الفصل الثالث

طاقة الرياح

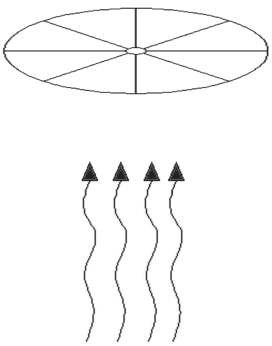
مقدمة :

إن أي جسم مادي متحرك يمتلك طاقة حركية تتعلق بالسرعة التي يتحرك بها، بشكل مشابه جريان الهواء حول محيط الكرة الأرضية أو ما يسمى الرياح يمتلك طاقة حركية تسمى بطاقة الرياح .السبب الرئيسي لحركة الرياح في غلافنا الجوي هو أشعة الشمس التي تزيد من حرارة سطح الأرض لذلك يمكن اعتبار طاقة الرياح شكلاً من أشكال الطاقة المتحولة عن الطاقة الرئيسية و هي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح من الممكن اعتبارها واحدة من أهم أشكال الطاقات المتجددة الخالية من التلوث البيئي بحدود 1 إلى 3 % من الطاقة الشمسية على سطح الأرض تتحول إلى طاقة رياح و تماماً مثل الطاقة الشمسية فإن طاقة الرياح تتأثر بالمناخ العام و تتغير على مدار العام و مدار اليوم الواحد .يمكن استغلال طاقة الرياح بأشكال عدة منذ القدم استخدمت هذه الطاقة لدفع السفن الشراعية كذلك استفيد من تحويل هذه الطاقة إلى طاقة ميكانيكية في المطاحن الهوائية و وسائل ضخ المياه و يشكل مماثل يمكن تحويل طاقة الرياح إلى الطاقة الأكثر طلباً وهي الطاقة الكهربائية، إن تحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية هو أحد أهم التطبيقات الحديثة للطاقات المتجددة و قد أثبت جدواه الاقتصادي في مناطق كثيرة من أنحاء العالم حيث تتوفر فيها مصادر الرياح ، إن سوق طاقة الرياح ينمو بمعدل سنوي قدره 30 % و هذا يعني الإقبال المتزايد على استخدام هذا النوع من الطاقة .

كيف تؤثر الحرارة في حركة الهواء :

لنأخذ قطعة من الكرتون و نقصها على شكل دائرة نقوم بصنع ثقب صغير في مركز الدائرة يحيث يمكن تمرير محور دوران ضمن الثقب ثم نقسمها إلى ثمانية أجزاء متساوية (مثل علبة الجبنة الصفراء) و نقوم بثني أحد الجانبين لكل جزء لتأخذ شكل المروحة .

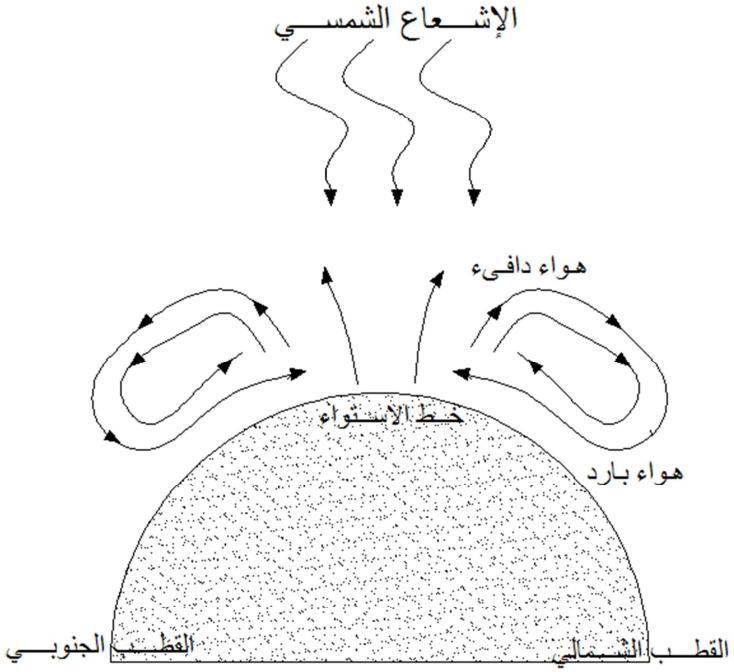
علق المروحة من محور دوران بحيث تكون حرة الدوران و بوضعية أفقية وضعها فوق مصدر حراري بسيط شمعة مثلاً ولاحظ كيف بدأت تدور بشكل بطيء.



مصدر حراري

1-3 حركة الرياح :

إن حركة الرياح ظاهرة معقدة و تعتمد على عوامل مختلفة و متغيرة، كما هو معروف فإن المنطقة الاستوائية من الكرة الأرضية تتلقى إشعاعاً شمسياً أعلى من مناطق القطبين الشمالي و الجنوبي بسبب زيادة التسخين في منطقة خط الاستواء فإن الهواء يصبح أخف و يبدأ بالتحرك و الصعود نحو الطبقات العليا ،الهواء الساخن عند خط الاستواء يتجه نحو القطب الشمالي و القطب الجنوبي هذه الحركة للهواء تتوقف عندما يبرد عند الدرجة 30 شمالاً و 30 جنوباً عند هذا المستوى يبدأ الهواء بالنزول للأسفل و يعود لمنطقة الاستواء خلال الطبقات السفلى للغلاف الجوي و يكون الهواء قد أكمل دورة كاملة، كذلك لحركة دوران الأرض حول نفسها أثراً على جهة جريان الهواء فالهواء الصاعد يتعرض للانحراف في مساره نحو الشرق و الهواء العائد يتعرض للانحراف نحو الغرب .

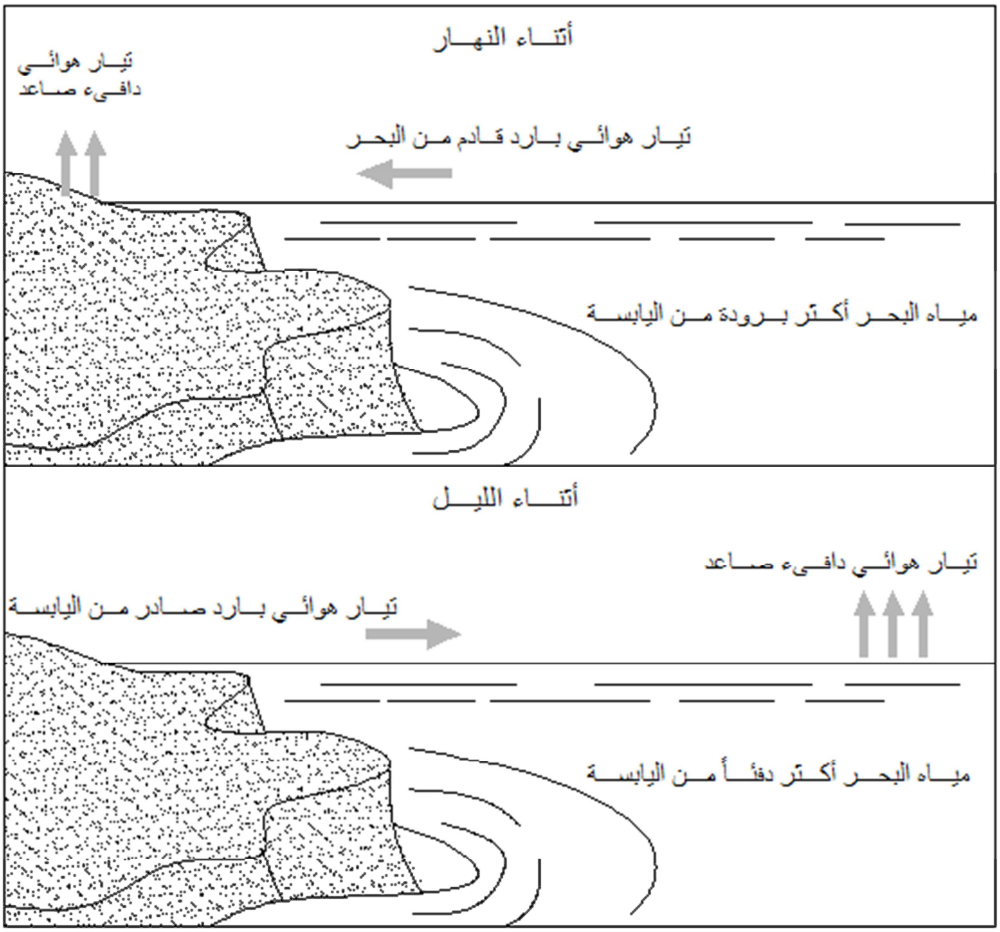


---------- الشكل(26) ----------

هناك عوامل أخرى تؤثر على حركة الرياح السرعة والجهة لكن بشكل قليل نسبياً وهي الفروقات الحرارية بين سطح اليابسة و سطح البحر ، وجود عوائق طبيعية مثل الأشجار ، الجبال ، الوديان

تأثير الفروقات الحرارية بين اليابسة و الماء :

حاول في صباح أحد أيام الصيف الحارة التوجه لشاطىء البحر أو شاطىء بحيرة قريبة ، اغرس يدك في تراب الأرض و استشعر سخونتها ، بعدها اغمس يدك في مياه الشاطىء لتلاحظ أن الماء أكثر برودة . كرر التجربة في نفس المكان لكن أثناء الليل و لاحظ أن الماء أكثر دفئاً من اليابسة .
عند شروق الشمس تسخن اليابسة بسرعة في حين تسخن مياه البحر ببطء ،أما عند الغروب فاليابسة تخسر حرارتها بسرعة بينما مياه البحر تحتفظ بحرارتها لمدة أطول .أثناء الليل الهواء فوق اليابسة أكثر برودة من الهواء فوق البحر و أثناء النهار الهواء فوق البحر أكثر برودة من الهواء فوق اليابسة من أجل مساحات شاسعة من اليابسة و سطح البحر فإن هذه الفروقات الحرارية تكون سبباً في تشكل الرياح . لاحظ الشكل (27) في الأسفل .



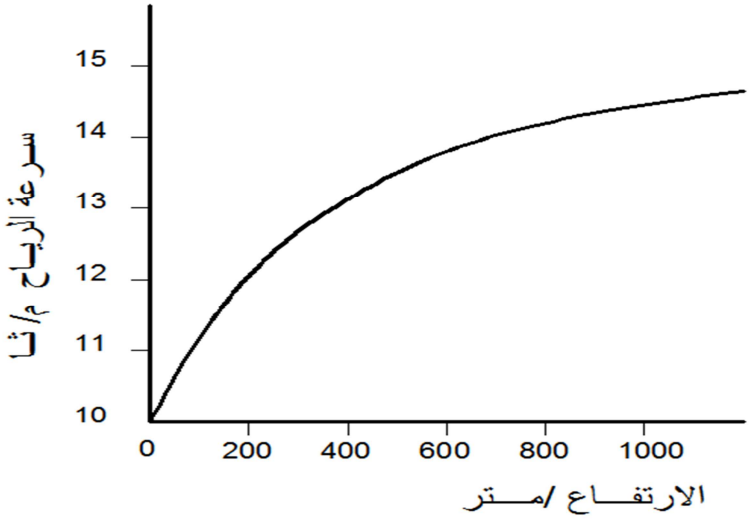
---------- الشكل (27) ----------

2-3 تغير سرعة الرياح :

عند نقطة معينة فإن سرعة الرياح تزداد كلما اتجهنا صعوداً فوق سطح الأرض ،فعند سطح الأرض تماماً تكون سرعة الريح معدومة بسبب الاحتكاك مع سطح الأرض بعد ذلك تزداد سرعة الرياح كلما ارتفعنا عن سطح الأرض حتى ارتفاع معين بعد هذا الارتفاع تزداد سرعة الرياح لكن بشكل ضئيل حتى الوصول لارتفاع 2000 متر عن سطح الأرض عندها تنعدم سرعة الرياح.

حركة الهواء	سرعة الهواء كيلومتر / ساعة	مظاهر طبيعية
حالة سكون كامل	صفر	يتصاعد دخان النار بشكل مستقيم نحو الأعلى .لا يوجد حركة لأوراق الأشجار.
نسيم خفيف	7-6	حركة لأوراق الأشجار خفيفة .
نسيم متوسط الشدة	25	حركة للأغصان الصغيرة ووجود غبار في الجو .
رياح متوسطة	40	حركة للأغصان والفروع الرئيسية .

رياح قوية	57	صعوبة كبيرة في المشي عكس الرياح و اهتزاز قوي للأشجار.
عاصفة متوسطة الشدة	72	تحطم فروع الأشجار .
عاصفة شديدة	100 - 90	اقتلاع و تحطم جذوع الأشجار تطاير أسقف البيوت الريفية .
إعصار	فوق 100	أضرار بالغة بالمباني وتطاير السيارات و خطوط نقل القدرة الكهربائية .



----------الشكل (28) ----------

هنا يلزم تعريف عامل خاص بسرعة الرياح يسمى عامل الخشونة (a) و يتعلق بطبيعة السطح الذي يحتك مع جريان الهواء ، عامل الخشونة له القيمة 0,01 للمسطحات المائية مثل البحار والبحيرات الكبرى وله القيمة 0,12 للمزارع ذات الأشجار و قيمة 0,28 للقرى و المدن .

3-3 الطاقة الحركية للرياح :

الطاقة الحركية الناجمة عن مجرى ريحي عبر مروحة خاصة (توربين هوائي) تستغل لتوليد الكهرباء من الرياح ،الطاقة المقدمة من الرياح (P) تتعلق بشكل رئيسي بسرعة الجريان (v) و بكثافة الهواء(ρ) و تتحدد بالمعادلة التالية :

$$P = 0.5\rho A\, V^{3}$$

حيث (A) هي المنطقة الممسوحة بواسطة أجنحة التوربين .

في المعادلة السابقة يوجد تكعيب أي أنه إذا ازدادت سرعة الرياح بعامل الضعف فإن الطاقة المقدمة من التوربين سوف تزداد بعامل ثمانية .
كذلك تتعلق الطاقة بمساحة جناح التوربين فكلما كانت مساحة الجناح أكبر كلما حصلنا على طاقة أعلى

و كثافة الهواء لها دور مهم أيضاً وهي تختلف حسب عوامل خاصة لا سيما الحرارة و الضغط فعند درجة حرار ة 25 سيلسيوس و ضغط جوي 760 مم زئبقي تكون كثافة الهواء 1.22 كغ/ م^3
و تصبح المعادلة السابقة بالشكل :

$$P = 0.6V^3 A$$

4-3 التوربين الهوائي – العنفة الريحية :

يشبه المروحة الهوائية العادية لكنه يعمل بوظيفة معاكسة تماماً ففي حين تحول المروحة العادية الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية فإن التوربين يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية .
هناك العديد من الأنواع للتوربينات الريحية المستخدمة لتوليد الكهرباء :
- التوربين الهوائي الطارد.
- التوربين متعدد الأجنحة .
- التوربين سافونيس و التوربين داريوس .
الشكل (29) يبين مكونات التوربين الهوائي أو العنفة الريحية .

تقنية التوربين الهوائي :

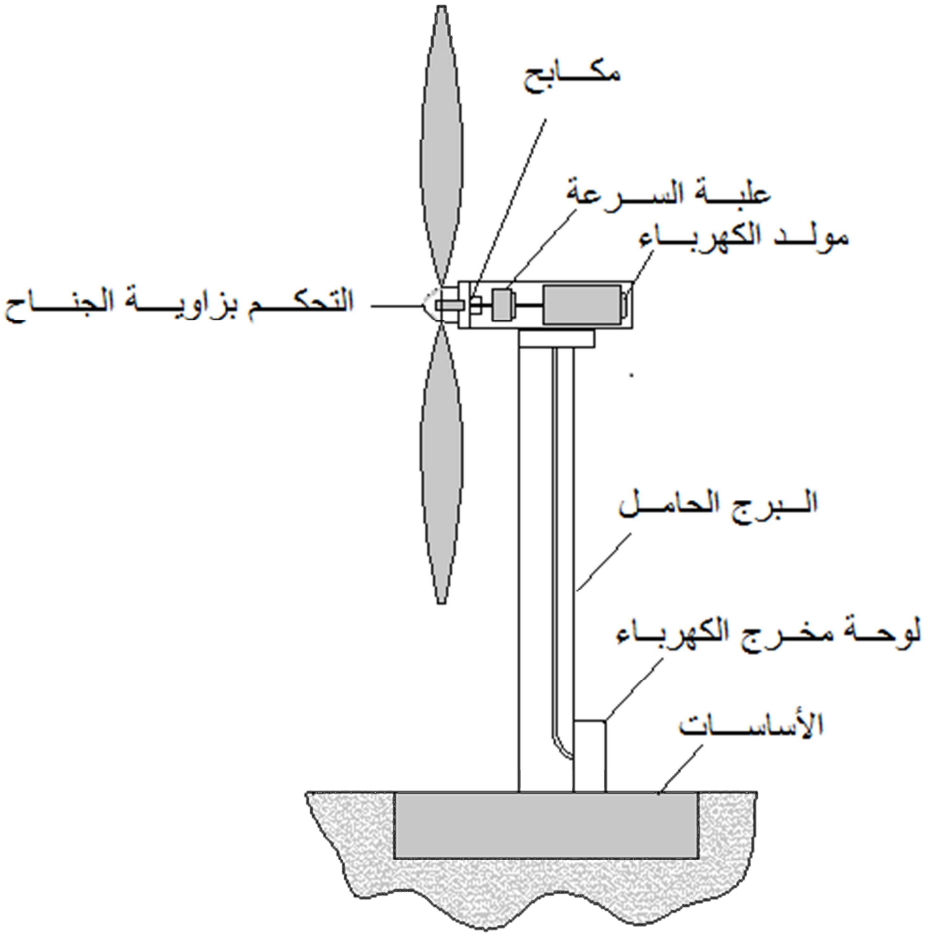
على الرغم من التطور السريع في صناعة التوربين الهوائي إلا أن المبدأ الرئيسي لعمل التوربين لا يزال كما هو و يعتمد على وظيفتين اثنتين :
1- استخلاص الطاقة الحركية من الرياح و تحويلها لعزم ميكانيكي بواسطة الأجنحة و علبة السرعة .
2- تحويل العزم الميكانيكي إلى طاقة كهربائية بواسطة المولدة ومن ثم حقن هذه الطاقة إلى الشبكة الكهربائية .

الأجزاء الرئيسية للتوربين الهوائي :

1- **الجزء الدوار والأجنحة** (المروحة مع محور الدوران) :
التوربينات الحديثة تكون مزودة بجناحين و في معظم الأحيان ثلاثة أجنحة و هذه الأجنحة مصنوعة من خليط من البولستر المقوى مع الفيبر غلاس أو مع الفيبر كاربون ، الجناح من الداخل يحوي تجاويف و ذلك لتأمين سماكة الجناح و خفة الوزن و جدار الجناح أو قشرة الجناح تكون مكونة من عدة طبقات من عدة مواد : فيبر غلاس أو ايبوكسي غلاس ، طبقات متراصة من الخشب يوضع بينها مادة من غراء الإيبوكسي و طبقة رقيقة من الألمنيوم للحد من تأثير الصواعق و أحياناً تطلى بمادة من الجل ، حسب الطلب يمكن تصنيع هذه الأجنحة بقطر من 1 متر حتى 100 متر أو أكثر وهي ترتكز على قاعدة فولاذية دوارة تمثل مركز المروحة تسمى بالدائر . معظم أنواع الأجنحة يكون قابلاً للمعايرة (يمكن التحكم بزاوية ميل الجناح) .
ترتكز الأجنحة الثلاثة على المحور الدائر بواسطة قاعدة ثلاثية الفتحات وهي عبارة عن ثلاثة أسطوانات متداخلة مع بعضها محور كل أسطوانة يصنع مع محور الأسطوانة التي بعده و التي قبله زاوية قدرها 120درجة و محور كل أسطوانة ينطبق على المحور الذي يدور حوله الجناح لتغيير الزاوية ، هذا الجسم الأسطواني الثلاثي يسمى hub .

2- **حجرة الميغانيزم** : و هي الجزء من التوربين الذي يقع خلف المروحة مباشرة و في أعلى البرج الحامل ويحتوي بداخلة على الأجزاء الميكانيكية و الكهربائية : علبة السرعة ، المكابح ، عمود الدوران ، المولدة ، محرك التوجيه حسب جهة الرياح . وهذه الحجرة تصمم بحيث تكون متحركة على العمود الحامل وبحيث تكون جهة عمود الدوران مقابلة مباشرة لحركة الرياح أي المستوي الذي يحوي

الأجنحة يجب أن يكون متعامداً مع محور حركة الرياح للحصول على أقصى طاقة ممكنة و هذه الحجرة يمكن الوصول إليها عن طريق البرج الحامل ، البرج الحامل هو عبارة عن أسطوانة فولاذية ضيقة عند القمة (جزع مخروط) وقطر القاعدة يصل ل 4,2 متر و أحياناً يستخدم بدلاً من الأسطوانة برج متصالب فولاذي مثل أبراج نقل القدرة الكهربائية .
غالباً ما يثبت فوق حجرة الميغانيزم جهاز قياس سرعة الرياح و هو عبارة عن قضيبين متصالبين قابلين للدوران على محور عمودي يمر من مركز التصالب و يثبت في نهاية كل طرف من الأطراف الأربعة نصف كرة و سرعة دورانه تتناسب مع سرعة الرياح .
كذلك يثبت مؤشر خاص للدلالة على جهة الرياح .



----------الشكل (29) ----------

3- علبة السرعة : وظيفتها زيادة عدد الدورات للمحور الدائر إلى عدد من الدورات يتناسب مع المولدة الكهربائية ، إن توربين باستطاعة 1 ميغا واط 1 MW و بمروحة بقطر 52 متر يحتوي على علبة سرعة تستطيع التحويل من 20 دورة في الدقيقة (20 r.p.m) إلى 500 r.p.m
و حيث أن مكونات علبة السرعة هي جملة مسننات فلابد من عملية التزييت لمنع تآكل المسننات مع الزمن و تتم هذه العملية آلياً بواسطة مضخة زيت تأخذ حركتها من حركة المحور الدائر وتشبه في آلية عملها مضخة الزيت في السيارة .

4- المولدة الكهربائية :

هناك ثلاثة أنواع رئيسية مستخدمة :

- المولدة التحريضية ذات القفص السنجابي .
- المولدة التحريضية ذات الدائر الملفوف .
- المولدة المتزامنة ذات القيادة المباشرة .

في النوع الأول هناك فارق ملحوظ بين سرعة الجزء الدوار للتوربين و بين سرعة المولدة و تسمى هذه الخاصية الفيزيائية (انزلاق) ،علبة السرعة تقوم بالوصل بين الدائر والمولدة .
ملفات التهييج (الجزء الثابت) في المولدة تكون متصلة مع الشبكة الكهربائية.
هذا النمط يسمى توربين هوائي ثابت السرعة .
من عيوب هذه المولدة أنها تمتص الاستطاعة الردية من الشبكة (reactive power) و هو أمر غير مستحب حدوثه في الشبكات الكهربائية. لذلك يتم وصل مكثفات على التفرع بين مخرج المولدة ومدخل الشبكة الكهربائية .
ملاحظة : الاستطاعة الردية يرمز لها بالرمز Q و تقاس بواحدة تسمى فار VAR ويجب دائماً التخفيف من قيمة هذه الاستطاعة ما أمكن أي تخفيض قيمة ال VAR بوصل لوحات خاصة تحوي مكثفات اسطوانية و تسمى هذه العملية بتحسين عامل الاستطاعة .
النوعين الثاني و الثالث من المولدات يكون هناك فارق كبير بين سرعة الدائر للتوربين و سرعة المولدة لذلك يتم استخدام جهاز تقويم للموجة الكهربائية يسمى المقوم (CONVERTOR) .
ماهو المقوم ؟ لوحة كهربائية تضم 4 أو 6 قطع من أنصاف النواقل يسمى كل منها ثايرستور وتربط هذه القطع مع بعضها بحيث تسمى جسراً (جسر تقويم) ، يستقبل الجسر الإشارة الكهربائية المتناوبة و يحولها إلى إشارة مستمرة لكن متعرجة و نوع التعرج يعتمد على النبضات الكهربائية التي تقدح الثايرستور .
في المولدة ذات الدائر الملفوف يتم حقن الجزء الدائر من المولدة (الدائر الملفوف) بتيار حقن مأخوذ من مخرج المقوم لتعديل سرعته (التحكم بسرعة المولدة) في حين يتم توصيل مخارج ملفات الجزء الثابت من المولدة مع الشبكة الكهربائية مباشرة .
في المولدات المتزامنة ذات القيادة المباشرة تتصل المولدة مباشرة مع الدائر للتوربين الهوائي دون استخدام علبة سرعة ، تتصل المولدة مع الشبكة الكهربائية عبر مقوم (مخارج المولدة هي مدخل للمقوم و مخرج المقوم يتصل بالشبكة ، هنا التحكم بالسرعة أيضاً ممكن و المولدات المستخدمة هنا هي غالباً منخفضة السرعة .

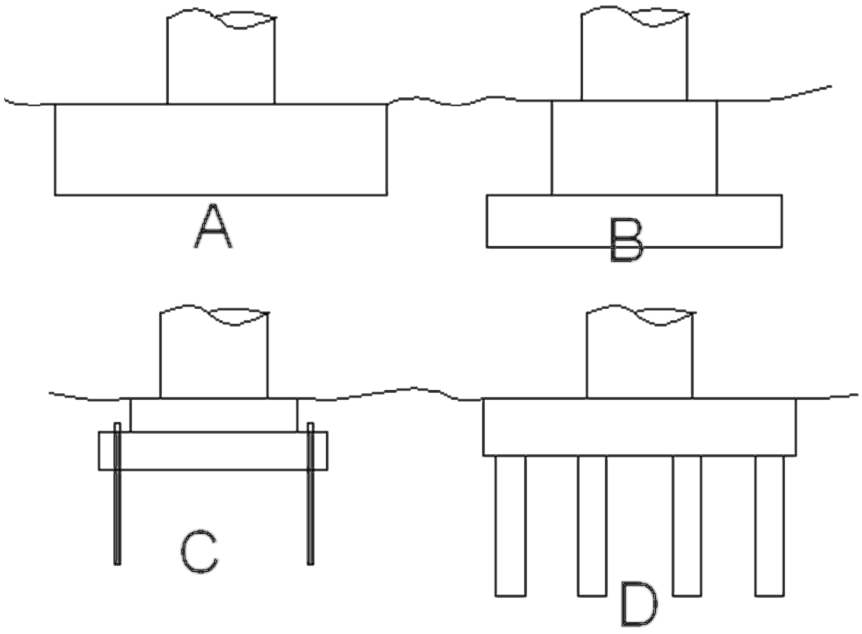
5- محرك التوجيه :

هو محرك يثبت في قاعدة حجرة القيادة بحيث يكون محور دورانه شاقولياً ، يثبت على محور دورانه مسنن مناسب و يتصف هذا المحرك بعزم دوران جيد و يمكن تشبيهه بمحرك الإقلاع في السيارة أو المارش الذي يعمل على تدوير مسنن الفولان لإقلاع السيارة ،بشكا عام لكا محرك خاصيتين فيزيائيتين هما السرعة عزم الدوران (محركات المراوح العادية هي محركات تتمتع بالسرعة وليس العزم حيث بإمكانك إيقاف دورانها باليد أما محرك فرد تثقيب الجدران فهو لا يتمتع بالسرعة لكن بعزم الدوران العالي) .
مسنن المحرك بدوره يتصل (يتعشق) مع مسنن آخر أضخم يدور على محور دوران شاقولي يمر ضمن العمود الحامل للتوربين . ترتكز حجرة الميغانيزم على هذا المسنن و تدور مع دورانه .
جهاز مراقبة جهة الرياح يعتبر حساس ميكانيكي يعمل على تشغيل محرك التوجيه مع تغير حركة الرياح .

6- **عناصر التحكم** :
يوجد ضمن كل توربين هوائي مجموعة من الحساسات لها وظائف مختلفة ترسل هذه الحساسات إشاراتها إلى نظام تحكم مركزي مبرمج و ذلك في كل حالات العمل للتوربين و هي أربع حالات : الاستعداد و الجهوزية (stand-by) ، الإقلاع (start-up) ،العمل الطبيعي ، التوقف العادي (shut-down) ، التوقف بسبب عطل (stopped with fail) .
أهم الحساسات المفترض وجودها : مقياس سرعة الرياح ، مؤشر جهة الرياح ، حساس قياس سرعة المحور الدائر ، حساس القدرة الكهربائية ، حساس زاوية المواجهة للجناح ، مجموعة من قواطع نهاية الشوط ، حساس الاهتزاز ، مؤشر حرارة و ضغط الزيت ، حساسات ضغط الهيدروليك ، مفاتيح تحكم مختلفة ، كونتاكتورات ، كبسات إيقاف و تشغيل .
بالإضافة لنظام التحكم هناك نظام السلامة (safety system) و هو يعمل بشكل مستقل عن نظام التحكم وهو عبارة عن مجموعة من حواكم التحكم أو ريليهات التحكم (control relay) تتوضع بشكل مدروس ضمن كل الدوائر الكهربائية و في حال ظهور أي عطل كهربائي تقوم بتوجيه زاوية الجناح لوضعية الكبح الهوائي ثم تطبق المكابح الميكانيكية على محور الحركة أي إيقاف عمل التوربين .
يتدخل نظام الحماية في الحالات التالية : زيادة السرعة لمحور الدوران – حصول اهتزاز للعمود الحامل – عدم إعداد المؤقت الزمني لنظام التحكم – الضغط على كبسة الطوارئ - فشل نظام التحكم بقيادة التوربين لسبب غير معروف .

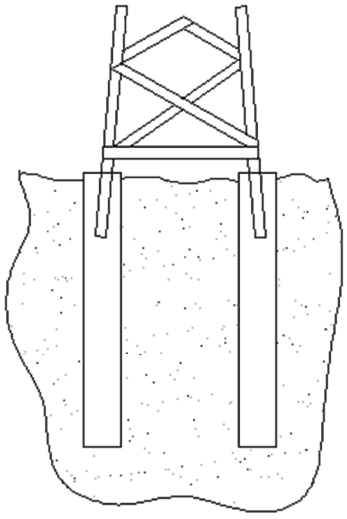
5-3 القواعد الاسمنتية المستخدمة للتوربين الهوائي :

إن تصميم القواعد الاسمنتية للتوربين الهوائي يخضع لعوامل عديدة أهمها الإجهادات التي يتعرض لها التوربين و لا سيما البرج الحامل تحت تأثير جريان الرياح على اختلاف شدتها و ما تسببه من اهتزازات للبرج تختلف بحسب ارتفاع البرج و موقعه الجغرافي .
هناك عدة أنواع شائعة الاستخدام عندما يكون البرج الحامل من النوع الأسطواني الفولاذي وهي موضحة في الشكل (30) .
الشكل (a) في هذه الحالة القاعدة عبارة عن وسادة اسمنتية اسطوانية بسماكة كبيرة نسبياً و السطح العلوي للوسادة الاسمنتية على مستوى سطح التربة ،تستخدم هذه الحالة عندما تكون الأرض ذات طبيعة صخرية و السطح المباشر للتربة ذو طبيعة صخرية مما يسمح بتثبيت الوسادة الاسمنية بشكل جيد و محكم و لا يسمح بتخلخل أو اهتزازات .
الشكل (b) في هذه الحالة تم استخدام وسادة اسمنتية بسماكة أقل من الحالة السابقة و وضعت على عمق معين من سطح التربة يثبت على مركز هذه الوسادة دعامة اسمنية ذات شكل أسطواني أيضاً و قطرها أقل من قطر الوسادة الاسمنية . هذه الحالة تستخدم عندما يكون سطح التربة ذو طبيعة رخوة (غضارية) و على عمق غير كبير تتواجد الطبقة الصخرية بحيث أن هذا العمق أكبر من سماكة الوسادة الاسمنية أي يتم استخدام الدعامة الاسمنتية لوضع الوسادة الاسمنتية ضمن الطبقة الضخرية أو مايعرف جيولوجياً بالسرير الضخري .
الشكل (c) هذه الحالة مماثلة للحالة السابقة أي الطبقة الصخرية لا تقع عند سطح التربة مباشرة، وتختلف عن الحالة السابقة باستخدام أسافين فولاذية لتثبيت الوسادة الاسمنتية ضمن الطبقة الصخرية إن استخدام الأسافين الفولاذية يسمح باستخدام وسادة اسمنية بسماكة أقل أي تصغير حجم الوسادة وبالتالي تخفيض كميات الاسمنت المستخدم و تخفيض التكلفة ، هذا النوع من القواعد يتطلب وجود خبرة فنية كافية في زرع الأسافين من قبل المقاول المنفذ .



----------الشكل (30) ----------

الشكل (d) في هذه الحالة تم استخدام وسادة اسمنية على سطح التربة مباشرة و هذه الوسادة متصلة أو ترتكز على عدة دعامات اسمنتية أسطوانية الشكل متوضعة على شكل دائري (6 -8) دعامات
هذه الحالة تستخدم عندما تكون التربة طرية جداً (رمال صحراوية) الوسادة الاسمنتية مع الدعامات القاعدية الغروسة بشكل عميق ضمن التربة تمنع حدوث الاهتزازات . الدعامات الاسطوانية يمكن ان تكون صلبة و يمكن أن تكون أسطوانة جوفاء .
في الحالات السابقة اعتبرنا الوسادة الاسمنتية عبارة عن أسطوانة دائرية المقطع لكن هذا كلام نظري صعب التنفيذ عملياً و ذلك لصعوبة تنفيذ قالب صب اسمنتي بمقطع دائري تماماً لهذا يأخذ مقطع الوسادة الاسمنتية شكل مضلع منتظم (مربع ، مخمس ، مسدس) .
بالنسبة للتوربينات الهوائية التي تستخدم الأبراج الفولاذية المجمعة مثل ابراج نقل القدرة الكهربائية يتم اتباع طريقة مختلفة عن الحالات السابقة . حيث يلاحظ أن إجهادات الاهتزاز تكون أقل من حالة البرج الحامل الأسطواني الشكل كذلك الأرجل الأربعة للبرج الشبكي ترتكز على مساحة جيدة .
في هذه الحالة يتم صب أربعة دعامات اسمنية أسطوانية الشكل عند نقاط الارتكاز لأرجل البرج الأربعة كما هو موضح في الشكل (31) بحيث تنغرس أرجل البرج الأربعة ضمن هذه الدعامات رجل ضمن كل دعامة .
يلاحظ أن كل رجل معدنية تتوضع ضمن الدعامة بزاوية توضع حسب تصميم البرج و بما يسمح بتجميع الزوايا المشكلة للبرج بشكل صحيح ، و يجب الانتباه أن عملية الصب لا تكون قبل التجميع ، يجب تجميع قاعدة البرج فقط و ليس كل البرج بحيث تنغرس كل رجل ضمن قالب الصب الاسمنتي الذي يأخذ شكل الدعامة بعد تشكيل قاعدة البرج بشكل سليم تبدأ مرحلة صب الاسمنت ضمن القوالب



----------الشكل (31)----------

6-3 الطاقة الكهربائية المتولدة سنوياً :

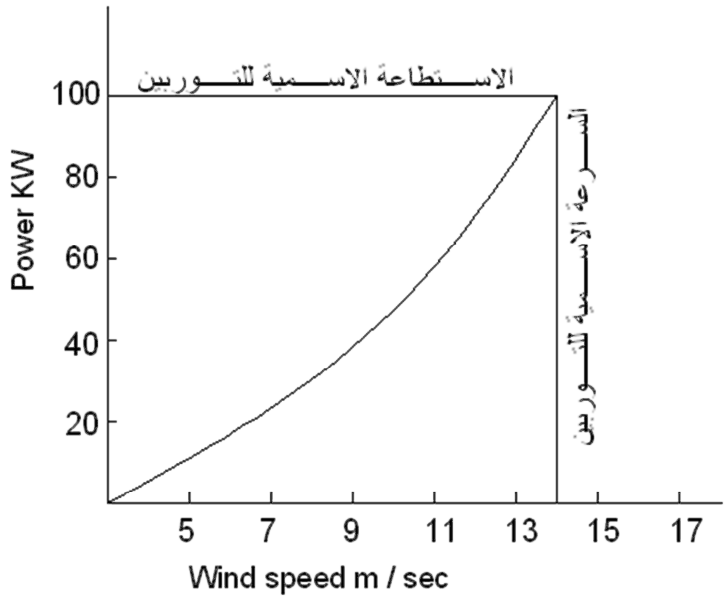
كم هي الطاقة الكهربائية المتوقعة خلال سنة من توربين هوائي استطاعته 100 كيلوواط ؟
هنا يجب ضرب استطاعة التوربين الكهربائية بعدد الساعات في السنة وهي 8760 ساعة لتكون الاستطاعة الكهربائية المقدمة خلال سنة واحدة و المقدرة بالكيلو واط الساعي 876000 KWh .
لكن الرقم السابق يكون دقيقاً فقط عندما يكون جريان الرياح خلال ساعات السنة منتظماً وهذا عملياً غير ممكن، لهذا للحصول على القيمة الفعلية للطاقة الكهربائية المقدمة من التوربين لا بد من استخدام مفهوم عامل السعة Capacity factor و سنفترضه في مثالنا 0.3 لتصبح الطاقة الكهربائية السنوية :

$$P_{year} = 100 \times 8760 \times 0.3 = 262800 \text{ KWh}$$

هذه الطريقة باستخدام عامل السعة هي طريقة تقريبية ولا تقدم أرقاماً دقيقة وللحصول على نتائج أكثر دقة يجب معرفة المعطيات التالية :(1) توزع حركة الرياح على المدى الطويل (2) منحني القدرة الكهربائية للتوربين .لاحظ الشكل(31-ب) بالنسبة لتوربين بسرعة اسمية 14 م /ثا تقابلها استطاعة اسمية 100 KW.
الجدول في الأسفل يستخدم المعطيات المذكورة لحساب الطاقة الكهربائية السنوية لتوربين باستطاعة 100 KW مع عامل أداء $C_P = 0.37$

سرعة الرياح م / ثا	ساعات الحركة بالسنة	الطاقة من التوربين $P = C_P .0.6AV^3$ KW	الطاقة KWh
1	200	0	7
2	250	0	73
3	350	0	0
4	500	2	1163
5	600	5	2725

5494	8	700	6
9971	12	800	7
16744	19	900	8
26490	26	1000	9
34521	36	950	10
41111	48	850	11
34535	63	550	12
31934	80	400	13
34899	100	350	14
25000	100	250	15
11000	100	110	16
0	100	0	17
الطاقة المتولدة في سنة **275667**		**8760**	



<u>مثال توضيحي</u> :

لنفترض منشأة صناعية تتطلب طاقة كهربائية سنوية بمقدار 2000KWh ما هي استطاعة ومواصفات التوربين الهوائي اللازم تركيبه لتأمين المنشأة بالطاقة الكهربائية المطلوبة ؟

الجواب :

سنفترض قيمة عامل الأداء $C_P = 0.4$ ، كثافة الهواء $1\ kg/m^3$ ، عامل السعة 0.3 ،سرعة الرياح على ارتفاع 15 متر هي 5 م/ ثا ، الضياعات في محور الدوران هي 0.9 الضياعات في المولدة هي 0.9 .

1- حساب كثافة الاستطاعة الكهربائية بالمتر المربع ، واط لكل متر مربع .

كثافة الاستطاعة الكهربائية = 0.5 x كثافة الهواء x مكعب سرعة الرياح

$$PD = 0.5 \times 1 \times (5)^3 = 62.5 \text{ watt } /m^2$$

2- حساب عامل الضياع الإجمالي :

عامل الضياع الإجمالي = ضياعات محور الدوران x ضياعات المولدة x عامل الأداء

$$K_{LOSS} = 0.9 \times 0.9 \times 0.4 = 0.324$$

وتكون كثافة الاستطاعة الكهربائية الفعلية :

$$PD_{act} = 62.5 \times 0.324 = 20.25 \text{ watt } /m^2$$

3- الطاقة الكهربائية النافعة خلال ساعات السنة 8760 ساعة :

$$E_{year} = 20.25 \times 8760 = 177.39 \text{ KWh } /m^2$$

4- تحديد الاستطاعة الاسمية للتوربين ، معرفة حجم الجزء الدوار بمعرفة مساحة هذا الجزء

مساحة الجزء الدوار تساوي الطاقة الكهربائية السنوية المطلوبة مقسومة على الطاقة الكهربائية النافعة خلال سنة .

فإذا فرضنا S هي مساحة الجزء الدائر :

$$S = 2000 / 177.39 = 112.75 \ m^2$$

حساب نصف قطر الجزء الدوار R :

$$\pi R^2 = 112.75$$

$$R = 5.91 \ m$$

5- الاستطاعة الاسمية للتوربين تساوي كثافة الاستطاعة الكهربائية الفعلية مضروبة ب مساحة الجزء الدوار :

$$Prate = 20.25 \times 112.75 = 2.28 \text{ KW}$$

القيمة 2.28 تتحقق عندما تكون سرعة الرياح 5 م/ثا خلال كل ساعات السنة 8760 ساعة وهذا عملياً غير ممكن لذلك يؤخذ عامل السعة بالحسبان.

الاستطاعة الاسمية الفعلية للتوربين :

$$Pact = 2.28 / 0.3 = 7.6 \text{ KW}$$

أي يلزم توربين باستطاعة اسمية 8 كيلوواط .

7-3 الجريان على السطوح الهوائية :

إن دراسة الجريان لوسط سائل أو غازي هي على درجة من التعقيد و تتطلب سرد الكثير من المعادلات الرياضية المعقدة لذلك سأحاول في هذا البحث تبسيط الظواهر الفيزيائية ما أمكن مع تجنب سرد المعادلات الرياضية المعقدة التي تتطلب المعرفة الجيدة بالرياضيات العالية .

لنفترض جسماً مغموراً ضمن وسط سائل ذو جريان ، ما هي القوى المؤثرة على هذا الجسم ؟

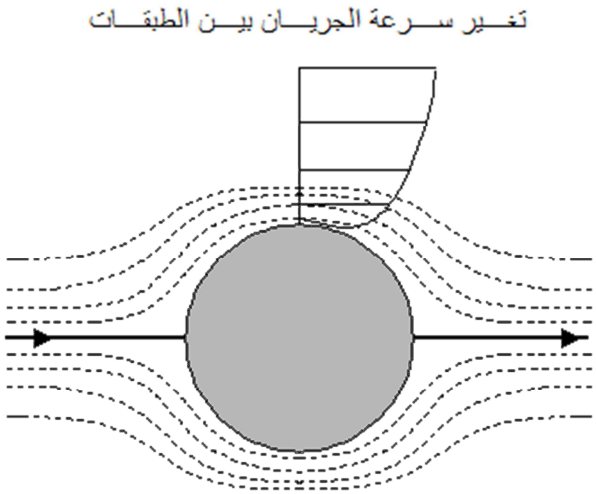
يمكن تحليا هذه القوى إلى قوتين رئيستين : قوة جر للتيار و قوة رافعة للجسم.

تؤثر في هذه القوى الطبقات من الوسط السائل المتحرك و الملاصقة للجسم ،هذه القوى من الممكن أن تكون موازية لسطح الجسم (قوى احتكاك) أو ناظمة (عمودية) على السطح (قوى الضغط) .

بالنسبة للتوربين الهوائي الهواء هو وسط جريان ويهمنا فهم الأساسيات التالية :

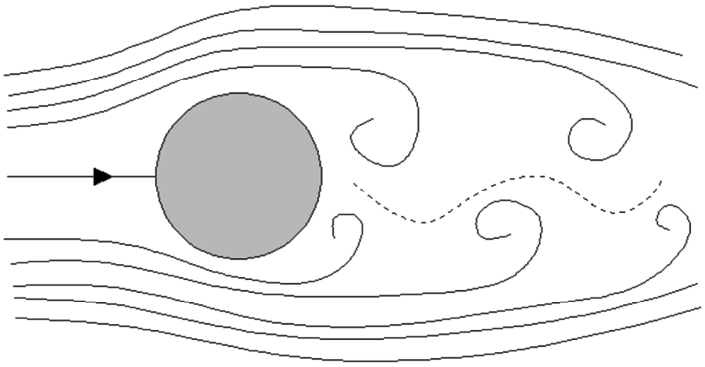
قوة الجر :

يمكن تصور وسط الجريان الذي يمر على سطح ما على أنه مجموعة من الطبقات الرقيقة جداًمتراكمة فوق بعضها البعض . الطبقة الملاصقة لسطح الجسم مباشرة تكون السرعة فيها شبه معدومة والطبقة التي فوقها مباشرة تمتلك سرعة قليلة نسبياً والطبقة التي فوقها تمتلك سرعة أكبر من سابقتها و هكذا كما يوضحه الشكل (32)



----------الشكل (32) ----------

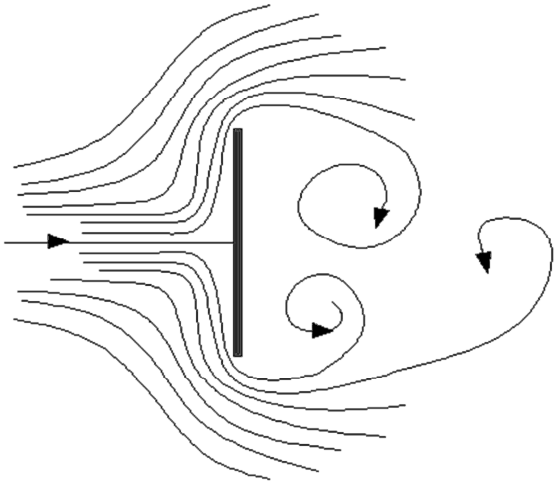
في حالة وسط جريان منخفض اللزوجة ويملك سرعة جريان مرتفعة نسبياً فإن قوى الجر تكون محصلة لتوزع الضغط بين مقدمة الجسم و بين مؤخرته ، ففي الجزء الأمامي من الجسم والمواجه مباشرة لتيار الجريان يكون الضغط مرتفع نسبياً والوسط يمتلك أيضاً سرعة مرتفعة نسبياً أما في مؤخرة الجسم فالضغط يكون مخلخلاً و سرعة الجريان منخفضة كما يوضح الشكل (33) .



----------الشكل (33)----------

عند وضع صفيحة مستوية بشكل عمودي في وسط جريان نلاحظ كيف أن طبقات الضغط تبدأ بالانفصال و التخلخل عند حواف هذه الصفيحة و تتشكل دوامات أو تيارات إعصارية خلف الصفيحة و يكون هناك فرق كبير في الضغط بين وجهي الصفيحة كلما زادت سرعة جريان الوسط كلما كان الفرق في الضغط أكبر ، لاحظ الشكل (34) .

لو قمنا بتدوير الصفيحة السابقة حول محور دوران يمر من حافتها السفلى و يوازي هذه الحافة بزاوية قدرها 70 درجة عكس اتجاه عقارب الساعة مع بقاء الصفية ضمن نفس وسط الجريان .
إن تيار الجريان المار أسفل الصفيحة سيلقى مقاومة من سطح الصفيحة السفلي لدفعه نحو الأسفل و بالتالي حسب مبدأ الفعل ورد الفعل فهناك قوة من التيار تؤثر عل الصفيحة وتحاول دفعها للأعلى .
أو يمكن القول أيضاً أن الفروقات في الضغط بين السطح السفلي للصفيحة و السطح العلوي يتسبب بظهور قوة دافعة نحو الأعلى و هو المبدأ الأساسي في تصميم جناح الطائرة .

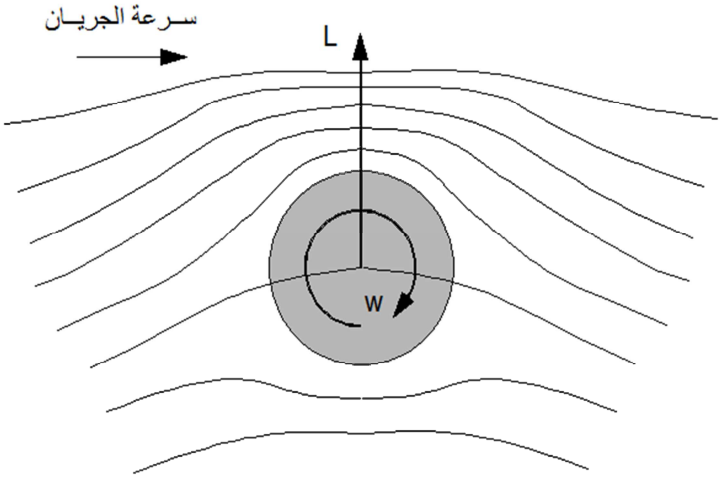


----------الشكل (34)----------

في مثالنا هذا صنعت الصفيحة مع خط الأفق زاوية قدرها 20 درجة سنسميها زاوية المواجهة .
هذه الظاهرة نلمسها في حياتنا اليومية ، فعندما تركب حافلة أو سيارة تسير بسرعة ثابتة و في يدك كتاب ما أخرج هذا الكتاب من النافذة (لكن تأكد من خلو الطريق من الحافلات حتى لاتخسر يدك مقابل هذه التجربة) ضع الكتاب بشكل مائل كوضعية الصفيحة السابقة و استشعر بقوى التيار الهوائي تدفع يدك نحو الأعلى .
عندما يتزلج رياضي على سطح البحر على لوح تزلج و هو متعلق بقارب سريع بواسطة حبل فإنه يستخدم نفس المبدأ فسرعة القارب هي سبب في دفع اللوح المائل نحو الأعلى ، كذلك عملية توجيه المسار للقوارب أو السفن بواسطة دفة التوجيه يعتمد أيضاً على هذا المبدأ .

الجريان الهوائي على أسطوانة تدور حول مركزها :

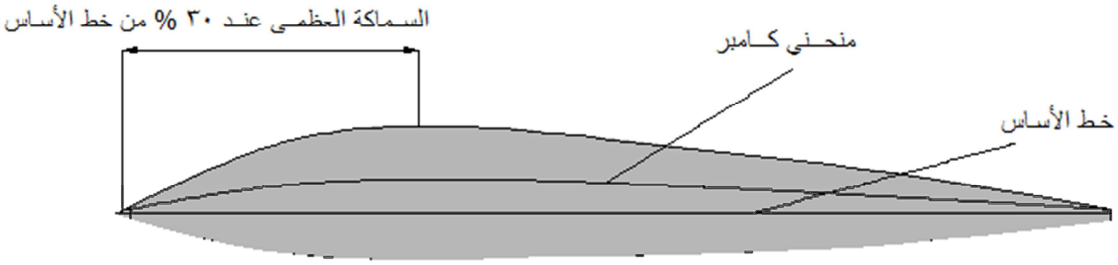
بالنسبة لأسطوانة تدور حول مركزها بسرعة دورانية ثابتة (w) ضمن وسط جريان له سرعة جريان (U) ، سندرس منطقتين للجريان فوق الصفيحة مباشرة و تحتها مباشرة ، فوق الصفيحة تكون جهة جريان السائل متطابقة مع جهة حركة الأسطوانة أي عامل الاحتكاك بين سطح الأسطوانة وطبقات السائل المتحرك شبه معدومة ومعدل سرعة الجريان أعلى مايمكن وضغط الماء الساكن منخفض جداً ، في أسفل الأسطوانة يحدث العكس تماماً سرعة جسم الأسطوانة تعاكس في الجهة سرعة الجريان وهذا يعني ظهور احتكاك بين سطح الأسطوانة و الطبقة الملامسة له من الوسط المتحرك و بين طبقات الوسط بعضها مع بعض أي أن سرعة الجريا نتيجة عامل الاحتكاك سوف تنخفض و سيزداد الضغط الساكن للوسط هذه الفروقات بين أعلى وأسفل جسم الأسطوانة تتسبب بظهور قوة رافعة (L) تدفع الصفيحة باتجاه الأعلى . لاحظ الشكل (35) .
هذه الظاهرة تسمى **بظاهرة ماغنوس** magnos effect و هي تفسر سبب انحراف كرة التنس اللولبية المقذوفة في الهواء عن مسارها .



---------- ----------الشكل (35)----------

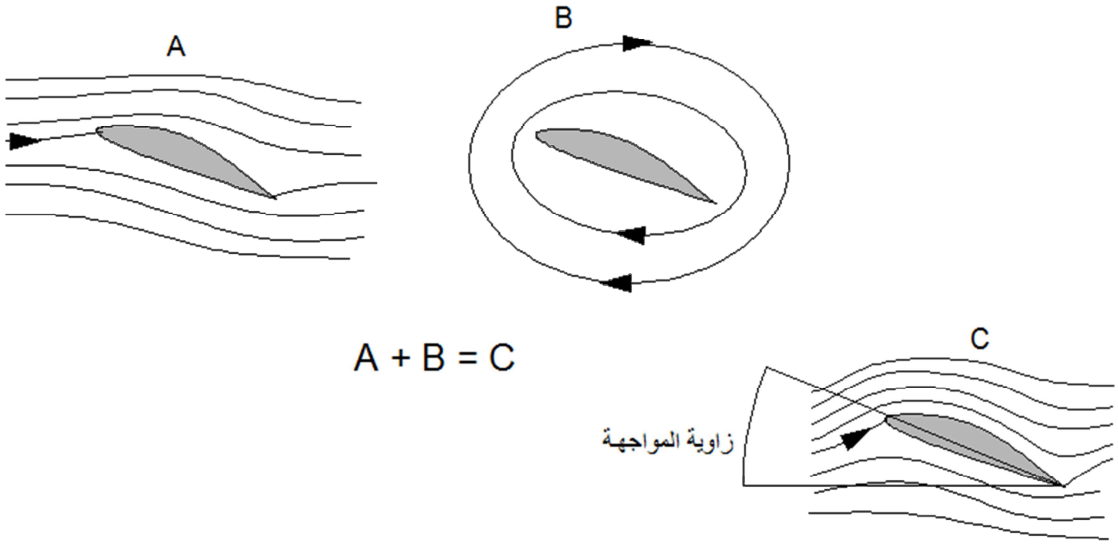
سطح كامبر الهوائي Camber aerofoil:

في تجربة الصفيحة المائلة إذا زادت قيمة زاوية المواجهة عن حد معين فستعيق الجريان و ستخفض من سرعة الجريان و بالتالي التقليل من قوة الرفع ، كذلك الحافة الحادة العلوية للصفيحة تلعب دوراً سلبياً حيث أنها تخلخل بين طبقات الوسط المتحرك و لا تسمح بحدوث جريان انسيابي .
يمكن التغلب على السلبيات السابقة بجعل الصفيحة تكتسب سماكة محددة مع تدوير لحافتها العلوية مع الحفاظ على حافته السفلية حادة، لاحظ الشكل(36) .

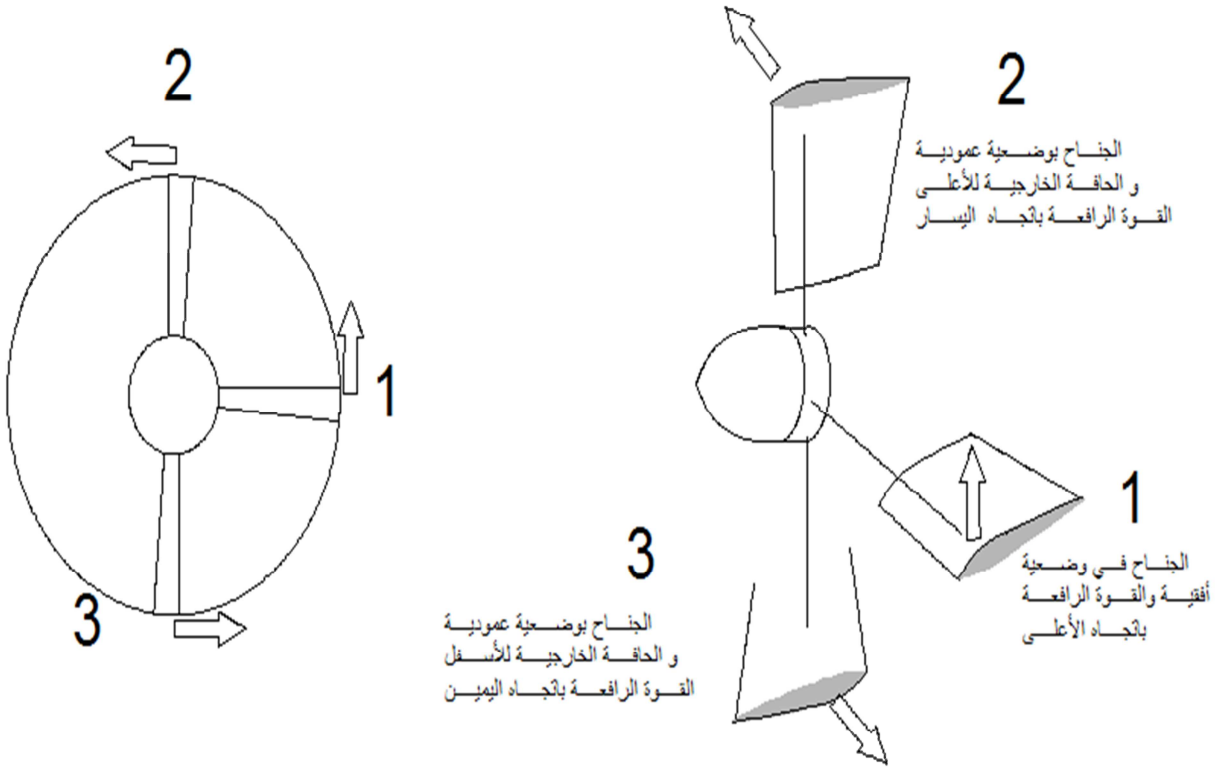


---------- (36) ----------الشكل

إن طبيعة شكل سطح كامبر تسمح بحدوث دوران للجريان أو جريان دوراني حول هذا السطح تماماً كما شاهدنا في حالة الأسطوانة الدائرة ضمن وسط جريان ، الحافة الذيلية الحادة لهذا السطح و السطح الأنسيابي تسمح بحوث دوران حوله من الأعلى للأسفل تساهم في زيادة السرعة للطبقات فوق السطح و تخفيض السرعة للطبقات تحت السطح و بالتالي الجريان الدائري يعزز القوة الرافعة لهذا السطح .
عندما يكون الجناح بوضعية أفقية تكون القوة المؤثرة باتجاه الأعلى و عندما يكون الجناح بوضعية عمودية و اتجاه الجريان هو نفسه فإن القوة الدافعة تكون عمودية على السطح العلوي و الذي أصبح على يسار اتجاه الجريان . مع ثبات اتجاه الجريان و مع تغير وضعية الجناح الدائر يتغير اتجاه القوة الدافعة بحيث تبدو القوة تتحرك بشكل مماسي على محيط دائرة هي دائرة الدوران أو مسار الحركة الدائرية للحافة الخارجية للجناح بحيث تعمل بشكل مستمر على تدوير الجناح و بالتالي تدوير الأجنحة الثلاثة للتوربين .
الشكل (38) يوضح هذا المفهوم .



---------- الشكل (37) ----------

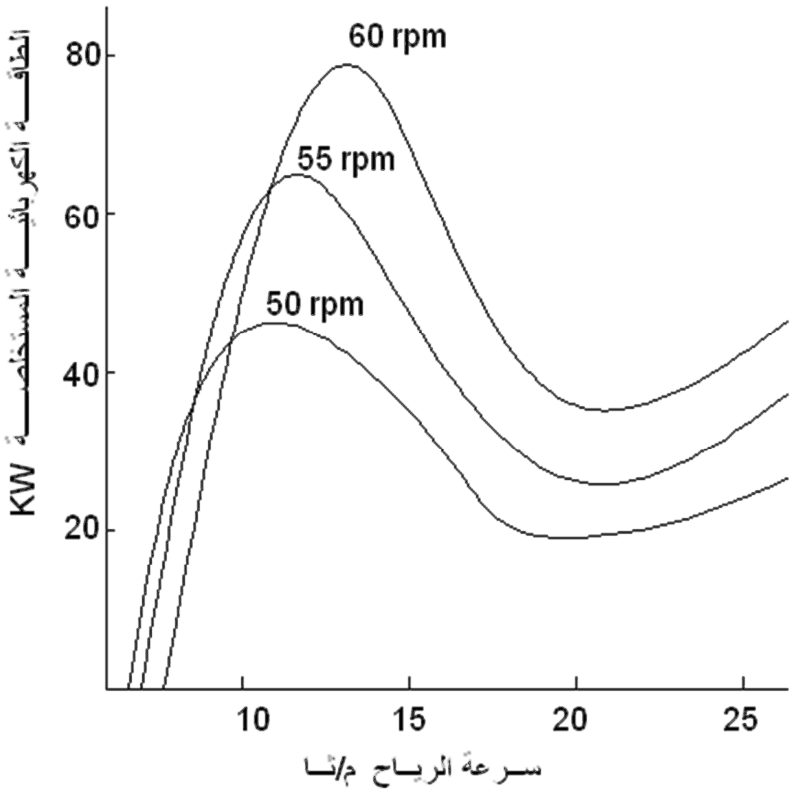


----------الشكل(38)----------

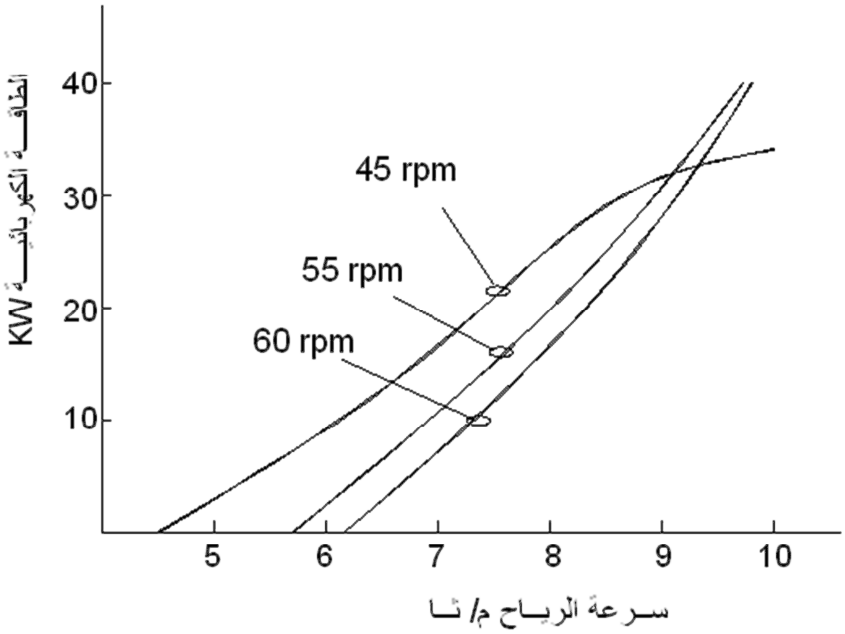
كما لاحظنا سابقاً فإن لزاوية المواجهة للجناح دوراً هاماً في تحديد قيمة القوة الرافعة للجناح لكن يجب ألا تتجاوز قيمة محددة و إلا تسببت بحدوث تخامد للجريان الهوائي على سطح الجناح و بالتالي إضعاف قيمة القوة الرافعة .
قيمة القوة الرافعة متناسبة طرداً مع قيمة زاوية المواجهة ضمن مجال محدد لهذه الزاوية فمع زيادة قيمة زاوية المواجهة تزداد قيمة القوة الرافعة و بالتالي تزداد قيمة عزم الدوران المحرك لمحور دوران التوربين و بالتالي تزداد سرعة التوربين والعكس صحيح فتخفيض قيمة زاوية المواجهة سيخفض من سرعة التوربين ، إن استخدام توربينات بأجنحة قابلة للحركة (تغيير زاوية المواجهة للجناح) حسب الحاجة زيادة أو إنقاص سرعة التوربين هو أحد أنواع التحكم المستخدم و هي طريقة قديمة نسبياً و تستخدم معها المولدات المتزامنة .

تأثير التغير في سرعة الدوران :

إن الطاقة المقدمة من التوربين الهوائي تتأثر بشكل كبير بسرعة الدوران عند التشغيل، فإذا تم اختيار سرعة تشغيل منخفضة فإن الطاقة المقدمة من التوربين تبلغ ذروتها عند سرعة رياح منخفضة أيضاً و بالمحصلة تكون قيمة هذه الطاقة منخفضة ،وبنفس الوقت عندما يتم اختيار سرعة عالية وتكون سرعة الرياح عالية أيضاً سوف يقدم التوربين كمية أكبر من الطاقة وإذا كانت سرعة الرياح معتدلة عندها يحصل انخفاض في قيمة مردود التوربين.
الشكل(39) يوضح العلاقة بين سرعة الرياح وقيمة الطاقة الكهربائية المستخرجة مقدرة بالكيلو وات وذلك عند سرعات دوران مختلفة للتوربين .
ملاحظة : rpm تعني دورة بالدقيقة rotation per minute .
الشكل(39 ب) أيضاً يوضح العلاقة بين سرعة الدوران والطاقة المستخرجة لكن عند سرعات رياح منخفضة .



الشكل(39)

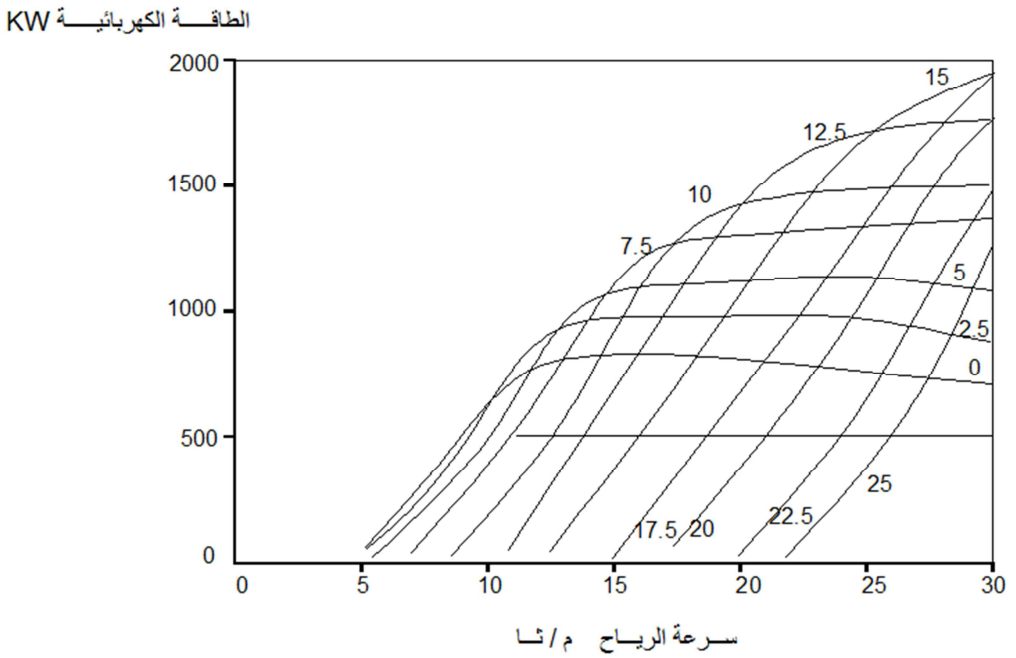


الشكل(39 ب)

عند القيام بفرملة التوربين (الإيقاف السريع) تدور أجنحة التوربين لتأخذ قيمة زاوية مواجهة كبيرة جداً بحيث تنعدم قيمة القوة الرافعة ثم تطبق المكابح الميكانيكية على محور الدوران .
التحكم بزاوية المواجهة يمكن أن يتم على الأجنحة الثلاثة معاً أي التحكم بالأجنحة الثلاثة بنفس اللحظة أو يمكن أن يتم لكل جناح على حدة و هنا يلزم نظام تحكم معقد مكون من أسطوانات هيدروليكية و محرك سيرفو .
الشكل (39 ج) يوضح تأثير تغير قيمة زاوية المواجهة على الاستطاعة الكهربائية المقدمة من التوربين حيث في هذا المثال تمت الدراسة على توربين قطر الأجنحة 40 متر ويدور بسرعة 33 دورة بالدقيقة و الرقم المكتوب على كل منحني هو قيمة زاوية المواجهة التي تتغير من 0 حتى 25 درجة .

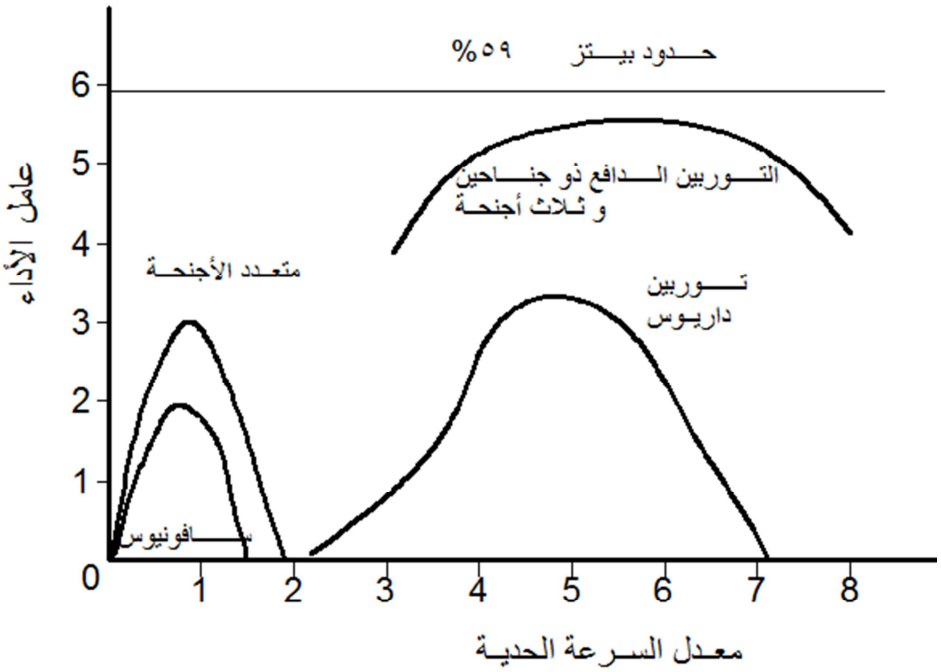
9-3 المردود للتوربين الهوائي :

في المعادلة السابقة ($P=0.6AV^3$) المتحول P يمثل الطاقة الكلية في الجريان الهوائي و كما هو الحال في كل مراحل تحويل الطاقة فإن قسماً فقط من طاقة الجريان الهوائي يمكن الاستفادة منه و تحويله لطاقة كهربائية و كما شاهدنا أن للرياح طاقة حركية سيتم استغلالها بتدوير أجنحة التوربين و كلما كانت الطاقة الحركية أعلى كلما حصلنا على مقدار أعلى من الطاقة الكهربائية . أي يجب قياس الفرق في الطاقة الحركية للرياح عندما تصطدم أو تدخل ضمن أجنحة التوربين الدوارة و عندما تغادر أو تخرج من أجنحة التوربين . أي أن الفرق في قيمة الطاقة الحركية للرياح الداخلة عبر الأجنحة والخارجة منها يمثل قيمة الطاقة المفيدة التي يقدمها التوربين ، تكون قيمة الطاقة المستغلة من التوربين أعظم ما يمكن عندما تصبح سرعة الجريان الهوائي الخارج من التوربين مساوية للصفر و هذه حالة نظرية لا يمكن الوصول إليها عملياً . بالاعتماد على معادلة بيتز Betz التي وضعها عام 1919 فإن قيمة الطاقة المفيدة من الطاقة الكلية للجريان الهوائي لا تتجاوز 59% ويعرف المردود للتوربين الهوائي بعامل الأداء و يرمز له (C_p) و يعرف على أنه الطاقة الفعلية المقدمة من آلة هوائية مقسماً على طاقة الرياح في مكان عمل الآلة الهوائية .



(39 ج)

التوربينات الهوائية الفعلية تحول طاقة الرياح عند مردود أقل من حدود بيتز بسبب وجود المفاقيد الميكانيكية أثناء الدوران . الشكل (40) يوضح قيمة المردود لكل نوع من أنواع التوربينات .



----------الشكل (40)----------

10-3 اختبارات التوربين الهوائي في موقع التشغيل :

هناك سببان رئيسيان للاختبار في الموقع : الأول هو جزء من عملية الاختبار وتطوير التصاميم التي تقوم بها الشركات المصنعة عند طرح طراز جديد ، السبب الثاني هو وضع منظومة العمل والأداء المفصلة للتوربين وضمانة هذا الأداء في المستقبل بهدف التسويق التجاري.
لا بد من معرفة المعايير الدولية والهيئات الواضعة لهذه المعايير من أجل القيام بالاختبارات بالشكل الصحيح والدقيق .

- **الهيئة الدولية للمواصفات الكهربائية International Electro –technical comission**
ويختصر اسمها ب (IEC) حيث طورت هذه الهيئة حزمة من المعايير الخاصة بعمل التوربينات الهوائية مثل المشروع TC88 والذي يدرس منحنيات الأداء والتشغيل ،الانبعاثات الصوتية ، اختبارات الأجنحة ،الأحمال الميكانيكية ، جودة الطاقة المقدمة ،المعيار 61400-12-1998 مختص باختبارات الطاقة والمعيار البريطاني BS أيضاً متوافق ومنسجم مع المعيار السابق.

-**الهيئة الأوربية CENELEC** هذه الهيئة تعنى بالمواصفات الالكتروميكانيكية و قد وضعت برنامجاً لإدارة التناسق والتوافق بين السلامة و معايير الاختبارات بدعم من الاتحاد الأوروبي وهي تراقب الدقة في تطبيق معايير IEC .

- الوكالة الدولية للطاقة International Energy Agency
و يختصر اسمها ب IEA وهي من أوائل المنظمات والهيئات الدولية التي بدأت بوضع المعايير العملية مع بداية ظهور التوربين الهوائي IEA codes فيما يخص أداء الطاقة ،جودة الطاقة ، الانبعاثات الصوتية .

مشاريع إنشاء المزارع الريحية :

هناك ثلاثة نقاط رئيسية تستند عليها مشاريع المزارع الريحية :
1- الأمور المالية و الفنية .
2- التأثير على البيئة .
3- الحوار و الاستشارات مع السلطات و السكان المحليين.

إن إنشاء مزرعة ريحية يمر عبر عدة مراحل وهي :
1- الاختيار الأولي للموقع .
2- المردود الربحي المتوقع .
3- التخطيط و التحضيرات .
4- مرحلة البناء .
4- التشغيل .

1- الاختيار الأولي للموقع :

يجب ألا تدور التوربينات فوق الطرقات العامة أو السكك الحديدية ، يجب ان تكون أرض الموقع منبسطة و خالية من الأشجار ويمكن نصب التوربينات فوق التلال و الهضاب بحيث تتعرض لمجرى هوائي قوي و غير متقطع . في المناطق الباردة يأخذ تشكل الجليد على الأجنحة بعين الاعتبار فأثناء الدوران يتم قذف الجليد من على الأجنحة مما قد يؤذي الأشخاص أو يسبب أضراراً مادية في هذه الحالة يجب ترك مسافة أمان كافية .

يجب معرفة حركة الرياح بتفاصيلها على مدار العام في الموقع المختار وذلك بالرجوع للجهات الحكومية و من الممكن القيام بقياسات اختبارية في الموقع ، تضاريس الموقع و مدى إمكانية إنشاء القواعد الاسمنتية ، من المهم للموقع وجود الطريق المناسب أو إمكانية بناء طريق جديد بكلفة منخفضة و ذلك لنقل أجزاء التوربينات إلى أماكن التركيب، و يجب دراسة الشبكة الكهربائية الأقرب للموقع و معرفة الاستطاعة الكهربائية القصوى التي ممكن أن تستلمها الشبكة الكهربائية من المزرعة الريحية و الوصلات الكهربائية الواجب تركيبها : محولات ،كوابل أرضية ، خطوط هوائية و تكلفتها الإجمالية .
يراعى أيضاً عدم وجود أي مشاريع ستقام في الموقع و الأهم أن التوربينات لن يكون لها أي تأثير مزعج على السكان القريبين من الموقع .
يجب أيضاً التأكد من أن الموقع ليس أثرياً و لا يحتوي على معالم تاريخية ولا يستقطب السياح .
يأخذ بعين الاعتبار شبكات الاتصالات الموجودة .

2- المردود الربحي المتوقع :

بعد اختيار الموقع لابد من دراسة العائد الاقتصادي و الذي يعتمد بشكل رئيسي على معرفة سرعة الرياح على مدار العام في ذلك الموقع لابد من تقدير أو التنبؤ بسرعة الريح لمدة زمنية مقدارها عشرون سنة، وهنا التقديرات والتنبؤات الأولية لا يمكن الاعتماد عليها بل يجب اللجوء إلى وسائل تقنية متطورة لإجراء القياسات و الاختبارات و هذا يتطلب وجود مركز للأرصاد الجوية في الموقع .
يتم قياس سرعة الرياح في عدة مناطق متفرقة من الموقع بعد ذلك تقارن هذه القياسات مع السجلات الموجودة في مركز الأرصاد (سرعة الرياح على مدار العام) ، يجب أن تجرى القياسات في الموقع خلال مدة زمنية قدرها ستة أشهر على الأقل .

3- التخطيط والتحضيرات :

يجب إعداد **الورقة البيئية** للمشروع و هذا يتطلب عملاً دؤوباً من عدة خبراء في مجال البيئة وصرف الوقت مما يعني التكلفة الاقتصادية.
النقاط الرئيسية التي تتضمنها ورقة البيئة :
- المواصفات الفيزيائية للتوربين الهوائي ومتطلبات التشغيل اللازمة في الموقع .
- معرفة ودراسة الخصائص البيئية للموقع و المناطق المجاورة .
- التنبؤ بالأثر البيئي للمزرعة الريحية ضمن دراسة تقييم الأثر البيئي.
- التدابير المتخذة للحد من الآثار السلبية على البيئة .
- وصف الحاجة لإقامة المشروع و النفع المتوقع و ذلك لاتخاذ القرار من قبل السلطات و العموم .
- سلامة الأشخاص القاطنين في الموقع وحوله .
- عدم التشويش على الاتصالات .
- عدم التأثير على حركة الملاحة الجوية .
- الحفاظ على المظهر الجمالي للموقع قدر الإمكان أو تجنب التلوث البصري .

4- البناء و الإنشاء :

بعد الانتهاء من الأمور المالية و اعتماد المقاولين المنفذين للمشروع تبدأ مرحلة التصنيع و الإنشاء ويجب هنا على المقاول أن يتأكد من توفر الطرق اللازمة لنقل التوربينات ووجود مساحات غير مشغولة ضمن الموقع لإنشاء المستودعات و لنصب الرافعات اللازمة للمشروع.
الأجزاء التالية يتم شحنها للموقع :
- الأساسات الاسمنية .
- 3 أو 4 قطع من البرج الحامل .
- التجهيزات الكهربائية الأرضية : المحولة – لوحة التوزيع – الكوابل الكهربائية .
- نظام التحكم SCADA

- حجرة الميغانيزم مجمعة مع كامل محتوياتها .
- الأجنحة مع قاعدة الارتكاز الثلاثية و الدائر .

5- التشغيل :
بشكل عام التوربين الهوائي يعمل بشكل آلي ولا يحتاج لمشغلين في الموقع حيث تتم عملية التشغيل والتحكم و المراقبة بواسطة نظام تحكم لا سلكي يسمى SCADA و هو يعمل مع شبكة الانترنت أيضاً.
و يقوم نظام التحكم بتسجيل تقارير فنية عن الطاقة الكهربائية المنتجة و الأعطال التي وقعت و حالات التوقف الطارئة والعادية .
عادة تكون فترة ضمان للتوربين بحدود خمس سنوات من تاريخ استلام البضاعة / مكونات التوربين بعض المنتجين رفع سنوات الضمان إلى عشر سنوات .

6-الصيانة الدورية :
يحتاج التوربين الهوائي لصيانة وقائية مرتين في السنة ، إن عملية الصيانة المخطط لها مسبقاً تتطلب من 2 إلى 3 أيام و اثنين من المهندسين ، عملية الصيانة تشمل الفحص و الاختبار لنظام التحكم ونظام الحماية ، استبدال بعض القطع المعطوبة ، التزييت أو التشحيم لعلبة السرعة و الرولمانات المتوزعة في كل أجزاء الميغانيزم ، استبدال فلتر الزيت ، تنظيف الأجنحة .

3-11سلبيات استخدام التوربينات الهوائية :
عند التخطيط لإنشاء مزرعة ريحية أو حتى نصب توربين واحد فقط يجب أخذ الأمور التالية بعين الاعتبار :
1-**الطيور :** يجب الابتعاد عن الأماكن التي تعتبر مناطق تكاثر او مستعمرات للطيور حيث تكثر أسراب الطيور حيث اصطدام الطيور بجناح التوربين سيتسبب بمقتل الطائر و ربما إلحاق أذى بالتوربين .

2- **الأسماك :** بالنسبة للتوربينات المنصوبة على سواحل البحار ضمن المياه فإن القواعد الاسمنتية الضخمة لهذه التوربينات ستخرب من قاع البحر وبالتحديد الغطاء النباتي الذي هو مصدر غذاء لكثير من الأسماك و هذا يعني اختفاء أنواع من الأحياء البحرية و الإخلال بالتوازن البيئي في تلك المنطقة ، كذلك لن يسمح لسفن الصيد الكبيرة من الاقتراب من التوربينات العملاقة اي أن المنطقة هي منطقة حظر للصيد .

3- **الضجيج** : بشكل عام التوربين الهوائي يصدر ضجيجاً ، المحور الدائر له صوت خاص كذلك علبة السرعة (علبة المسننات) و المولدة الكهربائية لها ضجيج . لذلك يمكن تخفيف مستوى الضجيج بتصميم عزل صوتي للمولدة وعلبة السرعة ،كذلك لا بد من تأمين مسافة كافية بين موقع التوربينات و المناطق السكنية .

4- **الظل** : أجنحة التوربين المتحركة ستترك ظلاً متحركاً على الأرض و هو أمر مزعج إذا سقط هذا الظل على نوافذ البيوت السكنية أو الحدائق المنزلية ، لذلك عند اختيار الموقع يجب توجيه التوربين بحيث لا يلقي ظله على البيوت السكنية .

5- **المظهر في الطبيعة** : عند اختيار موقع نصب التوربينات يجب الأخذ بعين الاعتبار عدم تشويه المنظر الطبيعي قدر الإمكان ، مثلاً في حال وجود مجرى مائي نهر عندها يمكن نصب التوربينات

بشكل أنيق على طول النهر .و في سواحل البحر يجب نصبها بحيث لا تحجب منظر الشاطىء و لا البحر بالنسبة للموجودين على الشاطىء و السفن في البحر ، أيضاً مظهر التوربين يلعب دوراً مهماً فالتوربينات ذات المحور الدوار الكبير تكون حركتها أبطأ نسبياً و بالتالي أقل ضجيجاً .

6- **التشويش على الاتصالات**:

التوربين الهوائي واثناء عمله يسبب تشويشاً أو تداخلاً مع الأمواج الكهرومغناطيسية و التي هي أساس الاتصالات ، التوربين يؤثر على أمواج الراديو عالية التردد أو الأمواج القصيرة (VHF 30 -300MHz) وعلى أمواج البث التلفزيوني (UHF 300 MHz -3 GHz) و على الأمواج الميكروية (1-30 GHz) . و تأثيرها على رادارات الطرق موجود لكن لا يزال قيد الدراسة .

12-3المزرعة الريحية ضمن منظومة الشبكة الكهربائية :

قبل وصل التوربين مع الشبكة الكهربائية لا بد من إجراء دراسة مفصلة للتأثيرات التي سيسببها وصل التوربين مع الشبكة و على أساسه يتم منح أو عدم منح الإذن بعملية الوصل من قبل مشغلي الشبكة الكهربائية .

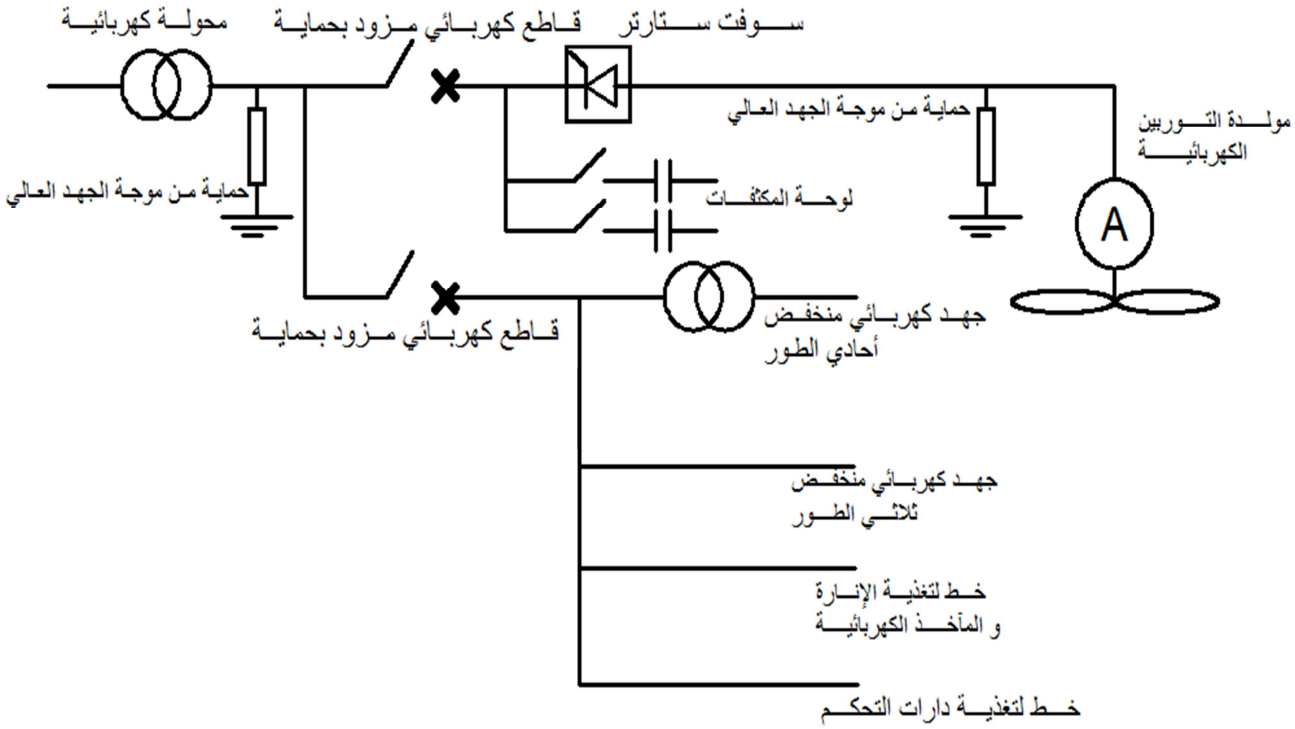
يجب ألا يؤثر وصل التوربين بأي شكل على جودة الطاقة الكهربائية power quality المقدمة من قبل الشبكة للمستهلكين مثل : تشوه في شكل الموجة الكهربائية ، انخفاض بطيء في قيمة الجهد الكهربائي ، تغير في قيمة التردد ، ظهور هارمونيات ، الخلل في توازن الأطوار الكهربائية الثلاث الزيادة في قيمة الاستطاعة الردية ، ارتفاع معدل حدوث الأعطال في الشبكة .

لإنجاز الدراسة السابقة لابد من استخدام برامج حاسوب متطورة مختصة بدراسة جريان الحمولة الكهربائية power flow .

استخدام التوربينات ذات مولدات بسرعة ثابتة يمنع من ظهور هارمونيات التشويش .

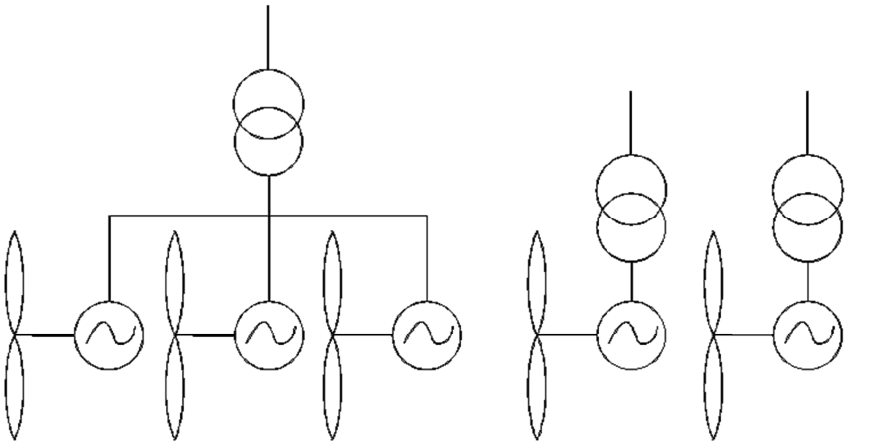
من جهة أخرى يمكن للشبكة الكهربائية ان تؤثر بشكل سلبي على أداء التوربين فالأطوار الكهربائية غير المتوازنة ستؤثر سلباً على عمل المولدة التحريضية و ستقلل من قيمة العزم الناتج كذلك ستؤثر سلباً على جهاز الكترونيات القدرة المستخدم (انفيرتر ، سوفت ستارتر) حيث ستحرضه لحقن هارمونيات مشوشة ضمن الشبكة . إن أجهزة الحماية ضمن التوربين تتحسس قيمة التيارات الكهربائية غير المتوازنة و عند الوصول لقيمة معينة تقوم بإيقاف التوربين عن العمل shut-down .

الشكل (41) يوضح مخطط الشبكة الكهربائية لتوربين هوائي مزود بمولدة كهربائية ثابتة السرعة الطاقة الكهربائية تصدر المولدة الكهربائية و يتم نقلها عبر كوابل معلقة لتصل إلى جهاز يسمى سوفت ستارتر ووظيفته تنظيم التيار الكهربائي للمولدة أثناء تغذيتها بتيار التهييج الكهربائي ويتم وصل و فصل جهاز السوفت ستارتر بواسطة كونتاكتور ، تنتقل الطاقة الكهربائية إلى القاطع الكهربائي و هو مزود بوظيفة الحماية الحرارية من زيادة تيار الحمل و حماية مغناطيسية ضد تيار القصر ، يتم وصل لوحة تحسين عامل الاستطاعة على التفرع و تتكون من مجموعة من المكثفات مربوطة بشكل مجموعات جزئية يتم إدخالها إلى الدارة الرئيسية أو إخراجها آلياً بواسطة كونتكتورات تتلقى إشارات الفصل و الوصل من عنصر تحكم الكتروني يقرأ قيمة الاستطاعة الردية REACTIVE POWER في المولدة و يعمل على تخفيض قيمتها بوصل مجموعات المكثفات ،يتم وصل عناصر الحماية من موجة الجهد الكهربائية الزائدة SURGE DIVERTERS عند مخرج المولدة مباشرة وقبل المحولة الكهربائية لتأمين الحماية بشكل كامل من خطر زيادة الجهد الكهربائي العابر،يتم أيضاً تأمين التغذية الكهربائية للدارات المساعدة ضمن منظومة التوربين حيث يتم تأمين جهد كهربائي منخفض أحادي الطور بواسطة محول كهربائي صغير و جهد كهربائي ثلاثي الطور بالإضافي لخطوط تغذية أجهزة الإنارة و مآخذ الجهد الكهربائي . غالباً ما يتم تغذية دارات التحكم والإنذار و الحماية بواسطة تيار مستمر.



الشكل(41)

إن قيمة الجهد الكهربائي من مخرج المولدة إلى قاعدة البرج الحامل تختار أقل من 1000 فولت و حسب المعايير الأوربية المتداولة هي بحدود 690 فولت (توتر خط line voltage) اي الجهد الكهربائي المقاس بين طورين كهربائيين (خطي فاز للمولدة two phases) .
خطوط الأطوار الثلاثة (الفازات الثلاثة) يرمز لها برموز عالمية (L1 ,L 2 , L3) أو (R,S,T) أو (U,V,W) أو (R,Y,B) و الرمز الأخير هو نظام ألوان عالمي : أزرق ، أصفر ، أحمر ، أما خط الحيادي (خط النتر Natural) فيرمز له بالحرف (N) وغالباً ما يكون لون السلك أسوداً .
التوتر الكهربائي 690 فولت هو توتر قليل نسبياً بالنسبة لمولدة ذات استطاعة عالية وهذا يعني ارتفاع قيمة التيار الكهربائي الذي تنتجه المولدة فعلى سبيل المثال مولدة توربين باستطاعة 600 كيلو واط و التوتر الكهربائي على مخرجها هو 690 فولت تكون قيمة التيار الكهربائي هي فوق 500 أمبير .
أسباب أخرى لاعتماد الجهد الكهربائي أقل من 1000 فولت هي السلامة المهنية أو سلامة العنصر البشري من أخطار الصدمة الكهربائية .
إن استخدام الجهد الكهربائي المنخفض يتطلب استخدام محولة كهربائية عند الوصل مع الشبكة الكهربائية العامة، بالنسبة للتوربينات ذات الاستطاعات الصغيرة يمكن وصل عدة توربينات (عدة مولدات) لمحولة كهربائية واحدة و هذا الأسلوب مفيد من حيث خفض التكلفة و هو أسلوب قديم تم استخدامه مع بدايات نشوء المزارع الريحية عندما كانت استطاعة التوربينات لا تزال ضمن نطاق صغير أما بالنسبة للتوربينات الحديثة ذات الاستطاعات العالية فلابد من وجود محولة كهربائية لكل توربين كما يوضح ذلك الشكل (42) .



الشكل(42)

بالنسبة لمزرعة ريحية محدودة مرتبطة بأحمال كهربائية صغيرة و قريبة منها يمكن الاعتماد على الجهد المنخفض ، اما عند الربط مع الشبكة الكهربائية العامة فلابد هنا من استخدام الجهد المتوسط ولذلك لمراعاة هبوط الجهد الكهربائي على طول الكبل الكهربائي المغذي، على سبيل المثال في بريطانيا الجهد المتوسط المستخدم هو 11 أو 33 كيلو فولت و في بلدان أوربية أخرى تستخدم الجهود 10 ، 15 ، 20 كيلو فولت . أحياناً يتم استتبدال الكوابل الأرضية بخطوط نقل هوائية للتقليل من التكلفة و الضياعات و هذا الأسلوب متبع في الولايات المتحدة الأميركية والهند .

التأريض الكهربائي للمزرعة الريحية :

إن تنفيذ شبكة تأريض مناسبة للمزرعة الريحية يجب أن تحقق الأهداف التالية :
1- التقليل ما أمكن من خطر الصعقة الكهربائية على الأشخاص و الحيوانات في تلك المنطقة .
2- ضمان عمل عناصر الحماية الكهربائية ضد تيار العطل الأرضي بتأمين مسار سهل للتيار الكهربائي إلى داخل الأرض .
3- تعزيز عمل منظومة الحماية من الصواعق و كذلك تقليل تأثير التوتر الكهربائي الكامن في أجزاء و عناصر الشبكة وتفريغ كل الشحنات الكهربائية المتجمعة إلى الأرض .

بالنسبة لعملية التأريض الكهربائي للمزرعة الريحية هناك عدة نقاط يجب أخذها بالحسبان : امتداد المزرعة لمسافات طويلة – غالباً ما يتم نصب التوربينات على الجبال والقمم حيث المقاومة الكهربائية للأرض الصخرية مرتفعة - الارتفاعات الكبيرة لحوامل التوربينات الحديثة و ضخامة الأجنحة تجعلها عرضة لضربات الصواعق .
تكون عملية التأريض بمد ناقل نحاسي عار (مرس نحاس) مع كوابل الكهرباء ضمن نفس المجاري أو القنوات مع غرس وتد تأريض أو أكثر إن لزم الأمر على عمق واحد متر تقريباً حول قاعدة كل برج حامل للتوربين مع وصله لحديد التسليح لأساسات التوربين ثم وصل كل الأجزاء المعدنية للتوربين مع الأوتاد و التي بدورها تتصل مع الناقل النحاسي الممدود . كذلك يجب وصل المحولة الكهربائية و لوحتها الكهربائية .

الحماية من خطر الصواعق :

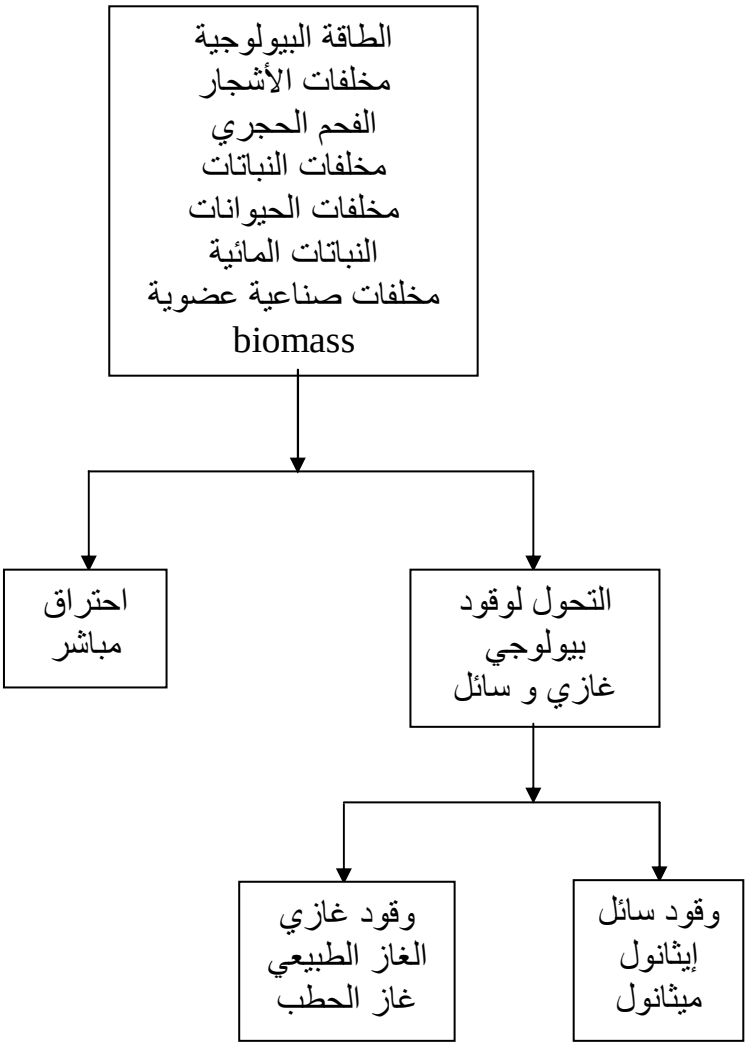
مع بدايات تطور المزارع الريحية ساد مفهوم خاطىء و هو أن الصاعقة لن تضرب جناح التوربين المصنوع من مواد غير ناقلة للكهرباء مثل الفيبر غلاس ، الإيبوكسي مع الخشب ..... غير أن التجارب العملية في مواقع التركيب أثبتت ان الصواعق تلحق أضراراً كبيرة بالأجنحة و بالطبع إذا كانت مادة الكاربون فيبر مستخدمة كمادة حشو وتقوية في الجناح والتي هي مادة ناقلة للكهرباء عندها يجب مضاعفة الاحتياطات الخاصة بالحماية من الصواعق ،أما الأسلوب المتبع لحماية الأجنحة من ضربات الصاعقة هو وضع سلك فولاذي داخل الجناح بارز النهاية أو على كامل حواف الجناح و يدعى بالمستقبل أو المتلقي receptor أو يمكن وضع شبك معدني فولاذي ليقوم بنفس الوظيفة حيث يلتقط الشرارة الكهربائية و ينقلها إلى الناقل المستخدم في منظومة الحماية من الصواعق ثم التفريغ في الأرض ،إن الخطر الأكبر يحدث عندما يتسبب التيار الكهربائي الناجم عن شرارة الصاعقة بحوث قوس كهربائي ضمن جسم الجناح و الذي بدوره يتسبب بحدوث تشققات كبيرة في جسم الجناح و أحياناً تفجير الجناح بأكمله .

الفصل الرابع

الطاقة البيولوجية
Bioenergy

مقدمة :
هي أقدم أنواع الطاقات التي عرفها واستغلها الإنسان و تمثلت بدايتها عندما عرف الإنسان الاستفادة من النار بحرق الأخشاب وباقي مخلفات الأشجار و النباتات لأغراض طهي الطعام و التدفئة و من ثم تشكيل المعادن كأدوات الصيد و الزراعة ، حتى يومنا هذا لا تزال مخلفات الأشجار مصدر وقود لكثير من الناس حول العالم هذا الشكل من استغلال المصادر العضوية الطبيعية قد تطور ليشمل الاستفادة من مخلفات المحاصيل الزراعية و المخلفات العضوية الصناعية .
إن استخدام الطاقة البيولوجية أو الطاقة الحيوية من شأنه أن يقلل من تأثير الانبعاثات الغازية الضارة بالغلاف الجوي ، الوقود الحيوي يصدر كمية من غاز ثاني أوكسيد الكربون تساوي نفس الكمية التي يصدرها الوقود التقليدي لكن ... كل نبات ينمو يمتص كمية من غاز ثاني أوكسيد الكربون أي دورة نمو كل نبات يقابلها إزالة جزء من غاز ثاني أوكسيد الكربون من الغلاف الجوي .
أي أن عملية زرع النباتات المختلفة ثم الاستفادة منها كوقود بيولوجي سيكون لها آثار تراكمية إيجابية تجعل من قيمة غاز ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي مساوية للصفر وهي من أفضل الخطوات العملية لمكافحة تلوث الهواء .
و للحصول على نتائج سريعة يتم اختيار أنواع من النباتات سريعة النمو و يستفاد منها أيضاً كمنتج زراعي سريع النمو يطلق على هذا النوع من المحاصيل feedstock.

4-1-1الوقود البيولوجي (الحيوي) :
يستحصل على الوقود البيولوجي من تحويل المخلفات العضوية المختلفة إلى وقود سائل ، خلافاً لمصادر باقي الطاقات المتجددة يمكن تحويل المخلفات العضوية لوقود سائل مباشرة يستفاد منه في وسائل النقل المختلفة ، النوعين الأكثر شيوعاً للوقود السائل البيولوجي هما :الإيثانول ethanol و الديزل الحيوي biodiesel .
الإيثانول هو نفسه مادة الكحول التي تتواجد في البيرة و النبيذ و يتم تحضيرها بعملية التخمر المعروفة ، يستخدم الميثانول كوقود إضافي لمنع انبعاث غاز الكربون و الغازات السامة الأخرى من عوادم وسائط النقل ، وسائل النقل الحديثة تعمل على وقود هو خليط من الغازولين و الميثانول ونسبة الميثانول قد تصل إلى 85%.
الديزل الحيوي يتم تحضيره بمزج الميثانول مع زيوت نباتية أو دهون حيوانية أو شحوم طهي مكررة حيث يستطيع الديزل الحيوي تخفيض الانبعاثات بنسبة 20 % مقارنة مع وقود الديزل العادي



4-1-2مخزون الطاقة في الوقود الحيوي :

كما ذكر سابقاً للوقود الحيوي مصادر مختلفة (أخشاب ،محاصيل زراعية ، مخلفات الحيوانات) التركيبة الكيميائية لكل منها تختلف عن الأخرى وهذا يعني تفاوت في مقادير الطاقة المختزنة في كل نوع من الوقود حسب مصدره ، لذلك عند اختيار وقود حيوي لتطبيق معين يجب معرفة المصدر الذي نشأ منه هذا الوقود، تتم عملية قياس الطاقة المختزنة في وقود ما بقياس كمية الحريرات ضمن هذا الوقود أي قياس كمية الحرارة ضمن الوقود، أي واحدة الطاقة الحرارية الختزنة ضمن واحدة الوزن . سيتم قياس كمية الحرارة بالجول joule ويرمز له J أو أحد مضاعفاته كيلوجول KJ ميغا جولMJ محتوى الوقود الحيوي من الأوكسجين ،الكربون ،الرطوبة ،الرماد تختلف حسب طبيعة وتركيبة الوقود ، وجود الكربون ضمن الوقود هو المصدر الرئيس للحرارة بينما الرطوبة والرماد لا تسهمان بتوليد أية حرارة على العكس المحتوى العالي من الرطوبة أو الرماد مؤشر على انخفاض نسبة الطاقة الحرارية في الوقود .

إذاً هناك ثلاثة عوامل تحدد مستوى الطاقة في الوقود عامل إيجابي هو الكربون وعاملان سلبيان هما الرطوبة والرماد .

مصدر الوقود	نسبة الرماد %	محتوى الوقود من الطاقة MJ/kg	
		نسبة رطوبة 0%	نسبة رطوبة 13%
الأخشاب	1	18.7	16
بقايا محاصيل	5	16.5	14.2
	10	15.8	13.5
	20	14.1	11.9
روث حيواني	20	17	14.5
	25	16	13.6

3-1-4 توليد الطاقة الكهربائية من الوقود الحيوي :

الأنظمة الرئيسية لتوليد الطاقة الكهربائية من الوقود الحيوي هي :

- الإحراق المباشر direct-fired
- الإحراق المركب cofiring
- النظام الغازي gasification
- نظام الامتصاص الهوائي aerobic digestion

معظم مشاريع توليد الطاقة الكهربائية من وقود حيوي تعتمد على النظام الأول direct-fired حيث يتم إحراق المخلفات العضوية مباشرة لتوليد البخار المستخدم لتدوير العنفة الكهربائية ، في بعض التطبيقات يستفاد من البخار مباشرة لأغراض التدفئة أو أغراض صناعية أخرى و تعرف ب الحرارة المركبة combined heat ، في مصانع الورق يتم استخدام مخلفات الأخشاب لإنتاج الكهرباء و البخار بنفس الوقت .

في النظام الغازي يتم استخدام وسط شره للأوكسجين بدرجة حرارة عالية لتحويل المخلفات العضوية إلى غاز (مزيج من الهيدروجين ، أول أوكسيد الكربون ، الميتان) من ثم يتم فصل غاز الميتان ليتم استخدامه كوقود غازي حيوي، في الأراضي الغنية بالغازات العضوية يمكن حفر آبار لإخراج هذه الغازات و نقلها عبر أنابيب إلى محطات الفلترة و التنقية ليتم استخلاص غاز الميتان ومن ثم حرقه .

في نظام الامتصاص الهوائي يتم استخدام بكتريا خاصة لتحليل المركبات العضوية ضمن وسط خال من الأوكسجين ويصدر غازات حيوية مثل الميتان ،ثاني أوكسيد الكربون ،الهيدروجين ، النتروجين ، الأوكسجين .

يتم استخدام غاز الميتان كمصدر للطاقة بطرق متعددة ، يمكن حرقة مباشرة لتوليد البخار وتوليد الكهرباء و هي الطريقة التقليدية كما مر معنا ، و هناك طريقتين حديثتين تعتمدان على التوربينات المصغرة microturbines و على خلايا الوقود fuelcells الأخيرة ستدرس بالتفصيل في الفصول القادمة .

التوربينات المصغرة تستطيع تقديم طاقة كهربائية تتراوح بين 25 إلى 500 كيلو واط و هي بحجم الثلاجة الكهربائية المنزلية يمكن استخدامها و لا سيما في المواقع التي لا تتوفر فيها مساحة كافية.

خلايا الوقود تشبه في آلية عملها المدخرات الرصاصية (البطاريات) لكنها لا تحتاج لأي عملية شحن وتستمر بتوليد الكهرباء طالما أن هناك وقوداً.

بالإضافة للطرق السابقة هناك طريقة التسخين للمخلفات العضوية بغياب الأوكسجين وتسمى Pyrolysis تتحول بعدها المخلفات العضوية لزيت حيوي يسمى pyrolysis oil و هو قابل للاحتراق مثل النفط و هذا النوع من الوقود الحيوي بدأ يأخذ دوره في مشاريع توليد الطاقة الكهربائية

يتم حالياً استخدام وحدات توليد للطاقة الكهربائية بالاعتماد على الوقود الحيوي و تسمى small modulars و هي قادرة على توليد طاقة كهربائية حتى استطاعة 5 ميغاواط و هي عملية للاستخدام في البلدات الريفية و المزارع و بعض أنواع هذه الوحدات يمكن ربطه مع الشبكة الكهربائية الرئيسية

عملية التسييل الغازي :Gasification

يتم توليد الغاز من مصادر وقود صلب كالفحم الحجري أو المخلفات العضوية المختلفة باستخدام عملية كهروحرارية تسمى التسييل الغازي ،تتم هذه العملية تحت درجات حرارة تتراوح بين 500 و 800 درجة مئوية حيث يتم ضغط المخلفات العضوية ضمن حجرة أسطوانية حيث تحصل عملية احتراق داخلي بوجود الأوكسجين أو الهواء ، الغازات ضمن الحجرة الأسطوانية يمكنها التحرك من الأسفل للأعلى وبالعكس، تحت تأثير الحرارة والضغط تتحول الأجسام الصلبة إلى غازات قابلة للاحتراق الداخلي وتمتلك طاقة حرارية.
الغاز الناتج يحتوي بحدود 35% من غاز أول أوكسيد الكربون و65% من النتروجين ويختزن طاقة حرارية حجمية بحدود $4.35\ MJ/m^3$ وهذه القيمة تتأثر بتركيبة المخلفات العضوية ،سرعة الهواء ،قياس حوض التخمر، كمية العضويات المستخدمة، الوقود الغازي الناتج يمكن استخدامه لتحريك المحركات ذات الاشتعال والمردود يكون بحدود 15 إلى 20% من الوقود الصلب إلى محور دوران المحرك .

4-1-4 إنتاج الغاز الحيوي Biogas production

الغاز الحيوي يتكون من الميثان وغاز ثاني أوكسيد الكربون بشكل رئيسي، حيث يحتوي نسبة 60% من الميثان و35% من ثاني أوكسيد الكربون و يحتوى أيضاً نسب صغيرة من الهيدروجين، الآزوت ،الأوكسجين، الأمونيا ،الرطوبة...الخ ،في المناطق الريفية يستفاد من الغاز الحيوي لأغراض الطهي والإنارة غير الكهربائية ويمكن استخدامه لتدوير المحركات وتوليد الطاقة الكهربائية.
إن عملية إنتاج الغاز الحيوي هي عملية غير هوائية وتتم بدون وجود الأوكسجين مع وجود بكتريا لا هوائية ، التفاعل البكتيري مع المواد العضوية من خلال ثلاثة أطوار :
طور التحلل المائي hydrolysis phase ، الطور الحمضي acid phase و طور إنتاج الميثان .
في طور التحلل المائي الجزيئات الكربوهيدرية يتم تحطيمها وتحويلها لجزيئات أصغرثم يتم تحويلها لحموض عضوية بواسطة البكتريا المشكلة للحمض.
في طور إنتاج الميثان تحدث عملية تخمر للحموض بوجود الهيدروجين وثاني أوكسيد الكربون لتنتج غاز الميثان .

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow 2H_2O + CH_4$$

$$\underset{\text{نواتج الطور الحمضي}}{CH_3CH(OH)COOH} + H_2O + CO_2 \longrightarrow \underset{\text{حمض الخل}}{CH_3COOH} + \underset{\text{الميثان}}{CH_4}$$

الأطوار الثلاثة المذكورة تحصل على التوازي ضمن وحدة الغاز الحيوي كما يجب ان تتم العمليات الثلاث بكميات متساوية من أجل إنتاج وفير للغاز،درجة القلوية pH ضمن المزيج العضوي الموجود داخل حجرة التخمر يجب أن تتراوح بين 6.8 و 7.2.
عملية تحويل المخلفات العضوية بالتخمر اللاهوائي إلى غاز حيوي تأخذ عدة أسابيع و تكون فترة احتباس الوقود الحيوي داخل أسطوانة التخمر 50 يوماً في حال تم استخدام روث الأبقار.

إنتاج الإيثانول :
الإيثانول هو وقود سائل يمكن استحصاله من المخلفات العضوية الحاوية على :السكر ،النشاء والسيليلوز وذلك باتباع عملية تخمر هوائية ، يحتوي الإيثانول في مكوناته على الكربون ،الهيدروجين والأوكسجين ، ويمكن استخدامه كوقود سائل في وسائط النقل حيث يتم مزجه مع البنزين أو الديزل أو يستخدم بشكل منفرد.
عملية إنتاج الإيثانول من المواد العضوية تحتاج لمعالجة أولية لهذه المواد وتكون البداية بعملية تخمر وتنتهي بعملية تقطير، عملية التخمر لمواد كربوهيدراتية صغيرة الجزيئات مثل السكر تكون سهلة نسبياً لهذا عندما تكون المواد العضوية المستخدمة حاوية على نشاء فالمعالجة الأولية تتطلب عملية تحلل مائي لتحويل جزيئات النشاء كبيرة الحجم إلى جزيئات سكر صغيرة الحجم سهلة التخمر.
المواد العضوية كالسيللوز تكون أصعب من حيث المعالجة من مادة النشاء وحتى يتم تحويلها لجزيئات صغيرة سهلة التخمر تستخدم الحموض والأنزيمات.
مدة عملية التخمر هي بحدود يوم واحد إلى ثلاثة أيام نسبة الإيثانول من أصل المواد الناتجة هي 8 إلى 10%، المرحلة الأخيرة في إنتاج الإيثانول هي التقطير متعدد المراحل وذلك لرفع نسبة تركيز الإيثانول إلى 95%.
في حال الحاجة لمزج الإيثانول مع البنزين أو الديزل عندها يجب أن يكون تلركيزه أعلى من99%

إنتاج الميثانول :
يتم إنتاج الميثانول من المواد السيللوزية (الأخشاب) وتتم العملية على نطاق غير صغير والتقنية المستخدمة لإنتاج الميثانول تختلف تماماً عن تلك المتبعة لإنتاج الإيثانول.
يتم تحويل مواد خام أولية إلى مواد غازية يتم تركيب وتصنيع الميثانول منها.

استخدامات الغاز الحيوي :

الطهي :
الغاز الحيوي له مزايا إيجابية مقارنة مع استخدام الحطب ومخلفات المحاصيل الزراعية : فالغاز الحيوي نظيف ولايترك بقع كربونية على وعاء الطهي ولا الأقمشة، سريع الاشتعال وصحي و لا يصدر دخاناً ضاراً بالعينين والرئتين وله مردود احتراق جيد .

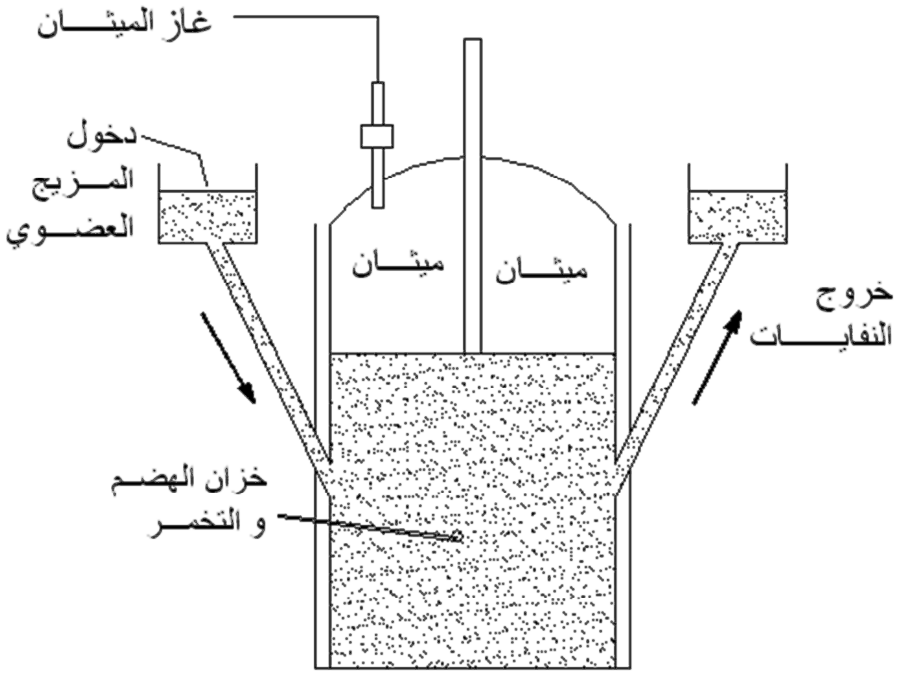
الإنارة :
في حال عدم توفر الكهرباء يمكن استخدام الغاز الحيوي حيث أن الإنارة تستهلك الغاز بنسبة كبيرة ويجب الحرص على بقاء المصباح في حالة احتراق مستمرة، مصباح إنارة واحد من نوع القميص الشبكي المتوهج والذي يعادل استطاعة مصباح كهربائي بسوية إضاءة تساوي 100 شمعة يستهلك كمية من الغاز بحدود 0.11 إلى 0.15 متر مكعب في الساعة الواحدة وهي تعادل استطاعة مصباح كهربائي 40 واط.

إدارة المحركات :
الغاز الحيوي يعتبر وقوداً ممتازاً لكل من محركات البنزين والديزل، محركات البنزين تحتاج لنسبة قليلة من الغاز أما محركات الديزل فهي بحاجة لبعض التعديلات في نظام السحب الهوائي لتصبح قابلة العمل على الغاز الحيوي ، نحتاج فقط لكمية قليلة من الديزل لإشعال المزيج الغازي ضمن المحرك ليعمل بالشكل الطبيعي ،بالنسبة لمحركات الديزل مزدوجة الوقود (تعمل على الديزل والغاز الحيوي معاً) فهي تحتاج بحدود 0.6 إلى 0.7 متر مكعب من الغاز الحيوي لواحد كيلوواط ساعي.

المحركات العاملة على الغاز الحيوي تستخدم كمضخات زراعية أو لتوليد الكهرباء، من أجل توليد واحد كيلوواط ساعي نحتاج ل 0.7 متر مكعب من الغاز الحيوي.

مفاعل الغاز الحيوي Biogas plant

الشكل(43) يوضح مكونات وطريقة العمل لمفاعل الغاز الحيوي



الشكل(43)

يتم مزج المخلفات العضوية والتي هي غالباً روث بقري مع الماء ومن ثم يتم إدخالها إلى خزان أو حجرة التفاعل، حيث يخضع المزيج العضوي لسلسلة من التفاعلات تنتهي بإنتاج الغاز الحيوي والذي يعتبرأساسه الميثان.
بعد إنتاج الميثان جميع المخلفات الناتجة تخرج من الخزان عبر فتحة تصريف خاصة وتتجمع ضمن خزان خاص بها ، هذه المخلفات العضوية تكون غنية بالمغذيات ويستفاد منها كسماد زراعي.
الغاز المتولد يتم حصره ضمن خزان علوي يسمى خزان حجز الغاز Gas holder tank يمثل القسم العلوي من المفاعل الذي يحتوي الميثان ،بناء على أساسات خزان الحجز.

المفاعلات تقسم لصنفين رئيسين :
المفاعل ذو القبة الثابتة Fixed dome plant
المفاعل ذو البالون العائم Floating drum plant

وحدة الهضم Digester : وهي تمثل خزان التخمر ويتم بناؤها تحت الأرض بشكل كامل أو جزئي وهي عادة أسطوانية الشكل وتبنى من القرميد والاسمنت، وهي تحتفظ بالمواد العضوية حتى انتهاء فترة التخمر.
خزان الحجز : بعد انطلاق غاز الميثان من وحدة الهضم يتم جمعه ضمن خزان الحجز من الممكن أن يكون من نوع البالون العائم فيأخذ شكل حاوية لها شكل الطبل يعوم فوق المزيج العضوي الموجود ضمن خزان الهضم أو من نوع القبة الثابتة ، الحاوية العائمة أو البالون تصنع من الفولاذ أو الحديد

بينما تصنع القبة الثابتة من الإسمنت ،في قمة خزان الحجز يتجمع الغاز الحيوي حيث يتم تركيزه في هذا الحيز الفراغي ثم نقله عبر أنبوب خاص إلى الحراق .

مزايا ومساوىء الطاقة الحيوية :

مزايا	مساوىء
متوفرة في كل مكان	الطاقة من المخلفات العضوية ذات تكلفة أعلى من الوقود التقليدي
المخلفات الزراعية والصناعية يمكن الاستفادة منها في توليد الطاقة	هي شكل من أشكال الطاقة قليلة التركيز
مصدر للطاقة لا ينضب في حال التوازن بين الإنتاج والاستهلاك	صدوربعض الانبعاثات الغازية عند حرقها بطريقة غير ملائمة
انبعاثات الكربون والنتروجين والكبريت يمكن تخفيضها باستخدام هذه الطاقة	

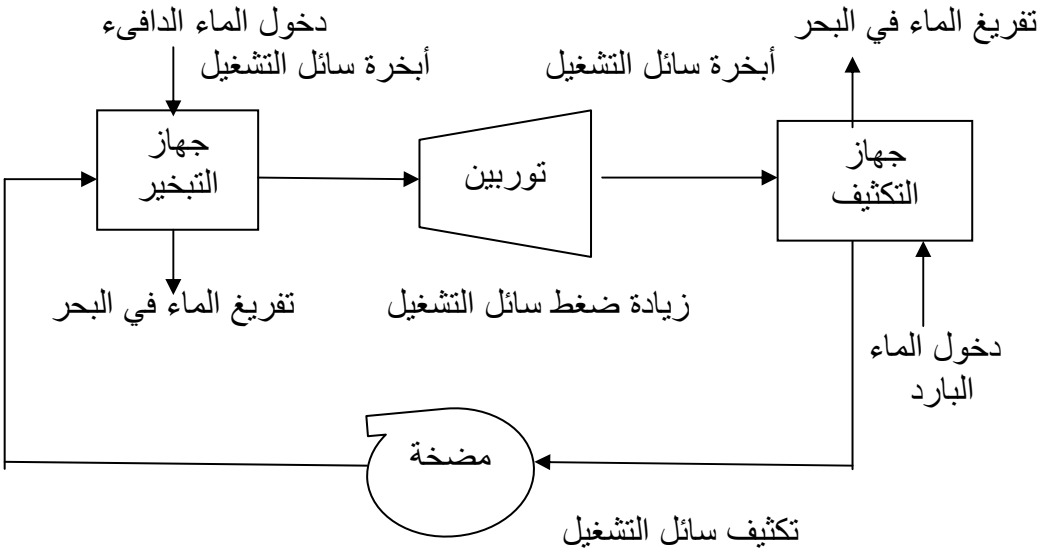
طاقة حرارة المحيط
Ocean Thermal Energy Conversion

مقدمة :
كما نعلم تغطي المياه مساحة قدرها 70% من إجمالي مساحة الكرة الأرضية مما يجعلها أكبر لاقط و مخزن للطاقة الشمسية ، ففي اليوم الوسطي من السنة فإن مساحة قدرها 60 مليون كيلو متر مربع من البحار المدارية تمتص من طاقة الشمس ما يعادل كمية قدرها 250 مليار برميل من النفط .
فلو كان بالإمكان تحويل واحد بالألف من هذه الطاقة الحرارية المختزنة إلى طاقة كهربائية لا ستطعنا تغذية عشرون بلداً بحجم الولايات المتحدة الأميركية بما يكفيها من الطاقة الكهربائية .
إن نظام عمل طاقة حرارة المحيط OTEC system يعتمد على مبدأ فيزيائي و هو أن طبقات مياه المحيط تمتلك درجات حرارة متفاوتة حيث يوجد فرق مقداره 20 درجة مئوية بين الأعماق الباردة والسطح الدافىء ،فمن الممكن لنظام OTEC أن ينتج مقداراً وفيراً من الطاقة الكهربائية حيث يمكن اعتبار المحيط على أنه مخزن ضخم جداً للطاقات المتجددة و يمكنه توليد طاقة تصل لعشرات الآلاف من الميغا واط. لأسباب اقتصادية تأخر استخدام أنظمة OTEC لإنتاج الطاقة الكهربائية لكن هذه الأنظمة تبشر بمستقبل واعد للمجتمعات المتواجدة على الجزر المدارية و التي يعتبر مصدر طاقتها الكهربائية الرئيسية هي النفط المستورد .

4-2-إيجابيات استخدام نظام OTEC :
هذه الإيجابيات تتحدد من خلال الفوائد الاقتصادية التالية :
1- تساعد فب إنتاج كيماويات مثل الهيدروجين ،الأمونيا ،الميثانول .
2- توليد طاقة كهربائية للأحمال الكهربائية الرئيسية .
3- إنتاج الماء المقطر المستخدم في الزراعة والصناعة .
4- دعم أنظمة التكييف المركزي للأبنية بواسطة الماء البارد المسحوب من أعماق البحر
5- توليد حرارة معتدلة للتبريد .
6- توليد طاقة كهربائية بجودة عالية و بتكلفة منخفضة .
7- دعم منظومة الأمن الكهربائي و الاستقلالية في التغذية الكهربائية خاصة لمجتمعات الجزر .
8- الحد من ظاهرة البيت الأخضر (الضارة بالبيئة) الناجمة عن حرق الوقود الأحفوري .

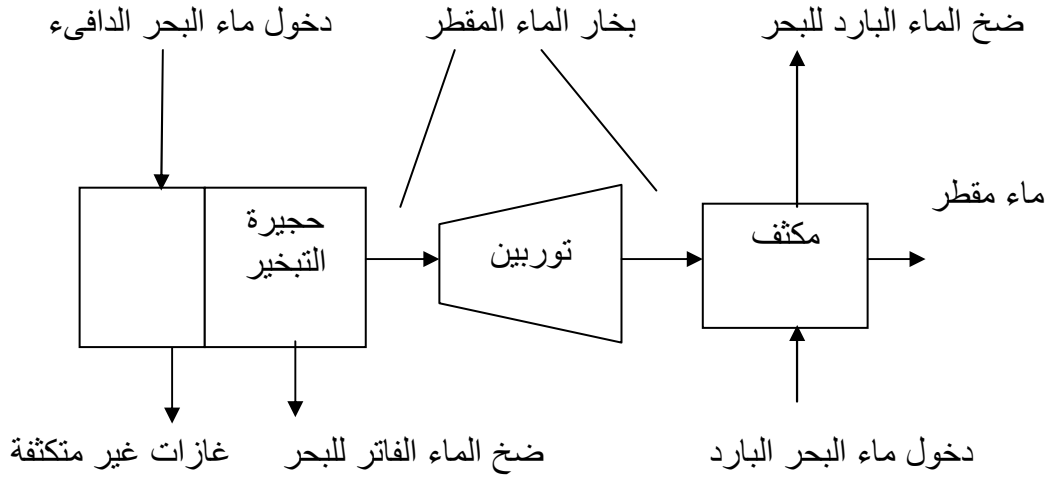
4-2-1إنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام OTEC :
هناك نظامين رئيسيين لتوليد الطاقة الكهربائية : نظام الدورة المغلقة و نظام الدورة المفتوحة .
في نظام الدورة المغلقة يتم تمرير بخار مياه المحيط عبرمبادل حراري يحتوي سائل تشغيل مثل الأمونيا ،الأبخرة تتمدد تحت ضغط متوسط و تقوم بتدوير توربين متصل مع مولدة كهربائية ، بعدها يذهب البخار لمبادل حراري آخر يسمى المكثف حيث يتم تكثيفها بالاعتماد على برودة مياه المحيط التي يتم ضخها من الأعماق الباردة خلال أنبوب ماء بارد، سائل التشغيل المتكثف يتم ضخه من جديد إلى مكان التبخير لإعادة العملية من جديد .سائل التشغيل يبقى في مكان مغلق و يتم تدويره باستمرار

.الشكل (44) يوضح هذه الدورة .



----------الشكل(44)----------

في نظام الدورة المفتوحة يكون ماء البحر الدافىء هو سائل التشغيل يتم تبخير الماء بواسطة شرارة كهربائية ضمن حجرة مغلقة لإنتاج بخار الماء عند ضغط مطلق بحدود 2.4 KPa (كيلو باسكال).
بعدها يتمدد البخار من خلال توربين ضغط منخفض متصل بمولدة كهربائية، بخار الماء الخارج من التوربين يتم تكثيفه بواسطة ماء البحر البارد الذي يتم ضخه من الأعماق الباردة من خلال أنبوب ماء بارد .
إذا تم استخدام مكثف ضمن الدورة فإن بخار الماء المتكاثف يبقى مفصولاً عن مياه البحر الباردة و يشكل مورداً من الماء المقطر .
الطاقة الكهربائية المنتجة يمكن توصيلها للشبكة العامة مباشرة أو يتم استخدامها لصناعة الكيماويات مثل الهيدروجين ،الميثانول ، المعادن المكررة ..وغيرها.
الشكل (44 ب) في الأسفل يوضح آلية عمل الدورة المفتوحة .



طاقة جوف الأرض
Geothermal Energy

مقدمة :

طاقة جوف الأرض الحرارية هي مصدر حراري ضخم غير مستغل حتى الآن و هي تعتبر من أهم الطاقات النظيفة ذلك أنها لا تساهم أو تتسبب بحدوث ظاهرة البيت الأخضر المضرة للبيئة.

إن ظاهرة البيت الأخضر GreenHouseEffect باختصار هي ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض مع الطبقات السفلى من الغلاف الجوي و زيادة نسبة غاز ثاني أوكسيد الكربون و سندرسها بالتفصيل في الفصول القادمة .

كذلك فإن طاقة حرارة جوف الأرض ذات وثوقية عالية جداً و من الممكن الاعتماد عليها أكثر بكثير من النفط المستورد ، ومن الاستفادة منها مباشرة على شكل طاقة حرارية أو تحويلها لطاقة كهربائية ، مشاريع توليد الكهرباء من الحرارة الطبيعية قد بدأت في عدة دول من العالم وكانت أول تجربة في إيطاليا عام 1904.

إن مخزون طاقة جوف الأرض تتفاوت بين سطح الأرض الذي يتمتع بحرارة بسيطة نسبياً وبين أعماق الأرض حيث الماء و الحجارة شديدة السخونة وصولاً لطبقة الماغما و هي الحمم السائلة البركانية .

ضمن المنطقة الجيولوجية الواحدة يمكن وجود أكثر من نظام واحد لطاقة جوف الأرض فهناك النظام المائي الحراري و نظام الضغط الجوفي و النظام الحراري الجاف .

ففي النظام المائي الحراري يتم نقل الحرارة من الباطن إلى السطح عن طريق تدوير بخار الماء أو الماء الساخن . هناك مشروع قائم شمال مدينة سان فرانسيسكو الأميركية يولد بضع مئات من الميغا واط بالاعتماد على النظام المائي الحراري لجوف الأرض .

النظام الجاف لا يوجد فيه سائل الماغما و لا مياه ساخنة إنما فقط أحجار ساخنة وهذا النظام يختزن كمية هائلة جداً من الحرارة و تجرى التجارب على هذا النظام حالياً في العاصمة المكسيكية .

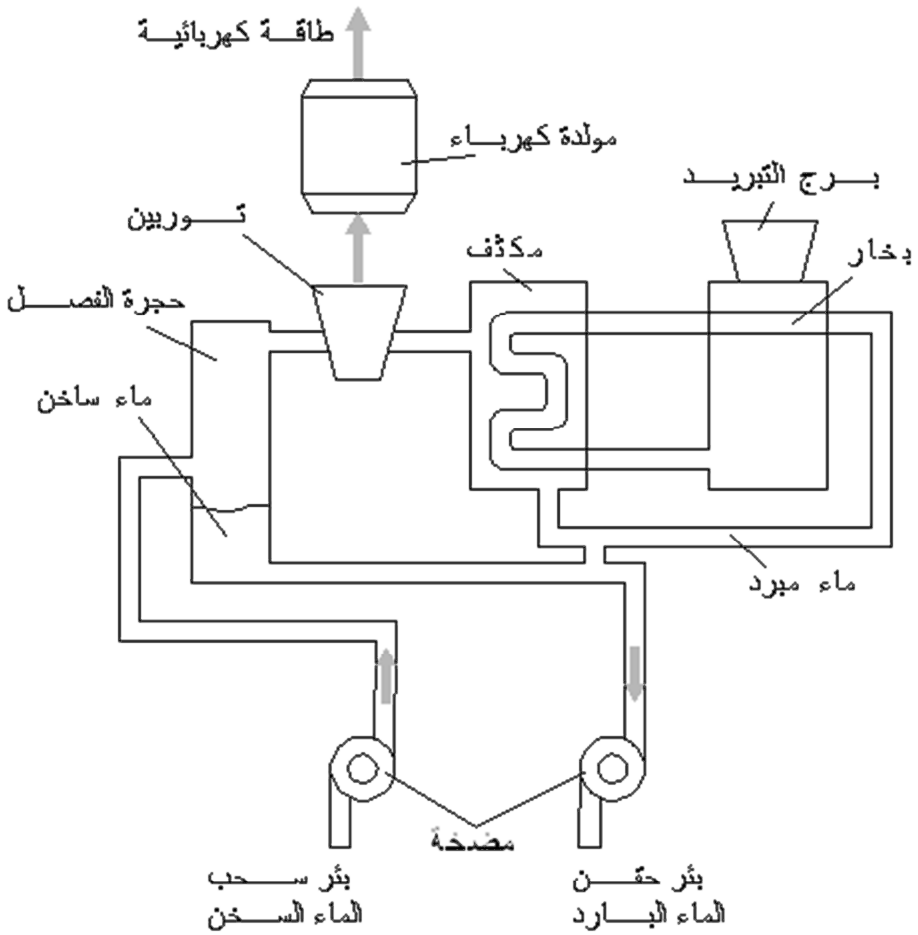
تظام الضغط الجوفي يظهر عند وجود طبقات من الطين أو الطين الآجري تغطي سطح الأرض حيث تلعب هذه الطبقات دور السطح العازل و تمنع الحرارة القادمة من جوف الأرض بالخروج بالإشعاع من سطح الأرض أي تكثيف الحرارة في الأرض .

إن درجة حرارة السائل الساخن في جوف الأرض يجب ألا تقل عن 260 درجة مئوية و هو الوضع النظامي وتوجد منشآت تعمل بدرجة حارة 200 مئوية .

تقريباً في كل مكان الطبقة العليا من سطح الأرض و التي تكون بعمق تقريبي عشرة أقدام تمتلك درجة حرارة ثابتة تتراوح بين 10 إلى 16 درجة مئوية .يمكن إنشاء نظام حراري بدفن أنابيب حرارية على عمق بسيط في التربة قرب الأبنية السكنية وو ضع مشعات حرارية و أنابيب نقل حراري معزولة ضمن المبنى ،ففي الشتاء تنتقل الحرارة من الطبقة الأرضية الدافئة نسبياً إلى داخل البناء و يتم إشعاعها عبر المشعات الحرارية، في الصيف يتم سحب الهواء الساخن عبر المشعات إلى الطبقة الأرضية الباردة نسبياً أو يمكن استخدام هذه الحرارة لتسخين الماء .

على عمق بضعة أميال من سطح الأرض هناك طبقة جيولوجية من الصخور الساخنة جداً و الجافة و التي تكون على تماس مع طبقة الماغما الملتهبة ،يتم تطوير التقنيات الخاصة بالحفريات للوصول لهذه الطبقة من الصخور و بناء بئر لحقن الماء البارد ضمن الصخور الساخنة ليتم تدويره و تسخينه و بئر آخر لسحب الماء الساخن .

الشكل (45) يوضح هذا المفهوم.



----------الشكل (45)----------

طاقة المد و الجزر
Tidal Energy

مقدمة :

تظهر حركة المد و الجزر على شواطىء البحار و المحيطات بمعدل مرتين يومياُ و هذه الظاهرة ناتجة عن تأثير الجاذبية للشمس والقمر ،بشكل عام الفارق في مستوى الماء بين المد و الجزر هو بحدود 0,5 متر ،المناطق الساحلية التي تمتلك خلجان ضيقة تكون فيها الفروقات في مستوى الماء أعلى ، على سبيل المثال خليج فاندي Fundy Bay في ولاية Nova Scotia الكندية يمتلك أعلى مد بحري في العالم حيث يصل الفرق بين المد و الجزر إلى 16 مترلهذا السبب عند بناء سد عبر الخليج فمن الممكن الاستفادة من حركة المد و الجزر لتوليد الكهرباء.

مبدأ توليد الطاقة الكهربائية من حركة المد و الجزر :

عند حدوث حركة المد و تقدم المياه باتجاه اليابسة يتم فتح البوابات المائية للسد مما يسمح بازدياد منسوب المياه في جانب السد المطل على اليابسة ، عند حصول حركة الجزر و تراجع الماء عن اليابسة يتم إغلاق بوابات السد كلها مما يجبر المياه المتراجعة على التدفق على مساقط السد (مثل الشلالات) حيث يتم وضع توربينات مناسبة تدور بفعل الماء المنحدر من السد أي توليد طاقة كهربائية .

الصعوبات التي تواجه هذا النوع من مشاريع الطاقة هو التكلفة العالية لإنشاء محطات التحويل الكهربائية على الشاطىء بإضافة لصعوبات متعلقة بالبيئة كصعوبة امتلاك المساحات حيث تصب الأنهار في البحر(مصبات الأنهار)حيث أن اختلاط ماء النهر العذب مع ماء البحر المالح ينتج عنه وسط طبيعي غني جداً بالمغذيات التي تقتات عليها المخلوقات البحرية أي يدعم ازدياد الثروة السمكية إن مصبات الأنهار عى البحار هي من أهم مقومات الحياة الطبيعية المائية .إن بناء السدود مقابل مصبات الأنهار يهدد أنواعاً كثيرة من الأسمال بالانقراض حيث أن كثيراً من أنواع الأسماك تسبح من مياه البحر باتجاه مياه النهر عكس التيار لتصل لمكان وضع البيوض أثناء موسم التكاثر .

للاستفادة بالشكل الأمثل من طاقة المد والجزر يجب اختيار موقع بناء السد بعناية فائقة بحيث لا يلحق أية أضرار بالحياة البحرية في موقع التشييد .

سلبيات طاقة المد و الجزر:

لم تعتمد من حيث المردود الاقتصادي بعد ، صعوبات في نقل الطاقة الكهربائية من مناطق التوليد ، عدم وجود تقنيات متطورة بعد .

إيجابات طاقة المد و الجزر :

طاقة متجددة ، لاتصدر تلوثاُ يبئياً ، تعمل على مدار ساعات اليوم و أيام السنة دون توقف ، ساعات ذروة الانتاج للطاقة الكهربائية تتزامن مع زمن الطلب الأعظمي للطاقة (أي ساعة استهلاك الذروة من الطاقة الكهربائية) .