جامعة الزيتونة الدولية
كلية الهندسة الكهربائية والمعلوماتية
قسم الطاقات البديلة والمتجددة

طاقة الرياح 2

إعداد المهندس: خـيرو جـمال زيبـــــاري

أخصائي دراسات عليا في الهندسة الكهربائية والإلكترونية

مقدمه :

تستخدم طاقة الرياح كمصدر من مصادر توليد الطاقة الكهربائية، بدلاعن الوقود الأحفوري والنفط والغاز الطبيعي، فهذه المصادر تعد مصادر ضارة بالبيئة لما تولده من غازات سامة عند احتراقها،

كما أنها تتميز بعدم توافرها في كافة مناطق العالم إضافة إلى تسببها بالحروب والكوارث على البشرية نتيجة لسعي كافة القوى العظمى للسيطرة على منابع النفط في العالم، وارتفاع التكلفة وقرب نضوبها، في وقت يكون فيه العالم بأمس الحاجة للطاقة التي تولد الطاقة الكهربائية،

في حين دخلت الطاقة الكهربائية في كافة مفاصل الحياة البشرية في الاتصالات والمستشفيات والإنارة والطرق ووالنقل والتكييف والتبريد وغيرها العديد من المجالات المتنوعة والتي لا يمكن بها الاستغناء عن الطاقة الكهربائية مهما حصل.

تستخدم الطاقة الحركية الناتجة من الرياح في توليد الطاقة الكهربائية عن طريق تحريك التوربينات الهوائية طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية والتي بدورها تتحول إلى طاقة كهربائية تستطيع تشغيل الأجهزة وتوصل إلى المنازل،

فأكثر ما تستخدم هذه الطريقة في توليد الكهرباء في المناطق الريفية البعيدة عن محطات توليد الطاقة الكهربائية الاعتيادية، بحيث تتناسب القدرة الكهربائية الناتجة عن الطاقة الحركية لطاقة الرياح مع كمية الرياح التي تهب والتي تحرك هذه التوربينات،

عند هدوء الرياح تخف القدرة الكهربائية مما يؤخذ على هذه الطريقة في توليد الكهرباء من عيوب.

يبلغ معدل استخدام الطاقة الكهربائية المولدة من طاقة الرياح عن طريق التوربينات حوال 57 ألف كيلو واط حيث انه قبل عشر سنوات حيث حازت الدانمارك على النسبة الأعظم لتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح،

أما قبل عامين فقد حصل ازدياد ملحوظ في الاعتماد العالمي على توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح فقد بلقت القدرة الكهربائية المولدة منها حوالي 382 ألف كيلو واط.

تاريخياً فقد استخدمت الدول والحضارات القديمة طاقة الرياح في طرق عدة متنوعة، حيث استخدام المصريون القدماء لهذه الطاقة لتسيير القوارب على نهر النيل،

والمسلمون استخدموا هذه الطاقة لطحن الحبوب المختلفة،

بينما الصينيون هذه الطاقة لضخ المياه وضخ المياه المياه الجوفي بشكل خاص، مما يدل على أن هذه الطاقة معروفة منذ القدم على مستوى الحضارات المختلفة.

أما الدول العربية لم توجد إلى الآن دراسات جدية لتطوير وزيادة الاعتماد على هذه الطاقة لتوليد الكهرباء كما حصل في باقي الدول، كما أن نقص التعاون المشترك والتنسيق قد أدى أيضاً إلى ضعف الاعتماد على هذه الطاقة وغيرها من مصادر الطاقة النظيفة وغير الضارة بالبيئة.

تاريخ طاقة الرياح:

استخدمت طاقة الرياح منذ آلاف السنيين في دفع المراكب علي سطح الماء وطحن الحبوب والري وضخ المياه إلي جانب بعض التطبيقات الميكانيكية الأخرى

وتشير المراجع العلمية إلي أن الفرُس هم أول من استخدم طاقة الرياح في طحن الحبوب وضخ المياه أ ما في أوربا فقد انتشرت طواحين الرياح منذ القرن الثاني عشر حتى وصل عددها في عام 1571 ميلادية إلي أكثر من 8111 طاحونة في هولندا وأكثر من 11111 طاحونة في إنجلترا،

وكان الغرض الرئيسي لعملها هو ضخ المياه من المناطق المنخفضة إلي مناطق الزراعات العالية أو إدارة أحجار "الرحى" لطحن حبوب القمح والذُرة وغيرها

حيث انه تراجع الاعتماد علي طواحين الرياح بعد اختراع جيمس وات للآلة البخارية في نهاية القرن الثامن عشر، ثم عاد الاهتمام بها كأحد مصادر الطاقة النظيفة بعد ارتفاع أسعار النفط عام 1752 وظهور مشاكل بيئية ناتجة عن حرق الوقود،

مما دفع بتكنولوجيا تصنيع توربينات الرياح في العشرين عاما الأخيرة إلي مستوي عال من النضج تجلي في ارتفاع جودة وكفاءة التوربينات إلي جانب انخفاض تكلفة الإنتاج،

وبالتالي ازدياد الاعتماد عليها على الرغم من أن أول توربينة رياح لغرض توليد الطاقة الكهربائية شيدت في اسكتلندا سنة 1885 على يد جيمس بليث،

إلا أن استخدام توربينات الرياح لم يتم بشكل موسع حتى سنة 1751 بسبب ضعف كفائتها ومردودها الضعيف من انتاج الطاقة.

واليوم تستخدم طاقة الرياح في توليد الكهرباء عن طريق تحويل طاقة الحركة الموجودة في الرياح إلي طاقة كهربائية، كما ينظر لها على أنها تكنولوجيا ناضجة، ففي المواقع ذات سرعات الرياح المرتفعة تكون تكلفة الإنتاج اقتصادية ومنافسة لتكنولوجيات الطاقة التقليدية، وذلك عند أخذ التأثيرات البيئية في عين الاعتبار وحساب أسعار الوقود المستخدم في المحطات الحرارية

وتُسمي الماكينات التي تعمل في توليد الكهرباء توربينات الرياح بخلاف نظيرتها المستخدمة في طحن الحبوب والتي يطلق عليها طواحين الرياح.

الشكل رقم (٤) اقدم طاحونة رياح

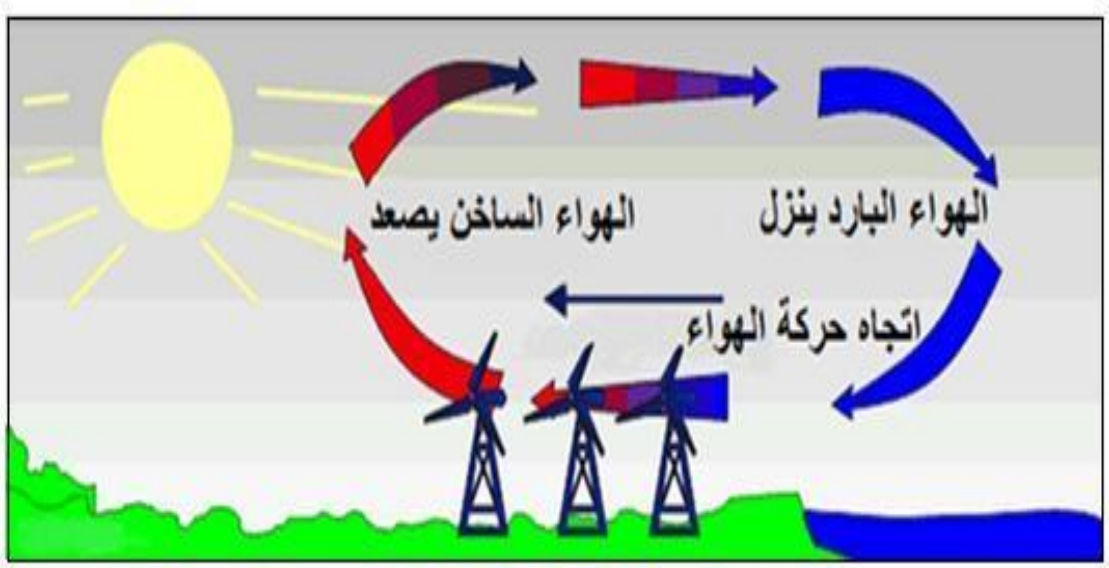
منشأ الرياح:

ان الرياح شكل من أشكال الطاقة الشمسية حوالي 2 % من طاقة الشمس المرسلة إلى الأرض ان ضوء الشمس يسقط بكميات غير متساوية على مناطق سطح الأرض المختلفة مما يجعل بعض أجزاء الجو أشد حرارة من الأجزاء الأخرى وحيث أن الهواء الدافئ أخف من الهواء البارد فإنّه يصعد إلى طبقات الجو العليا ويحل محله الهواء البارد ولكون سطح الأرض مكون من تضاريس مختلفة الارتفاع ومسطحات مائية مختلفة التي تقوم بامتصاص

الإشعاع الشمسي بشكل غير متساوٍ مما ينتج عن ذلك تسخين غير متساوٍ لسطح الكرة الأرضية فينشأ عنه حركة الهواء التي تتجلى على شكل الرياح

ان نظرية الأواني المستطرقة كما تنطبق على حركة الماء فإنها تنطبق أيضا على حركة الهواء

فكلما زاد الفرق بين مناسيب الماء ازادت سرعة اندفاع الماء أيضا كلما زاد الفرق في الضغط انطلق الهواء بسرعة أكبر وتقاس هذه السرعة بالمتر/ ثانية.



الشكل رقم (٥): مخطط لكيفية نشأة الرياح

- **نسيم البر والبحر:**

يتولد نسيم البر والبحر في المناطق الساحلية نتيجة لاختلاف السعة الحرارية للبحر والساحل 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 والمرتفع إلى الأعلى ، وهذا هو نسيم البحر

اما خلال الليل فينعكس تيار الهواء ليتحرك من الأرض هواء بارد يلطف حرارة البحر وهذا هو نسيم البر ، لذلك نرى أن البحارة يبحرون فجراً حيث يدفع الهواء القادم من الساحل أشرعتهم باتجاه البحر

الشكل رقم (٦): مخطط يبين نسيم البر والبحر

- **طبيعة الرياح:**

تسود الرياح الشمالية وتشكل نسبة 46% من الرياح السائدة طوال العام وتكون شمالية غربية شتاءا وأقرب إلى الشمالية في الربيع والخريف ، وفى فصل الخريف والشتاء تزداد نسبة الرياح الشمالية الشرقية.

أما رياح الخماسين فتهب في فصل الربيع من جهة الجنوب والجنوب الغربي وهى رياح شديدة ومحملة بالأتربة وتهب على فترات متقاربة من أواخر شهر مارس إلى أوائل شهر مايو

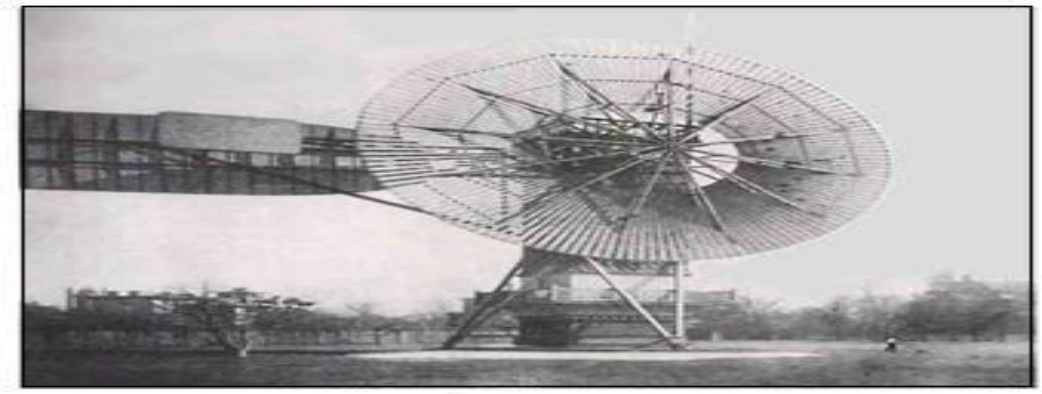
وهى رياح تتسم بكونها عواصف رملية حيث يلاحظ ذلك في الأماكن المكشوفة وخاصة بالبحر.

لذا تتميز بالعديد من المناطق ذات سرعات الرياح العالية، ومن أهم هذه المناطق تلك الواقعة علي ساحل البحر، وبصفة عامة تكون سرعات الرياح في شهور الصيف أعلي منها في شهور الشتاء في تلك المناطق، ويصل المتوسط السنوي لسرعة الرياح بالعديد من المناطق ذات سرعات الرياح العالية

ساهمت العديد من الجهات الدولية في إنشاء مشروعات رياح لتوليد الكهرباء وربطها علي الشبكة الموحدة ومن المتوقع إنتاج نحو 13% من الطاقة الكهربائية من الطاقة المتجددة.

- استخدام التوربينات الرياح فى انتاج الكهرباء:

كان أول من استخدم توربينات الرياح فى توليد الكهرباء هو جيمس بلايث الاسكتلندي
حيث تم استخدام الكهرباء المنتجة من التوربينة التى أنشأها فى شحن البطارية الخاصة بمنزله وبعد بضعة أشهر بنى المخترع الأمريكي تشارلز واو أول توربينة رياح تعمل تلقائيا لإنتاج الكهرباء في كليفلاند بولاية أوهايو الامريكية ولكنها لم تستغل الاستغلال الأمثل بسبب توافر مصادر الطاقة التقليدية الأخرى كمصدر رئيسى لانتاج الطاقة الكهربائية



الشكل رقم (١٩): أقدم توربينة رياح لانتاج الكهرباء

وفي بداية السبعينات من القرن الماضي نشأت أزمة البترول بدأت مجموعات علمية في مناطق متعددة من العالم بالتفكير الجدي في استغلال طاقة الرياح لإنتاج الكهرباء،

مما استلزم عمل مسح عام لطاقة الرياح المتاحة في مناطق مختلفة من العالم و أشهر هذه الدراسات أطلس طاقة الرياح للولايات المتحدة الأمريكية الذي أنجزته معامل شمال غرب المحيط الهادي في الولايات المتحدة،

وأطلس رياح الدنمرك الوطنية في الدنمرك وقد نشر هذان الأطلسان في عام 1781 فضلا عن كثير من الذي وضعته معامل ريزو للدراسات الصغيرة الأخرى والتي عنيت بتحديد مواقع الاستفادة من طاقة

الرياح مثل الأطلس المنشور عن كندا عام 1784 ، وعن هولندا عام 1786 ، وأطلس الرياح الأوربي عام 1787 ،.

- **تعريف توربينات الرياح الصغيرة:**

تعرف على أنها التوربينات التي تتراوح قدراتها من 6 وات وحتى 211 كيلو وات حيث تعرف التوربينات الصغيرة بأنها تلك التي تنتج كمية صغيرة من الكهرباء تكفى لتشغيل الأجهزة المنزلية كما تم تعرفها اللجنة الكهروتقنية الدولية في المواصفات التي أصدرتها بأنها تلك التوربينات التي يقل مساحة سطحها ريشها عن 311 $م^3$ أي أن قدرة التوربينة الواحدة تصل إلى 71 كيلووات وقد أطلقت بعض الدول تعريفات خاصة بها فهناك من يعرفها بأن قدرتها تتراوح من 17 إلى 111 كيلو وات.

- **الإمكانيات المتاحة لطاقة الرياح:**

بعد مسح المساحة الكلية على سطح الكرة الأرضية للمناطق المناسبة لانشاء توربينات الرياح فيها قام بعض العلماء بتقدير الإمكانيات النظرية المتاحة في العالم في هذه المناطق فكانت 31 ألف تيراوات ساعة في السنة وهذه تعادل ضعف الاستهلاك العالمي للطاقة الكهربائية

وبعد الأخذ في الاعتبار المحددات المختلفة التي تواجه انشاء هذه المنظومات توصل هذا الفريق من علماء الطاقة إلى انه يمكن انشاء توربينات رياح

وهذه الكمية ستقوم بتوليد ما يقارب 13% من الاستهلاك العالمي للطاقة الحالي بتقدير مجلس الطاقة العالمي وستمنع انبعاث حوالي 811 مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكربون لو أن توليد الطاقة الكهربائية تم من المحطات التي تستخدم الفحم الحجري.

لقد بينت جمعية طاقة الرياح الأوربية أنه بالإمكان توليد 11 % من الطاقة الكهربائية المستهلكة في دول أوربا باستخدم توربينات رياح موزعة في أوروبا وأن 77 % من هذه المساحة يمكن استخدامه لأغراض الزراعة ،

بينما المتبقي 1 %هو المساحة اللازمة لتشييد قواعد توربينات الرياح وإنشاء والطرق وغيرها

إمكانية طاقة الرياح في سوريا:

تعتبر الرياح مصدر مثاليا للطاقة فهي لا تنضب ولا تخلف أية ملوثات ضارة
ولمسح المساحة الكلية على سطح الكرة الأرضية للمناطق المناسبة لنصب توربينات الرياح فيها،
قام العلماء في عام 1991 بتقدير الإمكانيات النظرية المتاحة في العالم في هذه المناطق،
فقدرت بـ [TWh/year] 20000، وهذه تعادل ضعف الاستهلاك العالمي للطاقة الكهربائية في عام 1987.

تعتبر طاقة الرياح آمنة وهي طاقة بيئية لا يصدر منها ملوثات مضرة بالبيئة.
يتجه العالم الآن بعد ظاهرة الاحتباس الحراري فضلاً عن التلوث لاعتماد مصادر الطاقة المتجددة كمصادر طاقة بديلة وللتخفيف من استخدام الوقود الأحفوري.
ولهذه الأسباب يسعى التقدم التكنولوجي إلى خفض تكلفة طاقة الرياح لتوسيع انتشارها.

الرياح في سوريا :

بالاستفادة من منحة البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة ومن خبرة مخبر " ريزو " الدانماركي تم إنجاز أطلس للرياح باللغتين العربية و الإنكليزية،

وتضمن الأطلس الرياح معلومات عن سرعات الرياح مأخوذة من /60/ محطة رياح في القطر تغطي معظم المناطق المناخية في القطر،

وهذه المعلومات تتضمن نتائج القياسات الريحية لمدة /10/ أعوام1979-1989، ويمكن اعتبار هذه المعلومات أساساً لتقدير الطاقة الريحية المتاحة للاستفادة منها في توليد الكهرباء .

لمحة تاريخية عن استثمار طاقة الرياح في سوريا:

يعود استثمار طاقة الرياح في سوريا إلى بداية عقد الخمسينات من القرن الماضي

حيث نقل بعض المغتربين السوريين العائدين من أمريكا الجنوبية تقانة المراوح الريحية الميكانيكية متعددة الشفرات لضخ المياه،

وحيث تم تصنيع ما يقارب الـ4000 مروحة في ورش صغيرة، وجرى تركيبها في منطقتي حمص والقلمون،

وعملت هذه المراوح بنجاح لسنوات عديدة قبل أن يتوقف معظمها عن العمل بسبب ندرة المياه الجوفية

في عام 1979:

أنشأت وازرة الكهرباء محطة ريحية- شمسية في عدرا بقدرة2 kW منها1kWعنفة ريحية موصلة مع مولد 380/220 ومحول مخفض إلى V24 لتغذية البطاريات،

وقد تم نقل هذا المشروع إلى كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق لتدريب الطلبة .

في عام 1994:

تم إصدار أطلس الرياح باللغتين العربية والإنكليزية، وذلك بالاستفادة من خبرة مخبر " ريزو" الدانماركي ضمن منحة البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة بالتعاون مع الأرصاد الجوية والجهات المعنية في القطر.

وتم تركيب مجموعة توليد كهربائية ريحية باستطاعة kW150 في مدينة البعث (محافظة القنيطرة) وربطها بالشبكة العامة وذلك بالاعتماد على معطيات أطلس الرياح .

تم إعداد دارسة الجدوى الاقتصادية الفنية لإنشاء مزرعة ريحية في محافظة حمص موقع السنديانة تتألف من عشرة وحدات ريحية باستطاعة kW 500 لكل منها أي استطاعة إجماليةMW5 بالاشتراك مع مخابر "ريزو" بالدانمارك وبالتعاون مع المديرية العامة للأرصاد الجوية.

بتمويل من البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة وبالتعاون مع قسم الشؤون الاقتصادية والاجتماعية للأمم المتحدة تم إعداد دارسة المخطط العام لتنمية وتطوير استخدامات الطاقات المتجددة في سوريا ولغاية عام 2015.

ضمن منحة المجموعة الأوربية المخصصة لقطاع الكهرباء، تم وضع مبلغ450 ألف يورو لتركيب20محطة قياس متطورة في مواقع مختلفة في القطر لتحديد أفضل المواقع الملائمة فنياً واقتصادياً لإنشاء مزارع ريحية في القطر .

خارطة الرياح في سوريا:

من خلال قراءة متأنية لخارطة الرياح في سوريا يمكن تقسيم المناطق الملائمة لاستثمار الرياح والتي تمتلك سرعة وسطية للرياح أكبر من 5 m/s إلى خمس مناطق:

منطقة الجبال الساحلية:

وتمتد من مدينة ادلب الى غرب حماة وغرب مدينة حمص " شين "حيث تمتلك هذه المناطق رياحاً جيدة ولكن امتداد السلاسل الجبلية و وجود الغابات والمناطق الزراعية أشجار مثمرة يعيق إنشاء المزارع الريحية بالإضافة إلى ارتفاع ثمن الأرض .

المنطقة الوسطى:

وتمتد من مدينة قطينة وباتجاه الشرق حتى تدمرو الى غرب مدينة دير الزور وشرق مدينة الرقة ثم العودة مرورا الى قرية أثريا حتى سلمية .

تمتاز هذه المنطقة باتساع المساحات الملائمة لإنشاء المزارع الريحية ورخص ثمن الأرض وملاءمتها لأنها أرض رعوية وصحراوية

وتعتبر منطقة قطينة من أفضل مناطق القطر لإنشاء مزارع ريحية على الرغم من ان الأراضي المحيطة بها زراعية وارتفاع ثمن الأرض إلا أن قربها من شبكة التوتر العالي ورياحها الجيدة تعوض ذلك .

السيئة الأخرى لهذه المنطقة هي انخفاض معدل السرعة عن 4 m/s لمدة أربع أشهر خلال العام اعتبارا من شهر كانون الثاني وحتى بداية شهر آذار كما يظهر في المنحني المرفق إلا أن ارتفاع معدل سرعة الرياح ليصل 12 m/sخلال شهر تموز وآب يعوض هذا الانخفاض.
وتأتي مدينة تدمر في المرتبة الثانية وعلى الرغم من انخفاض معدل سرعة الرياح اقل من مدينة قطينة وضعف الشبكة الكهربائية إلا أنها تمتلك أراضي شاسعة ورخيصة الثمن
والمنحني يوضح معدل سرعة الرياح خلال أشهر السنة وهو يشبه منحني التوزع لمدينة قطينة مع انخفاض في معدل السرعة من12 m/sعند الذروة في شهري تموز وآب.

المنطقة المحيطة بالطريق الدولية حمص – دمشق:

على الرغم من انخفاض معدل سرعة الرياح في هذه المنطقة5 – 6 m/s على ارتفاع 50 m
إلا أنها تمتاز بعدة ميزات هامة:

1- وقوعها بالقرب من الطريق الدولية حمص – دمشق.
2- وقوعها بالقرب من خط التوتر العالي سهولة الربط بشبكة جيدة.
3- رخص الأراضي واتساعها أراضي رعوية.

المنطقة الجنوبية الغربية:

تمتد من جنوب مدينة دمشق وحتى مدينة القنيطرة ومرتفعات الجولان وتمتاز هذه المنطقة بمعدل سرعة رياح أعلى من5 m/s على مدار العام

في عام 1994وبالقرب من مدينة القنيطرة (شمالي مدينة البعث) تم توقيع أول عنفة ريحية بالقطر باستطاعة150 kW

المنطقة الجنوبية الشرقية

وتمتد من مطار دمشق الدولي حتى سبع بيار والتنف ونزولاً إلى أقصى الجنوب الزلف على حدود الأردن.
تمتلك هذه المنطقة رياح جيدة إلا أن بعدها عن شبكات الطرق العامة والشبكة الكهربائية يضعف من أهميتها في الوقت الحاضر .

المصطلحات الفنية :

- **مزارع الرياح:** هي مجموعة من توربينات الرياح المتواجدة في مكان واحد يتم توصيلها سويا لتوليد الطاقة الكهربائية التي تنقل عبر خطوط النقل والتوزيع للمستهلكين.
- **الشفرات:** هي الريش الخاصة بالتوربينات والتي تستخلص الطاقة الميكانيكية من الرياح لتحويلها إلى الطاقة الكهربائية وتصنع الشفرات عادة من مادة خفيفة الوزن كمادة الفيبر جلاس والخشب ومادة الكربون.
- **الشبكة الكهربائية :**هي أداة النقل التي يتم عن طريقها نقل الطاقة الكهربائية المنتجة من التوربينات إلى مراكز النقل والتوزيع وتوجد أنواع متعددة من الشبكات ويتوقف نوع الشبكة على نوع التوصيل بها.
- **النظام المختلط:** هو نظام يتم من خلاله عمل منظومة كهربائية صغيرة تندمج بها مصادر الطاقة التقليدية والطاقة المتجددة في المناطق المنعزلة والبعيدةعن الشبكة الكهربائية

  ويتألف النظام في الغالب من توربينات رياح وخلايا شمسية ووحدات ديزل وبطاريات.
- **القدرة المقننة الاسمية لتوربينة الرياح:** هو أقصى خرج للقدرة الفعالة لتوربينات الرياح في ظروف التشغيل القياسية.
- **منحنى القدرة النظري للتوربينات:** هو المنحنى المعتمد والمختبر من الشركة المصنعة للتوربينة.

- **منحنى القدرة الفعلي للتوربينات:** هو المنحنى الخاص بالتوربينات بعد تشغيلها فعلياً ويجب مقارنته دورياً بالمنحنى النظري نظراً لتأثره بعوامل خارجية كتراكم التراب والثلج على سطح الريش.
- **سرعة الرياح:** هي المسافة التي تقطعها الرياح في زمن معين و تقاس بالمتر/ ثانية.
- **اتجاه الرياح :** هو الإتجاه الجغرافي الذي تهب منه الرياح واتجاه الرياح السائد في منطقة ما وهو الإتجاه الأكثر شيوعا في هذه المنطقة.
- **توربينات السرعة الثابتة :**تعتمد هذه التوربينات على ثبات سرعة دوران ريشة التوربين وبالتالي الجزء الدوار في المولد.
- **توربينات السرعة المتغيرة :** تعتمد هذه التوربينات على تغيرسرعة دوران ريشة التوربين وبالتالي الجزء الدوار في المولد، مما يؤدي إلي اختلاف خرج المولد.
- **الضوضاء أو الضجيج:** هي الأصوات المزعجة غير المرغوب فيها الناجمة عن مصادر داخلية أو خارجية وتؤثر بشكل أو بآخر على الصحة العامة ونوعية الحياة اليومية للإنسان.
- **الديسيبل "dB":** هو وحدة قياس شدة الضوضاء التي تتعرض لها الأذن البشرية.

سرعة الرياح والعوامل المؤثرة في إنتاج الطاقة:

ان سرعة الرياح أهم عامل في معادلة الطاقة ويتأثر إنتاج توربينات الرياح تأثرا مباشرا بسرعة الرياح حيث تتناسب الطاقة المنتجة تناسباً طردياً مع مكعب السرعة،

وللتوضيح وفهم هذه العلاقة نضرب المثال التالي إذا كانت سرعة الريح 7 متر/ثانية

فإن الطاقة الناتجة تعادل تقريبا 137 وحدة طاقة،

فإذا ارتفعت السرعة وأصبحت 6 متر/ثانية

فإن الطاقة الناتجة تزيد إلي 316 وحدة طاقة

ويبين هذا كيف أن ارتفاع سرعة الريح بمقدار1 متر/ثانية أدي إلي زيادة كبيرة في الطاقة المنتجة، أيضا تتأثر الطاقة الناتجة من التوربينات بعوامل أخري منها كثافة الهواء وارتفاع البرج ومساحة سطح الدوران وتأثير التوربينات علي بعضها البعض" إلا أن التأثير المباشر يكون مع سرعة الرياح وبالتالي تنعكس سرعة الرياح مع تكلفة التوربينة

ومعادلة الطاقة كما يلي:-

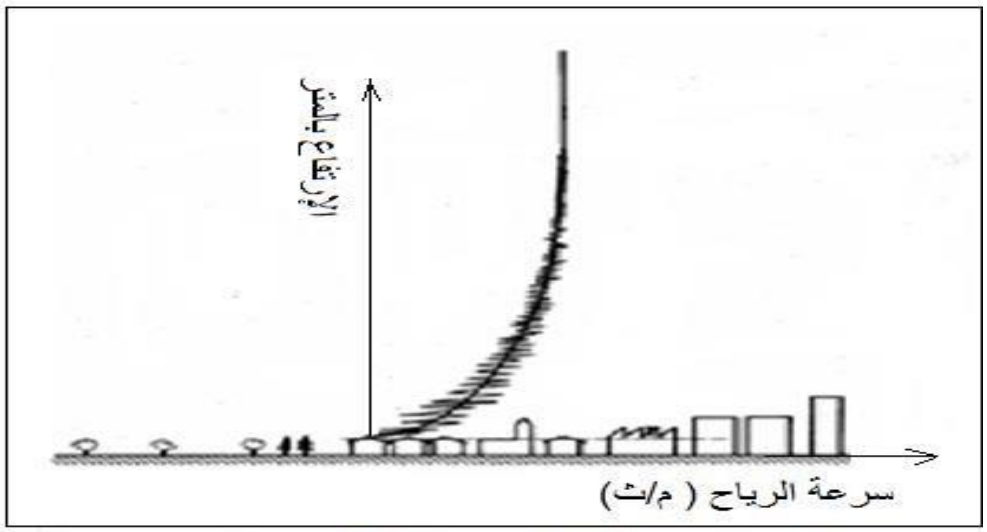
$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \mu$$

مصادر طاقة الرياح:

إن تحليل مناخ الرياح وتحديد المواقع الأمثل لتوربينات الرياح وموارد طاقتها

يتطلبان بيانات دقيقة ولمدد طويلة قد تصل إلى عشر سنوات،

ومعرفة جيدة ودقيقة لطبيعة سطح الأرض والتضاريس وخشونة سطح الأرض والعوائق، المحيطة بنقطة قياس الرياح



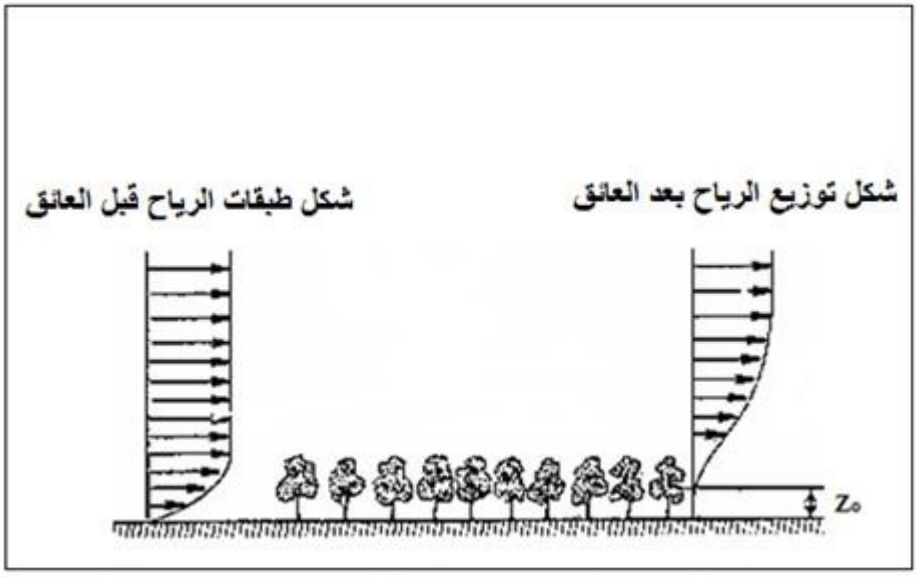
الشكل رقم (١١) العلاقة بين الارتفاع وسرعة الرياح

خشونة سطح الأرض:

المقصود بها نوعية الأرض مثل البحار والمحيطات والوديان والمناطق الرملية والزراعية والمدن

حيث انه لكل سطح له تأثير مختلف على سرعة الرياح ويعبر عنه بطول معامل الخشونة بالمترzoه

و معامل الخشونة يعرف بأنه الطول بالمتر الذي تكون سرعة الرياح عنده مساوية للصفر ويختلف معامل الخشونة وفقاً لطبيعة سطح الأرض وهو يكون أعلى ما يكون في الغابات الكثيفة حيث يصل ذلك المعامل إلى 1متر أما أقل نسبة لهذا المعامل فهي في المسطحات المائية



الشكل رقم (١٢) : تاثير خشونة الارض على توزيع الرياح

شدة الاضطراب :

هو حالة من التقلبات و التذبذبات في جريان الهواء.وهي عبارة عن رقم لا واحدة له ويعبر عنه بنسبة مئوية تدل عليها

وتعرف على أنها نسبة الانحراف المعياري لسرعة الرياح خلال خطوة زمنية إلى سرعة الرياح الوسطية بتلك الخطوة.

أنواعها :

اضطراب منخفض: هو الهواء ذي الجريان المنتظم أو المستقر

اضطراب أعلى: هوالهواء ذي الجريان الأقل انتظاما أو استقرارا

العوائــق:

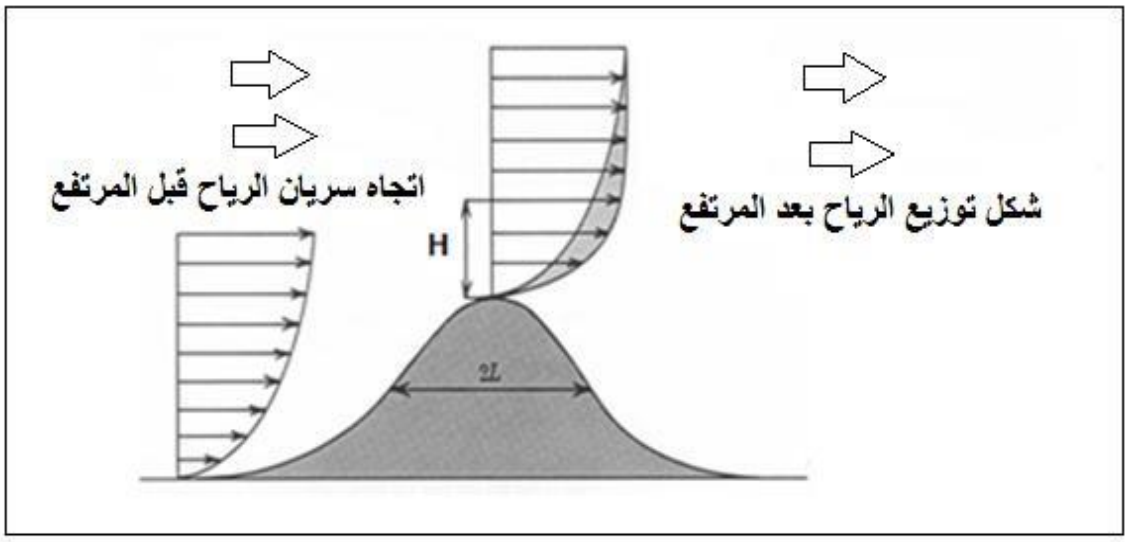
العوائق من العوامل المؤثرة تأثيرا شديدا على سرعة الرياح، لذا يجب أن يكون برج القياس بعيدا بقدر الإمكان عن العوائق لتلافي تأثيرها مثل مبنى سكني

تتأثر الرياح بشكل كبير بوجود ذلك العائق ويمتد أثر ذلك العائق رأسيا إلى ثلاثة اضعاف ارتفاع العائق تقريبا، وإلى ثلاثين أو أربعين مثلا من ارتفاع العائق أفقيا فإذا كان موقع محطة القياس ضمن هذا الحيز فمن الضروري أن يحسب أثر هذا العائق.

التضاريس:

تغير ارتفاعات سطح الأرض حول الموقع من العوامل المؤثرة على سرعة واتجاه الرياح وقد يكون هذا التأثير موجبا أو سالبا حيث أن نسبة الزيادة في السرعة تصل إلى 81 % والتناقص في السرعة يتراوح من 31% إلى 41%.

ويبين الشكل سريان الرياح قبل وفوق المرتفع حيث 2 L هو قطر المرتفع وH هو الارتفاع الذي يحدث عنده أقصى تزايد في سرعة الرياح ويتم حساب قيمة H وفق معادلات رياضية معلومة.



الشكل رقم (١٣) : يبين مدى تغير سرعة الرياح بتغير تضاريس الأرض

- **قياس سرعة الرياح:**

ويستخدم لذلك مقياس الرياح الأنيموميتر ذو الأكواب وهو جهاز مكون من 2 أو 4 ريش بكل ريشة كوب بحجم فنجان الشاي تقريبا ويستخدم لقياس عدد اللفات في فترة زمنية محددة ومن الجداول الخاصة المرفقة بالجهاز يمكن تحديد السرعة، أوقد يتصل الجهاز بمقياس مدرج داخل محطة الرصد يعطى مؤشرا لسرعة الرياح.

ومن المعروف مدى تأثير المتوسط السنوي لسرعة الرياح على الطاقة المولدة من الرياح وبالتالي على

دراسات الجدوى الأمر الذي يستدعي الدقة في قياسات طاقة الرياح وأيضا أماكن وضع أبراج القياس وارتفاعاتها بحيث تكون بعيدة عن العوائق وعلى ارتفاع كبير من سطح الأرض ويفضل أن يكون ارتفاع التوربينات مساو لارتفاع برج القياس

دراسة تأثير الارتفاع على سرعة الرياح :

إن سرعة الرياح تتغير بتغير الارتفاع عن السطح المجاور حيث أنه بازدياد الارتفاع ضمن حد معين فإن سرعة الرياح ترتفع بالتدريج، حيث أنه بازدياد الارتفاع يضعف تأثير التضاريس مثل المرتفعات والمنخفضات على تخلل الهواء
مما يساعد على الحفاظ على سرعة رياح عالية ومستقرة لأنه لا يوجد للاحتكاك بين الهواء والتضاريس
وقد ظهرت عدة نظريات وطرق رياضية من أجل تقدير سرعة الرياح على الارتفاعات التي من الصعب اخذ القياسات عندها
ومن أكثر هذه الطرق انتشارا هي معادلة هيلمان:

$$v_H = v_{ref} . \left(\frac{H}{Href} \right)^{\alpha}$$

v_H: سرعة الرياح عند الارتفاع H واحدتها m/s.

v_{ref}: سرعة الرياح عند الارتفاع الذي تتم عنده قياس سرعة الرياح m/s
H: الارتفاع المطلوب تحديد سرعة الرياح عندهm.
H_{ref}: الارتفاع المرجعي الذي يتم قياس سرعة الرياح عنده وهو عادة 10 m.

α : معامل هيلمان وهو معامل بدون واحدة يتم حسابه وفق المعادلة الآتية:

$$\alpha = \frac{1}{\ln \frac{H}{z_0}}$$

Z_O : معامل يمثل خشونة التضاريس m ويتم تحديد قيمته بحسب طبيعة المكان الذي تبنى عليه المزرعة الريحية

وفي الجدول التالي قيم هذا المعامل لمختلف التضاريس التي قد تبنى بجوارها المزارع الريحية:

$Z_O\ (m)$	نوع السطح والتضاريس
1	مدينة أو غابة
0.5	ضاحية
0.3	قطعة أرض مبنية
0.2	العديد من الأشجار والأحراش
0.1	أرض زارعية مع محيط مغلق
0.05	أرض زارعية مع محيط مفتوح
0.03	أرض زارعية مع القليل من المباني و الأشجار ومطارات مع أبنية وأشجار
0.01	مطارات ومساحات من المروج
$5 * 10^{-3}$	أرض مكشوفة بلا غطاء
10^{-3}	أراضي مغطاة بالثلج
$3 * 10^{-4}$	أراضي رملية
10^{-4}	مسطحات مائية كالبحار والبحيرات

- **قياس اتجاه الرياح:**

يمكن بالعين المجردة تحديد الاتجاه عن طريق مشاهدة تصاعد أدخنة المصانع وحركة الأعلام وقد كان يستدل على اتجاه الرياح قديما بملاحظة اتجاه انحناء الأشجار فيكون اتجاه الرياح الأعظم هو الاتجاه المعاكس لاتجاه

وعملياً تستخدم دوارة الرياح في تحديد اتجاه الرياح وذلك لتوجيه التوربينة ناحية الاتجاه السليم لهبوب الرياح وكذلك تستخدم في أبراج القياس لتحديد اتجاهات الرياح المختلفة تمهيدا لتحليل هذه البيانات لمعرفة اتجاهات الرياح بالموقع وعمل إحصائيات لتحديد الاتجاه السائد للرياح وكذلك توزيع السرعات المقاسة على الاتجاهات

المختلفة، ويؤخذ عند تحليل البيانات وتخطيط مزارع الرياح أن تكون الأجهزة المستخدمة في قياسات الرياح علي درجة عالية من الدقة إلى أنه في الأرصاد الجوية تقاس الرياح ليس بغرض الطاقة ولكن لأغراض أخرى مثل التوقعات الجوية، لذلك يكون استخدام هذه البيانات في حصر مصادر الرياح بصفة استرشادية فقط لحصر المناطق الغنية بالرياح وبداية لعمل قياسات دقيقة

الشكل رقم (١٤ - ب) : طريقة الاستدلال على اتجاه الرياح قديماً

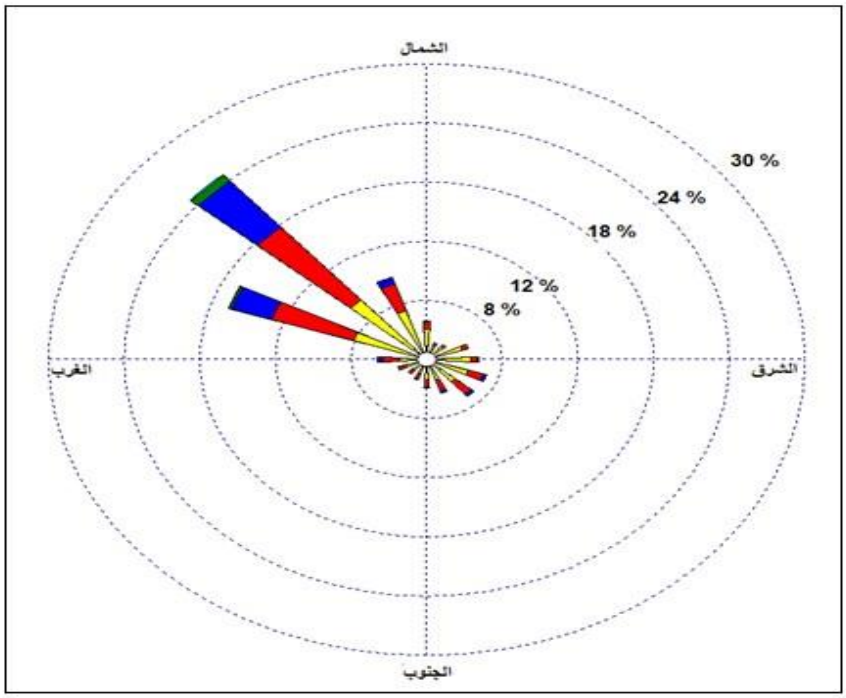
تحليل بيانات الرياح:

بعد تجميع بيانات الرياح لمدة عام كامل على الأقل يتم تحليل البيانات ويستنتج منها ما يلي:

رسم وردة الرياح وفقا لاتجاهات الرياح حيث يتم تصنيف سرعة الرياح واتجاهاتها وذلك

لمعرفة اتجاهات سرعات الرياح السائدة بالموقع وذلك للحاجة إليها عند ترتيب صفوف التوربينات عند الإنشاء

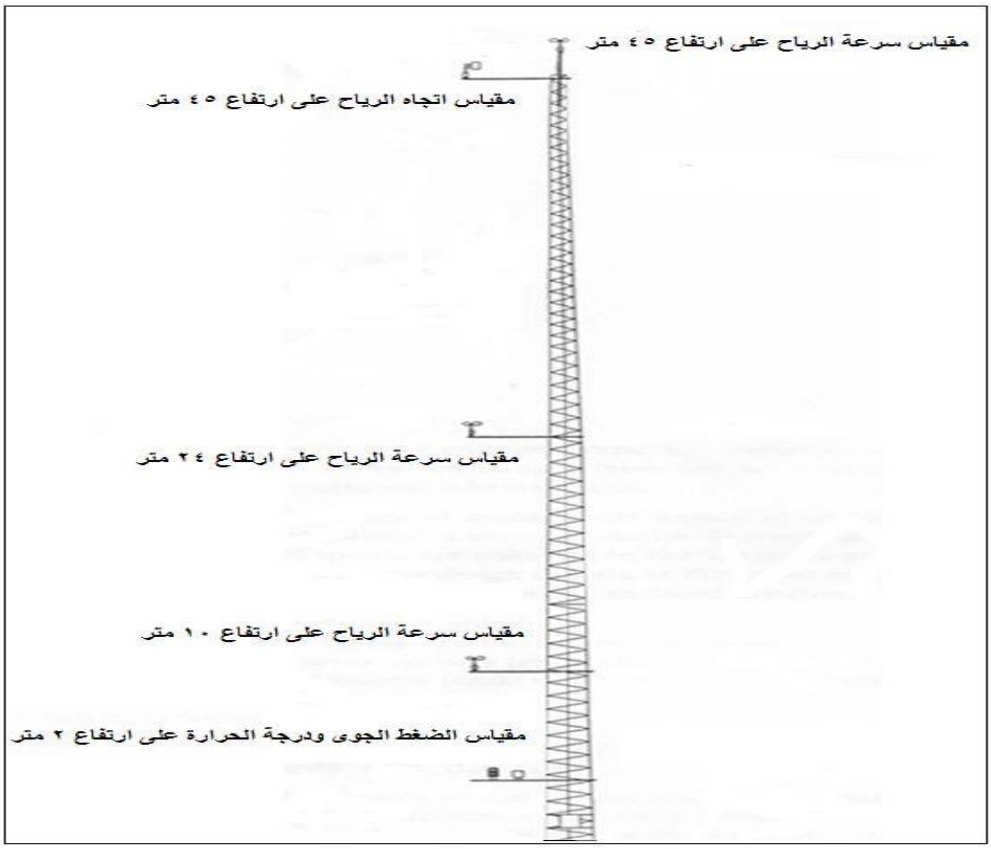
- حساب المتوسط السنوي لسرعة الرياح.
- حساب تغير سرعة الرياح خلال ساعات اليوم موسميا وسنويا.
- حساب المتوسطات الشهرية لسرعة الرياح والاتجاه ودرجة الحرارة والضغط الجوى.
- حساب التوزيع التكراري لمعاملات الرياح خلال العام



الشكل رقم (١٧): يبين وردة الرياح

أبراج القياس:

أنسب الطرق لقياس سرعة الرياح في موقع ما هو وضع الأنيمومتير أعلي برج القياس حتى لا يتأثر الأنيمومتير بالبرج، ويفضل أن يكون ارتفاع البرج نفس ارتفاع التوربينة المزمع تركيبها.



الشكل رقم (١٦): يبين تركيب برج القياس

- **الطاقة الكامنة في الرياح:**

تحول التوربينات الطاقة الموجودة في الرياح إلى عزم دوران عن طريق الريش

حيث تعتمد القدرة المولدة من التوربينات :

- كثافة الهواء ρ وحدتها كجم/ م^2
- مكعب سرعة الرياح (V^3) بالمتر/ثانية
- كفاءة تحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية أو ميكانيكية C_P
- مساحة سطح الدوران المعرض للرياح A
- كفاءة التوربينة μ

وحيث أن طاقة الرياح ما هي إلا طاقة حركية فإنه يمكن تقدير الطاقة الموجودة في الرياح من المعادلة التالية:

$$P = \frac{1}{2}\rho A V^3 C_p$$

ويتم عادة التعبير عن الطاقة المتوفرة في الرياح باستخدام العلاقة الآتية :

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho V^3 C_p \mu$$

حيث أن قيمة P/A تعرف بكثافة الطاقة وتقدر بالوات/ المتر المربع.

- **الكتلة الحجمية للهواء:**

ان طاقة الحركية في أي جسم تعتمد على وزنه وكذلك الأمر في طاقة الحركية الموجودة في طاقة الرياح والتي تعتمد على كثافة الهواء وبعبارة أخرى فإنّه كلما كان الهواء أثقل "كثافة عالية" كانت الطاقة المولدة أكبر والعكس صحيح،

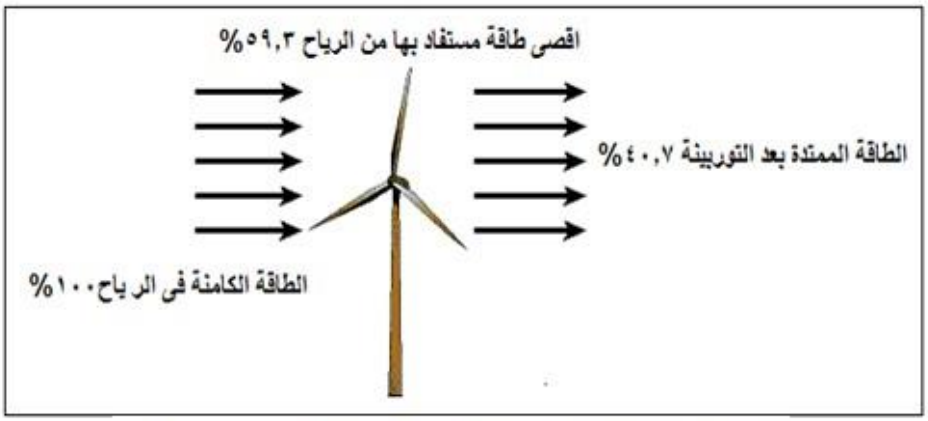
وان في المناطق الباردة تكون الكثافة أعلى منها في المناطق الحارة وأيضا عند الأماكن المرتفعة عن سطح البحر يكون الضغط الجوي منخفضا فتكون الكثافة منخفضة والعكس صحيح. والمعادلة التالية توضح ان الكثافة تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة Tوتتناسب طردياً مع الضغط الجوى B

حيث أن الكثافة المعيارية عند سطح البحر ودرجة حرارة 15 درجة مئوية تساوى 225.1 كجم/ م^2 والثابت العام للغازات Rيساوى 05.287 جول/كج.كلفن.

)(=B/R.T

معامل كفاءة تحويل طاقة الرياح (C_P):

يقصد به كفاءة تحويل الطاقة الكامنة في الرياح إلى طاقة يمكن الاستفادة منها سواء كانت كهربائية أو ميكانيكية وقد أثبت العالم الألماني ألبرت بيتز المتخصص في علم ديناميك الهواء أن أقصى قيمة نظرية لهذا الثابت هي حوالي 7722% ويعرف بحد بيتز في التوربينات ذات المحور الأفقي أقصى طاقة يمكن استخلاصها من الرياح أما التوربينات الرأسية فيصل هذا الثابت إلى حوالي 17 % ولكن يعوض هذا الفارق بكبر مساحة السطح



الشكل رقم (٨): أقصى طاقة يمكن استخلاصها من الرياح

- **العوامل التي يتوقف عليها معامل كفاءة التحويل C_P :**

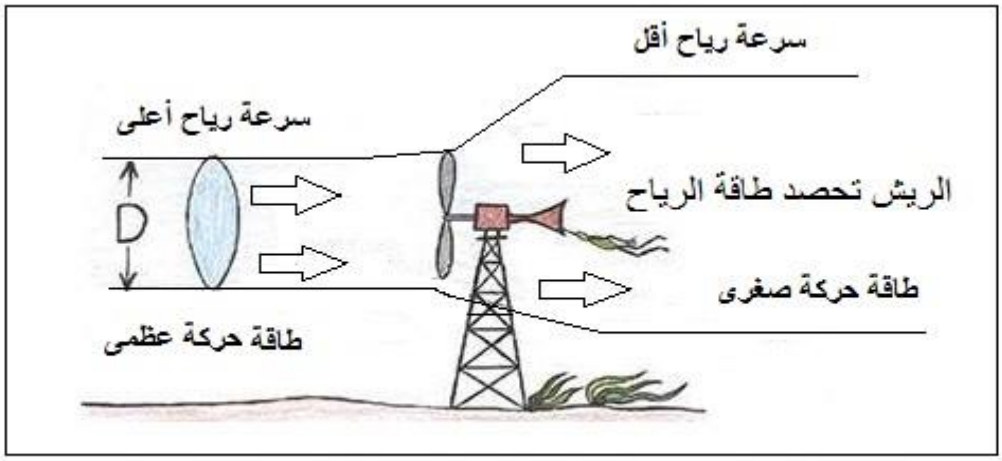
1 - **السرعة النسبية لطرف الجناح :**

هي النسبة بين السرعة عند نهاية الريشة "سن الريشة وسرعة الريح،

والتي تزداد كلما زاد طول الريشة، وتتحدد حدودها المثلي بين 06 إلى60 ويمكن العمل عند أقصى قيمة لكفاءة التحويل C_P وذلك بالمحافظة على تغير سرعة طرف الريشة مع تغير سرعة دخول الرياح إما عن طريق تغيير الحمل أو تغيير زاوية الخطوة للريشة، ولكن ذلك يصعب تطبيقه عمليا لما يحتاج إليه من تعقيد في التصميم وارتفاع التكاليف.

2 - **كفاءة تصميم الريشة :**

تعتمد قيمة معامل كفاءة التحويل (C_P)على تصميم الريشة وشكلها الإنسيابى ويتضح ذلك من خلال تنوع تصميم العضو الدوار والشكل يبين التغيرات التي تحدث على سرعة الرياح وطاقة الحركة الكامنة في الرياح بعد الاصطدام بريش التوربينة.



الشكل رقم (٩): سرعة الرياح وطاقة الحركة قبل وبعد الريش

سرعة الرياح والعوامل المؤثرة في إنتاج الطاقة:

تعتبر سرعة الرياح أهم عامل في معادلة الطاقة ويتأثر إنتاج توربينات الرياح تأثرا مباشرا بسرعة الرياح حيث تتناسب الطاقة المنتجة تناسباً طردياً مع مكعب السرعة،

ولبيان هذه العلاقة نضرب المثال التالي، إذا كانت سرعة الريح 7 متر/ثانية فإن الطاقة الناتجة تعادل تقريبا 137 وحدة طاقة،

وإذا ارتفعت السرعة وأصبحت 6 متر/ثانية فإن الطاقة الناتجة تزيد إلي 316 وحدة طاقة فإننا نلاحظ كيف أن ارتفاع سرعة الريح بمقدار1 متر/ثانية أدي إلي زيادة كبيرة في الطاقة المنتجة،

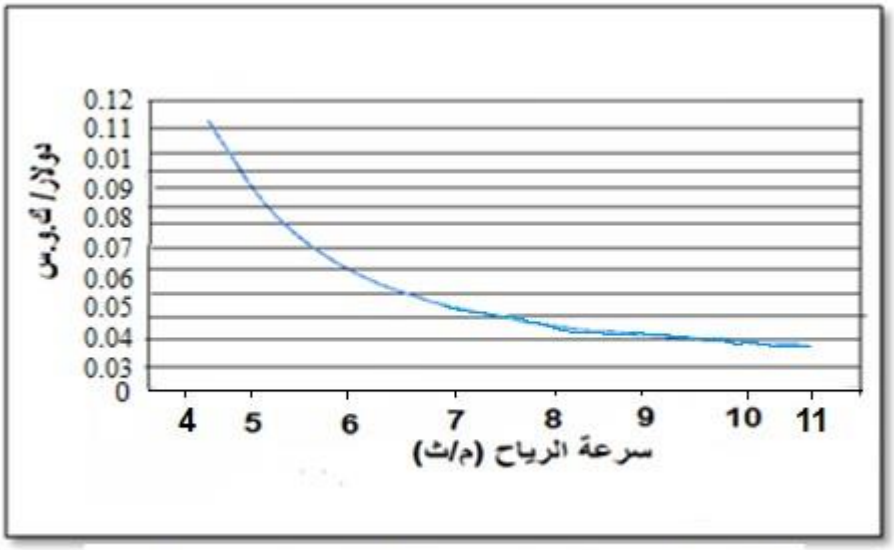
وتتأثر الطاقة المنتجة من التوربينات بعوامل أخرى منها:

- كثافة الهواء
- ارتفاع البرج
- مساحة سطح الدوران
- تأثير التوربينات علي بعضها البعض" Wake Effect "،

إلا أن التأثر المباشر يكون مع سرعة الرياح وبالتالي تنعكس سرعة الرياح مع تكلفة التوربينات ويبين الشكل سعر الطاقة المنتجة من الرياح ومدى تناسبها مع المتوسط السنوي لسرعة الرياح حيث يمثل المحور الأفقي

المتوسط السنوي لسرعة الرياح متر/ثانية (ويمثل المحور الرأسي سعر الكهرباء المنتجة)دولار أمريكي لكل كيلو وات ساعة(ومعادلة الطاقة كما يلي:-

$$P = \frac{1}{2}\rho A\, V^3\, C_p\, \mu$$



الشكل رقم (١٠):العلاقة بين تكلفة التوربينة وسرعة الرياح

نظرية بيتز Betz في الحركة البدائية:

لقد كان للعالم Betz دور كبير في وضع الصيغ الرياضية المستخدمة حالياً في مجال التحليل الفيزيائي للطاقة الريحية

استطاعة العنفة الريحية:

سنقوم بعرض سلسلة من المعادلات التي تم من خلالها استنتاج المعادلة التي تصف استطاعة الرياح القابلة للاستثمار وسوف نبدأ من مبادئ الفيزياء البسيطة حيث أنه يمكننا التعبير عن الطاقة الحركية لرياح ذات كتلة m وتتحرك بسرعةvكما يلي :

\

$$E = \frac{1}{2} . m. v^2 \qquad N/m$$

وبأخذ مساحة المقطع العرضاني الدائري A الذي تعبره الكتلة الهوائية وذلك بسرعة vنحصل على حجم الهواء المتدفق من خلال مساحة معينة وخلال زمن محدد والذي يدعى التدفقV :

$$V = v.\ A \qquad m^3/s$$

اما كتلة الهواء المتدفقة فتعطى بالعلاقة:

$$m = \rho.\ v.\ A \qquad kg/s$$

ومنه يمكننا الحصول على معادلة الاستطاعة وذلك من معادلة الاستطاعة الحركية وبعد التعويض نجد أن الاستطاعة في الهواء هي:

$$P = \frac{1}{2}\ .\ \rho.\ v3.\ A$$

$A = \pi.\ r^2$: مساحة الدائرة التي ترسمها عنفة ريحية ذات نصف قطر r

v: سرعة الرياح m/s.

ρ: كثافة الهواء $kg.\ m^{-3}$.

ويمكن حساب كثافة الهواء في ظروف معينة باستخدام عدة معادلات منها ما هو دقيق يأخذ عدد مناسب من العوامل التي تؤثر على كثافة الهواء كما هو واضح في المعادلة التالية:

$$\rho_H = \rho o \frac{T^O}{273 * 15 * t} * \frac{P^H}{Po}$$

حيث:

ρ_H: كثافة الهواء كتابع عند الارتفاع H.

ρo: كثافة الهواء المرجعية عند سطح البحر $225.1 kg.\ m^{-3}$

T_O: درجة الحرارة المرجعية 15 C^O

P_O: ضغط الهواء المرجعي 3.1013 mbar.

P_H: ضغط الهواء عند الارتفاعH

t : درجة الحرارة عند الارتفاع H مقاسة بـC^O.

ولكن كما نلاحظ فإن هذه المعادلة تتطلب عدداً من المتغيرات التي قد يصعب الحصول عليها لحاجتها إلى عمليات قياس ولذلك يمكن استعمال المعادلة التالية والتي تربط مباشرة بين كثافة الهواء والارتفاع عن سطح البحر:

$$\rho = 1.225 - (1.194 * 10^{-4}).\ Z$$

Z: الارتفاع عن سطح البحر .

P: تمثل كامل الاستطاعة في كتلة الهواء

ويجب عدم الخلط بينها و بين الاستطاعة الميكانيكية الممكن استخلاصها من الهواء من قبل العنفة

حيث أن الاستطاعة الميكانيكية المستخلصة من الهواء تتعلق بالفرق بين سرعة الهواء الداخلة إلى العنفة والخارجة منها وذلك عند ثبات قيمة كتلة الهواء المتدفق حيث أنه كلما كان الفرق أكبر كانت الاستطاعة المستخلصة أكبر .

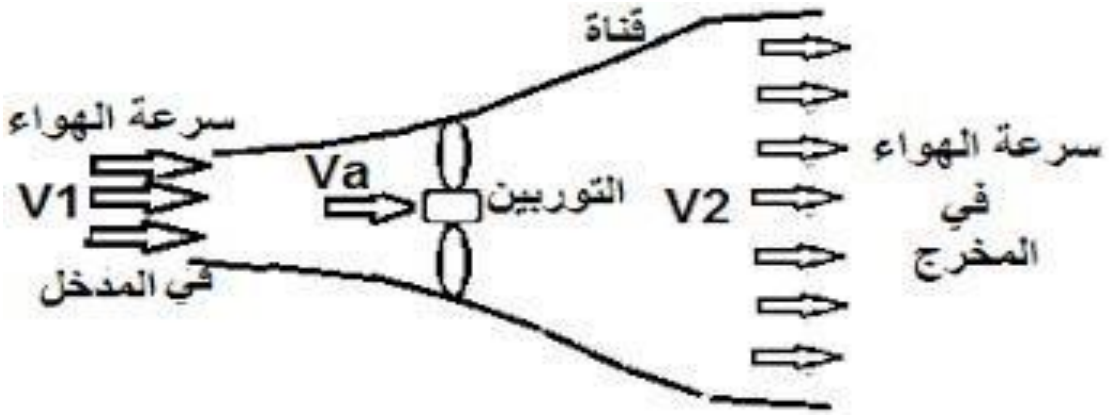
لنوجد العلاقات الرياضية المعبرة عن قيمة الاستطاعة الميكانيكية. فكما هو موضح لدينا

V_1 سرعة تدفق الرياح في دخل العنفة

V_2 سرعة تدفق الرياح في خرج العنفة

ومنه يمكننا إيجاد قيمة الاستطاعة الميكانيكية المستخلصة:

$$P = \frac{}{2}.\rho.v_1{}^3.A_1 - \frac{}{2}.\rho.v_2{}^3.A_2 = \frac{}{2}.\rho.(v_1{}^3.A_1 - v_2{}^3.A_2)$$



وبما أنه تم اشتراط ثبات كتلة الهواء المتدفق وبالتالي:

$$\rho.v_1{}^3.A_1 = \rho.v_2{}^3.A_2$$

$$P = \frac{1}{2}.\rho.A_1.v_1.(v_1{}^2 - v_2{}^2) = \frac{1}{2}.m.(v_1{}^2 - v_2{}^2)$$

من المعادلة الأخيرة نلاحظ أنه يتم الحصول على استطاعة ميكانيكية أعظمية عندما يكون $v_2 = 0$

ولكن هذا غير ممكن فيزيائياً لأنه عندها لن يستمر تدفق الهواء، ولذلك ومن أجل الحصول على استطاعة ميكانيكية أعظمية علينا إيجاد نسبة بين السرعتين في الدخل والخرج v_1/v_2 تحقق ذلك،

ومن أجل ذلك نحتاج إلى معادلة جديدة تصف القوة المطبقة على العنفة من قبل الرياح وهذه المعادلة هي:

$$F = m.(v_1 - v_2)$$

وبحسب مبدأ الفعل ورد الفعل، فإن العنفة ستواجه قوة الرياح المطبقة عليها بقوة مساوية لها ومعاكسة لها بالاتجاه .

أي تدفع الهواء عند سرعة هواء v' ، وهذا يتطلب استطاعة مقدارها:

$$P = F.v' = m.(v_1 - v_2).v'$$

وبالتالي يمكن إيجاد الاستطاعة الميكانيكية المستخلصة عن طريق إيجاد الفرق بين استطاعة تدفق الرياح واستطاعة رد الفعل المطلوبة من العنفة ومنه:

$$v' = \frac{v1 - v2}{2}$$

$$\frac{1}{2}.m.(v_1^2 - v_2^2) = m.(v_1 - v_2).v'$$

ومنه إن كتلة التدفق:

$$m = \rho.v'.A = \frac{1}{2}.\rho.A.(v_1 + v_2) \quad kg/s$$

وبالتالي الاستطاعة الميكانيكية المستخلصة هي:

$$P = \frac{1}{4}.\rho.A.(v_1^2 - v_2^2).(v_1 + v_2)$$

وبغية نسب هذه الاستطاعة الميكانيكية إلى مرجع معين تم نسبها إلى استطاعة تدفق الهواء عبر نفس المقطع العرضاني ولكن دون أن يتم استخلاص استطاعة منها بدون وجود أي حاجز أمام تدفق الرياح:

$$P_O = \frac{1}{2}.\rho.v_1^3.A \quad W$$

وتسمى النسبة بين الاستطاعة الميكانيكية المستخلصة واستطاعة الهواء المتدفق بدون عوائق بعامل كفاءة تح ويل طاقة الرياح C_p الذي يعطي بعد الإصلاح بدلالة سرعة دخلv_1 وخرجv_2 العنفة:

$$Cp(\lambda,\beta) = \frac{P}{P_O} = \frac{P_{turbine}}{P_{wind}} = \frac{1}{2} * \left|1 - \left(\frac{v2}{v1}\right)^2\right| * \left|1 + \frac{v2}{v1}\right|$$

ويتعلق معامل كفاءة تحويل طاقة الرياح $C_p(\lambda,\beta)$ من:

1- عامل سرعة طرف الريشة λوالذي يحسب من العلاقة:

$$\lambda = \frac{\text{Blade Tip Speed}}{\text{Wind Speed}}$$

$$Blade\ Tip\ Speed = \frac{v*\pi*D}{60}$$

v: سرعة د وارن دوار العنفة مقدرة بواحدةr.p.m.

D: قطر العنفةm.

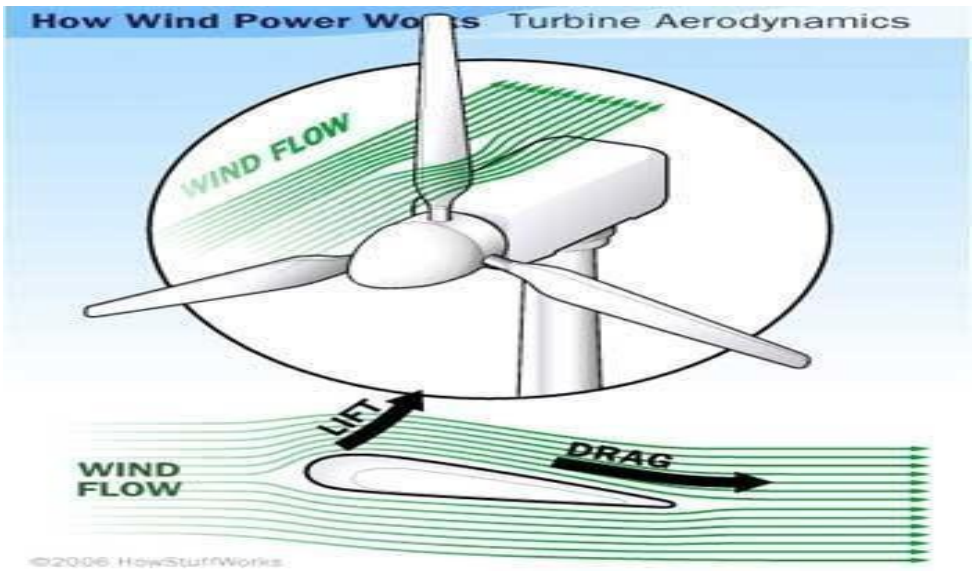
وتعطى القيمة العظمى لسرعة أطراف الريشة تبعاً لسرعة د وارن العنفة v وذلك لتجنب الدوارن البطيء للعنفة مما يؤدي إلى مرور الهواء عبر الفتحات بين الريش دون أن يؤدي إلى تدويرها بالشكل المناسب أو أن تدوير العنفة بسرعة عالية فتشكل حاجز صلباً أمام الرياح وتحسب قيمة من العلاقة التجريبية التالية:

$$\lambda maxpower = \frac{4*\pi}{N}$$

عدد الريش N	$\lambda max power$
2	6.2
3	4.1
4	3.1
5	2.5
6	2

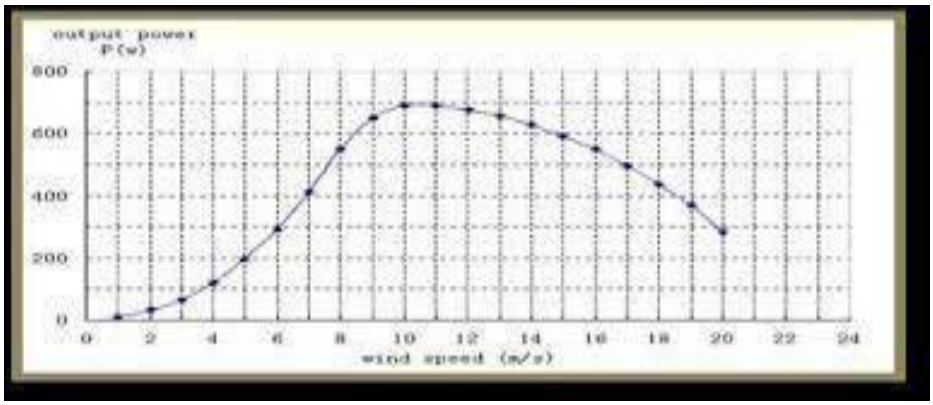
القيمة العظمى لسرعة أطارف الريشة

زاوية ميل شفرات العنفة أو زاوية الهجومβوالتي تقدر بالدرجات

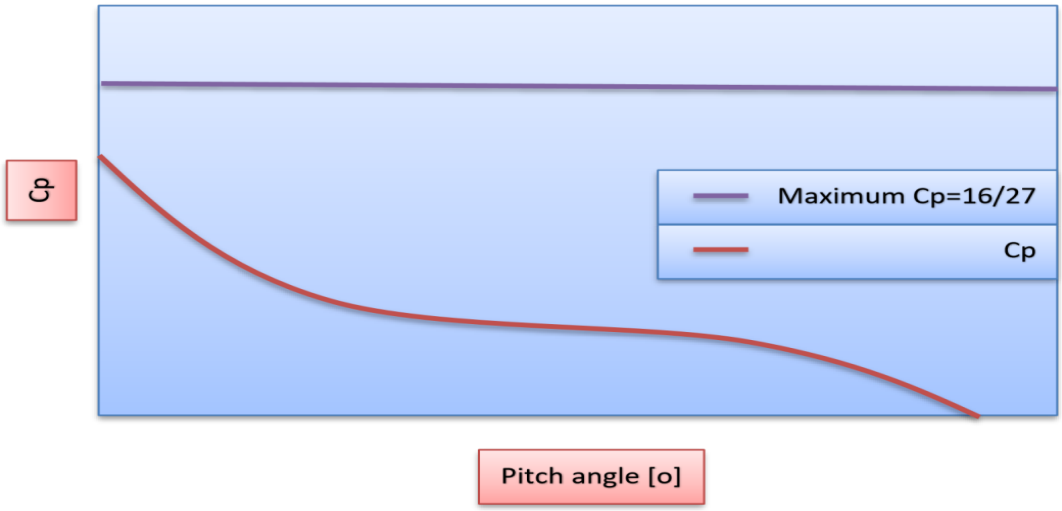


ويمكن لزاوية ميل شفارت العنفة β أن تأخذ قيم موجبة أو سالبة .

و تؤثر الزاويةβ بشكل كبير على منحني الاستطاعة للعنفة حيث يظهر منحنيات الاستطاعة لعنفة بقطر40m وتدور بسرعة20 r.p.m وذلك عند قيم مختلفة لزاوية ميل الشفرات ذات قيم موجبة .



إن تأثير تغيرات الزاوية βعلى منحني استطاعة العنفة ينبع من ارتباط قيمة معامل كفاءة تحويل طاقة ال رياحC_p بقيمةβ تغير منحنيC_p مع تغير السرعة وذلك عند قيم مختلفة للزاويةβ.

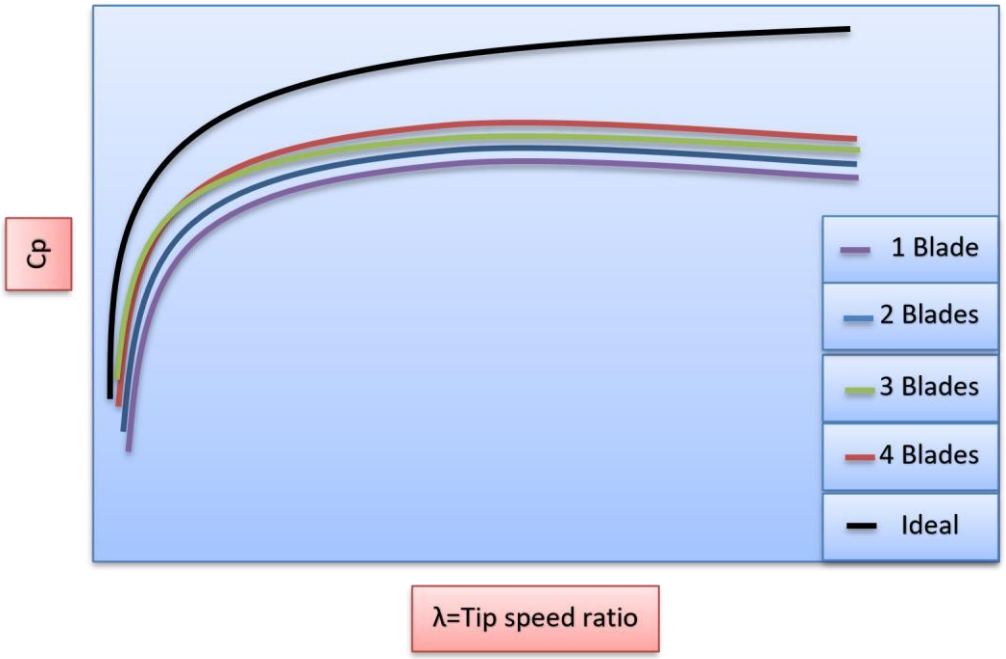


اختيار عدد ريش العنفة:

تلعب قيمة معامل كفاءة تحويل طاقة الرياحC_pدورا في تحديد عدد ريش العنفة الريحية علماً أن الغالبية العظمى من العنفات الريحية ذات المحور الأفقي لها ثلاث ريش .

فيما يلي الشكل يبين تأثير تغير عدد الريش في العنفة الريحية على منحنيC_p

وذلك عند قيم متغيرة لمعامل سرعة الأطراف للريشة λ حيث أنه بزيادة عدد ريش العنفة نلاحظ أن المنحني يقترب من المنحني المثالي والذي يتعلق بالقيمة العظمى للطاقة الريحية الممكن استخلاصها من الطاقة الريحية والذي يحدده حد Betz



الشكل (3-6)

معادلة استطاعة العنفة:

وبالعودة إلى العلاقة النهائية للاستطاعة المستخلصة من الرياح باستخدام عنفة ريحية تصبح المعادلة:

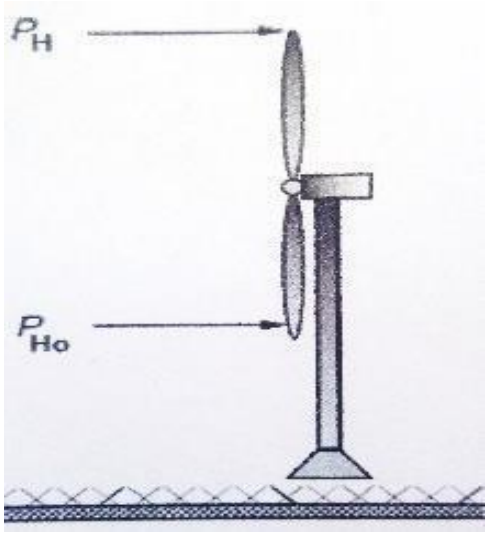
$$P = \frac{1}{2} . \rho . v^3 . A . C_p(\lambda ، \beta)$$

بإضافة مردود عملية تحويل الاستطاعة الميكانيكية إلى استطاعة كهربائية الذي يساوي تقريباً $\eta = 90\%$ تصبح المعادلة النهائية للاستطاعة المقدمة من العنفة الريحية:

$$P = \frac{1}{2} . \rho . v^3 . A . C_p . \eta \qquad W$$

فرق استطاعة الرياح على طرف الريشة العلوي والسفلي للعنفة:

انطلاقاً من معادلة هيلمان تظهر نقطة مهمة يجب أخذها بعين الاعتبار خاصة عند التصميم الميكانيكي ألا وهو فرق السرعة بين الطرف العلوي لريشة العنفة العلوية ونظيرتها السفلية وقد تم افتراض أن العنفة ذات ريشتين وهي أسوأ مما هو الحال في العنفة الثلاثية الريش لأن فرق الارتفاع بين الطرف العلوي للريشة العلوية والطرف السفلي للريشة السفلية أكبر في العنفات ذات الريشتين مما هو الحال في العنفات ثلاثية الريش يوضح الشكل القوتين المؤثرتين على الطرف العلوي للريشة ونظيرتها السفلية.



حيث يمكننا إيجاد تأثير تغير الارتفاع مباشرة على الطاقة الريحية مع إهمال تغير كثافة الهواء وذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$\frac{\mathrm{PH}}{\mathrm{PHO}} = \frac{\frac{1}{2} * \rho * {v_H}^3 * A}{\frac{1}{2} * \rho * {v_{HO}}^3 * A} = \left(\frac{v}{vo}\right)^3 = \left(\frac{H}{Ho}\right)^{3\alpha} \Rightarrow \frac{P_H}{P_{HO}} = \left(\frac{H}{Ho}\right)^{3\alpha}$$

إيجابيات وسلبيات استعمال طاقة الرياح:

الإيجابيات:

1- لا تلوث البيئة لأنها لا تستعمل مواد كيميائية تنتج مواد ضارة كثاني أكسيد الكربون.

2- لا تساهم في ظاهرة الاحتباس الحرار ي لأنها لا تبعث غازات دفيئة .

3- الطاقة القادمة من الرياح لا تنفد أبدا.

4- أبراج الرياح يمكن ان تكون مفيدة للأشخاص الذين يعيشون في المناطق النائيةالتي قد يكون من الصعب نقل الكهرباء عن طريق أسلاك الكهرباء من محطة توليد الكهرباء إلى الأماكن بعيدة .

5- يمكن للزراعة والري أن تظل في الأماكن التي توجد فيها توربينات الرياح.
بسبب إمكانية تواجد توربينات الرياح في المناطق الزراعية والبحرية فإن تكلفةإنشاء زعانف الرياح سيكون منخفضا نسبيا.

إن توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح لا يتضمن انبعاث ثاني أكسيد الكربون أو سقوط الأمطار الحامضية أو ملوّثات أخرى

فاستخدام طاقة الرياح يقلل الاعتماد على الوقود التقليدي والوقود النووي وبالإضافة إلى ذلك فإن توربينات الرياح لا تحتاج إلى مصادر مياه كبعض المصادر التقليدية والمتجددة وطاقة الرياح طاقة محلية متجددة ولا ينتج عنها غازات أو ملوثات، مثل ثاني أكسيد الكربون أو أكسيد النتريك أو الميثان، وبالتالي فإن تأثيرها الضار بالبيئة طفيف جدا حيث أن 77% من الأراضي المستخدمة كمزارع للرياح يمكن استخدامها في أغراض أخرى مثل الزراعة أو الرعي، كما يمكن وضع التوربينات الصغيرة فوق المباني كما أظهرت دراسة حديثة أن كل بليون كيلو وات في الساعة من إنتاج طاقة الرياح السنوي يوفر من 441 إلى 461 فرصة عمل وقد كان لظاهرة الاحتباس الحرارى وملوثات البيئة نتيجة الاعتماد على مشتقات البترول الاثر البالغ فى الاتجاه نحو مصادر بديلة للطاقة صديقة للبيئة حيث أنها الملاذ الامن والوحيد لتفادى حدوث كوارث عالمية نتيجة نضوب البترول فى الوقت القريب

المساوئ:

1- الرياح لا يمكن التنبؤ بها بدقة وبالتالي الطاقة الناتجة منه غير متوقعه وغير ثابته وهذا يجعل طاقة الرياح .غير مناسبه في حالة زيادة الطلب على طاقة إنتاجية عالية وبكمية ثابتة .

2- مزارع الرياح قد تعتبر ازعاج لبعض سكان تلك المناطق.

مزارع الرياح قد تتداخل مع الرادار وذلك بإحداث فجوة في التغطية الرادارية مما يؤثر على الأمن القومي

ضجيج التوربينات:

لا تعتبر توربينات الرياح عند مقارنتها مع الماكينات الأخرى ذات ضجيج عال ولكن هنالك بعض المواقع التي يتم فيها ملاحظة بعض الضجيج غير المريح وهما نوعان:

1-الضجيج الميكانيكي :

وهو يصدر من المعدات الكهربائية والميكانيكية المستخدمة في تقنية طاقة الرياح كصندوق التروس والمولد ،

والضجيج الميكانيكي هو المشكلة الرئيسيةّ ولكن من السهل تخفيضه باستخدام مجموعة تروس أكثر هدوءا أو وضع الأدوات الميكانيكية في هياكل معزولة لتخفيف الصوت

2-الضجيج الايروديناميكي : وهو ناتج من تداخل تيار الهواء مع الشفرات

هويعتمد على:

شكل الشفرة الريشة ،

التداخل بين الهواء والشفرة والبرج،

حافة الشفرة ورأسها وعلى ان الشفرة تعمل أو ساكنة ،

نوعية الرياح .

ويزداد الضجيج الايروديناميكي عادة مع سرعة الدوران ، ولهذا فإن قسما من التوربينات يكون مصمما للدوران بسرعة قليلة عندما تكون سرعة الرياح قليلة.

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

في الدنمارك فإن القوانين تنص على أنه لا يمكن نصب توربينات الرياح في المناطق السكنية إذا كان الضجيج الصادر منها يزيد عن 40 dB

اما في المملكة المتحدة فإن حدود الضجيج في المناطق القريبة من الطرق يجب ألا تزيد على 68 -76 dB

- **التداخل الكهرمغناطيسي :**

عند تركيب توربينات الرياح بالقرب من مناطق تستخدم الراديو والتلفزيون 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 تشوّها في الموجة التي تصل إلى المستخدم وينشأ التداخل الكهرومغناطيسي من نوع مادة الشفرات وشكلها

فإذا كانت الشفرات مصنوعة من معدن فإن التداخل محتمل الحدوث إذا كانت التوربينة قريبة من مناطق وجود هذه الأجهزة

أما الشفرات الخشبية فإنه عادة تمتص الموجات بدلاً من عكسها، والأبراج المريعة تعكس أكثر من الأبراج المدورة وذلك لزيادة مساحة سطحها وأكثر المنظومات تأثراً بهذا النوع من الضجيج التلفزيونات ومنظومات اتصالات المايكروويف ، لذا وضعت بعض الوكالات معلومات كافِية لتجنب مثل هذه التداخلات في المناطق التي توجد فيها هذه المنظومات

- **التأثيرات البصرية:**

تتحّدد هذه التأثيرات بعدة عوامل وهي:

حجم التوربينة وتصميمها ،

عدد الشفرات ولونها ،

عدد ترتيب التوربينات في الموقع

ويتحدد قبول بعض المواطنين بوجود التوربينات بعدة عوامل أهمها عامل الثقافة وفهم مختلف التقنيات ورأيه في أفضل مصدر من مصادر الطاقة وللصحف والمجلات التي تنشر أحياناً الأخبار عن مصادر الطاقة المختلفة تأثير كبير في موقف بعض المواطنين.

ونظراً لأهمية التأثير البصري لتوربينات الرياح فقد تم عمل محاكاة لموقع قبل وبعد إنشاء التوربينات وقد تم ملاحظة أن الموقع بعد إنشاء التوربينات أكثر قبولاً من ذي قبل

- تأثير توربينات الرياح على حياة الطيور:

هل توربينات الرياح تهدد حياة الطيور؟

من خلال الدراسات في أماكن تموضُع توربينات الرياح تم ملاحظة أن الطيور المحلية المتواجدة ضمن المنطقة في الأصل تتعلم بعد فترة كيفية تغيير مسار طيرانها وأن تطير حول التوربينات أو بعيداً عنها، حيث يمكنها تمييز ريش العضو الدوار التي تدور بسرعة بطيئة نسبياً بالنسبة لها،

ولكن الخطورة تكون على حياة الطيور الغريبة أو الطيور المهاجرة والتي غالباً ما تطير على شكل مجموعات عند ارتفاعات لا تقل عن 311 متر، وهذه الارتفاعات لا تصل إليها ريش العضو الدوار،

إلا أن بعض الطيور تطير على ارتفاعات منخفضة مما يعرضها للخطر ففي الدول الأوروبية يُعتبر هذا الأمر من القضايا التي تسبب جدلاً واسعاً،

ففي اسبانيا تم العثور على أعداد كبيرة من الطيور النافقة حول التوربينات، وهذا ما قد يمنع في المستقبل هذه الأنواع من الطيور من العودة إلى مثل هذه المناطق

ان الخطورة تكون اذا كانت مناطق مزارع الريح نفسها منطقة تكاثر الطيور مما يسبب مشكلة في انقراض بعض أنواع الطيور، لذلك تبذل المزيد من الجهود في البلدان الغربية لمنع إقامة مزارع رياح على نفس المسارات التي تطير ضمنها الطيور المهاجرة.

الشكل رقم (٥٩) : يوضح سرب من الطيور بجوار التوربينات

الحلول الممكنة لتلافي السلبيات:

- انشاء العنفات في المناطق المناسبة لهبوب الرياح الجيد .
- إمكانية التشغيل الاقتصادي للعنفات الريحية وذلك بجعلها ذات استطاعة أكبر .
- انشائها في المناطق الغير مأهولة بالسكان .
- عدم تضارب امواج الرادار مع العنفات وذلك باختلاف اطوال ابراج الارسال وجعلها مخالفة للعنفة الريحية.

أحجام العنفات الريحية تبعا لاستطاعتها الاسمية:

العنفات الريحية الصغيرة جدا وتكون استطاعتها اقل من 1كيلو وات

العنفات الريحية الصغيرة وتكون استطاعتها بين 1-50 كيلو وات

العنفات الريحية االمتوسطة وتكون استطاعتها بين50-660 كيلو وات

العنفات الريحية الكبيرة وتكون استطاعتها فوق 660 كيلو وات