جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

طاقة الرياح وتطبيقاتها

بحث مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة - جامعة بابل
كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في قسم الفيزياء

الطالبة:
زينب أيثم مكي

بأشراف:
أ.م.د نجلاء محمد هادي

1446-1447هـ 2025-2026م

﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾

صدق الله العلي العظيم

سورة المجادلة: الآية (١١)

((إقرار المشرف))

اشهد بأن أعداد هذا المشروع الموسوم:

"طاقة الرياح وتطبيقاتها"

والمعد من قبل الطالبة:

زينب أيثم مكي

قد تم تحت أشرافي في قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة بابل كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في قسم الفيزياء.

التوقيع:

اسم المشرف:

المرتبة العلمية :

التاريخ : / /2026

الإهداء

بكل فخرٍ واعتزاز، أهدي هذا النجاح إلى نفسي أولًا؛ تلك التي صبرت حين كان الصبر مُرهقًا، وثبتت حين اشتدّ التعب، وقاومت رغم ثقل الطريق.

إلى نفسي التي آمنت بي في أحلك لحظات الشك، وأكملت المسير رغم تراكم الصعوبات وتعاقب العثرات.

وهو إقرارٌ صريح بأن ما تحقق لم يكن وليد الصدفة، بل ثمرة التزامٍ حقيقي، وجهدٍ متواصل، وسعيٍ دؤوب لم يعرف التراجع أو الاستسلام.

أهدي تخرّجي إلى من أحمل اسمه بكل فخر، والدي العزيز، كان له دورٌ أساسي بعد الله في تهيئة الطريق لي.

وإلى والدتي الحبيبة، التي كانت دعواتها رفيقة دربي في كل مرحلة، جزاها الله عني خير الجزاء.

إلى من أخرجت أجمل ما في داخلي، وشجّعتني على المضيّ والوصول، إلى النجمة التي أضاءت لي الطريق حين أظلمت، وإلى الصدفة الجميلة التي جاءت كبلسمٍ يُداوي روحي... (زمن).

ثم لكل من كان له أثرٌ طيّب في هذه المسيرة، ورافقني بكلمةٍ أو دعاءٍ صادق، فلكم مني امتنانٌ يليق بمقامكم.

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين وعلى اله وصحبه اجمعين قال تعالى:

اعترافنا بالجميل...

لا يسعنا بعد الانتهاء من اعداد هذا البحث ألا نتقدم بجزيل الشكر وعطية الامتنان الى الدكتور (ا.م.د نجلاء محمد هادي)

التي تفضلت بالإشراف على هذا البحث حيث قدمت لي كل النصح والإرشاد طيلة فترة الاعداد لها مني كل الشكر والتقدير.

.....

كما لا يفوتنا ان نتقدم بجزيل الشكر والعرفان الى كل من اساتذتنا في قسم الفيزياء في كلية التربية للعلوم الصرفة في جامعة بابل لهم منا كل الشكر والتقدير.

قائمة المحتويات

تسلسل	العنوان	الصفحة
	الآية	أ
	إقرار المشرف	ب
	الإهداء	ت
	الشكر والتقدير	ث
	قائمة المحتويات	ج
	قائمة الاشكال	ح
	الخلاصة	خ
	الفصل الاول **مقدمة عامة**	
[1-1]	مقدمة عامة	1
[2-1]	الطاقة البديلة	1
[3-1]	انواع الطاقة البديلة	3
[1-3-1]	الطاقة الشمسية	3
[2-3-1]	طاقة الكتلة الحيوية	4
[3-3-1]	طاقة الرياح	5
[4-1]	التوربينات	6
[1-4-1]	تركيب التوربينات	7
[2-4-1]	آليه عمل التوربينات	10
	الفصل الثاني **توربينات طاقة الرياح**	
[1-2]	أنواع توربينات الرياح	12
[2-2]	انظمة توجيه توربينات الرياح	15
[3-2]	تأثير عدد الشفرات وتصميمها على كفاءة التوربين	18
[4-2]	العوامل التي يتوقف عليها معامل الكفاءة	19
	الفصل الثالث **تطبيقات طاقة الرياح**	
[1-3]	العوامل التي تعتمد عليها طاقة الرياح	22
[2-3]	تطبيقات طاقة الرياح	25
[3-3]	توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح	26
[4-3]	المساوئ والتأثيرات البيئية لاستخدام طاقة الرياح	27
[5-3]	التوصيات	30
	المصادر والمراجع	32

قائمة الأشكال

التسلسل	الاشكال	الصفحة
اشكال الفصل الاول		
الشكل (1-1)	كيفية توليد الطاقة الشمسية	3
الشكل (1-2)	اللوحات الالواح الشمسية	4
الشكل (1-3)	أعمدة تحمل توربينات الهوائية لتوليد الكهرباء في مقاطعة يوتلاند الدانماركية	5
الشكل (1-4)	مكونات التوربينة الرئيسية	7
الشكل (1-5)	مكونات العضو الدوار	8
الشكل (1-6)	مكونات حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل)	9
اشكال الفصل الثاني		
الشكل (2-1)	مقطع يوضح تدفق الرياح على التوربين واختلاف الضغط على جانبيها واتجاه القوى	12
الشكل (2-2)	نموذج التوربين ريحية بدون شفرات	14
الشكل (2-3)	أنواع أنظمة توربينات الرياح الأربعة لتوليد الكهرباء	15
الشكل (2-4)	الرسم التخطيطي للنوع A	16
الشكل (2-5)	الرسم التخطيطي للنوع Bمن أنواع أنظمة توليد الكهرباء بتوربينات الرياح	17
الشكل (2-6)	الرسم التخطيطي للنوع Cمن أنواع أنظمة توليد الكهرباء بتوربينات الرياح	17
الشكل (2-7)	الرسم التخطيطي للنوع D من أنواع أنظمة توليد الكهرباء بتوربينات الرياح	18
الشكل (2-8)	تمثيل سرعة دورات الشفرات مع سرعة الرياح	20
اشكال الفصل الثالث		
الشكل (3-1)	تدفق الهواء عبر العنفة بحسب نظرية (Betz)	23
الشكل (3-2)	طريقة عمل توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح	27
الشكل (3-3)	مسار الضجيج الصادر من أحد توربينات الرياح	29

الخلاصة

يهدف البحث إلى دراسة طاقة الرياح بوصفها أحد أهم مصادر الطاقة المتجددة، من خلال تسليط الضوء على مفهومها وآلية توليدها، والعوامل المؤثرة في كفاءتها، فضلًا عن بيان أنواع التوربينات المستخدمة في تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائية. كما تناول البحث مفهوم الطاقة البديلة بشكل عام، وأهم أنواعها مثل الطاقة الشمسية وطاقة الكتلة الحيوية، مع توضيح مزاياها وعيوبها مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية.

ركز البحث على تركيب توربينات الرياح ومكوناتها الأساسية، وآلية عملها، وأنظمة توليد الكهرباء المرتبطة بها، بالإضافة إلى تحليل تأثير عدد الشفرات وتصميمها على كفاءة الأداء. كما تطرق إلى العوامل الأساسية التي تعتمد عليها طاقة الرياح، مثل سرعة الرياح وكثافة الهواء وحجم الشفرات، وبيّن دور هذه العوامل في تحديد كمية الطاقة المنتجة.

وتناول البحث أيضًا التطبيقات العملية لطاقة الرياح في توليد الكهرباء واستخداماتها عبر التاريخ وحتى الوقت الحاضر، مع الإشارة إلى التطور التكنولوجي الذي أسهم في زيادة كفاءتها وانتشارها عالميًا. ولم يغفل البحث عرض أبرز التحديات والمشكلات البيئية المرتبطة بها، مثل الضجيج والتداخل الكهرومغناطيسي والتأثيرات البصرية، مع تقديم عدد من التوصيات التي تدعو إلى دعم البحث العلمي، وتشجيع الاستثمار، وتطوير البنية التحتية والتشريعات اللازمة لتعزيز الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة.

الفصل الاول

مقدمة عامة

[1-1] مقدمة عامة

تُعد طاقة الرياح من أقدم مصادر الطاقة التي استخدمها الإنسان، حيث استُعملت منذ آلاف السنين في تشغيل طواحين الهواء لطحن الحبوب وضخ المياه. وفي العصر الحديث تطورت هذه التقنية إلى توربينات الرياح التي تحوّل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائية عبر تشغيل مولد كهربائي بواسطة الحركة الدورانية للشفرات. تتكون توربينات الرياح الحديثة من برج مرتفع، وشفرات كبيرة، ووحدة تحتوي على المولد وأنظمة التحكم، وتصل قدرة التوربينات التجارية إلى أكثر من 1 ميغاواط، مع أطوال شفرات قد تتجاوز 40 مترًا[1].

تعتمد آلية توليد الرياح على اختلاف التسخين الشمسي لسطح الأرض والغلاف الجوي، إذ يؤدي تسخين الهواء إلى انخفاض كثافته وضغطه، فتتحرك كتل الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض، مولِّدة الرياح. ويتطلب استغلال طاقة الرياح فهم مجالات علمية متعددة، أبرزها الأنواء الجوية، وديناميكية الموائع، ومبادئ توليد الطاقة الكهربائية، وأنظمة السيطرة[2].

شهدت طاقة الرياح نموًا ملحوظًا في أواخر القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين نتيجة ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري والمخاوف البيئية، إذ ارتفعت القدرة العالمية المركبة بشكل كبير، وأسهمت بعض الدول، مثل الدنمارك، بنسبة عالية من كهربائها من الرياح. وتمتاز طاقة الرياح بأنها مصدر متجدد ونظيف لا يسبب انبعاثات ملوثة مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية.

مع ذلك، يواجه التوسع في استخدام طاقة الرياح تحديات علمية وتقنية، من أهمها اختيار المواقع المناسبة ذات الرياح المنتظمة، وطبيعتها المتقطعة، والحاجة إلى تطوير أنظمة نقل وتخزين الطاقة لضمان استقرار الإمداد الكهربائي[3].

[2-1] الطاقة البديلة

هو مُصطلحٌ يُطلق على الطاقة المتجددة التي ستحل محل الوقود الأحفوري مثل البترول، والصخر الزيتي، والغاز الطبيعي، وهي طاقة أقل ضرراً على البيئة، وأكثر ديمومةً، لاعتمادها بشكلٍ أساسي على الموارد الطبيعية المتجددة[2].

تتميّز بعدة مزايا تجعل منها أملاً للمستقبل القريب، إذ إنّها أيضاً أقل تكلفةً من طاقة الوقود الأحفوري، حيث تقتصر التكلفة التي يتم إنفاقها على الطاقة البديلة على الأدوات والمعدات المستخدمة، بالإضافة لتكاليف الصيانة كلما تقدم الزمن، أصبحت الاستفادة من ميّزات الطاقة البديلة أكثر انتشاراً، وقد تم إنتاج أجيال عدة من السيارات الهجينة، التي تعتمد على

الطاقة الشمسيّة بالإضافة للوقود الأحفوري، كما بدأت الحكومات تُشجع مواطنيها على إقامة المشاريع التي تعتمد كليّاً على الطاقة البديلة، لأنّها أقل كلفةً، ولا تسبب أيّة أضرار للبيئة في ما يلي باقة تحوي العديد من المزايا المتعلقة باستخدام الطاقة الطبيعية والمتجددة[3]:

- الشمس والرياح والمد والجزر ونشاطات الطاقة الجوفية كلها مصادر طاقة متجددة ومجانية أيضاً.
- سوف تدفع مرة واحدة فقط ثمن تركيب الأدوات الخاصة بكل من الطاقة الشمسية أو توربينات الهواء أو أي طاقة أخرى، ولن تدفع مجدداً وبشكل دوري فاتورة استخدامك لتلك الطاقة (إلا في حالات الصيانة
- لن تهتم بعد الآن بارتفاع أسعار المحروقات العالمية التي تزيد من ثمن الفاتورة الشهرية، كما أنك سوف تستقل تماماً عن جلب الطاقة عبر الوسائل التقليدية مثل الوقود الأحفوري وبكفاءة عالية.
- لن تشعر بالهدر حيال استخدامك للطاقة المتجددة، فبالقدر الذي تحتاج من الطاقة سوف تولدها أنت.
- إن إمدادات النفط والغاز والفحم وكل المصادر التي نستخرجها من المرجح أنها ستزول يوماً ما، لكن إذا قمنا بإنشاء بنية تحتية لتوليد الطاقة من المصادر المتجددة قبل ذاك الوقت فباستطاعتنا الاعتماد على طاقة جديدة لا نهاية لها.
- التراخيص الحكومية مؤمنة في الغالب لبناء مشاريع الطاقة الطبيعية المنزلية ولكن هذا بحسب مكان الإقامة.

وفي ما يلي بعض عيوب الطاقة الطبيعية والمتجددة:

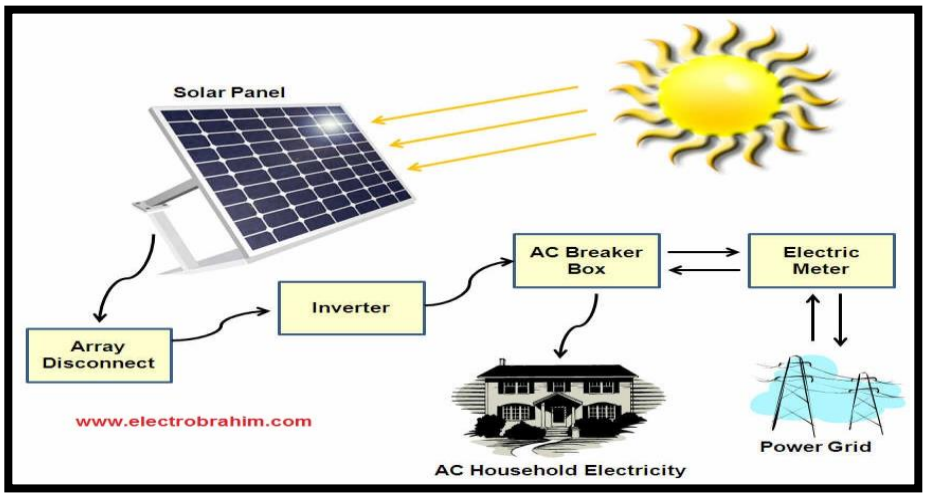
- كلفة إنشاء الطاقة المتجددة على المستوى الشخصي قد تكون أمراً مكلفاً بالنسبة لكثير من الأشخاص.
- من غير المحتمل الاعتماد كلياً على الطاقة المتجددة، لكن من الممكن أن تقترب من ميزانية واقعية للتزود من مختلف تقنيات الطاقة البديلة، لا شك مثل توربينات الرياح والألواح الشمسية بوقت واحد.

[3-1] انواع الطاقة البديلة

تشير الطاقة البديلة إلى مصادر الطاقة بخلاف الوقود الأحفوري (مثل الفحم والبترول والديزل) وتشمل جميع مصادر الطاقة المتجددة والنووية ومن انواع الطاقة البديلة هي:

[1-3-1] الطاقة الشمسية

هي الضوء والحرارة المنبعثان من الشمس اللذان قام الإنسان بتسخيرهما لمصلحته منذ العصور القديمة باستخدام مجموعة من وسائل التكنولوجيا التي تتطور باستمرار وتضم تقنيات تسخير الطاقة الشمسية استخدام الطاقة الحرارية للشمس سواء للتسخين المباشر أو ضمن عملية تحويل ميكانيكي لحركة أو لطاقة كهربائية أو لتوليد الكهرباء عبر الظواهر الكهروضوئية باستخدام ألواح الخلايا الضوئية الجهدية بالإضافة إلى التصميمات المعمارية التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية وهي تقنيات تستطيع المساهمة بشكل بارز في حل بعض من أكثر مشاكل العالم إلحاحا اليوم[4].



الشكل (1-1) كيفية توليد الطاقة الشمسية[2]

تُعزى معظم مصادر الطاقة المتجددة المتوافرة على سطح الأرض إلى الإشعاعات الشمسية بالإضافة إلى مصادر الطاقة الثانوية، مثل طاقة الرياح وطاقة الأمواج والطاقة الكهرومائية والكتلة الحيوية من الأهمية هنا أن نذكر أنه لم يتم استخدام سوى جزء صغير من الطاقة الشمسية المتوافرة في حياتنا يتم توليد طاقة كهربية من الطاقة الشمسية بواسطة محركات حرارية أو محولات الالواح الشمسية[5].

وبمجرد أن يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربية، فإن براعة الإنسان هي فقط التي تقوم بالتحكم في استخداماتها، ومن التطبيقات التي تتم باستخدام الطاقة الشمسية نظم التسخين والتبريد خلال التصميمات المعمارية التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية والماء الصالح للشرب خلال التقطير والتطهير واستغلال ضوء النهار الماء الساخن الطهو بالطاقة

الشمسية ودرجات الحرارة المرتفعة في أغراض صناعية تتسم وسائل التكنولوجيا التي تعتمد الطاقة الشمسية بشكل عام بأنها إما أن تكون نظم طاقة شمسية سلبية أو نظم طاقة شمسية إيجابية وفقًا للطريقة التي يتم استغلال وتحويل وتوزيع ضوء الشمس من خلالها[6].

وتشمل التقنيات التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية الإيجابية استخدام اللوحات الالواح الشمسية والمجمع الحراري الشمسي، مع المعدات الميكانيكية والكهربية، لتحويل ضوء الشمس إلى مصادر أخرى مفيدة للطاقة هذا، في حين تتضمن التقنيات التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية السلبية توجيه أحد المباني ناحية الشمس واختيار المواد ذات الكتلة الحرارية المناسبة أو خصائص تشتيت الأشعة الضوئية، وتصميم المساحات التي تعمل على تدوير الهواء بصورة طبيعية.

الشكل (1-2) اللوحات الالواح الشمسية[3]

[1-3-2] طاقة الكتلة الحيوية

تنتج هذه الطاقة من تحويل الوقود الصلب المصنوع من المواد النباتية إلى كهرباء وتتضمن الكتلة الحيوية حرق المواد العضوية لإنتاج الكهرباء هذه العملية في الوقت الحاضر هي عملية أكثر نظافة وكفاءة في استخدام الطاقة إذ تولد الكتلة الحيوية الطاقة بتكلفة اقتصادية وبيئية أقل بكثير من خلال تحويل النفايات الزراعية والصناعية، والمنزلية إلى وقود صلب، أو سائل، أو غاز يتم فيها إنتاج الطاقة من النباتات ويستخدم هذا النوع في جميع أنحاء العالم والأكثر شيوعاً هو حرق الأشجار للدفء والطبخ كما أنّ هذه العملية تعمل على إطلاق كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون الملوّث للجو ولكن في المقابل النباتات الأخرى البديلة تعمل على إزالة تأثيره من الجو ولكن هناك طرق أكثر حداثة من الطاقة الناتجة من الكتلة الحيوية مثل؛ إنتاج الميثان، أو إنتاج الكحول لوقود السيارات يتم جمع هذه الطاقة وتحويلها باستخدام عدة طرق، مثل الحمام الشمسي المستخدم في المنازل[9].

[3-3-1] طاقة الرياح

هي طاقة مستخرجة من الطاقة الحركية للرياح بواسطة استخدام توربينات الرياح لإنتاج الطاقة الكهربائية، وهي تعتبر من أنواع الطاقة الكهروميكانيكية تعد طاقة الرياح أحد أنواع الطاقة المتجددة التي انتشر استخدامها كبديل للوقود الأحفوري، وهي طاقة وفيرة وقابلة للتجدد، إلا أن وفرتها تختلف من موقع إلى آخر.

وهي طاقة نظيفة متجددة لا ينتج عنها انبعاثات كمثل الغازات الدفيئة (غازات الاحتباس الحراري) أثناء التشغيل، وهي تحتاج إلى مساحات متفاوتة على حسب حجم المحطة ونوع الأبراج المستخدمة لا ينصح بوضع توربينات الهواء في المناطق الحضرية بسبب وجود عوائق تمنع الاستفادة من سرعات الرياح الجيدة، إلا أنها مجدية في المناطق الريفية نظرا لاتساع المساحات وقلى المباني[4].

وأثرها على البيئة عادة ما يكون أقل إشكالية من مصادر الطاقة الأخرى ورغم إنتاجها الوافر بالمناطق ذات سرعات الرياح العالية إلا أن أحد عيوبها على نطاق المرافق هو أن ذروة إنتاجها لا يتوافق بالعادة مع ذروة الاستهلاك مما لا يسهم في تقليل العِبْء على محطات إنتاج الكهرباء التقليدية أثناء ذروة الاستهلاك أما على نطاق المنازل، فإن أكبر عيوبها أن الإنتاج من توربينات الرياح لا يحمل صفة الديمومة، ولتفادي ذلك يمكن الاستفادة من الإنتاج عن طريق ربطها بشكل مباشر بالشبكة العمومية للكهرباء أو تركيب بطاريات لتخزين تلك الطاقة والاستفادة منها طوال اليوم وبالعادة في الأنظمة الكهربائية خارج الشبكة (off-grid) على نطاق المنازل لا يتم استخدام طاقة الرياح منفردة دون وجود مصادر أخرى من أنواع الطاقة المتجددة كالطاقة الضوئية مثلا، حتى يدعم كلاهما الآخر ويزيد من موثوقية إنتاج الكهرباء[5].

الشكل (1-3) أعمدة تحمل توربينات الهوائية لتوليد الكهرباء في مقاطعة يوتلاند الدانماركية[5]

تتألف مزارع الرياح الكبيرة من المئات من توربينات الرياح الفردية التي ترتبط بشبكة لنقل الطاقة الكهربائية طاقة الرياح البرية مصدر غير مكلف وتنافسي؛ فهو أرخص من محطات الفحم أو الغاز أو الوقود الأحفوري.

أما الرياح البحرية فهي الأكثر ثباتاً وأشد من الرياح البرية، ولكن مزارع الرياح البحرية لها تكاليف بناء وصيانة مرتفعة عن المزارع العادية ويمكن لمزارع الرياح البرية صغيرة أن توفر الكهرباء لمواقع معزولة خارج نطاق الشبكة الكهربائية وبحسب إحصاءات عام 2013، فإن الدنمارك هي أكثر دول العالم استخداماً لطاقة الرياح، فهي تولد أكثر من ثلث احتياجاتها من الكهرباء من الرياح كذلك 83 بلداً في جميع أنحاء العالم تستخدم طاقة الرياح لتعزيز شبكات الكهرباء لديها قدرة طاقة الرياح توسعت بسرعة إلى 336 غيغاوات في يونيو 2014 لذلك إنتاج طاقة الرياح سجل حوالي 4% من إجمالي استهلاك الكهرباء في جميع أنحاء العالم، وهذه النسبة في زيادة مستمرة[6].

التوربينات الريحية هو جهاز دوارة يستخرج الطاقة من الرياح إذ تم استخدام الطاقة الميكانيكية مباشرة عن طريق الآلات لإعادة ضخ المياه مثلا، وقطع الخشب أو طحن الحجارة، والآلة تسمى طاحونة هواء إذا كان يتم تحويل الطاقة الميكانيكية بدلا من الكهرباء ويسمى الجهاز مولد الرياح وتوربينات الرياح ومولد التوربينات طاقة الرياح (WTG) وحدة طاقة الرياح (WPU) ومحول طاقة الرياح (مجلس الطاقة العالمي).

[4-1] التوربينات

التوربين (Turbine) جهاز يَستخدم الطاقة الحركية لبعض الموائع، مثل الماء، أو البخار، أو الهواء، أو غازات الاحتراق المختلفة، بغرض تحويلها إلى طاقة ميكانيكية على شكل حركة دورانية تحرّك التوربين نفسه، حيث تمرّ المادة المائعة عبر نظام متداخل من الممرات الثابتة وممرات أخرى تكون على شكل رِيَش مُتّصلة بجزء يسمى الدوّار (Rotor) وبتطبيق قوة الدفع من المائع المُطبّق على الشفرات، وبتأثير عزم الدوران على الجزء الدوّار يدور هذا الجزء وبالتالي يعمل التوربين والأجهزة المرتبطة به[7].

تُستخدم التوربينات عمومًا للاستفادة من طاقة الرياح والطاقة المائية لتوليد الكهرباء، وفي أنظمة الدفع وفي المحركات الحرارية، فهي في الأصل تُصنف كنوع من أنواع المحركات تعود الاستخدامات الأولية للطاقة التوربينية إلى اليونان القديمة، استُخدمت في الطواحين وعجلات المياه، وحتى هذا اليوم، تتعدد تطبيقات التوربين في التقنيات الحديثة، لذا لا تزال البحوث جارية لتحسين كفاءة عمل الأنواع المختلفة من التوربينات، حيث يعتمد نوع التوربين على المائع الذي يُستخدم لتشغيله.

[1-4-1] تركيب التوربينات

من الأجزاء التالية كما هو موضح بالشكل (1-4)

1- العصر الدوار.

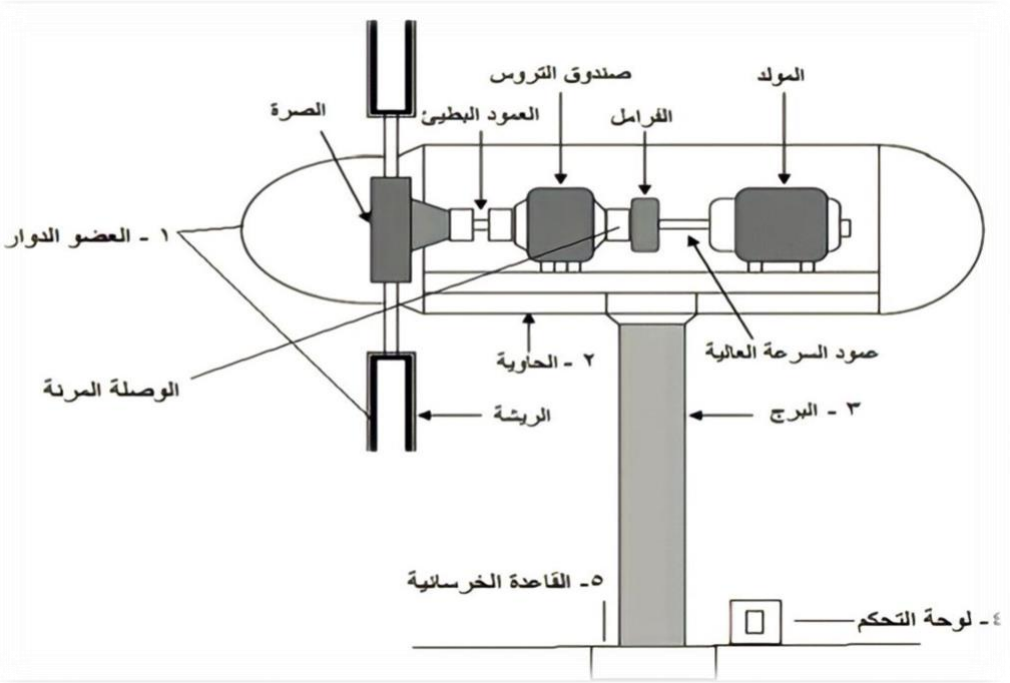
2- حاوية الأجزاء الدوارة (لناسيل).

3- البرج.

4- لوحة التحكم.

5- القاعدة الخرسانية.

وفيما يلي تفصيل لأجزاء التوربينة المختلفة [8].



الشكل (1-4) مكونات التوربينة الرئيسية[6]

1- العضو الدوار:

يتكون العضو الدوار من ثلاثة أجزاء رئيسية كما هو واضح بالشكل رقم (1-5)

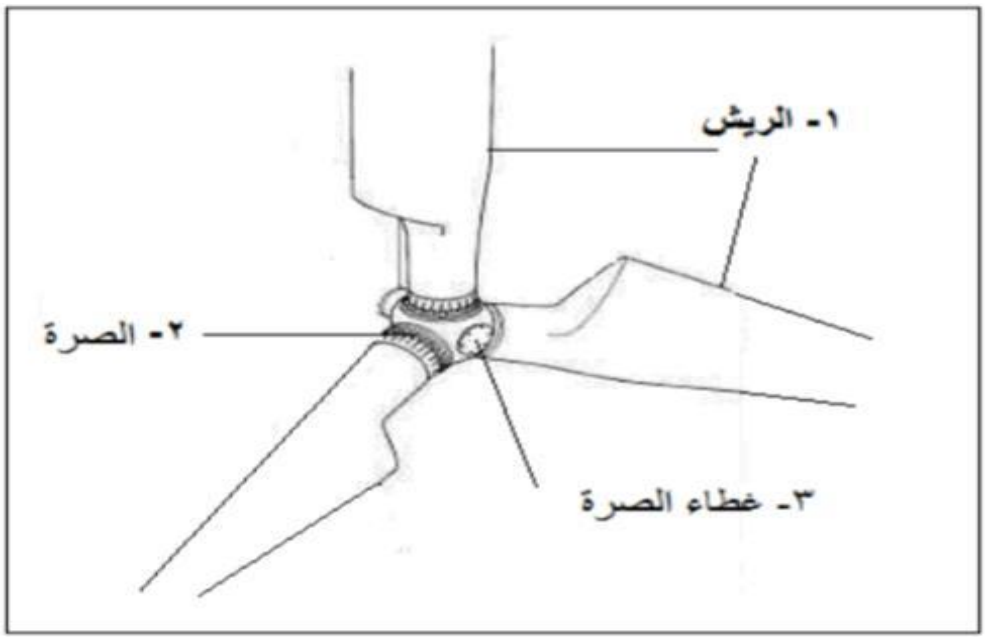
- الريش (الشفرات).
- الصرة.
- غطاء الصرة.

1- الريش (الشفرات): الغرض من استخدام الريش هو تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى عزم دوران ميكانيكي يؤدي إلى دوران بقية الأجزاء الدوارة وقد استخدم الخشب قديما في تصنيع الريش وما يزال يستخدم في بعض التوربينات ذات القدرات المحدودة ثم استبدل الخشب بالحديد الصلب ولكن نظرا إلى نقل وزنه وتكلفته العالية وكذلك تأثيره على الإشارات الخاصة بالإذاعة

والتلفاز أصبحت تستخدم الآن الألياف الزجاجية نظراً لخواصها الثابتة على مدى عمر التوربينة وخفة وزنها بينما يصنع جذر الريشة من الصلب[7].

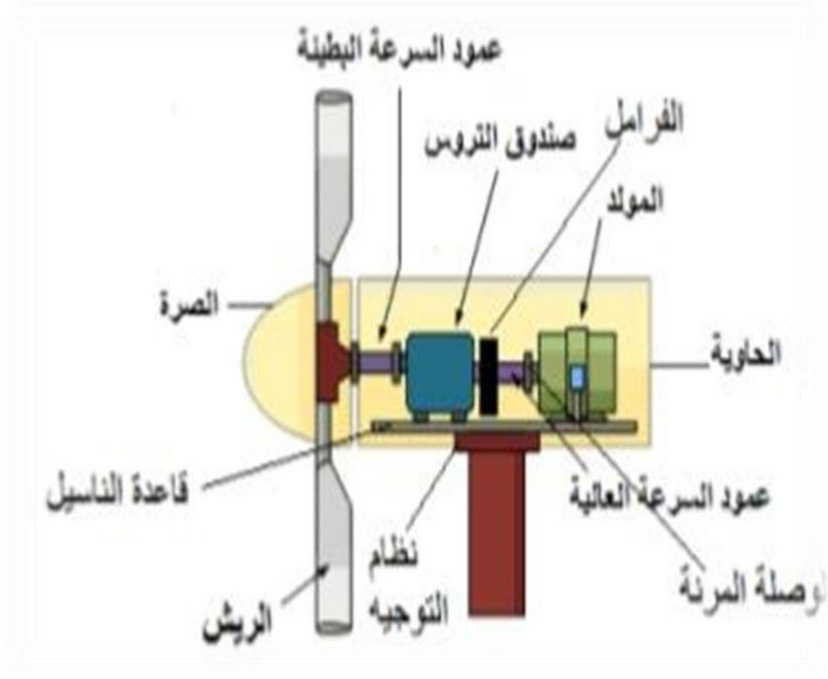
2- الصرة: عادة ما تصنع من الحديد الزهر أو الصلب ويثبت بها فلانشات يتم ربطها بمسامير لتثبيت الريش (الشفرات) وكذلك فلانشة رئيسية لتثبيتها بمحور الدوران الرئيسي والغرض منها هو نقل القوى والعزم من الريش إلى محور الدوران الرئيسي والصرة دائماً ما تكون مجوفة حيث يستخدم هذا التجويف في التوربينات ذات الريش المتغيرة الزاوية لوضع منظومة تغيير الزاوية داخلها أما في التوربينات ذات الزاوية الثابتة فهي تستخدم لوضع المنظومة الخاصة بالفرامل (المكابح) الهوائية بداخله وفي بعض التوربينات يستخدم لتثبيت مجسات قياس سرعة الرياح.

3- غطاء الصرة: ويصنع عادة من الألياف الزجاجية ويستخدم لتغطية الصرة بحيث يساعد على سهولة انسياب الرياح على سطح الريش (الشفرات) وحماية الأجزاء الموجودة بداخله من الأتربة والرمال والأمطار وإعطاء منظر جمالي مقبول للتوربينة[9].



الشكل (1-5) مكونات العضو الدوار[7]

2- حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل) وأهم محتوياتها: وتصنع من الواح من الصلب أو الألياف الزجاجية وتحتوي على الأجزاء الآتية كما بالشكل (1-6).



الشكل (1-6) مكونات حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل)[6]

1. قاعدة حاوية الأجزاء الدوارة (الناسيل):
2. محور الدوران الرئيسي (عمود السرعة البطيئة).
3. صندوق التروس.
4. المكابح الميكانيكية (الفرامل).
5. نظام التوجيه.
6. الوصلة المرنة.
7. المولد

3- قاعدة الناسيل: تصنع من ألواح الصلب المجمعة باللحام، ويثبت في الجزء السفلي منها فلائشة مائلة بواسطة اللحام لتثبيت منظومة توجيه التوربينة، ويتم تصميم القاعدة بحيث تنقل جميع القوى الديناميكية الاجهادات من العضو الدوار إلى البرج[9].

4- محور الدوران الرئيسي (عمود السرعة البطيئة): يصنع من الصلب المصمت عالي الجودة، ويوجد في إحدى نهايتيه فلائشة التثبيت مع فلائشة الدوارن الرئيسية والنهاية الأخرى تثبت مع صندوق التروس ويحمل على كراسي تحميل عالية الجودة، حتى تكون قادرة على نقل القوى المحورية والعزم الدورانية إلى قاعدة حاوية الأجزاء الدوارة ويكون كرسي التحميل الخلفي

مثبتا ليمتص قوى الرياح الأفقية وتغطى كراسي التحميل وعمود الدوار معاً بغطاء من الحديد الزهر ويكون على هيئة أنبوبة أسطوانية لحمايتهم من الأتربة والرمال وتكون الأغطية الجانبية لكراسي التحميل مزودة بموانع تسرب لحماية الكراسي من دخول الأتربة وكذلك خروج الشحوم[10].

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

[1-4-2] آليه عمل التوربينات

1. تعمل توربينات الرياح على مبدأ بسيط، هو تحويل الطاقة الريح في الريش التي تشبه المروحة حول دوّار يتصل بالعمود الرئيسي للتوربين.
2. ببساطة، يعمل توربين الرياح على عكس المروحة فبدلاً من استخدام الكهرباء في صنع الرياح، مثل المروحة، تستخدم توربينات الرياح طاقة الرياح لتوليد الكهرباء.
3. يتم تحويل طاقة الرياح الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية، باستخدام توربين رياح كبير فعندما تمر الريح في التوربينات تحرك الريش التي تدور العمود.
4. يوجد حاليًا نوعان مختلفان من توربينات الرياح المستخدمة توربينات الرياح الأفقية، وتوربينات الرياح العمودية المحور وهي أكثر توربينات الرياح شيوعا.

لتوليد الكهرباء من الرياح يجب توصيل عمود التوربين بمولد يستخدم المولد حركة دوران العمود لتدوير دوار لديه مغناطيس متناهي الشحنة ومحاط بسلك من الأسلاك النحاسية، ويتم إنشاء الحث الكهرومغناطيسي عن طريق الدوار حول الجزء الداخلي من النواة، مما يؤدي إلى توليد الكهرباء.

يمكن بناء التوربينات الريحية على الأرض أو في البحر في المسطحات المائية الكبيرة مثل المحيطات والبحيرات، وتنتشر حقول كبيرة لإنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة توربينات الريح حول العالم في بلاد مثل الدانمارك الولايات المتحدة الأمريكية، ألمانيا، إسبانيا، الصين، الهند[10].

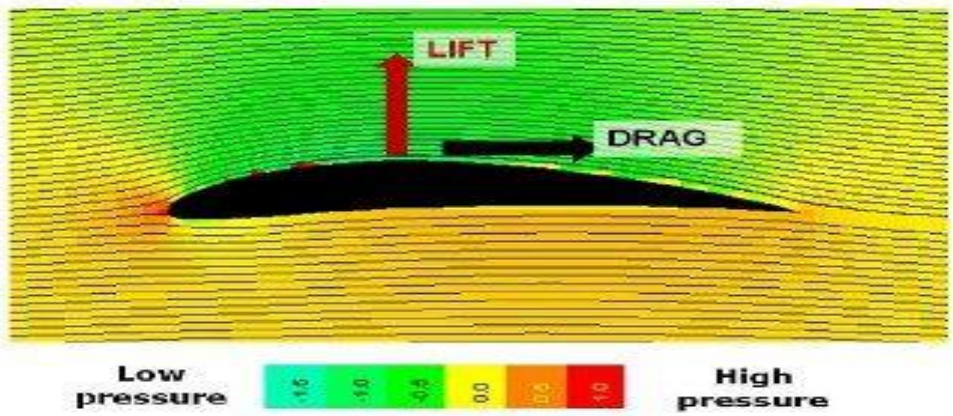
الفصل الثاني

توربينات طاقة الرياح

[1-2] أنواع توربينات الرياح

1. توربينات الرياح ذات المحور الأفقي – Horizontal Axis Wind Turbine HAWT

توربينات ريحيه تعمل في مزرعة ريحية هي أشهر أنواع التوربينات وأقدمها وأكثرها انتشاراً في العالم وسمي هذا النوع من التوربينات الأفقية لأن جسم التوربين يحمل على برج ويكون محور دوران التوربين أفقياً يتم تصميم شفرة التوربين بشكل يعرف بالمجنح (Airfoil design) أي أن مقطع الشفرة يشبه مقطع جناح الطائرة وبالتالي عندما تصطدم الرياح بها تنشأ قوة رافعة نتيجة لفرق الضغط و تسبب دوران الشفرات نرى في الصورة مقطعاً لشفرة توربين رياح وكيف تنتشر الرياح على جانبيها وكيف يتوزع الضغط نتيجة لهذا الشكل نلاحظ مخطط تدرج الضغط أسفل الصورة حيث يشير اللون الأصفر والأرجواني وأحمر إلى قيم مرتفعة للضغط بينما اللون الأخضر والأزرق إلى الضغط الأقل منه وتوضح الصورة اتجاه الحركة الناتج عن قوة الرفع حيث يكون من الضغط المرتفع إلى الضغط المنخفض.



الشكل (2-1) مقطع يوضح تدفق الرياح على التوربين واختلاف الضغط على جانبيها واتجاه القوى[7]

المحاسن

- الأبراج العالية تضمن التعرض لرياح أقوى لأن قوة الرياح تزداد بالارتفاع، كما أن طول الأبراج يسمح بتنصيب التوربينات على ارتفاعات مختلفة وفي الغابات حيث يمكن أن تكون فوق خط الأشجار.
- تتوضع الشفرات على جانب مركز الجاذبية للتوربين مما يساعد في تحقيق الثبات، كما أن وجود حساس اتجاه وسرعة الرياح ومحرك الانحراف يضمن مواجهة التوربين لاتجاه الرياح كما أنه يمكن التحكم بزاوية ميلان الشفرة نفسها بتأثير الرياح مما يقلل

الأضرار خلال العواصف و تعرف هذه الخاصية باسم (Changing Blades Pitch Angle) وفي هذا الفيديو نشاهد محاكاة لهذا التغير راقب تغير ميلان الشفرة المواجهة للرياح.

المساوئ

- نقل هذه التوربينات صعب ومكلف حيث تبلغ تكاليف النقل حوالي 20% من التكاليف الإجمالية، وتركيبها صعب كونها تحتاج إلى رافعة ضخمة ويد عاملة خبيرة.
- يصعب تشغيلها في المناطق التي تكثر فيها الرياح القريبة من الأرض.
- صيانتها صعبة.
- تؤثر على أمواج الرادار والمظهر الجمالي للمنطقة بشكل عام.
- هنالك تقارير عن إنزعاج الساكنين من مقربة من توربينات الرياح من الصوت العالي، و لكن تتضارب الآراء بهذا الصدد.

2. توربين الرياح ذات المحور العمودي – Vertical Axis Wind Turbine VAWT

التوربين ريحية عمودية المحور في هذا النوع تكون الشفرات مثلة مع محور الدوران ويكون كلاهما عمودي على الأرض كما موضح بالشكل وهناك نوعان من توربينات الرياح ذات المحور العمودي: توربينات تعمل بالرفع والتوربينات تعمل بالجر تشبه في مبدأ عملها التوربينات ذات المحور الأفقي ولكن الاختلاف هنا هو توضع الشفرات على جوانب محور الدوران كما يكون تصميم الشفرات ومقطعها مشابها لتصميم الشفرات في توربينات ذات المحور الأفقي.

المحاسن

- سهلة الصيانة.
- منخفضة تكاليف النقل والتركيب.
- لا تحتاج إلى التوجيه باتجاه الرياح حيث تدور بغض النظر عن الاتجاه الذي تأتي منه الرياح.
- تكون فعالة في الهضاب الصغيرة والتلال.

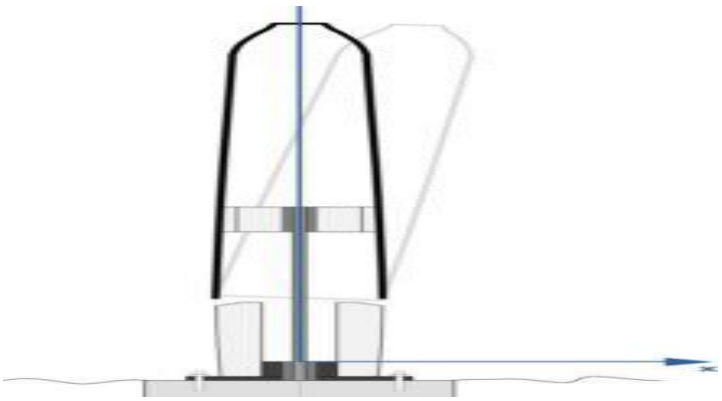
المساوئ

- أقل كفاءة بالمقارنة مع توربينات ذات المحور الأفقي.
- عزم إقلاعها منخفض.
- قد تحتاج القليل من الطاقة لتبدأ بالدوران.

- توربينات الرياح الغير تقليدية – Unconventional wind turbines
- هذه التوربينات تختلف بأشكالها عن النماذج التقليدية التي تحدثنا عنها في الأعلى وانتشر بعضها ودخل مرحلة التنفيذ والإنتاج.

3. توربينات الرياح بدون شفرات - Bladeless Turbine

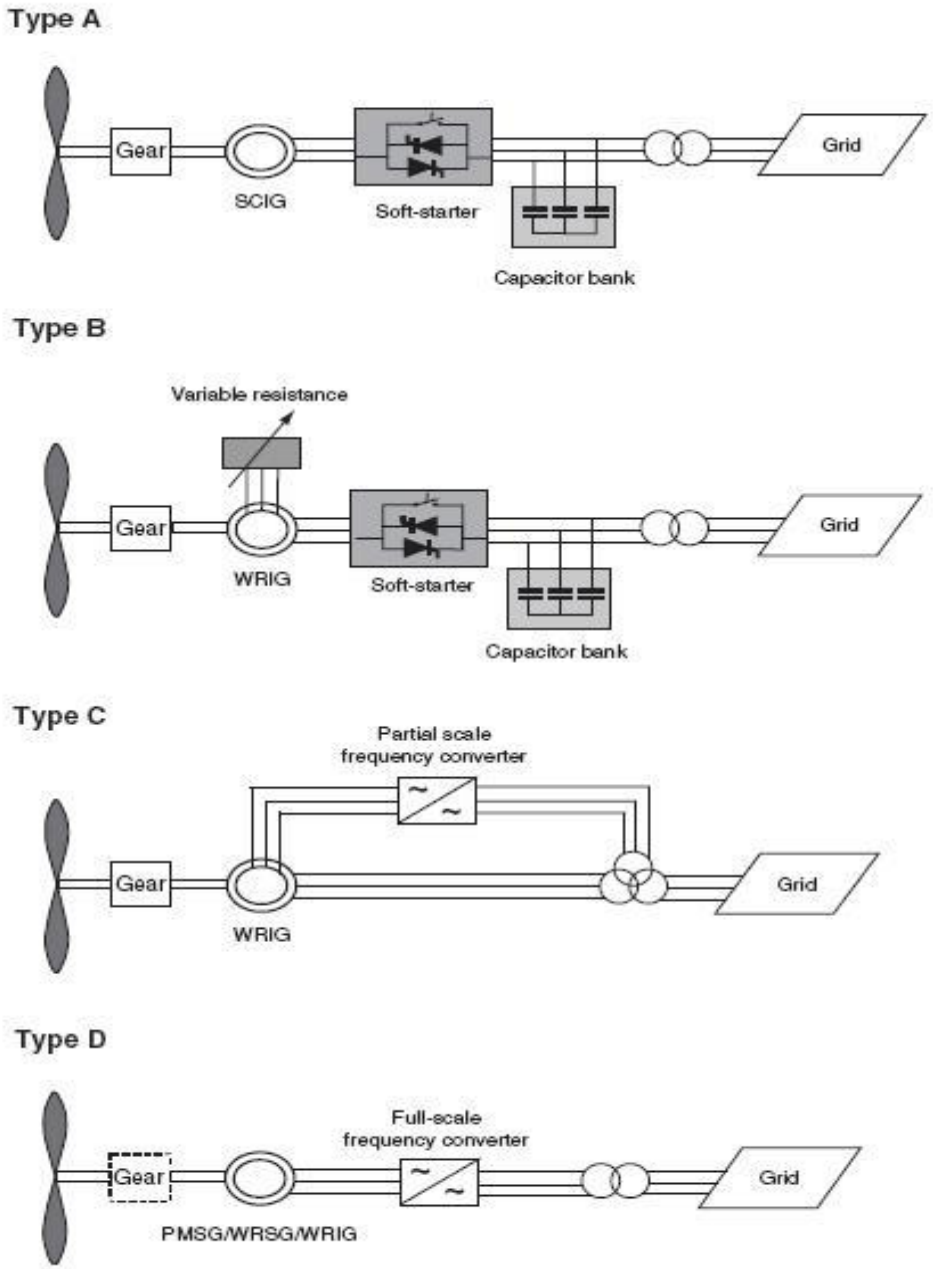
تعتمد هذه التوربينات على خاصة تعرف باسم (Vortex Shedding) وتعني أنه عندما يتحرك الهواء بسرعة واتجاه معينين ويتعرض لعائق ما، يتشكل خلف العائق دوامات بفعل الإصطدام تبدأ خلف العائق وتتحرك مبتعدة عنه يشكل الهواء نتيجة ذلك دوامات متناوبة ذات ضغط منخفض خلف العائق مما يسبب اهتزاز العائق باتجاه منطقة الضغط المنخفض في الشكل (2-2) نرى نموذجا لإحدى التوربينات بدون شفرات حيث يصدم فيها الهواء كما ذكرنا وتبدأ بالاهتزاز بتردد معين على جانبي محورها ويوجد في قاعدتها مولد كهربائي من النوع الذي يعمل بالاهتزاز يقوم هذا المولد بتحويل الطاقة الحركية الناتجة عن الاهتزاز إلى طاقة كهربائية.



الشكل (2-2) نموذج التوربين ريحية بدون شفرات[8]

[2-2] انظمة توجيه توربينات الرياح

هناك أربعة أنظمة لتوليد الكهرباء بنظام توربينات الرياح والتي من خلالها يتم توليد الطاقة الكهربائية كما هو مبين بالشكل (2-3) ولكل منها خصائصها وآلية عملها وهي كما يلي:

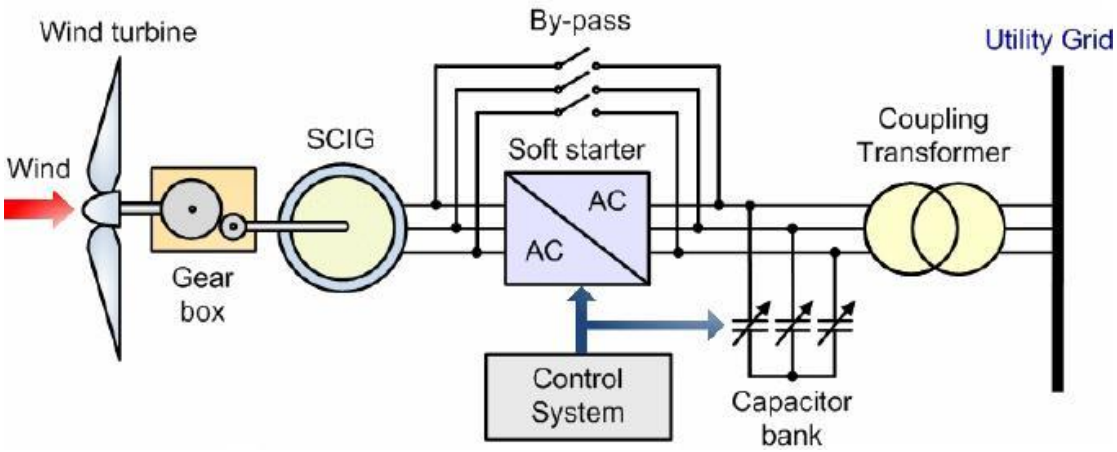


(Type A, Type B, Type C, Type D)

الشكل (2-3) أنواع أنظمة توربينات الرياح الأربعة لتوليد الكهرباء[8]

اولاً: النوع A (Type A):

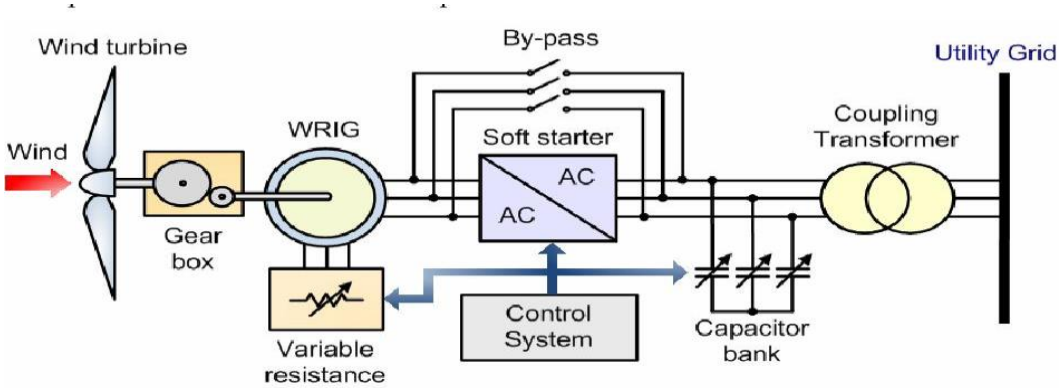
ويعتبر أبسط الأنواع وأرخصهم ثمناً لبساطة بناؤه ومكوناته، ونوع المولد المستخدم فيها هو المولد الحثي ذو القفص السنجابي (Squirrel Cage Induction Generator) كما هو مبين الشكل (2-4)، وتعمل على سرعة رياح ثابتة (Fixed Speed) وهو النوع الوحيد الذي يعمل على سرعة ثابتة والتي تعتبر سلبية واضحة مقارنة بالأنواع الأخرى.[9]



الشكل (2-4) الرسم التخطيطي للنوع A [9]

ثانياً: النوع B (Type B):

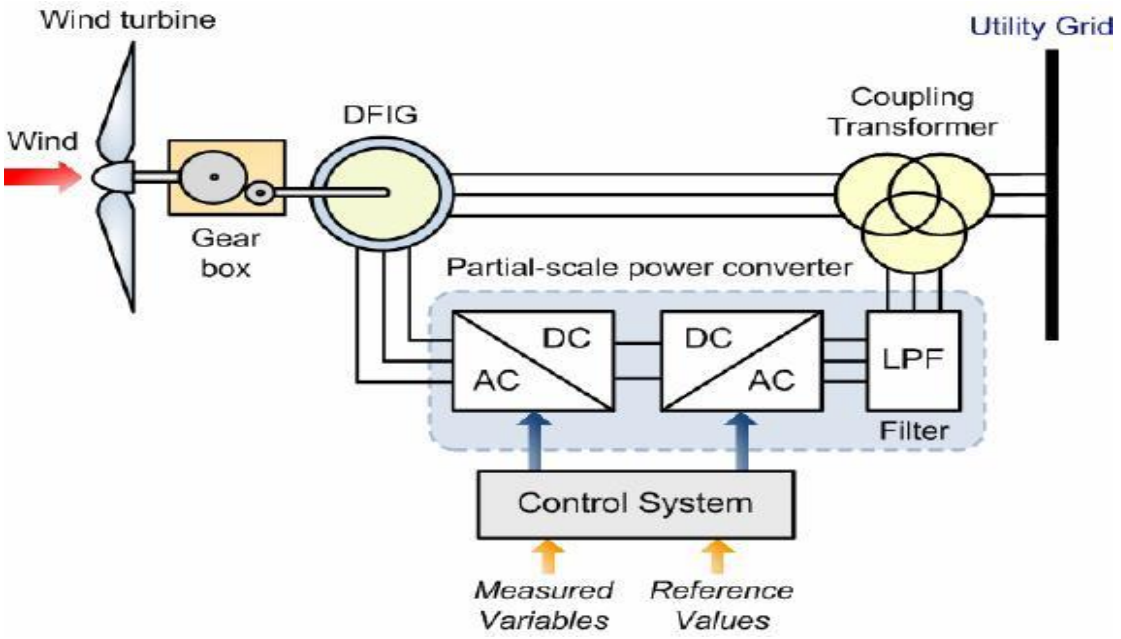
ونوع المولد المستخدم فيها هو المولد الحثي ذو الأسلاك الملفوفة (Wound Rotor Induction Generator) كما هو مبين بالشكل (2-5) وتعمل على سرعة رياح متغيرة (Variable Speed) يشبه النوع A إلى حد ما ويكمن الاختلاف في أن أطراف العضو الدوار موصل بمقاومة متغيرة (Variable Resistance) والذي سيساهم في تغيير سرعة الدوران بواسطة إلكترونيات القوى (Power Electronics) الموصلة بالمقاومات المتغيرة.[10]



الشكل (2-5) الرسم التخطيطي للنوع B من أنواع أنظمة توليد الكهرباء بتوربينات الرياح[7]

ثالثاً: النوع C (Type C):

وهو النوع الأشهر والأكثر استخداماً وتعمل على سرعة رياح متغيرة (Variable Speed) ونوع المولد المستخدم فيه هو المولد الحثي ثنائي التغذية (Doubly Fed Indution Generator) وسمي بذلك لأن كلاً من العضو الثابت والعضو الدوار موصلة مع الشبكة الرئيسية كما هو مبين بالشكل (2-6)، وكما نرى بالصورة أيضاً أن العضو الدوار موصل بالشبكة عن طريق دوائر ومحولات إلكترونيات القوى من نوع Partial-scale power converter والتي نعني بها أن جزء من القدرة الناتجة من عملية تدوير توربينات الرياح سيتم تمريره إلى دوائر ومحولات إلكترونيات القوى وهي تقريباً

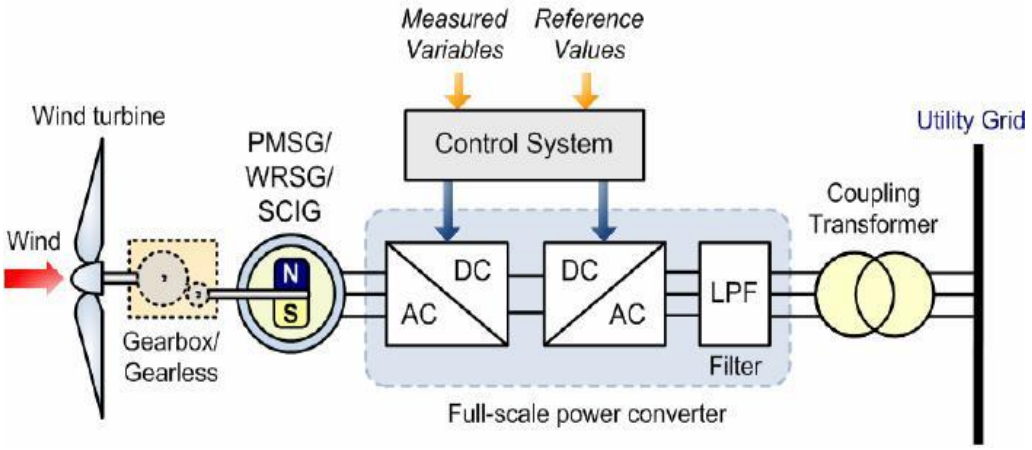


.%30

الشكل (2-6) الرسم التخطيطي للنوع C من أنواع أنظمة توليد الكهرباء بتوربينات الرياح[9]

رابعاً: النوع D (Type D):

تعمل على سرعة رياح متغيرة (Variable Speed) ويتميز بإمكانية عمله على أكثر من نوع من المولدات كما هو مبين بالشكل (2-7) كما نرى بالصورة أيضاً أن محولات إلكترونيات القوى متصلة من العضو الثابت للمولد إلى الشبكة أي أن القدرة الناتجة من عملية تدوير توربينات الرياح سيتم تمريره إلى دوائر ومحولات إلكترونيات القوى كاملة أي أن دوائر ومحولات إلكترونيات القوى من نوع Full-scale power converter والتي تقوم بتنظيم التردد الناتج بمختلف السرعات وبالتالي يتم الاستغناء عن صندوق التروس غالباً وهذا النوع من النوع الوحيد من أنواع أنظمة التوليد بتوربينات الرياح يتم الاستغناء عن صندوق التروس به.



الشكل (2-7) الرسم التخطيطي للنوع D من أنواع أنظمة توليد الكهرباء بتوربينات الرياح[9]

[3-2] تأثير عدد الشفرات وتصميمها على كفاءة التوربين

ان نسبة سرعة التماس القصوى للتوربين تعتمد على عرض الشفرات وعددها فالتوربينات الريحية ذات العدد الكبير من الشفرات لها مساحة جزء صلب كبيرة حيث تسمى التوربينات ذات الصلابة العالية.

اما علقات الرياح ذات الشفرات الضيقة فإنها تسمى التوربينات ذات الصلابة القليلة ولاستخلاص أكبر ما يمكن من الطاقة بأكبر كفاءة ممكنة فإن الشعرات يجب ان تكون على تماس مع أكبر كمية من الرياح المارة خلال الجزء الدوار فالتوربين ذات الشفرات العريضة والعديدة تتماس مع الرياح عند نسبة سرعة تماس قليلة جدا ولكن التوربين ذات الشفرات

الرفيعة والقليلة يجب أن تدور بسرعة كبيرة لتستطيع التماس مع الهواء المار، فاذا كانت نسبة سرعة التماس قليلة فإنه سيمر جزء من الهواء دون تماس مع الشفرة وأما اذا كانت نسبة سرعة التماس عالية جدا فان التوربين ستظهر مقاومة كبيرة للرياح وبذلك تذهب الرياح حول الجزء الدوار فالعلفة ذات الشفرتين والتي لها نفس عرض شفرات التوربين ذات ثلاث شفرات تكون لها نسبة تماس قصوى أكبر بنسبة الثالث من التوربين ذات الثلاث شفرات والتوربين ذات الشفرة الواحدة والتي لها عرض شفرات مساوي لعلقة ذات شفرتين لها ضعف نسبة سرعة التماس مما للعفنة ذات الشفرتين، أن نسبة سرعة التماس القصوى للعلقات الحديثة تتراوح بين 6 الى 20.[9]

ونظريا فإنه عندما يكون عدد الشفرات كبير فانه يجب ان تكون الكفاءة اعلى، ولكن وجود شفرات أكثر يمكن أن يؤدي الى التداخل بينها وبذلك تكون التوربين ذات الشفرات الكثيرة اقل كفاءة لهذا فإن التوربينات ذات الصلابة المالية تكون اقل كفاءة بصورة عامة من التوربينات ذات الصلابة القليلة وفي التوربينات ذات الصلابة القليلة وجد أن الملفات ذات الثلاث شفرات اعلى كفاءة من التوربينات ذات الشفرتين وان الأخيرة اعلى كفاءة من التوربينات ذات الشفرة الواحدة.

ان القوه الميكانيكية المستخلصة من توربينات 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 ولا على سرعة زاوية عزم اقل.[10]

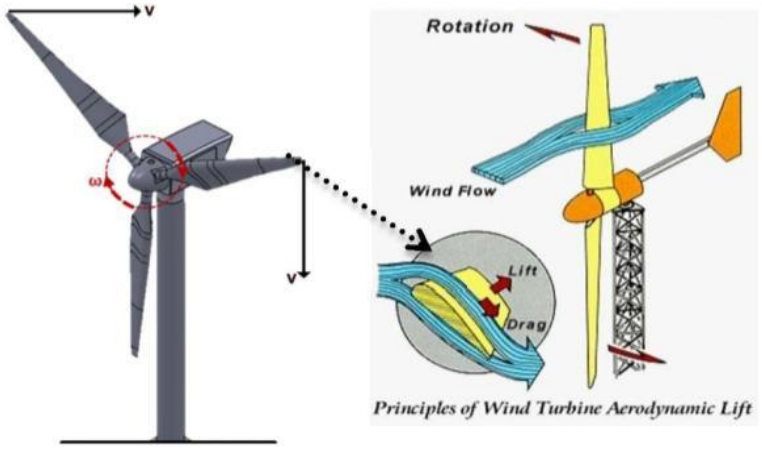
[4-2] العوامل التي يتوقف عليها معامل الكفاءة

يمكن حساب سرعة دوران التوربين الهوائي لما بقياس عند الدورات في الدقيقة RPM أو بواسطة الزاوية النصف قطرية في الثانية radis ويرمز لهذه السرعة بالرمز **ω** .

$$RPM = \frac{\omega * 60}{2\pi} \qquad \omega = \frac{2\pi}{60} * RPM \ \text{(Rad/s)}$$

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:

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



الشكل (2-8) تمثيل سرعة دورات الشفرات مع سرعة الرياح[9]

وعند تقسيم سرعة التماس v على سرعة الرياح في المسار العلوي الجزء الدوار تحصل على:

$$TSR = \frac{v_{tip}}{v_{wind}}$$

نسبة مهمة بدون وحدات تسمى نسبة سرعة الحافة Tip speed ratio ويرمز لها v:

وهذه النسبة تعتبر مقياس لأداء علقات الرياح ذات الخصائص المختلفة حيث يمكن لعقة ذات تصميم معين ان تعمل على مديات واسعة من نسبة سرعة التماس ولكنها تعمل بأعلى كفاءة عند نسبة سرعة تماس معينة.[9]

الفصل الثالث

تطبيقات طاقة الرياح

[1-3] العوامل التي تعتمد عليها طاقة الرياح

هناك ثلاث عوامل رئيسية تعتمد عليها طاقة الرياح وتؤثر على خروج وتوليد الطاقة منها، وهي:[7]

اولاً: سرعة الرياح

تحدد سرعة الرياح كمية الكهرباء التي يمكن أن يولدها التوربين، بمعنى أن السرعات العالية من الرياح تسمح بتوليد طاقة أكبر، لأن الرياح القوية تساعد ريش التوربينات على الدوران بشكل أسرع، والدوران الأسرع يولد المزيد من الطاقة الميكانيكية والكهربائية من المولد نسبة سرعة طرف الريشة : (TSR, λ) وهي نسبة خاصة في توربيات الرياح وهي النسبة ما بين سرعة طرف الريشة والسرعة الفعلية للهواء. تتغير النسبة من توربين لآخر حسب اختلاف تصميم العنفات كلما زادت النسبة زاد مستوى الضجيج الصادر عن التوربين لنسبة سرعة طرف الريشة أهمية كبيرة في تحديد فعالية وجدوى توربينات الرياح

ويمكننا التعبير عن الطاقة الحركية لرياح ذات الكتلة (m) وتتحرك بسرعة (v) بأستخدام المعادلة التالية:

$$E = \frac{1}{2} m.v^2 \dots\dots\dots (1)$$

ويأخذ مساحة المقطع العرضي الدائري $(A = \pi.r^2)$ الذي تعبره الكتلة الهوائية وذلك بسرعة (v) نحصل على حجم الهواء المتدفق من خلال مساحة معينة و خلال زمن محدد، و الذي يدعى بحجم التدفق (v) والموضح في المعادلة التالية:

$$v = v.A \dots\dots\dots (2)$$

أما كتلة الهواء المتدفقة فتعطى بالعلاقة:

$$m = \rho.v.A \dots\dots\dots (3)$$

ومن أبسط المعادلات التي تعطي كثافة الهواء (ρ) بدلالة الارتفاع:

$$\rho(z) = 1.266\, e^{-3.1089\times10^{-5}} \dots\dots\dots (4)$$

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

$$P = \frac{1}{2}\rho.v^3.A \dots\dots\dots (5)$$

وتمثل هذه الاستطاعة كامل الاستطاعة في كتلة الهواء و هنا يجب عدم الخلط بينها وبين الاستطاعة الميكانيكية الممكن استخلاصها من الهواء من قبل العنفة، حيث أن الاستطاعة

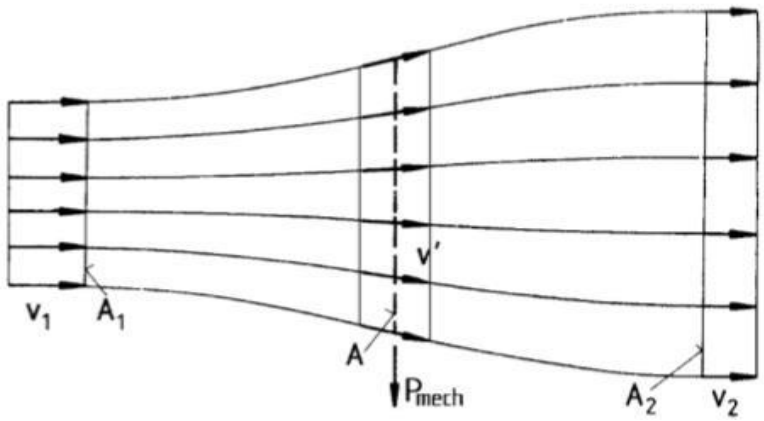
الميكانيكية المستخلصة من الهواء تتعلق بالفرق بين سرعة الهواء الداخلة إلى العنفة و الخارجة منها ذلك عند ثبات قيمة كتلة الهواء المتدفق. حيث أنه كلما كان الفرق أكبر كانت الاستطاعة المستخلصة أكبر.

نجد العلاقات الرياضية المعبرة عن قيمة الاستطاعة الميكانيكية وفق نظرية (Betz) في حركة الهواء فكما هو موضح لدينا في الشكل (1-4) لدينا (v_1) سرعة تدفق الرياح في دخل العنفة، و(v_2) سرعة تدفق الرياح في خرج العنفة ومنه يمكننا إيجاد قيمة الاستطاعة الميكانيكية المستخلصة[8]:

$$P = \frac{1}{2}\rho.v_1^3.A_1 - \frac{1}{2}\rho.v_2^3.A_2 = \frac{1}{2}\rho(v_1^3.A_1 - v_2^3.A_2) \dots\dots\dots (6)$$

وبما أنه تم اشتراط ثبات كتلة الهواء المتدفق و بالتالي:

$$\rho.v_1.A_1 = \rho.v_2.A_2 \dots\dots\dots (7)$$



الشكل (3-1) تدفق الهواء عبر العنفة بحسب نظرية (Betz)[10]

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

$$P_o = \frac{1}{2}\rho.A.v_1^3 \dots\dots\dots (8)$$

وتسمى النسبة بين الاستطاعة الميكانيكية المستخلصة واستطاعة الهواء المتدفق بدون عوائق بمعامل مردود الاستطاعة (C_p) الذي يعطى بعد الإصلاح بالعلاقة:

$$C_p(\lambda,\beta) = \frac{p}{p_o} = \frac{1}{2}\left|1 - \left(\frac{v^2}{v^1}\right)^2\right| . \left|1 + \frac{v^2}{v^1}\right| \dots\dots\dots (9)$$

ويتعلق معامل مردود الاستطاعة $C_p(\lambda, \beta)$ بكل من سرعة الأطراف للريشة (λ) حسب العلاقة:

$$\lambda = \frac{w_R . r}{v} \dots\dots (10)$$

نفرض أن سرعة طرف الريشة (Tip Speed) تساوي حاصل ضرب ω في R حيث ان ω هي سرعة دوران الجزء الدوار وتكون بـ راديان/ثانية، R هي نصف قطر الجزء الدوار وبالتالي:

$$\lambda = \frac{Tip\ speed\ of\ blade}{Wind\ speed} \dots\dots\dots (11)$$

تصبح المعادلة على الشكل التالي:

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \dots\dots\dots\dots (12)$$

حيث أن v هي سرعة الرياح متر/ثانية.

ثانياً: كثافة الهواء

تعتمد عملية توليد الطاقة أيضًا على كثافة الهواء في المنطقة، وتتأثر كثافة الهواء بالارتفاع والضغط ودرجة الحرارة، حيث يمارس الهواء الكثيف ضغط أكبر على التوربينات، مما يؤدي لإنتاج طاقة أعلى كتلة الهواء لكل واحدة حجم وتقل بالارتفاع عن سطح البحر وواحدتها كغ بالمتر المكعب (kg/m^3)[9].

كلما زاد كثافة الهواء زادت الطاقة التي يستقبلها التوربينن، تختلف كثافة الهواء باختلاف الارتفاع ودرجة الحرارة، يكون الهواء أقل كثافة في الارتفاعات الأعلى منه عند مستوى سطح البحر، ويكون الهواء الدافئ أقل كثافة من الهواء البارد، مع تساوي كل شيء آخر، ستنتج التوربينات مزيدًا من الطاقة عند الارتفاعات المنخفضة وفي المواقع ذات متوسط درجات الحرارة الأكثر برودة.

ثالثاً: حجم ريش

التوربينات كلما كانت ريش التوربينات أكبر حجمًا، سمحت للتوربين بالتقاط المزيد من طاقة الرياح، وتحريك المزيد من الهواء عبر الدوارات، وهذا يؤدي لإنتاج طاقة أكبر بالطبع.

يدفع خبراء الرياح للقول بأنه كلما كان حجم التوربينات أكبر كان ذلك أفضل، وهو أن نصل التوربين الأطول أيضًا يكون أكثر فاعلية في "التقاط" الرياح، والأبراج الأطول تتيح استخدام نصل أطول ويقول كريستوفر نيزريكي -أستاذ الهندسة الميكانيكية ومدير مركز طاقة

الرياح بجامعة ماساتشوستس في لويل-: إن قوة التوربين ترتبط مباشرة بمساحة "المنطقة التي يغطيها" أي المنطقة الدائرية التي يغطيها دوران النصل[8].

ووفقًا لتفسير نيزريكي فإن هذه العلاقة ليست علاقة خطية؛ فإذا تضاعف طول النصل، يمكن للتوربين إنتاج أربعة أضعاف الطاقة، كما يشير أيضًا إلى أن التوربينات الأكبر حجمًا تبدأ عملها عند سرعة أقل للرياح، أي سرعة الرياح التي يمكن للتوربينات بدء توليد الطاقة عندها تكون أقل ويسعى فريق لوث إلى تصميم توربينات قوتها 50 ميجاوات، يصل طول كل نصل فيها إلى 200 متر، وهي أكبر كثيرًا من توربينات الرياح المستخدمة اليوم وإذا ما حقق الباحثون نجاحًا في مساعيهم، فإنهم يعتقدون أن التوربين سيكون أقوى بمقدار 10 مرات من التوربينات الموجودة حاليًّا بيد أن العلماء لا ينوون مجرد تضخيم التصميمات التقليدية ببساطة، بل إنهم يسعون إلى تغيير بنية وتركيب التوربينات تغييرًا جذريًّا؛ فالتوربينات الضخمة الجديدة سوف يكون لها نصلان بدلًا من ثلاثة، مما يقلل من وزن التوربين ويقلل التكلفة كذلك ويشير لوث إلى أن تقليل عدد النصال سيجعل التوربين بطبيعة الحال أقل كفاءة، غير أن فريقه يستخدم تصميمًا ديناميكيًّا هوائيًّا متقدمًا يقول إنه سيعوض كثيرًا تلك الخسائر.

[2-3] تطبيقات طاقة الرياح

استخدمت طاقة الرياح منذ آلاف السنيين في دفع المراكب على سطح الماء وطحن الحبوب والري وفي ضخ المياه إلى جانب بعض التطبيقات الميكانيكية الأخرى وتشير المراجع العلمية والمخطوطات التاريخية إلى أن الفرس هم أول من استخدم طاقة الرياح في طحن الحبوب وضخ المياه أما أوربا فقد انتشرت طواحين الرياح "Wind Mills " منذ القرن الثاني عشر حتى وصل عددها في عام 1750 ميلادية إلى أكثر من 8000 طاحونة في هولندا وأكثر من 10,000 طاحونة في إنجلترا كان الغرض الرئيسي لعملها هو ضخ المياه " Water Pumping" من المناطق المنخفضة إلى مناطق الزراعات العالية أو إدارة أحجار "الرحى" لطحن حبوب القمح والذرة وغيرها[7].

تتولد الرياح نتيجة لامتصاص أسطح الأرض والبحار والمحيطات لأشعة الشمس بنسب متفاوتة فعند سقوط أشعة الشمس يتأثر الغلاف الجوي ويسخن الهواء مما يؤدي إلى انخفاض كثافته وتبعا لذلك ينتقل الهواء من منطقة الضغط المرتفع (حيث يقل الإشعاع الشمسي) إلى منطقة الضغط المنخفض (حيث الإشعاع الشمسي الأعلى) مما يؤدي إلى نشوء الرياح، وهو عكس ما يحدث في المناطق التي ينخفض فيها مقدار الإشعاع الشمسي تراجع الاعتماد على طواحين الرياح بعد اختراع " جيمس وات James Watt " للآلة البخارية في نهاية القرن

الثامن عشر ثم عاد الاهتمام بها كأحد مصادر الطاقة النظيفة بعد ارتفاع أسعار النفط عام 1973 وظهور مشاكل بيئية ناتجة عن حرق الوقود الأحفوري مما دفع بتكنولوجيا تصنيع توربينات الرياح في العشرين عاما الأخيرة إلي مستوي عال من النضج تجلي في ارتفاع جودة وكفاءة التوربينات إلى جانب انخفاض تكلفة الإنتاج وبالتالي تزايد الاعتماد عليها واليوم تستخدم طاقة الرياح في توليد الكهرباء عن طريق تحويل طاقة الحركة الموجودة في الرياح إلى طاقة كهربية كما ينظر لها كتكنولوجيا ناضجة ففي المواقع ذات سرعات الرياح المرتفعة تكون تكلفة الإنتاج اقتصادية ومنافسة لتكنولوجيات الطاقة التقليدية وبخاصة عند أخذ التأثيرات البيئية في الاعتبار وحساب أسعار الوقود الأحفوري المستخدم في المحطات الحرارية بسعر السوق (بدون دعم حكومي) وتسمى الماكينات التي تعمل في توليد الكهرباء توربينات الرياح " Wind Turbines " بخلاف نظيرتها المستخدمة في طحن الحبوب والتي يطلق عليها طواحين الرياح وتشير الإحصاءات إلي بلوغ القدرات المركبة عالميا من طاقة الرياح 74328 ميغاوات بنهاية العام 2006 ولبيان كيفية إنتاج الكهرباء بواسطة توربينات الرياح نقدم بعض المفاهيم الأساسية[9].

[3-3] توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح

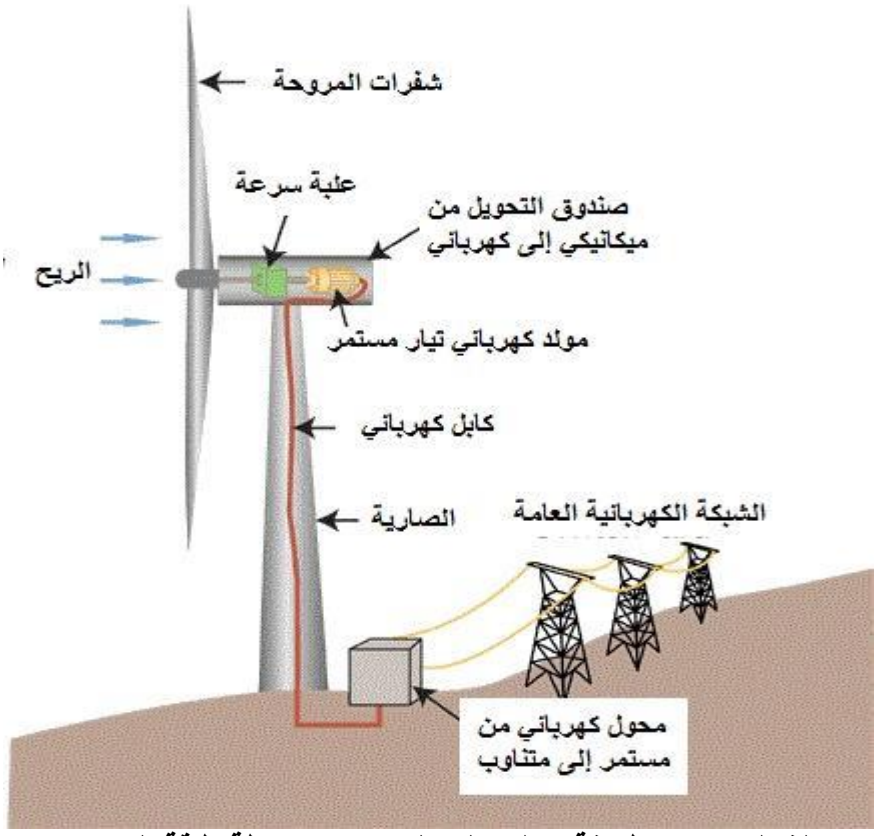
تبدأ عملية توليد الكهرباء من طاقة الرياح عندما تتحرك كتل الهواء في الطبيعة نتيجة اختلاف درجات الحرارة والضغط الجوي هذه الحركة، التي نراها على شكل رياح، تحمل طاقة حركية يمكن استغلالها بدل أن تضيع في الجو عند هبوب الرياح نحو توربين الرياح — مثل التوربينات التي تنتجها شركة Vestas — تصطدم بالشفرات المصممة بشكل انسيابي، فتجعلها تدور بسرعة منتظمة[11].

هذا الدوران ليس مجرد حركة عشوائية، بل هو بداية تحويل الطاقة إذ تنتقل حركة الشفرات إلى عمود داخلي متصل بمولد كهربائي. ومع استمرار الدوران، يبدأ المولد بالعمل وفق مبدأ الحث الكهرومغناطيسي، حيث تتحول الطاقة الحركية الناتجة من حركة الرياح إلى طاقة كهربائية. وكلما كانت سرعة الرياح مناسبة، زادت كفاءة عملية التحويل.

بعد توليد الكهرباء، تمر الطاقة عبر أجهزة تنظيم لتحويلها إلى جهد مناسب للاستخدام، ثم تُنقل عبر الأسلاك إلى الشبكة الكهربائية لتصل إلى المنازل أو المنشآت. وهكذا تكون الرياح — وهي مورد طبيعي متجدد — قد تحولت من حركة هواء بسيطة إلى مصدر طاقة عملي يُستخدم في الإضاءة وتشغيل الأجهزة.

بهذه الصورة، تمثل طاقة الرياح سلسلة مترابطة من التحويلات: من طاقة طبيعية موجودة في البيئة، إلى حركة ميكانيكية، ثم إلى كهرباء نافعة، دون احتراق

وقـود أو انبعـاث ملوثـات، ممـا يجعلهـا مـن أنظـف وسـائل إنتـاج الطاقـة فـي العصـر الحديث.



الشكل (3-2) طريقة عمل توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح[11]

[4-3] المساوئ والتأثيرات البيئية لاستخدام طاقة الرياح

أهم المشاكل البيئية الناتجة عن استخدام منظومات طاقة الرياح هي الضجيج والتداخل الكهرومغناطيسية والتأثيرات البصرية كتلوث المنظر وانعكاسات اشعة الشمس عن الشفرات اثناء دورانها[12].

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

2- والضجيج الميكانيكي (Mechanical Noise): هو المشكلة الرئيسية ولكن من السهل تخفيضه باستخدام مجمع تروس أكثر هدوءا أو وضع الأدوات الميكانيكية في

هياكل معزولة لتخفيف الصوت أما الضجيج الايروديناميكي (Aerodynamic Noise) يعتمد على شكل الشفرة والتداخل بين الهواء والشفرة والبرج، وحافة الشفرة ورأسها، وعلى كون الشفرة تعمل أو مساكنة، ونوعية الرياح، ويزداد الضجيج الايروديناميكي عادة مع سرعة الدوران، ولهذا فإن قسما من التوربينات يكون مصمما للدوران بسرعة قليلة عندما تكون سرعة الرياح قليلة.

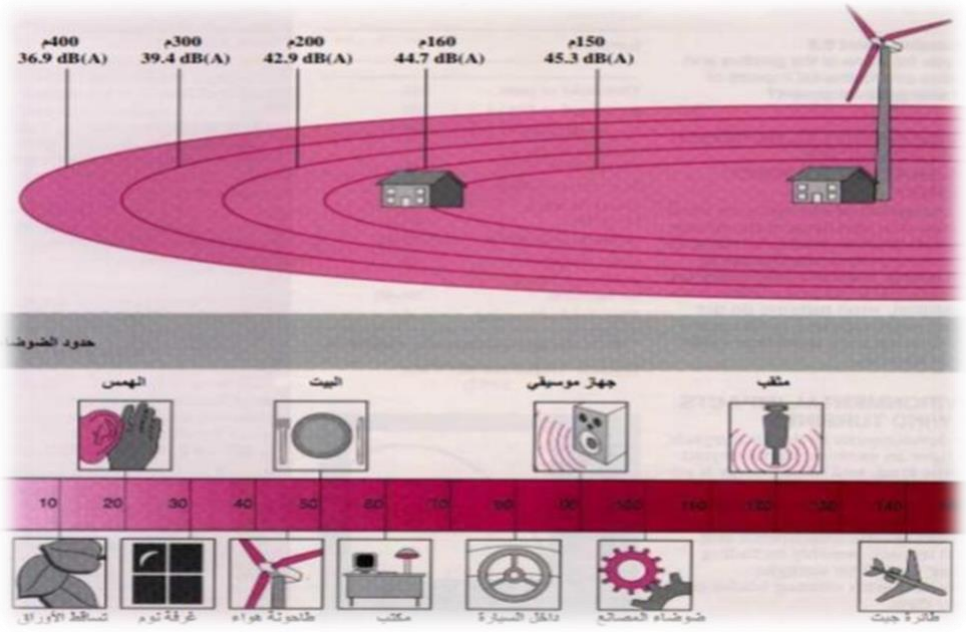
ومعظم توربينات الرياح التجارية تخضع لقياسات ضجيج وفقا للوائح التي وضعتها وكالة الطاقة العالمية أو القوانين الدنماركية وتزودنا قياسات الضجيج بالمعلومات التي يمكن على أساسها نصب توربين الرياح في الموقع المناسب أو للسيطرة على تأثير الضجيج . وفي الدنمارك فإن القوانين تنص على أنه لا يمكن نصب توربينات الرياح في المناطق السكنية إذا كان الضجيج الصادر منها يتجاوز 40 دسيبل (dB) وفي المملكة المتحدة فإن حدود الضجيج في المناطق القريبة من الطرق يجب أن لا تزيد على 68 دسيبل مسار الضجيج الصادر من أحد توربينات الرياح.

3- التداخل الكهرومغناطيسي: تؤثر عفنات الرياح على موجات الراديوية والتلفزيونية وقد تشوهها بسبب حدوث تداخل مغناطيسي والذي يعتمد على نوع مادة الشفرات فإذا كانت من المعدن فإن المتداخل محتمل الحدوث اما اذا كانت من مواد أخرى فإن احتمالية امتصاص الموجات يكون أكثر، عند نصب توربينات الرياح بالقرب من مناطق تستخدم الراديو والتلفزيون والمرسلات والمستقبلات فإنه من المحتمل جدا أن تنعكس بعض الموجات بطريقة تجعل الموجات المعكوسة تتداخل مع الموجات الأصلية قبل وصولها إلى الجهاز وهذا قد يسبب تشوها في الموجه التي تصل إلى المستخدم وينشأ التداخل الكهرمغناطيسي من نوع مادة الشفرات وشكلها فإذا كانت الشفرات مصنوعة من معدن فإن التداخل محتمل الحدوث إذا كانت التوربين قريبة من مناطق وجود هذه الأجهزة.

أما الشفرات الخشبية فإنه عادة تمتص الموجات بدلا من عكسها والأبراج المربعة تعكس أكثر من الأبراج المدورة وذلك لزيادة مساحة سطحها وأكثر المنظومات تأثراً بهذا النوع من الضجيج التلفزيونات ومنظومات اتصالات المايكرويف لذا وضعت بعض الوكالات معلومات كافية لتجنب مثل هذه التداخلات في المناطق التي توجد فيها هذه المنظومات[13].

4- التأثيرات البصرية: تعتمد هذه التأثيرات على حجم العلفة وتصميمها وعدد الشفرات ولونها وعدد وترتيب العلقات الريحية في الحقول وهذه الحقول قد لا تجد من يوافق عليها لأنها قد تشوه المنظار الطبيعي عند التطبيق.

تتحدد هذه التأثيرات بعدة عوامل مثل حجم العلفة وتصميمها وعدد الشفرات ولونها وعدد وترتيب التوربينات في الحقل ويتحدد قبول بعض المواطنين بوجود التوربينات الربحية بعدة عوامل أهمها عامل الثقافة وفهم مختلف التقنيات ورأيه في أفضل مصدر من مصادر الطاقة وللصحف والمجلات التي تنشر أحياناً الأخبار عن مصادر الطاقة المختلفة تأثير كبير في موقف بعض المواطنين وفي دراسة أجريت في المملكة المتحدة عام 1989 تبين أن 35% من المواطنين الذين تكونت منهم العينة اعتبروا بأن منظومات طاقة الرياح تساهم في تشويه المنظر.



الشكل (3-3) مسار الضجيج الصادر من أحد توربينات الرياح[9]

على الرغم من أن أول التوربين ريحية لغرض توليد الطاقة الكهربائية شيدت في اسكتلندا سنة 1887 على يد جيمس بليث، إلا أن استخدام التوربينات الريحية لم يتم بشكل موسع حتى سنة 1970 بسبب ضعف كفاءتها ومردودها الطاقي ومنذ ذلك الوقت تسارعت الاستثمارات في حقل الطاقة الريحية ليصل مجموع الاستثمارات العالمي في سنة 2008 إلى 51.8 مليار دولار أمريكي والطاقة العالمية المنتجة وصلت إلى 121 جيجا واط وقد شيدت معظم محطات الطاقة الريحية في القارة الأوروبية في سنة 2007 لتشكل المحطات الريحية 40% من مجمل مختلف المحطات الطاقية المشيدة كما شكلت المحطات الريحية 30% من مجمل المحطات المشيدة في الولايات المتحدة الأمريكية في نفس الفترة في حين شهدت سنة 2010 تزايد التوربينات الريحية خارج موطنها التقليدي في أوروبا وأمريكيا، لتشيد الصين نصف المحطات المنشأة عالمياً في هذا العام[13].

[5-3] التوصيات

في ضوء نتائج البحث توصي الدراسة بالآتي:

1. فتح المراكز البحثية المتخصصة في مجالات الطاقة المتجددة ولاسيما الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.
2. تشجيع الاستثمار الاجنبي في هذا المجال والاستعانة بتجارب البلدان الرائدة.
3. تعزيز دور الجامعات من خلال التواصل مع الجامعات العالمية وتزويدها بالأجهزة والمعدات والمختبرات اللازمة لإجراء التجارب الحقلية التي تتطلبها بحوث الطاقة المتجددة ولاسيما الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بدلا من الدراسات النظرية.
4. تعزيز الثقافة العامة نحو استخدامات الطاقات المتجددة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح).
5. توفير الأجهزة الشمسية ذات الكفاءة الجيدة في الاسواق المحلية وبأسعار تشجع على اقتنائها من قبل المستهلكين.
6. الاستفادة من التجربة الحالية بعدم تكرار سلبياتها وتطوير الاستخدام والتوسع به وفق برنامج موحد وعلى الأمد البعيد.
7. يجب إعداد دراسات تفصيلية عن آليات تمويل مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة بإيجاد البدائل التمويلية لتوفير ما يلزم لمشروعات الطاقة الجديدة والمتجددة، على أن تتضمن استقراء ودراسة لمدى استعداد البنوك للدخول في شراكة بهدف إنشاء صندوق لتمويل مشروعات الطاقة الجديدة والمتجددة، وأيضا دراسة آلية إنشاء صندوق وطني للطاقة المتجددة.
8. يجب وضع الأطر المؤسساتية المناسبة للطاقة المتجددة، إذ لا توجد جهة مسئولة واضحة على مستوى الحكومة تعنى بشؤون الطاقة المتجددة.
9. يجب وضع سياسة مناسبة وإطار عمل تنظيمي لتعزيز تطوير الطاقة المتجددة واستخدامها.

المصادر والمراجع

[1]- أحمد وحيد مصطفى، مصادر وأنظمة الطاقة الجديدة والمتجددة، الجزء الأول (أنظمة طاقة الرياح والطاقة الشمسية)، دار الكتب العلمي للنشر والتوزيع، القاهرة، 2009.

[2]- خليل، محمد أحمد السيد، الطاقة الشمسية واستخداماتها، دار الكتب العلمية، القاهرة، 2009.

[3]- نور الدين عبد الله، الآفاق العلمية لاستثمار الطاقة الشمسية، دار الحرية للطباعة، بغداد، 1983.

[4]- https://www.twinkl.com/teaching-wiki/taqt-alryah

[5]- محاضرات الطاقة المتجددة، د. خضير عبد العباس و د. غسان هاشم الخطيب، 1989.

[6]- تطبيقات الطاقة المتجددة، بحث محمد صالح _بإشراف د. رياض الأنباري، 2016.

[7]- (طرق توليد الطاقة الشمسية) كينيث ميل لينبي الترجمة د كامل مهدي التميمي، 1998.

[8]- (علم الفيزياء والطاقة) د. محمد شحاته الدغمة و أ. د علي محمد جمعه، 2015.

[9]- محاضرات الدكتور منصور عبد، طاقة الرياح وتطبيقاتها المختلفة، جامعة بغداد، كلية التربية للعلوم الصرفة، 2017.

[10] محاضرات الدكتور عبد الرحمن احمد، مصادر الطاقة المتجددة، جامعة حلب، كلية الهندسة، 2013.

[11]-https://solarabic.com/learn/2019/06/%D9%85%D8%A8%D8%AF%D8%A3-%D8%B9%D9%85%D9%84-%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B1%D9%8A%D8%A7%D8%AD/

[12]- Types of Commercial Wind Turbines, URL, 2007 Types of Commercial Wind Turbines.

[13]- Modelling and Control Design of Pitch-Controlled Variable Speed WindTurbines,2011https://www.researchgate.net/publication/221911675_Modelling_and_Control_Design_of_Pitch-Controlled_Variable_Speed_Wind_Turbines