

# طاقة الرياح



# النظرية

ولذلك كان من الضروري عندما تحدد اية شركة صانعة قدرة العنفة الريحية التي تصنعها، أن تعلن عن سرعة الرياح التي صممت العنفة على أساسها. لكن من الجدير ذكره أنه:

- كلما زاد قطر الشفرات، كانت الحاجة لسرعة رياح أكبر، لتأمين دورانها.
- إن أفضل المواقع لتجهيز عنفات ريحية هي في البحار، حيث يمكن الحصول على سرعات رياح أعلى، لأنه كلما كان سطح الارض في موقع التجهيز خشناً (أحجار، مباني، تضاريف طبيعية....)، كلما أنخفضت سرعة الرياح.

- يمكن تركيب العنفات الريحية على مرتفعات عالية، كرؤوس الجبال والهضاب، لأن سرعة الرياح تكون أعلى وفق المعادلة التالية:

$$V(H) = V(hs) \cdot \left(\frac{H}{hs}\right)^\alpha$$

$$P(H) = P(hs) \cdot \left(\frac{H}{hs}\right)^{3\alpha}$$

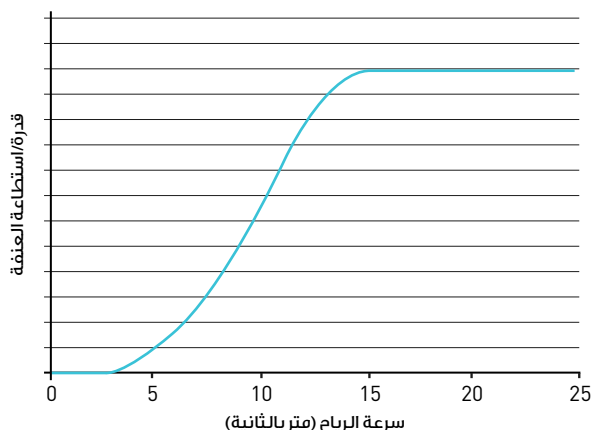
- $V(h.s)$  هي سرعة الرياح على ارتفاع  $hs$  (10 امتار مثلاً)
- $P(h.s)$  هي القدرة الانتاجية للطاقة على ارتفاع قياسي  $hs$
- $V(H)$  هي سرعة الرياح على ارتفاع  $H$  و  $P(H)$  هي القدرة الانتاجية للطاقة على ارتفاع  $H$ .
- $\alpha$  عامل/معامل الخشونة الذي يتأثر بالتضاريس والنتوءات في الموقع، وقيمته ما بين 0.1 و 0.4.
- ويصار عادة في موقع معين الى اجراء قياسات، كل 10 دقائق لمدة عام، لسرعات الرياح واتجاهاتها على ثلاثة ارتفاعات مختلفة (10-40-50 متراً)، مما يسمح باستنتاج قيمة عامل الخشونة  $\alpha$ .

- هناك عنفات ريحية أفقية المحور (وهي الأكثر شيوعاً) وهناك عنفات ريحية عامودية المحور متميزة بكونها أقل حساسية للتغيرات في اتجاهات الرياح، لكنها تعاني من صعوبة الإقلاع.

## سرعات الرياح

- عندما تكون سرعة الرياح أقل مما يسمى بسرعة الإقلاع cut in، لا يمكن للعنفة أن تنتج طاقة.

- تبدأ العنفات الريحية ومولداتها عادة في انتاج الكهرباء، عندما تصل سرعة الرياح الى حوالي 3-4 امتار في الثانية، وهي سرعة الدخول cut in wind speed، وعندما تزداد السرعة، تزداد الاستطاعة وتزداد الطاقة المولدة، ويتم تصميم العنفات عادة مع افتراض سرعة رياح ما بين عشرة وخمسة عشر متراً في الثانية، فيتم الحصول على الاستطاعة الاسمية Rated Power، وتبقى القدرة الانتاجية هي ذاتها مع زيادة السرعة، حتى



نتيجة الاشعاع الشمسي الساقط على منطقة ما، يسخن الهواء داخل الغلاف الجوي، وبما أن الاشعاع الشمسي ليس هو نفسه في كل المناطق، فإن سخونة الهواء ليست نفسها في كافة المناطق، وبالتالي فإن وزن عامود الهواء على وحدة المساحة، أي الضغط الجوي، يتغير من منطقة وأخرى، فتنشأ حركة الرياح، أي انتقال الهواء، من المنطقة حيث الضغط المرتفع (الاشعاع الشمسي الأقل) الى المنطقة حيث الضغط المنخفض (الاشعاع الشمسي الأعلى)، علماً أن حركة الهواء تتأثر أيضاً بالتضاريس الطبيعية.

إن طاقة الرياح هي شكل آخر للطاقة الشمسية، انها مصدر من مصادر الطاقة المتجددة، انها طاقة نظيفة لكنها متقلبة ومتغيرة باستمرار.

وبما أن طاقة الحركة لكتلة معينة بوزن  $M$  وبسرعة  $V$  هي  $\frac{1}{2} MV^2$ ، فمن الممكن انتاج طاقة ميكانيكية بواسطة العنفة الريحية، حيث تصطدم الرياح بالجزء الدوار من العنفة اي مجموعة ريشها.

فما هي قدرة/استطاعة العنفة المزودة بشفرات قطرها  $D$ ؟  
إن كتلة الهواء التي ترتطم بالشفرات خلال الوحدة الزمنية اي الثانية، هي:

$$M = \rho \cdot S \cdot V = \rho \left( \pi \frac{D \cdot D}{4} \right) \cdot V$$

$S$ : مساحة دوران ريش العنفة، التي يبلغ قطرها  $D$   
 $\rho$ : الثقل النوعي او كثافة الهواء  
وبالتالي فإن قدرة/ استطاعة العنفة هي نظرياً:

$$P = 0.5 \left[ \rho \left( \pi \frac{D \cdot D}{4} \right) \cdot V \right] V \cdot V$$

$$P_1 = 0,3927 \rho \cdot D^2 V^3$$

أي أن استطاعة/قدرة العنفة تتناسب طردياً:

- مع مكعب سرعة الرياح.
  - مع الثقل النوعي للهواء.
  - مع مربع قطر دائرة شفرات العنفة.
- تتغير  $\rho$  مع درجة الحرارة، (بالتالي فإن استطاعة العنفة تكون افضل في الفترات الباردة نسبياً) والضغط الجوي (وبالتالي الارتفاع).

وتتناقص عادة درجة الحرارة مع الارتفاع بحوالي 6.5 درجة مئوية لكل كلم، وبالتالي فإن كثافة الهواء أو الثقل النوعي المعبر عنه بالكغ للمتر المكعب تنخفض مع الارتفاع. فكلما انخفضت حرارة الهواء 10 درجات مئوية، ارتفعت القدرة الانتاجية للعنفة 3%. ويمكن اعتماد كثافة قياسية أو ثقل نوعي قياسي يساوي 1.225 كغ للمتر المكعب على حرارة 15 درجة مئوية وعلى مستوى سطح البحر، فتكون قدرة العنفة النظرية:

$$P_1 = 0.481 \cdot D^2 V^3$$

واذا تم الاخذ بعين الاعتبار أن كفاءة تحويل الطاقة من طاقة حركة الرياح الى طاقة ميكانيكية دوارة هي نظرياً، وفق قانون Betz، تساوي 16/27 أي 59.3 بالمائة، فإن الاستطاعة المثالية القصوى تصبح:

$$Pr = 0.593 \times 0.481 \cdot D^2 V^3 = 0.285 D^2 V^3$$

لكنها عملياً أقل من ذلك.  
ويتبين من هذه المعادلة تأثير سرعة الرياح، التي ان تزايدت الى الضعف مثلاً، فإن القدرة/الاستطاعة الممكنة ستزيد ثماني مرات، وإذا زاد قطر الشفرات الى الضعف، فإن الاستطاعة ستزيد أربع مرات، لذلك كان السعي المستمر لتكون شفرات العنفة اطول ( $D$  أكبر)، مما يؤدي أيضاً الى عنفات مرتفعة أكثر.

تصل سرعة الرياح الى حدود لا يمكن تحملها، لأن اجزاء العنفة من ريش ومكونات تصبح غير قادرة على التحمل ميكانيكياً، فيضار الى وقف العنفة عن العمل فوراً بواسطة فرامل/كوابح خاصة لتفادي تدميرها، وتسمى هذه السرعة (25 متراً بالثانية) cut out wind speed.

- عندما تصطدم الرياح بشفرات العنفة، تفقد قسماً من طاقتها، وبالتالي تنخفض سرعة الرياح لدى عبورها للعنفة، لذلك من الضروري عدم تركيب عنفة مجاورة الا على مسافة معينة، بحيث تستعيد الرياح سرعتها، وبالتالي

## تقدير سرعة الريح بالمشاهدة والملاحظة

ملاحظة حركة الريح	مقياس بوفور	سرعة الريح متر بالثانية	سرعة الريح كيلومتر بالساعة
الدخان يتصاعد عامودياً	0	0.5-0	1-0
اتجاه الدخان يعطي اتجاه الريح	1	1.7-0.6	6-2
بالكاد يتم الإحساس بحركة الريح على الوجه	2	3.3-1.8	11-6
الريح يحرك الأعلام	3	5.2-3.4	19-12
الريح يحرك الغبار والاوراق على مستوى الأرض، كما يحرك اغصان الشجر	4	7.4-5.3	26-19
يتم سماع صفير الريح، الذي يحرك الاشجار الصغيرة فتتمايل	5	9.8-7.5	35-27
تنحني الاشجار، يصعب ابقاء المظلة مفتوحة، ويجب رفع الصوت لسماعه	6	12.4-9.9	45-36
من المزعج السير، تهتز الاشجار، وتقتلع أوراقها	7	15.2-12.5	55-45
تنكسر اغصان الشجر، ويصعب السير	8	18.2-15.3	65-55
تنكسر الاشجار	9	21.5-18.3	77-65
عاصفة مع اضرار مادية	10	25.1-21.6	90-78
عاصفة عنيفة والاضرار تطال البيوت	11	29.0-25.2	104-90
اعصار	12	أكثر من 29	أكثر من 105

## التطبيق

شبكة التوزيع على التوتر المتوسط (5.5-11-15-20 كيلوفولت ....) أو على التوتر المنخفض، عبر محولات خاصة أو مباشرة، لكن بالطبع مروراً بخلايا للحماية.

ج- انتاج الكهرباء، لتأمين الطاقة لنقاط منعزلة غير مرتبطة بالشبكة الكهربائية، حيث يصبح ضرورياً، نظراً للتغيرات في الاستهلاك وفي الطاقة الريحية المتوفرة والمتغيرة مع سرعات الرياح، اعتماد بطاريات كهربائية لتخزين الطاقة، واستعمالها عند الطلب عليها. وعندما تكون قدرة العنفة بحدود العدة كيلووات، يتم انتاج الكهرباء بالتوتر المنخفض 12-24-48 أو 110 فولت تيار مستمر، وفي هذه الحالة، يمكن تجهيز منوب للتيار لتحويله الى متردد اذا لزم الأمر.

د- حلول هجينة، تستفيد من الطاقة الريحية لدى تواجدها لانتاج الكهرباء لشبكات صغيرة في مناطق منعزلة، مع وسيلة أخرى أو أكثر لانتاج الكهرباء: كالألواح الخلايا الكهروضوئية للاستفادة من الطاقة الشمسية عند توفرها، ومجموعات الديزل الأكثر مرونة اذا توفرت المحروقات الخ...

هـ- حلول ذكية: يمكن أيضاً ضخ المياه بواسطة الطاقة الميكانيكية المنتجة من الطاقة الريحية الى مستويات أعلى، لتخزينها في خزانات بسعة ملائمة، ثم الاستفادة منها، لدى هبوطها من المستوى الأعلى الى المستوى الأدنى، لتوليد الكهرباء بواسطة عنفات مائية، يمكن التحكم بقدرة انتاجها تبعاً لحاجات الاستهلاك، مما يسمح بتلافي تجهيز البطاريات.

- تمت الاستفادة من طاقة الرياح منذ أقدم العصور، في المراكب الشراعية التي كانت تمخر عباب البحار والمحيطات، كما تمت الاستفادة منها في طواحين الهواء.

- حالياً، تتراوح التطبيقات تبعاً للمواقع والحاجات والقدرات المطلوبة، وهي:

أ- ضخ المياه، بواسطة القدرة الميكانيكية المنتجة والمتوفرة، مع إمكانية إضافية في مجال تحلية مياه البحر (نزع ملوحتها) بالاستفادة من التناضح العكسي واستعمال الاغشية، ويمكن لتشغيل مضخات المياه أن يستفيد من سرعة رياح متواضعة، (2.5 الى 3 أمتار في الثانية) وفي هذه الحالة تتضمن العنفة عدداً كبيراً من الشفرات، قد يصل الى 24 شفرة بقطر يصل الى 8 أمتار، لتأمين قوة عزم كافية لضخ المياه.

ب- إنتاج الكهرباء، لتغذية الشبكات الكهربائية، لكن عدم استمرارية حركة الرياح وعدم ثباتها، يجعل من الصعب الركون الى قدرة توليد ثابتة، فيتم الاعتماد، في نفس الوقت، على وسائل توليد أخرى عاملة على الشبكة الكهربائية لمعالجة اي نقص او زيادة سواء في الانتاج أو في الاستهلاك على هذه الشبكة، وتؤمن العنفة الريحية حركة دوران مولد كهرباء بتيار مستمر او تيار متناوب، ويكون عدد الشفرات 2 أو 3. وهذا الاستعمال هو الأكثر شيوعاً حالياً، حيث يتم تجهيز مزارع الرياح لتوليد الكهرباء بقدرة افرادية للعنفات تصل حالياً الى 6 ميغاواط، لتوليد الطاقة الكهربائية على توتر منخفض 380 أو 690 أول 1000 فولت... تيار متردد 50 أو 60 هرتز، لتغذية

# العنفات الريحية لتوليد الطاقة الكهربائية

الكهربائية الفعلية المنتجة من العنفة مقارنة بما كانت قد تنتجه لو كانت قادرة على العمل بكامل قدرتها طوال العام:

$$\frac{\text{الطاقة المنتجة فعلياً خلال العام}}{8760 \text{ ساعة} \times \text{الاستطاعة الاسمية للعنفة}}$$

(ان رقم 8760 ساعة هو عدد ساعات العام الواحد أي 24 × 365 ساعة).  
والمعدل العالمي لعامل السعة لا يتجاوز 25 بالمائة.

- سرعة دوران المولد الكهربائي للعنفة الريحية: يمكن أن تكون هذه السرعة ثابتة أو متغيرة، ويمكن للمولد أن يكون متزامناً أو غير متزامن، وهو في معظم الاحيان ثلاثي الاطوار.

- اختيار ارتفاع محور العنفة الريحية: يسمح اعتماد ارتفاع اعلى بالحصول على سرعة رياح أعلى، وبالتالي على استطاعة أكبر، وعلى سبيل المثال، فإن المقارنة بين ارتفاع 50 متراً وارتفاع 100 متراً، تظهر أن الاستطاعة ستكون مع الارتفاع الاعلى أكثر بنسبة:

$$\left(\frac{100}{50}\right)^{3\alpha}$$

وإذا اعتمدنا عامل خشونة 0.2، فإن الاستطاعة ستكون 1.51 مرة.  
ويتبين تاريخياً أن الزيادة في القدرة الإفرادية لعنفة الريحية قد تطلبت اعتماد ارتفاعات أعلى للحصول على سرعات رياح اكبر من ناحية والسماح بزيادة قطر الشفرات من ناحية أخرى.

لكن من غير السهل المضي قدماً باعتماد ارتفاعات أعلى للحصول على قدرات أعلى، بسبب الحاجة لرافعات اضخم في مواقع تركيب العنفات، مع زيادة حدة مشاكل النقل واعمال التركيب، وعادة لا يتم تجاوز ارتفاع 120 متراً.

## - تصنيف اللجنة الدولية لفنون الكهرباء للعنفات الريحية:

IEC 61400-1 الطبعة الثانية عام 2005، تتضمن القوانين الفنية IEC تصنيفاً للعنفات الريحية، في فئات I وII وIII لجهة تحمل العنفات الريحية للسرعات الكبيرة (على التوالي 50 متراً و42.5 متراً و37.5 متراً وتمثل السرعة القصوى للرياح لفترة ممتدة على 50 عاماً) وامكانية عملها بأمان، فالفئة I هي اكثر مقاومة مع الرياح القوية، وهي عادة للعنفات ذات الشفرات الأقصر، في حين ان الفئة III هي للعنفات ذات الشفرات الاطول وبالتالي لا

- تتميز هذه العنفات بسرعة دوران عالية، وقد تطورت صناعتها، وأصبحت منذ عدة سنوات شائعة تجارياً، إذ أن كلفة انتاج الكيلووات ساعة بواسطتها تقل في الظروف الملائمة عن كلفة انتاج كيلووات ساعة في المحطات الحرارية لإنتاج الطاقة الكهربائية، ويتم تصنيع الشفرات/ الريش من الالياف الزجاجية والكربون بدلاً من المعادن، مما يؤمن خفة الوزن نسبياً، ويتفادى مشاكل الموجات الكهرومغناطيسية وتشويش الاتصالات اللاسلكية ومشاكل الصواعق. تزود عادة هذه العنفات بعلبة تحكم، كما يمكن توجيه الشفرات.

## مكونات العنفة الريحية

• **البرج:** أسطواناني الشكل ويصنع من الصلب، مثبت على قاعدة من الخرسانة المسلحة، وتوضع عليه الريش للاستفادة من زيادة سرعة الرياح مع زيادة الارتفاع.

• **الريش (Blades):** تثبت أعلى البرج على محور دوران أفقي، وتحتوي عادة كل تربينة على ثلاث ريش (من مادة الفايبر جلاس)، ذات زاوية دوران متغيرة، وتعمل على تحويل طاقة سرعة الرياح لطاقة حركة دوران.

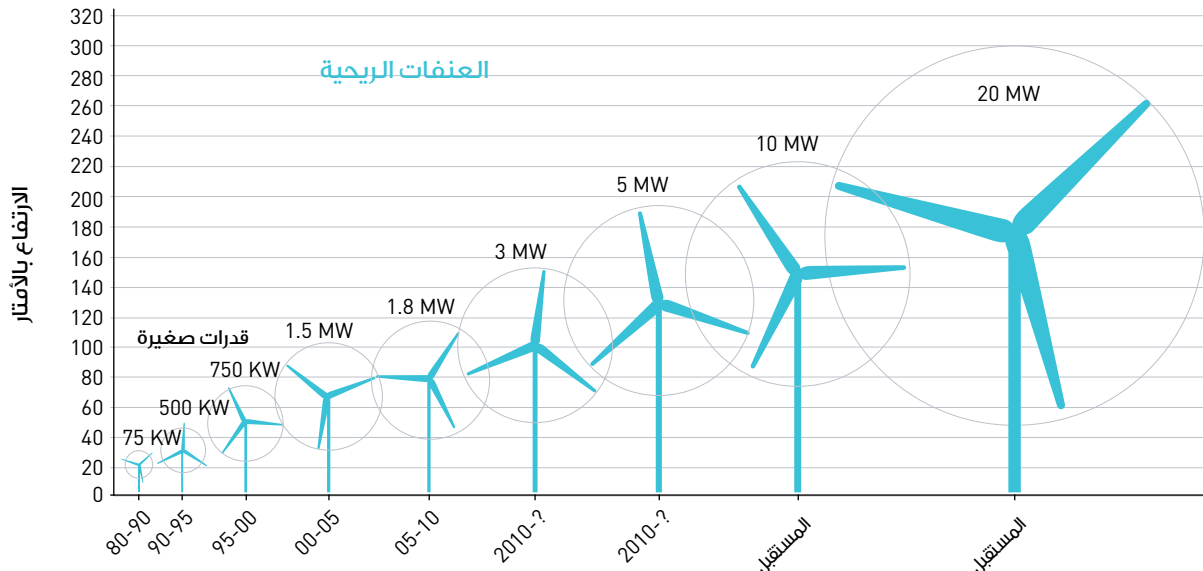
• **الصرة (Hub):** الجزء الذي تثبت فيه الريش وترتبط بمحور الدوران الرئيسي، وللصرة غطاء يصنع من مادة الفايبر جلاس او الحديد الصلب ويستخدم لحماية الأجزاء الداخلية من الأتربة والرمال والأمطار.

• حاوية الأجزاء المتحركة (Nacelle) وتوضع أعلى البرج، وتحتوي على:

- ناقل الحركة ويعتبر الوصلة بين محور الدوران الأفقي ومحور الدوران السريع الخارج من صندوق التروس.  
- صندوق تروس (Gear box) لتشغيل مولد الكهرباء (Generator).  
- كوابح/فرامل ميكانيكية أو هوائية.

• أنظمة حماية لتشغيل التربينة بشكل آمن، ولوحة التحكم في التشغيل (Controller).

- نظراً لتغير سرعة الرياح، فإن استطاعة العنفة الفعلية ليست نفسها، والطاقة المنتجة خلال العام هي أقل من الطاقة التي تنتج اذا عملت العنفة بكامل قدرتها (استطاعتها) الاسمية، لذلك يتم الدلالة على ذلك عبر مؤشر يسمى "عامل السعة" أو "معامل السعة" وهو ببساطة نسبة الطاقة



## القياسات التقريبية للعنفات الريحية

الارتفاع (علو البرج) بالمتر	قطر الشفرات بالمتر	القدرة الاسمية للعنفة الريحية بالكيلووات
لثأمين سرعة الرياح اللازمة	3	0.5
لثأمين سرعة الرياح اللازمة	5	3-1
30-25	14-12	300
60-40	20	850-750
110-60	90-80	2000-1800
120-80	100-80	3000-2500

## المصطلحات

عربي	انكليزي	فرنسي
طاقة متجددة	Renewable Energy	Energie Renouvelable
طاقة شمسية	Solar Energy	Energie Solaire
طاقة الرياح/ طاقة ريحية	Wind Energy	Energie Eolienne
عنفة ريحية/ عنفة الرياح	Wind Turbine	Eolienne
معامل/ عامل الخشونة	Rugosity factor	Coefficient de Rugosité
منوب	inverter	Onduleur
متزامن	Synchronous	Synchrone
غير متزامن	Asynchronous	Asynchrone
ثلاثي الاطوار	Three-phase	Triphasé
تيار مستمر	Direct current	Courant continu
تيار متناوب/ متردد	Alternative Current	Courant alternatif
استطاعة/ قدرة	Capacity	Puissance
توتر/ جهد	Voltage	Tension
التناضح العكسي	Reverse osmosis	Osmose inverse
الأغشية	Membranes	Membranes
كوابح	Brakes	Freins

تتحمل الرياح القوية. كما يضاف الى التصنيف المذكور، تصنيفاً آخر وفق فئات A,B,C وهي للتمييز بين العنفات الريحية وفق مقاومتها وأمان عملها في ظروف نوعية الرياح، أي شدة اضطرابها وليس سرعتها، أي لناحية الاضطراب في حركة الرياح التي يمكن للعنفة تحمله، وبالطبع A هي الافضل والأكثر تحملاً ومقاومة للاضطراب، ثم تليها B وتليها C، اما الفئة S فتعني ان العنفة غير مصنفة، لكن على مصممها تحديد مواصفاتها والإعلان عنها.

- نظراً لضرورة تأمين كامل الطاقة الكهربائية المستهلكة، مع الحفاظ على ذبذبة شبه ثابتة للتيار المتناوب، وبالتالي انتاج طاقة كهربائية مساوية، فإنه لا يمكن الركون الى العنفات الريحية التي يتغير انتاجها باستمرار مع تغير سرعة الرياح. لذلك يتوجب وجود مجموعات توليد أخرى عاملة على نفس الشبكة الكهربائية يكون على عاتقها زيادة انتاجها او تخفيضه بالتوازي مع انخفاض او زيادة انتاج العنفات الريحية في كل لحظة. وبالتالي فإن شركات الكهرباء عامة تأخذ ذلك بعين الاعتبار ولا تجهز العنفات الريحية على شبكتها الا بمقدار، وينصح عادة بعدم تجاوز قدرة العنفات الريحية 20 الى 30% من القدرة المطلوبة على الشبكة الكهربائية وتبرز هنا أهمية الربط الكهربائي بين الشبكات في الدول المتجاورة وأهمية توسع وامتداد الشبكات المربوطة التي تعطي فرصة لقدرة اضافية من العنفات الريحية من ناحية، ولا تتغير سرعة الرياح بنفس المنوال في أمكنة تواجد مزارع الرياح المتباعدة من ناحية أخرى.

- تجدر الاشارة في هذا السياق الى أنه من الممكن توقع حركة الرياح وسرعتها، عبر محطات رصد موزعة بعناية في بعض المواقع، ففي المانيا مثلاً، يتم اعطاء تنبؤات عن الرياح قبل الموعد بـ 72 ساعة مع نسبة خطأ معقولة، وقبل 24 ساعة تنخفض نسبة الخطأ الى 6%، وقبل ساعتين تنخفض نسبة الخطأ الى 2.5%.

- لا تحتل العنفات الريحية الا مساحة صغيرة على مستوى الأرض (لا تتجاوز حوالي عشرين متر مربع فيما يعود للعنفات العاملة حالياً)، لكنها تتطلب عادة انشاء طرق للوصول الى مواقعها ونقل اجزاءها وتركيبها، وكل ذلك لا يتجاوز واحد بالمائة من مساحة تجمعاتها (مزارع الرياح)، لذلك يمكن للمناطق الزراعية التي يتم فيها انشاء مزارع الرياح الاستمرار بالانتاج الزراعي.

- العمر التشغيلي المفترض للعنفة الريحية هو بحدود 20 عاماً

- تبلغ الكلفة السنوية لتشغيل وصيانة العنفة الريحية 2-4% من قيمة التجهيزات.

## - ماذا عن الضجيج ؟؟

- هناك فعلاً ضجيج صادر عن العنفة الريحية خلال عملها، وهو يعود بمعظمه الى حركة الشفرات/ الريش في الهواء، والى مغير السرعة باجزائه الميكانيكية. وحقيقة الأمر ان تطوراً كبيراً قد حصل في صناعة العنفات الريحية للتقليل من مستوى ضجيجها، حتى تم التوصل حالياً الى مستوى يقل كثيراً عما تتسبب به عادة حركة السير والقطارات وورشات البناء، مع الإشارة الى أنه عندما تكون الرياح قوية فإن ضجيجها يزيد عن ضجيج العنفات، اما عندما تكون الرياح ضعيفة فإن صوت العنفات الريحية يطفئ على صوت الرياح. لذلك ينصح عادة بأن يتم تركيب العنفات الريحية، لا سيما ذات القدرات الكبيرة، على بعد 300-500 متراً من تجمعات المنازل المأهولة.

بيت الأمم المتحدة، ساحة رياض الصلح  
صندوق البريد: 11-8575، بيروت، لبنان  
هاتف: +961 1 981301  
فاكس: +961 1 981510  
[www.escwa.un.org](http://www.escwa.un.org)

