of the delta. Drought variability was also linked to a set of leading atmospheric circulation patterns, which mostly explain climate variability in the extratropical and midlatitude regions, including the North Atlantic Oscillation (NAO), the Southern Oscillation Index (SOI), and the Mediterranean Oscillation Index (MOI). Results indicate that there is a statistically significant association between drought variability and the investigated circulation patterns at the 95% significance level ($p<0.05$). In order to assess the relative contribution of the different climatic variables to drought evolution, we applied the partial correlation analysis. Results demonstrate that rainfall is the most dominant variable contributing to drought evolution in the delta. We also assessed the impacts of drought variability on crop failure in the delta from 2000 to 2015, with a particular emphasis on wheat and grazing clover. These impacts were verified, especially for governorates of large area and high crop yield.

Key Words: Drought; SPEI; Trend; Atmospheric Circulation; Egyptian Delta.