طاقة الرياح

(Wind energy)

1- مقدمة عامة:

تعد طاقة الرياح من أولى أنواع الطاقات المتجددة التي استخدمها الإنسان، إذ تشير الشواهد التاريخية إلى إن البابليون كانوا من الأوائل الذين انتبهوا إلى طاقة الرياح وسخروها لبعض استخداماتهم، حيث صنعوا أشرعة بسيطة لتسيير بعض القوارب الصغيرة وهناك شواهد من مسلة حمورابي تشير إلى استخدام طواحين الرياح لأغراض السقي في القرن السابع عشر قبل الميلاد. كما وجد علماء الآثار أثناء حفرياتهم في إيران والصين دلائل على وجود مضخات مياه تعمل بطاقة الرياح لأغراض السقي أيضا. وانتشرت طواحين الرياح في أوربا في القرون الوسطى ووصل عددها في عام 1750 إلى اكثر من 800 طاحونة في هولندا واكثر من 1000 في بريطانيا والشكل (1) يبين احدى الطواحين الهوائية في بريطانيا.

أدى ارتفاع أسعار النفط وظهور مشاكل التلوث الناتجة عن استخدام مصادر الطاقة التقليدية إلى زيادة الاهتمام بطاقة الرياح، ووصلت تكنولوجيا تصنيع التوربينات الريحية في ثمانينات القرن الماضي إلى درجة عالية من الجودة والكفاءة العالية وبكلف منخفضة نسبيا، وتنتج الدول الصناعية حاليا أنواع عديدة من التوربينات الريحية و بتصاميم مختلفة تتجاوز الطاقة الصادرة من كل منها 4 MW والشكل (2) صورة لتوربين ريحي ينتج 1.5 MW

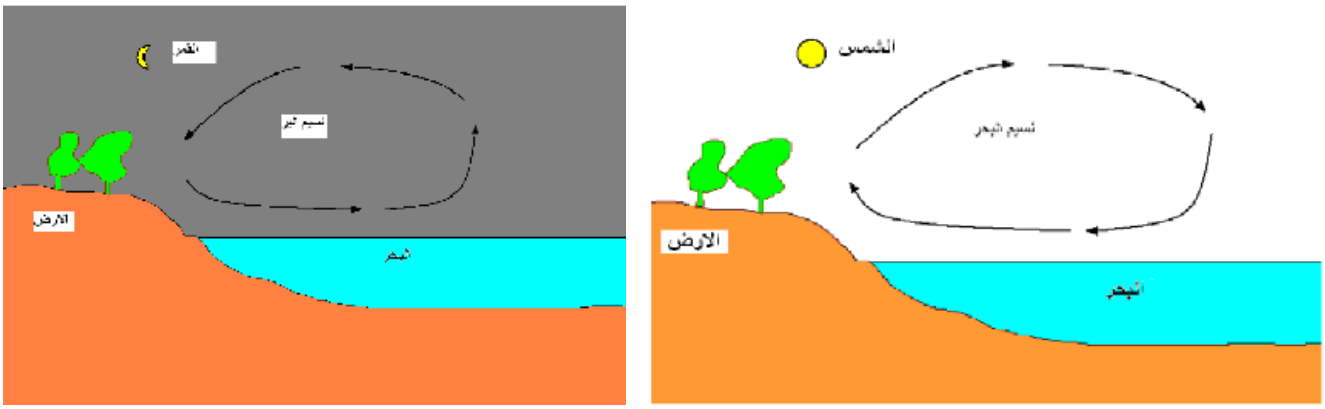
الشكل (١): الطاحونة الهوائية

الشكل (2): توربين ريحي

2-سبب حركة الرياح:

تتكون الرياح في الكرة الأرضية نتيجة الاختلافات في درجات الحرارة بين المناطق المختلفة من الأرض، فعند سقوط الإشعاع الشمسي على منطقة ما، يسخن الهواء فيها مما يؤدي إلى انخفاض كثافته وتقليل الضغط الجوي. أما المناطق التي ينخفض فيه مقدار الإشعاع الشمسي فأن كثافة الهواء تزداد و بذلك يزداد الضغط الجوي فيها وينتقل الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض وهذا التدفق في الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض يسمى الرياح.

وهناك نوع آخر من الرياح تسمى بالرياح المحلية والتي تهب على مناطق معينة من الأرض مثل نسيم البر والبحر (Land and water wind) والذي يتولد في المناطق الساحلية نتيجة لاختلاف السعة الحرارية للبحر والساحل كما في الشكل (3). فالأرض تكتسب الحرارة بسرعة خلال النهار وتفقد حرارتها بسرعة خلال الليل بينما يكتسب البحر الحرارة ببطء ويفقدها ببطء، ولذلك يسخن الهواء الملامس للأرض أثناء النهار وتقل كثافته ويتجه إلى الأعلى ليحل محله تيار هواء بارد قادم من البحر وهذا هو نسيم



الشكل (3): نسيم البر ونسيم البحر

البحر . أما خلال الليل فينعكس تيار الهواء ليتحرك من الأرض هواء بارد باتجاه البحر ويحل محله تيار دافئ قادم من البحر وهذا هو نسيم البر. وبنفس الأسلوب يوجد هناك في المناطق الجبلية ما يعرف بنسيم الجبل والوادي (Hill and mountain wind). ففي الليل تنزل الرياح عن السطوح الجبلية الباردة نحو الوديان الدافئة بسبب الضغط الواطئ الناشئ من تباين درجات الحرارة ما بين الوادي والجبل، بينما في النهار حيث ترتفع حرارة أعالي الجبال فتتجه الرياح من الوادي نحو الجبل.

3. التأثيرات البيئية لاستخدام طاقة الرياح

رغم الكم الهائل من الطاقة التي توفرها و ميزات استخدامها، الا ان تطور استخدام طاقة الرياح له مساوئه البيئية ايضاً. ولغرض توسيع انتاج الطاقة من الرياح يجب ان تكون المحاسن في حدها الاعلى والمساوئ في حدها الادنى.

3.1. الفوائد البيئية

ان توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح لا يتضمن انبعاث ثاني اوكسيد الكاربون او سقوط الامطار الحامضية او ملوثات اخرى كالتي تنتج من الوقود التقليدي. وكذلك فان العنفات لا تعتمد في انتاج الطاقة الى وجود المياه للتبريد او انتاج البخار كبعض المصادر التقليدية او المتجددة.

3.2. المساوئ البيئية

1. اهم المشاكل البيئية الناتجة عن استخدام منظومات طاقة الرياح هي الضجيج والتداخل الكهرومغناطيسية والتأثيرات البصرية كتلوث المنظر وانعكاسات اشعة الشمس عن الشفرات اثناء دورانها .

أ) ضجيج التوربين الريحي :- هناك نوعان من الضجيج هما الضجيج الميكانيكي الناتج من المعدات الميكانيكية والكهربائية المستخدمة في تقنيه طاقة الرياح والثاني هو الضجيج الأيروديناميكي الناتج من تداخل تيارات الهواء مع الشفرات الريحية ويمكن التخلص من الاولى بإنتاج اجزاء ميكانيكية هادئة ومعزولة اما الثاني فيتم التخلص منه باستخدام شفرات ذات اشكال انسيابية وملتوية وذات حدود مقوسة.

ب) التداخل الكهرومغناطيسي :تؤثر عفنات الرياح على موجات الراديوية والتلفزيونية وقد تشوهها بسبب حدوث تداخل مغناطيسي والذي يعتمد على نوع مادة الشفرات فاذا كانت من المعدن فان التداخل محتمل الحدوث اما اذا كانت من مواد اخرى فان احتمالية امتصاص الموجات يكون اكثر.

ج) التأثيرات البصرية :تعتمد هذه التأثيرات على حجم العنفة وتصميمها وعدد الشفرات ولونها وعدد وترتيب العنفات الريحية في الحقول. وهذه الحقول قد لا تجد من يوافق عليها لا نها قد تشوه المنظار الطبيعي عند التطبيق .

4 - انواع العنفات (التوربينات) الهوائية

هناك اشكال عديدة للتوربينات الهوائية ظهرت منذ بداية استخدام الرياح كمصدر طاقة كهربائية. وفي الوقت الحاضر ظهرت العديد من التصاميم المبتكرة لتوربينات الرياح للحصول على اكبر طاقة ممكنة واستغلال اقل سرعات الرياح في توليد الكهرباء. وعلى الرغم من اختلاف تلك التصاميم والاشكال الا ان التوربينات الهوائية يمكن تصنيفها الى نوعين رئيسيين حسب محور العنفة بالنسبة الى الرياح، وهما :

1. التوربينات افقية المحور Horizontal Axis Wind Turbine HAWT : وهي التي يكون اتجاه العنفة فيها موازٍ لاتجاه الرياح مع انحراف بسيط لشفرات التوربين بزاوية معينة . ويكون محور دورانها موازي للارض ولاتجاه الرياح.

   تتكون هذه العنفات عادة من شفرتين او ثلاث او اكثر . حيث تسمى العنفات ذات الشفرات الكثيرة بالتوربينات الصلبة لأنها تشبه القرص الصلب , اما العنفات التي لها عدد قليل من الشفرات تسمى التوربينات المرنة. حيث يكون تصميمها الحديث انسيابي اعتمادا على قوانين حركة الموائع حيث تم اقتباسها من تصميم اجنحة الطائرات والاجهزة الدوارة الاخرى ويحتوي على توربين على شفرتين او ثلاث مشابهه للأجنحة.

الشكل (4) : التوربينات افقية المحور

2. التوربينات عمودية المحور Vertical Axis Wind Turbine VAWT : وفيها تعلق منظومة التوربين على عمود بحيث يكون محور دورانها عمودي على اتجاه الارض وكذلك اتجاه الرياح. وهذا التصميم يجعل العنفة لاتحتاج الى موجه فأي اتجاه للرياح سوف يقوم بتدوير شفرات العنفة وبالتالي توليد الطاقة. ابتكرت هذه التوربينات من قبل مخترع يسمى جورج داروين وقد حملت اسمه. هذه التوربينات لها شفرات منحنية متصلة من احد جوانبها في عمود الدوران من الاعلى والطرف الاخر في نفس العمود من الاسفل . ان

توربينات داروين هي الاكثر تقنية بين كل انواع العنفات العمودية حيث تكون شفراتها بشكل منحني يشبه حبل القفز لذلك تكون لها كفاءة في تحمل القوة الطاردة المركزية عليها. الاشكال ادناه توضح تصاميم مختلفة للمراوح العمودية.

الشكل (5): التوربينات عمودية المحور

5. التحليل الرياضي لطاقة الرياح:

إن معدل القدرة لأي مائع متحرك يساوي حاصل ضرب معدل التدفق الكتلي $\dot{m}$ في الطاقة الحركية للرياح ولذلك فأن:

$$P_{total} = \dot{m} * K.E = \dot{m} * \frac{V_i^2}{2} \qquad (1)$$

إذ إن:

P_{total}= القدرة الكلية (W)

$\dot{m}$ = التدفق الكتلي(kg/s)

V_i = سرعة الرياح الداخلة إلى التوربين الريحي (m/s)

ويحسب معدل التدفق الكتلي من معادلة الاستمرارية:

$$\dot{m} = \rho * A * V_i \qquad (2)$$

إذ إن :

$\rho = (\mathrm{kg/m^3})$ كثافة الهواء الداخل إلى التوربين

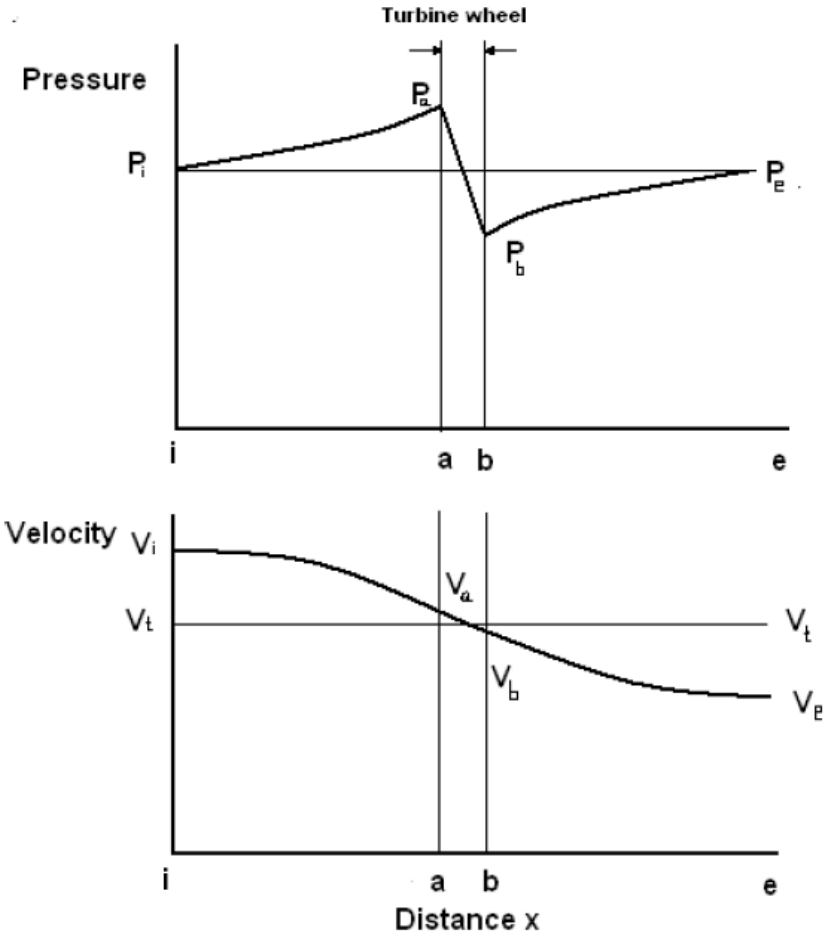
$A = (\mathrm{m^2})$ مساحة الجزء المعرض للرياح او مساحة مروحة التوربين

بتعويض المعادلة(2) في المعادلة (1) نحصل على:

$$P_{total} = \frac{1}{2} * \rho * A * V_i^3 \qquad (3)$$

تشير المعادلة (3) إلى إن القدرة الناتجة من الرياح تتناسب مع مكعب سرعة الرياح وكذلك مع المساحة التي تغطيها ريش التوربين الريحي عند تحركها، فأذا زادت سرعة الرياح من 1m/s إلى 2 m/s فأن القدرة الناتجة المستخرجة ستزداد 2^3 أي ثمانية إضعاف، ولو زادت السرعة إلى 3 m/s فأن القدرة المستخلصة ستزداد بـ 27 مرة.

من المستحيل تحويل كل طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية، ولحساب اعظم طاقة ممكن استغلالها من طاقة الرياح، سوف نأخذ توربين أفقي المحور، نفرض إن سمك محور الدوران هو (a-b) كما في الشكل (6)، حيث ان سرعة وضغط الهواء الداخل إلى التوربين هي V_i و P_i على التوالي و سرعة وضغط الهواء الخارج من التوربين هي V_e و P_e على التوالي ومن



الشكل (6) توزيع السرع والضغوط على توربين ريحى أفقى المحور

توزيع السرع نلاحظ إن سرعة الهواء الخارج من التوربين اقل من سرعة الهواء الداخل بسبب استنزاف الطاقة الحاصل في التوربين والذي تحول الى طاقة ميكانيكية وبتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين i و a نحصل على:

$$\frac{P_i}{\rho}+\frac{V_i^2}{2}=\frac{P_a}{\rho}+\frac{V_a^2}{2} \qquad (4)$$

وبنفس الأسلوب بين النقطتين (b-e) نحصل على:

$$\frac{P_e}{\rho}+\frac{V_e^2}{2}=\frac{P_b}{\rho}+\frac{V_b^2}{2} \qquad (5)$$

وبطرح المعادلة (5) من المعادلة (4) نحصل على:

$$P_a-P_b=P_i+\rho*\frac{V_i^2-V_a^2}{2}-P_e-\rho*\frac{V_e^2-V_b^2}{2} \qquad (6)$$

من الرسم نلاحظ ان:

$$P_e=P_i$$

$$V_t\approx V_a\approx V_b \quad \text{(لأن التغير في السرعة قليل)}$$

بتعويض القيم أعلاه في المعادلة (6) نجد:

$$P_a-P_b=\rho*(\frac{V_i^2-V_e^2}{2}) \qquad (7)$$

و تحسب القوة المحورية F_x المؤثرة باتجاه موازي لاتجاه الرياح على محور التوربين من المعادلة الآتية:

$$F_x=(P_a-P_b)*A=\rho*A*(\frac{V_i^2-V_e^2}{2}) \qquad (8)$$

وتساوي القوة أيضا مقدار التغير في الزخم $\Delta(\dot{m}V)$ حيث إن $\dot{m}$ مقدار التدفق الكتلي ويعطى بالمعادلة آلاتية:

$$\dot{m}=\rho*A*V_t \qquad (9)$$

لذلك فأن القوة المحورية تكون:

$$F_x=\rho*A*V_t*(V_i-V_e) \qquad (10)$$

وبمساواة المعادلتين (8) و (10) نحصل على :

$$V_t = \frac{1}{2} * (V_i + V_e) \qquad (11)$$

ان الفرق بين الطاقة الحركية الداخلة والخارجة هو مقدار الشغل المنجز، لذلك:

$$W = K.E_i - K.E_e = \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} \qquad (12)$$

و تعرف القدرة على إنها الشغل المنجز لوحدة الزمن ويعطى بالمعادلة الآتية:

$$P = \dot{m} * \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} = \frac{1}{2} * \rho * A * V_t * (V_i^2 - V_e^2) \qquad (13)$$

وبالتعويض عن قيمة V_t من المعادلة(5.11) تصبح المعادلة (5.13) بالشكل الآتي:

$$P = \frac{1}{4} * \rho * A * (V_i + V_e) * (V_i^2 - V_e^2) \qquad (14)$$

باشتقاق المعادلة (14) نسبة لـ V_e ومساواتها بالصفر نجد ان:

$$3V_e^2 + 2V_iV_e - V_i^2 = 0$$

وبتبسيط المعادلة أعلاه، نجد إن سرعة الرياح الخارجة من التوربين المثالية تساوي:

$$V_e(opt) = \frac{1}{3} V_i \qquad (15)$$

أي إن أعلى قدرة تنتج عندما تكون سرعة الرياح الخارجة من التوربين ثلث سرعة الرياح الداخلة إلى التوربين. وبتعويض المعادلة (15) في المعادلة (14) نحصل على اعظم قدرة يمكن الحصول عليها من طاقة الرياح والتي تساوي:

$$P_{\max} = \frac{8}{27} * \rho * A * V_i^3 \qquad (16)$$

وتكون الكفاءة العظمى لمنظومات الرياح والتي تسمى معامل القدرة (Power coefficient) والتي تساوي نسبة القدرة العظمى المشتقة من طاقة الرياح (معادلة 16) إلى طاقة الرياح الكلية (معادلة 3) :

$$\eta_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_{total}} = \frac{8}{27} * 2 = \frac{16}{27} = 0.5926 \qquad (17)$$

ويمكن القول إن التوربينات الريحية مهما كانت كفاءتها فأنها لا تستطيع إن تحول اكثر من 60% من طاقة الرياح الكلية بأحسن الأحوال وتحسب القدرة الحقيقية للتوربينات الريحية بالشكل الآتي:

$$P_{total} = \frac{1}{2} * \eta * \rho * A * V_i^3 \qquad (18)$$

حيث ان η = كفاءة التوربين وتتراوح نسبتها ما بين (30-40%) .

ان العامل المهم في تحسين كفاءة منظومات الرياح هو نسبة سرعة الإطراف والتي تربط ما بين سرعة الرياح وسرعة طرف ريش التوربين الريحي:

$$\lambda = \frac{Tip.speed.of.blade}{Wind.speed}$$

لان توربينات المحور الأفقي غالبا ما تكون من شفرتين او ثلاث وبما ان كثافة الطاقة لا تتعدى 650 W/m^2 ولذلك لتوليد قدرة 600 W/m^2 يستوجب توفير عنفات القطر الكلي لها 43 m وإذا ما دار التوربين الريحي بسرعة 750 دورة بالدقيقة سوف تحصل على سرعة هائلة جدا في الإطراف، فإذا ما دار التوربين بسرعة بطيئة جدا فان معظم الرياح ستمر بشكل مستقيم عبر الثغرة ما بين الشفرات ، وبالتالي لن تعطي أي قدرة ولكن اذا ما دار بسرعة عالية فان الريش ستتشوه وتمثل حاجزا قويا للرياح وستشكل شفرات الدوار اضطرابا عند دورانها في الهواء ومن اجل الحصول على نسبة سرعة الأطراف المثالية الى سرعة الرياح المثالية (λ) فان الصيغة التالية قد تم البرهان على صحتها تجريبيا:

$$\lambda(\max.power) = \frac{4\pi}{n} \qquad (19)$$

حيث n عدد الشفرات.

$$v = wr$$

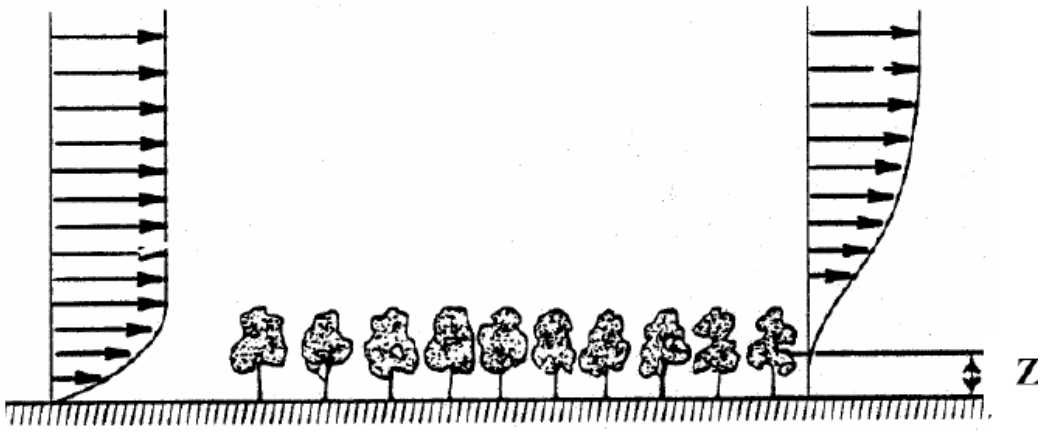
$$w = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\therefore v = \frac{2\pi nr}{60} \qquad (20)$$

6- اختيار الأماكن الملائمة:

إن استغلال أي طاقة من الطاقات المتجددة يجب إن يسبقها دراسة لخصائص هذه الطاقة لغرض استخدامها بالشكل الذي يضمن الجدوى الاقتصادية منها، وطاقة الرياح واحدة من هذه الطاقات. لذا فان التفكير باستغلالها كطاقة بديلة يجب إن يسبقه أعداد الدراسات اللازمة لخصائص الرياح في المنطقة المراد استغلال طاقة الرياح فيها، وتوجد مجموعة عوامل تحدد المنطقة الملائمة منها :

1. يجب إن تكون الرياح بسرع ملائمة ومستمرة ومناسبة لنوع التوربين المستخدم.
2. يجب إن يكون الموقع قريبا من خطوط نقل الطاقة الكهربائية وقريب من مناطق الاستهلاك.
3. يجب إن تكون الأرض المقام عليها التوربين الريحي رخيصة السعر نسبيا لتقليل الكلفة الاقتصادية.
4. يوجد الموقع في ارض مفتوحة ولا يحيط به أي عائق طبيعي أو صناعي، حيث ان وجود العوائق (Obstacles) من العوامل المؤثرة تأثيرا حادا على سرعة الرياح، لذا يجب ان يكون التوربين الريحي بعيدا بقدر الامكان عن العوائق لتلافي تأثيرها، وافضل المواقع لنصب التوربينات الريحية هو أما على شواطئ البحار أو بداخل البحار تفاديا لفقد الرياح جزء من طاقتها بالاحتكاك الناتج عن خشونة السطح (Roughness)، ويعبر عن كل سطح بطول معامل الخشونة بالمتر (Roughness length) (Z_o) ويعرف الطول بالمتر الذي تكون سرعة الرياح عنده مساوية للصفر كما في الشكل (7) والجدول (1) يبين معامل الخشونة لعدد من اسطح الارض المختلفة.



الشكل (7) تأثير خشونة السطح على سرعة الرياح

نوعية السطح	معامل الخشونة (z_o)
مدينة او غابة كثيفة	1
ضواحي المدينة	0.5
تجمعات شجرية وحواجز	0.3
الكثير من الأشجار والشجيرات	0.2
ارض زراعية يتخللها مصدات رياح	0.1
ارض زراعية ذات مظهر مفتوح	0.05
ارض زراعية حقلية مفتوحة جدا	0.03
مناطق مكشوفة (مهبط مطار)	0.01
مسطحات مائية (بحار-رمال)	0.0002

الجدول (1) معامل الخشونة لعدد من اسطح الارض المختلفة

وكذلك يمكن تركيب التوربينات الريحية على مرتفعات عالية كالجبال و التلول، ويبين الشكل (8) شكل سريان الرياح فوق تل والمعادلة الاتية تمكن من حساب الارتفاع (l) الذي يحدث عنده اقصى تزايد في السرعة:

$$l \cong 0.3 z_o \left(\frac{l}{z_o}\right)^{0.67}$$

حيث 2L قطر المرتفع و l هو الارتفاع الذي يحصل عنده اعلى تزايد في السرعة.

تختلف سرع الرياح عند سطح الارض عنه عند الارتفاعات العالية، فكلما كانت الارتفاع اكثر كلما زادت سرعة الرياح، وهذا يفهم من المعادلة الآتية:

$$\frac{V}{V_r} = \left[\frac{H}{H_r}\right]^{\alpha} \qquad (21)$$

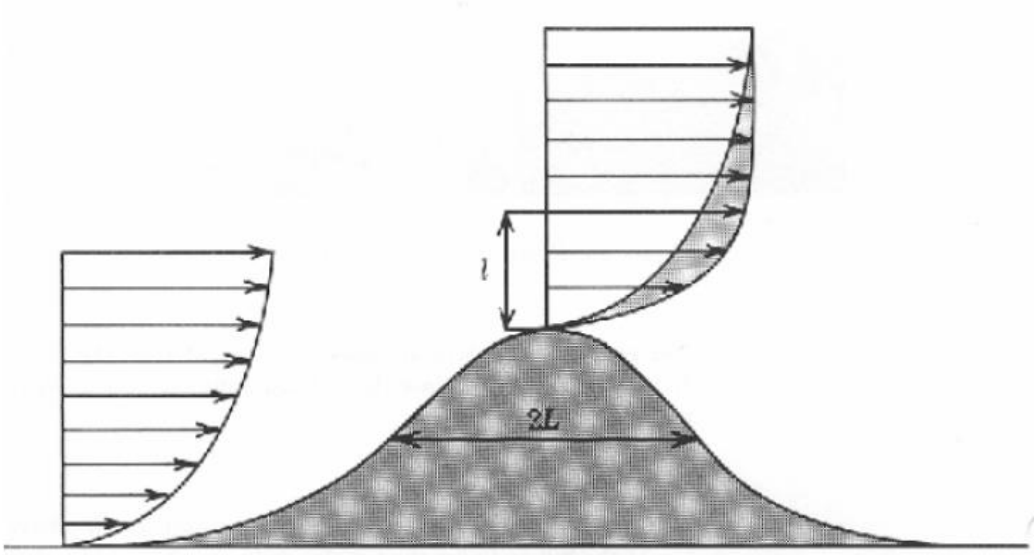
إذ ان:

V= سرعة الرياح عند ارتفاع معين

V_r= سرعة الرياح عند ارتفاع قياسي هو (9.1m)

H= الارتفاع المطلوب حساب سرعة الرياح عنده

H_r=(9.1 m) الارتفاع القياسي الذي تكون عنده سرعة الرياح مقاسة في محطات الأنواء



الشكل (8) شكل سريان الرياح فوق تل حيث 2L قطر المرتفع و l هو الارتفاع الذي يحصل عنده اعلى تزايد في السرعة.

أما α فيسمى معامل القص الأسى للرياح ، وكلما زادت قيمته كلما كانت سرعة الرياح الساقطة على ريش التوربين اقل ويحسب من المعادلة الآتية:

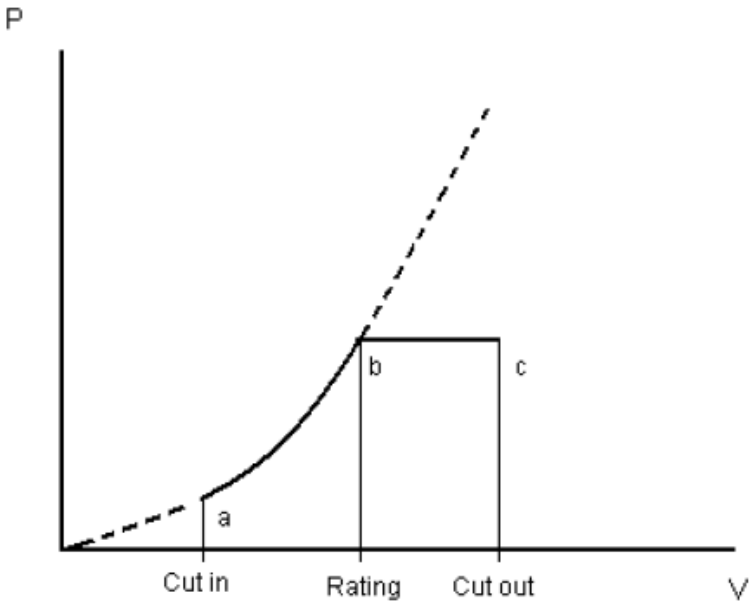
$$\alpha = \alpha_o \left(1 - \frac{\log V_r}{\log V_o} \right) \qquad (22)$$

إذ ان :

$$\alpha_o = \left(\frac{Z_o}{H_r}\right)^{0.2}$$

حيث ان Z_o طول الخشونة للمنطقة المجاورة للتوربين وV_o سرعة ثابتة مقدارها 67.1 m/sec.

و بسبب اعتماد طاقة الرياح على مكعب سرعة الرياح فأن التغير الذي يطرأ على سرع الرياح يسبب تغيرا كبيرا في مقدار الطاقة المنتجة، ويلجأ المشغلون إلى إيقاف التوربينات الريحية عندما تكون سرعة الرياح اقل من حد معين يسمى سرعة الإيقاف الدنيا (Cut-in velocity) بسبب الخسائر الميكانيكية العالية، وكذلك يتم توقيف التوربين عندما تكون سرع الرياح عالية لحماية التوربين من التوقف وتسمى هذه السرعة بسرعة الإيقاف العليا (Cut-out Velocity) وعادة يتم المحافظة على سرعة التوربين ضمن مدى معين يسمى (Flat rating) كما مبين في الشكل (9). تكون سرعة التوربين متغيرة في المنطقة المحصورة بين نقطة a و b وثابتة في المنطقة المحصورة بين نقطة b و c.



الشكل (9) حدود عمل التوربين الريحي

7- استخدامات طاقة الرياح:

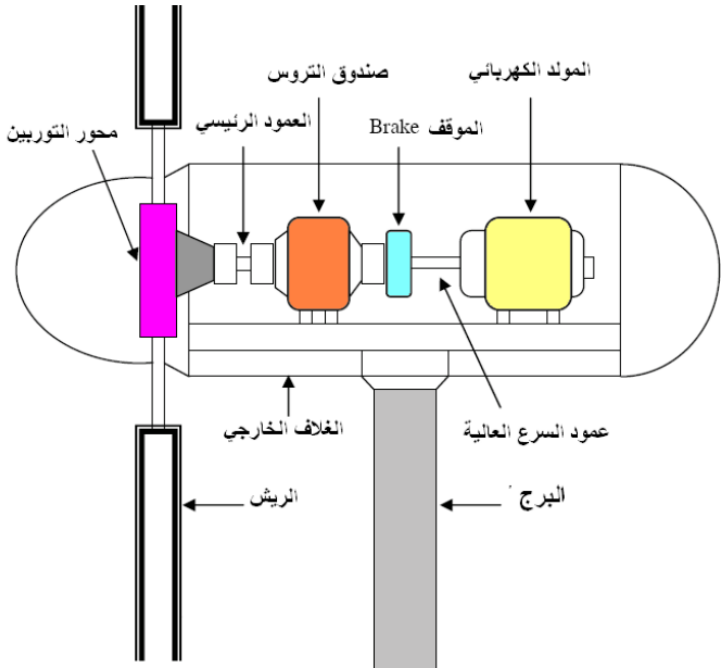
تعددت استخدامات طاقة الرياح، ففي القرون الماضية استخدمت طاقة الرياح بصورة رئيسة لطحن الحبوب وسقي المزروعات، اما في الوقت الحاضر فالاستخدامات الرئيسية لطاقة الرياح هو في مجال توليد الطاقة الكهربائية ولاغراض السقي.

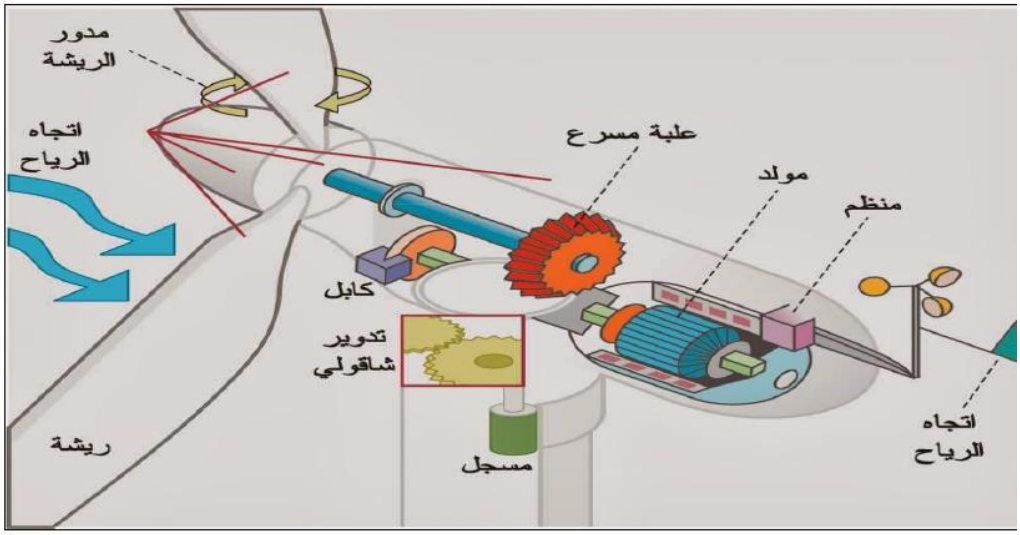
1. توليد الطاقة الكهربائية:

حققت عدد من الدول تقدم مذهل في مجال استخدام طاقة الرياح لتوليد الكهرباء. تحول التوربينات الطاقة الحركية Kinetic energy في الرياح إلى كهرباء ومعظم التوربينات الريحية المستخدمة في توليد الكهرباء هي من التوربينات الأفقية المحاور الثلاثية الريش (الشكل 4) وفي بدء التشغيل يعتمد المولد الحثي على سحب تيار كهربائي من الشبكة الوطنية وهو ما يعني ان التوربين يعمل في البداية كمحرك حتى تصل سرعة دوران الريش الى سرعة معينة تختلف باختلاف تصميم التوربين (27 دورة / دقيقة على سبيل المثال). تتكون محطة توليد الطاقة الكهربائية بصورة رئيسية من الأجزاء المبينة في الشكل (10) وهي :

1. البرج (Tower).
2. الجزء الدوار (الريش ومحور العجلة الدوارة).
3. عمود السرعة العالية والواطئة.
4. صندوق التروس (Gear box).

5. المولد الكهربائي (Generator).
6. المتحسسات وموجهات التوربين (Sensors and yaw drive).
7. منظمات القدرة ووحدات السيطرة(Power regulation and controlling units).
8. أنظمة السلامة (Safety systems).





مكونات توربينات طاقة الرياح

الشكل (10) الأجزاء الرئيسية للتوربين الريحي المستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية.

بصورة عامة كلما ازداد حجم التوربين الريحي ازداد حجم البرج المنشأ لحمل هذا التوربين وازدادت كلفة الانشاء تبعا لذلك، وتشكل كلفة البرج حوالي 20% من الكلفة الكلية للتوربين ألريحي ولذلك ظهر اتجاه جديد في الآونة الأخيرة لتركيب أكثر من توربين ريحي على نفس البرج أو ما يعرف باسم شجرة المراوح المبينة في الشكل (١١).

الشكل (11) شجرة المروح التوربينية

التوربين الريحي هو الجزء الدوار (الريش) وهو المسئول عن تحويل طاقة الرياح الى طاقة ميكانيكية وتصنع هذه الريش من مواد مختلفة مثل الخشب والألمنيوم والحديد وفي الفترة الأخيرة استخدمت مادة الألياف الزجاجية لصناعة هذه الريش وتربط هذه الريش الى منظمات لتغيير زوايا هذه الريش للحصول على افضل أداء. يربط الجزء الدوار عن طريق العمود الرئيسي والذي يسمى أحيانا بعمود السرعة البطيئة إلى صندوق التروس والذي يقوم بتحويل السرعة الدورانية للجزء الدوار والتي تتراوح مابين 30-50 دورة /دقيقة الى السرعة المثلى لعمل المولد الكهربائي والتي تتراوح ما بين 1000-1500 دورة / دقيقة عن طريق عمود السرعة العالية. يربط صندوق التروس الى موقف ميكانيكي (Brake) لايقاف التوربين الريحي عن الحركة عن وجود رياح قوية جدا تزيد سرعتها عن 25 م/ثانية أو وجود صيانة ويربط هذا الموقف بدوره الى مولد كهربائي والذي يعتبر من اهم اجزاء التوربين الريحي فهو المسؤول عن توليد الطاقة الكهربائية.

2. سقي المزروعات:

إن أقدم استخدامات طاقة الرياح هو استخدامها للسقي، إذ انه بمجرد تحويل الحركة الدورانية الى حركة خطية باستخدام نظام الكامات أو المحاور الدوارة يمكن تشغيل المضخة

وسوف نركز في شرحنا لهذه الفقرة على المضخة الترددية، تصنف المضخات الترددية ضمن مضخات الإزاحة الموجبة وقد شاع استخدامها في مجال طاقة الرياح والشكل (12) يوضح الية عمل المضخة ويمكن فهم طريقة رفع الماء والتدفق والقدرة من التحليل الرياضي التالي، تسبب حركة المحور الدوار (shaft) المنقولة عبر ذراع التدوير ازاحة للمكبس قدرها (2r) وتسبب حركة خطية بازاحة قدرها (S):

$$S = 2r \qquad \text{..... (24)}$$

الحجم الذي يزيحه المكبس خلال حركته داخل الاسطوانة لمسافة قدرها (S) أي ان:

$$V_s = \frac{\pi}{4} d^2 S \qquad \text{..... (25)}$$

حيث ان d تمثل قطر الاسطوانة التي يتحرك داخلها المكبس، ويمكن حساب كمية الماء المتدفق من المضخة لعدد من الدورات قدره (N) دورة من المعادلة الاتية:

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 (2r) N$$

وغالبا ما تكون المضخات ذات كفاءة اقل من 100%، لذا يجب إدخال عامل الكفاءة ليصبح كمية الماء من مضخة ترددية تعمل بطاقة الرياح من المعادلة الآتية:

$$Q = \frac{\pi}{2} d^2 (r) N \eta \qquad \text{..... (26)}$$

حيث ان η كفاءة المضخة

ويجب الانتباه إلى التمييز بين السرعة الدورانية للتوربين ألريحي (N) والسرعة الدورانية للمحور الدوار اذ غالبا ما تكون السرعة الدورانية للمحور الدوار في مثل هذه التطبيقات قليلة وكذلك (r) لا يمثل نصف قطر ريش التوربين الريحي، إما الضغط المسلط على سطح مكبس المضخة فيحسب من المعادلة الآتية:

$$P = \frac{F}{A} \qquad \text{..... (27)}$$

وبالتالي تحسب القوة المسلطة على سطح المكبس من المعادلة الاتية:

$$F = \gamma h * \frac{\pi d^2}{4} \qquad \ldots\ldots (\ 28\ )$$

حيث d قطر المكبس او الاسطوانة الداخلي، ولما كانت الحركة الخطية للمكبس على طول الشوط (S) ناتجة عن دوران الذراع (r) فمن الضروري ان نجد العزم المدور (T) حيث:

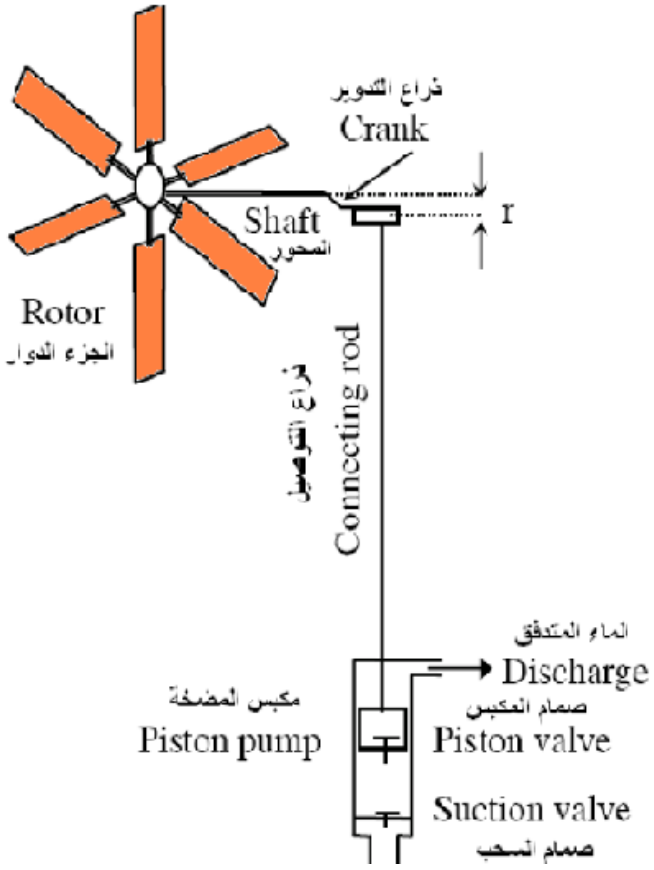
$$T = F * r \qquad \ldots\ldots (\ 29\ )$$

اما القدرة اللازمة لتدوير مضخة ما فتحسب من المعادلة الاتية:

$$P = \frac{\rho_w g Q h}{\eta} \qquad \ldots\ldots (\ 30\ )$$

حيث ان ρ_w كثافة الماء و g التعجيل الارضي و h ارتفاع المضخة عن مستوى سطح الماء.

وبالرغم من الية العمل الغير معقدة للمضخات الترددية الا ان هنالك مشكلة العزم الابتدائي لبدء التشغيل الذي لا يتناسب مع سرعة الرياح احيانا.



الشكل (12) سحب المياه من الآبار باستخدام مضخة ترددية تعمل بطاقة الرياح

مثال 1:

توربين ريحي قطر مروحته 4.56 m تهب عليه رياح بسرعة 7.62 m/sec وبدرجة حرارة هواء مقدارها 15.5 °C وكان هذا التوربين مصمم لسحب المياه من بئر عمقه 9.144m، احسب كمية المياه المسحوبة ليوم واحد اذا كانت كفاءة التوربين تبلغ 25%.

الحل:

نحسب كثافة الهواء أولا من المعادلة الآتية:

$$\rho = \frac{P}{R*T} = \frac{1.01325*10^5}{287*(15.5+273)} = 1.2237\,\text{kg/m}^3$$

تحسب كمية القدرة التي يولدها التوربين من :

$$P_{total} = \frac{1}{2}*\eta*\rho*A*V_i^3 = 0.5*0.25*1.2237*\frac{\pi*4.56^2}{4}*7.62^3 = 1105.272\,\text{w}$$

وتساوي هذه القدرة القدرة اللازمة لسحب المياه، لذلك:

$$P_{total} = 1105.272 = Q*\gamma*H \Rightarrow Q = \frac{1105.272}{9810*9.144} = 0.01232\,\text{m}^3/\text{sec}$$

$Q_{\text{all the day}} = 0.01232*24*3600 = 1064.579\ \text{m}^3$ (كمية المياه المسحوبة خلال اليوم)

مثال 2:

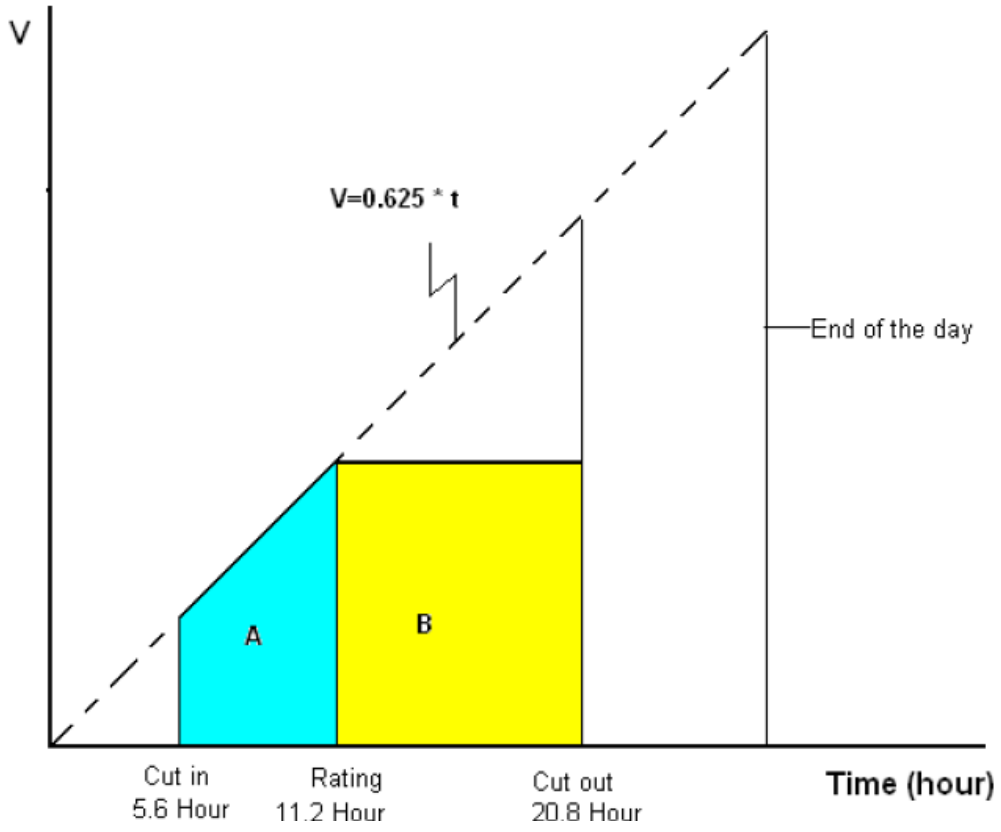
تتغير الرياح خلال اليوم في منطقة ما على شكل خط مستقيم (من الصفر الى 15m/sec) كما في الشكل المجاور.، يوجد توربين في هذه المنطقة يبلغ قطر مروحته 61m وكفاءته 0.25 ويعمل هذا التوربين ضمن الحدود التالية:

Cut in =3.5 m/sec

Rating =7 m/sec

Cut out =13 m/sec

احسب: القدرة المولدة بـ الكيلوواط-ساعة.



الحل:

1. لحل هذه المساءلة نجد أولا معادلة الخط المستقيم الذي مثل تغير السرعة خلال اليوم:

$$\frac{V}{t}=\frac{15}{24}\Rightarrow V=0.625*t$$

نجد من هذه المعادلة أوقات حدوث Cut in وRating و Cut out كما يلي:

$$V=0.625*t\Rightarrow t=\frac{3.5}{0.625}=5.6\ \text{hour (Time of Cut in)}$$

$$V=0.625*t\Rightarrow t=\frac{7}{0.625}=11.2\ \text{hour (Time of Rating)}$$

$$V=0.625*t\Rightarrow t=\frac{13}{0.625}=20.8\ \text{hour (time of Cut out)}$$

وتحسب القدرة المنتجة خلال اليوم بتكامل المعادلة الآتية:

$$P=\frac{1}{2}*\eta*\rho*A\left[\int_{5.6}^{11.2}V^3dt+V^3*(20.8-11.2)\right]$$

$$P = \frac{1}{2} * 0.25 * 1.2 * \frac{\pi * 61^2}{4} * \left[\int_{5.6}^{11.2} (0.625 * t)^3 \, dt + V^3 * (20.8 - 11.2) \right]$$

$$P = 438.37 * \left[\left(0.244 * \frac{t^4}{4} \right)_{5.6}^{11.2} + 3292.8 \right] = 1837.934 \text{ kW.hour}$$

مثال 3 :

احسب سرعة الرياح على ارتفاع 100 m، إذا كانت سرعة الرياح المسجلة بواسطة محطة الأنواء الجوية تبلغ 6 m/s عند ارتفاع 10 m.

الحل :

تحسب سرعة الرياح على ارتفاع 100m من المعادلة :

$$\frac{V}{V_r} = \left[\frac{H}{H_r} \right]^{\alpha}$$

و يحسب معامل القص الآسي من المعادلة الآتية:

$$\alpha = \alpha_o \left(1 - \frac{\log V_r}{\log V_o} \right)$$

حيث ان :

$$\alpha_o = (\frac{Z_o}{H_r})^{0.2} = (\frac{0.4}{9.1})^{0.2} = 0.535$$

فأذن:

$$\alpha = 0.535 * \left(1 - \frac{\log 6}{\log 67.1} \right) = 0.307$$

$$\frac{V}{6} = \left[\frac{100}{9.1} \right]^{0.307} \Rightarrow V = 12.523 \text{ m/sec}$$

مثال 4 :

توربين ريحي قطر مروحته 8 m يدور بسرعة 100 RPM، اذا علمت ان درجة حرارة الهواء 15.5 °C، ما اقصى قدرة يمكن الحصول عليها من التوربين اذا كانت كفاءة التوربين 35% وعدد ريش التوربين هو 3.

الحل:

تحسب السرعة الخطية لطرف الريش من المعادلة :

$$v = \frac{2\pi nr}{60} = \frac{2 * \pi * 100 * 4}{60} = 41.88 \text{ m/s}$$

ومن المعادلة **التالية** نحصل على نسبة سرعة الأطراف المثالية الى سرعة الرياح المثالية (λ):

$$\lambda(\max.power) = \frac{4\pi}{n} = \frac{4\pi}{3} = 4.188$$

وتساوي هذه النسبة:

$$\lambda = \frac{v}{wind.speed} \Rightarrow wind.speed = \frac{41.188}{4.188}$$

$$\therefore wind.speed = 10 \text{ m/s}$$

ونحسب كثافة عند درجة حرارة 15 C من القانون العام للغاز أي انه:

$$\rho = \frac{P}{RT} = 1.2237 \text{ kg/m}^3$$

ومن ثم نحسب أعظم قدرة يمكن الحصول عليها من المعادلة الاتية:

$$P = 0.35 * \frac{1}{2} * 1.2237 * \frac{\pi d^2}{4} * 10^3 = 10.763 \text{ kW}$$

مثال 5 :

توربين ريحي يستخدم لرفع الماء بواسطة مضخة ترددية، فاذا كانت سرعة المكبس 6 m/s والتدفق الحجمي للماء 75 Liter/min وتستخدم لرفع الماء لارتفاع 20 m جد مساحة المقطع العرضي للمكبس والقدرة اللازمة لإدارة المضخة اذا علمت ان كفاء المضخة 75% .

الحل:

في البداية نحول التدفق الحجمي الى الوحدات العالمية كالاتي:

$$Q = \frac{75}{1000 * 60} = 0.00125 \ \mathrm{m^3/s}$$

$$P = \frac{\rho_w g Q h}{\eta} = \frac{1000 * 9.81 * 0.00125 * 20}{0.75} = 327 \ \mathrm{W}$$

$$Q = A * V \Rightarrow A = \frac{Q}{V} = \frac{0.00125}{6} = 2.08 \ \mathrm{cm^2}$$