

## مقدمة

توفر طاقة الرياح إمكانية واسعة لتوليد قدرات كبيرة من الطاقة الكهربائية من دون مشاكل التلوث التي تحدثها مصادر الطاقة التقليدية الحالية. فحجم تطوير هذا المصدر المتجدد يعتمد على الاختيار الأفضل للتوربين (العنفة) الهوائي و موقعه. لقد استخدمت طاقة الرياح منذ الآلاف السنين في طحن الحبوب والري وبعض التطبيقات الميكانيكية الأخرى. كما أن هناك مؤشرات تفيد بأن طواحين الهواء قد استخدمت من قبل البابليين في العراق، وفي الصين القديمة في الفترة التي تتراوح ما بين ١٧٥٠ إلى ٢٠٠٠ قبل الميلاد.

وتشير بعض المراجع الأجنبية إلى أن أمير المؤمنين عمر بن الخطاب هو من أوائل من استخدموا الطواحين الشراعية الميكانيكية. وانتشرت طواحين الهواء في أوروبا منذ القرن الثاني عشر فوصل عددها في عام ١٧٥٠ إلى أكثر من ٨٠٠٠ طاحونة في هولندا وأكثر من ١٠ آلاف طاحونة في إنجلترا. ولكن استخدام هذا المصادر من الطاقة تناقص بشكل كبير بعد اكتشاف جيمس وات الماكينة البخارية في نهاية القرن الثامن عشر، وقل استخدامه أكثر بعد اكتشاف النفط في بداية القرن الحالي.

بعد ارتفاع أسعار النفط وظهور بيئية ناتجة عن استخدام مصادر الطاقة التقليدية زاد الاهتمام بطاقة الرياح، ووصلت تكنولوجيا تصنيع طواحين الهواء في عقد الثمانينات من هذا القرن إلى درجة عالية من النضج بحيث يمكن حالياً تصنيع منظومات توليد الطاقة الكهربائية بكفاءة ممتازة وأسعار مناسبة. وما فتئت الجهود تبذل لتقليل سعر هذه المنظومات وزيادة الثقة بها من الناحية التقنية. وتنتج الدول الصناعية حالياً أنواعاً عديدة من الطواحين بتصاميم مختلفة ومن قبل عشرات الشركات تتجاوز الطاقة الصادرة من كل منها ١ ميغاواط.

ولفهم ميكانيكية استخلاص الطاقة من الرياح يجب معرفة عدد من المجالات منها الأنواع الجوية وديناميكية الموائع، ومبادئ توليد الطاقة الكهربائية، ومنظومات السيطرة، بالإضافة إلى تصاميم ونصب الهياكل الحديدية لحمل هذه الطواحين.

إن حركة الرياح تتولد نتيجة لامتنعاص أشعة الشمس من قبل عناصر الجو و سطح الأرض بنسب متفاوتة. فعند سقوط الإشعاع الشمسي على منطقة ما يتأثر الغلاف الجوي

ويسخن الهواء مما يؤدي إلى ازدياد كبير في حجمه، ويسفر ذلك عن انخفاض في كثافة وعندها يقل وزن عمود الهواء على وحدة المساحة التي تسقط عليها أشعة الشمس مما يؤدي إلى تقليل الضغط الجوي.

أما المناطق التي ينخفض فيها مقدار الإشعاع الشمسي فإن وزن عمود الهواء يزيد، وتبعاً لذلك يزيد مقدار الضغط الجوي على تلك المناطق، فيقوم الهواء بالانتقال من منطقة الضغط المرتفع حيث يقل الإشعاع الشمسي، إلى منطقة الضغط المنخفض، حيث الإشعاع الشمسي الأكثر، وذلك لمعادلة الضغط في المنطقتين. وهذا التدفق في الهواء من منطقة ذات ضغط مرتفع إلى ضغط منخفض هو الرياح.

وتتناسب الطاقة التي يمكن الحصول عليها من الرياح تناسباً طردياً مع مكعب سرعة الهواء، ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$\frac{1}{2} \rho A \eta U^3 = P_w$$

حيث  $P_w$  هي كمية الطاقة الكهربائية المستخرجة من الرياح (واط)، و  $P$  هي كثافة الهواء (كغ/م<sup>3</sup>) و  $U$  هي سرعة الرياح (م/ث)، و  $A$  مساحة الجزء المعارض للرياح (م<sup>2</sup>) و  $\eta$  هي كفاءة العنفة (التوربين).

ويتم عادة التعبير عن الطاقة المتوفرة من الرياح باستخدام العلاقة:

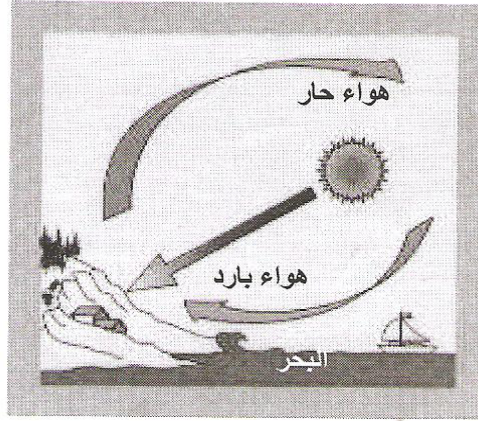
$$\frac{1}{2} \rho A U^3 = P / A$$

حيث تسمى  $(P/A)$  كثافة الطاقة *power Density* ويعبر عنه وبوحدة (واط/م<sup>2</sup>).

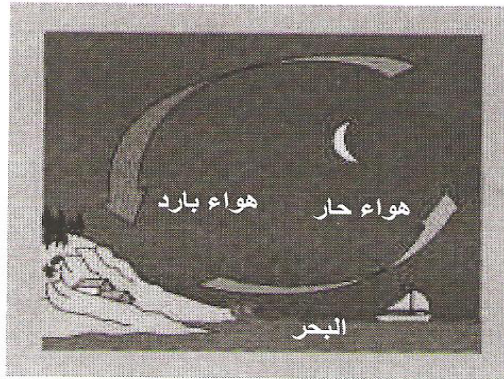
## ١-١ نسيم البر والبحر:

يتولد نسيم البر والبحر في المناطق الساحلة نتيجة لاختلاف السعة الحرارية للبحر والساحل كما في الكمثل (٤-١). فالأرض لها سعة حرارية أقل من البحر. ولهذا فهي تسخن بسرعة خلال النهار وتفقد حرارتها بسرعة أكبر في البحر. وخلال النهار يكون البحر أبرد من الأرض.

ولهذا يتولد تيار هوائي بارد على الساحل ليحل محل التيار الدافئ الخارج من الأرض و المرتفع إلى الأعلى، وهذا هو نسيم البحر، أما خلال الليل فينعكس تيار الهواء ليتحرك من الأرض هواء بارد يلفظ حرارة البحر وهذا هو نسيم البر، لذلك نرى أن البحارة يبحرون فجراً حيث يدفع الهواء القادم من الساحل أشرعتهم باتجاه البحر.



شكل (١-١a) : نسيم البحر، الرياح تتجه إلى الشاطئ خلال النهار

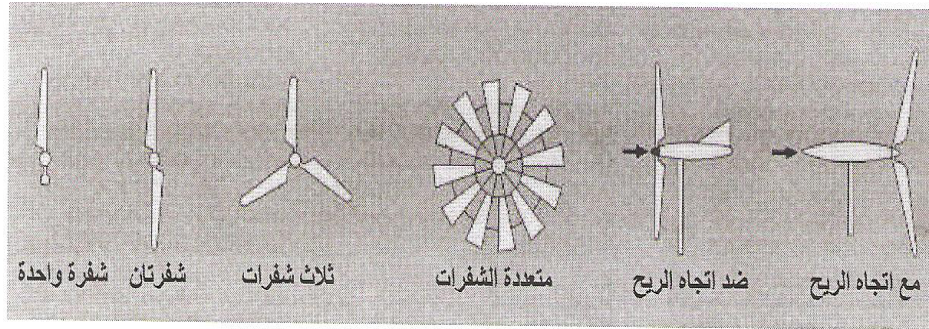


شكل (١-١b) : نسيم البر، الرياح تتجه إلى البحر خلال الليل

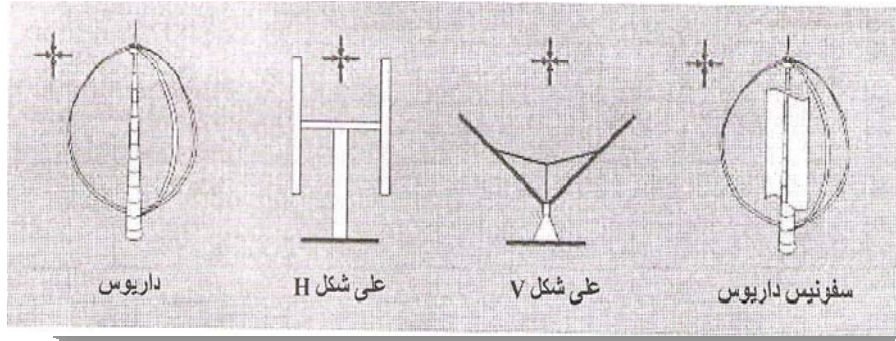
### ٣-١ طواحين الهواء (Wind Mills)

تعتبر طاقة الرياح من أقدم مصادر الطاقة التي استغلت منذ بداية الحضارات. وكان يعتقد أن الرياح لم تستخدم في العصور القديمة إلا لتسيير القوارب الشراعية، لكن الشواهد تؤكد أن استغلال هذا المصادر لتدوير طواحين الهواء يرجع إلى أكثر من ٤٠٠٠ عام. وكان مجال استخدامها في طحن الحبوب وبعض المواد الأخرى وقطع الأخشاب وضخ المياه وغيرها.

وقد اقترحت أنواع عديدة من المكين لاستغلال هذه الطاقة. ويبين الشكل (٤ - ٢) بعض هذه الأنواع.



شكل (١-٢a) : أنواع من طواحين الهواء الأفقية المحور



شكل (١-٢b) : أنواع من الطواحين الهواء عمودية المحور

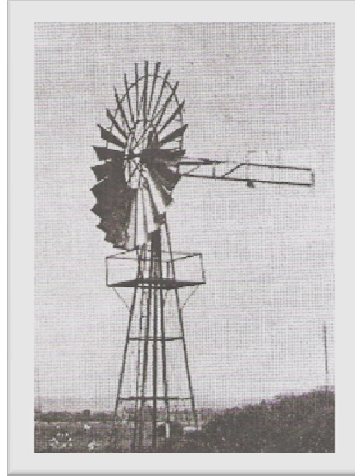


إن طواحين الهواء الحديثة التي عرفت لاحقاً باسم توربينات الرياح ( Wind Turbine ) تتكون من نوعين يتميَّزان عن الطواحين القديمة (ماعداً بعض الحالات المبتكرة القليلة) وهما التوربينات الأفقية المحور ( Horizontal Axis Wind Turbine ) والتوربينات العمودية المحور ( Vertical Axis Wind Turbine ) ويستخدمان لتوليد الطاقة الكهربائية بقدرات تتراوح بين عشرات من الواط إلى عدة ميغاواط.

### ١-٣-١ عَنَفَات (توربينات) الرياح الأفقية المحور

#### Horizontal Axis Wind Turbine

تتكون عَنَفَات الرياح الأفقية المحور عادة من شفتين (*Blades*) أو ثلاث أو أكثر، وعَنَفَات الرياح ذات العدد الكبير من الشفرات تظهر فعلياً كأنها قرص صلب مغطى بشفرات صلبة ويمكن وصفه بجهاز ذي صلابة عالية. ويتضمن هذا النوع الطاحونة المبينة بالشكل (٣-٤) المستخدمة في المزارع لضخ المياه. أما بالنسبة إلى الطواحين ذات العدد القليل من الشفرات فيكون فيها فراغ وقسم قليل منها صلب، ويمكن تعريفها بالأجهزة ذات الصلابة القليلة.

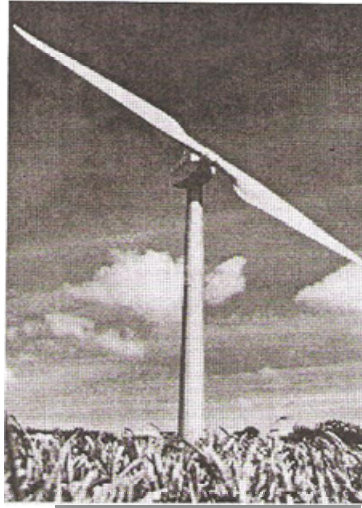


شكل (٣-١): طاحونة هواء أفقية متعددة الشفرات تستخدم عادة لضخ المياه

والعنفات ذات الصلابة القليلة المطورة من الطواحين التقليدية لها مظهر نظيف وانسيابي، وقد تم التوصل إلى هذا التصميم نتيجة لفهم المصممين لديناميكا الموائع التي تم اقتباسها بصورة عامة من تصاميم أجنحة الطائرات أو الأجهزة الدوارة الأخرى. فالجزء الدوار منها يحتوي على شفتين أو ثلاث شفرات، وهي تشبه الجناح كما في الأشكال (1- $a, b$ ) وهي مصنوعة بصورة خاصة لتوليد الطاقة الكهربائية.



شكل (1- $a, b$ ): طاحونة هواء افقيه ذات شفرات

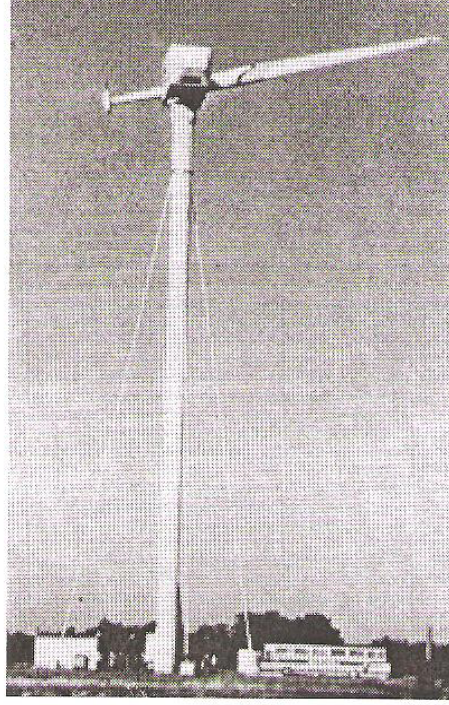


شكل (1- $b$ ): طاحونة هواء افقيه ذات شفتين

هذه العنفات مصنعة تجارياً لسعة تصل إلى ١ ميغاواط، وتنتج حالياً في كل من الدانمارك، والولايات المتحدة الأمريكية، والمملكة المتحدة، وهولندا، وألمانيا، وإيطاليا، وإسبانيا، وبلجيكا، واليابان، وأستراليا، والصين، وتقدر المراجع أن عدد طواحين الرياح

المشييدة على الأرض يبلغ أكثر من ٢٠ ألف مروحة متوسطة السعة، ويكون العدد أكثر من ذلك عند احتساب المراوح قليلة السعة في مختلف أنحاء العالم.

وتنتج المراوح الأحادية الشفرة بصورة واسعة في ألمانيا، وإيطاليا، وعلى الرغم من أن شكل هذه المراوح يبدو مختلفاً فإنها أرخص وأقل حملاً على الجزء الدوار (الشكل ٤-٥).



شكل (١-٥) طاحونة هواء أفقية أحادية الشفرة

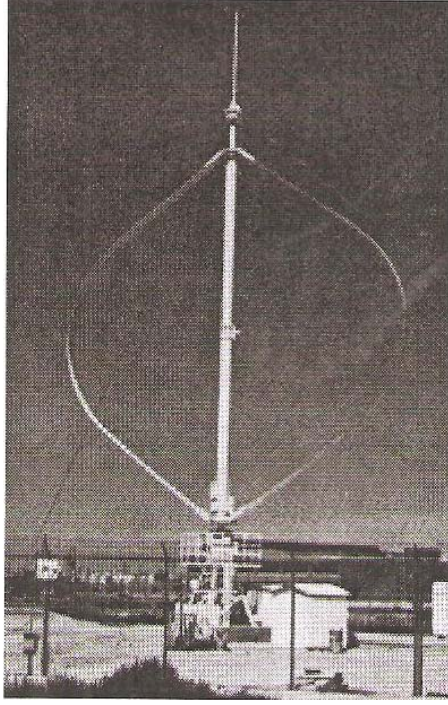
### ٢-٣-١ عَنَفَات (توربينات) الريح العمودية المحور

#### Vertical Axis Wind Turbine

العَنَفَات الريحية العمودية المحور لها محور دوران عمودي يختلف عن العَنَفَات الأفقية المحور لكونها تستغل الرياح في كافة الاتجاهات بدون الحاجة إلى إعادة تنظيم الجزء الدوار عندما يتغير اتجاه الرياح.

هذه العَنَفَات العمودية المحور الجديدة ابتكرت من قبل مهندس فرنسي يدعى جورج دارويس (George Darrieus) وقد حملت اسمه إحدى العَنَفَات العمودية، هذا الجهاز يشبه خفاقة البيض وله شفرات منحنية متصلة من أحد جوانبها بالجزء العلوي من

شافت (Shaft) أو عمود الدوران بينما يتصل الجانب الآخر بالجزء السفلي من عمود الدوران (الشكل ١-٦).



شكل (١-٦) : طاحونة هواء عمودية نوع دارويس

إن عَنَفَات دارويس هي الأكثر تقنية من بين العَنَفَات الريحية العمودية المحور. فلقد نصبت عدة مئات من هذا النوع في مرزعة ريحية (Wind Park) في كاليفورنيا، وأنتجت أيضاً أعداد قليلة منها في كندا، وتجري حالياً بحوث لتطوير التصميم في عدة دول منها ألمانيا وفرنسا وإسبانيا.

وشفرات عَنَفَات دارويس العمودية المحور تكون على شكل منحنى يشبه حبل القفز. وهذا الشكل كفاء ملائم لتحمل القوة الطاردة عن المركز العالية المسلطة على الشفرات. ومع هذا فإن هيئة الشفرة المنحنية تسبب مشاكل في التصنيع والنقل والنصب.

ولتخطي هذه المصاعب تم اقتراح أنواع عديدة من الحلول منها شفرات على شكل حرف (H) أو حرف (V). فالمروحة من نوع (H) الموضحة في الشكل (٤-٧) تتكون من برج يحتوي على شافت عمودي يتصل برأسه العلوي ذراعان أفقيان مربوط في نهاية كل منها شفرة عمودية.

أما المروحة الأخرى من نوع (V) الموضحة في (الشكل ٤-٨) فإنها تتكون من شفرتين على شكل صفيحة هوائية مربوطتين من إحدى نهايتهما بالشافت العمودي و مائلتين



بشكل يشبه حرف (V) ومن معالمها الواضحة هي قصر الشافت العمودي، ويكون المولد فيها منصوباً على الأرض، وهذا النوع لايزال قيد التجربة، وهو إلى حد الآن ليس منافساً اقتصادياً للمراوح العمودية التي على شكل حرف (H).



شكل (٨-١) : طاحونة هواء عمودية  
على شكل حرف V

شكل (٧-١) : طاحونة هواء عمودية  
شكل حرف H

#### ٤-١ كيف تعمل العَنَفَات (التوربينات) الريحية

تقوم العَنَفَات الريحية الأفقية والعمودية باستغلال قوى ديناميكا الهواء المتولدة بواسطة الصفائح الهوائية (Aero Foils) لاستخلاص الطاقة من الرياح، وكل من هذين النوعين يستخلص الطاقة بطريقة مختلفة.

ففي العَنَفَات الأفقية الثابتة، ومع اعتبار محور الدوران في اتجاه واحد مع اتجاه الرياح لسرعة ربح معينة وسرعة دوران معينة، تبقى زاوية الهجوم (Angle of Attack) لأي موضع على الشفرات ثابتة خلال فترة الدوران (تعرف زاوية الهجوم بأنها الزاوية التي يصنعها جسم مع اتجاه سريان الهواء مقاسة على خط ثابت في الجسم).

أما في العَنَفَات العمودية وفي نف الظروف فإن زاوية الهجوم في أي موقع على الشفرات تتغير بشكل ثابت خلال فترة الدوران. وخلال التشغيل الاعتيادي للمحور الأفقي للجزء



الدوار فإن اتجاه الرياح على الصفيحة الهوائية يبقى ثابتاً. وفي حالة العَنَفات العمودية فغن زاوية الهجوم تتغير من موجب إلى سالب، وإلى موجب خلال كل دورة. وهذا يعني أن جانب الشفط ينعكس خلال كل دورة لضمان استخلاص الطاقة في حالتي كون زاوية الهجوم موجبة أو سالبة.

#### ٤-٥ تأثير عدد الشفرات

يمكن حساب سرعة دوران العَنَفات الريحية إما بالدورة في الدقيقة (Rotation Per Minute) أو بزاوية نصف قطرية في الدقيقة ( $\text{rad s}^{-1}$ ) وسرعة الدوران في الدقيقة (RPM) يرمز لها بالرمز N والسرعة الزاوية يرمز لها بالرمز ( $\text{rad s}^{-1}$ ).  
وللعلم فإن: ١ دورة في الدقيقة ( $\text{rpm}$ ) =  $\frac{\pi}{60}$  ( $\text{rad s}^{-1}$ ) =  $0,10472$  ( $\text{rad s}^{-1}$ )  
(حيث  $\pi = 3,14$  أو  $\frac{\pi}{\sqrt{}}$ ).

ومن المقاييس الأخرى لسرعة التوربين هو سرعة التماس U ، وهي سرعة التماس للجزء الدوار على سطح الشفرات مقاسة بالمتر في الثانية، وهي حاصل ضرب السرعة الزاوية  $\Omega$  للجزء الدوار ونصف قطر منطقة التماس R (متر). ويمكن تعريفها بمايلي :

$$U = \frac{\pi R \Omega}{60}$$

وعند تقسيم سرعة التماس U على سرعة الرياح في حالة السكون  $V_0$  في المسار العلوي للجزء الدوار نحصل نسبة مهمة (غير قياسية) ليس لها وحدات تدعى نسبة سرعة التماس ويرمز لها بـ  $\lambda$ .

وهذه النسبة تعتبر مقياساً لمقارنة عَنَفات رياح ذات خصائص مختلفة. ويمكن لعَنَفَة رياح ذات تصميم معين أن تعمل على مديات واسعة من نسب سرعة التماس ولكنها تعمل بأعلى كفاءة عند نسبة سرعة تماس معينة. ونسبة سرعة التماس القصوى لعَنَفَة (لتوربين) رياح معين تعتمد على عرض الشفرات (Blade Width) وعددها (Number Of Blades).

فالعَنَفات الريحية ذات العدد الكبير من الشفرات لها مساحة كبيرة من الجزء الصلب، وتسمى عَنَفات الرياح ذات الصلابة القليلة. ولاستخلاص أكثر مايمكن من الطاقة بأكثر

كفاءة ممكنة فإن الشفرات يجب أن تتماس مع أكبر كمية من الرياح المارة خلال مساحة الجزء الدوار.

فالعنف ذات الشفرات العريضة و العديدة تتماس مع الرياح تحت نسبة سرعة تماس قليلة جداً، ولكن العنف ذات الشفرات الرفيعة و القليلة يجب أن تدور بسرعة كبيرة لتستطيع التماس مع الهواء المار. فإذا كانت نسبة سرعة التماس قليلة فإنه سيمر جزء من الهواء بدون تماس مع الشفرات وأما إذا كانت نسبة سرعة التماس عالية جداً فإن العنف ستظهر مقاومة كبيرة للرياح وبذلك تذهب الرياح حول الجزء الدوار.

فالعنف ذات الشفرتين والتي لها نفس عرض شفرات عنفة ذات ثلاث شفرات تكون فيها نسبة سرعة تماس قصوى أكبر بنسبة الثلث من العنف ذات الثلاث شفرات. والعنفات ذات الشفرة الواحدة والتي لها عرض شفرات مساوي لشفرات عنفة ذات شفرتين لها ضعف نسبة سرعة التماس مقارنة بالعنف ذات الشفرتين. إن نسبة سرعة التماس القصوى للعنفات الحديقة تتراوح بين ٦ و ٢٠.

ونظرياً إنه عندما يكون عدد الشفرات كبيراً فإنه يجب أن تكون الكفاءة أعلى، ولكن وجود شفرات كثيرة يمكن أن يؤدي إلى التداخل بينها، وبهذا تكون العنف ذات الشفرات الكثيرة العدد أقل كفاءة ولهذا فإن العنفات ذات الصلابة العالية تكون أقل كفاءة بصورة عامة من العنفات ذات الصلابة القليلة. وفي العنفات ذات الصلابة القليلة وجد أن العنفات ذات الثلاث شفرات أعلى كفاءة من العنفات ذات الشفرتين، وأن الأخيرة أعلى كفاءة من العنفات ذات الشفرة الواحدة.

إن القوة الميكانيكية المستخلصة من عنفات الرياح تعادل حاصل ضرب السرعة الزاوية والعزم المسلط من قبل الرياح، والعزم هو القوة المسلطة حول مركز الدوران نتيجة لوجود قوة ضاربة من قبل الرياح على شفرات الجزء الدوار، ويقاس بالنيوتن - متر، ولقوة معينة ثابتة فإن لأقل سرعة زاوية عزمياً أعلى ولأعلى سرعة زاوية عزمياً أقل.

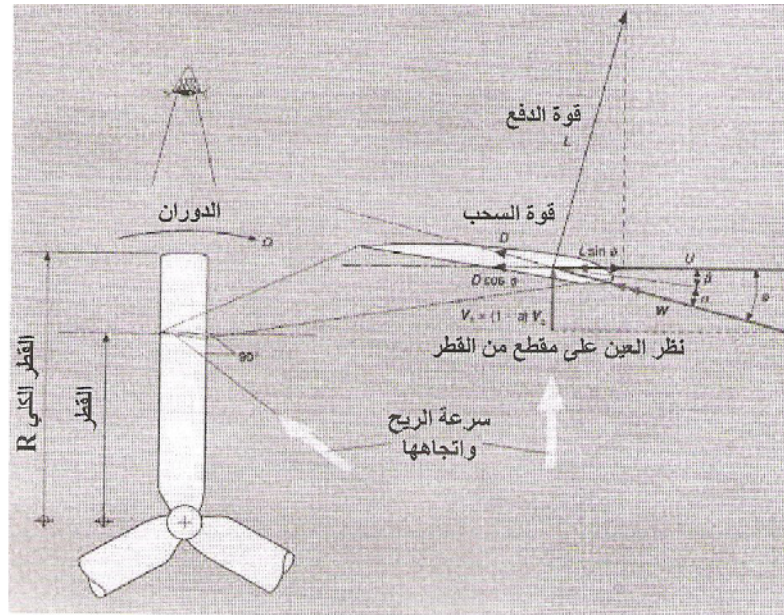
## ٦-١ كيفية عمل العَنَفَات (التوربينات) الريحية الأفقية المحور ( Horizontal Axis

Wind Generators) تكون محاور التدوير في هذا النوع من العَنَفَات على خط اتجاه الرياح، وتسمى بأجهزة الجريان المحوري. ويبقى محور الدوران بنفس خط اتجاه الرياح بواسطة آلية الانعراج (Yawing Mechanism) وهي التي تعيد دائماً الجزء الدوار إلى موقعه باتجاه الرياح.

ويعتمد اداء الجزء الدوار ذي المحور الأفقي على عدد وشكل الشفرات، ومقطع الصفيحة الهوائية بالإضافة إلى طول وتر الشفرة، وزاوية الرياح النسبية، وزاوية القذف للشفرة (تساوي الفرق بين زاوية الرياح النسبية وزاوية الهجوم) في مواضع مختلفة على طولها، ومقدار الانحراف بين محور التوربين ونقطة التماس مع الشفرة.

## ١-٦-١ القوى المؤثرة وسرعة شفرات العَنَفَات (التوربينات) الريحية الأفقية

يوضح الشكل (٩-١) مقطعاً من الشفرة الدوارة لعَنَفَة أفقية والمخطط الموجه للقوى، والسرع في موقع معين على طول الشفرة وفي وقت معين.



شكل (٩-١): مخطط بيان المتجهات لمقطع من شفرة الدوار المتحركة لعَنَفَة أفقية

وبما أن الشفرات تتحرك فالاتجاه الذي ترى فيه الشفرة سرعة الرياح النسبية ( $V$ ) هو محصله سرعة التماس ( $U$ ) للشفرة في نفس الموقع وسرعة الرياح  $V$  عند الجزء الدوار. وسرعة التماس (متر/ثانية) في أي موقع على الشفرة هي حاصل ضرب السرعة الزاوية  $\Omega$  ( $\text{rad s}^{-1}$ ) للجزء الدوار ونصف القطر المحلي  $r$  (متر) في أي موقع أو  $U = \Omega r$ . سرعة الرياح على الجزء الدوار  $V$  هي سرعة الرياح الساكنة في أعلى الجزء الدوار  $V_0$  مضروبة بمعامل يأخذ بالحسبان تخفيض سرعة الرياح نتيجة لاستخلاص الطاقة، وهذا المعامل يسمى معامل التداخل المحوري (Axial Interface Factor) ويرمز له بـ  $\alpha$ .

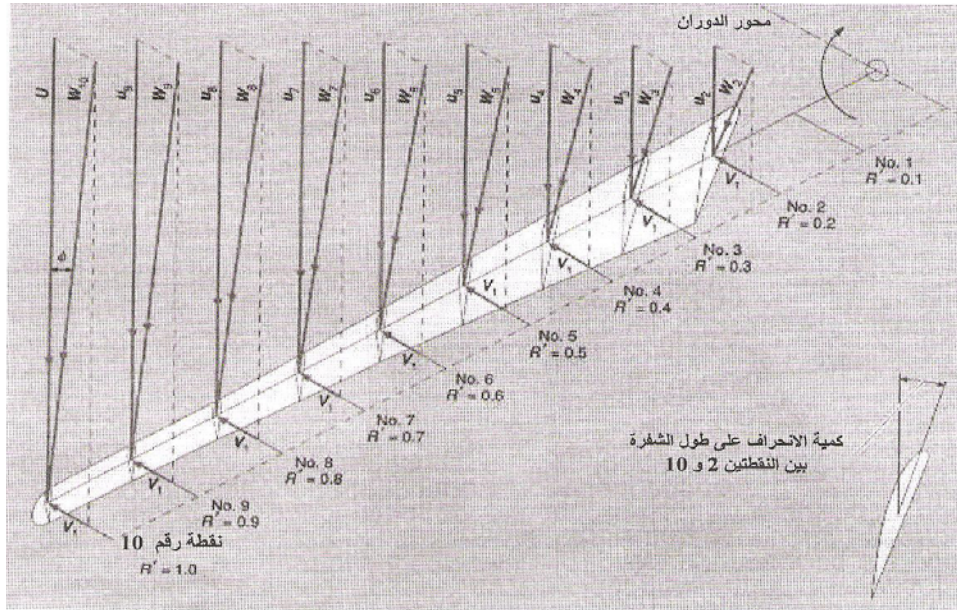
وقد أوضح البرت بتز (Albert Betz) في عام ١٩٢٨ أن أعلى قيمة للقوة التي يمكن استخلاصها نظرياً لا يمكن أن تتعدى ٥٩,٣% وتقل عند ذلك سرعة الرياح الساكنة بنسبة  $\frac{1}{3}$  وبمعنى آخر عندما يكون مقدار معامل التداخل المحوري  $\alpha$  يساوي  $\frac{1}{3}$  القيمة ٥٩,٣% فإنه يدعى أحياناً حدود بتز.

إن زاوية الرياح النسبية  $\Phi$  هي الزاوية التي تعلمها الرياح النسبية مع الشفرة (على نقطة معينة من نصف القطر المحلي للشفرة) مقاسة من مستوى سطح الدوران. أما زاوية الهجوم ( $\infty$ ) في أية نقطة على الشفرة فإنها يمكن أن تقاس بالنسبة لزاوية الرياح النسبية. كما أن زاوية قذف الشفرة  $\beta$  (Blade Pitch Angle) تساوي الفرق بين زاوية الرياح النسبية وزاوية الهجوم، وبما أن الجزء الدوار محدد بالدوران في مستوى معين بزاوية موافقة مع الرياح الساكنة فإن القوة المحركة على أية نقطة في الشفرة هي القوة المركبة لقوة الرفع للمصفيحة الهوائية، والتي تؤثر في مستوى الدوران، وتساوي حاصل ضرب قوة الرفع ( $L$ ) وجيب ( $\sin$ ) سرعة الرياح النسبية  $\Phi$  وتساوي ( $L \sin \Phi$ ). أما القوة المركبة للسحب في أية نقطة من الجزء الدوار فهي حاصل ضرب قوة السحب ( $D$ ) وجيب تمام زاوية ( $\cos$ ) الرياح النسبية  $\Phi$  وتساوي ( $D \cos \Phi$ ).

لأحظ أن العزم المقصود هو العزم حول محور الدوران ووحداته نيوتن - متر ( $NM$ ) على نقطة من الشفرة تساوي حاصل ضرب القوة المحركة في سطح الدوران (وهي الفرق بين مركبة قوة على مستوى الدوران وقوة السحب في مستوى الجزء الدوار ونصف القطر الموضعي).

أما العزم الكلي  $Q$  المسلط على الجزء الدوار فإنه يمكن حسابه من جمع العزوم المسلطة على كل النقاط على طول الشفرة مضمروباً في عدد الشفرات. والقوة الناتجة من الجزء الدوار تساوي حاصل ضرب العزم الكلي  $Q$  والسرعة الزاوية للجزء الدوار  $\Omega$ . إن قيمة واتجاه سرعة الرياح النسبية  $\Phi$  تتغير على طول الشفرة بالنسبة إلى نصف القطر الوضعي  $r$  وذلك لأن سرعة التماس الوضعية  $U$  لأي جزء من الشفرة تساوي حاصل ضرب السرعة الزاوية للجزء الدوار ( $\Omega$ ) ونصف القطر الوضعي  $r$  للشفرة. وعندما تقل سرعة التماس باتجاه رأس الجزء الدوار فإن السرعة النسبية  $\Phi$  تزداد تدريجياً.

وغالباً ما تكون الشفرة مصممة بحيث تكون زاوية الهجوم ثابتة على طولها، ويجب أن يكون لها التواء بكمية تتغير تدريجياً من القمة إلى القاعدة. ويوضح الشكل (١٠-٤) الالتواء التدريجي لشفرة الجزء الدوار من توربينات الرياح الأفقية. وإن معظم مصنعي الشفرات ينتجون شفرات ملتوية على الرغم من إمكانية إنتاج شفرات غير الملتوية. فالشفرات غير الملتوية أرخص لكنها أقل كفاءة.



شكل (١٠-٤): منظر ثلاثي الأبعاد لشفرة الجزء الدوار لعنفة أفقية يوضح فيه تغير زاوية سرعة الرياح النسبية مع طول الشفرة



## ٦-١-٢ السيطرة على السكون (Stall Control)

لنفرض أن العنفة تدور بسرعة ثابتة مهما كانت سرعة الرياح، وأن زاوية قذف الشفرة ( $\beta$ ) ثابتة أيضاً. فعند ازدياد سرعة الرياح تقل نسبة السرعة في القمة وفي نفس الوقت تزداد زاوية الرياح النسبية مسببة ازدياد زاوية الهجوم. ومن الممكن استخدام هذه الخصائص للسيطرة على العنفة في حالة الرياح العالية. وتم تصميم شفرات الجزء الدوار بطريقة ما بحيث تقل كفاءتها عند السرعة العالية، وذلك باقتراب زاوية الهجوم من زاوية السكون، وعندها تقل قوة الرفع ويكون العزم على منطقة الشفرات معدوماً. وهذه الطريقة مستخدمة بنجاح في عدد كبير من العنفات الريحية الأفقية والعمودية.

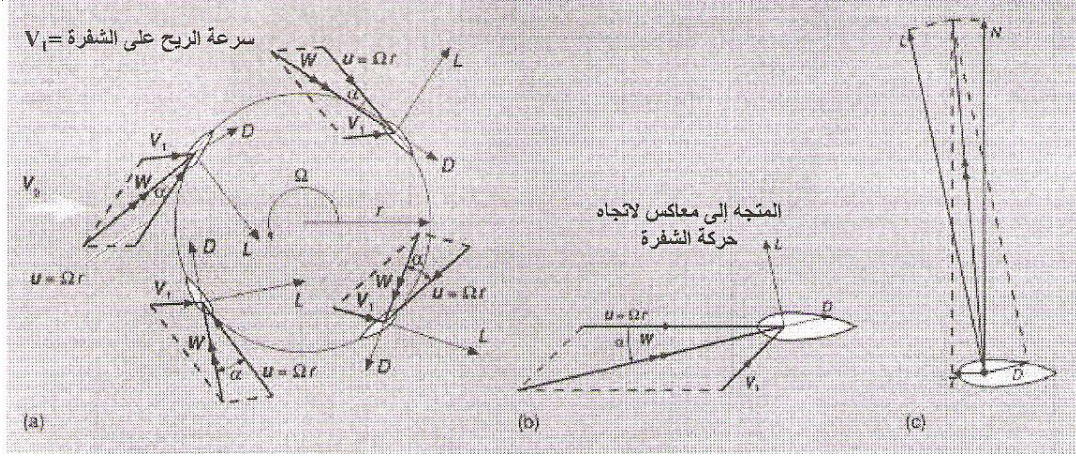
## ٧-١ كيفية عمل عنفات (توربينات) الرياح العمودية المحور

العنفات العمودية المحور الحديثة تختلف عن العنفات الأفقية لأنها أجهزة ذات سريان متقاطع (*Cross-Flow Devices*) وهذا يعني أن الاتجاه الذي يمر منه تيار الهواء الساكن يأتي من الزوايا المناسبة لمحور الدوران أو أن الهواء يمر عبر المحور وعندما تدور شفرات الجزء الدوار فإنها تندفع على السطح بثلاثة أبعاد مقارنة بانفعالها على سطح دائري أحادي كما في شفرات التوربينات الأفقية.

فعندما تدور الشفرات بسرعة أكبر بعدة مرات من سرعة الرياح الساكنة فإن زاوية الهجوم في منطقة سرعة الرياح النسبية ستتغير ولكنها تبقى قليلة لتمكين الشفرات من امتصاص قوى الديناميكا الهوائية التي تولد قوة تماس محرك وعزماً على الجزء الدوار. والعنفات الريحية العمودية تعمل عند سريان الرياح بأي اتجاه، وإذا افترضنا أن الرياح تهب من اتجاه معين وقيمة زاوية التوطين (*Setting Angle*) للشفرة مثبتة بحيث يكون الوتر في خط مستقيم مع مماس المسار الدائري للدوران و بصورة أوضح. فإن زاوية الشفرة بالنسبة لاتجاه الرياح الساكنة تتغير من صفر إلى ٣٦٠ درجة لكل دورة كاملة.

ويتبين من ذلك أن زاوية الهجوم من الرياح إلى الشفرة تتغير بنفس القيمة، ولهذا فإنه من غير الممكن أن تتحرك العنفة الريحية العمودية، ولكن مع ذلك يجب أن نأخذ بالحسبان بأنه عند تحرك الشفرة فإن زاوية الرياح النسبية التي تراها الشفرة هي محصلة سرعة الرياح  $V$  للجزء الدوار وسرعة الشفرة  $U$ . فإن الشفرة تتحرك بسرعة كافية مقارنة بسرعة

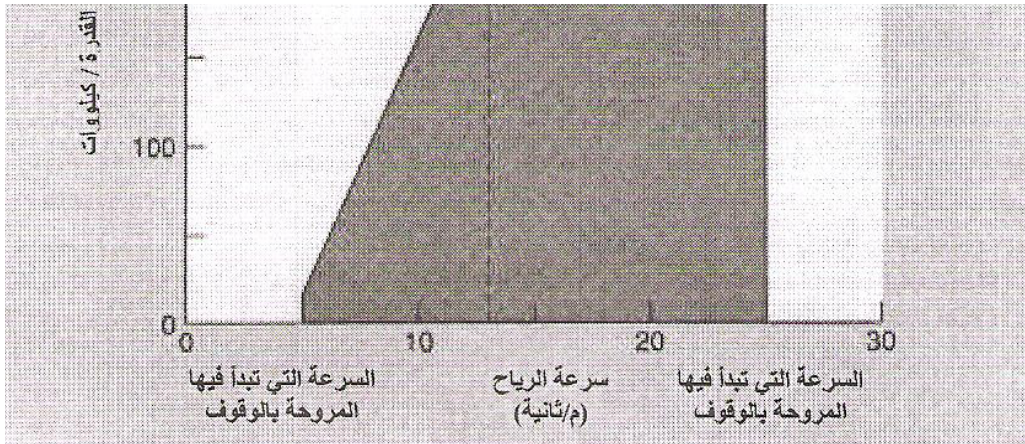
الرياح، وإن زاوية الهجوم التي تعلمها الشفرة مع سرعة الرياح النسبية  $W$  تتغير بمقدار قليل جداً كما هو موضح بالشكل (١١-١).



شكل (١١-١): قوى الرفع والسحب على شفرات الجزء الدوار

### ٨-١ القدرة والطاقة المستخلصة من عَنَفَات (توربينات) الرياح

كمية القدرة التي تنتجها عَنَفَة الرياح تتغير مع سرعة الرياح، وكل عَنَفَة لها خصائص معينة ومنحنى للسرعة والقدرة (Wind Speed- Power Curve) ومثال على ذلك العَنَفَة الموضحة في الشكل (١٢-٤). هذا المنحنى يبين الطاقة التي تنتجها العَنَفَة في موقع معين و تحت سرعة رياح معينة.



شكل (١٢-١): منحنى السرعة والقدرة لعَنَفَة عادية

### ١-٨-١ كمية الطاقة التي تنتجها العنفة (التوربين)

إذا تمت معرفة المعدل السنوي لسرعة الرياح في موقع فإن المعادلة التالية يمكن استخدامها (EWEA 1991, Andersom, 1992) لتقدير الطاقة التي تستطيع أن تولدها العنفة بالكليوواط- ساعة في السنة لعدد من عنفات الرياح.

$$KV^{\alpha}AT = \text{الطاقة السنوية المولدة}$$

الثابت  $\alpha = 2,5$  وهو معامل يعتمد على: خصائص أداء العنفة، ومعدل صلاحية عمل العنفة البالغة (٩٠٪) والضياع (٥٪) من التأثير على العنفة الحاصل من وجود العنفة في صف من العنفات، والعلاقة بين معدل سرعة الرياح وتوزيع تغيرات سرعة الرياح.

$$V = \text{المعدل السنوي لسرعة الرياح (متر/ ثانية) في الموقع}$$

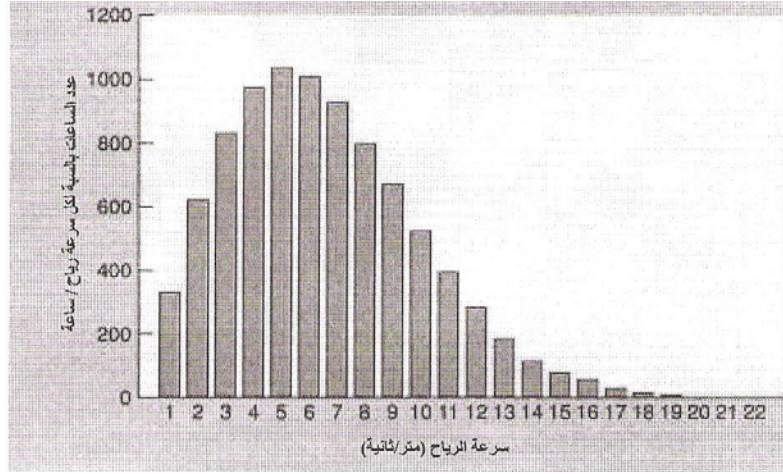
$$A = \text{المساحة التي تشغلها العنفة بالمتري المربع}$$

$$T = \text{عدد العنفات}$$

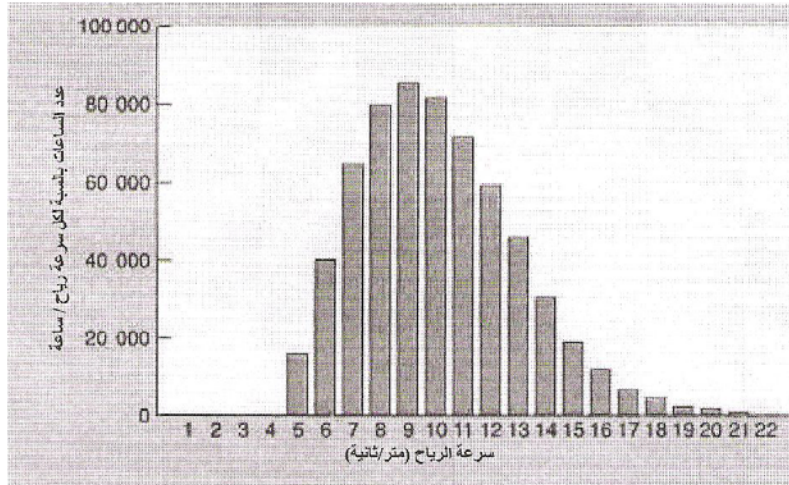
يجب استخدام هذه المعادلة بحذر و ذلك لأنها تعتمد على خصائص عنفات الرياح الموجودة حالياً، وافترض علاقة تقريبية بين المعدل السنوي لسرعة الرياح وتوزيع تغيرات سرعة الرياح و التي يمكن أن تكون غير دقيقة في المواقع المختلفة.

إن الطاقة التي تولدها العنفة تعتمد على كل من منحنى القدرة والسرعة (Speed-Power Curve) وتوزيع تغيرات سرعة الرياح (Wind Speed Frequency Distribution) في الموقع. و المنحنى الأخير يوضح عدد الساعات التي تهب فيها الريا في سرع مختلفة في زمن محدد. ويبين الشكل (٤-١٣) توزيع تغيرات سرع الرياح لكل سرعة رياح واقعة ضمن السرع التي تعمل بها العنفة (بين السرعة التي تبدأ بها العنفة بالاشتغال و السرعة التي تتوقف عندها العنفة عن العمل). والطاقة المولدة لهذه السرعة يمكن حسابها من حاصل ضرب عدد ساعات الحدوث مع القدرة التي تولدها العنفة في هذه السرعة (مستقاة من منحنى القدرة وسرعة الرياح للعنفة) وهذه المعلومات يمكن استخدامها لتكوين منحنى لاغيرات سرع الرياح، وكما هو مبين بالشكل (٤-١٤) فإن كمية الطاقة المولدة يمكن حسابها من جمع الطاقة المولدة في كل سرع الرياح في مدى السرع التي تعمل بها العنفة.





شكل (١-١٣) : منحني توزيع سرعة الرياح



شكل (١-١٤) : منحني القدرة

وأفضل طريقة لإيجاد توزيع سرعة الرياح في موقع معين هو قياس سرعة الرياح بأجهزة تسجيل عدد الساعات التي تحدث بها هذه السرعة في كل مدى لسرعة الرياح (بمعنى آخر، من صفر- ١ متر بالثانية، من ١-٢ متر بالثانية، من ٢-٣ متر بالثانية... الخ). وكلما زاد عدد القياسات المسجلة كان التقدير أكثر دقة. ولأن القدرة تتناسب مع مكعب السرعة فإن أي خطأ قليل في تقدير السرعة يولد خطأ كبير في حساب الطاقة المولدة.

وهناك عامل آخر يؤثر على الطاقة المولدة وهو خسائر (الضياع في) نقل الطاقة، وصلاحيية العنفة للعمل. فصلاحيية عمل العنفة تعتبر مؤثراً في نسبة الاعتماد على

تشبيدها ومتانتها وإمكانيتها على التوليد بدون مشاكل. فمعظم العنفات الحالية لها صلاحية عمل أكثر من ٩٠٪ ولقسم منها أكثر من ٩٥٪ من العمر الافتراضي لها.

### ٩-١ خصائص تخمين سرعة الرياح في موقع

#### *Characteristic Of Accessory The Wind Speed At Site*

من المكلف جداً القيام بقياسات مفصلة في موقع، ولكن هناك عدد من التقنيات التي يمكن استخدامها للحصول على تقدير مقارب لخصائص سرعة الرياح في المنطقة. وهذه التقنيات لا يمكن بأي حال من الأحوال أن تكون مثل دقة القياسات الطويلة الأمد لكنها يمكن أن تكون دليلاً على إمكانية القيام بتسجيل قياسات طويلة الأمد لبيان إمكانية الحصول على طاقة من الرياح في موقع ما. وتقنيات التقدير تتضمن حالياً مايلي:

#### ١-٩-١ استخدام قياسات سرعة الرياح من مناطق مجاورة

يمكن استخدام القراءات المتوفرة في موقع واحد أو عدة مواقع مجاورة وتقدير المعلومات حول الموقع المطلوب بواسطة التحليل مأخوذاً بنظر الاعتبار الفروق بين الموقع المقترح والمواقع المجاورة.

#### ٢-٩-١ استخدام الأطلس وخرائط سرعة الرياح

الخرائط المتوفرة في معظم البلدان العربية أو أطلس الرياح الذي أنجزته المنظمة العربية للتربية والثقافة و العلوم (الألكسو) يمكن أن تكون مؤشراً اولياً على إمكانية توفر الرياح في المناطق المختلفة.

#### ٣-٩-١ استخدام نماذج رياضية لسريان الرياح

تم تطوير عدة نموذج رياضية يمكن بواسطتها تقدير طبوغرافية المنطقة على سرعة الرياح. ومن متطلبات تقدير جهد الرياح في موقع ما الحصول على بيانات حركات الرياح واتجاهاتها وتكرارها من محطة قريبة نسبياً من هذا الموقع.

#### ١٠-١ التطوير التجاري لمنظومات طاقة الرياح

إن التطور الحالي في صناعة العنفات الريحية يعود إلى تطور هذه الصناعة في كل من الدنمارك وولاية كاليفورنيا الأمريكية. لقد استمرت بحوث تصنيع المراوح الريحية



لغرض توليد الطاقة الكهربائية منذ القرن التاسع عشر وحتى بداية السبعينات من القرن العشرين.

وبعد أزمة النفط عام ١٩٧٣ عندما قرر الملك فيصل (رحمه الله) ملك المملكة العربية السعودية وقف تصدير النفط إلى أمريكا، بدأ استخدام المولدات الريحية الصغيرة في الحقول يتطور من قبل بعض الشركات الزراعية في الدنمارك ولاية كاليفورنيا الأمريكية، وهذه الشركات يعود إليها الفضل في دفع تطوير هذه الصناعة من وحدات صغيرة إلى وحدات كبيرة تربط بالشبكة الكهربائية. وبدأ التطور السريع في منتصف الثمانينات عندما تم تشييد أعداد كبيرة من المولدات وذلك نتيجة لتخفيض الضرائب على هذه الصناعة لتشجيع انتشارها.

وتشير الإحصاءات أنه ولغاية نهاية عام ١٩٩١ تم نصب حوالي ١٥٥٠٠ عَنفة رياح ولدت من الكهرباء ما قدره ١٦٢٠٠ ميغاواط، وقد كان إنتاج هذه العَنفات من الوحدات الكهربائية ٢٧٠٠ مليون كيلوواط - ساعة في عام ١٩٩١.

وفي الدنمارك وصل عدد عَنفات الرياح العاملة في نهاية عام ١٩٩٠ إلى ٢٨٨٠ عَنفة رياح بسعة توليد مقدارها ٣٤٣ ميغاواط، وهذه المراوح تنتج من الوحدات الكهربائية حوالي ٦٠٤ مليون كيلوواط - ساعة وهو ما يعادل ٢٪ من الطاقة المستهلكة في الدنمارك. وفي العقد الأخير تطور استخدام عَنفات الرياح في بعض الدول الأوربية، ففي عام ١٩٩٣ كانت الطاقة المولدة من عَنفات الرياح في المملكة المتحدة ٢٠٢٠٠٠ ميغاواط - ساعة، وفي عام ١٩٩٣ ارتفع هذا الرقم إلى ٣١٧٠٠٠ ميغاواط - ساعة.

### ١-١٠-١ العَنفات (التوربينات) الريحية ذات السعات الصغيرة

#### *Small Size Wind Turbines*

منذ زمن طويل يتم تصنيع التوربينات الريحية لتوليد الطاقة الكهربائية لتزويد بعض الحقول و المنازل المنعزلة والمجتمعات النائية وشحن بطاريات القوارب والكرفانات.

وفي الوقت الحالي تستغل طاقة الرياح لتزويد طاقة غرق (كابينات) التلفون في المناطق النائية. إن كلفة عَنفات الرياح الصغيرة - بالنسبة للكيلوواط المولدة - تكون أعلى من كلفة العَنفات ذات السعة المتوسطة، وفي كلتا الحالتين لا يمكنها منافسة الطاقة الكهربائية المولدة من الطرق التقليدية ومع ذلك يتم استخدام هذه المنظومات في المناطق النائية حالياً. وقد استطاعت إحدى الشركات البريطانية بيع أكثر من ٢٠٠٠ عَنفة رياح صغير

يقوم بتوليد حوالي ٥٠ واط، إذ تستخدم لشحن البطاريات. وهناك نشاط واسع لتصنيع بعض المنظومات الصغيرة والمتوسطة السعة التي تتضمن ماكينة ديزل كمصدر مساعد مع خزن لفترات قصيرة بالبطاريات يتم استخدامها عندما تكون الرياح ساكنة لفترة طويلة نسبياً؛ ولكنها ذات مردود اقتصادي في الأماكن البعيدة كالجزر المنعزلة وغيرها.

## ١١-١ الإمكانيات المتاحة لطاقة الرياح

بعد مسح المساحة الكلية على سطح الكرة الأرضية للمناطق المناسبة لنصب توربينات الرياح فيها، قام فان ويجك وآخرون في عام ١٩٩١ بتقدير الإمكانيات النظرية المتاحة في العالم في هذه المناطق، فكانت ٢٠٠٠٠ تيراواط - ساعة السنة (Twh yer<sup>1</sup>) وهذه تعادل ضعف الاستهلاك العالمي للطاقة الكهربائية في عام ١٩٨٧ والذي كان ٩٠٠ تيراواط - ساعة.

وبعد الأخذ في الاعتبار المحددات المختلفة التي تواجه نصب مثل هذه المنظومات، توصل هذا الفريق من علماء الطاقة إلى أنه يمكن نصب عنفات رياح بسعة ٤٥٠٠٠٠ ميغاواط (١ ميغاواط =  $١٠^6$  واط) لغاية عام ٢٠٢٠، وهذه الكمية ستقوم بتوليد ما يقارب من ٩٠٠ تيراواط - ساعة في السنة وهو ما يعادل ١٠٪ من الاستهلاك العالمي للطاقة الحالي أو ٣,٥٪ من الاستهلاك المتوقع في عام ٢٠٢٠، طبقاً لتقدير مجلس الطاقة العالمي. وهذه الكمية المولدة ستمنع انبعاث ٨٠٠ مليون طن من ثاني أكسيد الكربون لو أن توليد الطاقة الكهربائية تمّ من المحطات التي تستخدم الفحم الحجري.

لقد بينت جمعية الرياح الأوروبية أنه بالإمكان توليد ١٠٪ من الطاقة الكهربائية المستهلكة في دول أوروبا في عام ٢٠٣٠ مستخدمة عنفات رياح بسعة ١٠٠ ميغاواط موزعة في أوروبا على مساحة مقدارها ٥٤٠٠ كم<sup>٢</sup>. وان ٩٩٪ من هذه المساحة يمكن استخدامها لأغراض الزراعة، بينما المتبقى (١٪) هو المساحة اللازمة لتشبيد قواعد عنفات الرياح والطرق المساندة وغيرها.

ونظراً إلى التطورات الحالية فإنه من المتوقع أن يزداد استخدام طاقة الرياح في مختلف أنحاء العالم. ففي عام ١٩٩٤ كانت المنظومات المنصوبة ذات سعة تزيد على ٣,٥ جيجاواط (١ جيجاواط =  $١٠^9$  واط) معظمها كان في أمريكا و الدنمارك ثم بقية الدول كالمملكة المتحدة وألمانيا وإسبانيا و الهند. وكان البرنامج البريطاني متشابهاً لبرنامج

كاليفورنيا إذ تم نصب أكثر من ٢٠ مزرعة رياح في عام ١٩٩٤ معظمها استخدم عَنفات ذات سعة ٣٠٠ - ٤٠٠ كيلوواط تم تصنيع أغلبها في الدنمارك واليابان.

## ١٢-١ التأثيرات البيئية لاستخدام طاقة الرياح

إن تطور استخدام طاقة الرياح له فوائد ومساوئ بيئية. ولتوسيع إنتاج الطاقة من هذا المصدر يجب أن تكون المحاسن في حدها الأعلى بينما تكون المساوئ في حدها الأدنى.

### ١-١٢-١ الفوائد البيئية

إن توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح لا يتضمن انبعاث ثاني أكسيد الكربون أو سقوط الأمطار الحامضية أو ملوثات أخرى. فاستخدام طاقة الرياح يقلل الاعتماد على الوقود التقليدي والوقود النووي. وبالإضافة إلى ذلك فإن العَنفات الرياح لا تحتاج إلى مصادر مياه كبعض المصادر التقليدية و المتجددة.

### ٢-١٢-١ المساوئ البيئية المكتسبة

المشاكل البيئية الناتجة عن استخدام منظومات طاقة الرياح هي الضجيج، والتداخل الكهرومغناطيسي، والتأثيرات البصرية كانعكاسات أشعة الشمس من شفرات العَنفات الريحية أثناء دورانها.

#### أ. ضجيج التوربين الريحي

لا تعتبر العَنفات الريحية عند مقارنتها مع مكائن أخرى ذات ضجيج عال مثلما هو مبين بالجدول (١-٣) ولكن هنالك بعض المواقع التي يتم فيها ملاحظة بعض الضجيج غير المريح. ويوجد نوعان للضجيج: أولهما يصدر من المعدات الكهربائية الميكانيكية المستخدمة في تقنية طاقة الرياح كصندوق التروس والمولد، وهذا يسمى "بالضجيج الميكانيكي". أما ثانيهما فهو ناتج من تداخل تيار الهواء مع الشفرات ويسمى "بالضجيج الايروديناميكي".

والضجيج الميكانيكي (*Mechanical Noise*) هو المشكلة الرئيسية، ولكن من السهل تخفيفه باستخدام مجمع تروس أكثر هدوءاً أو وضع الأدوات الميكانيكية في هياكل معزولة لتخفيف الصوت. أما الضجيج الايروديناميكي (*Aerodynamic*)

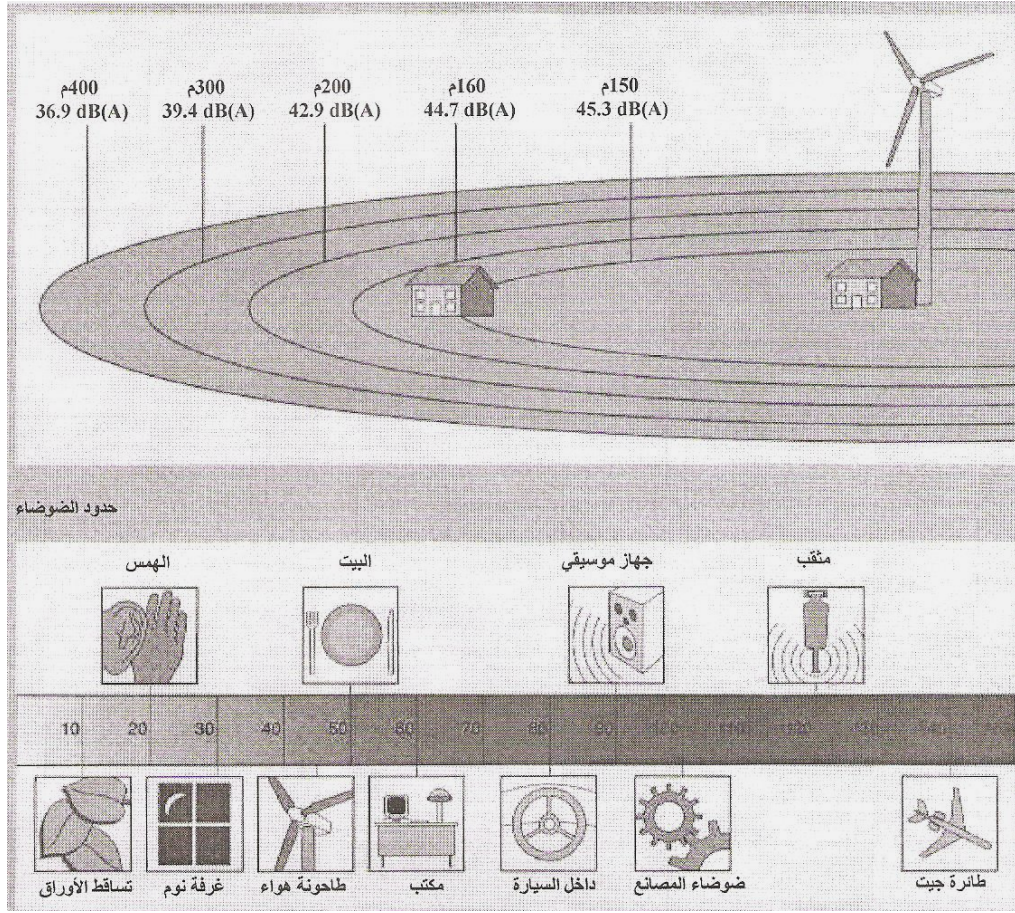
*Noise*) فيعتمد على شكل الشفرة، والتداخل بين الهواء والشفرة والبرج، وحافة الشفرة ورأسها، وعلى كون الشفرة تعمل أو ساكنة، ونوعية الرياح، ويزداد الضجيج الايروديناميكي عادة مع سرعة الدوران، ولهذا فإن قسماً من العنفات يكون مصمماً للدوران بسرعة قليلة عندما تكون سرعة الرياح قليلة.

ومعظم عنفات الرياح التجارية تخضع لقياسات ضجيج وفقاً للوائح التي وضعتها وكالة الطاقة العالمية أو القوانين الدنماركية. وتزودنا قياسات الضجيج بالمعلومات التي يمكن على أساسها نصب توربين الرياح في الموقع المناسب أو للسيطرة على تأثير الضجيج.

وفي الدنمارك فإن القوانين تنص على أنه لايمكن نصب عنفات الرياح في المناطق السكنية إذا كان الضجيج الصادر منها يتجاوز ٤٠ ديسيبل (dB). وفي المملكة المتحدة فإن حدود الضجيج في المناطق القريبة من الطرق يجب أن لا تزيد على ٦٨ ديسيبل. ويبين الشكل (٤-١٥) مسار الضجيج الصادر من أحد عنفات الرياح.

جدول (٣-١) الضجيج لفعاليات مختلفة مقارنة بعنفات (توربينات) الرياح

المصادر	مستوى الضوضاء (dB)
طائرة جيت على علو ٢٥٠ م	١٠٥
مثقاب كهربائي	٩٥
شاحنة تسير بسرعة ٤٨ كم/سا	٦٥
دائرة عمل مزدحمة	٦٠
سيارة تسير بسرعة ٦٤ كم/سا	٥٥
عنفة ريحية على بعد ٣٥٠ م	٤٥ - ٣٥
غرفة نوم هادئة	٢٠



شكل (١٥-١): مسار الصحيح الصادر من أحد عَنَفَات (توربينات) الرياح

ب. عند نصب عَنَفَات الرياح بالقرب من مناطق تستخدم الراديو و التلفزيون والمرسلات والمستقبلات فإنه من المحتمل جداً أن تنعكس بعض الموجات بطريقة تجعل الموجات المعكوسة تتداخل مع الموجات الأصلية قبل وصولها إلى الجهاز، وهذا قد يسبب تشوها في الموجه التي تصل إلى المستخدم.

وينشأ التداخل الكهرومغناطيسي من نوع مادة الشفرات وشكلها. فإذا كانت الشفرات مصنوعة من معدن فإن التداخل محتمل الحدوث إذا كانت العَنَفَة قريبة من مناطق وجود هذه الأجهزة. أما الشفرات الخشبية فإنه عادة تمتص الموجات بدلاً من عكسها والأبراج المربعة تعكس أكثر من الأبراج المدورة وذلك لزيادة مساحة سطحها. وأكثر المنظومات تأثراً بهذا النوع من الضجيج التلفزيونات ومنظومات اتصالات المايكروف، لذا وضعت



بعض الوكالات معلومات كافية لتجنب مثل هذه التداخلات في المناطق التي توجد فيها هذه المنظومات.

### ج. التأثيرات البصرية

تحدد هذه التأثيرات بعدة عوامل مثل حجم العنفة وتصميمها. وعدد الشفرات ولونها و عدد وترتيب العنفات في الحقل، ويتحدد قبول بعض المواطنين بوجود العنفات الريحية بعدى عوامل أهمها عامل الثقافة وفهم مختلف التقنيات، ورأيه في أفضل مصدر من مصادر الطاقة. وللصحف والمجلات التي تنشر أحياناً الأخبار عن مصادر أجريت في المملكة المتحدة عام ١٩٨٩ تبين أن ٣٥٪ من المواطنين الذين تكونت منهم العينة اعتبروا بأن منظومات طاقة الرياح تساهم في تشويه المنظر.

## الخاتمة

بعد فراغنا من البحث والدراسة في توضيح طاقة الرياح لتوليد قدرات هائلة من الطاقة الكهربائية قد خلصنا الى نتائج نجملها بما يأتي:

### أولاً: الاستنتاجات :

- ١- هنالك مؤشرات تشير بأن طواحين الهواء قد استخدمت من قبل البابليين في العراق وفي الصين القديمة. وانتشرت في اوروبا منذ القرن الثاني عشر.
- ٢- ان حركة الرياح تتولد نتيجة الامتصاص اشعة الشمس من قبل عناصر الجو وسطح الارض بنسب متفاوتة.
- ٣- عند سقوط الاشعاع الشمسي على منطقة ما يتاثر الغلاف الجوي ويسخن الهواء مما يؤدي الى تقليل الضغط الجوي.

### ثانياً: التوصيات

نقترح بان نبني منشآت كهربائية على الهواء والغاية منها هو الاستفادة لغرض تغطية البلد بالطاقة الكهربائية لان كلفة الكهرباء من الهواء هو كطاقة بديلة من المصادر اخرى من الطاقات. وان هذه الطريقة من الاستثمار وانتاج الطاقة الكهربائية منتشرة حالياً في بلدان المتطورة في اوروبا وان نتمنى بلدنا تزاوي البلدان المتقدمة في هذا المجال....

## المصادر

- ١
- ٢
- ٣