جامعة الانبار

كلية التربية للعلوم الصرفة

إعداد

د. رائد خضر سلمان الفهداوي

قسم الفيزياء

العام الدراسي

2016- 2015

1 مفاهيم عامة

1.1 الطاقة

هي أحد المقومات الرئيسية للمجتمعات المتحضرة .وتحتاج إليها كافة قطاعات المجتمع بالإضافة إلى الحاجة الماسة إليها في تسيير الحياة اليومية ، إذ يتم استخدامها في تشغيل المصانع وتحريك وسائل النقل المختلفة وتشغيل الأدوات المنزلية وغير ذلك من الأغراض . وكل حركة يقوم بها الإنسان تحتاج إلى استهلاك نوع من أنواع الطاقة ويستمدَّ الإنسان طاقته لإنجاز أعماله اليدوية والذهنية من الغذاء المتنوع الذي يتناوله كل يوم ، إذ يتمّ حرق الغذاء في خلايا الجسم ويتحول إلى طاقة . ويمكن تعريف الطاقة بأنها قابلية إنجاز تأثير ملموس (شغل) . وهي توجد على عدة أنواع منها طاقة الريح ، وطاقة جريان الماء ومسا قطها . ويمكن أن تكون الطاقة مخزونة في مادة كالوقود الاحفوري (النفط ، الفحم، الغاز)

والوقود الأحفوري هو وقود يتم استعماله لإنتاج الطاقة الأحفورية. ويستخرج الوقود الأحفوري من المواد الأحفورية كالفحم الحجري ،الفحم النفطي الأسود، الغاز الطبيعي، ومن البترول.

1.2 ماهي الطاقة المتجددة وهل هناك تسميات اخرى لها؟

- **الطاقة المتجددة هي الطاقة التي تستمد من الموارد الطبيعية التي تتجدد باستمرار اي لا تنفذ.**
- **ويطلق عليها ايضاً اسم الطاقة المستدامة كونها مصادرها دائمة دوام الحياة على كوكب الأرض ولا تحتاج مصادرها الى استخراج او تعدين او عمليات مكننة فهي طبيعية 100%.**
- **وكذلك يطلق عليها احياناً الطاقة البديلة (وهنا يجب الانتباه الى ان هذه التسمية اكثر تعميماً كونها تشمل المصادر التي تستعمل بدلاً من مصادر الطاقة الاحفورية او تنتج وقوداً شبيها بالوقود الناتج عن الطاقة الأحفورية). ولكن ليس كل مصادر الطاقة البديلة تعتبر متجددة فمثلاً الطاقة النووية تعتبر طاقة بديلة للوقود الاحفوري لكنها تعتبر مستنفذة.**

وتسمى ايضاً بالطاقة الخضراء لأنها لا ينتج عنها مخلفات او غازات تعمل على زيادة الاحتباس الحراري مثل ثاني اوكسيد الكاربون او اكسيدات النيتروجين. وبالرغم ان هذا المصطلح يظهر صديقاً للبيئة الا انه تحت هذا المصطلح تنطوي ايضاً المخلفات الزراعية التي يمكن ادراجها كمصادر طاقة متجددة كونها مستنفدة ايضاً.

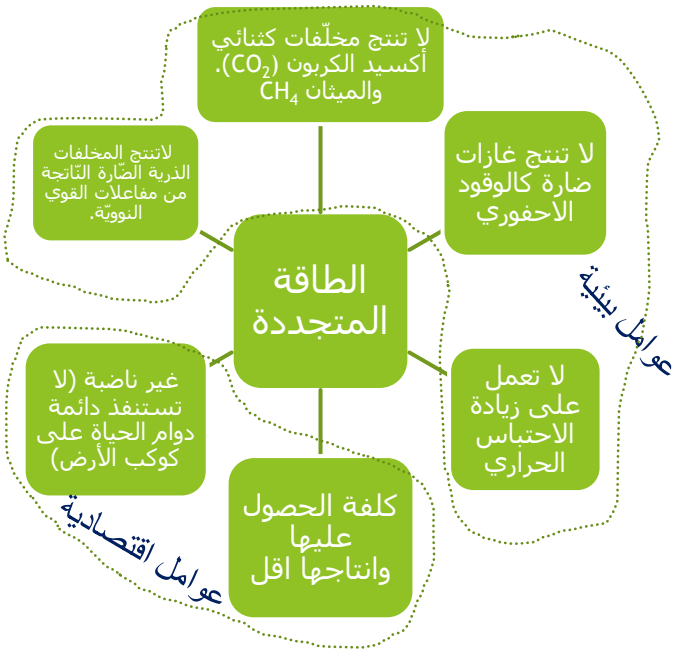
ويجدر التنبيه الى انها تختلف عن الوقود الاحفوري (Fossil fuel) كالنفط والفحم والغاز الطبيعي. فهي طاقة مصادرها طبيعية بحتة ولا تحتاج في انتاجها الى تقنيات معقدة وجهود كبيرة لاستخراج موادها الخام.

1.3 ماهي المصادر الاساسية للطاقة الغير متجددة (الناضبة) ؟

1. النفط (البترول) 2. الفحم 3. المفاعلات النووية 4. الغاز الطبيعي.

1.4 لماذا التركيز على الطاقة المتجددة؟

- **زيادة نسبة ثنائي اوكسيد الكاربون في الجو تؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة، اما زيادة انبعاث غاز الميثان تزيد من تساقط الامطار الحامضية.**
- **خلال السنوات السبعين الماضية ارتفعت درجة الحرارة بمقدار $2^{o}C$، وثنائي اوكسيد الكاربون ازداد بنسبة 20% مما ادى إلى زيادة سخونة الارض بمقدار 6 Watt.**
- **اما الميثان فقد ادت زيادته بمعدل 7% الى زيادة الامطار في بعض مناطق الكرة الارضية وانحباسها في مناطق اخرى. وسقوط الامطار قد ازداد بنسبة 15% ادى إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار 10.5 cm خلال القرن الماضي مما ادى إلى انغمار بعض الأراضي الصالحة للزراعة وذوبان الثلوج واختفاء الغابات في مناطق اخرى.**
- **الإشعاع والمخلفات النووية، والتي تنتج عن المفاعلات النووية المنتجة للطاقة. وبالرغم ان الطاقة النووية شكلت في قبل عدة عقود من الزمان حلاً مثالياً ومصدراً مهما من مصادر الطاقة، الا ان تراكم نواتجها من مخلفات خطيرة على حياة المخلوقات جعلتها غير مرغوب بها. فالمخلفات الناتجة اكثر ضرراً واكثر كلفة للتخلص منها.**



1.5 ماهي انواع الطاقة المتجددة؟

- **1. طاقة شمسية 2. طاقة الرياح 3. طاقة كهرومائية 4. طاقة المد والجزر**
  5. وقود حيوي مستدام 6.طاقة حيوية 7. كتلة حيوية 8. طاقة حرارية أرضية
  9. كهرباء حرارة باطن الارض 10. طاقة البراكين والزلازل

اذا هناك العديد من انواع الطّاقة المتجددة من الرياح والمياه والشمس, كما يمكن إنتاجها من حركة الأمواج والمد والجزر أو من طاقة حرارية أرضية وكذلك من المحاصيل الزراعية والأشجار المنتجة للزيوت. إلا أن تلك الأخيرة لها مخلفات تعمل على زيادة الاحتباس الحراري. حاليا أكثر إنتاج للطّاقة المتجددة يُنتج في محطات القوى الكهرمائية بواسطة السّدود العظيمة أينما وجدت الأماكن المناسبة لبنائها على الأنهار ومساقط المياه ، وتستخدم الطّرق التي تعتمد على الرياح والطّاقة الشمسيّة طرق على نطاق واسع في البلدان المتقدّمة وبعض البلدان النّامية ؛ لكن وسائل إنتاج الكهرباء باستخدام مصادر الطّاقة المتجددة أصبح مألوفاً في الآونة الأخيرة، وهناك بلدان عديدة وضعت خططاً لزيادة نسبة إنتاجها للطّاقة المتجددة بحيث تغطي احتياجاتها من الطّاقة بنسبة 20% من استهلاكها عام 2020. وفي مؤتمر كيوتو باليابان اتّفق معظم رؤساء الدّول على تخفيض إنتاج ثنائي أكسيد الكربون في الأعوام القادمة وذلك لتجنب التّهديدات الرئيسيّة لتغيّر المناخ بسبب التلوث واستنفاد الوقود الأحفوري، بالإضافة للمخاطر الاجتماعية والسّياسية للوقود الأحفوري والطّاقة النووية.

وفي المحاضرات القادمة سوف نتطرق إلى بعض الانواع الشائعة من مصادر الطاقة المتجددة مع شرح التقنيات المنتجة لها وكيفية الاستفادة القصوى منها.

نهاية محاضرة 1

2 الطاقة الشمسية

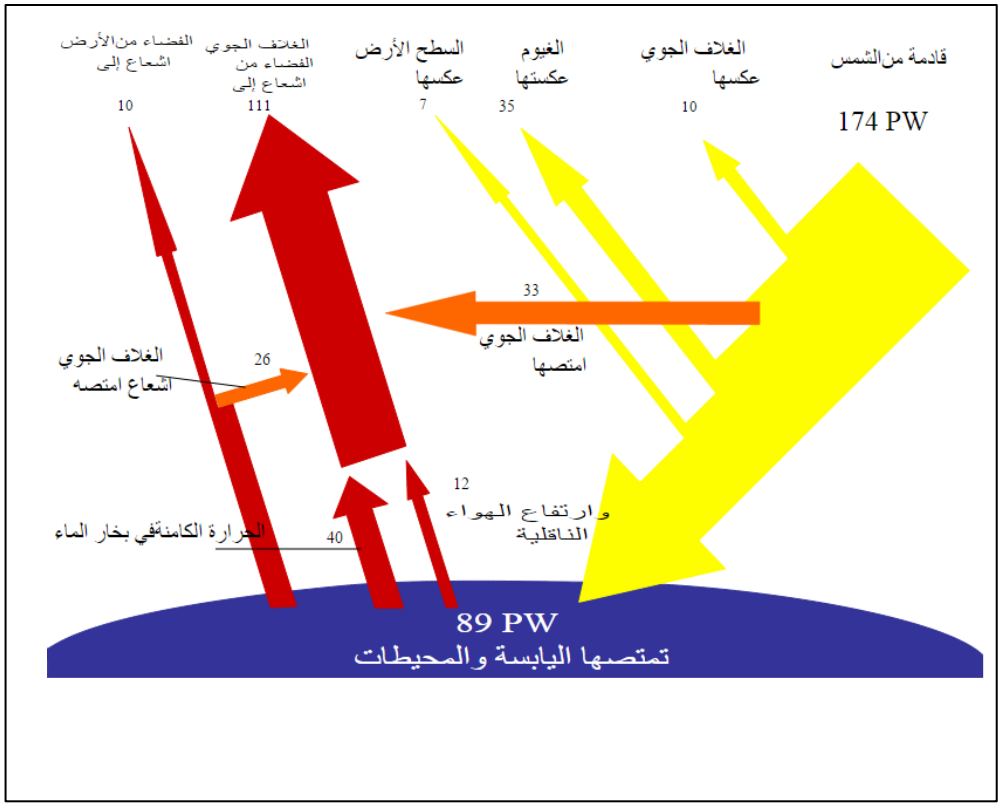
2.1 اساسيات الاشعاع الشمسي

يستقبل الغلاف الجوي لكوكبنا كمية من الاشعاع الشمسي في كل لحظة ما يعادل 174 بيتا واط (1 PW=10^{15} W). ينعكس منها مايقرب من 30% عائدة إلى الفضاء بينما تمتص النسبة الباقية بواسطة السحب والمحيطات والكتل الارضية. معظم طيف الضوء الشمسي الموجود على سطح الارض ينتشر عبر المدى المرئي وبالقرب من مدى الاشعة تحت الحمراء بالإضافة إلى انتشار جزء صغير منه بالقرب من مدى الأشعة فوق البنفسجية. **تمتص مسطحات اليابسة والمحيطات والغلاف الجوي الاشعاعات الشمسية، مما يؤدي الى ارتفاع درجة حرارتها. يرتفع الهواء الساخن الذي يحتوي على بخار الماء الصاعد من المحيطات مسبباً دوران الهواء الجوي او انتقال الحرارة بخاصية الحمل في اتجاه رأسي. وعندما يرتفع الهواء إلى قمم المرتفعات حيث تنخفض درجة الحرارة يتكثف بخار الماء في صورة سحب تمطر على سطح الأرض**، ومن ثم تتم دورة الماء في الكون. **تزيد الحرارة الكامنة لعملية تكثف الماء من انتقال الحرارة بخاصية الحمل، مما يؤدي إلى حدوث بعض الظواهر الجوية، مثل الرياح والأعاصير والأعاصير المضادة**. وتعمل أطياف ضوء الشمس التي تمتصها المحيطات وتحتفظ بها الكتل الأرضية على أن تصبح درجة حرارة سطح الأرض في المتوسط 14 درجة مئوية. **ومن خلال عملية التمثيل الضوئي الذي تقوم به النباتات الخضراء، يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية، مما يؤدي إلى إنتاج الطعام والأخشاب والكتل الحيوية التي يُستخرج منها الوقود الحفري.**

2.1.1 صافي الأشعاع الشمسي على سطح الأرض

- **يصل اجمالي الطاقة الشمسية التي يقوم الغلاف الجوي والمحيطات والكتل الارضية بامتصاصها إلى حوالي 3.850 كونتليون جول (EJ= 10 ^{18} J) في العام.**
- **في العام 2002 زادت كمية الطاقة التي يتم امتصاصها في ساعة واحدة عن كمية الطاقة التي تم استخدامها في عام واحد.**
- **يستهلك التمثيل الضوئي حوالي 3 كونتليون جول من الطاقة الشمسية في العام لتكوين الكتل الحيوية.**

- **كمية الطاقة الواصلة الى سطح الارض كبيرة لدرجة انها تصل في العام الواحد ضعف ماسيتم الحصول عليه من مصادر الطاقة الموجودة على الارض مجتمعة معاً، كالفحم والبترول والغاز الطبيعي واليورانيوم المستخرج من باطن الأرض.**



شكل 2-1 كمية الطاقة الواصلة من الشمس وتوزيعها على الكرة الأرضية

2.2 ميزات الطاقة الشمسية

تتميز الطاقة الشمسية بأنها :

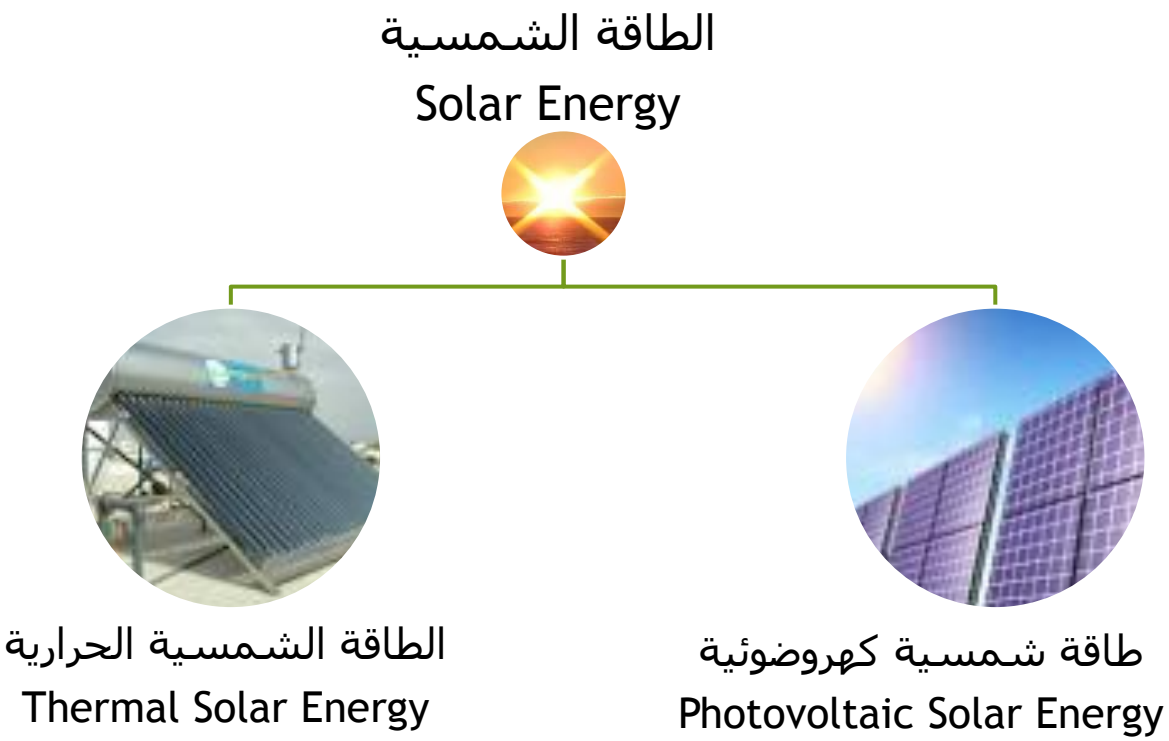
1. تقنياتها لا تشمل أجزاء أو قطع متحركة.
2. لا تستهلك وقوداً ولا تلوث الجو.
3. حياتها طويلة ولا تتطلب إلا القليل من الصيانة.
4. تحقق أفضل استخدام لهذه التقنية تحت تطبيقات وحدة الإشعاع الشمسي وحدة شمسية (أي بدون مركزات أوعدسات ضوئية)، ولذا يمكن تثبيتها على أسطح المباني ليستفاد منه في إنتاج الكهرباء.

5. كفاءتها تقدر بحوالي 20 % أما الباقي فيمكن الاستفادة منه في توفير الحرارة للتدفئة وتسخين المياه . كما تستخدم الخلايا الشمسية في تشغيل نظام الاتصالات المختلفة وفي إنارة الطرق والمنشآت وفي ضخ المياه وغيرها

2.3 تقنيات انتاج الطاقة الشمسية

من أهم العوامل الرئيسية لإيجاد البنى الأساسية فيها ولا يتطلب إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية إلى مركزية التوليد بل تنتج الطاقة وتستخدم بنفس المنطقة أو المكان وهذا ما سوف يوفر كثيراً من تكلفة النقل والمواصلات وتعتمد هذه الطريقة بصورة أساسية على تحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية ، وتوجد في الطبيعة مواد كثيرة تستخدم في صناعة الخلايا الشمسية والتي تجمع بنظام كهربائي وهندسي محدد لتكوين ما يسمى باللوح الشمسي والذي يعرض لأشعة الشمس بزاوية معينة لينتج أكبر قدر من الكهرباء.

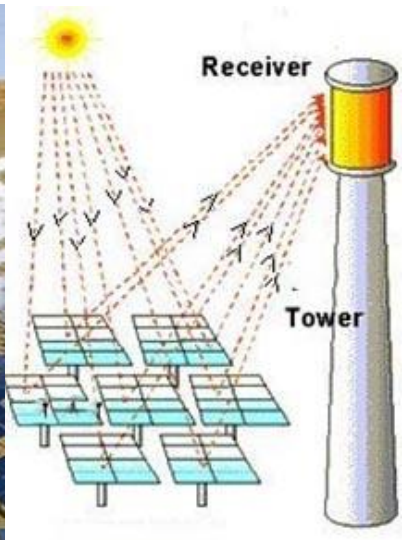
و يتم الاستفادة من الطاقة الشمسية بطريقتين:



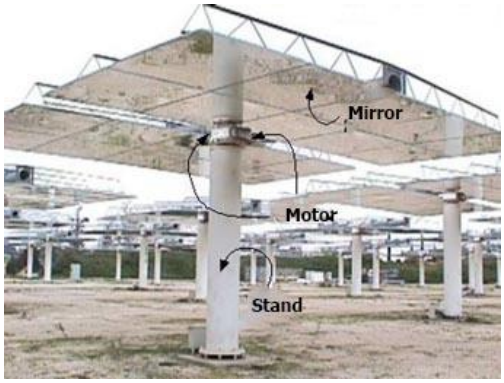
3 تقنيات الطاقة الشمسية- المجمعات الشمسية

3.1 البرج الشمسي

يعتبر البرج الشمسي من اهم التقنيات المستخدمة لاستغلال الطاقة الشمسية في انتاج الطاقة الكهربائية والحرارية. وهو عبارة عن منشأة تعمل على تجميع اشعة الشمس الساقطة على مرايا كثيرة منتشرة في مساحه واسعه . والتي تعكس اشعة الشمس على البرج الرئيسي. في هذا البرج يمكن تحويل اشعة الشمس المنعكسة الى انواع اخرى من الطاقة.



تحوي المرايا على محركات ذاتية الحركة مرتبطة بحساسات لتغير اتجاهها مع حركة قرص الشمس في السماء. ومن ثَمَّ توجّه الاشعة نحو الغرفة الموجودة في البرج. يصل مجمل مساحة المرايا الى حوالى 3500 متر مربع.



3.1.1 آليه العمل

يتم عكس تركيز الشعاع الشمسي على البرج الشمسي للوصول الى درجات حرارة عالية,وذلك بتسخين هواء مضغوط بواسطة الأشعة المركزة ليصل الى درجة حرارة حوالى 1400 درجة مئوية في منشأة خاصة معزولة عن المحيط الخارجي لتقليل تسرب الحرارة . من الحرارة يتولد ضغط على محركات طوربينية معينه لتدويرها والتي تقوم بتدوير مولّد كبير لتوليد الطاقة الكهربائية .

- **س/ ماهو الاختلاف بين منظومة توليد الطاقة بالبرج الشمسي وبين منظومة التوليد بواسطة الوقود الاحفوري؟**

3.1.2 حساب كمية الطاقة العملية التي ينتجها البرج الشمسي

الطاقة الكلية المستخرجة لمساحة معينة A في وحدة الزمن t يمكن ان تعطى بالمعادلة التالية:

$$E_{total} = E * A * t$$

مثال/ برج للطاقة ينتج 3500 جول من الطاقة في الثانية الواحدة. احسب الطاقة التي ينتجها خلال ساعة من الزمن باستخدام مرايا تمتد على مساحة $1000\ m^2$، ثم احسب القدرة بالواط.

الحل/

$$E_{total} = 3500 * 3600 * 1000 = 12600000000\ Joule$$

اما القدرة الناتجة بالواط فهي:

$$P = \frac{E_{total}}{t} = \frac{12600000000}{3600} = 3500000\ Watt = 350\ KW$$

3.2 استخدام البرج الشمسي في انتاج الهيدروجين

يعد غاز الهيدروجين من الغازات القابلة للاشتعال بسهولة وبدون مخلفات ضارة لذلك كان انتاج غاز الهيدروجين واستخدامه احد اهداف العلماء منذ سنين طويلة، كونه يشتعل بسهولة ويولد طاقة اضعاف مايولد الوقود الاحفوري، فمثلاً كتلة 1Kg من الهيدروجين يمكن ان تولد ثلاث اضعاف الطاقة التي تولدها نفس الكتلة من البنزين. ولكن المشكلة هي في استخلاص الهيدروجين فهي عملية مكلفة وتتطلب طاقة كبيرة مقارنة بالطاقة التي يولدها، فيعتبر الماء هو المصدر الاساسي لاستخراج الهيدروجين كونه يتألف من ذرتي هيدروجين وذرة اوكسجين واحدة.

ويمكن فصل العنصرين بواسطة التحليل الكهروكيميائي كما في المعادلة ادناه.

$$2H_2O \xrightarrow{\text{كهربائي تحليل}} 2H_2 + O_2$$

لكن هذا يتطلب طاقة كهربائية اكبر من الطاقة التي توفرها كمية الهيدروجين المستخلصة.

لذلك يعتبر البرج الشمسي مصدراً مفيداً في تحليل الماء للحصول على غاز الهيدروجين كونه يوفر الطاقة اللازمة لاستخراجه من الماء.

ميزات عملية استخراج الهيدروجين باستخدام البرج الشمسي

1. منظومة تزويد الطاقة التي تعمل على الهيدروجين لا تلوث المحيط. فنحن نبدأ بالماء وننتهي بالماء.
2. يمكن استخدام منظومة البرج الشمسي للحصول على الهيدروجين من الماء في اي منطقة من العالم تقريباً.
3. يمكن ان ينقل غاز الهيدروجين عند تحليل الماء، عبر انابيب او صهاريج لأي مكان نحتاجه فيه.

3.3 استخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه

3.3.1 منظومة تسخين المياه المنزلية

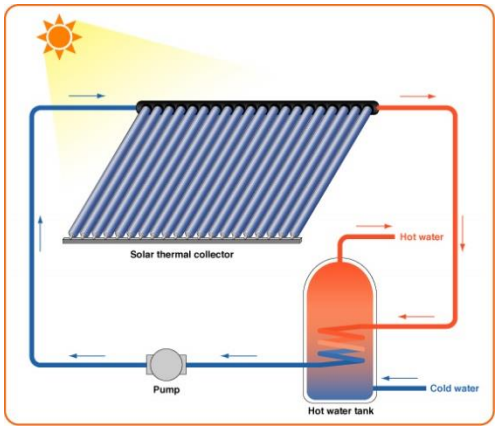
يتكون المجمع الشمسي من لوح ماص للحرارة على شكل صفيحة سوداء اللون ذات قابلية امتصاص عالية , تقوم بامتصاص الاشعة الشمسية , تكون هذه الصفيحة بملامسة مائع ما (هواء او ماء), ويتم تحريك المائع بواسطة مضخات . يتم تغطية الوح الماص بطبقة من الزجاج لتقليل الخسائر الحرارية بواسطة الحمل او الاشعاع حيث يقوم الزجاج بعمليتين هما:

1. منع خروج الشعاع المنعكس من اللوح الماص
2. منع حدوث الخسائر الحرارية بواسطة الحمل

حيث يسمح الزجاج لحوالي 90% من الأشعة الشمسية ذات الموجات المقيدة بالدخول الى اللوح الماص ويمنع خروج الاشعاع ذي الموجات الطويلة المنعكسة من نفس اللوح . يتم توصيل الانابيب التي يمر بها المائع مباشرة باللوح الماص او تكون جزءا منه , يستخدم غالبا مواد ذات توصيلية عالية للحرارة في صنع اللوح الماص مثل النحاس والالمنيوم والحديد.

اما الشكل الحديث لمنظومات التسخين الشمسي فهي منظومة فعاله تتكون من مجمعات شمسيه ومبادل حراري وخزان ماء حار وبارد ومضخات لتدوير الماء في المنظومة. وتكون منظومة تسخين على شكل صندوق يحتوي عدد من الانابيب عالية التوصيل الحراري معزولة حرارياً عن المحيط الخارجي بواسطة زجاج مضلل باللون الاسود لامتصاص اعظم مقدار من الطاقة.

يتم تسخين الماء عن طريق امتصاص الأشعة الشمسية الساقطة على المجمع الشمسي فيسخن الماء الموجود في الانابيب ويتم تمريره عبر انابيب الى الخزان ثم يضخ الماء البارد مرة اخرى الى الانابيب لتسخينه وهكذا الى ان نحصل على خزان ماء ساخن.



ويمكن قياس كفاءة المجمع الشمسي بالمعادلة التالية:

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{كمية الحرارة الناتجة}}{\text{كمية الاشعاع الساقط}} \times 100\%$$

3.4 العوامل التي تؤثر على كفاءة المجمع الشمسي

1. درجة حرارة المائع الداخل.
2. درجة حرارة المحيط
3. كمية الاشعاع الشمسي
4. عدد ونوع الغطاء الخارجي
5. مواصفات اللوح الماص

توجه المجمعات الشمسية نحو الجنوب دائما للحصول على اعلى حرارة منعكسة عندما تكون الاشعة الساقطة عمودية على اللوح , لذلك يعتمد ميل المجمع الشمسي على خط عرض الراصد وعلى ميل قرص الشمس عن الشمس.

- **مثال/ ماهي مساحة المجمعات الشمسية اللازمة لتزويد منزل بالماء الحار لمدة يوم كامل اذا كانت الحرارة المطلوبة 6000 واط بالساعة، على افتراض ان كمية الاشعاع الشمسي الساقط كان 4960 واط في اليوم الواحد لكل متر مربع، وان كفاءة المجمعات الشمسية هي 50%؟**

الحـــــلّ :

كمية الحرارة = كمية الإشعاع X كفاءة المجمعات X المساحة

$$\frac{6000 \text{ واط}}{\text{ساعة}} = \frac{24 \text{ ساعة}}{\text{يوم}} \times \frac{4960 \text{ واط}}{\text{م}^2 . \text{يوم}} \times 0.5 \times \text{المساحة}$$

$$\therefore \text{المساحة} = \frac{24 \times 6000}{0.5 \times 4960} = 58 \text{ م}^2$$

مثال/ ماهي القدرة اللازمة لتدوير مضخات مياه من ضغط البخار من استخدام مجمعات شمسية مساحتها 1207 م^2 علما ان اقصى شدة اشعاع شمسي ساقط هي 1200 واط \م^2 .

الحل/ كمية الاشعاع الساقط = 1200× 1207 = 1576 كيلو واط

$$\text{كفاءة النظام} = \frac{\text{درجة الحرارة النهائية} - \text{درجه الحرارة الابتدائية}}{\text{درجة الحرارة النهائية}} * 100\%$$

درجة الحراره تقاس بالكلفن

ولتوليد البخار نفترض ان حرارة الماء تتغير من 20 ال 100. فالكفاءة اللازمة اذا لرفع درجة الحرارة من 20 الى 100 هي:

$$\text{الكفاءة} = \frac{(273+20)-(273+100)}{(273+100)} \times 100\%$$

=0.2 ×100=21%

القدرة الناتجة = كمية الاشعاع الشمسي (قدرة الاشعاع الشمسي الساقط)×كفاءة المجمعات الشمسية

=1576 ×0.21=330 كيلو واط

مثال/ احسب مساحة المجمعات الشمسية اللازمة لتسخين 80 غالون من الماء يومياً (1 غالون من الماء=4.5Kg عند درجة حرارة الغرفة)، من درجة 20°C الى 90°C في شهر كانون الثاني في البحرين، بافتراض ان متوسط الاشعاع الشمسي اليومي في هذا الشهر في البحرين يصل الى 500watt.d /m^2، وأن كفاءة المجمعات الشمسية تصل إلى 50%، وان عدد ساعات سطوع الشمس هي 12h. (الحرارة النوعية للماء=4186J/Kg.m).

الحل/

الطاقة اللازمة لتسخين الماء الى 90^o =كتلة الماء* الحرارة النوعية * الفرق بين درجات الحرارة

$$=(80*4.5)*4186*(90-20)\approx 106\ MJ/d$$

والطاقة التي تستطيع المجمعات توفيرها لتسخين الماء =كمية الاشعاع* كفاءة المجمع*المساحة

$105487200=500*12*3600*0.5*A \rightarrow A=9.7\ m^2$

وهذه تعتبر مساحة معتدلة تساوي سطح عرضه 2م وطوله 2.4م.

واجب بيتي/ احسب مساحة المجمعات الشمسية اللازمة لتسخين 350 لتر من الماء يومياً، من درجة 20^oC الى 90^oC في شهر كانون الثاني في العراق، بافتراض ان متوسط الاشعاع الشمسي اليومي في هذا الشهر في العراق يصل الى $2307watt.d/m^2$، وأن كفاءة المجمعات الشمسية تصل إلى 50%، وان عدد ساعات سطوع الشمس هي 14h/day. (الحرارة النوعية للماء=4186J/Kg.m، وكثافته $1Kg/m^3$).

4 الخلية الشمسية (الفوتو-فولطائية) Photovoltaic Cell

هو جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية مستغلا التأثير الضوئي جهدي Photovoltaic Effect.

وتستخدم مجاميع الخلايا الشمسية لالتقاط الطاقة من ضوء الشمس عن طريق تركيبها كوحدة واحدة وتوجهيها وترتيبها على سطح واحد يسمى لوح الطاقة الشمسية Solar Panel. وتدعم هذه الخلايا باطار من الالمنيوم لحمايتها من الصدمات وزوج من الدايودات للحماية الكهربائية.

ويمكن تعريفها ايضاً بأنها (الخلايا الفولتوضوئية) وهي الخلايا التي من خلالها يتم تحويل أشعة الشمس مباشرة إلى كهرباء، عن طريق استخدام أشباه الموصلات مثل السليكون. والسليكون وهو نوعين متبلور Crystalline Silicon و الغير متبلور Amorphous Silicon (A-Si)، والكادميوم تيلورايد Cadmium Telluride CdTe ، او Copper Indium Diselenide $CuInSe_2$ او مواد مترسبة كطبقات فوق شرائح من أشباه الموصلات تتكون من أرسنيد (زرنيخيد) الجاليوم (Gallium Arsenide GaAs).

وتعتمد شدة التيار الناتج لهذه الخلايا على وقت السطوع وشدة اشعاع الشمس وكفاءة الخلية الشمسية في التحويل. وتستخدم هذه الخلايا في مجال الاتصالات و شبكات الموبايل والحماية الكاثودية ومضخات المياه و أنظمة الإضاءة. والاقمار الصناعية وغيرها.

4.1 انواع الخلايا الشمسية

1- خلية السليكون أحادي التبلور Monocrystalline Si Cells: وهي عبارة عن خلايا قُطعت من بلورة سيليكون مفردة وكفاءة هذا النوع من الخلايا من 11 إلى 16% .

2- خلايا متعددة التبلور Polycrystalline Cells: وهي عبارة عن رقائق من السليكون كُشطت من بلورات سليكون أسطوانية ثم تعالج كيميائيا في أفران لزيادة خواصها الكهربية ثم تغطى اسطحها بمضاد الانعكاس لزيادة كفاءة الامتصاص . كفاءة هذه الخلايا بين (9 إلى 13%).

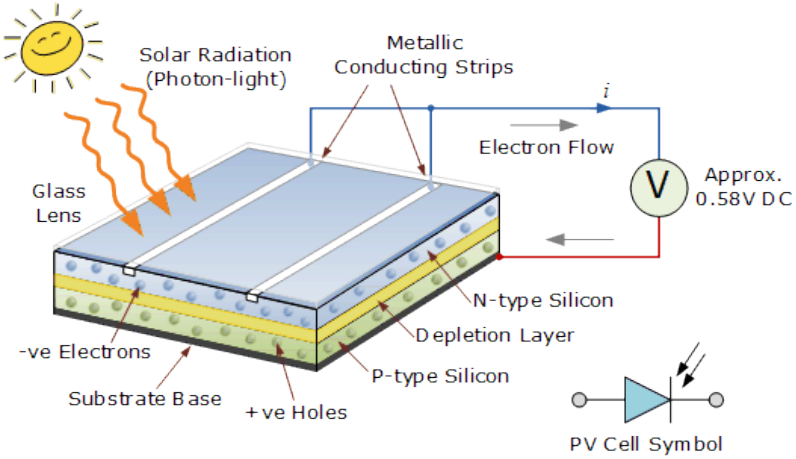
3- الخلايا الغير متبلورة Amorphous Cells: وهي تنتج من ترسيب مادة السليكون على هيئة طبقات رقيقة على اسطح من الزجاج او البلاستيك وتكون كفاءتها (3 إلى 6%) واسعارها قليلة لسهولة تصنيعها وهي مناسبة للتطبيقات التي تستهلك اقل من 40 واط .

4.2 مميزات الخلايا الشمسية

1- هادئة حيث انها لا تصدر تلوث ضوضائي .
2- لا تحتوى على أي عناصر ميكانيكية.
3- عديمة التلوث للبيئة.
4- تنتج الطاقة في اي مكان.
5- تعمل بشكل جيد حتى مع وجود الغيوم .. او برودة الطقس.

4.3 آلية عمل الخلية الشمسية

تتكون الخلية الشمسية من وصلة من طبقتين خفيفتين من مادة شبة موصلة احدهما موجبة تدعى (p) والثانية سالبة تدعى (N). يتكون الجزء P من شبه موصل نقي يتم تشويبه بذرات ثلاثية التكافؤ مثل البورون ..البروم.. الالمنيوم، لكي ترتبط كل ثلاث الكترونات من ذرة الشوائب مع اربع ذرات من السليكون فتبقى آصرة واحدة ليس لها اي الكترون وبالتالي تصبح فجوة تحتاج الكترون تكافؤي، مما يؤدي الى تكون مادة شبه موصلة غنية بالفجوات. اما الجزء N فهو بلورة سليكون يتم تشويبه بذرات خماسية التكافؤ مثل بالنسبة للشوائب الخماسية مثل الفسفور الزرنيخ والانتيمون، لكي ترتبط كل 4 الكترونات مع الكترونات السليكون فيبقى الكترون فائض لكل ذرة فتصبح غنية بالالكترونات وتكون هي حاملات الشحنة الاغلبية (السائدة).



يعتمد مبدأ عمل الخلايا الشمسيّة على امتصاص أشعة الشّمس وتحويل الطّاقة الشمسيّة إلى طاقة كهربائيّة تُمكّن الاستفادة منها عبر هذه العمليّة. عند سقوط الاشعة الشمسية على سطح الخلية تحفز الفوتونات الساقطة الالكترونات للانتقال عبر المنطقة الفاصلة بين الوصلتين التي تسمى بطبقة الاستنزاف. وهذا الانتقال يؤدي الى تكون فرق جهد وبالتالي سرريان تيار كهربائي عبر الخلية يمكن الاستفادة منه.

التأثير

ان توليد القوة الكهربائية يتطلب وجود فولتية وتيار , فلإنتاج قوة كهربائية على الخلية يتطلب توليد فولتية . بالإضافة الى التيار المجهز بواسطة حركة الالكترونات . اما الفولتية فتجهز بواسطة تأثير المجال الكهربائي الداخلي حول منطقة الاتصال (P-N) .

والخلية الشمسية الاعتيادية الواحدة تنتج (0.5 V) وتيار مقداره (2.5) امبير وهذا يعادل طاقه عظمى تصل الى (1.25) واط . ويمكن لبعض الخلايا انتاج طاقه اكبر اعتمادا على نوعية التصميم .

مثال/ احسب كمية القدرة المستحصله من موقع شمسي يحتوي على 500 لوح شمسي , كل لوح مكون من 100 خلية شمسيه واحسب كفاءة التحويل للمنتجة اذا علمت ان مقدار الطاقة الشمسية التي تسقط على اللوح الواحد تعادل 1000 واط.

القدرة المنتجة من اللوح الواحد= عدد الخلايا * فولتية الخلية الواحدة* تيار الخلية الواحدة

$= 100 \times 0.5 \times 2.5$

= 125 واط

القدرة الكلية المنتجة = عدد الالواح × الطاقة المنتجة من كل لوح

$= 500 \times 125$

= 62500 واط

= 62.5 كيلو واط

كفاءة التحويل=القدرة الخارجة / القدرة الداخلة *100%

$$= \frac{62000}{1000 * 500} \times 100\% \approx 12\%$$

مثال/ اوجد عدد الخلايا المطلوبة لتوليد طاقة مجهزة لمنتج مساوي 50 كيلو واط والمساحة المطلوبة للمحطة الشمسية اذا علمت ان اللوح الواحد يحتوي على 50 خلية شمسية ومساحته 1 متر مربع .

الحل/ القدرة الكلية = عدد الخلايا × قدرة الخلية الواحدة

$C \times 1.25 = 50000$

$$\therefore C = \frac{50000}{1.25} = 40000 \text{ خلية}$$

اما مقدار الطاقة لكل لوح فهي =عدد الخلايا الكلي/ عدد الخلايا في اللوح الواحد

$$= \frac{40000}{50} = 80 \text{ لوح}$$

وبما ان مساحة اللوح الواحد 1 متر مربع فتكون المساحة المطلوبة هي $80\ m^2$

مثال/ اذا كانت كفاءة التحويل لمحطة شمسية هي 15% والقدرة الكلية للاشعة الساقطة 1000واط\ م^2 . احسب كمية القدرة الخارجية من محطة شمسية مساحتها 120 م2 .

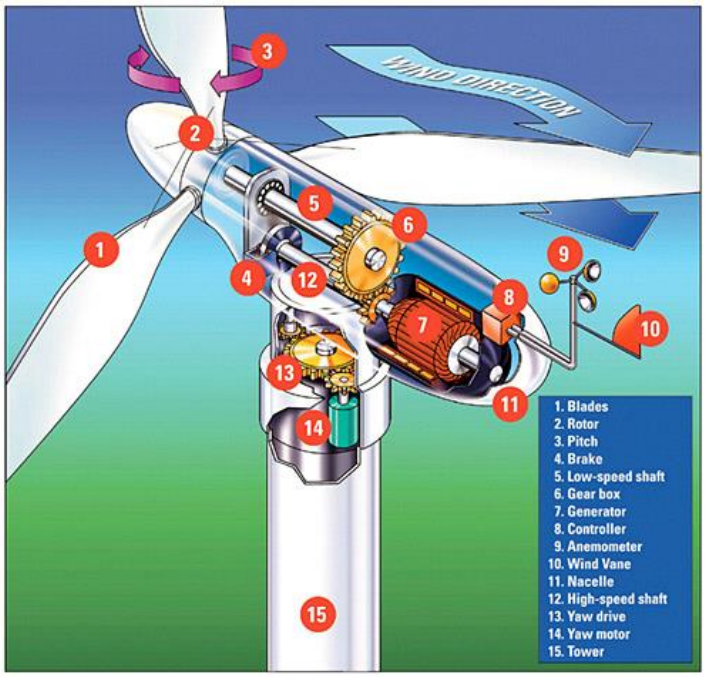
الحل/ كفاءة التحويل=القدرة الخارجة / القدرة الداخلة *100%

فتكون القدرة الخارجة اذاً= كفاءة التحويل * القدرة الداخلة

$$= 0.15 * (1000 * 120) = 18KW$$

5 طاقة الرياح

طاقه الرياح هي الطاقة المتولدة بتأثير الرياح القوية التي تؤدي الى توليد عزم مدور يقوم بتدوير شفرات المروحة مولدا حركة دورانية لأجزاءها الداخلية. وتنتقل هذه الحركة الى عفنات دوارة موصولة بمولدات الطاقة الكهربائية .



وتوفر طاقة الرياح امكانية واسعة لتوليد قدرات كبيرة من الطاقة الكهربائية من دون مشاكل التلوث التي تحدثها مصادر الوقود الاحفوري .

استخدمت طاقة الرياح منذ القدم في طحن الحبوب والري وبعض التطبيقات الاخرى. ولكن تم الاستغناء عنها بعد اكتشاف الوقود الاحفوري. وبعد المشاكل البيئية وارتفاع اسعار النفط زاد الاهتمام بطاقه الرياح وتطويرها .

تعتمد الطاقة المستخلصة من الرياح على عدة عوامل منها:-

1- سرعة الرياح وقوتها.
2- تصميم المنظومة التوربينية وشكلها.
3- مواصفات النظومة ونوع مادتها.
4- اسس توليد الطاقة الكهربائية (استخدام شخصي او على مستوى المدينة او الدولة).
5- نوع منظومات السيطرة والخزن المستخدمة.

5.1 منشأ الرياح

تتولد الرياح بسبب امتصاص اشعه الشمس من قبل عناصر الجو وسطح الارض بنسب متفاوتة , فعند سقوط الاشعاع الشمس على منطقة ما يؤدي ذلك الى تسخين الهواء وزيادة حجمة وانخفاض كثافته وكذلك وزن عموده على وحدة المساحة فتتولد مناطق ضغط واطئ وفي المناطق التي يقل فيها مقدار الاشعاع الشمسي فإن كثافة الهواء ستكون عالية بسبب البرودة وعمود الهواء سيكون اثقل لذلك تتولد اماكن ضغط عالية .

لذلك تتولد تيارات حمل هوائية لموازنة درجة الحرارة في الغلاف الجوي وكذلك الضغط. هذه التيارات تمثل الرياح. حيث تتناسب الطاقة التي يتم الحصول عليها من حركة الرياح تناسب طردي مع مكعب سرعة الرياح ويمكن حسابها من المعادلة التالية :

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A \eta v^3 \quad \ldots..(1)$$

حيث ان : P_w القدرة المستخرجة من الرياح، ρ كثافة الهواء (Kg/m^3)، A مساحة المقطع العرضي للمروحة المقابل للرياح (m^2)، η كفاءة التوربين ، و v سرعة الرياح (m/s).

ويمكن كتابة معادلة (1) اعلاه بالشكل الآتي:

$$\frac{P_w}{A} = \frac{1}{2}\rho \eta v^3 \quad \ldots..(1)$$

حيث ان المقدار $\frac{P_w}{A}$ يسمى كثافة الطاقة وتقاس بوحدات $Watt/m^2$.

مثال1/ اوجد الطاقة الكهربائية المتولدة من مروحة هوائية مساحة زعانفها $20m^2$ اذا كانت كثافة الهواء $0.1kg/m^3$ ، وسرعة الرياح $7m/s$.اذا كانت كفاءة التوربين 70%.

$$P = \frac{1}{2}\rho A \eta v^3$$

$$= \frac{1}{2} * 0.1 * 0.7 * 7^3 \approx 12\ Watt$$

مثال2/ اذا كانت كثافة الطاقة لمروحة كبيرة هو $500\ Watt/m^2$ احسب سرعة الرياح اذا كانت كثافة الهواء $0.2\ Kg/m^3$، وكفاءة التوربين 65%.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho \eta v^3$$

$$v = \sqrt[3]{2 * \frac{P}{A} * \frac{1}{\rho * \eta}} = 19.74\ m/s$$

5.2 مصادر الرياح

يتم استغلال الرياح ومناطق حركتها على الكرة الارضية واتجاهاتها في عملية نصب مراوح توليد الطاقة الكهربائية , حيث يتم الاعتماد على خرائط الرياح العالمية وتحديد اماكنها ومن اهم مصادر الرياح حسب المواقع والظواهر الجغرافية الطبيعية:-

1- نسيم البر والبحر : بسبب اختلاف درجات الحرارة بين اليابسة والمسطحات المائية مثل البحار والمحيطات والتي تولد اختلاف في الضغط الجوي والذي يولد رياح تنتقل من البحر الى اليابسة نهارا تسمى نسيم البحر وبالعكس ليلا وتسمى نسيم البر ويتم الاستفادة منها بنصب مراوح التوليد على شواطئ البحار والمحيطات للاستفادة من هذه الرياح .

2- نسيم الجبل والوادي : يتم نصب مراوح توليد كبيرة على اطراف الجبال والحدود الداخلة مع الواديان الكبيرة للاستفادة من هذه الرياح المتولدة من اختلاف الضغط بين الجبال والوديان .

3- الرياح المحلية : لكل مناطق الارض هنالك رياح مختلفة ثابتة تقريبا على طوال السنة تتولد بسبب حركه الكرة الارضية واختلاف التضاريس وتواجد المسطحات المائية وتغير الفصول فمثلا في العراق تكون الرياح هي شمالية غربية.
4- الرياح الموسمية والتجارية وغيرها.
5- المناطق الصحراوية المفتوحة.

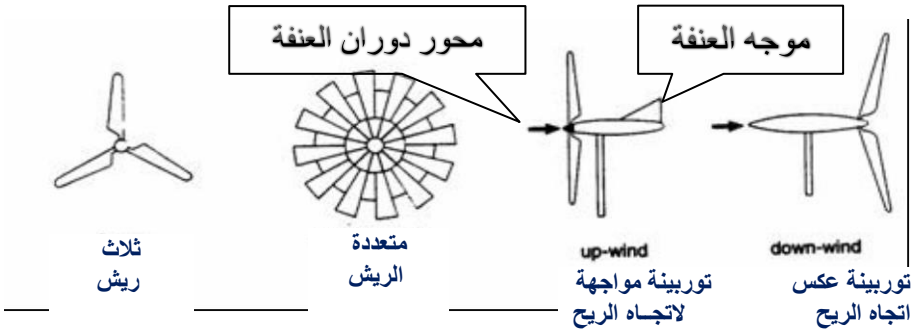
ولتحديد اماكن ومواقع مراوح التوليد يعتمد العلماء على عدة نقاط في ذلك ومنها

1- استخدام قياسات سرع الرياح.
2- استخدام الاطلس وخرائط سرعة الرياح.
3- استخدام القياسات الفيزيائية لحساب خصائص الرياح.

6 انواع العنفات (التوربينات) الهوائية وعوامل زيادة كفاءتها

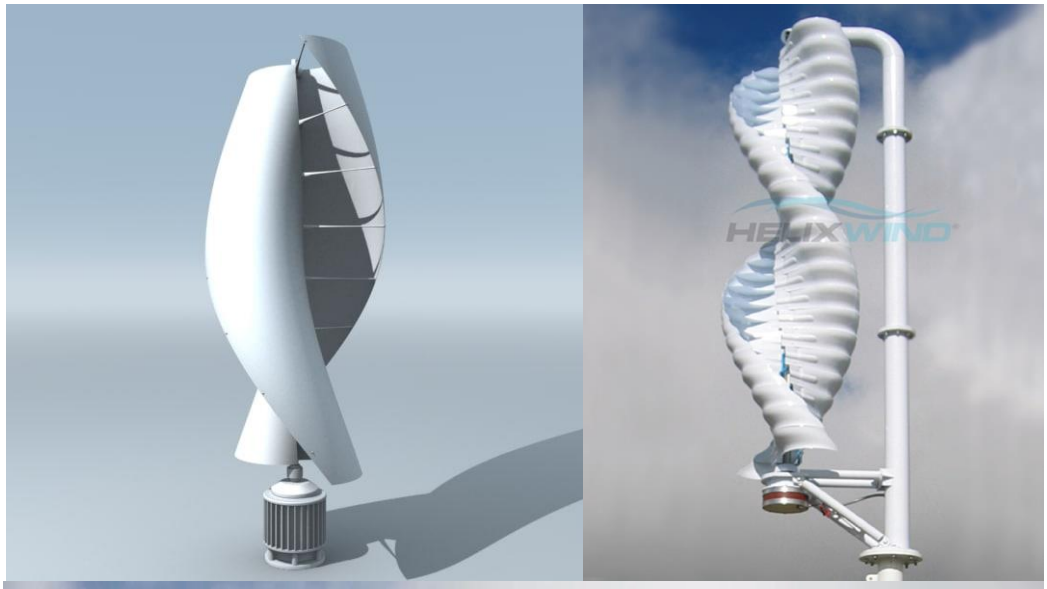
هناك اشكال عديدة للتوربينات الهوائية ظهرت منذ بداية استخدام الرياح كمصدر طاقة كهربائية. وفي الوقت الحاضر ظهرت العديد من التصاميم المبتكرة لتوربينات الرياح للحصول على اكبر طاقة ممكنة واستغلال اقل سرعات الرياح في توليد الكهرباء. وعلى الرغم من اختلاف تلك التصاميم والاشكال الا ان التوربينات الهوائية يمكن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

1. التوربينات افقية المحور Horizontal Axis Wind Turbine HAWT : وهي التي يكون اتجاه العنفة فيها موازٍ لاتجاه الرياح مع انحراف بسيط لشفرات التوربين بزاوية معينة (مامقدار تلك الزاوية؟). ويكون محور دورانها موازي للارض ولاتجاه الرياح. تتكون هذه العنفات عادة من شفرتين او ثلاث او اكثر . حيث تسمى العنفات ذات الشفرات الكثيرة بالتوربينات الصلبة لأنها تشبه القرص الصلب , اما العنفات التي لها عدد قليل من الشفرات تسمى التوربينات المرنة. حيث يكون تصميمها الحديث انسيابي اعتمادا على قوانين حركة الموائع حيث تم اقتباسها من تصميم اجنحة الطائرات والاجهزة الدوارة الاخرى ويحتوي على توربين على شفرتين او ثلاث مشابهه للأجنحة. وتحتاج تلك التوربينات الى موجه وهو لوح صلب ذو شكل يشبه ذيل الطائرة تقريباً يوضع عادة في الجهة الخلفية من المنظومة لتغيير اتجاه العنفة باتجاه الرياح. الاشكال ادناه توضح التوربينات الافقية.



التوربينات الأفقية المحور

2. التوربينات عمودية المحور Vertical Axis Wind Turbine VAWT : وفيها تعلق منظومة التوربين على عمود بحيث يكون محور دورانها عمودي على اتجاه الارض وكذلك اتجاه الرياح. وهذا التصميم يجعل العنفة لاتحتاج الى موجه فأي اتجاه للرياح سوف يقوم بتدوير شفرات العنفة وبالتالي توليد الطاقة. ابتكرت هذه التوربينات من قبل مخترع يسمى جورج داروين وقد حملت اسمه. هذه التوربينات لها شفرات منحنية متصلة من احد جوانبها في عمود الدوران من الاعلى والطرف الاخر في نفس العمود من الاسفل . ان توربينات داروين هي الاكثر تقنية بين كل انواع العنفات العمودية حيث تكون شفراتها بشكل منحني يشبه حبل القفز لذلك تكون لها كفاءة في تحمل القوة الطاردة المركزية عليها. الاشكال ادناه توضح تصاميم مختلفة للمراوح العمودية.



6.1.1 مقارنة بين التوربينات الافقية المحور والعمودية المحور

التوربينات افقية المحور	التوربينات عمودية المحور
اتجاه محور الدوران موازٍ لاتجاه الرياح والارض	اتجاه محور الدوران عمودي على اتجاه الرياح والارض
جميع الشفرات تعمل بنفس الوقت بسبب مواجهتها جميعها للرياح بنفس الوقت	شفرة واحد يمكن ان تتأثر بالرياح في اللحظة التي تتعرض فيها لمواجهتها لأن كل شفرة تكون باتجاه مختلف
يعمل في اتجاه واحد فقط. لذا يحتاج الى موجه يغير اتجاهه باستمرارباتجاه الرياح عند تغير اتجاهها	يعمل في جميع اتجاهات الرياح
اعلى كفاءة بسبب دوران جميع المراوح بنفس الوقت	اقل كفاءة
تتطلب مساحة وارتفاع اكثر	تتطلب مساحة وارتفاع اقل
بسبب كبر المساحة المطلوبة لايمكن تنصيب توربينات عملاقة من هذا النوع في المدن والتجمعات السكانية	بسبب قلة المساحة المطلوبة وسهولة التثبيت يمكن نصبها في المدن والتجمعات السكانية وكذلك في الطرق المرورية
عزم التدوير ينتج عن قوة رفع	عزم التدوير ينتج عن قوة دفع

6.2 مبدأ عمل التوربينات الهوائية

تقوم التوربينات الريحية الافقية والعمودية باستغلال قوى حركة الهواء المتولدة بواسطة الصفائح الهوائية لاستخلاص الطاقة من الرياح. وكل منها يستخلص بطريقة مختلفة.

في التوربينات الافقية الثابتة ومع اعتبار محور الدوران ثابت في اتجاه واحد وسرعة الرياح ثابتة وسرعة دورانه ثابتة تبقى زاوية الاجتياح لأي موضع على الشفرات ثابتة خلال فترة الدوران ان زاوية الاجتياح هي الزاوية التي يصنعها الجسم مع اتجاه سريان الهواء مقاسة ضمن خط ثابت في الجسم وخلال التشغيل الاعتيادي للمحور الافقي. اما في التوربينات العمودية ولنفس الظروف فإن زاوية الاجتياح تتغير بشكل ثابت عند الدوران من قيمة موجبة الى سالبة ثم موجبة خلال الدورة الكاملة.

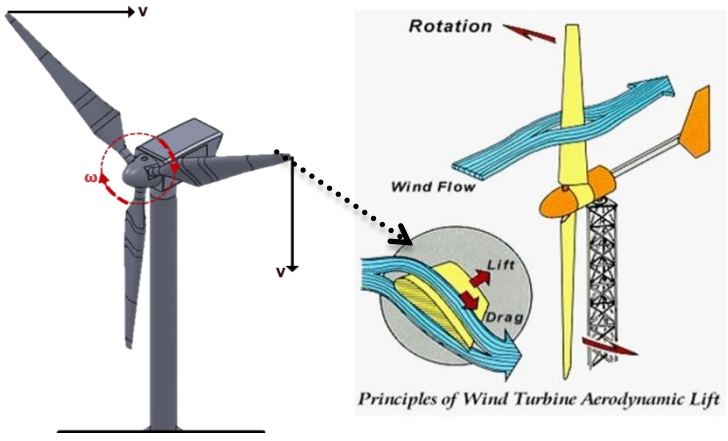
6.2.1 علاقة سرعة دوران الشفرات مع سرعة الرياح

يمكن حساب سرعة دوران العنفة الهوائية اما بقياس عدد الدورات في الدقيقة RPM او بواسطة الزاوية النصف قطرية في الثانية rad\s . ويرمز لهذه السرعة بالرمز ω.

$$1\ RPM = \frac{2\pi}{60} Rad/s = 0.10472\ Rad/s$$

اما السرعة المماسية للجزء الدوار V، والتي تمثل سرعة تماس الجزء الدوار على حافة الشفرات فهي سرعة خطية وتقاس بالمتر على ثانية. وتمثل حاصل ضرب السرعة الزاوية ω مع نصف قطر الشفرة R. اي ان

$$V = \omega R = \frac{2\pi}{60} R \quad m/s$$



وعند تقسيم سرعة التماس V على سرعة الرياح في المسار العلوي للجزء الدوار نحصل على نسبة مهمة بدون وحدات تسمى نسبة سرعة الحافة Tip speed ratio ويرمز لها ν , وهذه النسبة تعتبر مقياس لاداء عنفات الرياح ذات الخصائص المختلفة , حيث يمكن لعنفة ذات تصميم معين ان تعمل على مديات واسعة من نسبة سرعة التماس ولكنها تعمل بأعلى كفاءة عند نسبة سرعة تماس معينة.

6.2.2 تأثير عدد الشفرات وتصميمها على كفاءة التوربين

ونسبة سرعة التماس القصوى للتوربين تعتمد على عرض الشفرات وعددها فالعنفات الريحية ذات العدد الكبير من الشفرات لها مساحة جزء صلب كبيرة حيث تسمى العنفات ذات الصلابة العالية . اما عنفات الرياح ذات الشفرات الضيقة فإنها تسمى العنفات ذات الصلابة القليلة , ولاستخلاص اكبر ما يمكن من الطاقة بأكبر كفاءة ممكنة فان الشفرات يجب ان تكون على تماس مع اكبر كمية من الرياح المارة خلال الجزء الدوار. فالعنفة ذات الشفرات العريضة والعديدة تتماس مع الرياح تحت نسبة سرعة تماس قليلة جدا. ولكن العنفة ذات الشفرات الرفيعة والقليلة يجب ان تدور بسرعة كبيرة لتستطيع التماس مع الهواء المار . فاذا كانت نسبة سرعة التماس قليلة فانه سيمر جزء من الهواء دون تماس مع الشفرة. واما اذا كانت نسبة سرعة التماس عالية جدا فان العنفة ستظهر مقارمة كبيرة للرياح وبذلك تذهب الرياح حول الجزء الدوار. فالعنفة ذات الشفرتين والتي لها نفس عرض شفرات عنفة ذات ثلاث شفرات تكون لها نسبة تماس قصوى اكبر بنسبة الثلث من العنفة ذات الثلاث شفرات. والعنفة ذات الشفرة الواحدة والتي لها عرض شفرات مساوي لعنفة ذات شفرتين لها ضعف نسبة سرعة التماس مما للعفنة ذات الشفرتين . ان نسبة سرعة التماس القصوى للعنفات الحديثة تتراوح بين 6 الى 20 .

ونظريا فانه عندما يكون عدد الشفرات كبير فانه يجب ان تكون الكفاءة اعلى، ولكن وجود شفرات اكثر يمكن ان يؤدي الى التداخل بينها. وبذلك تكون العنفة ذات الشفرات الكثيرة اقل كفاءة. لهذا فإن العنفات ذات الصلابة العالية تكون اقل كفاءة بصورة عامة من العنفات ذات الصلابة القليلة. وفي العنفات ذات الصلابة القليلة وجد ان العنفات ذات الثلاث شفرات اعلى كفاءة من العنفات ذات الشفرتين وان الاخيرة اعلى كفاءة من العنفات ذات الشفرة الواحدة .

ان القوه الميكانيكية المستخلصة من عنفات الرياح تعادل حاصل ضرب السرعة الزاوية والعزم المسلط من قبل الرياح، والعزم هو القوة المسلطة حول مركز الدوران الناتجة من قوة ضاربة للرياح على شفرات الجزء الدوار ويقاس بـ N.m . لقوة معينه ثانية فانه لأقل سرعة زاوية عزما اعلى ولأعلى سرعة زاوية عزم اقل .

6.3 التأثيرات البيئية لاستخدام طاقة الرياح

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

6.3.1 الفوائد البيئية

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

6.3.2 المساوئ البيئية

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

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

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

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

7 الطاقة المائية

تعتبر الطاقة المائية من اهم مصادر الطاقة المتجددة حيث تستخدم في معظم البلدان (بما فيها العراق). وتشكل حوالي 20% من الانتاج العالمي الكلي للطاقة الكهربائية، عن طريق تحويل الطاقة الحركية للمياه الجارية او الساقطة الى طاقة ميكانيكية كبيرة قادرة على تدوير توربينات ومولدات تدور بمعدل 1500 دورة بالدقيقة. وينتج ذلك طاقة كهربائية تصل كفاءتها بحدود 90%.

7.1 مصادر الطاقة المائية

1. الشلالات 2. الانهار 3. الجداول المتحركة.

7.1.1 حساب القدرة المتوفرة من مصادر الطاقة المائية

يمكن حساب القدرة المكافئة الماء الساقط من ارتفاع معين بواسطة المعادلة التالية:

$$P = \eta \rho Q g h$$

حيث P القدرة بالـ Watt، η تمثل كفاءة التوربين (بدون وحدات)، ρ (تقرأ رو وتختلف عن حرف P) تمثل كثافة الماء بالـ Kg/m^3، Q تمثل معدل الجريان (التدفق) بـ m^3/Sec ، g يمثل التعجيل الارضي m/sec^2 ، واخيراً h ويمثل الارتفاع من المصب الى القاع ويقاس بـ m.

وقد يسبب الاحتكاك مع الصخور او الاجسام المستقرة وكذلك بين طبقات المياه والاضطراب في الجريان خسائر في الطاقة المتولدة لذلك يجب حساب كفاءة التوربين بدقة بحيث تشمل الحسابات هذه الخسائر.