منظومات طاقة الرياح

د. خليل محمود أبو عبده

تنشأ الرياح بسبب تسخين أشعة الشمس للغلاف الجوي بدرجات متفاوتة من منطقة لأخرى ، وبسبب دوران الأرض حول محورها . وتتأثر سرعة الرياح عند أي موقع بشكل السطح الخارجي له وبارتفاعه عن سطح الأرض.

تعد طاقة الرياح من أفضل أنواع الطاقة بحكم كونها طاقة حركية وأحد أشكال الشغل الميكانيكي . وتقدر الطاقة الكامنة في الرياح السائدة على كامل الكرة الأرضية بحوالي ١١١٠ جيجاواط . وقد شرع الإنسان في استغلال هذه الطاقة منذ أمد بعيد حيث كانت طاقة الرياح تستخدم بالدرجة الأولى في تسيير السفن الشراعية ، وفي إدارة الطواحين الهوائية (Wind mills) التي ما زالت تستخدم تقليدياً في طحن الغلال ، وضخ مياه الآبار ، وقطع الأخشاب .

وما زال الكثير من هذه الطواحين الهوائية بأشكالها المميزة قائماً وماثلاً للعيان في المناطق الريفية في الكثير من بلدان العالم حتى يومنا هذا.

أما في الوقت الحاضر فإن الاتجاه الغالب هو بناء منظومات طاقة الرياح ، بغرض توليد الطاقة الكهربائية التي تستخدم بعدئذ بصورة مباشرة ، أو يتم تخزينها لحين الحاجة إليها.

تتطلب إدارة المولدات الكهربائية توربينات هوائية سريعة الدوران ، أنسبها لهذا الغرض نوعان هما :-

* **التوربينات المروحية (Propeller type) ذات المحور الأفقي :** وتشبه إلى حد كبير المراوح الدافعة للطائرات المروحية.

* **التوربينات رأسية المحور من نوع داريو (Darrieus).**

يعود الاهتمام المتجدد حديثاً باستغلال طاقة الرياح إلى عدة عوامل ، من أهمها السعي لإيجاد مصادر بديلة للطاقة تكون نظيفة بيئياً ، وكذلك مواجهة التزايد الهائل في استهلاك الإنسان للطاقة على مستوى العالم أجمع وما استتبع ذلك من تناقص مضطرد في المصادر الأولية للطاقة ـ وفي مقدمتها النفط ـ بشكل بات ينذر بالخطر.

مميزات وعيوب طاقة الرياح

لطاقة الرياح بعض المزايا التي تزيد من جاذبيتها ، كما أن لها في المقابل بعض العيوب التي تحد من انتشارها . فمن أبرز مزايا طاقة الرياح أنها طاقة متجددة غير قابلة للنضوب ، فضلاً عن إنخفاض التكلفة الجارية لتشغيل منظوماتها ، ونظافتها ، وعدم تسخينها للغلاف الجوي أو إنتاجها للملوثات (كما هو الحال في المحطات الحرارية والنووية) ، وعدم تغييرها لطبيعة سطح الموقع (كما هو الحال في المحطات الهيدروليكية) . أما عيوبها فمن أبرزها انخفاض كثافة القدرة (في المتر المربع) التي تحتوي عليها أو تنتجها ، وعدم انتظام توفر هذه القدرة زمنياً ، مما يجعلها غير قادرة على منافسة مصادر الطاقة التقليدية في سد الاحتياجات على المستوى القومي ، وبالتالي اقتصار مساهمتها في هذا المجال على قدر ضئيل للغاية ، كما أن من عيوب منظومات طاقة الرياح عدم انسجامها مع المحيط في مناطق العمران ، وضخامة أحجامها ، وارتفاع تكلفة بنائها ، حيث تضم المنظومات الكاملة إلى جانب التربينة مكونات أخرى عديدة ، منها : الأساس (القاعدة) ، والبرج ، والمولد وصندوق السرعات ، ونظام التحكم ، ونظام تخزين الطاقة في بطاريات أو غيرها.

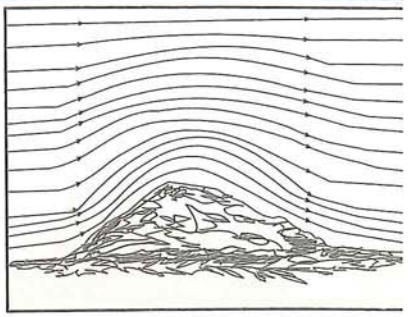
موقع منظومة الرياح

هناك عدة معايير واعتبارات بيئية يتوجب أخذها في الاعتبار ، والموازنة بينها وبين المتطلبات الأخرى عند اختيار الموقع الذي تقام عليه منظومة طاقة الرياح من أهمها ما يلي :-

• سرعة الرياح

من المعلوم أن سرعة الرياح تتأثر بعدة عوامل هي العوامل الجوية ، والتضاريس ، والارتفاع عن سطح الأرض ، وطبيعة هذ السطح ، كما أنها تتغير من ساعة لأخرى ومن فصل لآخر ، ومن سنة لأخرى.

ويمكن توضيح أهم العوامل التي تؤثر على سرعة الرياح على النحو التالي :-

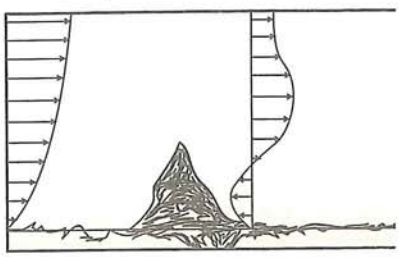


شكل(١) تزاحم خطوط السريان على قمة مرتفع.

التضاريس : وتزيد سرعة الرياح عند حرافها لتلافي إحدى العقبات ، ولذلك جد أن سرعة الرياح على قمة جبل أو تل لى منها عند السفح ، شكل (١) . لذلك كون مثل هذا الموقع ـ ذو السرعة الأعلى ـ رشحاً أكثر من غيره لإقامة المنظومة هوائية . ومن تأثير التضاريس أيضاً أن ياح تكوّن دوّامات خلف المرتفع الذي جاوزه خصوصاً إذا كانت قمة هذا رتفع حادة ، شكل (٢) . ولذلك لاينبغي طلقاً اختيار خلفية جبل أو مرتفع كموقع قامة منظومة طاقة الرياح.

طبيعة السطح : حيث تزيد سرعة ياح كلما زادت نعومة السطح الذي تمر ن فوقه ، بينما تقل سرعتها كلما زادت شونته . لذلك فإن سرعة الرياح فوق سهول التي تكسوها الحشائش أكبر منها وق الغابات الكثيفة . ولنفس السبب فإن رعة الرياح فوق البحار والمحيطات تفوق رعتها فوق المناطق البرية . ونظراً لقرب ناطق الساحلية من البحار أو المحيطات ن سرعات الرياح على السواحل تفوق يلاتها فوق المناطق الداخلية مما يجعلها فر حظاً وأكثر تأهيلاً كمواقع مرشحة قامة منظومات طاقة الرياح.

الارتفاع عن سطح الأرض : تزيد سرعة ياح كلما زاد إرتفاعها عن سطح الأرض ، كل (٢) ، وبناءً على ذلك ينبغي عدم قارنة بين البيانات المتعلقة بسرعات



شكل(٢) تكون الدوامات وانعكاس السريان خلف جبل.

الرياح في الأماكن المختلفة ما لم تكن هذه السرعات مقاسة على نفس الارتفاع من سطح الأرض . وقد أجمعت مصالح الأرصاد الجوية في العالم على اعتماد ارتفاع موحد فوق سطح الأرض لقياس سرعة الرياح مقداره ١٠ م . أما في مجال الطيران فإن الارتفاع الموحد المتفق عليه لقياس سرعة الرياح في المطارات هو ٣ م وذلك لاعتبارات تتعلق بسلامة إقلاع الطائرات وهبوطها.

• معايير أخرى

نظراً لأن معيار سرعة الرياح لايكفي وحده كمعيار وحيد لاختيار الموقع الذي تقام عليه منظومة طاقة الرياح ، فإن هناك مواصفات ومعايير أخرى ينبغي استيفاؤها ليكون هذا الموقع مؤهلاً ومقبولاً من الناحية البيئية أيضاً . ومن أهم هذه المعايير الإضافية ما يلي :ـ

- إنسجام المظهر العام للمنظومة الهوائية مع محيط هذه المنظومة في الموقع المختار.
- وقوع مستوى الضوضاء المنبعثة من المنظومة الهوائية ضمن الحدود المسموح بها ، سواء كان مصدر هذه الضوضاء ديناميكياً هوائياً نابعاً عن دوران التوربينة ، أو ميكانيكياً ناتجاً عن دوران بقية المكونات الدوارة.
- لايصاحب تشغيل التوربينة الهوائية تشويش غير مقبول على البث التليفزيوني.
- أمان المنشآت الواقعة في محيط المنظومة من الاهتزازات الناتجة عن تأثير الاضطرابات (Turbulences) ، والدوامات (Vortices) ، المتكونة في سريان المخر (Wake flow) ، خلف التوربينة.
- أمان محيط المنظومة من المخاطر الناجمة عن احتمال انهيار بعض المكونات الدوّارة خصوصاً الريش.
- أن لايقع المكان الذي تقام عليه المنظومة في طريق طيران الطيور المهاجرة.

تحويل الطاقة

يتم في منظومات طاقة الرياح استخلاص الطاقة في القرص الدوّار (التوربينة) حيث تتحول الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة ميكانيكية ينقلها عمود الإدارة . أما من حيث القوى التي تحرك الدوّار وتنتج الشغل فهناك نوعان من هذه القوى . ففي أغلب الدوّارات المعاصرة تتحرك ريش الدوّار بفعل قوى الرفع الديناميكية الهوائية (Aerodynamic lift forces) وبالتالي فإن هذه القوى هي التي تبذل الشغل . أما في النوع الثاني من الدوّارات وهو الأقل انتشاراً فإن القوى المسؤولة عن تحريك عناصر الدوّار هي قوى الجر (Drag forces) التي تنشأ نتيجة لمقاومة هذه العناصر لسريان الهواء . وتعد دوّارات منظومات طاقة الرياح من النوع الأول ، أي التي تعمل بقوى الرفع ، هي الأفضل لكونها تدور بسرعة أكبر مما يجعلها أصغر حجماً وأقل تكلفة ، ولأنها أيضاً ذات كفاءة أعلى في تحويل الطاقة .

تطلق تسمية معامل القدرة (Power coefficient) على نسبة ما يمكن تحويله من طاقة الرياح إلى شغل ميكانيكي . وأياً كان نوع الدوّار فإن هناك سقفاً أعلى من الناحية النظرية لمعامل القدرة لايمكن تجاوزه على الإطلاق ، حيث تبلغ هذه القيمة السقفية لمعامل القدرة (١٦/٢٧) أو ما يعادل ٥٩,٣٪ . ويقل معامل القدرة الفعلي الذي يمكن تحقيقه على أرض الواقع كثيراً عن هذه القيمة النظرية حيث لا يتجاوز في منظومات قوى الرفع المعاصرة ٤٢٪ في أحسن الأحوال.

قطر التوربينة الهوائية

يتوقف القطر اللازم للتوربينة الهوائية لأنتاج قدرة معينة على بضعة عوامل هي: القدرة المطلوبة ، وسرعة الريح السائدة في المواقع ، ومعامل القدرة ، ويمكن التعبير عن القدرة المنتجة بالمعادلة البسيطة التالية :ـ

$$\text{قد} = ٠,٥ \times \text{ث} \times \text{ع}^٣ \times \text{ح} \times \text{م}_{\text{قد}}$$

$$\text{ح} = \pi \times \text{ق}^٢ / ٤$$

حيث:

(قد) القدرة المطلوب توليدها ،

(ث) كثافة الهواء التي تبلغ ١,٢ كج/م^٣ تقريباً ،

(ع) سرعة الرياح .

(ح) مساحة واجهة التوربينة .

(ق) قطر دوّار التوربينة.

($\text{م}_{\text{قد}}$) معامل القدرة .

(π) النسبة التقريبية للدائرة وتبلغ حوالي ٣,١٤ .

القدرة (كيلوواط)	القطر (م)	
	ع=٥ م/ث	ع=١٠ م/ث
١	٦,٥	٢,٣
١٠	٢١	٧,٣
١٠٠	٦٥	٢٣
١٠٠٠	٢٠٦	٧٣

● جدول (١) العلاقة بين القدرة وقطر التوربينة، وسرعة الرياح.

وباستخدام هذه المعادلة يمكننا حساب قطر التوربينة (ق) اللازم لتوليد قدرة محدودة (قد) في موقع تسود فيه سرعة رياح محددة (ع). ويوضح الجدول (١) قيم مختلفة لقطر التوربينة باستخدام قيمتين لسرعة الرياح (ع)، هما ٥، و ١٠م/ث (١٨، و ٣٦كم/ساعة)، وأربع قيم للقدرة (قد)، هي ١ و ١٠ و ١٠٠ و ١٠٠٠ كيلوواط، مع افترض معامل قدرة مقداره ٤٠٪، وهي قيمة واقعية في التوربينات الحديثة.

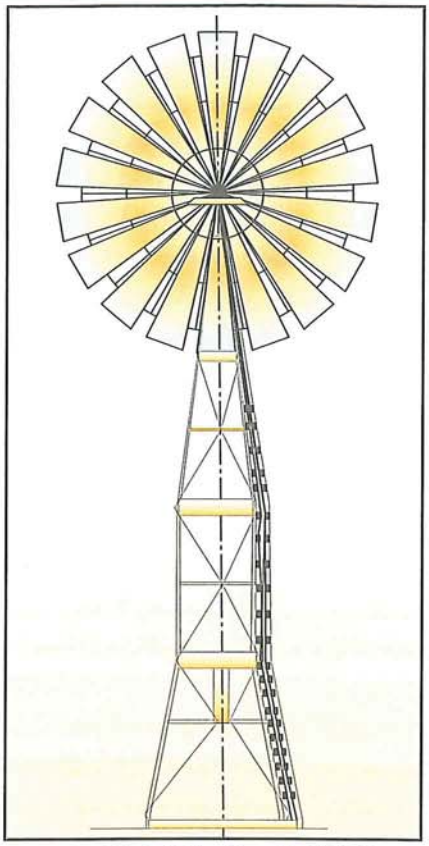
أنواع التوربينات الهوائية

يمكن تقسيم التوربينات الهوائية تبعاً لاتجاه محور دورانها إلى فئتين رئيسيتين هما التوربينات الهوائية أفقية المحور (Horizontal-axis wind turbines-HAWT)، والتوربينات الهوائية رأسية المحور (Vertical-axis wind turbines-VAWT) ويمكن توضيحهما على النحو التالي :-

● توربينات أفقية المحور

في هذا النوع من التوربينات الهوائية يكون محور الدوران أفقياً ويشير في اتجاه الريح. وتحتاج التوربينة في هذا النوع إلى جهاز توجيه (Yawing Device) لتكون دوماً في مواجهة الريح وتنتمي لهذا النوع من التوربينات الهوائية تصاميم متعددة لخدمة مختلف الأغراض، فمنها ما هو بطيء الدوران مثل الطواحين الهوائية التقليدية، ومنها ما هو سريع الدوران مثل التوربينات الهوائية المروحية. وفيما يلي استعراض لنوعين من توربينات أفقية المحور :-

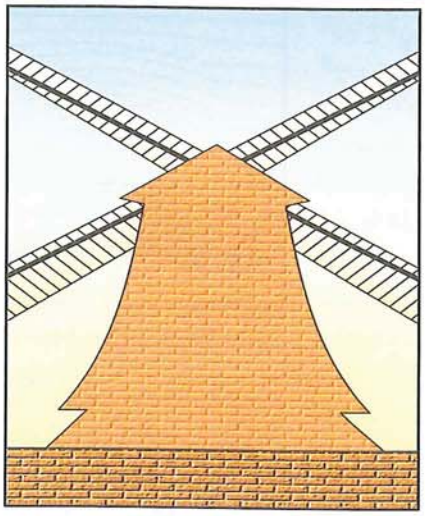
* **الطواحين الهوائية :** وتتميز بتوليدها لعزم دوران كبير نسبياً مما يجعلها مثالية لتشغيل الآلات التي تتطلب عزماً كبيراً وسرعة دوران بطيئة مثل طواحين الغلال، والمضخات الماصة الكابسة. ونظراً لإنخفاض سرعة دوران هذه التوربينات حيث تتراوح النسبة بين السرعة الطرفية للريشة وسرعة الرياح ما بين ١ إلى ٢، فإن معامل القدرة فيها منخفض نسبياً حيث يتراوح ما بين ٢٠ إلى ٣٠٪.



● شكل(٣) طاحونة هوائية طراز أمريكي.

يتم توجيه التوربينات البطيئة عادة عن طريق دفة (Tail vane) رأسية مستوية تقع على بعد كاف خلف التوربينة. وتُطوى هذه الدفة بزاوية مقدارها ٩٠ درجة في الرياح العاصفة، وعند إيقاف التوربينة تصبح تلك الدفة في مستوى قرص التوربينة. ومن الناحية التاريخية فإن هناك طرازين مشهورين من الطواحين الهوائية هما الطراز الأمريكي والطراز الهولندي.

يقام الطراز الأمريكي، شكل (٣)، على برج فلزي ويتميز بوجود عدد كبير من الريش قد يصل إلى ٥٠ ريشة، ويستخدم هذا الطراز في المزارع لرفع المياه. أما

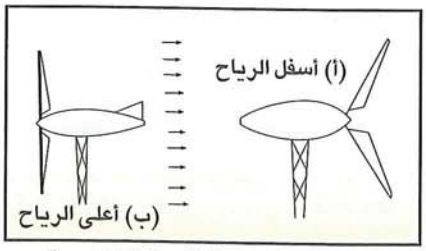


● شكل(٤) طاحونة هوائية طراز هولندي.

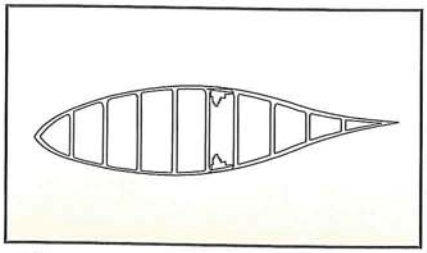
الطراز الهولندي، شكل (٤)، فيقام على برج من الطوب ويستعاض فيه عن الريش بأربعة أشرعة من قماش الخيام.

* **التوربينات الهوائية المروحية :** وتتميز بقلة عدد ريشها، شكل (٥ أ، ب) الذي يتراوح ما بين ريشة واحدة وثلاث ريشات، وبالشكل الديناميكي الهوائي الانسيابي لمقاطع هذه الريش الذي يشبه مقاطع الأجنحة (Airfoils)، شكل (٦). وعادة ما تكون هذه الريش مجوفة للتخفيف من وزنها.

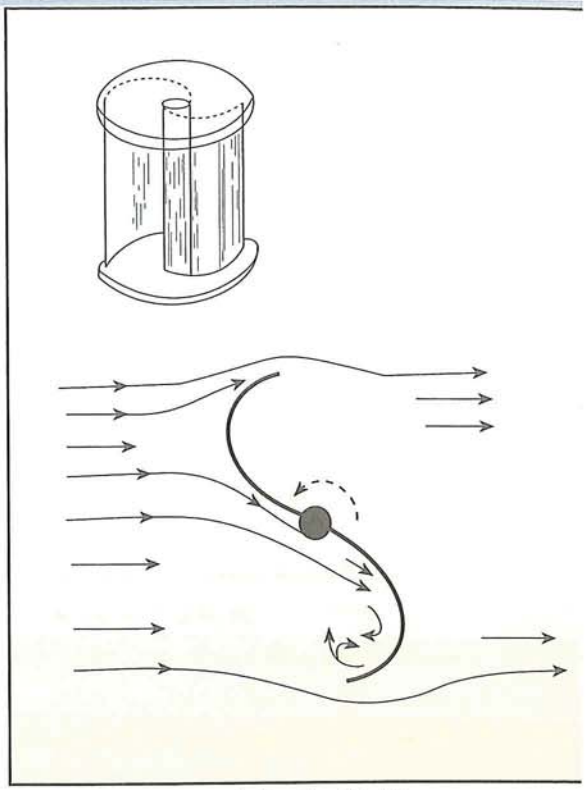
تتميز التوربينات المروحية بسرعة دوران كبيرة حيث تصل السرعة المحيطية للنهاية الطرفية للريشة إلى ما بين ٥ إلى ٦ أضعاف سرعة الريح مما يجعلها مثالية لإدارة المولدات الكهربائية التي تتطلب سرعات دوران



● شكل(٥) التوربينة الهوائية المروحية



● شكل(٦) مقطع إحدى أرياش توربينة هوائية.



● شكل(٧) دوار سافونيوس.

الية . وكثيراً ما تصمم الريَّشْ بحيث كون زاوية تركيبها قابلةً للتعديل ، ذلك حتى يمكن للتوربينة أن تحتفظ سرعة دوران ثابتة مهما اختلفت سرعة الرياح . وبالطبع فإن تكلفة بناء مثل هذه التوربينات ذات الريش القابلة تعديل أكبر كثيراً من مثيلاتها ذات الريش ثابتة . وكما يتضح من الشكل (٥) فإن ناك على وجه العموم وضعين لتركيب توربينة المروحية بالنسبة للبرج . وضع الأول ، شكل (٥ أ) ، ويسمى فل الرياح (Downwind) ، وتُركب يه التوربينة خلف البرج ، وتكون بذلك عرضة لتيار المخر السائد خلف البرج . من مزايا هذا الوضع أن التوربينة لا تاج إلى جهاز توجيه مستقل بل تطيع توجيه نفسها بنفسها في اجهة الرياح بصورة تلقائية . أما الوضع اني للتركيب والموضح في الشكل (٥ ب) هو أن تكون التوربينة أمام البرج وتطلق يه تسمية أعلى الريح (Upwind) . يكون رج في هذا الوضع هو الواقع تحت تأثير ار المخر المغادر للتوربينة.

تتعرض الريش في أي من وضعي ركيب المذكورين لعزم انحناء حول نقطة تثبيتها في السرة (Hub) حيث يحاول هذا العزم إمالة الريشة نحو الخلف في اتجاه الريح . كذلك تتعرض الريش نتيجة لدورانها حول المحور لقوة طاردة مركزية في اتجاه نصف قطري نحو الخارج . وكثيراً ما تركب الريش ـ خصوصاً في منظومات أسفل الريح ـ بشكل مائل نحو الخلف ، شكل (٥ أ) ، والذي يسمى بالمخروطية (Coning) وذلك بهدف استغلال قوى الطرد المركزي لتعمل على تقوس الريشة في اتجاه معاكس للتقوس الناشىء عن تأثير عزم الانحناء ، وللتقليل من إجهادات الإنحناء التي تتعرض لها الريشة عند قاعدة تثبيتها في السرة.

ومما يجدر ذكره أن الجمع بين حركتي دوران التوربينة وتوجيهها يوجد قوى جيروسكوبية تؤثر على المحامل وتنتقل إلى البرج وينبغي أخذها في الحسبان.

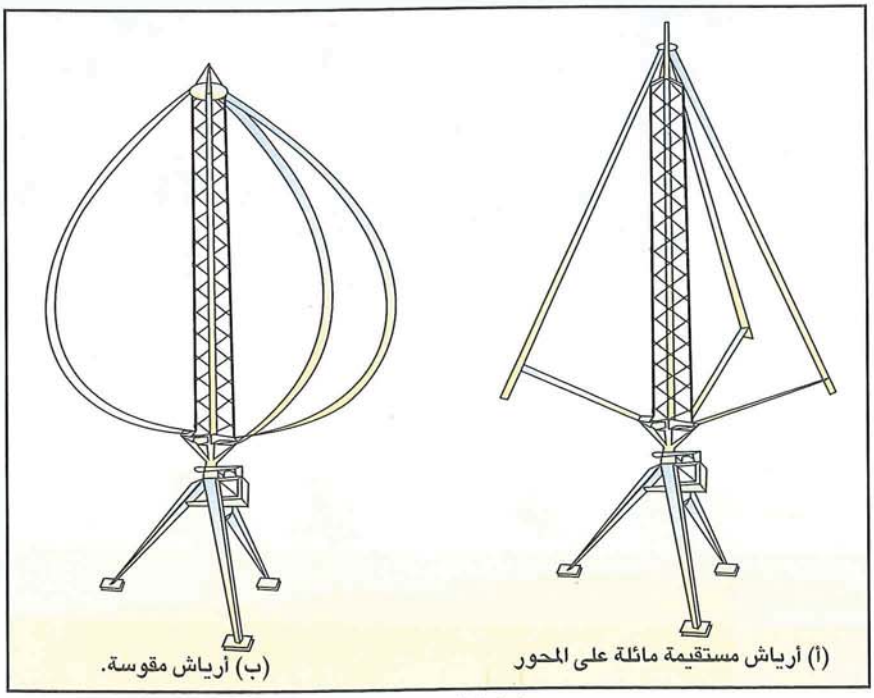
● توربينات رأسية المحور

يكون محور الدوران في هذا النوع من التوربينات الهوائية رأسياً ويتعامد مع اتجاه الرياح . ولاتحتاج التوربينة إلى توجيه ، وتعد هذه إحدى المزايا التي تجعل هذا التصميم أكثر بساطة وأقل تكلفة . كذلك لا يكون المولد الكهربائي وصندوق السرعات معلقين فوق البرج بل يرتكزان إلى الأرض مما تنتفي معه الحاجة إلى اتباع تصاميم خاصة نحيفة خفيفة الوزن باهظة التكاليف . وعلاوة على ذلك فإن البرج المطلوب يصبح بسيطاً صغير الحجم سهل البناء.

وهناك نوعان من التوربينات الهوائية رأسية المحور هما :ـ

* **دوَّار سافونيوس :** وتستخدم فيه ريش شديدة التقوس تشبه الأكواب يكوِّن كل زوج منها ما يشبه الحرف اللاتيني (S) ، شكل (٧) ، وفي هذا النوع من الدوارات لايمكن للسرعة الطرفية للريشة أن تتعدى سرعة الريح مما يجعل سرعة الدوران منخفضة ويزيد من حجم التوربينة ووزنها وتكلفة بنائها . ولايتسم هذا النوع بكفاءة عالية حيث لايتعدى معامل قدرته عن ١٦٪.

* **دوَّار داريو :** ويعد هذا النوع ـ من التوربينات رأسية المحور ، شكل (٨ أ ، ب) ـ هو الأكثر



(أ) أرياش مستقيمة مائلة على المحور

(ب) أرياش مقوسة.

● شكل(٨) توربينة داريو

منافسة للتوربينات المروحية ذات المحور الأفقي . وتشتمل توربينة **داريو** على ريشتين أو ثلاث ريش ذات مقطع ديناميكي هوائي انسيابي ، وتكون هذه الريش إما مستقيمة (موازية للمحور أو مائلة عليه) كما في الشكل (٨ أ) ،أو مقوسة كما في الشكل (٨ ب) . وتضاهي السرعة الطرفية القصوى للريشة نظيرتها في التوربينات المروحية أفقية المحور حيث تبلغ ٤ إلى ٦ أضعاف سرعة الرياح ، مما يجعلها سريعة الدوران ، وعالية الكفاءة ، ومناسبة لإدارة المولدات الكهربائية . ومن عيوب توربينات **داريو** أنها لا تستطيع توليد العزم اللازم لبدء الدوران من السكون وتحتاج إلى مساعدة خارجية . ولهذا السبب يركب على نفس المحور في الكثير من الأحيان محرك صغير وظيفته توليد هذا العزم اللازم لبدء الحركة . ومن المحركات التي يمكن أن تفي بهذا الغرض دوار **سافونيوس** الذي سبق ذكره آنفاً.

أنظمة تخزين طاقة الرياح

تتمثل أكثر استخدامات طاقة الرياح منذ القدم في طحن الغلال وضخ مياه الآبار . أما في الوقت الراهن فقد أصبح الاستخدام الرئيسي لطاقة الرياح هو إنتاج الكهرباء ، وبالإمكان بناء وحدات طاقة الرياح لتغذية الشبكة الكهربائية المحلية بصورة مباشرة . لكن الأغلب هو أن يتم تخزين الطاقة ثم استرجاعها عند الحاجة إليها . وقد يستلزم الأمر قبل تخزين الطاقة تحويلها أولاً إلى شكل آخر من الأشكال القابلة للتخزين . وبالطبع يحتل نظام تخزين الطاقة أهمية مركزية في مثل هذه الأحوال من حيث كفاءته وتكلفته واقتصاديات تشغيله . وفيما يلي بعض الأنظمة المتبعة في منظومات طاقة الرياح الحديثة لتحويل الطاقة وتخزينها.

• البطاريات

يعد نظام التخزين في البطاريات أكثر نظم التخزين شيوعاً حيث تقوم البطارية بتخزين الطاقة الكهربائية بعد تحويلها إلى شكل كيميائي . وتوجد عدة أنواع من البطاريات التي تختلف فيما بينها من حيث المواصفات وكفاءة التخزين والتكلفة . ومن هذه الأنواع يمكن ذكر ـ على سبيل المثال لا الحصر ـ بطاريات الرصاص والحامض ، وبطاريات الرصاص والكوبالت ، وبطاريات النيكل والحديد ، وبطاريات الصوديوم والكبريت وغيرها من النظم القائمة أو التي هي قيد البحث والتطوير.

• التخزين الهيدروليكي

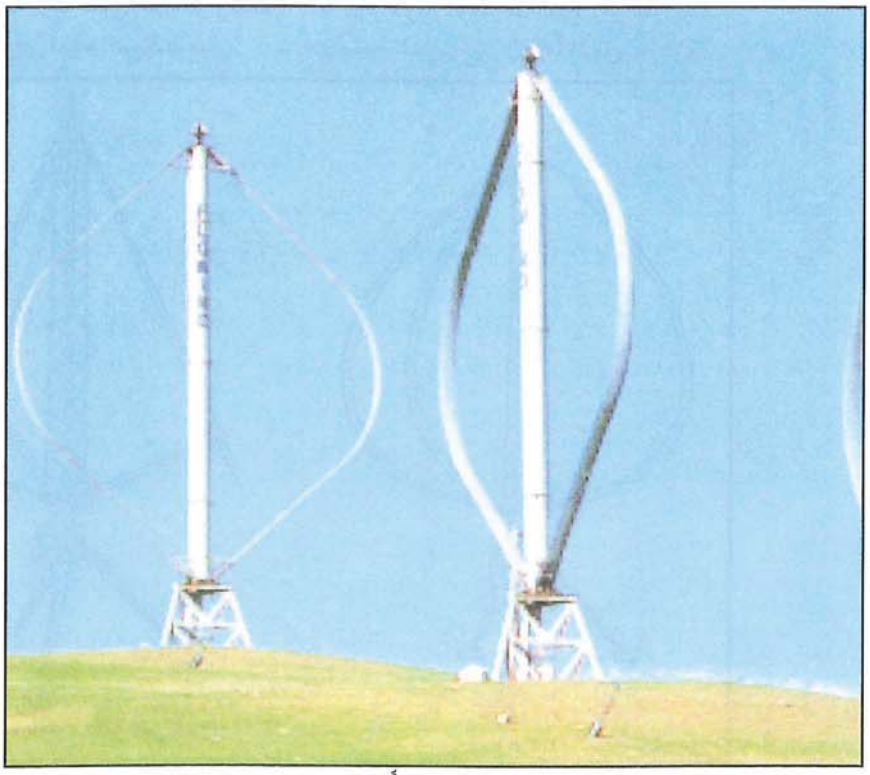
تستخدم الطاقة الكهربائية المنتجة بنظام التخزين الهيدروليكي لضخ الماء بوساطة مضخات توربينية إلى صهاريج مرتفعة ، حيث يكتسب الماء طاقة وضع كبيرة . وعند الحاجة يستخدم هذا الماء لإدارة المضخة التي تعمل عندئذ بطريقة معكوسة كتوربينة تولد الطاقة المفيدة.

• الهواء المضغوط

تستخدم الطاقة الكهربائية المنتجة بنظام الهواء المضغوط لإدارة ضاغط يضغط الهواء الذي يتم تبريده بعد ذلك ، ثم تخزينه في خزانات كبيرة لحين الحاجة إليه حيث يستخدم عندئذ لإدارة توربينة تولد الشغل المفيد.

• التخزين الحراري

تعتمد أنظمة التخزين الحراري على تخزين الطاقة على شكل طاقة حرارية محسوسة (Sensible heat) عند درجات حرارة مرتفعة أو على شكل حرارة كامنة (Latent heat) عند درجة حرارة ثابتة باستخدام صهر الجوامد أو تبخير السوائل . وعند الحاجة تسترجع هذه الطاقة على شكل حرارة ، وتتضمن عملية التخزين هذه هدراً لنوعية الطاقة لأن الطاقة الحرارية لا ترقى إلى مستوى جودة الطاقة الكهربائية التي تولدت منها أصلا . ومن المواد التي تصلح لتخزين الطاقة الحرارية بشكل محسوس الطوب ، والخرسانة ، والمجنيتايت ، وبرادة الألمنيوم ، وبرادة الحديد ، والماء . كذلك من المواد الصالحة لتخزين الطاقة الحرارية بشكل كامن هيكساهايدريت كلوريد الكالسيوم ، وكلوريد الحديد ، وحامض الفوسفوريك ، وهايدريد الليثيوم ، ونترات الليثيوم ، وهيدروكسيد الصوديوم ، وفلز الصوديوم.



• صورة توضح دوّار داريو.