التباين المكاني والزماني لسرعة الرياح في الأردن

علي أحمد غانم*

ملخص: استخدمت البيانات اليومية لسرعة الرياح لثماني محطات موزعة في الأقاليم الجغرافية المختلفة في الأردن خلال المدة الممتدة من 1977–2000 لدراسة تباينها المكاني والزماني، ومثلت نتائج العمليات الإحصائية بالجداول و الأشكال البيانية. ووجد أن الرياح النهارية أكبر سرعة من الرياح الليلية في معظم المحطات، وكانت أعلى المتوسطات عند منتصف النهار في محطة رأس منيف (7,2م/ث)، وأقلها في محطة وادي الريان (3,1م/ث). وفي معظم المحطات كانت سرعة الرياح أكبر في شهور فصل الصيف وبخاصة في شهري حزيران وتموز؛ حيث سجلت فيها أعلى المتوسطات باستثناء محطتي معان و الشوبك؛ إذ كانت أشد الرياح فيهما في شهور فصل الشتاء. وكانت متوسطات سرعة الرياح متذبذبة من سنة إلى أخرى، وإن كان أشدها قد حدث في فترة التسعينيات. وسجلت أكبر سرعات رياح في المناطق الجبلية مقارنة بالأغوار والبادية. ولاختلاف سرعة الرياح من محطة إلى أخرى وجد أن أفضل أوقات الحصول على أعلى كمية من الطاقة الريحية هو في النهار وفي فصل الصيف، وأن إنتاجية الطاقة متذبذبة، وهي ضعيفة إلى متوسطة في معظم المحطات.

المصطلحات الأساسية: الأردن، سرعة الرياح، التباين الزماني، التباين المكاني، النهار، الليل، الطاقة الريحية.

* قسم الجغرافيا، الجامعة الأردنية، الأردن.

المقدمة:

يبحث هذا الموضوع في دراسة التوزع المكاني والزماني لسرعة الرياح السطحية في مناطق الأردن المختلفة جغرافياً. فهدف البحث هو دراسة الخصائص الإحصائية والجغرافية لسرعة الرياح في ثماني محطات، تمثل مناطق جغرافية مختلفة في الأردن، وتوضيح التوزع الزماني والمكاني للرياح اليومية والشهرية والفصلية والسنوية، بالإضافة إلى تقديم معلومات عن صلاحية تلك المحطات أو المناطق لإقامة مشروعات الطاقة الريحية.

ويتزايد الاهتمام بهذا الموضوع لإمكانية استغلال الرياح في توليد الطاقة الكهربائية. وتعد الطاقة الريحية من أهم أنواع الطاقة المتجددة التي تتصف بالاستمرارية وبأنها نظيفة لا تسبب تلوثاً أو ضرراً للبيئة (Hennessey, 1977). وللرياح السطحية أهمية أيضاً لتأثيرها على المزروعات، وتبخر الماء، وتركيز الملوثات في الجو، وتصميم المساكن، وراحة الإنسان.

واهتم الإنسان بتحديد اتجاه الرياح وحساب سرعتها منذ القدم، ويعود استخدام الطاقة الريحية إلى الحضارات القديمة الصينية والفارسية والمصرية، وحديثاً تستخدم الطاقة الريحية لإنتاج الكهرباء في كثير من دول العالم (محمود صفر، 1984). وفي الأردن نفذت مشروعات محطات لتوليد الطاقة الريحية في المناطق النائية، مثل منطقة جرف الدراويش في جنوب البلاد ومنطقة الإبراهيمية وإربد في شمالها.

وتتوقف إنتاجية الطاقة الكهربائية على سرعة الرياح بشكل رئيس، بالإضافة إلى كثافة الهواء وقطر مروحة مولد الكهرباء. فإن تزايد سرعة الرياح يزيد من إنتاجية الطاقة بشكل كبير؛ إذ تتناسب الإنتاجية طرداً مع مكعب سرعة الرياح. وبما أن سرعة الرياح في تغير دائم في أي مكان، فإن الطاقة المنتجة تتغير، وإن اختلاف متوسط سرعة الرياح السنوية بمقدار 10% يؤثر على إنتاج الطاقة بنحو 30% (Stewart & Essenwanger, 1978) . ولتذبذب سرعة الرياح من وقت لآخر خلال اليوم، فإنه يفضل إقامة مشروعات الطاقة الريحية واستخدامها في التطبيقات التي تحتمل تذبذب الطاقة كالمشروعات التي لا تحتاج إلى الطاقة على مدار اليوم مثل مشروعات ضخ المياه من الآبار الجوفية أو الإضاءة في الليل (زياد شقللي، 1988).

ولتفاوت سرعة الرياح من مكان لآخر، فإنه ليست كل المناطق تصلح أو ذات

جدوى اقتصادية لإنتاج الطاقة الريحية. لذلك فإن التخطيط لإقامة مشروعات الطاقة الريحية يتطلب القيام بعملية مسح شامل لخصائص سرعة الرياح وعناصر المناخ ذات العلاقة كدرجة الحرارة والرطوبة والضغط الجوي، في مختلف المناطق أو المناطق التي ستقام فيها مشروعات الطاقة الريحية، ومن الضروري أيضاً تدقيق بيانات الرياح والتأكد من صحتها.

ولأهمية الرياح فقد قام العديد من المتخصصين بدراسة و تحليل لبياناتها بطرق متباينة ومتكاملة. ومنهم من اهتم بإيجاد قرائن لسرعة الرياح (Smith, 1982) لتسهيل تطبيق معلومات الرياح في مجالات الحياة. وقد كثرت الدراسات التي اهتمت بالتوزع المكاني للرياح (Stewart & Essenwanger, 1978; Tattelman, 1975; Zaremba & Carroll, 1999) وكذلك التوزع الزماني لها (Jong & Thomann, 1981; Justus et al., 1979)، وكلها ذات أهمية كبيرة، وتعد أساسية لفهم طبيعة الرياح في أي إقليم.

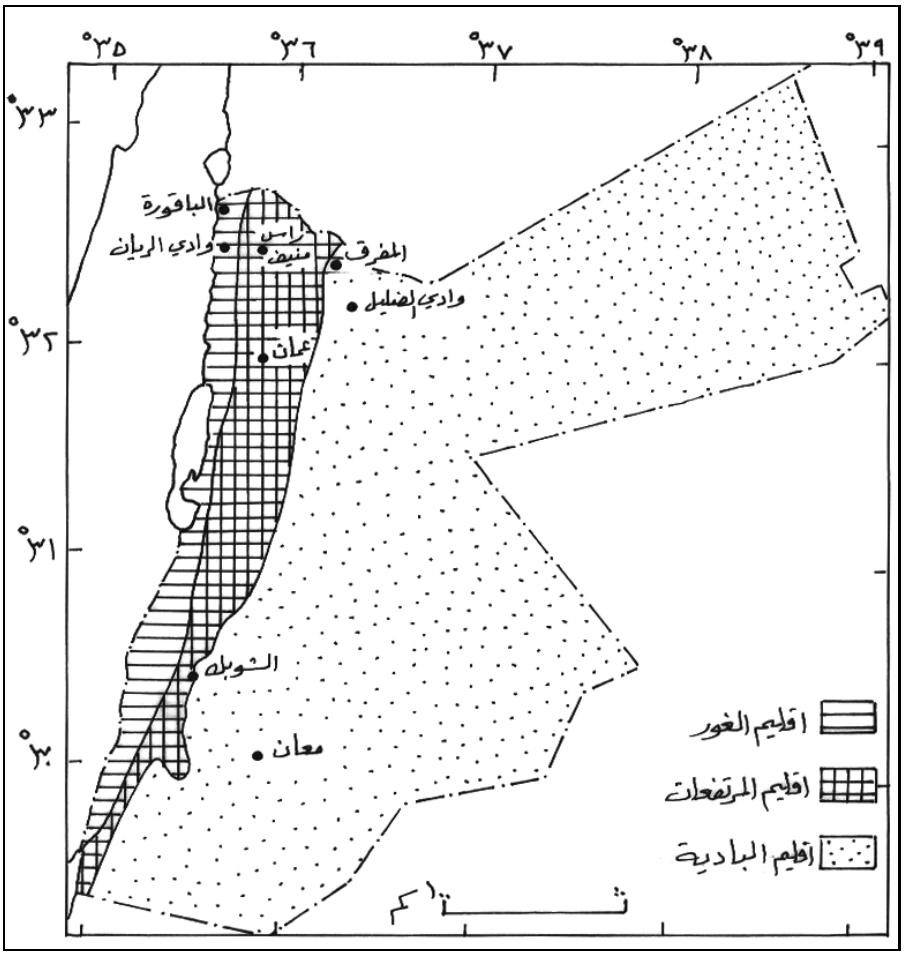
البيانات:

حُصلت البيانات اليومية لسرعة الرياح من دائرة الأرصاد الجوية الأردنية لثماني محطات. وجدول (1) يبين البيانات المستخدمة والموقع الجغرافي و ارتفاع المحطات المستخدمة في البحث، وهي ست محطات تقع في شمال الأردن: مطار عمان، والباقورة، ورأس منيف، ووادي الضليل والمفرق، ووادي الريان، في حين هناك محطتان في الجنوب هما الشوبك ومعان (شكل 1). ويظهر التركيز على المنطقة الشمالية؛ لأنها أكثر كثافة في السكان، ولوجود معظم محطات الأرصاد الجوية فيها مع وفرة بياناتها مقارنة بالمنطقة الجنوبية. و اختيرت المحطات المذكورة؛ إذ تزيد مدة بيانات سرعة الرياح المتوفرة في كل منها على 20 سنة، وتقل نسبة البيانات المفقودة عن 5%، بالإضافة إلى مراعاة التباين المكاني للمحطات المختارة لتمثل أقاليم الأردن الجغرافية المختلفة، الأغوار (الباقورة ووادي الريان)، الجبال (رأس منيف والشوبك) والبادية (المفرق ومعان ووادي الضليل وعمان).

وتشمل البيانات سرعة الرياح في أربعة أوقات، هي: منتصف الليل(الساعة 00:00)، والساعة السادسة صباحاً (الساعة 06:00)، ومنتصف النهار (الساعة 12:00) والساعة السادسة مساءً (الساعة 18:00). والقراءات لسرعة الرياح

مأخوذة من جهاز الأنيمومتر Anemometer المجهز في كل محطة على ارتفاع عشرة أمتارعن سطح الأرض. و تشمل البيانات السنوات من 1977–2000.

وقد راجعت البيانات ودققتها دائرة الأرصاد الجوية الأردنية قبل تخزينها؛ بحيث تقع قيم سرعة الرياح أو قيم أقصى سرعة ضمن مدى معقول ومقبول، وكذلك دققت حالة السكون لتكون سرعة الرياح واتجاهها متماثلين ويساويان صفراً. والبيانات مدونة في السجلات بوحدة العقدة، وحولت إلى وحدة متر/الثانية (م/ث) على اعتبار أن م/ث=0,515 عقدة.



شكل (1) – الأقاليم الجغرافية ومواقع محطات الأرصاد الجوية.

جدول (1)
موقع محطات الأرصاد الجوية في منطقة الدراسة وبياناتها

المحطة	الارتفاع (م)	درجة العرض دقيقة – درجة	خط الطول دقيقة – درجة	البيانات المفقودة (%)
الباقورة	170 –	32 38	35 37	2
عمان	772	31 59	35 59	0,4
وادي الضليل	580	32 09	36 17	0,1
معان	1069	30 10	35 47	0
المفرق	686	32 22	36 15	0
رأس منيف	1150	32 22	35 45	4,3
الشوبك	1365	30 31	35 32	0,4
وادي الريان	200 –	32 24	35 35	2,6

المنهجية:

لتحقيق أهداف البحث اتبعت منهجيات مناسبة لدراسة موضوع الرياح في 8 محطات في الأردن، ذات بيانات طويلة المدة نسبياً، وشملت المنهجية:

الاطلاع على ما أمكن من الأبحاث و الكتب التي عالجت موضوع الرياح في الأردن و غيرها من المناطق ذات الأهمية للإنسان. واتبع المنهج الوصفي حيث وصف تباين الرياح الزماني و اختلافها من مكان إلى آخر. و يصاحب ذلك تقديم ما أمكن من تفسير وتوضيح لأسباب تباينها بين المحطات.

واستخدم التحليل الإحصائي بأساليبه المناسبة لمعالجة بيانات سرعة الرياح من أجل تحقيق هدف البحث (Conrad, 1963; Justus et al., 1979; Storch & Zwiers, 1999; Stringer, 1972) ومن تلك الأساليب:

– حساب مقاييس النزعة المركزية ومقاييس التشتت لبيانات سرعة الرياح، مثل المتوسطات الحسابية، والمنوال، والانحراف المعياري، ومعامل الاختلاف. وتقدم هذه البيانات وصفاً مختصراً للأعداد الكبيرة من البيانات المستخدمة في البحث.

– استخراج تكرارات سرعة الرياح اليومية و تباين توزعها الجغرافي في محطات الأرصاد الجوية لمنطقة الدراسة (Hennessey,1977; Thomann & Jong, 1978). وتوضيح ذلك بالجداول والأشكال البيانية.

– إن بيانات سرعة الرياح ذات توزع غير طبيعي، وهي ذات ميلان سالب؛

فالرياح القوية أو ذات السرعة العالية نادرة الحدوث و قليلة التكرار، بينما الرياح الخفيفة هي الأكثر شيوعاً و ذات تكرارات كبيرة؛ لذلك فإن مقارنة البيانات بين المحطات المختلفة تكون غير دقيقة، ولهذا حسبت المتوسطات المعياريةstandardized averages للبيانات لتحقيق مقارنة أفضل و أدق بين المحطات المدروسة. واستخدمت العلاقة (Davis & Ekern, 1977; Harouna & Carlson, 1994):

المتوسط المعياري= (م−م/)/ع

حيث إن م هي المتوسط الحسابي لشهر أو سنة،

و م/ هي معدل البيانات لشهر أو سنة من مدة الدراسة كاملة،

و ع هي الانحراف المعياري.

– واستخدمت المتوسطات المعيارية للحصول على قيم المتوسطات المتحركة moving averages للبيانات السنوية من أجل توضيح تباين تغير سرعة الرياح واتجاهاته في كل المحطات. واستخدمت المتوسطات المتحركة الموزونة binomial weights لمدة خمس سنوات، و تستخدم هذه المدة للتقليل من أهمية الذبذبات التي تحدث خلال أقل من خمس سنوات.

– وحسبت نسب الرياح القوية والمتطرفة وتكراراتها extreme ذات السرعة العليا، وكذلك حسبت فترات الرجوع return period لأعلى سرعة سجلت في كل سنة من سنوات الدراسة (Linacre, 1992). وقد مثلت نتائج العمليات الإحصائية بالجداول و الأشكال البيانية.

الرياح اليومية في منطقة الدراسة:

تختلف سرعة الرياح من وقت إلى آخر خلال اليوم (24 ساعة) وذلك بسبب تأثير العوامل الجغرافية المحلية، وأهمها التضاريس التي تؤثر في توزع الطاقة الذي بدوره يؤثر في توزع الضغط الجوي، كذلك فإن الجبال تعوق حركة الرياح. فإذا استثنيت العوامل المحلية تتكون دورة يومية منتظمة للرياح؛ فالمحطات المتشابهة في موقعها وطبيعتها تتشابه فيها حركة الرياح اليومية، و لاختلاف طبيعة المحطات تباينت الرياح فيها. ولوصف تغيرات الرياح اليومية في الأردن حللت بيانات سرعة الرياح خلال أربعة أوقات بحسب توقيت غرينتش (الساعة 00، 06، 12، 18) كل ست ساعات، وهي الأوقات التي تسجل فيها سرعة الرياح في محطات الأرصاد الجوية في الأردن.

وبشكل عام فإن أعلى المعدلات لسرعة الرياح سجلت في رأس منيف (7,2م/ث) ومعان (6 م/ث)، وأقلها سجلت في وادي الضليل ووادي الريان بمعدل (2,8م/ث). ويبين (جدول 2) تباين سرعة الرياح اليومية في محطات الدراسة الثماني. ويلاحظ أن أعلى المتوسطات لسرعة الرياح اليومية سجلت في منتصف النهار(الساعة 12) في ست محطات، في حين سجلت أعلى المتوسطات لمحطتي الباقورة (4,8م/ث) والشوبك (4,1م/ث) عند منتصف الليل (الساعة 00:00)، وقد كانت أعلى المتوسطات الساعة 12:00 في محطة رأس منيف (7,2م/ث) التي ترتفع (1150م) عن مستوى سطح البحر، بينما كان أقل المتوسطات عند منتصف الليل (الساعة 00:00) في محطة وادي الضليل (2.5م/ث) التي ترتفع (580م) عن مستوى سطح البحر. وكانت سرعة الرياح الليلية نحو (70%) من سرعة الرياح في النهار في معظم المحطات مثل الباقورة وعمان ومعان والمفرق.

وكانت قيم الانحراف المعياري متوافقة مع قيم متوسط سرعة الرياح. فكانت أعلى قيم للانحراف المعياري متوافقة مع أعلى المتوسطات في جميع المحطات؛ فأعلى متوسط لسرعة الرياح في محطة عمان (5,2 م/ث) يتوافق مع أعلى انحراف معياري (2,3 م/ث)، وسجلا في منتصف النهار.

جدول (2)
المتوسط (م) والانحراف المعياري (ع) لسرعة الرياح اليومية (م/ث) في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة (إعداد الباحث).

الساعة (غرينتش)	00:00		06:00		12:00		18:00	
المحطة	م	ع	م	ع	م	ع	م	ع
الباقورة	4,8	3,4	4,4	3,1	3,4	1,8	3,6	2,5
عمان	3,9	2,2	4	2,1	5,2	2,3	3,9	2,1
وادي الضليل	2,5	1,6	2,7	1,6	3,9	2	2,7	1,5
معان	4,5	2,9	4,7	3	6	3,2	5,1	2,6
المفرق	3,7	2	3,9	1,9	5,5	2,3	5,1	2,6
رأس منيف	6,1	3,2	5,8	3,2	7,2	3,5	5,7	3,2
الشوبك	4,1	2	3,7	1,7	3,8	1,6	3,8	1,7
وادي الريان	3,1	1,7	2,8	1,3	3,1	1,4	2,8	1,3

ويتزايد التباين في سرعة الرياح في أقرب المحطات إلى المناطق الصحراوية الجافة التي تتصف بطول مدة صفاء الجو وارتفاع درجة الحرارة فيها؛ فيلاحظ من (جدول 3) أن أقل قيمة للمدى اليومي لسرعة الرياح (الفرق بين أقل متوسط لسرعة الرياح اليومية وأكبره) كانت في محطة وادي الريان (0,3 م/ث) والشوبك (0,4 م/ث)، ويتزايد المدى اليومي ليصل إلى (1,8 م/ث) في المفرق، و (1,5 م/ث) في معان. والمدى مثل الانحراف المعياري من مقاييس تشتت القيم، فأعلى القيم للمدى تدل على وجود تباين أكبر في سرعة الرياح اليومية، ويلاحظ أن المدى أكبر في محطات إقليم البادية (المفرق ومعان ووادي الضليل) مقارنة بالأقاليم الأخرى. ويظهر (جدول 3) أن أكثر القيم تكراراً حدثت في محطات عمان والمفرق ورأس منيف؛ حيث بلغت قيم المنوال The Mode (5,2 م/ث) في محطات عمان والمفرق ورأس منيف، وسجلت أقل قيم المنوال (1,6 م/ث) في محطة وادي الريان.

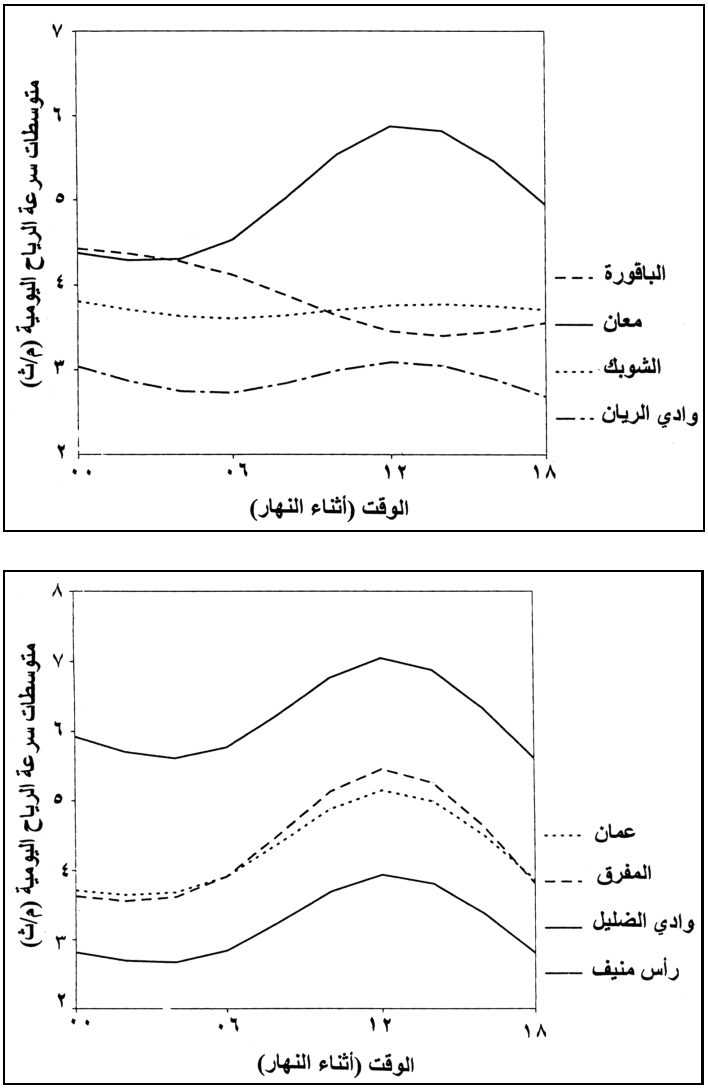
جدول (3)
قيم المدى والمنوال لسرعة الرياح المسجلة في منتصف النهار في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة (إعداد الباحث).

المحطة	الباقورة	عمان	وادي الضليل	معان	المفرق	راس منيف	الشوبك	وادي الريان
المدى	1,4	1,3	1,4	1,5	1,8	1,5	0,4	0,3
المنوال	2,1	5,2	4,1	3,1	5,2	5,2	3,1	1,6

إن لسرعة الرياح السطحية دورة يومية في معظم المحطات؛ فالسرعة القصوى سجلت في معظم المحطات عند الظهر (الساعة 12:00)، في حين حدثت أقل المتوسطات عند منتصف الليل (الساعة 00:00). فسرعة الرياح في النهار أكثر مما هي عليه في الليل في جميع المحطات باستثناء محطة الباقورة. ويظهر (شكل 2) أن أقل تباين في متوسطات سرعة الرياح هو في محطة الشوبك ثم في محطة وادي الريان.

وسجل أعلى متوسط للرياح في منتصف النهار؛ حيث يتزايد نشاط عمليات تيارات الحمل Convection الناتجة عن تعرض سطح الأرض للتسخين وكذلك طبقة الهواء المجاورة له، وأدى ذلك إلى تحرك الهواء وتزايد نشاط الرياح. والعكس يحدث في الليل؛ حيث سجلت المتوسطات المتدنية في معظم المحطات. ويعود ذلك إلى برودة الهواء في الليل بسبب فقدان الأرض للطاقة مما يزيد من قوة الاحتكاك ومن فعالية الاستقرار الجوي وبطء حركة الهواء. أما حدوث العكس في محطة الباقورة

حيث تقل سرعة الرياح في النهار وتنشط في الليل، فيعود إلى وقوعها في منطقة الأغوار المنخفضة، وفي المناطق المنخفضة يسود هواء بارد في الليل واستقرار سطحي فتزداد سرعة الرياح حيث يتحرك الهواء الدافئ فوق الهواء البارد نسبياً الذي تجمع على السطح، لتصل الرياح إلى أقصى سرعة لها خلال الليل.



شكل (2) – تباين سرعة الرياح اليومية في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة.

إن نسب تكرار الرياح القوية (أكثر من 10م/ث) منخفضة جداً في جميع المحطات، وأكثرها كان في محطة رأس منيف (13,5%) ثم محطة معان (7,6%). ويلاحظ من (جدول 4) أن أعلى النسب (أكثر من 40%) هي للرياح ذات المتوسطات الواقعة بين (2,5 – 5 م/ث) في جميع المحطات. ويوجد فرق كبير بين نسب تكرار المتوسطات العالية والمتوسطات المنخفضة في جميع المحطات باستثناء محطة رأس منيف التي تتقارب فيها نسب فئات السرعات المختلفة مقارنة بالمحطات الأخرى. ويلاحظ أن أكثر من (80%) من الرياح في محطات وادي الريان والشوبك ووادي الضليل والباقورة هي (أقل من 5 م/ث).

جدول (4)
النسب المئوية لتكرار سرعة الرياح (م/ث) في منتصف النهار في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة (إعداد الباحث).

السرعة	0 < 2,5	2,5 < 5	5 < 7,5	7,5 < 10	10 <
الباقورة	44,2	47,4	6,3	1,7	0,4
عمان	15,8	47,6	23,6	11,2	1,8
وادي الضليل	35	46,4	14	4,1	0,5
معان	11,4	44,1	20,7	16,2	7,6
المفرق	10,5	47,7	25,5	14,5	1,8
رأس منيف	9,2	30,2	19,5	27,6	13,5
الشوبك	31,1	56,9	9,1	2,5	0,4
وادي الريان	50,6	43,5	5,2	0,6	0,1

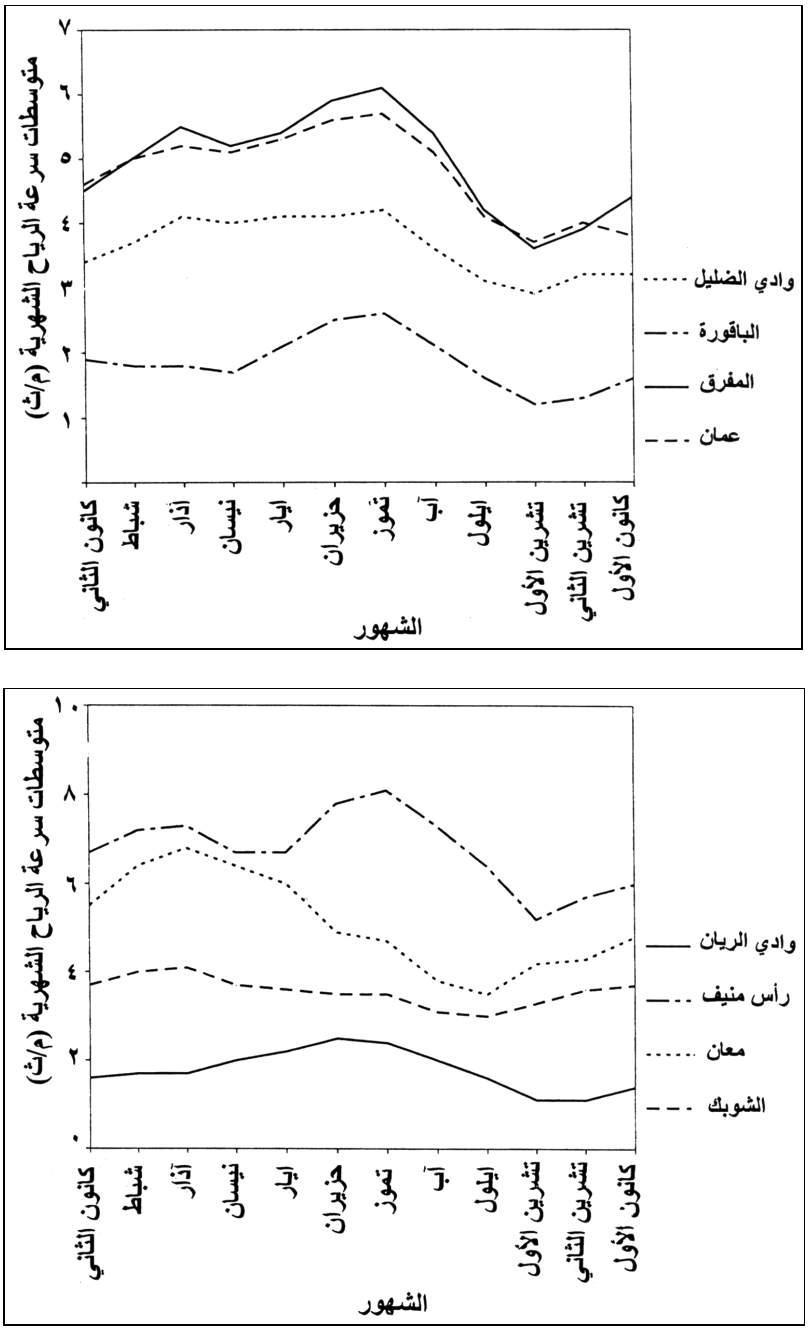
الرياح الشهرية في منطقة الدراسة:

وتختلف سرعة الرياح من شهر إلى آخر في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة نتيجة لاختلاف الأحوال الجوية، ويظهر من (شكل 3) أن أعلى متوسطات سرعة الرياح كانت في شهر تموز في معظم المحطات، وكان أقلها في شهر تشرين الأول. وتتفاوت سرعة الرياح بين المحطات نتيجة لتأثرها بعوامل الموقع والتضاريس. ويبين (جدول 5) أن أكبر متوسطات سرعة الرياح كانت (8,1 م/ث)، وسجل في محطة رأس منيف التي تقع على ارتفاع (1150 متراً) عن مستوى سطح البحر، بينما سجل أقل المتوسطات (1,1 م/ث) في محطة وادي الريان التي تقع على (200 م) تحت مستوى البحر.

ويظهر (شكل 3) أيضاً أن أكبر تباين في متوسطات سرعة الرياح كان في محطة معان؛ حيث بلغ الانحراف المعياري (1,1 م/ث)، وراوحت متوسطات سرعة الرياح بين (3,5 م/ث) في شهر أيلول و (6,8 م/ث) في شهر شباط. وكان أكبر مدى فصلي لسرعة الرياح (الفرق بين أكبر متوسط شهري وأقله) في معان؛ حيث بلغ (3,3 م/ث). وكان أقل تباين في سرعة الرياح في محطة الشوبك حيث بلغ الانحراف المعياري (0,3 م/ث) وراوحت المتوسطات بين (3 م/ث) في شهر أيلول و(4,1 م/ث) في شهر آذار. وتتميز محطة معان بتناقص متوسطات سرعة الرياح في شهور نيسان وأيار وحزيران وتموز مقارنة بباقي المحطات التي تتزايد فيها المتوسطات في تلك الشهور؛ وربما يعود ذلك إلى وقوعها في الجنوب، ولتأثرها بصورة أكبر بالرياح الخماسينية التي تنشط في فصل الربيع.

جدول (5)
متوسطات سرعة الرياح الشهرية (م/ث) في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة 1977–2000 (إعداد الباحث).

	وادي الريان	الضليل	المفرق	رأس منيف	الباقورة	عمان	معان	الشوبك
كانون الثاني	1,6	3,4	4,5	6,7	1,9	4,6	5,5	3,7
شباط	1,7	3,7	5	7,2	1,8	5	6,4	4
آذار	1,7	4,1	5,5	7,3	1,8	5,2	6,8	4,1
نيسان	2	4	5,2	5,7	1,7	5,1	6,4	3,7
أيار	2,2	4,1	5,4	6,7	2,1	5,3	6	3,6
حزيران	2,5	4,1	5,9	7,8	2,5	5,6	4,9	3,5
تموز	2,4	4,2	6,1	8,1	2,6	5,7	4,7	3,5
آب	2	3,6	5,4	7,3	2,1	5,1	3,8	3,1
أيلول	1,6	3,1	4,2	6,4	1,6	4,1	3,5	3
تشرين الأول	1,1	2,9	3,6	5,2	1,2	3,7	4,2	3,3
تشرين الثاني	1,1	3,2	3,9	5,7	1,3	4	4,3	3,6
كانون الأول	1.4	3.2	4.4	6	1.6	3.8	4.8	3.7
المعدل	1,8	3,6	4,9	6,7	1,9	4,8	5,1	3,6
الانحراف المعياري	0,6	0,5	0,7	0,8	0,4	0,7	1,1	0,3
المدى	1,4	1,3	2,5	2,9	1,4	2	3,3	2,1



شكل (3) – تغير سرعة الرياح الشهرية في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة

وللمقارنة بين متوسطات سرعة الرياح الشهرية في محطات الدراسة استخرجت المتوسطات المعيارية (شكل 4). ويظهر الشكل أن أكثر الشهور شدة في الرياح كان في فصل الصيف (حزيران وتموز) في معظم المحطات، وأضعفها كان في شهور فصل الخريف (أيلول وتشرين الأول) .

ويلاحظ من (شكل 3) تشابه نمط تغير متوسطات سرعة الرياح في جميع المحطات؛ فالرياح أكثر من المتوسط (الصفر) في النصف الأول من السنة (كانون الثاني – تموز)، وهي أقل من المتوسط في النصف الثاني من السنة (تموز – كانون الأول). ويمكن ملاحظة أن أقل المحطات تذبذباً حول المتوسط هي محطة الشوبك، بينما تشاهد التغيرات – التي تكاد تكون متشابهة – في بقية المحطات.

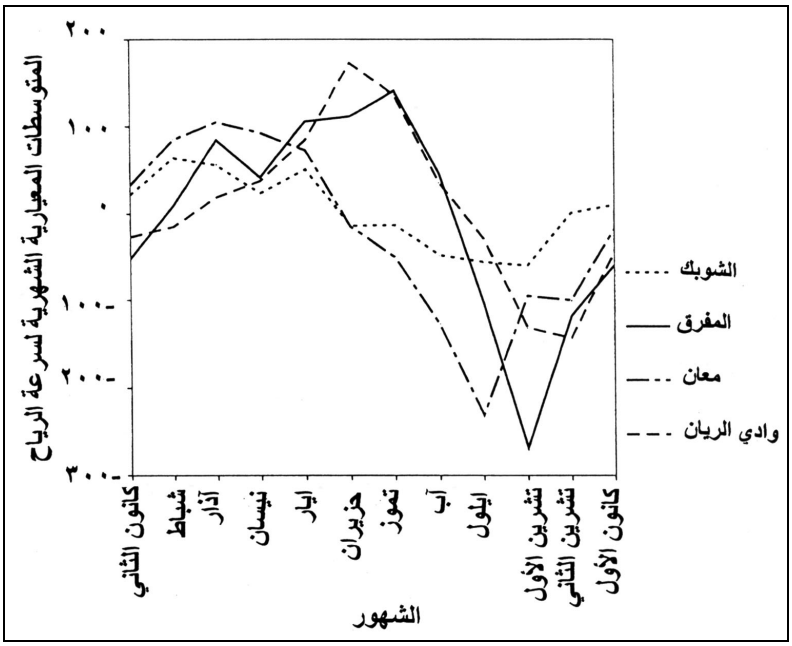
الرياح الفصلية في منطقة الدراسة:

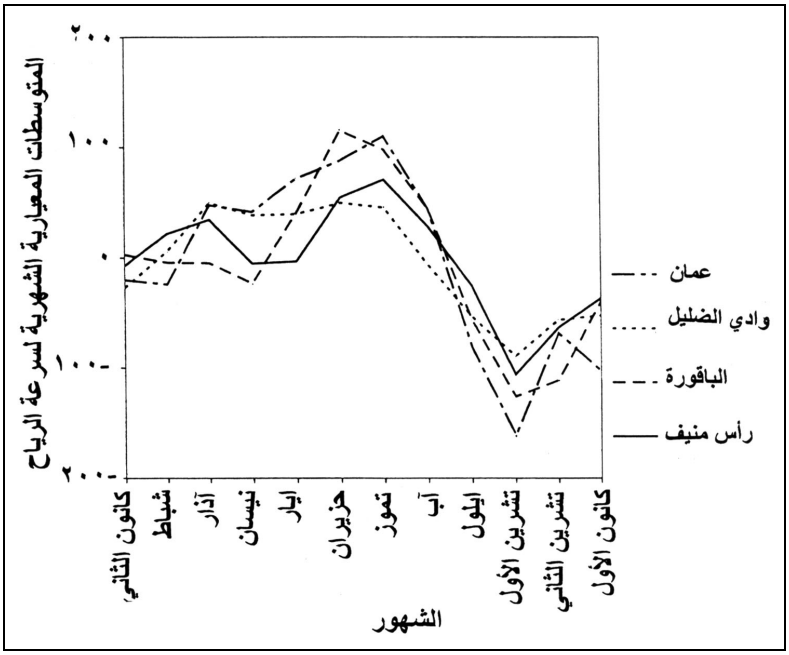
ولتعرف الرياح الفصلية قورنت متوسطات سرعة الرياح في شهر كانون الثاني الذي يمثل فصل الشتاء (الممتد من تشرين الثاني – آذار) بشهر تموز الذي يمثل فصل الصيف (الممتد من أيار – تشرين الأول). و(جدول 6) يوضح العلاقة بين الرياح في شهري تموز وكانون الثاني، التي تختلف بسبب اختلاف الخصائص المحلية لكل محطة (Linacre, 1992).

جدول (6)
العلاقة بين الرياح في شهري تموز وكانون الثاني في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة (إعداد الباحث).

المحطة	نسبة تموز /كانون الثاني	نسبة كانون الثاني / تموز
وادي الريان	1,49	0,67
عمان	1,25	0,79
الشوبك	0,93	1,07
معان	0,85	1,16
الباقورة	1,38	0,72
رأس منيف	1,21	0,82
المفرق	1,36	0,73
وادي الضليل	1,23	0,81

ويتضح من (جدول 6) أن أقوى الرياح سجلت في فصل الصيف في جميع المحطات باستثناء محطتي الشوبك ومعان الواقعتين في جنوب الأردن؛ ففي





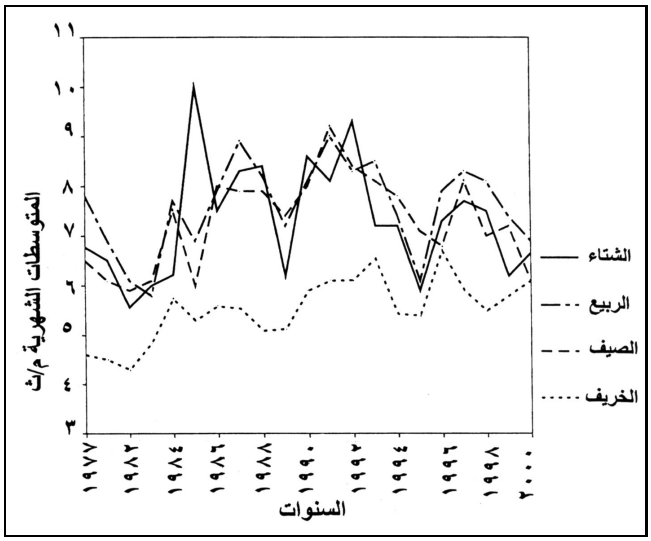
شكل (4) – منحنيات تغير المتوسطات المعيارية الشهرية في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة.

المحطات التي تزيد فيها نسبة متوسطات سرعة الرياح في شهري تموز/ كانون الثاني عن الواحد تعد الرياح أقوى في فصل الصيف. ويمثل ذلك النسب في المحطات الآتية: وادي الريان (1,49)، وعمان (1,23)، ورأس منيف (1,21)، والمفرق (1,36)، ووادي الضليل (1,23)، بينما أشد الرياح حدثت في فصل الشتاء في محطتي الشوبك ومعان؛ حيث زادت نسبة كانون الثاني/ تموز عن الواحد، وكانت (1,07) و(1,16) على التوالي. ويلاحظ أن نسب محطة الشوبك بين الفصلين متقاربة، ولا يوجد فرق واضح بينهما، لذلك فإن شدة الرياح فيها متقاربة في الفصلين : الشتاء والصيف.

ويمكن الاستدلال من ذلك على أن الرياح أقوى في فصل الصيف في المحطات الواقعة في شمال الأردن، بينما هي أقوى في فصل الشتاء في المحطات الواقعة في الجزء الجنوبي من البلاد. وقد لا يعود ذلك لاختلاف التضاريس وإنما للموقع الجغرافي من دوائر العرض؛ فالمناطق الجنوبية بعيدة عن تأثيرات البحر المتوسط في الصيف مقارنة بالمحطات الواقعة في الجزء الشمالي، وبخاصة أن أشد الرياح في فصل الصيف هي الرياح الشمالية أو الشمالية الغربية التي تهب في كثير من الأحيان من جهة البحر المتوسط.

ويبين (شكل 5) التغيرات الزمانية لمتوسطات سرعة الرياح لجميع المحطات، ويشاهد أنه لا يوجد نمط منتظم لتغير سرعة الرياح من خلال مدة الدراسة، ولكن يظهر أن متوسطات سرعة الرياح تتذبذب من سنة إلى أخرى، ويلاحظ وجود تشابه في اتجاه تغير سرعة الرياح في فصلي الصيف والربيع، وتتقارب متوسطاتها بعضها من بعض؛ حيث تسير خطوطها بشكل متماثل ومتقارب. أما في فصل الشتاء فإن التغير كبير التذبذب من سنة إلى أخرى، وتراوح متوسطاتها بين (5,5 م/ث - 10 م/ث). وأقل التغيرات في متوسطات سرعة الرياح حدثت في فصل الخريف؛ حيث تتقارب متوسطات سرعة الرياح لتقع بين (4,5 م/ث – 7 م/ث).

أما الاختلاف من فصل إلى آخر فيظهر بوضوح في (شكل 6)، ويشاهد في الشكل أن أقوى الرياح حدثت في فصل الصيف في محطات رأس منيف ووادي الضليل والباقورة، وكانت أشدها في فصل الربيع في محطتي معان والشوبك، وربما لأنهما أكثر تأثراً بحالات الخماسين التي تصاحبها رياح قوية نسبياً (نعمان شحادة، 1990). أما في فصل الخريف فإن الرياح أضعف في جميع المحطات.



شكل (5) – تباين متوسطات سرعة الرياح الفصلية خلال المدة (1997–2000) في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة.

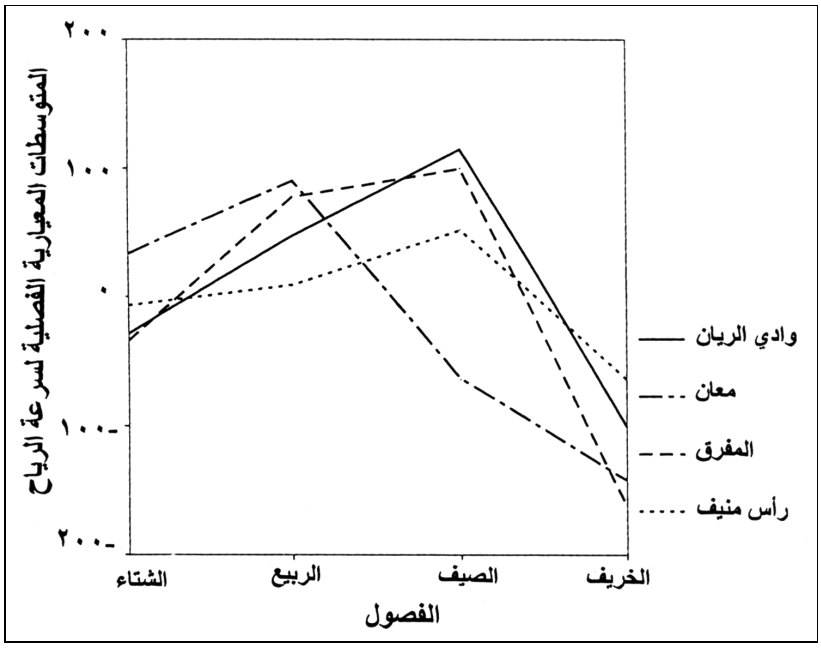
الرياح السنوية في منطقة الدراسة:

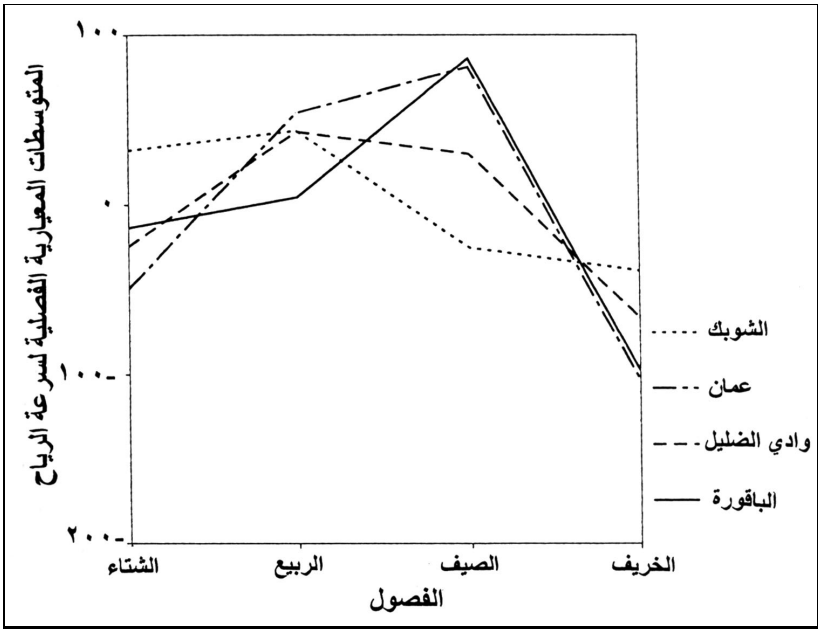
تتميز المتوسطات السنوية بكبر تباينها بين المحطات المختلفة وبخاصة المحطات التي يتباعد بعضها عن بعض، وتختلف فيها الخصائص الجغرافية من حيث التضاريس والموقع. ومن (جدول 7) نجد أن المتوسطات السنوية في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة تراوح بين (1,2 م/ث) في محطة وادي الريان و(9,2 م/ث) في محطة رأس منيف، وهما محطتان مختلفتان في الارتفاع، حيث يقع وادي الريان تحت مستوى البحر في حين تعد رأس منيف أكثر الأماكن ارتفاعاً في شمال الأردن. وإن التباينات في سرعة الرياح السنوية متفاوتة قليلاً، ولكن يلاحظ أن قيم معاملات الاختلاف متقاربة في جميع المحطات؛ فهي تراوح بين أقل قيمة (0,07) في محطة المفرق شبه الصحراوية وأعلى قيمة (0,21) في محطتي رأس منيف ووادي الضليل (جدول 7).

وتتقارب متوسطات الرياح في محطات البادية (وادي الضليل و المفرق ومعان وعمان). ويمكن عرض تكرار مختلف السرعات في أي محطة على النحو الذي يبينه (شكل 7) الذي يظهر تفاصيل تكرار الرياح بحسب سرعتها. ومن الأشكال البيانية للمحطات نلاحظ أن أكثر القيم تكراراً (المنوال The Mode) هي حالة السكون؛

جدول (7)
المتوسطات السنوية لسرعة الرياح (م/ث) في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة خلال الفترة بين 1977–2000 (إعداد الباحث).

السنة	معان	المفرق	الشوبك	وادي الريان	رأس منيف	الباقورة	وادي الضليل	عمان
1977	5,5	4,7	2,8	2,5	4,9	1,6	2,9	4,2
1978	5,3	5,2	2,9	2,4	5,2	1,9	2,1	4,4
1982	5,1	4,7	2,7	1,7		1,5	2,2	4,1
1983	4,5	5,1	3	1,8		1,3	2,5	4,2
1984	4,9	5,2	5,1	2		1,5	3,1	4,8
1985	5,6	5,1	4,3	2,2	7,9	1,5	3	4,6
1986	5,5	4,3	4,2	2,1	7,2	1,7	3,8	4,7
1987	5,8	4,8	4,2	1,8	7,1	1,6	4,1	4,6
1988	6,2	4,8	4,6	1,9	7,6	1,9	3,4	4,6
1989	6,2	4,3	3,9	1,8	6,9	2,1	3,2	4,9
1990	5,3	4,4	3,6	1,7	7,1	2,3	4,5	4,8
1991	5,6	5	3,7	1,6	8	2,1	4,8	5,2
1992	4,7	5,3	3,4	1,6	9,2	2,4	4,9	5,4
1993	4,8	5,5	3,5	1,7	7	2	4,3	6
1994	3,8	5,4	3,6	1,9		2,1	4	6,3
1995	3,4	5,2	3	1,5	7,2	1,6	3,3	5
1996	5,4	5,1	3,2	1,6	7,5	1,7	3,8	4,8
1997	6,2	4,9	3,5	1,4	7,9	2,1	3,9	4,8
1998	5,8	4,6	3,4	1,3	6,1	2	3,8	4,6
1999	4,9	4,7	3	1,2	4,4	2	3,9	4,1
2000	4,2	4,5	3,2	1,3	3,4	1,8	3,9	3,6
المتوسط	5,2	4,9	3,6	1,8	6,7	1,8	3,6	4,8
معامل الاختلاف	0,14	0,07	0,17	0,19	0,21	0,16	0,21	0,13





شكل (6) – منحنى تغير المتوسطات المعيارية الفصلية في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة.

(السرعة = صفراً) في محطتي الباقورة ووادي الريان، و 5 عقد (2,6 م/ث) في محطات الشوبك وعمان ووادي الضليل، و 10 عقد (5,2 م/ث) في محطات رأس منيف والمفرق ومعان. ويمكن ملاحظة التوزع المائل للبيانات، حيث إن تكرار سرعة الرياح المنخفضة كبير جداً، بينما تكرار السرعات العالية قليل. ويظهر أن المنحنى البياني عالي التفلطح kurtosis في معظم المحطات. وراوحت قيمه بين نحو (0,5) في محطات رأس منيف وعمان ووادي الضليل وأكبر قيمة (3,4) في محطة الشوبك.

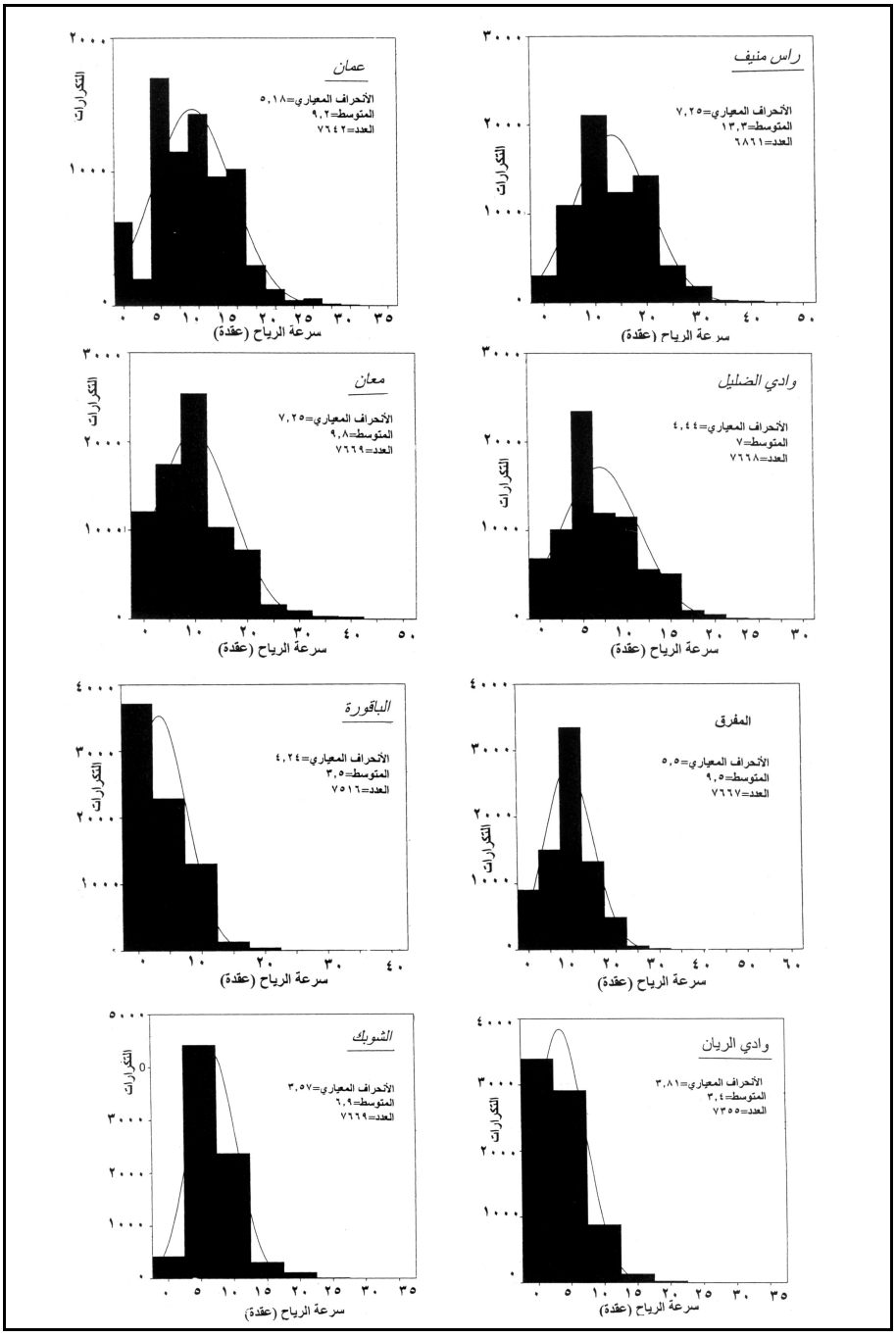
ولدراسة التغيرات الزمانية في كل محطة ثم مقارنتها بالمحطات الأخرى استخرجت المتوسطات المعيارية من المتوسطات السنوية. ويظهر (شكل 8) منحنى المتوسطات المعيارية ومنحنى المتوسطات المتحركة الموزونة في أربع محطات. ويلاحظ من الأشكال وجود تزايد في سرعة الرياح في فترة التسعينيات في محطتي عمان والمفرق لتبلغ أقصاها في عام 1993، حيث كانت الرياح أكبر من المتوسط، بينما كانت أقل من المتوسط في بقية السنوات.

وفي محطة الشوبك كان تغير سرعة الرياح عكس ما هو في محطة عمان. فكانت متوسطات سرعة الرياح عالية و أكبر من المعدل خلال الثمانينيات، وكانت أقل من المتوسط خلال التسعينيات. أما في محطة معان فكانت المتوسطات السنوية المعيارية أكثر تذبذباً، وهي بذلك تشبه محطة المفرق. وكانت أقل المتوسطات تذبذباً في محطة عمان وأكثرها تذبذباً في محطة معان.

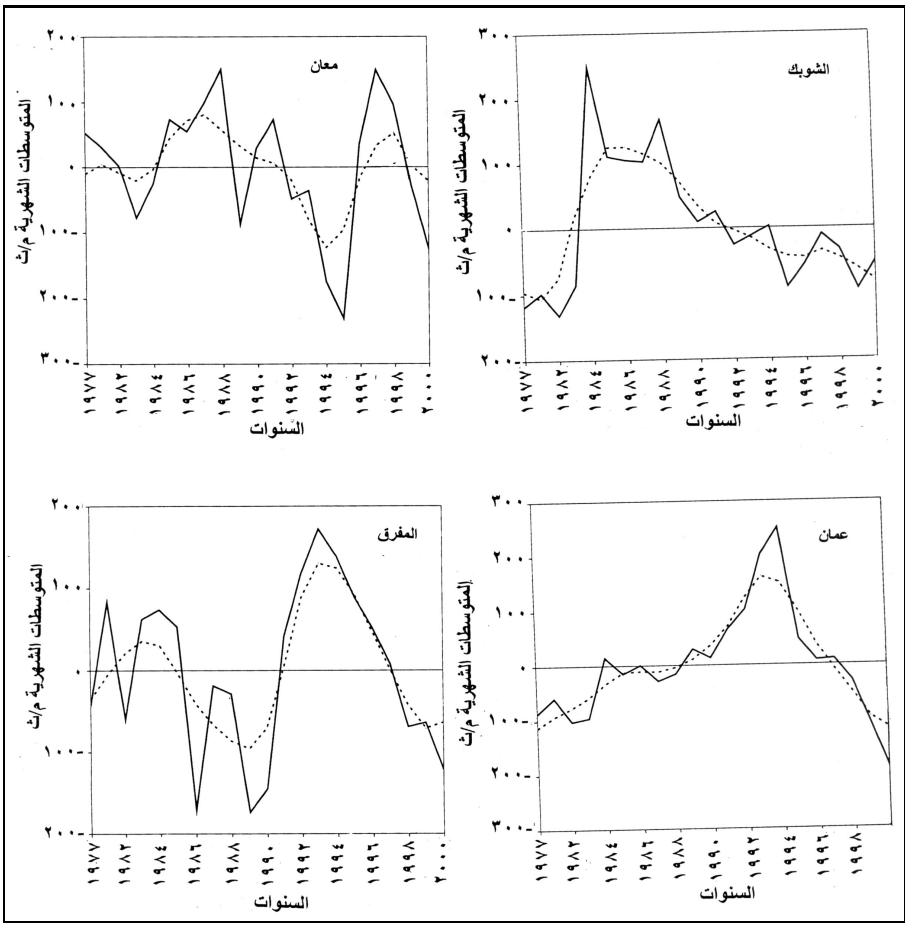
وقد تكون المتوسطات السنوية أقل المعايير دقة في وصف الرياح وبخاصة الرياح في المحطات التي تقع في المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تكون الفروق في الرياح كبيرة بدلالة ارتفاع قيم الانحراف المعياري فيها. ولكن المتوسطات السنوية تقدم معلومات مهمة عن طبيعة الرياح ومدى إمكانية استغلالها في توليد الطاقة، ويعتمد على المتوسطات السنوية في كثير من الأحيان وبخاصة عندما لا تتوافر البيانات الشهرية أو اليومية.

الرياح المتطرفة الشدة بمنطقة الدراسة :

إن شدة الرياح السطحية تختلف من سنة إلى أخرى ومن فصل إلى آخر ومن يوم إلى يوم ومن ساعة إلى ساعة. ومن خلال استعراض بيانات الرياح يلاحظ أن الرياح القوية نادرة الحدوث في كل المناطق بينما الرياح المتوسطة السرعة والضعيفة السرعة تمثل النسبة العظمى من الرياح، فبيانات الرياح ذات ميلان سالب بسبب كثرة تكرار الرياح الخفيفة وحالة السكون (شكل 7).



شكل (7) – تكرارات سرعة الرياح في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة.



شكل (8) – منحنيات تغير المتوسطات المعيارية (ـ) و المتوسطات المتحركة (.....) في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة خلال المدة (1977–2000).

ويمكن تصنيف الرياح بحسب سرعتها باستخدام الانحراف المعياري (ع)؛ فكلما ابتعدت قيمة سرعة الرياح عن الانحراف المعياري زادت ندرة حدوثها. فالرياح التي تقع قيمتها بين (–ع ، +ع)هي قيم عادية، والتي تقع بين (2ع و3ع) هي قيم متطرفة، والقيم المتطرفة جداً هي التي تبتعد عن المتوسط أكثر من (3ع) (Conrad & Pollack, 1963; Stringer 1972). إن عدد حالات السرعات اليومية القصوى التي تزيد على ثلاثة انحرافات معيارية أو أربعة مبينة في (جدول 8).

ويلاحظ أن نسب سرعة الرياح التي تزيد على ثلاثة انحرافات معيارية أقل من 2% من مجموع الحالات اليومية خلال مدة الدراسة، وأن أعلى التكرارات كانت في محطة الشوبك (76 حالة) ومحطة معان (77حالة) وأقلها في محطة المفرق (24 حالة). أما الحالات التي زادت على أربعة انحرافات معيارية فهي أكثر ندرة (أقل من 0,5 %)، وكان أكثرها تكراراً في محطة معان (29 حالة) وأقلها تكراراً كان في محطة المفرق (5 حالات)، خلال مدة الدراسة، ويلاحظ أن نسبة الرياح المتطرفة الشدة كانت (0,1%) في خمس محطات تقع في الأغوار أو إقليم البادية.

جدول (8)
توزع الرياح القوية (م/ث) في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة
(إعداد الباحث)

	المتوسط	الانحراف المعياري	+3ع* التكرار	+3ع* النسبة	+4ع** التكرار	+4ع** النسبة
الباقورة	1,8	1,2	61	,8	17	0,2
عمان	4,7	2,6	55	1,1	15	0,1
وادي الضليل	3,6	2,2	28	,4	13	0,1
معان	5,1	3,7	77	1,2	29	0,4
المفرق	4,9	2,7	24	0,5	5	0,1
رأس منيف	6,8	3,7	42	0,6	10	0,1
الشوبك	3,5	1,8	76	1	14	0,2
وادي الريان	1,8	1,9	48	0,7	26	0,4

*عدد القيم التي تزيد على ثلاثة انحرافات معيارية ونسبها.
** عدد القيم التي تزيد على أربعة انحرافات معيارية ونسبها.

أما أقصى السرعات فقد تفاوتت بشكل كبير من محطة إلى أخرى ومن سنة إلى سنة. ويلاحظ أن أقوى الرياح سجلت في محطة رأس منيف ثم محطة معان؛ ففي محطة رأس منيف ومحطة معان يتكرر في كل سنة رياح ذات سرعة أكبر من (18 م/ث) وتصل في بعض السنوات إلى (31 م/ث). أما في محطة الشوبك فلم تزد سرعة الرياح القصوى عن (20,6 م/ث) إلا في عام 1983؛ حيث وصلت إلى (24,2 م/ث). وكانت أقل القيم في محطة وادي الريان التي راوحت فيها سرعة الرياح القصوى بين (7,2– م/ث – 19 م/ث)، (جدول 9).

جدول (9)
الرياح القصوى (م/ث) في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة خلال بعض سنوات الدراسة (المصدر: دائرة الأرصاد الجوية).

السنة	عمان	الباقورة	المفرق	معان	وادي الضليل	رأس منيف	الشوبك	وادي الريان
1982	12,9	13,4	15,5	24,7	15,5	–	12,4	7,7
1984	15,5	12,4	12,9	24,7	12,9	26,8	16,5	7,7
1986	16,5	12,9	13,9	23,7	13,9	23,7	20,6	21
1988	18,4	14,4	11,3	24,7	11,3	19,6	20,6	10,3
1990	12,4	15,5	14,9	20,6	14,9	22,7	13,4	7,2
1992	17,5	31	13,4	26,8	13,4	23,7	14,4	10,3
1994	20,6	20,6	13,4	19	13,4	19,6	14,4	10,3
1996	12,9	15,5	12,9	31	12,9	19	14,4	9,3
1998	15,5	10,3	15,5	23,7	15,5	19,6	12,4	8,2
2000	18	8,2	12,4	20,6	12,4	20,6	17	7,2

وفي الحقيقة، فإنه لا يوجد قيمة عظمى مطلقة لأقوى الرياح في أي مكان على الأرض، ويبقى الاحتمال وارداً في أن تأتي في السنوات القادمة رياح أكثر سرعة وأقوى من التي سجلت في الماضي. ولكن يمكن حساب احتمالات تكرار الرياح الأقوى إحصائياً بفترة الرجوع return period التي تختلف بحسب مدة البيانات، ويمكن حساب فترة الرجوع عندما تزيد مدة البيانات على 20 سنة (Linacre,1992). ففي هذه الدراسة كانت مدة رجوع الرياح الأقوى (36,1 م/ث وأكثر) هي 20 سنة؛ أي يوجد احتمال نحو (65%) أن تتكرر هذه القيم مرة كل 20 سنة (جدول 10).

جدول (10)
فترة الرجوع لأقوى الرياح في محطة معان (إعداد الباحث).

م/ث	تكرار تراكمي	احتمال الحدوث	فترة الرجوع
18,5	1	95	1,05
19,6	3	86	1,16
20,1	4	82	1,22
20,6	10	55	1,82
21,6	11	50	2,00
23,7	13	41	2,44
24,7	17	23	4,35
26,8	19	14	7,14
30,9	20	9	11,11
36,1	21	5	20,00

إنتاج الطاقة:

يمكن تسخير الرياح لتوليد الطاقة في أماكن كثيرة من العالم، ويمكن استغلال تلك الطاقة الكهربائية في ضخ مياه الآبار، وإضاءة المزارع والمشروعات الواقعة في المناطق النائية، ودعم الطاقة المستخدمة في الدولة (محمود صفر، 1984). والمشكلة الاقتصادية التي تواجه الطاقة الريحية ناتجة من تغير سرعة الرياح فصلياً وخلال اليوم، لذلك فإن إنتاج الطاقة متغير بتغير سرعة الرياح. ويمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق ربط محطات توليد الطاقة في مناطق مختلفة بعضها مع بعض؛ حيث تختلف أنظمة الرياح بين تلك المناطق. ففي بريطانيا مثلاً ربط أكثر من 18 مشروعاً للطاقة، يولد كل منها نحو (30 ميغا واط)، مما خفف من الاعتماد على حرق الوقود، ومن ثم قلل من التلوث الجوي بغازات ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت (Linacre & Geerts,1997).

إن جزءاً من الطاقة الريحية يمكن أن يستغل في توليد الطاقة، وتعتمد نسبة الطاقة الناتجة من طاقة الرياح على جودة الآلات المستخدمة. فاستخدام الآلات القديمة أنتج نحو (20%) من الطاقة ولكن باستخدام الآلات الحديثة رفعت هذه النسبة لتصل إلى نحو (60%) (Linacre,1992). وتتوقف الإنتاجية أيضاً على سرعة الرياح وكثافة الهواء وطول قطر مراوح المولدات الكهربائية.

وعلى الرغم من ضرورة البيانات اليومية فإن المتوسطات السنوية لسرعة الرياح تعطينا فكرة مبدئية عن كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها في أي مكان، وذلك بحسب المقياس التالي الذي يوضح العلاقة بين المتوسط السنوي لسرعة الرياح وإنتاج الطاقة (WMO-1981).

أقل من 4,5 م/ث	إنتاج ضعيف
4,5 – 5,4 م/ث	إنتاج هامشي
5,5 – 6,7 م/ث	إنتاج متوسط إلى جيد
أكثر من 6,7 م/ث	إنتاج ممتاز

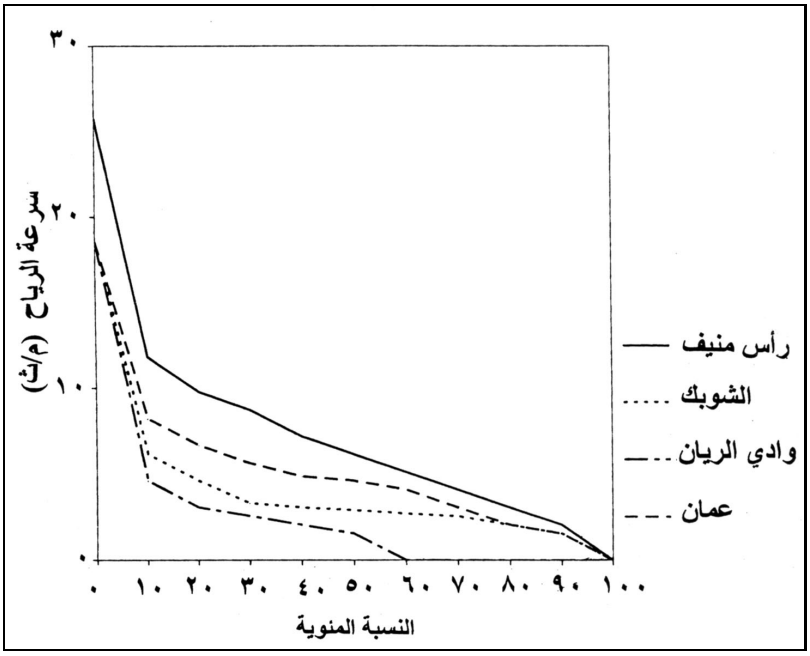
وبناء على هذه العلاقات فإن إنتاج الطاقة الكهربائية يختلف بين محطات

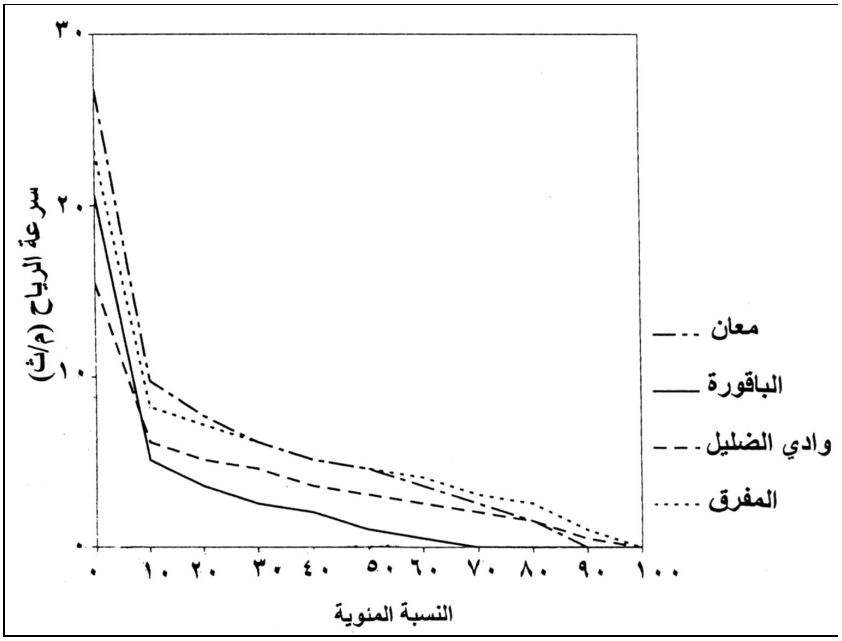
الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة؛ فإنتاج الطاقة ضعيف جداً في محطات الباقورة ووادي الضليل والشوبك ووادي الريان. والإنتاج يكون قليلاً أو هامشياً في محطات عمان ومعان والمفرق. أما رأس منيف فهي المحطة التي يعتبر فيها إنتاج الطاقة متميزاً. وعلى الرغم من ذلك فإن خصائص السطح في منطقة رأس منيف قد لا تسمح بإنشاء مشروعات لتوليد الطاقة نتيجة لوعورتها وصعوبة تركيب المولدات فيها.

أما إنتاج الطاقة الهوائية بحسب الفصول، فهي تتضح من (جدول 11). ويظهر من خلال نسب المتوسطات السنوية أن إنتاج الطاقة ضعيف في محطات وادي الريان ووادي الضليل والشوبك، وهامشي الإنتاج في محطات المفرق وعمان ومعان، أما محطة رأس منيف فهي ذات إنتاجية جيدة إلى ممتازة في كل الفصول. وبشكل عام إن الإنتاج يكون الأفضل في فصلي الشتاء والربيع في المحطات الواقعة في جنوب الأردن (معان، الشوبك) وفي فصل الصيف في باقي المحطات الواقعة في شمال البلاد.

جدول (11)
متوسطات سرعة الرياح الفصلية (م /ث) في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة (إعداد الباحث).

المحطة	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف
وادي الريان	1.6	2.00	2.3	1.3
وادي الضليل	3,5	4,1	4,00	3,1
المفرق	4,7	5,4	5,8	3,9
رأس منيف	6,6	6,9	7,7	5,8
الباقورة	1,8	1,9	2,4	1,4
عمان	4,5	5,2	5,5	4,00
معان	5,6	6,4	4,5	4,00
الشوبك	3,8	3,8	3,4	3,3





شكل (9) – نسبة سرعات الرياح في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة.

أما بالنسبة للإنتاج الشهري فهو الأفضل في شهور الصيف ولا سيما تموز، في كل المحطات باستثناء محطة معان التي يتفوق فيها الإنتاج في شهور فصل الشتاء ولا سيما شهر آذار (6,8 م/ث)، (شكل 3). وأفضل إنتاج هو في محطات رأس منيف وعمان والمفرق ومعان، أما باقي المحطات فإنتاجها ضعيف.

وتقدم البيانات اليومية معلومات أكثر تفصيلاً عن حالة الرياح في المحطات المدروسة، ويبين (شكل 2) أن سرعة الرياح ومن ثم إنتاج الطاقة يكون أكبر في النهار في كل المحطات باستثناء محطة الباقورة التي تعد أكثر إنتاجاً في الليل على الرغم من إنتاجها الضعيف.

ويظهر (شكل 9) أن هناك نسبة عالية لتكرار الرياح القليلة السرعة؛ حيث تقترب النسبة من (90%)، أما الرياح التي تصلح اقتصادياً لإنتاج الطاقة فهي قليلة النسبة، وتحدث بشكل متقطع خلال أيام السنة. ومما يضعف إمكانية استغلال الرياح لتوليد الطاقة في معظم المحطات حالة السكون (السرعة للرياح = صفراً)، ويلاحظ من (جدول 12) أن النسبة المئوية لحالات السكون مرتفعة في جميع المحطات باستثناء رأس منيف، وبخاصة في الليل (الساعة 6 مساءً إلى الساعة 6 صباحاً) وكانت أقل حالات السكون المسجلة في منتصف النهار (الساعة 12:00)، وكانت أقل المحطات تكراراً لحالة السكون هي رأس منيف وأكثرها محطة الباقورة ومحطة وادي الريان.

جدول (12)
النسبة المئوية لحدوث حالات السكون في محطات الأرصاد الجوية بمنطقة الدراسة في النهار (إعداد الباحث).

الساعة	المفرق	الباقورة	وادي الضليل	معان	عمان	وادي الريان	الشوبك	رأس منيف
00	77	84	72	54	60	94	60	15
06	54	78	52	58	45	79	39	15
12	12	47	10	15	8	43	6	4
18	42	81	43	25	37	76	50	13

والخلاصة أن إنتاج الطاقة من الرياح ممكن في بعض المناطق في الأردن. ولكن لا بد من ملاحظة أن أفضل الأوقات لإنتاج الطاقة في معظم الأماكن هو في أثناء النهار وفي فصل الصيف؛ حيث ترتفع سرعة الرياح في غالبية محطات الأرصاد الجوية. ولحسن الحظ أن إنتاج الطاقة ممكن، ويقدم فائدة كبيرة، ولا سيما أن الأماكن التي ترتفع سرعة الرياح فيها تقع في المدن الرئيسة أو القريبة منها، من مثل عمان وإربد والمفرق ومعان.

المراجع:

دائرة الأرصاد الجوية الأردنية. بيانات غير منشورة لسرعة الرياح اليومية 1977–2004.

زياد فائز شقللي (1988). **طاقة الرياح و استخداماتها**. دمشق: دار المعرفة.

محمود عزو صفر (1984). **المناخ والحياة**. الكويت: الإدارة العامة للطيران المدني، إدارة الأرصاد الجوية.

نعمان شحادة (1990). **مناخ الأردن**. عمان: دار البشير.

Conrad, V. & L. W. Pollack (1963). *Methods in climatology*. Second Edition. London: Harvard University.

Davis, B. L., & M. W. Ekern (1977). Wind fabric diagrams and their application to wind energy analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 16: 522-531.

Harouna, S & R. E. Carlson (1994). Analysis of an Iowa aridity index. In relationship to Climate and crop yield. *Journal of Iowa Academic Science*, 14: 14-18.

Hennessey, J.P. (1977). Some aspects of wind power statistics. *Journal of Applied Meteorology*, 16: 119-128.

Jong, M. & G. Thomann (1981). Sampling wind data for mean wind speed distribution. *Journal of Applied Meteorology*, 20: 323-328.

Justus, C. G.; K. Mani & A. S. Mikhall (1979). Interannual and month to month variation of wind speed. *Journal of Applied Meteorology*, 18: 913-920.

Linacre, E. T. (1992). *Climate data and resources*. London: Routledge.

Linacre, E. & B. Geerts (1997). *Climates and weather explained*. London: Routledge.

Smith, S. G. (1982). An index of windness for the United Kingdom. *Meteorological Magazine*, 111: 232-248.

Stewart, D. A. & O. M. Essenwanger (1978). Frequency distribution of wind speed near the surface. *Journal of Applied Meteorology*, 17: 1633-1642.

Storch, H. & F.W. Zwiers (1999). *Statistical analysis in climate research*. London: Cambridge University Press.

Stringer, E. T. (1972). *Techniques of climatology*. San Francisco: W. H. Freeman Company.

Tattelman, P. (1975). Surface gustiness and wind speed range as a function of time interval and mean wind speed. *Journal of Applied Meteorology*, 14: 127-1276.

Thomann, G. & M. Jong (1978). *Wind power estimation in the great plains*. Wichita State University: WER-5, Wind Energy Laboratory.

WMO (1981). Meteorological aspects of the Utilization of wind as an energy Source. Geneva: *Technical Note* No. 175.

Zaremba, L. L. & J. J. Carroll (1999). Summer wind flow regimes over the Sacramento Valley. *Journal of Applied Meteorology*, 30: 1463-1473.

قدم في: فبراير 2006

أجيز في: أكتوبر 2006

Temporal and Spatial Variations of Wind Speed in Jordan

Ali A. Ghanem*

Daily data of wind speed from eight stations distributed throughout different geographical regions in Jordan were used to study their temporal and spatial variations. The results obtained by the statistical methods were presented in tables and graphs. It was found that the diurnal winds were stronger than the nocturnal winds in most stations. The highest average at noon was (7.2m/s) in Ras Moneef station, and the lowest was (3.1m/s) in the Wadi Rayan station. Winds in summer were stronger, especially in June and July, in all stations, except in Maan and Shoubak stations where the winds were stronger during winter. Wind speed fluctuated from year to year, but it was stronger in the 1990's. Higher wind speed was recorded in the highlands than in the Ghor and the Badia. Due to the variations of wind speed, it was found that the best power amount could be obtained diurnally and in summer, but the amount was either low, or on the average in most stations.

Key words: Jordan, Wind speed, Temporal variation, Spatial variation, Diurnal, Nocturnal, Wind energy.

* Dept. of Geography, The University of Jordan, Jordan