



مجلة

مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية

مجلة علمية محكمة تصدر عن
مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية
كلية الآداب - جامعة المنوفية

الترقيم الدولي الموحد للطباعة: 2357-0091

الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني: 2735-5284

مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية

بكلية الآداب – جامعة المنوفية

مجلة علمية مُحَكَّمة

النزعة الزمانية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة

خلال العام الهيدرولوجي في وسط المملكة العربية السعودية

خلال الفترة ١٩٩١-٢٠٢٢م

إعداد

إعداد الباحثة/ **جهان عبد القادر الخليف**

طالبة دراسات عليا بقسم الجغرافيا

كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية - جامعة الملك سعود

مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية بكلية الآداب – جامعة المنوفية

مجلة علمية مُحَكَّمَة

| هيئة التحرير للمجلة | |
|------------------------------|----------------------------------|
| رئيس التحرير | أ.د/ لطفي كمال عبده عزاز |
| نائب رئيس التحرير | أ.د/ إسماعيل يوسف إسماعيل |
| مساعد رئيس التحرير | أ.د/ عادل محمد شاويش |
| السادة أعضاء هيئة التحرير | أ.د/ عبد الله سيدي ولد محمد أبنو |
| | د/ سالم خلف بن عبد العزيز |
| | د/ محمد فتح الله محمد النتيقة |
| | د/ طوفان سطاتم حسن البياتي |
| | د/ سهام بنت صالح سليمان العلولا |
| | د/ محمود فوزي محمود فرج |
| سكرتير التحرير | د/ صابر عبد السلام أحمد محمد |
| | د/ صلاح محمد صلاح دياب |

<https://mkgc.journals.ekb.eg/> موقع المجلة على بنك المعرفة المصري:

الترقيم الدولي الموحد للطباعة: ٢٣٥٧-٠٠٩١
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني: ٢٧٣٥-٥٢٨٤

تتكون هيئة تحكيم إصدارات المجلة من السادة الأساتذة المحكمين من داخل وخارج اللجنة العلمية الدائمة لترقية الأساتذة والأساتذة المساعدين في جميع التخصصات الجغرافية

بحث:

النزعة الزمانية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة خلال العام

الهيدرولوجي في وسط المملكة العربية السعودية خلال الفترة ١٩٩١-٢٠٢٢م

إعداد الباحثة/ جهان عبد القادر الخليف *

* طالبة دراسات عليا بقسم الجغرافيا - كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية - جامعة الملك سعود

ملخص البحث:

يؤثر هطول الأمطار وتوزيعه بشكل كبير على الموارد المائية المتجددة، والأنظمة الإيكولوجية، والتنمية المستدامة بشكل عام في المملكة العربية السعودية؛ نظراً لأن مؤشرات هطول الأمطار المتطرفة المرتبطة بالتغير المناخي ترتبط بآثار ضارة؛ لذلك تهدف الدراسة الحالية إلى تحديد النزعة الزمانية ودلالاتها الإحصائية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار المتطرفة في الأيام الرطبة ضمن المؤشرات المناخية (Climate indices)، وتم حساب هذا المؤشر انطلاقاً من البيانات اليومية لهطول الأمطار في وسط المملكة العربية السعودية لخمس محطات خلال الفترة من 1990 إلى 2022م، باستخدام حزمة برنامج ClimPACT2 (v1.3.0) لفحص جودة البيانات وإيجاد قيم المؤشر، كما استخدمت الدراسة أيضاً حزمة لغة البايثون لحساب الاحصائيات الوصفية والنزعة الزمانية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT) خلال العام الهيدرولوجي في محطات الدراسة؛ إذ يشكل هذا المؤشر أحد الطرق لوصف تكرار، وشدة، ومدة الظواهر المناخية المتطرفة.

وأظهرت نتائج الدراسة أنه لا توجد نزعة زمانية في مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة المتتالية (PRCPTOT)، إلا أن المؤشر أظهر اتجاهًا خطياً نحو التناقص في هطول الأمطار ذي دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة (0.025) في كل من محطة حائل، ومحطة القصيم، وتستدعي حقيقة أن مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة المتتالية يتناقص بمعدل عالٍ جداً، إعادة نظر صناعات القرار في السياسات والاستراتيجيات في مواجهة تأثير التغير المناخي في المستقبل، فالأمر يتطلب وضع سياسات مناسبة مرتبطة بأطر التكيف (Adaption) مع التغيرات المناخية، وأطر التخفيف (Mitigation) من آثارها المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، مؤشرات الأمطار المتطرفة، مؤشر إجمالي هطول الأمطار في الأيام الرطبة المتتالية، المملكة العربية السعودية.

١ - مدخل الدراسة:

١-١ - المقدمة:

يُعد التغير المناخي (Climate change) أحد أبرز القضايا الجغرافية المناخية المعاصرة التي تواجه الإنسان في القرن الحادي والعشرين، والذي يؤدي بدوره إلى تغيرات في الظواهر المناخية المتطرفة، وخاصة إحداث موجات الحر، وهطول الأمطار المتطرفة من حيث تكرارها، وشدتها، ومدتها، ويتوقع أيضاً حدوث تغييرات أكثر وضوحاً في موجات الحر، وهطول الأمطار الغزيرة، والفيضانات، وحالات الجفاف الشديد (IPCC,2021).

إن تغير المناخ أمر يحدث الآن وسيستمر في المستقبل المنظور، "ويعد الاحترار العالمي (Global Warming) أمراً حتمياً قادماً، ومنذ الخمسينيات من القرن الماضي، فإن عدداً من التغييرات الملحوظة لم يسبق لها مثيل على مدى عقود إلى آلاف السنين، حيث ارتفعت درجة حرارة الغلاف الجوي، والمحيطات، وتقلصت كميات الثلج والجليد، وارتفع مستوى سطح البحر، وزادت تركيزات غازات الاحتباس الحراري (IPCC,2013).

تشهد الكرة الأرضية منذ القرن الماضي احتراراً عالمياً؛ إذ ارتفع متوسط الحرارة عالمياً خلال العقود الأربعة الأخيرة (١٩٨٠-٢٠٢٠) بمقدار ٠.٩٩ درجة مئوية خلال العقدين الماضيين مقارنة بالفترة المرجعية (١٨٥٠-١٩٠٠) (IPCC,2021).

ويؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تغيرات في عناصر المناخ الأخرى خاصة الأمطار، فعلى مستوى الكرة الأرضية يؤدي الاحترار العالمي إلى زيادة الأمطار؛ لأنه يزيد من قدرة الهواء الاستيعابية لبخار الماء، حيث تزداد قدرة الهواء على الاحتفاظ بالماء بنسبة ٧٪ تقريباً لكل ارتفاع درجة حرارة واحدة (Trenberth,2011) هذا على المستوى العالمي لكنه لا ينطبق على كل الأقاليم المناخية، فهناك بعض الأقاليم التي تتناقص فيها الأمطار مع الاحترار العالمي مثل إقليم حوض البحر المتوسط، والمناطق الصحراوية المدارية، وأقاليم أخرى رطبة تتزايد فيها الأمطار بشكل ملحوظ فيما يعرف في أدبيات الموضوع بمتلازمة الغني يزداد غنى، والفقير يزداد فقراً (The rich get richer and the poor get poorer) (Trenberth, 2011).

إن أكثر من ثلث أراضي العالم عبارة عن أراضٍ جافة (أي قاحلة بشدة، وقاحلة، وشبه قاحلة، وجافة شبه رطبة) وهي أكثر عرضة لخطر تأثيرات تغير المناخ ويمكن أن يكون للاتجاهات الزمنية في هطول الأمطار بسبب تغير المناخ آثار مدمرة على النظم البيئية، والتنمية الاجتماعية، والاقتصادية (Rosenzweig and Parry 1994; Parry et al. 2004; Rosenzweig et al. 2007; Trenberth et al. 2009; IPCC 2012, 20140 ;Alsaaran & Alghamdi, 2021). ونظراً للطبيعة غير الخطية للنظام المناخي، فإن مدى وشدة تأثيرات تغير المناخ تعتمد

على الظروف الأولية للنظام (أي حالة النظام قبل التغيير)، واتجاه التغيير (زيادة أو نقصان)، ومعدل التغيير المناخي (Alsaaran & Alghamdi, 2021).

من المتوقع أن تكون أحداث الهطول المتطرفة أكثر شدة، ومتكررة، وطويلة الأمد في جميع المناطق، مع توقع حدوث تغييرات أكثر وضوحًا في هطول الأمطار الغزيرة، وحالات الجفاف الشديد، وعادة ما تتسبب الأحداث المتطرفة في خسائر اقتصادية، واجتماعية عديدة؛ لذلك تعد دراسة الأحداث المتطرفة، والمعرفة التفصيلية، والتحقيق في تغيراتها المستقبلية يمثل عنصراً أساسياً للإدارة السليمة بيئياً، والتوقعات المستقبلية؛ لارتباطه بسياسات التكيف، والتخفيف من آثار تغير المناخ.

تلقت المؤشرات المتطرفة اهتماماً كبيراً في العقدين الماضيين، وعلى الرغم من أن المطر مفيد للإنسانية، والبيئة، والعمليات الهيدرولوجية، فالحالات المتطرفة المتكررة للأمطار المرتبطة بالتغير المناخي ترتبط بآثار ضارة على الموارد المائية، والأنظمة الإيكولوجية، وحوادث الفيضانات، والأعمال الهندسية، والمشاريع التنموية.

ولدراسة الظواهر المناخية المتطرفة، قام فريق الخبراء المعني بالكشف ومراقبة تغير المناخ ومؤشراته (ETCCCDMI) Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices برعاية لجنة علم المناخ (CCI) The Commission for Climatology التابعة للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية ومشروع تقلب المناخ وإمكانية التنبؤ به The World Meteorological Organization and the Climate (CLIVAR) Variability and Predictability Project، بتطوير ٢٧ مؤشراً للأرصاد الجوية المتطرفة المرتبطة بالظواهر المناخية المتطرفة لهطول الأمطار ودرجة الحرارة (Peterson et al., 2001). وتشكل هذه المؤشرات دليلاً منهجياً مقبولاً عالمياً لتحليل تغير المناخ، وقد تم استخدامها على المستويين الإقليمي والعالمي في دراسات مختلفة متعلقة بأحداث الأرصاد الجوية المتطرفة Zhang (et al., 2005; Vincent et al., 2005; Haylock et al., 2006).

١-٢- مشكلة الدراسة وأهميتها:

تحظى قضية تغير المناخ باهتمام كبير على جميع المستويات؛ لذلك أصبح تقييم الظواهر المناخية المتطرفة لا سيما من حيث تكرارها، وشدها، ومدتها، ونزعتها الزمانية، مسألة ذات أهمية كبيرة في ضوء المناخ المستقبلي الذي يتسم بارتفاع درجات الحرارة، وتغييرات في شدة، وحجم، وتواتر أحداث الظواهر المناخية المتطرفة، ولا سيما مؤشرات الأمطار المتطرفة، والتي تؤدي إلى التأثير على الأنظمة الإيكولوجية، والموارد المائية، ومخاطر الفيضانات، ومشاريع التنمية المستدامة في وسط المملكة العربية السعودية.

١-٣- أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد اتجاه ومقدار النزعة الزمانية، ودلالاتها الإحصائية في أحد مؤشرات هطول الأمطار المتطرفة، وهو مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT)، في خمس محطات أرصاد جوية في وسط المملكة العربية السعودية خلال العام الهيدرولوجي من ١٩٩١ إلى ٢٠٢٢م؛ إذ يتم تحديد الاتجاهات المهمة ذات الدلالة الإحصائية لهذا المؤشر عند مستوى الدلالة (0.025)، وذلك في عدة محطات في وسط المملكة العربية السعودية، وهي: محطة حائل، ومحطة القصيم، ومحطات الرياض (محطة مطار الملك خالد الدولي، ومحطة المطار القديم)، ومحطة وادي الدواسر، بناءً على الأمطار اليومية المقاسة من قبل المركز الوطني للأرصاد للفترة من ١٩٩١-٢٠٢٢م.

١-٤- حدود الدراسة:

١-٤-١- منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في وسط المملكة العربية السعودية، وتعتبر جزءاً من هضبة نجد (الشكل رقم ١)، إذ تحتل منطقة الدراسة نطاقاً يمتد بين درجتي عرض $19^{\circ}19'2''$ ، و $28^{\circ}56'19''$ شمالاً، وخطي طول $39^{\circ}6'23''$ و $21^{\circ}53'18''$ شرقاً ضمن المناخ الصحراوي، وتتشكل منطقة الدراسة إدارياً من إمارة منطقة الرياض، وإمارة منطقة القصيم، وإمارة منطقة حائل الإدارية، ويحدها من الشمال منطقة الحدود الشمالية، ومنطقة الجوف، ومنطقة تبوك، ومن الشرق المنطقة الشرقية، ويحدها من الغرب منطقة المدينة المنورة، ومنطقة مكة المكرمة، ومنطقة عسير، ومن الجنوب منطقة نجران (الشكل رقم ١).



شكل (١): موقع منطقة الدراسة في المملكة العربية السعودية.

١-٤-٢ - المناخ في منطقة الدراسة:

يعد مناخ منطقة الدراسة مناخاً جافاً جداً (hyper-arid) إذ حتم المناخ الصحراوي في شبه الجزيرة العربية وجود منطقة ضد الأعاصير الجائمة عليها بسبب الدورة الهوائية العامة تحديداً خلية هادلي التي يكون الهواء فيها هابطاً إلى أسفل، وتسخينه بدلاً من تبريده وبالتالي أدت إلى عدم سقوط الأمطار (Alsaaran & Alghamdi, 2021)). ولكن هناك بعض الاستثناءات التي قد تحصل وينشأ عنها الأمطار، ومنها تأثر وسط المملكة بالمنخفضات الجوية المحيطة المحلية والإقليمية التي تنشأ حول شبه الجزيرة العربية، مثل منخفض شرق إفريقيا، ومنخفض البحر الأحمر الذي يمتد تأثيره ويصيب وسط المملكة العربية السعودية خلال فصل الربيع، ومواسم الخريف بسبب نشاطه، وأيضاً تزحزح كتلة ضد الأعاصير الجائمة على شبه الجزيرة العربية (Krichak et al. 2012; de Vries et al. 2013, 2016; Dasari et al. 2018; (Alsaaran & Alghamdi, 2021 منطقة نجد، وعسير، وشمال شرق الجزيرة منه، فالعامل الأساسي في جلب الأمطار هو منخفض البحر الأحمر (RST) Red sea Trough الذي يمثل امتداداً لمنخفض شرق إفريقيا (Alsaaran & Alghamdi, 2021).

ومن أهم خصائص الأمطار في المملكة اختلافها زمنياً، ومكانياً، وكمياً؛ إذ تبين من خلال فترة الدراسة الحالية (1990-2022) أن متوسط كمية الأمطار السنوية 117.60 ملم في محطة القصيم، وتليها محطة مطار الملك خالد الدولي في الرياض إذ يناهز متوسط كمية أمطارها السنوية 102.92 ملم، كما بلغ المتوسط السنوي للأمطار في محطة المطار القديم في الرياض 97.26 ملم، بينما تقل متوسطات كمية الأمطار في محطتي حائل، ومحطة وادي الدواسر (77.82 و 25.15 ملم) على التوالي خلال فترة الدراسة. ونظراً لتأثر الأمطار بالظروف الجغرافية المحلية فإنها قد تأتي على شكل عواصف مطرية فجائية، وينتج عنها أحياناً بعض الكوارث، وعلى سبيل المثال سجلت محطة الأرصاد في المطار القديم في الرياض عام 1992م نحو 66.3 ملم؛ بينما سجلت محطة مطار الملك خالد الدولي في الرياض في العام نفسه نحو 150.8 ملم بالرغم من المسافة القصيرة الفاصلة بين هاتين المحطتين.

٢- أدبيات الدراسة:

تم إجراء عدد من الدراسات في جميع أنحاء العالم فيما يتعلق بدراسة مؤشرات الأمطار المتطرفة في الأقاليم المختلفة من العالم خاصة في الدول المتقدمة، إلا أن معظم الدراسات المناخية التي أجريت في الأقاليم المحلية اقتصرت على الوصف المناخي للأمطار، وهناك دراسات قليلة جداً التي تناولت دراسة مؤشرات الأمطار المتطرفة، ودلالاتها على مستوى المملكة العربية السعودية (الهميمي، ٢٠٢٣).

درس براون وآخرون (Brown et al., 2010) عشرة مؤشرات لهطول الأمطار في 40 محطة أرصاد جوية في شمال شرق الولايات المتحدة. ووجدوا اتجاهات بزيادة كبيرة في كثافة وكمية هطول الأمطار لذلك أكد الباحثون أن المنطقة أظهرت ميلاً نحو ظروف أكثر رطوبة؛ بسبب الانتشار الكبير للاتجاهات الإيجابية المهمة المرتبطة بمؤشرات هطول الأمطار.

وبالمثل نظر بوت وآخرون (Boot et al., 2012) في أربعة مؤشرات لهطول الأمطار في دراسة لتغير المناخ في غرب أمريكا الشمالية خلال الفترة 1950-2005، وفي أجزاء كثيرة من الإقليم، وجدوا زيادة معتدلة في كمية وكثافة هطول الأمطار، وعلقوا بأن اتجاهات هطول الأمطار الأقوى حدثت في المناطق ذات المناخ الذي تسيطر عليه الكتل الهوائية القادمة من خليج المكسيك.

وكذلك فحص إنسيف وآخرون (Insaf et al., 2013) الاتجاهات في أحد عشر مؤشراً لهطول الأمطار في ولاية نيويورك في الفترة 1984-2008، وأشاروا إلى أن عدد الأيام التي شهدت هطول أمطار غزيرة، وعدد الأيام الرطبة المتتالية، وإجمالي هطول الأمطار في اليوم الرطب، ومؤشر الكثافة اليومية البسيط كانت هي المؤشرات التي أظهرت أعلى الاتجاهات الإيجابية المعنوية.

قام كل من باول وكيم (Powell and Keim, 2015) بدراسة الاتجاه السائد في هطول الأمطار المتطرفة في جنوب شرق الولايات المتحدة خلال الفترة 1948-2012، اذ وجدوا زيادة كبيرة في شدة وحجم الهطول الشديد باستثناء تلك المواقع الواقعة شرقاً، كما أظهروا أن الخريف أصبح أكثر رطوبة بشكل ملحوظ، في حين أصبح الربيع والصيف أكثر جفافاً.

وبالمثل استخدم زاندونادي وآخرون (Zandonadi et al., 2015) أحد عشر مؤشراً لهطول الأمطار المتطرفة ETCCDMI في دراسة لتباين هطول الأمطار في البرازيل خلال الفترة 1986-2011، ولاحظوا زيادة في إجمالي هطول الأمطار في جميع محطات الأرصاد الجوية تقريباً، وأرجعوا ذلك إلى هطول الأمطار الشديد. كذلك ارتبطت الزيادة في إجمالي هطول الأمطار السنوي بارتفاع معدلات هطول الأمطار الغزيرة، وكذلك بأعلى هطول للأمطار والذي تجاوز 10 ملم في شمال ووسط المنطقة. وأضافوا أيضاً أن الاتجاه الإيجابي لهطول الأمطار يمكن أن يسبب فيضانات مما يشير إلى ضرورة تنفيذ التخطيط الحضري بشكل أكثر كفاءة في المستقبل.

على المستوى المحلي درس المزروعي (Almazroui, 2020) اتجاهات هطول الأمطار، والظواهر المناخية المتطرفة المرتبطة بها، وتضمنت دراسته تحليل التغيرات في متوسط هطول الأمطار الشديدة في خمس نطاقات مناخية متميزة داخل المملكة العربية السعودية، تم تحديد معايير هطول الأمطار من خلال تقييم الخصائص المتطرفة المرتبطة بتكرار هطول الأمطار، وكثافة هطول الأمطار اليومية. أشارت النتائج إلى انخفاض قدره ٥.٨٩ ملم في متوسط هطول الأمطار السنوي خلال العقد الأول، على الرغم من الاختلافات على المستوى الشهري، أظهر العقد الأخير زيادة قدرها ٥.٤٤ ملم. وقد لوحظت الزيادة الأكبر في نوفمبر، في حين لوحظ أكبر انخفاض قدره ١.٢٠ ملم/عقد في يناير خلال الفترة الممتدة من ١٩٧٨ إلى ٢٠١٩. ومع ذلك، لم يشمل التحليل مؤشرات هطول الأمطار المتطرفة.

كذلك بحث السعران والغامدي (Alsaraan&Alghamdi, 2021) في الاتجاهات الزمانية المكانية لهطول الأمطار في شبه الجزيرة العربية خلال الفترة من عام ١٩٨٠ إلى عام ٢٠١٩، وأظهرت نتائج الدراسة أن متوسط هطول الأمطار تتجه اتجاه سلبياً بالتناقص، حيث هناك تناقص في كميات الأمطار خلال فصلي الشتاء والربيع على مستوى شبه الجزيرة العربية، وفي المقابل هناك تزايد في كميات الأمطار خلال فصلي الصيف والخريف على مستوى شبه الجزيرة العربية، كما أشارت الدراسة إلى أن الزيادة لم تكن ذات دلالة إحصائية في جميع نطاقات شبه الجزيرة العربية ما عدا الأطراف الجنوبية لها.

كما فحصت الهيممي (٢٠٢٣) النزعة الزمانية ودلالاتها الإحصائية في مؤشرات الأمطار المتطرفة في مدينة المدينة المنورة، وذلك باستخدام أربعة مؤشرات للتطرف المناخي خلال الفترة 1985-2021، إذ اشتملت على مؤشر الحد الأقصى لهطول الأمطار في يوم واحد خلال العام، ومؤشر الحد الأقصى لهطول الأمطار لمدة 5 أيام متتالية خلال العام، ومؤشر الأيام الرطبة المتتالية خلال العام، ومؤشر إجمالي التساقط السنوي في الأيام المطيرة، وقامت بحساب النزعة الزمانية في مؤشرات الأمطار المتطرفة باستخدام معادلة الانحدار الخطي، وأظهرت نتائج الدراسة أن جميع مؤشرات الأمطار المدروسة تشهد نزعة زمانية سالبة ليست ذات دلالة إحصائية عند مستوى 0,05 ما عدا مؤشر إجمالي التساقط السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT) ومؤشر الأيام الرطبة المتتالية خلال العام (CWD)، وخلصت الدراسة إلى أن مؤشر إجمالي التساقط السنوي PRCPTOT يتناقص بمعدل عالٍ جداً قدره 1188 مم/عقد، وأوصت الدراسة باستخدام قيم مؤشر الحد الأقصى لهطول الأمطار خلال يوم واحد (RX1day) باستخدام أساليب التحليل التكراري التي تقترض عدم وجود نزعة زمانية في تقدير العواصف المطرية التصميمية بموثوقية عالية لفترات الرجوع المطلوبة في المدينة المنورة حتى في ظل الاحترار العالمي.

على الرغم من أهمية دراسة مقدار النزعة الزمانية ودلالاتها الإحصائية في مؤشرات الأمطار لارتباطها بالتغيرات المناخية وأثارها المستقبلية المباشرة على الموارد المائية، والأنظمة الإيكولوجية، والتنمية الحضرية، إلا أنه من الواضح أن هناك عدد قليل من الدراسات المناخية المحلية التي تناولت موضوع دراسة مؤشرات الأمطار المتطرفة في منطقة وسط المملكة العربية السعودية.

٣- منهجية الدراسة وأساليبها:

٣-١- البيانات المستخدمة في الدراسة:

تم الاعتماد على بيانات محطات رصد الأمطار اليومية لمحطة حائل، ومحطة القصيم، ومحطتي الرياض (محطة مطار الملك خالد الدولي، ومحطة المطار القديم)، ومحطة وادي الدواسر، الممثلة لإقليم وسط المملكة من المركز الوطني للأرصاد لفترة من 1990 إلى 2022م، ما عدا محطة المطار القديم الذي توقف الرصد فيها عام 2011م، (المركز الوطني للأرصاد، 2023) (الجدول رقم 1) و(الشكل رقم ٢) الذي يبين توزيع محطات الدراسة.

جدول (١): المحطات المناخية في وسط المملكة العربية السعودية المستخدمة بالدراسة.

| المحطة | رقم المحطة | دائرة العرض | خط الطول | الارتفاع (م) | فترة التسجيل |
|-----------------------------|------------|-------------|----------|--------------|--------------|
| حائل | ٤٠٣٩٤ | ٢٧°٢٦' | ٤١°٤١' | ١٠٠١,٥٢ | ١٩٩٠-٢٠٢٢ |
| القصيم | ٤٠٤٠٥ | ٢٦°١٨' | ٤٣°٤٦' | ٦٤٦,٧١ | ١٩٩٠-٢٠٢٢ |
| محطة مطار الملك خالد الدولي | ٤٠٤٣٧ | ٢٤°٥٥' | ٤٦°٤٣' | ٦١٣,٥٥ | ١٩٩٠-٢٠٢٢ |
| محطة المطار القديم | ٤٠٤٣٨ | ٢٤°٥٤' | ٤٦°٤٤' | ٦١٩,٦٣ | ١٩٩٠-٢٠١١ |
| وادي الدواسر | ٤١٠٦١ | ٢٠°٣٠' | ٤٥°١٣' | ٦٢٢ | ١٩٩٠-٢٠٢٢ |

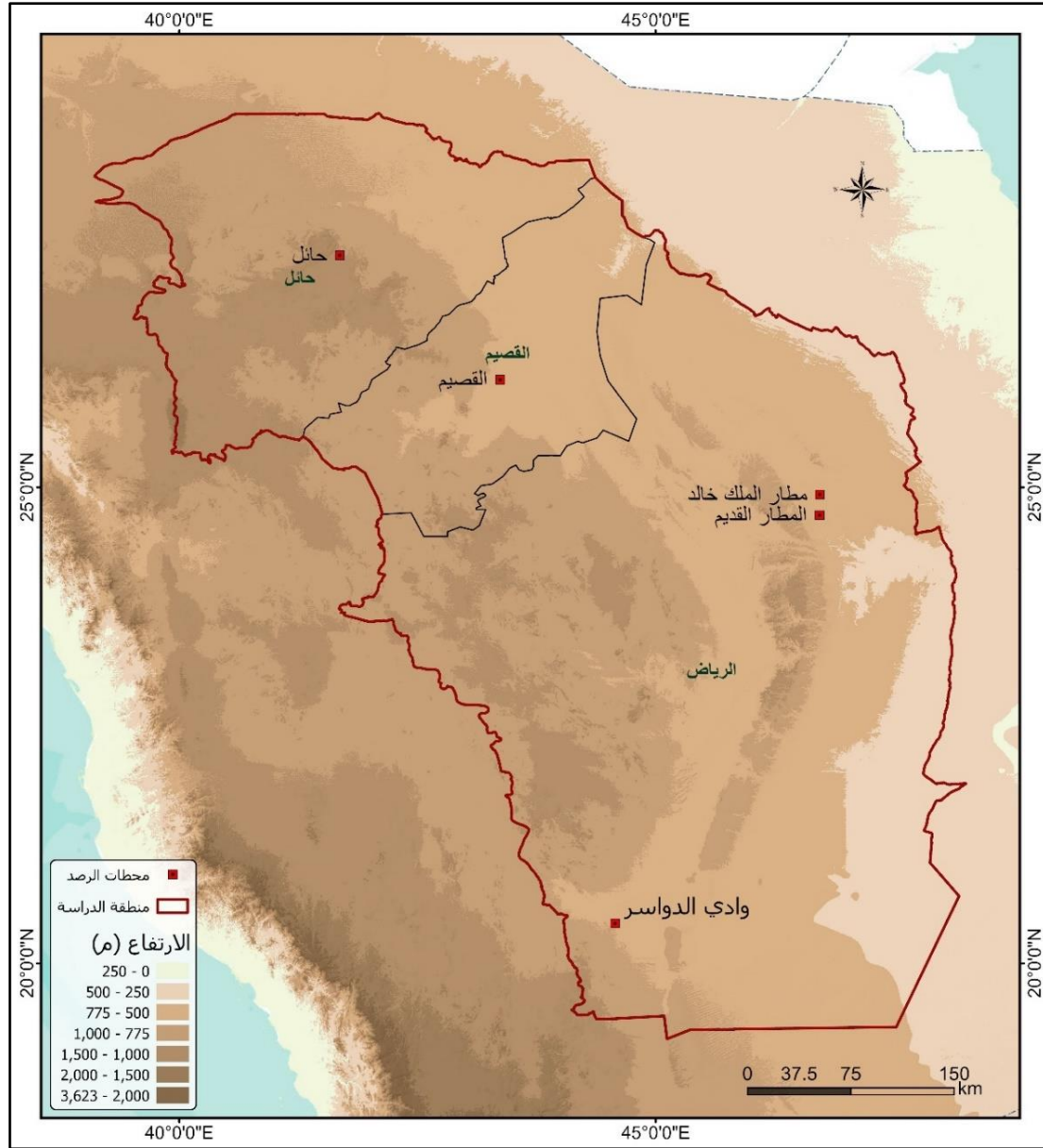
*المصدر: المركز الوطني للأرصاد

في هذه الدراسة تم إجراء الفحص الإحصائي لجودة بيانات الأمطار اليومية للعام الهيدرولوجي، وحساب مؤشر الأمطار السنوية للأمطار اليومية، والخصائص الإحصائية، والنزعة الزمانية، ودلالاتها الإحصائية للمؤشر في جميع محطات الدراسة خلال 32 عاماً باستخدام برامج وأساليب إحصائية متنوعة؛ إذ تم حساب مؤشر الأمطار اليومية المتطرفة (PRCPTOT) المقترح من قبل فريق الخبراء المعني بالكشف عن تغير المناخ ومؤشراته (ET-SCI)، واستخدمت الدراسة حزمة برنامج ClimPACT2 (v1.3.0) لفحص جودة البيانات، وحساب مؤشر هطول الأمطار اليومية المتطرفة، كذلك استخدمت الدراسة حزمة لغة البايثون لحساب الإحصائيات الوصفية، والنزعة الزمانية، ودلالاتها الإحصائية لمؤشر الأمطار المتطرفة (PRCPTOT).

يوفر برنامج ClimPACT2 واجهة لحساب المؤشرات المتعلقة بتغير المناخ، كما يقوم بحساب 27 مؤشراً للتطرف المناخي بما فيها تطرف درجات الحرارة، وكميات الأمطار. وفي هذه الدراسة تم حساب مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT)، وتم اختيار منطقة الدراسة بناءً على أساس الحدود المناخية المتشابهة، جنباً إلى جنب مع الحدود الإدارية، ومحطات الرصد المناخية المتوفرة في منطقة الدراسة.

٣-٢- التحويل إلى السنة الهيدرولوجية (Hydrological year):

العام الهيدرولوجي (Hydrological year) هو مصطلح مائي شائع الاستخدام في الهيدرولوجيا لوصف فترة زمنية مدتها 12 شهراً تقاس فيها مجاميع التهاطل المرتبطة بالدورة السنوية للتطور الطبيعي للمواسم الهيدرولوجية، وتبدأ من 1 أكتوبر لأي سنة معينة حتى 30 سبتمبر من العام التالي في المملكة العربية السعودية، وكمثال العام الهيدرولوجي هو كالتالي للعام الأول (1990/10/1 إلى 1991/9/30) ويسمى العام الهيدرولوجي 1991، والعام الثاني (1991/10/1 إلى 1992/9/30) ويسمى العام الهيدرولوجي 1992 وهكذا؛ إذ يتم تحديد السنة المائبة بالسنة التقويمية التي تنتهي فيها، والتي تشمل (9 أشهر من الـ 12 شهراً، USGS, 2016)



شكل (٢): التوزيع الجغرافي لمحطات الرصد المناخي في منطقة الدراسة.

٣-٣- التحقق من جودة البيانات المستخدمة في الدراسة:

تم فحص جودة بيانات الأمطار اليومية للعام الهيدرولوجي (Hydrological year) باستخدام برنامج ClimPACT2 الذي تم تطويره من قبل فريق الخبراء المعني بالكشف ومراقبة تغير المناخ ومؤشراته (ETCCCDMI) the Expert Team on Climate Change (ET-SCI: Sector-specific Climate) Detection Monitoring and Indices (Indices) (Zhang and Yang, 2004)؛ إذ تم التأكد من سلامتها، وخلوها من الأخطاء مثل التقريب المتحيز، والهطول السلبي، والبيانات المفقودة، والبيانات المكررة، والقيم المتطرفة، وتم إجراء الفحص عن طريق الإجراءات التالية:

أ- تم إجراء فحص دقيق للبيانات للتأكد من خلوها من القيم السالبة للأمطار في كافة محطات الدراسة.

ب- تم فحص وجود القيم المفقودة في قاعدة البيانات للأمطار اليومية في كافة محطات الدراسة.
ت- تم فحص البيانات المكررة، والذي يساعد على تحديد البيانات المكررة، أو التي تظهر أكثر من مرة في قاعدة البيانات، وتم التأكد من خلوها من البيانات المكررة لقيم هطول الأمطار في كافة محطات الدراسة.

ث- تم فحص القيم المتطرفة بناءً على النطاق بين الربيعي (IQR) Interquartile Range ، يتم تعريف IQR على أنه الفرق بين الربع الثالث (p75) 75th percentile والربع الأول 25th percentile (p25) كما يلي (Zhang and Yang, 2004):

$$IQR = Q_3 - Q_1$$

حيث إن:

$$Q_1 = \text{الربع الأول للأمطار اليومية (ملم)}$$

$$Q_3 = \text{الربع الثالث للأمطار اليومية (ملم)}$$

وحددت القيم المتطرفة لقيم الأمطار اليومية التي تزيد على قيمة الربع الثالث للأمطار اليومية في المحطة مضاف إليها ٥ اضعاف قيمة IQR، أو التي تقل قيمتها عن الربع الأول مطروح منه ٥ اضعاف قيمة IQR (Zhang and Yang, 2004).

٣-٤ - حساب الإحصائيات الوصفية والنزعة الزمانية ودلالاتها الإحصائية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT):

تم حساب الإحصائيات الوصفية، والنزعة الزمانية ودلالاتها الإحصائية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT) خلال 32 عاماً لجميع محطات الدراسة باستخدام حزمة لغة البرمجة بايثون (Python).

٣-٤-١ - حساب مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة خلال العام الهيدرولوجي (PRCPTOT) (Annual total precipitation on wet days)

يُعتبر PRCPTOT مؤشراً مهماً في دراسات المناخ والأرصاد الجوية، حيث يُستخدم في تحليل نمط الهطول على مدى الزمن، وفهم الانحرافات والتغيرات في كمية الأمطار مع مرور الوقت. كما يُستخدم هذا المؤشر في تقدير معدلات الهطول السنوية والموسمية، وتحديد الفترات الجافة والرطبة، وتقييم تأثيرات التغيرات المناخية على نمط الهطول. يمكن استخدام مؤشر "PRCPTOT"

لتحليل تأثيرات تغير المناخ على إجمالي كميات الهطول على مدى السنوات، وتحديد الاتجاهات طويلة الأمد في الهطول، ويعتبر المؤشر أداة مهمة في تحليل وفهم أنماط الأمطار وتغيراتها على مدى الزمن، ويمكن أيضًا استخدامه في تقدير التغيرات المتوقعة في كميات الأمطار في المستقبل وتقديم التوقعات المناخية، مما يساعد في فهم التغيرات المناخية وتطوير استراتيجيات التكيف وإدارة المخاطر (Zhang and Yang, 2004).

ويستخدم مؤشر PRCPTOT بشكل واسع في توفير المعلومات لقطاعات الزراعة والأمن الغذائي (Agriculture and food security) والموارد المائية والأمن الغذائي (Water resources and food security) والغابات والغازات الدفيئة (Forestry/GHGs). تم إيجاد مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة (Annual total (PRCPTOT) precipitation on wet days) خلال العام الهيدرولوجي، كما يلي: -

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

حيث إن:

$PRCPTOT_j$ = مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الممطرة خلال العام الهيدرولوجي j

RR_{ij} = مقدار الأمطار الساقطة خلال الأيام الممطرة خلال العام الهيدرولوجي j

٣-٤-٢ - حساب النزعة الزمانية ودلالاتها الإحصائية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT) في جميع محطات الدراسة:

المؤشرات المتعلقة بهطول الأمطار المتطرفة هي مقاييس يستخدمها علماء المناخ والأرصاد الجوية لتوفير معلومات قيمة لتقييم حدوث وشدة الأحداث الغزيرة للهطول، ولدراسة التأثيرات المحتملة لتغير المناخ على أنماط الهطول. وتساعد هذه المؤشرات في فهم التغيرات في أنماط الهطول مع مرور الوقت، وتأثيرها المحتمل على البيئة، والبنية التحتية والمجتمع. كذلك تُستخدم هذه المؤشرات في البحوث المناخية، وتقييم المخاطر، وتطوير استراتيجيات التكيف للتعامل مع الظواهر الجوية الشديدة.

تم إيجاد مؤشر هطول الأمطار المتطرفة (مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة باستخدام برنامج ClimPACT2، المقترح من قبل فريق الخبراء المعني بالكشف عن تغير المناخ ومؤشراته (ET-SCI) (Zhang and Yang, 2004)، وبعد الحصول على قيم المؤشر لكل محطة، تم إخضاع السلاسل الزمنية الناتجة للتحليل الإحصائي لفحص الثبات (Stationarity)

لتحديد وجود، أو عدم نزعة زمانية في مؤشر الأمطار المتطرفة (PRCPTOT) خلال العام الهيدرولوجي باستخدام معادلة الانحدار الخطي البسيط Simple linear regression وتحديد أهميتها الإحصائية كما يلي:

ويفحص الثبات بحساب مستوى الدلالة لمعامل الانحدار (b) كما في المعادلة التالية:

$$PRCPTOT = a + bj$$

حيث إن:

PRCPTOT : مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة

a: ثابت الانحدار

b: معامل الانحدار (الميل)

j: العام الهيدرولوجي.

وتنص فرضية العدم Null Hypothesis على أنه لا توجد نزعة زمانية لقيم الحد الأقصى لهطول الأمطار اليومية (PRCPTOT) خلال فترة الدراسة، وتم اعتماد مستوى الدلالة (وهو مقدار الخطأ المقبول في الحكم على فرضية العدم) بمقدار (0.025).

الاختبارات المعملية تفترض أن توزيع المتغيرات توزيعاً طبيعياً، ونظراً لأن السلاسل الزمنية لهطول الأمطار ليس لها بالضرورة توزيعاً طبيعياً خاصة مؤشرات الأمطار المتطرفة، فإن تقدير اتجاهاتها الزمنية باستخدام طريقة الانحدار الخطي البسيط للمربعات الصغرى البارامترية (المعملية) Ordinary least squares (OLS) لن يكون مناسباً لعدم انطباق بعض افتراضاته، مثل أن توزيع الخطأ (e) موزعاً توزيعاً طبيعياً وليس مرتبطاً ارتباطاً ذاتياً زمنياً (serial auto correlation)، فإذا لم تتحقق هذه الشروط تكون تقديراته غير موثوق فيها، إضافة إلى أن OLS يتأثر كثيراً بالقيم المتطرفة (Alsaraan&Alghamdi,2021; Sen 1968; Zhang et al. 2000, 2005; Alexander et al. 2006).

لذلك غالباً ما تستخدم طريقة Theil–Sen (TS) غير البارامترية (الغير معملية)، والذي يعتمد على إحصائية Kendall tau statistic لتقدير مقدار النزعة الزمانية في السلاسل الزمنية (time series) لأنه لا يشترط التوزيع الطبيعي للمتغير وينطبق بغض النظر عن توزيع المتغير، كما أنه أيضاً لا يتأثر بالقيم المتطرفة في سلسلة البيانات المطرية (Sen,1968; Alexander et al. 2006; (Alsaraan&Alghamdi,2021).

تعتمد تحليلات الاتجاهات الهيدرولوجية والمناخية الحديثة على طريقة TS لتقدير النزعة الزمانية (مقدار معامل الانحدار b) (Zhang et al. 2000, 2005; Yue et al. 2002a, 2002b; Alexander et al. 2006; AlSarmi and Washington 2011; Alsaaran &

(Sen,1968; (TS) الانحدار معامل مقدار يحسب مقدار معامل الانحدار (Alghamdi, 2021) كما في المعادلة التالية:
Alsaraan&Alghamdi,2021)

$$s_0 = \text{median} \left(\frac{\text{PRCPTOT}_k - \text{PRCPTOT}_j}{k - j} \right) \forall j < K$$

حيث إن:

S_0 = معامل الانحدار (TS slope)

j : السنة الهيدرولوجية

k : السنة الهيدرولوجية اللاحقة $j + 1$

على الرغم من توفر الاختبارات الإحصائية البارامترية لاختبار الدلالة الإحصائية للنزعة في السلاسل الزمنية إلا أن اختبار مان كيندال (MK) Mann-Kendall test غير المعلمي هو الأكثر استخداماً لفحص النزعة الزمنية في المتغيرات الهيدرولوجية والمناخية لأنه ليس مقيد بتوزيع إحصائي معين، ومقاوم للبيانات الشاذة (Alexander et al. 2006; (Sen,1968; (Alghamdi,2021) لذا تم استخدامه في هذه الدراسة.

وإحصاء مان كيندال (MK) Mann-Kendall test معطى بالمعادلة التالية (Kendall, 1955).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn} (\text{PRCPTOT}_j - \text{PRCPTOT}_k)$$

حيث إن:

S = إحصاء MK

n : عدد الملاحظات المسجلة في السلسلة الزمنية

(Kendall 1955; Alsaaran & (Alghamdi,2021) معطاة بالمعادلة التالية

$$\text{sgn} (\text{PRCPTOT}_j - \text{PRCPTOT}_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{PRCPTOT}_j > \text{PRCPTOT}_k \\ 0 & \text{if } \text{PRCPTOT}_j = \text{PRCPTOT}_k \\ -1 & \text{if } \text{PRCPTOT}_j < \text{PRCPTOT}_k \end{cases}$$

وعندما تكون السلاسل الزمنية مستقلة يكون توزيع إحصاء مان كيندال (S) متماثل (Symmetrical) وطبيعي (Normal) عندما يكون حجم العينة كبير، وبالتالي يكون متوسطه والتباين معطى بالمعادلتين التاليتين على التوالي (Hamed, 2008):

$$E (S) = 0$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} - \sum_{j=1}^m t_j (t_j - 1) \left(\frac{2t_j + 5}{18} \right)$$

حيث إن:

m = عدد الرتب المتعادلة (tied ranks)

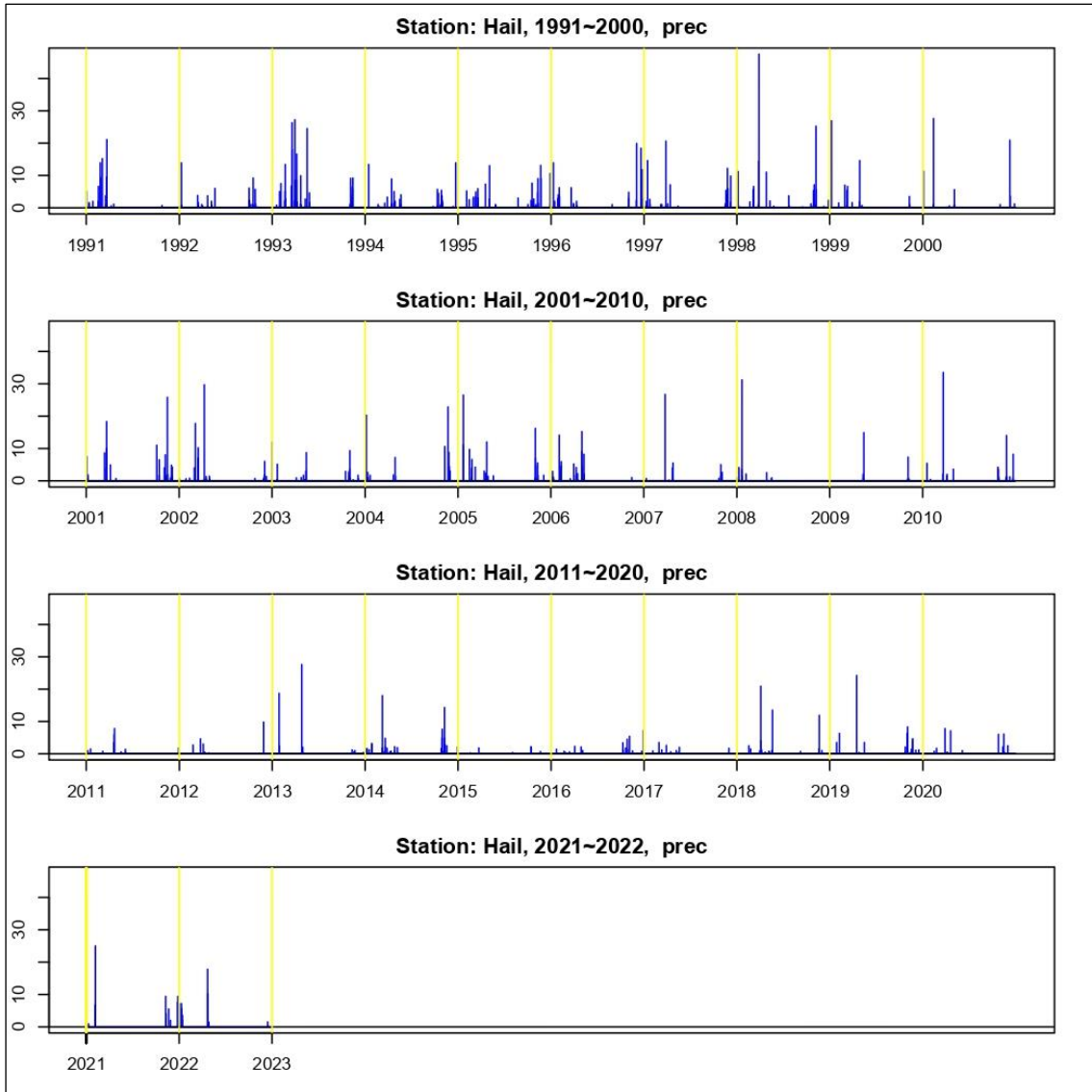
وقد استخدمت حزمة SK Learn في لغة البايثون لحساب النزعة الزمانية ودالاتها الإحصائية في هذا العمل.

٤ - النتائج والمناقشة:

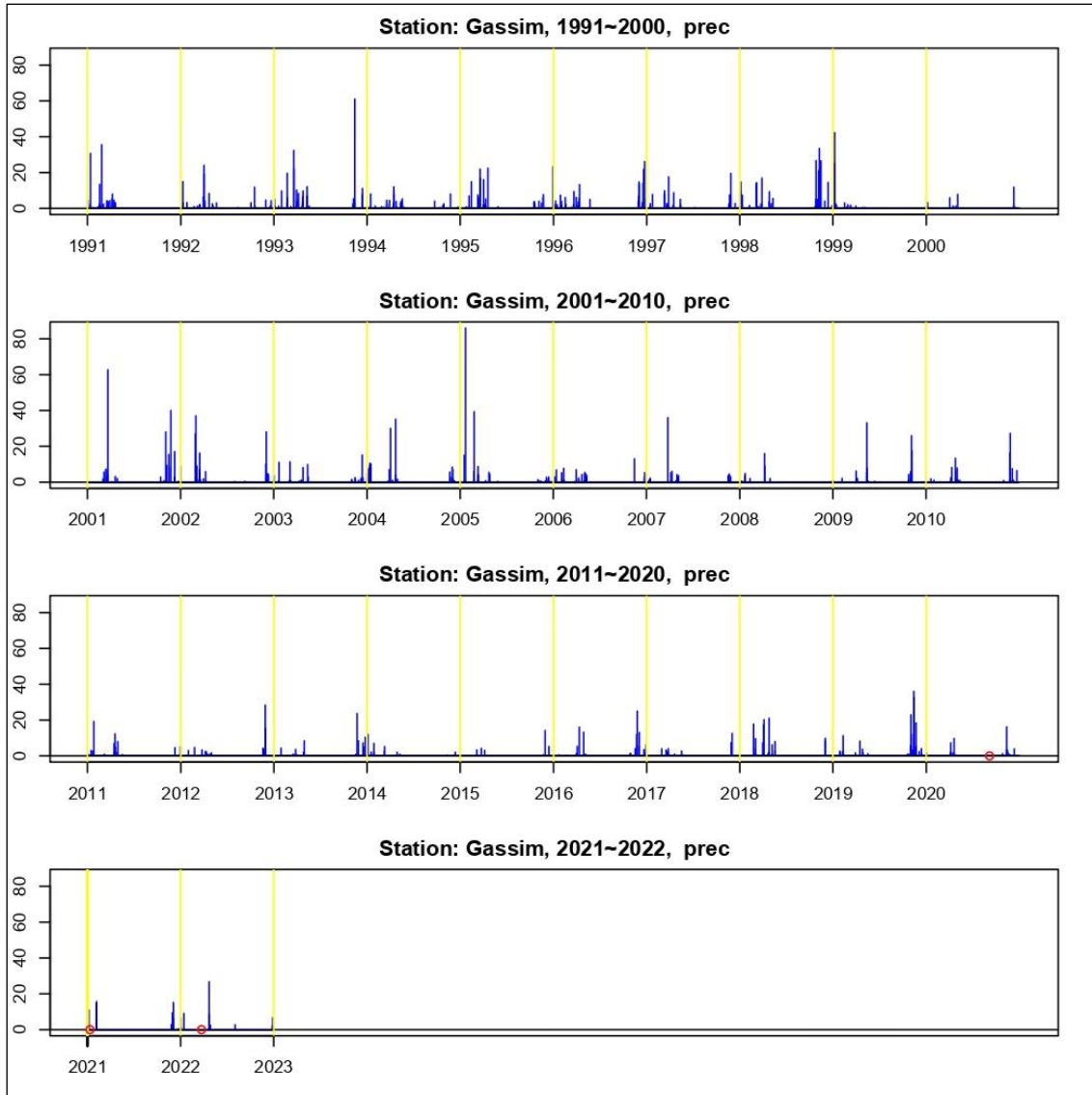
٤-١ - الفحص الإحصائي لجودة بيانات الدراسة:

تم فحص جودة بيانات الأمطار اليومية للعام الهيدرولوجي (Hydrological year)، والتأكد من سلامتها وخلوها من الأخطاء مثل التقريب المتحيز، الهطول السلبي، البيانات المفقودة، البيانات المكررة، والقيم المتطرفة (الأشكال رقم ٣، ٤، ٥، ٦، ٧).

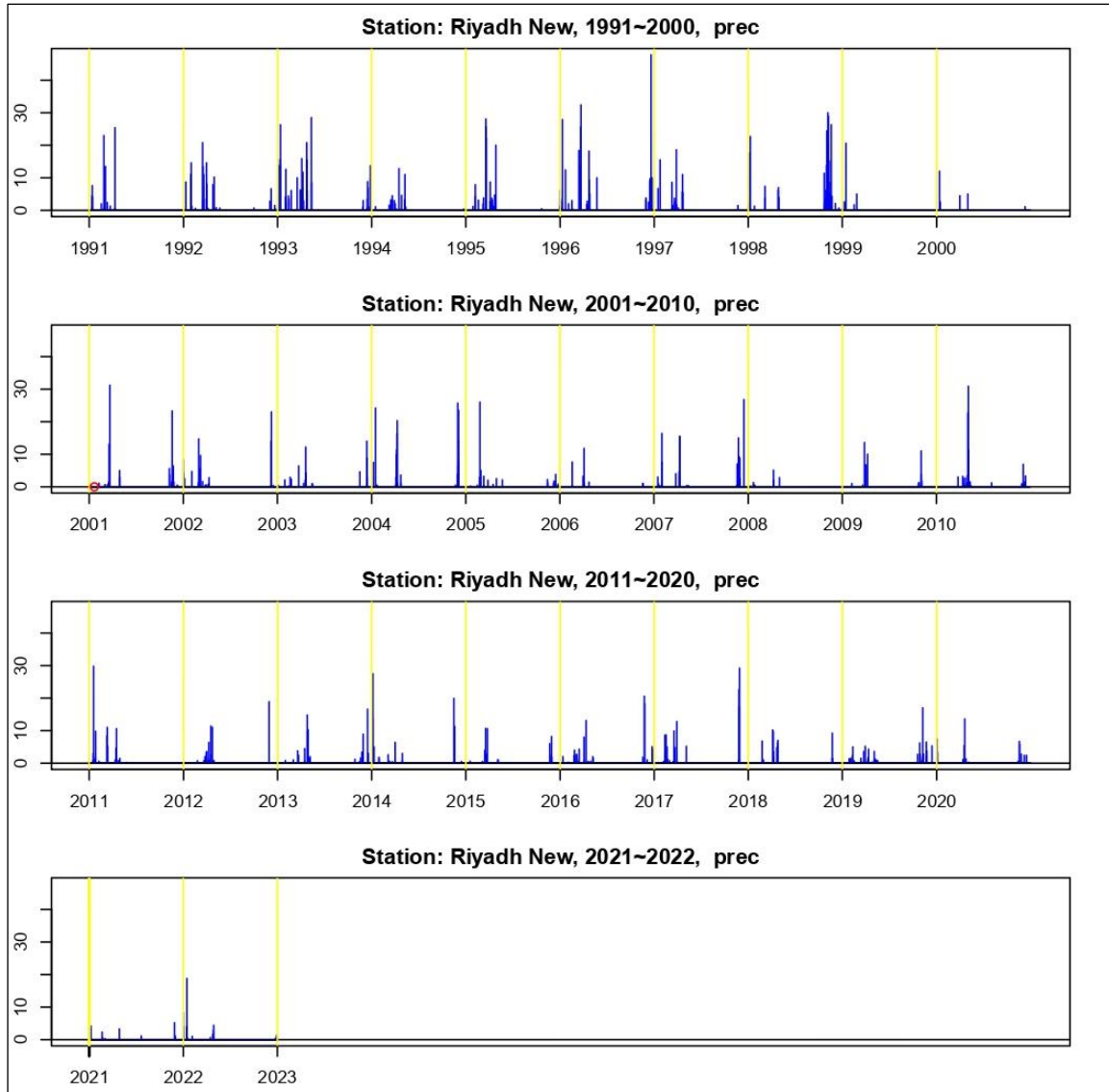
إذ تم التأكد من خلو بيانات الأمطار اليومية للعام الهيدرولوجي (Hydrological year) من القيم السالبة للأمطار في كافة محطات الدراسة. كما تم حل مشكلة البيانات المفقودة والتعامل معها بوضع القيمة (-99.9) بدل منها لتدل على القيم المفقودة في قاعدة البيانات للأمطار اليومية في كل من محطة مطار الملك خالد الدولي في الرياض (قيمة مفقودة في عام 2001) ومحطة القصيم (3 قيم مفقودة في الأعوام 2020, 2021, 2022). كذلك تم التأكد من خلو قاعدة البيانات للأمطار اليومية من البيانات المكررة لقيم هطول الأمطار في كافة محطات الدراسة. كذلك أظهر الفحص أنه لا توجد قيم متطرفة للأمطار اليومية في أي من المحطات المدروسة بناءً على النطاق الربيعي (IQR) Interquartile.



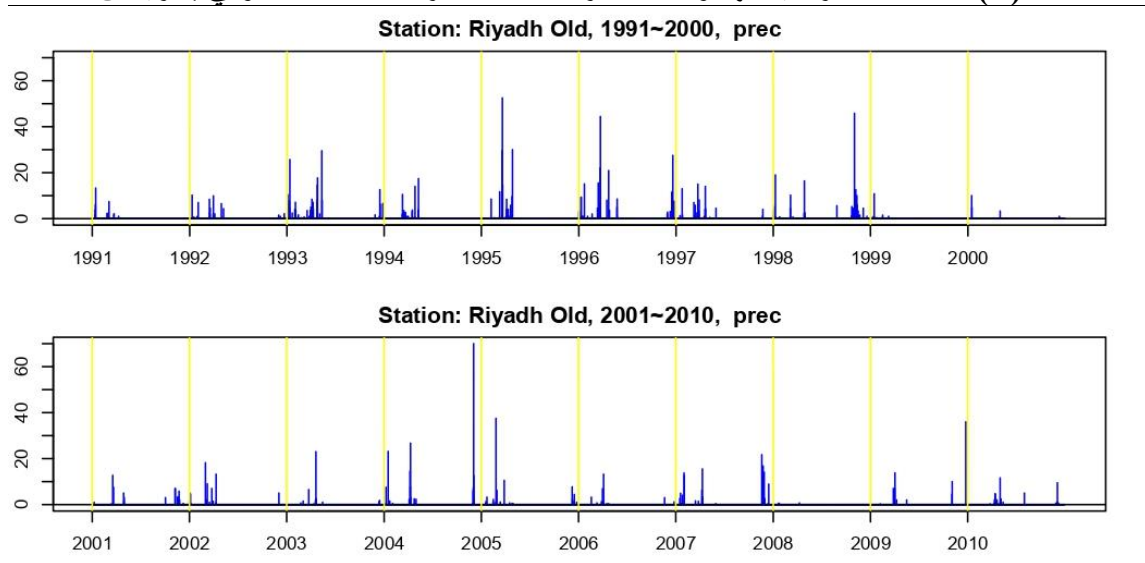
شكل (٣): السلسلة الزمنية لهطول الأمطار لمحطة حائل.



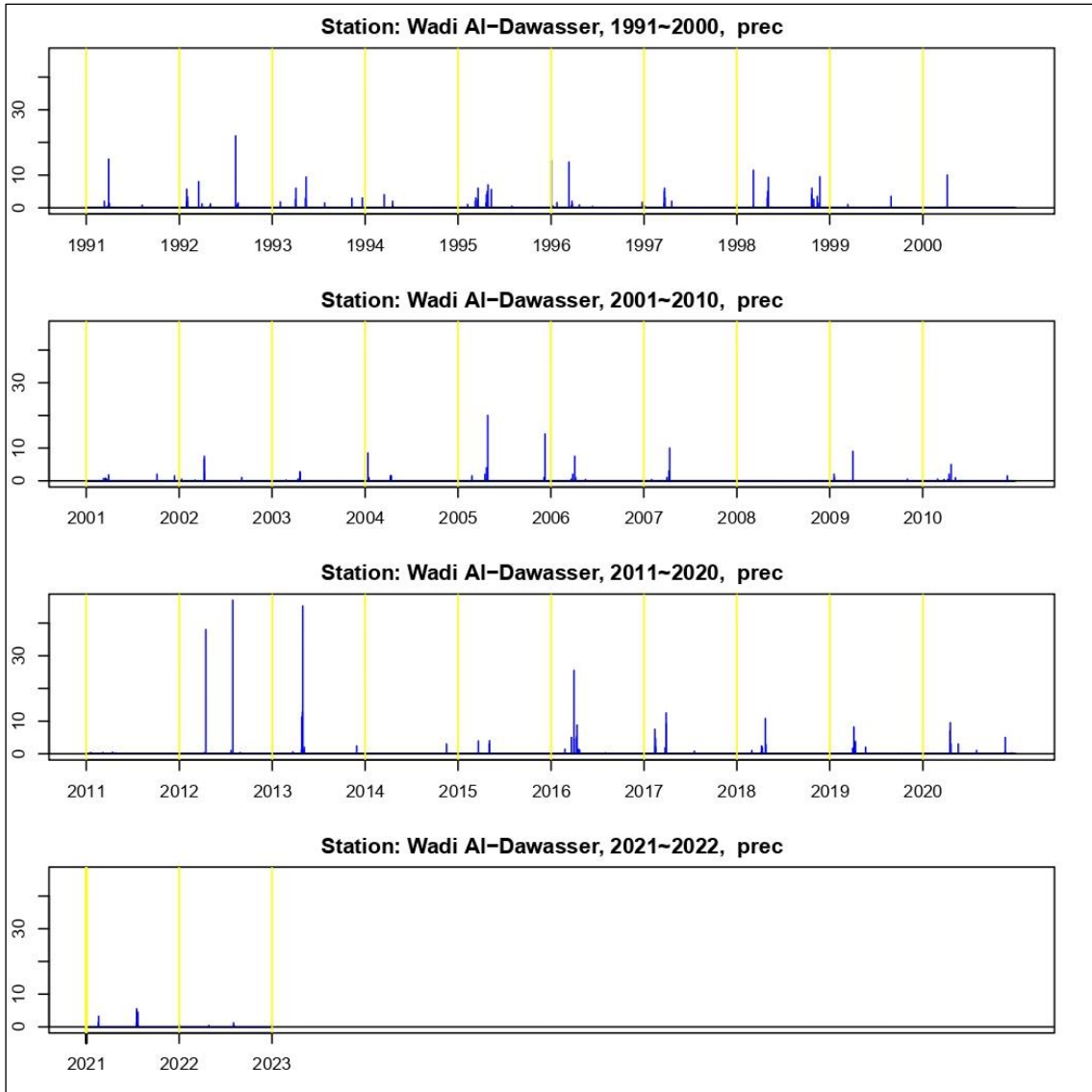
شكل (٤): السلسلة الزمنية لهطول الأمطار لمحطة القصيم.



شكل (٥): السلسلة الزمنية لهطول الأمطار لمحطة مطار الملك خالد الدولي بالرياض.



شكل (٦): السلسلة الزمنية لهطول الأمطار لمحطة المطار القديم بالرياض.



شكل (٧): السلسلة الزمنية لهطول الأمطار لمحطة وادي الدواسر.

٤-٢- الخصائص الإحصائية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة خلال العام الهيدرولوجي (PRCPTOT) (Annual total precipitation on wet days)

أظهرت الدراسة أن هناك تبايناً واضحاً في قيم مؤشر إجمالي الهطول السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT) خلال العام الهيدرولوجي، (الجدول رقم ٢)، بحيث يتشكل نظام مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة بالأساس من متوسط الأمطار السنوية في الأيام الرطبة الذي يتراوح بين أدنى قيمة (24.12 ملم) بمحطة وادي الدواسر، وأعلى قيمة للمؤشر في محطة القصيم بمتوسط ووسيط وانحراف معياري (117.28 ملم) (93.85 ملم) (68.849 ملم) على التوالي، كما بلغ الربع الأول (Q_1) للمؤشر في المحطة (73.83 ملم) أي أن 25% من السنوات

المدرسة لم تزد فيها قيمة المؤشر عن (73.83 ملم) وأن 75% من السنوات المدروسة تكون فيها قيمة المؤشر أعلى من (73.83 ملم)، كما أن الربع الثالث (Q₃) بلغ (170.18 ملم) أي أن 75% من السنوات المدروسة لم تزد فيها قيمة المؤشر عن (170.18 ملم) وأن 25% من السنوات المدروسة تكون فيها قيمة المؤشر (PRCPTOT) أعلى من (170.18 ملم).

جدول (٢): الخصائص الإحصائية لمؤشرات هطول الأمطار المتطرفة (PRCPTOT) (ملم) في محطات الدراسة خلال العام الهيدرولوجي (1991-2022)

| مؤشر هطول الأمطار PRCPTOT (ملم) في محطات الدراسة خلال العام الهيدرولوجي (١٩٩١-٢٠٢٢) | | | | | | |
|---|---------------|-----------------|--------|--------|---------------------------|---------------|
| وادي الدواسر | المطار القديم | مطار الملك خالد | القصيم | حائل | الخصائص الإحصائية للمحطات | |
| ٢٤,١٢ | ٩٥,٠٦ | ١٠٠,٣٥ | ١١٧,٢٨ | ٧٥,٠١ | المتوسط | |
| ٢٣,١٧٦ | ٧٥,٢٠٤ | ٧٦,٧٧٧ | ٦٨,٨٤٩ | ٤٦,٨٢٦ | الانحراف المعياري | |
| ٠ | ٠ | ١١,٢ | ٢٩,٩ | ٦ | أقل قيمة | |
| ٨٦,٥ | ٢٥٤,١ | ٣٠,٦ | ٢٧٩,٢ | ٢٣٣,٧ | أعلى قيمة | |
| ١,٣٩١ | ٠,٨١٢ | ١,٦٥٦ | ٠,٨١ | ١,٣٤٠ | الالتواء | |
| ١,٤٩١ | ٠,٥٣٥- | ٢,٤٤١ | ٠,١١٥- | ٣,١٧٩ | التفرطح | |
| ٧,٨٨ | ٤٠,٩٥ | ٥٣,٨٣ | ٧٣,٨٣ | ٤٣,٩ | ٢٥% | الربيع الأول |
| ١٧,٥٥ | ٦٧,٥٥ | ٨٥,٨٥ | ٩٣,٨٥ | ٧١,٦ | ٥٠% | الربيع الأوسط |
| ٣٥,٥٨ | ١٥٥,٧ | ١١٤,٣٨ | ١٧٠,١٨ | ٩١,٨٣ | ٧٥% | الربيع الثالث |

كذلك ناهزت قيمة الالتواء لمؤشر (PRCPTOT) (0.81 ملم) مما يدل على أن التوزيع غير متماثل، وبما أن قيمة الالتواء موجبة فإن التوزيع للأمطار ملتوٍ إلى جهة اليمين، وناهزت قيمة التفرطح (-0.115 ملم) مما يدل على أن التوزيع الإحصائي لقيم مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوية في الأيام الرطبة (PRCPTOT) توزع توزيعاً غير طبيعي.

في حين يناهز إجمالي متوسط هطولها في باقي محطات الدراسة، كمحطة مطار الملك خالد بمتوسط ووسيط وانحراف معياري (100.35 ملم) (85.85 ملم) (76.777 ملم) على التوالي، كما بلغ الربع الأول (Q₁) 53.83 ملم وبلغ الربع الثالث (Q₃) (114.375 ملم)، وكما بلغت قيمة معامل الالتواء للمؤشر في المحطة (1.656 ملم) مما يدل على أن التوزيع غير متماثل، وبما أن قيمة الالتواء موجبة فإن التوزيع للأمطار ملتوٍ إلى جهة اليمين، كذلك بلغت قيمة التفرطح لقيم المؤشر (2.441 ملم) مما يدل على أن التوزيع الإحصائي لقيم المؤشر توزع توزيعاً غير طبيعي. وتليها محطة المطار القديم اذ بلغ متوسطها (95.06 ملم) ووسيطها (67.55 ملم) والانحراف المعياري لها (75.204 ملم)، كما بلغ الربع الأول في المحطة (Q₁) 40.95 ملم وبلغ الربع الثالث (Q₃) (155.7 ملم)، في حين بلغت قيمة معامل الالتواء للمؤشر في المحطة (0.812 ملم) مما يدل على أن التوزيع غير متماثل، وبما أن قيمة معامل الالتواء موجبة فإن التوزيع ملتوٍ نحو

جهة اليمين، كذلك بلغت قيمة معامل التفرطح في محطة المطار القديم لقيم المؤشر (-0.535 ملم) مما يدل على أن التوزيع الإحصائي لقيم المؤشر غير طبيعي، الجدول رقم (٢).

أما في محطة حائل بلغ متوسطها ووسيطها وانحرافها المعياري (75.01 ملم) (71.6 ملم) (46.826 ملم) على التوالي، كما بلغ الربيع الأول والثالث (43.9 ملم) (91.83 ملم) على التوالي، وبلغت قيمة معامل الالتواء للمؤشر في المحطة 1.340 ملم مما يدل على أن التوزيع غير متماثل، وبما أن قيمة الالتواء موجبة فإن التوزيع ملتوٍ نحو جهة اليمين، وبلغت قيمة التفرطح في المحطة لقيم المؤشر (3.179 ملم) مما يدل على أن التوزيع الإحصائي لقيم مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوية في الأيام الرطبة (PRCPTOT) توزع توزيعاً غير طبيعي في محطة حائل.

وتأتي في المرتبة الأخيرة محطة وادي الدواسر إذ أشارت الدراسة سابقاً إلى أن مؤشر هطول الأمطار السنوية في الأيام الرطبة (PRCPTOT) بلغ أدنى قيمة له في محطة وادي الدواسر حيث يناهز المتوسط والوسيط والانحراف المعياري للمحطة (24.12 ملم) (17.55 ملم) (23.176 ملم) على التوالي، كما بلغ الربيع الأول والثالث للمحطة (7.88 ملم) (35.58 ملم) على التوالي، وناهزت قيمة معامل الالتواء للمؤشر في المحطة (1.391 ملم) مما يدل على أن التوزيع غير متماثل، وبما أن قيمة الالتواء موجبة فإن التوزيع ملتوٍ إلى جهة اليمين، وناهزت قيمة التفرطح في المحطة (1.491 ملم) مما يدل على أن التوزيع الإحصائي لقيم مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوية في الأيام الرطبة (PRCPTOT) توزع توزيعاً غير طبيعي.

ويضح أن هناك اختلافات في القيم العليا والدنيا لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوية في الأيام الرطبة (PRCPTOT) في محطات الدراسة، إذ نجد اختلاف قيم الحدود العليا لقيم المؤشر حيث بلغ متوسطها في محطة القصيم، ومحطة مطار الملك خالد، ومحطة المطار القديم، ومحطة حائل، محطة وادي الدواسر (117.28، 100.35، 95.06، 75.01، 24.12 ملم) على التوالي، كما اختلفت قيم الحد الأدنى للمؤشر في كل من محطة القصيم، ومحطة مطار الملك خالد الدولي، ومحطة حائل (29.9 ملم) (11.2 ملم) (6 ملم) على التوالي، الجدول رقم (٢).

٤-٣- النزعة الزمانية ودلالاتها الإحصائية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام

الرطوبة خلال العام الهيدرولوجي (PRCPTOT) (of) The maximum amount (of) :Annual total precipitation on wet days in a year

حسبت النزعة الزمانية في مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوية في الأيام الرطبة (PRCPTOT) بمعادلة الانحدار الخطي البسيط، إذ يعد الثبات الزمني (Stationarity) أحد أهم الافتراضات لعملية التحليل التكراري؛ لذا تم فحص الثبات للمؤشر خلال العام الهيدرولوجي باستخدام

المعايرة لتحليل الانحدار الخطي البسيط، كما يفحص الثبات بحساب مستوى الدلالة لمعامل الانحدار الخطي (b).

تراوحت اتجاهات مؤشر الحد الأقصى لاجمالي هطول الأمطار السنوي في اليوم الرطب (PRCPTOT) في كل من محطة القصيم -29.22 ملم لكل عقد، وبلغت -1.15 ملم لكل عقد في محطة وادي الدواسر، ومن خلال فحص الثبات تبين بأنه لا توجد نزعة زمنية في المؤشر (PRCPTOT)، أي أن متغير العام الهيدرولوجي غير دالٍ إحصائياً في علاقته بالمؤشر PRCPTOT في محطة مطار الملك خالد (0.024) ومحطة المطار القديم (0.046) ومحطة وادي الدواسر (0.073)، كما تبين بأنه توجد نزعة زمنية في المؤشر في كل من محطة حائل (0.000) ومحطة القصيم (0.011) عند مستوى الدلالة (0.025)، أي أنه توجد نزعة سالبة في مؤشر مجموع الأمطار السنوية في اليوم الرطب في محطتي حائل، والقصيم، أي أن الأمطار السنوية تتناقص في هذه المحطات بمعدل -24.86 ملم لكل عقد وبمعدل -29.22 ملم لكل عقد في محطة القصيم كما هو مبين في (الجدول رقم 3) (الأشكال رقم 8، 9، 10، 11، 12) (الشكل رقم 13). كنتيجة لتناقص كميات الأمطار السنوية في هذه المحطات (حائل، القصيم) لذلك يستدعي تبني سياسات أطر التكيف مع التغيرات المناخية، وأطر التخفيف من آثارها المستقبلية لإدارة الموارد المائية، والمحافظة على الأنظمة الإيكولوجية.

جدول (3): النزعة الزمنية لمؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة

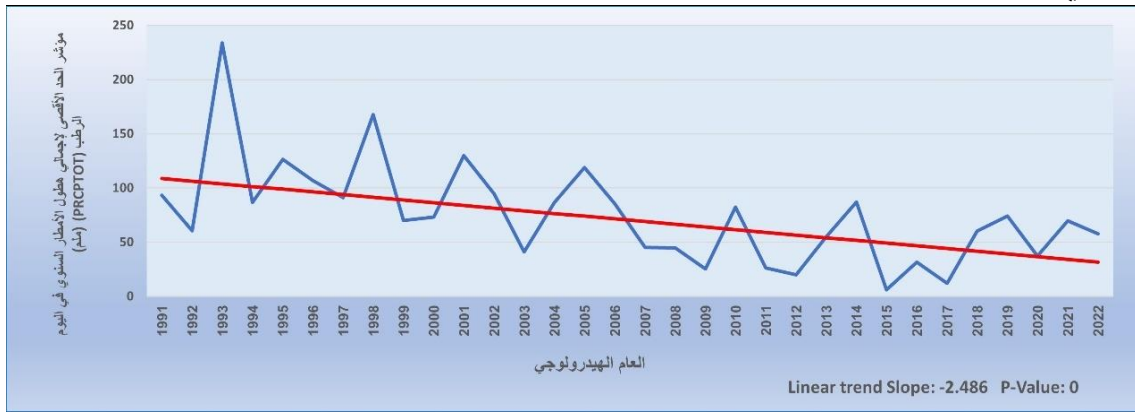
(PRCPTOT) (ملم/عقد) في محطات الدراسة خلال العام الهيدرولوجي (1991-2022م)

| المحطة | PRCPTOT (mm/d) |
|------------------------|----------------|
| حائل | -24,86 |
| القصيم | -29,22 |
| مطار الملك خالد الدولي | -20,35 |
| مطار الرياض القديم | -24,58 |
| وادي الدواسر | -1,51 |

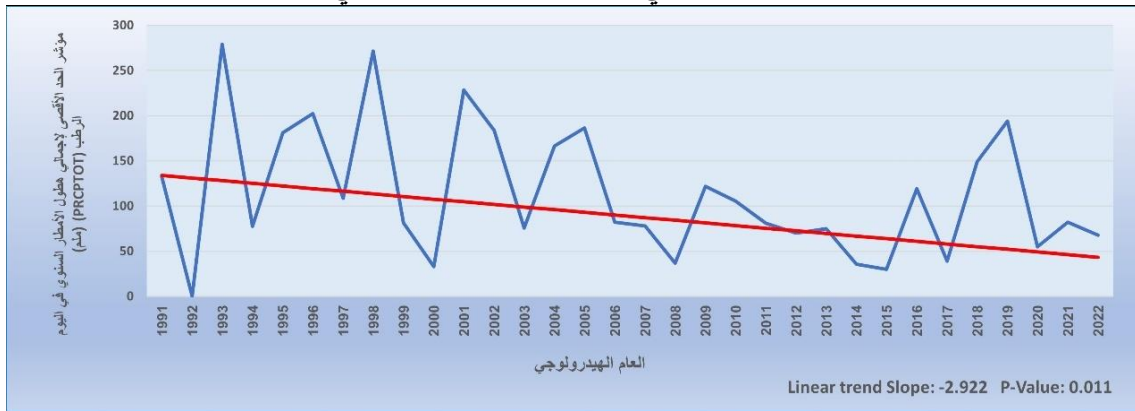
*يدل (Bold) على أن النزعة الزمنية لمؤشرات هطول الأمطار المتطرفة ذات دلالة إحصائية عند مستوى المعنوية (0.025)

وتطابقت نتائج الدراسة مع دراسة الهيمي 2023 التي أظهرت أن جميع مؤشرات الأمطار المدروسة تشهد نزعة زمنية سالبة ليست ذات دلالة إحصائية عند مستوى 0,05 ماعدا مؤشر إجمالي التساقط السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT)، وخلصت الدراسة أيضا إلى أن مؤشر إجمالي التساقط السنوي PRCPTOT يتناقص بمعدل عالٍ جداً قدره 1188.1 مم/عقد في مدينة المدينة المنورة خلال الفترة من عام 1985 إلى عام 2021.

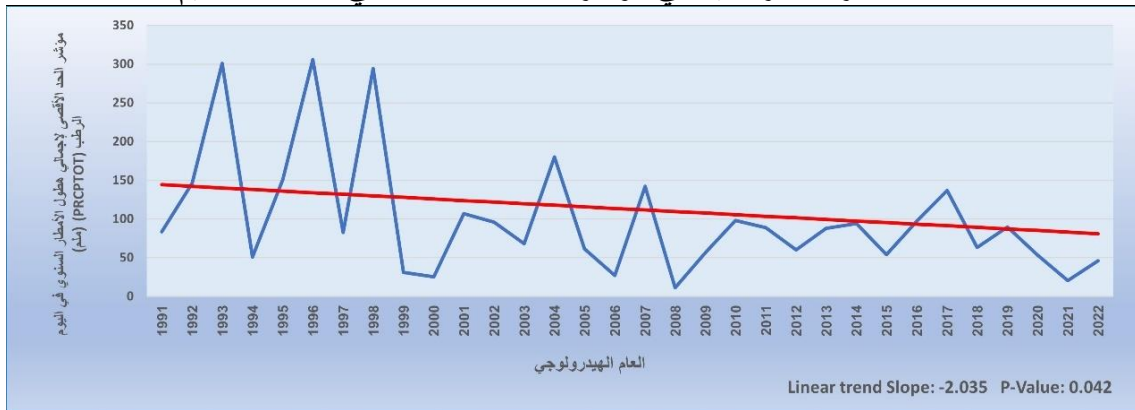
كذلك كلما زاد عدد الايام المطيرة المتتالية كلما زادت فعالية الأمطار في زيادة مخزون التربة من الرطوبة وكذلك زيادة تغذية المياه الجوفية من المياه، النزعة الزمانية السالبة مؤشر إجمالي التساقط السنوي في الأيام الرطبة (PRCPTOT) تدق ناقوس الخطر لصانعي القرار في مواجهة تأثير التغير المناخي في المستقبل ، وآثاره المستقبلية لإدارة الموارد المائية، ومجال الزراعة، فالأمر يتطلب وضع سياسات مائية وبيئية صارمة ومناسبة لأطر التكيف (Adaption) ولأطر التخفيف (Mitigation) من آثار التغيرات المناخية في وسط المملكة العربية السعودية الناتج عن الاحترار العالمي.



شكل ٨: النزعة الزمانية في مؤشر PRCPTOT في محطة حائل.



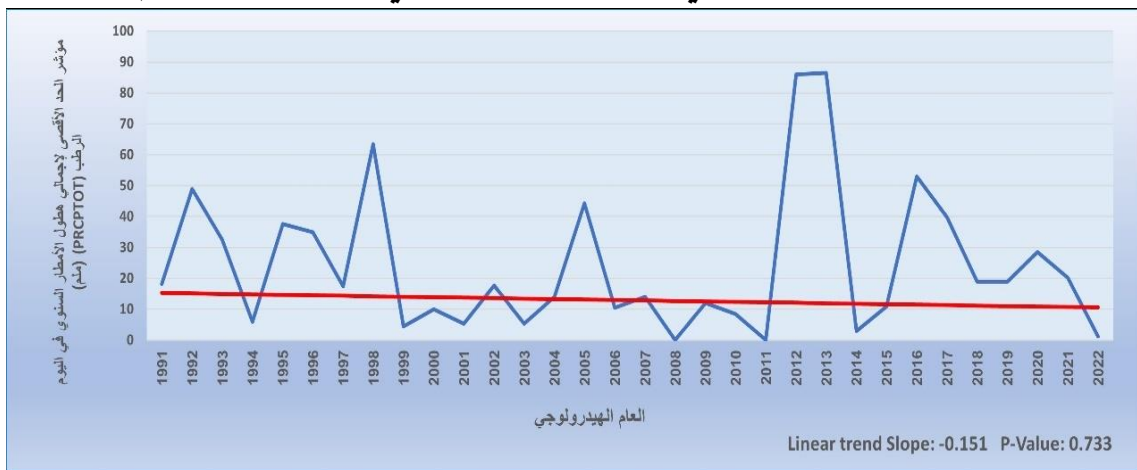
شكل 9: النزعة الزمانية في مؤشر PRCPTOT في محطة القصيم.



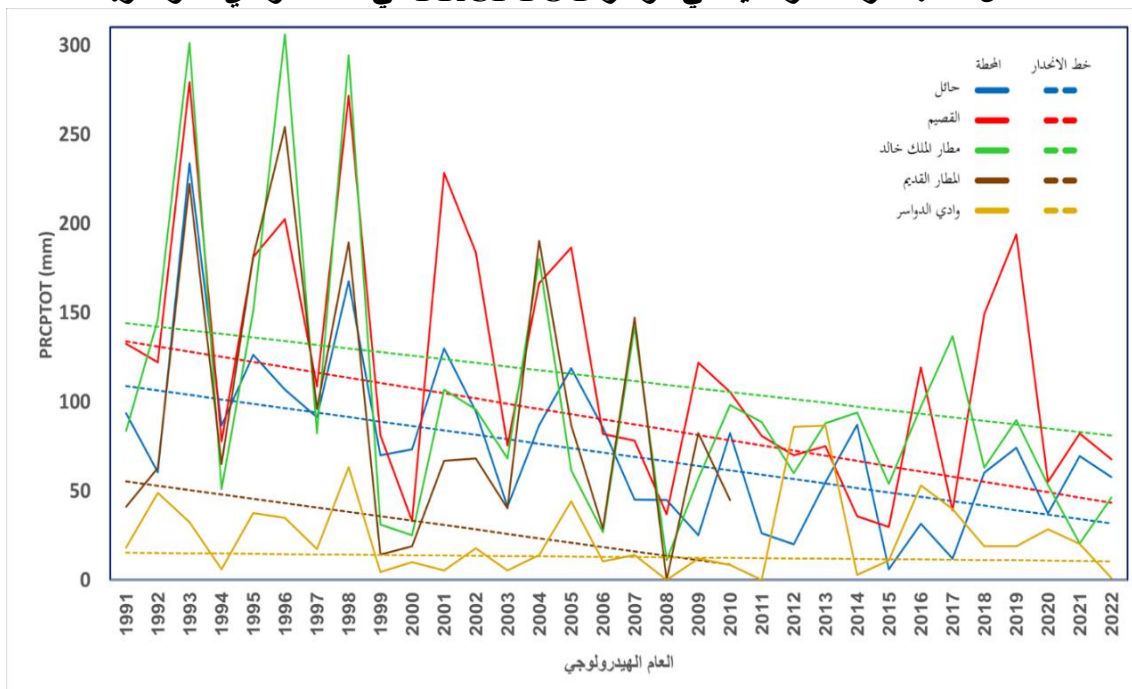
شكل ١٠: النزعة الزمانية في مؤشر PRCPTOT في محطة مطار الملك خالد.



شكل ١١: النزعة الزمانية في مؤشر PRCPTOT في محطة المطار القديم.



شكل ١٢: النزعة الزمانية في مؤشر PRCPTOT في محطة وادي الدواسر.



شكل ١٣: النزعة الزمانية في مؤشر PRCPTOT (ملم) في محطات الدراسة.

الخاتمة:

يعد التغير المناخي أحد أبرز التحديات التي تواجه التنمية المستدامة في القرن الحادي والعشرين؛ وذلك بسبب تأثيره المباشر والمستديم في الموارد المائية، والنظم الإيكولوجية، والمشاريع التنموية المستدامة. لذلك تم دراسة وتحليل النزعة الزمانية ودلالاتها الإحصائية لاتجاه مؤشر هطول الأمطار المتطرفة في خمس محطات أرصاد جوية في وسط المملكة العربية السعودية خلال الفترة من ١٩٩١ إلى عام ٢٠٢٢. وأظهرت نتائج الدراسة أن مؤشر إجمالي هطول الأمطار السنوي في الأيام الرطبة المتتالية (PRCPTOT) أظهر اتجاهًا متناقصاً لهطول الأمطار ذات دلالة إحصائية فقط في محطتين من محطات الدراسة، وهما محطة حائل، والقصيم؛ إذ تبين أن هناك نزعة زمانية للتناقص في الأمطار ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($p < 0.025$).

التوصيات:

توصي الدراسة صنّاع القرار بوضع سياسات واستراتيجيات بيئية ومائية عاجلة ومناسبة مع أطر التكيف (Adaption) مع الواقع الجديد في مواجهة التغير المناخي، وأطر التخفيف (Mitigation) من آثاره المستقبلية، لإدارة الأنظمة الإيكولوجية، والموارد المائية، والتنمية الزراعية، وتنمية الغطاء النباتي، وفي مجال التنمية الحضرية في وسط المملكة العربية السعودية بشكل أكثر استدامة.

المراجع:

المراجع العربية:

- أمانة منطقة الرياض، الأدلة الهندسية لمعايير درء أخطار السيول، دليل تصميم شبكات تصريف السيول، (٢٠١٦).
- الصالح، محمد عبد الله، (١٩٩٧)، التوزيع الزمني والمكاني للأمطار في مدينة الرياض، سلسلة رسائل جغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الكويت، العدد 203.
- الهيمي، وديان أحمد، (٢٠٢٣)، النزعة الزمانية في مؤشرات الأمطار في مدينة المدينة المنورة في ظل الاحترار العالمي، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية، جامعة الملك سعود.

المراجع الأجنبية:

- Alghamdi, Ali S. (2022). Recent Climatology (1991-2020) and Trends in Local Warm and Cold Season Extreme Temperature Days and Nights in Arabia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5).
- Almazroui, M., Nazrul Islam, M., Athar, H., Jones, P. D., & Rahman, M. A. (2012). Recent climate change in the Arabian Peninsula: Annual rainfall and temperature analysis of Saudi Arabia for 1978-2009. *International Journal of Climatology*, 32(6), 953-966-966. <https://doi-org.sdl.idm.oclc.org/10.1002/joc.3446>
- Almazroui, M. (2020). Rainfall trends and extremes in Saudi Arabia in recent decades. *Atmosphere*, 11(9), 964.

- Alsaaran, N.A., Alghamdi, A.S. (2021). Precipitation climatology and spatiotemporal trends over the Arabian Peninsula. *Theor Appl Climatol* 147, 1133(2202) 9411. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03878-5>
- Attada, R.; Dasari, H.P.; Chowdary, J.S.; Yadav, R.K.; Knio, O.; Hoteit, I. (2019) Surface air temperature variability over the Arabian Peninsula and its links to circulation patterns. *Int. J. Climatol*, 39, 445–464.
- Cook, K.H.; Vizzy, E.K.; Liu, Y.; Liu, W. (2021) Greenhouse-gas induced warming amplification over the arabian peninsula with implications for Ethiopian rainfall. *Clim. Dyn*, 57, 3113–3133.
- Dogar, M.M.; Sato, T. (2018) Analysis of climate trends and leading modes of climate variability for MENA region. *J. Geophys. Res. Atmos*, 123, 13074–13091.
- Hosking, J. R. M., and Wallis, J. R. (1997). Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L- moments, Cambridge University Press, NY USA, Johnson, 244 pp.
- Johnson, K. A., & Smithers, J. C. (2019). Methods for the estimation of extreme rainfall events. *Water SA*, 45(3), 501–512. <https://doi-org.sdl.idm.oclc.org/10.17159/wsa/2019.v45.i3.6747>
- Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi. 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7.
- Kassab, B. B. E. M. E. M. S. (2022). Hydraulic Engineering. *Salem Press Encyclopedia of Science*.
- Likinaw, A., Bewket, W., & Alemayehu, A. (2023). Trends in Extreme Precipitation Indices in Northwest Ethiopia: Comparative Analysis Using the Mann–Kendall and Innovative Trend Analysis Methods. *Climate*, 11(8).
- Odnoletkova, N.; Patzek, T.W. (2021) Data-driven analysis of climate change in Saudi Arabia: Trends in temperature extremes and human comfort indicators. *J. Appl. Meteorol. Climatol*, 60, 1055–1070
- Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W.I., Mokssit, A. and Plummer, N. (2001) Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001.
- Trenberth, Kevin, E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Clim Res* 47:123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- World Meteorological Organization (WMO). (2017) Frequently asked questions. Available at: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faq/faq_doc_en.html [Accessed 15th December 2018].
- Zhang X. and Yang F. (2004). RClimDex (1.0) User Manual, Climate Research Branch Environment Canada, Downsview, Ontario, Canada, 23 p.

المواقع الإلكترونية:

- Water Resources of the United States, accessed on date 15\1\2024 From: https://water.usgs.gov/nwc/explain_data.html.
- Sector-specific Climate Indices (ET-SCI), accessed on date 11\6\2023 From: <https://expert-team-sector-specific>

Research Abstract:

Rainfall and its distribution significantly impact renewable water resources, ecosystems, and overall sustainable development in Saudi Arabia; Since extreme precipitation indicators associated with climate change are associated with adverse impacts; Therefore, the current study aims to determine the temporal trend and its statistical significance for the index of total extreme precipitation on wet days within the climate indicators (Climate indices).

This index was calculated based on daily precipitation data in the center of the Kingdom of Saudi Arabia for five stations during the period from 1990 to 2022 AD, using... ClimPACT2 (v1.3.0) software package to examine data quality and find indicator values. The study also used the Python language package to calculate descriptive statistics and the temporal trend of the annual total precipitation on wet days (PRCPTOT) index during the hydrological year at the study stations; This indicator is one way to describe the frequency, intensity, and duration of extreme weather events.

The results of the study showed that there is no temporal trend in the index of total annual rainfall on consecutive wet days (PRCPTOT), but the index showed a linear trend towards a decrease in rainfall with statistical significance at the significance level (0.025) in both Hail station and Qassim station. The fact that the index of total annual precipitation on successive wet days is decreasing at a very high rate requires decision-makers to reconsider policies and strategies to confront the impact of climate change in the future. This requires developing appropriate policies linked to adaptation frameworks to climate change and mitigation frameworks. (Mitigation) of its future effects.