کلیاتی در راستای

شناسائی انرژی باد و

نیروگاه های بادی

در بسیاری از مراجع آمده است که در استانهای شرقی ایران برای بالا کشیدن آب از چاه و آسیاب کردن غلات از آسیابهای بادی استفاده می‌شده است. مشاهدات و تحقیقات نشان می‌دهد که در تابستان و گاهی در ماههای پاییز در اغلب نواحی خشک و بی‌آب ایران، که احتیاج به آب بیشتر میباشد, شدت وزش باد عامل مهمی در بکارگیری انرژی باد بوده است. تا قبل از سال ۱۳۱۹ در منطقه بادخیز منجیل، از انرژی باد برای پمپاژ آب و روشنایی استفاده می‌شده است.

اولین توربین باد مولد برق در دانمارک

در اوایل قرن حاضر با پیشرفتی که در طرح و ساخت انواع پره و اصولا سطوح آِرودینامیک پدید آمده و با تکامل قوانین مکانیک سیالات، آسیابهای قدیمی مورد بررسی علمی قرار گرفت و بموازات آن طرحهایی برای استفاده از مبدلهای انرژی باد بصورتهای

دیگر پیشنهاد و اجرا گردید. بدین ترتیب در دهه های اول قرن بیستم اغلب توربینهای بادی در انواع مختلف با بکارگیری قوانین آیرودینامیک و تکنولوژی جدید ساخته شدند.

ایجاد نیروگاههای بادی و تبدیل انرژی الکتریکی با استفاده از توربینهای با ظرفیتهای بالا پس از جنگ جهانی دوم با وجود نیاز شدیدی که صنایع رو به توسعه کشورهای مترقی به منابع انرژی داشتند، تولید نیروگاه های بادی و حتی تحقیق درباره آنها بعلت در دسترس بودن سوخت فسیلی ارزان قیمت متوقف گردید. اما با بروز بحران انرژی به سبب کاهش ذخایر هیدروکربورهای جهان و نتیجتا کاهش فرآورده های نفتی و همچنین افزایش روز افزون تقاضای انرژی و بیم و وحشت از توسعه آلودگی موجب شد تا توجه دانشمندان به منابع دیگر از جمله انرژی باد که می تواند به طور مناسبی در مناطق بادخیز مورد استفاده قرار گیرد معطوف و فعالیتهای دامنه داری از سال ۱۹۷۰ میلادی در این زمینه آغاز گردید.

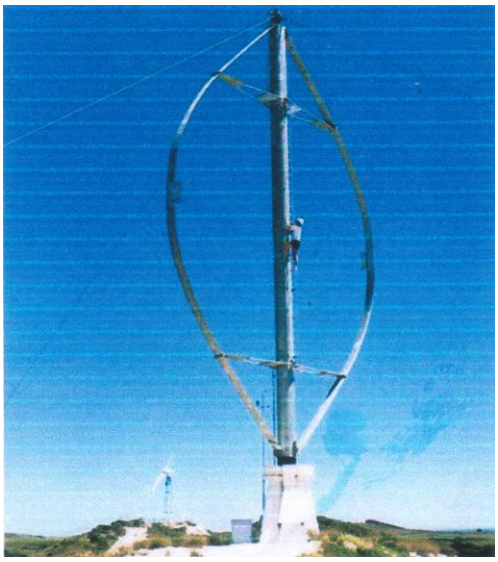
مکانیزم توربینهای بادی:

توربین های بادی انرژی جنبشی باد را به توان مکانیکی تبدیل می نماید و این توان مکانیکی از طریق شفت به ژنراتور انتقال پیدا کرده و در نهایت انرژی الکتریکی تولید می شود توربین های بادی براساس یک اصل ساده کار می کنند. انرژی باد دو یا سه پره ای را که بدور روتور توربین بادی قرار گرفته اند را به چرخش در می آورد. روتور به یک شفت مرکزی متصل می باشد که با چرخش آن ژنراتور نیز به چرخش در آمده و الکتریسیته تولید می شود.

انواع توربين هاي بادي

الف- توربینهای بادی با محور چرخش عمودی

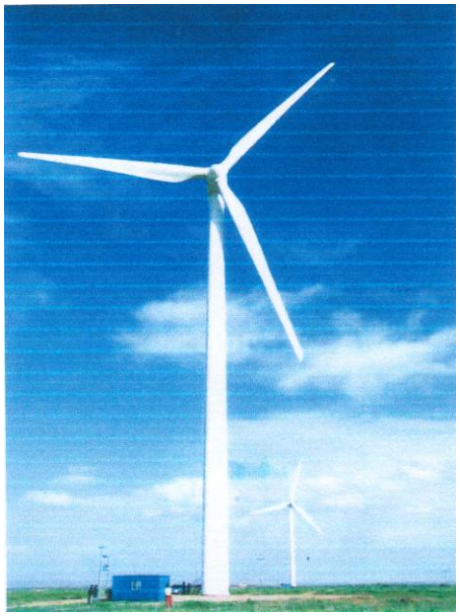
این توربینها از دو بخش اصلی تشکیل شده اند: یک میله اصلی که رو به باد قرار می گیرد و میله های عمودی دیگر که عمود بر جهت باد کار گذاشته می شوند. این توربینها شامل قطعاتی با اشکال گوناگون بوه که باد را در خود جمع کرده و باعث چرخش محور اصلی می‌گردد. ساخت این توربینها بسیار ساده بوده اما بازده پائینی دارند. عمده‌ترین توربین-های بادی محور عمودی عبارتند (ساوینیوس داریوس، صفحه ای و کاسه ای). در این نوع توربینها در یک طرف توربین، باد بیشتر از طرف دیگر جذب می شود و باعث می گردد که سیستم لنگر پیدا کرده و بچرخد. یکی از مزایای این سیستم وابسته نبودن آن به جهت وزش بادمی باشد.



ب – توربینهای بادی با محور چرخش افقی

این توربینها نسبت به مدل محور عمودی رایج‌تر بوده همچنین از لحاظ تکنولوژیک پیچیده تر و گرانتر نیز می‌باشند. ساخت آنها مشکلتر از نوع محور عمودی بوده ولی راندمان بسیار بالایی دارند. در سرعتهای پایین نیز توانایی تولید انرژی الکتریکی را داشته و توانایی تنظیم جهت در مسیر وزش باد را نیز دارند. این توربینها ۳ یا در مواردی ۲ پره می

باشند که روی یک برج بلند نصب می شوند. این پره ها همواره در جهت وزش باد قرار می گیرند.



رشد ظرفیت توربینهای بادی تا پایان سال ۲۰۰۴

در دهه اخیر آلمان در زمره کشورهای پیشگام در طراحی توربینهای offshore می باشد. این کشور در تولید توربینهای بادی با ظرفیت بالاتر از ۳ مگاوات رتبه اول را در بین سایر کشورها از آن خود کرده است. سه نوع توربین بادی با ظرفیت بالا، تاکنون مربوط به سازندگان آلمانی بوده که جدول ذیل گویای پیشرفت غیر منتظره در این توربین ها با ظرفیت های بالا می باشد.

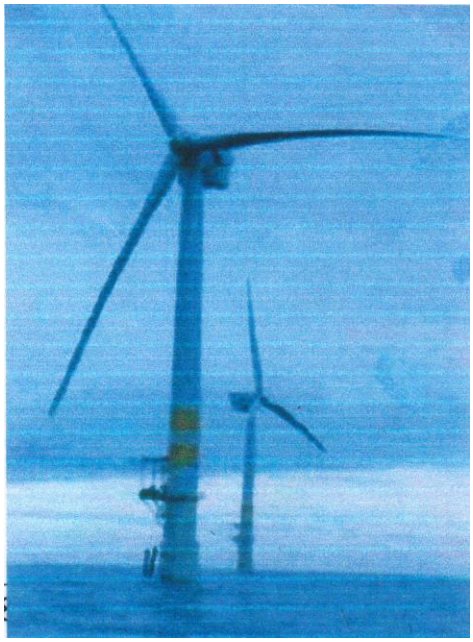
ظرفیت تولید و نصب توربینهای بالاتر از ۳ مگاوات در دنیا تا پایان سال ۲۰۰٤

سازنده	نوع توربین باد	ظرفیت (مگاوات)	ساخت نمونه آزمایشی	محل نصب
REpower	٥M	٥	۲۰۰٤	Brunsbuttel Germany
Prokon Nord	multibrid ٥۰۰۰	٥	۲۰۰٤	Bremerhaven, Germany
Enercon	E-۱۱۲	٤,٥	۲۰۰۲	Magdeburg, Germany
Vestas	NM۱۱۰-٤,۲	٤,۲	۲۰۰۳	Roskilde, Denmark
Bonus Energy	Bonus ۳,٦MW/۱۰۷VS	۳,٦	۲۰۰٤	Hovsore Denmark
GE Energy	GE ۳,٦s offshore	۳,٦	۲۰۰۲	Albacete, Spain
Vestas	V۹۰	۳	۲۰۰۲	Hovsore, denmark

آخرین محصول تولید کنندگان دانمارکی (دو شرکت vestas و NEG Micon که در بهار ۲۰۰٤ بایکدیگر ادغام شدند) توربین NM۱۱۰-٤,۲ با ظرفیت ٤/۲ مگاوات و قطر روتور ۱۱۰ متر بوده است.

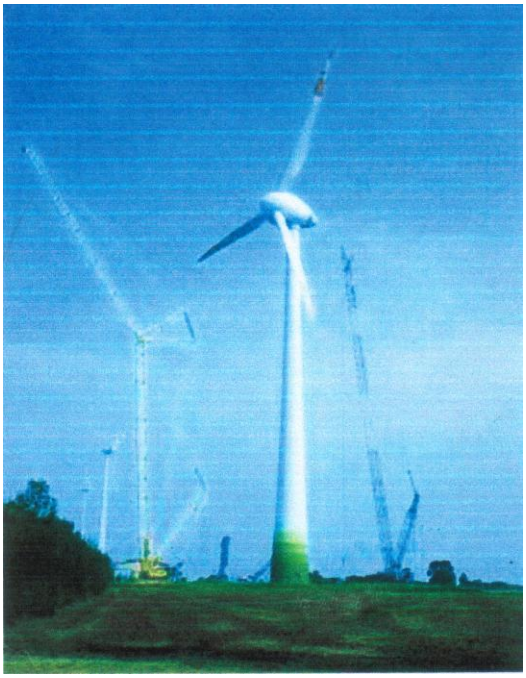
شرکت vestas پیش از این در سال ۲۰۰۲ نمونه آزمایشی توربین v۹۰ با ظرفیت ۳ مگاوات را وارد بازار نموده است که هم اکنون این کارخانجات در حال ساخت توربین v۱۲۰-٤,٥ با ظرفیت ٤,٥ مگاوات و قطر روتور ۱۲۰ متر می باشند که در بازار فروش صنعت برق عرضه گردیده.

آخرین محصول شرکت GE Energy آمریکا توربین GE۳. offshore ٦s با ظرفیت ۳/٦ مگاوات و قطر روتور ۱۰٤ متر بوده است. در اواخر سال ۲۰۰۳، هفت دستگاه از سری اول این توربین در سواحل ایرلند و در سایت Arklo Bank نصب گردید.



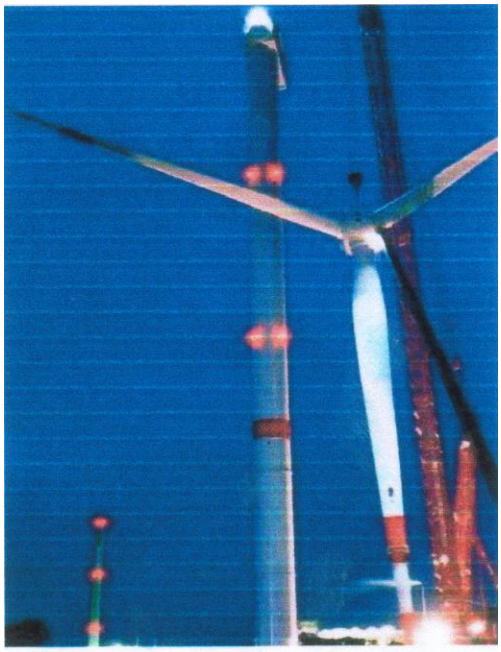
توربین باد GE ۳,٦s offshore

شرکت Enercon آلمان نیز در سال ۲۰۰۲ اولین نمونه آزمایشی توربین مدل E–۱۱۲ با ظرفیت ٤/٥ مگاوات تولید کرد و از آن پس، ٤ دستگاه از این نوع توربین نصب شده است.



توربین باد Enercon E-۱۱۲

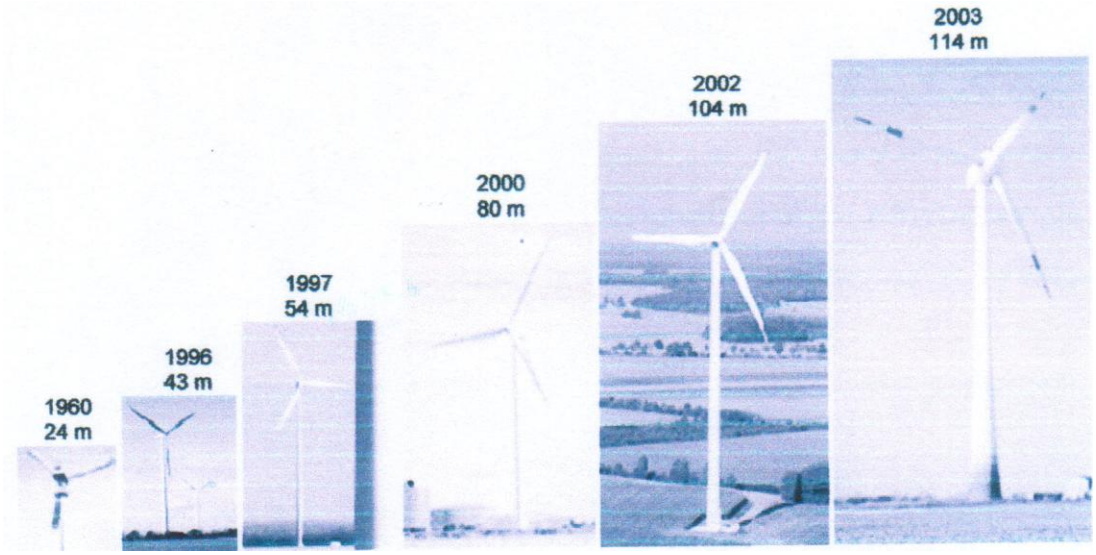
در اکتبر ۲۰۰٤ شرکت Repower آلمان نمونه آزمایشی توربین M٥ با ظرفیت ٥ مگاوات را در سایت نزدیک Brunsbuttel در نزدیکی یک نیروگاه هسته ای نصب نمود که علاوه بر آن در اواخر سال ۲۰۰٤ نیز نمونه آزمایشی دیگری از توربین multibrid٥۰۰۰ را در منطقه Bermerhaven نصب نمود.



توربین باد M REpower ٥

روند تغییرات ابعاد توربینهای ساخته شده از گذشته تا کنون نشان می دهد که با بالا رفتن سطح تکنولوژی و کم شدن محدودیتهای نظیر ساخت قطعات، حمل و نقل اجزاء و نصب آنها به سرعت شاهد بالا رفتن ابعاد و به تبع آن توان خروجی این توربینها هستیم.

تصاویر ذیل به روشنی گویای این مطالب هستند. (اعداد مندرج در بالای هر تصویر قطر روتور این توربینها را در سال ساخت آنها نشان می دهد):



توان انرژی بادی

منظور از توان بادی تبدیل سرعت، دما و کیفیت حرکتی باد به نوعی مفید از انرژی مانند انرژی الکتریکی است که این کار به وسیله توربین‌های بادی صورت می‌گیرد. در آسیاب‌های بادی از انرژی باد مستقیماً برای خرد کردن دانه‌ها و یا پمپ کردن آب استفاده می‌شود. در اواخر سال ۲۰۰۶ میزان ظرفیت تولیدی برق بادی در سراسر جهان برابر ۷۳٫۹ گیگاوات بود. گرچه این میزان چیزی در حدود یک درصد از کل انرژی الکتریکی تولیدی در جهان محسوب می‌شد اما در طول بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ تقریباً چهار برابر شده‌است. در این میان کشورهای دانمارک با ۲۰ درصد، اسپانیا و پرتغال با ۹ درصد و آلمان با ۷ درصد از نظر درصد تولید برق بادی از کل تولید انرژی الکتریکی در جایگاه‌های نخست قرار دارند. انرژی بادی در مقادیر زیاد در مزارع بادی تولید و به شبکه الکتریکی متصل می‌شود. از توربین‌ها در تعداد کم معمولاً فقط برای تامین برق در مناطق دور افتاده استفاده می‌شود. **اما از جمله دلایل تمایل کشورها برای افزایش ظرفیت تولید برق بادی مزایا بسیار زیاد این روش تولید انرژی الکتریکی است چراکه انرژی بادی فراوان، تجدیدپذیر و پاک است و همچنین در مقایسه با استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی میزان کمتری گاز گلخانه‌ای منتشر می‌کند.**

(این توربین سه پره از پرکاربردترین طراحی‌ها برای توربین‌های بادی هستند)

توان پتانسیل توربین

انرژی موجود در باد را می‌توان با عبور آن از داخل پره‌های و سپس انتقال گشتاور پره‌ها به روتور یک ژنراتور استخراج کرد. در این حالت میزان توان تبدیلی با تراکم باد, مساحت ناحیه جاروب شده توسط پره و مکعب سرعت باد بستگی دارد. به این ترتیب میزان توان قابل تبدیل در باد را می‌توان به شکل ذیل به دست آورد:

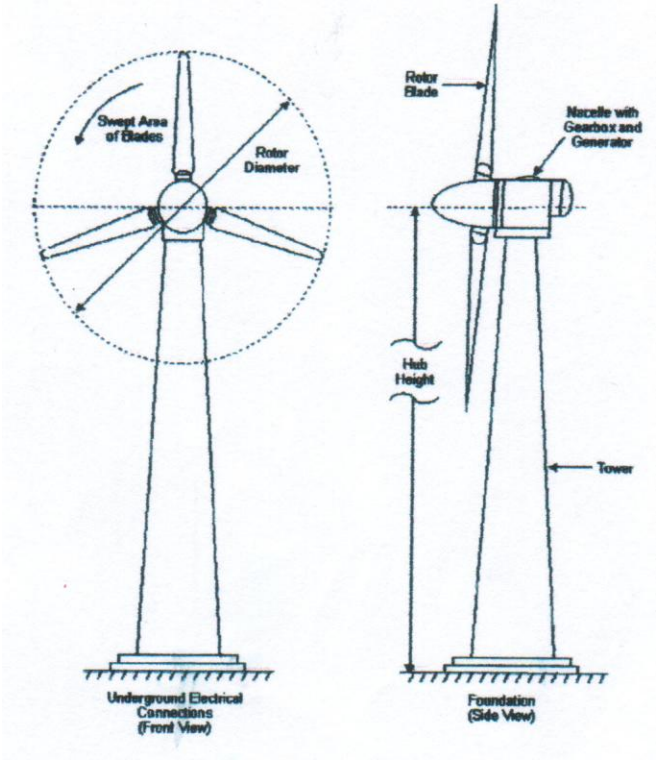
که در این فرمول P توان تبدیلی به وات، α ضریب بهره‌وری (که به طراحی توربین وابسته‌است)، ρ تراکم باد بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، r شعاع پره‌های توربین برحسب متر و v سرعت باد برحسب متر بر ثانیه‌است.

زمانی که توربین انرژی باد را می‌گیرد سرعت باد کم خواهد شد که این خود باعث جدا شدن باد می‌شود. آلبرت بتز (Albert Betz) فیزیکدان آلمانی در ۱۹۱۹ اثبات کرد که یک

توربین حداکثر می‌تواند ۵۹ درصد از انرژی بادی را که در مسیر آن می‌وزد را استخراج کند و به این ترتیب α در معادله بالا هرگز بیشتر از ۰٫۵۹ نخواهد شد.

از ترکیب این قانون با معادله بالا می‌توان اینگونه نتیجه گرفت:

- حجم هوایی که از منطقه جاروب شده توسط پره‌ها عبور می‌کند به میزان سرعت باد و چگالی هوا وابسته‌است. برای مثال در روزی سرد با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد (۵۹ درجه فارنهایت) در سطح دریا، چگالی هوا برابر ۱٫۲۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. در این حالت عبور بادی با سرعت ۸ متر بر ثانیه در روتوری به شعاع ۱۰۰ متر تقریباً موجب عبور ۷۷٬۰۰۰ کیلوگرم باد در منطقه جاروب شده توسط پره‌ها خواهد شد.
- انرژی جنبشی حجم مشخصی هوا به مجذور سرعت آن وابسته‌است و از آنجایی که حجم هوای عبور از توربین به صورت خطی با سرعت رابطه دارد، میزان توان قابل دسترسی در یک توربین با مکعب سرعت نسبت مستقیم دارد. مجموع توان در مثال بالا در توربینی با شعاع جاروب ۱۰۰ متر برابر ۲٫۵ مگاوات است که بر طبق قانون بتز بیشترین میزان انرژی استخراج شده از آن تقریباً برابر ۱٫۵ مگاوات خواهد بود.



توزیع سرعت باد

میزان باد دائما تغییر می‌کند میزان متوسط مشخص شده برای یک منطقه خاص صرفاً نمی‌تواند میزان تولید توربین بادی نصب شده در آن منطقه را مشخص کند. برای مشخص کردن فراوانی سرعت باد در یک منطقه معمولاً از یک ضریب توزیع در اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به منطقه استفاده می‌کنند. مناطق مختلف دارای مشخصه توزیع سرعت متفاوتی هستند. مدل رایلی (Rayleigh model) به طور دقیقی میزان ضریب توزیع سرعت در بسیاری مناطق را منعکس می‌کند.

از آنجاییکه بیشتر توان تولیدی در سرعت بالای باد تولید می‌شود, بیشتر انرژی تولیدی در بازه‌های زمانی کوتاه تولید می‌شود. بر طبق الگوی لی رنچ نیمی از انرژی تولیدی تنها در ۱۵٪ از زمان کارکرد توربین تولید می‌شود و در نتیجه نیروگاه‌های بادی مانند نیروگاه‌های

سوختی دارای تولید انرژی پایداری نیستند. تاسیساتی که از برق بادی استفاده می‌کنند باید از ژنراتورهای پشتیبانی برای مدتی که تولید انرژی در توربین بادی پایین است استفاده کنند.

ضریب ظرفیت

تا زمانی که سرعت باد ثابت نباشد تولید سالیانه انرژی الکتریکی توسط نیروگاه بادی هرگز برابر حاصل ضرب توان تولیدی نامی در مجموع ساعت کار آن در یک سال نخواهد شد. **نسبت میزان توان حقیقی تولید شده توسط نیروگاه و ماکزیمم ظرفیت تولیدی نیروگاه را ضریب ظرفیت می‌نامند**. یک نیروگاه بادی نصب شده در یک محل مناسب در ساحل ضریب ظرفیتی سالیانه‌ای در حدود ۳۵٪ دارد. برعکس نیروگاه‌های سوختی ضریب ظرفیت در یک نیروگاه بادی به شدت به خصوصیات ذاتی باد وابسته‌است. ضریب ظرفیت در انواع دیگر نیروگاه‌ها معمولاً به بهای سوخت و زمان مورد نیاز برای انجام عملیات تعمیر بستگی دارد. از آنجایی که نیروگاه‌های هسته‌ای دارای هزینه سوخت نسبتاً پایینی هستند بنابراین محدویت‌های مربوط به تامین سوخت این نیروگاه‌ها نسبتاً پایین است که این خود ضریب ظرفیت این نیروگاه‌ها را به حدود ۹۰٪ می‌رساند. نیروگاه‌هایی که از توربین‌های گاز طبیعی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می‌کنند به علت پر هزینه بودن تامین سوخت معمولاً تنها در زمان اوج مصرف به تولید می‌پردازند. به همین دلیل ضریب ظرفیت این توربین‌ها پایین بوده و معمولاً بین ۲۵-۵٪ می‌باشد.

بنا به یک تحقیق در دانشگاه استندورد که در نشریه کاربردی هواشناسی و اقلیم‌شناسی نیز به چاپ رسیده در صورت ساخت بیش از ده مزرعه بادی در مناطق مناسب و به طور

پراکنده می‌توان تقریباً از ۱/۳ انرژی تولیدی آنها برای تغذیه مصرف کننده‌های دائمی استفاده کرد.

محدودیت‌های ادواری و نفوذ

میزان انرژی الکتریکی تولیدی توسط نیروگاه‌های بادی می‌تواند به شدت به چهار مقیاس زمانی ساعت به ساعت, روزانه و فصلی وابسته باشد. این میزان به تحولات آب و هوایی سالیانه نیز وابسته‌است اما تغییرات در این مقیاس زیاد محسوس نیستند. از آنجایی که برای ایجاد ثبات در شبکه, میزان انرژی الکتریکی تامین شده و میزان مصرف باید در تعادل باشند از این جهت تغییرات دائم در میزان تولید این ضرورت را به وجود می‌آورد که از تعداد بیشتری نیروگاه بادی برای تولیدی متعادل‌تر در شبکه استفاده شود. از طرفی ادواری بودن طبیعی تولید انرژی باد موجب افزایش هزینه‌های تنظیم و راه اندازی می‌شود و (در سطوح بالا) ممکن است نیازمند اصول مدیریت تقاضای انرژی یا ذخیره‌سازی انرژی باشد.

از ذخیره‌سازی با استفاده از نیروگاه‌های آب تلمبه‌ای یا دیگر روش‌ها ذخیره سازی برق در شبکه می‌توانند برای به وجود آوردن تعادل در میزان تولید نیروگاه‌های بادی استفاده کرد اما در مقابل استفاده از این روش‌ها موجب افزایش ۲۵٪ هزینه‌های دائم اجرای چنین طرح‌هایی می‌شوند. ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی موجب به وجود آمدن تعادل بین دو بازه زمانی کم مصرف و پر مصرف خواهد شد و از این جهت میزان صرفه‌جویی عاید از ذخیره‌سازی انرژی هزینه‌های اجرای آن را جبران می‌کند. یکی دیگر از راهکارهای ایجاد

تعادل در تولید و مصرف، سازگار کردن میزان مصرف با میزان تولید با استفاده از ایجاد تعرفه‌های متفاوت زمانی برای مصرف کننده هاست.

پیش‌بینی پذیری

با توجه به تغییرات باد قابلیت پیش‌بینی محدودی (ساعتی یا روزانه) برای خروجی نیروگاه‌های بادی وجود دارد. مانند دیگر منابع انرژی تولید باد نیز باید از قابلیت برنامه ریزی برخوردار باشد اما طبیعت باد این پدیده را ذاتا متغیر می‌کند. گرچه از روش‌هایی برای پیش‌بینی تولید توان این نیروگاه‌ها استفاده می‌شود اما در کل قابلیت پیش‌بینی پذیری این نیروگاه‌ها پایین است. این عیب این گونه نیروگاه‌ها معمولاً باستفاده از روش‌های ذخیره سازی انرژی مانند استفاده از نیروگاه‌های آب تلمبه‌ای تا حدودی بر طرف می‌شود.

جاگذاری توربین

انتخاب مکان مناسب برای نصب نیروگاه بادی و جهت نصب توربین‌ها در محل از نکات حیاتی برای توسعه اقتصادی این گونه نیروگاه‌هاست. گذشته از دسترسی باد مناسب در محل مورد بحث, عوامل مهم دیگری مانند دسترسی به خطوط انتقال, قیمت زمین مورد استفاده, ملاحظات استفاده از زمین و مسائل زیست محیطی ساخت و بهره‌برداری نیز در انتخاب یک محل برای نصب نیروگاه‌ها موثر است. از این رو استفاده از نیروگاه‌های بادی در مناطق دور از ساحل ممکن است هزینه‌های مربوط به ساخت یا ضریب ظرفیت را با استفاده از کاهش هزینه‌های تولید برق جبران کنند.

مختصری از نیروگاه برق بادی :

مقرون به صرفه ترین روش استفاده از توربین های برق بادی، این است که بصورت گروهی از ماشین آلات بزرگ (۶۶۰ کیلو وات و بالاتر)بکار روند که " نیروگاه برق بادی" یا "مزارع بادی" نامیده می شوند. بعنوان مثال یک مزرعه بادی ۱۰۷ مگاواتی نزدیک به لیک بنتن در مینه سوتا متشکل از توربین هایی است که در کشتزاری در امتداد تپه باد خیز بوفالو به فواصل از یکدیگر احداث شده اند. **مزرعه بادی در حال تولید برق است در حین اینکه استفاده کشاورزی نیز بدون هیچگونه اختلالی ادامه دارد.**

نیروگاههای بادی از نظر اندازه و ظرفیت می توانند در محدوده چند مگاوات تا صدها مگاوات قرار گیرند. نیروگاههای برق بادی"بخش به بخش" می باشند، یعنی از بخشها (توربین های) منفرد کوچکی تشکیل شده اند و در صورت نیاز به آسانی می توان آنها را کوچکتر یا بزرگتر ساخت. همراه با افزایش تقاضای برق می توان به تعداد توربین ها افزود. امروزه ساخت یک مزرعه بادی ۵۰ مگاواتی در ظرف مدت ۱۸ ماه تا دو سال می تواند به اتمام برسد، که بیشتر این زمان برای اندازه گیری میزان باد و کسب مجوز ساخت مورد نیاز است-خود مزرعه بادی در کمتر از شش ماه می تواند ساخته شوند.

محدودیت ها و موانع خاصی در مناطق احداث نیروگاه های بادی وجود دارد که می بایست مورد نظر قرار گیرد که از جمله آن می توان به نوع مالکیت زمین، موقعیت سایت نیروگاه از جهت چگونگی و نحوه ارتباط آن با ساختمان ها و جاده های در دسترس و مناطق حفاظت شده زیست محیطی اشاره نمود که هرگاه این محدودیت ها برطرف شدند، نقشه اولیه خود توربین های بادی می تواند طرح ریزی شود. هدف کلی این است که تولید الکتریسیته را به

حداکثر رساند در حالی که هزینه های زیر بنایی، عملکرد و تعمیرات (O&M) و اثرات محیطی را به حداقل رساند. نمر افزارهای خاصی همچون WINPRO وجود دارد که به طراحان و توسعه دهندگان این امکان را می دهد تا پیش از پدیدار شدن توربین ها، با مدل سازی نیروگاه، بهترین راهکارهای تاثیر گزار تا قبل از ساخت پروژه، تعیین و مشخص گردد.

جدا از خود توربین ها، دیگر اجزا ء اصلی یک مزرعه بادی، برای پشتیبانی از برجهای توربین ، جاده های اتصالی و زیر سازه برای صدور الکتریسیته تولیدی به شبکه، بعنوان یک اصل و پایه محسوب می شوند. **یک مزرعه بادی ۱۰ مگاواتی به سهولت می تواند در عرض دو ماه ساخته شود و برق کافی برای مصرف بیش از ۵۰۰۰ خانه متوسط اروپایی را تولید نماید. به محض شروع به کار، می توان از راه دور یک مزرعه بادی را کنترل و نظارت نمود. یک تیم سیار با تقریبا دو پرسنل برای هر ۲۰ تا ۳۰ توربین، کارهای تعمیرات و نگهداری را انجام می دهند. زمان معمول تعمیرات برای یک توربین بادی مدرن تقریبا ۴۰ ساعت در سال می باشد.**

توان و مصرف الکتریسیته معمولا بیشتر با کیلو وات ساعت(KWH) سنجیده می شود. یک کیلو وات ساعت یعنی یک کیلو وات (۱۰۰۰ وات) الکتریسیته که در یک ساعت تولید یا مصرف می شود. یک لامپ روشنایی ۵۰ واتی که به مدت بیست ساعت روشن باشد، یک کیلو وات ساعت برق مصرف می کند. بازده یک توربین بادی بستگی به اندازه توربین و سرعت باد در روتور(چرخ گردان) دارد. توربین های بادی که امروزه ساخته می شوند دارای توان قدرت حدود ۲۵۰ وات تا ۱/۸ مگاوات می باشند.

مثال: یک توربین بادی ۱۰ کیلوواتی در یک مکانی که سرعت باد بطور متوسط ۱۲ مایل در ساعت باشد قادر است سالانه حدود ۱۰۰۰۰ کیلووات ساعت یا به اندازه ای که برای مصارف خانگی معمول کفایت کند، برق تولید نماید.

یک توربین ۱/۸ مگاواتی قادر است سالانه بیش از ۵/۲ میلیون کیلو وات ساعت برق تولید کند که برای مصرف بیش از ۵۰۰ خانوار کفایت می کند. متوسط مصرف خانگی در آمریکا حدود ۱۰۰۰۰ کیلو وات ساعت برق در سال می باشد.

سرعت باد یک عامل مهم در پیش بینی میزان کارآئی توربین می باشد و سرعت باد یک مکان از طریق ارزیابی منبع باد قبل از ساخت یک سیستم بادی، سنجیده می شود. معمولا یک سرعت باد متوسط سالانه بیشتر از ٤ متر متر درثانیه برای توربین های الکتریکی بادی کوچک لازم می باشد (برای عملیات مکش آب باد کمتری لازم است). نیروگاههای انرژی بادی مصارف همگانی بطور متوسط به حداقل سرعت بادی به اندازه ٦ متر درثانیه نیاز دارند.

برق موجود در باد متناسب است با مکعب سرعت باد، بدین معنا که دو برابر کردن سرعت باد، برق حاصله را به صورت ضریبی از ۸ افزایش می دهد. بنابراین توربینی که در محلی با سرعت باد متوسط ۱۲ متر در ساعت کار می کند به نسبت توربینی که در مکانی با سرعت باد ۱۱ متر در ساعت باشد بصورت فرضی می تواند حدود ۳۳٪ بیشتر الکتریسیته تولیدکند به این دلیل که مکعب ۱۲(۱۷٦۸) ۳۳٪ بزرگتر از مکعب ۱۱ (۱۳۳۱) می باشد. (در دنیای واقعی، توربین ها به این مقدار زیاد، الکتریسیته بیشتر تولید نمی کنند اما باز هم بیش از ۹٪ اختلاف تولید خواهد کرد.)**آنچه که مهم و قابل ملاحظه است این است که تفاوتی که**

در سرعت باد به نظر جزئی و کم می آید، می تواند اختلاف بزرگی در میزان انرژی موجود والکتریسیته تولید شده، ایجاد نماید و بنابراین اختلاف زیادی نیز در قیمت برق تولید شده حاصل می گردد.

توربین های بادیبا مصارف همگانی در خشکی دارای سایزهای مختلفی می باشد. قطر چرخ گردان از حدود ۵۰ متر تا حدود ۹۰ متر و با برجی تقریبا به همان سایز. یک توربین ۹۰ متری که دارای یک برج ۹۰ متری می باشد، ارتفاع کلی آن از پایه برج تا نوک چرخ گردان تقریبا ۱۳۵ متر (٤٤٢ فوت) است. از تفاوت های توربین های خشکی و ساحلی می باشد. توربین های دریایی دارای چرخ گردانهای بزرگتری می باشند و در حال حاضر بزرگترین آنها دارای قطر چرخ گردان ۱۱۰ متر است.

این امکان به دلیل که حمل و نقل پره های توربین به وسیله کشتی که آسانتر از راه زمینی می باشد به وجود آمده است. توربین های بادی کوچک که برای مصارف خانگی یا تجاری جزئی طرح ریزی شده اند بسیار کوچکتر می باشند.بیشتر آنها دارای قطر چرخ گردان ۸ متر یا کمتر می باشند و برروی برج هایی به ارتفاع ٤۰ متر یا کمتر نصب می گردند.

بیشتر سازندگان توربین های مصارف همگانی، دستگاههایی در محدوده ۷۰۰ کیلو وات تا ۱/۸ مگاوات را پیشنهاد می کنند. ده واحد ۷۰۰ کیلو واتی یک نیروگاه بادی ۷ مگاواتی را می سازد در صورتیکه ۱۰ دستگاه ۱/۸ مگاواتی یک تاسیسات ۱۸ مگاواتی را فراهم می سازد. در آینده ایی نزدیک دستگاه هایی با اندازه بزرگتر تولید می گردد و به جهت حمل و نقل آسانتر تجهیزات در دریا، این توربین ها در مناطق ساحلی و یا در آب های بین المللی مورد استفاده قرار می گیرند.

ضریب ظرفیت

ضریب ظرفیت عاملی است در سنجش بهره وری یک توربین بادی یا هر گونه تاسیسات تولید برق دیگر. ضریب ظرفیت، تولید واقعی نیروگاه در مدت زمان معین را با مقدار انرژی که نیروگاه می بایستی تولید نماید را با ظرفیت کامل تولید در همان زمان مقایسه می نماید.

$$\text{ضریب ظرفیت} = \frac{\text{مقدار واقعی انرژی تولید شده در زمان}}{\text{انرژی که می بایست تولید می شود اگر توربین با حداکثر بازدهی در ۱۰۰٪ از زمان کار می کرد}}$$

یک نیروگاه برق معمولی همگانی از سوخت استفاده می نماید بنابراین معمولا در بیشتر مواقع کار می کند مگر این که بدلیل خرابی دستگاهها یا برای تعمیرات بلا استفاده شود. یک ضریب ظرفیت ٤٠ تا ٨٠ درصدی برای نیروگاههای معمولی، چیز متعارفی است. یک

نیروگاه بادی به وسیله باد تغذیه می گردد که باد هم گاها پیوسته می وزد و در مواقعی هم اصلا نمی وزد.هر چند توربین های بادی مدرن با مصارف همگانی معمولا در ٦٥ تا ٨٠ درصد مواقع کار می کنند، اغلب این توربین ها در سطحی کمتر از ظرفیت کامل عمل می کنند. بنابراین یک ضریب ظرفیت ٢٥ تا ٤٠ درصدی غالبا متعارف محسوب میگردد، هر چند ممکن است طی ماهها یا هفته های پر باد به ضریب ظرفیت های بالاتر هم برسند.

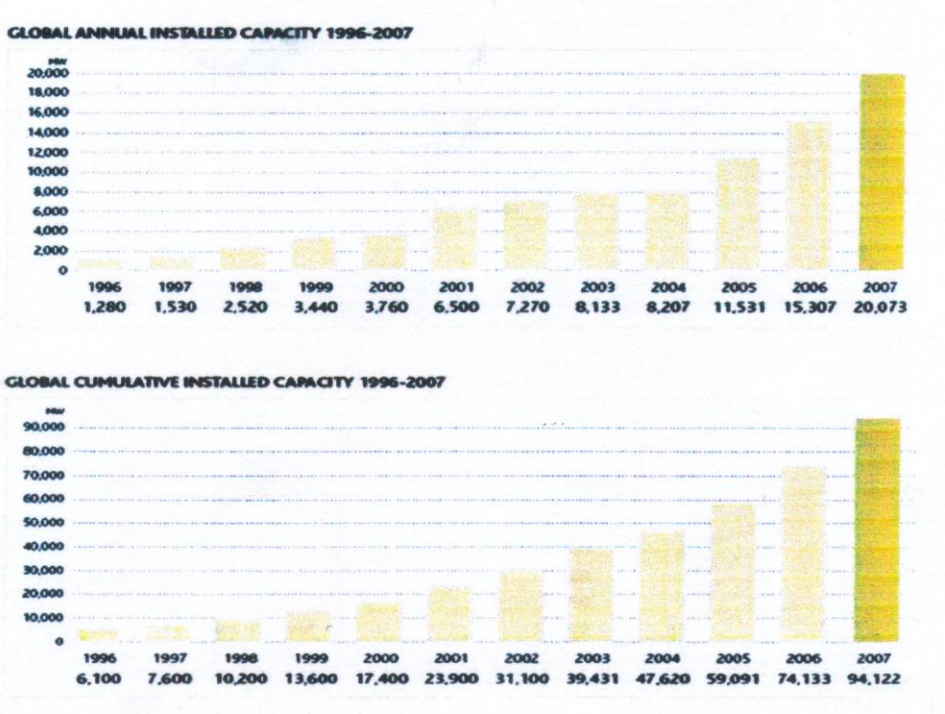
مهم است که توجه داشته باشیم، ضریب ظرفیت تقریبا برای یک نیروگاه سوختی موضوعی کاملا قابل اطمینان است اما برای یک نیروگاه بادی اینگونه نیست، ضریب ظرفیت برای یک نیروگاه بادی بستگی به مقرون به صرفه بودن طراحی توربین می باشد.

با یک چرخ گردان خیلی بزرگ و یک ژنراتور بسیار کوچک هر زمان که باد بوزد، یک توربین بادی با ظرفیت کامل کار می کند و ضریب ظرفیت ٨٠-٦٠ درصد را دارا خواهد بود اما الکتریسیته بسیار اندکی را تولید خواهد نمود . بیشترین الکتریسیته ای که از هر دلار سرمایه گذاری شده بدست خواهد آمد، با استفاده از یک ژنراتور بزرگتر و قبول نمودن این واقعیت که نتیجتا ضریب ظرفیت تولید پایین تر خواهد بود، حاصل می گردد. توربین های بادی از این لحاظ اساسا با نیروگاههای برق سوختی تفاوت دارند.

آمار ظرفیت نصب توربین های بادی در دنیا

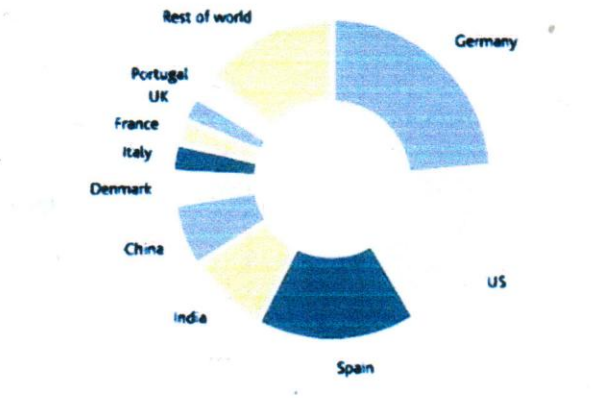
گزارش منتشر شده توسط انجمن انرژی باد جهان GWEC در فوریه ٢٠١٠ که شامل ارقام مربوط به توسعهٔ انرژی باد در بیش از ٧٠ کشور در سراسر دنیا می‌باشد، نشان می‌دهد که در این سال میزان نصب در جهان به ٣٧٧٠٧ مگاوات رسیده، که با توجه به این

امر میزان کل نصب از ۱۲۰۷۹۸ مگاوات در سال ۲۰۰۸ به ۱۵۸۵۰۵ مگاوات در سال ۲۰۰۹ افزایش یافته‌است.



به بیان اقتصادی، بخش انرژی باد هم اکنون با مقدار کل نصب تجهیزات تولید برق جدید که ارزشی حدود ۲۵ میلیارد یورو، معادل ۳٦ میلیارد دلار آمریکا دارد، بطور جدی نقش مهمی را در بازار انرژی ایفا می نماید. کشورهایی که بیشترین میزان نصب را بصورت تجمعی داشته اند عبارتند از آلمان (۲۲۲٤۷ مگاوات) آمریکا (۱٦۸۱۸ مگاوات)، اسپانیا (۱۵۱٤۵ مگاوات)، هند (۸۰۰۰ مگاوات) و چین (٦۰۵۰ مگاوات)

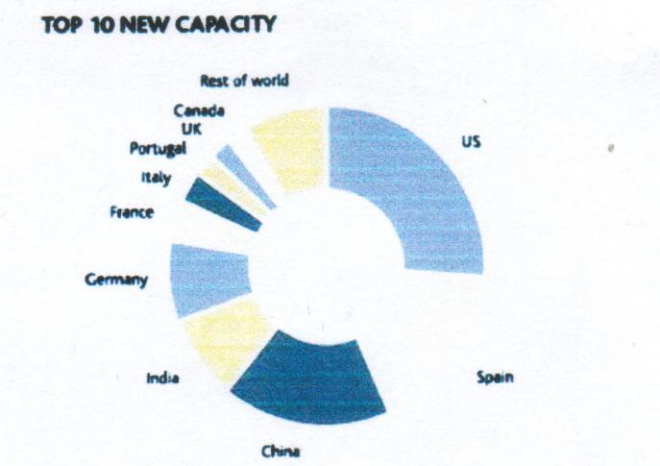
TOP 10 TOTAL INSTALLED CAPACITY



	MW	%
Germany	22,247	23.6
US	16,818	17.9
Spain	15,145	16.1
India	8,000	8.5
China	6,050	6.4
Denmark	3,125	3.3
Italy	2,726	2.9
France	2,454	2.6
UK	2,389	2.5
Portugal	2,150	2.3
Rest of world	13,008	13.8
Total top 10	81,104	86.2
Total	94,112	100.0

از نظر ظرفیت جدید نصب شده در سال ۲۰۰۷، ایالات متحده با ٥٢٤٤ مگاوات پیشتاز بوده و پس از آن اسپانیا با ۳٥۲۲ مگاوات، چین با ۳٤٤۹ مگاوات، هند با ۱۷۳۰ مگاوات، آلمان با ١٦٦٧ مگاوات و فرانسه با ۸۸۰ مگاوات قرار دارند.

این میزان رشد نشان می دهد که رقبای جدید همانند اسپانیا و چین از سایر کشورها پیشی گرفته اند.



	MW	%
US	5,244	26.1
Spain	3,522	17.5
China	3,449	17.2
India	1,730	8.6
Germany	1,667	8.3
France	888	4.4
Italy	603	3.0
Portugal	434	2.2
UK	427	2.1
Canada	386	1.9
Rest of world	1,723	8.6
Total top 10	**18,350**	**91.4**
Total	**20,073**	**100.0**

اروپا با ظرفیت نصب شده ٥٧١٣٦ مگاوات در پایان سال ۲۰۰۷ همچنان پیشتاز بازار بوده که این میزان ٦١ درصد کل ظرفیت در دنیا می باشد. **در سال ۲۰۱۰، تولید حدود ۱۱۹ تریلیون وات ساعت (TWH) انرژی باد معادل ۴۰ درصد از کل ظرفیت نیروگاههای نصب شده در این سال، نشانگر رشد قابل توجه این صنعت در مقایسه با دیگر تکنولوژیهای تامین انرژی می باشد.**

با وجود رشد مداوم در اروپا، حرکت عمومی نشاندهنده این است که این بخش به تدریج وابستگی خود را به چند بازار کلیدی از دست داده و مناطق دیگر شروع به رقابت با اروپا

نموده اند. رشد ۴۳ درصدی بازار اروپا در سال ۲۰۱۰ کمتر از ۱/۲ کل ظرفیت جدید نصب شده می باشد که این نسبت در سال ۲۰۰۷ سه چهارم بوده است.

بهره برداری از برق بادی در جهان در سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰

توان بادی نصب شده به مگاوات					توان بادی نصب شده به مگاوات				
رتبه	کشور	2005	2006	2007	رتبه	کشور	2005	2006	2007
1	آلمان	18,415	20,622	22,247	22	بلژیک	167	193	287
2	ایالات متحده آمریکا	9,149	11,603	16,818	23	تایوان	104	188	282
3	اسپانیا	10,028	11,615	15,145	24	لهستان	83	153	276
4	هندوستان	4,430	6,270	8,000	25	برزیل	29	237	247
5	جمهوری خلق چین	1,260	2,604	6,050	26	کره جنوبی	98	173	191
6	دانمارک	3,136	3,140	3,129	27	ترکیه	20	51	146
7	ایتالیا	1,718	2,123	2,726	28	جمهوری چک	28	50	116
8	فرانسه	757	1,567	2,454	29	مراکش	64	124	114
9	پادشاهی متحده	1,332	1,963	2,389	30	فنلاند	82	86	110
10	پرتغال	1,022	1,716	2,150	31	اوکرائین	77	86	89

رتبه	کشور	2005	2006	2007
11	کانادا	683	1,459	1,856
12	هلند	1,219	1,560	1,747
13	ژاپن	1,061	1,394	1,538
14	اتریش	819	965	982
15	یونان	573	746	871
16	استرالیا	708	817	824
17	ایرلند	496	745	805
18	سوئد	510	572	788
19	نروژ	267	314	333
20	زلاند نو	169	171	322
21	مصر	145	230	310
32	مکزیک	3	88	87
33	کستاریکا	71	74	74
34	بلغارستان	6	36	70
35	ایران	23	48	66
36	مجارستان	18	61	65
	بقیه اروپا	129	163	
	بقیه آمریکا	109	109	
	بقیه آسیا	38	38	
	بقیه آفریقا و خاورمیانه	31	31	
	بقیه اقیانوسیه	12	12	
	کل جهان(MW)	59,091	74,223	~94,000

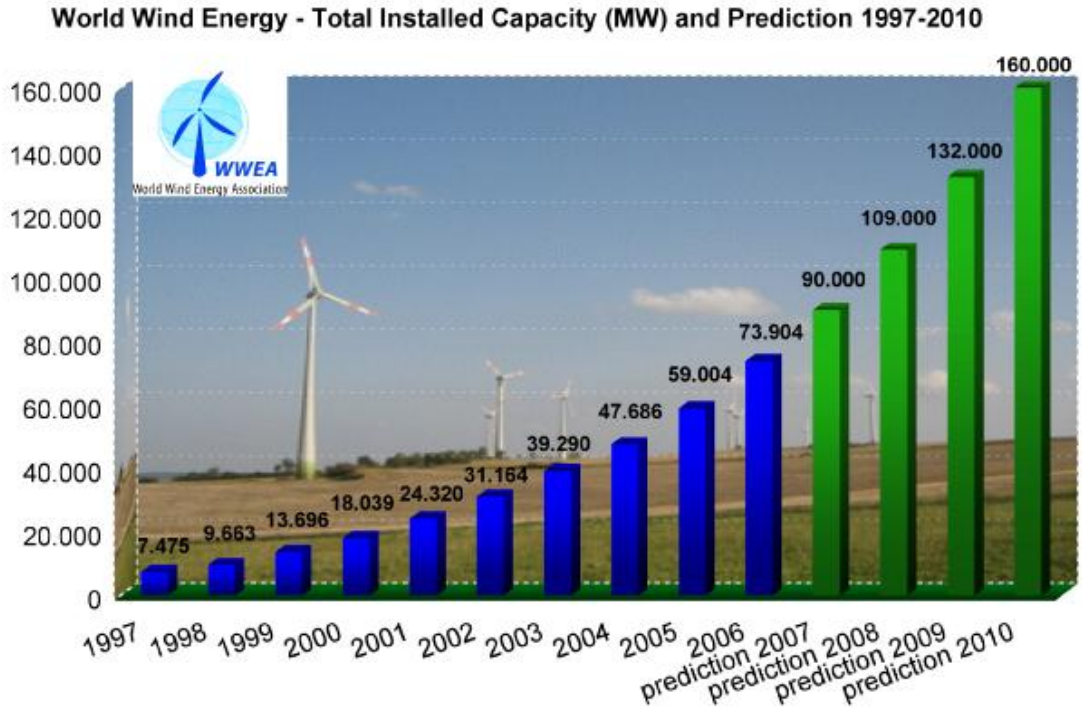
در جهان هزاران توربین بادی در حال بهره برداری وجود دارد که ظرفیت تولیدی آنها به ۹۰٤/۷۳ مگاوات می رسد و در این میان اتحادیه اروپا ٦٥ درصد از کل توان بادی جهان را تولید می کند. تولید برق بادی در میان دیگر روشهای تولید انرژی الکتریکی دارای بیشترین شتاب رشد در قرن ۲۱ بوده است، به طوری که تولید توان بادی جهان در بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰٦ چهار برابر شده است. در دانمارک و اسپانیا برق بادی حدود ۱۰ درصد یا

بیشتر از کل تولید انرژی الکتریکی را تشکیل می دهد. گرچه ۸۱ درصد از توان بادی تولید شده در جهان به ایالات متحده و اتحادیه اروپا تعلق دارد، اما سهم پنج کشور اول تولید کننده برق بادی از ۷۱ درصد در سال ۲۰۰٤ به ٥٥ درصد در سال ۲۰۰٥ کاهش یافته است. **انجمن جهانی انرژی بادی پیش بینی کرده، در سال ۲۰۱۰ ظرفیت تولیدی برق بادی به ۱۶۰ گیگاوات برسد. با توجه به میزان تولید کنونی ۹/۷۳ مگاوات این رقم پیش بینی یک رشد ۲۱ درصد را در هر سال نشان می دهد.** از جمله کشورهایی که سرمایه گذاری زیادی در این زمینه انجام داده اند، می توان به آلمان، اسپانیا، ایالات متحده، هند و دانمارک اشاره کرد. کشور دانمارک یکی از کشورهای برجسته در تولید تجهیزات و استفاده از توان بادی است. دولت دانمارک در دهه ۱۹۷۰ ملزم شد تا تولید انرژی الکتریکی از انرژی باد را به ٥۰ درصد کل تولید برق برساند و تا به امروز برق بادی ۲۰ درصد (بیشترین میزان تولید برق بادی از نظر درصد تولید) از کل تولید انرژی الکتریکی در این کشور را تشکیل می‌دهد؛ این کشور همچنین پنجمین تولید کننده بزرگ برق بادی محسوب می‌شود (در حالی که دانمارک از نظر میزان مصرف در جهان رتبه ٥٦ را دارا است). آلمان و دانمارک دو کشور پیشتاز در زمینه صادرات توربین های بزرگ (٦٦/۰ تا ٥ مگاوات) به شمار می آیند. **آلمان یکی از کشورهای پیشتاز در زمینه تولید برق بادی بوده است**، به طوری که در سال ۲۰۰٦ این کشور ۲۸ درصد از کل توان بادی تولید شده در جهان (۳/۷ درصد در آلمان) را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که آلمان برنامه دارد تا سال ۲۰۱۰ حدود ٥/۱۲ درصد از کل توان تولیدی خود را از منابع تجدیدپذیر تأمین نماید. کشور آلمان دارای حدود

۱۸ هزار و ٦۰۰ توربین بادی است که بیشتر آنها در شمال آلمان نصب شده اند که در این میان سه توربین از بزرگترین توربین های جهان نیز وجود دارند .

در سال ۲۰۰۵ دولت اسپانیا قانونی را تصویب کرد که طبق آن نصب ۲۰ هزار مگاوات ظرفیت بادی تا سال ۲۰۱۲ در برنامه دولت قرار گرفت. البته در سال ۲۰۰۶ یارانه ها و پشتیبانی دولت از ساخت این ظرفیت ها به ناگهان قطع شد. این درحالیست که دولت جمهوری اسلامی ایران به تصویب دستورالعمل ماده ۶۲ تنظیم بخشی از قانون بودجه جزء بهترین کشورها دنیا در زمینه حمایت و اختصاص یارانه حمایتی جهت احداث نیروگاه های بادی می باشد. قابل ذکر است، در سال ۲۰۰۵ در هر دو کشور آلمان و اسپانیا تولید انرژی الکتریکی از راه استفاده از نیروگاه های بادی از تولید انرژی الکتریکی به وسیله نیروگاه های برق آبی بیشتر بود .

در سال های اخیر ایالات متحده از هر کشور دیگری بیشتر توربین بادی به شبکه برق خود افزوده است و پیش‌بینی می‌شود، ظرفیت تولیدی این کشور در سال ۲۰۱۰ افزایشی ۳ گیگاواتی داشته باشد. تولید برق بادی در ایالات متحده در بازه زمانی بین فوریه ۲۰۰۸ تا فوریه ۲۰۱۰ حدود ۸/۳۱ درصد رشد داشته است. ایالت تگزاس با پیشی گرفتن از کالیفرنیا اکنون بیشترین تولید برق بادی را دربین ایالتهای مختلف این کشور دارد. این ایالت پیش-بینی کرده، در سال ۲۰۱۲ در مجموع ۲ گیگاوات به توان فعلی خود بیفزاید. پیش‌بینی می-شود، ایالتهای ایووا و مینه سوتا هر یک در انتهای سال ۲۰۱۲ یک گیگاوات برق بادی تولید کنند.



نمودار میزان و پیش بینی استفاده از برق بادی در سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰

انرژی بادی در آلمان

آلمان با ۲۰،۶۲۱ مگاوات توان بادی نصب شده بزرگترین تولید کننده برق بادی در جهان محسوب می‌شود و بالاتر از اسپانیا با تولیدی بالغ بر ۱۱،۶۱۵ مگاوات قرار دارد. بیش از ۱۸۰۰۰ توربین بادی در ایالت‌های مختلف آلمان نصب شده‌اند و این کشور در صدد است تا تعداد توربین‌ها را افزایش دهد. **در حال حاضر برق بادی حدود ۶ درصد از کل مصرف برق در آلمان را تشکیل می‌دهد و گفته می‌شود که هیچ کشوری در این زمینه به اندازه آلمان دارای دانش فنی نیروگاه های بادی نمی باشد.** صنایع تولید توربین‌های بادی در آلمان حدود ۷۰۰۰۰ فرصت شغلی را ایجاد کرده‌اند و این **توربین‌ها به کشورهای مختلف جهان صادر می‌شوند. توربین بادی فولندر در روستای لاسو در ایالت براندنبورگ**

آلمان در سال ۲۰۰۶ ساخته شد و در حال حاضر بزرگترین توربین بادی جهان محسوب می‌شود. با این حال صرفه اقتصادی ساخت این توربین‌ها در آلمان در حال بررسی می-باشد و به این نکته اشاره می‌شود که روش‌های دیگری نیز برای تولید انرژی الکتریکی وجود دارند که نیازمند توجه باشند. **از موضوعات مورد بحث درباره توربین‌های بادی می‌توان به تاثیرات زیبایی شناختی آنها بر روی محیط زیست, تاثیر آنها بر روی جمعیت پرندگان و تاثیر آنها بر روی صنعت گردشگری اشاره کرد.**

جدول زیر نشان دهنده رشد استفاده از برق بادی در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ است.

سال	ظرفیت نصب شده به مگاوات
۲۰۰۰	۶،۱۰۴
۲۰۰۱	۸،۷۵۴
۲۰۰۲	۱۱،۹۹۴
۲۰۰۳	۱۴،۶۰۹
۲۰۰۴	۱۶،۶۲۹
۲۰۰۵	۱۸،۴۱۵
۲۰۰۶	۲۰،۶۲۲

انرژی بادی در ایالات متحده آمریکا

انرژی بادی در حال حاضر بیش از ۱٪ از کل برق ایالات متحده آمریکا را تولید می‌کند. در سال ۲۰۰۸، تولید الکتریسیته با انرژی بادی در ایالات متحده آمریکا فراتر از ۱۶،۸۰۰ مگاوات گزارش شد. این میزان تامین انرژی مورد نیاز ۴،۵ میلیون خانوار آمریکایی را

می‌کند. با میزان کنونی نصب نیروگاه‌های بادی در آمریکا، و با نصب ۷۵۰۰۰ توربین بادی در آینده نزدیک، برآورد می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ نزدیک به ۲۰٪ از برق ایالات متحده را انرژی بادی تامین کند. در حال حاضر، ایالت تگزاس پیشرو در نصب و استفاده از نیروی باد در تولید الکتریسیته در ایالات متحده آمریکا است.

تولید انرژی الکتریسیته بر حسب ایالت

ایالت	پتانسیل باد (گیگاوات – ساعت در سال)	ظرفیت نصب شده مگاوات	درصد برق ایالت از باد
داکوتای شمالی	۱،۲۱۰،۰۰۰	۳٤٥	٪٥,۱
تگزاس	۱،۱۹۰،۰۰۰	٤،۳٥٦	٪۲,۳
کانزاس	۱،۰۷۰،۰۰۰	۳٦٤	٪۳,۱
داکوتای جنوبی	۱،۰۳۰،۰۰۰	۹۸	٪۱,٥
مونتانا	۱،۰۲۰،۰۰۰	**۱۴۶**	٪۳,۳
نبراسکا	۸٦۸،۰۰۰	**۷۳**	٪۱,۰
وایومینگ	۷٤۷،۰۰۰	**۲۸۸**	٪٥,۱
اوکلاهوما	۷۲٥،۰۰۰	**۶۸۹**	٪۳,٥
مینسوتا	٦٥۷،۰۰۰	**۱,۲۹۹**	٪۳,۸
آیووا	٥٥۱،۰۰۰	**۱,۲۷۳**	٪۶,۰
کلرادو	٤۸۱،۰۰۰	۱،۰٦۷	٪۱,۷

نیومکزیکو	۴۳۵،۰۰۰	۴۹۶	٪۷,۳
آیداهو	۷۳،۰۰۰	۷۵	٪۰,۷
میشیگان	۶۵،۰۰۰	۳	--
نیویورک	۶۲،۰۰۰	۴۲۵	٪۰,۶
ایلینوی	۶۱،۰۰۰	۶۹۹	--
کالیفرنیا	۵۹،۰۰۰	۴۳۹,۲	٪۲,۱
ویسکانسین	۵۸،۰۰۰	۵۲	--
مین	۵۶،۰۰۰	۴۲	--
میزوری	۵۲,۰۰۰	۵۷	--
پنسیلوانیا	۴۵,۰۰۰	۲۹۴	٪۰,۳
اورگن	۴۳,۰۰۰	۸۸۵	٪۲,۴
واشینگتن	۳۳,۰۰۰	۱۶۳,۱	٪۲,۳
ماساچوست	۲۵,۰۰۰	۵	--
یوتا	۲۴,۰۰۰	۱	--
نیوجرزی	۱۰,۰۰۰	۸	--
ویرجینیای باختری	۵,۰۰۰	۶۶	٪۰,۶
ورمانت	۵,۰۰۰	۶	--

اوهایو	٤,٠٠٠	٧	--
نیوهمپشر	٤,٠٠٠	١	--
تنسی	٢,٠٠٠	٢٩	--
رودآیلند	١,٠٠٠	١	--
هاوایی	--	٦٣	٪١,٠
آلاسکا	--	٢	--
مجموع	١٠٦٧١٠٠٠	١٦٨١٨	٪٠,٨٥

آثار زیست محیطی

انتشار CO_2 و آلودگی

توربین‌ها بادی برای راه‌اندازی و بهره‌برداری نیاز به هیچ گونه سوختی ندارند و بنابراین در قبال انرژی الکتریکی تولید آلودگی مستقیمی ایجاد نمی‌کنند. بهره‌برداری از این توربین‌ها دی‌اکسید کربن, دی‌اکسید گوگرد, جیوه, ذرات معلق یا هیچ گونه عامل آلوده کننده هوا تولید نمی‌کند. اما توربین‌ها بادی در مراحل ساخت از منابع مختلفی استفاده می‌کنند. در طول ساخت نیروگاه‌های بادی باید از موادی مانند فولاد, بتن,آلمینیوم و... استفاده کرد که تولید و انتقال آنها نیازمند مصرف انواع سوخت‌هاست. دی‌اکسید کربن تولید شده در این مراحل پس از حدود ۹ ماه کار کردن نیروگاه جبران خواهد شد. نیروگاه‌های سوخت فسیلی که برای تنظیم برق تولیدی در نیروگاه‌های بادی مورد استفاده

قرار می‌گیرند موجب ایجاد آلودگی خواهند شد: بعضی از اوقات به این نکته اشاره می‌شود که نیروگاه‌های بادی نمی‌توانند میزان دی‌اکسید کربن تولیدی را کاهش دهند چراکه برق تولیدی از طریق نیروگاه بادی به دلیل نامنظم بودن همیشه باید به وسیله یک نیروگاه سوخت فسیلی پشتیبانی شود. نیروگاه‌های بادی نمی‌توانند به طور کامل جایگزین نیروگاه‌های سوخت فسیلی شوند اما با تولید انرژی الکتریکی مبنای تولیدی نیروگاه‌های حرارتی را کاهش داده و از تولید آنها می‌کاهند که به این ترتیب میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد.

تاثیرات بوم شناختی

برخلاف نیروگاه‌های هسته‌ای و نیروگاه‌های سوخت فسیلی که مقدار زیادی آب را برای خنک کردن منتشر می‌کنند, نیروگاه‌های بادی نیازی به آب برای تولید انرژی الکتریکی ندارند. درباره نشت روغن یا آب سیالی که در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد حوادث متعددی گزارش شده. در برخی موارد سیال وارد آب شرب مناطق اطراف نیز می‌شود که خسارت‌هایی را بر جای خواهد گذاشت. این سیال‌های معمولاً در اثر حرکت در پره توربین موادی را در خود حل کرده و سپس در محیط پراکنده می‌کنند.

استفاده از زمین

توربین‌های بادی باید ده برابر قطرشان در راستای باد غالب و پنج برابر قطرشان در راستای عمودی از هم فاصله داشته باشند تا کمترین تلفات حاصل شود. در نتیجه توربین‌های بادی تقریباً به ۰٫۱ کیلومترمربع مکان خالی به ازای هر مگاوات توان نامی

تولیدی نیازمند هستند. **معمولا برای نصب این توربین‌ها نیازی به پاکسازی درختان منطقه نیست. کشاورزان می‌توانند برای ساخت این توربین‌ها زمین‌های خود را به شرکت‌های سازنده اجاره می‌دهند.**

در ایالات متحده کشاورزان حدود ۲ تا ۵ هزار دلار به ازای هر توربین در هر سال دریافت می‌کنند. زمین‌ها مورد استفاده قرار گرفته برای توربین‌ها بادی همچنان می‌توانند برای کشاورزی و چرای دام مورد استفاده قرار بگیرند چراکه تنها ۱٪ از زمین برای ساخت پی توربین و راه دسترسی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به عبارت دیگر ۹۹٪ زمین هنوز قابل استفاده‌است. توربین‌های بادی عموما در مناطق شهری نصب نمی‌شوند چراکه ساختمان‌ها جلوی وزش باد را سد می‌کنند و قیمت زمین نیز معمولاً زیاد است. با این حال پروژه نمایشی تورنتو اثبات کرد که نصب توربین‌های بادی در چنین مکان‌هایی نیز ممکن است.

آثار بر روی حیات وحش

پرندگان

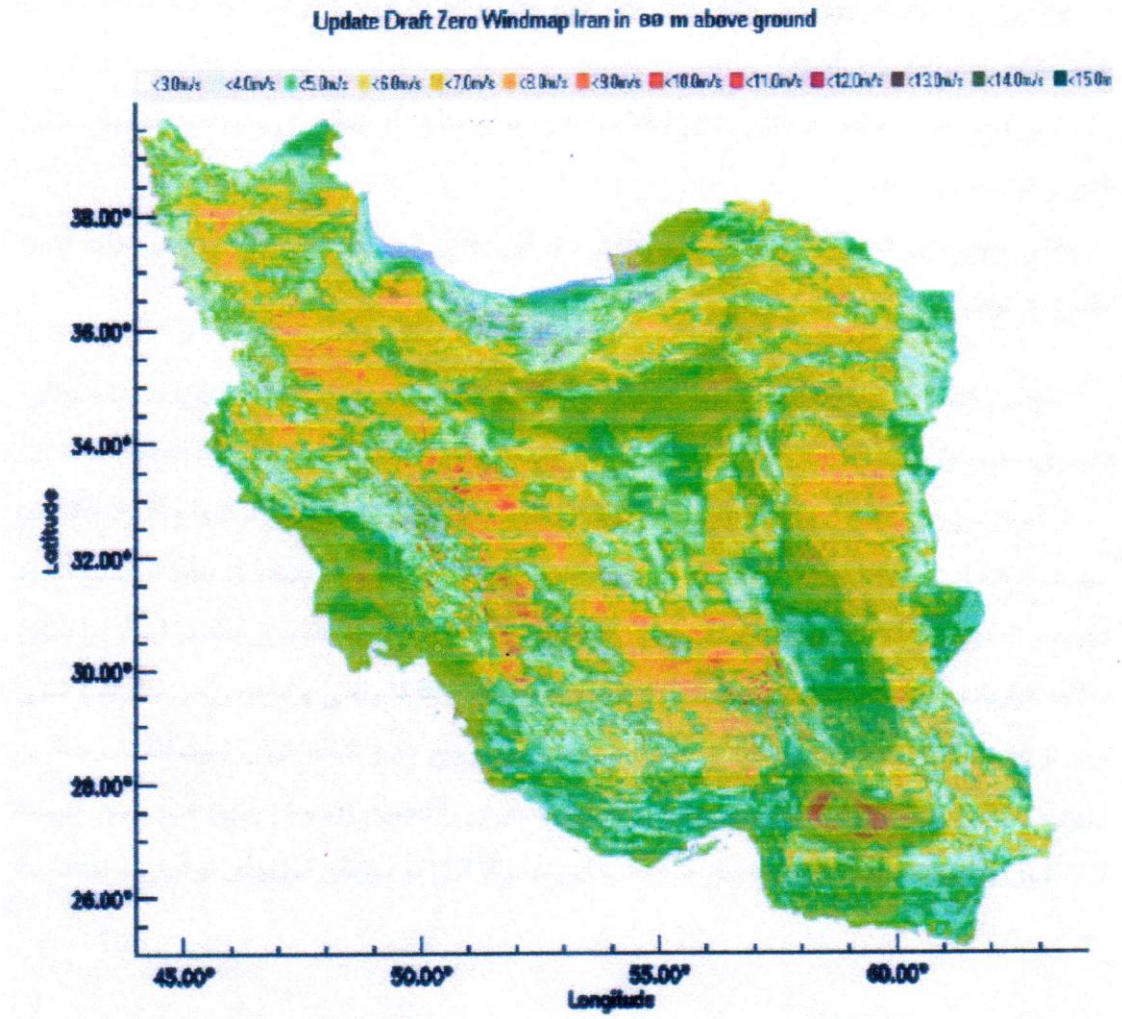
برخی از توربین‌های بادی موجب کشته شدن پرنده‌ها به ویژه پرنده‌های شکاری می‌شوند البته مطالعات نشان می‌دهد که تعداد پرنده‌های کشته شده توسط توربین‌های بادی در مقابل عوامل انسانی دیگر کشته شدن پرندگان مانند خطوط برق, ترافیک, شکار, ساختمان‌های بلند و به ویژه استفاده از منابع آلوده انرژی تعداد بسیار ناچیزی است؛ برای مثال در انگلستان که در آن چندین هزار توربین بادی وجود دارد تقریباً در هر سال تنها یک

پرنده در هر توربین کشته می‌شود در حالی که تنها در اثر آثار مخرب استفاده از خودروها هر سال در حدود ۱۰ میلیون پرنده کشته می‌شوند. در ایالات متحده توربین‌ها هر سال در حدود ۷۰،۰۰۰ پرنده را می‌کشند که در مقابل ۵۷ میلیون پرنده کشته شده در اثر استفاده از خودروها یا ۹۷۰۵ میلیون پرنده کشته شده در اثر برخورد با شیشه‌ها مقدار اندکی است. مقاله‌ای در رابطه با طبیعت اظهار داشته که هر توربین به طور متوسط هر سال ۰،۰۰۳پرنده یا به عبارتی ۱ پرنده در طول ۳۰ سال می‌کشد.

انرژی بادی در ایران

امور انرژی های نو وزارت نیرو و سازمان انرژی های نو ایران (سانا) در چند سال اخیر جهت برآورد پتانسیل انرژی باد کشور فعالیت های مختلفی را انجام داده اند و در حال حاضر نیز سانا اطلس باد کشور را در دست تهیه دارد. از این رو در چند سال اخیرتعدادی ایستگاه بادسنجی در مناطق مختلف کشور نصب شده است. و تعداد دیگری نیز به تدریج نصب خواهد شد.

طبق اطلاعات به دست آمده، ظرفیت نصب نیروگاه های بادی در کشور در حدود ۱۰۰,۰۰۰ مگاوات برآورد می شود.



اقدامات انجام شده توسط سانا:

اطلاعات دقیق پتانسیل باد در نقاط مختلف کشور برنامه ریزی و استفاده از انرژی باد را در سبد کلی انرژی امکان پذیر می سازد. همچنین این اطلاعات در انتخاب سایت و طراحی مزرعه بادی و انتخاب بهینه نوع توربین موثر خواهد بود.

چنین پروژه هایی در اکثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، انجام یافته و یا در حال انجام است. بعنوان مثال در امریکا قبلا دپارتمان انرژی آمریکا چنین پروژه ای را از طریق آزمایشگاه ملی انرژیهای تجدید پذیر (NREL) تعیرف و به انجام رسانیده است.

همچنین کتابچه پتانسیل انرژی باد اروپا بوسیله ازمایشگاه ملی ریزو (riso) در دانمارک تهیه گردیده است. اطلس باد اروپا به سه بخش ذیل تقسیم شده است.

بخش اول: منابع باد اروپا، این بخش اطلاعات لازم برای منابع باد اروپا را در بردارد که مورد علاقه سیاستگذاران و برنامه ریزان است.

بخش دوم: تعیین منابع باد، این بخش اطلاعات لازم برای منابع باد منطقه ای و چیدمان توربین های بادی را توضیح می دهد.

بخش سوم: مدل بندی ریاضی و تجزیه و تحلیل، دراین بخش تئوریهای فیزیکی و آماری برای تهیه اطلس باد توضیح داده می شود.

همچنین کشورهای کانادا، ایتالیا، آلمان، دانمارک، اسپانیا، مکزیک، برزیل، کره، چین، هند، سودان، اندونزی، مصر، مراکش، تریکه، یونان، ارمنستان، تونس، فیلیپین و غیره چنین کاری را انجام داده اند.

در ایران نیز چنین ایده ای وجود داشته است و پتانسیل سنجی باد ایران از طریق ارگانها و افراد مختلف صورت گرفته است اما شاید بتوان گفت که در هیچ یک از این مطالعات فیزیک پدیده باد بطور اساسی مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته است. اکثر این مطالعات بصورت تشریحی و مفهومی می باشند و نمی توان از نظر کمی به هیچ یک از مطالعات انجام شده تا کنون ارجاع داد و نتیجه گیری نمود. لذا یک مطالعه ارزیابی پتانسیل باد ایران، که بتواند بطور کمی پتانسیل باد ایران را تخمین زد و در عین حال این کمیت مورد قبول و استناد باشد ضروری به نظر می رسد و این تفکر از قبل در سازمان انرژی های نو ایران وجود داشته است.

اهداف پروژه:

- فراهم نمودن اطلاعات برای سیاستگذاران و برنامه ریزان کشور جهت تعیین سهم منابع انرژی باد در سبد کلی منابع انرژی کشور
- ارائه اطلاعات منظم و قابل اعتماد در خصوص انرژی باد برای سرماه گذاران خارجی و داخلی
- انتخاب منطقه مناسب برای بهره بردرای از انرژی باد
- کمک در طراحی نیروگاه های بادی

کلیات نحوه انجام پروژه

کلیات پروژه را می توان در چهار مرحله ذیل تعریف نمود:

مرحله اول: ویرایش صفر نقشه باد ایران

مرحله دوم: نقشه تفصیلی نهایی باد ایران

مرحله سوم: تهیه نرم افزار به روز کردن نقشه باد

مرحله چهارم: ترکیب نرم افزار klimm با windpro

مرحله اول: ویرایش صفر نقشه باد ایران

هدف از انجام این مرحله دستیابی به یک درک کلی در خصوص رژیم باد در ایران و تعیین استراتژی انجام عملیات بادسنجی در سرتاسرایران می باشد. نتایج عملیات بادسنجی منتج از این مرحله برای تهیه نقشه باد ایران ضروری است.

از اهم فعالیتهای این مرحله می توان جمع آوری و پردازش داده ها، نقشه ها و اطلاعات جو بالا، آماده سازی نقشه باد و یرایش صفر، آماده سازی مدل و نقشه باد ایران به کمک نرم افزارها و تعیین خط مشی عملیات بادسنجی را نام برد.

مرحله دوم: نقشه تفصیلی نهایی باد ایران

هدف از این مرحله دستیابی به یک بانک اطلاعاتی جهت توسعه پروژه های نیروگاه بادی در ایران می باشد. جهت دستیابی به این هدف باید یک بانک اطلاعاتی گسترده و جامعه و به روز از ایستگاه های باد سنجی زمینی جمع آوری گردد. ابزار دیگر بدست آمده در این مرحله نقشه ملی باد ایران است در آن نواحی از پیش انتخاب شده با سرعت مناسب باد با استفاده از مدل اتمسفریک با رزولوشن و دقت بالا محاسبه شده اند که در نتیجه پیش بینی پتانسیل باد در نواحی مستعد احداث نیروگاه بادی با دقت بیشتر همراه خواهد بود از مهم ترین فعالیتهای مرحله دوم می توان به بررسی نواحی عملیات باد سنجی نظارت بر نصب و بهره برداری از ایستگاههای باد سنجی استخراج و مستند سازی منظم اطلاعات باد و تجزیه و تحلیل آنها آماده سازی نقشه نهایی باد، استفاده و اجرای نرم افزار کامپیوتری KLIMM آماده سازی نقشه باد ایران، ارائه لیست و تعیین سایتهای برتر جهت احداث نیروگاه، تعیین چیدمان مقدماتی و آماده سازی مدارک جهت ارائه به سرمایه گذاران و بانکهای اعطا کننده وام نام برد.

مرحله سوم: تهیه نرم افزار به روز کردن نقشه باد:

نقشه باد منتج از نرم فازار کامپیوتری KLIMM همیشه قابل به روز کردن می باشد زمانی که عملیات بادسنجی ادامه می یابد ایستگاه های جدید نصب و راه اندازی می شود و

به روز کردن اطلاعات ضروری خواهد بود تهیه نرم افزار به روز رسانی جهت ویرایش نهایی نقشه باد و کتابچه راهنمای آن به همراه آموزش عملی انجام و بررسی محاسبات به روز رسانی از اهم فعالیتهای این مرحله می باشد.

مرحله چهار: تریکب نرم افزار KLIMM با WINDPRO

به منظور ترکیب این دو نرم افزار یک رابطه مدل شده برای محاسبه توزیع (ویبول) براساس سرعتهای متوسط بدست آمده از برنامه KLIMN و توزیع ویوبل ایستگاههای مجاور منطقه مورد نظر ارائه می رگدد به هر یک از این دستگاهها بر حسب فاصله ای که از منطقه مورد نظر دارند درصد وزنی تعلق می گیرد.

آمار ظرفیت توربین هاي بادي نصب شده در ایران

در حال حاضر در ایران در دو استان گیلان و خراسان رضوی مزارع بادی ایجاد شده است که مشخصات آنها به شرح ذیل می باشد:

ظرفیت مزارع بادی نصب شده در سایتهای منجیل، هرزویل و سیاهپوش واقع در استان گیلان.

ردیف	نوع توربین بادی	تعداد	مجموع ظرفیت نصب شده (مگاوات)	تاریخ
۱	۳۰۰kW۵۵۰ & kW	۲۸	۱۲	۱۳۸۲
۲	۳۰۰kW	۱۰	۳	۱۳۸۴
۳	۵۵۰kW	۱۰	۵/۵	۱۳۸۵
۴	۶۶۰kW	۲۲	۱۴/۵۲	۱۳۸۵
۵	۶۶۰kW	۱۷	۱۱/۲۲	۱۳۸۶
مجموع ظرفیت نصب شده (مگاوات)			۴۶/۲۴	

ظرفیت مزارع بادی نصب شده در سایت بینالود واقع در استان خراسان رضوی

ردیف	نوع توربین بادی	تعداد	مجموع ظرفیت نصب شده (مگاوات)	تاریخ
۱	۶۶۰kW	۲۰	۱۳/۲	۱۳۸۵
۲	۶۶۰kW	۲۳	۷/۹۲	۱۳۸۶
مجموع ظرفیت نصب شده (مگاوات)			۲۸/۴	

مجموع ظرفیت مزارع بادی نصب شده در ایران تا پایان سال ۱۳۸٦، معادل ۷٤/٦٤ مگاوات می باشد. ساخت، نصب و راه اندازی ۸٤ دستگاه توربین بادی ٦٦۰ کیلووات به ظرفیت کل ٥٥/٤٤ مگاوات در سایت منجیل نیز به اجرا درآمد و در سال ۱۳۸۸ به بهره برداری خواهد رسید.

بخش سوم

بررسی فنی توربینهای بادی

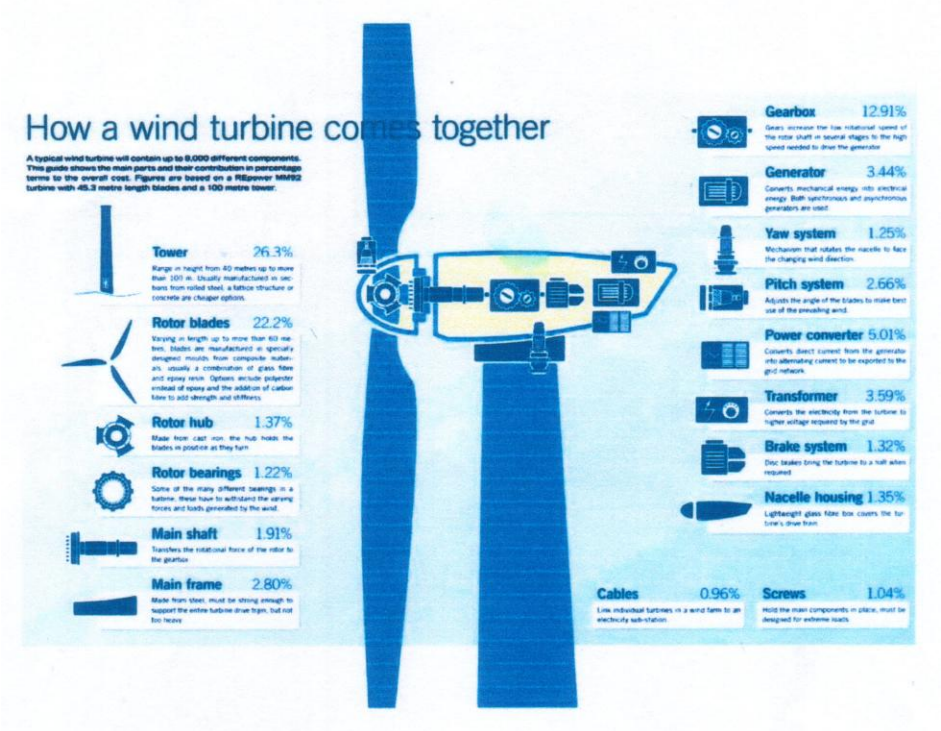
مقدمه

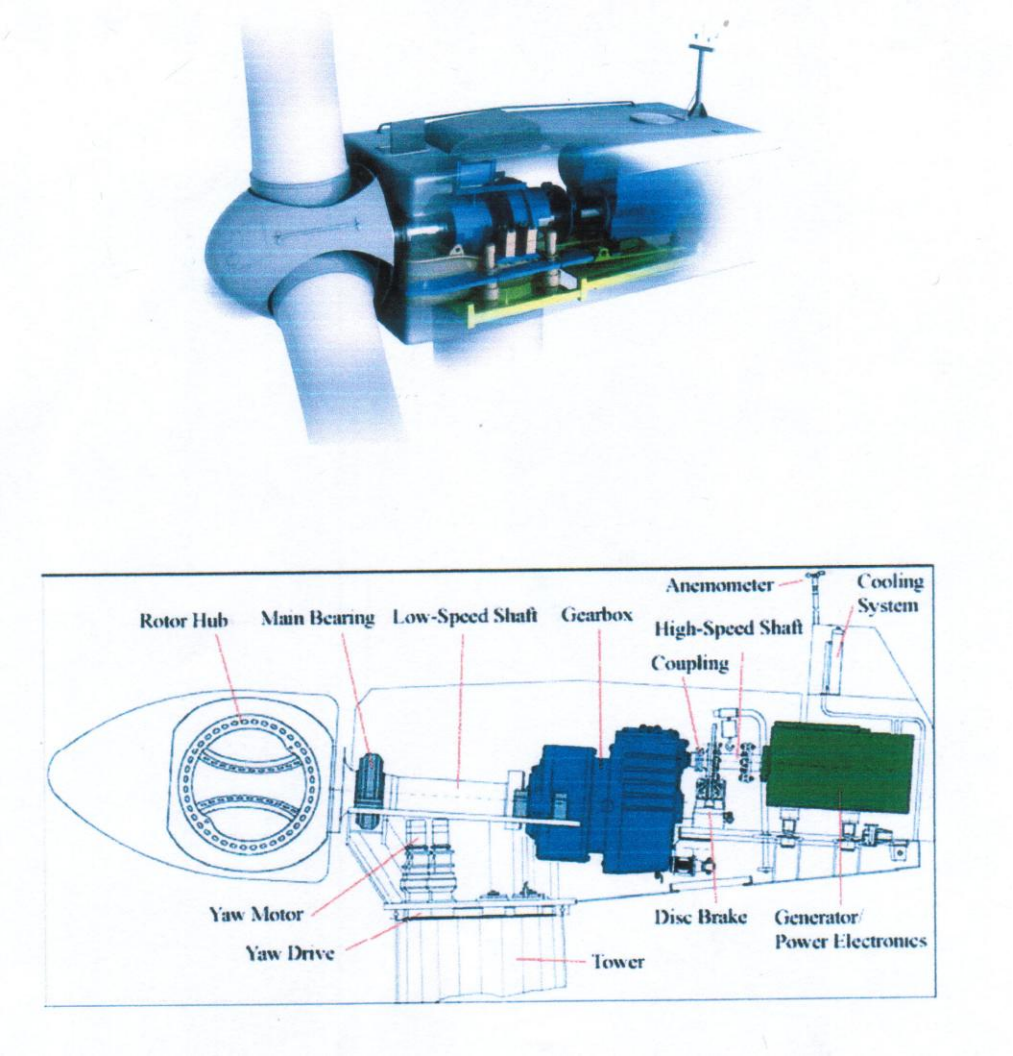
هر توربین بادی با توان خروجی بالا، بالغ بر ۸۰۰۰ قطعه دارد که اجزای این توربینها را تشکیل می دهد.

برخی از مشخصات کلی توربین های مورد مطالعات در این طرح، به شرح ذیل می باشد:

توان خروجی توربین	۱۵۰۰	KW
قطر روتور	۷۰	متر
طول پره	۳٤	متر
ارتفاع از سطح زمین تا مرکز روتور	۸۰	متر

درتصاویر ارائه شده در این صفحه و صفحه بعد، بخشهای اصلی این نوع توربینها به شکلهای مختلف نشان داده شده است:

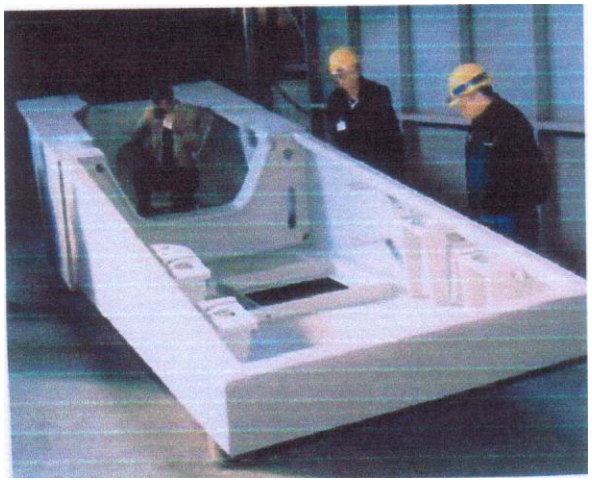




۱ – پره ها (Blades) بیشتر توربین ها دارای دو یا سه پره می باشند. وزش باد بر روی پره ها باعث چرخش پره ها و ایجاد حرکت دورانی می شود.

۲ – شاسی موتور خانه (nacelle frame)

اجزای اصلی داخل موتورخانه توربین شامل گیربکس، ژنراتور و ... روی این قطعه قرار گرفته و در جای خود ثابت می شوند.

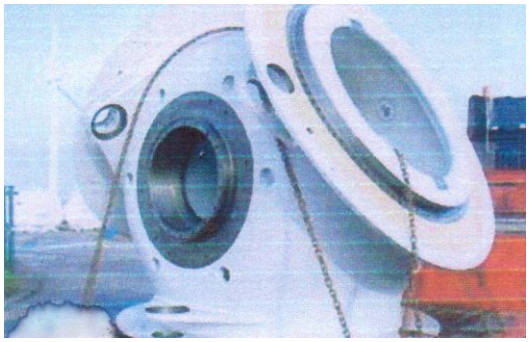


۳ – محفظه موتورخانه (Nacelle case):

شاسی موتورخانه و کلیه ملحقات روی آن را درون خود جای داده و ضمن ایجاد ظاهر مناسب، از اجزاء داخلی آن محافظت نموده و فضای مناسبی را جهت استقرار سرویس کاران ایجاد می نماید.

٤ – هاب (hab)

قطعه ای است که پره ها به آن متصل بوده و حرکت آنها را به شفت اصلی منتقل می نماید.

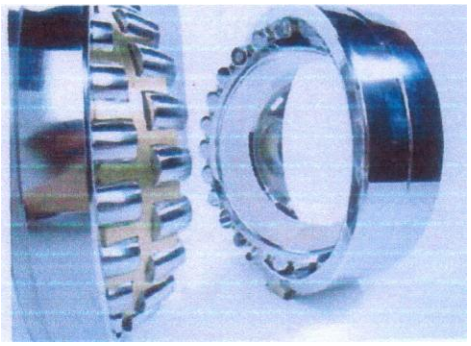


۵ – شفت با سرعت پایین (low – speed shaft)

بین هاب و گیربکس قرار دارد و وظیفه انتقال حرکت پره ها را به گیربکس بر عهده دارد.

(تصویر مقابل)

٦ – بلبرینگ ها: که شفت ها و محورها را در بر گرفته و امکان گردش آنها را فراهم می نماید.



۷ – گیربکس (Gearbox):

چرخ دنده ها به شفت سرعت پایین متصل هستند و آنها از طرف دیگر به شفت سرعت بالا متصل می باشند و افزایش سرعت چرخش از ۳۰ تا ٦۰ rpm به سرعتی حدود ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ rpm را ایجاد می کنند. این افزایش سرعت برای تولید برق توسط ژنراتور الزامیست.

هزینه ساخت گیربکس ها بالاست در ضمن گیربکس ها بسیار سنگین هستند.

مهندسان در حال انجام تحقیقات گسترده ای می باشند تا درایوهای مستقیمی کشف نمایند و ژنراتورها را با سرعت کمتری به چرخش درآورند تا نیازی به گیربکس نداشته باشند.

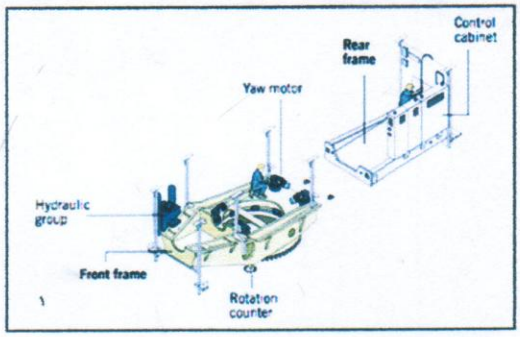
۸ – کوپلینگ (coopling):

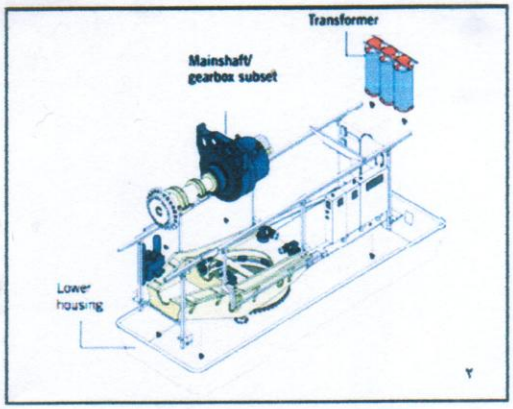
محل اتصال شفت با سرعت بالا و محور ژنراتور می باشد و انتقال قدرت از طریق این قطعه انجام می شود.

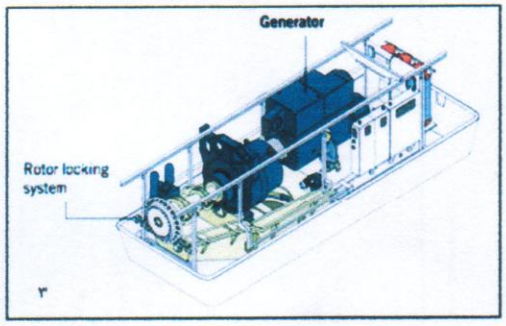
۹ – ژنراتور (Generatro):

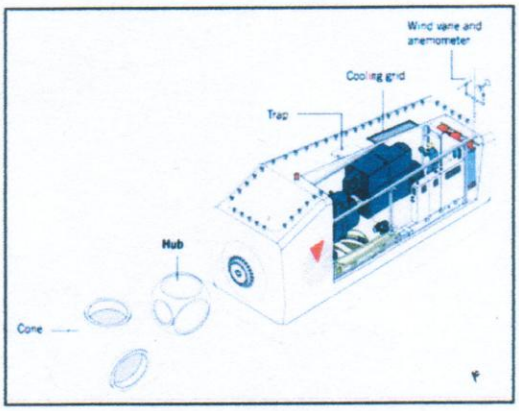
این قسمت از توربین، حرکت مکانیکی منتقل شده از گیربکس را به انرژی برق تبدیل می کند.

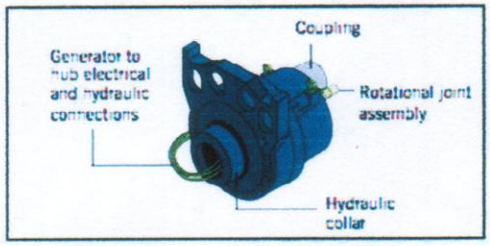
تصاویر این صفحه، مراحل مونتاژ و نصب اجزاء در موتورخانه را به صورت شماتیک نشان می دهد:

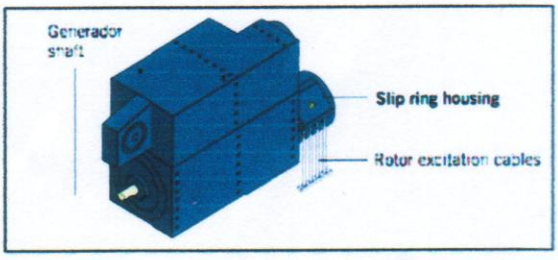

Control cabinet
Rear frame
Yaw motor
Hydraulic group
Front frame
Rotation counter
١


Transformer
Mainshaft/ gearbox subset
Lower housing
٢


Generator
Rotor locking system
٣


Wind vane and anemometer
Cooling grid
Trap
Hub
Cone
٤


Coupling
Generator to hub electrical and hydraulic connections
Rotational joint assembly
Hydraulic collar

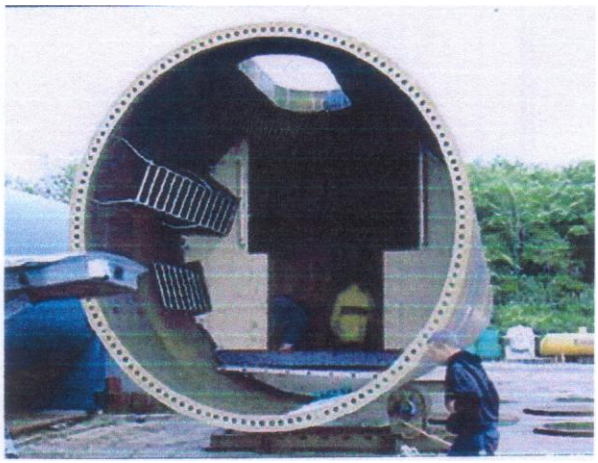

Generador shaft
Slip ring housing
Rotor excitation cables

۱۰ – درایو انحارف (Yaw drive)

وسیله ایست که وضعیت توربین را مقابل وزش باد از روبرو قرار می دهد.

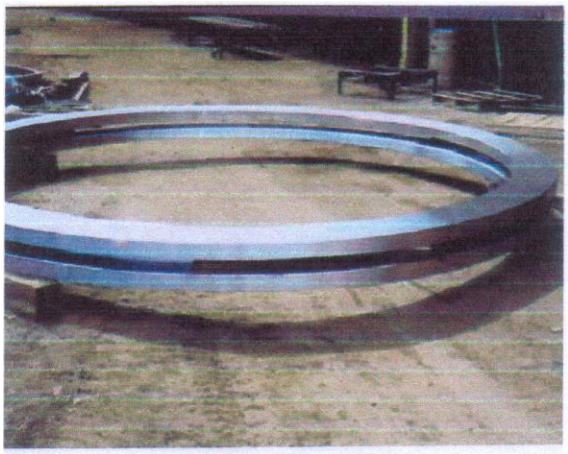
۱۱ – برج (tower)

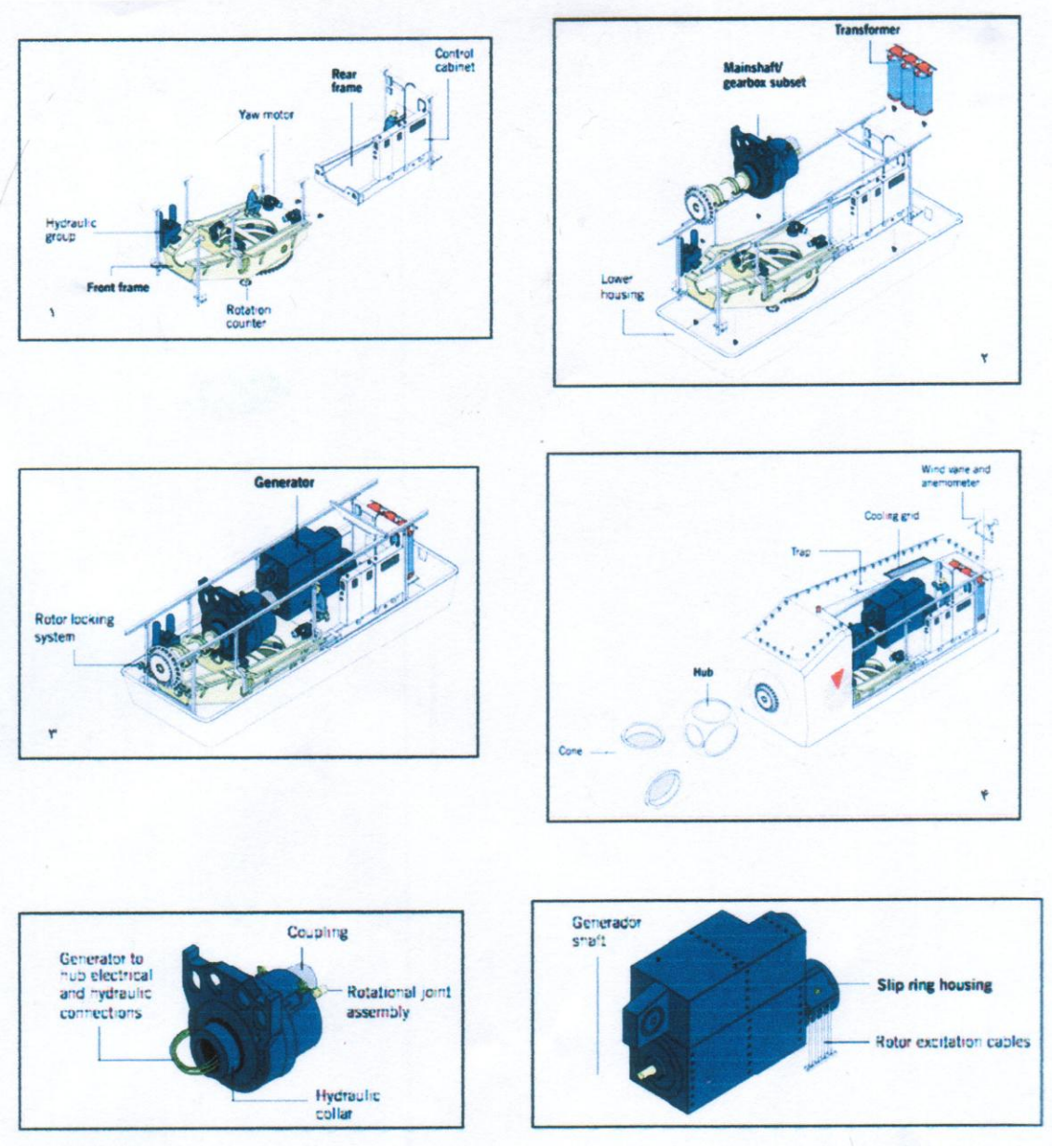
برج ها از فولاد هایی که به شکل لوله درآمده اند ساخته می شوند. توربین هایی که بر روی برج هایی با ارتفاع بیشتر نصب شده اند انرژی بیشتری دریافت می کنند.



۱۲ – فلنج تاور (Tower Flange):

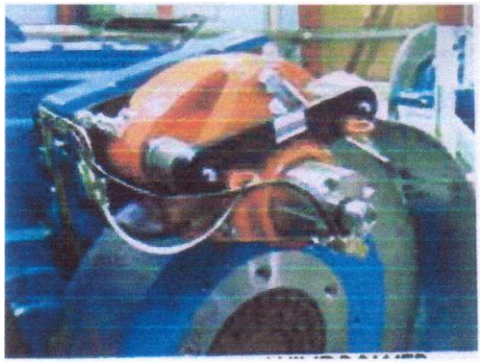
قطعاتی هستند که از استحکام بالایی برخوردار بوده و بخشهای متعدد یک تاور را به یکدیگر متصل می نماید.



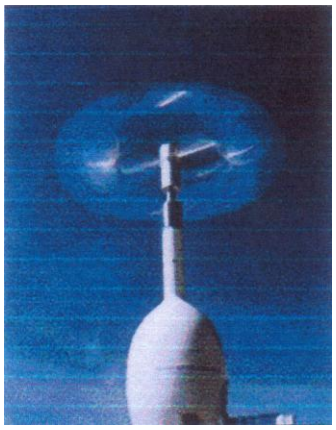


۱۳ – ترمز (Brake) :

از این وسیله برای توقف روتور در مواقع اضطراری استفاده می شود. عمل ترمز کردن می تواند بصورت مکانیکی، الکتریکی یا هیدرولیکی انجام گیرد.

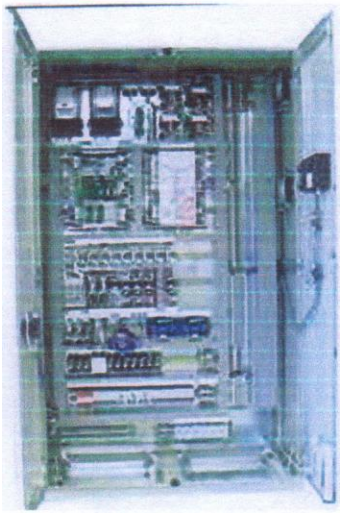


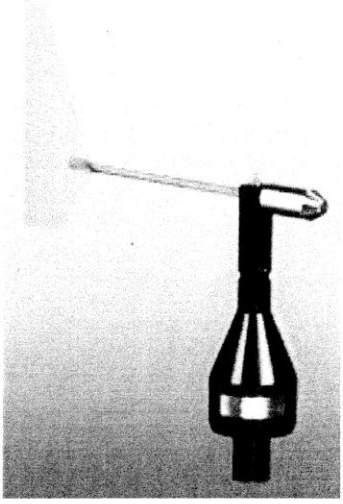
۱٤ –بادسنج (Anemometer): این وسیله سرعت باد را اندازه گرفته و اطلاعات حاصل از آنرا به کنترل کننده ها انتقال میدهد.



۱۵ – کنترولر (contoroller):

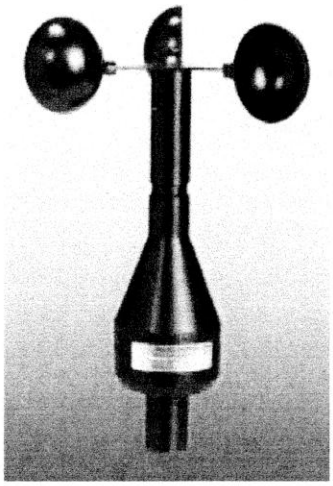
کنترولرها وقتی که سرعت باد به ۸ تا mph۱٦ میرسد ماشین را راه اندازی می کنند و وقتی سرعت از ٦۵ mph بیشتر می شود دستور خاموش شدن ماشین را می دهند. این عمل از آن جهت صورت میگرید که توربین ها قادر نیستند زمانی که سرعت باد به ٦۵ mph می رسد حرکت کنند زیرا ژنراتور به سرعت به حرارت بسیار بالایی خواهد رسید.





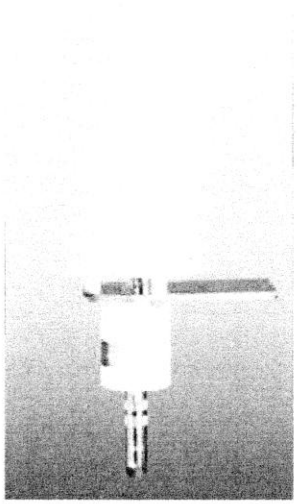
شکل شماره ۱

سنسور جهت نما



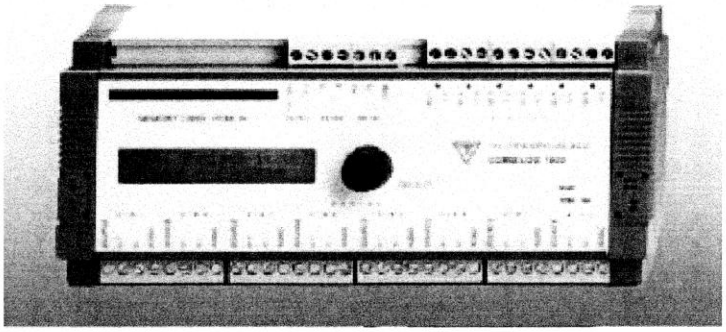
شکل شماره ۲

سنسور باد



شکل شماره ۳

رطوبت سنج و دما سنج



شکل شماره ۴

دیتا لاگر

جدول ٦-٢ پیش بینی نیاز مصرف تا سال ۱۳۵۹ به تفکیک شرکت های برق منطقه ای استخراج شده از سایت شرکت مدیریت شبکه برق ایران

برق منطقه ای	سال	1375	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1390	1393	1395
آذربایجان	انرژي	4314	6029	6385	6794	7229	7896	8737	9623	10998	12537	15515	18803	20931
	بار	1082	1466	1530	1641	1737	1907	2110.4	2322.5	2643.2	3000.4	3697.5	4471.8	4977.9
اصفهان	انرژي	8310	10900	11648	12685	13777	15007	15422	16491	18053	19130	21847	25665	28535
	بار	1808	2347	2463	2642	2902	3027	3123	3306	3551	3787	4250	4967	5524
باختر	انرژي	4923	7534	8051	8515	9007	9311	9938	10982	11755	12558	14380	16814	18548
	بار	1054	1453	1584	1710	1794	1880	2055	2341	2558	2792	3221	3810	4216
تهران	انرژي	16500	21340	23084	25536	27292	28224	30208	32346	34601	36980	42052	50224	56287
	بار	3270	4370	4690	5220	5461	6029	6219	6580	7036	7513	8532	10136	11436
خراسان	انرژي	5449	8018	8868	9405	10535	11673	12571	13720	14759	16632	18679	23136	25848
	بار	1197	1672	1855	2004	2164	2388	2548	2784	2993	3331	3741	4554	5001
خوزستان	انرژي	9477	11287	12136	13304	13928	14726	16500	17102	18843	20308	23297	27955	30857
	بار	2370	3147	3439	3735	4084	4445	4892	5369	5832	6291	7227	8711	9543
زنجان	انرژي	1870	2969	3198	3442	3956	3983	4899	5378	5814	6251	7111	8383	9254
	بار	425	667	681	781	838	929	1012	1104	1186	1287	1460	1749	1937
سمنان	انرژي	934	1434	1535	1595	1777	1846	2024	2200	2378	2582	2902	3363	3689
	بار	181	251	265	285	300	317	346	385	410	444	496	573	624
سیستان و بلوچستان	انرژي	1007	1449	1565	1696	1929	2151	2571	2888	3201	3627	4435	6129	7416
	بار	225	373	407	478	551	628	734	824	914	1010	1235	1666	2016
غرب	انرژي	1863	2769	2997	3257	3545	3865	4173	4719	5445	5910	7310	9756	11534
	بار	510	725	775	843	910	1100	1251	1391	1550	2022	2508	3074	3514
فارس	انرژي	3731	6589	7430	8221	9087	10103	11066	12330	13604	14910	17601	21664	24483
	بار	1080	1745	2015	2226	2371	2591	2836	3124	3413	3663	4263	5100	5717
کرمان	انرژي	3027	4253	4589	4824	5855	6763	7107	7885	8770	11528	13513	16104	18225
	بار	550	899	988	1110	1246	1313	1484	1656	1846	2350	2741	3292	3675
گیلان	انرژي	1770	2339	2459	2600	2970	2988	3339	3762	4001	4259	4729	5648	6268
	بار	420	546	589	650	712	748	828	935	993	1057	1174	1372	1495
مازندران	انرژي	3005	4216	4447	4779	5295	5771	6525	7286	8343	9455	11396	14256	16200
	بار	722	1053	1158	1255	1367	1590	1809	2046	2328	2612	3096	3828	4309
هرمزگان	انرژي	1936	3614	4242	4743	5503	6069	6576	7158	8838	10221	14612	20113	23838
	بار	499	875	976	1094	1294	1423	1554	1729	2080	2417	3434	4720	5619
یزد	انرژي	1097	2167	2572	2669	2909	3274	3695	4275	4578	5214	6423	8174	9651
	بار	237	428	447	513	525	595	670	775	831	932	1148	1438	1698
کل کشور	انرژی	30657	43613	47082	51653	55786	61220	65468	71096	77226	84400	98547	121892	139536
	نیاز مصرف همزمان	16109	23062	24750	27107	29267	32217	34107	36747	39705	42892	50021	62902	73212

راه هاي ارتباطي

راه هاي دسترسي به منطقه

یکی از عوامل مهم مطالعاتی جهت احداث نیروگاه، راههای ارتباطی و دسترسی به محل مورد نظر ساخت نیروگاه می باشد زیرا دسترسی به محل احداث برای هر دو مرحله ساخت و بهره برداری امری ضروری است به طوری که راههای ارتباطی جهت حمل و نقل تجهیزات و مسائل سنگین نیروگاه بادی مورد نظر به محل استقرار آنها عمدتا از طریق یکی از مسیرهای دریایی، هوایی و زمین امکان پذیر بوده که به طور خلاصه به شرح ذیل بررسی و تشریح خواهند گردید:

- مسیر هوایی:

این مسیر از طریق فرودگاه شهید هاشمی نژاد (نزدیک ترین فرودگاه به محل نیروگاه بادی) امکان پذیر می باشد، ولی بایستی در نظر داشت حمل و نقل هوایی هزینه ارزی زیادی داشته و بسیار گران تمام می شود، لذا این مبدا برای حمل و نقل در نظر گرفته نمی شود.

- مسیر دریایی

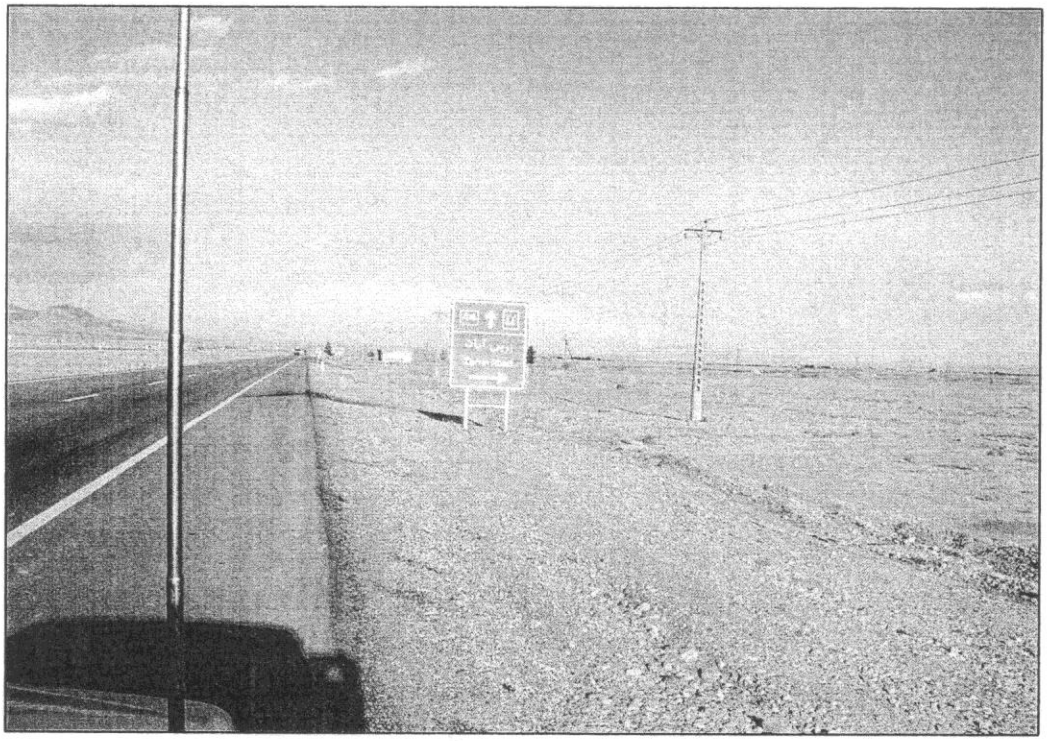
در حال حاضر اسکله شهید رجایی و اسکله شهید باهنر واقع در بندرعباس ظرفیت تخلیه هرگونه محموله ای را دارا می باشند و جزو فعال ترین اسکله های موجود در بنادر جنوبی می باشند. بنابراین چنانچه منابع تامین توربین های بادی از کشورهای معتبر اروپایی یا آمریکایی و یا ژاپن و .... باشند امکان تخلیه آنها دراین دو اسکله میسر بوده و حمل آنها از طریق جاده ترانزیتی بندرعباس به تهران و از تهران به مشهد با یک طرح مهندسی انتقال صحیح و مشخص بدون اشکال می باشد.

- مسیر زمینی:

چنانچه تامین تجهیزات اصلی از قبیل توربینها، ترانسفورماتورها (جهت پست) و... از منابع داخلی تصور شود، ارسال تجهیزات از کارخانجات سازنده با توجه به اینکه جاده تهران به مشهد از جاده های ترانزیتی می باشد به راحتی امکان پذیر می باشد. البته همانطور که در طرح انتقال دریایی اشاره شد انتقال تجهیزات از طریق اتوبان می بایست با مطالعات دقیق نقل و انتقال صورت گیرد. نقشه ۸-۲ شبکه راه های زمینی استان خراسان را نشان می دهد.

- مسیر راه آهن:

از محسنات سایت منتخب نیروگاه بادی، هم جواری آن با خطوط راه آهن تهران – مشهد می باشد. از آنجاییکه مسیر راه آهن تهران به مشهد از مسیرهای اصلی خطوط ریلی کشور می باشد امکان حمل تجهیزات نیروگاه از طریق راه آهن و تخلیه آنها از طریق ایستگاههای شهرستان نیشابور –ایستگاه ابومسلم به راحتی امکان پذیر می باشد و این امکان را با می می دهد که بدون نگرانی از مشکلات خاص انتقال از مسیر اتوبان از حیث مهندسی حمل و نقل به راحتی تجهیزات را از اسکله شهید باهنر واقع در بندر عباس به محل سایت نیروگاه منتقل نمائیم.



زرین آباد، ایستگاه قطار برای انتقال ذغال از معادن ذغال سنگ منطقه به ذوب آهن

اطلاعات بادی به نرم افزار وارد شده و نتایج آن در صفحات بعدی آورده شده است که آنها را به ترتیب مورد تحلیل قرار می دهیم. یادآوری می شود که اطلاعات ورودی توسط اطلاعات ۱۰ متری سطح کل کشور (در صورت داشتن خطا) بهینه شده است.

۱ – محل اجرای پروژه کشور با سیستم مختصات UTM در مقایس WGS۸٤می باشد.

۲ – نحوه ورود اطلاعات زبری زمین به صورت سکتورهای ۱۲ تایی می باشد (در نتیجه الگوی گلباد و گل انرژی نیز به صورت سکتورهای ۱۲ تایی خواهند بود).

۳ – متوسط سرعت باد در کلاسهای مختلف زبری زمین در ارتفاعات مختلف این سایت محاسبه شده است.

٤ – متوسط چگالی انرژی باد در کلاسهای مختلف زبری زمین در ارتفاعات مختلف این سایت محاسبه شده است.

٥ – متوسط چگالی باد در کلاسهای مختلف زبری زمین در ارتفاعات مختلف نسبت به حالت نرمال یک سایت ایده آل آورده شده است.

٦ –نمودار، راداری سرعت باد با در نظر گرفتن کلاس زبری متوسط ١ در ارتفاع ٥٠ متری رسم گردیده است.

٧ – نمودارهای گل چگالی انرژی باد با در نظر گرفتن کلاس زبری متوسط ١ ارتفاع ٥٠ متری رسم گردیده است.

٨ – با توجه به توزیع ویبول که یکی از مناسبترین توزیع های آماری برای نرمالایز کردن اطلاعات بادی باشد پارامترهای A و K در ١٢ سکتور محاسبه گردیده است که به صورت جدول و هم به صورت نمودار رسم گردیده است.

٩ – نمودارهای گل انرژی و راداری سرعت باد و فراوانی باد همگی با هم همخوانی داشته و در یک راستا می باشند.