توربينات الرياح
مستقبل أكثر أماناً

التركيب والتشغيل والصيانة

اعداد: مهندس السيد منصور

كبير مهندسين بهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة - مصر

بسم الله الرحمن الرحيم

((وَهُوَ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَاحَ بُشْرًا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِ حَتَّى إِذَا أَقَلَّتْ سَحَابًا ثِقَالًا سُقْنَاهُ لِبَلَدٍ مَيِّتٍ فَأَنْزَلْنَا بِهِ الْمَاءَ فَأَخْرَجْنَا بِهِ مِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ كَذَلِكَ نُخْرِجُ الْمَوْتَى لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ))

صدق الله العظيم : سورة الأعراف ـ الأية ٥٧.

بيانات خاصة بالمؤلف

Tel : 01009402423

E-mail : sayedmansour_1960@yahoo.com –sayedmansour1965@gmail.com

Linkedin Account : linkedin.com/in/sayed-mansour-b6b02496

اللهم إنى أحتسب هذا العمل صدقة جارية على روح زوجتى الغالية فاللهم أغفر لها وارحمها وأكرم منزلها.

مقدمة:

تستخدم طاقة الرياح كمصدر بديل من مصادر توليد الطاقة الكهربائية، بديلاً عن 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، عدا عن ارتفاع التكلفة وقرب نضوبها، في وقت يكون فيه العالم بأمس الحاجة للطاقة التي تولد الطاقة الكهربائية، فقد دخلت الطاقة الكهربائية في كافة مفاصل الحياة البشرية في الاتصالات والمستشفيات والإنارة والطرق و والنقل 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، فعند 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 ٧٥ ألف كيلو واط قبل حوالي 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 بلغت القدرة الكهربائية المولدة منها حوالي ٢٨٣ ألف كيلو واط. أما تاريخياً فقد استخدمت الدول والحضارات القديمة طاقة الرياح في طرق عدة متنوعة، منها استخدام المصريون القدماء لهذه الطاقة لتسيير القوارب على نهر النيل، كما استخدم المسلمون هذه الطاقة لطحن الحبوب المختلفة، بينما استخدم 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 في دولنا العربية للأسف الشديد، فلم 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.

التعاريف والمصطلحات الفنية :

- **مزارع الرياح:** هي مجموعة من توربينات الرياح المتواجدة في مكان واحد يتم توصيلها سويا لتوليد الطاقة الكهربية التي تنقل عبر خطوط النقل والتوزيع للمستهلكين.
- **الشفرات:** تعرف الشفرات بأنها الريش الخاصة بالتوربينة والتي تستخلص الطاقة الميكانيكية من الرياح لتحويلها إلى صورة أخرى من صور الطاقة، كالطاقة الكهربية والطاقة الميكانيكية وتصنع الشفرات عادة من مادة خفيفة الوزن كمادة الفيبر جلاس والخشب ومادة الكربون.
- **الشبكة الكهربية:**هي أداة النقل التي يتم عن طريقها نقل الطاقة الكهربية 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 كهربية صغيرة تندمج بها مصادر الطاقة التقليدية والطاقة المتجددة في المناطق المنعزلة عن الشبكة الكهربية ويتألف النظام في الغالب من توربينات رياح وخلايا شمسية ووحدات ديزل وبطاريات.
- **القدرة المقننة (الاسمية) لتوربينة الرياح:**هو أقصى خرج للقدرة الفعالة لتوربينة الرياح في ظروف التشغيل القياسية.
- **منحنى القدرة النظري للتوربينة:** هو المنحنى المعتمد والمختبر من الشركة المصنعة للتوربينة.
- **منحنى القدرة الفعلي للتوربينة:** هو المنحنى الخاص بالتوربينة 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 الريح :** هو الإتجاه الجغرافي الذي تهب منه الرياح واتجاه الرياح السائد في منطقة ما هو الإتجاه الأكثر شيوعا في هذه المنطقة.
- **توربينات السرعة الثابتة :**تعتمد هذه التوربينات علي ثبات سرعة دوران ريش التوربينة وبالتالي الجزء الدوار في المولد.
- **توربينات السرعة المتغيرة :** تعتمد هذه التوربينات علي تغير سرعة دوران ريش التوربينة وبالتالي الجزء الدوار في المولد، مما يؤدي إلي اختلاف خرج المولد.
- **الضوضاء أو الضجيج:** هي الأصوات المتنافرة 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.

معلومات السلامة والصحة المهنية:

- تعرف السلامة والصحة المهنية بأنها العلم الذي يهتم بالحفاظ على سلامة وصحة الإنسان ، وذلك بتوفير بيئات عمل آمنة خالية من مسببات الحوادث أو الإصابات أو الأمراض المهنية ، أو بعبارة أخرى هي مجموعة من الإجراءات والقواعد والنظم في إطار تشريعي تهدف إلى الحفاظ على الإنسان من خطر الإصابة والحفاظ على الممتلكات من خطر التلف والضياع.

- تدخل السلامة والصحة المهنية في كل مجالات الحياة فعندما نتعامل مع الكهرباء أو الأجهزة المنزلية الكهربية فلا غنى عن أتباع قواعد السلامة وأصولها وعند قيادة السيارات أو حتى السير في الشوارع فإننا نحتاج إلى أتباع قواعد أصول السلامة ,وبديهي أنه داخل المصانع وأماكن العمل المختلفة وفي المنشآت التعليمية فإننا نحتاج إلى قواعد السلامة ، بل إننا يمكننا القول بأنه عند تناول الأدوية للعلاج أو الطعام لنمو أجسامنا فأننا نحتاج إلى أتباع قواعد السلامة.

الأهداف العامة التي تسعى السلامة والصحة المهنية إلى تحقيقها:

- حماية العنصر البشري من الإصابات الناجمة عن مخاطر بيئة العمل وذلك بمنع تعرضهم للحوادث والإصابات والأمراض المهنية .
- الحفاظ على مقومات العنصر المادي المتمثل في المنشآت وما تحتويه من أجهزة ومعدات من التلف والضياع نتيجة للحوادث.
- توفير وتنفيذ كافة اشتراطات السلامة والصحة المهنية التي تكفل توفير بيئة آمنة تحقق الوقاية من المخاطر للعنصرين البشري والمادي.
- تستهدف السلامة والصحة المهنية كمنهج علمي تثبيت الآمان والطمأنينة في قلوب العاملين أثناء قيامهم بأعمالهم والحد من نوبات القلق والفزع الذي ينتابهم وهم يتعايشون بحكم ضروريات الحياة مع أدوات ومواد وآلات يكمن بين ثناياها الخطر الذي يتهدد حياتهم وتحت ظروف غير مأمونة تعرض حياتهم بين وقت وآخر لأخطار فادحة.

ولكي تتحقق الأهداف السابق ذكرها لابد من توافر المقومات التالية:

- التخطيط الفني السليم والهادف لأسس الوقاية في المنشآت.

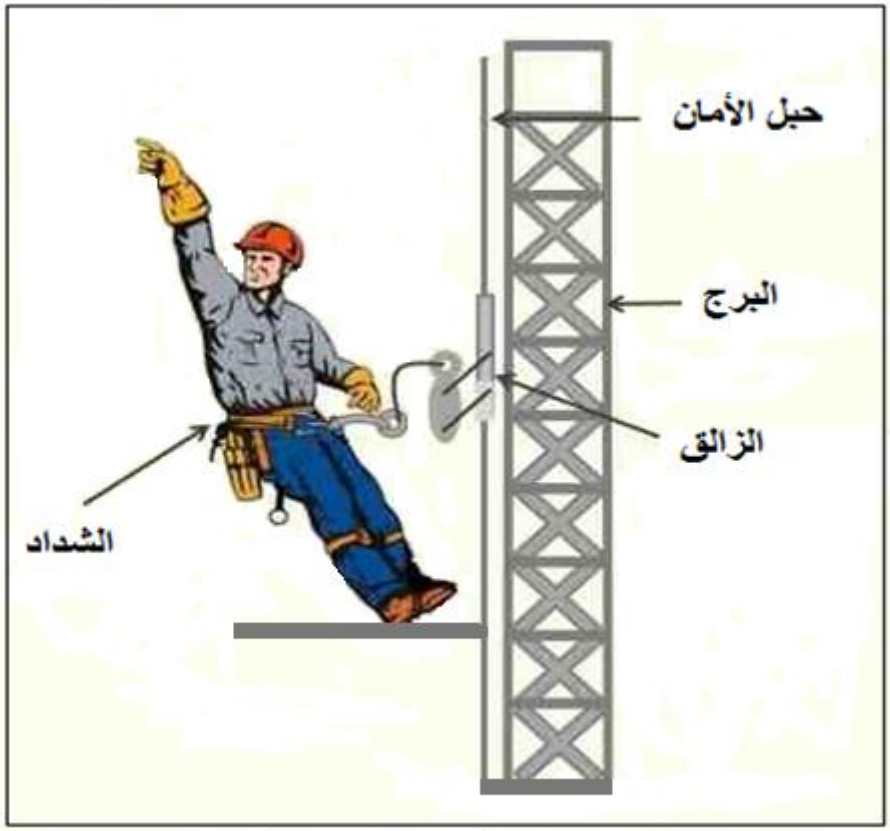
- التشريع النابع من الحاجة إلى تنفيذ هذا التخطيط الفني.
- التنفيذ المبنى على الأسس العلمية السليمة عند عمليات الإنشاء مع توفير الأجهزة الفنية المتخصصة لضمان استمرار تنفيذ خدمات السلامة والصحة المهنية .

أثناء تواجدك في موقع العمل يجب عليك ما يلي:

- الإلتزام بارتداء ملابس ومهمات السلامة والوقاية مثل الخوذة والنظارة الواقية والحذاء الواقي والأحذية العازلة للتيار الكهربائي والقفاز والسترة وحزام الأمان كما بالشكل رقم (١).

الشكل رقم (١) : مهمات السلامة والوقاية

- تستخدم أحزمة الأمان لوقاية العاملين من مخاطر السقوط من أماكن مرتفعة عند الصعود إلى أعلى التوربينة ويتم تزويد هذه الأحزمة بوسيلة تثبيت بجسم العامل ووسيلة تثبيت أخرى يتم توصيلها بجسم ثابت بمكان العمل كما هو موضح بالشكل رقم (٢).



الشكل رقم (٢) حزام الأمان

- الحرص على تنظيم وترتيب العدد والأدوات بعد انتهاء العمل.
- المداومة على المحافظة على نظافة الورشة وموقع العمل ونشر الملصقات الخاصة بالسلامة والصحة المهنية في أماكن واضحة بالورشة ومكاتب العاملين كما بالشكل رقم (٣).

الشكل (٣): ملصقات السلامة والوقاية

تشغيل توربينات الرياح

المفاهيم الأساسية لطاقة الرياح

- **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 الفُرس هم أول من استخدم طاقة الرياح في طحن الحبوب وضخ المياه أما في أوربا فقد انتشرت طواحين الرياح منذ القرن الثاني عشر حتى وصل عددها في عام ١٧٥٠ ميلادية إلي أكثر من ٨٠٠٠ طاحونة في هولندا وأكثر من ١٠٠٠٠ 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 ويوضح الشكل رقم (٤) أقدم طاحونة رياح في العالم.

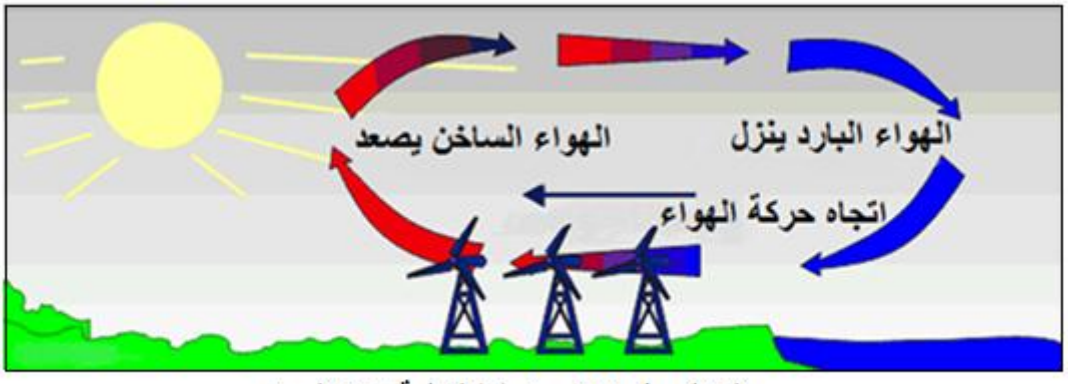
تراجع الاعتماد علي طواحين الرياح بعد اختراع جيمس وات للآلة البخارية في نهاية القرن الثامن عشر، ثم عاد الاهتمام بها كأحد مصادر الطاقة النظيفة بعد ارتفاع أسعار النفط عام ١٩٧٣ وظهور مشاكل بيئية ناتجة عن حرق الوقود، مما دفع بتكنولوجيا تصنيع توربينات الرياح في العشرين عاما الأخيرة إلي مستوي عال من النضج تجلي في ارتفاع جودة وكفاءة التوربينات إلي جانب انخفاض تكلفة الإنتاج، وبالتالي تزايد الاعتماد عليها على الرغم من أن أول توربينة رياح لغرض توليد الطاقة الكهربائية شيدت في اسكتلندا سنة ١٨٨٧ على يد جيمس بليث، إلا أن استخدام توربينات الرياح لم يتم بشكل موسع حتى سنة ١٩٧٠ 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 كهربية، كما ينظر لها على أنها تكنولوجيا ناضجة، ففي المواقع ذات سرعات الرياح المرتفعة تكون تكلفة الإنتاج اقتصادية ومنافسة لتكنولوجيات الطاقة التقليدية، وبخاصة عند أخذ التأثيرات البيئية في الاعتبار وحساب أسعار الوقود المستخدم في المحطات الحرارية بسعر السوق (بدون دعم حكومي)، 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:**

الرياح شكل من أشكال الطاقة الشمسية (حوالي ٢ % من طاقة الشمس المرسلة إلى الأرض) فضوء الشمس يسقط بكميات غير متساوية على مناطق 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 كما موضح بالشكل رقم (٥) وكما أن نظرية الأواني المستطرقة كما تنطبق على حركة الماء فإنها تنطبق أيضا على حركة الهواء فكلما زاد الفرق بين مناسيب الماء زادت سرعة اندفاع الماء أيضا كلما زاد الفرق في الضغط انطلق الهواء بسرعة أكبر وتقاس هذه السرعة بالمتر/ ث.



الشكل رقم (٥): مخطط لكيفية نشاة 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 أما 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 والشكل (٦) يوضح نسيم البر والبحر .

الشكل رقم (٦): مخطط يبين نسيم البر والبحر

- **الطاقة الكامنة في الرياح:**

تحول التوربينة الطاقة الموجودة في الرياح إلى عزم دوران عن طريق الريش وتعتمد القدرة المولدة من التوربينة (P) على كثافة الهواء (ρ) ووحدتها كجم/ م^3 (وتكون هذه القيمة صيفا حوالي ١.٢٣ ، وشتاءا حوالي ١.١١ والقيمة القياسية لكثافة الهواء تكون ٠.٦٠٧) ومكعب سرعة الرياح (V^3) بالمتر/ث وكفاءة تحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربية أو ميكانيكية (C_P) ومساحة سطح الدوران المعرض للرياح (A) وكفاءة التوربينة (μ).

وحيث أن طاقة الرياح ما هي إلا طاقة حركة 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 (ρ):**

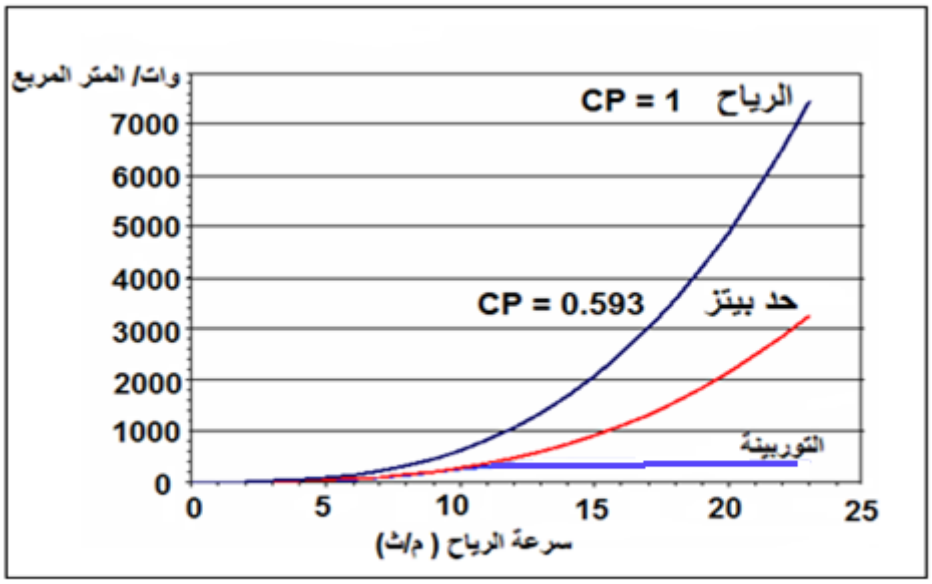
طاقة الحركة في أي جسم تعتمد على وزنه وكذلك الحال في طاقة الحركة الموجودة بطاقة الرياح والتي تعتمد على كثافة الهواء وبعبارة أخرى فإنّه كلما كان الهواء أثقل (كثافة عالية) كانت الطاقة المولدة أكبر والعكس صحيح، ففي المناطق الباردة تكون الكثافة أعلى منها في المناطق الحارة وأيضا عند الأماكن المرتفعة عن سطح البحر يكون الضغط الجوي منخفضا فتكون الكثافة منخفضة والعكس صحيح.

والمعادلة التالية توضح تناسب الكثافة (ρ) عكسياً مع درجة الحرارة (T) وطردياً مع الضغط الجوى (B) حيث أن الكثافة المعيارية عند سطح البحر ودرجة حرارة 15 درجة مئوية تساوى 1.225 كجم/ م^3 والثابت العام للغازات (R) يساوى 287.05 جول/كج.كلفن.

$$(\rho) = B/R.T$$

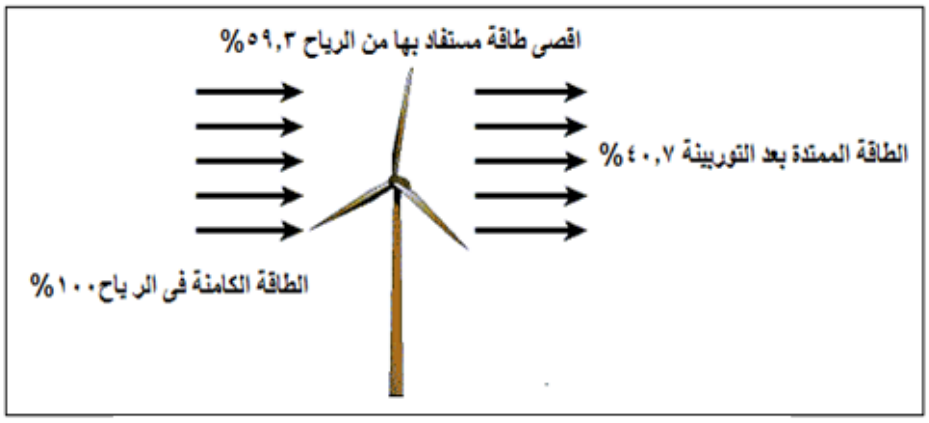
- **معامل كفاءة تحويل طاقة الرياح (C_P):**

يقصد به كفاءة تحويل الطاقة الكامنة في الرياح إلى طاقة يمكن الاستفادة منها سواء كانت كهربية أو ميكانيكية وقد أثبت العالم الألماني ألبرت بيتز المتخصص في علم ديناميكا الهواء أن أقصى قيمة نظرية لهذا الثابت هي حوالي ٥٩.٣% ويعرف بحد بيتز في التوربينات ذات المحور الأفقي (أقصى طاقة يمكن استخلاصها من الرياح) أما التوربينات الرأسية فيصل هذا الثابت إلى حوالي ١٥ % ولكن يعوض هذا الفارق بكبر مساحة السطح والشكل رقم (٧) يوضح العلاقة بين سرعة الرياح والطاقة المولدة في حالة C_P = 0.593 وفى الحالة المثالية عندما C_P = 1 وأيضا في حالة التطبيقات العملية لإنتاج الطاقة باستخدام توربينات الرياح كما فى الشكل رقم (٧).



الشكل رقم (٧): العلاقة بين الطاقة المولدة وسرعة الرياح عند قيم مختلفة لـ Cp

والشكل رقم (٨) هو توضيح للشكل رقم (٧).



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

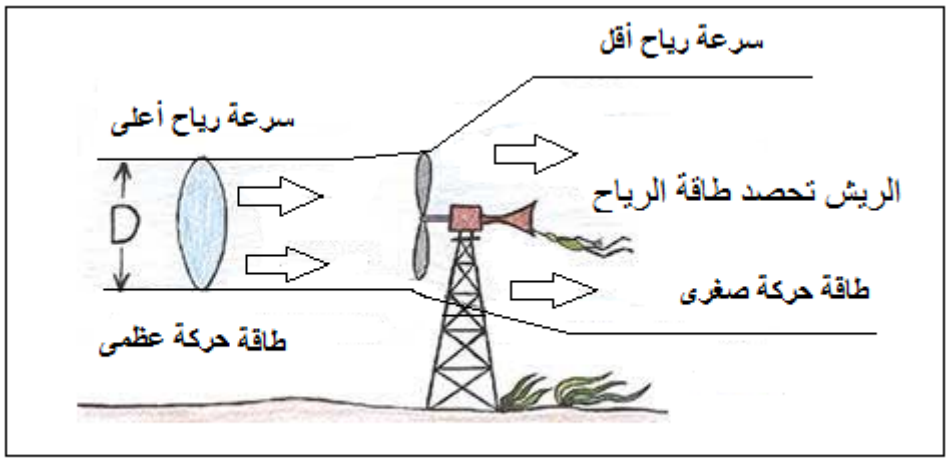
- **العوامل التي يتوقف عليها معامل كفاءة التحويل (C_P):**

١ـ السرعة النسبية لطرف الجناح

هي النسبة بين السرعة عند نهاية الريشة "سن الريشة Tip Blade" وسرعة الريح، والتي تزيد كلما زاد طول الريشة، وتتحدد حدودها المثلي بين ٦٠ إلى ٨٠ 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 عملياً لما يحتاج إليه من تعقيد في التصميم وارتفاع التكاليف.

٢ـ كفاءة تصميم الريشة

تعتمد قيمة معامل كفاءة التحويل (C_P)على تصميم الريشة وشكلها الإنسيابى ويتضح ذلك من خلال تنوع تصميم العضو الدوار والشكل رقم (٩) يبين التغيرات التي تحدث على سرعة الرياح وطاقة الحركة الكامنة في الرياح بعد الاصطدام بريش التوربينة.

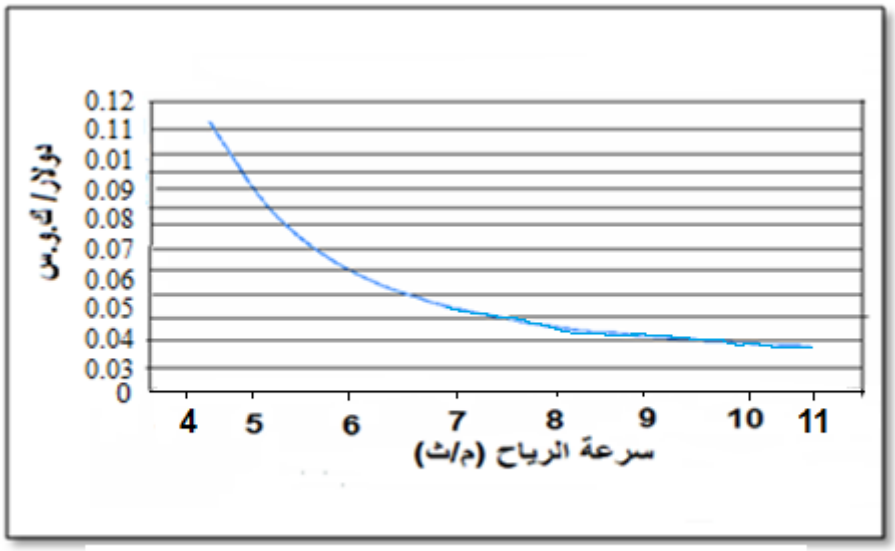


الشكل رقم (٩): سرعة الرياح وطاقة الحركة قبل وبعد الريش

- **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 ٥ متر/ثانية فإن الطاقة الناتجة تعادل تقريبا ١٢٥ وحدة طاقة، فإذا ارتفعت السرعة وأصبحت ٦ متر/ثانية فإن الطاقة الناتجة تزيد إلي ٢١٦ وحدة طاقة ويبين هذا المثال البسيط كيف أن ارتفاع سرعة الريح بمقدار ١ متر/ثانية أدي إلي زيادة كبيرة في الطاقة المنتجة، أيضا تتأثر الطاقة المنتجة من التوربينات بعوامل أخري منها كثافة الهواء وارتفاع البرج ومساحة سطح الدوران وتأثير التوربينات علي بعضها البعض" Wake Effect "، إلا أن التأثر المباشر يكون مع سرعة الرياح وبالتالي تنعكس سرعة الرياح مع تكلفة التوربينة كما هو موضح بالشكل رقم (١٠) 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:-

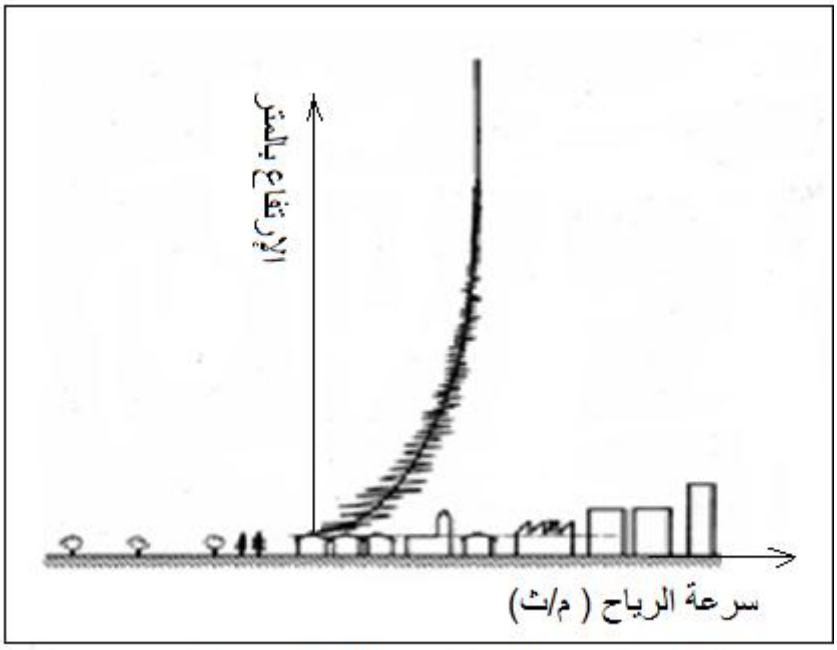
$$P = \frac{1}{2} \rho A \, V^3 \, C_p \, \mu$$



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

- **حصر مصادر طاقة الرياح:**

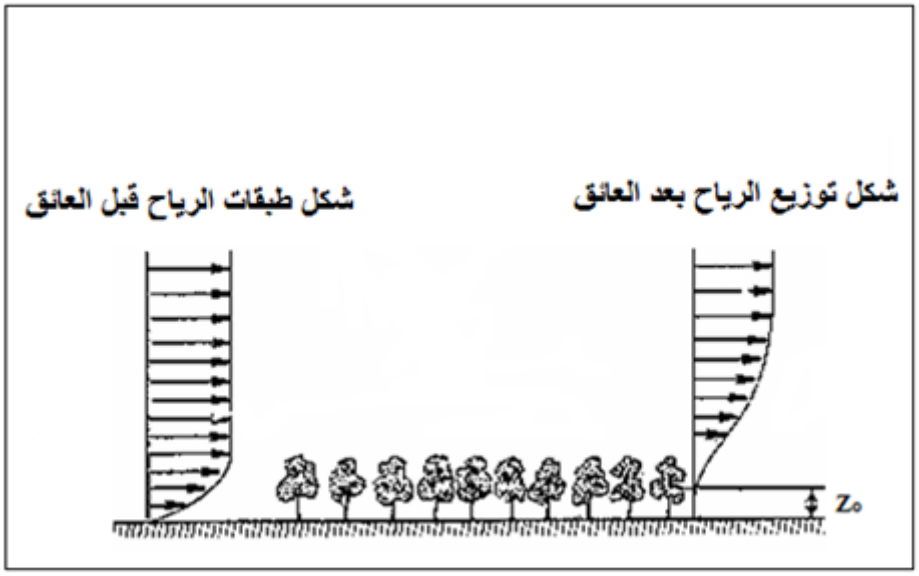
إن تحليل مناخ الرياح وتحديد المواقع المثلي لتوربينات الرياح وموارد طاقتها يتطلبان بيانات دقيقة ولمدد طويلة قد تصل إلى عشر سنوات، بالإضافة إلى معرفة تفصيلية لطبيعة سطح الأرض والتضاريس وخشونة سطح الأرض والعوائق، المحيطة بنقطة قياس الرياح وفيما يلي عرض مختصر للمفاهيم الأساسية لدراسة الطبقة المجاورة لسطح الأرض، بما في ذلك تغير الرياح مع الارتفاع ويبين الشكل رقم (١١) مدى تغير سرعة الرياح مع الارتفاع عن سطح الأرض في طبقات الجو الدنيا مع عدم تغيرها في طبقات الجو العليا وهذا التغير في طبقات الجو ناتج عن خشونة سطح الأرض والعوائق والتضاريس.



الشكل رقم (١١) العلاقة بين الارتفاع وسرعة الرياح

- **خشونة سطح الأرض:**

المقصود بخشونة سطح الأرض هو نوعية الأرض مثل البحار والمحيطات والوديان والمناطق الرملية والزراعية والمدن وكل سطح له تأثير مختلف على سرعة الرياح ويعبر عن كل سطح بطول معامل الخشونة بالمتر(z_o) وهو يعرف بأنه الطول بالمتر الذي تكون سرعة الرياح عنده مساوية للصفر كما بالشكل رقم (١٢) ويختلف معامل الخشونة وفقاً لطبيعة سطح الأرض وهو يكون أعلى ما يكون في الغابات الكثيفة حيث يصل ذلك المعامل إلى ١ متر أما أقل نسبة لهذا المعامل فهي في المسطحات المائية ويكون في حدود ٠.٠٠٠٢ متر.



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

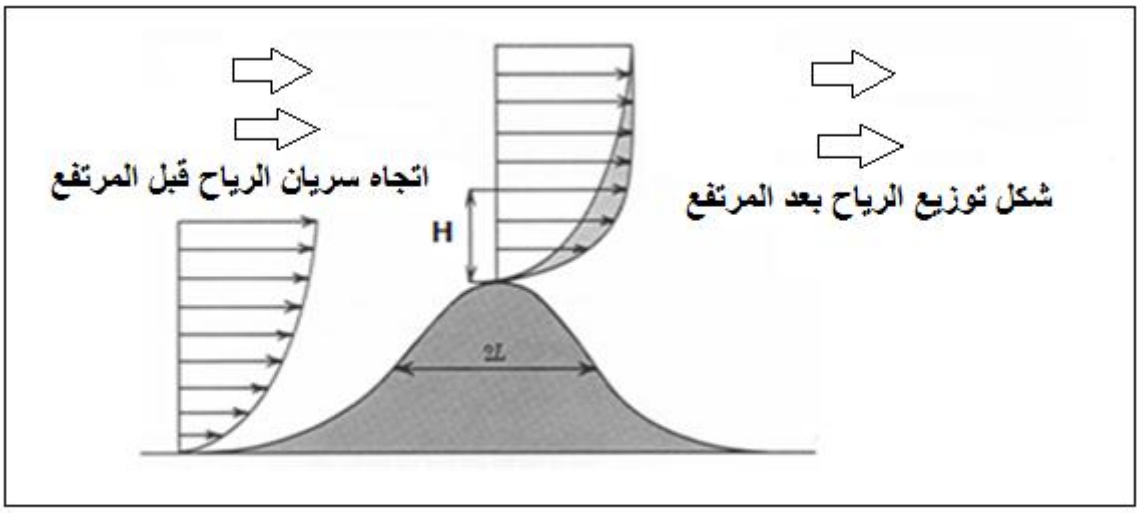
- **العوائــق:**

العوائق من العوامل المؤثرة تأثيرا شديداً 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 أمثال 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 ٨٠ % والتناقص في السرعة يتراوح من ٢٠% إلى ٤٠%.

ويبن الشكل رقم (١٣) سريان الرياح قبل وفوق المرتفع حيث 2L 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 ٣ أو ٤ ريش بكل ريشة كوب بحجم فنجان الشاي تقريبا ويعرف مقياس الرياح وتدور على محور رأسي وقد يتصل هذا الجهاز بعداد لقياس عدد اللفات في فترة زمنية محددة ومن الجداول الخاصة المرفقة بالجهاز يمكن تحديد السرعة، أو قد 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 يستلزم تحرى 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 نفس ارتفاع التوربينة مساو لارتفاع برج القياس.

- **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 الانحناء كما بالشكل رقم (١٤- أ) .

الشكل رقم (١٤-أ): طريقة تحديد اتجاه الرياح قديماً

وتطورت وسائل تحديد اتجاه الرياح كما بالشكل رقم (١٤- ب) حيث يستدل باتجاه رفرفة الأعلام على معرفة اتجاه هبوب الرياح.

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

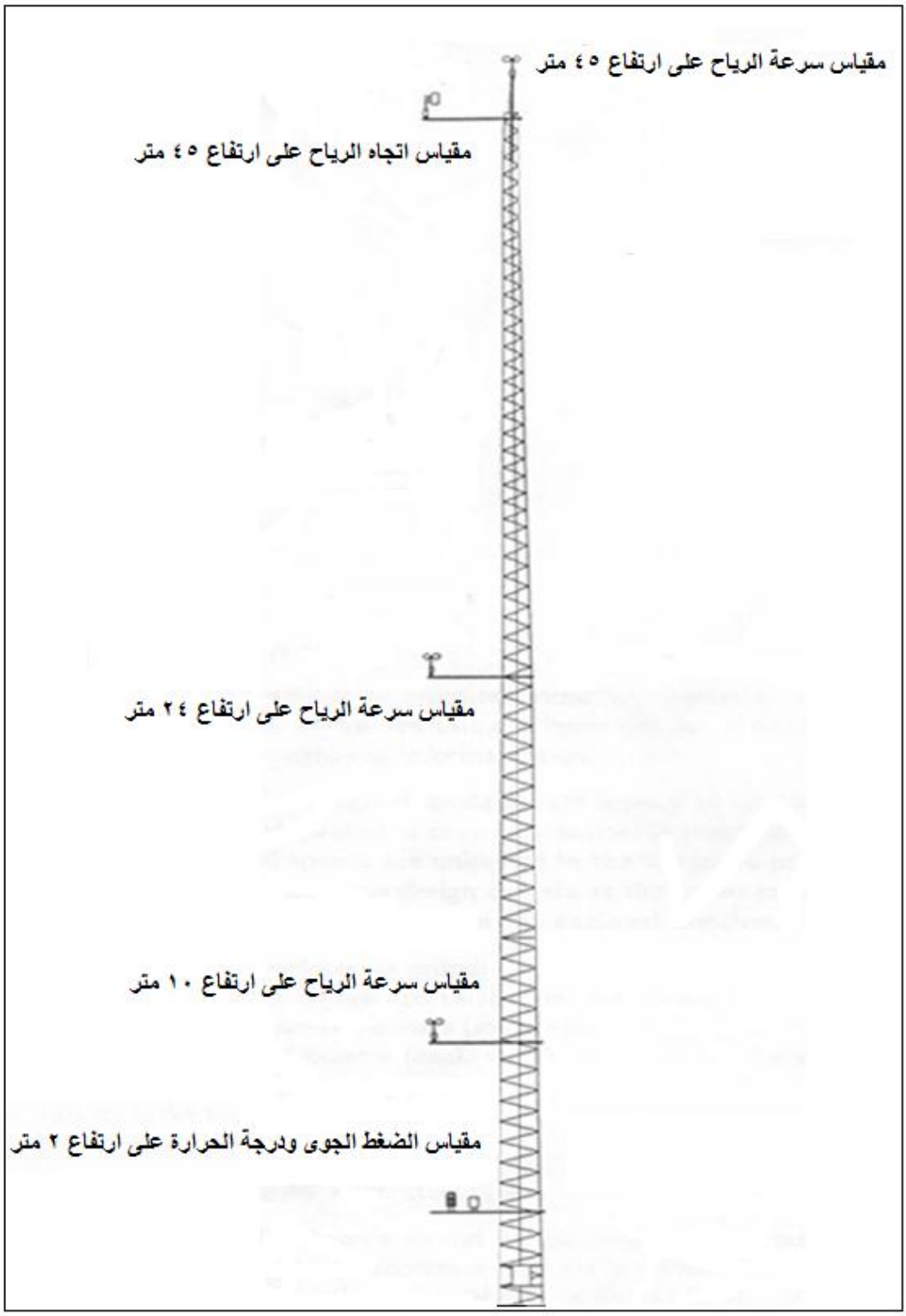
وعملياً تستخدم دوارة الرياح في تحديد اتجاه الرياح وذلك لتوجيه التوربينة ناحية الاتجاه السليم لهبوب الرياح وكذلك تستخدم في أبراج القياس لتحديد اتجاهات الرياح المختلفة تمهيدا لتحليل هذه البيانات لمعرفة اتجاهات الرياح بالموقع وعمل إحصائيات لتحديد الاتجاه السائد للرياح وكذلك توزيع السرعات المقاسة على الاتجاهات المختلفة، ويؤخذ هذا في الاعتبار 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 كما بالشكل رقم (١٥).

الشكل رقم (١٥) : حساس سرعة واتجاه 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 والشكل رقم (١٦) يبين تركيب برج القياس.



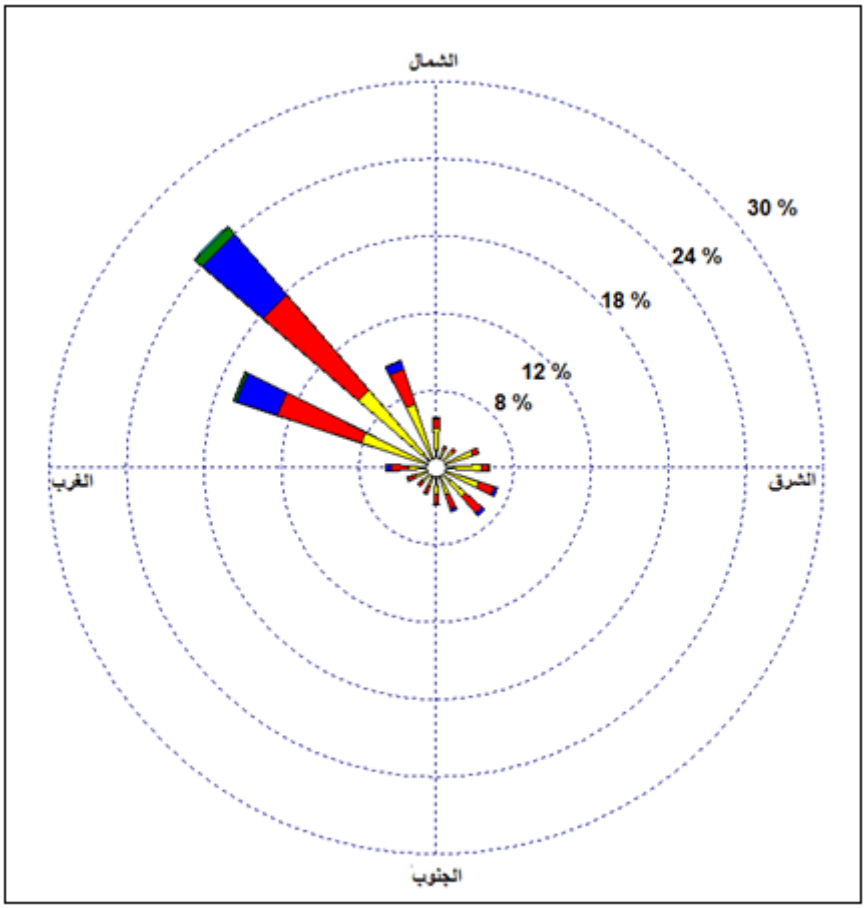
الشكل رقم (١٦): يبين تركيب برج القياس

- **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 ويتضح من الشكل رقم (١٧) أن سرعات الرياح السائدة تهب من اتجاه الشمل الغربي.

- 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

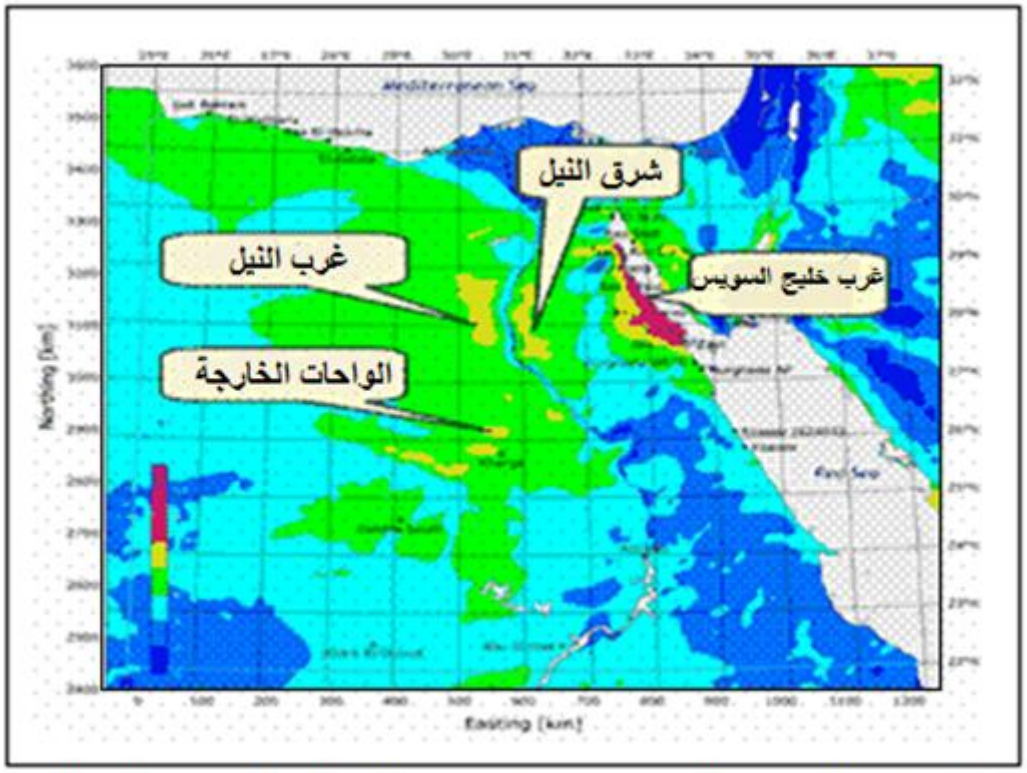
▪ طبيعة الرياح في مصر:

تسود الرياح الشمالية في مصر وخاصة في الساحل الشمالي وشمال الدلتا والبحر الأحمر وتشكل نسبة ٤٦% من الرياح السائدة طوال العام وتكون شمالية غربية شتاءا وأقرب إلى الشمالية في الربيع والخريف، وتمثل الرياح الشمالية في جنوب الدلتا حوالي ٣٢% ، وفى فصل الخريف والشتاء تزداد نسبة الرياح الشمالية الشرقية.

أما رياح الخماسين فتهب على مصر 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 الأحمر ومنطقة خليج السويس.

لذا تتميز مصر بالعديد من المناطق ذات سرعات الرياح العالية، ومن أهم هذه المناطق تلك الواقعة علي ساحل البحر الأحمر وخليج السويس مثل الزعفرانة وخليج الزيت، وبصفة عامة تكون سرعات الرياح في شهور الصيف أعلي منها في شهور الشتاء في تلك المناطق، ويصل المتوسط السنوي لسرعة الرياح بالزعفرانة حوالي ٩ متر/ثانية علي ارتفاع ٢٥ متر، في حين أنها تصل إلي ١١ متر/ثانية في خليج الزيت عند نفس الارتفاع كما في الشكل رقم (١٨) باللون الأحمر.

في مارس ٢٠٠٣ صدر أطلس رياح تفصيلي لخليج السويس بالتعاون مع الجهات الدولية كما هو موضح بالشكل رقم (١٨) ، وفي فبراير ٢٠٠٦ صدر أطلس رياح جمهورية مصر العربية، ونظرا لتمتع مصر بالعديد من المناطق ذات سرعات الرياح العالية ساهمت العديد من الجهات الدولية مع مصر في إنشاء مشروعات رياح لتوليد الكهرباء وربطها علي الشبكة الموحدة ومن المتوقع إنتاج نحو ١٢% من الطاقة الكهربية بحلول عام ٢٠٢٠ من الطاقة المتجددة.



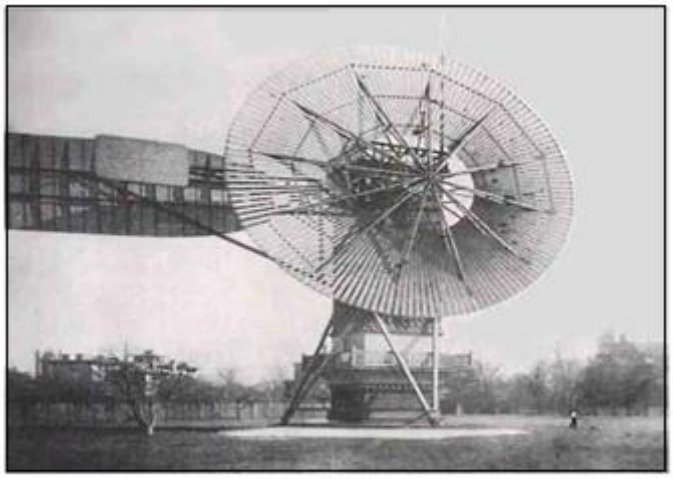
الشكل رقم (١٨):خريطة الرياح لمصر يظهر بها المناطق الغنية بالرياح باللون الأحمر

المفاهيم الأساسية لتوربينات الرياح

- **استخدام توربينات الرياح فى انتاج الكهرباء:**

كان أول من استخدم توربينات الرياح فى توليد الكهرباء هو جيمس بلايث الاسكتلندي في يوليو عام ١٨٨٧ م كما هو موضح بالشكل رقم (١٩)، 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 الكهربية.



الشكل رقم (١٩): أقدم توربينة رياح لانتاج الكهرباء

وفي بداية السبعينات من القرن الماضي عندما 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 ومن 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 ١٩٨٠ 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 ١٩٨٤ ، وعن هولندا عام ١٩٨٦ ، وأطلس الرياح الأوربي عام ١٩٨٩ ، وعن مصر أطلس رياح خليج السويس عام ١٩٩٦.

- **تعريف توربينات الرياح الصغيرة:**

تعرف توربينات الصغيرة في الأسواق على أنها التوربينات التي تتراوح قدراتها من ٦ وات وحتى ٣٠٠ ك وات حيث تعرف التوربينات الصغيرة بأنها تلك التي تنتج كمية صغيرة من الكهرباء تكفى لتشغيل الأجهزة المنزلية كما تم تعرفها اللجنة الكهروتقنية الدولية في المواصفة التي أصدرتها بأنها تلك التوربينات التي يقل مساحة سطحها ريشها عن ٢٠٠ م^{٢} أي أن قدرة التوربينة الواحدة تصل إلى ٥٠ ك.وات وقد أطلقت بعض الدول تعريفات خاصة بها فهناك من يعرفها بأن قدرتها تتراوح من ١٥ إلى ١٠٠ ك.وات.

- **اختيار مواقع مزارع الرياح:**

بعد أن وصلت توربينات الرياح إلى مرحلة معقولة من التطور والنضج التقني أصبح من الواجب على أصحاب مشروعات الرياح أن يختاروا المواقع المناسبة لإنشاء محطات الرياح ولاختيار موقع المحطة عدة شروط يجب التأكد من استيفائها، وبيانها كالتالي:

١- يجب أن يكون الموقع ذو سرعات رياح عالية، ومناسبة لنوع التوربينة المستخدمة .

٢- يجب أن يكون الموقع في الخلاء ولا تحيط به عوائق عالية حتى لا تعوق حركة الرياح .

٣- يجب أن يكون الموقع قريبا من خطوط الشبكة الكهربية في حالة ما إذا كانت الكهرباء المولدة سيتم ضخها في الشبكة الكهربية وفي حالة الأماكن المعزولة يجب أن يكون موقع المحطة قريبا من موقع الأحمال.

٤- يجب أن يكون سعر أرض الموقع معقولا حتى لا يؤثر ذلك سلبا على اقتصاديات المشروع .

٥- يجب أن يكون الموقع قريباً قدر الإمكان للمرافق حتى يستطيع القائمون على المشروع تنفيذه بدون عوائق وحتى لا يتحمل المشروع تكلفة البنية الأساسية.

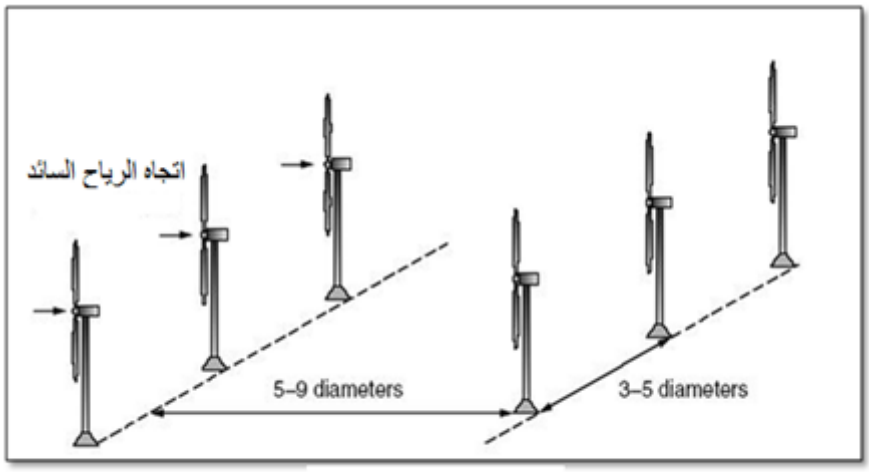
- **تصميم وتخطيط مزارع الرياح:**

تعتبر هذه الخطوة من أهم الخطوات التي يترتب عليها نجاح المشروع أو فشله، حيث يتم وضع تصميم لأماكن التوربينات في المساحة المحددة للمشروع على أن تتكون من عدة صفوف تكون عمودية على الاتجاه الغالب للرياح في المنطقة، كما يجب مراعاة وضع التوربينات بحيث تبعد عن بعضها بعضا بمسافات لا يجب الإقلال منها، بحيث لا تقل المسافة بين كل توربينة وأخرى في نفس الصف ثلاثة أضعاف قطر العضو الدوار بالتوربينة إلى خمسة أضعاف كما هو واضح بالشكل رقم (٢٠) وكذلك لا تقل المسافة بين كل صف وآخر من خمسة أضعاف قطر العضو الدوار بالتوربينة إلى تسعة أضعاف فمن المهم تحقيق المعادلة الصعبة باختيار أماكن التوربينات أخذا في الاعتبار أقصى طاقة يمكن إنتاجها من المحطة وأسعار الكابلات الكهربية والطرق الداخلية في المحطة لتجنب الفقد الكبير فى الطاقة الناتج عن التأثير المتبادل بينالتوربينات وإلا لن تعمل مزرعة الرياح بشكل اقتصادي منذ البداية.

يعبَّر عن ذلك الفقد فى الطاقة الناتج عن التأثير المتبادل بين التوربينات بالمردود الأيروديناميكي للمزرعة والذي يعرّف بأنه الطاقة المنتجة من كامل المزرعة كنسبة من مجموع معدل الطاقة المنتجة التي يمكن أن تنتج فيما لو كانت التوربينات تعمل بشكل مستقل كلاً على حده بدون تداخل ويكون أقل من ١٠٠% كما يتم تحديد المسافات بين التوربينات وبعضها البعض للأسباب التالية:

- تحقيق الاستفادة القصوى من الطاقة المستخلصة من الرياح وحتى لا تتأثر التوربينات بالصفوف الخلفية كثيرا.
- تلافي الضوضاء الناتجة عن دوران ريش التوربينات والحد من خفقان التظليل (اللماعية) الناتج عن سقوط أشعة الشمس على ريش التوربينة أثناء الدوران.

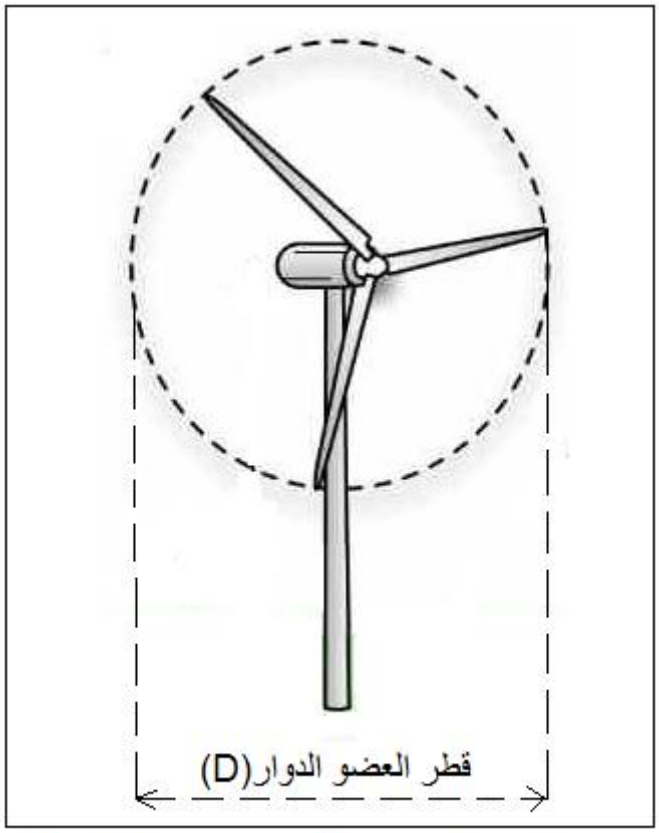
- كمعامل أمان تجنباً لوقوع أي حوادث عند حدوث كسر بريش التوربينة.



الشكل رقم (٢٠): مخطط توزيع توربينات الرياح

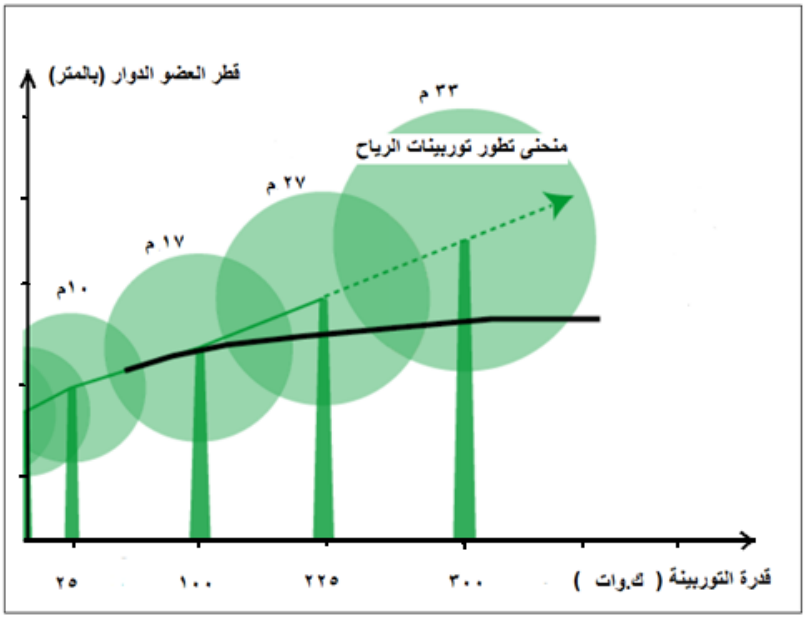
- **مساحة سطح الدوران في التوربينة:**

تعبر مساحة سطح الدوران عن المساحة الناشئة عن دوران الريش والتي تتحدد بطول الريشة فكلما زادت أطوال الريش كلما زادت مساحة سطح الدوران، وبالتالي حجم الهواء الذي يضرب مستوي الدوران، ويطلق أيضا علي مساحة سطح الدوران قطر التوربينة ومساحة سطح الدوران في التوربينة تحسب من العلاقة $A=\pi D^2/٤$ حيث D هو قطر العضو الدوار بالتوربينة ، π تساوى ٣.١٤ كما هو موضح بالشكل رقم (٢١) وتتناسب مقدار الطاقة التي يمكن الحصول عليها من التوربينة مع مساحة العضو الدوار التي بدورها تتناسب مع مربع القطر.



الشكل رقم (٢١) : قطر العضو الدوار فى التوربينة

الشكل رقم (٢٢) يبين قدرة التوربينة والقطر المناظر.

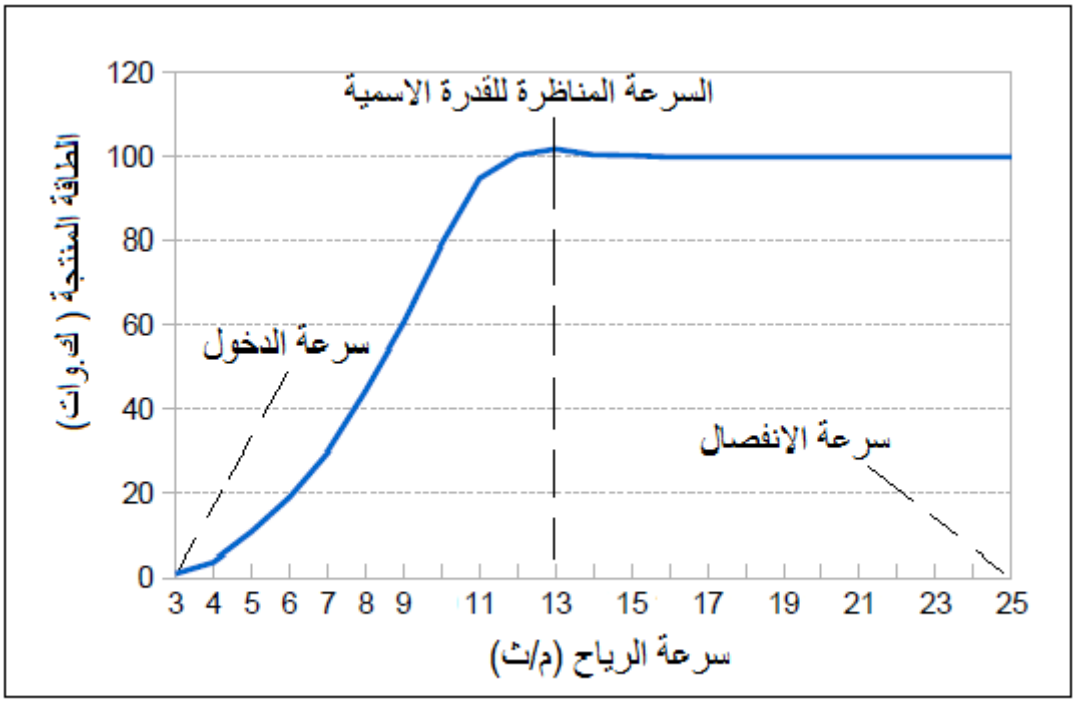


الشكل رقم (٢٢): العلاقة بين قطر التوربينة وقدرتها الكهربية

- **تقدير الطاقة المولدة من التوربينة:**

لتقدير الطاقة المنتجة من التوربينة سنوياً يلزم معرفة منحنى أداء التوربينة (Power Curve) وهو يمثل العلاقة بين سرعة الرياح والقدرة المنتجة بالكيلو وات كما بالشكل رقم (٢٣) حيث تبدأ التوربينة في التوليد عند قيمة محددة لسرعة الرياح تسمى سرعة الدخول (ارتباط التوربينة بالشبكة الكهربية) أو نقطة القطع

(Cut In) عند حوالي ٣ م/ث كما أن التوربينة لا تدور بسرعة لانهائية مع زيادة شدة الرياح فعندما تصل سرعة الرياح إلى ٢٥ م/ث لمدة عشر دقائق متواصلة فإن التوربينة تتوقف عن العمل وذلك للمحافظة على التوربينة من خطورة الرياح الشديدة وتسمى هذه السرعة بسرعة الفصل (Cut Out) والمنطقة التي تسبق سرعة الفصل هي المنطقة التي تثبت فيها قيمة التوليد مهما ذادت سرعة الرياح .



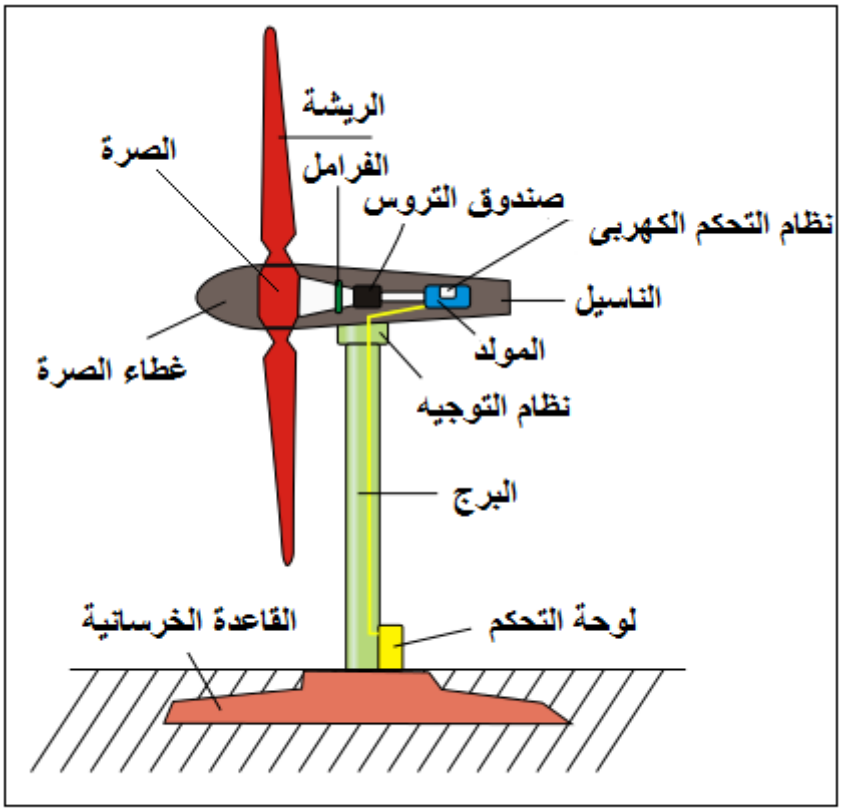
الشكل رقم (٢٣) : منحنى القدرة للتوربينة

ويعطى منحنى القدرة الفعلي للتوربينة قراءة دقيقة لأدائها خلال فترة التشغيل مقارنة بالمنحنى النظري المعطى من قبل الشركة المصنعة للتوربينة وذلك لوجود عوامل قد تؤدى إلى انخفاض إنتاجها مثل تراكم الأتربة على سطح الريش وهو ما يستلزم غسيل الريش بصفة دورية للمحافظة على منحنى القدرة لها وبالتالي على الإنتاج السنوي لها وقد يسبب تراكم الجليد على سطح الريش في المناطق الباردة انخفاضا في منحنى القدرة لها حيث يتم تزويد الريش بمصدر حراري لإذابة الجليد المتراكم.

فكرة عمل توربينات الرياح

تتلخص فكرة إنتاج الطاقة الكهربية من توربينات الرياح حيث تعمل الطاقة الحركية للرياح علي إدارة الريش المثبتة علي التوربينة، حيث نجد أن ريش التوربينة مثبتة علي صُرة ترتكز علي عمود الدوران الرئيسي الموصل بصندوق سرعات يتولى رفع سرعة الدوران، ثم تنتقل الحركة إلي عمود الدوران السريع فيقطع بدورانه مجال مغناطيس داخل مولد، مما يؤدي إلي توليد الكهرباء. وبالتالي يمكننا الاعتماد علي توربينة رياح صغيرة لإنارة منزل أو مدرسة أما إذا ارتفعت سرعة الرياح فإن الفرامل تمنع الريش من الدوران مخافة أن يؤدي دورانها بسرعة عالية إلي تحطمها وتكسير الأجزاء الدّوارة، وتُعَرف السرعة العالية في

التوربينة بأنها الأعلى من ٢٥ متر/ثانية ولضمان توجيه ريش التوربينات نحو اتجاه الريح، يوجد نظام توجيه خاص بالتوربينة يعمل علي توجيه التوربينة في اتجاه الرياح، وتوجد توربينات رياح تستخدم نظام توجيه واحد يمين و يسار والشكل رقم (٢٤) يوضح مكونات التوربينة.



الشكل رقم (٢٤) : مكونات التوربينة الرئيسية

تختلف قدرات التوربينات حسب تصميمها فمثلا توجد توربينة قدرة ٣٠٠ كيلووات، ولتوضيح معني "قدرة التوربينة" فسوف نضرب المثال التالي، إذا أضأنا عشرة لمبات قدرة الواحدة ١٠٠ وات فإننا نحصل علي ١٠٠٠ وات أي واحد كيلووات، وهو ما يعني أن التوربينة الـ٣٠٠ كيلووات تكفي لإضاءة ٣٠٠٠ لمبة قدرة الواحدة ١٠٠ كيلووات، وقد بلغت قدرات التوربينات في الوقت الراهن حوالي ٥٠٠٠ كيلووات إلا أن استخدامها مازال علي نطاق ضيق.

يطلق علي توربينات الرياح التي تعمل في مكان واحد اسم مزرعة رياح ، وفي مصر يوجد العديد من هذه المزارع التي تختلف قدراتها وطرازاتها، وتعد منطقة الزعفرانة بالبحر الأحمر أحد أهم المناطق التي تضم العديد من مزارع الرياح والمتوقع أن تستوعب مزارع أخرى. ونظرا للتأثير المهم لسرعة الرياح علي الطاقة المتولدة فإن بعضا من هذه المزارع تقام داخل المياه ويطلق عليها المزارع البحرية، أما تلك التي تقام علي اليابسة فتسمي المزارع الشاطئية.

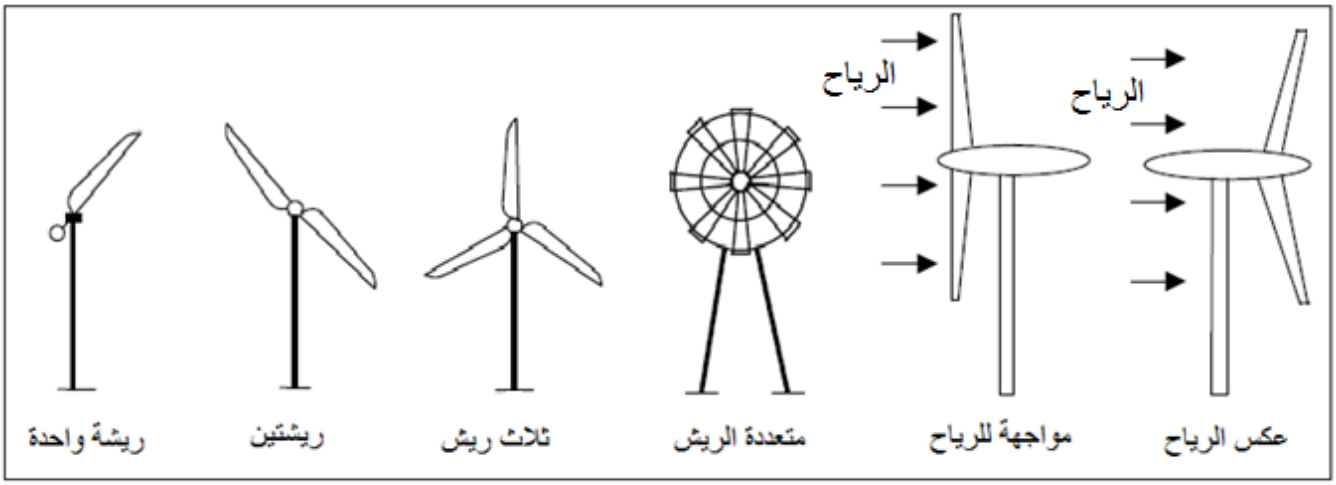
تصنيف توربينات الرياح

يعتمد تصنيف توربينات الرياح على عدة اعتبارات منها محور الدوران وعدد الريش (الشفرات) وطبيعة استقبالها للرياح وتصنيفات أخرى سنستعرضها لاحقاً والغرض من الاستخدام ونظام التشغيل سواء تم ربط التوربينة بالشبكة الكهربية أو تم تشغيلها في المناطق المعزولة عن الشبكة وآيا كان التصنيف فإن الغرض الأساسي في استخدام توربينات الرياح هو تحويل الطاقة الكامنة في الرياح إلى طاقة ميكانيكية أو كهربية ويتم التصنيف كما يلي :-

← حسب محور الدوران:

- **توربينات الرياح الأفقية المحور.**

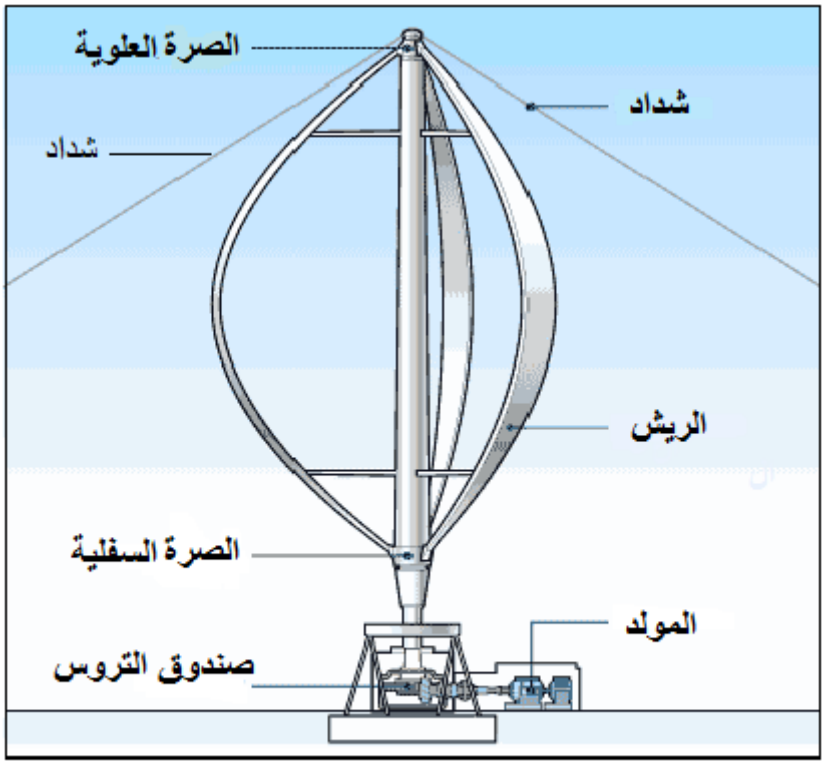
تصنف توربينات الرياح بالنسبة لمحور الدوران إلي نوعين هما توربينات أفقية المحور وتوربينات رأسية المحور والتوربينات الأفقية المحور هي التي يكون محور دورانها موازيا لسطح الأرض ويمكن وضعها إما في مواجهة أو عكس اتجاه الريح وتتميز التوربينات التي توضع في مواجهة الريح "Up Wind" بتأثرها بالرياح بشكل مباشر وهذا النوع من التوربينات هو الشائع الاستخدام، أما التوربينات رأسية المحور فهي التي يكون محور دورانها عمودي علي سطح الأرض، ويمكن استخدام كلا النوعين في توليد الكهرباء وإن كانت التوربينات الرأسية المحور غالبا ما تستخدم في الأغراض الميكانيكية مثل ضخ المياه وحاليا تستخدم توربينات الرياح الأفقية المحور ثلاث ريش كما هو موضح بالشكل (٢٥- أ) علماً بأن بدايات هذا النوع ترجع إلي التوربينة ذات الريشة الواحدة ثم تطورت إلي ريشتين، ويرجع سبب انتشار استخدام الثلاث ريش إلي أن توزيع وتوازن الأحمال علي محور الدوران يكون أفضل من استخدام ريشة واحدة أو ريشتين، ويعد حساب الأحمال الواقعة علي محور الدوران أمرا بالغ الأهمية وتوجد توربينات متعددة الريش إلا أنها غالبا ما تستخدم في ضخ المياه وقد تطورت قدرات التوربينات الأفقية المحور مع مرور الوقت، ففي مصر استخدمت توربينات ذات قدرات ١٠٠ و٣٠٠ كيلوات في المزارع التجريبية التي أنشأت بالغردقة في التسعينات، ثم تطور الأمر لتستخدم توربينات ذات قدرات أكبر بمزارع الزعفرانة، وتستخدم التوربينات الأفقية المحور في توليد الكهرباء.



الشكل رقم (٢٥-أ): نماذج مختلفة لتوربينات أفقية المحور

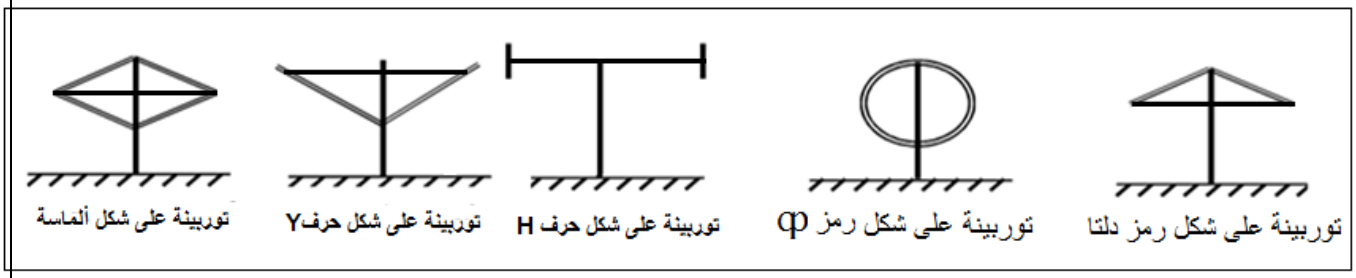
- **توربينات الرياح الرأسية المحور.**

توربينات الرياح العمودية المحور لها محور دوران عمودي يختلف عن التوربينات الأفقية المحور لكونها تستغل الرياح في كافةِ الاتجاهات بدون الحاجة إلى إعادة تنظيم الجزء الدوار عندما يتغير اتجاه الرياح ولها ريش (شفرات) منحنية متصلة من أحد جوانبها بالجزء العلوي من عمود الدوران ، بينما يتصل الجانب الآخر بالجزء السفلي لعمود الدوران ويكون على شكل منحنى يشبه حبل القفز أو شكل خفاقة البيض (مضرب البيض)، كما هو الحال في توربينة داريوس وتنسب هذه التوربينة إلي المهندس الفرنسي "جورج داريوس والذي ابتكرها عام ١٩٣١ كما بالشكل رقم (٢٥- ب) وغالبا ما يزيد عدد الريش عن ثلاثة، والتي عادة ما تستخدم في التطبيقات الميكانيكية مثل ضخ المياه، ويتميز هذا النوع من التوربينات بسهولة عمليات التشغيل والصيانة مقارنة بالتوربينات الأفقية المحور.



الشكل ر قم (٢٥- ب) : مكونات توربينة داريوس

وهذا الشكل كُفْءٌ وملائم لتحمل القوة الطاردة المسلطة على الريش ومع هذا فإن هيئة الريشة المنحنية تسّبب مشاكل في التصنيع والنقل والنصب ولتخطي هذه المصاعب تم اقتراح أنواع عديدة من الحلول منها ريش على شكل حرف (H) أو حرف (V) كما بالشكل رقم (٢٦) وتعتمد فكرة عملها ببساطة على دفع الرياح للريش ومن ثم يدور العمود الرأسي المقترن بالمولد الموجود بأسفل التوربينة فينتج الكهرباء.



الشكل رقم (٢٦) : نماذج مختلفة لتوربينات رأسية المحور

← حسب عدد الريش (الشفرات).

- **أحادية الريشة:**

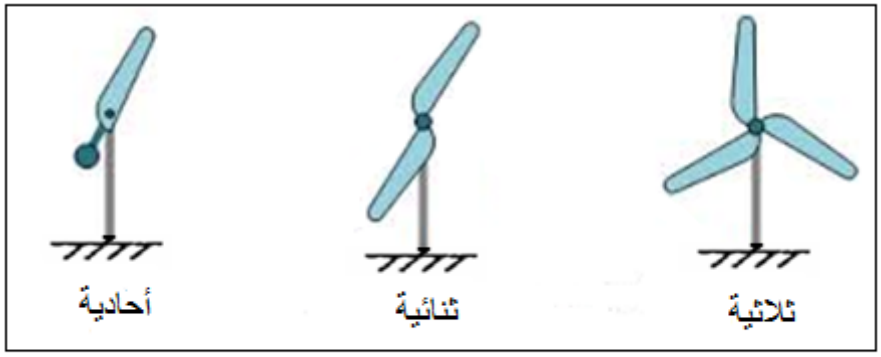
يتميز هذا النوع بسرعة دوران الدوار العالية مما يقلل من نسبة رفع السرعة الدورانية ويحتاج هذا النوع إلى وضع ثقل في الجهة المقابلة للجناح لعمل اتزان في حالة الدوران وتصدر عن هذا النوع ضوضاء عالية نسبياً مقارنةً بالأنواع الأخرى وغالبية هذا النوع ذات قدرات صغيرة، وتستخدم عادة كأنظمة منفردة في المناطق البعيدة عن الشبكة الكهربية.

- **ثنائية الريشة:**

يتميز هذا النوع بقلة تكلفة العضو الدوار وخفة وزنه وسرعة دورانه العالية مما يقلل من نسبة رفع السرعة الدورانية وبالتالي يقلل من تكلفة صندوق التروس ، كما يتميز بسهولة تركيب ا لريش (الشفرات) إذ يمكن تركيبها وهي على الأرض ولكن من عيوب هذا النوع زيادة الحمل على التوربينة نتيجة لارتفاع سرعة الدوران وارتفاع نسبة الضوضاء الصادرة عنها.

- **ثلاثية الريشة:**

وهذا النوع هو الشائع الاستخدام نظراً لما يتميز به من اتزان العضو الدوار وانخفاض نسبة الضوضاء الصادرة عنه وانخفاض الحمل الناتج من دوران العضو الدوار والأنواع الثلاثة موضحة بالشكل رقم (٢٧).



الشكل رقم (٢٧) : نماذج لتوربينات حسب عدد الريش

- **متعددة الريش:**

يتميز هذا النوع بمقدار العزوم العالية والسرعة البطيئة والقدرات المحدودة، لذا تستخدم طاقة الدوران في التطبيقات الميكانيكية كضخ المياه في المزارع بالمناطق الصحراوية والمناطق المعزولة عن الشبكة الكهربية كما هو موضح بالشكل رقم (٢٨).

الشكل رقم (٢٨) : توربينة متعددة الريش

← حسب زاوية مواجهة الرياح للريشة (زاوية الخطوة):

يمكن لتوربينات الرياح أن تعمل عند سرعة ثابتة أو متغيرة فتوربينات السرعة الثابتة استخدمت منذ نشأة التوربينات واستمرت إلى نهاية التسعينات وتزود بمولد يربط بالشبكة مباشرة مع استخدام بادئ سرعة لتقليل استهلاك القدرة غير الفعالة أما توربينات السرعة المتغيرة فمنذ بداية هذا العقد بدأ التخطيط والعمل على إنشاء مزارع الرياح ذات السرعة المتغيرة ويمثل مفهوم هذا التوجه إلى استخدام التوربينات ذات التقنيات فهي مصممة لإنجاز أقصى استفادة ممكنة من الرياح وعلى مدى واسع من سرعات متغيرة وهذا المفهوم يعطى إمكانية للتوربينة للتكيف مع سرعة الرياح (تسارع أو تباطؤ) والنظام الكهربي لهذه التوربينات يزود عادة بمولد تزامنى يرتبط بالشبكة من خلال مبدل قدرة الكتروني والتوربينة ذات السرعة المتغيرة تحقق زيادة في استخلاص الطاقة من الرياح وتحسن الجودة الكهربية وتقلل الاجهادات الميكانيكية على التوربينة ومن مساوئها الفاقد الحاصل من جراء استخدام الكترونيات القدرة واستعمال مكونات أكثر يضيف كلفة أكثر.

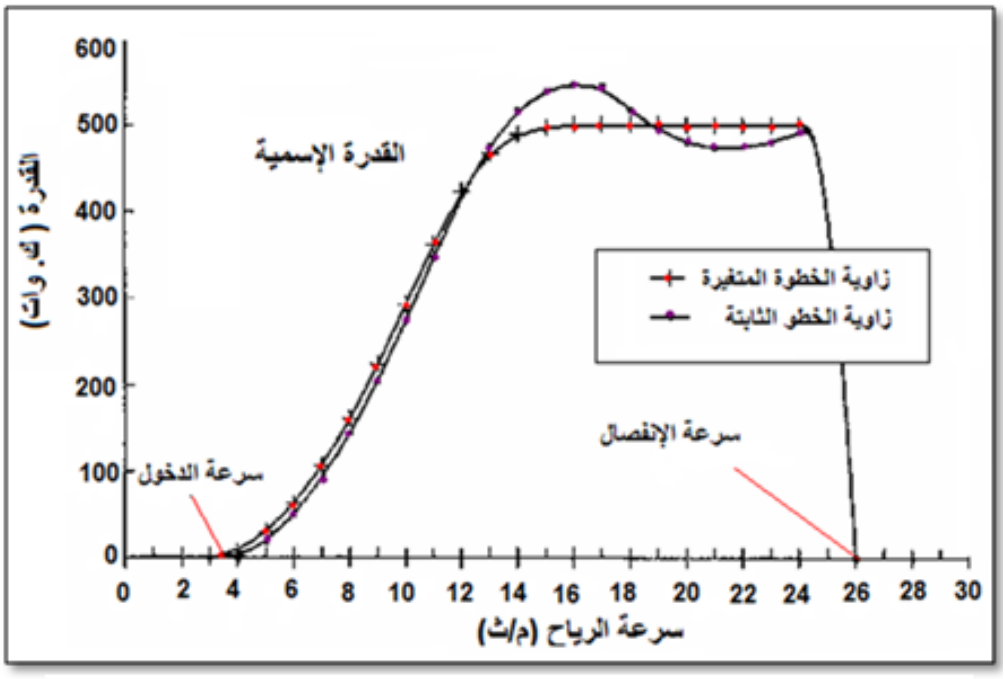
ويعتبر إدخال التوربينات ذات السرعة المتغيرة في مزارع الرياح الكبيرة وربطها بالشبكات الكهربية زاد من عدد أنواع المولدات المستخدمة وأيضا قدم هذا النظام حرية الخيار باستخدام مزيج من أنواع المولدات والمبدلات الالكترونية.

- **زاوية الخطوة الثابتة:**

يعتبر هذا النوع الأكثر والأسهل استخداماً ويتم تثبيت الريشة (الشفرة) بزاوية طبقا لتصميم الريشة الديناميكي الهوائي ويبين الشكل رقم (٢٩) مقارنة بين منحنى القدرة لكلا النوعين السابقين، إذ يمثل المحور الأفقي سرعة الرياح م/ث ويمثل المحور الرأسي القدرة بالكيلو وات.

- **زاوية الخطوة المتغيرة:**

ويتميز هذا النوع بالاستفادة الكاملة من سرعات الرياح المتاحة ، لهذا يحتاج هذا النوع إلى تصميم خاص للتحكم في هذه الزاوية مما يزيد من التكلفة.



الشكل رقم (٢٩) : منحنى القدرة لتوربينة ثابتة الخطوة ومتغيرة الخطوة

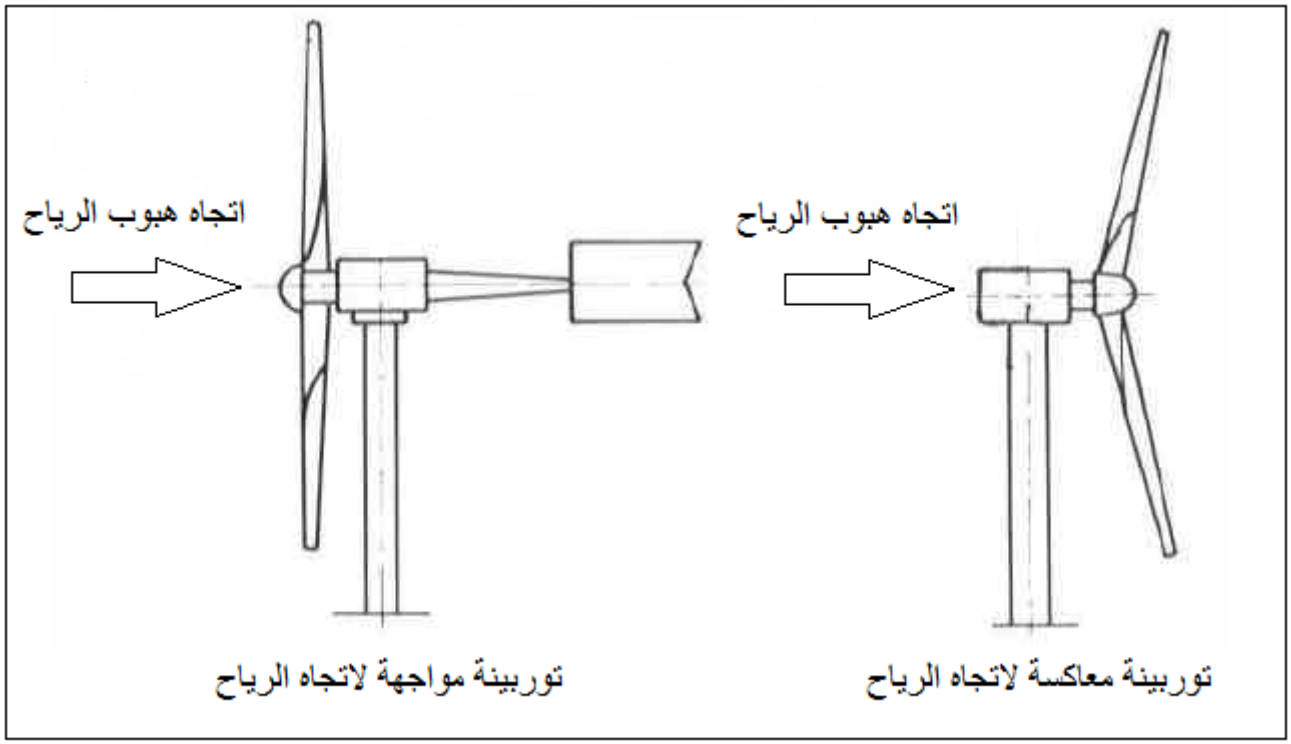
← حسب وضع الريش بالنسبة لاتجاه الرياح:

- **ريش أمامية:**

حيث تكون الريش في مقدمة حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل) فيكون تأثير الرياح مباشرة عليها وهذا النوع هو الأكثر استخداماً في الوقت الحاضر.

- **ريش خلفية:**

حيث تكون الريش في مؤخرة الناسيل مما يؤثر على خواص الرياح المؤثرة على الريش كما في الشكل رقم (٣٠) وهذا النوع قليل جداً في سوق توربينات الرياح.

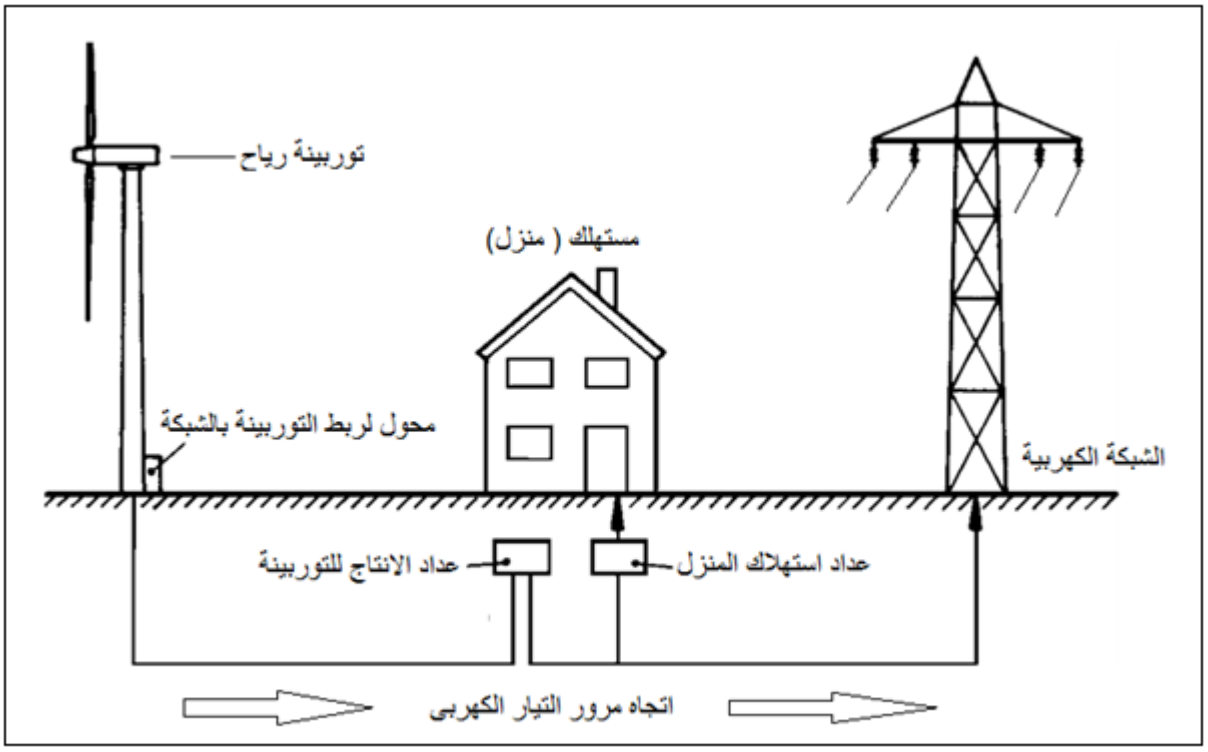


الشكل رقم (٣٠) : توربينات ذات ريش أمامية وأخرى خلفية

← حسب الاتصال بالشبكة الكهربية:

- **متصلة بالشبكة:**

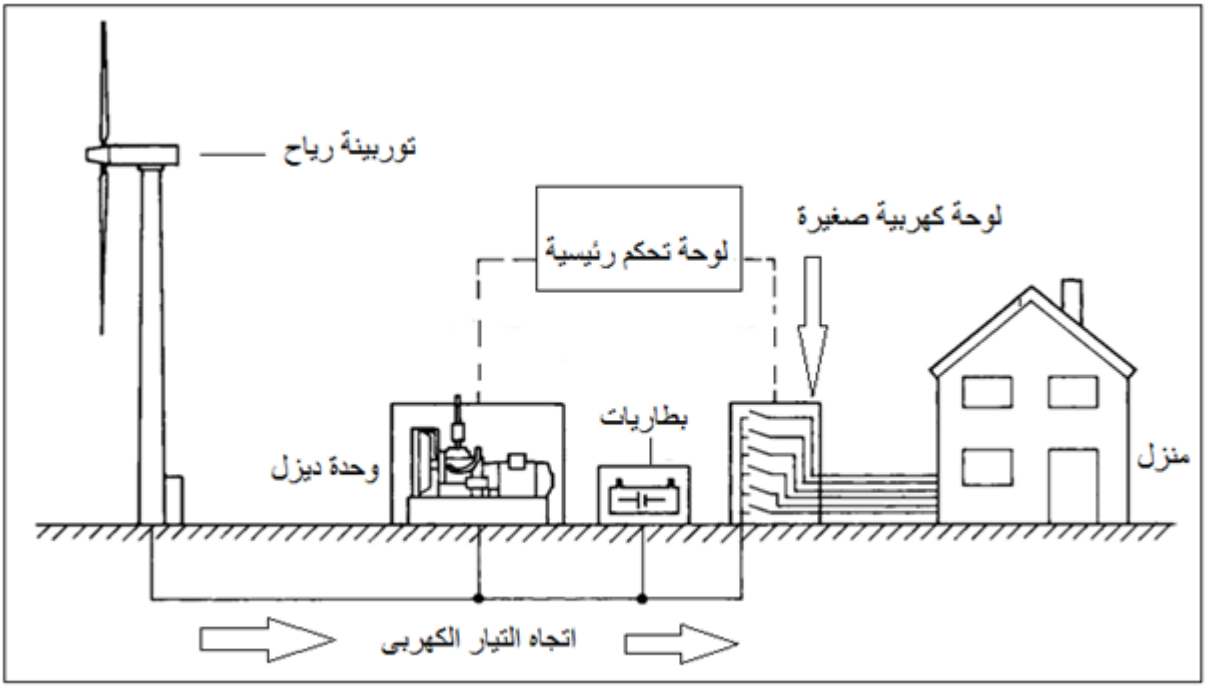
وهذا النوع هو الشائع الاستخدام لما له من مميزات، إذ أنه يمكن توصيل أي عدد من التوربينات بالشبكة الكهربية حيث أنه هو الأساس حالياً في استخدام توربينات الرياح في إنتاج الطاقة الكهربية كما في الشكل رقم (٣١).



الشكل رقم (٣١) : توربينة رياح متصلة بالشبكة الكهربية

- **منفردة:**

هذا النوع ذو قدرات صغيرة ومحدودة، ويستخدم بجانب مصدر توليد كهربائي آخر (النظام المختلط) في المناطق المعزولة عن الشبكة الكهربية وذلك بغرض الحصول على مصدر للكهرباء كما في الشكل رقم (٣٢).



الشكل رقم (٣٢) : توربينة رياح تعمل منفردة

← حسب نوع المولد:

- **مولد حثي:**

يتميز هذا النوع بسهولة ربطه بالشبكة الكهربية وإن كان له تأثير واضح على انخفاض معامل القدرة بالشبكة الكهربية حيث يتم إثارة ملفاته بالقدرة غير الفعالة من الشبكة ويتم تقليل سحب القدرة غير الفعالة من الشبكة عن طريق توصيل مجموعة من المكثفات توصل على التوازي مع المولد لتوليد جزء من تلك القدرة، ولا يبدأ في توليد طاقة كهربية إلا عند سرعة معينة تسمى بسرعة التوليد، لذا تحتاج التوربينات التي تستخدم هذا النوع من المولدات إلى صندوق تروس حتى يرفع سرعة دوران العضو الدوار إلى سرعة التوليد

- **مولد تزامني:**

يتميز هذا النوع بإمكانية التوليد عند السرعات الدورانية المختلفة مما يؤدي إلى عدم الحاجة إلى صندوق تروس وبالرغم من أن هذا يقلل من تكلفة التصنيع إلا أنه يحتاج إلى أجزاء إليكترونية إضافية لتوافق خصائص التوليد (جهد وتردد) مع خصائص الشبكة الكهربية وتحتاج هذه الأجزاء الإليكترونية إلى صيانة دورية للمحافظة عليها وخاصة

← حسب مكان التركيب:

- **توربينات أرضية:**

وهى التي يتم تركيبها على اليابسة سواء أكانت زراعية أو صحراوية وهى تشكل الغالبية العظمى من حيث مكان التركيب والشكل رقم (٣٣) يوضح هذا النوع من التوربينات.

الشكل رقم (٣٣): جانب من التوربينات التى تركب على اليابسة فى اسبانيا

- **توربينات بحرية :**

الرياح البحرية تميل للتدفق بسرعة وقوة أكبرمن الرياح على اليابسة، ذلك لأن خشونة سطح البحر أقل منها عند اليابسة لعدم وجود عوائق أو مصدات تعوق سريان الرياح وعوائق هبوب الرياح أقل وبالتالي فإن ذلك يسمح للتوربينات بتوليد طاقة كهربية بشكل أكبر ويتم تركيب التوربينات على ساحل البحر أو داخل المياه الضحلة وذلك بسبب القيود المفروضة على المواقع المناسبة على اليابسة بسبب الكثافة السكانية والتطورات المتلاحقة والشكل رقم (٣٤) يبين هذا النوع من التوربينات ومن مميزات التوربينات البحرية انخفاض نسبة الضجيج الصوتي حيث أن التوربينات خلال عملها تحدث صوت مزعج والذي يؤدى إلى التسبب بمشاكل للناس الذين يسكنون في المناطق المجاورة للتوربينات، ، لذلك تواجد التوربينات في البحر يخفف من تأثير هذه المشكلة سواء على الإنسان أو الحيوانات التي تعيش في المناطق المجاورة.

الشكل رقم (٣٤) : توربينات تم تركيبها داخل البحر فى الدنمارك

مكونات توربينة الرياح

تتكون التوربينة من الأجزاء التالية كما هو موضح بالشكل رقم (٣٥):

١- العضو الدوار.

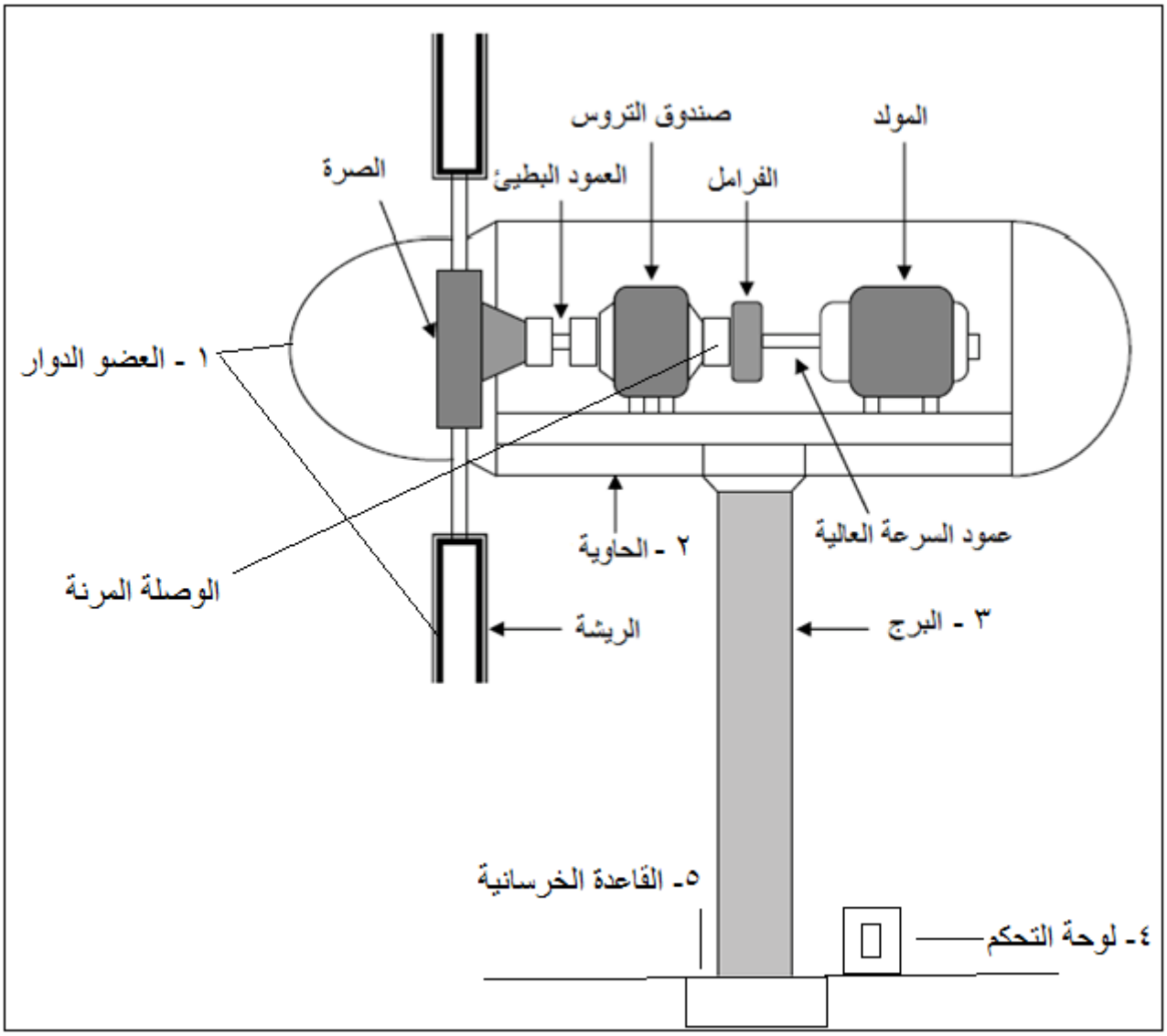
٢- حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل).

٣- البرج.

٤- لوحة التحكم.

٥- القاعدة الخرسانية.

وفيما يلي تفصيل لأجزاء التوربينة المختلفة:

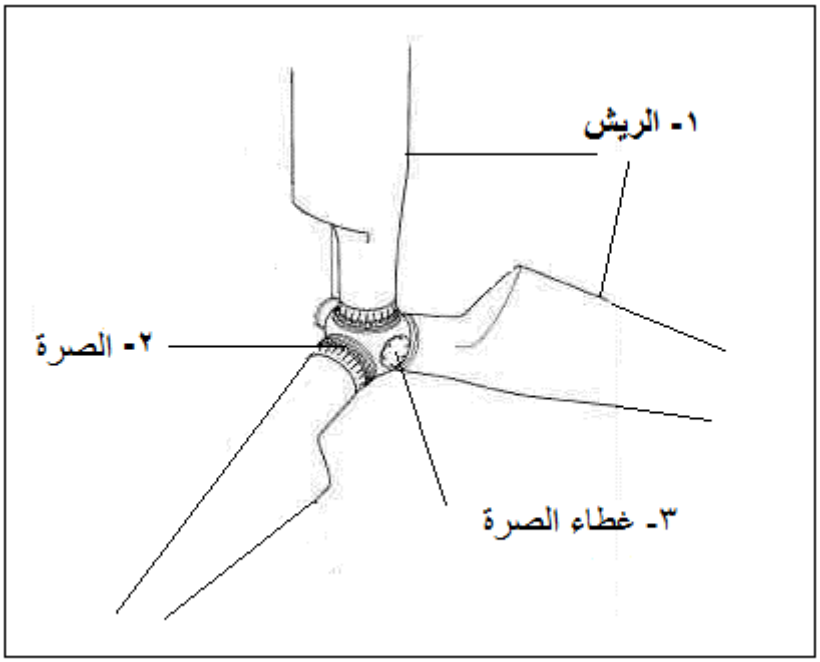


الشكل رقم (٣٥) : مكونات التوربينة الرئيسية

- **العضو الدوار:**

يتكون العضو الدوار من ثلاثة أجزاء رئيسية كما هو واضح بالشكل رقم (٣٦):

١ - الريش (الشفرات) ٢- الصرة ٣- غطاء الصرة.



الشكل رقم (٣٦): مكونات العضو الدوار

- **الريش (الشفرات):**

الغرض من استخدام الريش هو تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى عزم دوران ميكانيكي يؤدى إلى دوران بقية الأجزاء الدوارة وقد أستخدم الخشب قديما في تصنيع الريش وما يزال يستخدم في بعض التوربينات ذات القدرات المحدودة ثم استبدل الخشب بالحديد الصلب ولكن نظرا إلى ثقل وزنه وتكلفته العالية وكذلك تأثيره على الإشارات الخاصة بالإذاعة والتلفاز أصبحت تستخدم الآن الألياف الزجاجية نظراً لخواصها الثابتة على مدى عمر التوربينة وخفة وزنها بينما يصنع جذر الريشة من الصلب.

- **الصرة:**

عادة ما تصنع من الحديد الزهر أو الصلب، ويثبت بها فلانشات يتم ربطها بمسامير لتثبيت الريش (الشفرات) وكذلك فلانشة رئيسية لتثبيتها بمحور الدوران الرئيسي كما في الشكل السابق والغرض منها هو نقل القوى والعزم من الريش إلى محور الدوران الرئيسي.

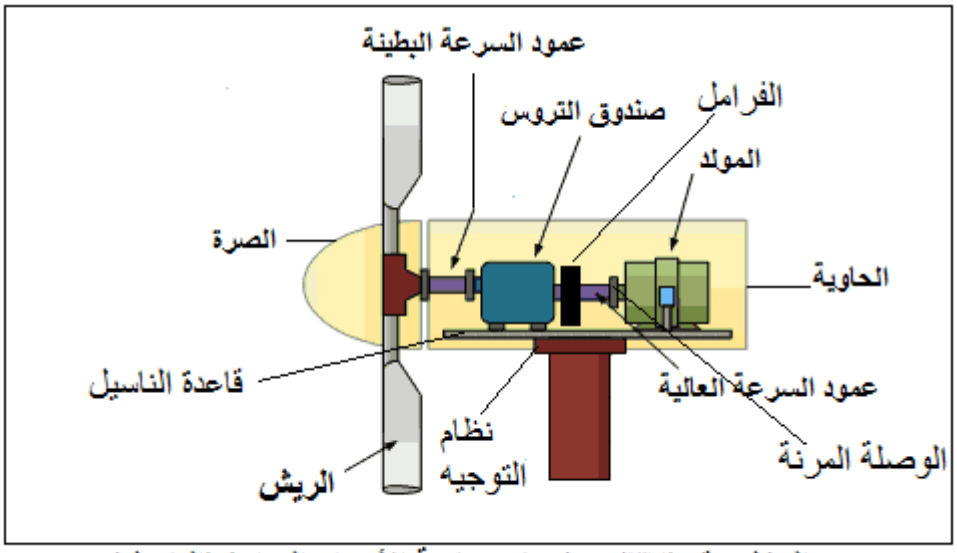
والصرة دائماً ما تكون مجوفة حيث يستخدم هذا التجويف في التوربينات ذات الريش المتغيرة الزاوية لوضع منظومة تغيير الزاوية داخلها أما في التوربينات ذات الزاوية الثابتة فهي تستخدم لوضع المنظومة الخاصة بالفرامل (المكابح) الهوائية بداخله وفي بعض التوربينات يستخدم لتثبيت مجسات قياس سرعة الرياح.

- **غطاء الصرة :**

ويصنع عادة من الألياف الزجاجية، ويستخدم لتغطية الصرة بحيث يساعد على سهولة انسياب الرياح على سطح الريش (الشفرات) وحماية الأجزاء الموجودة بداخله من الأتربة والرمال والأمطار وإعطاء منظر جمالي مقبول للتوربينة.

- **حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل) وأهم محتوياتها:**

وتصنع من ألواح من الصلب أو الألياف الزجاجية، وتحتوي على الأجزاء الآتية كما بالشكل رقم (٣٧) :



الشكل رقم (٣٧) : مكونات حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل)

١- قاعدة حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل).

٢- محور الدوران الرئيسي (عمود السرعة البطيئة).

٣- صندوق التروس.

٤- المكابح الميكانيكية (الفرامل).

٥- نظام التوجيه.

٦- الوصلة المرنة.

٧- المولد.

- **قاعدة الناسيل:**

تصنع من ألواح الصلب المجمعة باللحام، ويثبت في الجزء السفلي منها فلانشة مائلة بواسطة اللحام لتثبيت منظومة توجيه التوربينة، ويتم تصميم القاعدة بحيث تنقل جميع القوى الديناميكية الاجهادات من العضو الدوار إلى البرج.

- **محور الدوران الرئيسي (عمود السرعة البطيئة):**

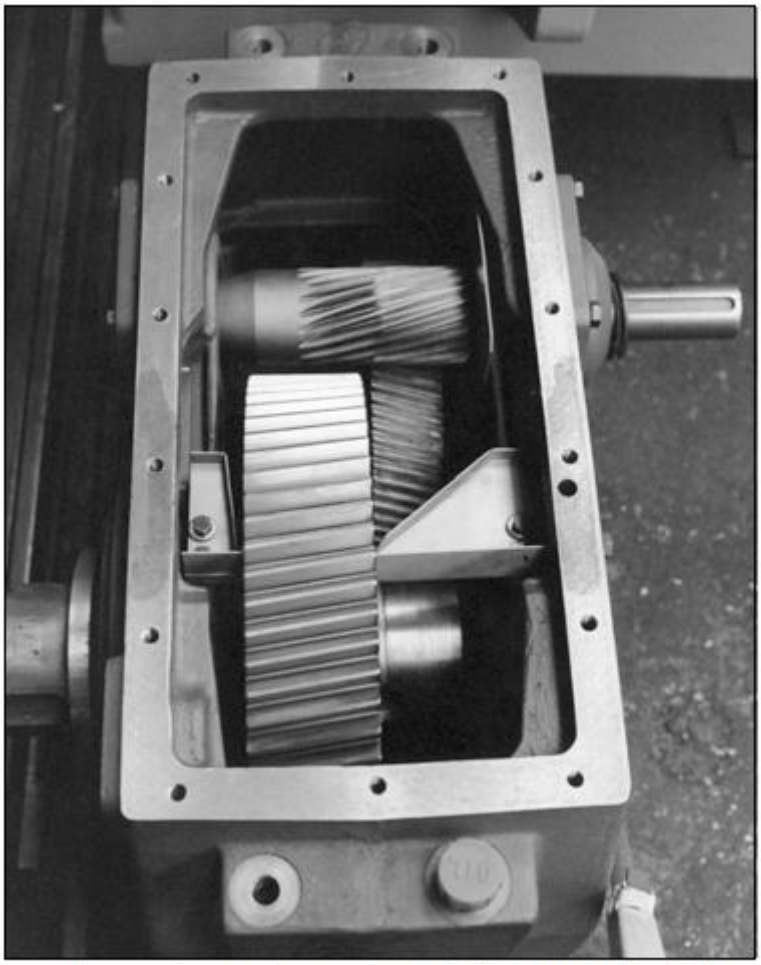
يصنع من الصلب المصمت عالي الجودة، ويوجد في إحدى نهايتيه فلانشة للتثبيت مع فلانشة الدوارن الرئيسية والنهاية الأخرى تثبت مع صندوق التروس ويحمل على كراسي تحميل عالية الجودة كما هو واضح بالشكل رقم (٣٨) حتى تكون قادرة على نقل القوى المحورية والعزم الدورانية إلى قاعدة حاوية

الأجزاء الدوارة ويكون كرسي التحميل الخلفي مثبتاً ليمتص قوى الرياح الأفقية وتغطى كراسي التحميل وعمود الدوار معاً بغطاء من الحديد الزهر، ويكون على هيئة أنبوبة أسطوانية لحمايتهم من الأتربة والرمال وتكون الأغطية الجانبية لكراسي التحميل مزودة بموانع تسرب لحماية الكراسي من دخول الأتربة وكذلك خروج الشحوم.

الشكل رقم (٣٨) : عمود السرعة البطيئة

- **صندوق التروس:**

يصنع الصندوق من الحديد الزهر عالي الجودة، وتصنع التروس من الصلب عالي الجودة وعادة ما يكون صندوق التروس مكونا من مرحلتين آو ثلاث مراحل والغرض من صندوق التروس تحويل العزم العالي عند السرعة البطيئة للعضو الدوار إلى عزم صغير مع سرعة عالية لتشغيل المولد الكهربي ويتم استخدام نوع معين من الزيوت للقيام بعملية التزييت بين التروس طبقا للتصميم الهندسي لصندوق التروس حتى يتحمل درجات الحرارة العالية الناتجة من دوران واحتكاك التروس دون أن تتغير خواصه ويجب أن يتحمل صندوق التروس التشغيل بدون توقف طوال العمر الافتراضي للتوربينة الذي يتجاوز العشرين عاماً والشكل رقم (٣٩) يعطي شكلا توضيحيا لصندوق التروس.



الشكل رقم (٣٩) : مقطع فى صندوق التروس ذو مرحلتين

وتكون نسبة التحويل أو الرفع في صندوق التروس هي حاصل قسمة السرعة العالية (سرعة دوران المولد) على السرعة المنخفضة (سرعة دوران العضو الدوار).

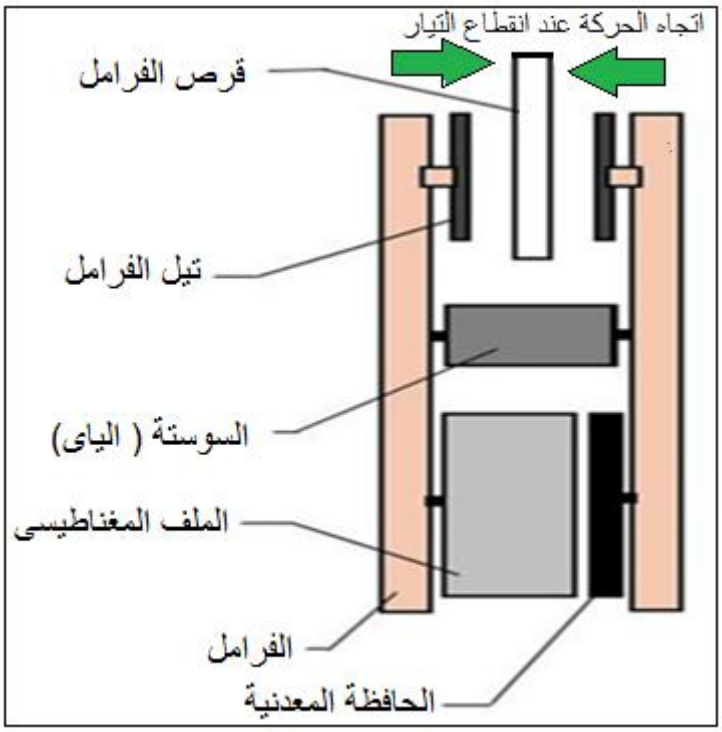
- **الفرامل (المكابح) الميكانيكية:**

الفرامل الميكانيكية كما بالشكل رقم (٤٠) عبارة عن قرص من الصلب عالي الجودة حتى يتحمل درجة الحرارة العالية الناتجة من الاحتكاك بينه وبين الوسائد وتعمل هذه الوسائد (Pads) إما بنظام كهربي أو نظام هيدروليكي ويركب قرص الفرامل إما على عمود العضو الدوار(عمود السرعة البطيئة) أو على العمود الواصل بين صندوق التروس والمولد الكهربائي (عمود السرعات العالية).

الشكل رقم (٤٠) : تركيب الفرامل الميكانيكية

- **نظرية عمل الفرامل الكهربية:**

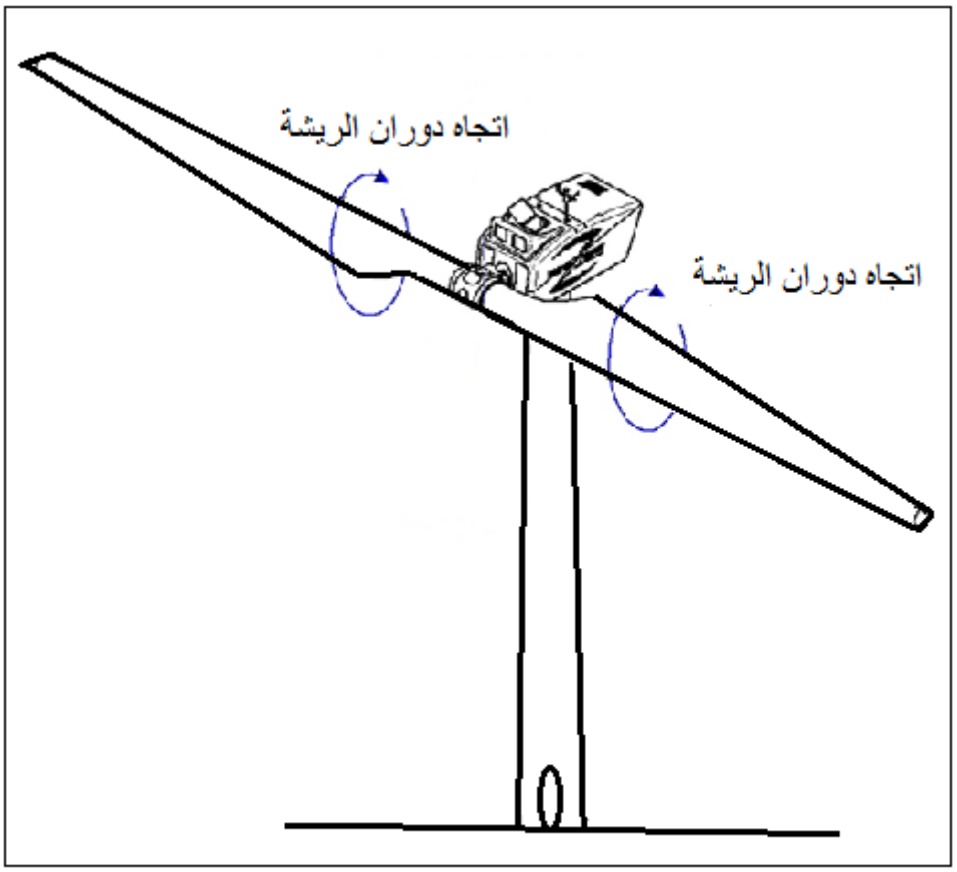
عند انقطاع التيار الكهربي عن الملف المغناطيسي تتحرر الحافظة المعدنية وتقوم السوستة (الياي) بسحب تيل الفرامل إلى الداخل فيتم الضغط على قرص الفرامل حتى يتم إيقاف التوربينة كما بالشكل رقم (٤١).



الشكل رقم (٤١): مكونات الفرامل الميكانيكية

- **الفرامل (المكابح) الهوائية:**

تستخدم الفرامل (المكابح) الهوائية لتقليل سرعة الدوران في حالة التوقف العادي والطارئ بجانب الفرامل الميكانيكية وتستخدم الريش في التوربينات ذات الريش المتغيرة الزاوية ك فرامل (مكابح) هوائية، حيث تلف الريشة حول محورها الطولي بزاوية ٩٠ درجة تقريباً فتنخفض سرعة دوران الجزء الدوار كما هو واضح بالشكل رقم (٤٢- أ).



الشكل رقم (٤٢-أ): استخدام الريش كفرامل هوائية فى الريش متغيرة الزاوية

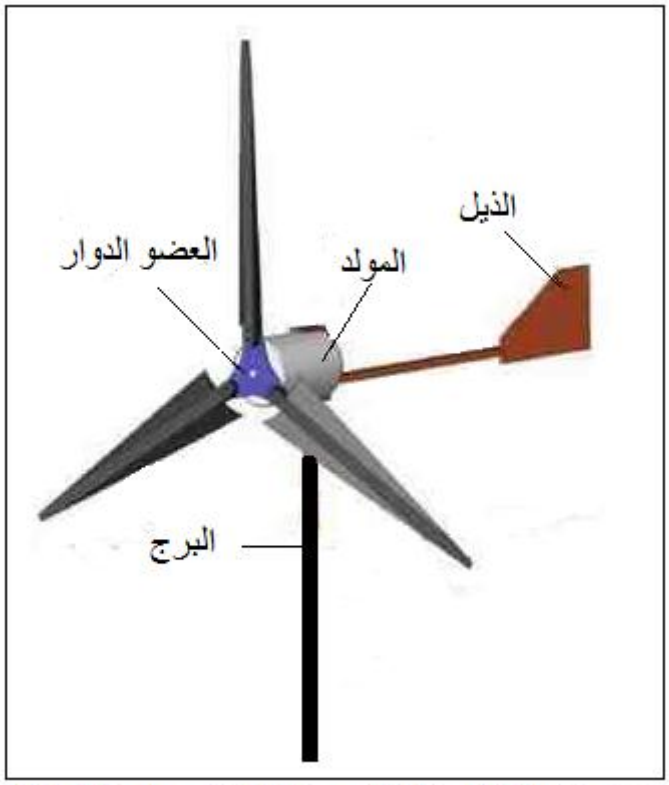
أما في التوربينات ذات الريش ثابتة الزاوية فيستخدم طرف الجناح الأمامي كفرامل هوائية، حيث يلف حول محورا لريشة الطولي بزاوية ٩٠ درجة ليصبح متعامداً معه فتنخفض سرعة الدوران كما في الشكل رقم (٤٢- ب).

الشكل رقم (٤٢- ب) : الفرامل الهوائية فى نهاية الريشة

- **نظام التوجيه.**

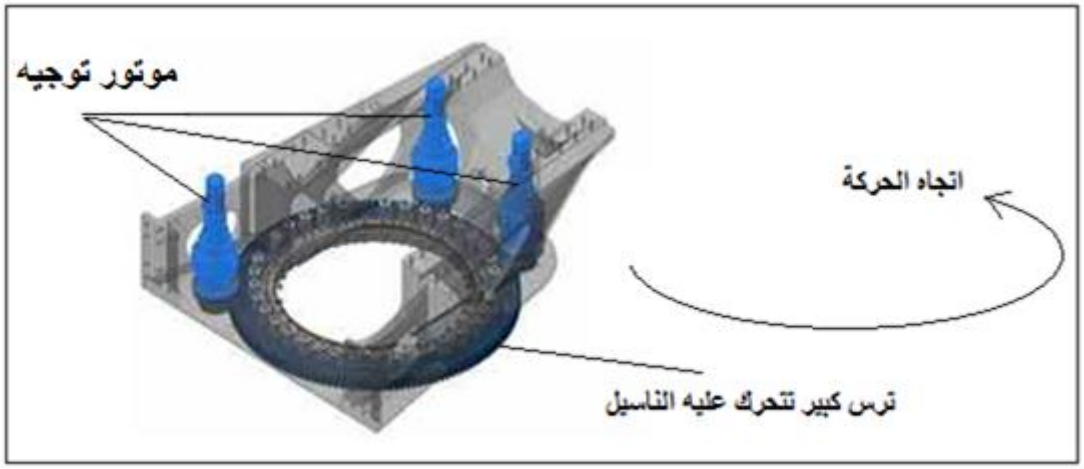
هناك نوعان من أنواع التوجيه بالتوربينات يتمثل في:

- **نوع ميكانيكي:** هي عبارة عن ذيل يشبه دفة السفينة في مؤخرة الناسيل وتستخدم في التوربينات الصغيرة جداً و توربينات ضخ المياه والتي لا تحتوى على وحدة فرامل ميكانيكية أو كهربية حيث يستعان بهذا الذيل فى توجيه التوربينة ناحية اتجاه الرياح كما في الشكل رقم (٤٣).



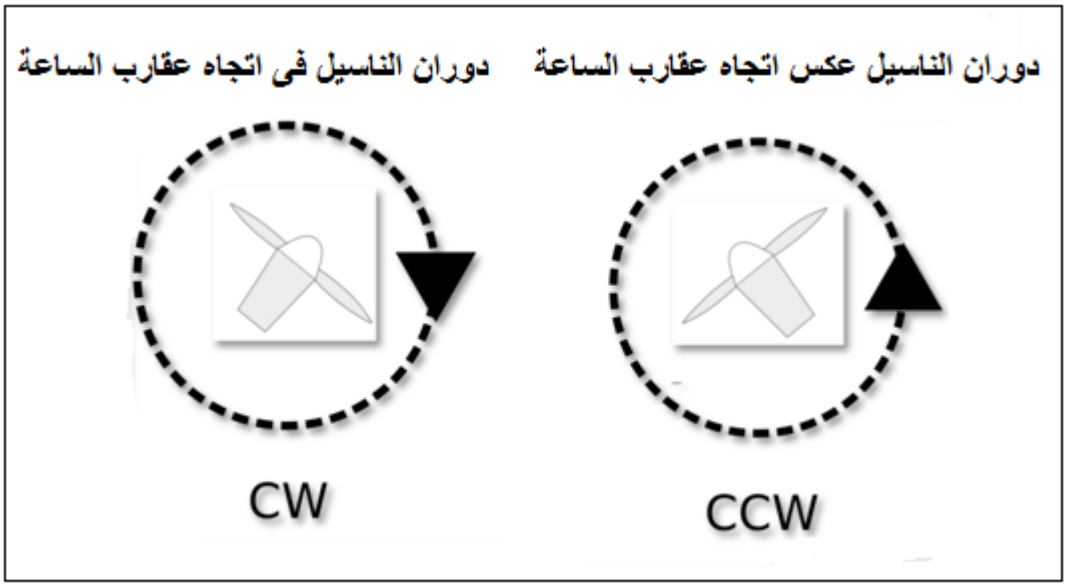
الشكل رقم (٤٣) : نظام التوجيه الميكانيكى باستخدام الذيل

- **نوع كهروميكانيكى:** وهو عبارة عن منظومة تقوم بتحريك الناسيل في اتجاه الرياح وتتكون المنظومة من:
  - **حساس اتجاه الرياح:** يعطى إشارات تبين اتجاه الرياح.
  - **موتور التوجيه :** يقوم بتحريك الناسيل إلى اتجاه الرياح الفعلي.
  - **فرامل التوجيه:** تقوم بالحفاظ على ثبات الناسيل أثناء الدوران.
  - **مجموعة التوجيه:** تزيد من عزم الدوران وتقنن من سرعة الدوران الناسيل لتفادى حدوث إجهادات أثناء الدوران وحتى تتجه ناحية اتجاه الرياح الصحيح.
  - **ترس التوجيه:** هو ترس داخلي كبير يربط بين الناسيل و البرج و يتحرك الناسيل من خلاله حيث يسمح نظام التوجيه بدوران الناسيل للتوجيه دائما في اتجاه الرياح بناء على إشارة من دوارة الرياح الموجودة أعلى الناسيل ليتم دفع الناسيل دائما في اتجاه الرياح كما بالشكل رقم (٤٤) وذلك لتحقيق الاستفادة القصوى من الطاقة الكامنة في الرياح.



الشكل رقم (٤٤): موتور التوجيه وترس الحركة

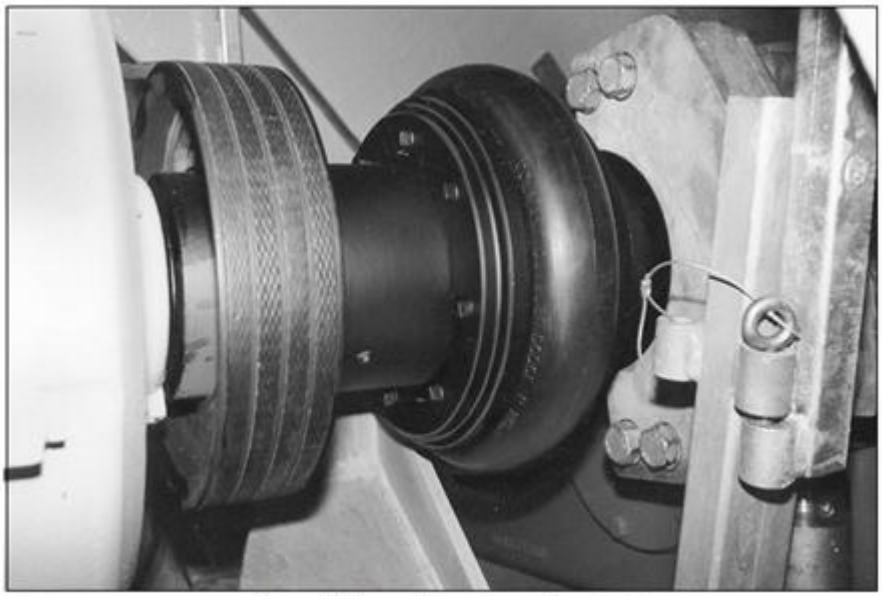
ويعتمد هذا النظام على توربينات تستخدم نظام توجيه واحد (يمين ويسار فى نفس الوقت) وأخرى تستخدم نظامين للتوجيه أحدهما يمين والآخر يسار كما بالشكل رقم (٤٥).



الشكل رقم (٤٥) : اتجاه دوران الناسيل

- **الوصلة المرنة:**

وتستخدم هذه الوصلات للربط بين بعض أجزاء التوربينة، حيث توجد وصلتان بين صندوق التروس والمولد الكهربائي والغرض منها حماية أجزاء التوربينة لقدرتها على امتصاص الأحمال المفاجئة والصدمات، وتسمح بإزاحات زاوية نصف قطرية لمحاور الدوران وأجزاء التوربينة والشكل رقم (٤٦) يوضح الوصلة المرنة.



الشكل رقم (٤٦) : الوصلة المرنة

- **المولد الكهربائي:**

يعتبر المولد الحثي من المولدات الأكثر استخداما في توربينات الرياح ويكاد يكون استخدامه في الحياة العملية قاصرا عليها، ولعل الشيء الهام أن هذا المولد قد صمم في الأصل كموتور لذا فهو يستخدم ملفات ينشأ عنها مجال مغناطيسي عند تزويدها بالكهرباء في بداية عمل المولد وذلك بدلا من الأقطاب المغناطيسية المستخدمة في المولد التزامني، كما يتميز برخص سعره مقارنة بالمولد التزامنى.

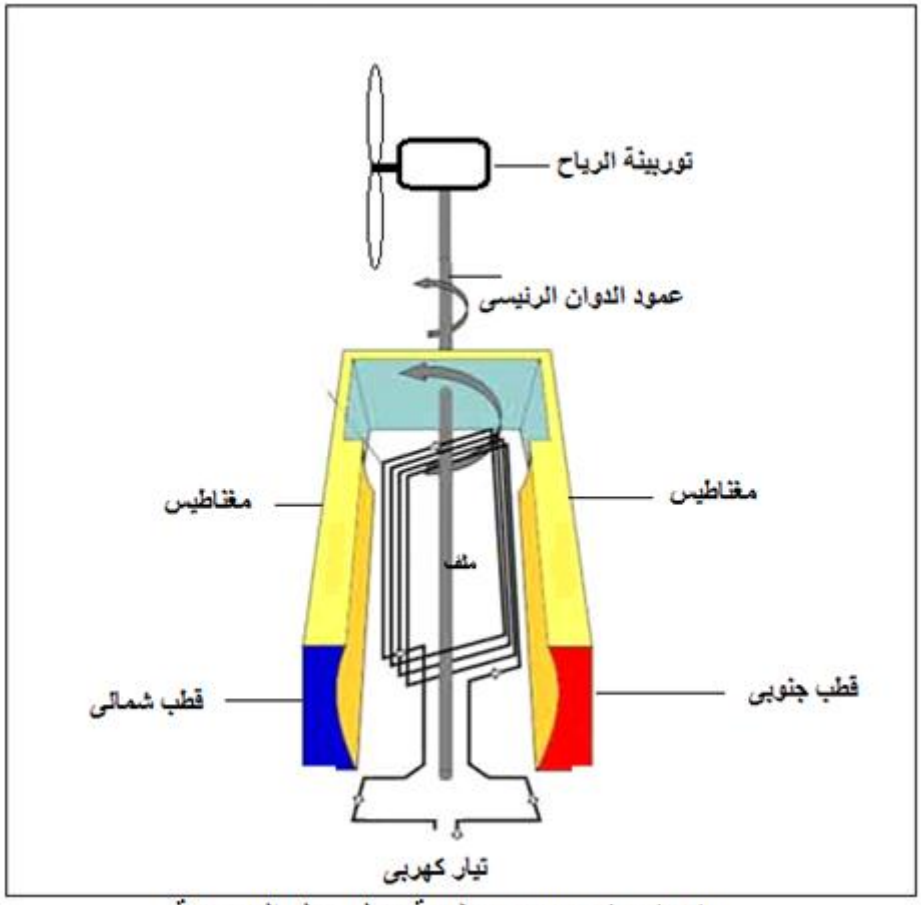
وعادة ما تستخدم التوربينات مولدات تعتمد علي أربع أو ست ملفات، ويرجع هذا إلي أن السرعة العالية في الدوران تقلل حجم المولد وتكلفته، حيث أن عدد الأقطاب يتناسب تناسبا عكسيا مع سرعة الدوران التي يبدأ عندها توليد الطاقة الكهربية.

وغالباً ما تستخدم المولدات من النوع الحثي في المراوح المرتبطة بالشبكة الكهربية، ويربط بها مكثفات كهربية لتحسين معامل القدرة وتقليل القدرة غير الفعالة المسحوبة من الشبكة الكهربية كما يمكن استخدام مولد واحد أو أكثر طبقا للتصميم الهندسي للتوربينة ويتكون المولد من الأجزاء الآتية من :

١ – العضو الدوار ٢ – الجزء الثابت ٣ – كراسي التحميل ٤ – مروحة التبريد ٥ – الجسم.

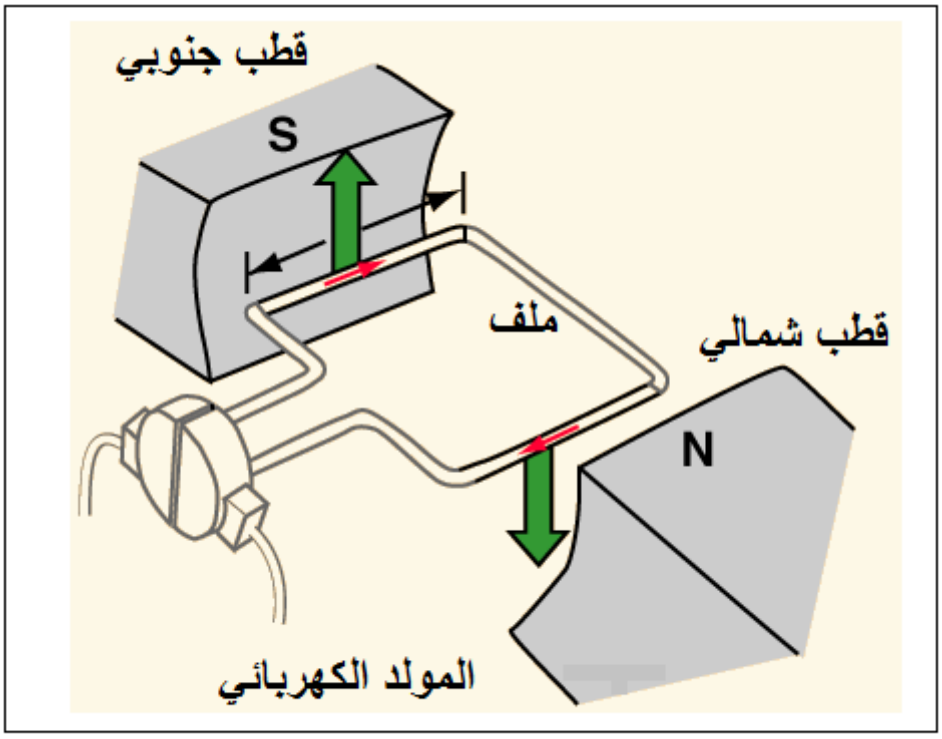
- **نظرية عمل المولد:**

توصل التوربينة من خلال عامود الدوران الرئيسي مع مولد يحتوي علي مجال مغناطيسي كبير وبدوران التوربينة يدور العمود الرئيسي فيقطع الملف المجال المغناطيسي فنحصل علي التيار الكهربي، أي أن المولد يحول الطاقة الميكانيكية إلي طاقة كهربية من خلال إدارة ملف في وجود مجال مغناطيسي، كما في الشكل التالي رقم (٤٧).



الشكل رقم (٤٧) : نظرية عمل مولد التوربينة

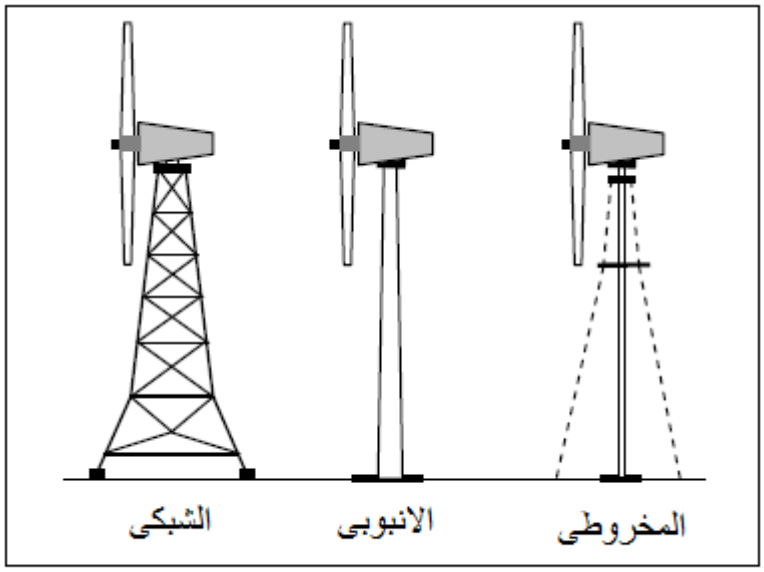
والشكل رقم (٤٨) يمثل الدائرة الكهربية المكافِئة للمولد.



الشكل رقم (٤٨) : الدائرة الكهربية للمولد

- **البرج:**

يُصنع من الحديد المعالج حراريا أو الخرسانة ليتحمل مكونات الحاوية والتي يصل وزنها إلي قرابة الثلاثين طن، ويمثل البرج حوالي ٢٠% من ثمن التوربينة ويمكن أن تختلف ارتفاعات الأبراج لنفس طراز التوربينة مما يؤدي للحصول علي طاقة أكبر من التوربينات ذات الأبراج العالية (نظرا لزيادة سرعة الريح مع ارتفاع التوربينة)، وإلي جانب احتواء الحاوية والبرج علي مكونات القوي الكهربية ومعدات التحكم المستخدمة في تشغيل ومراقبة أداء التوربينات، فإن الحاوية تحول الأحمال الهيكلية إلي البرج ويأخذ البرج البناء الشبكي أو البناء الأسطواني أو المخروطي كما بالشكل رقم (٤٩).



الشكل رقم (٤٩) : أنماط مختلفة من الأبراج

- **لوحة التحكم الرئيسية:**

ومن خلالها يتم التحكم في تشغيل التوربينة وتحتوي على الأجزاء الرئيسية مثل :

١- المفتاح الرئيسي لربط التوربينة بالمحول.
٢- مجموعة تحسين معامل القدرة (مكثفات وملفات).
٣- المحولات الخاصة بتغذية دوائر التحكم والوقاية للتوربينة.
٤- دوائر التحكم والوقاية (دائرة التحكم في دخول التوربينة على الشبكة - الدائرة الخاصة بتوجيه التوربينة في اتجاه الرياح....،.....،....).
٥- دوائر لنقل البيانات (الجهد – التيار – درجة الحرارة.....) إلى الحاسب الخاص بالتوربينة الملحق بلوحة التحكم الرئيسية كما هو واضح بالشكل رقم (٥٠).

الشكل رقم (٥٠) : لوحة التحكم

- **لوحة التشغيل:** وهى التي تقوم بمراقبة ومتابعة وظائف التوربينة وظروف التشغيل المختلفة وكذلك التحكم عن بعد من خلال غرفة التحكم المركزي للتوربينات وفق برنامج مخصص لذلك بالحاسب الآلي بغرفة التحكم والشكل رقم (٥١) يبين لوحة التشغيل .

الشكل رقم (٥١) : لوحة التشغيل

- **القاعدة الخرسانية:**

تصنع قاعدة التوربينة من الخرسانة المسلحة وفق حسابات وتصميمات معينة، ويوضع بداخلها فلانشة خاصة لتثبيت برج التوربينة عليها كما بالشكل رقم (٥٢) ويؤخذ في الاعتبار عند تصميمها الأحمال الديناميكية للتوربينة، وتعمل على نقل الأحمال والعزم من البرج إلى الأرض.

الشكل رقم (٥٢) : تنفيذ القاعدة الخرسانية

وتكون خطوات الإنشاءات كالتالي:

١- حفر الأرض بالأبعاد المحددة.

٢- تنفيذ الهيكل الحديدي للقاعدة بواسطة متخصصين.

٣- تثبيت جوايط التثبيت (المسامير) مع الهيكل الحديدي.

٤- عمل مجارى (فتحات) لدخول الكابلات الكهربية وكابلات الإشارة.

٥- تنفيذ عملية صب الخرسانة.

٦- بعد الانتهاء من تنفيذ الهيكل الحديدي يتم تغطية القاعدة بطبقة رملية تمهيدا لتركيب التوربينة عليها.

المفاهيم الأساسية لتشغيل التوربينة

- **خطوات تشغيل التوربينة:**

مع التطور المستمر في صناعة التوربينات توصل القائمون على الصناعة في هذا المجال إلى إمكانية التحكم في أداء وتشغيل هذه الأنظمة عن طريق حاسب آلي يصنع خصيصا ليعمل على التحكم ذاتيا في تشغيل هذه الأنظمة واستمرار عملها بصورة آمنة كما يمنح الحاسب إمكانية التحكم اليدوي كالإيقاف والتشغيل والتوجيه.

ولما كان هذا الحاسب يعمل ببرنامج خاص كان من الضروري وضع أجهزة قياس مختلفة الوظائف لتغذية هذا البرنامج بما يحتاج إليه من بيانات (data) تتيح عملية المقارنة بين البيانات المرسلة من خلال هذه

الأجهزة والبيانات الأولية المخزنة بالبرنامج (Setting data) مما يسمح لهذا الحاسب بالقيام بعملية التحكم في إيقاف التوربينة أو استمرار عملها وبالإضافة إلى استخدام الحاسب للبيانات المرسلة من أجهزة القياس للتحكم في المروحة فإنه يعطي القدرة على استعراض هذه البيانات من خلال شاشة خاصة تمكن المستخدم من قراءة بعضها لدراستها وتحليلها وقت الحاجة لتقييم أداء التوربينة كذلك يمكن لهذا الحاسب عرض العطل الفعال مع تاريخ وساعة حدوثه مع الاحتفاظ بعدد مرات تكرار الأعطال المختلفة منذ بداية تشغيل التوربينة.

ومع تعدد وظائف أجهزة وحساسات القياس يمكن تصنيفها كالآتي:

- ✓ حساسات لقياس خواص الرياح (سرعة الرياح - اتجاه الرياح).
- ✓ حساسات لقياس سرعات الدوران (سرعة دوران المولد - سرعة دوران العضو الدوار).
- ✓ حساسات لقياس درجات حرارة بعض أجزاء التوربينة (المولد - صندوق التروس- لوحة التحكم الرئيسية...الخ).
- ✓ حساسات لقياس ضغوط الأنظمة الهيدروليكية وأداء الفرامل بأنواعها.
- ✓ حساسات للتحكم في اهتزاز المروحة وعصر الكابلات.
- ✓ أجهزة قياس خواص الشبكة الكهربية (الجهد - التيار - التردد - الطاقة الفعالة وغير الفعالة).

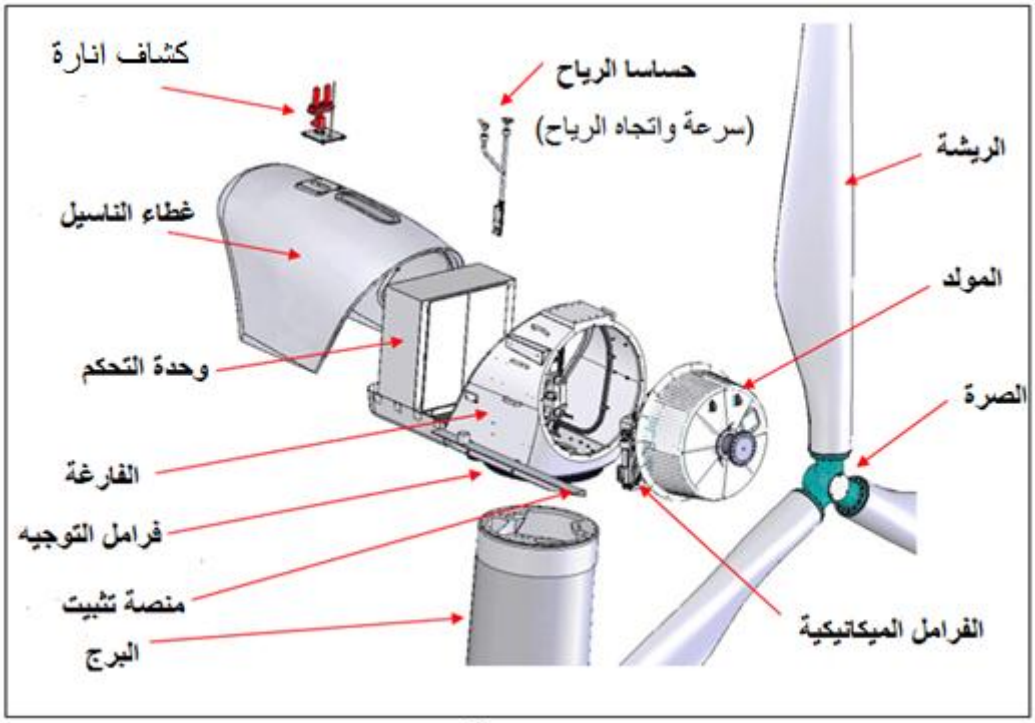
■ وظيفة الحساسات والأجهزة الموجودة بالتوربينة:

- حساس سرعة الرياح:

ويثبت أعلى حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل)، ويقوم بقياس سرعة الرياح وفي حالة السرعات العالية (٢٥ م/ث لمدة عشرة دقائق) تقف التوربينة ذاتياً كما بالشكل (٥٣) وتعرف هذه السرعة بسرعة خروج التوربينة وعندما تقل هذه السرعة تعمل التوربينة ذاتيا من جديد وبصفة عامة تكون سرعة بداية التوليد عند التوربينة حوالي ٣.٥ م/ث إلى ٤ م/ث.

- حساس اتجاه الرياح.

ويقوم بتحديد اتجاه الرياح بالنسبة إلي المحور المركزي للناسيل ويثبت بجوار حساس سرعة الرياح، ويتم توجيه الناسيل تبعا للإشارة القادمة إليها من حساس اتجاه الرياح والمرسلة إلى الحاسب ولا تتم عمليات التوجيه إذا قلت سرعة الرياح عن ٣ م/ ث.



الشكل رقم (٥٣) : حساس سرعة الرياح والإتجاه فوق الناسيل

- **حساسا قياس سرعة الدوران:**

ويكون أحدهما خاصا بقياس سرعة دوران المولد ويقوم الحاسب من خلال الإشارات المرسلة من هذا الحساس بتحديد لحظة الدخول على الشبكة (Cut in) ولحظة الخروج (Cut out) ويقوم الآخر بقياس سرعة العضو الدوار.

ويقوم الحاسب بربط السرعتين باستمرار تبعا لنسبة الرفع الخاص بصندوق التروس المحددة بالبرنامج حتى تتم مراقبة الأداء وإيقاف التوربينة في الحال في حالة حدوث زيادة لسرعة المولد أو العضو الدوار عن الحد المطلوب.

- **حساسات قياس درجات حرارة بعض أجزاء التوربينة :**

وتنتشر هذه الحساسات في أماكن عديدة بالتوربينة وتعطي إشاراتها للحاسب في حالة ارتفاع درجة الحرارة في أحد هذه الأجزاء عن الحد المسموح به تقف التوربينة ذاتيا، وتوضع هذه الحساسات بصندوق التروس لقياس درجة حرارة الزيت الخاص به وبكراسي تحميل المولد الأمامية والخلفية وعلى ملفات المولد وعند الفرامل وبكراسي تحميل السرعة البطيئة وفى لوحة التحكم.

- **حساسات قياس ضغوط الأنظمة الهيدروليكية:**

وتقوم بقياس الضغوط المختلفة بالدوائر الهيدروليكية الخاصة بالفرامل الميكانيكية والهوائية المستخدمة فى أنظمة الإيقاف (الفرامل).

- **حساس عصر الكابلات :**

في حالة دوران حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل) حول محور البرج أكثر من ثلاث لفات يعطي هذا الحساس إشارة إلى الحاسب لإيقاف التوربينة وذلك حفاظاً على سلامة الكابلات كما بالشكل رقم (٥٤).

الشكل رقم (٥٤) : حساس عدد اللفات

- **حساس الاهتزاز:**

في حالة تعرض التوربينة لاهتزازات يعطي هذا الحساس إشارة إلى الحاسب لإيقاف التوربينة ويثبت هذا الحساس في مؤخرة التوربينة كما بالشكل رقم (٥٥) فإذا ما اهتزت الناسيل بسبب ارتفاع سرعة الرياح يهتز ذراع الحساس فيتم إغلاق الدائرة وتتوقف التوربينة.

الشكل رقم (٥٥) : حساس الإهتزاز

- **تشغيل نظام الفرامل:**

يعتمد العمل في نظام الفرامل على ما يعرف بنظام الأمان الكامل وهو أن يكون الوضع العادي للفرامل في حالة فعالة وعند التشغيل يتم فتح الفرامل ويقوم الحاسب بإيقاف التوربينة عند حدوث أي خلل بأي جزء من أجزاء التوربينة.

يقوم الحاسب عند بداية تشغيل التوربينة بمراجعة جميع البيانات المرسلة إليه من خلال الحساسات المثبتة بأجزاء

التوربينة وأجهزة القياس الخاصة بالشبكة الكهربية للتأكد من توافقها مع بيانات البرنامج المصمم لعملية التشغيل فإذا ما وجدت هذه البيانات متوائمة يقوم الحاسب بإعطاء إشارة بدء التشغيل (start) حيث تتم عملية التشغيل كالآتي:

- ✓ توجيه حاوية الأجزاء إلى اتجاه الرياح طبقا للإشارة المرسلة إليه من حساس اتجاه الرياح).
- ✓ فتح فرامل (مكابح) الإيقاف للسماح بدوران العضو الدوار.
- ✓ مراجعة قيمة سرعة دوران المولد الآتية من إشارة حساس سرعة دوران المولد حتى تصل إلى سرعة التزامن الخاصة بالتوليد وبعدها يتم ربط التوربينة بالشبكة عن طريق إعطاء الحاسب إشارة إلى الجزء الكهربي الخاص بعملية الربط الآمن للتوربينة بالشبكة وهو وحدة الثايرستور حيث أن وظيفة الثايرستور هي أن يقوم بإمرار التيار الكهربي بقيمة محددة وبالتالي يمنع التيار الكهربي من الاندفاع بقيمة كبيرة جدا في بداية توصيل التوربينة بالشبكة الكهربية والذي بعده يتم ربط التوربينة بالشبكة عن طريق الموصل الرئيسي حيث تكون التوربينة في حالة التوليد العادية.

مفاهيم ذات صلة بتوربينات الرياح

- **الإمكانيات المتاحة لطاقة الرياح:**

بعد مسح المساحة الكلية على سطح الكرة الأرضية للمناطق المناسبة لنصب توربينات الرياح فيها قام بعض العلماء في عام ١٩٩١ بتقدير الإمكانيات النظرية المتاحة في العالم في هذه المناطق فكانت ٢٠ ألف تيرا وات – ساعة في السنة وهذه تعادل ضعف الاستهلاك العالمي للطاقة الكهربية في عام ١٩٨٧والذى كان ٩٠٠ تيرا وت - ساعة (ا تيرا وات = 10^{12} وات) وبعد الأخذ في الاعتبار المحددات المختلفة التي تواجه نصب مثل هذه المنظومات توصل هذا الفريق من علماء الطاقة إلى انه يمكن نصب توربينات رياح بسعة ٤٥٠ جيجا وات (ا جيجا وات= 10^{9} وات) حتى عام ٢٠٢٠ وهذه الكمية ستقوم بتوليد ما يقارب من ٩٠٠ تيرا وات - ساعة في السنة وهو ما يعادل ١٠% من الاستهلاك العالمي للطاقة الحالي أو ٣.٥ % من الاستهلاك المتوقع في عام ٢٠٢٠ طبقا لتقدير مجلس الطاقة العالمي وهذه الكمية المولدة ستمنع انبعاث حوالي ٨٠٠ مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكربون لو أن توليد الطاقة الكهربية تم من المحطات التي تستخدم الفحم الحجري.

لقد بينت جمعية طاقة الرياح الأوربية أنه بالإمكان توليد ١٠ % من الطاقة الكهربية المستهلكة في دول أوربا في عام ٢٠٣٠ مستخدمة توربينات رياح بسعة ١٠٠ ميجا وات موزعة في أوروبا على مساحة مقدارها ٥٤٠٠ كيلو متر مربع وأن ٩٩ % من هذه المساحة يمكن استخدامه لأغراض الزراعة ، بينما المتبقي (١ %) هو المساحة اللازمة لتشييد قواعد توربينات الرياح وإنشاء والطرق وغيرها .

- **التأثيرات البيئية لاستخدام طاقة الرياح:**

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

- **الفوائد البيئية:**

إن توليد الطاقة الكهربية 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 ٩٥% 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 ٤٤٠ إلى ٤٦٠ 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.

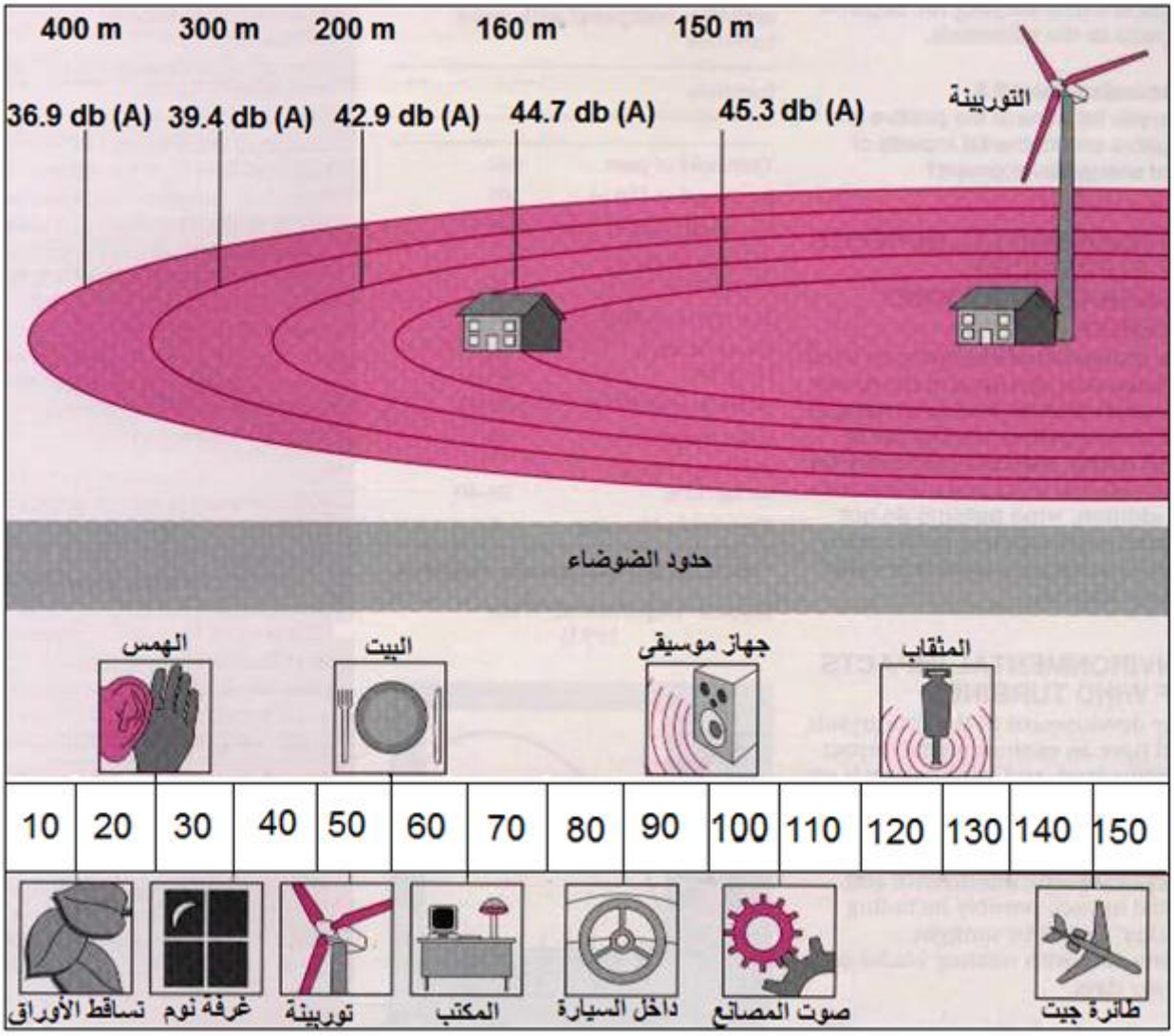
- **المساوئ البيئية المكتسبة:**

المشاكل البيئية الناتجة عن استخدام منظومات طاقة الرياح هي الضجيج، والتداخل الكهرومغناطيسي ، والتأثيرات البصرية كانعكاسات أشعة الشمس من شفرات التوربينات أثناء دورانها ومخاطر اصطدام الطيور المهاجرة بها وتفصيلها كالتالي :

أ- 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 ويوجد نوعان للضجيج أولهما يصدر من المعدات الكهربية والميكانيكية المستخدمة في تقنية طاقة الرياح كصندوق التروس والمولد ، وهذا يسمى بالضجيج الميكانيكي أما ثانيهما فهو ناتج من تداخل تيار الهواء مع الشفرات ويسمّى" بالضجيج الايروديناميكي ".

والضجيج الميكانيكي هو المشكلة الرئيسيّة ولكن من السهل تخفيضه باستخدام مجمع تروس أكثر هدوءاً أو وضع الأدوات الميكانيكية في هياكل معزولة لتخفيف الصوت أما الضجيج الايروديناميكي فيعتمد على شكل الشفرة (الريشة) ، والتداخل بين الهواء والشفرة والبرج ، وحافة الشفرة ورأسها وعلى كون الشفرة تعمل أو ساكنة ، ونوعية الرياح ويزداد الضجيج الايروديناميكي عادة مع سرعة الدوران ، ولهذا فإن قسماً من التوربينات يكون مصمماً 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 وفي الدنمارك فإن القوانين تنص على أنه لا يمكن نصب توربينات الرياح في المناطق السكنية إذا كان الضجيج الصادر منها يزيد عن 40 dB وفى المملكة المتحدة فإن حدود الضجيج في المناطق القريبة من الطرق يجب ألا تزيد على 68 dB ويبين الشكل رقم (٥٦) مسار الضجيج الصادر من إحدى توربينات الرياح.



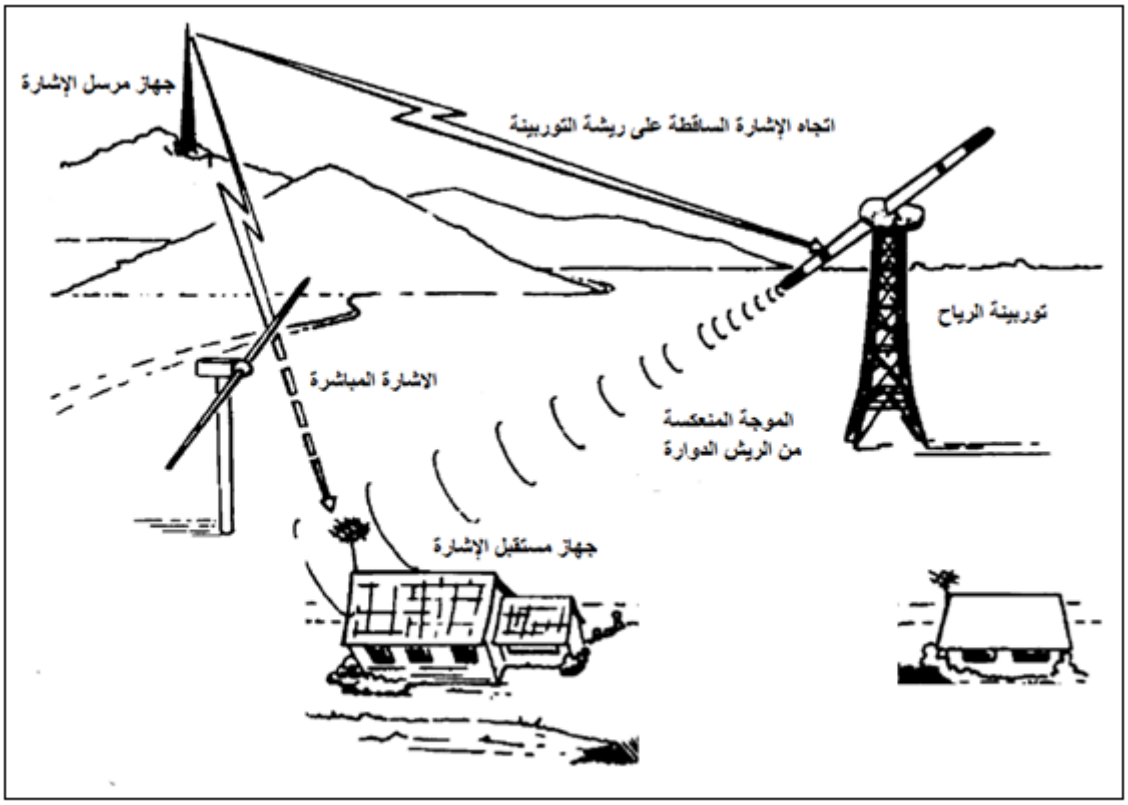
الشكل رقم (٥٦): مسار الضجيج الصادر من إحدى توربينات الرياح

والجدول التالي يوضح الضجيج الصادر من مصادر مختلفة مقارنة بالضجيج الصادر من توربينة الرياح.

المصدر	مستوى الضوضاء (dB)
طائرة جيت على ارتفاع ٢٥٠ متر.	١٠٥
مثقاب كهربائي.	٩٥
شاحنة تسير بسرعة ٤٨ كم/ س.	٦٥
دائرة عمل مزدحمة.	٦٠
توربينة رياح على بعد ٣٥٠ متر.	٤٥-٣٥
غرفة نوم هادئة.	٢٠

ب- 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 فإنها عادة ما تمتص الموجات بدلاً من عكسها، والأبراج المربعة تعكس أكثر من الأبراج المدورة وذلك لزيادة مساحة سطحها وأكثر المنظومات تأثراً بهذا النوع من الضجيج التلفزيونات ومنظومات اتصالات المايكروويف ، لذا وضعت بعض الوكالات معلومات كافِية لتجنب مثل هذه التداخلات في المناطق التي توجد فيها هذه المنظومات والشكل رقم (٥٧) يوضح انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية من على سطح الريشة مما يسبب التداخل بين الموجات.



الشكل رقم (٥٧) : تداخل الموجات المرسلة بسبب التوربينات

ج- التأثيرات البصرية:

تتحّدد هذه التأثيرات بعدة عوامل مثل حجم التوربينة وتصميمها ، وعدد الشفرات ، ولونها ، وعدد 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 كما بالشكل رقم (٥٨ - أ) والشكل رقم (٥٨- ب).

الشكل رقم (٥٨- أ) :الموقع قبل تركيب التوربينات

الشكل رقم (٥٨- ب) : الموقع بعد تركيب التوربينات

د- تأثير توربينات الرياح على حياة الطيور:

هناك سؤال يتردد دائماً من قبل علماء وأصدقاء البيئة وهو هل فعلاً توربينات الرياح تؤثر سلباً على حياة الطيور؟ من خلال المشاهدات في أماكن تموضُّع 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 ٢٠٠ متر، وهذه الارتفاعات لا تصل إليها ريش العضو الدوار، إلا أن بعض الطيور تطير على ارتفاعات منخفضة مما يعرضها للخطر كما بالشكل رقم (٥٩) ففي الدول الأوروبية يُعتبر هذا الأمر من القضايا التي تسبب جدلاً واسعاً، ففي أسبانيا 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 والخطورة تكمن فيما لو 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

إلا أن الدراسات أثبتت أن أعداد الطيور التي تقتل بسبب توربينات الرياح لا تتجاوز ٠.٠١% من عدد الطيور التي تقتل سنوياً .

صيانة توربينات الرياح

التعاريف والمصطلحات الفنية:

- **الصيانة الدورية:** هي الأعمال التي يتم تنفيذها على المعدة كل مدة زمنية أو عدد ساعات تشغيل محددة والتي تم تخطيطها مسبقا دون خروج المعدة عن الخدمة وطبقا لتوصيات الشركة المنتجة وحسب الجداول الموضوعة لذلك .
- **الصيانة الوقائية:** هي مجموعة من الأنشطة المخططة والمحددة مسبقاً والتي تتم على الآلة أثناء عملها بصورة دورية منتظمة.
- **الصيانة التصحيحية:**هي الصيانة التي تتم على الآلة بقصد استعادة كفاءتها.
- **الإصلاح :**هو الصيانة التي تتم على الآلة بعد تعطلها المفاجئ أو المتوقع .
- **الإصلاح المفاجئ:** وهو الذي يحدث نتيجة عطل مفاجئ وذلك لعدم إجراء صيانة سليمة سواء صيانة وقائية أو دورية وهذا يدعو إلى بقاء المعدة خارج الخدمة حتى نهاية الإصلاح.
- **مخطط الصيانة:**هو مخطط يوضح توقيت إجراء الصيانات المختلفة ومدتها للتوربينات.
- **التشحيم والتزييت:** هو إضافة الشحم أو الزيت للأجزاء الدوارة والتي يحدث بها احتكاك مستمر.
- **أدوات النظافة:** هي كل المواد و الأدوات المناسبة لنظافة أجزاء التوربينة المختلفة وتعد النظافة من أهم بنود الصيانة، حيث أن نظافة المعدة بعد الانتهاء من إجراءات الصيانة يعتبر من الأعمال الجوهرية والضرورية.
- **كتالوج الصيانة:** هو كتيب مرفق مع التوربينة يحدد كل بنود الصيانة والتعليمات التي من الضروري إتباعها أثناء تنفيذ بنود بالصيانة.

معلومات السلا مة والصحة المهنية:

التعامل مع مواد الحفظ والتنظيف والإزالة عند صيانة توربينات الرياح محفوف بالمخاطر حيث أن هذه المواد تنتج مركبات ضارة بالصحة ذات تأثير سلبي جدا على البيئة من مصادر مياه الشرب إلى مواد الأكل وبعضها قابل للاشتعال جدا علاوة على تأثيرها الضار إذا تكرر استعمالها (على الأيدي والوجه وأي جزء من جسم الإنسان) لذلك يلزم أن يهتم العاملون في صيانة التوربينات بإتباع قواعد السلامة حرفياً ومنها :

- ارتداء سترة العمل كاملة لتستر الجسم واليدين والرجلين والوجه (سترة / حذاء جلد / قفاز جلد كبير / نظارة تغطى الوجه كله) كما بالشكل رقم (١).

الشكل رقم (١): مهمات السلامة والوقاية

- ارتداء حزام الأمان المخصص للأماكن المرتفعة من أهم أدوات السلامة والوقاية كما بالشكل رقم (٢).

الشكل رقم (٢) : حزام الأمان

- الاهتمام بقواعد الصرف لمخلفات الصيانة لتأثيرها الضار على منشآت الصرف وصحة البيئة (سطح ومنافذ).
- الاهتمام بمنافذ التهوية وتغيير الهواء وشفط الأبخرة بالورشة لحماية للجهاز التنفسي عند تجهيز المهمات التي تخص الصيانة.
- حماية بيئة العمل من مخلفات العمل من كهن مشبعة بالزيوت والشحوم.
- تصريف الزيوت والشحوم الهالكة بطريقة آمنة.
- عند الصعود لأعلى التوربينة نتوخى الحذر الشديد في استخدام سلم البرج ونتأكد من سلامة وصلاته الحديدية ونقاط اللحام بالبرج عن طريق مسئولي السلامة والصحة المهنية بالموقع.
- الكشف الطبي الدوري على فنييى الصيانة وخاصة أمراض القلب لخطورة ذلك على حياتهم عند العمل على ارتفاعات شاهقة كالتوربينة.

صيانة توربينات الرياح

المفاهيم الأساسية لصيانة توربينات الرياح

← المعنى الصحيح للصيانة:

الصيانة هي مجموعة من الإجراءات والعمليات التي تتخذ بهدف الحفاظ على المعدة في مستوى أداء قياسي محدد طبقا لظروف العمل وتشمل العمليات إعادة المعدة لحالتها القياسية بعد حدوث انحراف عنها أو لتجنب هذا الانحراف لوضع الآلة في وضع الاستعداد التام للعمل.

← أهمية وأهداف الصيانة:

الصيانة عملية مستمرة حتى في حالة وقوف التوربينة وتعطلها عن العمل حيث تتعرض أجزاء مكوناتها وأجهزة التحكم بها للأعطال مثل التآكل والتلف والصدأ خلال فترة عمرها التشغيلي ويبرز الدور المهم لعمليات الصيانة في تحقيق الأهداف الآتية :

- المحافظة الدائمة على الحالة الجيدة للتوربينة بمختلف مكوناتها وضمان حسن الأداء وبالتالي جودة عملها.
- الإقلال من حدوث الأعطال وما تسببه من خسارة اقتصادية لعملية إنتاج الطاقة الكهربية نتيجة لتوقف التوربينة وتكاليف إعادة التشغيل.
- زيادة العمر الافتراضي للتوربينات وبالتالي الحصول على عائد اقتصادي أكثر جدوى.
- تحقيق ظروف تشغيل مستقرة وبالتالي زيادة شروط ومناخ السلامة الصناعية لموقع العمل.

← أنواع الصيانة:

تنقسم أعمال الصيانة حسب نوع العمل إلى الآتي:

- **الصيانة الوقائية :** هي مجموعة الأنشطة المخططة والمحددة مسبقاً والتي تتم بصفة دورية وحسب خطة زمنية موضوعة تحدد من قبل مصنعي التوربينة أو من قبل الفنيين ذو الخبرة القائمين بالصيانة لمعالجة القصور إن وجد قبل وقوع العطل أو التوقف عن العمل وتتم عمليات الصيانة الوقائية حيث الفحص الدوري الظاهري لأجزاء ووحدات التوربينة وأجراء عمليات التنظيف والتشحيم والتزييت وتغيير بعض الأجزاء البسيطة إذا لزم ذلك والتعزيم والتربيط على مختلف المسامير.
- **الصيانة التصحيحية:**

هي مجموعة العمليات التي تتم لإصلاح التوربينات حسب خطة زمنية موضوعة تحدد من قبل مصنعي الآلة أو من قبل الفنيين ذو الخبرة القائمين بالصيانة ويتم فيها:

- تغيير الأجزاء التالفة أو الأجزاء التي انتهى عمرها الافتراضي.
- إجراء عمليات الإصلاح على بعض الأجزاء بهدف إعادة استعمالها مرة أخرى مثل إصلاح الجزء المتآكل أو المتشقق جزئيا باللحام.
- إجراء عمليات الضبط والمعايرة لبعض أجزاء التوربينة التي تحتاج إلى ذلك.

- **الصيانة التنبؤية:**

هذا النوع من الصيانة يحاول اكتشاف الأعطال عن طريق التنبؤ بحالة مكونات التوربينة الداخلية من جراء ما يظهر عليها خارجيا حيث يمكننا قياس درجة حرارة بعض النقاط في التوربينة ولو بشكل تقريبي عن طريق اللمس باليد ، وكذلك يمكننا قياس الاهتزازات على نقاط معينة مثل المولد وصندوق التروس وكراسي التحميل والتي توضح كثيرا من الأعطال التي قد تحدث مستقبلاً، كذلك يمكننا عمل تحليل لزيت صندوق التروس مثلا للتأكد من خلوه من شوائب معينة وفى حالة وجود شوائب بالزيت يتم معالجته نظراً للتأثير السلبي للشوائب على خصائص الزيت.

- **الصيانة الطارئة:**

هي مجموعة العمليات التي تتم لإصلاح المكونات نتيجة لحدوث تلف مفاجئ يؤدي إلى وقوف التوربينة الغير مخطط لها وعادة ما يكون سبب هذا العطل ناتج عن عدم إتباع تعليمات المصّنع نتيجة التشغيل الخاطئ أو عدم تطبيق بنود الصيانة الوقائية الصحيحة.

← خطوات تطبيق الصيانة:

قبل البدء في سرد خطوات تطبيق الصيانة لابد أن نذكر أنه من واجبات الإدارة المسئولة عن الموقع اختيار الشخص المسئول عن الصيانة أولا ، وهو الشخص الذي سوف يحمل على عاتقه عبء تنفيذ هذه الخطوات ويتم دعمه بالكامل من قبل الإدارة لتذليل كل الصعوبات التي قد تعترض تنفيذ خطوات تطبيق الصيانة ونلخص خطوات تطبيق الصيانة الصحيحة فيما يلي:

- **تحديد أجزاء التوربينة المراد صيانتها:**

يتم حصر جميع مكونات التوربينة التي تحتاج إلى صيانة وترتيبها حسب الأهمية في جدول أولي يوضح مواصفات المكونات وعددها وموقعها في التوربينة وغيرها من المعلومات المهمة اللازمة للتعرف على كل مكون من مكونات التوربينة.

- **التأكد من توفر جميع كتالوجات المصّنع:**

إن توفر جميع كتالوجات المصّنع الخاصة بالتشغيل والصيانة وقطع الغيار لجميع المكونات المراد عمل الصيانة لها من أهم الأمور التي يجب عدم إغفالها في تطبيق عمليات الصيانة إذ أن المصّنع عادة ما يقوم بذكر

جميع التعليمات المهمة التي تخص طريقة التشغيل الصحيحة وعمليات الصيانة وقطع الغيار في هذه الكتالوجات وفي حالة عدم وجود كتالوجات المورد أو المصّنع يتبع الأتي:

← تحديد عمليات الصيانة:

يتم الإطلاع على كل تعليمات المورد والشركة الصانعة المذكورة في الكتالوجات الخاصة بالصيانة، لأن المصّنع أو المورد هو الجهة الموثوقة التي يستطيع فريق الصيانة الاعتماد عليها في تطبيق عمليات الصيانة الوقائية والإصلاحية وطلب قطع الغيار ويستلزم ذلك أن يكون فريق الصيانة على إطلاع دائم ومستمر بهذه الكتالوجات وقراءتها واستيعابها قبل البدء في أعمال الصيانة والرجوع إليها كل ما دعت الحاجة لذلك.

← نماذج وجداول الصيانة:

بعد تحديد عمليات الصيانة يتم تفريغ عمليات الصيانة في نماذج يتم تصميمها حسب نوع الأعمال. فالأعمال اليومية يتم تجميعها في نموذج واحد لكل توربينة ، والأعمال الأسبوعية يتم تجميعها أيضا في نموذج واحد ، والشهرية وهكذا ويتم إعطاءها إلى فريق الصيانة للبدء في تنفيذ العمليات المذكورة فيها ويتم إرجاعها إلى مسئول الصيانة للنظر في الملاحظات المدونة فيها إن وجد، وإجراء اللازم نحوها ثم يتم حفظها في السجلات الخاصة بالتوربينة.

← خطة الصيانة:

بعد ما تم حصر جميع عمليات الصيانة المطلوبة لجميع مكونات التوربينة وتمت معرفة أنواع الصيانة لكل عملية يتم وضع تصور مستقبلي لعمليات الصيانة بعمل خطة صيانة زمنية شهرية ونصف سنوية للآلات تحدد فيها مواعيد الصيانة المختلفة لكل مكون من مكونات التوربينة حسب تعليمات الشركة الصانعة ويراعى أيضا الآتي :

- توفر العمالة المحلية المدربة.
- توفر قطع الغيار والعدد والأدوات اللازمة.
- أجازات الأعياد وأجازات الفنيين وغيرها من العوامل المؤثرة في عمليات الصيانة ويتم ترتيب أوقات إنجازها على مخطط أشهر السنة الكاملة.

← اختيار وتدريب العمالة الفنية:

من أهم العناصر التي ترفع كفاءة عملية الصيانة للمعدات وخفض تكاليفها هو عنصر العمالة المدربة لإعمال الصيانة، فبعد استحداث خطة الصيانة يكون على مسئول الصيانة انتقاء الأفراد الذين يتوسم فيهم القدرة على استيعاب الأشياء ومكونات الوحدات والمعدات و القدرة على تمييز الأعطال وأسبابها وإصلاحها وعمل البرامج اللازمة لتدريبهم على المعدات ذاتها وعلى كيفيه إنجاز أعمال الصيانة في وقت قصير مما يقلل فترة توقف العمل كما يقلل الخسائر في الإنتاج وغير ذلك.

كما أن العمالة المدربة على الصيانة تخفض كمية قطع الغيار المستخدمة وذلك بالكشف على الوحدات ومعرفة ما يمكن استبداله وما يتم تنظيفه وإصلاحه وتركيبه بالتوربينة مرة أخرى.

واستخدام العمالة المدربة لأدوات الفك والتركيب يجب أن يتم دائما على أسس سليمة مما يوفر في استهلاك هذه الأدوات كما يوفر أيضا في قطع غيار المعدات تحت الصيانة وذلك مثلا عند استخدام المطارق في الطرق على أجزاء مختلفة من التوربينة بغرض الفك أو التركيب مما يؤدي إلى تلف أجزاء منها أثناء أجراء الصيانة وهذا ما تفعله العمالة غير المدربة ونستخلص من ذلك أن استخدام العمالة المدربة يؤدى إلى ما يلي :

- رفع كفاءة تشغيل التوربينات.
- تقليل التلفيات والفاقد أثناء عملية الصيانة.
- تقليل قطع الغيار المستهلكة.
- تقليل الوقت اللازم للصيانة وإتمامه في التاريخ المحدد طبقا للجداول.
- الاستعداد التام لمواجهة الظروف الطارئة والحالات الحرجة.

وتشمل تخصصات المهندسين والفنيين لقسم الصيانة جميع التخصصات اللازمة (كماً وكيفاً) لتنفيذ أعمال الصيانة على الوجه المطلوب.

← توفير قطع الغيار :

من المعروف أن كل جزء في التوربينة يؤدى وظيفته خلال فتره عمره الافتراضي وذلك عند تشغيل التوربينة تحت الظروف وبالشروط المحددة من قبل مصّنع التوربينة، ومما لاشك فيه أن توفر المواد مثل الزيوت والشحومات والأسلاك ومواد التنظيف وخلافه وكذلك قطع الغيار اللازمة له تأثير مباشر في نجاح خطط الصيانة الموضوعة في الموقع وتنفيذها في تواريخها المحددة دون تأجيل ويؤدي عدم توفر قطع الغيار إلى زيادة الأعطال وتفاقمها وزيادة مدة خروج التوربينة عن العمل وبالتالي يؤثر ذلك في النهاية على ضعف الإنتاج وجودته ولتوفير قطع الغيار لابد من إتباع خطة شراء مدروسة ومخططة تعتمد على الأتي :

▪ تحديد أنواع قطع الغيار :

يمكن تصنيف أنواع قطع الغيار حسب التالي :

- قطع غيار أساسية في التوربينة أو ثانوية .
- قطع غيار ذات عمر افتراضي كبير أو صغير.

▪ تحديد حجم الاحتياج من قطع الغيار:

في البداية يمكن تحديد قطع الغيار التي يجب أن تتوفر في الموقع من كتالوجات المصّنع الخاصة بقطع الغيار إذ أن معظم المصّنعين يقوموا بتحديد الحد الأدنى لتواجد قطع الغيار وخاصة الاستهلاكية منها في الكتالوجات الخاصة بقطع الغيار، وفي حالة عدم وجود هذه المعلومات في الكتالوج فإنه يتم متابعة الآلات خلال ساعات تشغيلها ومن واقع ملف الصيانة الخاص بها يتم معرفة المعدلات الفعلية لاستهلاك قطع الغيار.

- **تحديد حجم الطلب الاقتصادي لمخزون قطع الغيار:**

وبعد تحديد حجم الاستهلاك السنوي يتم تحديد حجم الطلب الاقتصادي لمخزون قطع الغيار والذي يعتمد على قيم عديدة لابد من توفرها منها تكلفة أوامر التوريد في السنة وتكلفة التخزين وحجم الاستهلاك.
ويمكن وضع سياسة عامة لتخزين قطع الغيار لحين توفر المعلومات الخاصة بحساب المعدل الاقتصادي للتخزين تتلخص في أن القطع المتوفرة محليا لا يتم شراؤها وتخزينها في مخزن الموقع لأنه يسهل شراؤها في أي وقت أما القطع التي لا تتوفر محليا والتي تحتاج الوقت الطويل لتوريدها فانه يتم طلب المهم منها وخاصة ذات الاستهلاك الكثير وتخزينها في الموقع لحين الحاجة أما عن طلب القطع الأخرى فانه يتم شراؤها عندما يحين وقت الحاجة إليها حسب خطة الصيانة.

← نظام تسجيل المعلومات:

لابد أن يكون لدي إدارة الصيانة نظام كامل لتسجيل كل عمليات الصيانة بكل تفاصيلها الدقيقة التي تقوم بها خلال فترة عمر التوربينة حيث أن المعلومات التي تسجل في هذا النظام هي التي تكون بمثابة المرجع الأول والأخير لتقارير الصيانة التي يتم رفعها للإدارة وتقدير الموازنات وخطة الصيانة وشراء قطع الغيار وخطة المراقبة غيرها من الأمور التنظيمية الأخرى ومن الأنظمة المفيدة التي تضمن تنظيم وتسجيل عمليات الصيانة هو استخدام نظام أمر العمل فهو الوثيقة التي تخول فني الصيانة البدء في إجراء الصيانة ويتم إصداره من مسئول الصيانة.

← تنظيم الأعمال وتوزيع المسئوليات:

- **التنظيم من الناحية الفنية:**

إن من أفضل الأنظمة التي تضمن تنظيم أعمال الصيانة من الناحية الفنية هي عمل بطاقات وصف لجميع أعمال الصيانة الكبيرة منها والصغيرة ولا بد أن تشمل هذه البطاقات على الأقل على الآتي:

- عناصر العمل المراد إنجازه.
- الوقت المطلوب لإنجاز كل عنصر.
- جميع العدد والأدوات المطلوبة لإجراء العمل.
- عدد العمالة المطلوب لإنجاز العمل.
- جميع قطع الغيار المتوقع احتياجها لإنجاز العمل.

ولهذه البطاقات فوائد كبيرة حيث أنها تعتبر من المراجع الهامة لفريق الصيانة عند تنفيذ الأعمال وعمل خطة الصيانة و تقديرات حسابات العمل الإضافي وغيرها من الأمور.

- **التنظيم من الناحية الإدارية:**

توضيح الهيكل التنظيمي للموقع لجميع العاملين في قسم الصيانة لمعرفة مسميات الوظائف في كل قسم ودرجة وتبعية كل وظيفة إلى الأخرى ويجري توزيع العاملين في قسم الصيانة على هذه الوظائف وتعريف كل موظف بمسئوليات ومهام هذه الوظيفة.

اختيار الأشخاص لأداء الأعمال، توزيع المسئوليات والأعمال، وإصدار أوامر العمل وغيرها من الأعمال التنظيمية التي تضمن سير عمليات الصيانة في الموقع.

← مراقبة تنفيذ الخطة:

ويقصد بالمراقبة ما يلي:

- تحديد الاختلافات بين ما تم تحديده في خطة الصيانة وبين ما تم إنجازه بالفعل ويتم ذلك بإصدار تقرير شهري عن جميع إنجازات أعمال الصيانة ومقارنتها بالأعمال الموضوعة بالخطة مسبقا.
- تحديد وتحليل أسباب الاختلاف فتتم دراسة أسباب الاختلافات من قبل مسئولي الصيانة مثلا تقصير وإهمال فريق الصيانة، نقص أو زيادة في العمالة، نقص في الأدوات والعدد، عدم توفر قطع الغيار وغيرها ثم اتخاذ الإجراءات التصحيحية لذلك.
- بمجرد أن يتعرف مسئولي الصيانة عن أسباب الفروق، فينبغي أن يتخذ جميع الإجراءات التصحيحية الممكنة لإنهاء هذه الأسباب ويمكن رفع التوصيات ومتطلبات الإجراءات التصحيحية للأقسام المختلفة ذات العلاقة في الموقع للمساهمة في إنهاء هذه الأسباب.

← المعدات والأدوات المستخدمة في الصيانة:

مما لاشك فيه أن توفر العدد اللازمة لعمليات الصيانة المختلفة له تأثير مباشر في نجاح خطط الصيانة الموضوعة للموقع وتنفيذها في الوقت المحدد لها دون أي تأخير ويتم تحديد العدد والأدوات المناسبة واللازمة لكل عمل من واقع تعليمات المصنعين أو من واقع الخبرة والتجربة، ويتم تسجيلها في نماذج خاصة تحفظ في السجلات الخاصة بالصيانة.

بل أن وجود عدد متنوعة ومتطورة مثلا مفاتيح هيدروليكية يكون له التأثير المباشر في تسريع وقت فك القطعة ووقت تركيبها مرة أخرى وصيانتها، والذي يؤدي في النهاية إلى تخفيض أوقات إنجاز عمليات الصيانة وبالتالي يزيد من أوقات التشغيل.

ولا بد من وجود أجهزة قياس متطورة مثل أجهزة قياس الحرارة - الرطوبة - الاهتزازات وغيرها للتعرف على حالة الآلة أثناء تنفيذ إجراءات الفحص الدوري أو الصيانة التصحيحية.

- **المفاتيح:** تستخدم المفاتيح لربط وفك المسامير والصواميل ولذالك يوجد العديد من أنواع وأشكال المفاتيح فمنها البلدي والحلقي (المشرشر) ومفاتيح الن كي كما يعتبر مفتاح العزم من أهم المفاتيح في الصيانة حيث يستخدم في التربيط والفك لمسامير تثبيت البرج بالقاعدة الخرسانية وكذلك مسامير ريش التوربينات ومسامير تثبيت صندوق التروس والمولد بجسم الناسيل.
- **مفتاح العزم:** وهو أداة لشد أو إرخاء عناصر ربط كالمسامير الكبيرة نوعاً أو الصواميل بدقة معقولة بتطبيق عزم دوران (يمكن قياسه)على المسمار أو الصامولة وهو ذو رأس به فراغ يدخل به رأس المسمار أو الصامولة وله آلية داخلية يستعمل بها حيث تكون مسألة إحكام التماسك بين مسننات الرابط (المسمار أو الصامولة) والمربوط (العنصر المسنن الآخر الذي تتداخل معه تلك المسننات) لضمان تنفيذ عملية الربط هذه بقيمة مقررة أو محسوبة مسبقا وهذا المفتاح يسمح لمستخدمه لقياس العزم المطبق على العنصر الرابط وبالتالي المقارنة مع متطلبات الربط المحددة سلفا وهكذا يمكن تطبيق شد أو تحميل الأجزاء المربوطة بواسطة أداة الربط بطريقة صحيحة خاضعة للقياس حيث يقاس العزم كدالة يعبر عنها برقم أو قيمة تقرأ على المفتاح والشكل رقم (٣) يبين مفتاح العزم.

الشكل رقم (٣) : مفاتيح العزم

كما يبين الشكل رقم (٤) طريقة استعمال مفتاح العزم.

الشكل رقم (٤) : طريقة استعمال مفتاح العزم

٢- المفكات: تستخدم لفك وربط المسامير الصغيرة الحجم وتتعدد أشكالها أيضاً فمنها القصير والطويل والعادة والمتصالبة (الصليبة) وذو الرأس الخماسي والسداسي كما بالشكل رقم (٥).

الشكل رقم (٥) : جانب من العدة المستخدمة

٣- المشاحم والمزايت: هي أدوات يتم من خلالها إضافة كمية الشحم أو الزيت لبعض أجزاء التوربينة وتتكون من حاوية صغيرة يوضع بها الشحم أو الزيت المراد إضافته أو حقنه ويتم ذلك عن طريق الضغط على مكبس صغير ليتم الدفع بالشحم أو الزيت في الخرطوم ومنه إلى أجزاء التوربينة كما بالشكل رقم (٦).

الشكل رقم (٦) : المزيتة والمشحمة

٤ـ ماكينة غسيل الريش: تستعمل في غسيل ريش (شفرات) التوربينات وذلك للتخلص من الأتربة ومخلفات الطيور المتراكمة على سطحها حيث يسبب تراكم الأتربة فقداً في الطاقة المولدة من التوربينة يصل إلى ١٠% وذلك لأن تراكم هذه الأتربة تغير من طبيعة السطح الأملس للريشة وبالتالي تتغير خصائص الرياح عند ملامسته لها وأيضاً يتم غسيل الريش لجعلها نظيفة دائما وذلك للمحافظة على الشكل العام للتوربينة كونها صديقة للبيئة ويتم الغسيل عن طريق ضخ خليط من المياه وسائل الصابون تحت ضغط شديد ناحية الريش بعد أن يتم إيقاف التوربينة حيث يتم ذلك باستعمال الونش لرفع مجموعة من فنيين الصيانة في قفص حديدي مأمن حيث يتم توجيه فوهة موجه الرزاز(الباشبورى) ناحية الريش ثم بعد ضخ الماء الصابون يتم استعمال فرشاة بيد طويلة لتنظيف الرواسب العالقة والشكل رقم (٧) يبين ماكينة الغسيل .

الشكل رقم (٧) : ماكينة غسيل الريش

والشكل (٨) يبين طريقة تنفيذ الغسيل.

الشكل رقم (٨) : تنفيذ عملية غسيل الريش

٥- فرش النظافة: يبين الشكل رقم (٩) أنواع الفرش المستخدمة فى نظافة لوحات التحكم والتشغيل بالتوربينة.

الشكل رقم (٩) : فرش النظافة

٦ـ نافخ الهواء: يستعمل لتنظيف الأجزاء الكهربية والالكترونية وإزالة الأتربة من لوحات التحكم في الأماكن الضيقة كما بالشكل رقم (١٠).

الشكل رقم (١٠) : نافخ الهواء (البلاور)

٧ـ فوط قماش وصابون سائل: تستعمل الفوط لمسح الزيوت والشحوم المتناثرة بعد إجراء عملية الصيانة والصابون السائل يستعمل لغسيل الريش وكذلك الجازولين (احد مشتقات البترول) يستعمل في نظافة الأجزاء المتسخة بالزيوت والشحوم كما في الشكل رقم (١١):

الشكل رقم (١١) : جانب من المنظفات

خطوات تنفيذ الصيانة الوقائية للتوربينات

تتم هذه الصيانة بصفة دورية كل ستة أشهر غالباً طبقا لمخططات الصيانة بالموقع.

← تعليمات الصيانة من قبل مهندسي الصيانة:

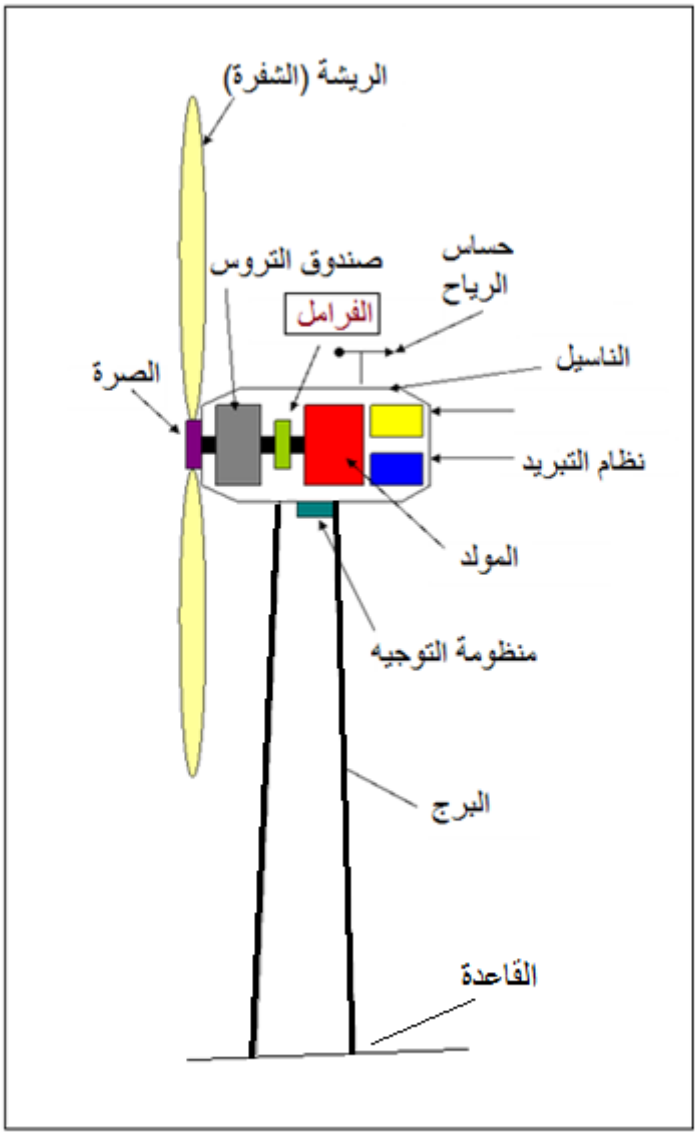
- يتم تنفيذ بنود الصيانة كاملة وفق تعليمات وتوصيات الشركة المصنعة للتوربينات.
- ارتداء مهمات السلامة والوقاية كاملة قبل الشروع في الصيانة.
- تضمين تقارير الصيانة بأسباب استبدال قطع الغيار إن حدث.
- يتم إعطاء كبير فنيين الصيانة بطاقة (أمر عمل)موضحا بها:
  - مستندات الصيانة وأوامر الشغل وتقارير الصيانة.
  - العمل المطلوب والبرنامج الزمني.
  - مكان وموقع توربينة الرياح التي ستجرى عليها الصيانة.

وقبل تنفيذ بنود الصيانة هناك بعض المعلومات الهامة والأساسية والتي يجب الإلمام بها وهى ضرورة معرفة:

- اقل سمك مطلوب للفرامل الميكانيكية بالتوربينة.
- ضغط مجموعة الهيدروليك لوحدات الفرامل الميكانيكية والهوائية.
- ضغط الدائرة الهيدروليكية لمنظومة التوجيه.
- أقصى زمن مسموح به لتفعيل الفرامل الميكانيكية والهوائية.
- الجداول الخاصة بأصناف وكميات الشحوم والزيوت وكذلك قيم العزوم الخاصة بمسامير تثبيت المكونات المختلفة للتوربينة.

← أجزاء التوربينة التي تجرى عليها الصيانة:

الشكل (١٢) يوضح أجزاء التوربينة التي تجرى عليها الصيانة :



الشكل رقم (١٢) : مكونات التوربينة التى تجرى عليها الصيانة

١ـ القاعدة الخرسانية:

يتم فحص القاعدة جيدا والتأكد من عدم وجود اى شروخ خطيرة بها.

٢ـ البـرج:

يوجد نوعان من الأبراج للتوربينات وهما الأنبوبي والشبكي وتتم الأعمال الآتية:

- يتم التأكد من نقاط لحام السلم مع البرج.
- التعزيم على ٢٠ % من مسامير وسط البرج والقاعدة السفلى بالنسبة للبرج الأنبوبي كما بالشكل رقم (١٣- أ).

الشكل رقم (١٣- أ) : مسامير تثبيت البرج

- يتم التعزيم على حلقة الانزلاق مع البرج وكذاك حلقة الانزلاق مع الناسيل.
- اختبار مدى قوة وصلادة الكابلات وذلك بالتأكد من عدم وجود تشققات بها.
- التأكد من سلامة مهمات الصعود للتوربينة كأمثلة أحزمة الأمان.
- التأكد من تثبيت نقاط اللحام بالنسبة للبرج الشبكي.

٣- لوحة التحكم الرئيسية:

- التأكد من سلامة توصيلات المفتاح الرئيسي للوحة.
- التأكد من سلامة توصيلات مجموعة تحسين القدرة.
- التأكد من سلامة توصيلات دوائر التحكم.
- التأكد من سلامة توصيلات محولات تغذية دوائر التحكم.
- التأكد من سلامة توصيلات الحاسب الملحق بلوحة التحكم.
- التأكد من سلامة توصيلات أجهزة قياس خواص الشبكة الكهربية (الجهد- التيار- التردد).

٤ ـ العضو الدوار:

أ- الريش. ب- الصرة وغطائها.

أ- الريش:

- الكشف الظاهري على الريشة والتأكد من عدم وجود اى شروخ أو خبطات بها.
- التعزيم على مسامير تثبيت الريشة بالصرة.
- تشحيم كرسي تحميل الريشة.

ب- الصرة وغطائها:

- الكشف الظاهري على الصرة والتأكد من عدم وجود شروخ بها.
- التعزيم على ٢٠ % من مسامير التثبيت كما في الشكل رقم (١٣- ب).

الشكل رقم (١٣- ب): التربيط على مسامير التثبيت

- التأكد من عدم وجود أي شروخ في الغطاء وإحكام ربطه بالصرة.

٥- عمود السرعة البطيئة:

- التعزيم على كراسي التحميل.
- التعزيم على المسامير الداخلية بينه وبين صندوق التروس.

٦- الحلقات الإنزلاقية:

- يتم تنظيفه أثناء دوران العضو الدوار ببطء.
- تغيير الفرش الكربونية بناء على مساحة التلامس مع حلقة الانزلاق.

٧- صندوق التروس:

- الكشف عن مستوى الزيت والتأكد من عدم وجود تسريب به.
- الكشف عن أسنان التروس وتغيير الزيت إذا تطلب الأمر ذلك.
- تشحيم كرسي التحميل الأمامي لصندوق التروس.
- التعزيم على مسامير تثبيت صندوق التروس بالناسيل.
- تزويد صندوق التروس بالزيت عند الحاجة لذلك عن طريق مقياس الزيت كما بالشكل رقم (١٤).

الشكل رقم (١٤) : استخدام مقياس الزيت

٨- الفرامل:

يوجد نوعان أساسيان من أنواع الفرامل للتوربينة وهما:

- الفرامل الميكانيكية.
- الفرامل الهوائية.

ويتم الآتي مع نوعى الفرامل:

أ- الفرامل الميكانيكية:

وفيها يتم فحص المكونات الآتية:

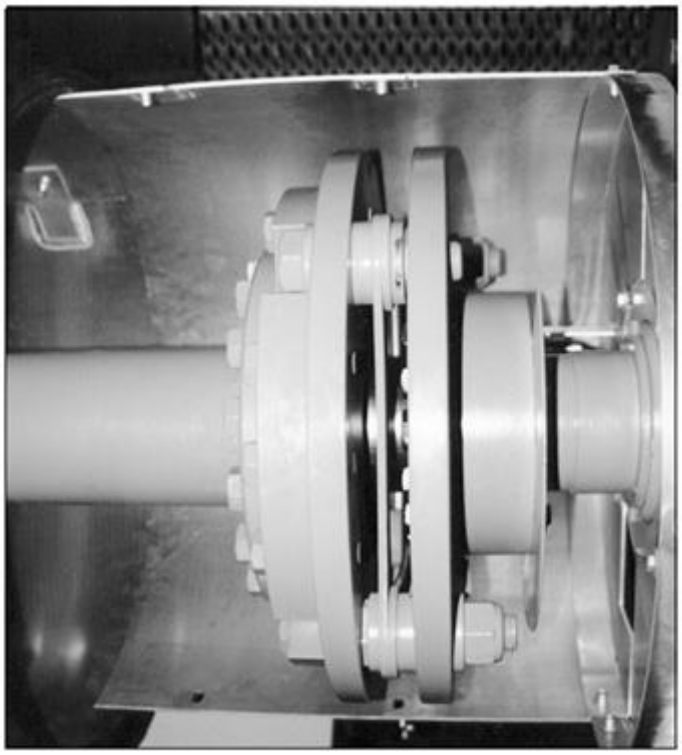
- التأكد من سمك (تخانة) تيل الفرامل.
- الفحص الدقيق لقرص الفرامل والتأكد من عدم وجود شروخ به.
- فحص الثغرة الهوائية بين تيل الفرامل والقرص.
- التأكد من الأوضاع المختلفة لحساسات الفرامل.

ب- الفرامل الهوائية:

- التأكد من وصول الكابلات إليها.
- تزويد الفرامل بالزيت عند الحاجة.
- اختبار الصمامات المسئولة الخاصة بالفرامل.

٩- الوصلة المرنة:

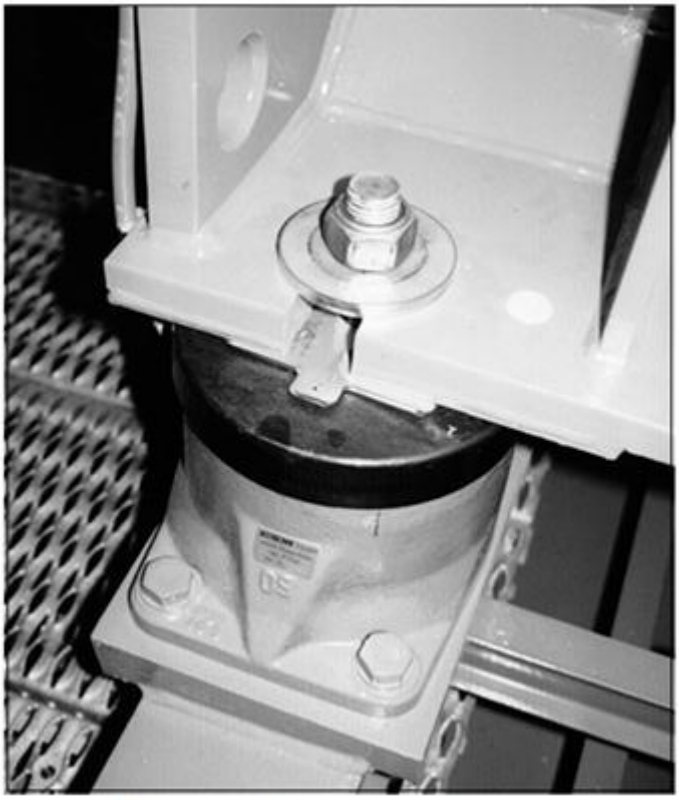
- التأكد من سلامة الوصلة المرنة وملاحظة ما إذا كان بها تشققات أم لا والتعزيم عليها بمفتاح العزوم وبالشكل رقم (١٥) يبين مسامير تثبيت الوصلة المرنة.



الشكل رقم (١٥) : الوصلة المرنة

١٠ـ المولد:

- التعزيم على أطراف توصيل الكابلات.
- التعزيم على مسامير توصيل المولد بالقاعدة.
- تشحيم كراسي تحميل المولد الأمامية والخلفية.
- اختبار المروحة ونظافتها الخاصة بتبريد المولد.
- التعزيم على مسامير تثبيت القاعدة بالشاسيه والشكل رقم (١٦) يبين مسامير تثبيت المسامير بالقاعدة.



الشكل رقم (١٥) : مسامير تثبيت المولد بالقاعدة

- التأكد من توصيل أطراف المولد بالروزتة.
- التأكد من توصيل حساس درجة الحرارة.

١١ـ نظام التوجيه:

- التعزيم على مسامير شرائح التوجيه العلوية والسفلية.
- التعزيم على مسامير محتوى شرائح التوجيه.
- تشحيم كرسي التوجيه وكرسي التحميل وحلقات التوجيه الانزلاقية.
- تشحيم ترس التوجيه والتأكد من سلامة الأسنان.

١٢ـ الحساسات:

- التأكد من سلامة توصيل جميع الحساسات واختبارها ومدى استجابة التوربينة للإشارات الواصلة إليها من الحساسات (اتجاه الرياح- قياس الرياح- الاهتزاز- عصر الكابلات- الفرامل....إلخ) والتأكد من توصيلهم في صندوق الروزتة العلوي.

١٣ـ ضبط استقامة الأعمدة الدوارة:

- يتم التأكد من استقامة الأعمدة الدوارة للمولد وصندوق التروس وضبطهما إذا كانت بحاجة إلى ذلك ويشرف على ذلك الإجراء مهندس الصيانة المسئول وفق تعليمات كتيبات ضبط الاستقامة.

١٥ـ نظام التحكم فى التوربينة:

- اختبار جميع وظائف التشغيل بالتوربينة عن طريق الحاسب الخاص بالتوربينة ومدى كفاءته.

١٦ـ حماية التوربينة من الصواعق:

- وذلك بالتأكد من سلامة شبكة الأرضي كاملة وقياس قيمة مقامة الشبكة باستخدام جهاز الميجر.

١٧ـ نظافة لوحة التحكم الرئيسية:

- يتم نظافة لوحتي التحكم والتشغيل باستخدام الفرش العادية في النظافة وكذلك نافخ الهواء (البلاور) في إزالة الأتربة المتراكمة على مكونات اللوحة والتي يصعب الوصول إليها باستخدام الفرشة كما بالشكل رقم (١٦).

الشكل (١٦) : جانب من مهمات النظافة

مهمات تنفيذ الصيانة

من المهمات الأساسية لتنفيذ الصيانة الوقائية هي ضرورة المعرفة التامة بالشحوم والزيوت اللازمة لتشحيم وتزييت أجزاء التوربينة المختلفة حيث يتم إعداد قوائم من تلك الأصناف والبدائل لها في حالة عدم توفر الصنف الرئيسي وكذلك معرفة قيم العزوم لمختلف مسامير التثبيت بالتوربينة وبنود تقرير الصيانة وكل هذه البيانات توجد في كتالوج الصيانة المرفق مع التوربينة.

- **قائمة الشحوم المستعملة في الصيانة:**

الجدول التالي يوضح أنواع الشحوم المستخدمة لكل جزء من أجزاء التوربينة والكمية المطلوبة وتجرى الصيانة الدورية كما هو مخطط بجداول الصيانة مرة واحدة كل ستة أشهر والجدول التالي يوضح ذلك:

الشحوم المستخدمة فى الصيانة

م	اسم الجزء المراد تشحيمه	نوع الشحم المطلوب	الكمية بالجرام	الكمية لعدد ٢٨ توربينة	الكمية فى عام بالجرام
1	كرسى التحميل الامامى والخلفى.	Mobilith 460	100	2800	5600
2	كرسى التحميل الامامى والخلفى للمولد.	Mobil shc 100	80	2240	4480
3	كرسى التحميل الخاص بمجموعة التوجيه.	Mobilux Ep2	40	1120	2240
4	اسنان ترس التوجيه.	Mobiltac 81	100	2800	5600

- **قائمة الزيوت المستعملة في الصيانة:**

الجدول التالي يوضح أنواع الزيوت المستخدمة لكل جزء من أجزاء التوربينة والكمية المطلوبة وتجرى الصيانة الدورية كما هو مخطط بجداول الصيانة مرة واحدة كل ستة أشهر والجدول التالي يوضح ذلك:

الزيوت المستخدمة فى الصيانة

م	اسم الجزء	نوع الزيت	الزيت البديل	الكمية باللتر	الكمية لعدد ٢٨ توربينة
1	صندوق التروس.	Shell omela 320	Mobil gear 632	60	1680
2	صناديق تروس مواتير التوجيه.	Shell omela 320	Mobil gear 632	3	84

- **جدول العزوم لبعض أجزاء التوربينة:**

اسم الجزء	قطر رأس المسمار بالمم	مقدار العزم المطلوب بالنيوتن متر	ملاحظات
مسامير ربط الريش.	36	650	
مسامير ربط السرة.	36	1000	
مسامير كرسي تحميل عمود السرعه البطيئة.	46	1300	
المسامير الداخلية بين عمود السرعة البطيئة وصندوق التروس.	27	490	
مسامير تثبيت صندوق التروس.	46	1300	
مسامير تثبيت قرص القرامل.	13	30	
مسامير تثبيت القرامل الميكانيكية.	27	560	
مسامير تثبيت الوصلات المرنة.	17	500	
المولد: 1 -مسامير توصيل أطراف الكابلات. 2 -مسامير تثبيت القاعدة بالمولد. 3 -مسامير تثبيت قاعدة المولد بالشاسيه.	17 30 24	85 300 210	
مسامير شرائح التوجيه العلوية.	13	30	
مسامير تثبيت البرج الشبكي.	46	1000	
مسامير تثبيت البرج الاسطواني.	46	1300	

- **تقرير الصيانة للتوربينات (جزء منه):**

البنود	نتيجة القحص		الإجراء المتخذ	ملاحظات
	سليم	غير سليم		
4- اللوحة الرئيسية و لوحة المكثفات.				
4-1 التأكد من سلامة جميع الوصلات الكهربية.				
4-2 فحص وحدات التبريد.				
4-3 نظافة الوحدات.				
4-4 فحص ظاهري لمكونات اللوحة من كونتاكتورات و فيوزات و مكثفات و ..... الخ				
5- التأكد من سلامة سلم الصعود داخل البرج				
6- التناسيل. 6-1 فحص سمك تيل القرامل (أقل سمك 4 مم)				
6-2 فحص المسافة بين تيل القرامل و قرص القرامل (أقصى مسافة 1 مم) و التأكد من ضبط القرامل. 6-3 فحص سلامة قرص القرامل. 6-4 فحص حساس درجة حرارة تيل القرامل. 6-5 فحص الوصلات المرنة. 6-6 فحص مستوى زيت صندوق التروس. 6-7 ملاحظة تسريب الزيت من صندوق التروس. 6-8 ملاحظة تسريب اي شحوم من الأجزاء الدوارة.				
6-9 فحص حساس الاهتزاز				
6-10 فحص و سلامة تثبيت حساسا سرعة دوران المولد و الريش.				
6-11 فحص تثبيت و نظافة حساسا سرعة الرياح و اتجاه الرياح. 6-12 فحص صندوق التحكم العلوي ووصلاته الكهربية.				
6-13 فحص الفرش الكربونية و حواملها.				
6-14 فحص الحلقات النحاسية و نظافتها.				
6-15 فحص نظام التوجيه.				
6-16 فحص مستوى زيت صناديق تروس مواتير التوجيه.				
6-17 فحص عدد لفات التوجيه				

الإجراءات الصحيحة للتخلص من مخلفات الصيانة

القيام بأعمال النظافة الوقائية بنظافة الورشة والعدة والأرضيات بمنظفات خاصة مثل الصابون السائل والإسبراى الجاف والسائل وجعلها خالية تماما من المخلفات والعوائق وعدم ترك اسطبات ملوثة بالأرضية وحفظها داخل براميل يتم التخلص منها يومياً.

- **حرق أكوام المخلفات:**

- إن إحراق أكوام المخلفات هو أبسط أشكال الحرق حيث يتم تجميع أكوام المخلفات في أرض جرداء.
- يعتبر الحرق ضمن حاوية (برميل) أكثر سيطرة من الحرق في أكوام، حيث أن البرميل يساعد على ترميد المخلفات (تحويلها إلى رماد) بسبب بقاء المواد المشتعلة داخل البرميل، مما يمنع انتقال الجمرات بواسطة الرياح إلى المناطق المجاورة كما أن مجال الاحتراق مقتصر فقط ضمن الحاوية.
- يتسبب وجود البلاستيك ضمن النفايات إلى نشوء دخان كثيف ذو رائحة مزعجة تسبب حرقة في العيون وأمراض تنفسية كما أن عدم انتظام والسيطرة على الحرارة ضمن البرميل قد لا يؤدي إلى تفكك كامل المواد البلاستيكية الداخلة في صناعة البلاستيك وبالتالي لا بد من فصل المواد البلاستيكية وإرسالها إلى مراكز أخرى.

- **الحرق باستخدام الحواجز الحديدية المتحركة:**

الشكل النموذجي للمحارق هو أن يتم وضع المخلفات على سير حديدي متحرك مما يمكن من الحصول على الشكل الأمثل للاحتراق بتوزيع منتظم للحرارة والحصول على احتراق كامل للمخلفات ووفقا لتوجيهات الاتحاد الأوروبي للنفايات فإن درجة حرارة الاحتراق يجب أن تصل إلى ٨٥٠ درجة مئوية من أجل ضمان تفكك جميع المواد السامة أما الغازات المتولدة نتيجة الاحتراق فيتم تبريدها في محمصات ثم بعد ذلك يتم نقل الحرارة الناتجة عنها إلى خطوط بخار الماء من أجل تحميصه ليتم رفع حرارة البخار إلى ٤٠٠ درجة مئوية عند ضغط ٤٠ بار ليوجه بعد ذلك إلى توربينة بخارية لتوليد الكهرباء.

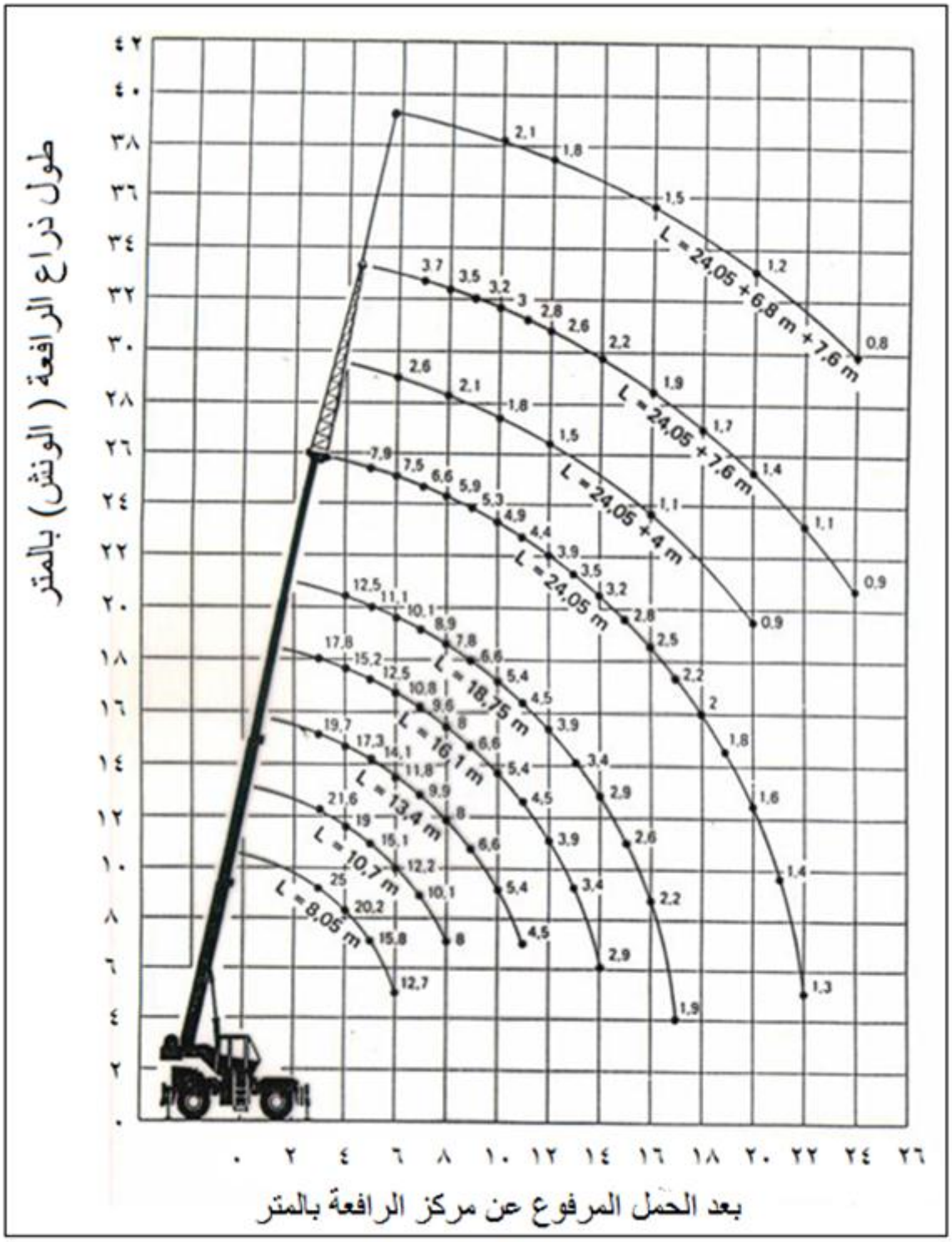
تجميع وتركيب توربينات الرياح

عملية تركيب وتجميع توربينات الرياح

← المهمات اللازمة لتركيب التوربينة:

تحتاج أعمال التركيبات إلي بعض المعدات والآلات الواجب توافرها مثل:

- رافعات (أوناش) ذات حمولات وارتفاعات مناسبة لأوزان مكونات وارتفاع التوربينة المراد تشييدها، حيث توجد علاقة بين الحمل المرفوع والارتفاع الذي سيصل إليه هذا الحمل وزاوية ميل الرافعة، مع الأخذ في الاعتبار وضع الرافعة بالنسبة إلي القاعدة ويوضح الشكل رقم (١٧)هذه العلاقة، حيث يشير المحور الأفقي إلى بعد الحمل المراد رفعه عن مركز الرافعة، ويشير المحور الرأسي إلى أقصى ارتفاع لرفع الحمل عن سطح الأرض.



الشكل رقم (١٧) : العلاقة بين الحمل المرفوع وطول ذراع الرافعة

وتوضح الأقواس داخل الشكل طول وصلات الرافعة وأقصى حمل يمكن رفعه فمثلا إذا كانت الوصلة الأولى من وصلات الرافعة هي المستخدمة وطولها ٨.٠٥ مترمع الأخذ في الاعتبار ارتفاع جسم الرافعة عن الأرض وهو ٢ متر فيكون أقصى حمل مرفوع هو ٢٥ طن على بعد ٣ متر من مركز الرافعة وعلى ارتفاع ٩ متر من سطح الأرض ويمكن استخدام رافعتين أحداهما للمناولة كما بالشكل رقم (١٨) .

الشكل رقم (١٨): رافعة مساعدة (ونش مساعد)

وتجميع الأجزاء والأخرى أثناء التشييد فقط كما بالشكل رقم (١٩) وذلك لتخفيض التكاليف كما يجب الأخذ في الاعتبار سرعة الرياح واتجاهها خلال عملية رفع مكونات التوربينة فوق البرج لما في ذلك من خطورة على الأفراد خلال عملية التركيب فإذا زادت سرعة الرياح عن ١٠ م/ث يتم إيقاف العمل فوراً.

الشكل رقم (١٩) : رافعة رئيسية

- أحزمة وجنازير يتم بها رفع المكونات، وتكون سليمة وبحالة جيدة ومناسبة للأحمال المرفوعة كما هو موضح بالشكل رقم (٢٠).

الشكل رقم (٢٠) : الجنازير المستخدمة فى رفع التوربينة

- أدوات وعدد من مفاتيح ومفكات ومفاتيح عزم وأجهزة ضبط اتزان المستويات وميزان مائي، وميزان قامة.
- مهمات الأمن الصناعي، وتتخذ أشكالاً متعددة منها شرائط تحذيرية حول الموقع لدخول الأشخاص المسئولين عن العمل فقط كما بالشكل رقم (٢١) وأحزمة أمان وواقيات للرأس.

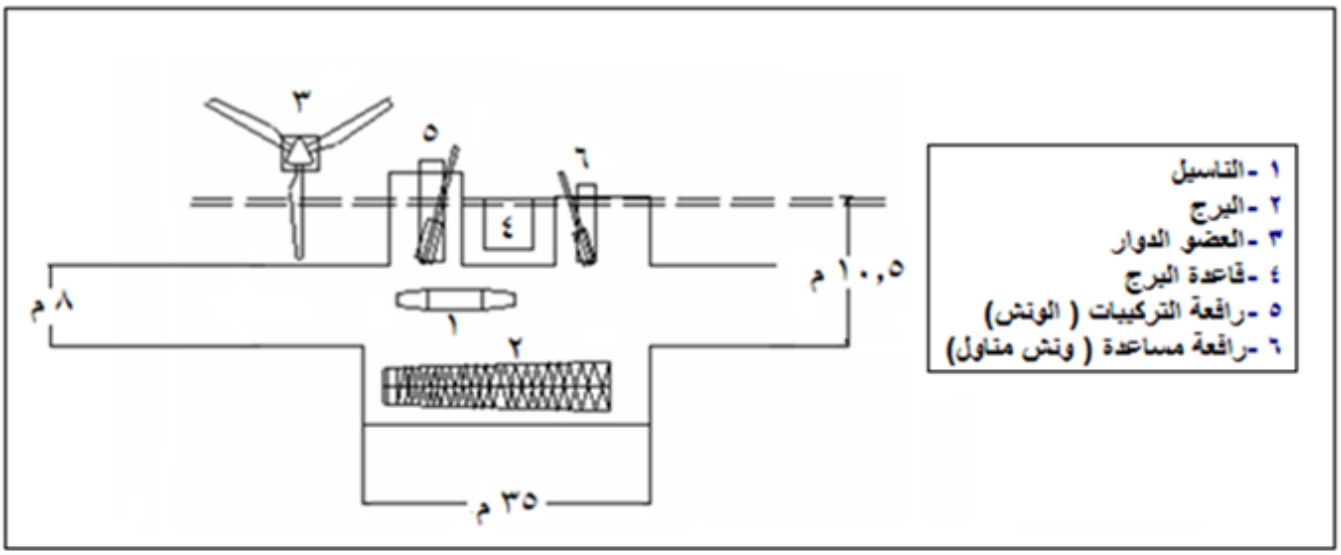
الشكل رقم (٢١) : شريط التحذير

- حافلات لعمليات نقل الأجزاء إلى مكان التشييد والتركيب كما بالشكل رقم (٢٢).

الشكل رقم (٢٢) : حافلات نقل مكونات التوربينة

← خطوات التركيب:

- تبدأ أعمال التركيبات بتنظيف القاعدة ورفع العزل الذي تم وضعه على الأجزاء العلوية من القاعدة قبل عملية الصب.
- يتم إنزال أجزاء التوربينة من فوق السيارات، وتوضع بواسطة الرافعة (الونش) بجوار القاعدة في أماكنها المحددة كما في الشكل رقم (٢٣).



الشكل رقم (٢٣) : توزيع اجزاء التوربينة والمعدات أثناء عملية التركيب

- **وتتكون أجزاء التوربينة والمعدات أثناء عملية التركيب من لأجزاء التالية:**

١- الناسيل (حاوية الأجزاء الدوارة).

٢- البرج.

٣- العضو الدوار.

٤- قاعدة البرج.

٥- رافعة التركيبات (الونش).

٦- رافعة مساعدة (ونش مناول).

- تتم عملية تجميع البرج إذا كان البرج يتكون من أكثر من جزء.
- يتم تجميع الريش(الشفرات) مع الناسيل (حاوية الأجزاء الدوارة) وهناك عدة طرق للتجميع تبعا لعدد الريش وتصميم تجميعها بعمود الإدارة وقدرة التوربينة وعلى سبيل المثال فإن التوربينات ذات القدرات المتوسطة (حوالي ١٠٠ ك.وات) والتي تتكون من ثلاثة ريش تكون الزاوية بين كل واحدة والأخرى ١٢٠ درجة ويتم تجميع الريشة الأولى مع الصرة في وضع أفقي بعد ضبط زاوية الخطوة لها ثم تركب الريشة الثانية في وضع أفقي أيضاً بالصرة كالريشة الأولى وفى بعض الأحيان يتم تجميع الناسيل مع المجموعة على الأرض ثم ترفع المجموعة كلها كما بالشكل رقم (٢٤) ويكون شكل الريشتين على شكل حرف V ويكون مكان الريشة الثالثة بالصرة لأسفل وعموديا على الأرض، وتركب الريشة الثالثة لاحقا بعد رفع الناسيل (الحاوية) فوق البرج.

الشكل رقم (٢٤) : رفع الناسيل فوق البرج

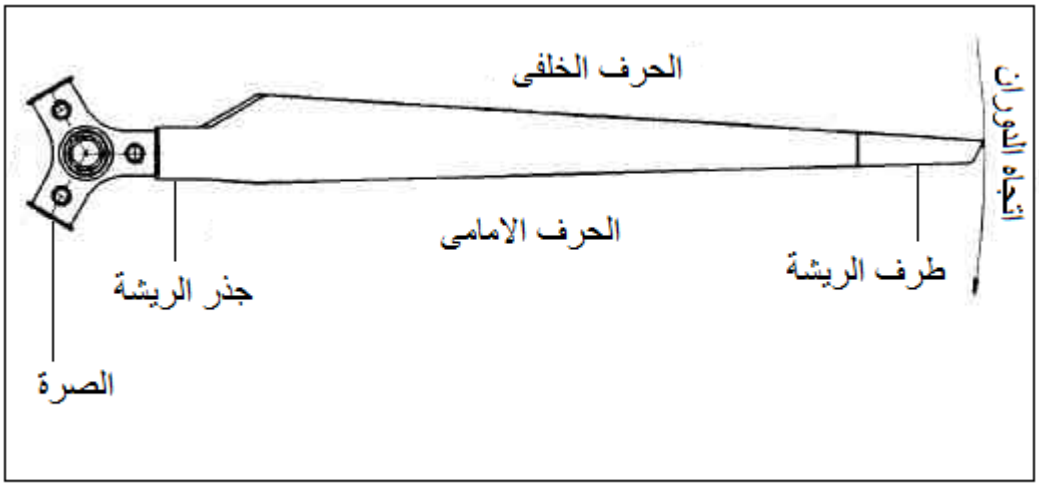
- في التوربينات ذات القدرات الكبيرة يتم تجميع الصرة والريش الثلاثة على الأرض بحيث توضع الصرة في وضع رأسي ويتم تجميع الريش الثلاثة بعد ضبط زاوية الخطوة لكل ريشة ويتم ورفعها كما بالشكل رقم (٢٥) على أن يتم تجميعها بحاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل) والتي يتم رفعها أولا فوق البرج.

الشكل رقم (٢٥) : تجميع الريش على الارض ورفعها

- أما في التوربينات ذات الريشتين فتكون الزاوية بينهما ١٨٠ درجة فيثبتان في جانبي الصرة.
- يتم إدخال الكابلات من خلال المواسير السابق ذكرها الموجودة بالقاعدة، ويتم رفع العزل عن الأجزاء المرتفعة عن سطح الأرض وهي عبارة عن مسامير، ويتم تمشيط أسنان هذه المسامير لتسهيل عمليات التركيبات.
- يتم عمل ضبط لأفقية القاعدة بتثبيت أربع قطع معدنية سميكة بين المسامير على محيط القاعدة تكون الزاوية بين كل قطعة والتي تليها ٩٠ درجة وباستخدام ميزان الماء وميزان القامة يتم التأكد من أنها في مستوى أفقي واحد.
- يتم وضع لوحة التحكم على القاعدة الخرسانية.
- يتم رفع البرج بالرافعة (الونش) الخاصة بالتركيبات ووضعه على القاعدة الخرسانية كما في الشكل (٢٦) ويتم ربط الصواميل بالبرج بالعزم المنصوص عليه.

الشكل رقم (٢٦) : رفع البرج لتركيبه على القاعدة

- يتم تجميع الصرة بالريش كما بالشكل رقم (٢٧) وتركيبهما بنهاية عمود السرعة البطيئة مع ربط أطراف ريشتين بحبال حتى يمكن التحكم فيها للحفاظ على أن تكون الريش على شكل Y ويتم ربط الصرة بالعزم المنصوص عليه.



الشكل رقم (٢٧) : تجميع الريشة بالصرة

- يتم رفع الناسيل (حاوية الأجزاء الدوارة) فوق البرج، ويتم تثبيتها مع البرج بمسامير مع تعزيمها بالعزم المنصوص عليه كما بالشكل رقم (٢٨).

الشكل رقم (٢٨) : رفع الناسيل الى قمة البرج

- وفي حالة التوربينات المتوسطة (قدرة ١٠٠ ك.وات) يتم فك الفرامل وتقلب الريشتان من وضع شكل الحرف **V** إلى وضع شكل الحرف Y ثم تربط الفرامل ويتم تركيب الريشة الثالثة بعد ضبط زاوية الخطوة المنصوص عليها.

- يتم إنزال الكابلات من الناسيل (حاوية الأجزاء الدوارة) وتعليقها بواسطة حامل الكابلات بالبرج حتى تصل إلى لوحة التحكم بأسفل البرج ويتم توصيل الكابلات بها والتأكد من صحة توصيل الأطراف استعداداً لإنهاء ربط التوربينة بالشبكة الكهربية وتجربة تشغيل التوربينة.