الفصل الثالث

طاقـــة الريـــاح

طاقة الرياح هي طاقة حركية نظيفة متجددة لا تنضب، متغيرة حسب الفصول وحسب اليوم، لا يمكن ادخارها مباشرة بل يتم تحويلها إلى طاقة ميكانيكية أو إلى طاقة كهربائية باستعمال أنظمة المراوح الهوائية (طواحين الهواء).

استعملت طاقة الرياح منذ قديم الزمان وبشكل واسع في تحريك السفن الشراعية ثم استعملت لتوليد الطاقة الميكانيكية لأغراض الضخ، ويمكن أن نذكر هنا أنه في مطلع هذا القرن كانت في هولندا آلاف من المراوح الهوائية باستطاعة 20 Kw تقريباً لكل منها تستخدم لضخ المياه في عمليات استصلاح الأراضي.

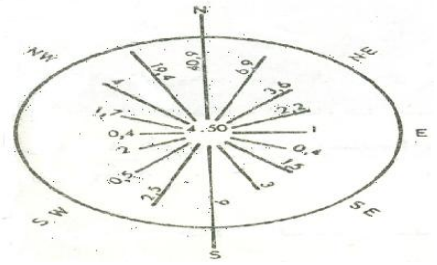
في الوقت الحاضر لا تزال مساهمة طاقة الرياح في موازنة الطاقة ضئيلة أن كان هناك بعض واضعي خطط الطاقة يرون في طاقة الرياح مصدراً مستقبلياً للطاقة، وهناك بعض البلدان مثل الدانمرك، الولايات المتحدة، انكلترا وألمانيا قطعت شوطاً كبيراً في مجال استغلال طاقة الرياح لتوليد الكهرباء، حيث غطت الطاقة الكهربائية المولدة بواسطة الرياح 10% من استهلاك الدنمرك من الكهرباء عام 2000.

وللاستفادة من طاقة الرياح على أفضل شكل لابد من دراسة خصائص هذه الطاقة، ومواصفات الرياح التي تتدخل بشكل رئيسي في مجالات تحويل الطاقة وبشكل خاص في مجال تصميم المراوح وتركيبها وتقييم أدائها واستثمارها.

3-1- خصائص طاقة الرياح

3-1-1- اتجاه الريح و سرعته: تحت تأثير تغيرات الضغط الجوي يتحرك الهواء بشكل مستمر، ونطلق أسم الرياح على تيارات الهواء الناتجة عن ذلك، وتعرف الرياح باتجاهها

وسرعتها، ويحدد اتجاه الريح بالجهة التي يهب منها أما سرعته فتقاس بأجهزة قياس خاصة، وتقوم محطات الأرصاد الجوي بشكل مستمر بتسجيل اتجاه الريح وسرعته، ويمكن بالاستناد إلى هذه التسجيلات التي تتم كل ساعة ولكل شهر من السنة رسم ما يطلق عليه اسم وردة الريح الشكل (3-1) يبين نموذجاً لوردة رياح في أحد المراصد.

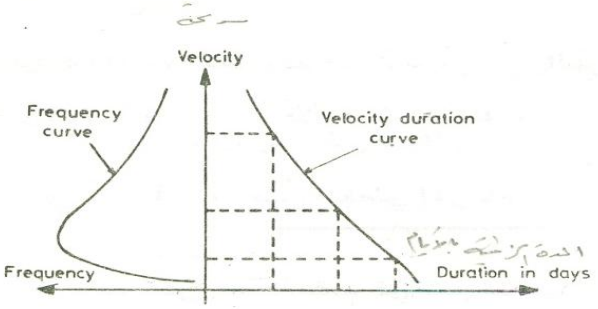


الشكل (3-1) وردة الرياح

3-1-2- الدراسة الإحصائية للرياح: من تسجيلات أجهزة قياس سرعة الرياح يمكن رسم كل مخطط استمرار سرعة الرياح ومخطط التواتر المتوسط، أن تنظيم هذه المخططات هو هام و ضروري جداً من أجل تصميم أية منشأة لاستغلال طاقة الرياح.

1- منحي استمرار سرعة الرياح السنوي: يعطى على المحور الأفقي الزمن الذي تكون فيه سرعة الريح تزيد عن قيمة معينة و تسجل قيمة هذه السرعة على محور التراتيب، ونستمر في إنشاء هذا المخطط لعدة سنوات متتالية حتى نحصل على مخطط استمرار الرياح المتوسط لعدة سنوات، ونستفيد من هذا المخطط لتحديد كمية الطاقة التي يمكن توليد من قبل منشأة رياح الشكل (3-2).

2- منحي استمرار التواتر السنوي: يمكن استنتاج هذا المخطط من المخطط السابق ويعطي هذا المخطط المدة في السنة الذي تقل فيه سرعة الريح عن حد معين وليكن 3-4 m/s، هذا الزمن هو الفرق بين الاحداثيين الأفقيين الموافقين للسرعة 3 m/s و 4 m/s والاحداثي الشاقولي لمخطط استمرار سرعة الريح.



الشكل (3-2) منحي استمرار سرعة الرياح السنوي

3- مدة سكون الريح: أن الفترة السنوية لسكون الريح جداً لأنها تبين الفترة الزمنية اللازم تغطيتها من قبل وحدة التخزين عندما يتم استخدام منشأة الرياح لوحدها لتوليد الطاقة الكهربائية .

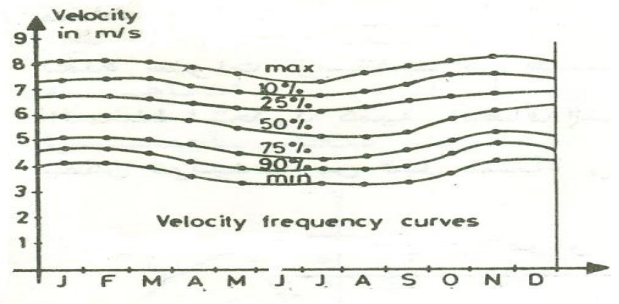
ومن المفيد أن نذكر هنا أن المنشآت التي تستخدم لرفع الماء لا يمكن أن تعمل بريح نقل سرعتها من 3m/s كذلك لا تعمل عنفات الرياح السريعة عندما تقل سرعة الرياح عن 5 m/s.

4-التغير الفصلي للرياح: قد يكون من المفيد في بعض التطبيقات أن نعرف بدقة كيف تتغير سرعة الرياح خلال سنة كاملة ولهذه الغاية تحسب سرعة الريح المتوسطة في كل شهر خلال عام كامل ثم يتم رسم التواترات كما هو مبين في الشكل(3-3).

5- منحني استمرار القدرة: يسمح منحني استمرار السرعة برسم منحني استمرار القدرة المتوفرة كتابع لعدة الأيام، وذلك بأخذ مكعب السرعة وضربه بالعامل K= 0.37:

$$E = \int P.dt = K.\int V^3.dt$$

هذه القدرة المتوفرة تمثل القيمة النظرية لطاقة الرياح في موقع معين و يعبر عن الطاقة السنوية KWh/m^2.



-1

الشكل(3-3) التغير الفصلي للرياح

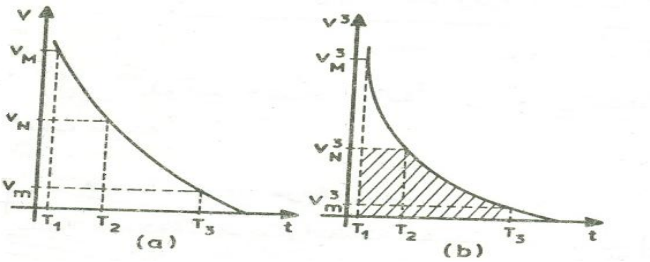
3-1-3- طاقة الرياح المتوفرة فعليا

في الواقع لا تستطيع آلة الرياح أن تلتقط كافة الطاقة المتوفرة نظرياً لأسباب عديدة أهمها:

عندما تزداد سرعة الهواء تبتدئ العنفة بتقديم الطاقة بعد بلوغ سرعة الريح قيمة معينة V_m تسمى سرعة البدء. تحت هذه السرعة تكون القدرة المتوفرة على محور الآلة مساوية للقدرة المستهلكة بسبب ضياعات المجموعة بدون حمل.

بعدئذ وبعد أن تستمر السرعة في الازدياد تصل إلى قيمة معينة V_N نسميها سرعة الريح المقدرة أو السرعة الاسمية وهذه القيمة تقابل السرعة التي تولد فيها الآلة الاستطاعة المقدرة أو الاستطاعة الاسمية لها. حيث أنه من أجل سرعات تزيد عن هذه القيمة تقوم جملة التحكم والعيار بالحفاظ على الاستطاعة ثابتة.

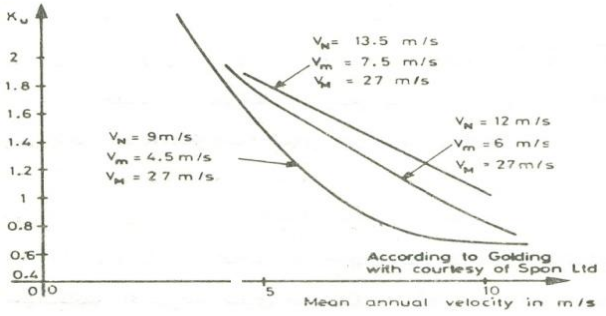
وإذا استمرت سرعة الرياح في الازدياد يمكن أن تبلغ قيمة قصوى V_M تسمى سرعة الإيقاف حيث يتم إيقاف الآلة عندما تتجاوز السرعة هذه القيمة للحفاظ على التجهيزات بحيث لا تعطى الآلة أية طاقة. أن مقدار الطاقة الفعلية المتوفرة هي متناسبة مع السطح المظلل المبين على الشكل (3-4) وتحسب بجداء المساحة مقدرة (KWh / m^2) بعامل يعبر عن المردود الكلي للآلة.



الشكل (3-4) مقدار الطاقة الفعلية المتوفرة للعنفة

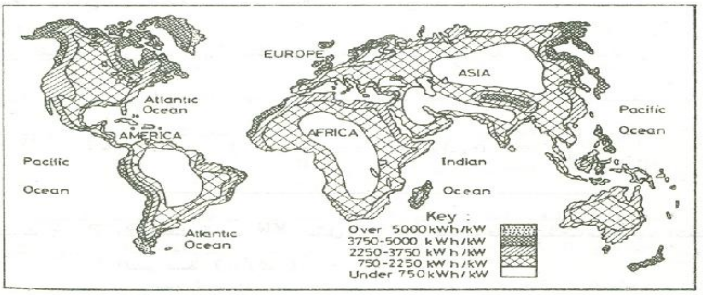
أن النسبة بين الطاقة الفعلية المتوفرة والمولدة من قبل آلة رياح معينة ومقدار الطاقة الذي يمكن توليده باعتبار سرعة الرياح ثابتة تسمى عامل الطاقة القابل للاستعمال السنوية الوسطية K_u.

وأن تغيرات العامل K_u كتابع لسرعة الريح السنوية المتوسطة درست من قبل E . W. Golding لمحطات رصد متعددة في أوربا الغربية ومن أجل قيم مختلفة للسرعات الاسمية V_N و هي مبينة بالشكل (3-5).



الشكل (3-5) تغيرات العامل K_u كتابع لسرعة الريح السنوية المتوسطة

في حين أن الشكل (3-6) يعطي الطاقة السنوية المتوفرة في مختلف أجزاء العالم بالكيلو وات الساعي في السنة لكل كيلو وات من استطاعة آلة الريح المركبة. و ذلك من اجل سرعة اسمية قدرها 11m/s .



الشكل (3-6) الطاقة السنوية المتوفرة في مختلف أجزاء العالم

3-2- طاقة الرياح

تعطى الطاقة الحركية لكتلة هواء قدرها m وسرعتها V بالعلاقة:

$$E = 5m\ V^2 ،0$$

حيث: V سرعة الريح (m/s)، وm كتلة الهواء التي تصطدم سطحاً قدره S من شفرات الدولاب الهوائي وبذلك تكون:

$$m = \rho \ .s\ .\ v$$

وعملياً لا يمكن تحويل كل طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية لان الحمل سيخفض السرعة لدى صدمها الشفرات إلى الصفر. وقد قام العالم Betz، بعد دراسة نظرية، باستنتاج نسبة التحويل الأعظمي فوجد أنها تساوي 0.593 من طاقة الرياح. أن طاقة الرياح P_a تتناسب مع مكعب السرعة بالعلاقة:

$$P_a = 0.37 \left(\frac{V}{10} \right)^3$$

حيث:

P: الاستطاعة KW لكل m^2 من المساحة المتعامدة مع اتجاه الريح V السرعة (m/s).

ونظراً إلى أن سرعة الريح تتغير بشكل كبير بين يوم وآخر ومن فصل إلى فصل فأن الطاقة التي سنحصل عليها من طاقة الرياح ستكون متغيرة باستمرار. يعتمد مردود توليد الطاقة بواسطة الرياح على:

1- تصميم الدولاب.

2- سرعة الدوران التي يعبر عنها عادة كنسبة السرعة المحيطية لشفرات المروحة إلى سرعة الريح.

وقد رأينا أنه هناك سرعتان للريح:

1- سرعة دنيا لا يمكن تحتها توليد أية طاقة بسبب ضياعات الاحتكاك.

2- سرعة عظمى تسمى السرعة التصميمية، بحيث يتم التحكم بالطاقة المولدة عن طريق التحكم بسرعة الدوار.

وعندما تزيد سرعة الريح عن السرعة العظمى التصميمية نلجأ إلى إمالة شفرات الدولاب الهوائي على محورها لإنقاص السطح الفعال المواجه للريح ونتيجة لذلك تنخفض الطاقة المولدة عند زيادة السرعة عن السرعة العظمى التصميمية، وعندما تبلغ سرعة الريح 30 m/sec تنطوي الشفرات لتجنب حدوث أضرار لها.

لذلك نقول أن نظام توليد الطاقة باستعمال الرياح يصل إلى قيمته المثلى عند السرعات المتوسطة 10-14m/sec وتكون الطاقة المولدة في هذه الحالة متناسبة مع مكعب السرعة، وغالباً ما نختار سرعة 14m-sec كسرعة تصميمية وعند هذه السرعة يمكن تحويل 70-80% من طاقة الرياح إلى طاقة حركية يضيع منها حوالي 20% في جملة نقل الحركة ذات المسننات من محور الدولاب إلى المنوبة الكهربائية.

أما الطاقة القابلة للتحويل عند بقية سرعات الريح فتتبع طيف استمرار سرعة الريح ونتيجة لذلك فأن المردود الكلي لنظام توليد الكهرباء بطاقة الرياح هو عملياً بين 3% و 7% الجدول (3-1).

الجدول (3-1) الطاقة القابلة للتحويل

	كنسبة مئوية من الطاقة الكلية المتوفرة	كنسبة مئوية من الطاقة الأعظمية القابلة للتحويل
طاقة الرياح الكلية	% 100	
الطاقة العظمى القابلة للتحويل نظرياً	% 60	% 100
مع مردود قدره 60% للنظام تحت السرعة التصميمية (مردود الدوار 0،75 مردود جملة نقل الحركة 0،80)	% 36	% 60
تكامل الطاقة في مجال طيف السرعات (المردود 8-20 %)	% 3.....7	% 5.....12

بالإضافة إلى سرعة الريح لدينا ما نسميه جودة أو نوعية الريح فالرياح ذات السرعة المتغيرة بشكل كبير يصعب الاستفادة منها في توليد الطاقة في حين أن الرياح ذات السرعة الثابتة تمثل الحالة المثالية التي لا نصادفها إلى نادراً في الحياة العملية، لذلك فأن أهمية الاستفادة من طاقة الرياح تعتمد على السرعة، الموقع والارتفاع.

مع الإشارة إلى أن هذه العوامل ليست مستقلة عن بعضها، فسرعة الرياح قرب سطح الأرض يمكن أن تتأثر بالأبنية أو التضاريس الأرضية، كذلك تزداد هذه السرعة مع الارتفاع عن سطح الأرض، ويلاحظ أن معدل زيادة السرعة هو متقارب في مختلف المواقع، وإذا كانت هذه السرعة معروفة (أو مقاسة) عند ارتفاع معين فأنه يمكن حسابها من أجل أي ارتفاع آخر.

يتضح مما تقدم أن جريان الرياح يتأثر بعوامل عديدة منها ما يتعلق بالمواقع ومنها ما يتعلق بالطقس ومنها ما يتعلق بالارتفاع لذلك فأن الملاحظات التالية يمكن أن تكون بشكل عام مفيدة:

1- أن أفضل موقع للاستفادة من طاقة الرياح هو على شاطئ المحيطات ومقدار الطاقة الوسطية هو بحدود $2400KW.m^{-2}$ في السنة وتنخفض السرعة كلما ابتعدنا عن الشاطئ بحيث انه على بعد 5Km تصبح السرعة مساوية لسرعتها في المناطق الداخلية.

2- أن ثاني أفضل المواقع لإنشاء مراكز توليد طاقة الرياح هو في الجبال، ومقدار الطاقة الوسطية سنوياً هو $1600KW.m^{-2}$ وتغير هذه الطاقة مع الارتفاع.

3- أن أدنى مستوى لطاقة الرياح نصادفه في المناطق المستوية الداخلية بحيث أن مقدار الطاقة لا يزيد عن $750KW.m^{-2}$ سنوياً أي أقل من ثلث الطاقة التي نحصل عليها على الشاطئ.

4- أن كمية طاقة الرياح القابلة للتحويل هي جيدة في المناطق الجاف وكذلك في المناطق المعتدلة والباردة في حين أنه لا تتوفر أية طاقة رياح في المناطق الاستوائية الرطبة، كذلك لا يمكن الاستفادة من هذه الطاقة في البلدان التي تهب فيها الرياح على شكل أعاصير.

3-3- أداء مراوح الهواء

نظراً إلى أنه لا يمكن الاستفادة إلا من جزء من الطاقة الحركية للرياح فأننا نسمي عامل التحويل أو مردود المروحة نسبة الاستطاعة الميكانيكية على محور الروحة P إلى طاقة الهواء P_a الذي يجتاز مروحة قطرها D وبسرعة V:

$$C_P = P/ P_a$$

$$P_a = 0,5\ \rho\ V^3\ л\ D^2/4$$

حيث:

P_a – طاقة الرياح (W).

ρ - الكتلة الحجمية للهواء و قيمتها الوسطية $1.25\ Kg/m^3$.

D - قطر المروحة (m).

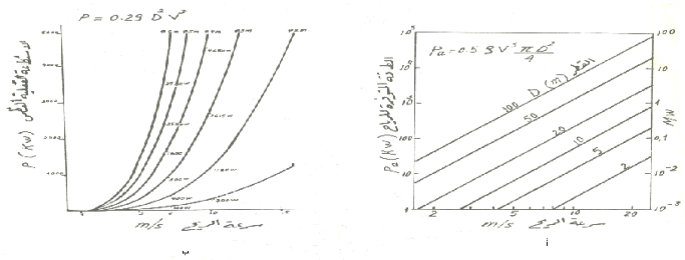
V - السرعة الوسطية للهواء (m/sec).

وقد رأينا قيمة نسبة التحويل العظمية تساوي 0.593، لذلك فأن الاستطاعة المروحة تكون:

$$P = 0.593 \times 0.5 \times \rho\ .\ V^3\ л\ D^2/4$$

$$P = 0,29\ D^2V^3$$

الشكل (3-7- أ) يعطي الطاقة المتوفرة في الهواء الذي يمر عبر المروحة حسب العلاقة (3). أما الشكل (3-7- ب) فيعطي الاستطاعة الميكانيكية العظمى التي يمكن الحصول عليها حسب العلاقة الأخيرة.



الشكل (3-7) الطاقة المتوفرة في الهواء الذي يمر عبر المروحة والاستطاعة الميكانيكية العظمى

أن عامل التحويل أو مردود المروحة يتعلق بنموذج المروحة وتصميم الدوار وزاوية ميل ريش المروحة, ونسمي عامل التشغيل λo نسبة السرعة المحيطة لنهاية شفرات المروحة إلى سرعة الرياح.

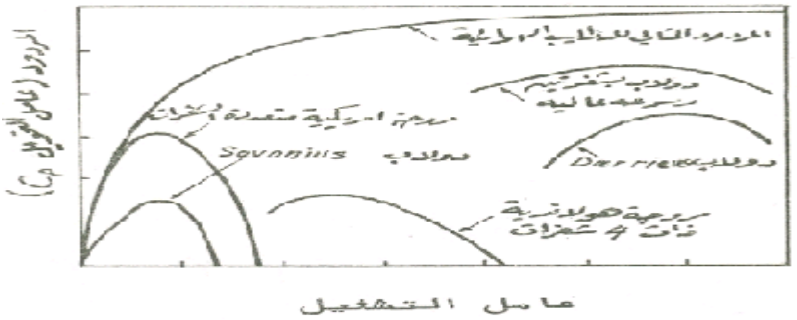
$$\lambda o = U/ V = R.\omega / V$$

حيث:

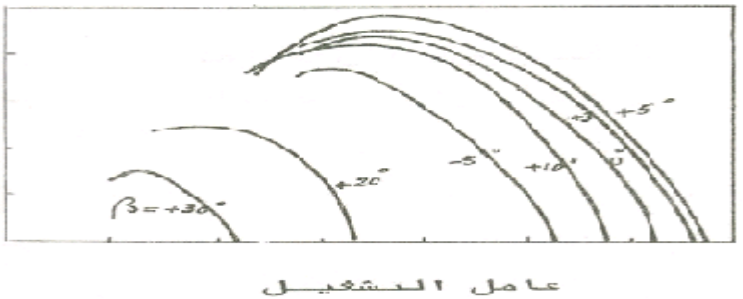
R - نصف قطر المروحة.

ω - السرعة الزاوية.

أما الشكل (3-8) فيبين مردود الطاقة كتابع لنسبة سرعة الشفرات إلى سرعة الريح (عامل التشغيل) لأهم أنواع الدواليب الهوائية. ويتضح من الشكل (3-9) أن أعلى أداء نحصل عليه من المراوح ذات الشفرتين.



الشكل (3-8) مردود الطاقة كتابع لنسبة سرعة الشفرات إلى سرعة الريح



الشكل (3-9) أعلى أداء نحصل عليه من المراوح ذات الشفرتين

الشكل (3-10) يبين رسم فني لمجموعة توليد الكهرباء تعمل بطاقة الرياح باستطاعة 3MW تشرف على تصميمها هيئة الطاقة البريطانية ضمن برنامج تطوير الاستفادة من طاقة الرياح، وتأمل الشركة المصممة أن تستطيع خلال 4 سنوات من تسويق محطات جاهزة باستطاعات تتراوح بين 100KWو 5MW.

3-4- خصائص أنظمة طاقة الرياح

سنلخص فيما يلي أهم خصائص طاقة الرياح:

الشكل (3-10) مجموعة توليد الكهرباء تعمل بطاقة الرياح

1- تحتاج أنظمة طاقة الرياح إلى مساحات كبيرة، إذ أن كمية الطاقة التي تتلقاها المراوح التي قطرها يتراوح بين 1m و 3m لا تتجاوز 30-3000w.

2- أن أنظمة الرياح هي ذات وزن أجمالي كبير نسبياً إذ تشمل هذه الأنظمة عادة البرج، المروحة، علبة السرعة، المولد والمحاور الخ ..... ووسطياً يبلغ هذا الوزن (100-110Kg) لكل 1KW من الاستطاعة المقدرة.

3- تحدث أنظمة طاقة الرياح عند تشغيلها ضجيجاً يمكن سماعه على مسافة بعيدة لاسيما في المنشآت الكبيرة.

4- تحتاج أنظمة طاقة الرياح إلى صيانة مستمرة.

5- كلفة التأسيس لأنظمة طاقة الرياح هي عالية نسبياً.

6- طاقة الرياح هي طاقة نظيفة لا تسبب تلوثاً للبيئة، وهي طاقة متجددة إلا أنها غير منتظمة ويختلف مدى توفرها من يوم إلى آخر، وأن الاستعمال الاقتصادي لهذه الطاقة محصور في الأماكن التي توفر فيها الرياح بشدة كافية.

3-5 – أنواع آلات الرياح المستعملة

تصنف المراوح الهوائية ضمن مجموعتين رئيسيتين:

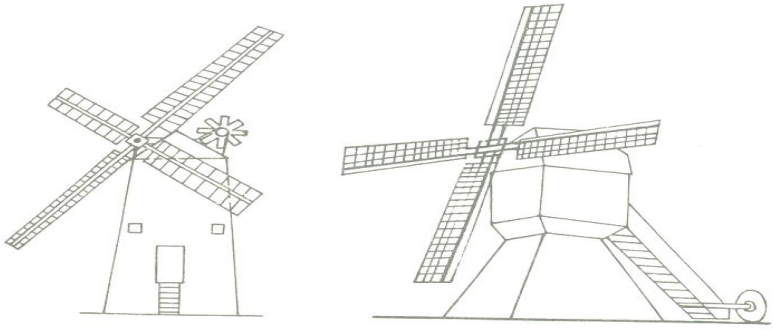
- الآلات ذات المحور الأفقي.

- الآلات ذات المحور الشاقولي.

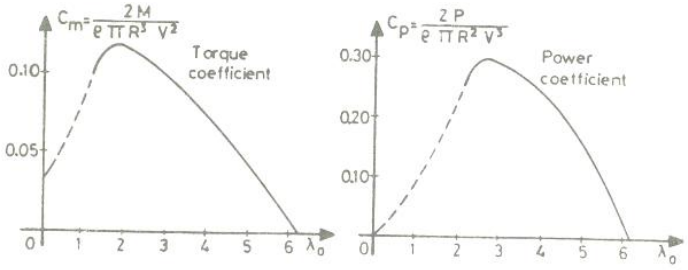
3-5-1– الآلات ذات المحور الأفقي

1- طواحين الهواء التقليدية القديمة

الشكل (3-11) يعطي نموذجين لطواحين الهواء التقليدية القديمة. إما الشكل (3-12) يبين منحي تغير عامل العزم، ومنحني تغير عامل الاستطاعة كتابع إلى λo .



الشكل (3-11) نموذجين لطواحين الهواء التقليدية القديمة



الشكل (3-12) منحي تغير عامل العزم، ومنحني تغير عامل الاستطاعة كتابع إلى λo

وقد تبين أن المردود يبلغ قيمة عظمى من أجل:

$$\lambda_0 = \pi.D.N / 60. V = 2,7$$

وهذا يقابل قيمة للعامل $C_P = 0.3$ أي 50 % من عامل Betz

$$C_{pBetz} = 16 / 27 = 0,595$$

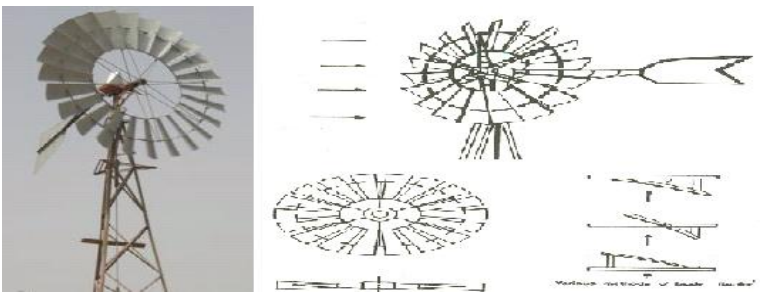
وتحت هذه الشروط فان القدرة العظمى التي يمكن توليدها كتابع للقطر وسرعة الريح تساوي:

$$P = 0.15 \ D^2 . V^3$$

2- العنفات الهوائية البطيئة

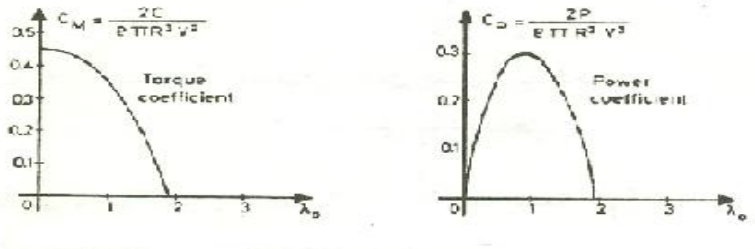
ظهرت العنفات الهوائية البطيئة ذات الشفرات المتعددة منذ عام 1870 في الولايات المتحدة ثم في أوربا، وتغطي الشفرات التي يتراوح عددها بين 12-24 شفرة كافة مساحة الدولاب ويقوم جناح الذيل فيها بتحويل اتجاه الدولاب بحيث يبقى موجهاً دوماً للريح.

الشكل (3-13) يبين نموذجاً لهذه العنفات البطيئة، أما الشكل (3-14) فيحتوي على منحي عامل العزم ومنحي عامل الاستطاعة كتابع إلى λ_0. وقد تبين أن الاستطاعة العظمى نحصل عليها من أجل:



الشكل (3-13) العنفات البطيئة

$$\lambda_0 = \pi.D.N / 60. V = 1$$



الشكل (3-14) منحي عامل العزم ومنحي عامل الاستطاعة كتابع إلى λ_0

و هذا يقابل سرعة دوران $N = 19.V / D$ أما قيمة C_P فتكون مساوية 0.3 وبذلك تكون علاقة الاستطاعة:

$$P = 0.15\ D^2\ V^3$$

حيث:

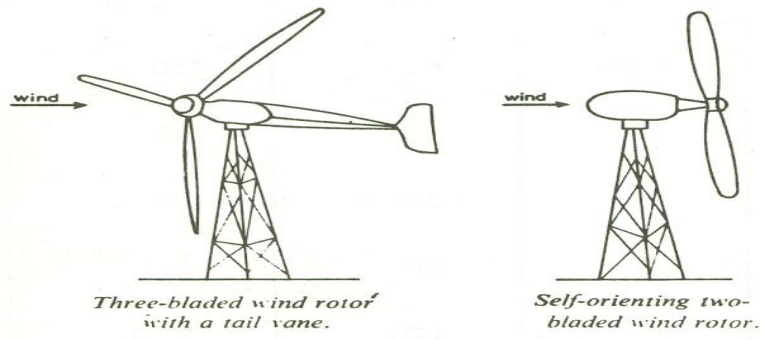
p- الاستطاعة Watts، D- القطر m، V - السرعة m/s .

3- العنفات الهوائية السريعة

في هذا النوع من العنفات الهوائية يكون عدد الشفرات أقل و يتراوح بين (2-4) شفرة، ومن أجل نفس الاستطاعة تكون هذه العنفات أقل وزناً إلا أن أقلاعها هو أصعب وتحتاج إلى سرعة هواء لا تقل عن 5 m/s لكي تبدأ بالدوران، الشكل (3-15) يبين نموذجين من هذه المراوح، الأول بثلاث شفرات مع جناح وذيل والثاني بشفرتين و ذي توجيه ذاتي.

وقد تبين أن الاستطاعة العظمى نحصل عليها من أجل:

$$\lambda_0 = \pi.D.N / 60. V = 6$$



الشكل (3- 15) نموذجين للمراوح، الأول بثلاث شفرات مع جناح وذيل والثاني بشفرتين وذي توجيه ذاتي

وهذا يقابل سرعة دوران N تساوي 115 وقد تكون قيمة $C_P = 0.4$ وبذلك تكون علاقة الاستطاعة:

$$P = 0.2\ D^2\ V^3$$

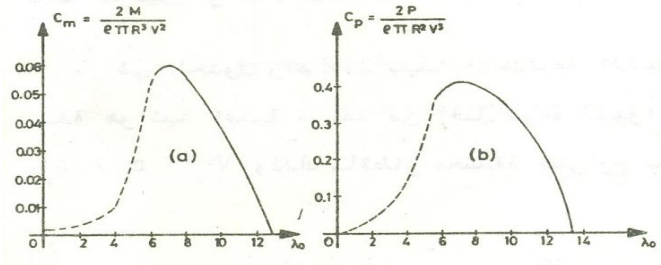
وفي التطبيقات العملية نستعمل العلاقة السابقة سواء أكانت المروحة ذات شفرتين أو ثلاث شفرات أو أربعة.

يبين الجدول (3-2) الاستطاعة القصوى التي يمكن الحصول عليها من عنفة هواء أفقية سريعة من أجل سرعة الهواء $V = 10m/s$ وسرعة للهواء $V = 7\ m/s$ وذلك بأقطار مختلفة تتراوح بين 2m و 50m.

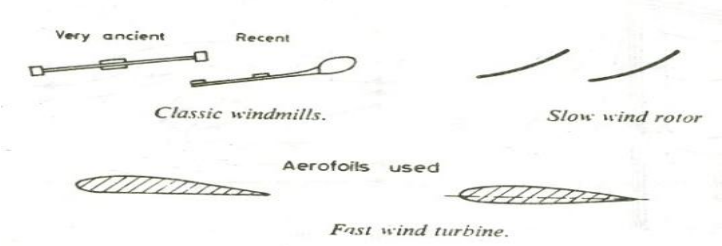
والشكل (3-16) يعطي عامل العزم وعامل الاستطاعة كتابع إلى λ_0 للعنفات الهوائية السريعة. أما الشكل (3-17) فيبين مقاطع أجنحة العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي.

الجدول (3-2) الاستطاعة القصوى التي يمكن الحصول عليها من عنفة هواء أفقية سريعة

القطر D (m)	سرعة الدوران		الاستطاعة العظمى P KW	
	V=7 m/s	V=10m/s	V=7 m/s	V=10m/s
2	470	670	0.27	0.80
4	235	335	1.07	3.2
6	155	220	2.4	7.2
8	120	168	4.4	12.8
10	95	134	6.7	20.0
15	62	90	15	45
20	47	67	26.8	80
30	31	45	60	180
40	23	33	107	320
50	19	27	168	500



الشكل (3-16) عامل العزم والاستطاعة كتابع إلى λ_0 للعنفات الهوائية السريعة



الشكل (3-17) مقاطع أجنحة العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي

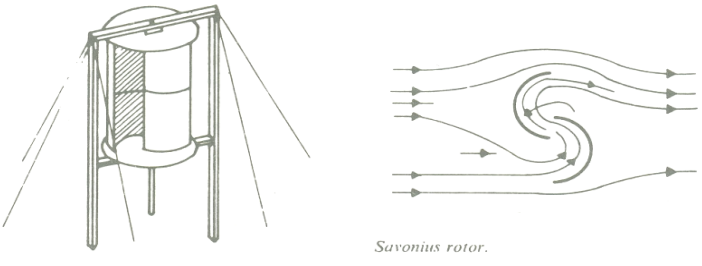
أن أكثر أنظمة التوجيه استعمالاً هي: جناح، الذيل، الدولاب الهوائي المساعد، أنظمة التوجيه الآلية وأنظمة التوجيه اليدوية. وتحتاج هذه العنفات إلى تجهيزات عيار للمحافظة على سرعة دوران ثابتة للدوار مهما تغيرت سرعة الريح وقد استعملت تصاميم عديدة لهذه الغاية.

3-5-2- الآلات ذات المحور الشاقولي

يمكن اعتبار الآلات ذات المحور الشاقولي هي أولى آلات الرياح التي استعملت منذ عهد الدولة الفارسية، وفي الوقت الحاضر توجد أنواع عديدة منها سنكفي بشرح أهمها:

1- دوّار سافونيوس

اخترعت هذه الآلة من قبل مهندس فنلندي عام 1924, الدوّار يتألف من نصفي اسطوانة مركبين كما هو موضح في الشكل (3-18).



الشكل (2-18) دوّار سافونيوس

وفي السبعينات اكتسب هذا الدوّار أهمية خاصة بعد إجراء تجارب عملية عليه في جامعة كندية حيث تم قياس عزم الإقلاع كتابع لوضعية الدوّار بالنسبة للريح وتم تحديد الاستطاعة المولّدة.

2- دوّار داريوس:

ويوجد منه أنواع عديدة أهمها أنظر:

- دوّار داريوس الأسطواني.

- دوّار داريوس على شكل قطع مكافئ.

- دوّار داريوس على شكل جزع مخروط.

قام مدير مخبر المجلس لبحوث الطيران في كندا بإجراء الدراسات النظرية والأبحاث التجريبية لنماذج مختلفة من دوّار داريوس، ومن تم بالاستناد إلى النتائج صنع أعداد من المراوح الهوائية تستعمل هذا الدولاب (على شكل قطع مكافئ) لتوليد الكهرباء الشكل (3-19).

الشكل (3-19) أنواع دوّار داريوس

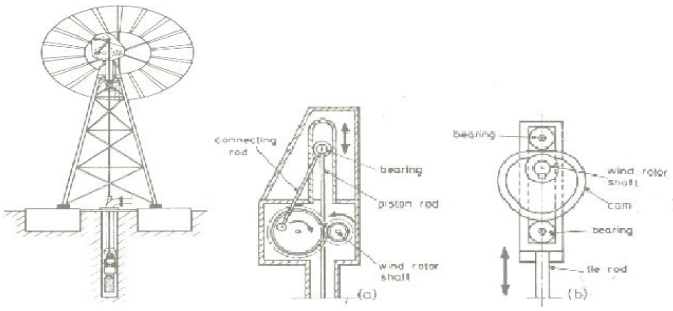
3-6- استخدام طاقة الرياح:

انحصر استعمال طاقة الرياح في الوقت الحاضر بضخ المياه وتوليد الكهرباء.

3-6-1– ضخ المياه بواسطة طاقة الرياح

1- باستعمال المضخات المكبسية وطواحين الهواء ذات السرعة المنخفضة

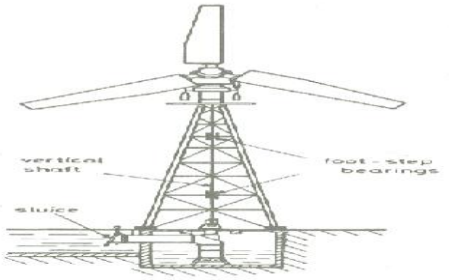
إن مضخات المكبسية تعتبر ملائمة للاستعمال في ضخ المياه نظراً إلى أن هذه المضخات تعمل بشكل جيد تحت سرعات منخفضة، وتستعمل المضخات ذات الفعل الوحيد لهذه الغاية. الشكل (3-20) يبين عنفة هوائية بطيئة تحرك مضخة مكبسية، ويحتوي على تفاصيل نقل الحركة من محور دوّار العنفة الهوائية إلى قضيب المكبس.



الشكل (3-20) عنفة هوائية بطيئة تحرك مضخة مكبسية

2- باستعمال المضخات النابذة و طواحين الهواء ذات السرعة العالية

إن طواحين الهواء ذات المحور الأفقي والسرعة العالية (وبسبب عزم الإقلاع المنخفض لها) هي غير ملائمة لتحريك المضخات المكبسية مباشرة. وقد تبين انه يفضل استعمال المضخات النابذة أو المضخات الحلزونية نظراً إلى أن عزم الإقلاع لهذه المضخات هو منخفض بالإضافة إلى أن سرعة دورانها هو نسبياً عال الشكل (3-21), الذي يبين طاحونة هواء سريعة تستعمل لضخ المياه.



الشكل (3-21) طاحونة هواء سريعة تستعمل لضخ المياه

3- باستعمال الضخ الكهربائي

في هذه الحالة يتم توليد الكهرباء بواسطة مولدة موصولة مع دوّار العنفة الهوائية السريعة وتقوم المولدة بتغذية المحرك الكهربائي الموصول بالمضخة وهذا الحل يناسب حالات الضخ من أعماق كبيرة ولاسيما عندما تكون سرعة الهواء أكبر من 5-6 m/s، ويمكن في هذه الحالة تركيب العنفة الهوائية في مكان مرتفع كما يمكن أن لا يكون قريباً من البشر للحصول على استطاعة أكبر. وللحصول على نتائج جيدة يفضل تركيب مجموعة بطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية بحيث يمكن تشغيل مضخة المياه في الفترات التي لا تكون فيها الرياح منتجة.

3-6-2- توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح:

يعتبر توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح اقتصادياً في المواقع المعزولة والقرى البعيدة عن شبكة الارتباط الكهربائية، والعنفات الهوائية المستعملة لتوليد الكهرباء هي بشكل عام آلات من النوع السريع التي لها شفرتان أو ثلاث شفرات و ذلك للأسباب التالية:

1- من أجل ذات القطر تكون عنفات الريح السريعة أخف وزنا وبالتالي أرخص من العنفات البطيئة.

2- نظراً إلى أنها تدور بسرعة أعلى فأن نسبة التحويل لعلبة السرعة ستكون أخفض.

3- أن العزم اللازم لإقلاع مولّدة كهربائية هو صغير وكذلك عزم الإقلاع للعنفة السريعة هو ذاته منخفض إلا أنه كاف لتحريك المولدة لذلك فأن هذه العنفات هي مناسبة لهذا الاستخدام.

تستعمل عادة ثلاث أنواع من المولدات هي: مولدة تيار مستمر، مولدة تيار متناوب ومولدة التحريض (مولدة غير متوافقة).

من أجل المنشآت ذات الاستطاعة الصغيرة استعملت في الماضي مولدات التيار المستمر، و لكنه في الوقت الحاضر مولدات التيار المتناوب هي الأكثر استعمالاً وتستعمل المقومات لتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر. أما في المنشآت كبيرة الاستطاعة فأن المنوبات التحريضية هي الوحيدة المستعملة.

3-7- نظام عمل توربينات الرياح:

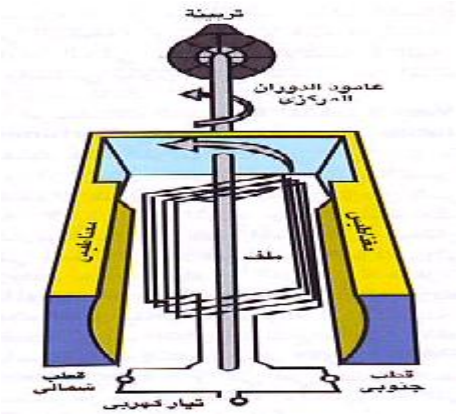
عند تحرك الرياح واصطدامها بشفرات العنفة الهوائية، تقوم بتحريك (تدوير) هذه الشفرات، وذلك عند وصول الرياح إلى سرعة معينة تسمى السرعة الابتدائية، والتي تكون قادرة على تحريك هذه الشفرات.

تنتقل الحركة الدورانية لشفرات العنفة إلى المحور الدائر (عمود الدوران المركزي)، الذي يمتد داخل المولد، وتتحول فيه الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية.

3-5-1- أجزاء المولد

يتألف المولد من جزأين أساسيين: جزء ثابت عبارة عن مغناطيس، وجزء متحرك عبارة عن امتداد المحور الدائر داخل المولد بين قطبي المغناطيس، والذي تلتف عليه وشيعة معدنية غالباً ما تكون نحاسية.

يشكل المغناطيس الموجود داخل المولد حقلاً أو مجالاً مغناطيسياً، وعند دوران امتداد المحور الدائر داخل المولد، الذي هو عبارة عن الجزء المتحرك في المولد، سوف يعمل على قطع خطوط المجال المغناطيسي وتغيير التدفق وبالتالي توليد تيار كهربائي الشكل (3-22).



الشكل (3-22) نظام عمل توربينات الرياح

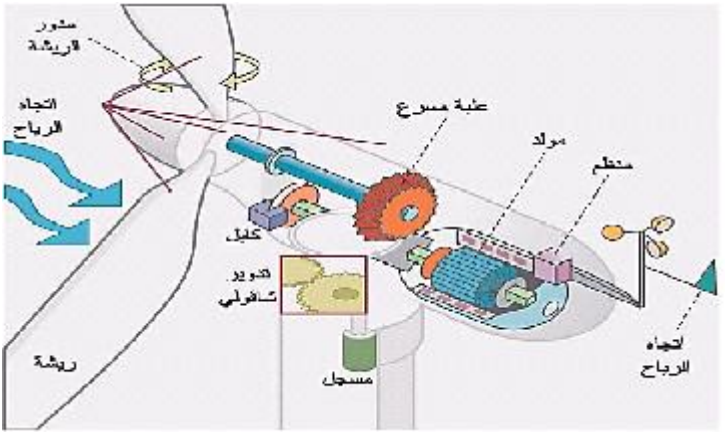
حسب قانون فاراداي القائل: بأن تغير التدفق لمجال مغناطيسي يصنعه مغناطيس بين قطبيه، يؤدي إلى توليد تيار كهربائي في عملية تسمى التحريض الكهرطيسي. وبالتالي يمكن استجرار التيار الكهربائي المتولد إلى حمل كهربائي (بطارية تخزين مثلاً)، أو ربطها إلى منوبة، ثم إلى الشبكة العامة مباشرة.

لكـن قطـع خطـوط المجـال المغناطيسـي يحتـاج لسـرعات دوران عاليـة للوشـيعة الملتفـة علـى امتـداد المحـور الـدائر داخـل الملـف، وبالتـالي يجـب زيـادة سرعة الدوران على مدخل المولد عن طريق تركيب علبة سرعة قبل المولد.

3-7-1- أجزاء العنفة الهوائية المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية الشكل (3-23):

1- **الشفرات** : وهي الجزء الأساسي في امتصاص طاقة الرياح، وتمتلك تصميم دقيق جداً. وفي بداية تصميم العنفات كان مصممو الشفرات هم عبارة عن مصممو أجنحة الطائرات. وبتطور العلوم أصبحت هناك تخصصات تدرس تصميم شفرات العنفات الريحية بشكل خاص.

2- الدائر : وهو عبارة عن القطعة الواصلة بين الشفرات والمولد و الحاملة للشفرات.



الشكل (3-23) أجزاء العنفة الهوائية المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية

3- زاوية ميلان الشفرات : وهي زاوية تميل بها الشفرات، وذلك للتحكم بطاقة الرياح الممتصة من قبل العنفة، وتدخل هذه الزاوية بحسابات دقيقة ومعقدة جداً لا يمكن للإنسان التحكم بها، وإنما يضع المصمم طريقة عملها ويترك للنظام الآلي التحكم بها بعيداً عن تدخل الإنسان. وعادة ما ترتبط هذه الزاوية عن طريق تغذية خلفية من حساسات تشير إلى سرعة الرياح الحالية.

4. المكابح : وهو نظام كبح العنفة الريحية، وهو جزء أساسي لا يمكن الاستغناء عنه بأي شكل من الأشكال، حيث يتدخل هذا ليوقف دوران العنفة عند سرعات محددة من الرياح، والتي لا يمكن للعنفة العمل عندها وعادة ما تحددها الشركة الصانعة ولكنها عادة تكون بحوالي **25** متر بالثانية.

عند الحديث عن المكابح لا بد من الإشارة أن نظام الكبح هو نظام هام جداً وخطر جداً، وإن أي تعطل لنظام الكبح قد يؤدي إلى نتائج كارثية على حياة البشر أولاً وعلى العنفة الريحية، حيث من الممكن أن تتطاير أجزاء العنفة الريحية بحال ازدادت سرعة الرياح إلى رياح عاصفة ولم تتوقف العنفة عن الدوران.

5- محور الدوران المنخفض السرعة : وهو عبارة عن المحور الموصول بشكل مباشر مع الدائر، ويكون ذو سرعة منخفضة، فهو يدور بنفس سرعة الهواء دون زيادة أو نقصان.

6- علبة السرعة :وهي عبارة عن مسننين مختلفين في القطر وذلك لزيادة السرعة على دخل المولد الكهربائي. من الجدير بالذكر هنا أن علبة السرعة المذكورة هي أبسط أشكال علب السرعة، والتي لا تستخدم في العنفات الريحية عالية التقنية التي تصنع حالياً، فبالنسبة لعلب السرعة المنتجة حالياً فقد تتكون من عدد من التروس التي تتعشّق بشكل آلي حسب سرعة الرياح لتحافظ على سرعة معينة على دخل المولد الكهربائي، وحتى أنه في بعض العنفات الريحية يتم الاستغناء عن علبة السرعة وذلك بإدخال أنظمة تحكم وقيادة تتعلق بالمولد، وهي معقدة إلى حد ما ولن نخوض بها.

7- **المولد الكهربائي :** وهو عبارة عن وسيلة لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، وتختلف المولدات المستخدمة في العنفات الريحية، حيث تستخدم مولدات التيار المستمر باستطاعات صغيرة، وتستخدم المولدات التزامنية والمولدات التحريضية في الاستطاعات الكبيرة.

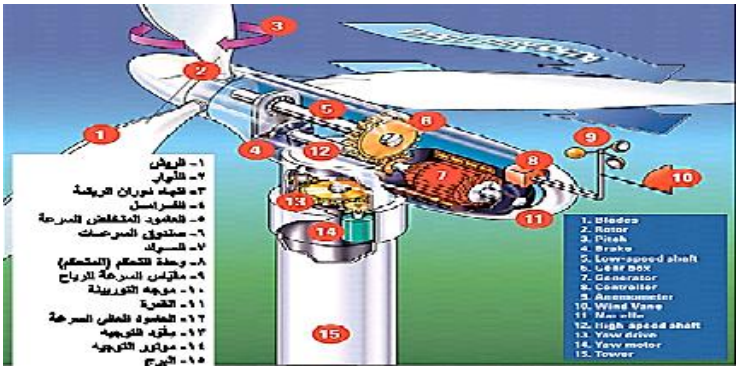
8- المتحكم : يعطي المتحكم أوامر الكبح والإقلاع وتغيير اتجاه العنفة والإنذار وغيرها، ولكن في الواقع العملي فإن المتحكم هو عبارة عن نظام تحكمي ضخم جداً يحوي على

عدد كبير من الحساسات المرتبطة بجملة من المعالجات التي تتحكم بمتغيرات العنفة من اتجاه وكبح وإقلاع وغيرها.

9- مقياس سرعة الرياح : وهو مقياس يحدد سرعة الرياح الحالية.

10- حساس اتجاه الرياح : عبارة عن حساس يتحسس لاتجاه الرياح.

11- القمرة : وهي تحوي على علبة السرعة ، المولد ، الحساسات وغيرها ويمكن تعريفها على أنها الحجرة الواقعة في أعلى البرج الشكل (3-24).



الشكل (3-24) القمرة

12- محور الدوران ذو السرعة العالية : وهو عبارة عن دخل علبة السرعة، وبالتالي يكون خرج علبة السرعة عبارة عن محور السرعة العالية، والذي يكون بدوره دخل للمولد وبسرعة مناسبة.

13- مسنن الاتجاه : وهو عبارة عن مسنن يتحكم باتجاه القمرة وذلك لجعل العنفة تمتص أكبر استطاعة ممكنة من الهواء.

14- محرك الاتجاه : وهو المحرك الذي يقود مسنن الاتجاه.

15- البـرج : وهـو الاسـطوانة الحاملـة لكافـة الأجـزاء السـابقة، والـذي يـتم تثبيتـه على الأرض بقاعدة إسمنتية ضخمة بحالة العنفات المنشأة على اليابسة.

3-7-2- العناصر الحسابية للعنفات الريحية

1- معامل الأداء للعنفة الريحية (مردود العنفة الريحية): نظراً لأنه لا يمكن الاستفادة إلا من جزء من الطاقة الحركية للرياح، فإننا نعرف عامل التحويل أو مردود المروحة بأنه نسبة الاستطاعة الميكانيكية على محور المروحة P (مقدرة بالكيلو واط ساعي لكل متر مربع من المساحة المتعامدة مع اتجاه الرياح ذات السرعة vمقدرة بـ م/ثا) إلى طاقة الهواء Pa الذي يجتاز مروحة قطرها D و بسرعة V، وبالتالي يعطى بالمعادلة التالية:

$$C_p = P / P_a$$

يتعلق عامل التحويل أو المردود للمروحة بنموذج المروحة، وتصميم الدوار، وزاوية ميل ريش المروحة، وعملياً لا يمكن تحويل كل طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية، وقد قام Betz بعد دراسة نظرية باستنتاج نسبة التحويل الأعظمية فوجد أنها تساوي Cp=0.593 من طاقة الرياح . لذا فإن استطاعة المروحة الأعظمية تكون:

$$P = 0.593 \times 0.5 \times \rho \cdot V^3 \pi D^2/4$$

$$P = 0,29.V^3,D^2$$

2- معامل التشغيل للعنفة الريحية: يعرف معامل التشغيل بأنه نسبة السرعة المحيطة لنهاية شفرات المروحة إلى سرعة الرياح، ويعطى بالمعادلة:

$$\lambda_0 = RW / V = \pi.D.N / 60. V$$

حيث:

R: نصف قطر المروحة.

W -السرعة الزاوية.

V- سرعة الرياح م/ثا.

N- عدد الدورات التي تدورها شفرات العنفة خلال دقيقة

تعطى القيمة المثالية لمعامل التشغيل بالمعادلة ($4\pi/n$) حيث n: عدد شفرات العنفة. يتم مقارنة قيمة معامل التشغيل المحسوبة مع قيمة معامل التشغيل المثالية ويجب أن لا يزيد الفرق بين القيمتين عن ± 0.5.

إذا كان الفرق بين القيمة المثالية والقيمة المحسوبة لمعامل التشغيل أكبر من القيمة المذكورة، فهذا يدل على خلل في عمل العنفة.

3- قطر العنفة: عندما يراد تصميم مزرعة ريحية أو تركيب عنفة ريحية منزلية، يكون قطر العنفة أو طول شفرة العنفة اختيارياً لأنه يتبع لمجموعة من العوامل:

أ- الإمكانيات المادية المتوفرة

ب- الغرض من استخدام العنفة

ج- الاستطاعة الكهربائية المراد توليدها من العنفة إذا كان الهدف توليد الكهرباء.

4-عدد الدورات التي تدورها العنفة خلال واحدة الزمن: يمكن معرفة عدد الدورات التي تدورها العنفة خلال واحدة الزمن من خلال معرفة قطر العنفة والسرعة المحيطية للعنفة:

السرعة المحيطية للعنفة = المسافة التي تقطعها العنفة خلال دورة واحدة / زمن الدورة الواحدة. وبما إن المسافة التي تقطعها العنفة خلال دورة واحدة = محيط العنفة = $2\pi r$، حيث r طول شفرة العنفة، وبالتالي يكون عدد الدورات التي تدورها العنفة خلال واحدة الزمن ولتكن دقيقة واحدة = 60 / زمن الدورة الواحدة

3-7-3- تحديد سعة بطارية الادخار

يوجد شرطان لتحديد سعة بطارية الادخار كما يلي:

1- الشرط الأول:

$$C \rangle 30.n.P_m / E$$

حيث:

P_m: القدرة المتوسطة المستهلكة لدى الاستعمال Watt

n: عدد الأيام المتتالية التي لا تكون فيها الريح منتجة .

C: سعة البطارية بـ Ah .

E: تخزين البطارية بـ Volt .

2- الشرط الثاني: هو أن لا تزيد شدة تيار الشحن عن C /10 وذلك كي لا تتضرر البطارية أثناء الشحن.

$$C \geq 10\ I_m$$

3-8- اقتصاديات منشآت توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح:

لتحديد كلفة واحدة الطاقة الكهربائية K Wh المولدة بواسطة طاقة الرياح، ينبغي أخذ كلف التأسيس وكلفة التشغيل بعين الاعتبار، و تشمل كلف التأسيس: تصميم المنشأة، ثمن المنشأة، كلفة النقل، الأساسات، نفقات الوصل، التركيب والتجريب.

أما كفلة التشغيل (الكلفة السنوية) فتتألف من كلف: الصيانة، خدمة رأس المال ونفقات متفرقة. وفي بعض الحالات قيمة الأرض ومبنى التشغيل، ويتم تعين كلفة الكيلو وات الساعي المولد بالاستناد إلى كمية الطاقة المولدة سنوياً من قبل المنشأة. وتجدر الإشارة هنا أن الاستطاعة المتوسطة لمنشآت الريح في الدنمرك التي كانت في عام 1980تتراوح بين KW 30-55 ارتفعت في عام 1990 إلى 200-450W ورافق ذلك ازدياد جاهزية هذه المنشآت، كذلك انخفضت كلفة توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح في الدنمرك من 0.17 عام 1980 إلى 0.053$/ KWh عام 1990.