12. Ibrahim, S.H. (1979-80): Contribution To The Geomorphology and Water Supply of Wadi Fatima, Saudi Arabia, Bulletin of Awab Research and Studies, Cairo, Vo1 . X, pp. 111-131.
13. Krumbein, W.C. (1963): "Measurement and Geological Significance Of Shape and Roundness Of Sedimentary Particles" Jour. Sedimentary, Pet. Vo1. 11, pp. 64-72.
14. Mesbah, M.A, Others, (2001): On using Of electrical Resistively Soundings to evaluate The Groundwater aquifer in the Nuweiba alluvial fan, Sou5hern Sinai, Egypt, pp. 23-37.
15. Murry, G.W. (1950): The Egyptian Desert and Its antiquity Surv. Dept,. Cairo, 49 Paper NO.49.
16. Farouk, M.E. (2001): Coastal alluvial fans along the Western Coast Of The Gulf Of Aqaba, South Sinai, Egypt: A sediment logical Evidence Of Quaternary Tectonics. pp. 175-198 .
17. Said, R. (1981): The Geological Evolution Of The Nile Valley. Springer Verlag, New York.
18. Selbay, M.J. (1985): Earth's Changing Surface: An Introduction to Geomorphology, Oxford University New York, pp. 276-277.
19. Wasson, R.Y. (1984) "Catchment Processes and The Evolution Of Alluvial fans in the Lower Derwent Valley, Tasmania" in: Tor H. Nilsen, ed., Modem and Ancient Alluvial fans Deposits, Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp. 197-218., P. 211.

* * *

طـاقة الريـاح فـي مصـر
"دراسة في المنـاخ التـطبيـقي"

د. إيملي محمد حلمي حمادة*

ملخص البحث :

إذ تعتبر مشكلة توفير الطاقة من أهم المشكلات العصرية لكون مصادر الطاقة التقليدية غير متجددة وأوشكت على النضوب، ما يستدعى 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 33 محطة أرصاد جوية تتوزع في أربعة أقاليم جغرافية خلال الفترة ما بين 2004/1980. فضلاً عن بحث خصائص السرعة الساعية للرياح على مدار اليوم في 8 محطات خلال الفترة 2004/1995، 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 ،2000)، 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 كلٍ من الطقس والمناخ. ويمكن التعامل مع حركة الهواء[1] على المستوى التفصيلي Micro scale على كونها

---

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

(1) 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 الهائلة 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 الحفرية 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[1]. هذا مع الأخذ في الاعتبار أن استهلاك العالم العربي من الطاقة قد بلغ 400 مليون طن مكافئ نفط ليعادل 3.5 % من الاستهلاك العالمي للطاقة في عام 2005 (الأوبك، 2005)[2]. وبتتبع تاريخ استخدام طاقة الرياح في مصر، يتضح أن هناك بعض الأدلة على استخدام الفراعنة للقوارب الشراعية التي تعتمد على سرعة الرياح واتجاهها منذ 5000 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، 2000، ص 23).[3] وقد بلغت قدرات محطات توليد

= المستوى العالمي حتى يصل إلى سطح الأرض . ويقدر البعض أن ما بين 1 % – 3 % 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 وموردا دائماً ومتجدداً . وإن كانت الطاقة الشمسية تنحصر في ساعات السطوع، فتتميز طاقة الرياح بكونها متاحة على مدار ساعات اليوم.

(1) تعد تكلفة انتاج الكهرباء من طاقة الرياح هي الأقل مقارنةً بغيرها من مصادر الطاقة المتجددة الأخرى ، إذ تتراوح التكلفة بين 3 – 4 سنت لكل كيلووات ساعة.

(2) قد أعلنت هيئة المجلس العالمي لطاقة الرياح Global Wind Energy Council أن الطاقة الاجمالية للرياح قد بلغت 74.197 ميجاوات عام 2006 بزيادة تجاوزت أكثر من 15 ميجاوات عن كميتها عام 2005.

(3) قد كانت أول أشارة لتوليد الطاقة من الرياح عند الفرس منذ حوالي 2000 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 الدانمارك طاقة الرياح منذ 1900 نتيجة لانخفاض مواردها من الوقود الحفري لتوفير 25 % من احتياجاتها من الطاقة . ومنذ أوائل القرن الحالي ، تمكن عدد من الدول من توفير نسبة تتراوح من 20 – 30 % من طاقتها الكهربائية من الرياح (El-Asrag & Others, 2000, p. 10).

طاقة الرياح 145 ميجاوات في عام 2005 ، وارتفعت إلى 320 ميجاوات في 2006 (تقرير وزارة الكهرباء والطاقة في مصر 2006/2005).[1] ويتم توليد الطاقة من الرياح بواسطة توربينات الرياح

Wind Turbines[2]، وترتبط كمية الطاقة الناتجة بصورة مباشرة بسرعة الرياح ، ولذا تنتج أغلبية الطاقة عن السرعات العالية. وقد أعلن العالم لي راش Lee Rach عام 2002 ، أن 50 % الطاقة الناتجة يتحقق خلال 15 % 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 الانتاج الفعلي للتوربين وبين الحد الأقصى للانتاج نظرياً معامل السعة Capacity Factor . ويبلغ هذا المعامل 35 % حينما لا ينخفض معدل سرعة الرياح عن 4.5 م/ث في حال اختيار أنسب المواضع لتوربينات الرياح[3] (الحسيني، 2000، ص 23) مع محاولة الاستفادة من التحفيز الطبوغرافي Topographic Acceleration مثل خطوط المنحدرات والتلال والحواف الجبلية وغيرها مما يسهم في زيادة سرعة الرياح وبالتالي كمية الطاقة 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 الرياح اليومية لتوفير قاعدة معلوماتية أساسية من خلال شبكة تضم 33 محطة أرصاد جوية (شكل 1). 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 1980 / 2004 (جدول 1). وتتم دراسة السرعة الساعية للرياح على مدار اليوم من خلال 8 رصدات يومياً بالاعتماد على بيانات 8 محطات تمثل

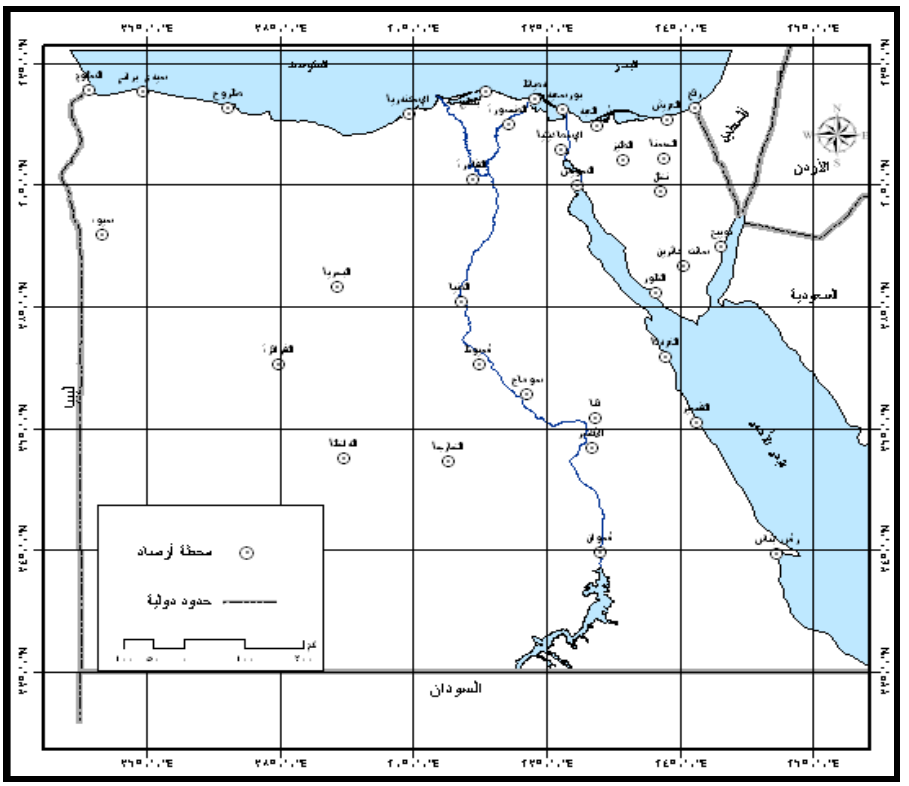
---

(1) تعد هذه القدرات من محطات توليد طاقة الرياح من الرياح في مصر مبشرة وكبيرة مقارنةً بمثيلاتها في دولة المغرب (وهي الدولة الثانية في قدراتها الانتاجية بعد مصر)، إذ بلغت 64 ميجاوات في 2005 وارتفعت إلى 124 ميجاوات 2006 (تقرير وزارة الكهرباء والطاقة في مصر 2006/2005).

(2) هي عبارة عن محركات ذات ثلاثة أذرع " ريشة " توضع فوق قمة أبراج (تختلف في ارتفاعاتها وفقاً لكمية الطاقة المستهدفة) وتديرها الرياح التي تؤدي إلى دوران أسطوانة العمود المتصلة بواسطة مجموعة تروس تشكل ناقل الحركة لتشغيل المولد الكهربائي (تريشر، 2005).

(3) أنسب المواضع هي تلك التي تقع في مهب الرياح التي تتميز بالسرعات العالية وبنسب تكرار كبيرة ، وتكون بعيدة عن مسارات الرياح المترية International Energy Agency (2003) : Renewable Energy Information, Paris.

ذات الأقاليم الجغرافية خلال الفترة 2004/1995. وقد أكتفى البحث بتطبيق معادلات الطاقة على سرعة الرياح عند منتصف الليل ووقت الظهيرة بالتوقيت العالمي "جرينتش" (أي الساعة 2 صباحاً حين تقترب درجة الحرارة من نهايتها الصغرى، والساعة 2 بعد الظهر حين تقترب درجة الحرارة من نهايتها العظمى بالتوقيت المحلي) لتمثيل وتحليل طاقة الرياح ليلاً ونهاراً.



شكل (1) : التوزيع الفلكى والجغرافى 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 (1) : خصائص محطات الدراسة.

المحطة	دائرة العرض شمالاً		خط الطول شرقاً		ارتفاع الأنيموميتر بالمتر *	وصف طبوغرافية المحطة
	دقيقة	درجة	دقيقة	درجة		
سيدي براني & #	37	31	54	25		ترتفع المحطة 23.71 متراً فوق مستوى سطح البحر .
السلوم #	34	31	08	25	9	تقع المحطة على مسافة 6 كم من ساحل البحر المتوسط. وتحاط بالرمال من جميع الاتجاهات باستثناء جهة الشمال. ويبلغ ارتفاع الأنيموميتر 6 متر فوق سطح مبنى ارتفاعه 4 متر . وتم نقل المحطة منذ سبتمبر 1993 نحو الغرب لمسافة 2 كم لتقع حالياً فوق هضبة السلوم.
مرسى مطروح #	20	31	13	27	6	تقع المحطة جنوب مدينة مرسى مطروح تحيط بها الصحراء من جميع الاتجاهات باستثناء جهة الشمال حيث تمتد المباني وكذلك الساحل لمسافة 4 كم . وتم وضع الأنيموميتر على ارتفاع 6 م فوق سطح مبنى ارتفاعه 19 م . وهكذا يرتفع الأنيموميتر 25 م فوق سطح الأرض.
الإسكندرية & #	11	31	57	29	9.5	تقع المحطة في المنطقة الحضرية لمدينة الأسكندرية . وتحيط بها المباني من جهة الشمال والشمال الشرقي والشمال الغربي . وتقع الأجزاء الميطة بالمحطة على

					منسوب 500 متراً . ويبلغ ارتفاع الأنيموميتر 9.5 م فوق سطح مبنى فوق منسوب 13.5 م ، ليرتفع 23 م فوق مستوى سطح البحر .
رفح #	16	31	14	34	تقع المحطة على ارتفاع 6.7 متر فوق مستوى سطح البحر.
العريش & #	04	31	49	33	تقع المحطة في الضواحي الريفية لمدينة العريش ويحيط بها التلال والصحاري من جميع الاتجاهات . وتحاط ببعض المباني المنخفضة والمتناثرة على مقربة من المحطة. 8.5
بور سعيد (الجميل) #	16	31	14	32	تقع المحطة في المنطقة الحضرية على ساحل مدينة بور سعيد. وتحاط بالمباني من جميع الاتجاهات باستثناء الشمال الساحلي. ويقع الأنيموميتر على ارتفاع 7 م فوق مبنى ارتفاعه 4 م ، ليبلغ ارتفاعه 11 م . 7
بلطيم #	33	31	06	31	تقع المحطة على ارتفاع 1.00 متر فوق مستوى سطح البحر.
دمياط #	25	31	49	31	تقع المحطة على ارتفاع 1.98 متر فوق مستوى سطح البحر.
مطار القاهرة & #	06	30	54	30	تقع المحطة شرق المدينة على مسافة 20 كم من وسط القاهرة. ويقع الأنيموميتر على مقربة من مهبط الطائرات. وتحاط المحطة ببعض المباني والأشجار من جميع الاتجاهات. 9.5

تابع جدول (1)

المنصورة#	00	31	27	31	تقع المحطة على ارتفاع 4.25 متر فوق مستوى سطح البحر.
الحسنة #	27	30	46	33	تقع المحطة على ارتفاع 225.7 متر فوق مستوى سطح البحر.
بئر العبد #	58	30	45	32	تقع المحطة على ارتفاع 320.9 متر فوق مستوى سطح البحر.
المليز #	25	30	09	33	تقع المحطة على ارتفاع 320.0 متر فوق مستوى سطح البحر .
الإسماعيلية #	35	30	14	32	تقع المحطة في وسط المدينة ، وتحيط المباني المنخفضة بالمحطة في شرق وغرب المحطة . ويقع الأنيموميتر على طريق أسفلتي يمتد لمسافة 10 كم وبعرض 20 كم. 9.5
السويس & #	25	29	28	32	تقع المحطة على بعد 15 كم جنوب المدينة في الميناء البحري، ويحيط بها العديد من الأشجار الضخمة والمباني. ويبعد جبل التكة بمسافة 5 كم غرب المحطة. 10
نخل #	54	29	44	33	تقع المحطة على ارتفاع 401.2 متر فوق مستوى سطح البحر.
نوبيع #	58	28	41	34	تقع المحطة على ارتفاع 320.0 متر فوق مستوى سطح البحر .
الطور #	14	28	37	33	ترتفع المحطة 9 متر فوق مستوى سطح البحر .
سانت كاترين #	40	28	03	34	تقع المحطة في المنطقة الريفية ويحيط بها الجبال والتلال من جميع الاتجاهات على مسافة 5 كم . ويقع الأنيموميتر على ارتفاع 9.5 متراً فوق سطح مبنى على ارتفاع 4.3 متراً . 10
الغردقة & #	11	27	48	33	تقع المحطة في ميناء الغردقة الدولي الذي يقع غرب المدينة على مسافة 5 كم . وتقع العديد من القرى السياحية من الشمال والشمال الشرقي والجنوب الشرقي . وهناك جبل يمتد على مسافة 10 كم من جهة الجنوب الغربي . 9
القصير & #	06	26	16	34	قد تم نقل المحطة منذ 1986 . وتقع المحطة في وسط المدينة ويحاط بها العديد من المباني من جميع الاتجاهات. وتقع المحطة على الساحل الغربي للبحر الأحمر بالقرب من الطريق السريع الذي يربط بين القصير ورأس علم . وهناك جبل على ارتفاع 1.5 كم يقع إلى غرب المحطة. 10
سيوة #					تقع المحطة في قلب المدينة وتحيط بها المباني احاطة

	11 29	19 25	10		كاملة. ويقع الأنيموميتر على ارتفاع 8.5 متر فوق سطح مبنى على ارتفاع 4 متر .
البحرية #	20 28	52 28			تقع المحطة على ارتفاع 15.00 متر فوق مستوى سطح البحر.
المنيا #	05 28	44 30			تقع المحطة على ارتفاع 37.15 متر فوق مستوى سطح البحر.

تابع جدول (1)

أسيوط #	03 27	00 31	18.6		تقع المحطة في مطار أسيوط غرب المدينة على مسافة 35 كم. ويحيط بها أراضي رملية . وتم نقل المحطة نحو الغرب بمسافة 15 كم منذ 1974 من موقعها القديم . ويقع الأنيموميتر فوق مبنى ارتفاعه 7 متر في منطقة يبلغ متوسط ارتفاعها 363 متر فوق مستوى سطح البحر.
الفرافرة #&	03 27	58 27			ترتفع المحطة 82.20 متراً فوق مستوى سطح البحر .
قنا #	10 26	44 32			ترتفع المحطة 77.72 متراً فوق مستوى سطح البحر .
الأقصر	40 25	41 32	10		تقع المحطة في مطار الأقصر الدولي في غرب المهبط وإلى الجنوب من برج المطار الذي يقع على مسافة 10 كم من مدينة الأقصر . وتم نقل المحطة إلى هذا الموقع في 7 / 2 1992.
الداخلة #	30 25	58 28	8		تقع المحطة في منطقة ريفية ، وتحيط بها التلال المتشتتة والصحاري من معظم الاتجاهات على مسافة 8 كم . وهناك قرية صغيرة تبعد عن المحطة بمسافة 1 كم . ويقع الأنيموميتر على ارتفاع 10 متر فوق سطح منبسط ارتفاعه 405 متراً . وهناك جبل يقع على مسافة 8.5 كم في شمال غرب المحطة.
الخارجة #	27 25	32 30	11.5		تقع المحطة على مسافة 3 كم من المدينة ويحيط بها المباني. وتقع مدينة الأمال الجديدة بالقرب من موقع المحطة. وقد تم نقل المحطة لمسافة 200 متراً من موقعها القديم. وتمتد الصحاري على مسافة 10 كم من المحطة. ويقع جبل الطاير على مسافة 10 كم شمال موقع المحطة، وكذلك جبل الطرون على مسافة 10 كم شرق المحطة. وهناك بعض أشجار نخيل البلح والمباني قريباً من موقع المحطة.
أسوان	58 23	49 32	6		تقع المحطة في مطار أسوان الدولي الذي يقع على مسافة 3.5 كم في جنوب غرب مدينة صحاري على مسافة 20 كم جنوب مدينة أسوان . ويقع السد العالي على مسافة 2 كم في الشمال الشرقي من موقع المحطة.
سوهاج #	34 26	42 31			ترتفع المحطة 61.36 متراً فوق مستوى سطح البحر.
رأس بناس #	57 23	28 35			ترتفع المحطة 82.20 متراً فوق مستوى سطح البحر.

- ارتفاع الأنيموميتر فوق مستوى سطح الأرض بالمتر.
- # محطة لها بيانات شهرية 1980 / 2004
- & محطة لها بيانات ساعية 1995 / 2004

المصادر :

1- 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:

1) 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 3 – 5 منخفضات جوية شهرية (يوسف، 1998، ص 213). 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 براني غرباً إلى محطة رفح شرقاً) حتى دائرة عرض 30ْ شمالاً حيث مدينة القاهرة (فايد، وآخرون، 1994 ص 51)[1]. وتتراوح السرعة بين 2.6 م/ ث في العريش و4.7 م/ث في مطروح، كما تبلغ في إقليم سيناء 3.5 م/ث. بينما تنخفض سرعة الرياح إلى الجنوب من دائرة عرض 30ْ شمالاً في إقليم الوادي والصحراء الغربية، لتتراوح بين 3.2 م/ث في المنيا و تنخفض إلى 1.9 م/ث في قنا وسوهاج. وترتفع قيم متوسط السرعة خلال فصل الشتاء في محطة أسوان لتبلغ 4.2 م/ث لتقترب من مثيلاتها في الساحل الشرقي حيث تتراوح بين 2.7 م/ث في الإسماعيلية شمالاً، وبين 4.6 م/ث في رأس بناس جنوباً، مع وجود قمة في الغردقة بمتوسط فصلي يبلغ 5.4 م/ث خلال مدة الدراسة 2004/1980م. وتأخذ قيم خطوط التساوي لمتوسط السرعة في الانخفاض من الساحل الشمالي نحو الصحراء الغربية حيث الفرافرة "التي تبدو بمثابة مركز للضغط المرتفع إذ يبلغ 1020.7 ملليبار، مقابل 1016.8 ملليبار في الغردقة وأسوان (يوسف، 2000، ص 23)"، لترتفع بالاتجاه

---

(1)قد يصاحب هذه المنخفضات المتوسطية (القبرصية) حدوث رياح عاصفة وأنواء بسرعة 39 م/ث، بل قد تصل إلى 50 م/ث، كما حدث في فبراير 1992 (سالم، 1993، ص 116).

شرقاً نحو الغردقة وجنوباً نحو أسوان. كما تنخفض قيم خطوط التساوي لمتوسط سرعة الرياح من بور سعيد شمالاً نحو الطور التي تمثل مركزاً للانخفاض في شبه جزيرة سيناء (شكل 2)[1]. ويتميز شهر فبراير بأعلى قيم المتوسطات الشهرية لسرعة الرياح في 67% من محطات الدراسة، مقابل 19% لشهر يناير و 14% 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 6.4 م/ث في فبراير، و 5.0 م/ث في يناير، و 4.8 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 3.8 درجة عرضية عن مواضعها إلى الشمال من دائرة عرض 30ْ شمالاً خلال مارس إلى الجنوب خلال شهري أبريل ومايو. وتبلغ نسبة هذه المنخفضات الجوية الربيعية 36.4% وتتحرك من الصحراء الغربية لتغزو أغلب الأراضي المصرية

(الفقي، 1999، ص 43). ويرتفع متوسط سرعة الرياح خلال فصل الربيع مقارنةً بفصل الشتاء في جميع المحطات بأقاليم مصر الجغرافية. ويتراوح هذا المتوسط في إقليم الساحل الشمالي بين 2.6 م/ث في العريش،

---

(1)يتعاظم تأثير كلٍ من البحر المتوسط والبحر الأحمر فيما يتعلق بخصائص الرياح نتيجة لامتدادهما بسواحل تصل إلى 2000 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 المناخ المعتدل شمالاً والمناخ الحار جنوباً، مما يؤدي إلى وجود بعض الاختلافات في درجة الحرارة وبالتالي الضغط الجوي على مدار فصول السنة خاصة على الساحل الشمالي (يوسف، 1998، ص 210). 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، 1978، ص 6).

و 5.2 م/ث في مطروح وبورسعيد[1]. وترتفع سرعة الرياح بالاتجاه نحو الجنوب في إقليم الساحل الشرقي، حيث ترتفع من 3.4 م/ث في الإسماعيلية شمالاً إلى 6.0 م/ث في رأس بناس جنوباً[2]، كما ترتفع قيم متوسطات السرعة ربيعاً في إقليم الوادي والصحراء الغربية لتتراوح بين 2.5 م/ث في سوهاج وبين 4.8 م/ث في أسوان . ويبلغ نصيب فصل الربيع من الرياح العاصفة (التي تزيد سرعتها عن 18 م/ث) 72% في أسوان و77% في المنيا و83% في أسيوط (يوسف، 2000، ص 31). وتمثل أيضاً الفرافرة مركزاً لانخفاض سرعة الرياح في الصحراء الغربية (شكل 2). وتبلغ سرعة الرياح أعلى متوسط شهري ربيعاً خلال شهر مارس في 54% من المحطات، مقابل 19% في شهر مايو، و 12% في شهر أبريل، وتتعادل السرعة في الشهور الثلاث في كلٍ من رفح والقاهرة وقنا والمنصورة. ومما يذكر أن، أعلى متوسط شهري خلال الربيع قد بلغ 6.7 م/ث خلال شهر مايو في محطة رأس بناس. ويرتفع متوسط سرعة الرياح خلال الفترة من شهر مارس حتى شهر أبريل إذ تستحوذ على 39.7% من عدد المنخفضات الجوية السنوية على مصر (الفقي، 1999، ص 46).

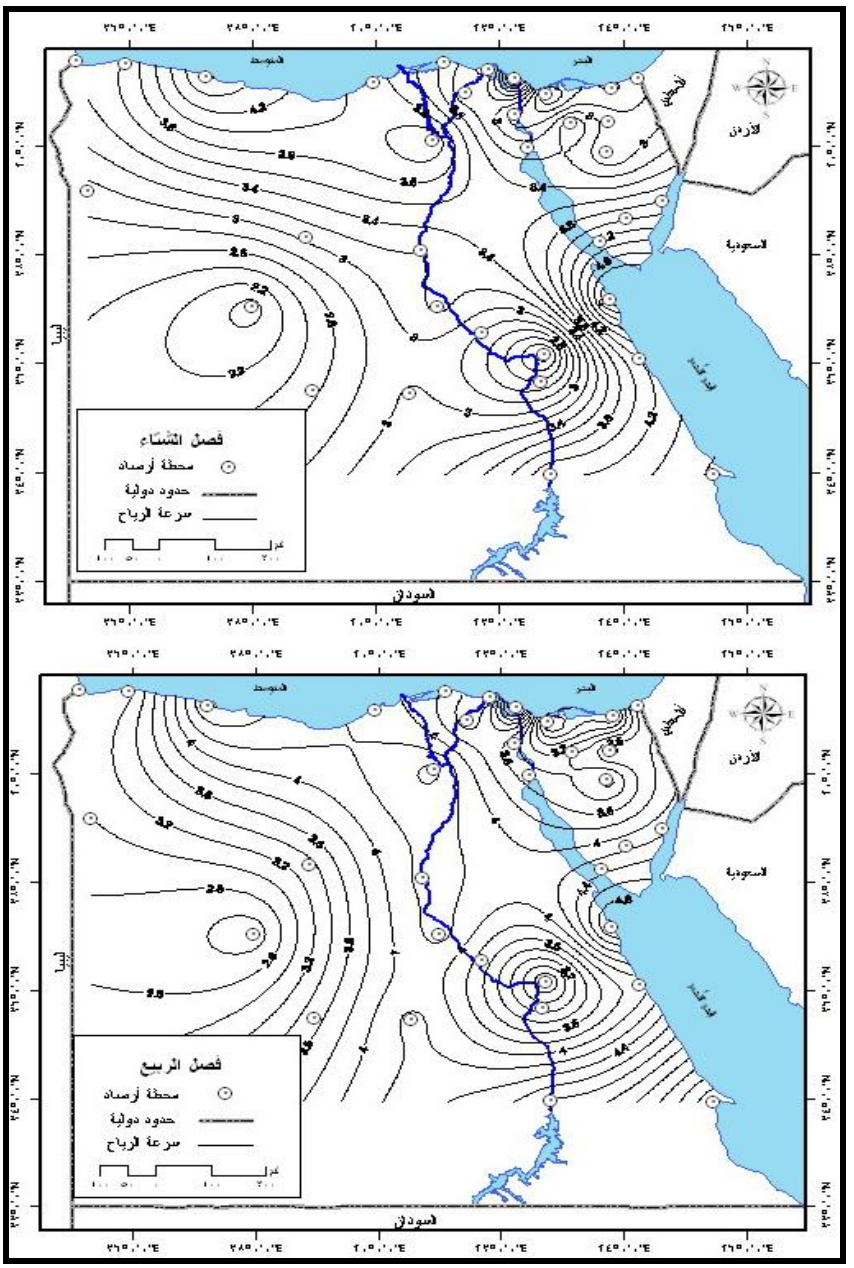
ج- **فصل الصيف** : يضعف نطاق الضغط المرتفع المداري فوق مصر خلال فصل الصيف، ويتزحزح شمالاً مع حركة الشمس الظاهرية وتستقر الأحوال الجوية. وتندر المنخفضات الجوية خلال فصل الصيف، إذ لا تزيد نسبتها عن 5.8% من اجمالي تكرارها السنوي، وينحصر أغلبها في شهر يونيو، وتأتي في معظمها من الصحراء الغربية وشمال غرب البحر المتوسط (الفقي، 1999، ص 47). وينعكس ذلك في انخفاض سرعة

---

(1) تنخفض سرعة الرياح بصفة عامة في محطة العريش نتيجة لموضع محطة الرصد في الضواحي الريفية للمدينة، ويحاط بها التلال والمباني المتناثرة حولها، ويقع الأنيمومتير على ارتفاع 8.5 متراً فوق سطح الأرض. أما بالنسبة لبور سعيد ، فتقع المحطة في المنطقة الحضرية، وتحاط بالمباني من جميع الاتجاهات باستثناء الشمال حيث تنفتح مباشراً على البحر، كما يرتفع الأنيمومتير 11 متراً فوق سطح الأرض كما يتضح في جدول (1) (Egyptian Meteorological Authority, 2000).

(2) تنخفض السرعة في محطة الإسماعيلية حيث تحاط المحطة بالمباني من الشرق والغرب، ويقع الأنيمومتير على طريق أسفلتي ويبلغ ارتفاعه 9.5 متراً فوق سط الأرض. أما محطة رأس بناس، فتقع على لسان من اليابس ممتد في مياه

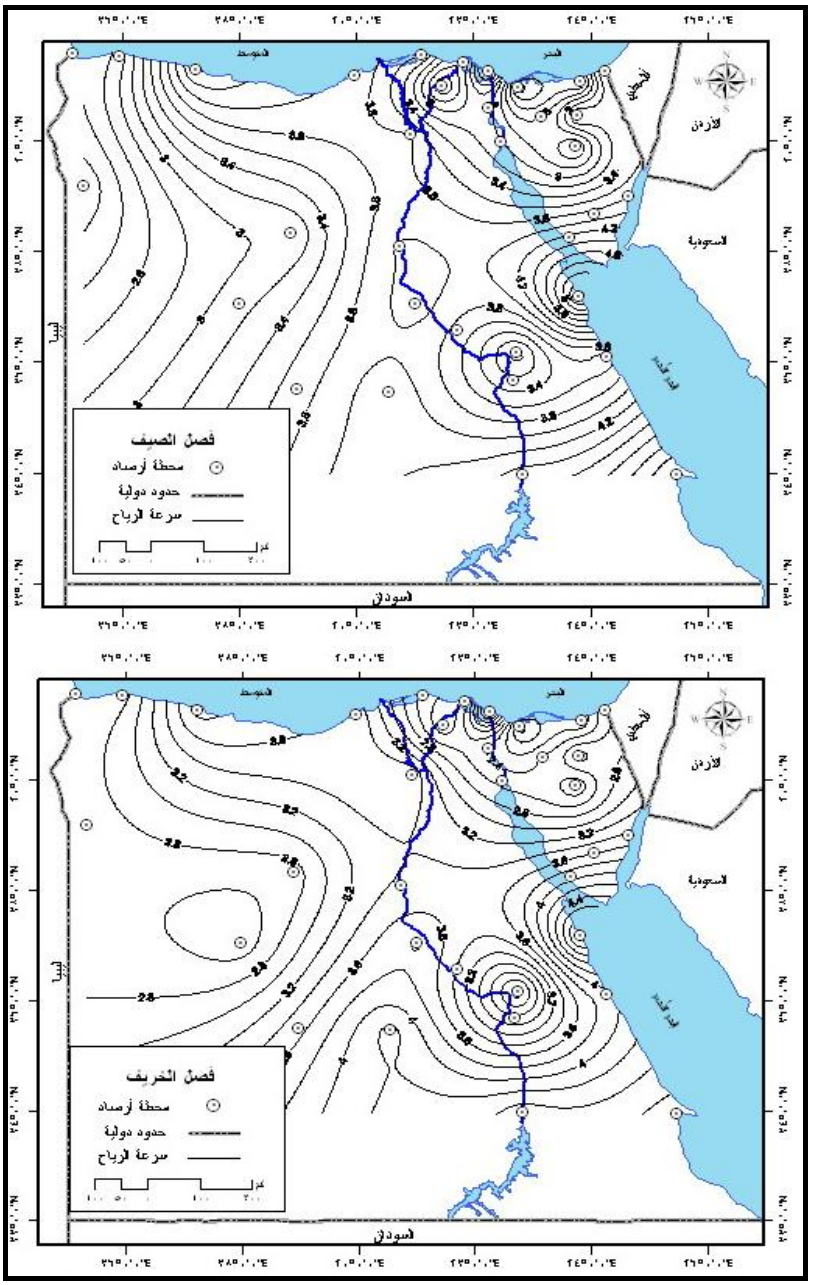
البحر الأحمر في منطقة ساحلية تمتد غرب البحر، مما يجعلها مفتوحة على البحر كما تتأثر بنسيم البحر (Egyptian Meteorological Authority , 2000).



شكل (2) : متوسط سرعة الرياح اليومية خلال فصلى الشتاء والربيع م/ث بمحطات الدراسة خلال الفترة 2004/1980.

الرياح خلال فصل الصيف مقارنةً بالربيع بصفة عامة. وتتراوح قيم المتوسط الفصلي للسرعة في إقليم الساحل الشمالي بين 2.2 م/ث في العريش (كما هو الحال في الشتاء والربيع إذ تمثل الحد الأدنى للسرعة لما عرض من أسباب) وبين 4.5 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، فتحتفظ

أسوان في أقصى الجنوب بأعلى متوسط فصلي للسرعة ويبلغ 4.5 م/ث، وتقابلها سيوة في أقصى الشمال بأدنى متوسط ويعادل أقل من ½ 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 15 – 20 ْ شمالاً، ومن ثم تعمل على جذب الرياح الشمالية صيفاً فتزيد سرعة الرياح (فايد، وآخرون، 1994، ص 54). وتتميز الغردقة بكونها المحطة الوحيدة التي تزيد فيها السرعة صيفاً ليس فقط في إقليم الساحل الشرقي، بل في جميع أقاليم مصر الجغرافية بمتوسط يبلغ 5.5 م/ث، ويعادل مثيله في محطة رأس بناس في أقصى جنوب الساحل الشرقي خلال مدة الدراسة 2004/1980 (شكل 3). ومما يذكر أن، متوسط سرعة الرياح في كلٍ 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 اليابس والماء خلال فصل الصيف، وينعكس 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 مقارنة بظهيره الصحراوي شديد السخونة (يوسف ، 2000 ص 8)، فتتسع الفروق الحرارية بين اليابس والماء وينعكس ذلك في زيادة سرعة الرياح. ويحظى شهر يونيو بأعلى متوسط سرعة للرياح في 62% من محطات الدراسة، يليه شهر أغسطس في 20% منها، وشهر يوليو في 16% منها. وهكذا يماثل شهر يونيو في الصيف شهر مارس في



شكل (3) : متوسط سرعة الرياح اليومية خلال فصلى الصيف والخريف م/ث بمحطات الدراسة فى الفترة 2004/1980.

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 39% من إجمالي عددها السنوي (الفقي، 1999، ص 47).

د- **فصل الخريف** : تنخفض 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 النشطة إلا في أواخر فصل الخريف في شهر نوفمبر بنسبة تكرار 22% من إجمالي عددها السنوي (الفقي، 1999، ص 43). وتتراوح قيم متوسط سرعة الرياح في فصل الخريف في إقليم الساحل الشمالي بين 2.0 م/ث في العريش وبين 4.0 م/ث في مطروح. كما تتراوح في إقليم سيناء بين 1.7 م/ث في بئر العبد وبين 2.9 م/ث في

الحسنة كما هو الحال في بقية الفصول. أما في إقليم الوادي والصحراء الغربية، فتتراوح قيم المتوسط الخريفي للسرعة بين 2.3 م/ث كحد أدنى في قنا حيث تظهر في خطوط التساوي كمركز لانخفاض السرعة، وبين 4.5 م/ث في أسوان التي تمثل قمة السرعة في جنوب الوادي (شكل 3). وترتفع قيم المتوسط الفصلي للسرعة في إقليم الساحل الشرقي مقارنةً بالأقاليم الأخرى، إذ تتراوح بين 2.4 م/ث في الإسماعيلية (الأدنى سرعة خلال الفصول الأربعة) وبين 5.2 م/ث في الغردقة. ويحظى شهر نوفمبر بأعلى قيم المتوسط الشهري للسرعة خلال فصل الخريف في محطات الساحل الشمالي، ويماثله شهر سبتمبر في إقليم الوادي والصحراء الغربية.

2) المتوسط السنوي :

يلخص المتوسط السنوي لسرعة الرياح خصائص السرعة الفصلية في أقاليم مصر الجغرافية خلال مدة الدراسة 2004/1980. إذ تتراوح قيم المتوسط السنوي لسرعة الرياح في إقليم الساحل الشمالي بين 2.3 م/ث في العريش وبين 4.5 م/ث في مطروح، وبين 2.9 م/ث – 5.3 م/ث لكلٍ من الإسماعيلية والغردقة على التوالي في الساحل الشرقي[1]. أما بالنسبة للمحطات الداخلية، فتتراوح في سيناء بين 2.0 م/ث – 3.3 م/ث في بئر العبد والحسنة على التوالي، وبين 2.4 م/ث – 4.6 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 4).

---

(1) يبلغ عدد أيام الرياح العاصفة بسرعة تتجاوز 18م/ث ، في الأسكندرية 7 أيام ، والعريش ومرسى مطروح 4 أيام لكلٍ منهما، وتنخفض في الساحل الشرقي إلى يومين على الأكثر (يوسف، 1998، ص 232).

وتنعكس هذه الفروق بوضوح في مقاييس التشتت إذ يبلغ الانحراف المعياري 0.7 م/ث كحد الأقصى في رأس بناس، كما يبلغ معامل الاختلاف 27.1% 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 :

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

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

$R = \sqrt{(cn)2 + (cw)2}$ وهي محصلة جريان الرياح بالمتر.

Hr = عدد ساعات الهبوب (744 ساعة للشهور ذات 31 يوماً – 720 ساعة للشهور ذات 30 يوماً – 672 ساعة لشهر فبراير).

ويتضح من نتائج تطبيق هذه المعادلة على محطات الدراسة خلال الفترة 2004/1980 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 خاصةً في الغردقة. أما محصلة جريان الرياح من الاتجاهات Resultant Wind Run فتتراوح خلال فصل الشتاء بين 631 متراً في سيوة وبين 4110 متراً في نويبع . وتتراوح في فصل الربيع بين 390 متراً في سيوة وبين 4045 متراً في الغردقة. وتتراوح بين 739 متراً في العريش وبين 3293 متراً في نويبع في الصيف. وتنخفض محصلة الجريان إلى حدها الأدنى خلال فصل الخريف لتتراوح بين 380 متراً في سيوة وبين 3315 متراً في

نوبيع. وهكذا ترتفع محصلة جريان الرياح في المحطات الساحلية بصفةٍ 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، 1998، ص 232). 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 خاصة 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 4). وإذ تضعف أهمية اتجاه الرياح فيما يتعلق باستخدام قوة الرياح في تدوير أذرع التوربينات، فيقتصر هذا البحث على حساب زاوية المحصلة[1] من تطبيق المعادلة التالية : (نعمان، 1983، ص 76)

ص = م ش / م غ = ظا (أ) −1.

ويوضح شكل (4) 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، أوالرياح الشمالية الأكثر تكراراً خلال فصل الصيف ويطلق عليها رياح الإيتزيه Etesians[2]، فضلاً عن الرياح الشمالية الشرقية. ويذكر هنا، أن رياح الخماسين التي تهب من جهة الجنوب والجنوب الغربي منذ أوآخر الشتاء وتستمر خلال فصل الربيع لم تؤثر بوضوح على الاتجاه السنوي للرياح في مصر (شكل 4).

ثالثاً : خصائص السرعة الساعية للرياح :

تتناقص سرعة الرياح السطحية من وقت الغروب وخلال ساعات الليل لتصل إلى أدنى سرعاتها قُبيل الشروق. ويرتبط هذا ببرودة الأرض في أثناء ساعات الليل نتيجة عملية الاشعاع الأرضي، ومن ثم تحدث حالة من الاستقرار فيبقى الهواء قريباً من سطح الأرض، وهنا يؤدي الاحتكاك (خشونة السطح) إلى انخفاض سرعة الرياح السطحية حتى ارتفاع يتراوح بين 500 – 1000 متراً (علي، 1993، ص 168). ويعتمد هذا البحث على تحليل التغير الفصلي والشهري والسنوي في سرعة الرياح عند منتصف الليل وعند الظهيرة بتوقيت جرينتش (أي الساعة 02 والساعة 14 بالتوقيت المحلي) خلال الفترة 2004/1995م.

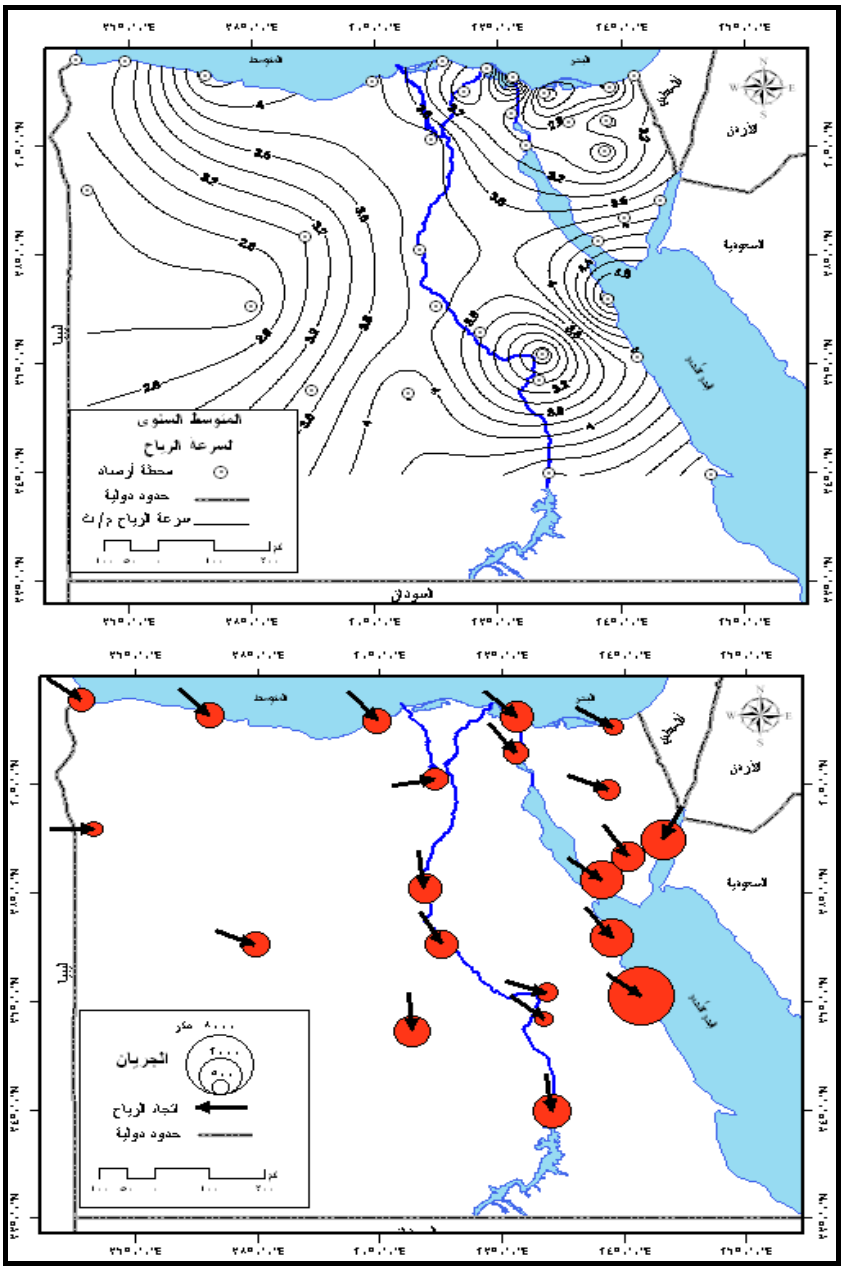
1) المتوسطات الفصلية والشهرية عند منتصف الليل :

أ- **فصل الشتاء** : يتراوح المتوسط الفصلي لسرعة الرياح عند منتصف الليل بين 2.2 م/ث في العريش وبين 5.8 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 3.2 م/ث و 3.1 م /ث في القصير والسويس على

---

(1) حيث أن محصلة اتجاه الشمال على الجنوب يضاف إلى قيمة زاوية الاتجاه الغربي 270 °.

(2) تتميز رياح الإيتزيه بخصائص الرياح التجارية فيما بين دائرتي عرض 20-30° شمالاً (الفقي، 1999، ص 14).



شكل (3) : المتوسط السنوى لسرعة الرياح ومحصلة الجريان واتجاه الرياح السائدة خلال الفترة 2004/1980.

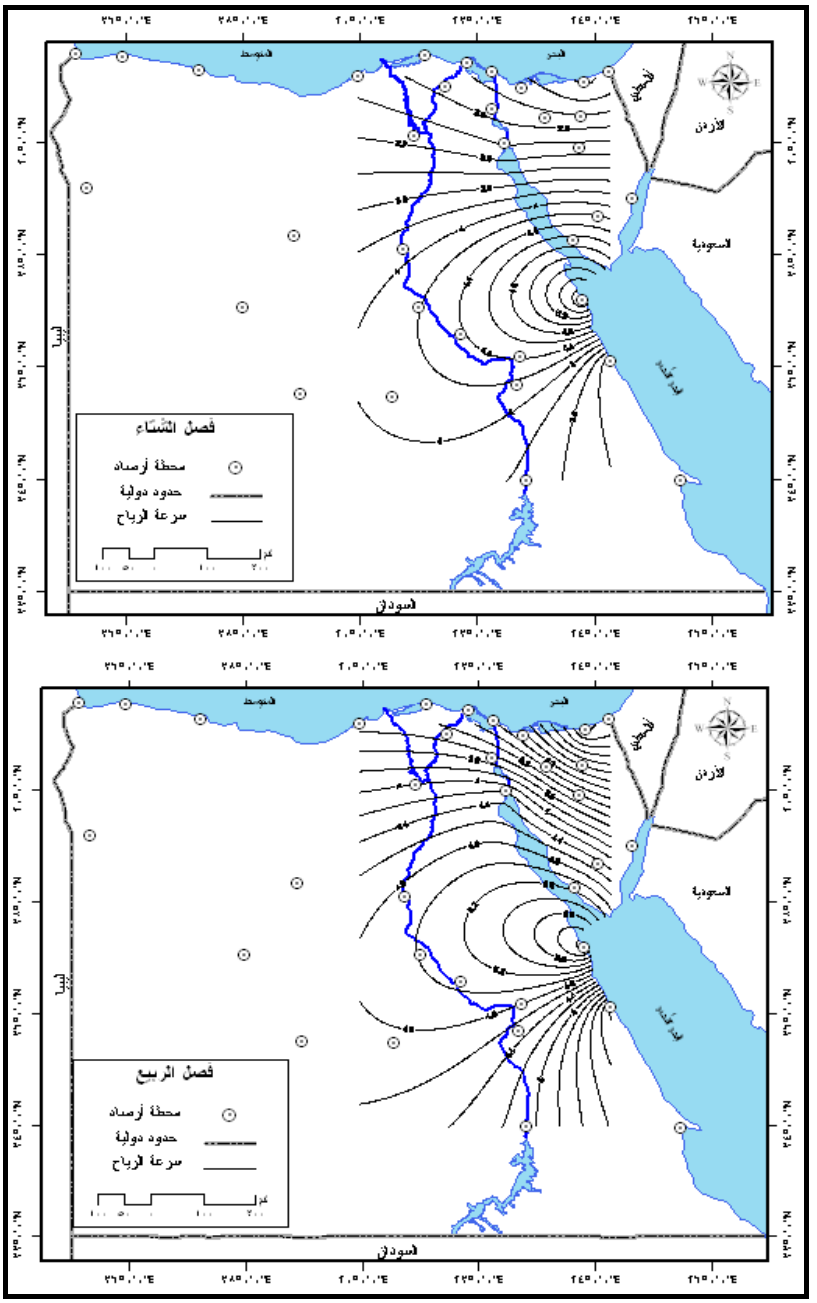
التوالي مقابل 2.9 م/ث في الإسكندرية. وتقترب قيم متوسطات السرعة خلال فصل الشتاء في أقصى جنوب مصر في محطة أسوان مع مثيلاتها على الساحل الشرقي إذ تبلغ 3.8 م/ث (شكل 5). ويعتبر شهر فبراير هو الأعلى سرعة بين شهور الشتاء عند منتصف الليل، إذ تتراوح قيم المتوسط الشهري بين 2.2 م/ث – 6.1 م/ث، ويقابله شهر ديسمبر بقيم متوسط تتراوح بين 2.0 م/ث – 5.6 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 مقارنةً بالشتاء حيث تبلغ 6.1 م/ث في الغردقة وتليها السويس 4.4 م/ث والقصير 2.9 م/ث. وتقترب قيم متوسط السرعة في أسوان من مثيلتها في السويس إذ تبلغ 4.1 م/ث. وتنخفض السرعة عند منتصف الليل خلال فصل الربيع في محطات الساحل الشمالي بالاتجاه شرقاً نحو العريش

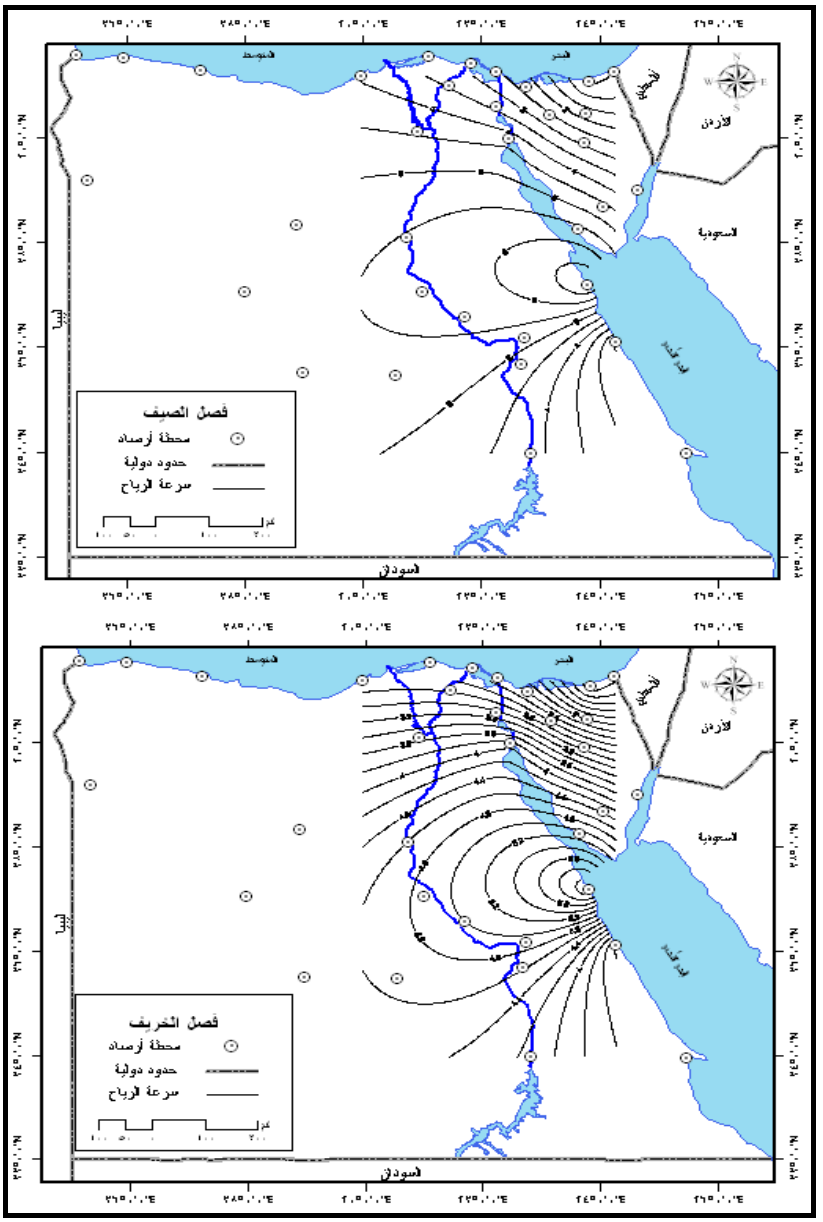
إذ يبلغ المتوسط 1.4 م/ث وهو الأقل بين سائر المحطات (شكل 5). وترتفع قيم المتوسط الشهري للسرعة خلال شهر أبريل في جميع المحطات باستثناء محطة العريش إذ ترتفع خلال شهر مارس بفارق ضئيل.

ج- **فصل الصيف :** تحتفظ الغردقة بأعلى متوسط لسرعة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الصيف إذ يبلغ 7.1 م/ث لتعادل ضعف قيم متوسط السرعة في المحطات الأخرى وتعادل 3 أمثالها في القصير (شكل 6). وتعتبر قيم المتوسط الشهري لسرعة الرياح خلال يونيو هي الأعلى، إذ تتراوح بين 2.6 م/ث في القصير وبين 4.7 م/ث في أسوان. بينما ترتفع خلال شهر أغسطس في كلٍ من والغردقة السويس بمتوسط يبلغ 7.3 م/ث للأولى و4.7 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 3.3 م/ث مقابل 2.4 م/ث لمتوسط السرعة خلال الصيف في هذه المحطة. وتتراوح قيم متوسط سرعة الرياح بين 0.9 م/ث كحد أدنى في العريش وبين 6.2 م/ث كأعلى قيمة في محطة الغردقة خلال فصل الخريف كما هو الحال في بقية فصول السنة (شكل 6). وترتفع قيم متوسط السرعة خلال شهر سبتمبر في كلٍ من السويس والغردقة والإسكندرية لتتراوح بين 3.9 م/ث – 6.9 م/ث. بينما ترتفع خلال شهر نوفمبر في كلٍ من العريش والقصير وأسوان بمتوسط يتراوح بين 1.3 م/ث – 3.8 م/ث عند منتصف الليل.



شكل (5) : متوسط سرعة الرياح م/ث عند منتصف الليل خلال فصلى الشتاء والربيع بمحطات الدراسة خلال الفترة 2004/1980.



شكل (6) : متوسط سرعة الرياح م/ث عند منتصف الليل خلال فصلى الصيف والخريف بمحطات الدراسة خلال الفترة 2004/1980.

ملاحظة: المحطات التي لا تشملها خطوط التساوي في شكل (5) وشكل (6) لا تتوفر لها بيانات سرعة الرياح عند منتصف الليل.

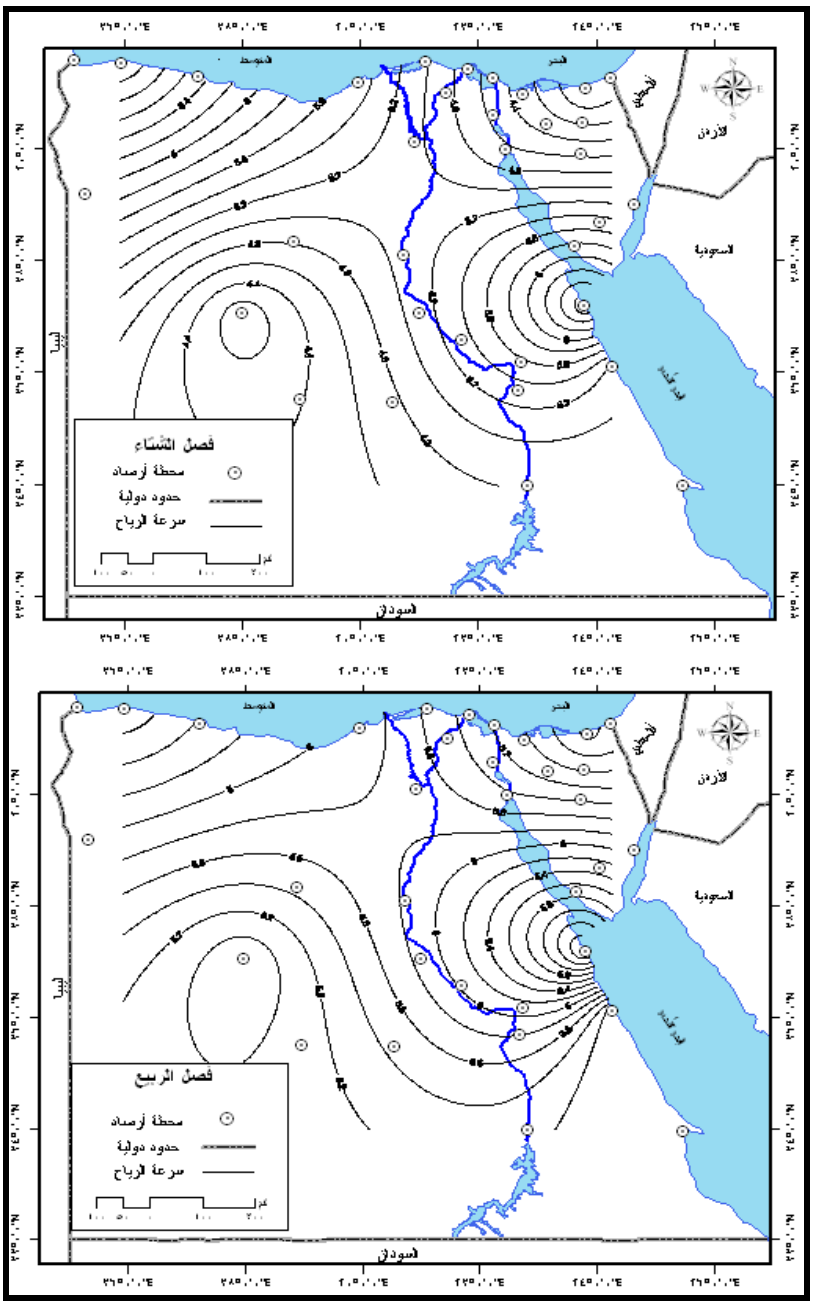
2) المتوسطات الفصلية والشهرية عند الظهيرة :

تأخذ سرعة الرياح السطحية فى الارتفاع منذ الشروق لتصل إلى سرعتها العظمى بعد ساعتين أو ثلاث ساعات من بلوغ الإشعاع الشمسي ذروته الساعة 12 ظهراً. ويرتبط ذلك بعملية تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض، فتنشأ التيارات الهوائية الصاعدة، فيحل محلها هواء بسرعة أعلى نتيجة لابتعاده عن تأثير عامل الاحتكاك، ومن ثم تزداد سرعة الرياح في أثناء ساعات السطوع 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 7.3 م/ث مقابل 6.8 م/ث في الغردقة. وجدير بالذكر أن، قيم متوسط السرعة في محطة الإسكندرية عند الظهيرة تبلغ 5.5 م/ث لتعادل ضعف مثيلتها عند منتصف الليل فتمثل بذلك أعلى فارق في قيم

متوسط السرعة بين التوقيتين في محطات الدراسة. وتتقارب قيم متوسط السرعة عند الظهيرة خلال فصل الشتاء في كلٍ من أسوان في أقصى جنوب الوادي والفرافرة في الصحراء الغربية مع مثيليتها في السويس الساحلية (شكل 7). 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 4.3 م/ث – 7.6 م/ث لكلٍ 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 7.7 م/ث، مقابل 6.8 م/ث في سيدي براني (شكل 7). ويتميز شهر مارس بأعلى قيم للمتوسطات في كلٍ من القصير والغردقة إذ يبلغ 5.4 م/ث و 7.8 م/ث لكلٍ منهما على التوالي. أما في أسوان والإسكندرية، فترتفع قيم المتوسط في شهر مايو لتبلغ 5.4 م/ث و 6.1 م/ث لكلٍ منهما على التوالي. بينما يمثل شهر أبريل أعلى قيم المتوسط الشهري للسرعة ويبلغ 4.7 م/ث في العريش ويبلغ 5.0 م/ث في الفرافرة.



شكل (7) : متوسط سرعة الرياح م/ث عند الظهيرة خلال فصلى الشتاء والربيع بمحطات الدراسة خلال الفترة 1980/2004.

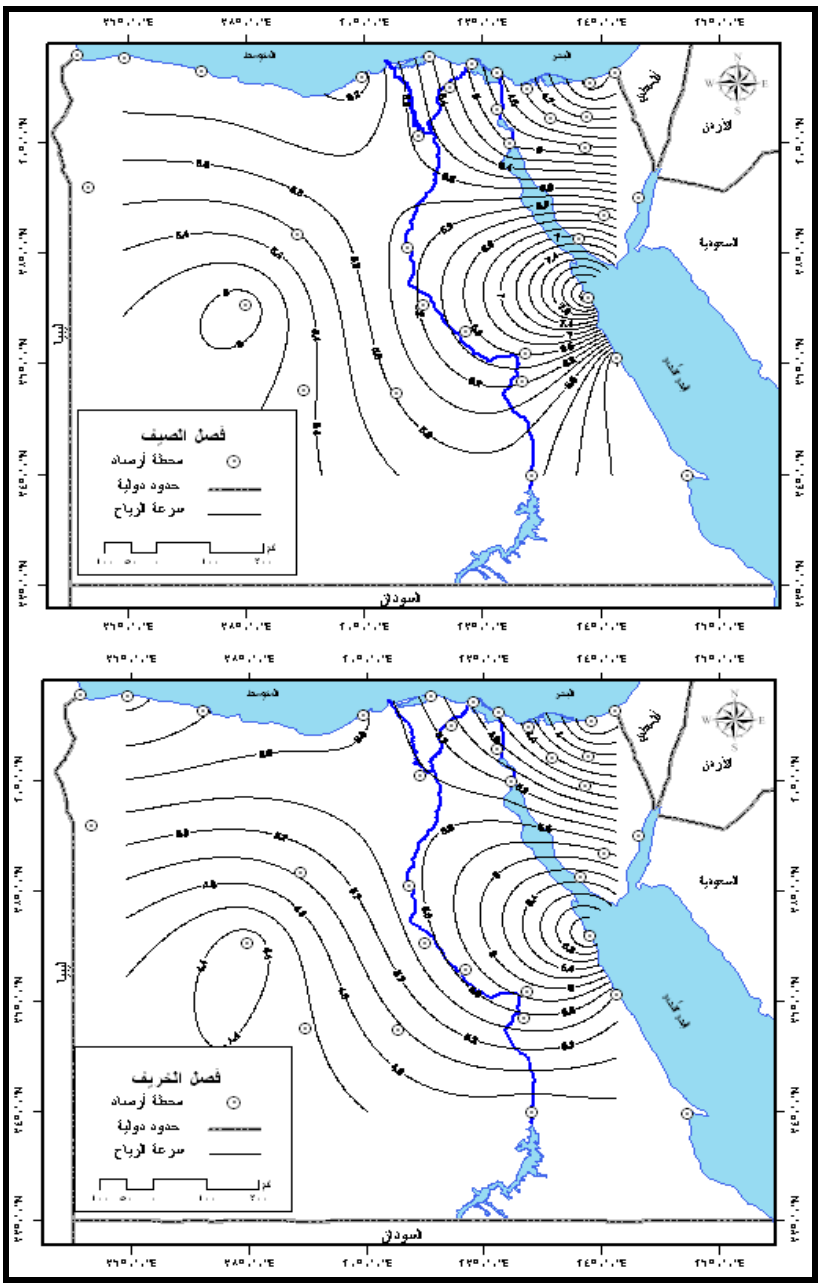
ج- **فصل الصيف** : ترتفع قيم متوسط السرعة خلال فصل الصيف مقارنةً بالربيع عند الظهيرة في محطات أسوان والفرافرة والغردقة والإسكندرية. بينما تنخفض قيم متوسط السرعة في سيدي براني والعريش على الساحل الشمالي والقصير على الساحل الشرقي، لتصبح قيم المتوسط أقل من مثيلاتها في كلٍ من الشتاء والربيع. وتتراوح قيم متوسط السرعة بين 3.5 م/ث في العريش وبين 8.7 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 8). ويمثل يونيو أعلى قيم متوسط شهري لسرعة الرياح في كلٍ من العريش والفرافرة والسويس وسيدي براني حيث تتراوح بين 3.8 م/ث – 5.2 م/ث . بينما يتميز شهر أغسطس بأعلى قيم لمتوسط السرعة على

الساحل الشرقي في كلٍ 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 5.3 م/ث مقابل 5.0 م/ث في كلٍ من الربيع والصيف، وبمتوسط شتوي يبلغ 5.2 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 8). وتتراوح قيم متوسط السرعة خلال فصل الخريف بين 3.4 م/ث – 8.7 م/ث للعريش والغردقة على التوالي . ويتقاسم شهر سبتمبر وشهر أكتوبر أعلى قيم المتوسطات الشهرية للسرعة خلال الخريف بنسبة تبلغ 65.5% و 34.5% لكلٍ 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 1995 – 2004 . وتظهر قيم خطوط التساوي قمتين للسرعة الأولى في الغردقة حيث تبلغ 6.3 م/ث لتعادل 6 أمثالها في العريش، و 3 أمثالها في القصير، وضعف مثيلاتها في الإسكندرية والسويس، والثانية في أسوان حيث تبلغ 4.0 م/ث (شكل 9). وتتراوح قيم متوسط السرعة السنوي عند الظهيرة بين 3.8 م/ث في العريش وبين 7.6 م/ث في الغردقة التي تمثل قمة واضحة أيضاً للسرعة نهاراً . وتتقارب قيم المتوسطات السنوية فيما بين القصير والسويس على



شكل (8) : متوسط سرعة الرياح م/ث عند الظهيرة خلال فصلى الصيف والخريف بمحطات الدراسة خلال الفترة 2004/1980.

الساحل الشرقي (5.1 م/ث)، بينما ترتفع في سيدي براني[1] مقارنةً بالإسكندرية بفارق ضئيل، ويزيد هذا الفارق ليعادل الضعف عند مقارنتها بالعريش على الساحل الشمالي، كما تتقارب القيم فيما بين الفرافرة وأسوان (5.0 م/ث) كمحطات داخلية (شكل 9). ويتضح من تحليل قيم متوسط سرعة الرياح على مدار ساعات اليوم[2] في محطات الدراسة خلال الفترة 1995 – 2004، أن محطة الغردقة هي الأعلى سرعة على مدار ساعات اليوم بقيم تبلغ 6.5 م/ث لتعادل 3 أمثالها في العريش والفرافرة، وضعف مثيلاتها في القصير وسيدي براني. وترتفع قيم متوسط السرعة على مدار ساعات اليوم في شهر يونيو في كلٍ من أسوان والغردقة والسويس والفرافرة، بينما يعتبر شهر سبتمبر هو الأعلى من حيث سرعة الرياح في القصير، ويماثله شهر مارس في العريش، وشهر يوليو في الإسكندرية، وشهر فبراير وديسمبر في سيدي براني (شكل 10). وتشير قيم الانحراف المعياري إلى أن محطة القصير هي أكثر المحطات تجانساً فيما

يتعلق بسرعة الرياح بانحراف معياري 0.23 ومعامل اختلاف 6.2%. وتقع العريش على النقيض من القصير حيث تتشتت القيم عن المتوسط فيبلغ الانحراف المعياري 0.51 ومعامل اختلاف 23.9%.

رابعاً : إمكانيات طاقة الرياح الكامنة ليلاً ونهاراً :

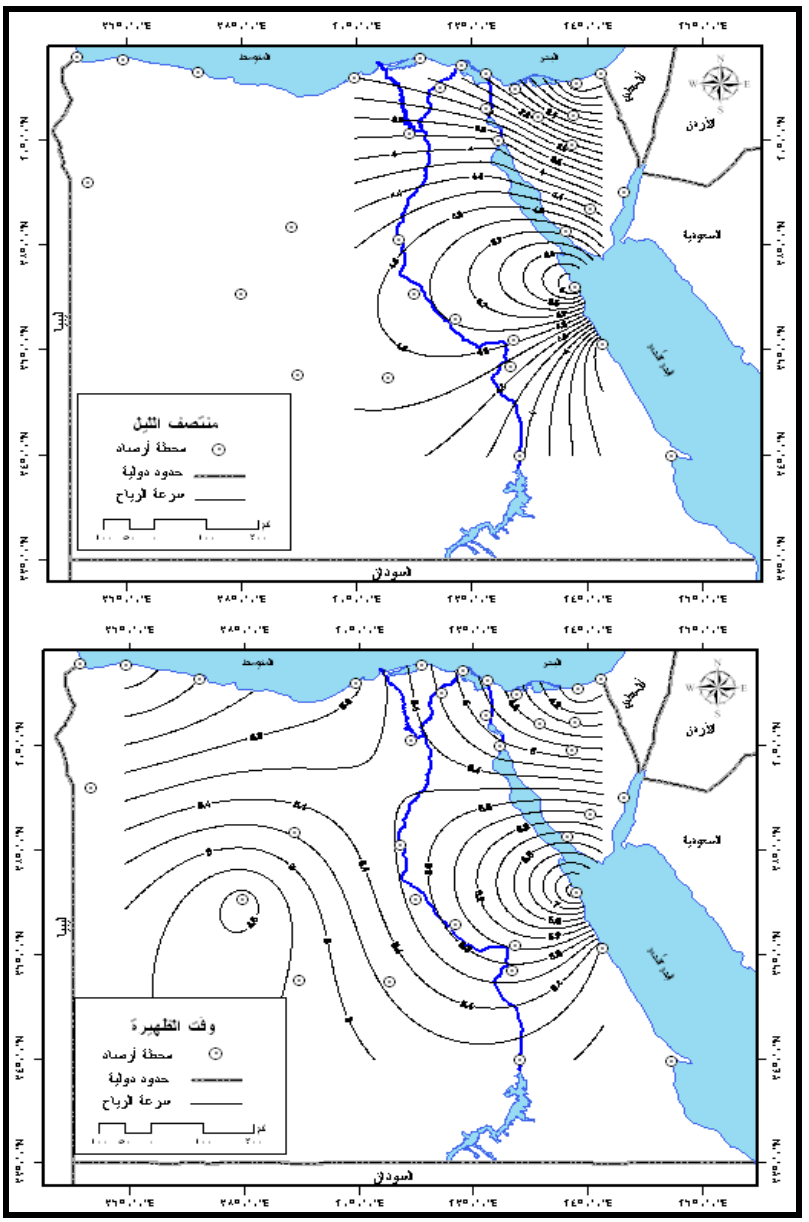
منهج الدراسة : يعتمد البحث في تقدير وتحليل إمكانيات استخدام طاقة الرياح Wind Energy على تصميم توربين بقدرة 2 ميجاوات (2000 كيلووات) بمواصفات خاصة تتلخص في : معدل إنتاج الطاقة = 2 ميجاوات، بداية السرعة عند التشغيل = 3.5 م/ث، معدل السرعة اللازمة لتوليد الطاقة = 13.5 م/ث، سرعة الدوران = 25 م/ث، ارتفاع محور مروحة التوربين = 85 متراً فوق سطح الأرض (شكل 11). وقد تم إعداد هذا التوربين الضخم باستخدام معامل ثابت لكثافة الهواء ويبلغ 1.23 كيلوجرام/المتر المكعب، وقد تم تحديد هذا المعامل باستخدام معادلة "ليست List 1958" بالإضافة إلى استخدام معدلات البيانات المناخية خلال الفترة 1961/1990[3].

---

(1) لم يتم رصد سرعة الرياح عند منتصف الليل في محطة سيدي براني ومحطة الفرافرة.

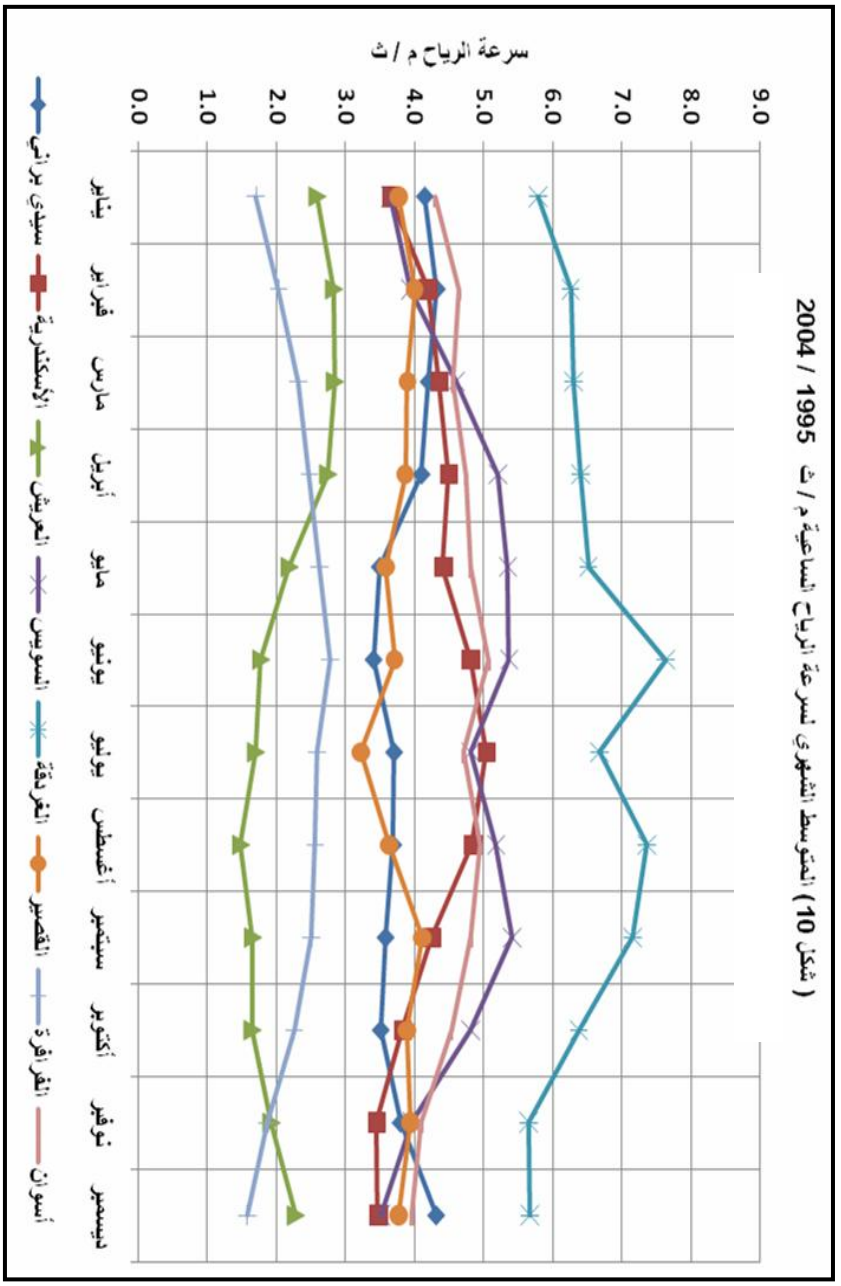
(2) يمثل متوسط سرعة الرياح على مدار ساعات اليوم 8 رصدات يومياً، ويفيد هذا في تتبع التغيرات الساعية في سرعة الرياح.

(3) 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 0200 والساعة 1400 بالتوقيت المحلي) خلال الفترة 2004/1995.



شكل (9) : المتوسط السنوى لسرعة الرياح م/ث عند منتصف الليل وعند الظهيرة بمحطات الدراسة خلال الفترة 2004/1980.

ملاحظة : المحطات التي لا تشملها خطوط التساوي في شكل (9) لا تتوفر لها بيانات سرعة الرياح عند منتصف الليل.



شكل (10) : المتوسط الشهري لسرعة الرياح الساعية م/ث 2004/1995

ويتحكم في كثافة الهواء Air Density درجة الحرارة والضغط الجوي[1] والرطوبة النسبية، وإن كانت درجة الحرارة[2] هي المتغير الأكثر تأثيراً في كثافة الهواء. وإذ تحسب سرعة الرياح على أساس قيم متوسط السرعة كل 15 دقيقة، فإن ذلك يؤدي إلى تضاؤل قدرة الرياح[3] Wind Power على توليد الطاقة لأن استجابة دوران التوربين تتغير خلال فترة زمنية أقل من 15 دقيقة. هذا، ويؤثر ارتفاع عمود الأنيمومتير المستخدم في محطات الدراسة (ويتراوح بين 6 – 10 متراً فوق مستوى سطح الأرض) على سرعة الرياح[4]، إذ أنه حيثما يكون ارتفاع الأنيمومتير 6 متراً فوق سطح الأرض، فإن سرعة الرياح تعادل 93.1% من سرعتها حينما يكون ارتفاعه 10 متراً فوق سطح الأرض[5]، وعلى ارتفاع 8 متراً تعادل 96.9% من سرعتها على ارتفاع 10 متراً ـــــ

(1) قد أستخدم البحث 1010 هيكتوبسكال كرقم ثابت للضغط الجوي بسبب قلة ثبات قيم الضغط الجوي في محطات الدراسة ، فضلاً عن ضعف تأثيره مقارنةً بدرجة الحرارة والرطوبة النسبية .

(2)ولذا اعتمد البحث على قيم المتوسط الشهري لدرجة الحرارة العظمى في تقدير كثافة الهواء خلال ساعات السطوع ، 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 5% للمتوسط الشهري للرطوبة النسبية خلال ساعات الليل وطرح 5% منها خلال ساعات السطوع على اعتبار أن الرطوبة النسبية أعلى نهاراً وأقل ليلاً (Tuller, 2007, p. 4).

(3)ويؤخذ في الاعتبار أيضاً ، أن مكعب قيم متوسط السرعة (الذي يمثل قيمة متوسطة 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 (15 دقيقة) حتى وإن كانت تبدو قصيرة ، إلا أنه بطريقة ما قد ثبت أن قوة الرياح المنخفضة ترتبط بوضوح بقيم متوسط السرعة خلال 15 دقيقة أكثر من ارتباطها بالسرعة اللحظية (Golding,1977, p. 12).

(4)بحث ميهوب وعزام طاقة الرياح الكامنة في مصر باستخدام توربين على ارتفاع 25 متراً فوق سطح الأرض بعد تعديل السرعة من ارتفاع الأنيمومتر10 متراً باستخدام قانون الطاقة واستخدام معامل ثابت لدرجة استقرار الجو (0.14) ، ومعامل ثابت لكثافة الهواء (1.23 كيلوجرام / متر المكعب) في جميع أحوال الطقس (Mayhoub & Azzam, 1997)، وقد أنعكس ذلك في انخفاض قوة الرياح وبالتالي الطاقة الناتجة.

(5)بحث الأسرج وآخرون طاقة الرياح الكامنة في مصر على ارتفاع 10 متراً وفقاً لارتفاع الأنيمومتر أي على أساس سرعة الرياح السطحية (El-Asrag & Others, 2000).

(Tuller, 2007, p. 5). وتزيد سرعة الرياح مع تزايد الارتفاع[1] عن طبقة الاحتكاك التي تمثل الثلاث كيلومترات الأولى من طبقة التروبوسفير لأن عوائق السطح تؤدي إلى تغير اتجاه الرياح إذ ينقسم التيار الواحد إلى عدة أقسام وفقاً للتضاريس، ولذلك تبلغ سرعة الرياح أقصاها على ارتفاع يتراوح بين 12 – 14 كيلومتراً (فايد، 1971، ص 53). وقد قام البحث بتعديل سرعة الرياح من ارتفاع الأنيمومتر المستخدم فعلاً في محطات الرصد في مصر (جدول 1) إلى ارتفاع محور مروحة التوربين المقترح وهو 85 متراً فوق سطح الأرض[2]. وقد أستخدم البحث قانون الطاقة لتعديل سرعة الرياح من ارتفاع 10 متراً إلى ارتفاع 85 متراً وذلك بتطبيق المعادلة التالية: $U2 = u1(Z1/Z2)^{\alpha}$ حيث : U2 = سرعة الرياح عند ارتفاع 85 متراً ، u1 = سرعة الرياح عند ارتفاع الأنيمومتر، Z2 = ارتفاع الأنيمومتر فوق سطح الأرض بالمتر، Z1 = الارتفاع المقترح للتوربين ويبلغ 85 متراً، α = معامل يعتمد على درجة استقرار الهواء (ويتراوح بين 0.05 – 0.5)، وتبلغ قيمة معامل α 0.14 بالنسبة لدرجة الاستقرار العادي للهواء[3]. وقد تم تقدير الطاقة الناتجة عن قوة سرعات الرياح المختلفة م/ث باستخدام التوربين

---

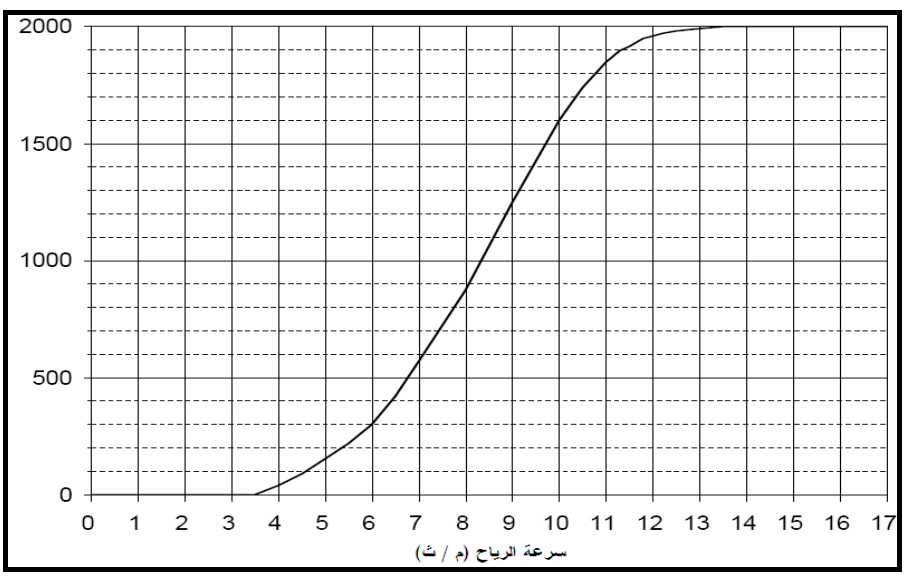
(1)ويؤثر الارتفاع عن مستوى سطح البحر في قوة الرياح من خلال تأثيره في كثافة الهواء، ولهذا فقد أعتمد البحث على معامل ثابت لكثافة الهواء ويبلغ 1.23كيلوجرام/ المتر المكعب. وقد استخدم البحث قانون الطاقة Power Law الذي يفيد بأن سرعة الرياح تزيد مع الارتفاع بقدار يعادل $\sqrt{1/7}$ الارتفاع، وبناء على هذا ، فإنه مع زيادة ارتفاع توربين الرياح تزيد سرعة الرياح المتوقعة بنسبة 10% فتزيد بالتالي طاقة الرياح الناتجة بنسبة 34% (David & Others, 2001, p. 130).

(2)وهكذا يختلف هذا البحث عن دراسة كلٍ من ميهوب والأسرج إذ يقترح استخدام توربين بمواصفات خاصة على ارتفاع 85 متراً لتزيد قوة الرياح ، ومن ثم ترتفع الطاقة الناتجة التي تُعد الهدف الأساسي من انشاء مزارع الرياح بصفة عامة.

(3)حينما تنخفض سرعة الرياح لتبلغ 0.5 م/ث ، تبدأ قيمة معامل a من 0.06 في أثناء ساعات السطوع، ومن 0.25 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($0.14 > a$) ويكون الهواء غير مستقر Unstable Air . وإذ تتمتع مصر بصفة عامة بارتفاع في معدلات سطوع الشمس ، والسماء الصافية معظم أيام السنة ، ومن ثم ترتفع درجة تسخين سطح الأرض بالاشعاع 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 الأنيمومتر) 5.9 م/ث نهاراً و 5.4 م/ث ليلاً (Tuller, 2004, p. 4).

المقترح[1] (شكل 11) لتقدير الطاقة بالكيلووات ساعة من مجمل السرعات على مستوى الشهور خلال الليل والنهار(الساعة 12 ليلاً و 12 ظهراً بتوقيت جرينتش) لمدة 10 سنوات[2] (1995/ 2004). ويتم حساب هذه الطاقة بضرب تكرار سرعة الرياح الساعية بعد تصحيحها لارتفاع 85 متراً فوق مستوى سطح الأرض، ولمعامل كثافة الهواء (1.23 كيلوجرام/المتر المكعب) وفقاً للسرعات التي يوضحها توربين منحنى الطاقة[3].



شكل (11) : توربين الرياح المقترح بقدرة 2000 كيلووات.

---

(1) 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 نوفاسكوشيا 2007 . كما قام الباحث تالر من جامعة فكتوريا الكندية بمراجعة منحنى الطاقة المستخدم في هذا البحث.

(2) ولحساب المتوسط السنوي للطاقة الناتجة كيلووات ساعة لشهور السنة ، قد تم قسمة ناتج إجمالي الطاقة / 10 (عدد سنوات الدراسة).

(3) وقد تم تعديل البيانات بهدف التعويض عن البيانات المفقودة ، فضلاً عن تعويض سرعة الرياح المتغيرة (التي تشير إلى عدم وجود سرعة محددة للرياح خلال 15 دقيقة التي يتم خلالها الرصد). كما يتم ضرب الطاقة الناتجة في معامل كسري يمثل عدد الرصدات الساعية الإجمالية خلال كل شهر على مدار 10 سنوات لتمثل البسط ، أما المقام فهو العدد الفعلي للرصدات المتاحة ويبلغ 310 للشهور ذات 31 يوماً، و300 للشهور ذات 30 يوماً . ويستفاد من هذا النهج الحسابي في تقدير توزيع سرعة الرياح غير المتاحة (التي لم ترصد فعلا) من خلال توزيع سرعة الرياح التي رصدت بالفعل.

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

1) 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 30.215 ميجاوات ساعة/سنوياً (ميجاوات = 1000 كيلووات) في محطة الغردقة كحد أقصى وبين 5.734 ميجاوات ساعة/سنوياً كحد أدنى في العريش (شكل 12). وهكذا فإن الطاقة الناتجة عن الرياح في الغردقة تعادل 6 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 5). وقد تميزت سواحل البحر الأحمر وخليج السويس بارتفاع الطاقة الناتجة عن الرياح خلال فصل الشتاء حيث تبلغ في السويس 15.669 ميجاوات ساعة/سنوياً مقارنةً بالإسكندرية 10.537 ميجاوات ساعة/سنوياً. وجدير بالملاحظة الارتفاع النسبي في طاقة الرياح في أسوان الداخلية في أقصى جنوب الوادي لتبلغ 13.977 ميجاوات ساعة / سنوياً كانعكاس لارتفاع النسبة المئوية لتكرار الرياح التي تتراوح سرعتها بين 3.5 – 13.5 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 (شكل13 أ).

ب- **فصل الربيع** : ترتفع إمكانيات توليد طاقة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الربيع نسبياً بمقارنتها بالشتاء بنسب تبلغ 29.3% في السويس، و19.5% في أسوان، و 17.5% في القصير. بينما تتقارب في كلٍ من الغردقة والإسكندرية خلال الفصلين، وتبلغ 4.165 ميجاوات ساعة/سنوياً في العريش فتنخفض بنسبة 27.3% مقارنةً بالشتاء (شكل12). هذا، وتبلغ 30.886 ميجاوات ساعة/سنوياً في الغردقة، و 16.703 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 (شكل13 أ).

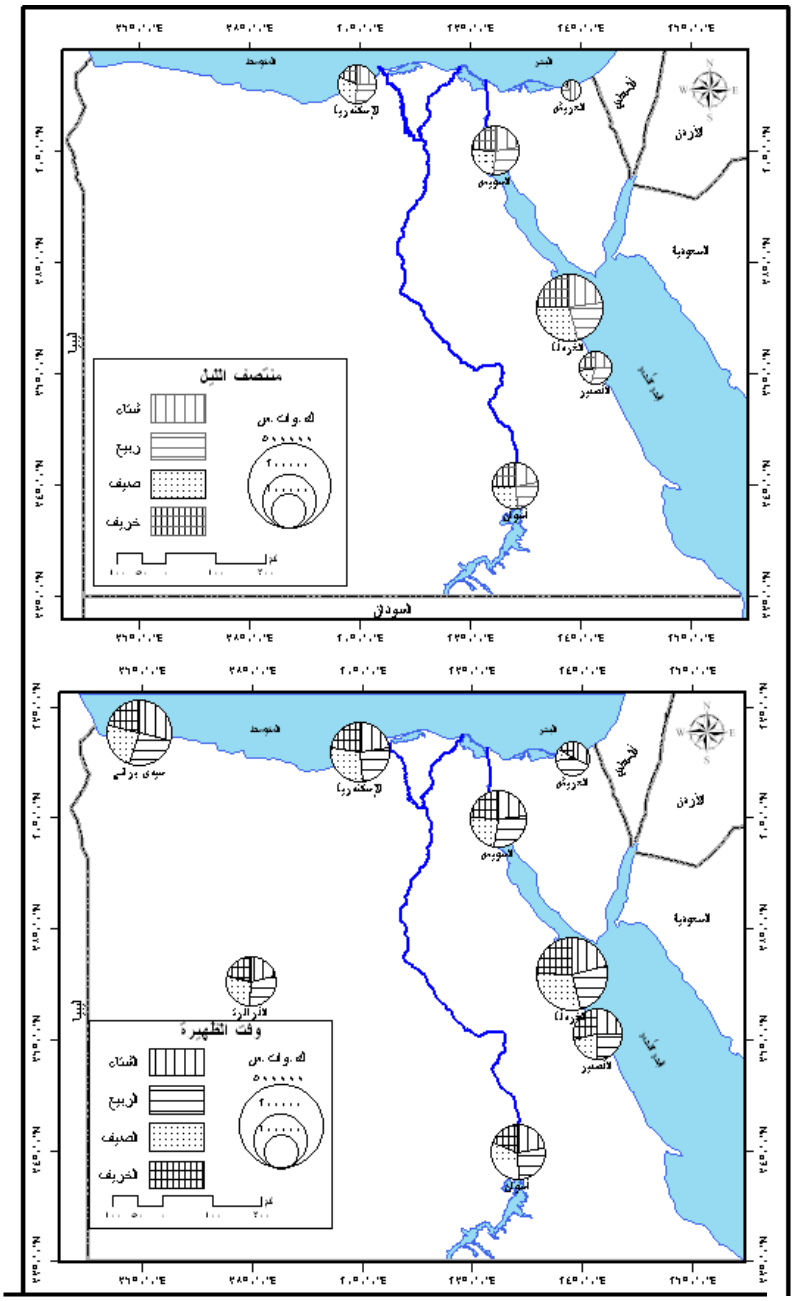
ج- **فصل الصيف** : تحتفظ الغردقة بأعلى إمكانيات إنتاج الطاقة من قوة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الصيف مقارنة بالمحطات الأخرى، إذ تبلغ 38.172 ميجاوات ساعة/سنوياً، بل أن هذه الطاقة الكامنة تمثل الأعلى خلال الفصول الأربعة عند منتصف الليل في سائر محطات الدراسة. وتقابلها في هذا محطة العريش الأدنى طاقة 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 23.5% للغردقة و 16.2% للإسكندرية. بينما تنخفض في فصل الصيف مقارنةً بفصل الربيع في كلٍ من القصير والسويس وأسوان بنسبة انخفاض تبلغ 39.7% و 14.5% و 4.0% على التوالي (شكل 12). هذا، ولكون طاقة الرياح هي الانعكاس المباشر لسرعة الرياح ونسبة تكرار السرعة اللازمة لتوليد الطاقة (13.5 م/ث)، فإن شهر يونيو هو أعلى شهور الصيف فيما يتعلق بإنتاج الطاقة في جميع المحطات خلال مدة الدراسة (شكل 13 أ).

د- **فصل الخريف** : تحتفظ الغردقة بأعلى إمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الخريف مقارنةً بالمحطات الأخرى، إذ تبلغ 32.617 ميجاوات ساعة/سنوياً. هذا، ويجد التنويه لكون هذه الطاقة أعلى في الخريف من مثيلاتها في الربيع

والشتاء بنسبة زيادة تبلغ 5.6% و 8.0% لكلٍ من الفصلين بالتوالي، بينما تنخفض بنسبة 14.6% مقارنةً بالصيف في الغردقة. وتنخفض إمكانيات الطاقة عند منتصف الليل خلال فصل الخريف مقارنةً بالصيف في القصير والإسكندرية والسويس بنسبة انخفاض تبلغ 56.6% و 40.0% و 3.2% لكلٍ منها بالتوالي . بينما تبلغ 16.115 ميجاوات ساعة / سنوياً في أسوان فترتفع بنسبة 8.4% مقارنةً بفصل الصيف (شكل 12). ويماثل 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 2004/1995 (شكل13 أ).

2) إمكانيات طاقة الرياح الفصلية والشهرية والسنوية عند الظهيرة :

أ- **فصل الشتاء :** تتراوح إمكانية توليد الطاقة عند الظهيرة خلال فصل الشتاء بين 34.894 ميجاوات ساعة/سنوياً في محطة سيدي براني، وبين 10.508 ميجاوات ساعة/سنوياً في العريش، وهكذا تعادل إمكانيات الطاقة في سيدي براني أكثر من 3



شكل (12) : الكمية الفصلية والسنوية لطاقة الرياح كيلووات ساعة عند منتصف الليل وعند الظهيرة بمحطات الدراسة خلال الفترة 2004/1995.

أمثالها في العريش. كما ترتفع كمية الطاقة الناتجة من قوة الرياح في الغردقة بنسبة زيادة تبلغ 73.4% مقارنةً بالقصير وكلاهما ساحليتين على البحر الأحمر، وكذلك في أسوان بنسبة زيادة تبلغ 28.9% مقارنة بالفرافرة، وكلاهما من المحطات الداخلية (شكل 7). ويتميز شهر فبراير بين شهور الشتاء بكونه الأعلى نصيباً في إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة في جميع المحطات باستثناء سيدي براني "ديسمبر" (13ب) والسويس "يناير" (شكل 13 ج).

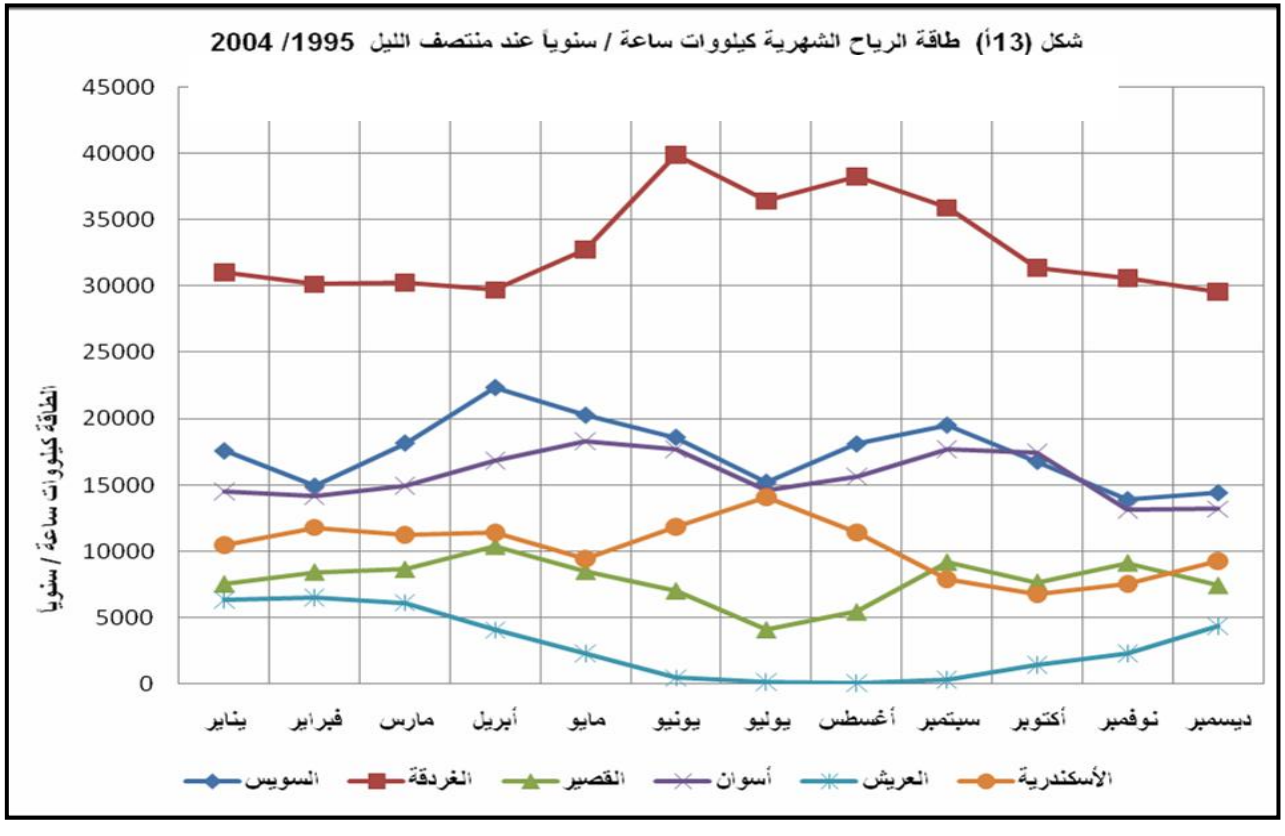
ب- **فصل الربيع** : تنخفض إمكانية طاقة الرياح في سيدي براني عند الظهيرة خلال فصل الربيع لتبلغ 32.390 ميجاوات ساعة/سنوياً لتنخفض بنسبة تبلغ 7.0% مقارنةً بالشتاء. بينما ترتفع في الغردقة لتبلغ 37.947 ميجاوات ساعة/سنوياً فتمثل الحد الأعلى بين المحطات بنسبة زيادة تبلغ 19.0% مقارنةً بالشتاء. كما ترتفع بنسبة زيادة تبلغ 39%، و28%،

و23.9%، و 21.8%، و 17.9% في كلٍ من الفرافرة 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 والفرافرة، مقابل الشتاء في سيدي براني فقط (شكل 12). وترتفع طاقة الرياح عند الظهيرة في شهر مارس في كلٍ من العريش والقصير والغردقة، وفي شهر أبريل في كلٍ من سيدي براني والفرافرة وأسوان ، وفي شهر مايو في السويس والإسكندرية (شكل 13 ب و شكل 13 ج).

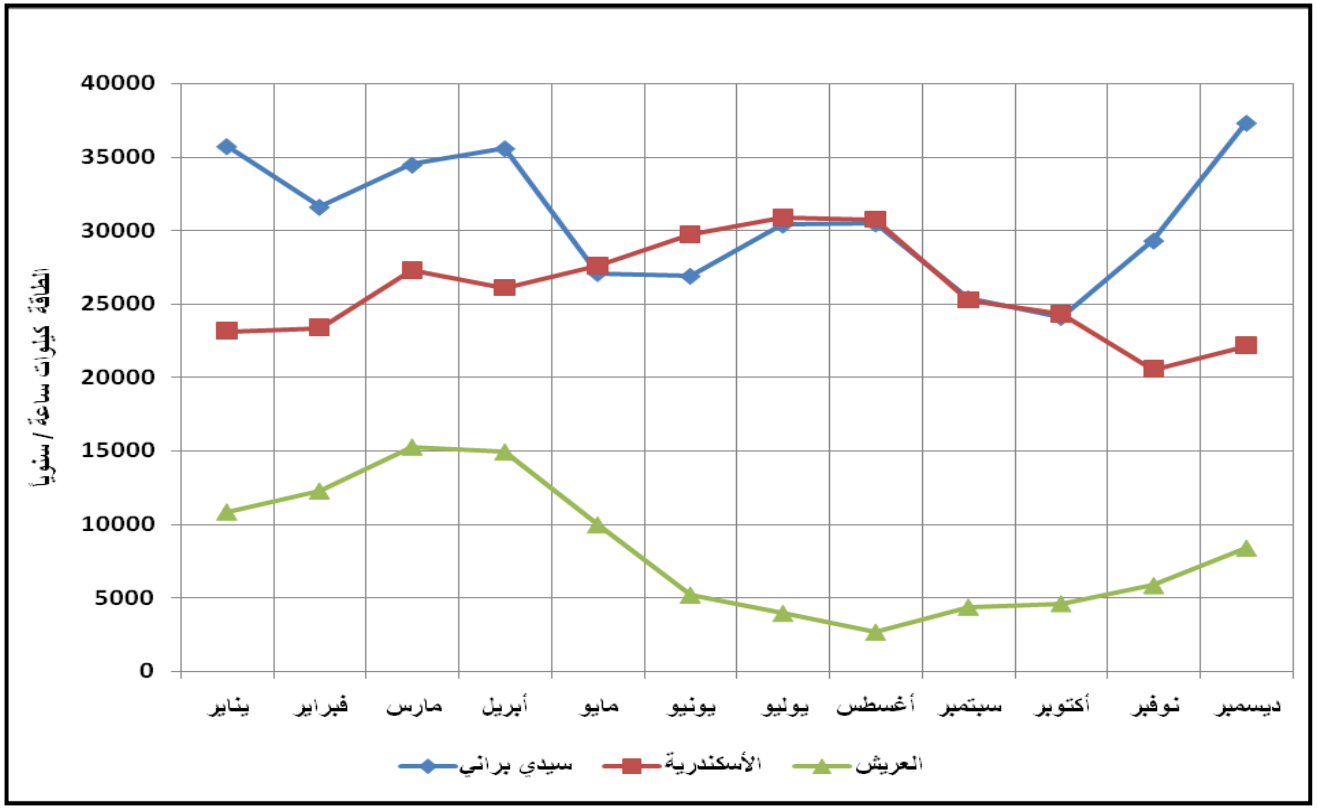
ج- **فصل الصيف** : يعتبر فصل الصيف هو أعلى فصول السنة فيما يتعلق بإمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح عند الظهيرة في كلٍ من الغردقة[1] وأسوان والإسكندرية (شكل 12) حيث تبلغ 44.737 ميجاوات ساعة/سنوياً، 27.372 ميجاوات ساعة/سنوياً، 30.457 ميجاوات ساعة/سنوياً بنسبة زيادة تبلغ 18% و 15.8% و 12.9% لكلٍ منها على التوالي مقارنةً بفصل الربيع . بينما تنخفض خلال فصل الصيف مقارنةً بالربيع بنسبة انخفاض تبلغ 18.7% و16% و9.7% و8.5% في كلٍ من السويس والقصير وسيدي براني والفرافرة على التوالي. وترتفع إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة في شهر يونيو في كلٍ من السويس والعريش والفرافرة، وفي شهر يوليو في سيدي براني والإسكندرية، وشهر أغسطس في القصير والغردقة وأسوان.

---

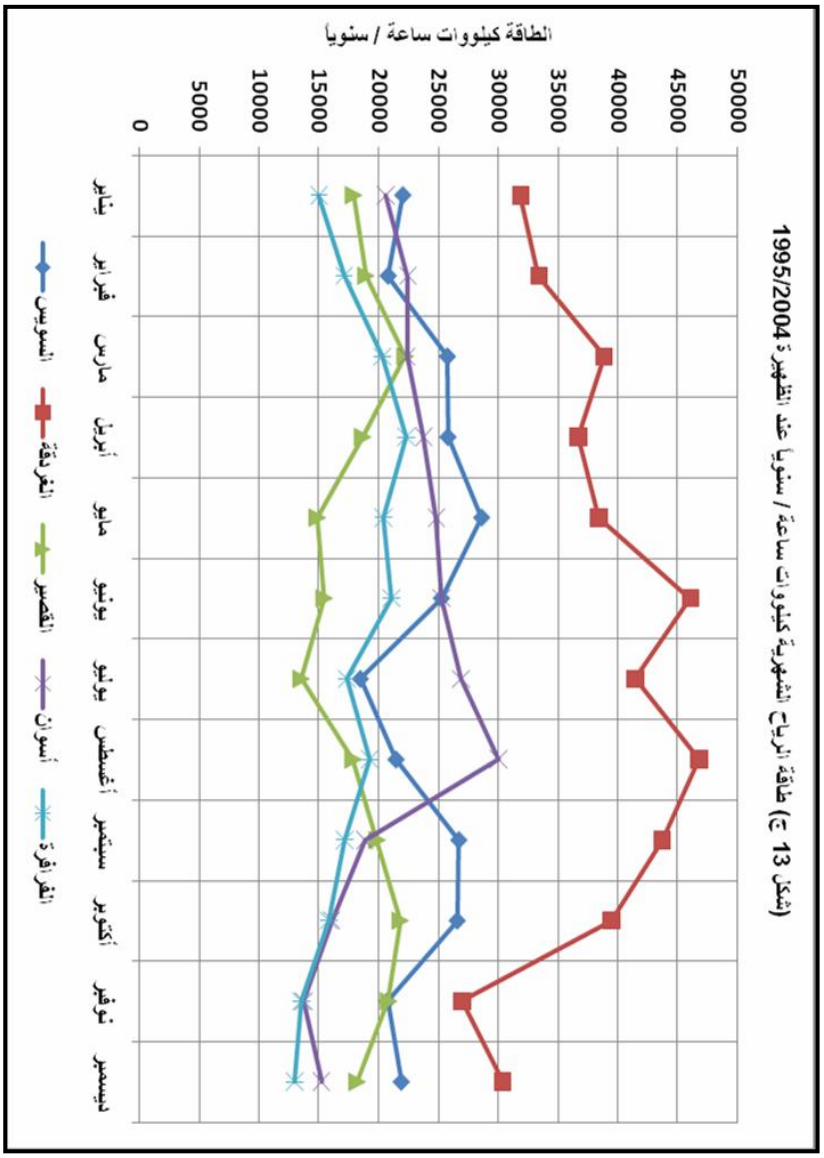
(1) بتحليل العلاقة الارتباطية بين سرعة الرياح وطاقة الرياح في محطة الغردقة لكونها تتمتع بأعلى إمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح ليلاً ونهاراً أتضح أن هذه العلاقة طردية قوية .



شكل (13أ) : طاقة الرياح الشهرية كيلووات ساعة / سنويا عند منتصف الليل 1995-2004.



شكل (13ب) : طاقة الرياح كيلووات ساعة / سنويا عند الظهيرة فى الساحل الشمالى 1995-2004.



شكل (13ج) : طاقة الرياح الشهرية كيلووات ساعة / سنوياً عند الظهيرة 1995-2004.

د- **فصل الخريف** : ترتفع إمكانيات طاقة الرياح عند الظهيرة خلال فصل الخريف في محطة القصير فقط وتبلغ 20.866 ميجاوات ساعة/سنوياً لتمثل حدها الأعلى على مدار فصول السنة، وبزيادة تبلغ نسبتها 33.4% مقارنة بالصيف. كما ترتفع بنسبة زيادة تبلغ 25.7% و 6.2% في كلٍ من العريش والسويس على التوالي مقارنةً بفصل الصيف. بينما تنخفض عند الظهيرة خلال فصل الخريف مقارنةً بالصيف بنسب انخفاض تبلغ 40.8% و32.3% و23.2% و19.2% و18% في كلٍ 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 13.405 ميجاوات ساعة/سنوياً، والسويس 26.734 ميجاوات ساعة/سنوياً والفرافرة 20.985 ميجاوات ساعة/سنوياً، وأخيراً يعتبر فصل الصيف هو الأعلى في محطات الغردقة وأسوان والإسكندرية (شكل12) .

المتوسط السنوي لإمكانيات طاقة الرياح ليلاً ونهاراً :

تلخص قيم المتوسط السنوي لإمكانيات طاقة الرياح[1] عند منتصف الليل خصائصها وتوزيعاتها على مدار الفصول الأربعة. إذ تتراوح بين 2.869 ميجاوات ساعة/سنوياً في العريش وبين 32.973 ميجاوات ساعة/سنوياً في الغردقة. وتعادل إمكانيات الطاقة السنوية المتاحة من الرياح عند منتصف الليل في الغردقة 1.9، و 2.2 ، و 3.2 ، و4.2 من مثيلاتها في كلٍ من السويس وأسوان والإسكندرية والقصير على التوالي، مما يعكس تميزها وإمكانياتها الواعدة مقارنةً بالمحطات الأخرى. هذا وجدير بالذكر أن، الإمكانيات السنوية لإنتاج طاقة الرياح ترتفع إجمالا 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 2004/1995، يتضح إنها أعلى في الأولى

---

(1) ترتفع إمكانيات توليد الطاقة من قوة الرياح سواء عند منتصف الليل أو عند الظهيرة على ارتفاع 85 متراً فوق سطح الأرض وفقاً لارتفاع التوربين المستخدم في هذه الدراسة مقارنةً بالطاقة الناتجة عن التوربين المستخدم في دراسة ميهوب وعزام (1997) على ارتفاع 25 متراً ، ودراسة الأسرج على ارتفاع 10 متراً (2000).

من الثانية في جميع المحطات لما عُرض من أسباب ترتبط بمسار سرعة الرياح على مدار ساعات اليوم تلك التي ترتبط بكثافة الإشعاع الشمسي، ودرجة التسخين للبابس والماء، وبالتالي توزيعات الضغط الجوي وشدة الانحدار البارومتري، وينعكس تأثير مجمل هذه العوامل في سرعة الرياح ومن ثم سرعة دوران أذرع التوربين التي تحدد قوة الرياح والطاقة الناتجة عنها (جدول 2).

جدول (2) : قيم المتوسطات الفصلية والإجمالي السنوي لطاقة الرياح عند منتصف الليل وعند الظهيرة (كيلووات ساعة/سنوياً) خلال مدة الدراسة 2004/1995.

التوقيت	المحطة	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	الإجمالي
منتصف الليل	الإسكندرية	31612.17	32189.39	37389.79	22283.18	123474.5
منتصف الليل	العريش	17204.05	12497.52	667.9	4061.48	34430.95
منتصف الليل	السويس	47009.4	60788.7	51973.6	50279.1	210050.8
منتصف الليل	القصير	23509.91	27632.77	16657.4	26089.47	93889.55
منتصف الليل	الغردقة	90647.03	92660.98	114517.7	97853.67	395679.4
منتصف الليل	أسوان	41932.38	50111.97	47945.95	48346.78	188337.1
التوقيت	**المحطة**	**الشتاء**	**الربيع**	**الصيف**	**الخريف**	**الإجمالي**
الظهيرة	براني	104682.9	97170.48	87779.18	78772.04	368404.6
الظهيرة	الإسكندرية	68676.56	80957.21	91371.36	70130.38	311135.5
الظهيرة	العريش	31526.82	40215.92	11780.37	14805.2	98328.31
الظهيرة	السويس	64726.35	80202.28	65184.51	69201.05	279314.2
الظهيرة	القصير	55095.7	55846.53	46913.39	62598	220453.6
الظهيرة	الغردقة	95523.85	113841.4	134213.7	110010.8	453589.8

الظهيرة	الفرافرة	45136.23	62957.53	57612.55	46567.49	212273.8
الظهيرة	أسوان	58210.19	70896.7	82117.48	48592.48	259816.9

المصدر: نتائج تحليل بيانات سرعة الرياح الساعية وتطبيق معادلات الطاقة على بيانات المحطات خلال مدة الدراسة 1995 – 2004.

النتائج :

1. ترتفع قيم المتوسط الفصلي لسرعة الرياح في إقليم الساحل الشرقي مقارنةً بالأقاليم الجغرافية الأخرى، إذ تتراوح بين 2.4 م/ث في الإسماعيلية (أدنى سرعة) وبين 5.2 م/ث في الغردقة (أعلى سرعة).
2. ترتفع محصلة جريان الرياح على سواحل البحر الأحمر وخليجي العقبة والسويس لتصل حدها الأعلى في الغردقة ونويبع، بينما تتمثل أقل محصلة لجريان الرياح في إقليم والواحات في الصحراء الغربية خاصة واحة سيوة.
3. تتمثل القمة الشهرية لسرعة للرياح في شهور فبراير ومارس ويونيو، بينما تنخفض السرعة إجمالا خلال شهور فصل الخريف .
4. تتميز الغردقة بأعلى قيم متوسط سنوي لسرعة الرياح عند منتصف الليل وتليها محطة أسوان.
5. 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.
6. ترتفع قيم متوسط سرعة الرياح عند الظهيرة مقارنةً بمنتصف الليل في جميع المحطات على مدار السنة.
7. تتراوح قيم المتوسط السنوي لسرعة الرياح عند الظهيرة بين 3.8 م/ث في العريش و 7.6 م/ث في الغردقة.
8. تتراوح طاقة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الشتاء بين 30.215 ميجاوات ساعة/سنوياً في محطة الغردقة كحد أقصى وبين 5.734 ميجاوات ساعة/سنوياً كحد أدنى في العريش. كما ترتفع في أسوان لتبلغ 13.977 ميجاوات ساعة/سنويا (ميجاوات = 1000 كيلووات).
9. ترتفع إمكانيات طاقة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الربيع نسبياً بمقارنتها بالشتاء بنسب تبلغ 29.3% في السويس، و19.5% في أسوان، و 17.5% في القصير.
10. تحتفظ الغردقة بأعلى إمكانيات طاقة الرياح عند منتصف الليل خلال فصل الصيف مقارنة بالمحطات الأخرى، إذ تبلغ 38.172 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.
11. تعادل إمكانيات الطاقة السنوية من قدرة الرياح عند منتصف الليل في الغردقة 1.9 ، و 2.2، و 3.2 ، و4.2 من مثيلاتها في كلٍ من السويس وأسوان والإسكندرية والقصير على التوالي، مما يعكس تفوقها وإمكانياتها الواعدة مقارنةً بالمحطات الأخرى. وترتفع الإمكانيات السنوية لإنتاج طاقة الرياح عند منتصف الليل في محطات الساحل الشرقي إجمالاً مقارنةً بالساحل الشمالي.
12. تتراوح طاقة الرياح عند الظهيرة خلال فصل الشتاء بين 34.894 ميجاوات ساعة/سنوياً في محطة سيدي براني، وبين 10.508 ميجاوات ساعة/سنوياً في العريش، وهكذا تعادل إمكانيات الطاقة في سيدي براني 3.3 مثلها في العريش. كما ترتفع في الغردقة مقارنةً بالقصير بنسبة زيادة تبلغ 73.4%. وترتفع أيضاً إمكانيات الطاقة في أسوان مقارنة بالفرافرة وكلاهما من المحطات الداخلية بنسبة زيادة تبلغ 28.9%.
13. 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.

14. 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.
15. تُعد مدينة أسوان المنطقة الواعدة الثانية فيما يتعلق بإمكانيات توليد الطاقة من الرياح، بالإضافة إلى سيدي براني على الساحل الشمالي. ويفتح ذلك أفاقاً واسعة أمام التنمية باستخدام الطاقة النظيفة والمتجددة في هذه المناطق السياحية.

التوصيات :

- إجراء المزيد من الأبحاث الجغرافية فيما يتعلق بسرعة الرياح وامكانيات 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 :

1. الأوبك : التقرير الإحصائي السنوي لعام 2004 .
2. الأوبك : تقرير الأمين العام السنوي لعام 2004 .
3. تريشر، روبرت (يوليو 2005) : حماية البيئة – ثلاثون عاماً من التقدم الأمريكي، مركز تكنولوجيا الرياح القومي، مختبر الطاقة المتجددة القومي، وزارة الخارجية الأمريكية.
4. الحسيني، فتحي (2000): دور الأرصاد الجوية في الطاقة الجديدة والمتجددة، مجلة الأرصاد ، ص ص 9 – 15 .
5. حنا، كامل (1978) : مناخ جمهورية مصر العربية، الهيئة العامة للأرصاد الجوية، القاهرة .
6. سالم، طارق زكريا (1993) : مناخ شبه جزيرة سيناء والساحل الشرقي لمصر – دراسة في الجغرافيا المناخية، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة الزقازيق .
7. شحادة، نعمان (1983) : المناخ العملي ، الجامعة الأردنية ، الأردن ، عمان .
8. علي، عبد القادر عبد العزيز (1993) : الغلاف الجوي والطقس والمناخ ، مترجم : ص . ز . بيري، وص . ي . شوري، المجلس الأعلى للثقافة ، مطابع الأميرية ، القاهرة .
9. فايد، يوسف عبد المجيد (1971) : جغرافية المناخ والنبات، دار النهضة العربية للطباعة والنشر، بيروت.
10. فايد، يوسف عبد المجيد وآخرون (1994) : مناخ مصر، دار النهضة العربية ، القاهرة .
11. الفقي، أحمد عبد الحميد (1999) : الرياح في مصر – دراسة في الجغرافيا المناخية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
12. الهيئة العامة للأرصاد الجوية (1996) : الأطلس المناخي لمصر، الهيئة المصرية العامة للمساحة، مصر.

13. الهيئة العامة للأرصاد الجوية، جمهورية مصر العربية : بيانات مناخية غير منشورة لمحطات مناخية مختارة للفترة 1980 – 2004 م.
14. وزارة الكهرباء والطاقة، جمهورية مصر العربية : التقرير السنوي لوزارة الكهرباء والطاقة عام 2005 – 2006 م.
15. يوسف، عبد العزيز عبد اللطيف (1998) : التباين المناخي بين السواحل المصرية – دراسة جغرافية، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد الثاني والثلاثون، ص 205 – 244.
16. يوسف، عبد العزيز عبد اللطيف (2000) : 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. Benefits of Wind Energy.comWWW.Enviromental
16. Power.comWWW.Wind
17. Renewable Energy.comWWW.Wind

* * *

القوى العاملة بمصنع الغزل والنسيج بالمحلة الكبرى "دراسة جغرافية"

د. المتولى السعيد أحمد أحمد*