



المجلة الجغرافية العربية

طاقة الرياح في مصر "دراسة في المناخ التطبيقي"

د. إيملي محمد حلمي حمادة
أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد،
كلية الآداب - جامعة المنوفية

تصدر عن الجمعية الجغرافية المصرية

السنة الأربعون

٢٠٠٨
(الجزء الثاني)

العدد الثاني والخمسون

11

طاقة الرياح في مصر "دراسة في المناخ التطبيقي"

د. إيملى محمد حلمي حمادة*

ملخص البحث :

إذ تعتبر مشكلة توفير الطاقة من أهم المشكلات العصرية لكون مصادر الطاقة التقليدية غير متجددة وأوشكت على التذويب، ما يستدعي الاتجاه نحو مصادر الطاقة المتجددة. ويتناول هذا البحث دراسة إمكانيات استغلال الرياح في توليد الطاقة في مصر من خلال تحليل التوزيع الفصلي والشهري والسنوي لسرعة الرياح اليومية لتوفير قاعدة معلوماتية أساسية تعتمد على شبكة تضم ٢٣ محطة أرصاد جوية تتوزع في أربعة أقاليم جغرافية خلال الفترة ما بين ٢٠٠٤/١٩٨٠. فضلاً عن بحث خصائص السرعة الساعية للرياح على مدار اليوم في ٨ محطات خلال الفترة ٢٠٠٤/١٩٩٥، وتطبيق هذه البيانات على المعادلات المستخدمة في تحديد طاقة الرياح. ويهدف هذا البحث إلى تقييم جدوى استغلال قوة الرياح في توليد هذه الطاقة المتجددة وفقاً للمعطيات الجغرافية والخصائص المناخية لأقاليم مصر. وقد أستفاد البحث من بعض الدراسات المحلية (Mayhoub & Azzam, 1997)، (El-Asrag & Others, 2000)، (الحسيني، ٢٠٠٠)، والعالمية (Tuller, 2004, 2007) التي تبحث في ذات الموضوع. وينتهي البحث إلى عدد من النتائج التي تؤكد على الإمكانيات الواعدة لطاقة الرياح في الساحل الشرقي والساحل الشمالي وصعيد مصر. ويوصي البحث الجغرافيين بإجراء المزيد من الأبحاث في مجالات الطاقة المتجددة.

مقدمة :

إن حركة الرياح والكتل الهوائية ذات أهمية كبيرة في فهم واستيعاب المناخات الأرضية. إذ تحدد الدورة العامة للغلاف الجوي على المستوى الإقليمي Macro scale طبيعة وخصائص كل من الطقس والمناخ. ويمكن التعامل مع حركة الهواء^(١) على المستوى التفصيلي Micro scale على كونها

* أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد، كلية الآداب - جامعة المنوفية.

(١) يعد مصدر الرياح معقداً إذ يرتبط بتفاوت سرعة عملية تسخين الأرض حيث تسخن بسرعات ودرجات متباينة من الإشعاع الشمسي لكونها تستقبل عند القطبين أقل طاقة من الشمس مقارنةً بتلك الطاقة المائلة التي تستقبلها داخل نطاق تعامد الشمس. وينتقل هذا التباين في الطاقة الحرارية للغلاف الجوي على =

مورداً ذا قيمة ثمينة يمكن الاستفادة منه. وتتعدد مصادر الطاقة المتجددة Renewable Energy لتشمل طاقة الرياح، الطاقة الشمسية، طاقة حركة مياه المحيطات، فضلاً عن طاقة الوقود الحيوي Bio Fuel. وتتميز هذه المصادر بكونها تحافظ على سلامة البيئة لأنها خارج نطاق الطاقة الحفريّة وما ينتج عنها من ملوثات غازية تؤثر سلباً في البيئة ومناخ الأرض. وقد تزايد الاتجاه نحو استخدام طاقة الرياح لوجود ضرورة ملحة لتحويل الطاقة الملوثة Polluted Energy إلى طاقة نظيفة Clean Energy لمجابهة مشكلة تغير المناخ العالمي ومخاطره البيئية. وتعتبر طاقة الرياح هي أنسب مصادر الطاقة النظيفة المتاحة دائماً مقارنةً بالطاقة الشمسية (التي تقتصر على ساعات السطوع)، كما إنها الأسرع والأرخص لكونها تعتمد على تقنية بسيطة للغاية^(١). هذا مع الأخذ في الاعتبار أن استهلاك العالم للعربي من الطاقة قد بلغ ٤٠٠ مليون طن مكافئ لنفط لإعادل ٣,٥% من الاستهلاك العالمي للطاقة في عام ٢٠٠٥ (الأوبك، ٢٠٠٥)^(٢). ويتنبع تاريخ استخدام طاقة الرياح في مصر، يتضح أن هناك بعض الأدلة على استخدام الفراعنة للقوارب للشراعية التي تعتمد على سرعة الرياح واتجاهها منذ ٥٠٠٠ سنة قبل الميلاد (Salem & Others, 1999, p. 148). كما استخدمت طاقة الرياح قديماً في بناء طواحين الهواء لاستغلالها في رفع المياه من الآبار لتوفير مياه الشرب والري (الحسيني، ٢٠٠٠، ص ٢٣)^(٣). وقد بلغت قدرات محطات توليد

= المستوى العالمي حتى يصل إلى سطح الأرض. ويقدر البعض أن ما بين ١% - ٣% من الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض تتحول إلى طاقة الرياح (Oliver, 1981, P. 99). وتعتبر الشمس والرياح أهم مصادر الطاقة المستقبلية الواعدة لكونهما يمثلان طاقة مجانية ومورداً دائماً ومتجدداً. وإن كانت الطاقة الشمسية تنحصر في ساعات السطوع، تتميز طاقة الرياح بكونها متاحة على مدار ساعات اليوم.

(١) تعد تكلفة إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح هي الأقل مقارنةً بغيرها من مصادر الطاقة المتجددة الأخرى، إذ تتراوح التكلفة بين ٣ - ٤ سنت لكل كيلووات ساعة.

(٢) قد أعلنت هيئة المجلس العالمي لطاقة الرياح Global Wind Energy Council أن الطاقة الاجمالية للرياح قد بلغت ١٩٧،٧٤ ميجاوات عام ٢٠٠٦ بزيادة تجاوزت أكثر من ١٥ ميجاوات عن كميته عام ٢٠٠٥.

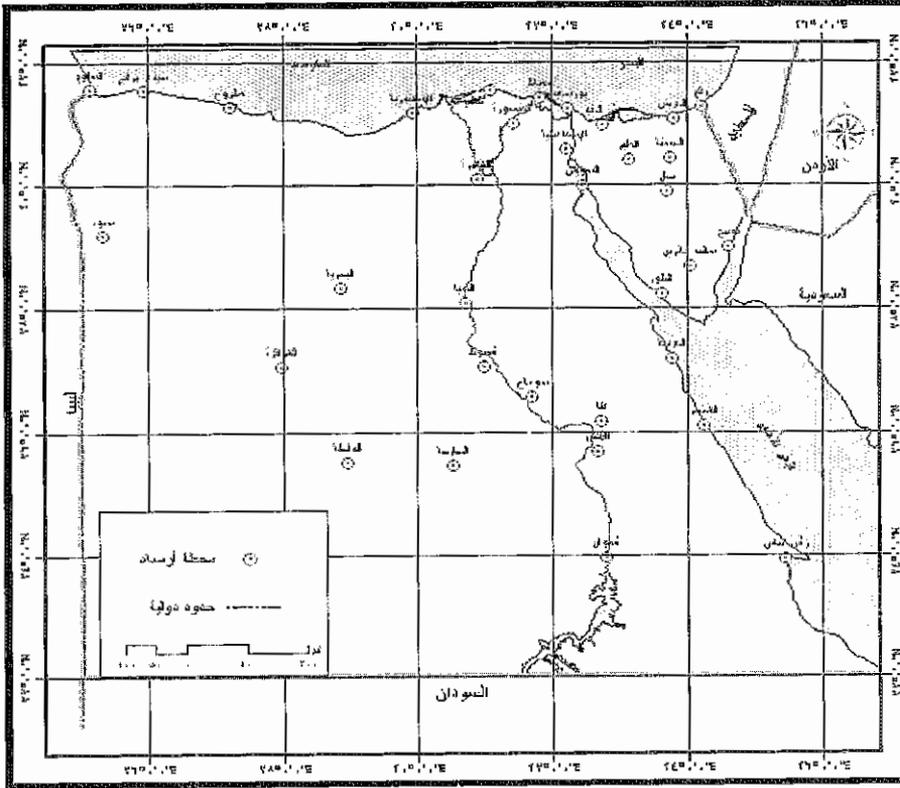
(٣) قد كانت أول إشارة لتوليد الطاقة من الرياح عند الفرس منذ حوالي ٢٠٠٠ سنة قبل الميلاد في كتاب العرب حيث ذكر الوصف التفصيلي لطواحين الهواء. وقد استخدمت طاقة الرياح في طحن الحبوب في الصين في القرن السابع الميلادي. وقد استخدمت الدائماتك طاقة الرياح منذ ١٩٠٠ نتيجة لانخفاض مواردها من الوقود الحفري لتوفير ٢٥% من احتياجاتها من الطاقة. ومنذ أوائل القرن الحالي، تمكن عدد من الدول من توفير نسبة تتراوح من ٢٠ - ٣٠% من طاقتها الكهربائية من الرياح (El-Asrag & Others, 2000, p. 10).

طاقة الرياح ١٤٥ ميجاوات في عام ٢٠٠٥ ، وارتفعت إلى ٣٢٠ ميجاوات في ٢٠٠٦ (تقرير وزارة الكهرباء والطاقة في مصر ٢٠٠٥/٢٠٠٦).^(١) ويتم توليد الطاقة من الرياح بواسطة توربينات الرياح Wind Turbines^(٢)، وترتبط كمية الطاقة الناتجة بصورة مباشرة بسرعة الرياح ، ولذا تنتج أغلبية الطاقة عن السرعات العالية. وقد أعلن العالم لي راش Lee Rach عام ٢٠٠٢ ، أن ٥٠ % الطاقة الناتجة يتحقق خلال ١٥ % فقط من مدة تشغيل توربينات الرياح (David, 1999, p. 42). وإذ تتميز سرعة الرياح بالتغير، فإن الطاقة الناتجة من مولدات الرياح لا تعادل إجمالي ساعات تشغيل التوربينات. ويطلق على النسبة بين الإنتاج الفعلي للتوربين وبين الحد الأقصى للإنتاج نظرياً معامل السعة Capacity Factor . ويبلغ هذا المعامل ٣٥ % حينما لا ينخفض معدل سرعة الرياح عن ٤,٥ م/ث في حال اختيار أنسب المواضع لتوربينات الرياح^(٣) (الحسيني، ٢٠٠٠، ص ٢٣) مع محاولة الاستفادة من التحفيز الطبوغرافي Topographic Acceleration مثل خطوط المنحدرات والتلال والحواف الجبلية وغيرها مما يسهم في زيادة سرعة الرياح وبالتالي كمية للطاقة المنتجة (David & Others, 2001, p. 137).

يتناول هذا البحث دراسة امكانيات استغلال الرياح في توليد الطاقة في مصر. وإذ تعتمد الطاقة المحتملة من الرياح على سرعة الرياح في المقام الأول، ما يستوجب دراسة التوزيع الفصلي والشهري والسنوي لسرعة للرياح اليومية لتوفير قاعدة معلوماتية أساسية من خلال شبكة تضم ٣٣ محطة أرصاد جوية (شكل ١). وتتوزع هذه المحطات في أربعة أقاليم جغرافية هي : إقليم الساحل الشمالي والدلتا، إقليم الساحل الشرقي ، إقليم الوادي والصحراء الغربية، وأخيراً إقليم شبه جزيرة سيناء، وذلك خلال الفترة ما بين ١٩٨٠ / ٢٠٠٤ (جدول ١). وتتم دراسة السرعة الساعية للرياح على مدار اليوم من خلال ٨ رصدات يومية بالاعتماد على بيانات ٨ محطات تمثل

- (١) تعد هذه القدرات من محطات توليد طاقة الرياح من الرياح في مصر مباشرة وكبيرة مقارنةً بمثيلاتها في دولة المغرب (وهي الدولة الثانية في قدراتها الانتاجية بعد مصر)، إذ بلغت ٦٤ ميجاوات في ٢٠٠٥ وارتفعت إلى ١٢٤ ميجاوات ٢٠٠٦ (تقرير وزارة الكهرباء والطاقة في مصر ٢٠٠٥/٢٠٠٦).
- (٢) هي عبارة عن محركات ذات ثلاثة أذرع " ريشة " توضع فوق قمة أبراج (تختلف في ارتفاعها وفقاً لكمية الطاقة المستهدفة) وتديرها الرياح التي تؤدي إلى دوران أسطوانة العمود المتصلة بواسطة مجموعة تروس تشكل ناقل الحركة لتشغيل المولد الكهربائي (تريشر، ٢٠٠٥).
- (٣) أنسب المواضع هي تلك التي تقع في مهب الرياح التي تتميز بالسرعات العالية وبنسب تكرار كبيرة ، وتكون بعيدة عن مسارات الرياح المثربة International Energy Agency (2003) : Renewable Energy Information, Paris.

ذات الأقاليم الجغرافية خلال الفترة ١٩٩٥/٢٠٠٤. وقد أكتفى البحث بتطبيق معادلات الطاقة على سرعة الرياح عند منتصف الليل ووقت الظهيرة بالتوقيت العالمي "جرينتش" (أي الساعة ٢ صباحاً حين تقترب درجة الحرارة من نهايتها الصغرى، والساعة ٢ بعد الظهر حين تقترب درجة الحرارة من نهايتها العظمى بالتوقيت المحلي) لتمثيل وتحليل طاقة الرياح ليلاً ونهاراً.



شكل (١) : التوزيع الفلكي والجغرافي لمحطات الدراسة.

أهداف البحث :

- تتبع وتحليل خصائص سرعة الرياح السطحية (اليومية والساعية) في أقاليم مصر الجغرافية.
- اقتراح نموذج التوربين المناسب لإنتاج الطاقة وفقاً لخصائص سرعة الرياح في مصر.
- تحديد أنسب المواقع لإنشاء مزارع الرياح لتوليد الطاقة في ضوء المعطيات الجغرافية.
- تقييم جدوى استغلال طاقة الرياح المتجددة في مصر.

جدول (١) : خصائص محطات الدراسة.

المحطة	دائرة العرض شمالاً دقيقة درجة	خط الطول شرقاً دقيقة درجة	ارتفاع الأنيوميتير بالمتر *	وصف طوبوغرافية المحطة
سيدي براني & #	٣٧ ٣١	٥٤ ٢٥		ترتفع المحطة ٢٣,٧١ متراً فوق مستوى سطح البحر .
السلوم #	٣٤ ٣١	٠٨ ٢٥	٩	تقع المحطة على مسافة ٦ كم من ساحل البحر المتوسط. وتحاط بالرمال من جميع الاتجاهات باستثناء جهة الشمال. ويبلغ ارتفاع الأنيوميتير ٦ متر فوق سطح مبنى ارتفاعه ٤ متر . وتم نقل المحطة منذ سبتمبر ١٩٩٣ نحو الغرب لمسافة ٢ كم لتقع حالياً فوق هضبة السلوم.
مرسى مطروح #	٢٠ ٣١	١٣ ٢٧	٦	تقع المحطة جنوب مدينة مرسى مطروح تحيط بها الصحراء من جميع الاتجاهات باستثناء جهة الشمال حيث تمتد المباني وكذلك للساحل لمسافة ٤ كم . وتم وضع الأنيوميتير على ارتفاع ٦ م فوق سطح مبنى ارتفاعه ١٩ م . وهكذا يرتفع الأنيوميتير ٢٥ م فوق سطح الأرض.
الإسكندرية & #	١١ ٣١	٥٧ ٢٩	٩,٥	تقع المحطة في المنطقة الحضرية لمدينة الإسكندرية . وتحيط بها المباني من جهة الشمال والشمال الشرقي والشمال الغربي . وتقع الأجزاء الميطة بالمحطة على منسوب ٥٠٠ متراً . ويبلغ ارتفاع الأنيوميتير ٩,٥ م فوق سطح مبنى فوق منسوب ١٣,٥ م ، ليرتفع ٢٣ م فوق مستوى سطح البحر .
رفح #	١٦ ٣١	١٤ ٣٤		تقع المحطة على ارتفاع ٦,٧ متر فوق مستوى سطح البحر .
العريش & #	٠٤ ٣١	٤٩ ٣٣	٨,٥	تقع لمحطة في الضواحي لريفية لمدينة العريش ويحيط بها للتلال والصحاري من جميع الاتجاهات . وتحاط ببعض المباني المنخفضة والمتناثرة على مقربة من المحطة.
بور سعيد (الجميل) #	١٦ ٣١	١٤ ٢٢	٧	تقع المحطة في المنطقة الحضرية على ساحل مدينة بور سعيد. وتحاط بالمباني من جميع الاتجاهات باستثناء الشمال الساحلي. ويقع الأنيوميتير على ارتفاع ٧ م فوق مبنى ارتفاعه ٤ م ، ليبليغ ارتفاعه ١١ م .
بنطيم #	٣٣ ٣١	٠٦ ٣١		تقع المحطة على ارتفاع ١,٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر .
دمياط #	٢٥ ٣١	٤٩ ٣١		تقع المحطة على ارتفاع ١,٩٨ متر فوق مستوى سطح البحر .
مطار القاهرة & #	٠٦ ٣٠	٥٤ ٣٠	٩,٥	تقع لمحطة شرق المدينة على مسافة ٢٠ كم من وسط القاهرة. ويقع الأنيوميتير على مقربة من ميطة للطائرات. وتحاط المحطة ببعض المباني والأشجار من جميع الاتجاهات.

تابع جدول (١)

تقع المحطة على ارتفاع ٤,٢٥ متر فوق مستوى سطح البحر.		٣١	٢٧	٢١	٠٠	المنصورة#
تقع المحطة على ارتفاع ٢٢٥,٧ متر فوق مستوى سطح البحر.		٢٢	٤٦	٣٠	٢٧	الحسنة #
تقع المحطة على ارتفاع ٢٢٠,٩ متر فوق مستوى سطح البحر.		٣٢	٤٥	٣٠	٥٨	بنر العبد #
تقع المحطة على ارتفاع ٣٢٠,٠ متر فوق مستوى سطح البحر.		٣٣	٠٩	٣٠	٢٥	المليز #
تقع المحطة في وسط المدينة ، وتحيط المياني المنخفضة بالمحطة في شرق وغرب المحطة . ويقع الأثيموميتر على طريق أمفاني يمتد لمسافة ١٠ كم ويعرض ٢٠ كم.	٩,٥	٣٢	١٤	٣٠	٣٥	الإسماعيلية #
تقع المحطة على بعد ١٥ كم جنوب المدينة في تلميناء البحري، ويحيط بها العديد من الأشجار للضخمة والمياني. ويبعد جبل النكة بمسافة ٥ كم غرب المحطة.	١٠	٣٢	٢٨	٢٩	٢٥	المويس & #
تقع المحطة على ارتفاع ٤٠١,٢ متر فوق مستوى سطح البحر.		٣٣	٤٤	٢٩	٥٤	نخل #
تقع المحطة على ارتفاع ٣٢٠,٠ متر فوق مستوى سطح البحر.		٢٤	٤٦	٢٨	٥٨	نوبيع #
ترتفع المحطة ٩ متر فوق مستوى سطح البحر .		٣٣	٣٧	٢٨	١٤	الطور #
تقع المحطة في المنطقة فريفة ويحيط بها الجبال وتلال من جميع الاتجاهات على مسافة ٥ كم . ويقع الأثيموميتر على ارتفاع ٩,٥ متراً فوق سطح مبنى على ارتفاع ٤,٣ متراً .	١٠	٣٤	٠٣	٢٨	٤٠	سانت كاترين #
تقع المحطة في ميناء الفردقة لقولي الذي يقع غرب لمدينة على مسافة ٥ كم . وتقع للمديد من القرى السياحية من شمال وللشمال الشرقي والجنوب للشرقي . وذلك جبل يمتد على مسافة ١٠ كم من جهة لجنوب للغربي .	٩	٣٣	٤٨	٢٧	١١	الفردقة & #
قد تم نقل المحطة منذ ١٩٨٦ . وتقع المحطة في وسط المدينة ويحاط بها العديد من المياني من جميع الاتجاهات. وتقع المحطة على الساحل الغربي للبحر الأحمر بالقرب من الطريق السريع الذي يربط بين التصوير ورأس علم . وهناك جبل على ارتفاع ١,٥ كم يقع إلى غرب المحطة.	١٠	٣٤	١٦	٢٦	٠٦	التصوير & #
تقع المحطة في قلب المدينة وتحيط بها المياني احاطة كاملة. ويقع الأثيموميتر على ارتفاع ٨,٥ متر فوق سطح مبنى على ارتفاع ٤ متر .	١٠	٢٥	١٩	٢٩	١١	سيوة #
تقع المحطة على ارتفاع ١٥,٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر.		٢٨	٥٢	٢٨	٢٠	البحرية #
تقع المحطة على ارتفاع ٢٧,١٥ متر فوق مستوى سطح البحر.		٣٠	٤٤	٢٨	٠٥	المنيا #

تابع جدول (١)

تقع المحطة في مطار أسبوط غرب المدينة على مسافة ٢٥ كم. ويحيط بها أراضي رملية . وتم نقل المحطة نحو الغرب بمسافة ١٥ كم منذ ١٩٧٤ من موقعها القديم . ويقع الأنيوميتر فوق مبنى ارتفاعه ٧ متر في منطقة يبلغ متوسط ارتفاعها ٣٦٢ متر فوق مستوى سطح البحر.	١٨,٦	٣١	٠٠	٢٧	٠٣	أسبوط #
ترتفع المحطة ٨٢,٢٠ متراً فوق مستوى سطح البحر .		٢٧	٥٨	٢٧	٠٣	الفرافة ##
ترتفع المحطة ٧٧,٧٢ متراً فوق مستوى سطح البحر .		٣٢	٤٤	٢٦	١٠	قنا #
تقع المحطة في مطار الأقصر الدولي في غرب المهبط وإلى الجنوب من برج المطار الذي يقع على مسافة ١٠ كم من مدينة الأقصر . وتم نقل المحطة إلى هذا الموقع في ١٩٩٢ ٢ / ٧ .	١٠	٢٢	٤١	٢٥	٤٠	الأقصر
تقع المحطة في منطقة ريفية ، وتحيط بها التلال المشتتة والصحاري من معظم الاتجاهات على مسافة ٨ كم . وهناك قرية صغيرة تبعد عن المحطة بمسافة ١ كم . ويقع الأنيوميتر على ارتفاع ١٠ متر فوق سطح منبسط ارتفاعه ٤٠٥ متراً . وهناك جبل يقع على مسافة ٨,٥ كم في شمال غرب المحطة.	٨	٢٨	٥٨	٢٥	٣٠	الداخلية #
تقع المحطة على مسافة ٣ كم من المدينة ويحيط بها للمباني. وتقع مدينة الأمل الجديدة بالقرب من موقع المحطة. وقد تم نقل المحطة لمسافة ٢٠٠ متراً من موقعها القديم. وتمتد الصحاري على مسافة ١٠ كم من المحطة. ويقع جبل الطائر على مسافة ١٠ كم شمال موقع المحطة، وكذلك جبل الطرون على مسافة ١٠ كم شرق المحطة. وهناك بعض أشجار نخيل البلح والمباني قريباً من موقع المحطة.	١١,٥	٣٠	٣٢	٢٥	٢٧	البحرية #
تقع المحطة في مطار أسوان الدولي الذي يقع على مسافة ٣,٥ كم في جنوب غرب مدينة صحاري على مسافة ٢٠ كم في جنوب مدينة أسوان . ويقع المد العالي على مسافة ٢ كم في الشمال الشرقي من موقع المحطة.	٦	٣٢	٤٩	٢٣	٥٨	أسوان
ترتفع المحطة ٦١,٣٦ متراً فوق مستوى سطح البحر.		٣١	٤٢	٢٦	٣٤	سوهاج #
ترتفع المحطة ٨٢,٢٠ متراً فوق مستوى سطح البحر.		٣٥	٢٨	٢٣	٥٧	رأس بنس #

• ارتفاع الأنيوميتر فوق مستوى سطح الأرض بالمتر.

• # محطة لها بيانات شهرية ٢٠٠٤ / ١٩٨٠

• & محطة لها بيانات ساعية ٢٠٠٤ / ١٩٩٥

المصادر :

١- الهيئة العامة للأرصاد الجوية، جمهورية مصر العربية: إدارة المحطات السطحية، بيانات غير منشورة.

2- Egyptian Meteorological Authority, Cairo, Egypt, October 20.

ولتحقيق هذه الأهداف، يتبع البحث تحليل العناصر التالية :

- التوزيع الفصلي والشهري والسنوي للسرعة اليومية للرياح.
- محصلة الرياح سرعةً واتجاهاً.
- خصائص السرعة الساعية للرياح.
- إمكانيات طاقة الرياح الكامنة ليلاً ونهاراً.

أولاً : التوزيع الفصلي والشهري والسنوي للسرعة اليومية للرياح:

(١) المتوسطات الفصلية والشهرية :

أ- فصل الشتاء: يتميز فصل الشتاء بشدة استقرار الضغط المرتفع المداري وسيادة المنخفضات الجوية الشتوية التي تتحرك من شمال غرب البحر المتوسط بمعدل يتراوح بين ٣ - ٥ منخفضات جوية شهرية (يوسف، ١٩٩٨، ص ٢١٣). وإذ تتميز المنخفضات الجوية بشدة الانحدار البارومتري Barometric Gradient ، فإن سرعة الرياح تشتد على الأجزاء الأكثر تعرضاً لها كما هو الحال في إقليم الساحل الشمالي (من محطة سيدي براتي غرباً إلى محطة رفح شرقاً) حتى دائرة عرض ٣٠ شمالاً حيث مدينة القاهرة (فايد، وآخرون، ١٩٩٤ ص ٥١)^(١). وتتراوح السرعة بين ٢,٦ م/ث في العريش و٤,٧ م/ث في مطروح، كما تبلغ في إقليم سيناء ٣,٥ م/ث. بينما تنخفض سرعة الرياح إلى الجنوب من دائرة عرض ٣٠ شمالاً في إقليم الوادي والصحراء الغربية، لتتراوح بين ٣,٢ م/ث في المنيا وتخفض إلى ١,٩ م/ث في قنا وسوهاج. وترتفع قيم متوسط السرعة خلال فصل الشتاء في محطة أسوان لتبلغ ٤,٢ م/ث لتقترب من مثيلاتها في الساحل الشرقي حيث تتراوح بين ٢,٧ م/ث في الإسماعيلية شمالاً، وبين ٤,٦ م/ث في رأس بناس جنوباً، مع وجود قمة في الغردقة بمتوسط فصلي يبلغ ٥,٤ م/ث خلال مدة الدراسة ١٩٨٠/٢٠٠٤م. وتأخذ قيم خطوط التساوي لمتوسط السرعة في الانخفاض من الساحل الشمالي نحو الصحراء الغربية حيث الفرافرة^(٢) التي تبدو بمثابة مركز للضغط المرتفع إذ يبلغ ١٠٢٠,٧ مليبار، مقابل ١٠١٦,٨ مليبار في الغردقة وأسوان (يوسف، ٢٠٠٠، ص ٢٣)، لترتفع بالاتجاه

(١) قد يصاحب هذه المنخفضات المتوسطة (القمريّة) حدوث رياح عاصفة وأنواء بسرعة ٣٩ م/ث، بل قد تصل إلى ٥٠ م/ث، كما حدث في فبراير ١٩٩٢ (سالم، ١٩٩٣، ص ١١٦).

شرقاً نحو الغردقة وجنوباً نحو أسوان. كما تتخفّض قيم خطوط التساوي لمتوسط سرعة الرياح من بور سعيد شمالاً نحو الطور التي تمثل مركزاً للانخفاض في شبه جزيرة سيناء (شكل ٢)^(١). ويتميز شهر فبراير بأعلى قيم المتوسطات الشهرية لسرعة الرياح في ٦٧% من محطات الدراسة، مقابل ١٩% لشهر يناير و ١٤% لشهر ديسمبر خلال مدة الدراسة. وهكذا تأخذ سرعة الرياح نحو الارتفاع على مدار شهور الشتاء لتبلغ أعلى متوسط شهري للسرعة في أواخره في أغلب المحطات. ومما يذكر، أن أعلى متوسط شهري للسرعة يبلغ ٦,٤ م/ث في فبراير، و ٥,٠ م/ث في يناير، و ٤,٨ م/ث في ديسمبر في محطة الغردقة التي تتميز بأعلى سرعة شهرية وفصلية للرياح بين المحطات.

ب- فصل الربيع : تتغير أحوال الضغط الجوي خلال فصل الربيع مقارنةً بالشتاء حيث تنشط المنخفضات الجوية الصحراوية. وتحدث زحزحة نطاقية في مسارات هذه المنخفضات بحوالي ٣,٨ درجة عرضية عن مواضعها إلى الشمال من دائرة عرض ٣٠ شمالاً خلال مارس إلى الجنوب خلال شهري أبريل ومايو. وتبلغ نسبة هذه المنخفضات الجوية الربيعية ٣٦,٤% وتتحرك من الصحراء الغربية لتغزو أغلب الأراضي المصرية (القلي، ١٩٩٩، ص ٤٣). ويرتفع متوسط سرعة الرياح خلال فصل الربيع مقارنةً بفصل الشتاء في جميع المحطات بأقاليم مصر الجغرافية. ويتراوح هذا المتوسط في إقليم الساحل الشمالي بين ٢,٦ م/ث في العريش،

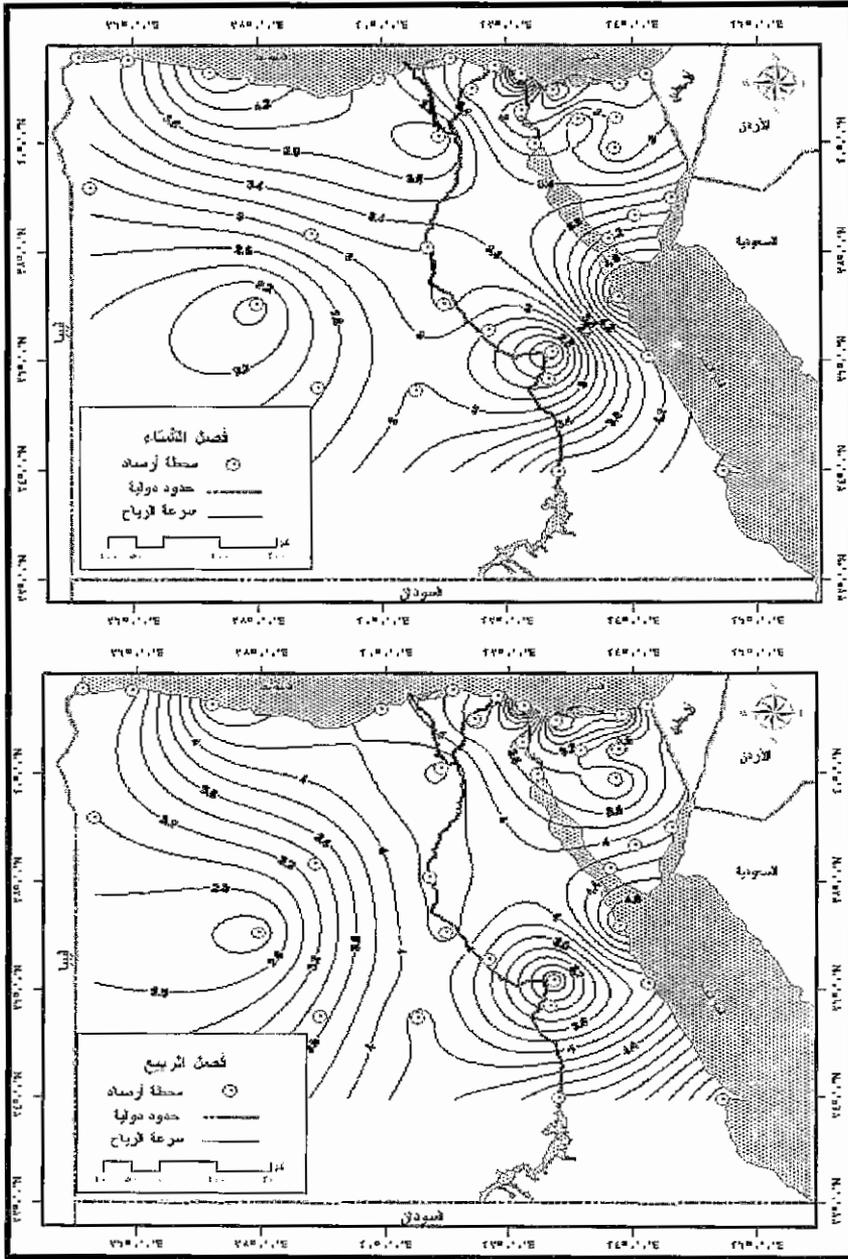
(١) يتعاطم تأثير كلٍ من البحر المتوسط والبحر الأحمر فيما يتعلق بخصائص الرياح نتيجة لامتدادها بسواحل تصل إلى ٢٠٠٠ كيلومتراً تقريباً. فتخترق مساحات شاسعة من اليابس سواء طولياً حيث يمتد البحر الأحمر وخليج السويس حوالي ثمان دوائر عرض ضمن العروض المدارية وشبه المدارية، أو عرضياً حيث يمتد البحر المتوسط على دائرة عرض واحدة في نطاق هامشي بين الناح المتعدّل شمالاً والناح الحار جنوباً، مما يؤدي إلى وجود بعض الاختلافات في درجة الحرارة وبالتالي الضغط الجوي على مدار فصول السنة خاصة على الساحل الشمالي (يوسف، ١٩٩٨، ص ٢١٠). كما تتكون منطقة ضغط منخفض شتوي على البحر الأحمر كنتيجة لامتداده وسط مرتفعين جويين على الصحراء الكبرى والجزيرة العربية، بالإضافة إلى التباين الحراري بين اليابس والماء في فصل الشتاء (حنا، ١٩٧٨، ص ٦).

و ٥,٢ م/ث في مطروح وبورسعيد^(١). وترتفع سرعة الرياح بالاتجاه نحو الجنوب في إقليم الساحل الشرقي، حيث ترتفع من ٣,٤ م/ث في الإسماعيلية شمالاً إلى ٦,٠ م/ث في رأس بناس جنوباً^(٢)، كما ترتفع قيم متوسطات السرعة ربيعاً في إقليم الوادي والصحراء الغربية لتتراوح بين ٢,٥ م/ث في سوهاج وبين ٤,٨ م/ث في أسوان. ويبلغ نصيب فصل الربيع من الرياح العاصفة (التي تزيد سرعتها عن ١٨ م/ث) ٧٢% في أسوان و٧٧% في المنيا و٨٣% في أسيوط (يوسف، ٢٠٠٠، ص ٣١). وتمثل أيضاً الفرافرة مركزاً لانخفاض سرعة الرياح في الصحراء الغربية (شكل ٢). وتبلغ سرعة الرياح أعلى متوسط شهري ربيعاً خلال شهر مارس في ٥٤% من المحطات، مقابل ١٩% في شهر مايو، و ١٢% في شهر أبريل، وتعادل السرعة في الشهور الثلاث في كل من رفح والقاهرة وقنا والمنصورة. ومما يذكر أن، أعلى متوسط شهري خلال الربيع قد بلغ ٦,٧ م/ث خلال شهر مايو في محطة رأس بناس. ويرتفع متوسط سرعة الرياح خلال الفترة من شهر مارس حتى شهر أبريل إذ تستحوذ على ٣٩,٧% من عند المنخفضات الجوية السنوية على مصر (الفي، ١٩٩٩، ص ٤٦).

ج- فصل الصيف: يضعف نطاق الضغط المرتفع المداري فوق مصر خلال فصل الصيف، ويتزحزح شمالاً مع حركة الشمس الظاهرية وتستقر الأحوال الجوية. وتندر المنخفضات الجوية خلال فصل الصيف، إذ لا تزيد نسبتها عن ٥,٨% من إجمالي تكرارها السنوي، وينحصر أغلبها في شهر يونيو، وتأتي في معظمها من الصحراء الغربية وشمال غرب البحر المتوسط (الفي، ١٩٩٩، ص ٤٧). وينعكس ذلك في انخفاض سرعة

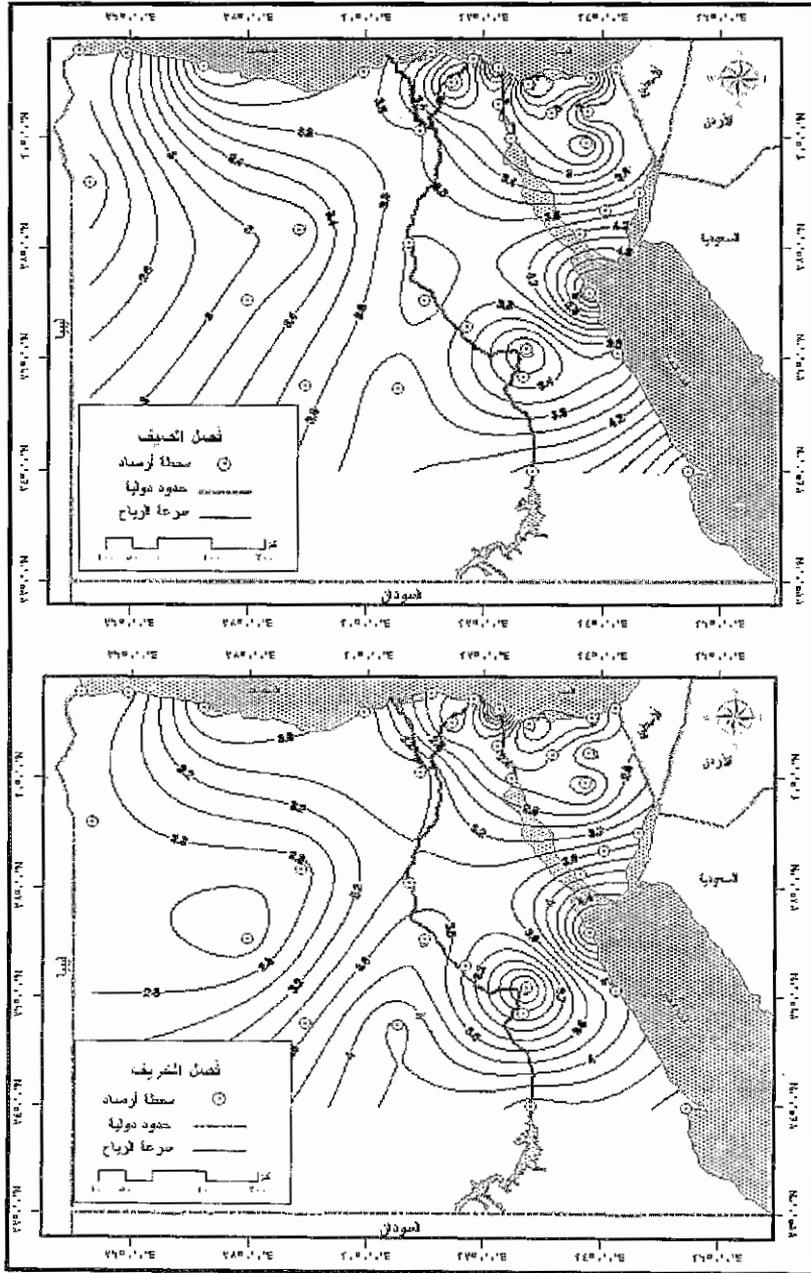
(١) تنخفض سرعة الرياح بصفة عامة في محطة العريش نتيجة لموضع محطة الرصد في الضواحي الريفية للمدينة، ويحاط بما اتلال والمباني المتناثرة حولها، ويقع الأنيموميتر على ارتفاع ٨,٥ متراً فوق سطح الأرض. أما بالنسبة لبور سعيد، فتقع المحطة في المنطقة الحضرية، وتحاط بالمباني من جميع الاتجاهات باستثناء الشمال حيث تفتح مباشرة على البحر، كما يرتفع الأنيموميتر ١١ متراً فوق سطح الأرض كما يتضح في جدول (١) (Egyptian Meteorological Authority, 2000).

(٢) تنخفض السرعة في محطة الإسماعيلية حيث تحاط المحطة بالمباني من الشرق والغرب، ويقع الأنيموميتر على طريق أسفلي ويبلغ ارتفاعه ٩,٥ متراً فوق سطح الأرض. أما محطة رأس بناس، فتقع على لسان من اليابس تمتد في مياه البحر الأحمر في منطقة ساحلية تمتد غرب البحر، مما يجعلها مفتوحة على البحر كما تتأثر بنسيم البحر (Egyptian Meteorological Authority, 2000).



شكل (٢) : متوسط سرعة الرياح اليومية خلال فصلي الشتاء والربيع م/ث
بمحطات الدراسة خلال الفترة ٢٠٠٤/١٩٨٠.

الرياح خلال فصل الصيف مقارنةً بالربيع بصفة عامة. وتتراوح قيم المتوسط الفصلية للسرعة في إقليم الساحل الشمالي بين ٢,٢ م/ث في العريش (كما هو الحال في الشتاء والربيع إذ تمثل الحد الأدنى للسرعة لما عرض من أسباب) وبين ٤,٥ م/ث في مطروح لتعادل ضعف مثيلتها في العريش. ويرتبط هذا بشدة مراكز المرتفع الجوي فوق أواسط وغرب البحر المتوسط مما يؤدي إلى زيادة سرعة الرياح خاصة على الساحل الغربي للبحر المتوسط كما في مطروح. وتعادل قيم متوسط السرعة في الحسنة ضعف مثيلتها في بئر العبد في إقليم سيناء (كما هو الحال في فصل الربيع). أما في إقليم الوادي والصحراء الغربية، فتحفظ أسوان في أقصى الجنوب بأعلى متوسط فصلية للسرعة ويبلغ ٤,٥ م/ث، وتقابلها سيوة في أقصى الشمال بأدنى متوسط ويعادل أقل من ١/٢ مثيله في أسوان. وترتبط هذه الزيادة في سرعة الرياح في أقصى جنوب الصعيد بوجود قمة ناتجة عن زيادة التسخين الإشعاعي لسطح الأرض مما يولد حالة من عدم الاستقرار قد تنشأ عنها عواصف شديدة. وقد يرتبط ذلك بمنطقة التجمع تحت المدارية Inter Tropical Convergence Zone فيما بين ١٥ - ٢٠ شمالاً، ومن ثم تعمل على جذب الرياح الشمالية صيفاً فتزيد سرعة الرياح (فايد، وآخرون، ١٩٩٤، ص ٥٤). وتتميز الغردقة بكونها المحطة الوحيدة التي تزيد فيها السرعة صيفاً ليس فقط في إقليم الساحل الشرقي، بل في جميع أقاليم مصر الجغرافية بمتوسط يبلغ ٥,٥ م/ث، ويعادل مثيله في محطة رأس بناس في أقصى جنوب الساحل الشرقي خلال مدة الدراسة ٢٠٠٤/١٩٨٠ (شكل ٣). ومما يذكر أن، متوسط سرعة الرياح في كل من الغردقة ورأس بناس هو الأعلى مقارنةً بالمحطات الأخرى، ويعادل ضعف مثيله في محطة سيدي براني في أقصى الشمال. ويُفسر ذلك بكون المحطات الساحلية الشمالية ومن بينها سيدي براني تتأثر باعتدال درجة حرارة مناخ إقليم البحر المتوسط، ومن ثم تقل الفروق الحرارية بين الياض والماء خلال فصل الصيف، وبالعكس تأثير ذلك في انخفاض سرعة الرياح. أما في محطات الساحل الشرقي، فإنه بالرغم من كون مياه البحر الأحمر مدارية تتميز بحرارتها المرتفعة على مدار العام، إلا أن البحر الأحمر يمثل منطقة ضغط مرتفع نسبي مقارنةً بظهيره الصحراوي شديد السخونة (يوسف، ٢٠٠٠ ص ٨)، فتتسع الفروق الحرارية بين الياض والماء وينعكس ذلك في زيادة سرعة الرياح. ويحظى شهر يونيو بأعلى متوسط سرعة للرياح في ٦٢% من محطات الدراسة، يليه شهر أغسطس في ٢٠% منها، وشهر يوليو في ١٦% منها. وهكذا يماثل شهر يونيو في الصيف شهر مارس في



شكل (٣) : متوسط سرعة الرياح اليومية خلال فصلي الصيف والخريف م/ث

بمحطات الدراسة في الفترة ٢٠٠٤/١٩٨٠.

الربيع وشهر فبراير في الشتاء، لتمثل هذه الشهور قمة قيم متوسط السرعة خلال الفصول الثلاث. وقد يرتبط هذا بتكرار المنخفضات الجوية الصحراوية، إذ يحظى فبراير ومارس معاً بحوالي ٣٩% من إجمالي عددها السنوي (الفقي، ١٩٩٩، ص ٤٧).

د- فصل الخريف: تتخفف سرعة الرياح إلى أدنى مستوياتها خلال فصل الخريف مقارنة بالفصول الأخرى بسبب عدم اكتمال الضغوط المؤثرة، وتكون أيضاً مراكز انحدارات الضغط الجوي بطيئة لا تساعد على هبوب الرياح للنشطة إلا في أواخر فصل الخريف في شهر نوفمبر بنسبة تكرر ٢٢% من إجمالي عددها السنوي (الفقي، ١٩٩٩، ص ٤٣). وتتراوح قيم متوسط سرعة الرياح في فصل الخريف في إقليم الساحل الشمالي بين ٢,٠ م/ث في العريش وبين ٤,٠ م/ث في مطروح. كما تتراوح في إقليم سيناء بين ١,٧ م/ث في بئر العبد وبين ٢,٩ م/ث في الحسنة كما هو الحال في بقية الفصول. أما في إقليم الوادي والصحراء الغربية، فتتراوح قيم المتوسط الخريفي للسرعة بين ٢,٣ م/ث كحد أدنى في قنا حيث تظهر في خطوط التساوي كمرکز لانخفاض السرعة، وبين ٤,٥ م/ث في أسوان التي تمثل قمة السرعة في جنوب الوادي (شكل ٣). وترتفع قيم المتوسط الفصلي للسرعة في إقليم الساحل الشرقي مقارنةً بالأقاليم الأخرى، إذ تتراوح بين ٢,٤ م/ث في الإسماعيلية (الأدنى سرعة خلال الفصول الأربعة) وبين ٥,٢ م/ث في الغردقة. ويحظى شهر نوفمبر بأعلى قيم المتوسط الشهري للسرعة خلال فصل الخريف في محطات الساحل الشمالي، ويمثله شهر سبتمبر في إقليم الوادي والصحراء الغربية.

٢) المتوسط السنوي :

يلخص المتوسط السنوي لسرعة الرياح خصائص السرعة الفصلية في أقاليم مصر الجغرافية خلال مدة الدراسة ١٩٨٠/٢٠٠٤. إذ تتراوح قيم المتوسط السنوي لسرعة الرياح في إقليم الساحل الشمالي بين ٢,٣ م/ث في العريش وبين ٤,٥ م/ث في مطروح، وبين ٢,٩ م/ث - ٥,٣ م/ث لكل من الإسماعيلية والغردقة على التوالي في الساحل الشرقي^(١). أما بالنسبة للمحطات الداخلية، فتتراوح في سيناء بين ٢,٠ م/ث - ٣,٣ م/ث في بئر العبد والحسنة على التوالي، وبين ٢,٤ م/ث - ٤,٦ م/ث لقنا وأسوان في صعيد مصر. وهكذا يعادل الفرق بين قيم أدنى وأعلى متوسط سنوي لسرعة الرياح الضعف تقريباً فيما بين المحطات الساحلية والداخلية (شكل ٤).

(١) يبلغ عدد أيام الرياح العاصفة بسرعة تتجاوز ١٨ م/ث، في الإسكندرية ٧ أيام، والعريش ومرسى مطروح ٤ أيام لكلٍ منهما، وتتنخفض في الساحل الشرقي إلى يومين على الأكثر (يوسف، ١٩٩٨، ص ٢٣٢).

وتعكس هذه الفروق بوضوح في مقاييس التشتت إذ يبلغ الانحراف المعياري ٠,٧ م/ث كحد الأقصى في رأس بناس، كما يبلغ معامل الاختلاف ٢٧,١% في رفح كحد أقصى.

ثانياً : محصلة الرياح سرعةً واتجاهاً :

تتحكم سرعة الرياح بصورة مباشرة في امكانيات توليد طاقة الرياح، مما يدعو إلى ضرورة حساب محصلة سرعة الرياح من جميع الاتجاهات. وقد تم ذلك باستخدام المعادلة التالية :

$$(Stinger, 1981, p. 113) V = R / Hr$$

حيث: V = محصلة سرعة الرياح من جميع الاتجاهات م / ث

$$= \sqrt{(c_{\pi})^2 + (c_w)^2}$$

وهي محصلة جريان الرياح بالمترو.

Hr = عدد ساعات الهبوب (٧٤٤ ساعة للشهور ذات ٣١ يوماً - ٧٢٠ ساعة للشهور ذات ٣٠ يوماً - ٦٧٢ ساعة لشهر فبراير).

ويتضح من نتائج تطبيق هذه المعادلة على محطات الدراسة خلال الفترة ٢٠٠٤/١٩٨٠ أن أعلى قيم المتوسطات الشهرية لمحصلة سرعة الرياح (Resultant Wind Velocity (V تحدث خلال فصل الصيف في إقليم الوادي والصحراء الغربية، وتتميز محطة أسوان من بينها بأعلى القيم. أما بالنسبة لمحطات إقليم الساحل الشرقي، فتحدث أعلى القيم خلال فصل الربيع خاصة في الغردقة. أما محصلة جريان الرياح من الاتجاهات Resultant Wind Run فتتراوح خلال فصل الشتاء بين ٦٢١ متراً في سيوة وبين ٤١١٠ متراً في نوبيع. وتتراوح في فصل الربيع بين ٣٩٠ متراً في سيوة وبين ٤٠٤٥ متراً في الغردقة. وتتراوح بين ٧٣٦ متراً في العريش وبين ٣٢٩٣ متراً في نوبيع في الصيف. وتتنخفض محصلة الجريان إلى حدها الأدنى خلال فصل الخريف لتتراوح بين ٣٨٠ متراً في سيوة وبين ٣٣١٥ متراً في نوبيع. وهكذا ترتفع محصلة جريان الرياح في المحطات الساحلية بصفة عامة مقارنةً بالداخلية بسبب اختلاف توزيعات الضغط الجوي فيما بين اليابس والماء فيزيد نشاط الرياح على السواحل حيث البحار المفتوحة التي تستقبل المؤثرات البحرية (يوسف، ١٩٩٨، ص ٢٣٢). ولعل هذا هو المؤشر الأهم فيما يتعلق ببحث امكانية استغلال قوة الرياح في توليد الطاقة خاصةً سواحل البحر الأحمر حيث ترتفع محصلة الجريان كما في الغردقة لارتفاع سرعة الرياح بسبب الخصائص الحرارية للبحر الأحمر التي ينعكس تأثيرها على الضغط المحلي ومن ثم سرعة الرياح. بينما تنخفض محصلة الجريان في إقليم الساحل الشمالي مقارنةً بالساحل الشرقي خاصةً مع الاتجاه شرقاً نحو العريش. وتتمثل أقل محصلة لجريان الرياح في سيوة نتيجة لكونها عبارة عن منخفض في شمال الصحراء الغربية

التي تتميز بانخفاض سطحها وقلة تضرسها مما يؤدي إلى انخفاض سرعة الرياح (شكل ٤). وإذا تضعف أهمية اتجاه الرياح فيما يتعلق باستخدام قوة الرياح في تدوير أذرع التوربينات، فيقتصر هذا البحث على حساب زاوية المحصلة^(١) من تطبيق المعادلة التالية : (نعمان، ١٩٨٣، ص ٧٦)

$$\text{ص} = \text{م ش} / \text{م غ} = \text{ظا (أ)} - ١.$$

ويوضح شكل (٤) محصلة الجريان التي تمثلها الدوائر وتشير الأسهم إلى الاتجاه السنوي للرياح السائدة.

وتتضح سيادة هبوب الرياح من الجهة الشمالية سواء الرياح الشمالية الغربية الأكثر تكراراً في الشتاء والخريف، أو الرياح الشمالية الأكثر تكراراً خلال فصل الصيف ويطلق عليها رياح الإيتزيه Etesians^(٢)، فضلاً عن الرياح الشمالية الشرقية. ويذكر هنا، أن رياح الخماسين التي تهب من جهة الجنوب والغرب الغربي منذ أواخر الشتاء وتستمر خلال فصل الربيع لم تؤثر بوضوح على الاتجاه السنوي للرياح في مصر (شكل ٤).

ثالثاً : خصائص السرعة الساعية للرياح :

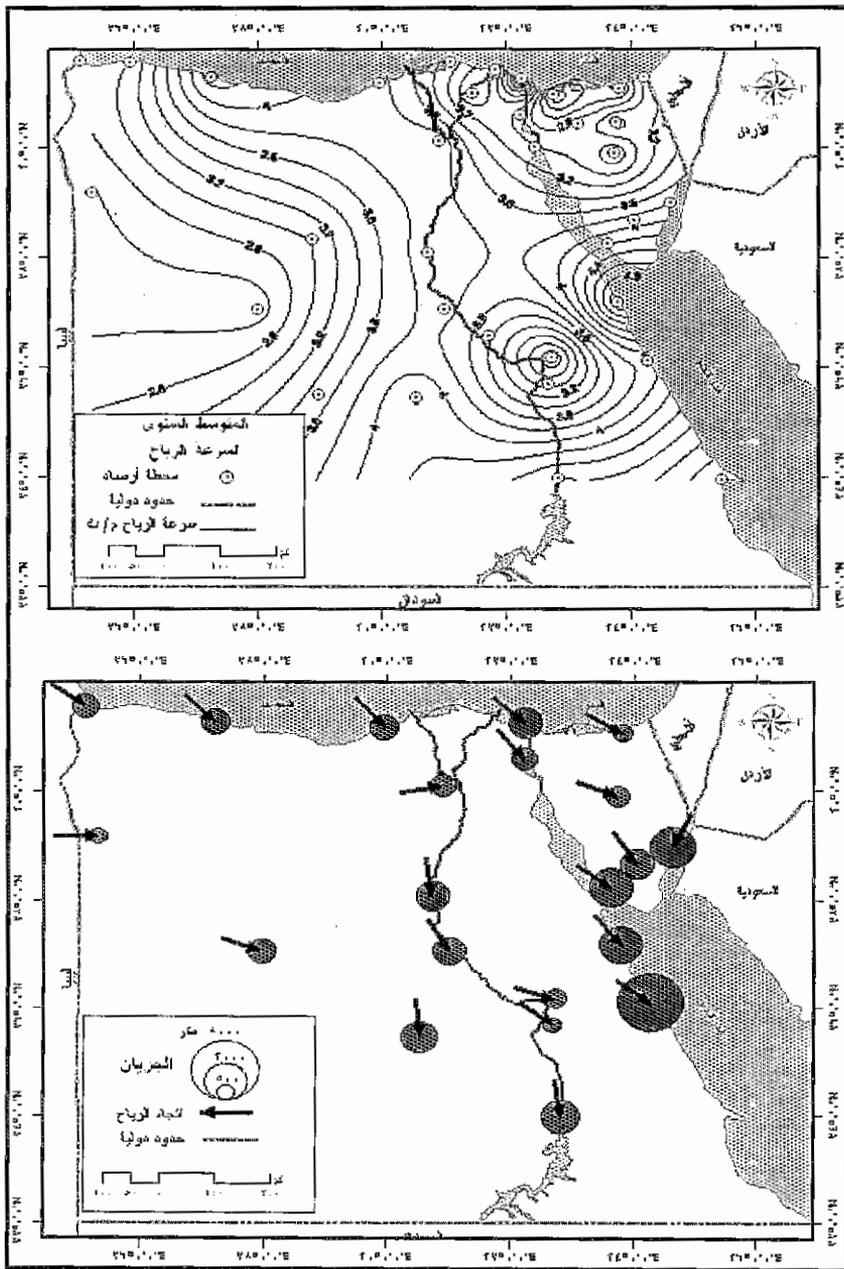
تتناقص سرعة الرياح السطحية من وقت الغروب وخلال ساعات الليل لتصل إلى أدنى سرعاتها قبيل الشروق. ويرتبط هذا ببرودة الأرض في أثناء ساعات الليل نتيجة عملية الإشعاع الأرضي، ومن ثم تحدث حالة من الاستقرار فيبقى الهواء قريباً من سطح الأرض، وهذا يؤدي الاحتكاك (خشونة السطح) إلى انخفاض سرعة الرياح السطحية حتى ارتفاع يتراوح بين ٥٠٠ - ١٠٠٠ متراً (علي، ١٩٩٣، ص ١٦٨). ويعتمد هذا البحث على تحليل للتغير الفصلي والشهري والسنوي في سرعة الرياح عند منتصف الليل وعند الظهيرة بتوقيت جرينتش (أي الساعة ٠٢ والساعة ١٤ بالتوقيت المحلي) خلال الفترة ١٩٩٥/٢٠٠٤م.

(١) المتوسطات الفصلية والشهرية عند منتصف الليل :

أ- فصل الشتاء : يتراوح المتوسط الفصلي لسرعة الرياح عند منتصف الليل بين ٢,٢ م/ث في العريش وبين ٥,٨ م/ث في الغردقة، لتعادل السرعة في الثانية أكثر من ضعف السرعة في الأولى. وترتفع سرعة الرياح عند منتصف الليل على ساحل البحر الأحمر بصفة عامة مقارنةً بساحل البحر المتوسط، إذ تبلغ ٣,٢ م/ث و ٣,١ م/ث في القصير والسويس على

(١) حيث أن محصلة اتجاه الشمال على الجنوب يضاف إلى قيمة زاوية الاتجاه الغربي ٢٧٠°.

(٢) تتميز رياح الإيتزيه بخصائص الرياح التجارية فيما بين دائرتي عرض ٢٠-٣٠° شمالاً (الفاقي، ١٩٩٩، ص



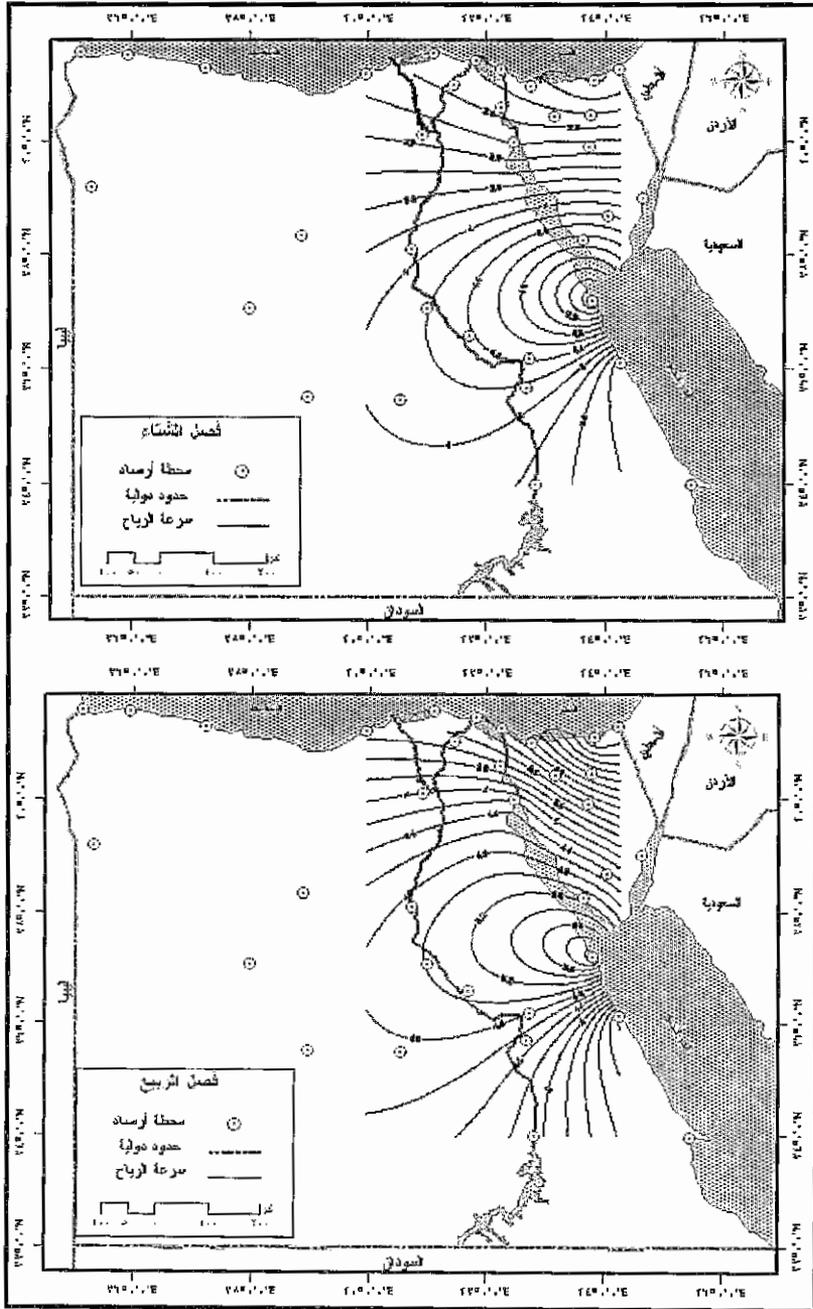
شكل (٣) : المتوسط السنوي لسرعة الرياح ومحصلة الجريان واتجاه الرياح السائدة خلال الفترة ١٩٨٠/٢٠٠٤.

التوالي مقابل ٢,٩ م/ث في الإسكندرية. وتقترب قيم متوسطات السرعة خلال فصل الشتاء في أقصى جنوب مصر في محطة أسوان مع مثيلاتها على الساحل الشرقي إذ تبلغ ٣,٨ م/ث (شكل ٥). ويعتبر شهر فبراير هو الأعلى سرعة بين شهور الشتاء عند منتصف الليل، إذ تتراوح قيم المتوسط الشهري بين ٢,٢ م/ث - ٦,١ م/ث، ويقابله شهر ديسمبر بقيمة متوسط تتراوح بين ٢,٠ م/ث - ٥,٦ م/ث. ويتفق هذا مع قيم المتوسطات الفصلية والشهرية للسرعة اليومية كما أتضح من قبل ولذات الأسباب.

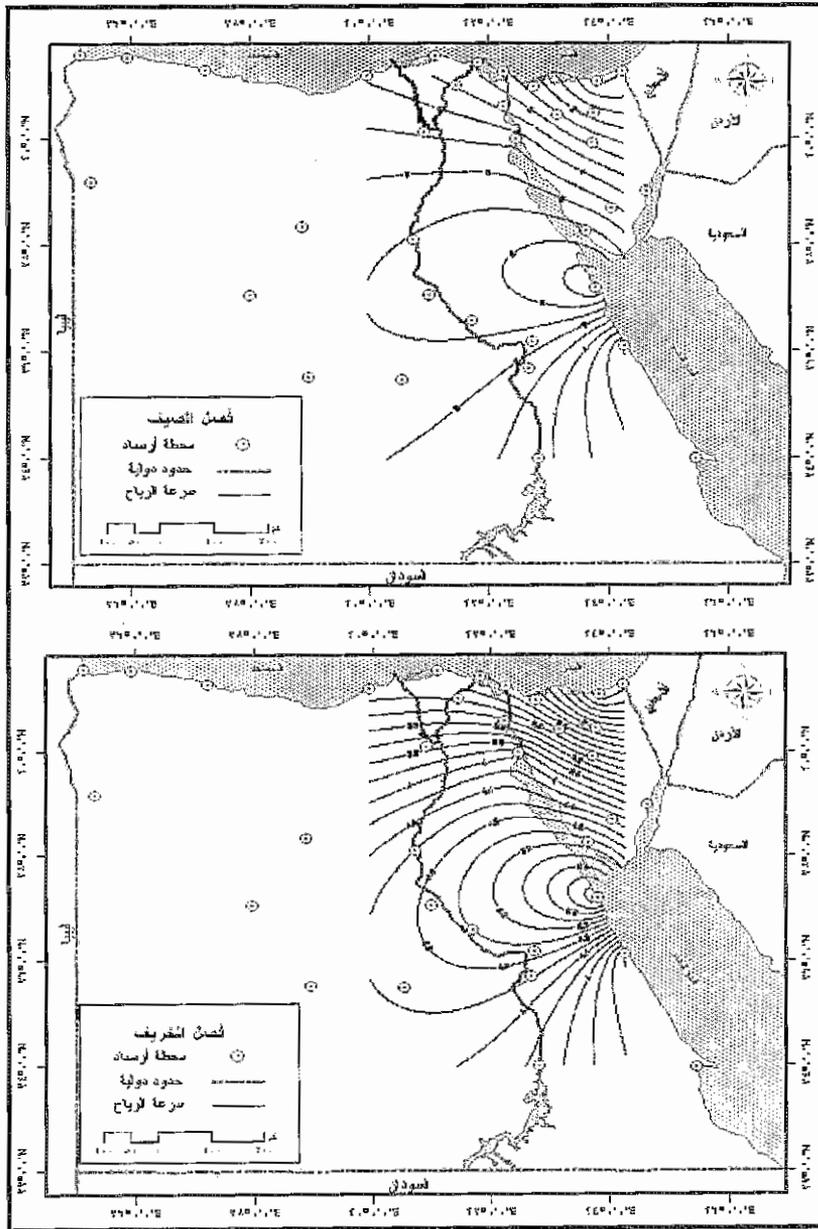
ب- فصل الربيع : ترتفع قيم متوسطات سرعة الرياح عند منتصف الليل ربيعاً مقارنة بالشتاء حيث تبلغ ٦,١ م/ث في الغردقة ونيلها السويس ٤,٤ م/ث والقصير ٢,٩ م/ث. وتقترب قيم متوسط السرعة في أسوان من مثيلتها في السويس إذ تبلغ ٤,١ م/ث. وتخفض السرعة عند منتصف الليل خلال فصل الربيع في محطات الساحل الشمالي بالاتجاه شرقاً نحو العريش إذ يبلغ المتوسط ١,٤ م/ث وهو الأقل بين سائر المحطات (شكل ٥). وترتفع قيم المتوسط الشهري للسرعة خلال شهر أبريل في جميع المحطات باستثناء محطة العريش إذ ترتفع خلال شهر مارس بفارق ضئيل.

ج- فصل الصيف : تحتفظ الغردقة بأعلى متوسط لسرعة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الصيف إذ يبلغ ٧,١ م/ث لتعادل ضعف قيم متوسط السرعة في المحطات الأخرى وتعادل ٣ أمثالها في القصير (شكل ٦). وتعتبر قيم المتوسط الشهري لسرعة الرياح خلال يونيو هي الأعلى، إذ تتراوح بين ٢,٦ م/ث في القصير وبين ٤,٧ م/ث في أسوان. بينما ترتفع خلال شهر أغسطس في كل من والغردقة السويس بمتوسط يبلغ ٧,٣ م/ث للأولى و٤,٧ م/ث للثانية.

د- فصل الخريف : ينخفض متوسط سرعة الرياح عند منتصف الليل في فصل الخريف مقارنةً بفصل الصيف في جميع المحطات باستثناء محطة القصير إذ يبلغ متوسط السرعة في الخريف ٣,٣ م/ث مقابل ٢,٤ م/ث لمتوسط السرعة خلال الصيف في هذه المحطة. وتتراوح قيم متوسط سرعة الرياح بين ١,٩ م/ث كحد أدنى في العريش وبين ٦,٢ م/ث كأعلى قيمة في محطة الغردقة خلال فصل الخريف كما هو الحال في بقية فصول السنة (شكل ٦). وترتفع قيم متوسط السرعة خلال شهر سبتمبر في كل من السويس والغردقة والإسكندرية لتتراوح بين ٣,٩ م/ث - ٦,٩ م/ث. بينما ترتفع خلال شهر نوفمبر في كل من العريش والقصير وأسوان بمتوسط يتراوح بين ١,٣ م/ث - ٣,٨ م/ث عند منتصف الليل.



شكل (٥) : متوسط سرعة الرياح م/ث عند منتصف الليل خلال فصلي الشتاء والربيع بمحطات الدراسة خلال الفترة ٢٠٠٤/١٩٨٠.



شكل (٦) : متوسط سرعة الرياح م/ث عند منتصف الليل خلال فصلي الصيف والخريف
بمحطات الدراسة خلال الفترة ١٩٨٠/٢٠٠٤.

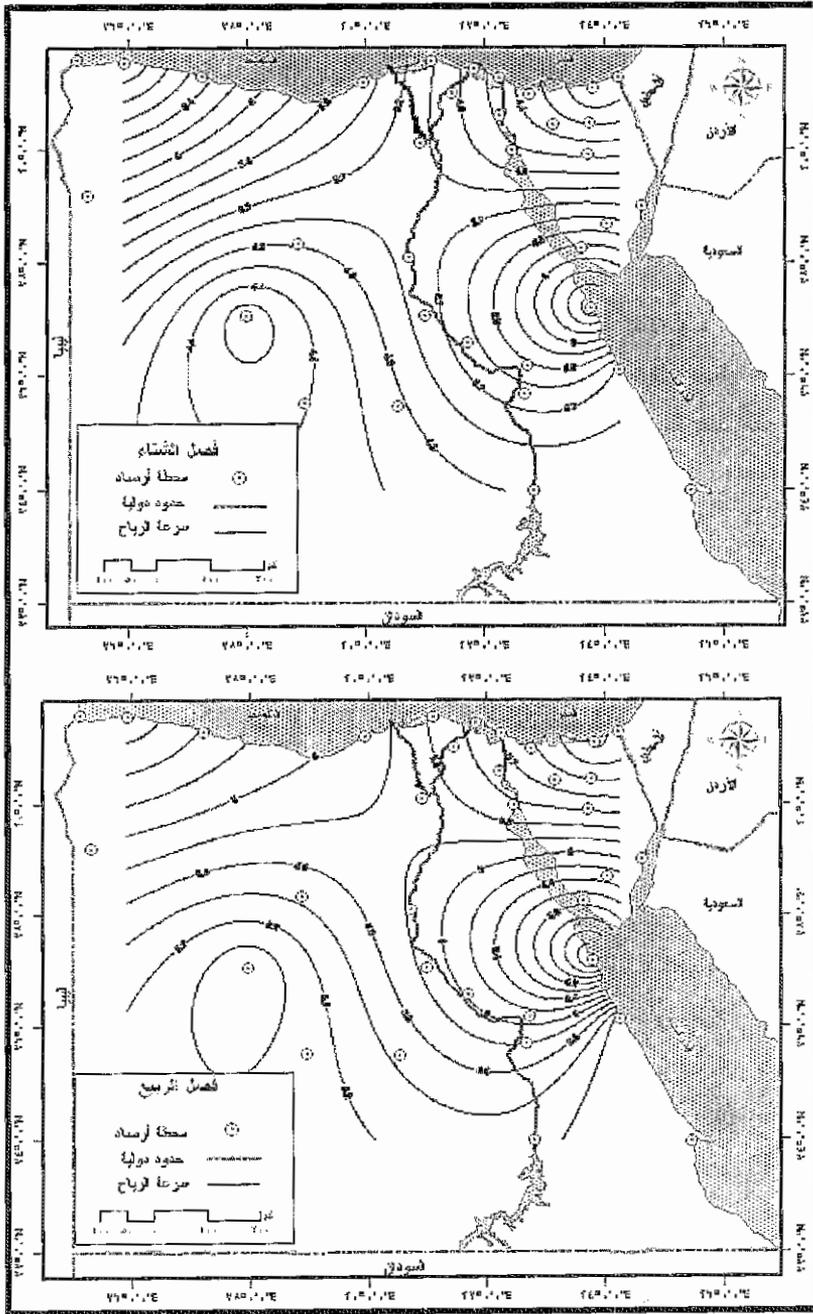
ملاحظة: المحطات التي لا تشملها خطوط التساوي في شكل (٥) وشكل (٦) لا تتوفر لها بيانات سرعة الرياح عند منتصف الليل.

٢) المتوسطات الفصلية والشهرية عند الظهيرة :

تأخذ سرعة الرياح السطحية في الارتفاع منذ الشروق لتصل إلى سرعتها العظمى بعد ساعتين أو ثلاث ساعات من بلوغ الإشعاع الشمسي ذروته الساعة ١٢ ظهراً. ويرتبط ذلك بعملية تسخين الهواء الملاصق لسطح الأرض، فتتسأ التيارات الهوائية الصاعدة، فيحل محلها هواء بسرعة أعلى نتيجة لابتعاده عن تأثير عامل الاحتكاك، ومن ثم تزداد سرعة الرياح في أثناء ساعات السطوح مقارنةً بساعات الليل.

أ- فصل الشتاء : يرتفع متوسط سرعة الرياح عند الظهيرة مقارنةً بمنتصف الليل . وتمثل محطة سيدي براني أعلى قيم لمتوسط السرعة بين سائر المحطات خلال فصل الشتاء ، إذ يبلغ ٧,٣ م/ث مقابل ٦,٨ م/ث في الغردقة. وجدير بالذكر أن، قيم متوسط السرعة في محطة الإسكندرية عند الظهيرة تبلغ ٥,٥ م/ث لتعادل ضعف مثيلتها عند منتصف الليل فتتمثل بذلك أعلى فارق في قيم متوسط السرعة بين التوقيتين في محطات الدراسة. وتتقارب قيم متوسط السرعة عند الظهيرة خلال فصل الشتاء في كل من أسوان في أقصى جنوب الوادي والفرافرة في الصحراء الغربية مع مثيلتها في السويس الساحلية (شكل ٧). وتعتبر قيم متوسط السرعة في فصل الشتاء هو الأعلى بين المتوسطات الفصلية الأخرى في محطة سيدي براني فقط. هذا، ويمثل شهر فبراير أعلى قيم للمتوسط الشهري في جميع المحطات بمتوسط يتراوح بين ٤,٣ م/ث - ٧,٦ م/ث لكل من العريش والغردقة بالتوالي. وتعتبر سيدي براني هي الاستثناء الوحيد في ذلك، إذ ترتفع في شهر يناير لتعادل أكثر من ضعف مثيلتها في شهر فبراير.

ب- فصل الربيع : ترتفع قيم متوسط السرعة عند الظهيرة خلال فصل الربيع في محطات الدراسة مقارنة بالشتاء كنتيجة لبدء عمليات التسخين ونشاط التيارات الصاعدة، فضلاً عن نشاط رياح الخماسين بسرعاتها العالية. ويعتبر فصل الربيع هو الأعلى سرعة بين فصول السنة في العريش على الساحل الشمالي والسويس على الساحل الشرقي. وترتفع قيم متوسط السرعة في الغردقة مقارنةً بمحطات الدراسة إذ يبلغ ٧,٧ م/ث، مقابل ٦,٨ م/ث في سيدي براني (شكل ٧). ويتميز شهر مارس بأعلى قيم للمتوسطات في كل من القصير والغردقة إذ يبلغ ٥,٤ م/ث و ٧,٨ م/ث لكلٍ منهما على التوالي. أما في أسوان والإسكندرية، فترتفع قيم المتوسط في شهر مايو لتبلغ ٥,٤ م/ث و ٦,١ م/ث لكلٍ منهما على التوالي. بينما يمثل شهر أبريل أعلى قيم المتوسط الشهري للسرعة ويبلغ ٤,٧ م/ث في العريش ويبلغ ٥,٠ م/ث في الفرافرة.



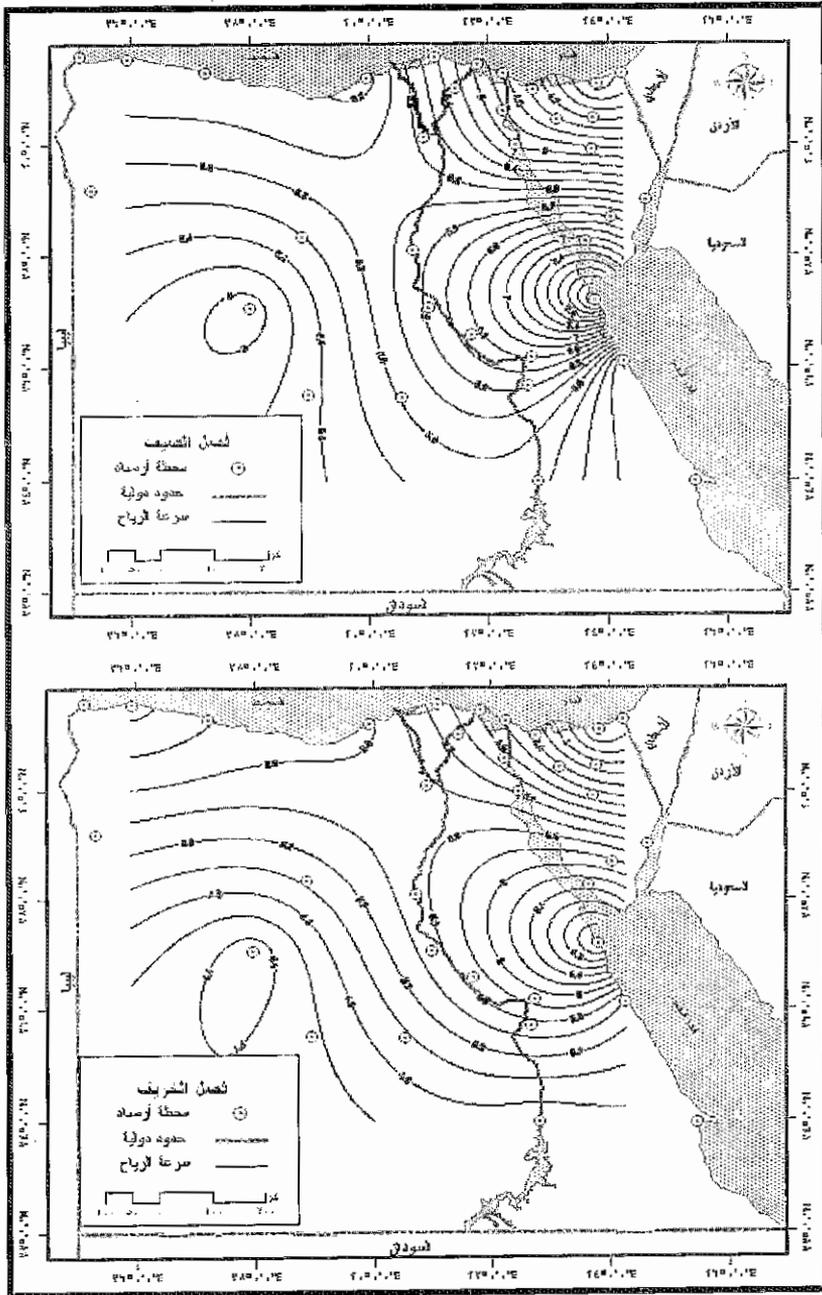
شكل (٧) : متوسط سرعة الرياح م/ث عند الظهيرة خلال فصلي الشتاء والربيع
 بمحطات الدراسة خلال الفترة ١٩٨٠/٢٠٠٤.

ج- فصل الصيف : ترتفع قيم متوسط السرعة خلال فصل الصيف مقارنةً بالربيع عند الظهيرة في محطات أسوان والفرافرة والغردقة والإسكندرية. بينما تنخفض قيم متوسط السرعة في سيدي براني والعريش على الساحل الشمالي والقصير على الساحل الشرقي، لتصبح قيم المتوسط أقل من مثيلاتها في كل من الشتاء والربيع. وتتراوح قيم متوسط السرعة بين ٣,٥ م/ث في العريش وبين ٨,٧ م/ث في الغردقة. وتشير قيم خطوط التساوي إلى ارتفاع سرعة الرياح بالاتجاه جنوباً نحو الغردقة، بينما تبدو الفرافرة كمركزاً لانخفاض السرعة في الصحراء الغربية (شكل ٨). ويمثل يونيو أعلى قيم متوسط شهري لسرعة الرياح في كل من العريش والفرافرة والسويس وسيدي براني حيث تتراوح بين ٣,٨ م/ث - ٥,٢ م/ث. بينما يتميز شهر أغسطس بأعلى قيم لمتوسط السرعة على الساحل الشرقي في كل من القصير والغردقة، ويمثل شهر يوليو أعلى متوسط شهري عند الظهيرة خلال فصل الصيف في الإسكندرية فقط.

د- فصل الخريف : يمثل فصل الخريف أعلى قيم المتوسطات الفصلية لسرعة الرياح عند الظهيرة في محطة القصير فقط ، حيث يبلغ ٥,٣ م/ث مقابل ٥,٠ م/ث في كل من الربيع والصيف، وبمتوسط شتوي يبلغ ٥,٢ م/ث. وتتميز الغردقة بأعلى قيم لمتوسط السرعة بين المحطات في فصل الخريف (كما هو الحال في الربيع والصيف)، ليعادل ضعف قيم المتوسط في العريش التي تمثل أدنى المحطات من حيث سرعة الرياح عند الظهيرة في الفصول الأربعة . وتعكس قيم خطوط التساوي قمتين للسرعة في الغردقة وأسوان، مقابل مركزين لانخفاضها في الفرافرة والعريش (شكل ٨). وتتراوح قيم متوسط السرعة خلال فصل الخريف بين ٣,٤ م/ث - ٨,٧ م/ث للعريش والغردقة على التوالي . ويتناقص شهر سبتمبر وشهر أكتوبر أعلى قيم المتوسطات الشهرية للسرعة خلال الخريف بنسبة تبلغ ٦٥,٥% و ٣٤,٥% لكل منهما على التوالي من محطات الدراسة.

المتوسط السنوي لسرعة الرياح ليلاً ونهاراً :

يلخص المتوسط السنوي لسرعة الرياح عند منتصف الليل الخصائص الفصلية للسرعة خلال مدة الدراسة ١٩٩٥ - ٢٠٠٤ . وتظهر قيم خطوط التساوي قمتين للسرعة الأولى في الغردقة حيث تبلغ ٦,٣ م/ث لتعادل ٦ أمثالها في العريش، و ٣ أمثالها في القصير، وضعف مثيلاتها في الإسكندرية والسويس، والثانية في أسوان حيث تبلغ ٤,٠ م/ث (شكل ٩). وتتراوح قيم متوسط السرعة السنوي عند الظهيرة بين ٣,٨ م/ث في العريش وبين ٧,٦ م/ث في الغردقة التي تمثل قمة واضحة أيضاً للسرعة نهاراً . وتتقارب قيم المتوسطات السنوية فيما بين القصير والسويس على



شكل (٨) : متوسط سرعة الرياح م/ث عند الظهيرة خلال فصلي الصيف والخريف بمحطات الدراسة خلال الفترة ١٩٨٠/٢٠٠٤.

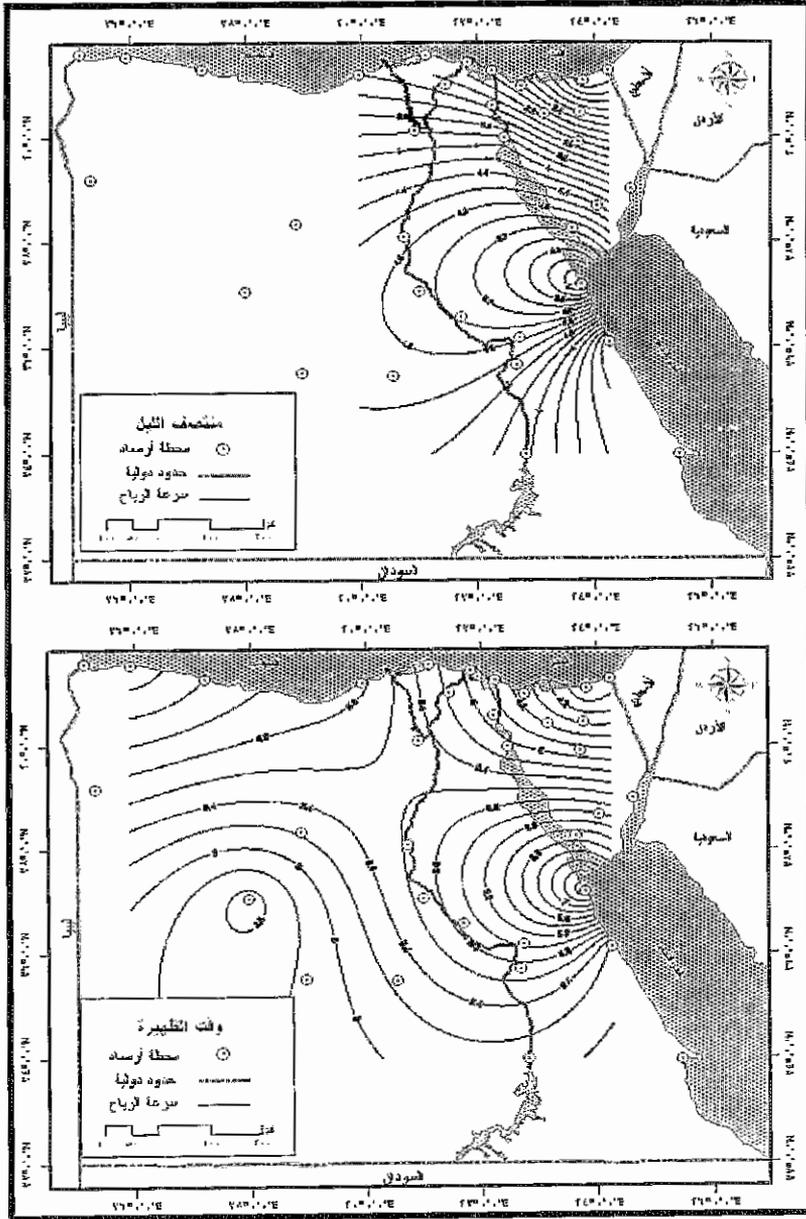
الساحل الشرقي (٥,١ م/ث)، بينما ترتفع في سيدي براني^(١) مقارنةً بالإسكندرية بفارق ضئيل، ويزيد هذا الفارق ليعادل الضعف عند مقارنتها بالعريش على الساحل الشمالي، كما تتقارب القيم فيما بين الفرافرة وأسوان (٥,٠ م/ث) كمحطات داخلية (شكل ٩). ويتضح من تحليل قيم متوسط سرعة الرياح على مدار ساعات اليوم^(٢) في محطات الدراسة خلال الفترة ١٩٩٥ - ٢٠٠٤، أن محطة الغردقة هي الأعلى سرعة على مدار ساعات اليوم بقيم تبلغ ٦,٥ م/ث لتعادل ٣ أمثالها في العريش والفرافرة، وضعف مثيلاتها في القصير وسيدي براني. وترتفع قيم متوسط السرعة على مدار ساعات اليوم في شهر يونيو في كل من أسوان والغردقة والسويس والفرافرة، بينما يعتبر شهر سبتمبر هو الأعلى من حيث سرعة الرياح في القصير، ويمثله شهر مارس في العريش، وشهر يوليو في الإسكندرية، وشهر فبراير وديسمبر في سيدي براني (شكل ١٠). وتشير قيم الانحراف المعياري إلى أن محطة القصير هي أكثر المحطات تجانساً فيما يتعلق بسرعة الرياح بانحراف معياري ٠,٢٣ ومعامل اختلاف ٦,٢%. وتقع العريش على النقيض من القصير حيث نتشتت القيم عن المتوسط فيبلغ الانحراف المعياري ٠,٥١ ومعامل اختلاف ٢٣,٩%.

رابعاً : إمكانيات طاقة الرياح الكامنة ليلاً ونهاراً :

منهج الدراسة : يعتمد البحث في تقدير وتحليل إمكانيات استخدام طاقة الرياح Wind Energy على تصميم توربين بقدرة ٢ ميجاوات (٢٠٠٠ كيلووات) بمواصفات خاصة تتلخص في : معدل إنتاج الطاقة = ٢ ميجاوات، بداية السرعة عند التشغيل = ١,٥ م/ث، معدل السرعة اللازمة لتوليد الطاقة = ١٣,٥ م/ث، سرعة الدوران = ٢٥ م/ث، ارتفاع محور مروحة التوربين = ٨٥ متراً فوق سطح الأرض (شكل ١١). وقد تم إعداد هذا التوربين الضخم باستخدام معامل ثابت لكثافة الهواء ويبلغ ١,٢٣ كيلوجرام/المتر المكعب، وقد تم تحديد هذا المعامل باستخدام معادلة "List 1958" بالإضافة إلى استخدام معدلات البيانات المناخية خلال الفترة ١٩٩٠/١٩٩١^(٣).

(١) لم يتم رصد سرعة الرياح عند منتصف الليل في محطة سيدي براني ومحطة الفرافرة.
(٢) يمثل متوسط سرعة الرياح على مدار ساعات اليوم ٨ رصدات يومياً، ويفيد هذا في تتبع التغيرات الساعية في سرعة الرياح.

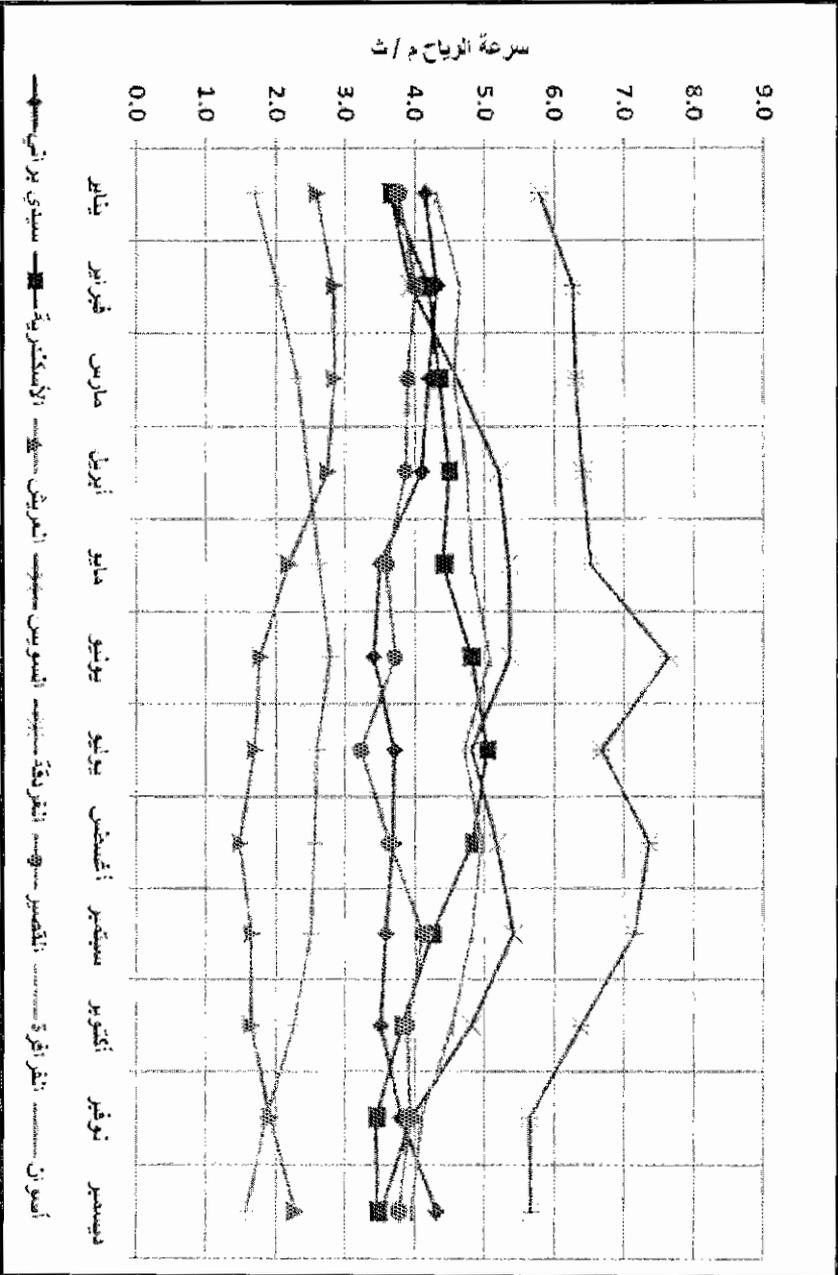
(٣) وقد تم الحصول على هذه البيانات من www.climate-charts.com وتشمل سرعة الرياح، والمتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة العظمى والصغرى، وقيم المتوسط الشهري للاشعاع الشمسي والرطوبة النسبية مع ربطها بالسرعة الساعية للرياح عند منتصف الليل وعند الظهيرة بالتوقيت العالمي (الساعة ٠,٢٠٠ والساعة ١٤,٠٠ بالتوقيت المحلي) خلال الفترة ١٩٩٥/٢٠٠٤.



شكل (٩) : المتوسط السنوي لسرعة الرياح م/ث عند منتصف الليل وعند الظهيرة

بمحطات الدراسة خلال الفترة ١٩٨٠/٢٠٠٤.

ملاحظة : المحطات التي لا تشملها خطوط التساوي في شكل (٩) لا تتوفر لها بيانات سرعة الرياح عند منتصف الليل.



شكل (١٠) : المتوسط الشهري لسرعة الرياح الساعية م/ث ٢٠٠٤/١٩٩٥

ويتحكم في كثافة الهواء Air Density درجة الحرارة والضغط الجوي^(١) والرطوبة النسبية، وإن كانت درجة الحرارة^(٢) هي المتغير الأكثر تأثيراً في كثافة الهواء. وإذا تحسب سرعة الرياح على أساس قيم متوسط السرعة كل ١٥ دقيقة، فإن ذلك يؤدي إلى تضاول قدرة الرياح^(٣) Wind Power على توليد الطاقة لأن استجابة دوران التوربين تتغير خلال فترة زمنية أقل من ١٥ دقيقة. هذا، ويؤثر ارتفاع عمود الأنيموميتر المستخدم في محطات الدراسة (ويتراوح بين ٦ - ١٠ متراً فوق مستوى سطح الأرض) على سرعة الرياح^(٤)، إذ أنه حينما يكون ارتفاع الأنيموميتر ٦ متراً فوق سطح الأرض، فإن سرعة الرياح تعادل ٩٣,١% من سرعتها حينما يكون ارتفاعه ١٠ متراً فوق سطح الأرض^(٥)، وعلى ارتفاع ٨ متراً تعادل ٩٦,٩% من سرعتها على ارتفاع ١٠ متراً

(١) قد أستخدم البحث ١٠١٠ هيكوبسكال كرقم ثابت للضغط الجوي بسبب قلة ثبات قيم الضغط الجوي في محطات الدراسة، فضلاً عن ضعف تأثيره مقارنة بدرجة الحرارة والرطوبة النسبية.

(٢) ولذا اعتمد البحث على قيم المتوسط الشهري لدرجة الحرارة العظمى في تقدير كثافة الهواء خلال ساعات السطوح، وعلى متوسط درجة الحرارة الصغرى لتقدير كثافة الهواء خلال ساعات الليل، وتقدير ضغط البخار من ضغط البخار المشبع عند درجة الحرارة والرطوبة النسبية مع إضافة ٥% للمتوسط الشهري للرطوبة النسبية خلال ساعات الليل وطرح ٥% منها خلال ساعات السطوح على اعتبار أن الرطوبة النسبية أعلى نهاراً وأقل ليلاً (Tuller, 2007, p. 4).

(٣) ويؤخذ في الاعتبار أيضاً، أن مكعب قيم متوسط السرعة (الذي يمثل قيمة منوسطة بين الحد الأعلى والحد الأدنى للسرعة) أقل من السرعة المكعبة Cubed Speed. ولا شك أن هذا الفرق بين القيمتين يتزايد مع زيادة طول الفترة الزمنية الفاصلة بين تسجيل الرصد (١٥ دقيقة) حتى وإن كانت تبدو قصيرة، إلا أنه بطريقة ما قد ثبت أن قوة الرياح المنخفضة ترتبط بوضوح بقيم متوسط السرعة خلال ١٥ دقيقة أكثر من ارتباطها بالسرعة اللحظية (Golding, 1977, p. 12).

(٤) بحث ميهوب وعزام طاقة الرياح الكامنة في مصر باستخدام توربين على ارتفاع ٢٥ متراً فوق سطح الأرض بعد تعديل السرعة من ارتفاع الأنيموميتر ١٠ متراً باستخدام قانون الطاقة واستخدام معامل ثابت لدرجة استقرار الجو (٠,١٤)، ومعامل ثابت لكثافة الهواء (١,٢٣ كيلوجرام / متر المكعب) في جميع أحوال الطقس (Mayhoub & Azzam, 1997)، وقد انعكس ذلك في انخفاض قوة الرياح وبالتالي الطاقة الناتجة.

(٥) بحث الأسرج وآخرون طاقة الرياح الكامنة في مصر على ارتفاع ١٠ متراً وفقاً لارتفاع الأنيموميتر أي على أساس سرعة الرياح السطحية (El-Asrag & Others, 2000).

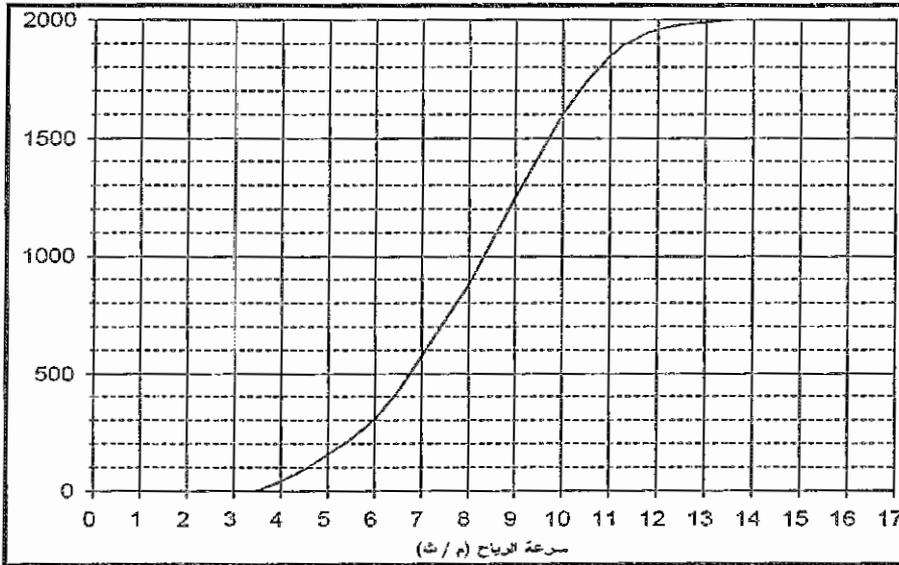
(Tuller, 2007, p. 5). وتزيد سرعة الرياح مع تزايد الارتفاع^(١) عن طبقة الاحتكاك التي تمثل الثلاث كيلومترات الأولى من طبقة التروبوسفير لأن عوائق السطح تؤدي إلى تغيير اتجاه الرياح إذ ينقسم التيار الواحد إلى عدة أقسام وفقاً للتضاريس، ولذلك تبلغ سرعة الرياح أقصاها على ارتفاع يتراوح بين ١٢ - ١٤ كيلومتراً (فايد، ١٩٧١، ص ٥٣). وقد قام البحث بتعديل سرعة الرياح من ارتفاع الأنيموميتر المستخدم فعلاً في محطات الرصد في مصر (جدول ١) إلى ارتفاع محور مروحة التوربين المقترح وهو ٨٥ متراً فوق سطح الأرض^(٢). وقد أستخدم البحث قانون الطاقة لتعديل سرعة الرياح من ارتفاع ١٠ متراً إلى ارتفاع ٨٥ متراً وذلك بتطبيق المعادلة التالية: $U_2 = u_1(Z_1/Z_2)^\alpha$ حيث: U_2 = سرعة الرياح عند ارتفاع ٨٥ متراً، u_1 = سرعة الرياح عند ارتفاع الأنيموميتر، Z_2 = ارتفاع الأنيموميتر فوق سطح الأرض بالمتر، Z_1 = الارتفاع المقترح للتوربين ويبلغ ٨٥ متراً، α = معامل يعتمد على درجة استقرار الهواء (ويتراوح بين ٠,٠٥ - ٠,١٥)، وتبلغ قيمة معامل α ٠,١٤ بالنسبة لدرجة الاستقرار العادي للهواء^(٣). وقد تم تقدير الطاقة الناتجة عن قوة سرعات الرياح المختلفة م/ث باستخدام التوربين

(١) ويؤثر الارتفاع عن مستوى سطح البحر في قوة الرياح من خلال تأثيره في كثافة الهواء، ولهذا فقد أعتمد البحث على معامل ثابت لكثافة الهواء ويبلغ ١,٢٣ كيلوجرام/ المتر المكعب. وقد أستخدم البحث قانون الطاقة Power Law الذي يفيد بأن سرعة الرياح تزيد مع الارتفاع بقدر يعادل $\sqrt[1.77]{}$ الارتفاع، وبناء على هذا، فإنه مع زيادة ارتفاع توربين الرياح تزيد سرعة الرياح المتوقعة بنسبة ١٠% فتزيد بالتالي طاقة الرياح الناتجة بنسبة ٣٤% (David & Others, 2001, p. 130).

(٢) وهكذا يختلف هذا البحث عن دراسة كل من ميهوب والأسرج إذ يقترح استخدام توربين بمواصفات خاصة على ارتفاع ٨٥ متراً لتزيد قوة الرياح، ومن ثم ترتفع الطاقة الناتجة التي تُعد الهدف الأساسي من انشاء مزارع الرياح بصفة عامة.

(٣) حينما تنخفض سرعة الرياح لتبلغ ٠,٥ م/ث، تبدأ قيمة معامل a من ٠,٠٦ في أثناء ساعات السطوع، ومن ٠,٢٥ في أثناء ساعات الليل (Tuller, 2007, p. 4). وتزيد سرعة الرياح بمعدل أسرع (أي حينما تكون قيمة $\alpha < 0.14$) حينما يكون الهواء مستقراً Stable، بينما ينخفض معدل الزيادة في سرعة الرياح (أي حينما تكون قيمة $\alpha > 0.14$) ويكون الهواء غير مستقر Unstable Air. وإذ تتمتع مصر بصفة عامة بارتفاع في معدلات سطوع الشمس، والسماة الصافية معظم أيام السنة، ومن ثم ترتفع درجة تسخين سطح الأرض بالأشعاع الشمسي خلال ساعات السطوع، واعتماداً على درجة استقرار الجو وفق تقسيم باسكويل Pasquill, 1974، وتيرنر Turner 1964، تكون سرعة الرياح كافية لإحداث اضطراب ميكانيكي للهواء في درجة استقراره العادي Neutral Stability (Turner, 1964, p. 84) حينما تبلغ سرعة الرياح (وفقاً لارتفاع الأنيموميتر) ٥,٩ م/ث فأراً و ٥,٤ م/ث ليلاً (Tuller, 2004, p. 4).

المقترح^(١) (شكل ١١) لتقدير الطاقة بالكيلووات ساعة من مجمل السرعات على مستوى الشهور خلال الليل والنهار (الساعة ١٢ ليلاً و ١٢ ظهراً بتوقيت جرينتش) لمدة ١٠ سنوات^(٢) (١٩٩٥/٢٠٠٤). ويتم حساب هذه الطاقة بضرب تكرار سرعة الرياح الساعية بعد تصحيحها لارتفاع ٨٥ متراً فوق مستوى سطح الأرض، ولعامل كثافة الهواء (١,٢٣ كيلوجرام/المتر المكعب) وفقاً للسرعات التي يوضحها توربين منحنى الطاقة^(٣).



شكل (١١) : توربين الرياح المقترح بقدرة ٢٠٠٠ كيلووات.

(١) قد تم اقتباس التوربين المقترح لتوليد الطاقة من قوة الرياح في مصر من منحنى الطاقة الذي استخدمه تالر في تقدير الطاقة في جزيرة سابل في نوفا سكوشيا ٢٠٠٧. كما قام الباحث تالر من جامعة فكتوريا الكندية بمراجعة منحنى الطاقة المستخدم في هذا البحث.

(٢) ولحساب المتوسط السنوي للطاقة الناتجة كيلووات ساعة لشهور السنة، قد تم قسمة ناتج إجمالي الطاقة / (عدد سنوات الدراسة).

(٣) وقد تم تعديل البيانات بهدف التعويض عن البيانات المفقودة، فضلاً عن تعويض سرعة الرياح المتغيرة (التي تشير إلى عدم وجود سرعة محددة للرياح خلال ١٥ دقيقة التي يتم خلالها الرصد). كما يتم ضرب الطاقة الناتجة في معامل كسري يمثل عدد الرصدات الساعية الإجمالية خلال كل شهر على مدار ١٠ سنوات لتمثل البسط، أما المقام فهو العدد الفعلي للرصدات المتاحة ويبلغ ٣١٠ للشهور ذات ٣١ يوماً، و ٣٠٠ للشهور ذات ٣٠ يوماً. ويستفاد من هذا النهج الحسابي في تقدير توزيع سرعة الرياح غير المتاحة (التي لم ترصد فعلاً) من خلال توزيع سرعة الرياح التي رصدت بالفعل.

ويمكن تحليل نتائج تطبيق هذا المنهج على البيانات المستخدمة على النحو التالي :

(١) إمكانيات طاقة الرياح الفصلية والشهرية والسنوية عند منتصف الليل :

أ- فصل الشتاء : تتراوح الطاقة الناتجة عن قوة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الشتاء بين ٣٠,٢١٥ ميجاوات ساعة/سنوياً (ميجاوات = ١٠٠٠ كيلوات) في محطة الغردقة كحد أقصى وبين ٥,٧٣٤ ميجاوات ساعة/سنوياً كحد أدنى في العريش (شكل ١٢). وهكذا فإن الطاقة الناتجة عن الرياح في الغردقة تعادل ٦ أمثالها في العريش على الرغم من كونهما ساحليتين. وقد ارتبط هذا باعتدال درجة حرارة مياه البحر المتوسط، مما يؤدي إلى ضعف الفارق بين درجة حرارة اليابس والماء، بينما يحدث العكس بالنسبة لساحل البحر الأحمر حيث تتميز مياهه بالدفء على مدار شهور السنة، ومن ثم، يتسع الفارق الحراري كما يصبح الانحدار البارومتري كبيراً بين الضغط الجوي المنخفض المحلي على البحر الأحمر وبين الضغط الجوي المرتفع على الظهير ، وتبع هذا زيادة سرعة الرياح في الأولى مقارنةً بالثانية (شكل ٥). وقد تميزت سواحل البحر الأحمر وخليج السويس بارتفاع الطاقة الناتجة عن الرياح خلال فصل الشتاء حيث تبلغ في السويس ١٥,٦٦٩ ميجاوات ساعة/سنوياً مقارنةً بالإسكندرية ١٠,٥٣٧ ميجاوات ساعة/سنوياً. وجدير بالملاحظة الارتفاع النسبي في طاقة الرياح في أسوان الداخلية في أقصى جنوب الولاى لتبلغ ١٣,٩٧٧ ميجاوات ساعة / سنوياً كانعكاس لارتفاع النسبة المثوية لتكرار الرياح التي تتراوح سرعتها بين ٣,٥ - ١٣,٥ م/ث (أي سرعة الرياح اللازمة لتوليد الطاقة)، كما أتضح من قبل. ويُعتبر شهر يناير هو أعلى شهور الشتاء فيما يتعلق بطاقة الرياح عند منتصف الليل في الساحل الشرقي بالإضافة إلى أسوان، بينما شهر فبراير هو الأعلى في محطات الساحل الشمال (شكل ١٣ أ).

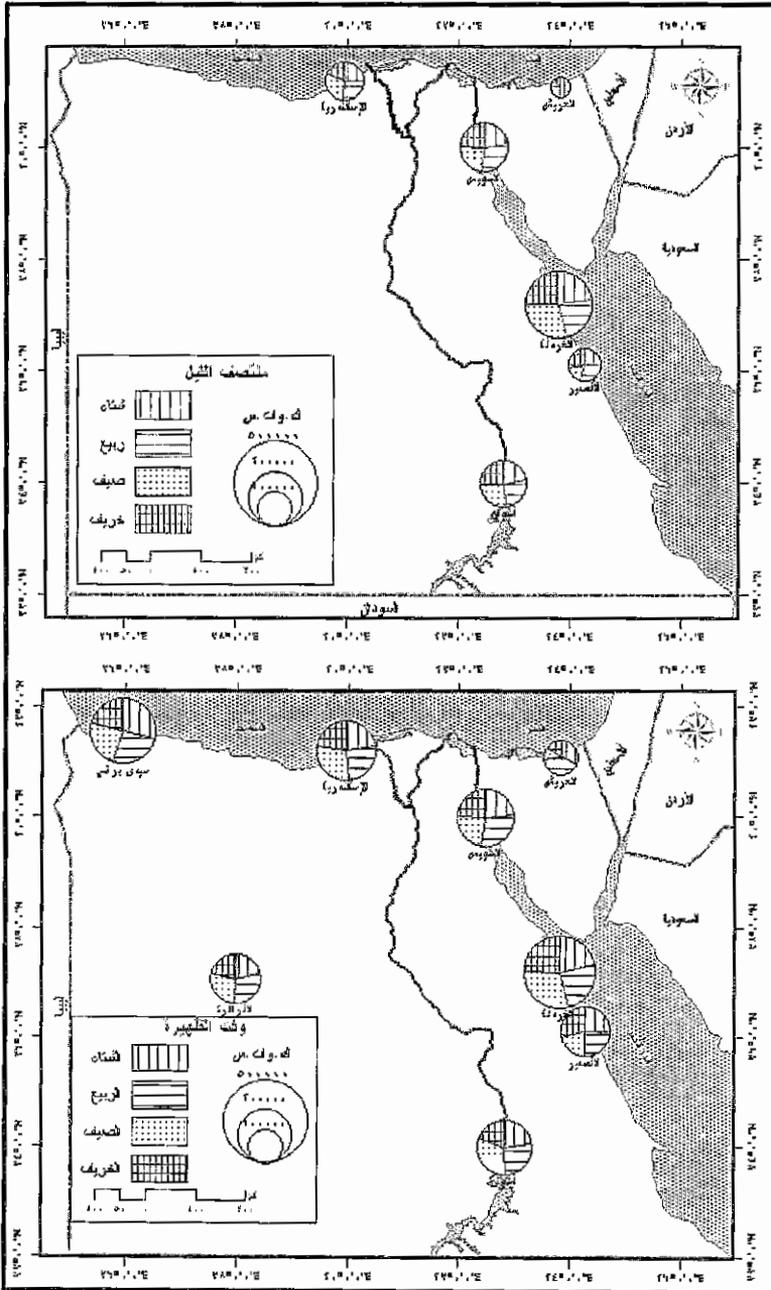
ب- فصل الربيع : ترتفع إمكانيات توليد طاقة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الربيع نسبياً بمقارنتها بالشتاء بنسب تبلغ ٢٩,٣% في السويس، و ١٩,٥% في أسوان، و ١٧,٥% في القصير. بينما تتقارب في كل من الغردقة والإسكندرية خلال الفصلين، وتبلغ ٤,١٦٥ ميجاوات ساعة/سنوياً في العريش فتتخف بنسبة ٢٧,٣% مقارنةً بالشتاء (شكل ١٢). هذا، وتبلغ ٣٠,٨٨٦ ميجاوات ساعة/سنوياً في الغردقة، و ١٦,٧٠٣ ميجاوات ساعة/سنوياً في أسوان، ويمثلان قمتين في إنتاج طاقة الرياح من الرياح. ويمثل شهر مايو أعلى شهور الربيع فيما يتعلق بإمكانيات طاقة الرياح عند منتصف الليل (شكل ١٣ أ).

ج- فصل الصيف : تحتفظ الغردقة بأعلى إمكانيات إنتاج الطاقة من قوة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الصيف مقارنة بالمحطات الأخرى، إذ تبلغ ٣٨,١٧٢ ميغاوات ساعة/سنوياً، بل أن هذه الطاقة الكامنة تمثل الأعلى خلال الفصول الأربعة عند منتصف الليل في سائر محطات الدراسة. وتقابلها في هذا محطة العريش الأدنى طاقة خلال الصيف كما هو الحال في بقية فصول السنة. وترتفع إمكانيات طاقة الرياح في محطتي الغردقة والإسكندرية خلال فصل الصيف مقارنةً بالشتاء والربيع بنسبة زيادة تبلغ ٢٣,٥% للغردقة و ١٦,٢% للإسكندرية. بينما تنخفض في فصل الصيف مقارنةً بفصل الربيع في كل من القصير والسويس وأسوان بنسبة انخفاض تبلغ ٣٩,٧% و ١٤,٥% و ٤,٠% على التوالي (شكل ١٢). هذا، ولكون طاقة الرياح هي الانعكاس المباشر لسرعة الرياح ونسبة تكرار السرعة اللازمة لتوليد الطاقة (١٣,٥ م/ث)، فإن شهر يونيو هو أعلى شهور الصيف فيما يتعلق بإنتاج الطاقة في جميع المحطات خلال مدة الدراسة (شكل ١٣ أ).

د- فصل الخريف : تحتفظ الغردقة بأعلى إمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الخريف مقارنةً بالمحطات الأخرى، إذ تبلغ ٣٢,٦١٧ ميغاوات ساعة/سنوياً. هذا، ويجد التنويه لكون هذه الطاقة أعلى في الخريف من مثيلاتها في الربيع والشتاء بنسبة زيادة تبلغ ٥,٦% و ٨,٠% لكل من الفصيلين بالتوالي، بينما تنخفض بنسبة ١٤,٦% مقارنةً بالصيف في الغردقة. وتتنخفض إمكانيات الطاقة عند منتصف الليل خلال فصل الخريف مقارنةً بالصيف في القصير والإسكندرية والسويس بنسبة انخفاض تبلغ ٥٦,٦% و ٤٠,٠% و ٣,٢% لكل منها بالتوالي. بينما تبلغ ١٦,١١٥ ميغاوات ساعة / سنوياً في أسوان فترتفع بنسبة ٨,٤% مقارنةً بفصل الصيف (شكل ١٢). ويمائل شهر سبتمبر خلال الخريف شهر يونيو، إذ يعد هو الأعلى فيما يتعلق بإمكانيات توليد الطاقة من الرياح عند منتصف الليل في محطات الدراسة خلال الفترة ٢٠٠٤/١٩٩٥ (شكل ١٣ أ).

٢) إمكانيات طاقة الرياح الفصلية والشهرية والسنوية عند الظهيرة :

أ- فصل الشتاء : تتراوح إمكانية توليد الطاقة عند الظهيرة خلال فصل الشتاء بين ٣٤,٨٩٤ ميغاوات ساعة/سنوياً في محطة سيدي براني، وبين ١٠,٥٠٨ ميغاوات ساعة/سنوياً في العريش، وهكذا تعادل إمكانيات الطاقة في سيدي براني أكثر من ٣



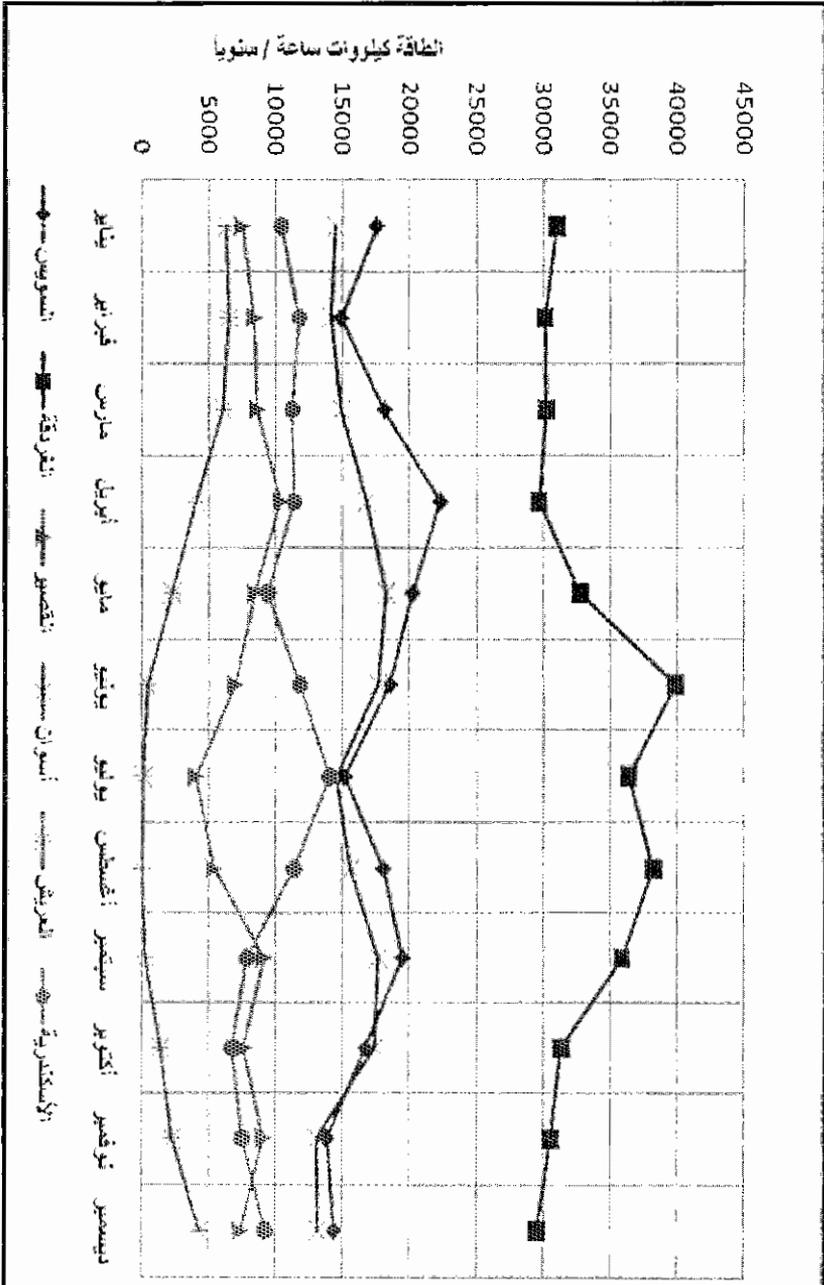
شكل (١٢) : الكمية الفصلية والسنوية لطاقة الرياح كيلوات ساعة عند منتصف الليل وعند الظهيرة بمحطات الدراسة خلال الفترة ١٩٩٥/٢٠٠٤.

أمثالها في العريش. كما ترتفع كمية الطاقة الناتجة من قوة الرياح في الغردقة بنسبة زيادة تبلغ ٧٣,٤% مقارنةً بالقصير وكلاهما ساحليتين على البحر الأحمر، وكذلك في أسوان بنسبة زيادة تبلغ ٢٨,٩% مقارنةً بالفراغة، وكلاهما من المحطات الداخلية (شكل ٧). ويتميز شهر فبراير بين شهور الشتاء بكونه الأعلى نصيباً في إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة في جميع المحطات باستثناء سيدي براني "ديسمبر" (١٣ب) والسويس "يناير" (شكل ١٣ ج).

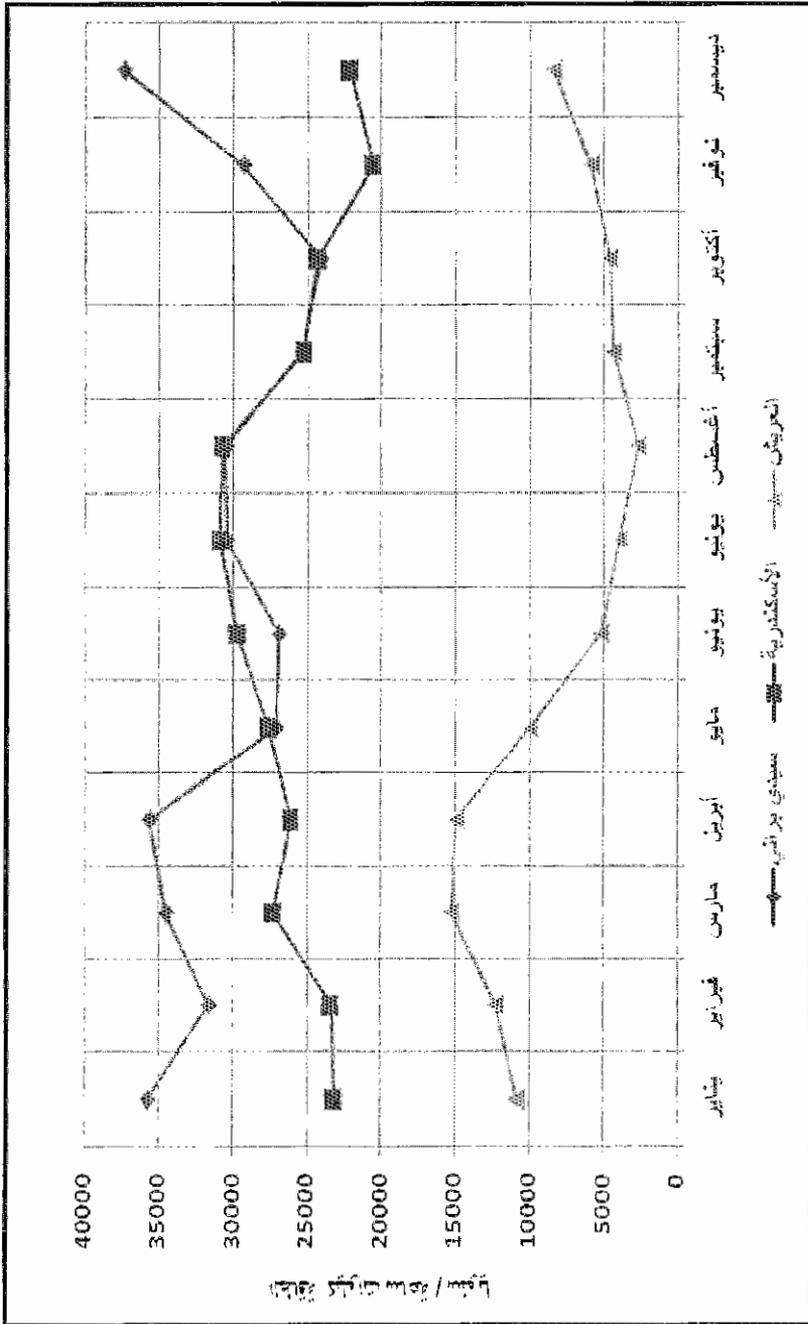
ب- فصل الربيع: تنخفض إمكانية طاقة الرياح في سيدي براني عند الظهيرة خلال فصل الربيع لتبلغ ٣٧,٣٩٠ ميغاوات ساعة/سنوياً لتتخفض بنسبة تبلغ ٧,٠% مقارنةً بالشتاء. بينما ترتفع في الغردقة لتبلغ ٣٧,٩٤٧ ميغاوات ساعة/سنوياً فتتمثل للحد الأعلى بين المحطات بنسبة زيادة تبلغ ١٩,٠% مقارنةً بالشتاء. كما ترتفع بنسبة زيادة تبلغ ٣٩%، و٢٨%، و٢٣,٩%، و٢١,٨%، و١٧,٩% في كلٍ من الفراغة والعريش والسويس وأسوان والإسكندرية على التوالي. وجدير بالذكر أن، إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة خلال فصل الربيع هي الأعلى بين فصول السنة في محطات العريش والسويس والفراغة، مقابل الشتاء في سيدي براني فقط (شكل ١٢). وترتفع طاقة الرياح عند الظهيرة في شهر مارس في كلٍ من العريش والقصير والغردقة، وفي شهر أبريل في كلٍ من سيدي براني والفراغة وأسوان، وفي شهر مايو في السويس والإسكندرية (شكل ١٣ ب و شكل ١٣ ج).

ج- فصل الصيف: يعتبر فصل الصيف هو أعلى فصول السنة فيما يتعلق بإمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح عند الظهيرة في كلٍ من الغردقة^(١) وأسوان والإسكندرية (شكل ١٢) حيث تبلغ ٤٤,٧٣٧ ميغاوات ساعة/سنوياً، ٢٧,٣٧٢ ميغاوات ساعة/سنوياً، ٣٠,٤٥٧ ميغاوات ساعة/سنوياً بنسبة زيادة تبلغ ١٨% و ١٥,٨% و ١٢,٩% لكلٍ منها على التوالي مقارنةً بفصل الربيع. بينما تنخفض خلال فصل الصيف مقارنةً بالربيع بنسبة انخفاض تبلغ ١٨,٧% و ١٦% و ٩,٧% و ٨,٥% في كلٍ من السويس والقصير وسيدي براني والفراغة على التوالي. وترتفع إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة في شهر يونيو في كلٍ من السويس والعريش والفراغة، وفي شهر يوليو في سيدي براني والإسكندرية، وشهر أغسطس في القصير والغردقة وأسوان.

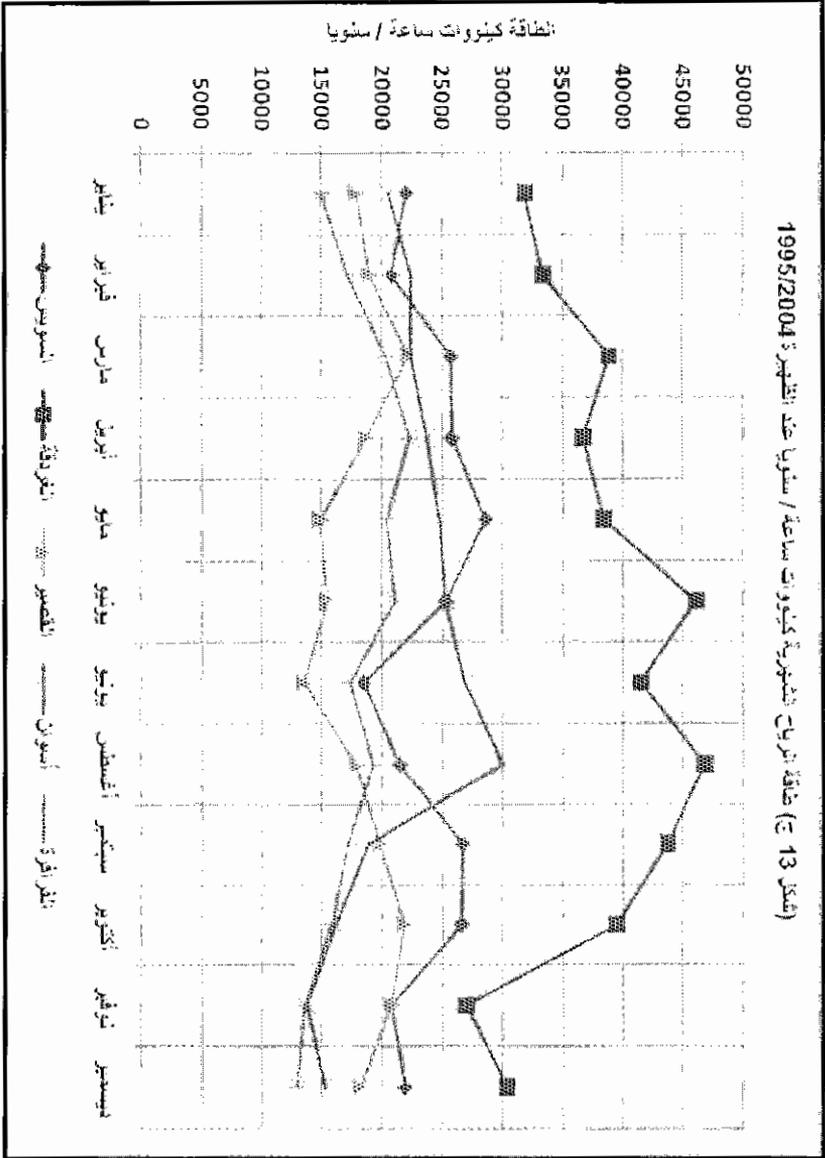
(١) بتحليل العلاقة الارتباطية بين سرعة الرياح وطاقة الرياح في محطة الغردقة لكونها تتمتع بأعلى إمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح ليلاً ونهاراً أتضح أن هذه العلاقة طردية قوية.



شكل (١١٣) : طاقة الرياح الشهرية كيلوات ساعة / سنويا عند منتصف الليل ١٩٩٥-٢٠٠٤.



شكل (١٣ب) : طاقة الرياح كيلوات ساعة / سنويا عند الظهر في الساحل الشمالي ١٩٩٥-٢٠٠٤م.



شكل (١٣ ج) : طاقة الرياح الشهرية كيلوات ساعة / سنويا عند التطهير ١٩٩٥-٢٠٠٤.

د- فصل الخريف : ترتفع إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة خلال فصل الخريف في محطة القصير فقط وتبلغ وتبلغ ٢٠,٨٦٦ ميجاوات ساعة/سنوياً لتمثل حداً أعلى على مدار فصول السنة، وبزيادة تبلغ نسبتها ٣٣,٤% مقارنة بالصيف. كما ترتفع بنسبة زيادة تبلغ ٢٥,٧% و ٦,٢% في كل من العريش والسويس على التوالي مقارنةً بفصل الصيف. بينما تنخفض عند الظهيرة خلال فصل الخريف مقارنةً بالصيف بنسب انخفاض تبلغ ٤٠,٨% و ٣٢,٣% و ٢٣,٢% و ١٩,٢% و ١٨% في كل من أسوان وسيدي براني والإسكندرية والفرافرة والغردقة بالتوالي. ونخلص مما سبق إلى أن، فصل الخريف هو أعلى فصول السنة من حيث إمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح عند الظهيرة في محطة القصير فقط، مقابل فصل الشتاء في محطة سيدي براني فقط، وفصل الربيع في محطات العريش ١٣,٤٠٥ ميجاوات ساعة/سنوياً، والسويس ٢٦,٧٣٤ ميجاوات ساعة/سنوياً والفرافرة ٢٠,٩٨٥ ميجاوات ساعة/سنوياً، وأخيراً يعتبر فصل الصيف هو الأعلى في محطات الغردقة وأسوان والإسكندرية (شكل ١٢).

المتوسط السنوي لإمكانيات طاقة الرياح ليلاً ونهاراً :

نلخص قيم المتوسط السنوي لإمكانيات طاقة الرياح^(١) عند منتصف الليل خصائصها وتوزيعاتها على مدار الفصول الأربعة. إذ تتراوح بين ٢,٨٦٩ ميجاوات ساعة/سنوياً في العريش وبين ٣٢,٩٧٣ ميجاوات ساعة/سنوياً في الغردقة. وتعاود إمكانيات الطاقة السنوية المتاحة من الرياح عند منتصف الليل في الغردقة ١,٩، و ٢,٢، و ٣,٢، و ٤,٢ من مثيلاتها في كل من السويس وأسوان والإسكندرية والقصير على التوالي، مما يعكس تميزها وإمكانياتها الواحدة مقارنةً بالمحطات الأخرى. هذا وجدير بالذكر أن، الإمكانيات السنوية لإنتاج طاقة الرياح ترتفع إجمالاً في مركزين أحدهما على الساحل الشرقي في الغردقة والثاني على الساحل الشمالي في سيدي براني، فضلاً عن محطة أسوان في أقصى جنوب الوادي. هذا وبمقارنة إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة بمثيلاتها عند منتصف الليل في المحطات خلال الفترة ١٩٩٥/٢٠٠٤، يتضح إنها أعلى في الأولى

(١) ترتفع إمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح سواء عند منتصف الليل أو عند الظهيرة على ارتفاع ٨٥ متراً فوق سطح الأرض وفقاً لارتفاع التوربين المستخدم في هذه الدراسة مقارنةً بالطاقة الناتجة عن التوربين المستخدم في دراسة ميهوب وعزام (١٩٩٧) على ارتفاع ٢٥ متراً، ودراسة الأسرج على ارتفاع ١٠ متراً (٢٠٠٠).

من الثانية في جميع المحطات لما عرّض من أسباب ترتبط بمسار سرعة الرياح على مدار ساعات اليوم تلك التي ترتبط بكثافة الإشعاع الشمسي، ودرجة التسخين لليابس والماء، وبالتالي توزيعات الضغط الجوي وشدة الانحدار البارومتري، وينعكس تأثير مجمل هذه العوامل في سرعة الرياح ومن ثم سرعة دوران أنزرع التوربين التي تحدد قوة الرياح والطاقة الناتجة عنها (جدول ٢).

جدول (٢) : قيم المتوسطات الفصلية والإجمالي السنوي لطاقة الرياح عند منتصف الليل وعند الظهيرة (كيلووات ساعة/سنوياً) خلال مدة الدراسة ١٩٩٥/٢٠٠٤.

التوقيت	المحطة	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	الإجمالي
منتصف الليل	الإسكندرية	٣١٦١٢,١٧	٣٢١٨٩,٣٩	٣٧٣٨٩,٧٩	٢٢٢٨٣,١٨	١٢٣٤٧٤,٥
منتصف الليل	العريش	١٧٢٠٤,٥٥	١٢٤٩٧,٥٢	٦٦٧,٩	٤٠٦١,٤٨	٣٤٤٣٠,٩٥
منتصف الليل	السويس	٤٧٠٠٩,٤	٦٠٧٨٨,٧	٥١٩٧٣,٦	٥٠٢٧٩,١	٢١٠٠٥٠,٨
منتصف الليل	القنطرة	٢٣٥٠٩,٩١	٢٧٦٣٢,٧٧	١٦٦٥٧,٤	٢٦٠٨٩,٤٧	٩٣٨٨٩,٥٥
منتصف الليل	الغردقة	٩٠٦٤٧,٠٣	٩٢٦٦٠,٩٨	١١٤٥١٧,٧	٩٧٨٥٣,٦٧	٣٩٥٦٧٩,٤
منتصف الليل	أسوان	٤١٩٣٢,٣٨	٥٠١١١,٩٧	٤٧٩٤٥,٩٥	٤٨٣٤٦,٧٨	١٨٨٣٣٧,١
التوقيت	المحطة	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	الإجمالي
الظهيرة	براني	١٠٤٦٨٢,٩	٩٧١٧٠,٤٨	٨٧٧٧٩,١٨	٧٨٧٧٢,٥٤	٣٦٨٤٠٤,٦
الظهيرة	الإسكندرية	٦٨٦٧٦,٥٦	٨٠٩٥٧,٢١	٩١٣٧١,٣٦	٧٠١٣٠,٣٨	٣١١١٣٥,٥
الظهيرة	العريش	٣١٥٢٦,٨٢	٤٠٢١٥,٩٢	١١٧٨٠,٣٧	١٤٨٠٥,٢	٩٨٣٢٨,٣١
الظهيرة	السويس	٦٤٧٢٦,٣٥	٨٠٢٠٢,٢٨	٦٥١٨٤,٥١	٦٩٢٠١,٥٥	٢٧٩٣١٤,٢
الظهيرة	القنطرة	٥٥٠٩٥,٧	٥٥٨٤٦,٥٣	٤٦٩١٣,٣٩	٦٢٥٩٨	٢٢٠٤٥٣,٦
الظهيرة	الغردقة	٩٥٥٢٣,٨٥	١١٣٨٤١,٤	١٣٤٢١٣,٧	١١٠٠١٠,٨	٤٥٣٥٨٩,٨
الظهيرة	الغردقة	٤٥١٣٦,٢٣	٦٢٩٥٧,٥٣	٥٧٦١٢,٥٥	٤٦٥٦٧,٤٩	٢١٢٢٧٣,٨
الظهيرة	أسوان	٥٨٢١٠,١٩	٧٠٨٩٦,٧	٨٢١١٧,٤٨	٤٨٥٩٢,٤٨	٢٥٩٨١٦,٩

المصدر: نتائج تحليل بيانات سرعة الرياح الساعية وتطبيق معادلات الطاقة على بيانات المحطات خلال مدة الدراسة ١٩٩٥ - ٢٠٠٤.

النتائج :

١. ترتفع قيم المتوسط الفصلي لسرعة الرياح في إقليم الساحل الشرقي مقارنةً بالأقاليم الجغرافية الأخرى، إذ تتراوح بين ٢,٤ م/ث في الإسماعيلية (أدنى سرعة) وبين ٥,٢ م/ث في الغردقة (أعلى سرعة).
٢. ترتفع محصلة جريان الرياح على سواحل البحر الأحمر وخليجي العقبة والسويس لتصل حدما الأعلى في الغردقة ونوبيع، بينما تتمثل أقل محصلة لجريان الرياح في إقليم الواحات في الصحراء الغربية خاصة واحة سيوة.
٣. تتمثل القمة الشهرية لسرعة للرياح في شهور فبراير ومارس ويونيو، بينما تنخفض السرعة إجمالاً خلال شهور فصل الخريف .
٤. تتميز الغردقة بأعلى قيم متوسط سنوي لسرعة الرياح عند منتصف الليل وتليها محطة أسوان.
٥. ترتفع سرعة الرياح عند منتصف الليل على ساحل البحر الأحمر بصفة عامة مقارنةً بساحل البحر المتوسط ، ويقترب متوسط السرعة في أقصى جنوب مصر في محطة أسوان مع مثيلاتها على الساحل الشرقي.
٦. ترتفع قيم متوسط سرعة الرياح عند الظهيرة مقارنةً بمنتصف الليل في جميع المحطات على مدار السنة.
٧. تتراوح قيم المتوسط السنوي لسرعة الرياح عند الظهيرة بين ٣,٨ م/ث في العريش و ٧,٦ م/ث في الغردقة.
٨. تتراوح طاقة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الشتاء بين ٣٠,٢١٥ ميجاوات/ساعة/سنوياً في محطة الغردقة كحد أقصى وبين ٥,٧٣٤ ميجاوات/ساعة/سنوياً كحد أدنى في العريش. كما ترتفع في أسوان لتبلغ ١٣,٩٧٧ ميجاوات/ساعة/سنوياً (ميجاوات = ١٠٠٠ كيلوات).
٩. ترتفع إمكانيات طاقة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الربيع نسبياً بمقارنتها بالشتاء بنسب تبلغ ٢٩,٣% في السويس، و ١٩,٥% في أسوان، و ١٧,٥% في القصير.
١٠. تحتفظ الغردقة بأعلى إمكانيات طاقة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الصيف مقارنةً بالمحطات الأخرى، إذ تبلغ ٣٨,١٧٢ ميجاوات/ساعة/سنوياً، بل أن هذه الطاقة الكامنة تمثل الكمية الأعلى خلال الفصول الأربعة عند منتصف الليل في محطات الدراسة. وتقابلها في هذا محطة العريش الأدنى طاقة خلال فصل الصيف كما هو الحال في الفصول الأربعة.
١١. تعادل إمكانيات الطاقة السنوية من قدرة الرياح عند منتصف الليل في الغردقة ١,٩ ، و ٢,٢، و ٣,٢ ، و ٤,٢ من مثيلاتها في كلٍ من السويس وأسوان والإسكندرية والقصير على التوالي، مما

- يعكس تفوقها وإمكاناتها الواعدة مقارنةً بالمحطات الأخرى. وترتفع الإمكانيات السنوية لإنتاج طاقة الرياح عند منتصف الليل في محطات الساحل الشرقي إجمالاً مقارنةً بالساحل الشمالي.
١٢. تتراوح طاقة الرياح عند الظهيرة خلال فصل الشتاء بين ٣٤,٨٩٤ ميغاوات ساعة/سنوياً في محطة سيدي براني، وبين ١٠,٥٠٨ ميغاوات ساعة/سنوياً في العريش، وهكذا تعادل إمكانيات الطاقة في سيدي براني ٣,٣ مثلها في العريش. كما ترتفع في الغردقة مقارنةً بالقصير بنسبة زيادة تبلغ ٧٣,٤%. وترتفع أيضاً إمكانيات الطاقة في أسوان مقارنةً بالفرافرة وكلاهما من المحطات الداخلية بنسبة زيادة تبلغ ٢٨,٩%.
١٣. تعتبر إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة خلال فصل الربيع هي الأعلى بين فصول السنة في محطات العريش والسويس والفرافرة، بينما هي كذلك خلال الشتاء في سيدي براني فقط، وخلال الصيف في كلٍ من الغردقة وأسوان والإسكندرية.
١٤. تعتبر مدينتي الغردقة والسويس على ساحل البحر الأحمر وخليج السويس أنسب المواقع لإنشاء مزارع الرياح إذ تتميز بأعلى سرعات للرياح ليلاً ونهاراً على مدار فصول السنة مما يبشر بإمكانيات واعدة في توليد الطاقة من الرياح.
١٥. تعد مدينة أسوان المنطقة الواعدة الثانية فيما يتعلق بإمكانيات توليد الطاقة من الرياح، بالإضافة إلى سيدي براني على الساحل الشمالي. ويفتح ذلك أفقاً واسعة أمام التنمية باستخدام الطاقة النظيفة والمتجددة في هذه المناطق السياحية.

التوصيات :

- إجراء المزيد من الأبحاث الجغرافية فيما يتعلق بسرعة الرياح وإمكانيات استخدامها في توليد الطاقة النظيفة والمتجددة في جميع أقاليم مصر الجغرافية.
- نشر الوعي البيئي بجدوى استخدام الطاقة النظيفة للحفاظ على سلامة البيئة وصحة الإنسان.
- توعية رجال الصناعة بجدوى المردود الاقتصادي لاستخدام طاقة الرياح المجانية من ناحية، والمتجددة من ناحية أخرى، فضلاً عن كونها لا تستدعي أي رقابة من الجهات الحكومية المعنية بتطبيق الضوابط البيئية على المنشآت الصناعية.
- الدقة في اختيار مواقع إنشاء مزارع الرياح لتحقيق أعلى استفادة اقتصادية من ناحية، ومراعاة تجنب مسارات الطيور المهاجرة والحفاظ على المظهر البيئي لتجنب التشويه الجمالي والتلوث الضوضائي من ناحية أخرى.

المراجع والمصادر

أولاً : المراجع والمصادر العربية :

١. الأوبك : التقرير الإحصائي السنوي لعام ٢٠٠٤ .
٢. الأوبك : تقرير الأمين العام السنوي لعام ٢٠٠٤ .
٣. تريشر، روبرت (يوليو ٢٠٠٥) : حماية البيئة -- ثلاثون عاماً من التقدم الأمريكي، مركز تكنولوجيا الرياح القومي، مختبر الطاقة المتجددة القومي، وزارة الخارجية الأمريكية.
٤. الحسيني، فتحي (٢٠٠٠): دور الأرصاد الجوية في الطاقة الجديدة والمتجددة، مجلة الأرصاد ، ص ٩ - ١٥ .
٥. حناء كامل (١٩٧٨) : مناخ جمهورية مصر العربية، الهيئة العامة للأرصاد الجوية، القاهرة .
٦. سالم، طارق زكريا (١٩٩٣) : مناخ شبه جزيرة سيناء والساحل الشرقي لمصر - دراسة في الجغرافيا المناخية، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة الزقازيق .
٧. شحادة، نعمان (١٩٨٣) : المناخ العملي ، الجامعة الأردنية ، الأردن ، عمان .
٨. علي، عبد القادر عبد العزيز (١٩٩٣) : الغلاف الجوي والطقس والمناخ ، مترجم : ص . ز . بييري، وص . ي . شوري، المجلس الأعلى للثقافة ، مطابع الأميرية ، القاهرة .
٩. فايد، يوسف عبد المجيد (١٩٧١) : جغرافية المناخ والنبات، دار النهضة العربية للطباعة والنشر، بيروت.
١٠. فايد، يوسف عبد المجيد وآخرون (١٩٩٤) : مناخ مصر، دار النهضة العربية ، القاهرة .
١١. النقي، أحمد عبد الحميد (١٩٩٩) : الرياح في مصر - دراسة في الجغرافيا المناخية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
١٢. الهيئة العامة للأرصاد الجوية (١٩٩٦) : الأطلس المناخي لمصر، الهيئة المصرية العامة للمساحة، مصر.
١٣. الهيئة العامة للأرصاد الجوية، جمهورية مصر العربية : بيانات مناخية غير منشورة لمحطات مناخية مختارة للفترة ١٩٨٠ - ٢٠٠٤ م.
١٤. وزارة الكهرباء والطاقة، جمهورية مصر العربية : التقرير السنوي لوزارة الكهرباء والطاقة عام ٢٠٠٥ - ٢٠٠٦ م.
١٥. يوسف، عبد العزيز عبد اللطيف (١٩٩٨) : التباين المناخي بين السواحل المصرية - دراسة جغرافية، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد الثاني والثلاثون، ص ٢٠٥ - ٢٤٤ .
١٦. يوسف، عبد العزيز عبد اللطيف (٢٠٠٠) : التباين المناخي على ثلاثة محاور طولية في مصر، مجلة بحوث كلية الآداب، جامعة المنوفية، العدد الرابع.

ثانياً : المراجع والمصادر غير العربية :

1. David, Macaulay (1999): *New Way Things Work*, Houghton Mifflin Company, Boston, pp. 41-44.
2. David, Sharpe & Others, (2001): *Wind Energy Handbook*, John Wiley and Sons, N.Y.
3. Egyptian Meteorology Authority (2000): *Preliminary Wind Atlas for Egypt*, National Laboratory, Roskilde, Denmark.
4. El-Asrag, A.M. & Others (2000): *Wind Atlas Project for Egypt and its Benefits to Environment*, 5th Conference Meteorology and Sustainable Development, 22 -24 February 2000, pp. 10-20.
5. Golding, E. W. (1977): *The Generation of Electricity by Wind Power*, E. & F. N. Spon, London.
6. Hennessey, J. P. Jr. (1977) : *Some Aspects of Wind Power Statistics* , *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 16. pp. 119-128.
7. Mayhoub, A. B. & Azzam, A. (1997): *A survey on the Assessment of Wind Energy Potential in Egypt*, *Renewable Energy*, vol.11, No.2, pp.235 – 247.
8. Oliver, John, (1981): *Climatology – fundamental and Application*, John Wiley and Sons, N.Y.
9. Salem, A.I. & Others (1999): *Wind Energy Potential over Egypt*, 4th Conference Meteorology and Sustainable Development, 7 – 9 March, pp. 148-162.
10. Stringer, E.T. (1972): *Techniques of Climatology*, San Francisco.
11. Tuller, Stanton E. (2004): *Trends in Measured Wind Speed – Sable Island*, Paper Presented at the 2004 CAG Annual Meeting, Moncton, N.B.
12. Tuller, Stanton E. (2007): *Temporal Variation in Annual Wind Power at Sable Island*, Victoria University, Canada.
13. Turner, D.B. (1964): *A Diffusion Model for an Urban Area*, *Journal of Applied Meteorology*.
14. www.climate-charts.com
15. WWW.EnvironmentalBenefitsOfWindEnergy.com
16. WWW.WindPower.com
17. WWW.WindRenewableEnergy.com

* * *





