المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة

RCREEE

Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency

كتيبات تبسيط المعلومات التقنية

رياح التغيير في أنظمة الطاقة العالمية والعربية

الكهرباء من الرياح

كتيبات تبسيط المعلومات التقنية

المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة

رياح التغيير في أنظمة الطاقة العالمية والعربية

الكهرباء من الرياح

EBN: 2012 / 4283
ISBN: 978 - 977 - 716 - 603 - 4

فيما عدا أي تعامل طبيعي لأغراض البحث أو الدراسات الخاصة أو النقض أو المراجعة فإن هذه الوثيقة يمكن فقط أن يعاد إنتاجها أو تخزينها أو نقلها بأي شكل وبأي وسيلة بتصريح كتابي مسبق من الكاتب أو المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة* وترسل الاستفسارات بشأن إعادة إصدارها خارج هذه الاشتراطات إلى الكاتب عبر بريده الإلكترونى maged.mahmoud@rcreee.org أو maged_mahmoud@hotmail.com

أو إلى المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة على العنوان التالي
RCREEE - Regional Centre for Renewable Energy and Energy Efficiency
Building of Hydro Power Plants Execution Authority,
7th fl., Block 11 - Piece 15, Melsa District, Ard El Golf, Cairo, Egypt
Tel.: +20 (2) 2415 46 91 Fax: +20 (2) 2415 46 61
E-mail: info@rcreee.org Website: www.rcreee.org

---

* تأسس المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (RCREEE) في شهر يونيو من عام 2008 ومقره القاهرة كمنظمة إقليمية تضم ثلاثة عشر دولة أعضاء هي الأردن والبحرين وتونس والجزائر والسودان وسوريا والعراق وفلسطين ولبنان وليبيا ومصر والمغرب واليمن. ويتم تمويله من قبل شركاء التنمية وهم مصر الدولة المضيفة وحكومتي ألمانيا والدنمارك والاتحاد الأوروبي.

كتيبات تبسيط المعلومات التقنية

رياح التغيير في أنظمة الطاقة العالمية والعربية

الكهرباء من الرياح

كتـــابة وإعـــداد

مهندس/ ماجد كرم الدين محمود

كبير الخبراء الفنيين بالمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة

مراجعـــة

السيدة/ أمال بيده

المدير التنفيذي للمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة

مهندس/ أشرف كريدي

كبير خبراء بالمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة

المحتـــويات

مقدمة 7
من أين نبدأ ؟ 8
لماذا طاقة الرياح ؟ 8
العوامل الأساسية المؤثرة على طاقة الرياح 10
ما هو معامل السعة ؟ 11
ماذا تقول أهم الدراسات والأبحاث في جدوى استغلال طاقة الرياح ؟ 12
طاقة الرياح في عالمنا العربي 13
تطور تقنيات استغلال طاقة الرياح 14
أنواع وتصميمات تربينات الرياح «أفقية المحور» 17
أي تربينات الرياح نختار ؟ 20
مقارنة بين تربينة الرياح والسيارة ! 21
الاعتبارات الهامة الواجب مراعاتها عند البدء في اختيار تربينات الرياح 21
مزارع الرياح.. نظرة متفحصة 24
صيانة مزارع الرياح 26
الأراضي وقدرات مزارع الرياح 28
تكامل دمج طاقة الرياح مع شبكات الطاقة الكهربائية 29
تطور تقنيات التنبؤ بالرياح 30
طاقة الرياح واعتماديتها 31
طبيعة الرياح المتغيرة.. والحل ؟ 32
السوق العالمي والعربي لطاقة الرياح 33
التصنيع المحلي لمكونات مزارع الرياح.. ومستقبل واعد 34
خـــــــــــاتمة 35

مقدمة

حقيقةً... إن العالم يتغير بسرعة! وأن أنظمة الطاقة ليست ببعيدة عن رياح هذا التغيير.. وأن علينا أن نستفيد ونستغل هذه الرياح في منطقتنا العربية قدر المستطاع.. وحين جاءت فكرة كتابة هذا الكتيب - والذي نشر معظمه في سلسلة من المقالات بمجلة الميكانيكا العربية على مدى عامي 2010 و 2011 إخترت له عنوانا «الكهرباء من طاقة الرياح - رياح التغيير في أنظمة الطاقة العالمية» وحاولت قدر الاستطاعة أن أقدم للزملاء الأعزاء خلاصة لبعض الخبرات والأبحاث في مجال طاقة الرياح معروضة بلغة عربية مُيَسرة ومدعومة بحقائق ومعلومات نظرية وعملية كثيرة حول طاقة الرياح وأهميتها.. وقد كان الوازع الأول هو تقليل ما نلمسه في حياتنا المهنية من نقص شديد في المادة العلمية العربية في هذا المجال!!

سنتناول هنا عدداً من الحقائق توضح أهمية وفوائد استغلال طاقة الرياح عالمياً وإقليمياً.. ومدى وجوب إعطائها الأولوية حين تتوافر العوامل والمواقع المناسبة نظراً لأبعادها الاقتصادية والبيئية الإيجابية! وسنناقش كذلك كيفية تحويل طاقة الرياح المتغيرة إلى طاقة كهربية ثابتة ومستقرة.. وكذا البدائل التصميمية الشائعة لتربينات الرياح ومكوناتها الرئيسية ووظائف تلك المكونات.

ثم سنعبر إلى المجال الأوسع.. وهو الحديث عن مشروعات محطات الرياح لإنتاج الكهرباء أو ما نسميه بـ «مزارع الرياح» وعن أهم مكوناتها، وتطور قدرات التربينات عبر العقود الثلاثة الأخيرة.. مع منح شيء من التفصيل عن أهم الاعتبارات الواجب الانتباه إليها عند اختيار التربينات ومواقعها للبدء في إنشاء مزارع الرياح. كما سنتناول بالشرح طريقة توزيع وتوصيل التربينات وشبكة الاتصالات بينها في مزارع الرياح وكذا مهام أنظمة التحكم والمراقبة، فضلاً عن التعرض لعدد من الجوانب الأخرى المكملة التي أرى أن لها أهمية قصوى في معرض الحديث عن مزارع الرياح!

وكلي رجاء أن تكون هذه المعلومات ذات نفع وفائدة للمهتمين بطاقة الرياح في عالمنا العربي.. وأن تدفعهم وتعينهم في أن يصقلوا وينقلوا بدورهم خبراتهم العلمية والعملية للآخرين -كل في مجاله- إسهاماً منا جميعاً في بناء نهضة حقيقية متواصلة لأمتنا العربية.. فَرُب مُبَلَغ منقول إليه العلم أوعى من سامع!

من أين نبدأ ؟

لعلـه قد أصبح من بديهيات الحديث حاليا القول بأن نشـر طرق اسـتغلال واسـتخدام الطاقات المتجـددة يعد أحـد أكثر الحلول جاذبيـة لكثير من الـدول العربية لمواجهة مشـكلة تغير المناخ وتوابعها.. أو حتى للاسـتفادة منها في جذب المزيد من الاسـتثمارات المحلية والأجنبية وكذا تنمية الصناعات المحلية وتحقيق أمن استراتيجي مستدام في مجال الطاقة.

ويبرُز في هذا السياق تساؤل هام!! وهو من أين نبدأ؟! وبأي نوع من أنواع الطاقات المتجددة؟!

الإجابة ببساطة.. إذا ما توافرت مصادر الطاقة المائية فهي الأجدر بالتوسع.

ولكـن مـا هو الموقف إذا شـحت تلك المصادر كما هو الحـال في العديد من الـدول العربية؟! أو إذا اسـتنفذت القدرات المائية المتاحة في مشـروعات عدة كما هو الحال فـي بعض الدول ومنها مثلاً مصر؟ وعادة ما نجد الإجابة جاهزة.. الطاقة الشمسية بالقطع!! فمنطقتنا العربية تقع في الحزام الشمسـي والشـمس متوفرة طوال العام والصحاري شاسـعة ومتاحة.. وهي وجهة نظر جديرة بالاهتمـام -قطعاً-.. ولكن واقع التطور العالمي الحديث في مختلف تكنولوجيات الطاقة المتجددة يقدم طرحاً آخر!!

لماذا طاقة الرياح ؟

طبقـاً لتقريـر الوضـع العالمـي للطاقة المتجـددة الصـادر فـي يوليـو 2011 عن شبكة سياسات الطاقة المتجددة للقرن 21 - REN21 وكمـا يوضح جدول رقم (1) - فـإن أنجح الطاقات المتجددة عقب طاقة المسـاقط المائية هي طاقة الرياح!! ويعزى ذلك إلـى كونها حالياً الأكثـر نضجاً من الناحيتين الفنية والإقتصادية.

تكنولوجيا الطاقة المتجددة	قدرات إنتاج الكهرباء فى نهاية 2010
محطات الرياح	198 ألف ميجاوات
محطات الكتلة الحيوية	62 ألف ميجاوات
المحطات الشمسية الفوتوفلطية	40 ألف ميجاوات
المحطات الجيوحرارية	11 ألف ميجاوات
محطات المركزات الشمسية الحرارية	1.1 ألف ميجاوات
طاقة الأمواج والمحيطات	0.3 ألف ميجاوات
محطات الطاقة المائية	1010 ألف ميجاوات

جدول رقم (1) قدرات إنتاج الكهرباء
من المصادر المتجددة نهاية 2010*

* *Source: REN21, Global status Report 2011, Energy Policy Network for the 21st Century*

أمـا من الناحية البيئية.. فإن أحـد تقارير الوكالة الدولية للطاقة تحـت عنوان «رؤى تكنولوجيات الطاقـة» الصادر في 2010 يقدم مقارنة للتأثيـرات البيئية المرتبطة بتكنولوجيات محطات إنتاج الكهرباء بالطرق المختلفة بروئيتين مختلفتين..

الأولى.. بتحليل «دورة الحياة» والتي تشـمل تأثيرات جميع الأنشـطة السابقة واللاحقة لتشغيل تلك المحطات!! ومنها مثلاً عمليات تصنيع المكونات وعمليات التخلص من المخلفات وغيرها.

والثانيـة.. بتحليل التأثيرات البيئيـة المرتبطة فقط بعملية إنتاج الكهربـاء في حد ذاتها. وكما يوضح الجدول رقم (2).. فإن محطات طاقة الرياح هي الأقل في مستوى إنبعاثات غاز «ثاني أكسيد الكربـون» -المسـبب الرئيسـي لظاهرة «الاحتبـاس الحراري»- بعـد المحطات النوويـة!! ثم المحطات الشمسية سواء الحرارية أو «الفوتوفلطية» ثم محطات الدورة المركبة العاملة بالغاز الطبيعي.

التكنولوجيا	إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون (طن/ م. س.)	تأثيرات دورة الحياة (قبل وبعد الإنتاج)			تأثيرات إنتاج الكهرباء		
		الهواء	المياه	الأراضي	الهواء	المياه	الأراضي
الدورة البخارية فوق الحرجة العاملة بالفحم Ultra-super critical plant	0,777	التكنولوجيا المرجعية للمقارنة النسبية التالية					
محطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي	0,403	إيجابي	إيجابي	إيجابي	إيجابي	إيجابي	إيجابي
المحطات النووية	0,005	إيجابي	متغير/ غير مؤكد	متغير/ غير مؤكد	إيجابي	سلبي	إيجابي
محطات المركزات الشمسية الحرارية	0,017	إيجابي	إيجابي	إيجابي	إيجابي	سلبي	محدود
محطات الخلايا الشمسية الفوتوفلطية	0,009	إيجابي	إيجابي	إيجابي	إيجابي	إيجابي	محدود
محطات الرياح	0,002	إيجابي	إيجابي	إيجابي	إيجابي	إيجابي	متغير/ غير مؤكد

جدول رقم (2) تحليل التأثيرات البيئية المرتبطة بعملية إنتاج الكهرباء*

* *Source: IEA, 2010*

ولكن لا يفوتنا أن نذكر هنا أثر محطات الرياح السلبي على مساحات الأراضي!! حيث أن طبيعة استغلال طاقة الرياح تستلزم شَغْل مساحات واسعة من الأراضي تبلغ حوالي كيلومتر مربع واحد لكل من 5 إلى 9 ميجاوات مركبة!! بينما يكون هذ الأثر محدوداً في حالة محطات الطاقة الشمسية.. والتي تستلزم شَغْل مساحات من الأراضي تبلغ حوالي كيلومتر مربع واحد لكل من 40 إلى 50 ميجاوات مركبة!! ووفقاً لذلك.. فإنه من حسن الطالع أن عالمنا العربي يزخر بالمساحات الشاسعة من الأراضي الصحراوية غير المأهولة وغير المستغلة.. وبالتالي يجوز لنا أن نرى أثراً إيجابياً في إستغلال تلك المساحات الشاسعة في مشروعات الطاقة المتجددة.. وخاصة طاقة الرياح.

العوامل الأساسية المؤثرة على طاقة الرياح

تتناسب الطاقة الكامنة في الرياح مع ثلاثة عوامل أساسية..

أول هذه العوامل هو سرعة الرياح.. وفي الواقع لا تتناسب الطاقة الكامنة في الرياح طردياً مع سرعة الرياح فقط.. بل تتناسب طردياً مع مكعب سرعة هذه الرياح!! وبحسبة بسيطة يمكننا بسهولة استنتاج أنه إذا ما كانت سرعة الرياح في موقع ما ضعف سرعتها في موقع آخر.. فإن الطاقة الكامنة المحتواة في رياح الموقع الأول ستزيد ثمانية أضعاف عن تلك الكامنة في رياح الموقع الثاني الأبطأ. ومن هنا يتبين لنا أهمية السعي للتعرف على المواقع الأعلى في سرعات الرياح ورسم خرائط لها.

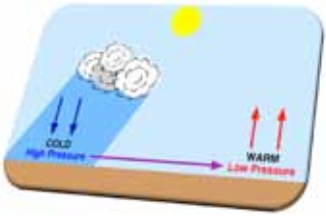
ثاني هذه العوامل هي كثافة الهواء.. وهي علاقة طردية.. ويعني هذا ببساطة أنه كلما كان الموقع أبرد في درجات الحرارة كلما زادت كثافة الهواء به وكلما زادت الطاقة المحتواة في الرياح المارة به.. والعكس صحيح.

ثالث هذه العوامل هي المساحة الدائرية التي سيمر خلالها الهواء عبر التربينة.. أي مساحة دوران ريش تربينة الرياح نفسها. وهذه المساحة الدائرية تتناسب بالطبع مع مربع طول ريشة التربينة -التي تمثل نصف قطر المساحة الدائرية-.. وهذا يفسر لنا سبب السعي الدائم نحو تكبير احجام التربينات ونحو السعي إلى زيادة أطوال ريش التربينات وبالتالي زيادة أقطار دوران ريش التربينات.

الطاقة فى الرياح =

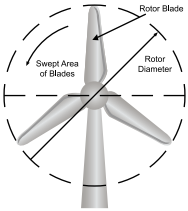
½ x كثافة الهواء x مساحة دوران الريش x (سرعة الرياح)^3

V^3



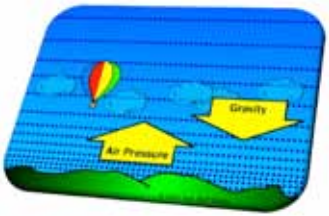
السرعة اللحظية
(وليست السرعة المتوسطة)

A



المساحة = πr^2

ρ



كثافة الهواء = P/(RxT)
P - الضغط (Pa)
R - الثابت النوعى للغازات (287J/kgK)
T - درجة حرارة الهواء (K)

m/s	m^2	kg/m^3

معرفة سرعة الرياح ضرورية وحرجة لتقييم الطاقة المتاحة

ما هو معامل السعة ؟

عادة ما يبحث المتخصصون في مجال طاقة الرياح عن مؤشر هام لكل موقع يسمى بـ «معامل السعة» أو الـ Capacity Factor وللتبسيط يمكننا فهم مؤشر «معامل السعة» كنسبة الطاقة الكهربية الفعلية المُنْتَجَة من محطة رياح ما.. مقارنة بما كانت سوف تنتجه وهي تعمل بكامل طاقتها طوال العام. حيث أن سرعات وإتجاهات الرياح من المتغيرات دائماً لأي موقع!

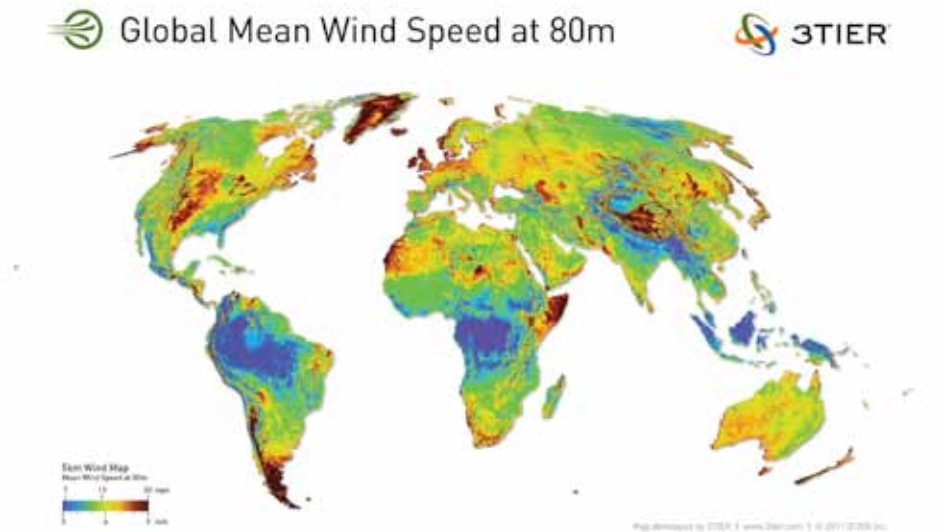
تبسيطات مفيدة

إذا تضاعفت سرعة الرياح.. زاد محتوى الطاقة في الرياح ثمانية مرات
إذا زاد قطر التربينة مرتين.. زادت الطاقة المستفاد منها أربعة مرات
إذا زاد ارتفاع التربينة واحد متر.. غالباً ما تزيد الطاقة المنتجة بنسبة 1٪
كل واحد كم مربع.. يمكنه استيعاب 5-9 ميجاوات من التربينات متوسطة القدرة

ماذا تقول أهم الدراسات والأبحاث في جدوى استغلال طاقة الرياح ؟

لقد قام الباحثون بجامعة ستانفورد الأمريكية بإجراء تقييم لسرعات الرياح على مستوى العالم وعلى ارتفاع 80 متراً من سطح الأرض.. واتضح أن نحو 13% من مسطحات العالم تمر عليها سرعات رياح أعلى من 6,9 م/ث!! وهو الحد الذي يُعتبر عادة أقل حد مناسب لتوليد الكهرباء من الرياح على نحو اقتصادي! واتضح أيضاً أنه باستغلال 20% فقط من هذه الطاقة سيتم سد أكثر من سبعة أضعاف احتياجات العالم الكهربية!! كما أشارت إحدى الدراسات الهامة التي أُجريت في ألمانيا عام 2003 أن الإمكانيات الفنية والتكنولوجية الحالية لإنتاج الكهرباء من طاقة الرياح عالمياً براً وبحراً تستطيع نظرياً توليد نحو 278 ألف تيرّاوات ساعة سنوياً.. وذلك بعد استبعاد الأراضي الحضرية والغابات والمحميات والمناطق الثلجية والكثبان الرملية وغيرها من الأراضي غير الصالحة.. وبافتراض الاستفادة فعلياً من 10 إلى 15% فقط من هذه الطاقة فسيمكن توليد نحو 39 ألف تيرّاوات ساعة سنوياً! وهو ما يزيد على ضعف احتياجات العالم حالياً من الطاقة الكهربية!!

وقد أطلقت شركة 3TIER الأمريكية العاملة في مجال تقنيات طاقة الرياح برنامج طموح لرسم خريطة توزيع كثافة طاقة الرياح عالمياً Mapping the World.. وهي التي تظهر في الشكل السفلي. وذلك بدعم من برنامج الأمم المتحدة للبيئة الذي غطى 13 دولة نامية.



طاقة الرياح في عالمنا العربي

في عالمنا العربي تعد طاقة الرياح الفاعلة متركزة بشكل أو بآخر في مناطق بعينها.. وليست متوفرة في كل مكان وبالرغم من هذا فإن شبكات الكهرباء القائمة وتوسعاتها المخططة قد تتيح نقل هذه الطاقة من مواقع توليدها إلى أماكن احتياجها. ويوجد لدى عدد من دول المنطقة إما أطلس للرياح أو خرائط توضح سرعات الرياح في المناطق المختلفة والمثير في هذا أن الكثير من تلك المواقع تتميز برياح ذات خصائص رائعة من حيث إمكانية استغلالها لإنتاج الكهرباء.

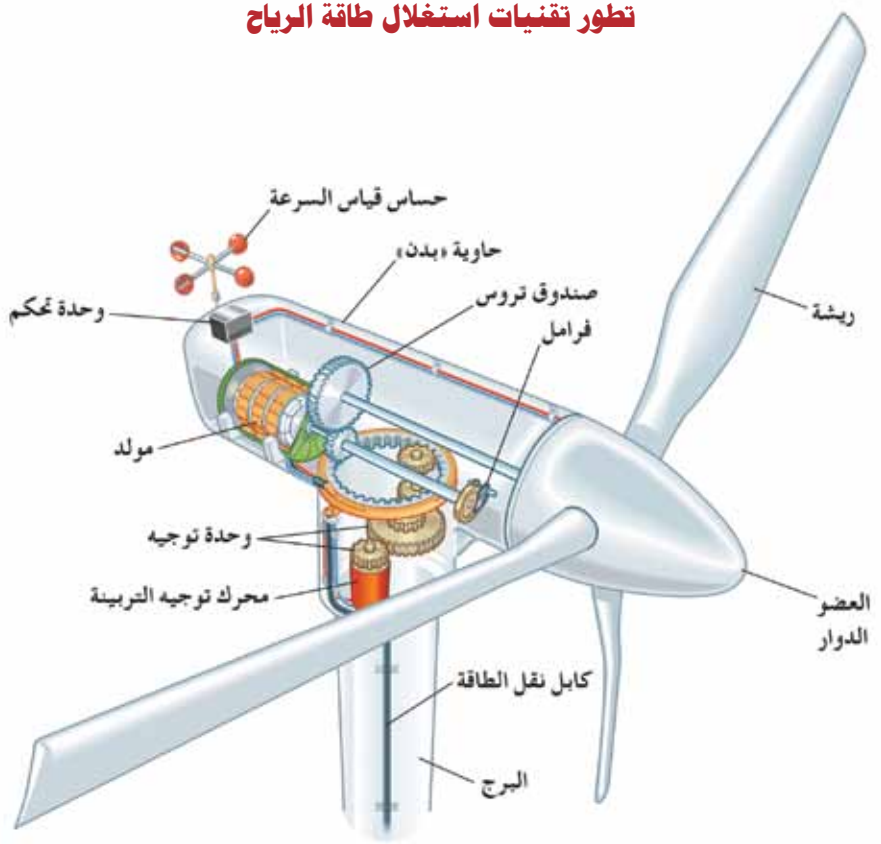
الدولة	معامل السعة (%)	الدولة	معامل السعة (%)
الجزائر	20	المغرب	31
البحرين	16	عمان	28
مصر	34	قطر	16
العراق	20	السعودية	20
الأردن	17	سوريا	20
الكويت	18	تونس	20
لبنان	13	الإمارات	13
ليبيا	22	اليمن	17

جدول (3) متوسطات معامل السعة بالدول العربية

فدول مثل مصر والمغرب وعمان لديها مواقع بها متوسط سرعات رياح سنوي يتراوح ما بين 9 و 11 متراً في الثانية.. و«بمعاملات سعة» تتجاوز حاجز الـ 30% سنوياً وذلك مقارنة بمتوسط عالمي يتراوح ما بين 20 و 25%!! وكذلك توجد العديد من المواقع بها متوسط سرعات رياح سنوي يتراوح ما بين 7 و 8 متراً في الثانية.. وهي تصلح أيضاً لإنتاج الكهرباء. ويوضح الجدول رقم (3) المتوسط السنوي لـ «معاملات السعة» بالدول العربية قمت بتقديرها إستناداً على دراسة منشورة من برنامج الأمم المتحدة الإنمائي حول وضع الطاقة المتجددة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

نماذج من اطلس الرياح والخرائط المتوفرة ببعض الدول العربية

تطور تقنيات استغلال طاقة الرياح



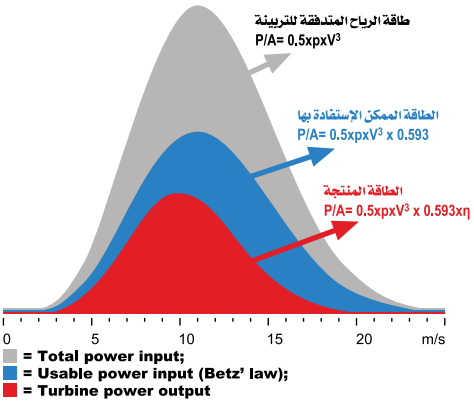
من المعروف أن تربينات الرياح الحديثة تُسْـتَخدم لتحويل طاقة الرياح الحركية إلى طاقة كهربية.. ويتـم ذلـك من خلال تَسَـبُب تدفق الهـواء في تدوير مجموعـة من الريـش Blades ذات تصميم «إيروديناميكـي» إنسـيابي يشـبه كل منها إلى حد كبيـر جناح الطائرة.. وهـذه الريش مرتبطة معـاً في «صُرة» Hub فيما يشـبه المروحـة.. والتي تدير بدورها عامود محـوري يغذي مولد كهربي Generator بالطاقة الحركية اللازمة لتوليد الكهرباء.. ويتم ذلك عبر وسـائل نقل حركة مناسبة متضمنـة أعمدة إدارة وصندوق تروس Gear box في معظـم الأحوال.. وتكون هذه المكونات داخل حاوية «بدن» Nacelle مثبتة أعلى برج اسـطواني معدني مثبت بدوره على قاعدة خرسانية. كما تضـم الحاوية أيضاً وسـائل للحماية والفرامـل Brakes وبعض معدات التحكـم الأخرى وكذلك

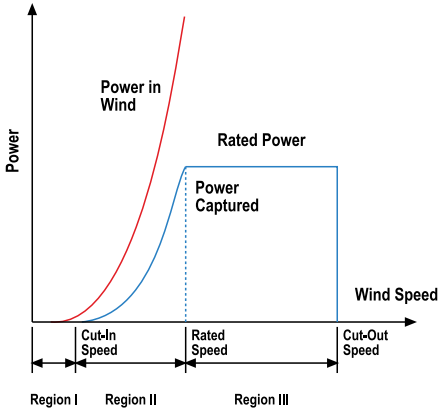
محول التيار الكهربي Transformer اللازم لنقل التيار المتولد وربطه بشبكة الكهرباء المحلية. كما أنها تحول الأحمال الهيكلية structural loads التي تقع عليها من الرياح أو نتيجة الحركات الميكانيكية والعزوم التي تحدث في قلبها إلى البرج الذي تتصل به من أسفلها.. ويقع بينهما نظام لتوجيه الحاوية والريش Yawing System إلى اتجاه الرياح لضمان الاستفادة بأكبر قدر ممكن من طاقتها. وقد يُثبت في أسفل برج التربينة نظام التحكم والتشغيل والمراقبة لأداء التربينة. ويمكن أن تختلف ارتفاعات الأبراج لنفس طُرُز التربينة مما يؤدي إلى الحصول على طاقة أكبر.. حيث تزداد سرعة الرياح كلما زاد ارتفاع برج التربينة! ومن أحد أكبر تربينات الرياح التجارية في العالم حالياً تربينة Enercon E-126.. وهي تربينة ألمانية تولد 6 ميجاوات من الطاقة وتعتزم شركة Enercon رفعها إلى 7.5 ميجاوات. ويبلغ ارتفاع مركز دوران الصرة Hub الخاصة بها 135 متراً.. ويبلغ قطر دوران ريشها 126 متراً.. وأقصى ارتفاع لها متضمناً قمة الريش 198 متراً.

إن جميع تربينات الرياح الحديثة التي تم وصفها والحديث عنها تسمى تربينات الرياح «أفقية المحور» ويرمز إليها بـ HAWTs وهي اختصاراً لـ Horizontal Axis Wind Turbines. حيث أن محور دوران الصرة Hub التي تحمل الريش هو المحور الأفقي الموازي لسطح الأرض. وهي التربينات الأكثر شيوعاً ونضجاً تصميمياً مقارنة بنوع آخر كان مجالاً للبحث والتطوير على نطاق واسع في حقبة

الثمانينات من القرن الماضي.. وهو تربينات الرياح «رأسية المحور» VAWTs وهي اختصاراً لـ Vertical Axis Wind Turbines.. حيث يكون محور دورانها عمودياً على مستوى سطح الأرض! ولم تُثْبت التربينات رأسية المحور القدرة على المنافسة تجارياً في المشروعات الكبرى وإن كانت لها تواجد في المشروعات والتطبيقات الصغيرة.... ويرجع تَمَيُز التربينات أفقية المحور إلى كونها ذات معاملات تحويل طاقة أعلى.. كما أنها أكثر استقراراً من ناحية تحمل التعرض للأحمال والإجهادات.. ويمكن تطوير تربينات ذات قدرات كبيرة نسبياً منها.

جدير بالذكر أنه من الناحية النظرية فإنه لا يمكن لأي تربينة رياح الاستفادة بأكثر من حوالي 59% من الطاقة المتاحة بالرياح.. وتقل الطاقة المنتجة بالقطع عن ذلك إذا ما وضعنا في الاعتبار كفاءة تحويل الطاقة عبر المكونات المختلفة للتربينات مثل الريش وصندوق التروس والمولد والمحول الكهربين وغيرها. وتبدأ التربينات عادة في إنتاج الكهرباء عندما تصل سرعة الرياح إلى حوالي 4 متر في الثانية.. وتسمى هذه السرعة آنذاك بـ «سرعة الدخول» Cut-in Speed ومن ثم تزيد الطاقة المُوَلَدَة مع زيادة سرعة الرياح حتى تتراوح سرعات الرياح ما بين 10 إلى 14 متراً في الثانية للإنتاج التصميمي الإسمى لها Rated Power -مثلاً تربينة 660 كيلووات- ثم يظل الإنتاج في حدود هذه القدرة مع زيادة السرعة.. حتى تصل سرعة الرياح إلى أقصى حد من الممكن أن تتحمله مكونات وأجزاء التربينة من حيث الإجهادات الميكانيكية.. وهو حد الـ 25 متراً في الثانية وتسمى هذه السرعة Cut-out Speed.. وعندها يجب استخدام الفرامل وإيقاف التربينة عن العمل فوراً!!





أنواع وتصميمات تربينات الرياح «أفقية المحور»

يمكننا التمييز بين تربينات الرياح طبقاً لقدراتها كوحدات صغيرة بين 20 وات و 100 ك.وات ووحدات كبيرة ذات قدرات أعلى من ذلك.

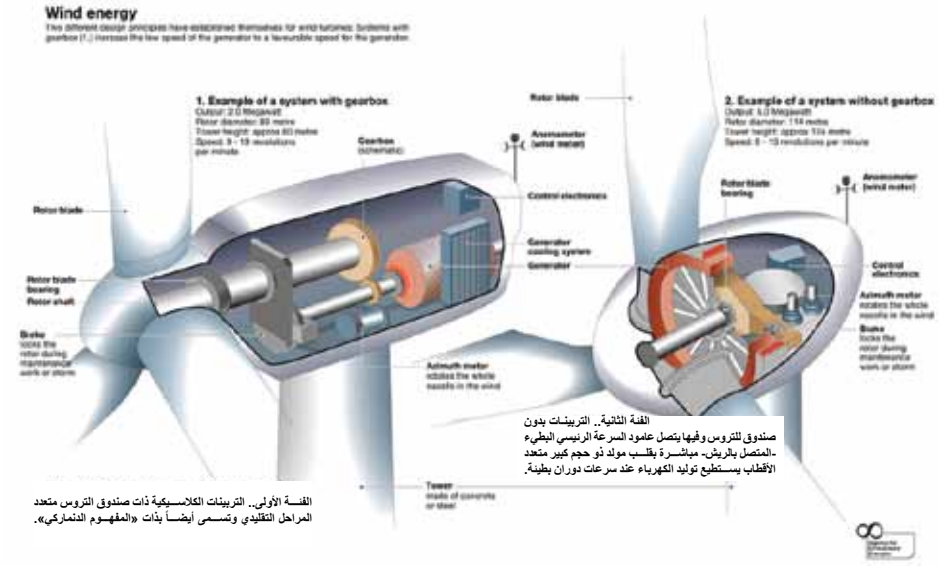
تربينات الرياح الصغيرة..

تصنف الوحدات الصغيرة في عدد من القدرات وهي التربينات الميكرو «20 حتى 500 وات» والتي تستخدم في تطبيقات متنوعة مثل شحن البطاريات للسيارات والقوارب الترفيهية"، ثم التربينات 1-10 ك.وات يمكن استخدامها في تطبيقات مثل ضخ المياه. وآخيراً التربينات المستخدمة في التطبيقات المنزلية تتراوح قدراتها بين 400 وات و100 ك.وات للأحمال الكبيرة. ويوضح الشكل مكونات تربينة صغيرة. وللتبسيط على سبيل المثال فإن المنزل النمطي الغربي يستخدم حوالي 10آلاف ك.و.س سنويا (830 ك.و.س شهرياً) وطبقاً لسرعة الرياح في الموقع يمكن استغلال توربينة 5-15 ك.و. بينما المنزل المتوسط المصري يستهلك 300 ك.و.س شهرياً. وبافتراض وجود سرعة رياح متوسطة سنوياً حوالي 6.5 م/ث فإن توربينة 15 ك.وات ستفي باحتياجاته. ويمكن أن تكون تربينة الرياح ضمن منظومة «هجينة» قد تتضمن أيضاً مولد ديزل أو نظام خلايا وبطاريات بما يضمن إستمرارية التشغيل في المناطق المعزولة. أو قد تكون مرتبطة بالشبكة في حالة سماح شبكات الدولة بربط مثل هذه الوحدات الصغيرة للإستهلاك الذاتي أو للبيع لشركات توزيع الكهرباء بتعريفة متميزة كنوع من التحفيز للطاقات المتجددة.

تربينات الرياح الكبيرة..

تُصَنَف تصميمات تربينات الرياح التجارية الكبيرة ضمن ثلاث فئات رئيسية..

الفئـة الأولى.. التربينات الكلاسـيكية ذات صندوق التروس متعدد المراحـل التقليدي وتظهر في يسـار الشـكل.. وتسـمى أيضاً بذات «المفهوم الدنماركـي» Danish Concept. ويقـوم فيها عادة صندوق تروس ذو ثلاث مراحل بنقل الحركة من عامود السـرعة الرئيسي البطيء -المتصل بالريش- إلى عامود إدارة المولد (الأعلى سرعة) ومن ثم تبدأ عملية توليد الكهرباء.



الفئـة الأولى.. التربينات الكلاسـيكية ذات صندوق التروس متعدد المراحل التقليدي وتسـمى أيضـاً بذات «المفهـوم الدنماركي».

الفئة الثانية.. التربينات بدون صندوق للتروس وفيها يتصل عامود السرعة الرئيسي البطيء -المتصل بالريش- مباشـرة بقلـب مولد ذو حجم متعدد الأقطاب يسـتطيع توليد الكهرباء عند سـرعات دوران بطيئة.

الفئة الثانية.. هي التربينات بدون صندوق للتروس Gearless Turbines وتظهر في يمين الشـكل.. وفيها يتصل عامود السـرعة الرئيسـي البطيء -المتصل بالريش- مباشـرة بقلب مولد ذو حجم كبيـر متعدد الأقطاب يسـتطيع توليد الكهرباء عند سـرعات دوران بطيئـة.. وهي من نفس نوع التربينة الألمانية Enercon E-126 أكبر تربينة رياح في العالم الآن.

الفئة الثالثة.. فهي هجين بين التصميمين السـابقين بحيث تسمح بمولد أصغر وكذلك صندوق تروس أصغر يتكون عادة من مرحلة واحدة.

إن التربينات الكلاسيكية ذات التصميم الدنماركي -الفئة الأولى- لا يمكن فيها تغيير زاوية حركة ريش التربينة مع تغير سرعات واتجاهات الرياح! وهي تعتمد فقط على التصميم الـ «إيروديناميكي» للريشة الذي يؤدي إلى انفصال الهواء عن سطح الريش عند السرعات العالية غير المرغوب فيها للرياح.. ولذلك تسمى بالـ Stall Controlled Turbines.

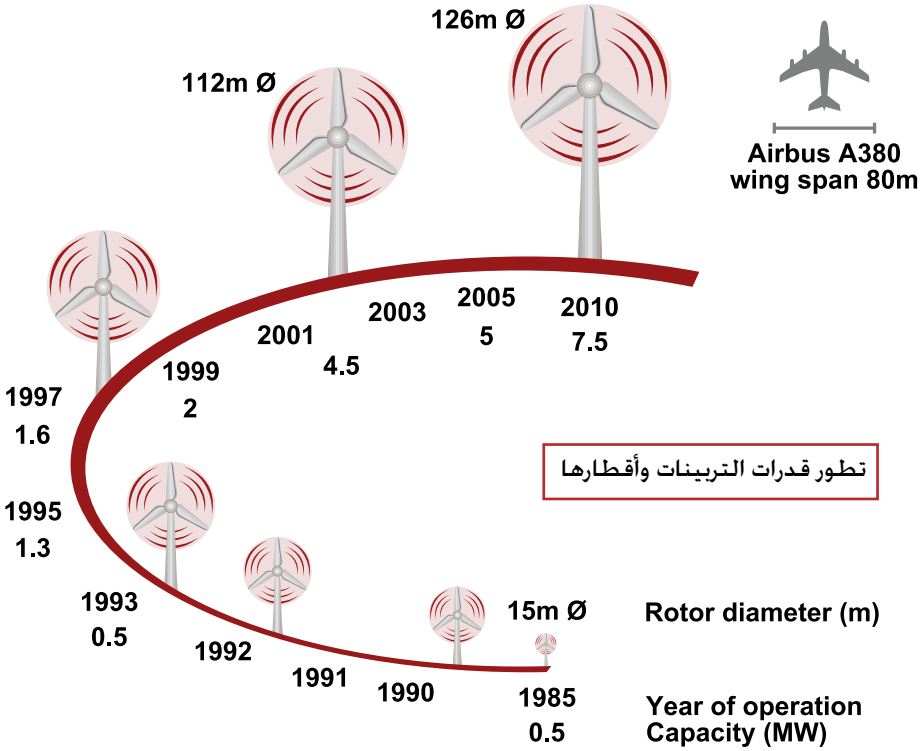
ولكن معظم التربينات الحديثة الآن تعتمد على وجود أنظمة تحكم ميكانيكية وكهربية في الصرة Hub تتيح تحريك زوايا ريش التربينة بما يسمح بتغيير زاوية استقبال الريشة للهواء المندفع إليها لتعظيم الاستفادة من الطاقة في حالة السرعات المنخفضة للرياح.. وتخفيضها عند سرعات الرياح القصوى التي لا تتحملها التربينة.. ولذلك تسمى بالـ Pitch Controlled Turbines. فضلاً عن ذلك فإن التربينات الحديثة ذات تصميمات مولدات متنوعة سواء الحثية أو التزامنية منها.. الأمر الذي أتاح دوراً أكبر للإلكترونيات Power electronic والارتقاء بجودة وكفاءة الطاقة الكهربية المُنْتَجَة والثبات النسبي لخصائصها بالرغم من التغيرات الطبيعية في سرعات واتجاهات الرياح.

وكما ذكرنا من قبل فإنه يوجد في أسفل برج كل تربينة عادة وحدة التحكم Controller في التربينة والتي هي عبارة عن كمبيوتر به أكثر من مُعَالِج دقيق Microprocessor.. كل منها له مجموعة من الوظائف تتضمن برامج لمراقبة الأداء لتأمين الحماية الكاملة للتربينة أثناء التشغيل وبرامج لجمع ومعالجة العديد من القياسات من جهد وتيار وتردد وغيرها من حسابات الطاقة. كما أن هناك برامج لتشغيل دوائر الهيدروليك ومراقبة الضغوط وقياس درجات الحرارة في الأماكن الهامة بالتربينة مثل كراسي التحميل Bearings العملاقة في صندوق التروس والمولد وعمود السرعة البطيئة وملفات المولد وغيرها لحمايتها من التآكل والانهيار.. وكذلك هناك برامج لقياس سرعة واتجاه الرياح والتحكم في زاويا الريش عن طريق دوائر هيدروليكية لتنظيم عملية إنتاج الطاقة Power regulation. ويتم قياس أيضاً سرعة دوران عمود السرعة البطيئة والسريعة كما تتم مراقبة أداء التربينة عن طريق مجموعة من إشارات التغذية العكسية وبذلك تعمل كل تربينة كوحدة مستقلة. وكما يحوي نظام التحكم والتشغيل مجموعة متطورة من الكروت الذكية التي تؤمن فصل وتوصيل التربينة بشبكة الكهرباء المحلية لحماية الكابلات والمكونات الكهربية مثل الكونتاكتورات والفيوزات بخلاف كروت الذاكرة اللازمة لتخزين البيانات والقراءات المتراكمة لكل المتغيرات الفنية.

أي تربينات الرياح نختار ؟

إن المكون الرئيسي لمحطات أو لمزارع الرياح هو التربينات.. ولابد لنا هنا من التأكيد أن صناعة تربينات الرياح قد رفعت على نحو متسارع من قدرات وأقطار التربينات على مدى السنوات الماضية مما رفع بدوره من اقتصاديات مشروعات استغلال طاقة الرياح كما يظهر في الشكل.

وغالباً ما تحصل تلك التربينات الضخمة على شهادات تفيد بقدرتها على العمل عند الارتفاعات والظروف المختلفة بما يتوافق وظروف المواقع التي ستُرَكب بها. حيث تعد تربينات الرياح أفقية المحور حالياً هي أكبر الآلات الدوارة في العالم!! فالمسافة بين طرفي جناحي أكبر طائرة ركاب في العالم وهي الـ Airbus A380 حوالي 80 متراً.. في حين أن التربينة التي قدرتها 6 ميجاوات يبلغ قطر دوران ريَشـــها 126 متراً.. ويرتفع برجها إلى نحو 138 متراً.. أي أن أقصى ارتفاع لطرف الريشـــة يصل إلى إرتفاع كلي يبلغ حوالي 200 متر من قاعدة البرج!!



مقارنة بين تربينة الرياح والسيارة

في موقع جيد من حيث سرعات الرياح ستنتج تربينة مثل التي أشرنا إليها منذ قليل حوالي 12 مليون كيلووات ساعة من الطاقة الكهربائية سنوياً.. وهو ما يكفي لتوفير احتياجات أكثر من ألفي منزل بمستويات المعيشة الأوروبية من الطاقة! مع العلم بأن التربينات تصمم ليصل عمر تشغيلها إلى عشرين عاماً! أي أن زمن تشغيلها الفعلي سيربو على مائة وعشرين ألف ساعة تقريباً!! وعند المقارنة بالسيارة مثلاً سنجدها تقطع في عمرها التشغيلي الافتراضي حوالي 300 ألف كيلومتراً.. وبمتوسط سرعة يبلغ حوالي 60 كيلومتراً في الساعة.. أي أنها ستعمل في النهاية لمدة حوالي خمسة آلاف ساعة فقط!! وبهذا يمكننا تصور مستوى الدقة والتكنولوجيا المطلوب لتصميم وتصنيع تربينات الرياح مقارنة بالسيارات مثلاً.

ولكن السوق العالمي يزخر حالياً بالعشرات من مصنعي تربينات الرياح.. ولذلك من الضروري الحذر والحيطة عند البدء في اختيار التربينات لإنشاء مزارع الرياح.. حيث أن سوء التقدير في هذا الشأن سيترتب عليه مخاطر جمة منها انخفاض إنتاجية وكفاءة التربينة أو حتى توقفها عن العمل! وبالتالي عدم إنتاجها الطاقة الكهربية المتوقعة منها وإنخفاض العائد الاقتصادي المرجو منها.. فضلاً عن الجهود والوقت والتكاليف المتكبدين في عمليات الصيانة والإصلاح غير المخطط لها وأيضاً الغرامات والجزاءات المترتبة على عدم الوفاء بالالتزامات التعاقدية وغير ذلك مما قد يسهل أو يصعب تصوره. ولذلك أرى ضرورة مراعاة بعض الاعتبارات الهامة عند البدء في اختيار التربينات لبناء مزارع الرياح.. وهي اعتبارات استخلصتها من مشاركتي العملية في العديد من المشروعات الكبرى.. ويمكن إيجاز أهمها فيما يلي:

الاعتبارات الهامة الواجب مراعاتها عند البدء في اختيار تربينات الرياح !

(1) سرعات الرياح.. حيث تصنف التربينات لفئات Classes طبقاً لسرعات الرياح التي من المفترض أن تمر عليها. حيث يتم تحديد فئات الرياح - طبقاً لمواصفات للجنة الدولية الكهروتقنية IEC 61400 طبقاً لثلاث عوامل أساسية هي متوسط سرعة الرياح بالموقع V_{ave} وسرعة أقصى عاصفة على مدى 50 عاماً V_{50} ونسبة الاضطراب «الانحراف المعياري» في تغير سرعة الهواء منسوبة لسرعة قياسية 15 م/ث I_{15}، وتقاس كل السرعات عند مستوى إرتفاع محور دوران الريش

hub height. وتصنـــف التربينات طبقاً للســـرعات في خمس فئات يرمز لهـــا بالأرقام اللاتينية من واحد I وحتى خمسة IV بينما ينسب مستوى الاضطراب لفئتين هما A و B. ومن البديهي الحاجة إلى أن تكون التربينة «أقوى» ميكانيكيا وكهربياً كلما زادت السرعات المتوسطة والقصوى ولكن لابد أيضاً من ملاحظة أن مستوى الاضطراب يلعب دوراً هاماً في تصميم التربينات حيث كلما زاد مستوى الاضطراب كلما كانت الأحمال والإجهادات التصميمية أكبر ولهذا لابد من تحديد مستوى الاضطـــراب بالموقع (طبقاً لتغيرات الســـرعة الحقيقية) وبالتالي تحديد نوع التربينة المناســـب لها. ويوضح الجدول ملخصاً للسرعات المتوسطة والقصوى ونسب الاضطراب المعمول بها. ونلاحظ أن التربينات المصممة لفئات سرعات متوسطة ومنخفضة (II وما دون ذلك) وفئات إضطراب B تكون متعرضة لأحمال أقل لذا يمكن تصميمها بأقطار وارتفاعات أكبر تمكنها من اقتناص أكبر قدر من الطاقة عند مستويات السرعات المتوسطة والمنخفضة.

WTG Class	I	II	III	IV
V_{ave} average wind speed at hub-height (m/s)	10.0	8.5	7.5	6.0
V_{50} extreme 50-year gust (m/s)	70	59.5	52.5	42.0
I_{15} characteristic turbulence Class A	18%			
I_{15} characteristic turbulence Class B	16%			

وتتميز بعض المواقع في المنطقة العربية بتوافر ســـرعات رياح عالية يصل متوســـطها الســـنوي في بعض المناطق إلى ما يزيد عن 10 م/ث. الأمر الذي يســـتلزم أن تكون التربينات مصممة للعمل في ظروف الســـرعات العالية وتتحمل الإجهادات الناشـــئة عن ذلك. وهي بذلك تتعدى مواصفات تربينات الفئة الأولى IEC Classs I. قد يستلزم الأمر فضلا عن كون التربينات حاصلة على شهادة من جهة دولية كتربينة من الفئة الأولى أن يتم الحصول على شهادة للعمل في ظروف الموقع Site Specific Certification.

(2) خصائص الموقع.. هناك العديد من العوامل المؤثرة في إختيار المواقع أهمها كما أوردنا سرعات الرياح ونســـب الإضطراب في ســـرعات الرياح بالموقع. وكذلك طبيعة طبوغرافيا وتضاريس الموقع والتي تؤثر في توزيع التربينات وكلما كان الموقع ذو طبيعة منبسطة وابرد مناخاً كلما كان أنسب لمشـــروعات الرياح. وتعد طبيعة المناطق المحيطة بموقع المشـــروع ذات أثر بالغ في إرتفاع أو انخفاض سرعات الرياح بالموقع إذ أن زيادة السرعة مع الإرتفاع (التوزيع الرأسي للرياح) تقل مع زيادة خشونة الســـطح. ويعد أفضل الأسطح على الإطلاق الأســـطح المائية حيث الخشونة منعدمة تقريباً. ثم

المواقع المفتوحة التي ليست بها غابات أو تجمعات سكنية قريبة!! ولا يخفي على أحد أن مناخ أهم المواقع المناسبة لإقامة مشروعات الرياح في الدول العربية تسود به درجات حرارة عالية مما يستلزم قدرة التربينة على العمل بكفاءة عند 45 درجة مئوية أو أعلى! وليس 40 درجة مئوية كحد أقصى كما هو معتاد في المواصفات العالمية!! لذا عادة ما تقوم الشركات الكبرى المصنعة لتربينات الرياح بإنتاج طراز معدل خصيصاً ليتناسب مع المناطق الصحراوية الحارة Hot Climate Version. حيث أن طبيعة المواقع الصحراوية تفرض على المصممين أن تكون التربينات المركبة بها معزولة ضد الرمال ومصممة لحماية مكوناتها الداخلية من الرمال والأتربة التي من المتوقع أن تحملهما الرياح إلى أعلى وبكثافة في مثل هذه المواقع الصحراوية ذات البيئة القاسية.

ومن الإعتبارات الأخرى التي يجب الالتفات إليها تلك الخاصة بوقوع بعض مواقع الرياح في مسارات هجرات الطيور الموسمية والسنوية!! الأمر الذي يفرض على المصممين تحديد إرتفاع معين لا يجب أن تتجاوزه التربينات حتى لا تصطدم بها أسراب الطيور.. وأيضاً أخذ تدابير إحترازية إضافية لضمان عدم جذب مثل تلك الطيور المهاجرة إلى مواقع الرياح منها مثلاً إزالة المسطحات الخضراء ذات الثمار أو الحبوب أو المسطحات المائية المحيطة بمزرعة الرياح.

(3) سابقة خبرة التربينات.. حيث أنه من الأفضل الحرص على أن تكون التربينات المرغوب في تركيبها قد تم تشغيلها وتجربها بنجاح على نطاق تجاري.. وذلك من خلال تقديم معلومات معتمدة من جهات رسمية تثبت أن نفس نوعية التربينة المقترحة للمشروع قد عملت بنجاح لعدد من السنوات تتراوح بين عام و 3 سنوات في مشروعات تجارية بإتاحية لا تقل عن 95%.

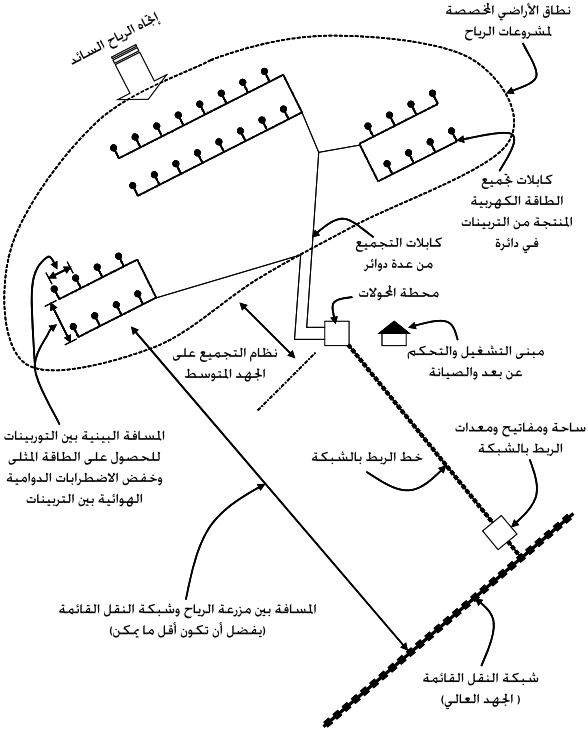
(4) البنية التحتية الأساسية اللازمة.. مثل توافر وانتشار شبكات توزيع الكهرباء في نطاقات معقولة. وأيضاً ملائمة الطرق المحيطة والمؤدية للمزرعة لعمليات نقل المكونات ذات الأقطار والأطوال والأوزان الكبيرة للتربينات. وكذلك ضرورة توافر الأوناش الضخمة الخاصة والتقليدية لإنجاز أعمال التركيبات والصيانة.. حيث يستلزم تركيب التربينات ذات القدرات العالية أوناش ضخمة وخاصة وخبرات تشغيل معينة لتلك الأوناش قد تكون غير متوفرة بالعديد من الدول العربية!! وأيضاً ما يرتبط بتلك الأوناش من عمليات نقل وتركيب وصيانة وأطقم عمل مدربة للعمل عليها.. مع العلم بأن مسئولية إتاحة مسألة الأوناش بتفاصيلها تقع على الشركة التي تتولى إقامة وتشغيل المشروع.

مزارع الرياح.. نظرة متفحصة

إن تعبير مزرعة الرياح أو محطة إنتاج الكهرباء من الرياح يُطلق عندما تتوافر مجموعة من تربينات الرياح في مكان واحد.. ويتم توصيل هذه التربينات سوياً لتولد الطاقة الكهربية التي تنقل عبر خطوط النقل والتوزيع للمستهلكين. هذا ويتم تحديد مواقع التربينات على أرض المشروع بناءً على دراسات تتم باستخدام برامج كمبيوتر خاصة تعتمد في قرارها على خصائص الموقع الطبوغرافية والعوائق وطبيعة الأرض وسرعات واتجاهات الرياح ومدى تغيرها بحيث تكون المزرعة ككل قادرة على توليد أكبر قدر سنوي ممكن من الطاقة الكهربية.

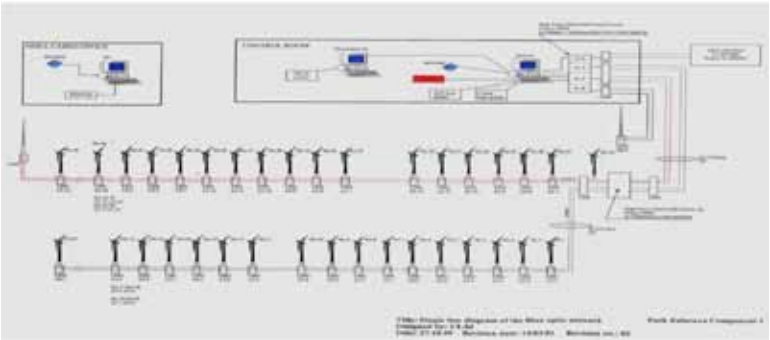
طريقة توزيع وربط التربينات في مزارع الرياح

تُوضع التربينات متراصة في صفوف تواجه وتكون عمودية على إتجاه الرياح السائد معظم أوقات العام، على أن يفصل بين كل تربينة والتربينة التي تليها مسافة تبلغ ما بين ثلاثة إلى خمسة أمثال قطر التربينة! وكذلك يفصل بينها وبين نظيرتها في الصف التالي الموازي مسافة تبلغ عادة ما بين سبعة إلى عشرة أمثال القطر. ويرجع السبب في ترك تلك المساحات حول التربينات إلى إعطاء الفرصة للرياح لتعويض الانخفاض في سرعاتها نتيجة اصطدامها بالتربينات ولتقليل الاضطرابات الدوامية الناجمة عن ذلك أيضاً.



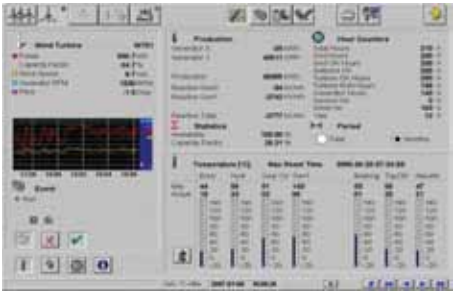
كل تربينة تُوَصل عن طريق المحول رافع الجهد الخاص بها -الذي إما أن يكون بجانب أو بداخل برجها- وذلك لربطها بالشبكة الكهربية ومن الشائع في مصر مثلاً أن يكون جهد هذا المحول الرافع للجهد 690 فولت/ 22 كيلو فولت. ويتم ربط محولات كل مجموعة من التربينات من جهة جهد الـ 22 كيلو فولت مع بعضها البعض.. ثم يتم تجميعهم على محول مُجَمِع. ومنه إلى خلايا الربط بمغذيات محطة المحولات. وعادة يجب أن يراعى ألا تزيد قدرة التربينات المجمعة عن 15 ميجاوات على المغذي الواحد.. وذلك للتقيد بسعة خلايا الربط بمحطة المحولات وكذلك قطر كابلات تغذية الشبكة الكهربية. ولا يوجد فارق جوهري في مواصفات المحول المُجَمِع عن محول التربينات أو محول نهاية الخط إلا في عدد سكاكين الربط.. كما أن المحولات المُجَمِعة يكون بها حمايات أخرى مثل الحماية من التيار الزائد Over Current. ويتم توصيل التربينات بنظام تحكم ومراقبة CMS مركزي يضم عدداً من أجهزة الحاسبات والمحتوية على برامج خاصة موضوعة في غرفة تحكم Control Room.

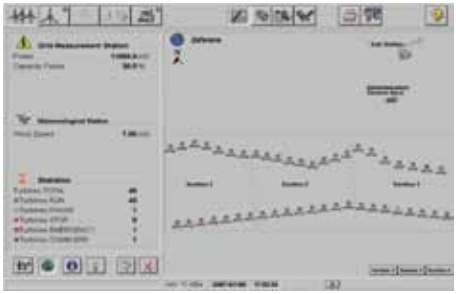
وترتبط الحاسبات بوحدات تجميع بيانات سرعات واتجاهات الرياح من محطات الأرصاد بالموقع. كما ترتبط الحاسبات بوحدات التحكم في التربينات -السابق وصفها- والمحولات عن طريق كابلات ألياف ضوئية Fiber Optics أو كابلات نحاسية.. وكل مجموعة من التربينات متصلة معاً يتم توصيلها بكابل بيانات Data Cable واحد بحيث تكون متصلة معاً كدائرة بيانات واحدة. جدير ويتم من خلال النظام الحصول على بيانات الطاقة الكهربية المرسلة والمستهلكة . ويمكن إخراج مختلف أنواع التقارير مثل تقارير الإنتاج والأعطال سواء لتوربينة أو لمشروع حيث يتم جمع البيانات المتوسطة والعظمى والصغرى في خلال فترات معينة (غالباً كل عشر دقائق) وتخزينها بقاعدة بيانات لعمل التقارير اليومية والشهرية والسنوية وخلال فترة زمنية مختارة. واعتمادا على تلك التقارير يتم استخراج أهم المؤشرات الفنية للأداء.



ويوضح الشكل التالى شبكة الإتصالات والربط لأحد المشروعات بمدينة الزعفرانة المصرية.

ويمكـــن عبر نظام التحكم والمراقبة المركـــزي اختيار تربينة وفصلها أو تشـــغيلها عن بعد وإظهار مختلـــف البيانـــات عنها مثل فولـــت وتيار وتردد ومعامـــل القدرة والقدرة المولدة ويتم اســـتعراض البيانات التراكمية للتشغيل والتي تم تخزينها في وحدة التحكم الخاصة بها مثل الطاقة المولدة والمســـتهلكة ذاتياً عند بدء تشغيل التربينة وعدد ساعات التشغيل وكذلك درجات الحرارة وغيرها من المتغيرات.





مثال لبيانات إنتاج لحظية ودرجات حرارة الأجزاء الهامة و بيانات حالة شهرية بنظام التحكم والمراقبة

كمـــا يمكـــن عادة من خلال نظام CMS إظهار المخطط العام لمزرعـــة الرياح ككل أو لصفوف محددة وحالة التربينات ســـواء كانت تعمل او متوقفة نتيجة خطأ أو متوقفة صيانات أو طوارىء أو هناك فقد في التوصيل مع غرفة التحكم ويكون غالباً تغير لون التربينة على الشاشة موضحا لحالتها كمـــا يمكن إظهار حالة المحولات من حيث الفصل او التوصيل ومعرفة مكان العطل في الشـــبكة الكهربيـــة. واختيـــار توربينة أو مجموعة توربينات متصلة بمغذي معين وفصلها أو تشـــغيلها عن بعد.

صيانة مزارع الرياح

يُتَوَقع من مشـــروعات مزارع الرياح عمر تشـــغيلي في حدود 20 عامـــاً! ولن يتحقق ذلك إلا بالقيام بأعمال التشغيل والصيانة على الوجه الأكمل.. وطبقاً لمرجعيات رئيسية هي تعليمات وإرشادات الجهات المصنعة لمكونات المزرعة.. وذلك إلى جانب الخبرات الهندســـية التشغيلية في ضوء ظروف الموقع الخاصة أو المتغيرة إن وُجدت! وعادةً ما تُصنف أنواع الصيانات المختلفة إلى ثلاث فئات رئيسية يمكن إيجازها فيما يلي:

الصيانة الوقائية Preventive Maintenance: وهي بناءاً على برامج مخططة Time based طبقاً لتعليمات الشركات المصنعة محدد فيها أنواع وتوقيتات أعمال الصيانة المختلفة (ربع سنوية - نصف سنوية - سنوية - كل خمس سنوات)، مع مراعاة إجراءها في فترات انخفاض سرعات الرياح والتنسيق مع شركة نقل الكهرباء، وتتضمن صيانات الأكشاك والمحولات (نظافة - اختبارات أجهزة قياس ووقاية - وحدات التكييف - ...) وصيانات لوحات تحكم التربينة (كشف على السكاكين - المفاتيح - الكونتاكتورات - خطوط Bus bar مكثفات - ...)، وصيانة حاوية المكونات Nacelle (تعزيم رباطات - صيانات دوائر الزيت لصندوق التروس ونظام الهيدروليك والمراكم - كراسي التحميل...)، وغسيل الريش.

الصيانة التصحيحية Corrective Maintenance: وهي تعتمد على إصلاح الأعطال المفاجئة Problem solving based حيث يتم من خلال النظام تحري أية أعطال فجائية أو قراءات غير طبيعية في التربينات أو الخطوط - الأكشاك - المحولات ومتابعة تطورها واتخاذ الإجراء المناسب.

الصيانة التنبؤية Predictive Maintenance: من خلال القياس والمراقبة Monitoring based حيث يتم تطبيق نظام للصيانة التنبؤية من خلال قياسات الاهتزازات والاتزان وحالة كراسي التحميل وقياس درجات حرارة مختلف المكونات عن بعد باستخدام أحدث الأجهزة المتخصصة وبصفة دورية، بما يمكن من الكشف المبكر عن الأعطال وتحديد أسبابها وتلافي تكرارها وتوفير الاحتياجات من قطع غيار ومعدات وأجهزة وعمالة في الأوقات المناسبة.

ويمكن نظام التحكم والمراقبة أيضاً من التعرف على حالة التوقف نتيجة عطل ما وإعادة التشغيل عن بعد Reset لبعض لأعطال من داخل غرفة التحكم، ويمكن إظهار سجل بتاريخ أعطال التوربينة وكذلك سجل بحالات التشغيل والتوقف.

ملحوظة هامة

على غير ما هو شائع ومتوقع.. لا يستلزم عند حدوث كل عطل إيقاف التربينة أو صف التربينات المرتبطة معاً وإيفاد طواقم الصيانة عبر المساحات الشاسعة لإصلاحها! -حيث تقع مثلاً مزارع رياح الزعفرانة في مصر على مساحة 156 كيلو متراً مربعاً!!- ويبرز هنا دور خبرة التشغيل التي تكلمنا عنها وكذا دور نظام التحكم والمراقبة المركزي في التعرف بدقة على مدى سوء حالة

التربينة وعلى سـبب توقفهـا نتيجة عطل ما.. ويتم بعدها كيفية إعادة تشـغيلها عن بعد -إن أمكـن- بعمل Reset لبعـض الأعطال من داخل غرفـة التحكم.. كما يتم إظهار سـجل بتاريخ أعطـال هـذه التربينة وكذلك سـجل بفترات تشـغيلها وتوقفها! ويوضح الجـدول التالي أمثلة لبعض أنواع تلك الأعطال.

نوع العطل	أمثلة
أعطال يتم إعادة التشغيل فيها أتوماتيكيا عن طريق النظام	أعطال تذبذبات الشبكة (الجهد - التردد - التيار) - حيث يعاد التشغيل تلقائي إذا ما استقرت الشبكة. أعطال درجات حرارة لوحات التحكم والزيوت (نتيجة استمرار سرعات الرياح عالية لفترات أيام متصلة والتحميل لفترت طويلة) - حيث يستعاد التشغيل تلقائياً عند برودة الأجزاء
أعطال يقوم المشغل بإعادة التشغيل فيها من غرفة التحكم بعد التأكد من أمان التشغيل من طاقم الإصلاح عند التربينة	الإيقاف اليدوي نتيجة الصيانات. أعطال فقد الاتصال بغرفة التحكم بسبب ارتفاع درجة حرارة وحدة تغذية الجهد بدوائر الألياف الضوئية. أعطال وحدة التحكم الخاصة بالتربينة مثل انعدام الاستجابة لبعض الأوامر وأخطاء الحسابات.
أعطال لا يجوز إعادة تشغيل التربينة عن بعد للخطورة	درجات حرارة الكراسي والملفات. ضغوط الزيت في دوائر الهيدروليك وانسداد الفلاتر. الأعطال الميكانيكية الجسيمة.

الأراضي وقدرات مزارع الرياح

بوجه عام، هناك نموذجين رئيسـيين من مشروعات طاقة الرياح المتصلة بشـبكات الكهرباء في جميـع أنحاء العالم. النموذج الأول هـو إقامة مزارع الرياح الكبـرى large scale والتي تضم قدرات كبيرة (عشـرات أو مئات الميجـاوات). أما النموذج الثاني فهـو المشـاريع الصغيـرة التي تتـراوح قدرتها بـين 1 حتى 50 ميجاوات. وفـي معظم أنحاء أوروبا حتى الآن، فإن المشـروعات المقامة عادة من النموذج الثاني. على سبيل المثال، في الدنمارك، يطلـق تعبير مزرعة الرياح على أي مشـروع بـه أكثر من ثلاث تربينـات الرياح. هذا الشـكل من إقامة المشـروعات والسـائد في أوروبـا يعود في جزء منه إلى هيـكل ملكية الأراضي حيث معظـم المواقع الأوروبية البرية هي ذات كثافة سـكانية عالية الريـاح ومجـزأة من حيـث الملكيـة. وتوجه المواطنـين وصغار

المستثمرين نحو الإستفادة من دعم الطاقة المتجددة الذي تقدمه الحكومات بما أدى إلى نشأة العديد من المشروعات الصغيرة التعاونية وتركيب مجموعات التربينات من قبل المزارعين. وحفز هذا الاستثمار مجموعة من السياسات والقوانين التي أتاحت لمنتجي الكهرباء من الطاقات المتجددة الحصول على أسعار مميزة لتلك الطاقة. هذا لا يعني أن المشاريع الكبرى الرياح ليست موجودة في أوروبا ولكنها ليست الغالبة. فهناك عدد على المشاريع الكبرى في بلدان مثل المملكة المتحدة واسبانيا والبرتغال ورومانيا. ويغلب نموذج المشروعات الكبرى في أمريكا الشمالية والصين وهي عادة من 100-250 ميجاوات. وتوجد أضخم مزرعة رياح بالعالم في ولاية تكساس الأمريكية وتشتمل على 421 تربينه بقدرة مركبة 735,5 ميجاوات. وتهدف الولاية الآن إلى استثمار نحو 4,9 مليار دولار لإنشاء خطوط نقل كهرباء ضخمة تتسع للطاقة المولدة من محطات رياح حتى 18 ألف ميجاوات. وهي طاقة تكفي أكثر من 4 مليون منزل بالولايات المتحدة. بينما تخطط الصين لإقامة ستة مناطق كبرى لطاقة الرياح تسع كل منها حتى 10 ألاف ميجاوات. وبالنسبة للعالم العربي فيغلب نموذج المحطات الكبرى أيضاً. حيث مثلاً توجد في منطقة الزعفرانة المصرية أكبر مزرعة رياح في إفريقيا والشرق الأوسط بقدرة 545 ميجاوات. وكذلك هناك عدد من المشروعات الكبرى المقامة في المغرب وتونس. والمخططة في عدد أخر من الدول العربية.

تكامل دمج طاقة الرياح مع شبكات الطاقة الكهربائية

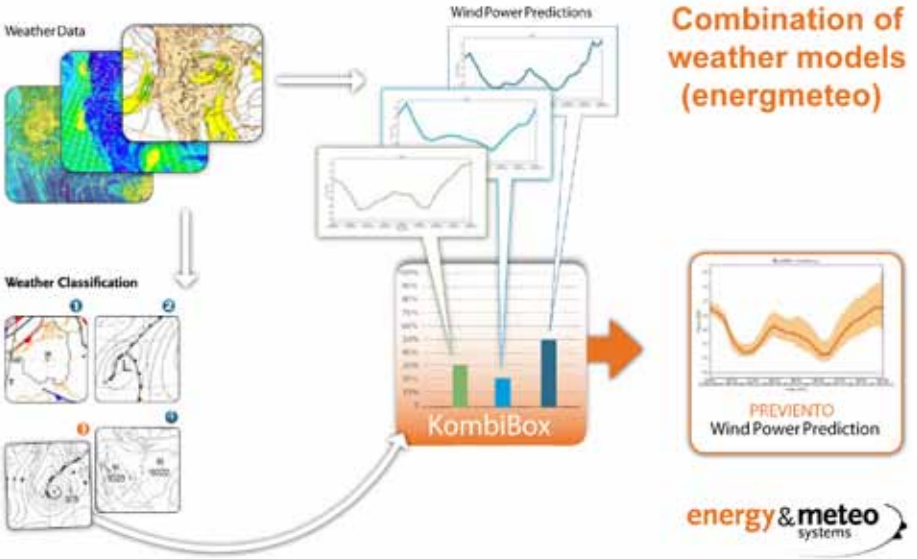
بالطبع يعتمد إنتاج طاقة الرياح على التغيرات المناخية.. لذلك فإن دراسة ومعرفة هذه التغيرات والتنبؤ بها يعد شيئاً ضرورياً من أجل دمج الطاقة الكهربية المُنتَجَة من طاقة الرياح مع شبكة الكهرباء المدنية بدقة وكفاءة!

إن تدفقات الكهرباء في الشبكات هي بالأصل متغيرة.. وتتأثر هذه الشبكات بعدد كبير من العوامل سواء المخططة أو غير المخططة! ولكنها صُمِمَت لكي تتعامل مع هذه التغيرات من خلال أنظمة وتجهيزات مراكز التحكم والتوزيع والاحمال! ونتيجة لوجود المئات أو الآلاف من تربينات الرياح المدمجة مع الشبكة الكهربائية.. فإن طاقة مزارع الرياح لا تَخْرُج من شبكات التغذية الكهربائية فجائياً مثلما يحدث مع محطات التوليد الكبيرة بسبب حدوث عطل ما.. ولكنها تُحدث تغيرات متدرجة صعوداً وهبوطاً وفق حالة الرياح!

تطور تقنيات التنبؤ بالرياح

نتيجة للتكنولوجيا الحديثة والأقمار الصناعية ووسائل الاستشعار عن بُعد أصبح التنبؤ بأماكن الرياح وسـرعاتها واتجاهاتها على درجة عالية من الدقة بالنسـبة للمزارع الموزعة على مساحات كبيـرة! وأيضاً بالاعتمـاد على تحليلات الأرصاد الجويـة ونماذج رياضية وتحليـلات إحصائية صار من الممكن التنبؤ بالرياح بدءاً من خمس دقائق وحتى 72 ساعة مقدماً بدقة عالية!!

فقد أصبحت نسبة الخطأ في التنبؤ بإنتاج مزارع الرياح المنفردة تتراوح من10% إلى 20% لمدى تنبؤ يبلغ 36 ساعة!! أما بالنسبة للمزارع المُوَزعة على مستوى إقليمي فقد أصبحت نسبة الخطأ 10% لمدى تنبؤ يبلغ 24 ساعة.. وأقل من 5% لأربع ساعات مقبلة! ويوضح الشكل التالي نظام التنبؤ الذي تقدمه إحدى الشركات العالمية! وللأسف لم يتم استخدام أياً من أنظمة الرصد والتنبؤ بتغيرات سرعات واتجاهات الرياح وتوقعات الطاقة الكهربية المُنتجة منها في أي من الدول العربية حتى الآن!!



لقـد أثبتت الخبرات العالميـة في مجال طاقة الريـاح أن أنظمة وطرق التحكـم المتاحة والعاملة بالفعل في محطات الرياح المتطورة والحديثة الآن هي أنظمة ملائمة للغاية من أجل دقة التكيف والتعامل مع مسـتويات مُسَـاهَمة لطاقة الرياح في شـبكات التوزيع الكهربائية تصل إلى 20%

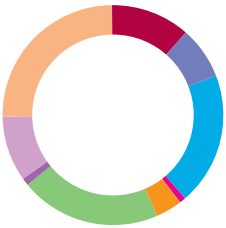
طبقاً لطبيعة النظام! كما أن الأنظمة المرنة والتي تحتوي على نسب مُشَارَكة عالية من الطاقة المائية والتوليد الغازي يمكن أن تُدْمَج معها أيضاً مستويات عالية من طاقة رياح دون إحداث أي تغيرات جوهرية بها وبأجزائها!

طاقة الرياح واعتماديتها

في أوروبا نجد أن دولة مثل الدنمارك تفي بالفعل بحوالي ربع احتياجها (24%) من الكهرباء من طاقة الرياح! وأسبانيا (16%).. والبرتغال (15%).. وأيرلندا (10,5%).. وألمانيا (9,4%).

أما إقليمياً.. فترتفع هذه النسب في بعض المناطق.. فتصل في النصف الغربي من «الدنمارك» على سبيل المثال أحياناً إلى 100%!! كما أن الشبكة الكهربائية في العديد من الدول الأوروبية مثل أسبانيا والبرتغال تحتوي على مراكز تحكم مركزية بمقدورها التحكم في التربينات التي تشتمل عليها مزارع الرياح وإدارتها بكفاءة وفاعلية!! ويوضح الشكل وضع محطات الكهرباء في أسبانيا والتي تحتوي على مزارع رياح تولد ما يمثل 21% من كافة قدرات محطات التوليد وتسهم في الوفاء بحوالي 16% من الطلب على الكهرباء!

Installed capacity as at 31 December 2011 (100,576 MW)



- Combined cycle 25 %
- Coal 12 %
- Nuclear 8 %
- Hydro (1) 19 %
- Solar thermoelectric 1 %
- Solar photovoltaic 4 %
- Wind 21 %
- Renewable thermal 1 %
- Cogeneration and the rest of the technologies 9 %

Demand coverage

- Combined cycle 19 %
- Coal 15 %
- Nuclear 21 %
- Hydro (1) 11 %
- Solar thermoelectric 1 %
- Solar photovoltaic 3 %
- Wind 16 %
- Renewable thermal 2 %
- Cogeneration and the rest of the technologies 12 %

طبيعة الرياح المتغيرة.. والحل ؟

على الرغم من التسليم بأن طبيعة الرياح المتغيرة تستلزم وجود قدرات لمحطات إحتياطية من تكنولوجيات أخرى مستقرة.. أو وجود ما يسمى بقدرات التوازن أو الدعم.. أو تستلزم اللجوء إلى أنظمة تخزين للطاقة مثل المحطات المائية للضخ والتخزين Pumped Storage Plants فعلى سبيل المثال فإن شركة ايبردرولا وهي احدى كبريات شركات الإنتاج الأسبانية تقيم حالياً المرحلة الثانية من محطة الضخ والتخزين La Muela 2 بقدرة 852 ميجاوات للمساعدة في مواجهة التوسع الكبير في مشروعات طاقة الرياح بأسبانيا!!

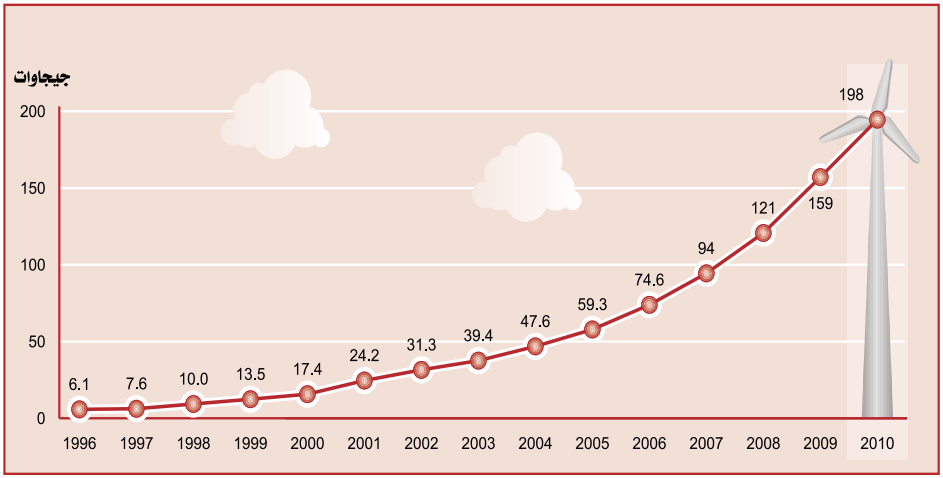
إلا أن الدراسات والأبحاث أظهرت تواضع مثل هذا الاحتياج لقدرات التوازن والدعم.. وبالذات مع ترابط شبكات الكهرباء بين الدول فيما يعرف بـ «الربط الكهربائي الإقليمي»! حيث يمكن مواجهة نسب مشاركة حتى 20% من طاقة الرياح أو أي خلل غير متوقع من خلال قدرات احتياطيات محطات توليد الكهرباء الموجودة فعلياً في النظام.

وتشير الدراسات أن التكلفة الإضافية لبناء وتشغيل قدرات جديدة لمحطات التوليد التقليدية لمواجهة تغيرات الرياح تصل حتى 3 يورو/ ميجاوات ساعة منتجة من محطات الرياح (مثال أسبانيا حيث متوسط تكلفة التوازن 1.4 يورو/ م.و.س). وبوجه عام تمثل نسبة تكاليف القدرات الإضافية لنسب المشاركة العالية للرياح نسبة أقل من 10% من تكلفة إنتاج الكهرباء من الرياح. ويمكن تلافي تأثير ذلك على المستهلك النهائي في ضوء مرونة النظام وباستخدام التنبوء الدقيق والإدارة الجيدة لأسواق الكهرباء. وكخلاصة فإنه لنسب المشاركة حتى 20% لقدرات محطات الرياح مقارنة بإجمالي قدرات الشبكة فإن استخدام تكنولوجيات تخزين الطاقة غير ضروري وغير إقتصادي لمواجهة التغيرات ويمكن استخدام قدرات المحطات العادية الموجودة بالفعل بالشبكة لمواجهة تلك التغيرات. ويعد توزيع محطات الرياح على مساحات جغرافية كبيرة أفضل وسيلة للحصول على مساهمة مستقرة من طاقة الرياح.

السوق العالمي والعربي لطاقة الرياح

شـــهد الســـوق العالمي للطاقات المتجددة عامة ولطاقة الرياح خاصة تطوراً كبيراً خلال السنوات الأخيـــرة! فطبقاً لأحـــدث تقارير الوضـــع العالمي للطاقة المتجددة الصادر عن شـــبكة سياســـات الطاقة المتجددة للقرن الحادي والعشـــرين الدوليـــة Renewable Energy Policy Network for the 21st Century أو REN21 فـــي يوليو 2011، شـــهد عام 2010 إضافة حوالي 39 جيجاوات من طاقة الرياح على مســـتوى العالم! لتصل بهذا القـــدرات الإجمالية من طاقة الرياح في العالم إلى 198 جيجاوات في نهاية عام 2010 وبمعدل نمو بلغ حوالي 25% مقارنة بالعام السابق!

ويوضح الشـــكل التالي الذي تضمنـــه التقرير تطور القدرات المُرَكَبة من طاقـــة الرياح في العالم على مدى أكثر من 15 عاماً! وقد تنافســـت كل من ألمانيـــا والولايات المتحدة الأمريكية على الريادة فـــي هذا المجـــال في الأعوام الأخيـــرة! ولكن الصين قفزت للريـــادة في 2010!! حيـــث أضافت مؤخراً قـــدرات مـــن محطات الرياح تقارب 19 ألـــف ميجاوات ليصبح إجمالي قـــدرات محطات الرياح بها 44.7 ألـــف ميجاوات احتلـــت بها المركز الأول عالمياً.. ثم أمريكا حوالي 40 ألف ميجاوات.. وألمانيا 27 ألـــف ميجاوات.. وأســـبانيا 21 ألف ميجاوات.. ثم الهند 13 ألـــف ميجاوات كأعلى خمس دول على الترتيب!



تطور قدرات الرياح عالمياً 1996-2010

وطبقـاً للتقارير والدراسـات الأخيـرة فإن قدرات التربينات المسـيطرة على السـوق العالمي حالياً للمشـروعات البرية Onshore wind farms تتراوح ما بين 1,5 و 3 ميجاوات للتربينة.. والتي تم إنتاج آلاف الوحدات منها على مستوى الإنتاج التجاري النمطي. أما التربينات ذات القدرات الأعلى والتي ظهرت خلال السـنوات الثلاث الأخيرة فهي تستهدف بصفة أساسية مشروعات محطات الرياح في البحار والمحيطات Offshore wind farms، ويتركز أكبر المصنعين للتربينات في الدانمارك.. ألمانيا.. أسـبانيا.. الولايات المتحـدة.. الصين والهند. ومن أهم الشـركات المصنعـة Vestas الدانماركية.. Gamesa الأسـبانية.. Enercon و Nordex الألمانيتـين.. General Electric الأمريكيـة.. Suzlon الهندية.. و Goldwind الصينية وغيرها.

أما عن الوضع في العالم العربي.. فتُعَد مصر هي الدولة الأولى عربياً وإفريقياً في مجال محطات الريـاح! وقد احتلت المركز الثاني والعشـرين بـين دول العالم في نهاية 2010 بقـدرات بلغت 550 ميجاوات! وتلي مصر المملكة المغربية بقدرات 286 ميجاوات ثم تونس بقدرات 114 ميجاوات.

التصنيع المحلي لمكونات مزارع الرياح.. ومستقبل واعد

تتيـح مشـروعات مـزارع الرياح فرصاً هامـة للصناعة المحليـة! حيث وصلت نسـبة المكون المحلي في بعض المشـروعات في مصـر مثلاً ما بين 20% إلى 30%!! وهي تتضمـن الأبراج المعدنية وبعض المهمات الميكانيكية والكهربائية كالمحولات ولوحات التوزيع والكابلات والأعمال المدنية والإنشائية والتركيبات. ومن المأمول أن التوسـع في مشروعات الرياح سـيزيد من مشاركة الصناعة العربية عامـة في تصنيـع مهمات مزارع الرياح.. بما سـوف ينعكس إيجابياً على التكلفـة.. ويفتح فرصاً مسـتقبلية لتصدير هذه المهمات. وقد بدأت بوادر هذا في الظهور فعلا من خلال اسـتحواذ إحدى الشـركات المصرية على نسـبة أسهم كبيرة في إحدى الشـركات المصنعة الاسبانية، وإنشائها خطـوط إنتاج لبعض مكونات التربينات في مصر مع إنشـائها لشـركة مصرية متخصصة في إقامة مشروعات الرياح بدأت بالفعل تنفيذ أحد المشروعات في دولة ليبيا الشقيقة. ومن المنتظر أيضـا أن تتيح مثل تلك المشـروعات -وعند التوسـع فيها- إقامة شـركات متخصصة تعمل في تقديم الخدمات الخاصة مثل أعمال الاستشارات الهندسية والفنية وأعمال التصميمات والتشغيل والصيانة.. وكذا خدمات الإعاشة والترفيه بالمواقع النائية -أسوة بشركات خدمات البترول-.

خـــــــــــاتمة

لقـد أثبتت طاقة الريـاح أن الطـاقة المتجددة قد خرجت من معامل الباحثين لتشـارك بشـكل فعـال في الوفـاء بمتطلبـات الطاقة وتحدياتها! وأن نسـبة مسـاهمتها في مزيـج الطاقة التي نحتاجهـا تنمـو يوماً بعد يـوم! ولكني أحب أن أؤكـد هنا أن الطاقات المتجددة ليسـت دوماً ذلك الوافد الجديد الذي يحمل في جعبته حلاً سحرياً لمشاكل الطاقة الحالية!! فالدعوة إلى استخدام ونشـر تطبيقات الطاقات المتجددة والبديلة لا تعني أبداً إلغاء أو الاستغناء عن المصادر التقليدية للطاقة -في الوقت الراهن!!- ولكنها دعوة جادة لزيادة مشاركة الطاقة البديلة في مزيج الطاقة بشكل تدريجي وفعال.. بحيث يصبح الاعتماد عليها مستقبلاً سبيلاً لتحقيق أمـن واستدامة الطاقة!

وكمـا أوضحت سـابقاً يبدو المسـار ذو الأولوية لإنتـاج الكهرباء من مصادر متجـددة للطاقة هو الإستفادة من طاقة الرياح المنافسة اقتصادياً والأنضج فنياً على المستوى العالمي. وهو ما يتطلب العمل المشـترك من الحكومة والقطاع الخـاص جنباً إلى جنب وأخذاً بعـين الاعتبار وجود اتجاهات عالمية نحو تعظيم دور القطاع الخاص باعتباره أحد الركائز الأساسـية للتطوير المستقبلي لنُظم الطاقـة المتجددة بصفة عامة وطاقة الرياح بصفة خاصة. وهو ما ظهر في صورة إصدار القوانين والتشـريعات التي تعمل على تشجيع الاسـتثمارات في مجال الطاقة المتجددة في مختلف دول العالم.

وتعـد العديد من الدول العربيـة مناطق جذب واعدة في مجال مشـروعات طاقة الرياح لما تتمتع به من مميزات مثل توافر الخبرات البشـرية والقدرات الصناعية ووجود خطط طموحة طويلة المدى للطاقـة المتجددة وبالطبـع مواقع رياح متميـزة.. فضلاً عن وجود شـبكات كهربائية ممتدة يمكن تحديثها لتُسهم في خلق سوق عالمي لبيع الطاقة النظيفة إلى أوروبا عبر شبكات الربط الاقليمي! ولعل أحد الخطوات في الاتجاه الصحيح قيام دولة مثل مصر بالإعلان عن هدف الوصول بمسـاهمة الطاقـة المتجددة إلى نسـبة 20% من إنتاج الكهرباء فيها بحلـول عام 2020!! متضمنة 12% من طاقة الرياح وحدها.. أي بما يعادل حوالي 7200 ميجاوات يتولى إنشاء ثلثيها تقريباً القطاع الخاص! وقد تمت دعوة المستثمرين بالفعل لأول مناقصة بقدرة 250 ميجاوات!

كما أعلنت المغرب أيضاً اســتهداف الوصول إلى 2000 ميجاوات بحلول عام 2020! وللجزائر أيضاً هــدف طموح يقــارب 3700 ميجاوات بحلــول 2030 وكلها خطــوات فاعلة يُرجى منها تشــجيع باقــي الــدول العربية ذات الإمكانــات على اتخاذ خطوات مشــابهة. ومن ناحية أخــرى فإن تحقيق مثــل هذه الإســتراتيجيات الطموحة يتطلب تفعيل حزمة من السياســات المتكاملة لخلق مناخ جاذب للاســتثمارات.. بما يُمَكن من تحســين اقتصاديات مشروعات الطاقة المتجددة وتعظيم نسبة المكون المحلي فيها تدريجياً.. ولهذا الموضوع حديث آخر نتناول فيه أهم السياسات والحوافز العالمية لتشجيع استثمارات ومشروعات الطاقات المتجددة!

حقيقةً... إن العالم يتغير بسرعة! وأن أنظمة الطاقة ليست ببعيدة عن رياح هذا التغيير.. وأن علينا أن نستفيد ونستغل هذه الرياح فى منطقتنا العربية قدر المستطاع.. وقد حاولنا أن نقدم للقارىء العربي خلاصة لبعض الخبرات فى مجال طاقة الرياح معروضة بلغة عربية مُيَسرة ومدعومة بحقائق ومعلومات نظرية وعملية كثيرة حول طاقة الرياح وأهميتها.. وقد كان الوازع الأول هو تقليل ما نلمسه فى حياتنا المهنية من نقص شديد فى المادة العلمية العربية فى هذا المجال!!

مهندس/ ماجد كرم الدين محمود
كبير الخبراء الفنيين بالمركز الإقليمي للطاقة
المتجددة وكفاءة الطاقة