https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

تحليل اتجاهات التغير في سرعة الرياح الشهرية والسنوية في شمال غرب الأردن للفترة 1990ـ 2022م.

د. يوسف أحمد الزغول
وزارة التربية والتعليم – الاردن
Zg2yusaf@gmail.com

تاريخ الاستلام 2025/10/30 تاريخ القبول 2025/11/25 تاريخ النشر 2026/01/01

الملخص:

هدفت الدراسة إلى الكشف عن اتجاه التغير في معدلات سرعة الرياح في شمال غرب الأردن للفترة 1990–2022، وتحليل شكل ونوع الارتباط المكاني بين معدلات سرعة الرياح والارتفاع عن مستوى سطح البحر، بالاعتماد على اختبار (Mann–Kendall Tau Test) مقدر ميل سين (sen's slop) في تحليل اتجاهات التغير لسرعة الرياح الشهرية والسنوية، واختبار (f–test)؛ لإيجاد العلاقة الإحصائية بين الارتفاع عن سطح البحر وسرعة الرياح، وأظهرت النتائج وجود اتجاه متناقص في سرعة الرياح السنوية والشهرية بمقدار –1.4، –1.84 متر/ت على التوالي بدلالة إحصائية (a=0.05). كما بينت النتائج أن هناك ارتباط طردي متوسط مع الارتفاع عن سطح البحر وسرعة الرياح بدلالة إحصائية (a=0.05). أوصت الدراسة بالعمل على تطوير استراتيجيات للتكيف مع أنماط الرياح.

الكلمات المفتاحية: اتجاهات التغير، الرياح، الارتفاع عن سطح البحر، شمال غرب الأردن.

Analysis of Trends in Monthly and Annual Wind Speed in Northwestern Jordan during the Period (1990–2022)

Yousef Alzghoul
PhD, Climatology, Geographic Information Systems, and Remote Sensing
Jordanian Ministry of Education, Jordan
Zg2yusaf@gmail.com

Received: 30/10/2025 Accepted: 25/11/2025 Published: 01/01/2026

Abstract:

This study aimed to detect trends in wind speed rates in northwestern Jordan during the period 1990–2022 and to analyze the form and nature of the spatial relationship between wind speed and elevation above sea level. The analysis was based on the Mann–Kendall Tau test and Sen's slope estimator to assess trends in monthly and annual wind speed, in addition to the F-test to determine the statistical relationship between elevation above sea level and wind speed. The results revealed a decreasing trend in both annual and monthly wind speed, with rates of −1.4 and −1.84 m/s, respectively, at a statistical significance level of α = 0.05. Furthermore, the findings indicated a moderate positive correlation between wind speed and elevation above sea level, which was statistically significant at the same level (α = 0.05). The study recommended the development of adaptation strategies to cope with changing wind patterns.

Keywords: Trend analysis; Wind speed; Elevation above sea level; Northwestern Jordan.

© Journal of Libya for Geographical Studies, Sirte University 2026

أولاً: المقدمة:

تُعَدُّ الرياح القريبة من السطح أحد متغيرات المناخ والتي يمكن ملاحظتها وقياسها بانتظام، وتتأثر بقوة تدرج الضغط الجوي، وقوة كوريوليس، وقوة الاحتكاك السطحي والتبادل الرأسي والأفقي في الطبقة الحدودية للغلاف الجوي (He et al. 2010, p1). يمكن أن تؤثر التغيرات طويلة المدى لسرعة الرياح في تبخر الماء والدورات الهيدرولوجية في بعض المناطق (McMahon et al. 2013, p1332; Donohueetal et al. 2010, p187).

تُعَدُّ اتجاهات سرعة الرياح على المدى الطويل قضية مهمة في ظل التغير المناخي، حيث شهدت العديد من مناطق العالم اتجاهات منخفضة خلال العقود الماضية (Azorin-Jiang et al., 2010, p3693). يعزى الانخفاض في معدلات التبخر إلى الانخفاض طويل المدى لسرعة الرياح في بعض المناطق على مدار الخمسين عاماً الماضية (Roderick et al. 2007, p1; Mcvicar and Roderick. 2010, p747). حيث يؤثر انخفاض سرعة الرياح على مدى الرؤية وتوزيع الهباء الجوي ونوعية الهواء (Zhu and Liang. 2013, p1019; Zhang et al. 2016, p470). كما يؤدي انخفاضها إلى تكثيف تراكم الهباء الجوي؛ ممّا يقلل من الاشعاع الشمسي الذي يتلقاه سطح الأرض.

تركز هذه الدراسة على اكتشاف اتجاهات التغير في معدلات سرعة الرياح الشهرية والسنوية في شمال غرب الأردن والتي تضم إربد وعجلون، حيث تتميز بتفاوت الارتفاعات عن سطح البحر، إذ يبلغ أدنى ارتفاع (200) مترًا تحت سطح البحر في محطة وادي الريان، بينما بلغ أعلى ارتفاع (1150) مترًا فوق سطح البحر في محطة رأس منيف، وينعكس هذا التفاوت في الارتفاع عن سطح البحر على اتجاهات سرعة الرياح ونمطها، وتؤثر الأنشطة البشرية على توازن الطاقة والاشعاع، وبالتالي، قد تتغير أيضاً أنماط الرياح واتجاهاتها، وفي ظل التغيرات المناخية الحاصلة في المنطقة ستتأثر اتجاهات معدلات سرعة الرياح الطويلة الأجل سواء كان تناقصاً أو تزايداً؛ لذا جاءت هذه الدراسة للتعرف على اتجاهات التغير في معدلات سرعة الرياح الشهرية والسنوية وتوزعها زمانياً ومكانياً في شمال غرب الأردن للفترة (1990-2022).

ثانياً: مشكلة الدراسة:

إنَّ اتجاهـات التغير في معـدلات سرعة الرياح من الظواهر المناخية الأرضية، التي تنتج

عن مزيج من التغيرات الطبيعية والبشرية في ظل التغير المناخي (Trenberth. 2018, p1).

تتمثل مشكلة الدراسة في الكشف عن اتجاهات التغير في معدلات سرعة الرياح الشهرية والسنوية في شمال غرب الأردن، بهدف تحليلها زمانياً ومكانياً؛ لذا جاءت هذه الدراسة للإجابة على التساؤلات الآتية:

1- هل يمكن تحديد خصائص سرعة الرياح الشهرية والسنوية في شمال غرب الأردن للفترة (1990-2022)؟

2- هل معدلات سرعة الرياح الشهرية والسنوية اتخذت اتجاهًا عامًا متزايدا أم متناقصاً خلال فترة الدراسة (1990-2022)؟

3- إلى أي مدى ترتبط معدلات سرعة الرياح بالارتفاع عن مستوى سطح البحر؟

ثالثاً: أهدف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى:

1- التعرف على خصائص سرعة الرياح الشهرية والسنوية في شمال غرب الأردن للفترة (1990-2022).

2- الكشف عن اتجاه التغير في معدلات سرعة الرياح الشهرية والسنوية، خلال فترة الدراسة (1990-2022).

3- تحديد شكل ونوع الارتباط المكاني بين معدل سرعة الرياح والارتفاع عن مستوى سطح البحر.

رابعاً: أهمية الدراسة ومبرراتها:

تأتي أهمية الدراسة من أنَّ تغير معدلات سرعة الرياح هي نتيجة للتغير المناخي، ومن أنها واحدةً من الدراسات القليلة، التي تهتم بدراسة التغير في معدلات سرعة الرياح زمانياً ومكانياً طيلة فترة الدراسة التي تمتد على نحو (32 عاماً)، كما تساعد على تحديد الأماكن الملاءمة لاستثمار طاقة الرياح في توليد الطاقة الكهربائية والاستفادة منها في تخطيط وتطوير منطقة الدراسة.

خامساً: فرضيات الدراسة:

تقوم هذه الدراسة على اختبار الفرضيات الآتية:

1- توجد تباينات واضحة في خصائص سرعة الرياح الشهرية والسنوية خلال فترة الدراسة.

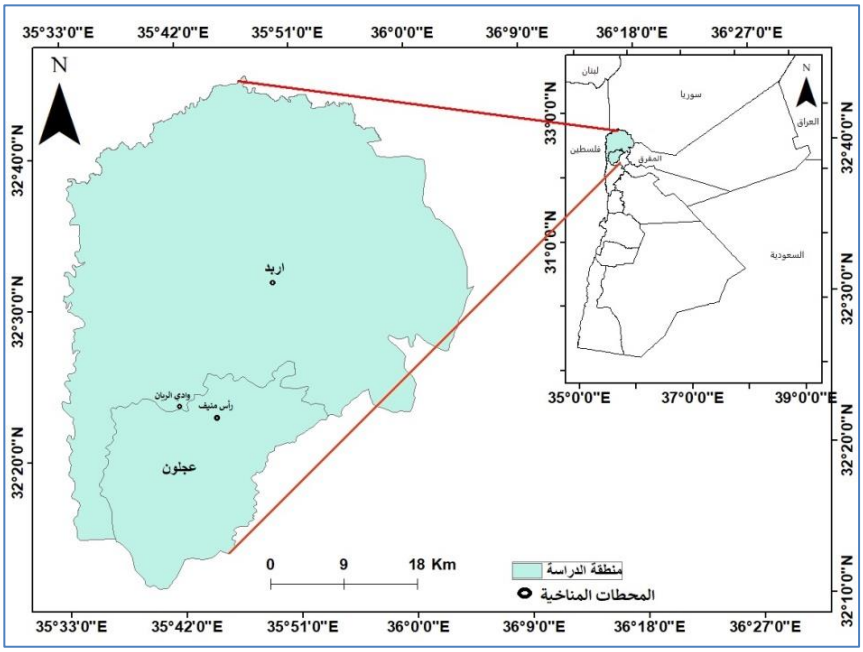
2- انخفضت معدلات سرعة الرياح في شمال غرب الأردن خلال فترة الدراسة.

3- يوجد ارتباط بين معدل سرعة الرياح والارتفاع عن مستوى سطح البحر.

سادساً: منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في أقصى الجزء الشمالي الغربي من الأردن، وتضم محافظتي إربد وعجلون، ويحدها من الشرق المفرق ومن الشمال الشرقي جرش ومن الجنوب البلقاء. أما فلكياً فتقع بين دائرتي عرض ('32-10 º) و('35-50 º) شمالاً وبين خطي طول ('36-10 º) و('35-30 º) شرقاً، وتبلغ مساحة منطقة الدراسة (1990 كم^2)، أي ما نسبته (2.22 %) من إجمالي المساحة الكلية للأردن، وبعدد سكان بلغ (2304200) نسمه الشكل (1).

الشكل (1) موقع منطقة الدراسة والمحطات المناخية.



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة الأردن الأساس باستخدام GIS.

سابعاً: الدراسات السابقة:

هناك العديد من الدراسات التي تناولت تغير اتجاه سرعة الرياح في مناطق عديدة من العالم، فكان منها دراسة غوبين وآخرون، (Guobin et al., 2011)، حيث تناولت التغير

https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

الزمني لسرعة الرياح في الصين للفترة (1961–2007). من خلال تحليل البيانات الشهرية لـ(597) محطة رصد جوي على ارتفاع 10 أمتار، واستخدمت السطح لاستكشاف الاختلافات الزمنية لسرعة الرياح، وأشارت الدراسة إلى أن التباين الزمني لسرعة الرياح السنوية في الصين قد مر بأربع مراحل: فترتان ثابتتان نسبياً من عام 1961 إلى عام 1968 ومن عام 1969 إلى عام 1974 مع تغير تدريجي حاد في عام 1969، ومرحلة انخفاض ذات دلالة إحصائية من عام 1974 إلى التسعينيات، وفترة أخرى ثابتة نسبياً من التسعينيات إلى 2007، كما توصلت إلى تحديد أربعة أنماط مختلفة للتغير الزمني لسرعة الرياح في الصين باستخدام التحليل العنقودي واستكشاف توزيعاتها الزمانية.

هدفت دراسة كوساري وآخرون، (kousari et al., 2013) إلى التحقيق في اتجاهات سرعة الرياح في 24 محطة رصد جوي شاملة تقع في المناطق الجافة وشبة الجافة في إيران من عام 1975 إلى عام 2005. استخدمت الدراسة اختبار مان كيندال (MK) لتحديد سرعة الرياح بالقرب من سطح الأرض مكانياً وزماناً في ثلاثة مقاييس زمنية (سنوي وموسمي وشهري). وتم استخدام مقدر الانحدار سين لتحديد مقدار التغييرات، كما تم تطبيق مرشح الترددات المنخفضة المتوسط المتحرك لمدة 10 سنوات لإظهار الاتجاهات العامة، وأظهرت نتائج الدراسة أن هناك اتجاهات غير مهمة، متزايدة ومتناقصة خلال فترة الدراسة. تغير سرعة الرياح في أقل من 50% من المحطات إحصائياً في جميع المقاييس الزمنية، وفي معظم الحالات، كان رتابة الاتجاهات الصاعدة أكثر من رتابة الاتجاهات الهابطة، كما أظهرت النتائج أن التوزيع المكاني لسرعة الرياح المهمة حدث في الغالب في الجزء الشرقي، وتمثلت نقطة التحول حوالي عام 1990.

سعت دراسة ليو وآخرون، (Liu et al., 2020) إلى تحليل الخصائص الزمانية المكانية للرياح القريبة من السطح في شنتشن (Shenzhen)، باستخدام عمليات الرصد كل ساعة في 92 محطة طقس آليه (AWSs) من عام 2009 إلى عام 2018. وتوصلت الدراسة إلى أنه خلال السنوات العشر الماضية، أظهرت معظم المحطات اتجاهاً تنازلياً في المتوسط السنوي لمتوسط سرعة الرياح لمدة 10 دقائق (متوسط سرعة الرياح) ومتوسط سرعة الرياح لمدة 3 ثوان (الرياح عاصفة)، وكان أكثر من نصف الاتجاهات المتناقصة في المحطات ذات دلالة إحصائية ($P<0.05$). أما موسمياً، فكان الانخفاض في

سرعة الرياح أشد من الربيع، يليه فصل الخريف، فالشتاء، فالصيف، كما توصلت إلى أن متوسط سرعة الرياح كان يتناقص، وأن هناك نمطين مختلفين للتوزيع المكاني لسرعة الرياح الموسمية.

تناولت دراسة دياو وآخرون، (Diao et al., 2020) بيانات 26 محطة رصد جوي في جينغ-جين-جي من عام 1961-2017 باستخدام اختبار مان كيندال (KM). خلال فترة الدراسة، انخفضت سرعة الرياح أولاً ثم زادت، من -0.028 م ث$^{-1}$ سنة$^{-1}$ (P<0.01) من عام 19961 إلى عام 1991 إلى 0.002 م ث$^{-1}$ سنة$^{-1}$ (P<0.05) في 1992-2017. وكانت سرعة الرياح هي الأعلى فصل الربيع (2.98 م ث)، يليها الشتاء والصيف والخريف. (-0.0392 و0.0065 م ث$^{-1}$ سنة$^{-1}$، على التوالي). كان الانخفاض في سرعة الرياح في الفترة 1961-1991 بسبب انخفاض الأيام التي بلغت سرعة الرياح فيها 3-5 م ث، في حين الزيادة في سرعة الرياح في الفترة 1992-2017 كانت ترجع بشكل أساسي إلى الزيادة في الأيام التي تبلغ فيها سرعة الرياح 2-4 م ث$^{-1}$. كما أشارت نتائج الدراسة إلى أن اختلافات سرعة الرياح ترتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة الحرارة، والضغط الجوي، في حين يؤثر الارتفاع والسطح الأساسي أيضاً على هذه التغييرات.

ما يميز هذه الدراسة عمّا سبقها من الدراسات اعتمادها على المتوسطات الشهرية والسنوية لسرعة الرياح، خلال فترة طويلة تمتد على مدى اثنان وثلاثين عام (1990-2022). كما أنها تعتمد على استخدام اختبار مان كيندال (Mann-Kendall Tau Test) ومقدر الانحدار سين sen's slop الإحصائي في دراسة الاتجاهات الزمانية والمكانية لسرعة الرياح. ومقارنة الاختلافات المكانية والزمانية في سرعة الرياح بين الارتفاعات العالية والمنخفضة، وتحديد العوامل المختلفة المؤثرة على سرعة الرياح، لتحديد أكثر الأماكن ملاءمة لاستثمار الرياح في توليد الطاقة الكهربائية والاستفادة منها مستقبلاً.

ثامناً: منهجية الدراسة:

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لتحليل اتجاهات التغير في سرعة الرياح للفترة (1990-2022) في شمال غرب الأردن، بالاعتماد على بيانات سرعة الرياح في المحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة خلال الفترة (1990-2022)، والتي تم الحصول عليها من دائرة الأرصاد الجوية الأردنية. يبين الشكل (1) التوزيع الجغرافي لمواقع المحطات

https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

المناخية، وتم استخدام عدد من الأساليب الإحصائية والعلاقات الرياضية لتحليل العلاقة بين متغيرات الدراسة باستخدام برنامج (Excel)، وبرنامج (GIS 10.3) لعمل خريطة التمثل المساحي لسرعة الرياح من خلال أداة الاشتقاق المكاني Inverse Distance Weight (IDW).

تاسعاً: البيانات المستخدمة في الدراسة:

تشمل الدراسة البيانات الإحصائية قياسات سرعة الرياح (متر/ث) من محطات الأرصاد الجوية الأردنية للفترة (1990- 2022) الواقعة ضمن منطقة الدراسة، وكذلك المعادلات الرياضية. وقد تم تحديد منطقة الدراسة اقصى شمال غرب الأردن (إربد، عجلون)، وإجراء مسح للمصادر والمعلومات المتوفرة عنها بموضوع الدراسة من الرسائل الجامعية والأبحاث والتقارير ذات الصلة.

يبيّن الجدول (1) الخصائص المكانية للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة التابعة للأرصاد الجوية الأردنية، والتي تم الحصول منها على معدلات سرعة الرياح للفترة (1990-2022) المستخدمة في الدراسة من خلالها.

الجدول (1) الخصائص المكانية للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة.

المحطة	درجة الطول	درجة العرض	الارتفاع عن سطح البحر(متر)
راس منيف	35 °.75 ـ	32 °.22 ـ	1150
أربد	35 °.85 ـ	32 °.35 ـ	616
وادي الريان	35 °.35 ـ	32 °.24 ـ	-200

المصدر: دائرة الأرصاد الجوية الأردنية – عمان.

عاشراً: طرق معالجة البيانات:

1 – البرامج الحاسوبية المستخدمة في الدراسة:

تمّ استخدام عدد من البرامج الحاسوبية في الدراسة لمعالجة البيانات، وهي:

1- برنامج Excel ، وتمّ استخدامه لتحليل بيانات سرعة الرياح لمعرفة المتوسطات والمعدلات الحسابية الشهرية والسنوية لسرعة الرياح في المحطات المناخية، ورسم خطوط الاتجاه الخطي لمحطات الدراسة، وتم استخدام وظيفة XLSTAT لإجراء اختبار (Mann-Kendall Tau Test) ومقدر الانحدار سين sen's slop الإحصائي في تقدير اتجاه التغير في بيانات سرعة الرياح الشهرية والسنوية للمحطات الثلاث، خلال فترة الدراسة ومعرفة

دلالاتها الإحصائية. كما تم استخدام اختبار (Fisher's F-test /Two-tailed test) لإيجاد العلاقة الإحصائية بين الارتفاع عن سطح البحر وسرعة الرياح، ومقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من اختبار(Mann Kendall Tau Test) بمطقة الدراسة خلال فترة الدراسة (1990-2022).

2- برنامج (ArcGIS 10.3) واستخدم لإنتاج خريطة التمثيل المساحي لسرعة الرياح في منطقة الدراسة.

احدى عشر: الطرق الإحصائية:

اعتمدت الدراسة على استخدام اختبار مان كيندال Mann-Kendall Test وسين المنحدر Sens's Slope (SS) في تحليل اتجاهات التغير في سرعة الرياح الشهرية والسنوية في منطقة الدراسة، هو اختبار إحصائي يستخدم على نطاق واسع لتحليل الاتجاه في السلاسل الزمنية المناخية والهيدرولوجية (Mann, 1945, p256. Kendall, 1970, p242)، وهناك ميزتان لاستخدام هذا الاختبار، أولهما: أنه اختبار لا معلمي ولا يتطلب توزيع البيانات بشكل طبيعي، والأخرى: انخفاض التأثر بالانقطاع المفاجئ في السلاسل الزمنية الغير متجانسة، ويتم إعطائها قيمة مشتركة أصغر من أصغر قيمة مقاسة في مجموعة البيانات (Tabari et al., 2011, p130). يعتمد اختبار مان كيندال (MK) على فرضيتين: الفرضية الصفرية (H0) والتي تشير إلى عدم وجود اتجاه "البيانات مستقلة ومرتبة عشوائياً"، ويتم اختبار ذلك مقابل الفرضية البديلة (Ha) التي تفترض وجود اتجاه حقيقي (التغير لكل وحدة زمن) (Kouduhe et al., 2018, p3)، حيث يتم تقديره باستخدام مقدر الانحدار سين Sen's Slope (SS) (Sen, 1968, p1380).

يأخذ الإجراء الحسابي لاختبار مان كندال Mann-Kendall Test في الاعتبار السلاسل الزمنية لنقاط البيانات n وTi وTj كمجموعتين فرعيتين من البيانات حيث، i = 1,2,3,…, n-1 و **j = i+1**, **i+2**, **i+3**, **…**, **n** إذ يتم تقييم قيم البيانات كسلسة زمنية مرتبة. ويتم مقارنة كل قيمة بيانات مع جميع قيم البيانات اللاحقة، بحيث إذا كانت قيمة البيانات من فترة زمنية لاحقة أعلى من قيمة البيانات من فترة زمنية سابقة تتم زيادة إحصاء S بمقدار 1، وإذا كانت قيمة البيانات من فترة لاحقة للفترة الزمنية السابقة أقل من قيمة البيانات التي تم أخذ عينات منها في وقت سابق يتم انقاصها بمقدار 1. وعليه تكون النتيجة

https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

النهائية ل S هي صافي الزيادات والتناقصات ويمكن التعبير عنه في الصيغة التالية المعادلة (1) (Drapela & Drapelova, 2011, p138).

المعادلة (1):

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \text{sign } (Ti - Ti)$$

$$Sign\ (Ti - Ti) = \begin{Bmatrix} 1\ if ti - TI > 0 \\ 0\ if\ Ti - Ti = 0 \\ -1\ if\ Ti - Ti\ < 0 \end{Bmatrix}$$

حيث إن: Tj وTi تمثل المقدار السنوي أو الشهري للسنوات j وi وj > i على التوالي (Motiee & McBean, 2009, p569).

إذا كانت n < 10 فإن قيمة S تتم مقارنتها مباشرة بالتوزيع النظري لمقدار S المشتق من (MK)، ويتم استخدام الاختبار الثنائي الذيل عن مستوى الأهمية (0.001 و0.1 و0.05 و0.01)، حيث يتم رفض الفرضية الصفرية (H0) التي تشير إلى أنه لا يوجد اتجاه لصالح الفرضية البديلة (Ha)، والتي تشير إلى أنه يوجد اتجاه، إذا كانت القيمة المطلقة ل S تساوي أو تتجاوز قيمة محددة Sa/2، حيث إن Sa/2 هو S الذي يكون احتمالية ظهوره أقل من a/2 في حالة عدم وجود اتجاه، وتشير القيم الموجبة والسلبية ل S إلى اتجاه متزايد ومتناقص (Drapela & Drapelova, 2011, p137)، وإذا كانت n ≥ 10 يتم توزيع الإحصاء S بشكل طبيعي تقريباً مع المتوسط والتباين على النحو الآتي المعادلة (2).

E(S) = 0

ويتم تحديد التباين (σ2) لإحصاء S من خلال:

المعادلة (2):

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \Sigma t_i(i)(i-1)(2i+5)}{18}$$

حيث تشير t_i إلى عدد الروابط إلى المدى i. ويتم استخدام الجمع في البسط فقد في حال كانت سلسلة البيانات تحتوي على قيم مرتبطة. ويتم حساب إحصاء الاختبار القياسي Z_S على النحو الآتي المعادلة (3).

المعادلة (3):

$$Zs = \begin{cases} \frac{s-1}{\sigma} for\ S > 0 \\ 0\ for\ S = 0 \\ \frac{s+1}{\sigma} for\ S < 0 \end{cases}$$

يتم استخدام إحصاء الاختبار ZS مقياساً لأهمية الاتجاه، من خلال اختبار الفرضية الصفرية (H0). بحيث إذا كان ZS أكبر من Za/2 فيتم رفض الفرضية الصفرية (H0) وقبول الفرضية البديلة (Ha)؛ مما يعني أن الاتجاه مهم (Motiee & McBean, 2009, p569).

تم الحصول على Kendall's Tau عند إجراء اختبار Mann-Kendall Test وهو مقياس للارتباط، حيث يقيس قوة العلاقة بين المتغيرين مثل ارتباط رتبة سبيرمان Spearman's Rank، إذ يتم تنفيذه على صفوف البيانات أي لكل متغير على حدة يتم ترتيب القيم وترقيمها بحيث تأخذ القيمة الأدنى رقم 1 ثم تأخذ القيمة الأعلى منها رقم 2 وما إلى ذلك، بشكل مشترك مع المقاييس الأخرى للارتباط ويأخذ إحصاء Kendall's Tau القيم ما بين ±1 و+1 ، ويشير إلى ارتباط إيجابي وأن كلا المتغيرين يزدادان معاً، بينما يشير الارتباط السلبي إلى أنه كلما زادت رتبة أحد المتغيرات ينخفض الآخر(Stuart, 1977, p106).

في تحليل السلاسل الزمنية من الضروري النظر في الارتباط التلقائي المحدد على أنه ارتباط متغير مع نفسة على فترات زمنية متتالية قبل اختبار الاتجاهات، بحيث يزيد الارتباط التلقائي من فرص اكتشاف الاتجاهات المهمة، ويشير الارتباط التلقائي إلى اختبار مان كيندال Mann-Kendall Test المعدل إذ يعمل على حساب صفوف البيانات بعد إزالة الاتجاه الظاهري (Hamed & Rao, 1998, p183)، ويعبر عنه بالصيغة الآتية المعادلة (4).

المعادلة (4):

$$\mathrm{Var}[S] = \frac{1}{18}[N(N-1)(2N+5)\frac{N}{NS^*}$$

$$\mathrm{Wher}\frac{N}{NS*} = 1 + \frac{2}{N(N-1)(N-2)}\sum_{I=1}^{P}(N-I)(N-i-1)(N-i-2)P_S(i)$$

https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

حيث إن:

N = عدد المشاهدات في العينة.

NS* = العدد الفعال للملاحظات لحساب الارتباط التلقائي في البيانات.

P_S (i) = الارتباط التلقائي بين صفوف الملاحظات للتأخر i.

P = الحد الأقصى للتأخر الزمني قيد الدراسة.

1 – اختبار التباين لعينتين Fisher's F–test /Two–tailed test:

اختبار يقيس العلاقة بين المتغيرات وانحرافها عن القيم المتوسطية، حيث تم تطبيقه على بيانات سرعة الرياح وارتفاع المحطات المناخية عن سطح البحر لتحديد ما إذا كانت هناك فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين المختلفتين عند مستوى الأهمية alpha = 0.05، ويتم تحديد ما إذا كان هناك فروق أم لا من خلال قيمة P-value إذا كانت أقل من alpha = 0.05، فيتم رفض الفرضية الصفرية التي تنص على أنه لا توجد فروق بين المجموعتين، وقبول الفرضية البديلة التي تنص على أنه هناك فروق بين المجموعتين.

2 – معامل الارتباط Correlation:

وتم حسابه من خلال المعادلة (5)؛ من أجل تحديد العلاقة بين معدلات سرعة الرياح والارتفاع عن مستوى سطح البحر. المعادلة (5):

$$r = \frac{\sum y_{iX_i} - \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i)}{N}}{\sqrt{\sum Xi^2 - \frac{\sum (yi)^2}{N}} \sqrt{\sum Xi^2 - \frac{\sum (Xi)^2}{N}}}$$

3 – معامل التحديد R^2:

يُعرّف بأنّه النسبة المئوية للتغير في قيم المتغير التابع Y (سرعة الرياح)، والتي يمكن تفسيرها من خلال الاختلافات في قيمة المتغير المستقل X (الارتفاع عن سطح البحر) وتتراوح قيمه بين $0 < R2 \leq 1$ (Taylor, 1990, p36).

التحليل والمناقشة:

1 – خصائص سرعة الرياح الزمانية والمكانية:

أ – التوزيع الزمني لمعدلات سرعة الرياح السنوية:

يتراوح المعدل السنوي لسرعة الرياح بين 2.97 متر/ث و7.66 متر/ث، ويلاحظ

من الجدول (2) والشكل (2) أن أعلى معدل لسرعة الرياح سجل في سنة 1992 ، والتي تفوق المعدلات في السنوات الأخرى، إذ تمثل هذه السنة الأعلى في سرعة الرياح خلال فترة الدراسة، بينما سجل أدنى المعدلات لسرعة الرياح في سنة 2000 خلال فترة الدراسة، ويمكن تفسير هذه الفروق في سرعة الرياح بين السنوات إلى عوامل طبيعية وأخرى بشرية، تؤثر العوامل الطبيعية على اتجاه وسرعة الرياح من خلال التغير في دوران الغلاف الجوي الناتج عن التغيرات المناخية، والارتفاع والانخفاض عن مستوى سطح البحر، أما العوامل البشرية المتمثلة في التغيرات في استعمالات الأرض والتغير في الغطاء الأرضي، بما في ذلك التحضر، والأراضي الحرجية، التي تعمل على زيادة خشونة السطح، كما تؤدي زيادة انبعاث الغازات الملوثة للبيئة التي تزيد من حدة التغير المناخي الناتجة عن المصانع وحرق الوقود الأحفوري إلى إحداث تغيرات في سرعة الرياح واتجاهها (klink, 2007, p445).

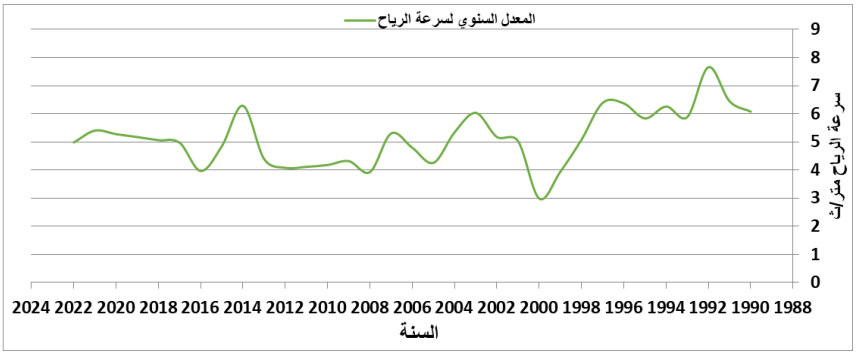
الجدول (2) المعدلات السنوية لسرعة الرياح في شمال غرب الأردن للفترة (1990–2022).

السنة	المعدل السنوي	السنة	المعدل السنوي
1990	6.08	2007	5.30
1991	6.44	2008	3.93
1992	7.66	2009	4.32
1993	5.88	2010	4.18
1994	6.26	2011	4.11
1995	5.84	2012	4.08
1996	6.37	2013	4.39
1997	6.39	2014	6.28
1998	5.08	2015	4.85
1999	3.94	2016	3.97
2000	2.98	2017	4.97
2001	5.03	2018	5.06
2002	5.18	2019	5.17
2003	6.03	2020	5.28
2004	5.34	2021	5.40
2005	4.26	2022	4.98
2006	4.79	*****	*****

المصدر: دائرة الأرصاد الجوية 2022.

https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

الشكل (2) المعدلات السنوية لسرعة الرياح في شمال غرب الأردن للفترة (1990–2022).

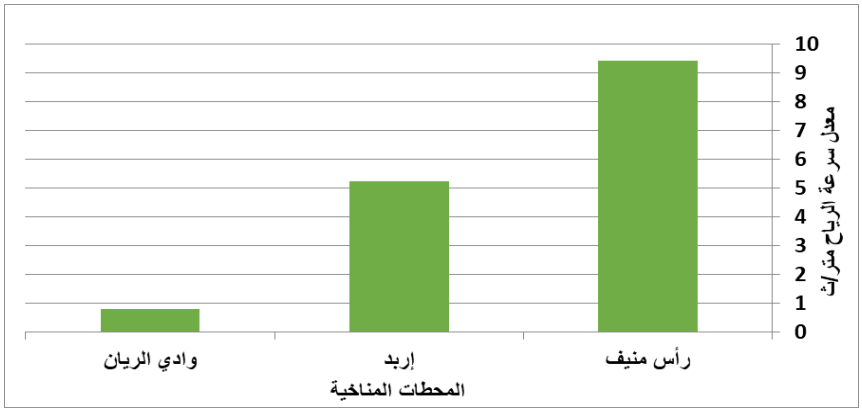


المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية.

ب – المعدلات السنوية لسرعة الرياح في محطات الدراسة:

يتأثر اتجاه سرعة الرياح على المدى الطويل بالعوامل الطبيعية، مثل: التغير في الضغط الجوي وتوزيع درجات الحرارة والارتفاع عن مستوى سطح البحر، يتبين من الشكل (3) الذي يوضح الرسم البياني لمعدلات سرعة الرياح السنوية لكل محطة من محطات الدراسة للفترة (1990–2022). بأن معدلات سرعة الرياح السنوية في المحطات المناخية بمنطقة الدراسة تراوحت ما بين 0.81 متر/ث و9.41 متر/ث، سجل أعلى معدل سنوي في محطة رأس منيف إذ بلغ 9.41 متر/ث، وسجل أدنى معدل سنوي لسرعة الرياح في محطة وادي الريان بقيمة بلغت 0.81 متر/ث.

الشكل (3) المعدلات السنوية لسرعة الرياح لكل محطة من محطات الدراسة للفترة (1990–2022).

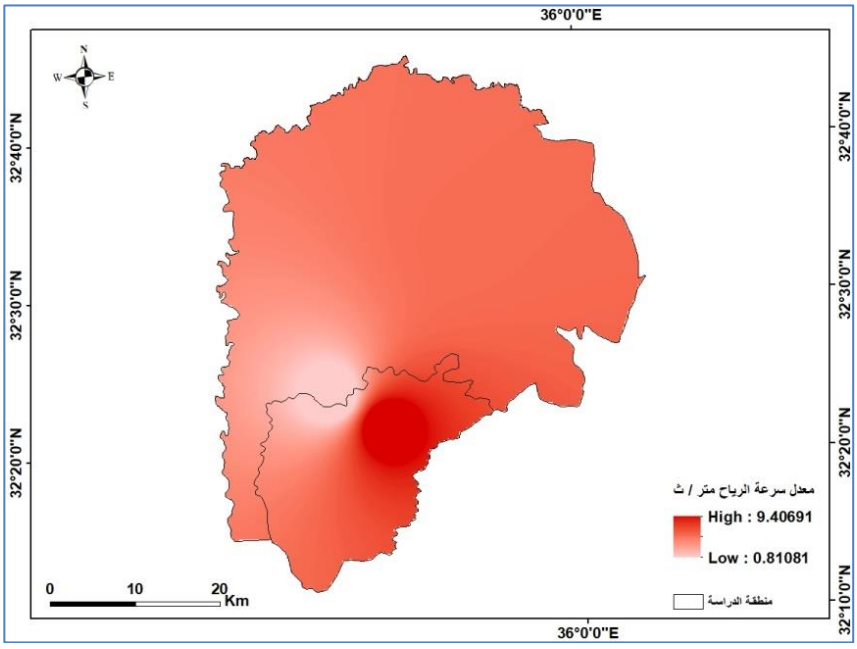


المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية.

ج – التوزيع الجغرافي لمعدلات سرعة الرياح:

تتأثر سرعة الرياح بمنطقة الدراسة بعامل الارتفاع عن مستوى سطح البحر وطبيعة استعمالات الأرض المختلفة، حيث نلاحظ التفاوت في معدلات سرعة الرياح مكانياً في شمال غرب الأردن، حيث تراوحت معدلات سرعة الرياح بين 0.81-9.41 متر/ث، القيمة الأعلى لسرعة الرياح في الجهة الجنوبية الشرقية بمساحة قليلة، وهي المنطقة ذات الارتفاعات الأعلى بمنطقة الدراسة، حيث بلغ الارتفاع فوق سطح البحر بهذه المناطق حوالي 1150 مترًا، في حين تمثلت أدنى المعدلات لسرعة الرياح في الجهة الغربية، التي يبلغ ارتفاعها عن سطح البحر 200 مترًا تحت مستوى سطح البحر، أما باقي منطقة الدراسة فقد تراوحت معدلات سرعة الرياح فيها ما بين أعلى قيمة وأدنى قيمة، فقد شملت أغلب مساحة منطقة الدراسة الشكل (4).

الشكل (4) التوزيع الجغرافي لمعدلات سرعة الرياح.



المصدر: من عمل الباحث باستخدام GIS.

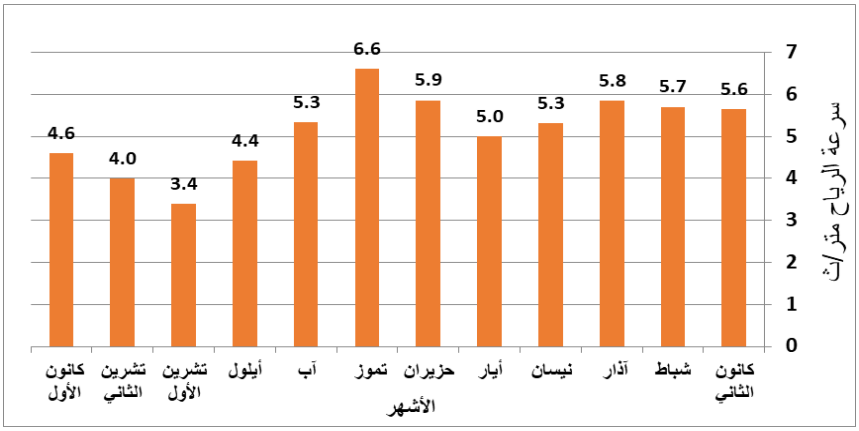
د – التوزيع الزماني لمعدل سرعة الرياح الشهرية:

هناك تباين في معدلات سرعة الرياح الشهرية على المدى الطويل للفترة (1990-2022)، هذا التباين تحقق مكانياً باختلاف التوزيع الجغرافي للمحطات المناخية، وتحقق

https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

زمانياً باختلاف شهور السنة في منطقة الدراسة، ويتضح من الشكل (5) وجود تباين في قيم معدلات سرعة الرياح الشهرية بين الأشهر، فقد سجلت أشهر تموز وحزيران آب من فصل الصيف معدلات مرتفعة لسرعة الرياح بقيم بلغت 6.6 متر/ث و5.9 متر/ث و5.3 متر/ث على التوالي، ويمكن تفسير ارتفاع سرعة الرياح بهذه الأشهر لارتفاع درجات الحرارة التي تزيد بدورها من تحريك الهواء وبالتالي الزيادة في سرعتها. كما بلغت سرعة الرياح لأشهر كانون الثاني وشباط وآذار معدلات مرتفعة مقارنة بالأشهر الأخرى، فقد بلغت 5.8 متر/ث و5.7 متر/ث و5.6 متر/ث على التوالي، والسبب في ذلك يعزى إلى أن هذه الأشهر تكون باردة وممطرة، فتعمل على تشكل المنخفضات الجوية فتؤدي إلى زيادة سرعة الرياح نسبياً. أما شهور أيلول وتشرين الأول وتشرين الثاني وكانون الأول فقد انخفضت معدلات سرعة الرياح فيها، فقد سجل شهر تشرين الأول أدنى المعدلات بقيمة بلغت 3.4 متر/ث وأعلى معدل لهذه الأشهر فقد سجل في شهر كانون الأول بقيمة بلغت 4.6 متر/ث، والسبب في ذلك يعود إلى انخفاض درجات الحرارة في فصل الخريف وبداية فصل الشتاء، والتي بدورها تعمل على التقليل من سرعة الرياح واستقرارها.

الشكل (5) معدلات سرعة الرياح الشهرية للفترة (1990–2022).



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية

2 – اتجاهات التغير في سرعة الرياح بمنطقة الدراسة:

أ – تغير سرعة الرياح السنوية واتجاهها العام:

تُعدُّ سرعة الرياح من أهم العناصر المناخية التي تتأثر بالتغيرات المناخية، وعليه لابد من التعرف على التغيرات السنوية التي طرأت على هذا العنصر المناخي للفترة (1990-

2022). من خلال الجدول (3) الذي يبين نتائج اختبار (MK) لبيانات سرعة الرياح السنوية، بحيث يلاحظ أنه إذا كانت قيمة الدلالة الإحصائية أقل من مستوى الأهمية = alpha 0.05 فسيتم رفض الفرضية الصفرية (H0) التي تنص على: أنه لا يوجد اتجاه في السلسلة الزمنية وقبول الفرضية البديلة (H1) التي تنص على: أنه هناك اتجاه في السلسلة وأنها ذات دلالة احصائية.

الجدول (3) نتائج اختبار مان كيندال (MK) لبيانات سرعة الرياح السنوية متر/ث في محطات الدراسة.

المحطة	اختبار مان كيندال(S)	اختبار كيندال تاو	Var (S)	الدلالة الإحصائية	alpha	تفسير الاختبار
رأس منيف	-2016	-0.409	4165.333	* 0.001	0.05	رفض H0 هناك اتجاه
إربد	-44	-0.083	4165.333	0.505	0.05	قبول H0 لا يوجد اتجاه
وادي الريان	-41	0.078	4162.333	0.535	0.05	قبول H0 لا يوجد اتجاه

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية. * ذات دلالة احصائية عند مستوى الأهمية

تبيّن من الجدول السابق أن هناك تغير في الاتجاه العام لسرعة الرياح السنوية للفترة 1990-2022 بمنطقة الدراسة، يتجه نحو التناقص في محطتي رأس منيف وإربد، حيث جاء التناقص بدلالة احصائية في محطة رأس منيف وبدون دلالة إحصائية في محطة إربد عند مستوى الأهمية alpha = 0.05، أما في محطة وادي الريان فقد شهدت اتجاهاً نحو التزايد جاء بدون دلالة إحصائية، وفي منطقة الدراسة أشارت النتائج إلى أن هناك اتجاه عام للتناقص في سرعة الرياح السنوية وبدلالة إحصائية.

ب – اتجاه ومعدل التغير السنوي:

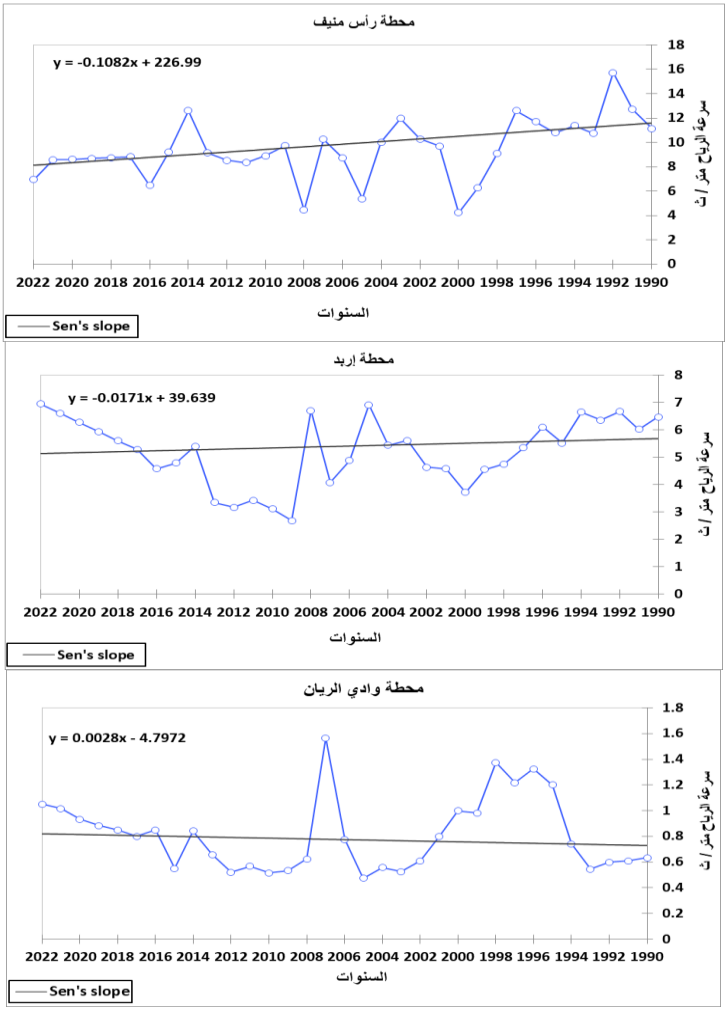
للكشف عن اتجاه ومعدل التغير في المعدلات السنوية لسرعة الرياح تم استخدام مقدر الانحدار سين (ss) Sen's Slope لتحليل الاتجاه العام ومقدار الميل في بيانات سرعة الرياح السنوية للفترة 1990-2022. يتضح من الجدول (4) والشكل (6) أن الاتجاه العام لسرعة الرياح السنوية يتجه نحو التزايد في محطة وادي الريان إذ بلغ 0.7 متر/ث بدون دلالة إحصائية، في حين سجلت محطتي رأس منيف وإربد مقدار تغير يتجه نحو التناقص فقد بلغ -3.46 متر/ث و-0.55 متر/ث جاء بدلالة إحصائية في محطة رأس منيف، فيما كان الاتجاه العام في منطقة الدراسة ككل يتجه نحو التناقص وبدلالة إحصائية بواقع -1.4 متر/ث.

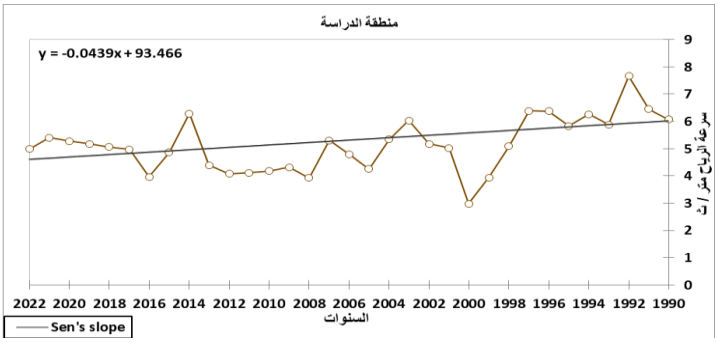
الجدول (4) مقدار التغير في اتجاه السلاسل الزمنية لسرعة الرياح السنوية متر/ث في محطات الدراسة للفترة 1990–2022.

المحطات	Mann-Kendall Test			مقدار التغير
	(الاتجاه sen's slope)	الدلالة الإحصائية	alpha	
رأس منيف	-0.108	* 0.001	0.05	-3.46
إربد	-0.017	0.505	0.05	-0.55
وادي الريان	0.003	0.535	0.05	0.07
منطقة الدراسة	-0.044	* 0.029	0.05	-1.4

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية. * تشير إلى المحطات ذات الدلالة الإحصائية .

الشكل (7) الاتجاه العام لسرعة الرياح السنوية متر/ث بمنطقة الدراسة للفترة (1990–2022).





ج – تغير معدل سرعة الرياح الشهرية الطويلة المدى واتجاهها العام:

يشير الجدول (5) إلى نتائج اختبار (MK) لبيانات سرعة الرياح الشهرية، للكشف عن اتجاه سرعة الرياح الشهرية على المدى الطويل لكل محطة من محطات الدراسة للفترة 1990–2022. بحيث يلاحظ أنه إذا كانت قيمة P-Value أقل من مستوى الأهمية alpha = 0.05 فسيتم رفض الفرضية الصفرية (H0)، التي تنص على أنه لا يوجد اتجاه في السلسلة الزمنية وقبول الفرضية البديلة (Ha)، التي تنص على أنه هناك اتجاه في السلسلة وأنها ذات دلالة احصائية.

الجدول (5) نتائج اختبار مان كيندال MK)لبيانات سرعة الرياح الشهرية متر/ث في محطات الدراسة.

المحطة	اختبار مان كيندال(S)	اختبار كيندال تاو	Var (S)	الدلالة الإحصائية	alpha	تفسير الاختبار
رأس منيف	-36	-0.545	212.667	* 0.016	0.05	رفض H0 هناك اتجاه
إربد	-6	-0.091	212.667	0.732	0.05	قبول H0 لا يوجد اتجاه
وادي الريان	-20	-0.303	212.667	0.193	0.05	قبول H0 لا يوجد اتجاه

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية. * تشير إلى المحطات ذات الدلالة الإحصائية

تبيّن من الجدول السابق أن هناك تغير في اتجاه سرعة الرياح الشهرية على المدى الطويل، خلال فترة الدراسة يتجه نحو التناقص، فقد جاء بدون دلالة إحصائية عند مستوى الأهمية alpha=0.05 في جميع محطات الدراسة باستثناء محطة رأس منيف بدلالة إحصائية، أمّا منطقة الدراسة ككل جاء اتجاه تناقص سرعة الرياح بدون دلالة إحصائية.

د– اتجاه ومعدل التغير الشهري:

يتبيّن من الجدول (6) والشكل (7) أن الاتجاه العام لسرعة الرياح الشهرية متر/ث خلال فترة الدراسة 1990–2022 يتجه نحو التناقص في محطتي إربد ووادي الريان بمقدار

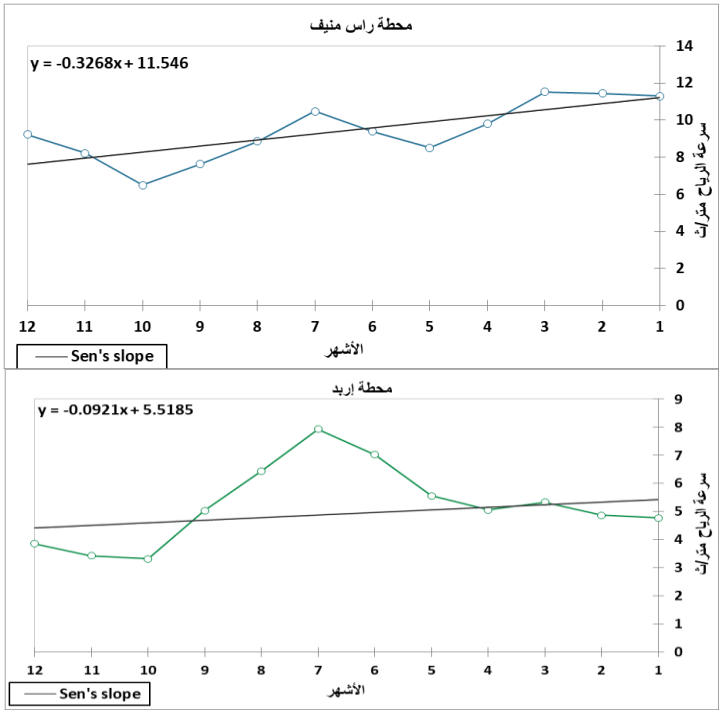
تغير بلغ -1.01 متر/ث و- 0.46 متر/ث على التوالي بدون دلالة إحصائية عند مستوى الأهمية 0.05 = alpha ، أما محطة رأس منيف فقد شهدت تناقصاً في معدلات سرعة الرياح الشهرية بمقدار تغير بلغ -3.6 متر/ث إذ يمثل المقدار الأعلى من بين محطات الدراسة الثلاث وبدلالة إحصائية، في حين كان الاتجاه العام لمنطقة الدراسة ككل يتجه نحو التناقص وبدون دلالة إحصائية بمقدار تغير بلغ -1.84 متر/ث.

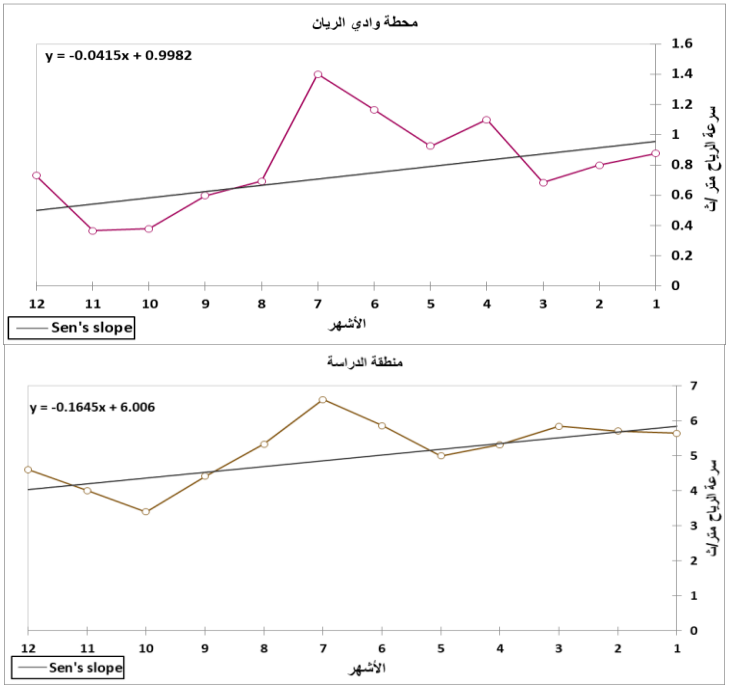
الجدول (6) ملخص اختبار مان كيندال (MK) لسرعة الرياح الشهرية على المدى الطويل متر/ث في محطات الدراسة.

المحطات	Mann-Kendall Test			مقدار التغير
	(sen's slope الاتجاه)	الدلالة الإحصائية	alpha	
رأس منيف	-0.327	* 0.016	0.05	-3.6
إربد	-0.092	0.732	0.05	-1.01
وادي الريان	-0.042	0.193	0.05	-0.46
منطقة الدراسة	-0.163	0.086	0.05	-1.84

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية. * تشير إلى المحطات ذات الدلالة الإحصائية.

الشكل (8) الاتجاه العام (MK) لسرعة الرياح الشهرية متر/ث بمنطقة الدراسة للفترة (1990–2022)





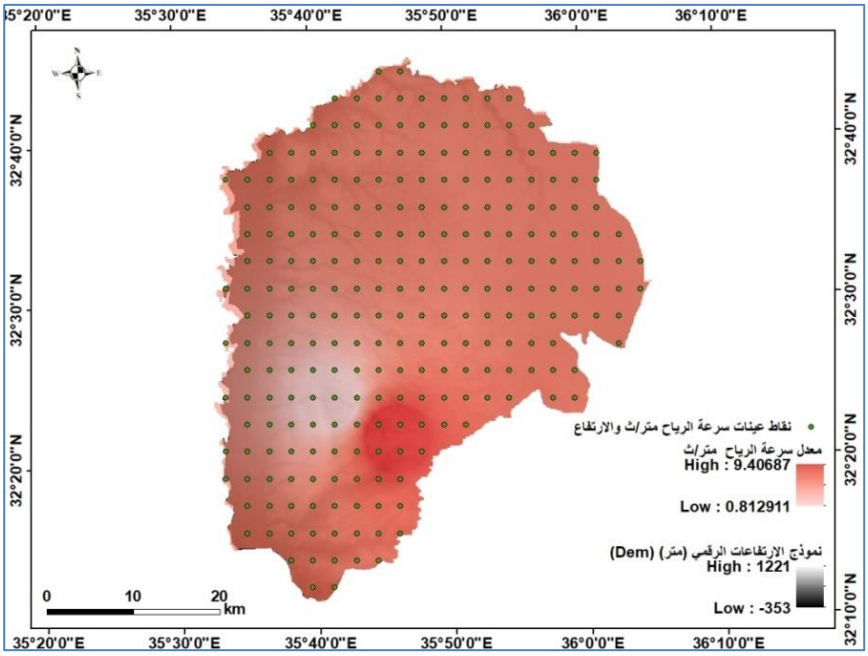
المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الأرصاد الجوية.

2 – ارتباط سرعة الرياح مع الارتفاع عن مستوى سطح البحر:

لمعرفة شكل ونوع الارتباط المكاني بين سرعة الرياح متر/ث والارتفاع عن مستوى سطح البحر (متر) في منطقة الدراسة تم أخذ عينات مكانية لكل منهما، وهذا يتضح في الشكل (8) الذي يبين نقاط العينات المأخوذة لكلا المتغيرين. يلاحظ من الجدول (7) والشكل (9) اللذان يبينان نتائج تحليل الارتباط المكاني بين سرعة الرياح متر/ث والارتفاع عن مستوى سطح البحر (متر) بمنطقة الدراسة للفترة 1990-2022 أن هناك ارتباط طردي متوسط بين معدلات سرعة الرياح وقيم الارتفاع عن مستوى سطح البحر، فقد بلغت قيمة الارتباط R 0.575 ، حيث يشير هذا إلى أن سرعة الرياح تزداد مع الارتفاع عن سطح البحر وتقل بالاقتراب من مستوى سطح البحر، وما يؤكد قوة الارتباط قيمة معامل التحديد R2 البالغة 0.331، وأشارت نتائج تطبيق اختبار F-test إلى رفض الفرضية الصفرية H0 وقبول الفرضية البديلة H1 ، والتي تشير إلى أنه هناك فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الأهمية alpha = 0.05 بين سرعة الرياح والارتفاع عن سطح البحر، إذ بلغت قيمة P-value 0.0001.

https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

الشكل (8) نقاط عينات معدلات سرعة الرياح متر/ث وقيم نموذج الارتفاعات الرقمي (متر).



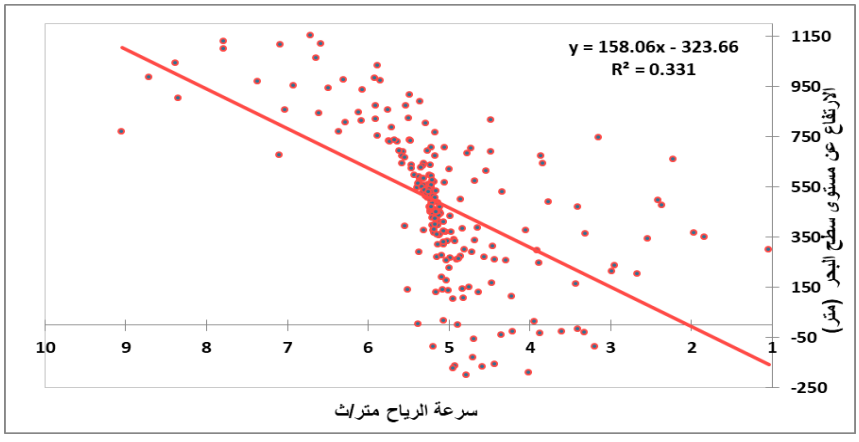
المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية

الجدول (7) العلاقة الإحصائية بين سرعة الرياح متر/ث والارتفاع عن مستوى سطح البحر.

الارتباط R	معامل التحديد R2	P–value
0.994	0.989	*0.0001

* تشير إلى المحطات ذات الدلالة الإحصائية.

الشكل (9) تغيرات سرعة الرياح مع الارتفاع عن مستوى سطح البحر بمنطقة الدراسة.



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارصاد الجوية.

ثاني عشر: النتائج والتوصيات:

1- النتائج:

1- بينت النتائج أن المعدل السنوي لسرعة الرياح م/ث تراوح بين 2.97 م/ث و7.66 م/ث، وأن أعلى معدل لسرعة الرياح سُجل في سنة 1992، وسُجل أدنى المعدلات السنوية لسرعة الرياح في سنة 2000، ويشير هذا إلى التغير في دوران الغلاف الجوي الناتج عن العوامل الطبيعية، والتغير في استعمالات الأرض التي تزيد من خشونة السطح.

2- بينت النتائج أن معدلات سرعة الرياح السنوية في المحطات المناخية تراوح بين 0.81 م/ث و9.41 م/ث، سُجل أعلاها في محطة رأس منيف بواقع 9.41 م/ث، وأدناها سُجل في محطة وادي الريان بواقع 0.81 م/ث.

3- يتضح من نتائج التوزيع الزمني لمعدلات سرعة الرياح الشهرية وجود تباين في قيم معدلات سرعة الرياح، فقد سُجل في شهر تشرين الأول أدنى معدل لسرعة الرياح بلغ 3.4 م/ث، وسُجل أعلى معدل لسرعة الرياح في شهر كانون الأول بقيمة بلغت 4.6 م/ث.

4- بينت نتائج اختبار مان كيندال Mann-Kendall trend Test ومقدر الانحدار sen's slope لبيانات سرعة الرياح السنوية وجود تغير في الاتجاه العام لسرعة الرياح في الفترة 1990-2022 في منطقة الدراسة يتجه نحو التناقص بمقدار - 1.4 م/ث، وبدلالة إحصائية.

5- أظهرت نتائج اختبار مان كيندال Mann-Kendall trend Test ومقدر الانحدار sen's slope لاتجاه سرعة الرياح الشهرية للفترة 1990-2022 وجود تناقص في اتجاه معدل سرعة الرياح الشهرية بلغ - 1.84 م/ث، وبدلالة إحصائية، كما أشارت النتائج إلى أن أعلى مقدار تغير شهري خلال فترة الدراسة 1990-2022 سُجل في محطة رأس منيف بلغ 3.6- م/ث، وبدون دلالة إحصائية.

6- ارتبطت سرعة الرياح بمنطقة الدراسة ارتباطاً طردياً متوسطاً مع الارتفاع عن مستوى سطح البحر وبدلالة إحصائية عند مستوى الأهمية alpha = 0.05.

2 – التوصيات:

بناءً على ما توصلت إليه الدراسة، توصي بما يأتي:

https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3759

1- العمل على الاستغلال الأمثل للرياح في المناطق ذات السرعة الأعلى لتوليد الطاقة وانشاء محطات لقياس سرعة الرياح وتغيراتها على مستويات مختلفة من الارتفاع، وتطوير استراتيجيات للتكيف مع أنماط الرياح.

2- العمل على استغلال المناطق الأقل تأثراً بسرعة الرياح زراعياً.

3- تطوير تقنيات جديدة لتحسين كفاءة استغلال الرياح، خاصة في المناطق المرتفعة.

المصادر و المراجع:

– دائرة الأرصاد الجوية الأردنية – عمان – بيانات غير منشورة.

- Azorin-Molina, C., Vicente-Serrano, S. M., McVicar, T. R., Jerez, S., Sanchez-Lorenzo, A., López-Moreno, J. I., ... & Espírito-Santo, F. (2014). Homogenization and assessment of observed near-surface wind speed trends over Spain and Portugal, 1961–2011. Journal of Climate, 27(10), 3692-3712.
- Diao, W., Zhao, Y., Dong, Y., Zhai, J., Wang, Q., & Gui, Y. (2020). Spatiotemporal variability of surface wind speed during 1961–2017 in the Jing-jin-ji region, china. Journal of Meteorological Research, 34(3), 621-632.
- Donohue, R. J., McVicar, T. R., & Roderick, M. L. (2010). Assessing the ability of potential evaporation formulations to capture the dynamics in evaporative demand within a changing climate. Journal of Hydrology, 386(1-4), 186-197.
- Drápela & Drápelová . (2011). Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kříž (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997-2010. Beskydy, 4(2), 133-146.
- Drápela & Drápelová. (2011). Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kříž (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997-2010. Beskydy, 4(2), 133-146.
- Fu, G., Yu, J., Zhang, Y., Hu, S., Ouyang, R., & Liu, W. (2011). Temporal variation of wind speed in China for 1961–2007. Theoretical and Applied Climatology, 104, 313-324.
- Hamed & Rao. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of hydrology, 204(1-4), (pp 182-196).
- He YP, Monahan AH, Jones CG, Dai A, Biner S, Caya D, Winger K (2010) Probability distributions of land surface wind speeds over North America. J Geophys Res Atmos 115:D04103.

- Jiang, Y., Luo, Y., Zhao, Z., & Tao, S. (2010). Changes in wind speed over China during 1956–2004. Theoretical and Applied Climatology, 99, 421-430.
- Kendall, M. G. (1970). Rank Correlation Methods." Griffin, London.
- Klink, K. (2007). Atmospheric circulation effects on wind speed variability at turbine height. *Journal of applied meteorology and climatology*, *46*(4), 445-456.
- Koudahe, K., Koffi, D., Kayode, J., Awokola, S., & Adebola, A. (2018). Impact of climate variability on crop yields in southern Togo. Environment Pollution and Climate Change, 2(1), (pp 1-9).
- Kousari, M. R., Ahani, H., & Hakimelahi, H. (2013). An investigation of near surface wind speed trends in arid and semiarid regions of Iran. Theoretical and applied climatology, 114(1), 153-168.
- Liu, C., Li, Q., Zhao, W., Wang, Y., Ali, R., Huang, D., ... & Wei, X. (2020). Spatiotemporal characteristics of near-surface wind in Shenzhen. Sustainability, 12(2), 739.
- McMahon, T. A., Peel, M. C., Lowe, L., Srikanthan, R., & McVicar, T. R. (2013). Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. Hydrology and Earth System Sciences, 17(4), 1331-1363.
- McVicar TR, Roderick ML (2010) Atmospheric science: winds of change. Nat Geosci 3(11):747–748
- Motiee & McBean . (2009). An assessment of long-term trends in hydrologic components and implications for water levels in Lake Superior. Hydrology Research, 40(6),(pp 564-579).
- Motiee & McBean. (2009). An assessment of long-term trends in hydrologic components and implications for water levels in Lake Superior. Hydrology Research, 40(6), 564-579.
- Roderick ML, Rotstayn LD, Farquhar GD, Hobbins MT (2007) On the attribution of changing pan evaporation. Geophys Res Lett 34(34):251–270. https://doi.org/10.1029/2007GL031166

- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 63, (pp 1379–1389).
- Stuart. (1977). Spearman-like computation of Kendall's tau. British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 30(1), 104-112.
- Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Talaee, P. H., & Mohammadi, K. (2011). Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. Agricultural and forest meteorology, 151(2), 128-136.
- Taylor, R. (1990). Interpretation of the correlation coefficient: a basic review. *Journal of diagnostic medical sonography*, *6*(1), 35-39.
- Trenberth, K. E. (2018). Climate change caused by human activities is happening and it already has major consequences. *Journal of energy & natural resources law*, *36*(4), 463-481.
- Zhang, N., Wang, X., Chen, Y., Dai, W., & Wang, X. (2016). Numerical simulations on influence of urban land cover expansion and anthropogenic heat release on urban meteorological environment in Pearl River Delta. Theoretical and Applied Climatology, 126, 469-479.
- Zhu, J., & Liang, X. Z. (2013). Impacts of the Bermuda high on regional climate and ozone over the United States. Journal of Climate, 26(3), 1018-1032.