

موديل رياضي لحساب طاقة الرياح وتحديد مؤشرات المزارع الريحية

الدكتور ياسر حسن*

(تاريخ الإيداع 12 / 1 / 2012. قُبل للنشر في 3 / 4 / 2012)

□ ملخص □

بسبب تزايد النشاط البشري في كافة مجالات الحياة، ازداد الطلب على مصادر الطاقة الإحفورية الآيلة إلى الزوال، يوماً ما وخصوصاً مع ازدياد أثارها البيئية السيئة، كزيادة انبعاث الغازات الضارة، ومنها ثاني أوكسيد الكربون ودوره في مشكلة الانحباس الحراري، لذلك كان لابد من البحث عن طاقة دائمة، ونظيفة مما استدعى التفكير بمصادر بديلة للطاقة تلك التي لا تتضب ومن أهمها الطاقة الشمسية وما ينتج عنها من طاقة الرياح وغيرها من أنواع الطاقات المتجددة التي تسمح بتغطية الطلب المتزايد على الطاقة مع أقل التأثيرات السلبية على البيئة، لذلك فإن هذا البحث يعتبر من الدراسات المتعلقة بإمكانية الاستفادة من طاقة الرياح، حيث يعرض طريقة لحساب احتياطي تلك الطاقة انطلاقاً من توافر المعطيات الكاملة عن أنظمة الرياح في منطقة معينة كما يوفر إمكانية تحديد المؤثرات الرئيسية للمزارع الريحية عليه يكون جهداً متواضعاً من الجهود المكرسة للاستفادة من الطاقات البديلة في وقت أصبحنا أحوج ما نكون إليها.

الكلمات المفتاحية : طاقة الرياح، العنف الريحية- المزرعة الريحية- سرعة الرياح- الاستطاعة الاسمية التصميمية- أنظمة الرياح- سرعة الذيل التصميمية --

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

Mathematical Model to Calculate the Wind Power Reserve And identify Indicators of Wind Farms

Dr. Yaser Hasan *

(Received 12 / 1 / 2011. Accepted 3 / 4 / 2012)

□ ABSTRACT □

With the increasing human activity in significantly different walks of life, the demand of energy is the increasing and despite the fact that traditional sources of energy is still prevailing at the present time. The reserve sources of fossil fuel agent to force add to the growing negative environmental impacts resulting from the use of fuels such as increased emission of harmful gases, including CO₂ carbon dioxide and its role in the problem of global warming. All this requires thinking about alternative sources of energy that is inexhaustible and the most important solar energy and the resulting wind power and other types of renewable energies, which would cover the growing demand for energy with less impact negative effects on the environment. So, this research is one of the studies of the potential benefit of wind energy, where a method for a reserve account that energy from the available data full systems. Wind in a certain area also provides the ability to determine the effects the main station wind power probably be modest effort of the efforts devoted to the use of alternative energy at a time when we urgently need to be.

Keywords: Wind Power, Wind Turbine, Wind Farms, Wind Speed, Nominal Capacity, Wind Systems, Tip-Speed Ratio λ .

* assistant professor· Faculty of Mechanical Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia-Syria .

مقدمة :

تعتبر الطاقة الشمسية من أكبر مصادر الطاقات المتجددة والتي يمكن تحويلها، والاستفادة منها بواسطة تجهيزات ومعدات هندسية خاصة ، أضف إلى ذلك فأن هذه الطاقة وما تنشره من حرارة الشمس على الأرض واختلافها من مكان لآخر تتسبب في حدوث الرياح وهي تحمل احتياطياً كبيراً من الطاقة المتجددة، حيث يمكن استخدامها بإيجاد التجهيزات والمعدات اللازمة والمناسبة لذلك [1] .

إن البحث عن مصادر جديدة للطاقة يعد من الطرق الرئيسة لمعالجة ازدياد الطلب على الطاقة وخصوصاً مع ازدياد عدد السكان في العالم ومحاولات التطوير الجارية في كثير من الدول حيث تدل الإحصائيات على أن استهلاك الطاقة سيزداد بمقدار مرتين تقريباً خلال نصف القرن القادم [2]. وبالرغم من أن استخدام الطاقة النووية قد يكون أحد الحلول المطروحة فإنه غالباً ما يترافق بصعوبات تقنية ومخاطر كبيرة على البيئة، زد على ذلك أن محطات الطاقة التقليدية تلك التي تستخدم طاقة الوقود الأحفوري تعتبر أيضاً مصدراً من مصادر التلوث وانبعاث الغازات الضارة في الجو والتي تتسبب في ظواهر بيئية ليست أقل ضرراً من غيرها ، حيث يزداد طرح ثاني أكسيد الكربون CO_2 خلال العقود الأربعة القادمة بمقدار الضعف تقريباً. لذلك يرى كثير من المهتمين بشؤون الطاقة والبيئة أن التحول إلى الطاقات المتجددة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الكواكب وطاقة باطن الأرض وغيرها) سيكون له دور كبير في تغطية الطلب على الطاقة مع المحافظة على البيئة والمناخ بشكل أفضل، غير أن عملية التحول هذه قضية غير سهلة تتطلب تضامراً كل الجهود لإيجاد أسلوب مختلف في إنتاج الطاقة وتوفير كل مستلزمات عملية الإنتاج المطلوبة. إن توافر الطاقات المتجددة لا يستهان بها إلا أن توفرها غير مستقر على مدار السنة لذلك تنشأ مسألة إمكانية تخزين تلك الطاقات الناتجة أو ترتيب عملية الاستفادة من أشكالها المختلفة حسب توافرها في الأوقات المختلفة .

أهمية البحث وأهدافه :

تأتي أهمية هذا البحث من دراسته للطاقات المتجددة (طاقة الرياح) التي يمكن الاستفادة منها فعلياً في بلدنا، خصوصاً بوجود مناطق تتمتع بمناخ رياح دائمة حيث تصل وسطياً سرعة الرياح على مدار السنة إلى 4 m/sec [3]. ويهدف البحث إلى دراسة الطاقة الموجودة في المزارع الريفية، وإيجاد موديل رياضي لذلك بالإضافة إلى دراسة التوزيع الأمثل للعتبات الريفية في هذه المزارع للاستفادة من أعلى مردود لها.

طرائق البحث ومواده :

يعتمد البحث على الاستفادة من الطاقة الحركية للتيارات الهوائية المتغيرة السرعة والاتجاه، وذلك باستخدام طرق البحث والتحليل العلمي والقوانين التي تدرس حركة الموائع (الرياح) والمبادئ الأساسية للقدرة والطاقة والاستطاعة والمردود وإيجاد العلاقات الرياضية النظرية والتجريبية التي تمكننا من حساب الطاقة الموجودة بالرياح، وذلك حسب الارتفاعات المختلفة والسرعات المتغيرة مع الزمن.

النتائج والمناقشة:

تحديد المعطيات عن أنظمة الرياح :

لدراسة الطاقة في مزرعة ريحية (احتياطي الطاقة) يلزم معرفة مجموعة بارامترات عن الرياح وذلك في نقطة معينة وعلى مساحة محددة [4] وهي:

- الإحداثيات الجغرافية لهذه المزرعة، وارتفاعها عن سطح البحر .
- أنواع العوائق الطبيعية والصناعية القريبة منها، والتي تشكل مصدات للرياح.
- خواص الرياح، واتجاهاتها باستخدام محطات رصد، وتنبؤات جوية بالمزرعة الريحية.
- السرعة الوسطية للرياح (m/s) بالساعة واليوم والشهر والسنة.
- توزيع الرياح حسب الاتجاهات الأساسية والفرعية وإنشاء مخطط لزهرة الرياح.
- ربط محطات الرصد والتنبؤات الجوية مع محطات الرصد والتنبؤات الأرضية لأخذ المعلومات عن الرياح بشكل مستمر .
- جمع وتحليل هذه المعلومات بحيث يعاد تقييمها ودراستها على ارتفاع (10 m)، وتؤخذ القيم الوسطية لها مع الزمن.

حساب الاحتياطي الكلي لطاقة الرياح :

تعتمد هذه الطريقة في الحساب على توافر المعطيات الكاملة عن الرياح، وعلى المبادئ الأساسية للاستفادة من حركتها، حيث تعطى الطاقة الحركية المحمولة مع الرياح المتحركة بالسرعة V عبر مقطع عرضي A مقدرة بالجول (J) وفق العلاقة:

$$e = 0.5 m \cdot V^2 \quad (1)$$

حيث: m كتلة الهواء المتحركة بسرعة V عبر ذلك المقطع في الثانية (kg/sec) وتعطى بالعلاقة :

$$m = \rho_a \cdot A \cdot V \quad (2)$$

أما إستطاعة تيار الهواء فتعطى بالواط (W) وبالعلاقة التالية :

$$N_a = 0.5 \rho_a \cdot A \cdot V^3 \quad (3)$$

حيث: $\rho_a = 1.226 \text{ kg/m}^3$ كثافة الهواء في الشروط النظامية ($p = 101.3 \text{ kpa}$, $t = 15 \text{ c}^\circ$) ومن أجل تقييم الإمكانيات الاحتياطية لطاقة الرياح من منطقة إلى أخرى لا بد من تحديد الاستطاعة النوعية وطاقة تيارات الهواء (أي الاحتياطي الكلي لطاقة الرياح بشكل نظري) حيث تعطى الاستطاعة النوعية لتيار الهواء مساوية للطاقة التي تحملها الرياح في وحدة الزمن عبر وحدة المساحة للسطح العمودي على اتجاه سرعة الرياح بالعلاقة التالية:

$$N_{a.nom}^{(v(t))} = 0.5 \cdot \rho_a \cdot V_{(t)}^3 \quad (4)$$

أما الاحتياطي الكلي للطاقة خلال زمن قدره T مقدرة بـ $\left(\frac{W \cdot h}{m^2}\right)$ فهي تحدد بالعلاقة :

$$E_{a.nom}^{(T)} = \int_0^T N_{a.nom}^{(v(t))} \cdot dt = 0.5 \rho_a \int_0^T V_{(t)}^3 \cdot dt \quad (5)$$

وهنا لا تتوقف الطاقة الحركية التي تحملها الرياح على سرعتها فقط وإنما أيضاً على درجة حرارة الهواء والضغط الجوي السائدين.

تتعلق كثافة الهواء بالارتفاع ودرجة الحرارة، وهي تتغير مع تغير هذه البارامترات، لكن وفي بعض الدول يتم الاستفادة من قدرة الريح في المناطق المنخفضة، وعلى سبيل المثال ألمانيا حيث يتم تشيد توربينات الرياح في هذه المناطق، حيث يبلغ الارتفاع في هذه المناطق حوالي 600 m، في حين أن دولاً أخرى، مثل إيطاليا على سبيل المثال تركب توربينات الرياح على ارتفاع حتى 1500 m في نطاق Abrucci [5].

من المعروف أن كثافة الهواء تتناقص مع الارتفاع ولذلك فإن منحنى الاستطاعة المعين من قبل المصنع والمنسوب لمستوى سطح البحر، يجب أن يصحح وفقاً لكثافة الهواء السائدة على موقع التركيب. يتم حساب الانخفاض في كثافة الهواء الوسطية وهو التابع لدرجة الحرارة عند الارتفاع صفر من خلال معادلة بارومتري Boltzmann كما يلي:

$$\rho_H = \rho_0 \frac{T_0}{273.15} \frac{p_H}{p_0}$$

حيث أن:

ρ_H = كثافة الهواء عند ارتفاع H فوق مستوى البحر الوسطي.

ρ_0 = كثافة الهواء عند مستوى البحر الوسطي ($\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$).

$T_0 = 288.15 \text{ K}$ عند 15°C عند مستوى سطح البحر.

P_0 = ضغط الهواء عند مستوى سطح البحر ($P_0 = 1013.3 \text{ mbar}$).

t = درجة الحرارة عند الارتفاع H بالدرجات المئوية.

ومن أجل العنفات الريحية القابلة للتحكم بزاوية الخطوة يتم تصحيح الضغط وفق الشرط المعياري التالي:

$$P_H = P_0 \cdot \frac{\rho_H}{\rho_0}$$

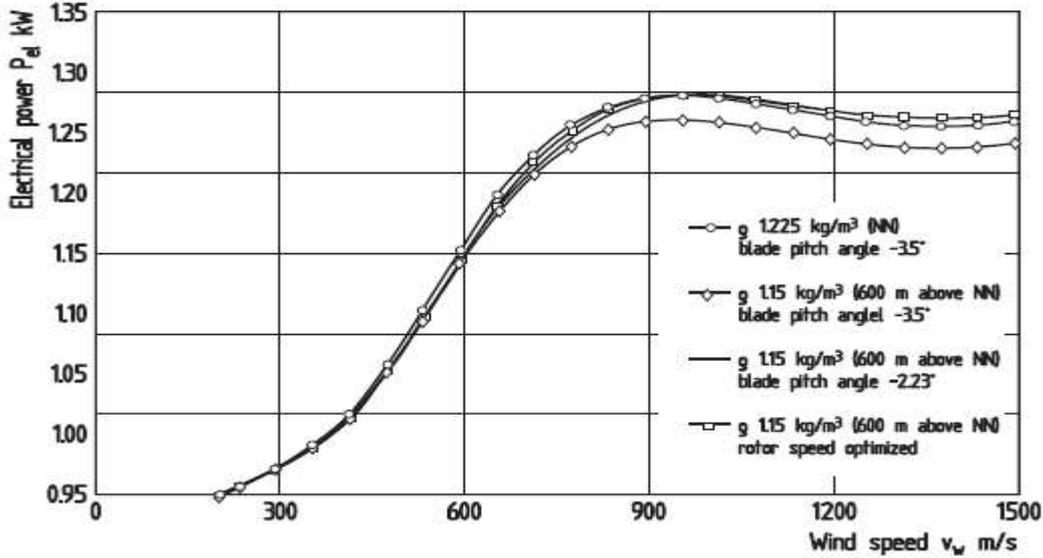
ويلاحظ الانخفاض في كثافة الهواء على ارتفاع مئات الأمتار ، وأيضاً مع تغير مجال درجة الحرارة بين الصيف والشتاء، ولا يمكن إهمال تأثيره على أداء التوربين، ووفقاً للمعادلة، فإن تأثير كثافة الهواء على خرج الطاقة سيكون خطياً، أي أن التغير في الطاقة متناسب بشكل مباشر مع كثافة الهواء، مهما كان التصميم التقني للتوربين الريحي عالي الجودة.

إن طاقة التوربينات الريحية القابلة للتحكم بزاوية الخطوة تنخفض على طول المجال الكلي لسرعات الريح، ويظهر الانفصال عند سرعة الرياح نفسها لكن الطاقة هنا أقل من الطاقة عند مستوى سطح البحر بالتناسب مع كثافة الهواء. إن انخفاض الطاقة يمكن أن يعوض جزئياً بتصحيح زاوية انحراف الشفرة ولكن هذا يزيح الطاقة العظمى المقدره باتجاه سرعات الرياح العظمى الشكل (1). إن إزاحة منحنى الاستطاعة باتجاه سرعات الريح العظمى يؤثر تبعاً في سرعة الدوار المثلى مع مراعاة إنتاج القدرة حتى في حالة الانزياح الكبير نسبياً في منحنى الاستطاعة، وهنا يجب أن تصحح أيضاً سرعة الدوار لتحقيق تكيف مثالي مع ارتفاع الموقع.

كمثال على ذلك الشكل (1) والذي هو على ارتفاع حوالي 600 m فإن التكيف السابق له التأثيرات التالية على

إنتاج القدرة: إنتاج القدرة عند مستوى سطح البحر الوسطي % 100

بعد التصحيح لكثافة الهواء من دون تعديل تقني 94 %
مع زاوية انحراف الشفرة المصححة 96 %
مع تصحيح كل من زاوية انحراف الشفرة وسرعة الدوار المصححتين 98 %

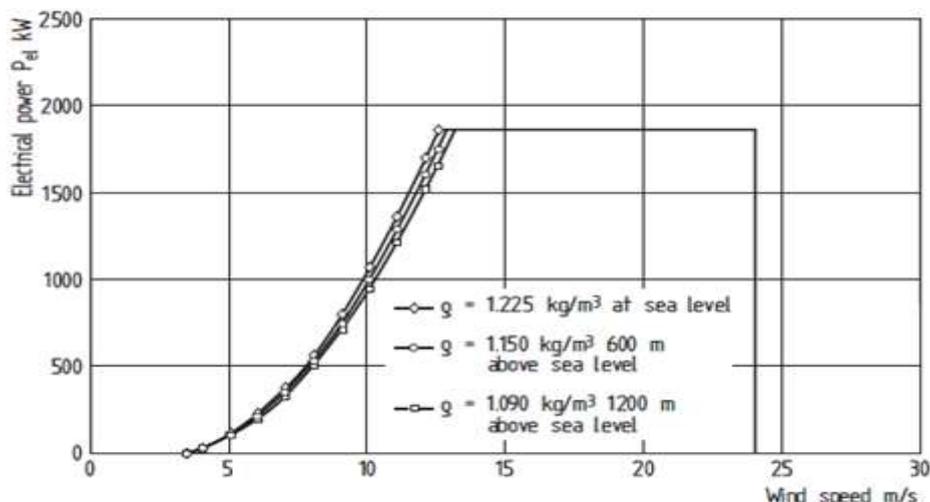


الشكل (1) يمثل تغير الاستطاعة مع تغير كثافة الهواء حسب الارتفاع للعنفات ذات التحكم بزاوية الخطوة وذلك بتعديل سرعة الدوار

تدل هذه الأرقام بوضوح على أن حساب إنتاج القدرة السنوية من دون تصحيح كثافة الهواء عند ارتفاع 600 m إلى عدم التقدير الصحيح للطاقة. إن عدم استخدام تطبيقات كثافة الهواء الصحيحة والتي تؤثر بشكل كبير على إنتاج القدرة السنوية تؤدي إلى زيادة التكاليف وبصدد هذا الموضوع، فإن الاختلافات في كثافة الهواء بين الصيف والشتاء يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار بشكل خاص في البلدان الحارة، أما في حالة العنفات مع زاوية انحراف ثابتة للشفرة فإنه لا يوجد إمكانية لتعديل زاوية انحراف الشفرة عند التشغيل صيفاً أو شتاءً ولذلك فإن هذا الأمر يترافق بشكل كبير مع ضياعات الطاقة المحددة، وذلك إما في الصيف أو الشتاء. في حين أن التعديل الأفضل ممكن فقط مع تحكم فعال بالانفصال (التوقف).

في العنفات ذات التحكم بانحراف الشفرة، فإن تأثير انخفاض كثافة الهواء مع زيادة ارتفاع الموقع ليس خطيراً كما في حالة العنفات ذات التحكم بالانفصال، في حين أنه في مجال الحمل الكامل فإن القيمة المرجعية الوحيدة لنظام التحكم هي الطاقة الكهربائية السنوية ولذلك لا يوجد عجز طاقة في هذا المجال. وفي مجال الحمل الجزئي ينخفض منحنى الاستطاعة في البداية بالتناسب مع كثافة الهواء كما هو الحال في التوربينات ذات التحكم بالانفصال. وإن النقطة الأساسية للطاقة المقدرة تنزاح باتجاه سرعة الرياح الأعلى الشكل (2). والتصحيح التقريبي يعطى بالصيغة التالية :

$$v_H = v_0 \cdot \left(\frac{\rho_H}{\rho_0} \right)^{1/3}$$



الشكل (2) يمثل تغير الاستطاعة مع تغير كثافة الهواء حسب الارتفاع للعنفات ذات التحكم بزوايا الخطوة

دون التغير في سرعة الدوار

كما ويمكن التوافق بين زاوية انحراف الشفرة من دون التعديل التقني عند التغير بسرعة الدوار حيث إن جميع العنفات الجديدة ذات التحكم بانحراف الشفرة يمكن تشغيلها عند سرعة دوار متغيرة، وهكذا فإن العنفات ذات التحكم بانحراف الشفرة تعاني من بعض الضياع في إنتاج القدرة مع زيادة ارتفاع الموقع ولكن يمكن تصنيعها بشكل مثالي بضياع طاقة أقل وذلك مع زوايا انحراف الشفرات المصححة تبعاً لدرجات الحرارة المتغيرة.

والمحنيات الموضحة في الشكل (3) والشكل (4) تبين تأثير ارتفاع العنفة عن سطح البحر على كثافة وطاقة

تيار الهواء، وكذلك تأثير درجة الحرارة.

وقياساً بالشروط النظامية ($p \geq 101.3 \text{ kPa}$, $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$) يبدو أن استطاعة تيار الهواء تزداد بمقدار 6

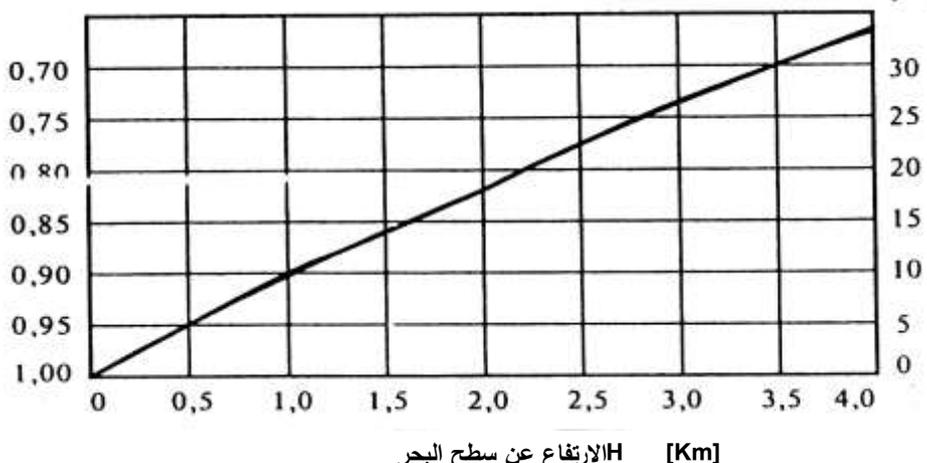
% عند تغير درجة حرارته من $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ وحتى $0 \text{ }^\circ\text{C}$ وعلى العكس عند درجة حرارة $t = +30 \text{ }^\circ\text{C}$ تتناقص

استطاعة الرياح بمقدار 5%. أما إذا أخذنا درجة حرارة ثابتة للهواء $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ومع تغير الضغط الجوي من 103.7 kPa

إلى 97.3 kPa مثلاً فإن طاقة الرياح تتناقص بحدود 6% تقريباً.

ρ_a/ρ_o

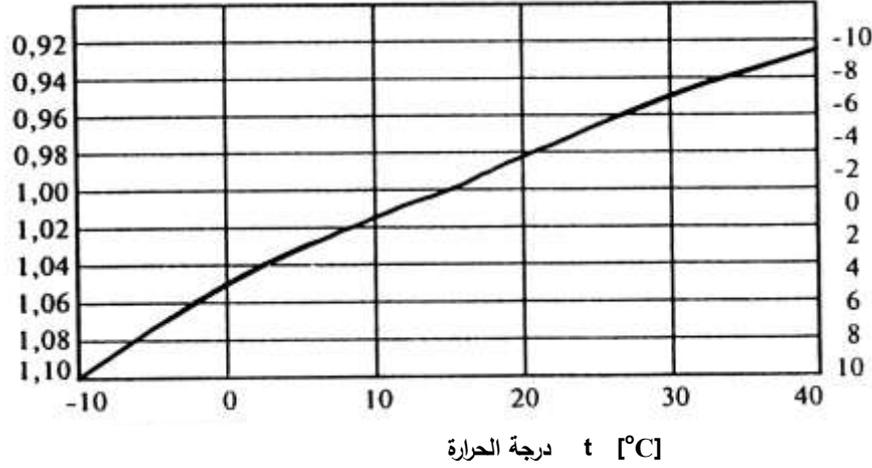
$E_a/E_{a,o} \%$



الشكل (3) تأثير ارتفاع المكان عن سطح البحر وعلى كثافة وطاقة تيار الهواء

$E_a/E_{a.o}\%$

ρ_a/ρ_o



الشكل (4) تأثير درجة حرارة الهواء على كثافة وطاقة تيار الهواء

البارامترات المختلفة المؤثرة على احتياطي الطاقة في الرياح:

تحسب استطاعة العنفة الريحية كواحدة من مجموعة العنفات الريحية المكونة للمزرعة الريحية في حال توافر

المعطيات الكاملة عن الرياح في نقطة محددة على مساحة S بالواط حيث يحسب معامل الاستطاعة بالعلاقة [6]:

$$\eta_{RW} = P / P_0 \quad (9)$$

حيث P : الطاقة الميكانيكية المستخرجة من الريح بعد المروحة.

P_0 : الطاقة الميكانيكية النظرية في الريح قبل المروحة.

حيث تعطى الاستطاعة على ارتفاع h بالعلاقة:

$$N_{a.T} = 0.5 \cdot \rho_a \cdot A_{RW} \cdot V_{a.h}^3 \cdot \eta_{RW} \quad (10)$$

حيث : ρ_h : كثافة الهواء kg/m^3 على ارتفاع h.

A_{RW} : مساحة المقطع العرضي لتيار الهواء (مساحة الكنس) m^2 .

$V_{a.h}$: سرعة التيار الهوائي على ارتفاع البرج في المحطة الريحية m/sec .

η_{RW} : معامل الاستفادة من الاستطاعة على الارتفاع h.

تستند طريقة تحديد سرعة الرياح على ارتفاعات مختلفة عن سطح الأرض على أكثر الموديلات وثوقية

وانتشاراً، وهي التي تدرس سلوك سرعة الرياح عند تغير الارتفاع عن سطح الأرض [7]:

$$V_h = K_R \cdot V_o \cdot \left(\frac{h_1}{h_o} \right)^m \quad (11)$$

حيث : V_o : سرعة الرياح مقاسة بالقرب من سطح الأرض على ارتفاع h_o .

V_h : السرعة المطلوب حسابها للرياح على ارتفاع h وهو ارتفاع البرج.

m : ثابت يتعلق بالنسبة h_1/h_0 ونحصل عليه من الجدول (1) والجدول (2) ويؤخذ عادةً $m = 0.2$ ويتغير في المجال (0.1-0.8) تبعاً لسرعة الرياح بشكل رئيسي وكلما كانت سرعة الرياح منخفضة على ارتفاع العنفة الريحية خلال العام تكون قيمة المعامل m أكبر .

K_R : معامل يأخذ بعين الاعتبار تغير تضاريس الأرض في المنطقة المدروسة التي تتوضع عليها محطة الطاقة الريحية ويحسب بالعلاقة:

$$K_R = \frac{K_A}{K_{M.S}} \quad (12)$$

حيث : K_A : درجة انكشاف المكان الحقيقية أو نسبة انفتاح المكان (الكشف وبعد العوائق) بمقياس درجات كشف المكان جدول(3).

$K_{M.S}$: درجة انكشاف المكان في منطقة محطة الرصد والمراقبة .

جدول(1) تغير مؤشر النسبة m حسب الفصل من العام في مكان مستوي مفتوح على مستوي سطح البحر:

الفصل	شتاء	ربيع	صيف	خريف	وسطي خلال عام
m	0.17	0.22	0.24	0.17	0.20

جدول(2) علاقة مؤشر النسبة m بسرعة الرياح في الطبقات الجوية بارتفاع حتى 121 m :

ارتفاع طبقة الجو m	سرعة الرياح m/sec								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 – 10	0.25	0.206	0.196	0.180	0.175	0.163	0.131	0.140	0.124
10 – 121	0.54	0.34	0.264	0.204	0.170	0.147	0.130	0.120	0.117

جدول(3) تصنيف منطقة توضع المحطة الريحية ونسبة كشف العنفة الريحية (وبعدها عن العوائق):

K_A نسبة انفتاح (كشف) العنفة	شكل تضاريس المنطقة		
	محدب	مستوي	مقعر
1- توضع العنفة قريب من سطح المياه :			
شاطئ مفتوح لمحيط أو بحر مفتوح	23	21	18
شاطئ مفتوح بحر مغلق	22	19	15
شاطئ مفتوح لخليج أو بحيرة كبيرة	20	16	12
شاطئ مفتوح لنهر كبير	17	13	9
2-توضع العنفة بعيد عن سطح المياه أعلى من العوائق والتضاريس المحيطة:			
- بدون عناصر إعاقة (بدون عوائق)	14	10	6
- بين بعض العوائق القليلة	11	7	4
- بين عوائق كثيرة	8	5	3
أدنى من العوائق المحيطة وبين العناصر المعيقة	2	1	0

أما درجة انفتاح المكان $K_{M.S}$ ، بالنسبة لمقياس سرعة الرياح لمحطة الرصد ونسبة كشفها أي وقوعها خلف مصدات معيقة تتم بواسطة قياسات سرعة الرياح من اتجاهات مختلفة (وفقاً للبوصلية).

يستخدم من أجل تصنيف محطات رصد سرعة الرياح وشدها طريقة حديثة، حيث تأخذ بعين الاعتبار وخلافاً للطرق الأخرى وجود التضاريس (تحذب، تقعر، استواء) ووجود العوائق (أبنية ، جدران ، أشجار) إضافة إلى وجود المساحات المائية (بحيرات ، بحر ، محيط ، أنهار كبيرة) .

تحدد القيمة الوسطية لكشف أو انفتاح المكان، حيث تتوضع محطة الرصد بالعلاقة:

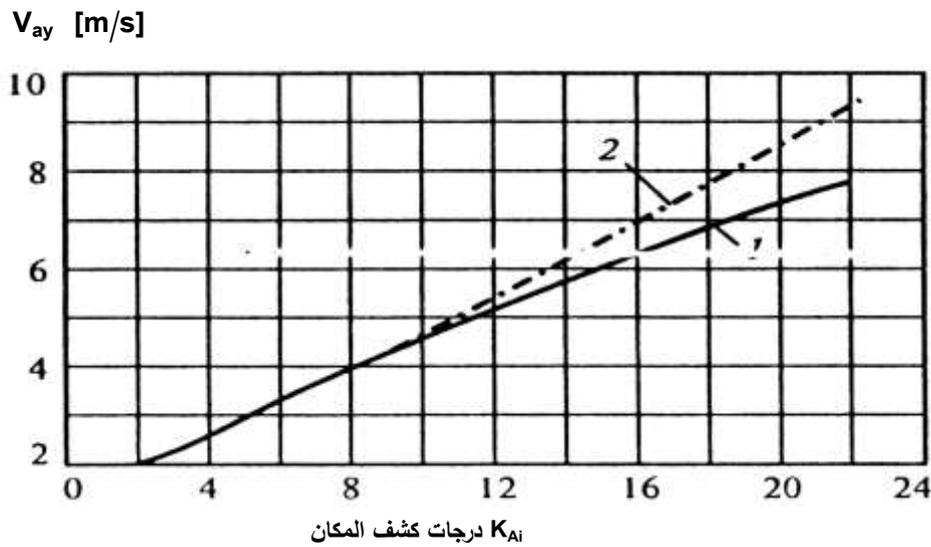
$$K_{MS} = \sum_{i=1}^8 K_{Ai} \cdot \tau_i \quad (13)$$

حيث : K_{Ai} : درجة الكشف أو الانفتاح وفقاً للاتجاه i حسب البوصلة .

τ_i : تكرارية اتجاه الرياح وفق الاتجاه i حسب قراءات المؤشر .

كما يتم اعتماد تصحيح تقريبي لعلاقة السرعة الوسطية للرياح خلال السنة على ارتفاع 10 m عن سطح الأرض مع مقياس درجة الكشف أو الانفتاح للمكان المحدد .

والشكل (5) يبين علاقة السرعة الوسطية للرياح خلال سنة $V_{a,y}$ كتابع من درجات الكشف أو الانفتاح للمكان.



الشكل (5) علاقة السرعة الوسطية للرياح خلال سنة $V_{a,y}$ مع مقياس درجات كشف المكان

1-مناطق مستوية 2-مناطق جبلية

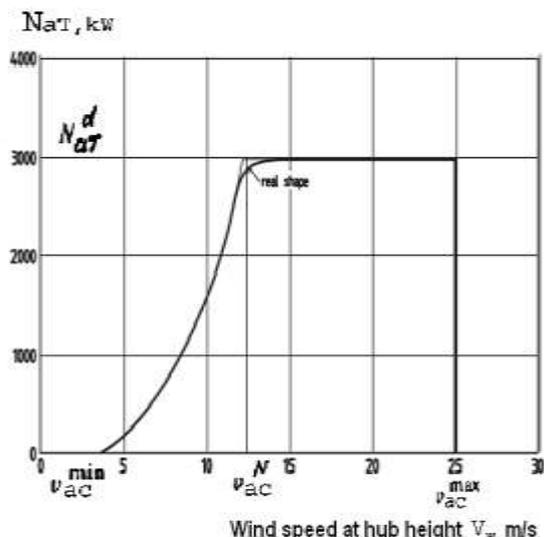
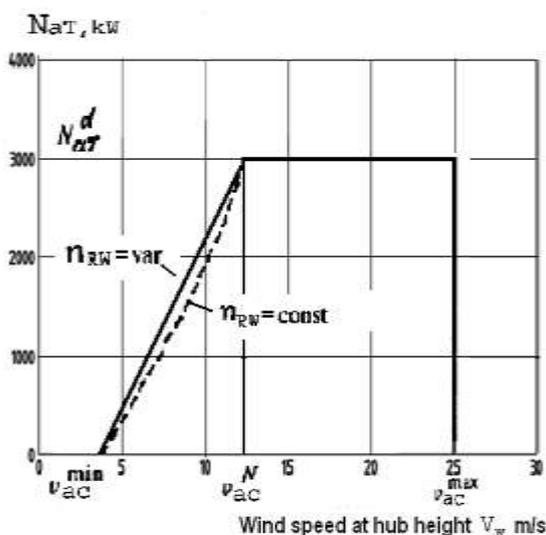
منحني الاستطاعة للتوربين الريحي:

تعد استطاعة العنفة الريحية كتابع للسرعة الوسطية للرياح خلال سنة $N_{a,T} (V_{a,h}(t))$ من المؤشرات التقنية الأساسية لكل عنفة ريحية، ولهذا يجب عرض الاستطاعة بشكل منحني وأيضاً على شكل جدول عند كل قيمة لسرعة الرياح بالإضافة لمجموعة أخرى من البيانات، ويتم الحصول على هذا المؤشر تجريبياً عند مرحلة اختبار العنفة الريحية في النفق الهوائي. يعرف خرج الطاقة الكهربائية مقابل سرعة الرياح بمنحني الاستطاعة. وحسابه يرتكز على مجموعة مميزات لطاقة الدوار (منحنيات η_{RW})، وكفاءة تحويل القدرة الكهربائية والميكانيكية، والسرعة المحسنة للدوار مع مراعاة توزيع تردد الرياح المعطاة، بالإضافة إلى الحد المفروض على طاقة الدوار التي يمكن استيعابها من قبل الطاقة العظمى المسموح بها للمولدات الكهربائية. وهكذا فإن المنحني يلخص كل الخصائص الجوهرية الأساسية لإنتاج القدرة من التوربين الريحي. وهو يعتبر شهادة رسمية للأداء وينبغي أن يكون مكفولاً من قبل المصنع، لما له من أهمية خاصة.

إن الشكل (6) يمثل منحني الاستطاعة N_{aT} كتابع لسرعة الرياح على ارتفاع البرج V_w من أجل حالتين: الأولى عنفة بزواوية خطوة متغيرة φ والثانية عنفة أخرى بزواوية خطوة ثابتة للشفرات المحسوب وفقاً لثلاثة عناصر أساسية تربط خرج الطاقة مع سرعة الريح [5]:

- إن سرعة الدخول $V_{a.c}^{\min}$ هي سرعة الرياح حيث يبدأ التوربين عندها بتسليم الطاقة. وبكلمات أخرى فإنه ينبغي على الدوار عندها تسليم طاقة كافية لتعويض ضياع الطاقة في آلية نقل الحركة ولتغطي الاستهلاك الداخلي .
- إن سرعة الرياح المقدره $V_{a.c}^N$ هي سرعة الريح التي يتم عندها الوصول إلى طاقة المولد المقدره. هذه الطاقة متطابقة مع خرج طاقة المولد العظمى المسموح بها باستمرار.
- إن سرعة القطع $V_{a.c}^{\max}$ هي سرعة الرياح العظمى والتي عندها يستمر التوربين بتسليم الطاقة وبزيادتها تفصل العنفة.

- إن الطاقة الصافية والتي هي خرج الطاقة الكهربائية منقوصاً منها جميع الضياعات الناجمة عن الاستهلاك الداخلي للتوربين. وإن ضياعات محول خط الطاقة هو العنصر الوحيد المهم من المعادلة كما أنه ليس عنصر محدد بالتوربين حيث يتوقف على ظروف موقع العمل وفي " التوربينات الريحية" والتي يكون فيها محول الجهد المتوسط عنصر تكاملي للنظام الكهربائي عندها يجب أخذه بالاعتبار.



b: زاوية التحكم بالخطوة (ثابتة)

a: زاوية التحكم بالخطوة (متغيرة) $\varphi = \text{Var}$

$\varphi = \text{const.}$

الشكل (6) مميزات الطاقة للعنفة الريحية

تحدد طاقة العنفة الريحية (الاحتياطي التقني لها) خلال فترة زمنية T ب $w.h$ وفقاً للعلاقة [4]:

$$E_{a.T}(T) = \int_0^T N_{a.T}(V_{a.h}(t)) \cdot dt = 0.5 \rho \cdot \int_0^T V_{a.h}^3(t) \cdot \eta_{a.T}(V(t)) \cdot dt \quad (14)$$

نميز في كلا الحالتين المذكورتين لعلاقة الاستطاعة $N_{a.T}$ مع السرعة $V_{a.T}$ ثلاث نقاط أساسية حسابية لسرعة الرياح :

$V_{a.c}^{\min}$: السرعة الحسابية الدنيا لسرعة الرياح والتي تصبح استطاعة العنفة الريحية مساوية للصفر عند قيم أقل منها (الحدية الدنيا) . أي ($N_{a.T} = 0$ عند $V_{a.h} \leq V_{a.c}^{\min}$)

$V_{a.c}^N$: السرعة الحسابية الموافقة للاستطاعة والتي تعطى عندها العنفة الريحية الاستطاعة التصميمية لها . أي ($N_{a.T} = N_{a.T}^d$ عند $V_{a.h} = V_{a.c}^N$)

$V_{a.c}^{\max}$: السرعة الحسابية الأعظمية والتي تصبح عندها استطاعة العنفة الريحية مساوية للصفر أي: ($N_{a.T} = 0$ عندما $V_{a.h} > V_{a.c}^{\max}$) (الحدية العظمى).

حيث يمكن صياغة العلاقات السابقة بالشكل التالي :

من أجل العنفات الريحية ذات $\varphi = \text{var}$ متغيرة :

$$N_{a.T}(V_{a.h}) = \begin{cases} 0 & V_{a.h} \leq V_{a.c}^{\min} \text{ or } V_{a.h} > V_{a.c}^{\max} \\ N_{a.T}(V_{a.h}) & \text{when } V_{a.c}^{\min} < V_{a.h} < V_{a.c}^N \\ N_{a.T}^d(V_{a.h}) & \text{when } V_{a.c}^N \leq V_{a.h} \leq V_{a.c}^{\max} \end{cases} \quad (15)$$

أو من أجل المحطات ذات العنفات الريحية بزواوية ثابتة للشفرات $\varphi = \text{const}$ يكون :

$$N_{a.T}(V_{a.h}) \leq N_{a.T}^d \quad (16)$$

يظهر الشكل (6) مواصفات العنفة الريحية (استطاعتها) عند سرعة دوران ثابتة للعنفة η_{RW} وعند سرعة متغيرة

$\eta_{RW} = \text{var}$ وذلك للعنفات ذات $\varphi = \text{const}$ والعنفات $\varphi = \text{var}$.

دراسة علاقة استطاعة العنفة الريحية بسرعة الرياح :

يحتل الاختيار الصحيح للسرعة الحسابية المفروضة للرياح أهمية بالغة في حسابات الطاقة الريحية، وذلك لأن استطاعة العنفة الريحية تتناسب مع منحنى تلك السرعة وهو من الدرجة الثالثة حيث يؤدي الخطأ في اختيارها إلى حدوث أخطاء حسابية تقنية كبيرة .

في التطبيق الصناعي وعند تصميم محطات الطاقة الريحية ذات الدورات الأفقية بأقطار تصل حتى 60m يتم أخذ قيمة السرعة الحسابية في حسابات الاستطاعة أكبر بمقدار (1.4 - 1.6) من قيمة السرعة الوسطية السنوية لسرعة الرياح أي تلك التي يمكن أن تؤمن الاستطاعة المطلوبة لذلك تؤخذ $V_{a.c}^{\min}$ عادة في حدود $(0.3 \div 0.4) V_{a.c}^N$ و $V_{a.c}^{\max} = 25 \text{ m/sec}$. أما المحطات ذات العنفات، أو الدورات العمودية (داريوس) فتؤخذ السرعة الحسابية أكبر من السرعة الوسطية السنوية لسرعة الرياح بمقدار 2.5 مرة.

توجد ثلاث أشكال أو نماذج تصف تغيّر استطاعة العنفة الريحية، وعلاقتها بسرعة الرياح وكلها ترتبط بقانون تغيّر مردود العنفة الريحية الذي يتحدد من نسبة الاستطاعة المفيدة التي تعطىها العنفة إلى الاستطاعة المقدمة من الرياح :

$$\eta_{a.T} = N_{a.T} / N'_a \quad (17)$$

حيث : N'_a الاستطاعة المؤثرة لتيار الهواء (الرياح) قبل العنفة (الدوّار) بـ w ، وتحسب بالاعتماد على العلاقة (3) كما يلي:

$$N'_a = 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_{a.h}^3 \quad (18)$$

حيث : A مساحة المقطع العرضي لتيار الهواء الداخل على العنفة الدوّارة وهي مساحة الكنس.

فمثلاً لمحطات الطاقة الريحية ذات الدوّارات الهوائية الأفقية بقطر D_{RW} تعطى مساحة الكنس بالعلاقة:

$$A_{RW} = 0.25 \pi \cdot D_{RW}^2 \quad (19)$$

يحصل الضياع الكبير في استطاعة محطات الطاقة الريحية عادة في الدوّار حيث يمكن تحويل قسم فقط من الطاقة إلى عمل مفيد وهذا ما يمكن تقييمه من خلال معامل الاستفادة من طاقة الرياح في الدوّار η_{RW} والذي تبلغ قيمته وفق حسابات Beetz بعدها الأعظمي $\eta_{RW}^{max} = 0.593$ ، وفي المزارع الريحية الحديثة وعند عملها على الأنظمة الإسمية يتحول ما بين 48 - 45 % من الطاقة الحركية للرياح إلى عمل ميكانيكي مفيد وهذا يرتبط بالضياعات المختلفة ولأسباب التصميمية الأخرى [8].

يمكن صياغة الشكل الرياضي الذي نعتبر فيه عدم ثبات قيمة مردود العنفة الريحية $\eta_{a.T}$ ضمن مجال سرعات الرياح على ارتفاع البرج $V_{a.h}$ في حدود :

$$V_{a.c}^{min} < V_{a.h} < V_{a.c}^N$$

$$\eta_{a.T}(V_{a.h}) = \begin{cases} 0 & V_{a.h} \leq V_{a.c}^{min} \quad or \quad V_{a.h} > V_{a.c}^{max} \\ N'_a \cdot \eta_{RW} \cdot \eta_G \cdot \eta_{EG} & when \quad V_{a.c}^{min} < V_{a.h} < V_{a.c}^N \\ N'_a \cdot \eta_{RW} \cdot \eta_G \cdot \eta_{EG} \left(\frac{V_{a.c}^N}{V_{a.h}} \right)^3 & when \quad V_{a.c}^N \leq V_{a.h} \leq V_{a.c}^{max} \end{cases} \quad (20)$$

حيث :

$$\eta_{RW} = 0.45 \quad : \text{ من أجل الدوّار ذو محور الدوران الأفقي.}$$

$$\eta_{RW} = 0.35 \quad : \text{ من أجل الدوّار ذو محور الدوران العمودي.}$$

$$\eta_G = 0.90 \quad : \text{ مردود مخفض السرعة.}$$

$$\eta_{EG} = 0.95 \quad : \text{ مردود المولدة والمبدلة.}$$

$$\eta_{GD} = 0.98 \quad : \text{ ضياعات نقل الطاقة إلى الشبكة.}$$

أما الشكل الرياضي الذي نعتبر فيه ضياعات الاستطاعة في العنفة الريحية خطأً فهو يقع بشكل تقريبي في

$$\text{مجال سرعات الرياح } V_{a.c}^{min} < V_{a.h} < V_{a.c}^N \text{ فيكون على الشكل التالي:}$$

$$N_{a.T}(V_{a.h}) = \begin{cases} 0 & V_{a.h} \leq V_{a.c}^{\min} \quad \text{or} \quad V_{a.h} > V_{a.c}^{\max} \\ \frac{N'_a \cdot \eta_{Rw} \cdot \eta_G \cdot \eta_{EG} (V_{a.h} - V_{a.c}^{\min})}{V_{a.c}^N - V_{a.c}^{\min}} & \text{when} \quad V_{a.c}^{\min} < V_{a.h} < V_{a.c}^N \\ N'_a \cdot \eta_{Rw} \cdot \eta_G \cdot \eta_{EG} \left(\frac{V_{a.c}^N}{V_{a.h}} \right)^3 & \text{when} \quad V_{a.c}^N \leq V_{a.h} \leq V_{a.c}^{\max} \end{cases} \quad (21)$$

إضافة إلى ما سبق فإنه يمكن كتابة الشكل الرياضي الذي يأخذ بعين الاعتبار تغير مردود العنفة الدوّارة η_{Rw} في مجال سرعات الرياح $V_{a.c}^{\min} < V_{a.h} < V_{a.c}^N$ باستخدام علاقة تغير η_{Rw} كتابع لسرعة الذيل التصميمية $\lambda = \frac{r.w}{V_{a.h}}$ الموضحة بالشكل (7). وبالتالي يمكننا إنشاء مواصفات طاقة العنفة الريحية، وتحديد استطاعتها

المتعلقة بسرعة دوران الدوّالاب، وسرعة الرياح الواردة إليه $N_{aT} = f(\eta_{Rw}, V_{a.h})$ والتي تحسب بالعلاقة [5]:

$$N_{aT}(n_{Rw}, V_{a.h}) = N'_a \cdot \eta_{Rw}(n_{Rw}, V_{a.h}) \cdot \eta_G \cdot \eta_{EG} \quad (22)$$

حيث: η_{Rw} : سرعة دوران الدوّالاب الدوران r.p.m.

$$\eta_{Rw} = \frac{\lambda \cdot V_{a.h} \cdot 60}{\pi \cdot D_{Rw}} \quad (23)$$

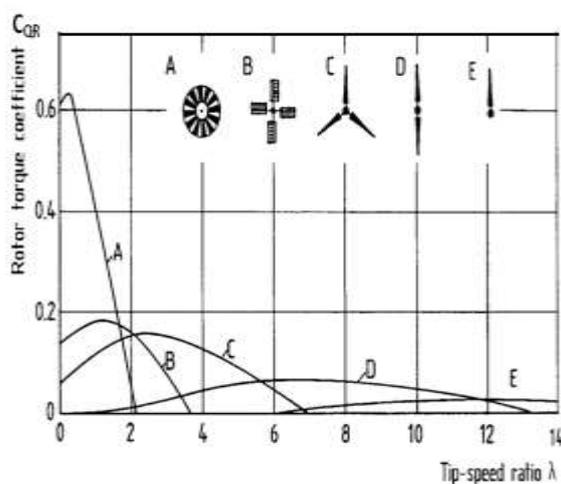
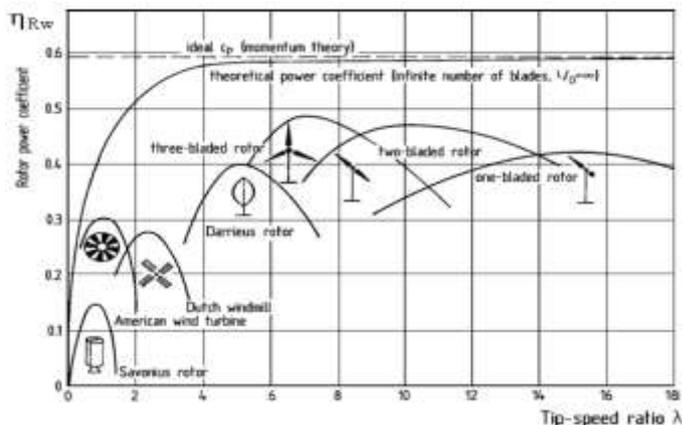
وهنا λ : نسبة سرعة الذيل التصميمية.

ويلزم من أجل الحصول على المردود الأعظمي للدوّار أن يكون معامل السرعة:

$$\lambda = \lambda_{opt} \approx const \left[\eta_{Rw}(\lambda_{opt}) = \eta_{Rw}^{\max} \right]$$

أي أنه مع زيادة سرعة الرياح تتغير أيضاً سرعة دوران الدوّار (لاحظ الخط الممثل للحالة على $\eta_{Rw} = var$ الشكل (6 - a) وبالتالي يمكن وضع موديل رياضي عند ثبات سرعة دوران العنفة عندما تكون $\lambda = var$ ويكون فيه مردود المروحة η_{Rw} والاستطاعة المولدة أقل مما هي عليه عندما $\lambda = const$ وهذا مبين في الشكل (6 - a) وعليه يكون الوصف الرياضي للموديل المذكور على الشكل التالي :

$$N_{aT}(V_{a.h}) = \begin{cases} 0 & V_{a.h} \leq V_{a.c}^{\min} \quad \text{or} \quad V_{a.h} > V_{a.c}^{\max} \\ N'_a \cdot \eta_{Rw} \cdot \eta_G \cdot \eta_{EG} & \text{when} \quad V_{a.c}^{\min} < V_{a.h} < V_{a.c}^N \\ N'_a \cdot \eta_{Rw}^{\max} \cdot \eta_G \cdot \eta_{EG} \cdot \left(\frac{V_{a.c}^N}{V_{a.h}} \right)^3 & \text{when} \quad V_{a.c}^N \leq V_{a.h} \leq V_{a.c}^{\max} \end{cases} \quad (24)$$



الشكل (7) منحنيات تغير عزم ومردود الدوار كتابع لسرعة الذيل التصميمية:

إن زمن عمل وتوقف عنفة الطاقة الريحية $T_{a,T}^S$, $T_{a,T}^W$ خلال فترة حسابية T يتحدد الزمن الأول (زمن العمل) بالفترة التي تكون فيها سرعة الرياح ضمن المجال :

$V_{a,c}^{\min} \geq V_{a,h} > V_{a,c}^{\max}$ أما الزمن الثاني (التوقف)، فهو يوافق مجال سرعة الرياح $V_{a,c}^{\min} < V_{a,h} < V_{a,c}^{\max}$ ويكون الزمن الكلي بالعلاقة :

$$T = T_{as}^W + T_{as}^S \quad (25)$$

تتغير قيمة T_{as}^W في الحدود 2000 – 6500 h/year .

الطاقة الإجمالية تبعاً لتوزيع العنفات في المزارع الريحية:

يمكن تحديد الطاقة التي تنتجها محطة الطاقة الريحية بـ $w \cdot h$ خلال فترة زمنية:

$$E_{as}(T) = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \sum_{i=1}^{m_T} E_{a,T,i}(T) = m_T \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot E_{a,T}(T) \quad (26)$$

حيث: $E_{a,T,i}(T)$: هي الطاقة الناتجة عن العنفة الريحية ذات الرقم i خلال الزمن T .

m_T : عدد العنفات الريحية في محطة الطاقة الريحية .

المتبادل بين مكوناتها (الضياعات الإيروديناميكية والضياعات التقنية)، حيث تشمل الضياعات التقنية:

- الضياعات الناتجة عن الاحتكاك في كراسي التحميل، وأقفال عمود الدوران.

- ضياعات علبة السرعة.

- ضياعات المولد الكهربائي والمبدلة.

- ضياعات نقل الطاقة إلى الشبكة الكهربائية.

- ضياعات ناتجة عن أعطال في تجهيزات العنفة الريحية.

ترتبط المعاملات m_T ، β_1 بشكل كبير مع بعضها البعض، وخصوصاً عندما تكون مساحة الأرض التي تتوضع عليها العنفات الريحية محدودة ، فيقدر ما تكون العنفات الريحية متوضعة بشكل قريب من بعضها البعض بقدر ما يزداد التأثير الإيروديناميكي فيما بينها ، ومن أجل تجنب هذا التأثير يجب وضعها بحيث تبعد عن بعضها البعض بمقدار يساوي عشرة أضعاف قطر العنفة الريحية الدوارة (k) [7].

وهنا نناقش ثلاث طرق لتوضّع العنفات الريحية المكونة للمزرعة الريحية على مساحة معينة من الأرض:

1- شكل صفوف وعلى مسافات متساوية عن بعضها البعض الشكل (a-8)، وإذا اعتبرنا في هذه الحالة من التوضع أن مساحة الأرض اللازمة لتوضع عنفة واحدة هي S_1 ، والمساحة الكلية للأرض المخصصة للمحطة هي S_0 فإن عدد العنفات التي يمكن تركيبها على تلك المساحة :

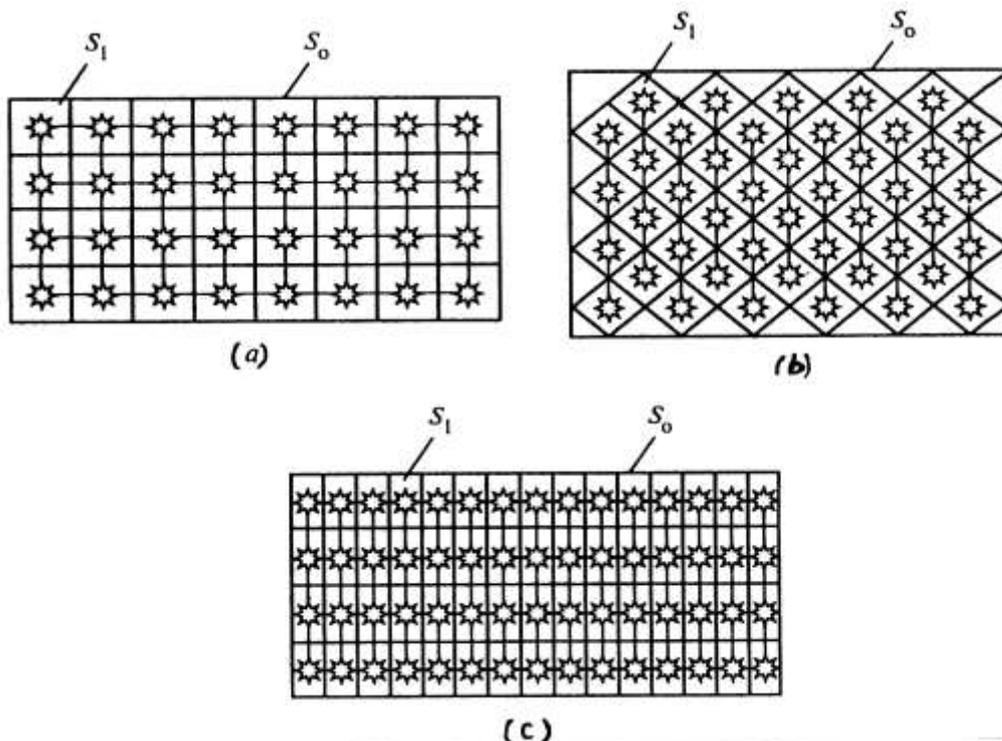
$$m_T = \frac{S_0}{S_1} \quad (27)$$

وإذا اعتبرنا أن المسافة بينها هي $D_{RW} \cdot k$ ، فيكون عندها :

$$S_1 = (k \cdot D_{RW})^2 \quad (28)$$

وتبعاً لذلك تكون علاقة حساب الطاقة الممكن إنتاجها من المحطة الريحية بالشكل :

$$E_{as}(T) = S_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot E_{aT}(T) / (k \cdot D_{R.w})^2 \quad (29)$$



الشكل (8) الطرق الأساسية التي يمكن اعتمادها في توضع العنفات الريحية على الأرض :

a-بشكل صفوف، وعلى مسافات متساوية من بعضها البعض b-توضع شطرنجي، c-توضع مع اعتبار الاتجاه الغالب لحركة الرياح
الآن يوضع العلاقة (14) في العلاقة (29) نجد:

$$E_{as}(T) = S_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \frac{0.5 \rho_a \cdot A \cdot \int_0^T V_{a,h}^3(t) \cdot \eta_{aT}(V_{a,h}(t)) \cdot dt}{(k \cdot D_{R,w})^2} \quad (30)$$

وبما أن مساحة العنفة الدوّارة تطابق حالة العنفات ذات محور الدوران الأفقي بالعلاقة (19)، فإننا نحصل على

حساب الطاقة كما يلي :

$$E_{as}(T) = \frac{1}{8 k^2} \pi \cdot \rho_a \cdot S_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \int_0^T V_{a,h}^3(t) \cdot \eta_{aT}(V_{a,h}(t)) \cdot dt \quad (31)$$

حيث تدل العلاقة الأخيرة على أن إمكانية الحصول على الطاقة من المزرعة الريحية لا تتوقف فقط على قطر العنفات الريحية الدوّارة والمتوضعة على المساحة المذكورة S_0 ، وإنما تتعلق بسرعات الرياح على ارتفاع أبراج العنفات $V_{a,h}$ وجودة تصميم ريش هذه العنفة ومردودها التقني $\eta_{a,T}$ والمعامل k (البعد بين العنفات الريحية المتوضعة على المساحة).

2- التوضّع الشطرنجي : يظهر ذلك على الشكل (8-b)، وهنا لا تختلف العلاقات لحالة التوضع هذه عن

تلك التي حصلنا عليها للحالة السابقة باستثناء علاقة حساب المساحة S_1 والتي ينبغي أن تأخذ الشكل :

$$S_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} (k \cdot D_{R,w})^2 \quad (32)$$

وتبعاً لذلك تصبح علاقة حساب الطاقة الممكن الحصول عليها من المزرعة الريحية وفقاً لهذا التوضع خلال

زمن (T) بالشكل :

$$E_{as}(T) = \frac{1}{4\sqrt{3k^2}} \pi \cdot \rho_a \cdot S_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \int_0^T V_{a,h}^3(t) \cdot \eta_{a,T}(V_{a,h}(t)) \cdot dt \quad (33)$$

وهذه الطريقة تكون مفضلة لتوضع العنفات الريحية في الأماكن التي يتغير فيها اتجاه حركة الرياح، كما تجدر الإشارة إلى أنه في حالة التوضع الشطرنجي للعنفات الريحية يمكن زيادة عدد العنفات المتوضعة بمقدار 15 % على مساحة الأرض نفسها مقارنة، مع حالة التوضع بشكل صفوف.

3- التوضع حسب الاتجاه الغالب للرياح في المنطقة: الشكل (8-8) يبين هذه الحالة حيث تستخدم هذه الحالة فقط عندما يغلب اتجاه معين لحركة الرياح في المنطقة التي يتم إنشاء المزرعة الريحية فيها فعلى سبيل المثال وعلى شاطئ البحر يكون من الأفضل زيادة عدد العنفات الريحية على حساب تقليل المسافة بينها، وبالرغم من أنه قد تزداد التأثيرات الأيروديناميكية فيما بينها (أي تقل قيمة المعامل β_1) لكن بزيادة عدد العنفات الريحية يجعل الطاقة الكلية الناتجة عن المحطة المتوضعة على مساحة الأرض نفسها ملحوظة بشكل كبير، وتكون علاقة تحديد S_1 في هذه الحالة :

$$S_1 = K \cdot n \cdot D_{Rw}^2 \quad (34)$$

وتأخذ العلاقة (33) الشكل :

$$E_{as}(T) = \frac{1}{8k \cdot n} \pi \cdot \rho_a \cdot S_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \int_0^T V_{a,h}^3(t) \cdot \eta_{a,T}(V_{a,h}(t)) \cdot dt \quad (35)$$

حيث : k , n : عدد صفوف العنفات الريحية في الاتجاهين الموازي والمتعامد مع الاتجاه الغالب للرياح في المنطقة على التوالي (غالباً ما يكون $n = 2 \div k$ ، وعندما يكون $n = k$ فإننا نعتمد الطريقة الأولى في توضع العنفات الريحية في المزرعة الريحية.

الاستنتاجات والتوصيات:

دلّت الدراسة أنه من أجل الاستثمار الفعّال لطاقة الرياح، يجب علينا عند كل حالة محددة مراعاة مجموعة من العوامل المشتركة مثل: القيمة العالية لسرعة الرياح الوسطية السنوية، مدى تكرارية نظام الرياح في العام، الإمكانية الدنيا لتغيّر السرعات واتجاهها، التوافق الأمثل بين تغيّر طاقة الرياح والطلب على الطاقة من المزرعة الريحية، ووجود شبكة نقل مثالية ومكان مريح لتوضع العنفات الريحية في المزرعة الريحية بشكل عام، المواصفات التقنية والاقتصادية والاستثمارية للعنفات الريحية المستخدمة ذاتها، عدم زيادة مستوى الضجيج والتشويش الراديوي والتلفزيوني عن الحدود المسموح بها عند عمل العنفات الريحية وغيرها من العوامل الأخرى [8]، وقد سمحت الدراسة بوضع النتائج التالية:

1. يتم تحديد الاستطاعة المثلى وأبعاد العنفة الريحية وفق العوامل المدروسة والتي تتوقف على تصميمها ونموذجها والهدف منها وعلى الشروط الريحية في المنطقة التي تتوضع فيها ومن أهمها سرعة الرياح حيث وفرت الدراسة إمكانية تحديد الاستطاعة حسب السرعة $V_{a,h}$ وتغيراتها في مجالات متعددة وشروط مختلفة.
2. يكون عند نفس الاستطاعة التصميمية الكلية للمزرعة الريحية، تغيّر الاستطاعة مع الزمن غير متماثل مع تلك الناتجة عن محطة بعنفة واحدة، أو بعدة عنفات، حيث يكون توزع الطاقة الناتجة في الحالة الثانية أكثر انتظاماً.

3. عند اختيار عدد العنفات الريحية، ومن أجل مزرعة ريحية متعددة العنفات الموصولة مع الشبكة الرئيسية لتأمين حاجة المستهلكين وفق ترتيب معين يجب الأخذ بعين الاعتبار أنه بقدر ما تكون العنفات الريحية منتشرة على مساحة واسعة بقدر ما تزداد إمكانية عدم التوافق في التنبؤات الجوية في تلك المنطقة، لكنه في الوقت نفسه تزداد إمكانية الحصول على الطاقة بشكل أكثر انتظاماً لتأمين حاجة المستهلكين لتلك الطاقة وذلك بالتوزع المنتظم للعنفات داخل مساحة محددة.
4. يجب السعي دوماً إلى الاستفادة في أغلب الأوقات من تغير مجال سرعة الرياح لعمل العنفة بحيث تعطي أعظم قيمة للطاقة، ويتوقف هذا الأمر بنسبة كبيرة على صحة اختيار نموذج، واستطاعة العنفة الريحية.
5. تتوقف اقتصادية ربط المزرعة الريحية في نظام الطاقة العام على نوعية محطات الطاقة الكهربائية التقليدية، وعدد وأنواع المحطات المستخدمة لتوليدتها، وعلى طريقة تنظيم عملها والعلاقة بينها، ونظام الربط الكهربائي، وعدد حالات الإقلاع والتوقف والصيانة، وأخيراً على دقة التنبؤات عن أنظمة الرياح والتي على أساسها يمكن جدولة فترة مشاركة محطات الطاقة الريحية في النظام العام للطاقة على مدار السنة.
6. تتوقف كمية الطاقة المنتجة في المزرعة الريحية على سرعة الرياح التي قد تتغير بشكل لحظي في الدقيقة أو خلال الساعة واليوم والأسبوع والفصل، ولا تؤدي هذه التغيرات اللحظية لسرعة الرياح على إنتاج الطاقة من العنفة الريحية بسبب العطالة الطبيعية لتلك العنفة. وإذا كانت التغيرات أكبر قليلاً فإن تأثيرها في حالة المحطة ذات العنفة الريحية الواحدة أكبر منه في حالة المزرعة متعددة العنفات، حيث تتعدل نتائج هذا التأثير بشكل عام تقريباً. بينما في حالة العنفة الإفرادية، فيكون من الصعب تصحيح وتعديل أثر التغيرات الحاصلة في سرعة الرياح خلال أسابيع وفصول إلا إذا تم استخدام مَدخَرات للطاقة ذات سعة عالية.
7. تتعلق الطاقة الكلية التي يمكن الحصول عليها من المزرعة الريحية، بعدد العنفات الريحية فيها وطريقة توضعها، والتي يمكن اختيارها حسب المكان ومواصفات الرياح فيه، ويحقق التوضع الشطرنجي على المساحة المخصصة نفسها مقارنة مع الحالات الأخرى للتوضع إمكانية زيادة عدد العنفات الريحية بمقدار 15% وهذا ما يترافق مع زيادة في الطاقة ضمن الشروط نفسها والظروف.
8. إن تأثير ظل البرج على الدورات باتجاه الريح يسبب ضياع كمية من طاقة الدوار الايروديناميكية حيث يصل هذا الضياع حتى % (2-3) من انتاج الطاقة.

المراجع

1. " الطاقة الشمسية " . ف. إ. فيسارينوف وآخرون باللغة الروسية ، موسكو ، منشورات معهد الطاقة 2008 ، 250 صفحة.
2. " نظم الطاقات المتجددة " . د. م. بسام حمود ، ترجمة عن اللغة الألمانية ، دمشق 2004 ، 375 صفحة.
3. نشرات الأرصاد الجوية عن طاقة الرياح في سوريا - دمشق .
4. J.F.Manwell; J.G. McGowan; A.L. Rogers. Wind Energy Explained. Jone wiley & sons, LTD, England, 2002, p 590.
5. Erich. Hau. Wind Turbines. 2nd.edition, Springer, Germany, 2006, p 400.

6. Tony.B; David.S; Nick.J. Wind Energy Handbook. Jone wiley & sons, LTD, England, 2001, p 643.
7. S. Mathew. Wind Energy. Springer, Germany, 2004, p252.
8. Thomas.A. Wind Power in Power Systems. Jone wiley & sons, LTD, Sweden, 2005, p 745.