

## دراسة محاكاة مزرعة ريحية في عرض الشاطئ السوري

الدكتور يوسف ياخور\*

الدكتورة نجوى حمد\*\*

علي محمد محمد\*\*\*

(تاريخ الإيداع 23 / 10 / 2011. قُبِلَ للنشر في 21 / 11 / 2011)

### □ ملخص □

تهدف الدراسة إلى تحديد مدى الاستفادة من الرياح المتاحة في المنطقة البحرية جنوب مدينة طرطوس كمصدر للطاقة يلبي الاحتياجات المتزايدة في القطر العربي السوري. ونظراً لغياب القياسات الحقلية للرياح فوق سطح البحر في تلك المنطقة الأمر الذي شكل عائقاً كبيراً للعديد من الدراسات، فقد تم حساب المتوسط السنوي لسرعة الرياح فوق البحر رياضياً انطلاقاً من بيانات محطة الرصد على اليابسة جنوب طرطوس. تضمنت الدراسة ستة احتمالات لإنشاء مزرعة ريحية في عرض شاطئ مدينة طرطوس، استخدم فيها توربينات رياح باستطاعة 5MW, 3MW و مسافات مختلفة تفصل بين الصفوف. و قد أظهرت الدراسة بأنه يمكن للمنطقة المقترحة جنوب مدينة طرطوس أن تقدم متوسط استطاعة سنوي يقارب الـ 976MW باستخدام توربينات 5MW موزعة صفيحاً بفاصل 5.6D. وقد أنجزت الحسابات باستخدام البرامج EXEL, GUI MATLAB 2010, WASP2010.

الكلمات المفتاحية: مزارع ريحية، سرعة الرياح، عرض الشاطئ، كثافة الطاقة الريحية، متوسط الاستطاعة.

\* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

\*\* مدرسة - قسم الفيزياء البحرية - المعهد العالي للبحوث البحرية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

\*\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

## Simulating a Wind Farm on Syrian Offshore

Dr .Yusuf Yahor<sup>\*</sup>  
Dr. Najwa Hamad<sup>\*\*</sup>  
Ali Mohamad<sup>\*\*\*</sup>

(Received 23 / 10 / 2011. Accepted 21 / 11 / 2011)

### □ ABSTRACT □

The study seeks to determine the extent of utilizing of wind availability in the coastal region south of Tartous city as an energy source for covering the increasing need for power in Syria. Due to the lack of field measurements of the wind above the surface of the sea in that region, which causes a big hindrance for several studies, the annual average wind speed above the sea has been calculated mathematically based on the data obtained from the monitoring station on land south of Tartous. This study has included six probabilities for establishing a wind farm offshore Tartous city, using different wind turbines (5 MW, 3 MW) and different distances between the rows. This study has also made notable references to the ability of the selected area south of Tartous to give an annual average capacity of approximately 976MW by using turbines 5MW distributed in array form, and the interval distance between the rows is 5.6D. The calculations have been made using the programs ( EXEL, GUI MATLAB 2010, WAsP2010).

**Key words:** Wind Farm, Wind Speed, offshore, Density of the wind energy, Average power.

---

<sup>\*</sup>Professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*</sup>Assistant Professor, Department of Marine Physics, Higher Institute of Marine Research, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*\*</sup>Postgraduate Student, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

شهد الاهتمام بطاقة الرياح تطوراً كبيراً خلال العقد الأخيرين ، وقد ترافق ذلك مع ازدياد الطلب العالمي على الطاقة، وتقلب أسعار المشتقات النفطية إضافة إلى محدوديتها و احتمالية نضوبها [1] . وقد سعت الدول الكبرى المتقدمة في مجال طاقة الرياح إلى التخلص من الآثار السلبية التي ترتبت عن إنشاء المزارع الريحية على اليابسة، لذا اتجهت على مراحل إلى إنشائها في المناطق الجبلية بعيداً عن المناطق المأهولة فاصطدمت بصعوبة الوصول وازدياد الكلفة ( $8.1 \text{ EUR cents/kWh}$ ) ، مما جعلها تتجه إلى المناطق الساحلية. وقد أدى ذلك إلى تحقيق أخفض كلفة في سعر الكيلو واط الساعي ( $4.6 \text{ EUR cents/kWh}$ ) لكن على حساب المساحات السياحية التي يمكن استغلالها وهي ذات مردود اقتصادي كبير. وبالنتيجة وجدت تلك الدول أنه لا مفر من إنشاء تلك المزارع في عرض البحر وقد حققت كلفة مقبولة جداً ( $5.9 \text{ EUR cents/kWh}$ ) [2] . لكن ذلك لا يشكل مبرراً كافياً لهذا الاتجاه والدوافع الحقيقية وراء ذلك يمكن أن تلخص بالنقاط الآتية [3,4] :

- 1- الاقتراب من الحالة المثالية للمزارع الريحية ونقص سرعات الرياح العالية والمساحات الواسعة المكشوفة، وهذان العاملان، دون أدنى شك، يوفران أبرز الحوافز الضرورية لأية صناعة ريحية .
  - 2- تتوضع البحار ضمن منطقة صنف الخشونة صفر ، عامل الخشونة ( $Z_0$ ) ( الارتفاع بالمتر الذي تكون عنده سرعة الرياح معدومة) لهذا النوع من المسطحات المائية هو  $0.0002\text{m}$  (بينما يساوي  $0.01\text{m}$  لأكثر المناطق مثالية على اليابسة / المطارات / ) .
  - 3- سطح الاضطراب المنخفض فوق البحر يجعل تزايد سرعة الرياح مع الارتفاع أكبر بكثير مما هو عليه على اليابسة؛ وهذا يقلل من الارتفاع الاقتصادي المطلوب للبرج، ومن حمولات التعب .
  - 4- البعد عن المناطق المأهولة يتيح التخلص من مشكلة الضجيج و رجفات الظل .
  - 5- إمكانية أكبر للتوسع في استطاعة المحطة بتتصيب توربينات جديدة إن توفرت الأعماق الملائمة .
- ومن خلال الدراسة العامة للمناطق البحرية في سورية بالاستعانة بالمديرية العامة للموانئ نلاحظ أمرين:
- أولاً: تعد المنطقة البحرية جنوب مدينة طرطوس أنسب الأماكن لإنشاء المزرعة الريحية البحرية في سورية حيث تكون الأعماق  $40\text{m}$  كحد أعظمي على بعد  $8\text{km}$  عن الشاطئ . بالمقابل تكون معظم المناطق البحرية الأخرى في سورية ذات أعماق كبيرة تزيد عن  $40\text{m}$  على امتداد مسافات قريبة جداً من الشاطئ .
- ثانياً: يلاحظ غياب القياسات الحقلية للرياح في المناطق البحرية السورية رغم الحاجة الماسة لتلك البيانات في أغلب الدراسات. ورغم الكلفة العالية للقياسات الحقلية إلا أنها تعد الأمل للحصول على نتائج أكثر وضوحاً ودقة. لذلك يعد استخدام خرائط الطقس ( $\text{synoptic weather maps}$ ) أو البيانات المفيدة المستخلصة من محطة رصد قريبة موجودة على اليابسة أفضل الوسائل المتاحة كبديل عن القياسات الحقلية [5] .

**أهمية البحث وأهدافه:**

تتجلى أهمية البحث في تناوله لموضوع طاقة الرياح في عرض الشاطئ السوري بغية استثمارها في إنتاج الطاقة الكهربائية، خصوصاً وأن نتائج الدراسات العالمية أظهرت بأن الميدان الرئيس والقابلية الأكبر للنمو في مجالات الطاقات المتجددة ستكون عبر مزارع توربينات الرياح في عرض البحر .

ويهدف هذا البحث إلى حساب المتوسط السنوي لسرعة الرياح بغية دراسة إمكانية الاستفادة من طاقة الرياح المتاحة فوق البحر في منطقة جنوب طرطوس (لأنها أنسب الأماكن لإنشاء مزرعة ريحية بحرية) كمصدر يلبي الاحتياجات المتزايدة للقطر العربي السوري من الطاقة.

### طرائق البحث ومواده:

تم استخدام بيانات الرياح خلال الفترة (1979-1988) المأخوذة من محطة الرصد الجوي عند الطرف الجنوبي لمدينة طرطوس وفق الإحداثيات (34° 52' 10" N, 35° 53' 12" E). وبما أن سرعة الرياح فوق البحر تعتمد على مجموعة من العوامل أهمها: الارتفاع المانومتري، والسرعة الاحتكاكية، والخشونة السطحية ودرجات الحرارة بين الهواء والبحر؛ فقد صححت بيانات محطة الرصد وفق ثلاث مراحل أساسية بهدف حساب المتوسط السنوي لسرعة الرياح في عرض الشاطئ جنوب مدينة طرطوس:

أولاً: فيما يتعلق بالارتفاع المانومتري فإن مقياس الرياح منسوب على حامل ارتفاعه 9.5m فوق بناء محطة الرصد المرتفع أربعة أمتار عن سطح الأرض، أما ارتفاع الأنيمومتر فهو 13.7magl فهذا يفرض علينا استخدام المعادلة (1) التي تدعى بقانون القدرة بغية الحصول على سرعة الرياح عند الارتفاع القياسي 10m [5],[6].

$$\frac{V_w}{V_{w,10}} = \left(\frac{Z}{10}\right)^P \quad (1)$$

$V_w$ : سرعة الرياح،  $V_{w,10}$ : سرعة الرياح على ارتفاع 10 m،  $Z$ : الارتفاع بالمتر،  $P = 1/7$

ثانياً: صححت بيانات المحطة من أجل عامل الموقع الذي يراعي التغيرات في السرعة والاتجاه التي يخضع لها حقل الرياح عندما يقترب من اليابسة لأسباب عديدة أهمها تدرج الضغط المحلي، وتأثير الموقع (التوضع)، والقرب من الشريط الساحلي ... إلخ. بعبارة أخرى يمكن القول بأن الرياح في عرض الشاطئ تنحرف عندما تصل إلى اليابسة فتصنع زاوية تقدر بحوالي (20° - 15°) باتجاه الضغط المنخفض، بينما فوق الأرض المتوسطة الخشونة فإن الزاوية المصنوعة تكون بحدود (30° - 40°) [6,7].

تقع محطة الرصد عند الطرف الجنوبي من مدينة طرطوس على بعد 150m من شاطئ البحر، وبالتالي تعد محطة على اليابسة مجاورة لخط الساحل؛ لذا يكون عامل تصحيح الموقع مساوياً للواحد.

ثالثاً: تصحيح البيانات من أجل الفارق الحراري بين البحر والهواء، وهنا تعد التأثيرات الناتجة عن الاختلاف في درجة الحرارة بين البحر والهواء على كل من سرعة الرياح واتجاهها ضئيلة وعديمة الأهمية لأن الفوارق الحرارية المطلقة بين الهواء والبحر صغيرة ( $|\Delta T| \leq 5^\circ C$ ).

بعد ذلك عوضت البيانات المصححة التي تم الحصول عليها في المعادلة (2) والتي تتيح استخدام البيانات المصححة على اليابسة لحساب سرعة الرياح في عرض الشاطئ، وهي تمثل الصيغة النهائية للمعادلة الخطية المعدلة للاستخدام التشغيلي في عرض الشاطئ:

$$V_{w,sea} = 1.62 + 1.17V_{w,land} \quad (2)$$

إن هذه الطريقة من أنجح الطرق لحساب سرعة الرياح فوق البحر بشكل رياضي انطلاقاً من بيانات محطة الرصد على اليابسة. عالمياً أتبع الأسلوب ذاته في حساب سرعة الرياح فوق منطقة البحيرات العظمى وقد أعطى نتائج متوافقة جداً مع القياسات الحقلية في تلك المنطقة، وكانت نتائج هذه الطريقة متوافقة مع نتائج الدراسة التي قارنت

بين البيانات الريحية لمحطة الرصد الطافية لـ NOAA مع بيانات ثماني محطات ساحلية . جدير بالذكر أن هذه الطريقة تصلح للاستخدام بشكل طبيعي وموثوق على نطاق يبعد (16Km) عن محطة الرصد على اليابسة [5,6]. استخدمت القيمة الناتجة لمتوسط سرعة الرياح السنوي في حساب متوسط كثافة الطاقة المتاحة فوق المنطقة البحرية جنوب طرطوس وقورنت مع القيمة المقابلة المحسوبة فوق اليابسة. ومن ثم درست الاحتمالات المتاحة لإنشاء المزعة الريحية البحرية في عرض شاطئ مدينة طرطوس واعتمد أفضلها لحساب المتوسط السنوي للاستطاعة المنتجة من تلك المنطقة باستخدام البرامج ( WASP 2010 , EXEL ,MATLAB 2010 ) .

## النتائج والمناقشة :

### 1- تقدير حقل الرياح في المنطقة البحرية جنوب مدينة طرطوس

يظهر الجدول (1) التغيرات السنوية والشهرية واليومية لمتوسط سرعة الرياح كتابع لساعات اليوم وأشهر السنة عند الارتفاع القياسي 13.7m على اليابسة ( 13.7 magl )، لقد أخذت ساعات اليوم بحسب التوقيت العالمي (Universal Time Coordinated : UTC) وهو مكافئ لتوقيت غرينتش (GMT) .

الجدول (1) التغيرات السنوية و الشهرية و اليومية لمتوسط سرعة الرياح مقدرة بـ (m/sec) عند الارتفاع ( 13.7 magl )

UTC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
0	4.5	4.5	4	3.3	2.4	2.2	1.9	1.8	1.4	2.2	3.2	4.1	3.0
3	4.2	4.4	4.1	3.2	2.4	2.3	2.2	2.1	1.4	2.5	3.2	4	3.0
6	4.2	4.2	3.7	3.2	2.7	2.6	2.5	2.3	1.3	2.1	3.1	3.7	3.0
9	4.8	5	4.9	4.6	4.2	3.7	3.5	3.4	3	3.8	3.8	4.4	4.1
12	5.1	5.1	5	4.3	4.1	3.5	3.2	3.5	3.3	4	4.1	4.4	4.1
15	4.5	4.7	4.3	3.7	3.1	2.4	2.4	2.5	2.1	2.7	3	3.9	3.3
18	4.6	4.4	3.7	3.1	2	1.5	1.6	1.6	0.9	1.9	3.2	4.2	2.7
21	4.6	4.7	4	3.3	2.1	1.5	1.5	1.5	1.1	2.3	3.3	4.2	2.8
day	4.6	4.6	4.2	3.6	2.9	2.5	2.4	2.3	1.8	2.7	3.4	4.1	3.2

يمثل الجدول (2) التغيرات السنوية والشهرية واليومية لمتوسط سرعة الرياح كتابع لساعات اليوم وأشهر السنة عند الارتفاع القياسي (10 magl) بعد تطبيق المعادلة (1) لتصحيح بيانات محطة الرصد على اليابسة من أجل الارتفاع .

الجدول (2) التغيرات السنوية و الشهرية و اليومية لمتوسط سرعة الرياح مقدرة بـ (m/sec) المصححة عند الارتفاع القياسي ( 10 magl )

UTC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
0	4.3	4.3	3.8	3.2	2.3	2.1	1.8	1.7	1.3	2.1	3.1	3.9	2.8
3	4.0	4.2	3.9	3.1	2.3	2.2	2.1	2.0	1.3	2.4	3.1	3.8	2.9
6	4.0	4.0	3.5	3.1	2.6	2.5	2.4	2.2	1.2	2.0	3.0	3.5	2.8
9	4.6	4.8	4.7	4.4	4.0	3.5	3.3	3.3	2.9	3.6	3.6	4.2	3.9

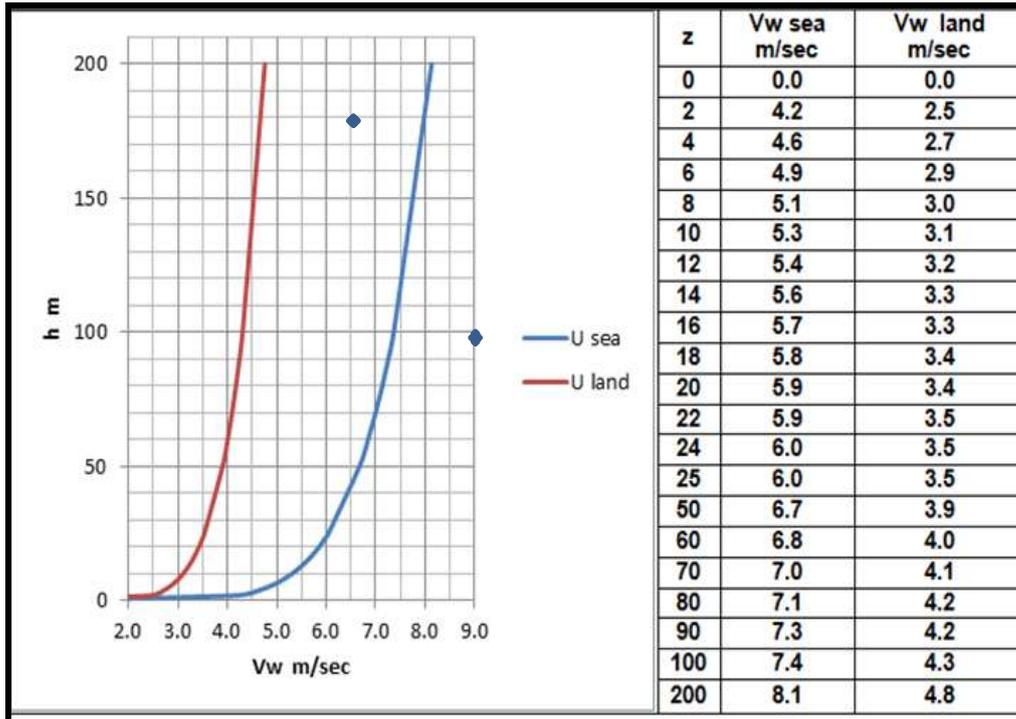
12	4.9	4.9	4.8	4.1	3.9	3.3	3.1	3.3	3.2	3.8	3.9	4.2	4.0
15	4.3	4.5	4.1	3.5	3.0	2.3	2.3	2.4	2.0	2.6	2.9	3.7	3.1
18	4.4	4.2	3.5	3.0	1.9	1.4	1.5	1.5	0.9	1.8	3.1	4.0	2.6
21	4.4	4.5	3.8	3.2	2.0	1.4	1.4	1.4	1.1	2.2	3.2	4.0	2.7
Day	4.4	4.4	4.0	3.4	2.7	2.4	2.2	2.2	1.7	2.6	3.2	3.9	3.1

يظهر الجدول (3) التغيرات السنوية والشهرية واليومية لمتوسط سرعة الرياح كتابع لساعات اليوم وأشهر السنة عند الارتفاع القياسي 10m فوق سطح البحر ( 10 masl) بعد تعويض بيانات الرياح فوق اليابسة عند الارتفاع القياسي ( 10 magl) في المعادلة (2) :

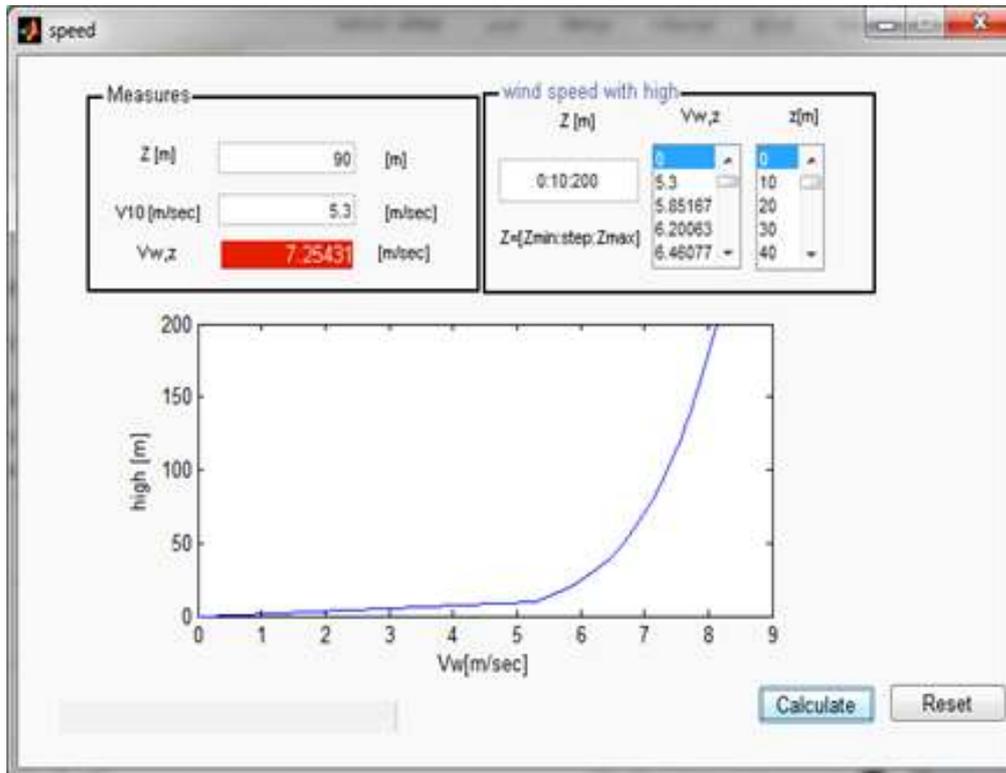
الجدول (3) التغيرات السنوية و الشهرية و اليومية لمتوسط سرعة الرياح مقدرة ب (m/sec) المحسوبة عند الارتفاع القياسي (10 masl)

UTC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
0	6.7	6.7	6.1	5.3	4.3	4.1	3.7	3.6	3.2	4.1	5.2	6.2	4.9
3	6.3	6.5	6.2	5.2	4.3	4.2	4.1	4.0	3.2	4.4	5.2	6.1	5.0
6	6.3	6.3	5.8	5.2	4.6	4.5	4.4	4.2	3.1	4.0	5.1	5.8	4.9
9	7.0	7.2	7.1	6.8	6.3	5.8	5.5	5.4	5.0	5.9	5.9	6.5	6.2
12	7.3	7.3	7.2	6.4	6.2	5.5	5.2	5.5	5.3	6.1	6.2	6.5	6.2
15	6.7	6.9	6.4	5.8	5.1	4.3	4.3	4.4	4.0	4.6	5.0	6.0	5.3
18	6.8	6.5	5.8	5.1	3.9	3.3	3.4	3.4	2.6	3.7	5.2	6.3	4.7
21	6.8	6.9	6.1	5.3	4.0	3.3	3.3	3.3	2.9	4.2	5.3	6.3	4.8
Day	6.7	6.8	6.3	5.6	4.8	4.4	4.2	4.2	3.6	4.6	5.4	6.2	5.3

إن القيمة 5.3 masl التي تم الحصول عليها في الجدول (3) تشكل المتوسط السنوي لسرعة الرياح عند ارتفاع 10m فوق المنطقة البحرية جنوب طرطوس ، وتُجدر الإشارة بأنه حتى لو أعطى مقياس سرعة الرياح فوق اليابسة قيمة معدومة فهذا لا يعني حكماً بأن سرعة الرياح فوق البحر ستكون معدومة. يبين الشكل (1) منحنى قيم سرعة الرياح على اليابسة وفوق البحر عند ارتفاعات (0-200) m والتي قد حُسبت بالاستعانة بالنتائج الموجودة في الجدول (3). وقد تم تصميم برنامج خاص باستخدام GUI MATLAB يتيح تنفيذ التصحيحات المشار إليها سابقاً وحساب سرعة الرياح فوق البحر عند أي ارتفاع، ورسم بروفييل سرعة الرياح كتابع للارتفاع كما هو موضح في الشكل (2) .



الشكل (1) بيانات المتوسط السنوي لسرعة الرياح لمدينة طرطوس فوق اليابسة و البحر عند ارتفاعات مختلفة



الشكل (2) برنامج حساب سرعة الرياح فوق البحر باستخدام GUI MATLAB

## 2- متوسط كثافة الطاقة المتاحة جنوب مدينة طرطوس فوق اليابسة و البحر

نظراً لعدم توفر سلسلة قياسات لسرعات الرياح سواء عند الموضع الذي نريد نصب عنفة ريحية فيه أو عند الارتفاع الملائم فوق سطح الأرض الذي يمثل ارتفاع محور العنفة ، لذا فقد تم حساب متوسط كثافة الطاقة باعتبار أن سرعة الرياح المقاسة تتبع لتوزيع ويبيل والذي يعد وسيلة مفيدة لتمثيل وصياغة التوزيع التكراري لسرعات الرياح بشكل محكم . يعبر رياضياً عن ذلك بالمعادلة (3) [10] :

$$F(V_w) = \frac{K}{A} \left( \frac{V_w}{A} \right)^{K-1} \exp \left( - \left( \frac{V_w}{A} \right)^K \right) \quad (3)$$

.  $F(V_w)$  : تابع الكثافة الاحتمالي لويبل وهو يعطي تكرار حدوث سرعة الرياح  $V_w$  .

.  $A$  : معامل القياس ( وهو يملك قيمة قريبة من قيمة متوسط سرعات الرياح ) .

.  $K$  : معامل الشكل .

حُسِبَت المقادير المميزة لتوزيع ويبيل من المعادلات (5)،(4) التي تربط بارامتر الشكل و بارامتر القياس لتوزيع ويبيل بقيمة سرعة الرياح الوسطية و التي تعطى بالصيغ الآتية :

$$\bar{V}_w = A \left( 0.568 + \frac{0.434}{K} \right)^{\frac{1}{K}} \quad (4)$$

$$\bar{V}_w = A \cdot F_u(K) \quad (5)$$

إن قيمة  $F_u(K)$  ذات تغير بسيط ويمكن اعتبارها مساوية للقيمة 0.888 [10].

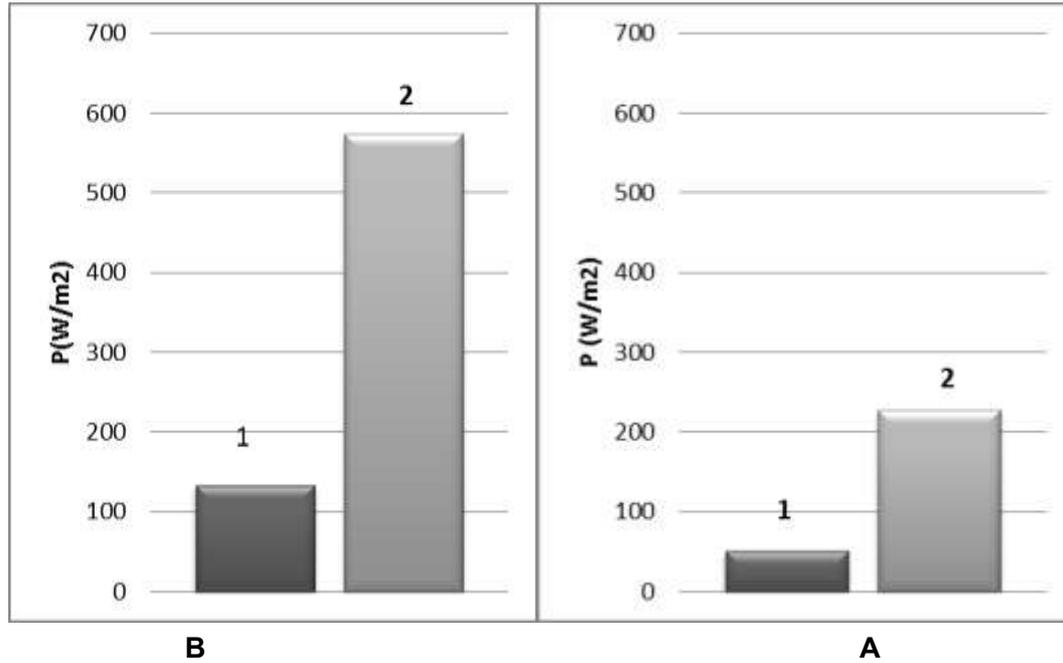
عُوضت القيم الناتجة في برنامج الـ WASP10 للحصول على متوسط كثافة استطاعة الرياح المتاحة كما هو

موضح في الجدول (4) :

الجدول (4) بارامترات توزيع ويبيل و متوسط كثافة الطاقة فوق محطة الرصد على اليابسة وفوق البحر

	H (m)	Vw(m/s)	A(m/s)	K	P(W/m2)
Land	10	3.1	3.49	1.52	51
Sea	10	5.3	5.968	1.62	228
Land	90	4.3	4.82	1.52	134
Sea	90	7.3	8.221	1.66	574

أظهرت النتائج بأن متوسط كثافة الطاقة المتاحة فوق البحر سواء عند الارتفاع القياسي أو عند ارتفاع محور العنفة في كل الأحوال سيكون أكبر بكثير مما هو عليه فوق اليابسة كما يتضح في الشكل (3) ، وهذا يعد من أبرز المبررات للاتجاه نحو إنشاء مزارع الرياح في المناطق البحرية .



الشكل (3) مقارنة بين كثافة الطاقة فوق محطة الرصد على اليابسة (الرمز 1) و فوق البحر (الرمز 2) على ارتفاع 90m (B) ، على ارتفاع 10m (A)

### 3- الطاقة المنتجة

تتغير الطاقة المنتجة بتغير طاقة الرياح التي تصدم الجزء الدوار للعنفة الريحية، ومن الشائع استخدام سرعة الرياح عند محور العنفة كمرجع للاستجابة الطاقية للعنفة. يطلق على الطاقة الناتجة كتابع لسرعة الرياح عند محور التوربين منحنى الاستطاعة [10]. لقد تم حساب متوسط الاستطاعة الناتج عن العنفة الريحية بحال تنصيبها في عرض الشاطئ جنوب مدينة طرطوس باستخدام المعادلة (6) :

$$P = \frac{P_{max}}{a_2 - a_1} (Gk(a_2) - Gk(a_1) - \exp(-a_3^k)) \quad (6)$$

$Gk(a)$  : الطاقة الوسطى وتعطى من جداول خاصة بدلالة بارمترى توزع ويبيل ( $A, K$ ) .

$a_1$  : تمثل النسبة بين سرعة إقلاع العنفة و بارامتر القياس لتوزع ويبيل .

$a_2$  : تساوي النسبة بين السرعة الإسمية وبارامتر القياس لتوزع ويبيل .

**ملاحظة** : يمكن إهمال الحد الأخير من المعادلة (6) لأن سرعات الرياح العالية التي يجب إيقاف العنفة عندها

تحدث بشكل قليل وغير منتظم .

تتوضع التوربينات في المزرعة الريحية بشكل نموذجي ضمن صفوف متعامدة مع اتجاه الرياح السائدة، وقد

حُسِبَ عدد التوربينات ضمن الصف باستخدام المعادلة (7) :

$$N'_{trow} = \frac{D_{row}}{D_{cw}} + 1 \quad (7)$$

$N'_{trow}$  : عدد التوربينات ضمن الصف ،  $D_{row}$  : طول الصف ،  $D_{cw}$  : التباعد التجريبي بين

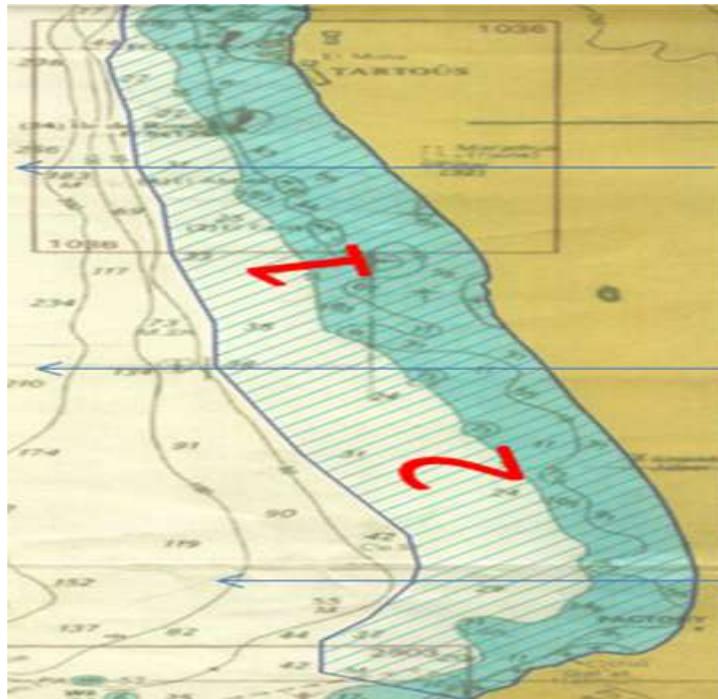
التوربينات ضمن الصف .

قرب ناتج عدد التوربينات بعد تطبيق المعادلة (7) إلى أقرب رقم صحيح لكي يمثل العدد الفعلي للتوربينات

$N_{trow}$  ضمن الصف الواحد وحُسِبَت المبادعة التوربينية الفعلية بالاعتماد على المعادلة (8) :

$$D_{cw} = \frac{D_{row}}{N_{trow} - 1} \quad (8)$$

لقد قُسمَت المنطقة البحرية المتاحة لتنصيب التوربينات إلى قسمين : الأول يبعد عن جزيرة أرواد 2.7Km و بمساحة ( 13Km X 5Km ) بينما يبعد القسم الثاني عن الأول مسافة 770m ( أي ما يعادل ستة أضعاف قطر الدوار لتوربين رياح باستطاعة 5MW ) وعن الحدود اللبنانية مسافة 3.4Km وبمساحة قدرها ( 17.5Km X 5Km ) . تجب الإشارة إلى أن جميع المناطق التي استخدمت كانت بعمق 40 m كحد أقصى، وعلى بعد تقريبي 8Km عن الشاطئ كما هو مبين في الشكل (4).



الشكل (4) يظهر الأعماق المتاحة للمنطقة المختارة لإنشاء مزرعة ريحية بحرية جنوب طرطوس

حُوكِيت المزرعة الريحية البحرية باستخدام ست حالات أساسية وهي:

أولاً: استُخدمت توربينات رياح ذات المواصفات: (استطاعة: 5MW، ارتفاع البرج: 90m، قطر الدوار

(D) = 126m ، موزعة على شكل صفوف بفاصل 13.2D .

ثانياً: استُخدمت توربينات 5MW أيضاً ولكن موزعة بشكل شطرنجي بدلاً من التوزع المصفوفي .

ثالثاً: استُخدمت توربينات رياح ذات المواصفات: (استطاعة: 3MW، ارتفاع البرج: 80m، قطر الدوار

(D) = 90m ) وحافظنا على مسافة فاصلة بين الصفوف مساوية إلى 13.2D .

رابعاً: استُخدمت توربينات رياح ذات استطاعة 5MW وحُقِّصَ الفاصل بين الصفوف إلى 5.6D .

خامساً: استُخدمت توربينات رياح ذات استطاعة 5MW وتمت زيادة الفاصل بين الصفوف إلى 6.614D .

سادساً: استُخدمت توربينات رياح ذات استطاعة 5MW ولكن مع زيادة المسافة الفاصلة بين صفوف التوربينات حتى 7.9D. وفي جميع الحالات التي أوردناها قد تمت المحافظة على مسافة فاصلة 4D بين التوربينات ضمن الصف.

طبقت هذه السيناريوهات المفترضة على القسم الأول من المنطقة المتاحة و تم حساب السرعة ومتوسط كثافة الطاقة وقطر المنطقة الذيلية لكل صف من الصفوف اعتماداً على نموذج فرانسين المعدل [8,9] ، كما حُسيب المتوسط السنوي للطاقة المنتجة وعدد التوربينات اللازمة من أجل كل حالة من الحالات السابقة ومن ثم طبق أفضل هذه السيناريوهات على القسم الثاني من المنطقة بهدف حساب المتوسط السنوي الكلي للطاقة المنتجة من المنطقة البحرية جنوب طرطوس .

ومن جميع الحالات المذكورة أعلاه يمكن أن نلخص النتائج بما يأتي :

1- إن متوسط الاستطاعة الناتج عن تطبيق الحالة الأولى يساوي تقريباً 241.37MW وهذا يحتاج إلى عدد من التوربينات مقداره 104 توربينات .

2- بعد تطبيق الحالة الثانية انخفض عدد التوربينات بمقدار 30.7% مقارنة مع الحالة الأولى علماً أن نوعية التوربينات بقيت ذاتها؛ وهذا أدى إلى خفض متوسط الاستطاعة الناتج حتى القيمة 159.42 MW وهو أقل بحوالي 34% عن الحالة الأولى. وبعبارة أخرى يمكننا القول: إن التوزيع المصفوفي للتوربينات يعد أفضل من التوزيع الشطرنجي في المنطقة البحرية جنوب طرطوس.

3- أظهرت النتائج في الحالة الثالثة ازدياد عدد التوربينات المنصبة ضمن واحدة المساحة حيث بلغ 222 توربين والسبب هو انخفاض أبعاد التوربين (أي إن عدد التوربينات المنصبة قد زاد بنسبة 53.15% مقارنة بالحالة الأولى). أما متوسط الاستطاعة الناتج فكان 248.8MW وهو أكبر من الحالة الأولى بحوالي 2.98% . وعلى الرغم من أن هذا المتوسط لم يكن بالمقدار الذي نطمح إليه مقارنة بالعدد الكبير للتوربينات المستخدمة إلا أنه كان كافياً للتخلص من حالة الشك حول إمكانية استخدام توربينات 3MW بدلاً من توربينات 5MW .

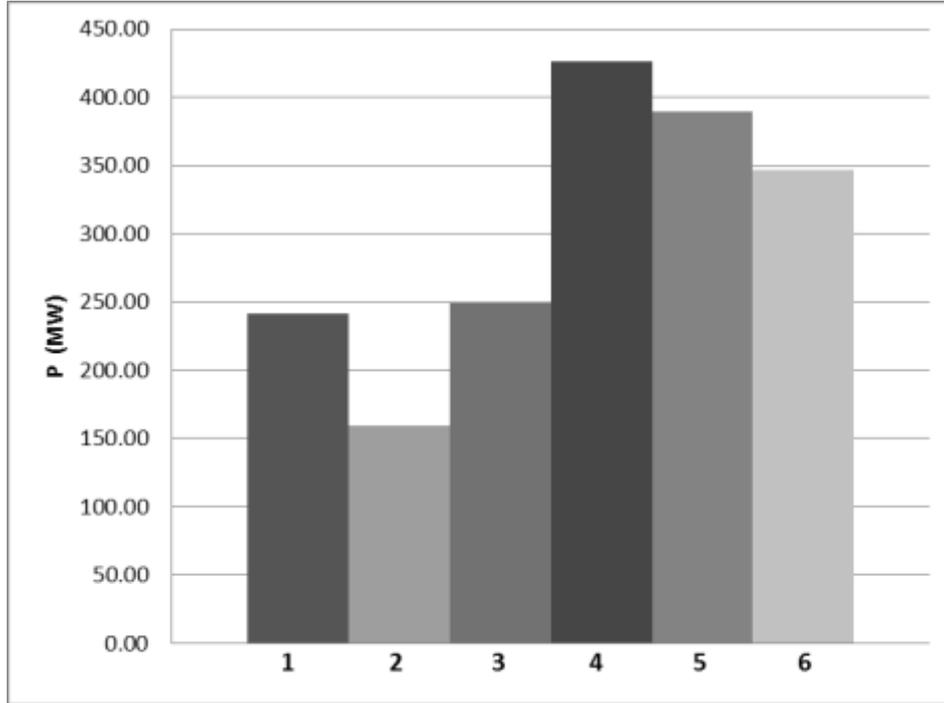
4- بعد تطبيق الحالة الرابعة تبين أن متوسط الاستطاعة الناتج هو 426.21MW وهذا يحتاج لإنتاجه إلى 208 توربينات ذات استطاعة (5MW) ، وبالرغم من وجود التأثيرات الذيلية في هذه الحالة إلا أن متوسط الاستطاعة الناتج كان مقبولاً إلى حد كبير حيث إنه قد ازداد بنسبة 43.37% مقارنة بالحالة الأولى. أما الزيادة في عدد التوربينات المنصبة ضمن واحدة المساحة فبلغت 50% . تجدر الإشارة إلا أن سرعة الرياح في المنطقة الذيلية تعود إلى قيمها الطبيعية بعد مسافة تقدر بخمسة أضعاف قطر الدوار، ولا يعد تنصيب التوربين مجدداً عند أقل من هذا الفاصل .

5- بتطبيق الحالة الخامسة كان عدد التوربينات التي يمكن تنصيبها هو 182 توربين وهو أقل من عددها في الحالة الرابعة بحوالي 12.5% ، تنتج هذه التوربينات في ذلك الموقع متوسط استطاعة يقدر بـ 389.77 MW ( أي أقل بحوالي 8.5% عن الحالة الرابعة) . يلاحظ أيضاً أن متوسط الاستطاعة الناتج هنا قد زاد بمقدار 38% مقارنة بالحالة الأولى .

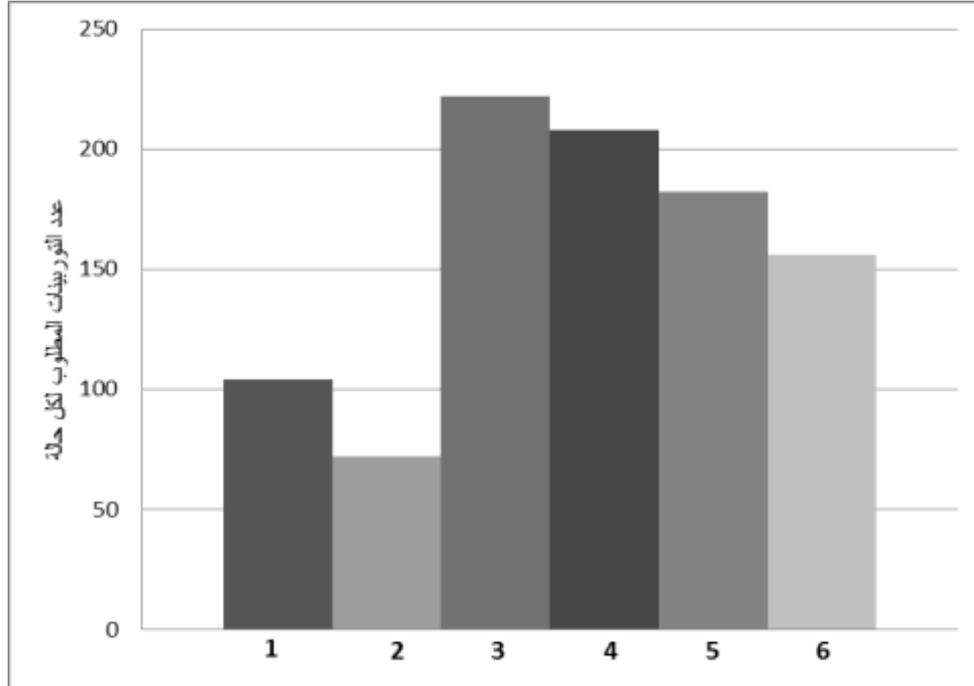
6- في الحالة السادسة كان متوسط الاستطاعة الناتج هو 346.48MW وهذا يعد أقل من القيمة الناتجة عن تطبيق الحالة الرابعة بمقدار 18.71% وأقل بحوالي 11.1% عن الحالة الخامسة. إن هذا المتوسط يحتاج لإنتاجه

إلى 156 توربين، وهو بدوره أقل من العدد المطلوب للحالة الخامسة بمقدار 14.3% و بمقدار 25% عن الحالة الرابعة .

يمثل الشكلان (6)،(5) متوسط الاستطاعة الناتج، وعدد التوربينات المطلوب من أجل كل حالة من الحالات الست السابقة التي قد تمت محاكاتها.



الشكل (5) متوسط الاستطاعة الناتجة عن كل حالة محاكاة لسيناريوهات المزرعة الريحية في المنطقة الأولى جنوب مدينة طرطوس



الشكل (6) عدد التوربينات المطلوبة لإنتاج متوسط الاستطاعة من أجل كل حالة

ونتيجة لما تقدم يمكننا القول: إن الحالة الرابعة قد أعطت أفضل النتائج من أجل المزرعة الريحية البحرية في طرطوس لأنها أمنت استغلالاً كاملاً للمساحة المتاحة بأفضل ما يمكن، كما قللت أيضاً من التأثيرات الذيلية بين الصفوف. وبتطبيق السيناريو الرابع على القسم الثاني من المنطقة البحرية ( توربينات باستطاعة 5MW موزعة على شكل صفوف متباعدة بمقدار 5.6D ، وذات تباعد توربيني 4D ) كان المتوسط السنوي للاستطاعة مساوياً لـ 540 MW ، و إذا أضيف ذلك إلى المتوسط السنوي للاستطاعة الناتج عن القسم الأول فإن متوسط الاستطاعة الكلية الناتج عن المنطقة المقترحة لإنشاء المزرعة الريحية جنوب طرطوس سيكون مساوياً لـ 976 MW .

### الاستنتاجات والتوصيات :

من خلال النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث تمكن الإشارة إلى النقاط الآتية :

1- إن تقويم حقل الرياح فوق البحر باستخدام النموذج الرياضي يعد أسلوباً مناسباً للمناطق البحرية السورية فله درجة دقة مقبولة، خصوصاً وأن هذا الأسلوب قد تم اختباره في عدة مناطق عالمية ذات ظروف متشابهة إلى حد كبير، و قد أعطى نتائج متوافقة جداً مع القياسات الحقلية مما يتيح إمكانية التخلص من العائق الأكبر المتعلق بالكلفة العالية التي تفرضها تلك الاختبارات الحقلية، وسيشكل مرتكزاً أساسياً للعديد من الدراسات البحرية في سورية.

2- تتيح المنطقة المقترحة لإقامة المزرعة الريحية جنوب طرطوس مصدراً للطاقة مكماً لما هو متاح من مصادر أخرى بديلة وتقليدية، ومن الممكن أن يشكل رقماً مميزاً في ميزان الطاقة السوري لتلبية الاحتياجات المتزايدة.

يوصى أن نأخذ بالاعتبار إمكانية الاستفادة من حوالي 1000 MW متوفرة عبر طاقة الرياح في عرض الشاطئ وذلك من إنشاء مزارع ريحية في الموقع المدروس جنوب مدينة طرطوس . ويُعدُّ من المفيد أيضاً تركيبُ العوامات الطافية لقياس سرعات الرياح حقلياً في عرض البحر وخصوصاً في المنطقة المقترحة، والعمل على دراسة إمكانية تقليل ضياعات نقل القدرة الكهربائية عبر الكبلات البحرية إلى محطات التحويل وإلى أماكن الاستخدام على اليابسة أيضاً.

### المراجع:

- [1]. *Expert Group Study by International Energy Agency( IEA),and Wind Energy Scenarios up to 2030 By the European Wind Energy Association.*
- [2]. Julie Beauchemin؛Jeni Cheater؛Aoi Horiuchi؛Mihai Florin Necula , *From the sustainability of wind energy A Global approach to wind power*, Supervised by Stefan Brendstrup Environmental Studies, University of Aarhus, Spring 2004,130.
- [3]. Ferguson, M.C. (Editor): OPTI-OWECS,Vol. 4, *A Typical Design Solution for an Offshore Wind Energy Conversion System*, Final Report, Study for the Commission of EU, JOR3-CT95,Delft University of Technology, 1998, 87.
- [4]. Larsen, S. *Wind Resource in the Baltic Sea, EU-report*, JOU2-CT, 1993, 93-325
- [5]. *Shore protection Manual*.Costal Engineering Research Center .Vicksburg. MS, U.S.A.Vol.1, 1984.
- [6]. HSU, S.A. *Models for estimating offshore winds from onshore metrological measurements. Boundary-Layer Meteor*, 1981, 341-351 & *Coorection of land- based wind data for offshore application : Afurther evaluation .JPhys .Oceanograph*, 1986, 390-394.
- [7]. Resio, D.T.; Vincent,C.L. *Estimation of winds over the Great Lakes* .Journal of the Waterway . Port ,Coastal and Ocean Division, 1977, 265.

- [8]. Fernando Borbón Guillén . *Development of a design tool for offshore wind farm layout optimization, Consideration of wake effects and electrical infrastructure costs and losses*. 06 August , 2010,132.
- [9]. Frandsen, S. et al. *Analytical modelling of wind speed deficit in large offshore wind farms*. Wind Energy. 2006,39-53.
- [10]. وزارة الدفاع ، المديرية العامة للأرصاد الجوية ، *أطلس الرياح في الجمهورية العربية السورية*

## قائمة بالرموز المستخدمة

الارتفاع بالمتري فوق سطح الأرض (m)	magl
الارتفاع بالمتري فوق سطح البحر (m)	masl
الارتفاع (m)	Z
معامل الخشونة السطحية (m)	Zo
الفارق الحراري بين الرياح والبحر تقاس بـ °C	ΔT
متوسط سرعة الرياح فوق اليابسة (m/s)	Vw,land
متوسط سرعة الرياح فوق البحر (m/s)	Vw,sea
سرعة الرياح عند الارتفاع القياسي 10m (m/s)	Vw,10
توقيت غرينيتش	GMT
التوقيت العالمي المتناسق (يساوي GMT )	UTC
الطاقة الوسطى (تحتسب بدلالة بارامتر القياس وبارامتر الشكل من الجداول الملحقة)	Gk(a)
شمال خط العرض	N
خط الطول غرباً	W
بارامتر القياس لتوزيع ويبيل (m/s)	A
بارامتر الشكل لتوزيع ويبيل .	K
متوسط سرعة الرياح (m/s)	Vw
تابع الكثافة الاحتمالي لتوزيع ويبيل .	F(Vw)
القيمة الوسطى من عاملي ويبيل .	Fu(K)
الاستطاعة العظمى للعنفة الريحية (MW)	$P_{max}$
متوسط الاستطاعة المنتجة (MW)	E
National Oceanic and Atmospheric Administration	NOAA
عدد التوربينات التجريبي ضمن الصف	$N'_{trow}$
العدد الفعلي للتوربينات ضمن الصف	$N_{trow}$
طول الصف	$D_{row}$
قطر دوار التوربين	D
التباعد التجريبي بين التوربينات ضمن الصف	$D'_{cw}$
التباعد الفعلي بين التوربينات ضمن الصف	$D_{cw}$