گزارش اول: انرژی خورشیدی ۱

گزارش دوم: انرژی زمین گرمایی ۱

✔ گزارش سوم: انرژی باد ۱

گزارش چهارم: انرژی زیست توده ۱

گزارش پنجم: انرژی هیدروژن و پیل سوختی ۱

گزارش ششم: انرژی خورشیدی ۲

گزارش هفتم: انرژی زمین گرمایی ۲

گزارش هشتم: انرژی باد ۲

ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور و استفاده از آن با رعایت
مسائل زیست محیطی و تلاش برای افزایش سهم
انرژیهای تجدیدپذیر با اولویت انرژی آبی

تلاش برای کسب فناوری و دانش فنی انرژیهای نو برای
ایجاد نیروگاههایی از قبیل بادی خورشیدی پیل های سوختی
و زمین گرمایی در کشور

فهرست مطالب

پیشگفتار	۳
۱-تعریف باد	۴
۲- اثرات اقتصادی برق بادی	۶
۳- توسعه جهانی و بهره گیری از پتانسیل عظیم برق بادی	۷
۴- مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه بادی	۸
۵- نحوه آرایش توربین های بادی	۱۱
۶- انرژی باد و توربین های بادی	۱۳
۷- نیروگاههای بادی	۱۴
۸- توربین های بادی	۱۶
۹- دکل بادسنجی	۱۷
۱۰- توربین بادی با محور افقی	۱۹
۱۱- هزینه های زیست محیطی	۳۴
۱۲- انرژی باد در ایران	۳۵
۱۳- نتیجه گیری	۳۷

انرژی باد

پیشگفتار:

فناپذیری سوخت‌های فسیلی، تنوع‌بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار و ایجاد امنیت انرژی، مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی فسیلی از یک طرف و پاک و تجدیدپذیر بودن منابع انرژی‌های نو نظیر خورشید، باد، زیست توده(بیوماس)،..... از طرف دیگر باعث توجه جدی جهانیان به توسعه و گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است. امروزه ما شاهد افزایش چشمگیر فعالیت‌ها و بودجه‌ی دولت‌ها و شرکت‌ها در امر تحقیق، توسعه و عرضه سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر هستیم و این فعالیت‌ها و صرف بودجه‌های مذکور در نهایت باعث کاهش قیمت تمام‌شده انرژی‌های تجدیدپذیر و رقابت‌پذیری با سیستم‌های انرژی سنتی موجود می‌گردد. این امر در مورد انرژی باد و برخی کاربردهای انرژی زیست توده محقق شده و روند سریع کاهش قیمت‌ها درمورد سایر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در حال انجام است.

با نیم‌نگاهی به آمارهای به دست آمده در سال ۲۰۰۷ می‌توان مشاده کرد که در این سال بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار در بخش افزایش ظرفیت‌ها، ساخت نیروگاه‌ها و تحقیق و توسعه انرژی‌های نو در دنیا سرمایه‌گذاری شده است.

میزان ظرفیت تولید الکتریسیته در نیروگاه‌های جهان در سال ۲۰۰۷ به طور چشمگیری افزایش یافته است و بر طبق آمار این میزان به ۲۴۰ گیگاوات رسید که نسبت به سال ۲۰۰۴ حدود ۵۰٪ افزایش یافته است. همچنین ظرفیت‌های موجود در انرژی‌های تجدیدپذیر ۳/۴ درصد در تولید الکتریسیته جهان سهم داشته‌اند(این ارقام بدون درنظر گرفتن انرژی آبی (hydropower) بوده زیرا این انرژی به تنهایی ۱۵ درصد در تولید الکتریسیته دنیا سهم دارد).

در این مجلد که در ادامه مطالب کتابچه قبلی در زمینه انرژی بادی می‌باشد تلاش شده است تا به مباحث انرژی بادی به صورت علمی‌تر و تخصصی‌تر پرداخته شود. امید است که به یاری خداوند متعال بتوان قدم‌های موثرتری در جهت رشد و ارتقاء سطح فرهنگ عمومی جامعه در این راستا برداشته شود.

۱-تعریف باد:

جابجایی مکانی یک توده (بسته) هوایی را باد می نامند. این جابجایی در اثر عوامل مختلف طبیعی و مصنوعی می تواند امکان پذیر گردد :

الف- مصنوعی: این شکل از جابجایی هوا در اثر نیروهای وارده بر یک توده هوا از طریق دستگاهها و یا عوامل انسانی صورت می گیرد، مثل حرکت یک ماشین که پس از عبور آن یک سری اغتشاشات و ناهنجاری هوا در توده هوای پشت سرآن ایجاد می گردد یا جابجایی دست، استفاده از بادبزن دستی و ...

ب- طبیعی: وزش باد در روزهای گرم و سرد سال، وزش باد در اطراف سواحل دریاها و اقیانوسها، وزش باد از کوه به دره و برعکس و ...

همه مثالهای یاد شده یک نوع حرکت فیزیکی می باشند که بر اثر نیروی وارده رخ می دهند که در حالت طبیعی وزش باد، این نیرو می تواند در اثر تغییرات دمایی و فشار بین دو نقطه از یک توده هوا (گرادیان حرارتی و فشاری) صورت گیرد.

حاصل این گرادیان ها، ایجاد نیرو می باشد که می تواند عامل اصلی در جابجایی منظور گردد.

با تمرکز برروی ساختار جوی کره زمین و عوامل موثر در آن می توان به نکات زیر اشاره نمود:

الف)- تابش خورشید:

- تابش مستقیم نور خورشید و تاثیر قسمت حرارتی آن در سطوح پایین جو باعث ایجاد تغییرات دمایی در توده های هوایی می گردد، که این عامل نیز با تغییرات فشار همراه است.
- بخار نمودن آبهای سطحی و تشکیل توده هوای گرم و مرطوب و صعود آن به بالا و تشکیل ابرها.
- برخورد مستقیم با سطح زمین و گرم نمودن آن با توجه به متفاوت بودن ظرفیت (جذب) گرمایی سطوح مختلف و در نهایت تغییرات دمایی.

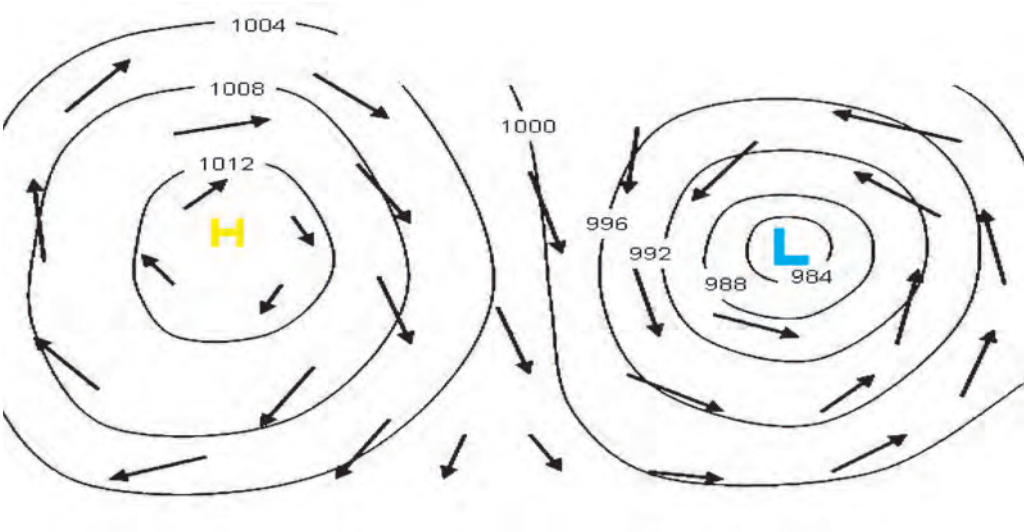
ب)- حرکت وضعی زمین:

چرخش زمین به دور خود در هر ۲۴ ساعت یکبار باعث ایجاد امواج مختلف جوی از جمله امواج راسبی می گردد و با در نظر گرفتن قوانین نیوتن، نیروی گریز از مرکز ایجاد شـده در اتمسـفر آن باعث جابجایی نسبتا منظم مکانی و زمانی آن گردیده که توده های کم فشار و پر فشار نمونه هایی از آن می باشند.

ج)- جاذبه زمین:

وجود جاذبه زمین باعث ایجاد فشـار متعادل در اتمسـفر زمین و جلوگیری از فرار توده های هوایی اطراف آن در اثر نیروی گریز از مرکز شده و یک تعدیل در برآیند نیروها بوجود می آورد.

با در نظر گرفتن عوامل یادشـده، وقتی یک توده هوا شـروع به حرکت می کند، در هنگام حرکت (افقی) به عوامل طبیعی همچون توپوگرافی (کوهها، دره ها و ...) برخورد می نماید که این تغییرات افقی و قائم و تغییرات در گرادیان دمایی و فشار صعود و نزول توده های هوایی را شامل می شود.



حرکت توده هوا

امروزه انرژی باد به یک فعالیت اقتصادی بین المللی تبدیل شـده اسـت و با نرخی سـریعتر از دیگر انواع انرژی رشد می نماید. در سـال ۲۰۰۵ بازارهای جهانی باد با نرخ ۴۰/۷ درصد رشـد کرده بطوریکه درآمد حاصل از تولید تجهیزات تولید کننده بـاد ۱۲ میلیارد یورو یا ۱۴ میلیارد دلار آمریکا بوده است.

این در حالی اسـت که پیش بینی می شـود طی ۳۰ سال آینده تقاضای جهانی انرژی با نرخ خیره کننده ای افزایش یافته و میزان تقاضا در سـال ۲۰۳۰بسیار بیش از تقاضای فعلی آن باشـد. بطوریکه تنها در بخش برق لازم اسـت تا سال مذکور ۴۸۰۰ گیگاوات ظرفیت جدید نصب شود. این امر خود مسـتلزم ۲ تریلیون دلار سـرمایه گذاری در تولید بـرق و ۱/۸ تریلیون دلار سـرمایه گذاری در شـبکه های انتقال و توزیع است.

یکـی از دلایـل و الزامات توسـعه برق بـادی، مقابله با تغییرات جهانی آب و هوا است که به شدت جهان را تهدید می کند. بر اساس پیش بینی تغییرات آب و هوا (IPCC) درجه حرارت جهان بطور متوسـط در طی صد سال آینده ۵/۸ درجه سـانتیگراد افزایش خواهـد یافت که این خود مـی تواند پدیده هایی مانند وقوع سـیل و خشکسـالی و نواسـانات شـدید آب و هوایی را به همراه داشته باشد. به همین جهت کاهش انتشـار گازهای گلخانه ای به عنوان یک ضرورت جهانی شناخته شده است.

پیشـرفت های فنی در ۲۰ سال اخیر موجب شده است تا اندازه، کارایی و سهولت استفاده از توربین های بادی دنیا نسـبت به اولین بکارگیری آن در سـال ۱۹۸۰ به شدت بهبود یابد. مزرعه های بادی امروزی همچون نیروگاههای

متعارف عمل نموده و توربین های مدرن بصورت واحدی و با نصب سریع و آسان در دسترس می باشند. این امر برای کشورهایی که نیاز مبرم به افزایش سریع در تولید برق دارند حایز اهمیت است. امروزه توربینهای بادی ، بزرگتر و ارتفاع آنها بیشتر شده است. اندازه ژنراتورهای توربینهای کنونی ۱۰۰ برابر اندازه توربینهای مشابه سال ۱۹۸۰ می باشد و قطر پره ها چندین برابر فن آوریهای اولیه می باشد. همچنین با افزایش کارآیی توربین ها که ناشی از اندازه بزرگتر آنها ، بهبود قطعات و اجزاء مورد استفاده و دقت در انتخاب سایتهای مزارع بادی می باشد، یک توربین مدرن می تواند ۱۸۰ برابر بیشتر از فن آوریهای ۳۰ سال گذشته برق تولید کند.

۲- اثرات اقتصادی برق بادی

بدلیل بهبود فن آوری، برق بادی توان رقابت با منابع متعارف فسیلی را پیدا کرده است. در بهترین سایتهای بادی ، هزینه های تولید برق بادی در حال حاضر ، معادل هزینه تولید برق از نیروگاههای جدید زغالسنگ سوز و گاز سوز می باشد. اگر هزینه های زیست محیطی و اجتماعی تولید برق در محاسبات مد نظر قرار گیرد برق بادی ارزانتر از دیگر فن آوریهای تولید برق می باشد.

برای مدت زمان طولانی، هزینه برق بادی با هزینه راه اندازی نیروگاههای متعارف مقایسه گردیده است و این در حالی است که نیروگاههای متعارف در زمان احداث، از حجم عظیمی از یارانه ها برخوردار گردیده و طی زمان مستهلک گردیده اند. اما در کشورهای در حال توسعه و کشورهای توسعه یافته و با توجه به نیاز به ظرفیت اضافی و از رده خارج شدن نیروگاههای قدیمی، انرژی باد بایستی با هزینه بسیار بالاتر ساخت نیروگاههای حرارتی یا هسته ای جدید رقابت کند.

در ارزیابی نیروگاههای بادی، هزینه ها و درآمدهای طرح، مدت زمان برگشت سرمایه، قیمت انرژی الکتریکی تولیدی و نرخ بازده داخلی سرمایه، شاخص های نهایی برای مقایسه کامل مؤلفه های مختلف می باشند. از آنجا که برای گسترش سیستم عرضه انرژی الکتریکی توسعه پایدار را تعقیب می کنیم باید تمام هزینه ها و منافع اجتماعی هر مولد را مدنظر قرار دهیم. باید در نظر داشت که از بین صرفه های اقتصادی و غیر اقتصادی تنها هزینه دفع آلاینده های زیست محیطی و تصفیه گازهای مضر متصاعد از نیروگاههای فسیلی می تواند بصورت کمی در محاسبات وارد شود. این هزینه ها در واقع در برگیرنده تمام اثرات زیست محیطی آلاینده ها در کوتاه مدت و بلندمدت از قبیل تولید Sox و Nox و Cox و هیدروکربورها و سایر گازهای سمی، آلودگی آب و خاک و ایجاد بارانهای اسیدی و تولید گازهای گلخانه ای می باشند که معمولا در برآورد هزینه ساخت و بهره وری نیروگاههای فسیلی منظور نمی گردد.

در ضمن هزینه تولید برق از انرژی باد در دو دهه گذشته بطور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. برق تولید شده توسط انرژی باد در سال ۱۹۷۵، ۳۰ سنت برای هر کیلووات ساعت بوده اما اکنون به کمتر از ۵ سنت رسیده است. توسعه فناوری ساخت توربین های بادی جدید قیمت را نیز کمتر خواهند کرد. همچنین در دنیا پنج کشور آلمان، آمریکا، اسپانیا، دانمارک و هند پیشتاز دیگران می باشند که کل ظرفیت نصب توربینهای بادی در دنیا تا پایان سال ۲۰۰۴ میلادی برابر ۴۷/۶۱۶ گیگاوات می باشد. در ضمن کل سرمایه در گردش صنعت انرژی باد جهان در سال ۲۰۰۲ میلادی (۱۳۸۱ خورشیدی) برابر ۷ میلیارد یورو بوده است. قیمت سرمایه گذاری انرژی باد در حدود ۱۰۰۰ دلار بر کیلووات برآورد می شود که در حدود ۷۵۰ دلار آن به هزینه تجهیزات و مابقی به هزینه های آماده کردن سایت و نصب و راه اندازی مرتبط می شود. در چند سال اخیر با بزرگتر شدن سایز توربینهای تجاری، قیمت سرمایه گذاری کلی آنها کاهش یافته است. صنعت انرژی باد منافع اقتصادی و اجتماعی مختلفی را به همراه دارد که از جمله مهمترین آنها عبارتند از:

* نداشتن هزینه های اجتماعی – این هزینه ها در تمام گزینه های متعارف انرژی (فسیلی) وجود دارند، لیکن علیرغم مبالغ قابل توجه آنها معمولاً در بررسیهای اقتصادی لحاظ نمی شوند. انجمن جهانی انرژی باد (WWEA) این هزینه ها را به کوه یخی تشبیه کرده است که حجم عظیم و ناپیدای آن در زیر آب قرار می گیرد.
* کاهش اتکاء به منابع انرژی وارداتی – این مسئله یکی

از مهمترین دلایل رویکرد کشورهای صنعتی به انرژیهای تجدیدپذیر و انرژی باد است، لکن در کشورهای تولید کننده نفت نظیر ایران نیز از جنبه دیگری می توان به آن نگریست و آن افزایش فرصت صادرات است.

* تقویت ساختار اجتماعی و اقتصادی مناطق روستایی – بدلیل ماهیت انرژی باد که به تولید غیرمتمرکز و اغلب به نقاط دور افتاده و روستایی می پردازد، توسعه این صنعت چه در کشورهای سرمایه داری و پیشرفته و چه در کشورهای در حال توسعه تحولات و پیشرفتهای آشکاری را در مناطق روستایی بدنبال خواهد داشت.

* اشتغال زایی – ایجاد شغل این صنعت در میان دیگر صنایع انرژی از همه بیشتر است. در اروپا نصب یک مگاوات برق بادی برای ۱۵ الی ۱۹ نفر شغل ایجاد می کند که این رقم در کشورهای در حال توسعه براحتی می تواند دو برابر شود.به طور مثال در سال ۲۰۰۰ که ظرفیت نصب شده برق بادی در اروپا در حدود ۸۰۰۰ مگاوات بود، بیش از نیم میلیون نفر در این صنعت به کار اشتغال داشتند.

در کشورمان ایران علیرغم اینکه مشاهده می شود با در نظر گرفتن هزینه های خصوصی نیروگاههای بادی و فسیلی، توسعه نیروگاههای بادی برای تولید برق هم اکنون در حال اقتصادی شدن می باشد ولی اگر هزینه های اجتماعی نیروگاههای فسیلی که در برگیرنده اثرات برونزایی منفی است مبنای مقایسه قرار گیرد هزینه تولید در مولدهای بادی کمتر از فسیلی خواهد بود و برق حاصل از آن می تواند بعنوان یک انرژی پایدار در توسعه اقتصادی – اجتماعی کشور مورد استفاده قرار گیرد.

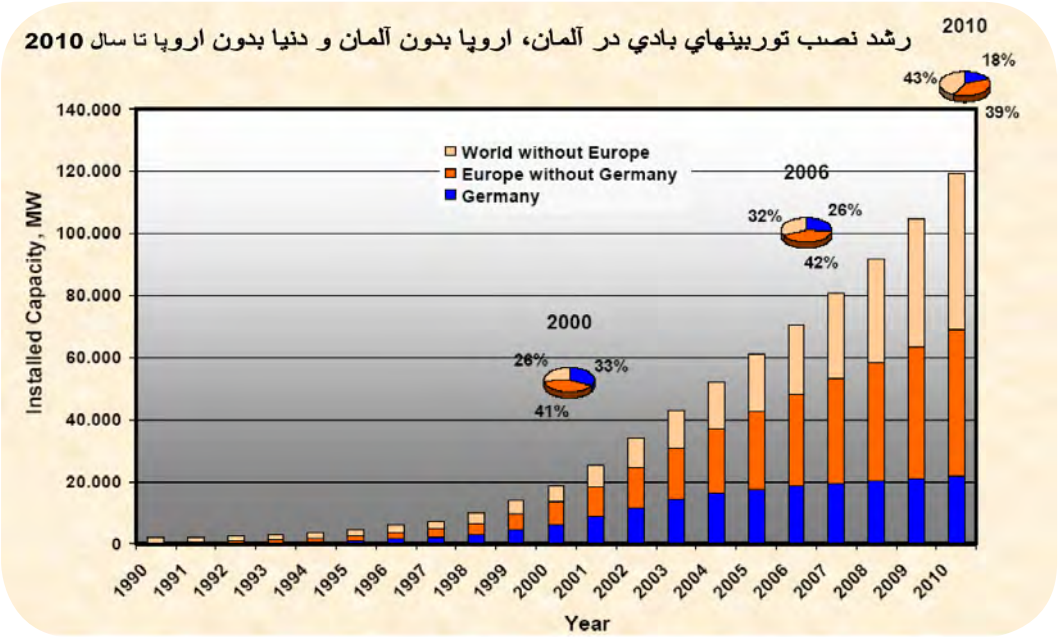
۳- توسعه جهانی و بهره گیری از پتانسیل عظیم برق بادی

در حال حاضر انرژی باد با رشد متوسط سالیانه بیش از ۲۶ درصد از سال ۱۹۹۰ به بعد، بالاترین میزان رشد را در بین منابع مختلف انرژی داشته است. ظرفیت جهانی تولید انرژی باد در انتهای سال ۲۰۰۵ بیش از ۵۹ گیگاوات بوده است. با این وجود هنوز هم از پتانسیل جهانی انرژی بادی به طور کامل استفاده نشده است. از نظر تاریخی ، بازار انرژی بادی عمدتا تحت کنترل پنج کشور آلمان، اسپانیا ، ایالات متحده آمریکا، هند و دانمارک بوده است. اما طی سالهای اخیر بسیار از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه درصدد توسعه بهره گیری از انرژی باد بوده اند و چندین کشور خارج از اروپا و ایالات متحده در حال حاضر گام های اولیه برای توسعه بازارهای تجاری بزرگ مقیاس انرژی بادی را برداشته اند. اهداف سیاستی برای انرژی بادی در حال حاضر در ۴۵ کشور دنیا و از جمله ۱۰ کشور در حال توسعه وضع گردیده است و چین به تنهایی طی سالهای اخیر هدف خود را تولید ۳۰ گیگاوات برق برق بادی تا سال ۲۰۲۰ قرارداده است و این در حالی است که پتانسیل بهره گیری از انرژی باد در این کشور و سایر کشورها بسیار بالاتر از ارقام ذکر شده می باشد.

تصاویری از نیروگاه بادی ۱۰۰ مگاوات در منجیل

طبق پیش بینی آژانس بین المللی انرژی، تا سال ۲۰۳۰ برق بادی دومین منبع بزرگ تجدیدپذیر پس از برق آبی های بزرگ به حساب می آید و طبق برآورد شورای جهانی انرژی باد (GWEC) تا سال ۲۰۴۰ صنعت برق بادی توانایی گردش مالی سالیانه ۶۷ میلیارد دلاری را داراست. همچنین بر اساس پیش بینی ها، ظرفیت بادی نصب شده دنیا از حدود ۹۴ گیگاوات سال ۲۰۰۷ به ۱۰۰۰ گیگاوات تا سال ۲۰۲۰ افزایش خواهد یافت و ۱۲ درصد عرضه برق دنیا را به خود اختصاص خواهد داد. البته شایان ذکر است که تنها در صورتی پتانسیل رشد انرژی بادی از حجم گسترده برخوردار خواهند بود که سیاستهای انرژی کماکان اجرا گردیده و کشورهای بیشتری در صدد توسعه بازار انرژی بادی برآیند و سیاستهای حمایتی نیز بدرستی اجرا شود

اطلاعات دقیق از رژیم باد



در طـی دهه گذشـته ، در بسـیاری از کشـورها مطالعاتی بـرای تخمین منبع انرژی باد در دسـترس در هر منطقه ، انجام گرفت. برخـی از این مطالعات تا حد اطلس باد مانند اطلـس منبع انرژی بـاد ایالات متحده آمریـکا، اطلس باد اروپا و اطلس باد برای آمریکای لاتین و کارائیب (آمریکای مرکزی و جنوبی) توسعه داده شده اند. نقشه های باد برای چین ، اسپانیا، پرو، مصر، اردن، سومالی، کشورهای ساحل، اتیوپی، بخشـی از کشورهای مستقل مشترک المنافع و ..... یک نقشه باد هم برای کل دنیا چاپ شده است.

۴- مطالعـات امـکان سـنجی احـداث نیروگاه بادی

مطالعـه امکان سـنجی اولین گام در احـداث مزارع بادی است که هدف نهایی آن ارزیابی امکان پذیر بودن تاسیس یک نیروگاه بادی به لحاظ فنی، اقتصادی، زیر سـاختهای مورد نیاز و غیره در یک سـایت مشـخص و اسـتفاده از توربین های معین می باشـد. برآورد انرژی تولید سـالیانه نیروگاه، چگونگی اتصال به شـبکه سراسـری یا محلی و مشخصات شـبکه از مواردی می باشد که باید در گزارش امکان سنجی دقیقا مشخص گردد.

الف- برآورد انرژی تولیدی سالیانه نیروگاه

بدلیل تاثیر عوامل متعدد پیچیده بر میزان وزش باد، برآورد انرژی تولیدی سـالیانه نیروگاه که قویا با سرعت و جهت وزش بـاد رابطه دارد، نیازمند محاسـبات پیچیده و خاص

خود می باشد.
در نتیجه بمنظـور برآورد انرژی تولیـدی از نرم افزارهای متـداول نظیـر GH، WindPro، Wasp، WindFarmer و سـایر نرم افزارهای معتبر اسـتفاده می گردد.

ب– مطالعات احداث

۱– بررسـی منطقه از نظـر وضعیت راه هـا و محدودیت ترافیکی

۲– بررسی منطقه از نظر وضعیت و امکان اتصال به شبکه و محدودیت ظرفیت شبکه که باید قبل از هر اقدامی جهت انجام مطالعات امکان سنجی از وزارت نیرو استعلام گردد.

۳– مطالعـه منطقـه از نظر نداشـتن منع قانونی، زیسـت محیطی، فرهنگی وغیره.

۴– مطالعه منطقه از نظر زلزله خیزی و خاک شناسی.

ج– بررسی های اقتصادی

۱ – مطالعه هزینه های احداث

۱–۱ – بـرآورد هزینـه های عمرانی شـامل: هزینه های زمین مورد نیاز، آماده سازی راه، آماده سازی زمین، احداث فونداسیون توربین و هزینه نصب تجهیزات مکانیکی

۱–۲– برآورد هزینه عملیات برقی شامل: هزینه اتصال به شبکه و هزینه نصب تجهیزات الکتریکی

۱–۳– برآورد هزینه توربین و هزینه حمل و نقل به سایت

۲– برآورد هزینه های خدمات مهندسی

۳– برآورد هزینه های متفرقه احداث

۴– بـرآورد هزینه های بهره بـرداری و تعمیر و نگهداری (بصورت متغیر و ثابت)

۵– برآورد هزینه های خارجی ناشـی از عوامل پیش بینی نشده شامل: خاموشی خارج از برنامه و حوادث طبیعی

۶– برآورد نرخ تنزیل و نرخ تورم

۷– بـرآورد درآمـد حاصل از فروش بـرق و برآورد قیمت فروش

۸– محاسبات تامین بودجه از طریق اخذ وام شامل: برآورد میزان پرداخت سود و بهره

۹– محاسبات میزان برگشت سرمایه و مدت زمان برگشت سرمایه

۱۰– محاسبات عدم قطعیت هزینه ها

د– روند مطالعات امکان سنجی مزارع بادی

مطالعات امکان سنجی فنی مزارع بادی بطور کلی شامل دو موضوع اصلی زیر است:

– انتخاب سایت مناسب برای مزرعه بادی

– انتخاب مدل(یا مدلهای) مناسب توربین بادی

– وضعیت موضعی باد و ارزیابی سایت

بطور کلی شـرایط محیطی از طریق سـه عامل زیر روی شرایط باد در سایت تاثیر می گذارد:

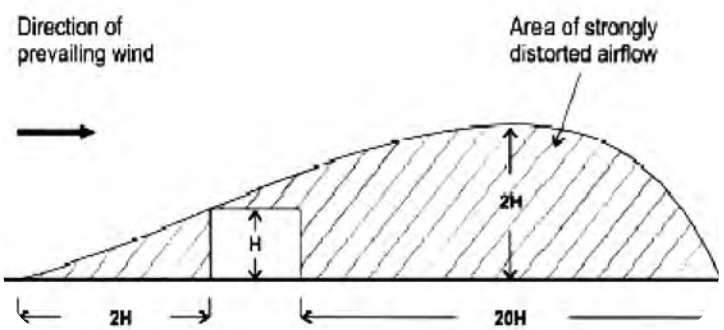
– موانع

– زبری سطح

– اروگرافی (وضعیت پستی و بلندی)

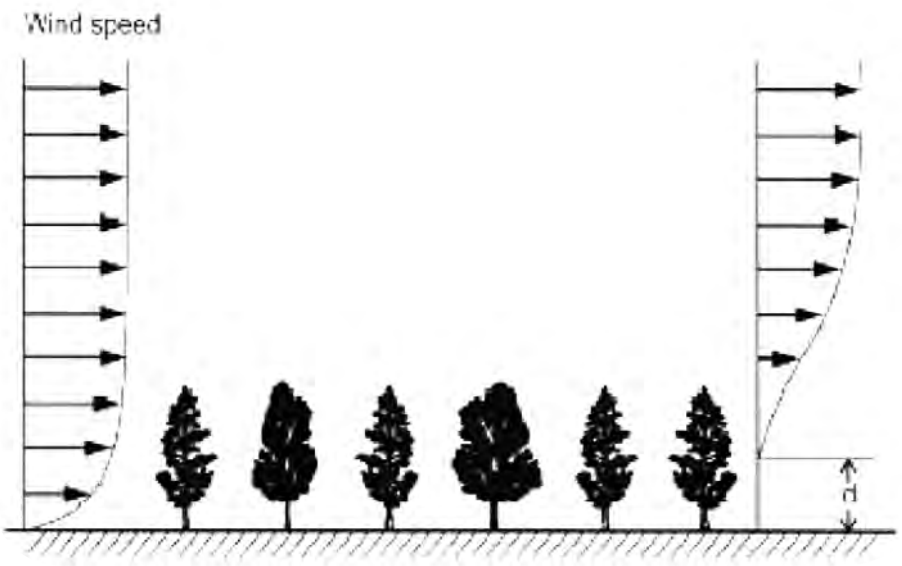
در شکل تاثیر یک مانع منفرد به ارتفاع H روی جریان باد نشـان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود، این مانع طولی به اندازه H ۲۰ در مسـیر خود را به لحاظ وضعیت باد دچار آشـفتگی می سازد. همچنین باید توجه داشت که در صورت استفاده از توربین بادی در محل، این توربین باید دارای حداقـل H ۲۰ فاصله از مانـع بوده و لبه پایینی پره توربین باید دارای ارتفاع سه برابر ارتفاع مانع باشد.

در شـکل زیر نیز تاثیر چند مانع پشت سر هم (مثلا ردیفی



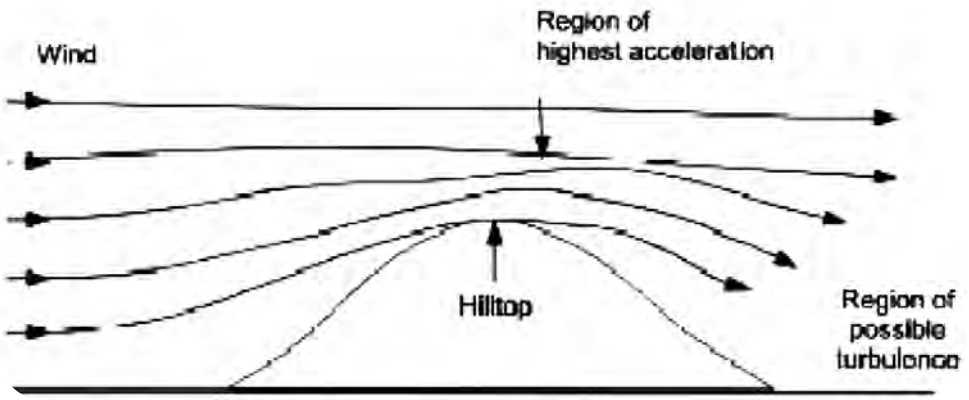
اثر مانع بر روی جریان هوا

از درختان) روی پروفیل باد نشان داده شده است



اثر مانع بر روی پروفیل باد

همچنین تاثیر اروگرافی زمین (به صورت یک تپه) روی خطوط جریان باد قابل مشاهده است.



اثر اروگرافی زمین بر روی جریان باد

شـاخصه هایی از جریان باد که در یک سایت خاص دارای اهمیت هستند عبارتند از:

- پروفیل باد
- سرعت متوسط باد
- توزیع سرعت باد
- توزیع جهت باد
- الگوی روزانه تداوم سرعت باد
- الگوی سالانه سرعت باد

مـکان مولد بـادی باید علاوه بر موقعیت مناسـب از نظر بادخیـر بودن به گونه ای انتخاب گـردد که بالاترین بهره اقتصـادی، کمتریـن تأثیر تخریبی بـر روی محیط اطراف (عـدم نیاز به تغییر شـرایط موجود در منطقـه و تجهیزات پیچیده)، را دارا باشـد. بنابراین منطقه و سـاختار آن نقش بسـیار مهم و اساسـی در عملکرد بهینه مولد بادی خواهد داشت.

بدیهی اسـت مکان نصـب مولد بادی باید دارای سـرعت متوسط بالا و تداوم مناسب وزش باد باشد. از این رو بررسی سـرعت و سـایر پارامترهای باد، اولین و مهمترین گام در

ارزیابی اسـتعداد یک منطقه برای نصب نیروگاههای بادی محسوب می شود. برای انتخاب سایت مناسب جهت نصب توربین های بـادی مراحل زیر به عنـوان مطالعات امکان سنجی انجام می گیرد:

- تعیین پتانسیل تخمینی باد
- تعیین نوع تملک زمین
- نزدیکی به خطوط انتقال و وضعیت شـبکه (توان اتصال کوتاه، کیفیت خطوط انتقال)
- دسترسی به جاده ها
- شرایط اقلیمی
- سـایر عوامل (بررسی زلزله خیزی منطقه، بررسی ذرات میزان ذرات معلق در هوا)

مطالعات مربوط به باد منطقه شامل موارد ذیل می گردد:

- اطلاعات توپوگرافی منطقه
- نصب دکل هواشناسی
- جمع آوری اطلاعات باد حداقل به مدت یکسال
- گزارش کیفی هواشناسی
- بررسی یکنواختی باد

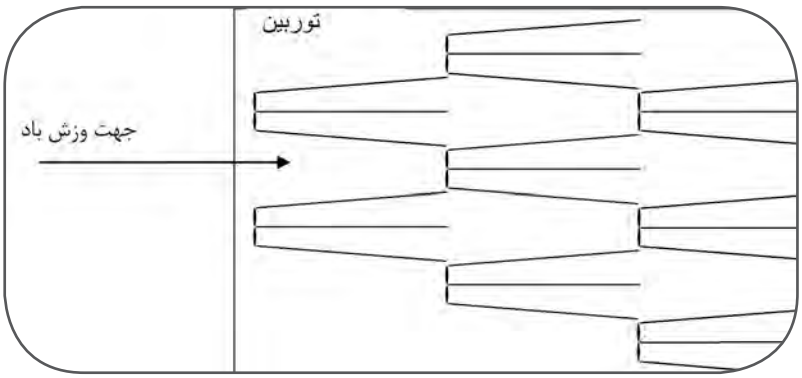
پس از بررسـی های مذکور در خصوص انتخاب سـایت مناسب، انتخاب مدل یا مدلهای مناسب توربین بادی مورد مطالعه قرار می گیرد که شامل:

- برآورد تـوان خروجی نیروگاه کـه عمدتا به کمک نرم افزارهای کامپیوتری انجام می گیرد
- انتخاب ارتفاع هاب مناسب
- بررسـی ضریب توان، تـوان حداکثر ، و همچنین اثرات توربین برروی شبکه
- کنترل صدای ناشی از توربین
- ضریب دسترسی فنی
- اقتصـادی بودن احداث نیـروگاه در کاهش مدت زمان برگشت سرمایه
- انتخاب نوع و تعداد توربینهای قابل نصب

۵- نحوه آرایش توربین های بادی

برای تولید برق به مقدار زیاد که بتواند شـبکه سراسـری برق را تغذیه نماید نیاز به ایجاد مزرعه یا پارک توربینهای بادیسـت که از مجموعه ای از توربینهای بادی تشـکیل شـده و اصطلاحاً نیـروگاه بادی گفته می شـود. با بهره بـرداری از تعداد بیشـتری از توربینهای بادی جریان برق تولیـدی روی هـم رفته ظرفیتهـای بالایی در حد چند مگاوات ایجادمی شـود. بدین طریق می توان برق تولیدی را از نظـر اقتصادی با نیروگاه هـای متداول قابل رقابت و عملکـرد نیروگاه و هزینه های نگهـداری آن را به صرفه و بهینـه نمـود. تعـداد توربینهای بادی کـه یک مجتمع نیروگاهی را تشکیل می دهند در عمل متفاوت است و در اسـتحصال جریان برق از توربینهای بادی، مسائل متعدد از جملـه کیفیـت برق عـلاوه بر کمیـت آن نیز برای مهندسـین صنعت برق که با این موضوعات سر و کار دارنـد اهمیت دارد. برق تولیدی می بایسـت با کیفیت قابل قبول وارد شـبکه شـود و در درازمـدت بازدهی خوبی داشـته باشد. از دیگر مسـائل، فاصله بهینه بین توربینهـای نصب شـده و نحوه آرایش آنها می باشـد

تا از زمین و باد موجود منطقه حداکثر اســتفاده شــده و در حوالی نیروگاه آلودگی های زیســت محیطی نظیر آلودگی صوتی ایجاد نشود.
توربینهای بادی با توجه به مورفولوژی(فرم یا شــکل مکانی) منطقه با فواصل مشــخص نزدیک یکدیگر و در شکل متقارن و مناســب (منظره متناســب با طبیعت) طوری نصب می شــوند که در اغلب اوقات در جهت وزش باد غالب منطقه باشــند و بیشترین انرژی را از باد بگیرند و نیاز چندانی هم به چرخش مکرر ناسل توربین نباشد.
در مواردی که بیش از یک ردیف توربین نصب می شود معلوم است که جریان باد بعد از عبور از یک توربین به توربین دیگری می وزد و مقدار سرعت و انرژی آن اندکی کاهش می یابد که بیشتر بدلیل چرخشی شدن توده ها پس از عبور از توربین ها می باشد که بستگی شدیدی به سرعت، توربولانس و شکل ناهمواریها و .... منطقه دارد.



نحوه چیدمان توربین ها در یک مزرعه باد

چنانکه از نظر زمین موجود و در دسترس بودن، محدودیتی وجود داشته باشد، بهتر است از توربینهایی با ظرفیت بالا استفاده نموده و فواصل آنها را به حد محاسبه شده و معقولی از یکدیگر انتخاب نماییم. چنانچه درشکل نشان داده شده است جریان باد بعد از عبور از توربینهای ردیف اول به توربینهای ردیف دوم و سوم و ... برخورد می کند که هر بار نیز با نقصان انرژی و کاهش تراکم بین مولکولهای هوای در حال حرکت توأم می باشد. مسلم است که توربینهای ردیفهای دوم و سوم و ... با اندکی کاهش در برق تولیدی مواجه هستند.
در ضمن بر اساس یک قاعده تجربی فاصله میان توربینهای بادی در مزارع باد در صورتیکه در جهت باد غالب باشند بین ۵ الی ۷ برابر قطر روتور و اگر عمود بر جهت باد غالب باشند، بین ۳ الی ۵ برابر قطر روتور خواهد بود.

۶- انرژی باد و توربین های بادی

۶-۱ مزایای استفاده از انرژی بادی

- عدم نیاز توربینهای بادی به سوخت که در نتیجه از میزان مصرف سوختهای فسیلی می کاهد.
- رایگان بودن انرژی باد
- توانایی تأمین بخشی از تقاضای انرژی برق
- کمتر بودن نسبی قیمت انرژی حاصل از باد در بلند مدت
- تنوع بخشیدن به منابع انرژی و رویکرد به سوی سیستم پایدار انرژی
- قدرت مانور زیاد جهت بهره برداری در هر ظرفیت و اندازه (از چند وات تا چندین مگاوات)
- عدم نیاز به آب (در مقایسه با نیروگاههای متعارف همچون سدو...)
- عدم نیاز به زمین زیاد برای نصب
- ایجاد اشتغال
- نداشتن آلودگی های زیست محیطی

۶-۲- قدرت باد

قدرت نامی موجود در باد را می توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$P = work / time$$

$$p = \frac{1}{2} mv^2/t = \frac{1}{2} (\rho Ad) v^2/t = \frac{1}{2} \rho Av^2 (d/t)$$

$$d/t = v$$

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

P – قدرت باد (وات)

ρ – وزن مخصوص هوا (چگالی یا دانسیته)

A – سطح دایره ای شکل جارو شده توسط پره های روتور

V – سرعت نسبی باد که حاصل از برآیند دو سرعت واقعی در محیط و سرعت روتور می باشد.

قدرت توربین بادی :

$$P = Cp \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Cp – ضریب قدرت نامیده می شود که طبق تعریف، درصدی از انرژی باد است که به انرژی مکانیکی تبدیل می شود

اگر بتوان سرعت روتور را متناسب با سرعت باد کنترل نمود، همواره می توان از ضریب قدرت ماکزیمم برخوردار بود.

بر اساس تئوری بتز، برای اخذ حداکثر انرژی ممکن، روتور توربین بادی باید بگونه ای تعبیه گردد که سرعت جریان در پائین دست روتور (پشت روتور) ۱/۳ سرعت بالا دست (مقابل روتور) باشد.

بدین ترتیب مقدار ضریب قدرت ماکزیمم:

Cp max: ۰,۵۹۳

لازم به ذکر می باشد که ۵۹,۳٪ ضریب قدرت با در نظر گرفتن شرایط ایده آل بدست آمده و این مقدار در واقعیت پائین تر می باشد.

۷- نیروگاههای بادی

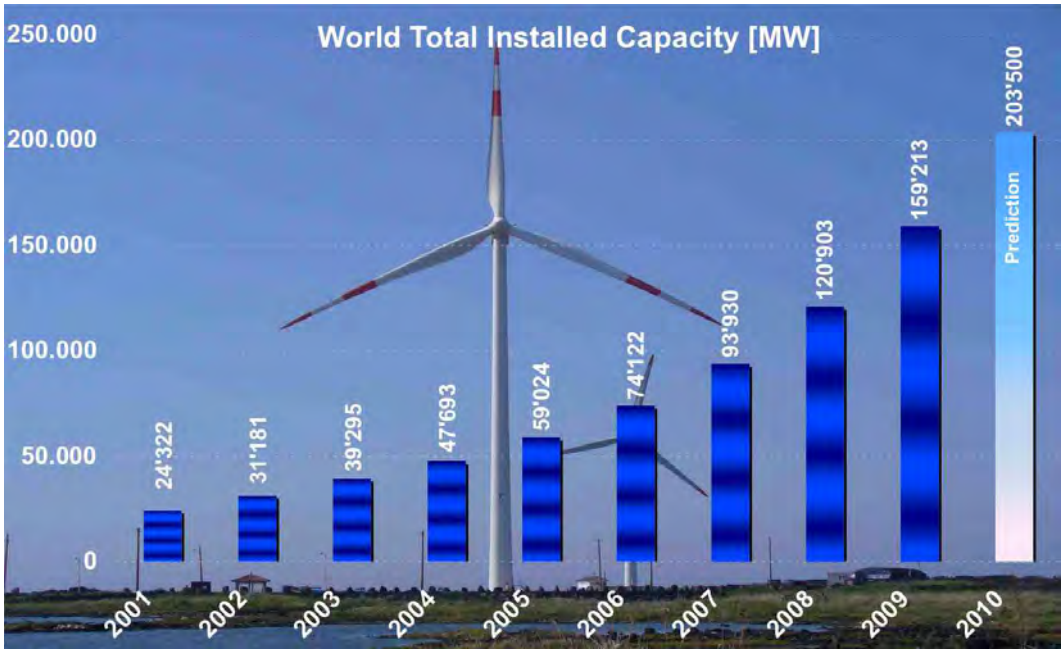
مکان تولید برق از نیروی باد توسط توربینهای بادی را اصطلاحا نیروگاه بادی می نامیم.این نیروگاهها از نظر ظرفیت به سه گروه نیروگاه های کوچک، متوسط و بزرگ(مگاواتی) تقسیم بندی می شوند.

نوع نیروگاه	ظرفیت(کیلووات)	قطر روتور بطور میانگین	توضیحات
کوچک	≤۸۰kw	تا ۲۰ متر	اغلب برق تولید شده از این نیروگاهها به مصرف خصوصی میرسد.
متوسط	۷۵۰<kw≤۸۰	از ۲۰ تا ۴۵ متر	معمولا صاحب این نیروگاهها تعاونیهای برق بادی و یا شرکتهای خصوصی برق هستند که به شبکه سراسری برق می دهند.
بزرگ	>۷۵۰kw	بیشتر از ۴۵ متر	سرمایه گذاری لازم برای این نوع نیروگاهها جهت نصب و بهره برداری معمولا به چند میلیون یورو بالغ میگردد.

۷-۱- ظرفیت نصب شده انرژی بادی در جهان

نمودار زیر بر اساس مطالعات صورت گرفته درWWEA «انجمن جهانی انرژی بادی» و در خصوص ظرفیت نصب شده جهانی انرژی بادی می باشد.
نمودار، ظرفیت نصب شده جهانی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ را با هم مقایسه می نماید.
مقایسه بیانگر روند روبه رشد بهره گیری از انرژی بادی در جهان است. به گونه ای که ظرفیت جهانی از حدود ۲۴۰۰۰ مگاوات در سال ۲۰۰۱ به بیش از ۱۵۹۰۰۰ مگاوات در سال ۲۰۰۹ رسیده و پیش بینی می شود این عدد در سال ۲۰۱۰ به پیش از ۲۰۰۰۰۰ مگاوات برسد.

کشورهایی که بالاترین ظرفیت نصب شده جهانی را



ظرفیت سالیانه انرژی بادی در جهان

تا انتهای سال ۲۰۰۹ دارا هستند شامل آمریکا با ۳۵۱۵۹ مگاوات ،آلمان با ۲۵۷۷۷ مگاوات ،چین با ۲۵۱۰۴ مگاوات ،اسپانیا با ۱۹۱۴۹و هند با ۱۰۹۲۵ مگاوات می باشند.

رشد چشمگیر صنعت انرژی بادی در سال ۲۰۰۷ بیانگر این واقعیت است که تصمیم گیران جهانی انرژی بادی علاقمند به گسترش و بهره گیری روزافزون این انرژی هستند. با این وجود باید توجه داشت که انرژی بادی، فناوری نوینی است که جهت بهره برداری، نیاز به چارچوبها و سیاست های ویژه ای دارد.

برای دومین سال پیاپی صنعت انرژی بادی آمریکا با نصب حدود ۲,۵۰۰ مگاوات، آن کشور را به بزرگترین و جدیدترین بازار صنعت انرژی بادی بدل کرده است. به گفته رئیس انجمن انرژی بادی آمریکا «AWEA»، رشد بالای انرژی بادی در آمریکا این واقعیت را اثبات می نماید که باد اصلی ترین انتخاب این کشور برای تولید انرژی در میان سایر انرژی های جدید می باشد. پیش بینی ها حاکی از آن است که ۱۵,۲۸۵ مگاوات مجموع انرژی بادی نصب شده در آمریکا در سال ۲۰۰۷ به حدود ۴۸,۰۰۰ مگاوات در ۲۰۱۵ برسد.

همچنین انتظار می رود مجموع ظرفیت انرژی بادی نصب شده در کشور کانادا با رشد چشمگیری معادل ۱۰ برابر تا سال ۲۰۱۵ روبرو بوده و از ۱,۸۵۶ مگاوات در ۲۰۰۷ به حدود ۱۴,۰۰۰ مگاوات ارتقا یابد.

بازار انرژی بادی اروپا از کل ظرفیت نصب شده ۹۴,۰۰۰ مگاوات در انتهای ۲۰۰۷ به حدود ۱۳۰,۸۱۶ مگاوات در انتهای ۲۰۱۵ خواهد رسید. در این میان اسپانیا همچنان به عنوان بزرگترین بازار پیشرو در اروپا باقی مانده و پیش بینی می شود تا ۲۰۱۵ به طور میانگین سالیانه ۲,۲۰۰ مگاوات به انرژی بادی نصب شده در اسپانیا افزوده گردد.

۸- توربین های بادی

۸ – ۱ پارامترهای مهم در انتخاب توربین

مهم ترین مواردی را که بایستی در انتخاب توربین جهت تولید الکتریسیته در نظر گرفت عبارتند از:

الف – قدرت نسبی: در این ارتباط توربین های بادی از نوع محور افقی به سبب تولید ضریب کارائی بهتر و توان بالا نسبت به توربین های محور عمودی ارجحیت دارند.

ب – ظرفیت اقتصادی: توربین های با ظرفیت بالا به سبب توان تولیدی بیشتر که اولاً قابل اتصال به شبکه و ثانیاً دارای توجیه اقتصادی شامل سرمایه گذاری اولیه و برگشت سرمایه مناسبتری هستند، مورد توجه بیشتری می‌باشند.

هر چه توربین با ظرفیت بالاتری انتخاب شود انرژی بیشتری تولید خواهد نمود و از نظر اقتصادی هزینه واحد انرژی پائین خواهد بود. البته توربین های بادی در حد چند مگاوات دارای پیچیدگی خاص بوده ، به علت وزن بسیار سنگین و مراقبت های ویژه، همچنین ملاحظات مربوط به حمل و نقل، نصب و نگهداری، معمولاً توصیه نمی شوند. لذا مناسب ترین آنها در حال حاضر توربین های با قدرت ۴۰۰کیلووات تا یک و نیم مگاوات می باشند.

ج- اندازه: ماشین های بادی که نسبت به ماشین های مشابه خود از قطر کمتر و توان بالاتر ، در نتیجه انرژی تولید سالیانه بیشتر برخوردار باشند و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند.

د- سرعت: مولدهایی که سرعت شروع پائین داشته باشند و سرعت نامی آنها نزدیک به سرعت متوسط باد در منطقه با گرایش به سمت سرعت حامل بیشترین مقدار انرژی باشند و برای سرعت انفصال بالاتری طراحی شده باشند مناسب ترند.

ه- نوع ساختار تعمیرات و نگهداری : هر چه ساختار توربین بادی ساده تر و تعمیرات آن آسانتر باشد هزینه نگهداری آن کمتر است و برای نصب در مزارع پیشنهادی اولویت دارد.

و- خدمات پس از فروش: انتخاب توربینی بهتر است که از خدمات پس از فروش مطمئن و مناسب برخوردار باشد و بیشترین امکان انتقال تکنولوژی را داشته باشد

۸–۲ انواع توربینهای بادی :

– محور افقی

– محور قائم

مهمترین جاذبه توربینهای محور قائم عدم نیاز آنها به هر نوع سیستم جهت یابی می باشد در حالیکه این سیستم یکی از ضروری ترین وسایل برای مبدلهای محور افقی محسوب می گردد و وسیله ای است که روتور را دائما در جهت باد قرار می دهد (در صورتیکه جهت باد تغییر کند). بنابراین توربینهای محور قائم از هزینه ای که باید صرف این سیستم شود و یا افتهایی که از خطای این سیستم و یا تاخیر آن در پاسخ به تغییر جهت باد ناشی می شود بر حذر می باشند.

در توربین ژنراتورهای بادی بزرگ سیستم انتقال قدرت و افزایش دور یکی از فاکتورهای موثر در قیمت و وزن کل مبدل می باشد.

طرح توربینهای محور قائمی نظیر (داریوس) این اجازه را میدهد تا بتوان سیستم انتقال قدرت را نزدیک و یا بر روی سطح زمین نصب نمود. در حالیکه در توربینهای محور افقی این سیستم با مشکل زیاد در بالای برج نصب می گردد.

توربینهای محور قائم با پره های مستقیم از انعطاف پذیری بیشتری برخوردارند زیرا جعبه دنده را می توان بالای برج و یا پای آن تعبیه نمود.بنابراین طراح در انتخاب جعبه دنده برای توربینهای محور قائم از نظر وزن و شکل محدودیتی نخواهد داشت و این امر می تواند موجب کاهش قیمت توربین شود.

در حال حاضر توربینهای محور افقی بیشتر مورد توجه طراحان می باشند زیرا اینگونه توربینها نسبت به توربینهای محور قائم از سابقه بیشتری برخوردارند.

۹- دکل بادسنجی

جهت اندازه گیری سرعت و جهت باد برای محاسبه میزان انرژی قابل اســتحصال از منطقه و شــناخت جوی آن بکار گرفته می شــود. بادسنجها دارای انواع گوناگونی می باشند که شامل :

۹-۱ – باد سنج کاسه ای

همانگونه که در شکل مشاهده می شود، این نوع از بادسنج از ۳ یا ۴ نیم دایره تشــکیل شده که هر یک به انتهای یک بازوی افقی متصل می باشــند که برروی یک محور قائم و در ارتفاعات مختلف نصب شده اند. اساس کار این بادسنج بر این واقعیت اســت که مقاومت سطح مقعر شکل در برابر جریان هوا بیش از سطح محدب شکل کاسه می باشد.
به کمک این بادســنج می توان ســرعت باد را با دقت های مختلف اندازه گیری نمود.

۹-۲- بادسنج عقربه دار

در این نوع از بادســنج ســرعت چرخش فنجــان یا پره به شــمارش گر منتقل شده که مستقیما سرعت باد را محاسبه می کند.

۹-۳- بادسنج دستی

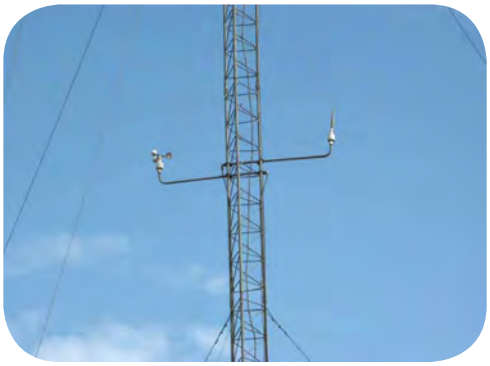
این نوع از بادســنج قابل حمل بوده و توسط شخص جهت اندازه گیری سرعت باد لحظه ای حمل می شود.

۹-۴-بادسنجی به کمک فشار باد

در این نوع بادســنج سرعت باد بوسیله فشارهای دینامیکی باد محاسبه می شود. با دمیدن باد به داخل یک لوله، فشار آن بیش از فشــار اســتاتیک افزایش می یابد، این در حالی اســت که با دمیدن باد در طول لوله فشار آن کمتر از فشار اســتاتیک افزایش می یابد. این اختلاف فشار برابر است با توان دوم سرعت باد.

۹-۵- بادسنج لیزری

این نوع بادســنج دارای دقت بالامیباشــد کــه کاربردهای آزمایشگاهی دارد.
ایســتگاههای باد سنجی علاوه بر ســرعت باد پارامترهای دیگری مانند: جهت باد، دمای منطقه، میزان رطوبت، شدت تشعشع و میزان فشار هوا را اندازه گیری می کنند.



نمونه ای از بادسنج کاسه ای

برای سنجش هر کدام از عوامل فوق حس گر مخصوص ایــن کمیت نصب و توســط آن، مقدار کمیت ســنجیده می‌شــود.
ســرعت باد مهمترین عاملی اســت که در یک دســتگاه بادسنجی اندازه گیری می شود. هر ایستگاه حداقل دارای ۳ حس گر بادســنج اســت کــه در ارتفــاع ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متری نصب شــده و سرعت باد را اندازه گیری می کنند. (استاندارد ارتفاعی کشورهای مختلف متفاوت است).
طبق آخرین اســتانداردهای ســازمان هواشناسی اطراف ایســتگاه بادســنجی تا شــعاع ۹۰ متری نباید هیچگونه موانع طبیعی یا مصنوعی نسبتا بزرگ قرار داشته باشد.
سنســورهای بادســنجی امروزه از نظر ساخت تنوع بسیار زیادی دارند ولی از نظر ساختاری به دو دسته بزرگ تقسیم می شــوند: نوع مکانیکــی و الکتریکی(اولتراســونیک). بادسنج فنجانی از انواع مکانیکی می باشد.
اندازه گیری جهت باد نیز معمولا به وسیله بادنماها صورت می گیرد. اطلاعات به صورت مکانیکی یا الکترونیکی به نمایشگر یا نگارنده فرستاده می شود. این اطلاعات یا به صورت درجه و یا با تقسیم بندی جهات به هشت قسمت (شــمال، جنوب، شرق،...) با دقت حداکثر ۱۰°-/+ بدست می آیند. در هوای طوفانی معمولا نتایج تا ۳۰°-/+ دارای خطا هستند.

۶-۹- روند اجرای پروژه اطلس باد کشور

اجرای نرم افزار مدل سازی اتمسفریک باد (KLIMM)

بـه منظور تهیه نقشـه بـاد ویرایش صفر ، مسـاحت کل کشـور به مناطق مختلف تقسـیم گردیده است و نرم افزار KLIMM به صورت مقدماتـی بر روی ۱۲ منطقه اجرا گردیده است.

یکی از مهمترین مراحل پروژه، نصب و راه اندازی بیش از ۶۰ ایستگاه بادسنجی بوده است که در اولین مرحله نصب و راه اندازی ۵۲ ایسـتگاه بادسـنجی در سرتاسر ایران که ثبت اطلاعات برای حداقل ۱۲ ماه توسـط ایسـتگاههای مذکور انجام شـده است. پس از پایان عملیات باد سنجی ، نقشه به روز شده باد آماده گردیده و براساس آن، جانمایی مزارع بادی انجام خواهد شد . هدف از این نقشه ، تسهیل مکان یابی نقاط مسـتعد و پر پتانسیل باد هر منطقه جهت احداث نیروگاههای بادی اسـت . در عین حال این نقشـه می تواند به عنوان ابزاری جهت نشان دادن پتانسیل باد هر منطقه به منظور جذب سرمایه گذاران برای احداث نیروگاه بادی استفاده شود .

تشریح کلی نقشه فاز صفر اطلس باد کشور

نقشـهٔ ویرایـش صفر باد ایـران با رزولوشـن تقریبی ۹۰۰ m ×۹۰۰ m برای دو ارتفاع ۵۰ و ۸۰ متری از سطح زمین و با استفاده از مدل اتمسفریک سه بعدی KLIMM تهیه گردیده است.

اطلاعات مورد استفاده در تهیهٔ نقشهٔ مذکور عبارتند از :

اطلاعـات باد جـو بالا در ارتفاع ۷۴۰۰ m از سـطح زمین منتج از اطلس جهانی جو بالا

پروفیل تغییرات دمای جو بالا

اطلاعات ایستگاههای سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور (بیش از ۱۶۰ ایستگاه)

اطلاعات بالونهای هواشناسی (Radio Sonde)

اطلاعـات و نقشـه هـای توپوگرافـی بارزولوشـن ۹۰۰m × ۹۰۰m

اطلاعات و نقشـه هـای کاربری اراضـی (land use) با رزولوشن ۹۰۰m × ۹۰۰m

اطلاعات باد ایسـتگاههای بادسنجی خوزستان ، منجیل و بینالود

نقشـهٔ باد ویرایش صفر با تقسیم بندی مساحت ایران به ۲۱ ناحیه و در نظر گرفتن شـرایط باد ۱۲ جهت محاسبه شده است.

براسـاس اطلاعات بدسـت آمده، ۵۰ نقطـهٔ جدید برای نصب و راه اندازی ایسـتگاهها باد سـنجی تعیین گردیده اسـت که پس از برداشت اطلاعات ، در آینده جهت انجام مطالعات امکان سنجی سایت های برگزیده و بروز رسانی نقشهٔ باد ایران مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

در نقشـه مذکور(صفحه ۳۷) شرایط باد و سرعت متوسط سـالانهٔ مناطق مختلف با اسـتفاده از رنگ های مختلف نمایش داده شده است.

رنگ زرد که نشان دهندهٔ سرعت متوسط ۵ تا ۷ در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین می باشد در مناطق نسبتاً وسیعی مشاهده می شود.

مناطق مستعد با سرعت باد بیشتر عموماً در نواحی شمال غـرب، مرکز و شـرق ایران (با رنگ قرمـز و نارنجی وبا سـرعت۷ تا ۹ m/s) قابل مشـاهد هسـتند (از جمله حد فاصـل ایرانشـهر و کهنوج،جنـوب کرمان و رفسـنجان ،جنوب شرق نیشابور،کوهپایه های شرق زاگرس و...)

لازم به ذکـر است نـواحی بادخیز که دارای عوارض طبیعی پیچیده هسـتند با توجه به رزولوشـن نقشهٔ صفر (۹۰۰m×۹۰۰m) در ایـن نقشـه دیده نمی شـوند. برای این مناطـق از جمله منجیل و ده سـایت برتر ایـران متعاقباً پس از انجام یکسـال عملیات بادسـنجی، نقشهٔ های باد با رزولوشـن تقریبـی ۲۵۰m×۲۵۰m تهیه و چیدمان و ظرفیت توربین های مناسـب جهت احداث نیروگاه بادی تعیین خواهند شد.

۱۰- توربین بادی با محور افقی

۱-۱۰- روتور

روتور توربین باد شـامل پره، هاب، دماغه و یاتاقانهای پره میباشد.

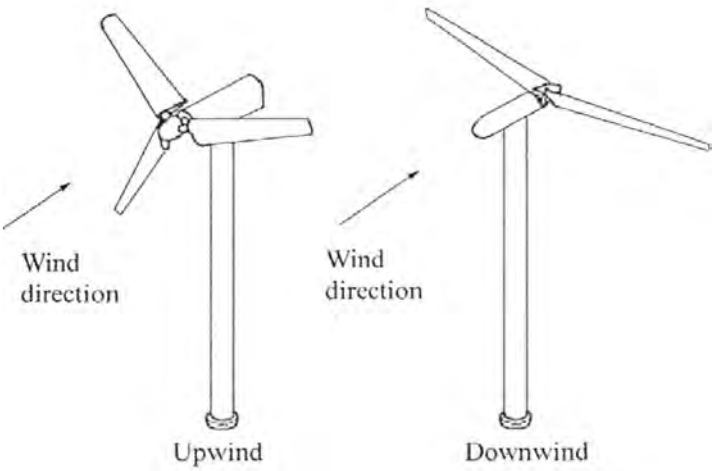
روتور یک توربین بادی محور افقی بطور خلاصه متشکل از تعدادی پره می باشد که بطور شعاعی در اطراف یک شفت کـه موازی باد قرار مگیرد نصب شـده انـد و بدین ترتیب روتوری را تشـکیل می دهند که عمود بر جهت باد دوران میکند.معمـولا روتور توسـط بک برج در ارتفاع مناسـبی نسـبت به زمین قرار می گیرد و البته پیش بینی های لازم برای هم جهت شـدن امتداد شـفت با جهات مختلف باد و همچنین برای کنترل سرعت آن صورت می گیرد و قدرت جذب شده توسط این روتور مستقیما و یا توسط یک سیستم مکانیکی به ماشـینی که قرار اسـت رانده شـود منتقل مـی‌گـردد.

عملیات مونتاژ روتور

پره های روتور معمولا مطابق یکی از آئروفویلهای استاندارد انتخاب می شـوند که مشخصه های آئرودینامیکی پروفیل آنها شنا خته شده است.

تعـداد پره ها معمولا متغیر بوده و پهنای پره (کورد) ممکن است در تمام طول پره ها ثابت و یا آنکه متغیر باشد و پره از هاب به سمت نوک باریک شود.ضمنا پره ممکن است در امتداد محور طولی تاب داشته باشد یا اصطلاحا پیچیده باشد و بالاخره گام پره ممکن است ثابت و یا متغیر باشد.

مطابق با شکل زیر روتور را می توان پائین دست برج (پشت به باد) و یا بالا دست برج (رو به باد) نسبت به جریان تعبیه نمود. یکی از مزایای تعبیه روتور پشـت به باد جلوگیری از برخورد پره ها بخصوص پره های قابل ارتجاع به پایه برج می باشـد و



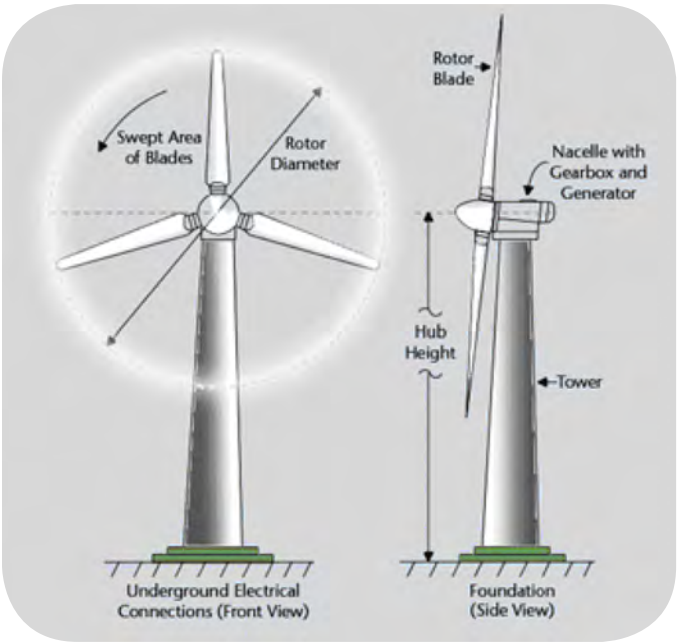
توربین بادی و جهت باد

همچنین می توان طول شـفت روتور را حتی المقدور کوتاه انتخاب نمود.
مهمتریـن مزیت این عمل این اسـت که مـی توان برای کاهش تنش در ریشـه پره ها آنها را به سـمت پائین دست جریـان متمایل سـاخت که در آن صورت روتور به شـکل مخروط درآمده و اصطلاحا کونیک می شود.
به این ترتیب ممان نیروی باد حول ریشه پره با ممان ناشی از نیروی گریز از مرکز تقریبا متعادل میشود. البته پره بعضی از توربینهای بزرگ بگونه ای روی هاب تعبیه می شوند که قابلیت جابجایی داشـته باشند بطوریکه بسته به شدت باد و یا سرعت دورانی بهترین مخروط ممکن را بوجود بیاورند.

روتور توربین باد شـامل پره- هاب- دماغه و یاتاقانهای پره می باشد.

۲-۱۰- پره :

یکی از مهمترین بخشـهای توربین بـادی بوده و وظیفه آن تولید نیروی لازم برای چرخاندن شـفت اصلی توربین باد اسـت. پره به گونه ای سـاخته می شود که استحکام و اسـتقامت بسـیار بالا در برابـر نیروهـای دینامیکی و آیرودینامیکی داشته باشد.
پـره هـای توربین باد، انرژی باد را به واسـطه کم کردن سـرعت باد از آن می گیرند و می چرخند. کاهش سرعت

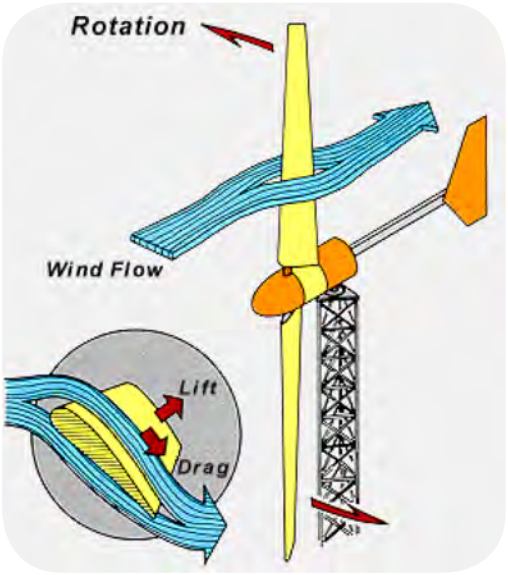


نمایی از سطح روتور و ارتفاع هاب

باد و ازدیاد سـرعت پره های روتور با اعمال نیرو برروی باد از طریـق پره و بالعکس از طریق بـاد برروی پره صورت مـی‌گیـرد.
امروزه بیشـتر، توربینهای با دو یا سه پره متداول می باشند. با افزایش تعداد پره ها شدت ارتعاشات کاهش می یابد و در توربینهای با سـه پره در مقایسه با توربینهای دو پره میزان سر و صدا و استحلاک کمتر می باشد.

هنگامی که جسمی در مقابل حرکت سیال قرار می گیرد نیرویی از طرف سیال به آن وارد می شود که می توان آن را به دو نیرو تجزیه کرد. یک نیرو در جهت سرعت سیال و دیگری در جهت عمود بر آن خواهد بود.
نیروی اعمالی در جهت سـیال به نیروی درگ یا پسـا و نیروی عمود بر آن به نیروی لیفت یا برا معروف است.
درگ نیرویی بازدارنده اسـت که در اثر حرکت سیال حول

جسم به وجود می آید و نیروی لیفت ماهیت بالابرندگی دارد.
نیروی درگ عامل چرخش پره در توربینهای بادی محور قائم می باشد.
بر خلاف توربینهای محور قائم عامل اصلی ایجاد گشـتاور لازم برای چرخش پره در توربینهای محور افقی نیروی لیفت می باشد.
برای درک بهتر علت چرخش پره توربین، به عنوان مثال بال یک هواپیما را در نظر می گیریم. باد با سرعت نسبی V و زاویه حمله (α) ۵ درجه (حدودا) به بال هواپیما برخورد می کند.
مقطع (آیرودینامیکی) بال باعث می شـود که باد در قسـمت فوقانی آن با سرعت بیشتری نسبت به قسمت تحتانی آن عبور نماید. بر اساس قانون برنولی این پدیده سبب ایجاد نیروی لیفت و در نتیجه برخاستن هواپیما می شود.

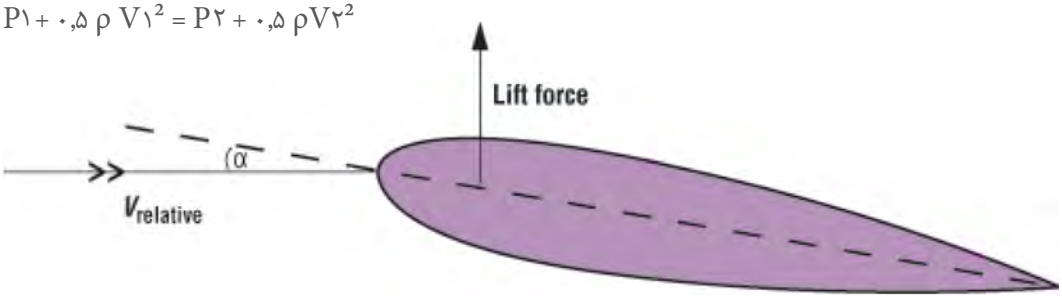


پره های آئرودینامیکی و نیروهای وارد بر پره

قانون برنولی:

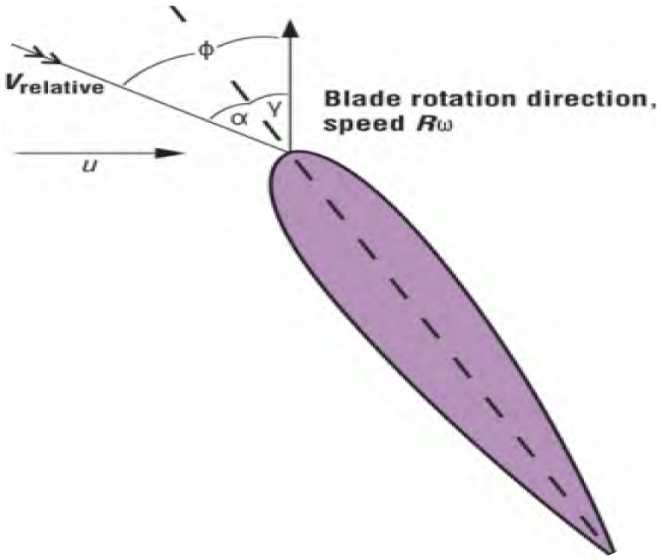
جریان های هوا باید در یک زمان به هم برسـند و چون مسـافتی که هوا در قسـمت فوقانی بال طی می کند، بیشـتر است، پس باید سرعت جریان هوا بیشتر باشد تا جریان های هوای فوقانی و تحتانی بال در یک زمان به هم برسند. و بنابر قانون برنولی، وقتی که V۱ بیشـتر شـود، باید P۱ کمتر شـود تا جواب معادله برنولی درست باشـد. در نتیجه فشار هوا در قسمت فوقانی بال کمتر شده و هواپیما به بالا صعود می کند.

$$P + ۰,۵\ \rho\ V^2 + \rho gh = cte$$
$$P۱ + ۰,۵\ \rho\ V۱^2 = P۲ + ۰,۵\ \rho V۲^2$$



تاثیر باد بر بال هواپیما

حال از مثال بال هواپیما به پره توربین بادی باز می گردیم. بدلیل گردش پره، جهت باد نسبی که به پره توربین برخورد می نماید مشابه بال هواپیما می باشد.



موقعیت پره (زاویه γ) به گونه ای است که نیروی لیفت سبب حرکت پره در مسیر گردش شده و نیرو از پره به شفت توربین انتقال می یابد.
باید توجه داشت که مسیر باد نسبی، به دلیل حرکت پره، با مسیر باد مستقیم متفاوت می باشد.در شکل این مسیر با زاویه Φ نشان داده شده است که برابر با مجموع زوایای حمله (α) و (γ) می باشد.
بدلیل افزایش سرعت باد نسبی از ریشه به سمت نوک پره، طراحی مقطع پره از اشکال استاندارد هواپیما به طراحی های خاص توربین های بادی ارتقاء یافته است.

سرعت گردش پره:

پره با سرعت گردش کند سبب عبور باد از فضاهای خالی بین پره ها شده و در نتیجه بازده روتور کاهش می یابد. از طرف دیگر سرعت بسیار بالای گردش پره سبب ایجاد مانع در مقابل باد و ناکارآمدی گردش پره می شود.
در نتیجه سرعت مناسب مابین سرعت پایین وسرعت بسیار بالای پره، که به سرعت بهینه معروف است، می باشد.

طراحی پره:

نیروهای لیفت و درگ با ضرایب لیفت و درگ مشخص می گردند.

$$Lift = Cl\ (\rho/2)\ Av^2$$
$$Drag = Cd\ (\rho/2)\ Av^2$$

Cd , C۱ضرایب لیفت و درگ می باشند. ρ وزن مخصوص سیال و A سطح جارو شده توسط پره در مقابل سیال (باد) و ν سرعت سیال (باد) می باشد.

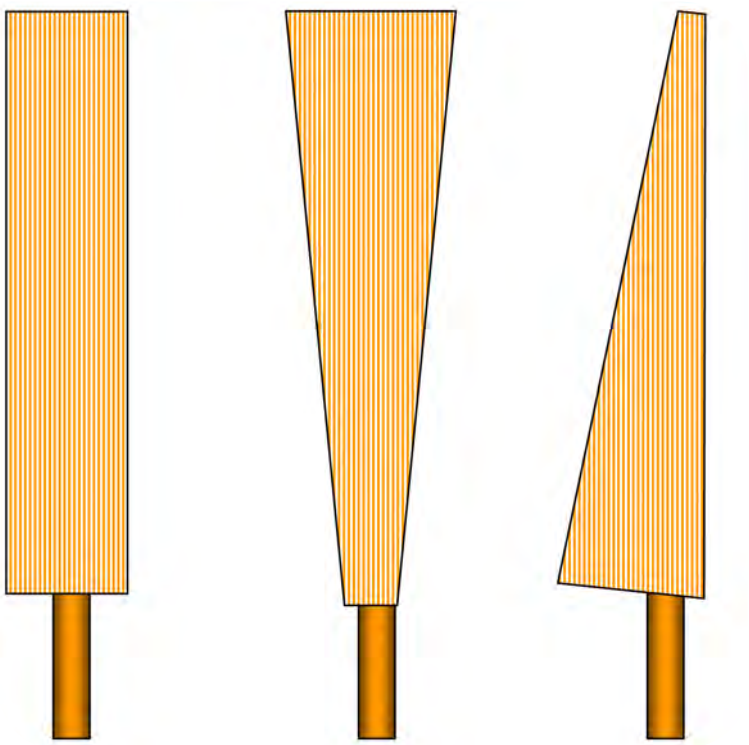
ضرایب لیفت و درگ برای اشکال هندسی رایج به صورت جداول اطلاعاتی در دسترس می باشند.
این ضرایب با تو جه به شکل هندسی سطح مقطع پره و زاویه حمله (α) که باد در آن زاویه به پره برخورد می کند محاسبه می شوند.
در طراحی ها جهت به دست آوردن حداکثر بازدهی باید سعی شود زاویه حمله ای (α) انتخاب گردد که در آن نسبت ضریب لیفت به درگ بالاتری داشته باشیم.
همانگونه که از روابط بالا مشخص است با افزایش یا

کاهش سطح مقطع پره نیروهای لیفت و درگ افزایش یا کاهش می یابند.
با بیشتر شدن وزن مخصوص هوا نیروی درگ افزایش می یابد. هوای سردتر باعث تولید نیروی درگ بزرگتری می شود.
برای کاهش نیروی درگ می توان از سطوح صاف و تمیزتری استفاده کرد.
همانطور که اشاره شد راندمان هنگامی ماکزیمم خواهد بود که لیفت حداکثر و درگ حداقل باشد.
با توجه به رابطه زیر می توان دریافت که سرعت محیطی در طول پره متفاوت است.

$$v = ۲ \pi r N$$

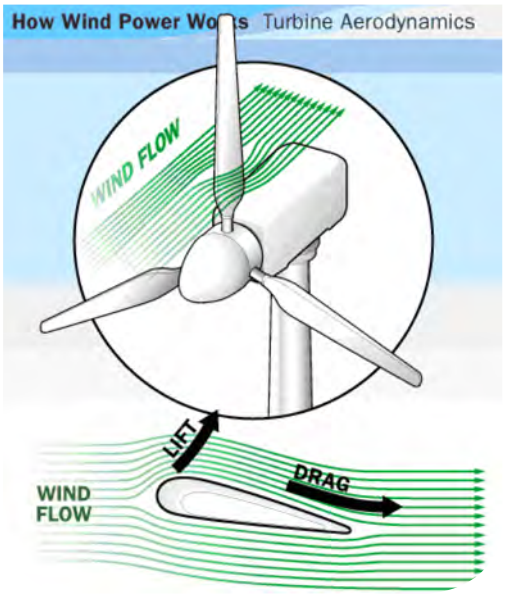
V سرعت المانی از پره در شعاع r
N سرعت دورانی مشخص
r شعاع یا فاصله از ریشه

در نتیجه با افزایش فاصله از ریشه یا هاب سرعت محیطی افزایش می یابد و بالاخره در نوک به حداکثر می رسد.
پس در بادی به سرعت V که به طور یکنواخت روی روتور توزیع شده باشد مقدار و زاویه سرعت نسبی باد (زاویه حمله) با شعاع r تغییر می کند و این امر بدان معناست که نیروی لیفت نیز به ازای واحد سطح پره به r بستگی خواهد داشت.
برای تعیین شکل اپتیمم پره توربینهای محور افقی بهینه نمودن المانهایی مستقل در امتداد شعاع روتور جهت اخذ حداکثر انرژی ممکن است، که نتیجه این عمل تغییرات کورد (پهنای پره) خواهد بود.
با توجه به مطالعات انجام شده نتیجه می شود که پره باید از ریشه به سمت نوک باریک شود و ضمنا حول محور طولی بتابد.
باید اشاره کرد که قسمتهای ابتدایی و نزدیک به هاب نسبت به قسمتهای انتهایی پره نقش کمتری در کسب انرژی ایفا می کنند، زیرا سطح جارو شده به ازای واحد طول پره برای قسمتهای ابتدایی پره کمتر از قسمتهای انتهایی می باشد.
پره های مربع مستطیل و مسطحی که پهنای آنها (کورد) در سرتاسر طول پره ثابت بوده ارزانتر و میزان انرژی قابل حصول کمتری دارند.
مشخصه ضریب قدرت روتورهای بادی را بر حسب نسبت سرعت نوک ($۲ \pi RN / V$) بیان می کنند که V سرعت باد در بالا دست جریان می باشد.
مقدار بهینه نسبت سرعت نوک برای روتورهای پرپره حدود ۱ و برای روتورهای آسیابهای سنتی چهار پره حدود ۲,۵ و برای روتورهای سریع و مدرن حدود ۶ یا بیشتر می باشد. ضمنا اگر بتوان سرعت روتور را متناسب با سرعت باد کنترل نمود، همواره از ضریب قدرت ماکزیمم برخوردار خواهیم بود.
جهت حداکثر رساندن راندمان، پره را با مقطع منحنی شکل طراحی کرده و لبه پشتی پره به صورت تیز و لبه جلویی آن به صورت منحنی شکل ساخته می شود.
همچنین جهت حداقل رساندن نیروی درگ، سطح پره باید صاف باشد..
در سالهای گذشته پره ها اشکال گوناگونی داشته اند که هر یک دارای ضعفهایی بوده و بتدریج پره ها اشکال آیرودینامیکی امروز را بدست آورده اند.



اشکال گوناگون پره ها

مقطع آیرودینامیکی پره های امروزی دارای انحنای خاصی می باشد.



مقطع آیرودینامیکی پره

بـا این نوع طراحی نیـروی لیفت افزایـش و نیروی درگ کاهش می یابد.
پـره ها را از چـوب، آلومینیوم، فایبر گلاس تقویت شـده، فولاد و یا ترکیبی از این مواد می سـازند. چوب اغلب برای سـاختن پره توربینهای بادی کوچک بطـور یکپارچه مورد استفاده قرار می گیرد، بدین ترتیب که آنرا به شکل مناسب تراشیده و با پیچهای فولادی به هاب متصل می کنند.
برای توربین هـای بزرگتر، چوب بصـورت تخته چندلا یا ورقه های نازک به ضخامت تقریبی سـه میلیمتر که بطور مناسب برروی یکدیگر متصل می گردند، استفاده می شود.
پـره های چوبی از خواص خوبـی برخوردارند، اما باید حتما ضد آب شـوند، زیرا رطوبت موجب متورم شـدن چوب می شود که نه تنها بر شکل هندسی پره و نتیجتا مشخصه آئرودینامیکـی اثر می گذارد، بلکه موجب عدم توازن و گاه ایجاد ترک در پره ها نیز می گردد.
معمـولا برای حفاظت پره های چوبی در برابر رطوبت، آنها را با ورقه ای از فایبر گلاس، رزین و یا مواد مناسب دیگر می پوشانند.

روتور با پره های چوبی

آلیاژهای آلومینیوم نیز برای ساخت پره ماشینهای کوچکی که کورد ثابتی دارند بکار می روند. اخیرا فایبرگلاس تقویت شده که از استحکام و قابلیت شکل پذیری خوبی برخوردار اسـت مورد توجه تولیدکنندگان قرار گرفته است، بطوریکه پره اکثر توربینهای کوچک و متوسـط امروزی از این جنس ساخته می شوند.
گاهی پره های مرکب از فایبرگلاس و فولاد نیز مشـاهده می شود. خصوصیت خستگی فایبرگلاس تقویت شده بهتر از آلیاژهای فلزی است و ضمنا مقاومت خوردگی آنها بسیار خوبست.
پره روتورهای بادی خیلی بـزرگ بصورت تلفیق آلیاژهای آلومینیوم و فولاد سـاخته می شـوند. باید توجه داشت که در مناطق نزدیک دریا پاشـش نمک می تواند عامل نگران کننده ای برای این نوع پره ها باشد، زیرا در شرایط دریایی فولاد دیگر حد تحملی(بیشـترین تنشی که جسم علیرغم دفعات تکرار و تغییر تنش تحمل می نماید) نخواهد داشت و بالاخـره پره توربیـن های پرپره از ورقه هـای گالوانیزه ساخته می شوند.

توربین پرپره

۳-۱۰- برج

سازه های مشـبک فولادی- برجهای استوانه ای فولادی یا بتنی و همچنین سـتونهای مهار شده توسط کابل از رایج ترین برجهای نگهدارنده محسوب می شوند.

برجهای قدیمی اصطلاحا فرکانس بالا ساخته می شدند به این معنـا که فرکانس طبیعی یا اصلی آنها بسـیار بالاتر از فرکانـس منابع تحریکی همچون عبور پره ها از مقابل برج و غیره انتخاب می گردید و این بدان دلیل بود که شـناخت کافی از منابع تحریک در واقع نیروهای متناوب اعمال شده بر برج وجود نداشـت. چنین برجهایی بسیار محکم- صلب و نتیجتا گران بودند.

امـا اخیرا روتورهـای فرکانس بالا را بـر برجهای فرکانس پایین نصب می کنند. چنین برجهایی سـبکتر- ارتجاعی تر و بالاخره اقتصادی تر از برجهای فرکانس بالا می باشند.

برای طراحی چنین برجهایی شناخت دقیق دینامیک سیستم و برج ضروری است و به همین دلیل شکل این برجها بسیار ساده است.

یکـی دیگـر از نکاتی که اخیرا در طراحـی بعضی از برجها مورد توجه قرار گرفته است، تحمل و مقاومت آنها به هنگام فقدان یکی از پره ها اسـت. اگر این نکته به هنگام طراحی بـرج مد نظر قرار گیرد در صورت شکسـتن یکی از پره ها، نیروگاه بکلی معدوم نمی گردد.

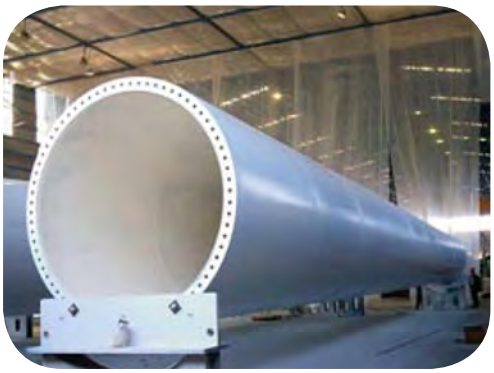
ارتفـاع برج معمولا بین یک تا یک ونیم برابر قطر روتور در نظر گرفته می شـود. انتخاب نوع برج وابسـتگی به شرایط سـایت دارد. همچنین سفتی برج فاکتور مهمی در دینامیک سـازه توربین باد محسـوب می گردد چرا که احتمال کوپل شدن ارتعاشات بین برج و روتور که منجر به خطر رزونانس می گردد وجود دارد.

برای توربینهای با روتور پشت به باد اثر سایه برج (وقفه ای که بواسطه جریان باد در حول برج ایجاد می شود) دینامیک توربین، نوسـانات توان و صدای تولید شـده در محاسبات مربوطه می بایست لحاظ گردند.

برای مثال بدلیل وجود اثر سـایه برج، توربینهای پشـت به باد معمولا نسبت به انواع رو به باد پر سرو صداتر هستند.

از آنجا که قیمت تمام شـده برج چیزی در حدود ۲۰ درصد قیمت کل توربین بادی می باشد، انتخاب بهینه ارتفاع و نوع برج از نکات حائز اهمیت می باشد.

در میـان برجها، نوع مشـبک آن از سـایر انواع ارزانتر می باشد و دلیل آن کاهش میزان فولاد بکار رفته در این نوع از برج می باشـد. همچنین اثر سایه برج در این دسته از برجها کمتر است.



نمونه ای از برج توربین بادی

جهت دسترسی به قسمتهای داخلی برج و به ویژه ناسل، معمـولا از پلـکان هایی که در داخل برج تعبیه شـده اند استفاده می گردد.

نمایی از داخل برج

پیــش از نصب برج، محل دقیق توربین مشــخص شــده و فونداسیون مناسب آن با توجه به شدت و قدرت باد طراحی و ساخته میشود.

فونداسیون برج

پس از ســاخت فونداسیون، قطعات پایینی و بالایی برج به ترتیب بر روی هم مونتاژ می شوند.

مونتاژ قطعات برج

۴-۱۰- ناسل

شامل پوشــش خارجی مجموعه توربین، شاسی و سیستم دوران حول محور برج می باشــد کــه روتور به آن متصل است. ناسل در بالای برج قرار دارد.بعضی از ناسل ها آنقدر بزرگند که تکنسین ها می توانند داخل آن باستند.
در گذشــته توربینهای بادی با یک ســرعت دورانی ثابت (دور روتــور) کار مــی کردند، اما مدلهای امــروزی تقریبا سیستم یک ســرعته را کنار گذاشته اند. از میان ۵۸ مدل توربین موجود، ۲ مدل یک ســرعته، ۲۲ مدل دو سرعته و ۳۴ مدل با سرعت متغیر وجود دارند.

اجزاء داخلی ناسل

پس از نصب برج، ناسل بر روی آن قرار می گیرد.
و در نهایت روتور و پره ها نصب می شوند.

نصب ناسل

نصب روتور

۵-۱۰- سیستم انتقال قدرت:

سیستم انتقال قدرت شـامل اجزاء گردنده توربین باد است. این اجزاء عمدتاً شـامل محور کم سـرعت (سـمت روتور)، گیربکس و محور سرعت بالا (در سمت ژنراتور) میباشد .

سـایر اجـزاء این سیسـتم شـامل یاتاقانها ، یـک یا چند کوپلینگ ، ترمز مکانیکی و اجزاء دوار ژنراتور می باشـد. در این مجموعه وظیفه گیربکس افزایش سرعت نامی روتور از یـک مقدار کم (در حد چنـد ده دور در دقیقه) به یک مقدار بالا (در حد چند صد یا چند هزار دور در دقیقه) که مناسـب برای تحریک یک ژنراتور استاندارد است، می‌باشد.
عمدتـاً دو نوع گیربکس در توربینهای بادی مورد اسـتفاده قرارمیگیرد: گیربکسـهای با شفتهای موازی و گیربکسهای سیارهای.
برای توربینهای سایز متوسط به بالا (بزرگتر از ۵۰۰ KW) مزیت وزن و سـایز در گیربکسهای سیارهای نسبت به نوع دیگر یعنی گیربکسهای با شفت موازی کاملاً بارزتراست. بعضی از توربینهای بـاد از یک طرح خاص برای ژنراتور اسـتفاده می کند (ژنراتور با تعـداد قطب بالا) که در آن نیازی به استفاده از گیربکس نمیباشد.

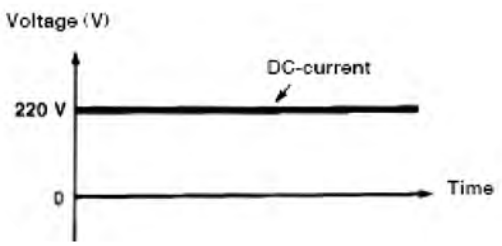
در حالـی که طراحی سیسـتم انتقال قـدرت یک توربین باد از همان مفاهیم اصول متداول مهندسـی مکانیک در طراحی اجزاء ماشین سود می جوید، مسأله بارگذاری اجزاء این سیسـتم احتیاج به ملاحظات ویژه و خاص دارد، چرا که اغتشاشات باد و دینامیک اجسام بزرگ و گردنده روتور باعث تحمیل بارهای کاملاً متغییر و متفاوت به مجموعه اجزاء سیستم انتقال می گردد.

۶-۱۰- ژنراتور

پره هـای توربین بادی انرژی جنبشـی بـاد را به انرژی دورانی درسیسـتم انتقال تبدیل می کنند و در قدم بعدی ژنراتور، انرژی توربین را به شبکه برق منتقل می نماید.
بطور معمول از سه نوع ژنراتور در توربینهای بادی استفاده می شود.

- ژنراتور جریان مستقیم
- آلترناتور یا ژنراتور سنکرون
- ژنراتور القایی یا آسنکرون

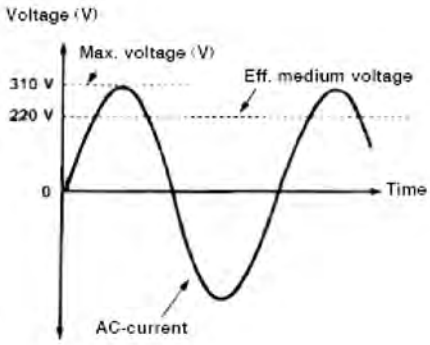
در نیروگاههـا و تاسیسـات کوچـک سـابقا بیشـتر از ژنراتورهای جریان مسـتقیم اسـتفاده می شد و اکنون در بعضی از مولدهای کوچک که برای شـارژ باتری بکار می رونـد از این گونه ژنراتورها اسـتفاده می گردد. همچنین برای تامین قدرت وسـایل مخابراتی، چراغهای دریایی و اماکن دور افتاده که به انـرژی الکتریکی کمی نیاز دارند بکار گرفته می شود.
از مزیتهای جریان مسـتقیم این است که با متصل کردن باتریهـا امکان برق رسـانی دائم، حتـی در صورت از کار افتادن ژنراتور در نیروگاه، امکان پذیر می باشد.



جریان مستقیم

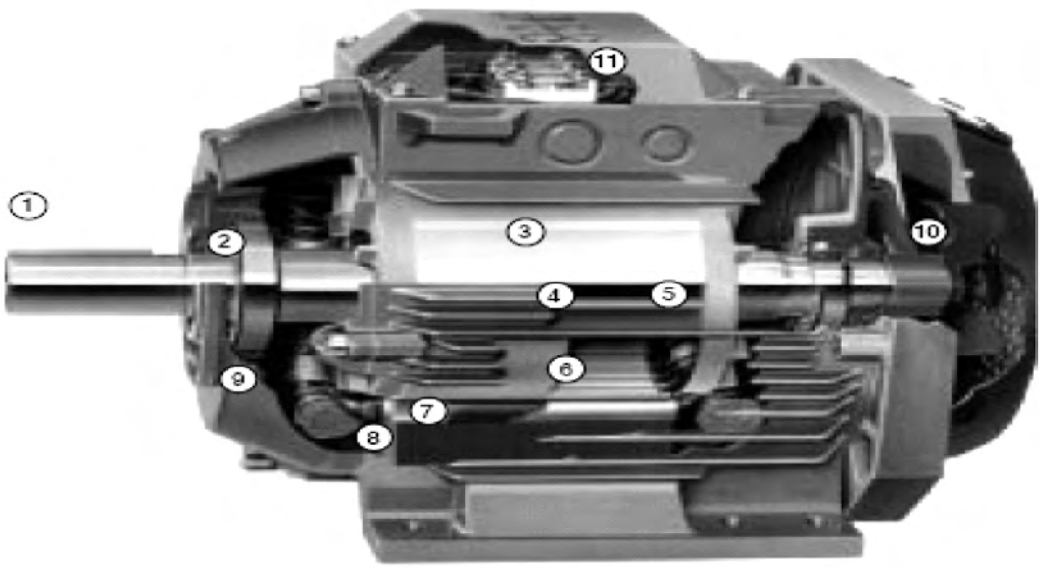
بنابراین نیروگاههـای اولیه دارای انبارهـای بزرگ باتری بودند. این سیستمها با توربینهای بادی به عنوان منبع اصلی انـرژی کاملا منطبق بودند و با این ذخیـره بزرگ باتریها، برق رسانی به صورت آرام امکان پذیر می بود.
یکی از معایب بزرگ سیسـتم جریان مستقیم، ایجاد جرقه الکتریکی قوی بر اثرقطع جریان در ولتاژهای بالا می باشد. از دیگـر معایب این سیسـتم، عدم کارایـی ذخیره انرژی باتریها در سیسـتم شـبکه های الکتریکی به دلیل افزایش مصرف امروزی می باشد.
بنابرایـن با افزایش روزافزون مصرف انرژی، سیسـتم برق مسـتقیم روش منطقی نبـوده و به تدریج با سیسـتم برق متناوب جایگزین شد.
همانگونه که در منحنی مشـخص است، ماکزیمم ولتاژ در جریان متناوب از ماکزیمم ولتاژ در جریان ثابت بیشتر است تا بتواند همان توان را تامین کند.
مزیـت اصلـی جریـان متنـاوب، قابلیـت اسـتفاده از ترانسـفورماتورها می باشـد. این مزیت باعث تناوب ولتاژ بـدون افت انرژی شـده و همچنین امـکان افزایش ولتاژ جهت انتقال برق را مهیا می سازد.

اکنـون اکثـر مولدهـای جریان مسـتقیم بـا ژنراتورهای سـنکرون یا آسـنکرون جایگزین شـده اند. این ژنراتورها جریـان متناوب تولید می کنند که می توان به سـادگی و توسـط یکسوکننده ها که بسیار ارزان هستند این جریان را در صورت لزوم به جریان مستقیم تبدیل نمود.
مزیت استفاده از آلترناتورها یا ژنراتورهای سنکرون نسبت به ژنراتورهای برق مستقیم که در توربینهای بادی کوچک بکار می روند در این است که اولا راندمان بالاتری دارند و ثانیا در رنج وسیعتری از سرعت دوران نسبت به ژنراتورهای جریان مسـتقیم قادر به تولید الکتریسـیته می باشند و در واقع نسبت بین حداکثر و حداقل سرعت دورانی برای تولید الکتریسیته در ژنراتور جریان متناوب بالاتر است.
ژنراتورهای سـنکرون نسـبت به ژنراتورهای آسـنکرون گرانتر(جریـان مغناطیس کننده خـود را فراهم می کنند) و ضمنا پیچیده تر هسـتند، در نتیجه بیشتر به تعمیر نیاز پیدا می کنند.
از مزیتهای مهم ماشـینهای سنکرون آن است که میتوانند بعنـوان یک ژنراتور مسـتقل عمـل نموده و بـدون هیچ منبع خارجی قادر به تامین جریان میدان مغناطیسـی مدار



جریان متناوب

تحریک خود باشند.
ژنراتورهـای آسـنکرون ضمن اینکـه ارزانترنـد، از نظر سـاختمانی نیز سـاده تر و لذا قابل اعتمادتر می باشـند و بعلاوه مزیتهای زیر را دارا هستند:
– به سـادگی به شبکه متصل می شـوند، زیرا می توانند با حدود چند درصد اختلاف سـرعت از سرعت سنکرون، بدون هیچ مشکلی به شبکه مرتبط شوند.
– بـه هنـگام اتصال به شـبکه ارتعاشـی در آنها تولید نمی‌شـود.
– سـرعت چرخش روتور هماهنگ با فرکانس شـبکه می باشد و با به کار بردن تجهیزات کنترلی لازم می توان برق را به طور مستقیم به شبکه تزریق نمود.
– از معایب اسـتفاده ژنراتورهای آسـنکرون، وابستگی و حساسیت زیاد به سرعت چرخش روتور می باشد.



نمونه ای از ژنراتور آسنکرون

اجزا، این ژنراتورها عبارتند از:

۱. محور ژنراتور
۲. یاتاقانهای غلتان
۳. روتور
۴. میله آلومینیومی روتور
۵. حلقه آلومینیومی روتور
۶. استاتور(قسمت ثابت – پوسته)
۷. سیم پیچ
۸. صفحه استاتور
۹. دماغه سیم پیچ
۱۰. هواکش
۱۱. جعبه اتصال

یکی از مزایای بزرگ ژنراتورهای آسنکرون،قابلیت این ژنراتورها در استفاده از سیستمی است که به ژنراتور اجازه می دهد تا هنگام وزش بادهای شدید دور روتور و ژنراتور تا حدود ۱۰٪ نسبت به سرعت گردش میدان مغناطیسی در استاتور تغییر کند و با به حداقل رساندن نوسانات احتمالی نا خواسته در شبکه و کاهش اعمال شوک به اجزاء حیاتی توربین، به میزان محسوسی کیفیت قدرت خروجی افزایش یابد. با این عمل فرسایش و استهلاک در گیربکس کاهش پیدا خواهد کرد. به همین دلیل در توربینهای بادی که ژنراتور آنها بطور مستقیم به شبکه برق سراسری متصل می شود، استفاده از ژنراتورهای آسنکرون ارجحیت دارد.

ژنراتورهای آسنکرون برای اولین بار در کشور دانمارک در سال ۱۹۵۷ در یک توربین بادی ۲۰۰ KW مورد استفاده قرار گرفتند.

در حقیقت ژنراتور آسنکرون نوعی موتور است که به عنوان ژنراتور نیز می تواند عمل کند. موتور آسنکرون، موتوریست که در اغلب ماشینهای لباس شویی و به صورت گسترده در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد.

این موتور از دو قسمت اصلی تشکیل شده،استاتور (پوسته) و روتور.

نمونه ای از روتور و استاتور در موتور آسنکرون

استاتور موتور از یک سری سیم پیچ تشکیل شده که در واقع باید دو به دو به سه بخش تقسیم شود.(در سیستم سه فاز)

در شکل بالا موتور از شش سیم پیچ تشکیل شده است که به صورت دو به دو به برق شبکه سه فاز متصل هستند که یک میدان مغناطیسی دوار در داخل استاتور به وجود می آورند.

سرعت چرخش ژنراتور به فرکانس سیستم شبکه برق سراسری بستگی دارد که عموما ۵۰ یا ۶۰ هرتز می باشد. برخی از تولیدکنندگان توربین های بادی از ژنراتورهای سنتی برای تولید جریان متناوب (فرکانس ۵۰ و ۶۰ هرتز) استفاده می کنند که این دست از ژنراتورها مستقیما به شبکه متصل می شوند.

این ژنراتورها (سنکرون) تنها با چرخش در سرعت سنکرون یا نزدیک به آن(حدود ۱۵۰۰ دور در دقیقه) قادر به تولید الکتریسیته می باشند. به این منظور باید از جعبه دنده یا گیربکس برای هماهنگی سرعت روتور استفاده کرد. به عنوان مثال، ژنراتوری با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه و گردش محور اصلی ۳۰ دور در دقیقه، نیازمند به جعبه دنده ای با نسبت ۵۰:۱ می باشد. اگر جعبه دنده تنها دارای یک نسبت سرعت باشد، در آن صورت طراح باید تنها برای یک سرعت باد طراحی نماید. اگر جعبه دنده دارای دو نسبت سرعت باشد، این امکان وجود دارد که با استفاده از جعبه دنده افزایشی، سرعت روتور را برای هماهنگی با بادهای کم سرعت کاهش داد.

با بیشتر شدن سرعت باد از حد تعریف شده برای تولید، همچنان الکتریسیته تولید می گردد، ولی انرژی بدست آمده دارای کارایی پایین تری می باشد. در سرعت های خیلی بالا این کاهش بازدهی یک مزیت بوده، چرا که ژنراتور دچار اضافه بار(Overload) نمی شود. این نوع طراحی به «تنظیم کننده استال» معروف است.

۷-۱۰-گیربکس(جعبه دنده)

از آنجائی که محور توربین دارای دور کم و گشتاور بالا و بر عکس آن محور ژنراتور دارای دور بالا و گشتاور کم است، سیستم انتقال قدرت باید به نحوی این دو محور را به یکدیگر متصل نماید.

ترکیب وآرایش جعبه دنده ها بستگی به نسبت تبدیل، قدرت جعبه دنده و راندمان آن دارد. در چرخ دنده های ساده نسبت بین دو دنده ۱ به ۱ الی ۱ به ۸ در یک کاهش یا افزایش دور می باشد. چنانچه نسبت افزاش دور بیشتری مورد نظر باشد، باید از دو یا سه مرحله چرخ دنده ساده استفاده نمود.

حجم و وزن جعبه دنده ها بسیار متغیر و متنوع است. وزن جعبه دنده تابعی از نسبت دور نیز می باشد.

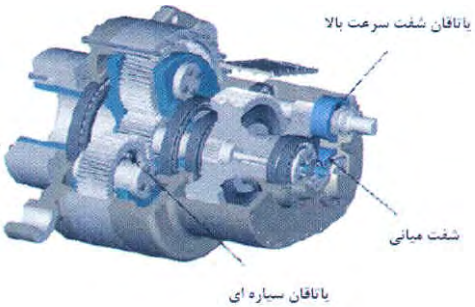
در توربین های محور افقی، معمولا دو نوع جعبه دنده، محور موازی و خورشیدی استفاده می شود. اختلاف اساسی میان سرعتهای دوران روتور و ژنراتور، سبب بالا بردن گشتاورهای ورودی و نسبت دور جعبه دنده می گردد.

جعبه دنده های با محور موازی در مقایسه با جعبه دنده های خورشیدی، از نظر طراحی و نگهداری ساده تر اما وزن آنها بیشتر است. در جعبه دنده های خورشیدی، محورهای خروجی و ورودی معمولا در یک امتداد قرار

دارند، امـا در جعبه دنده های محور مـوازی، امتداد محور ورودی با خروجی یکسان نیست.
بعنـوان مثال برای یک توربین بادی سـه پـره با ظرفیت اسـمی ۱/۵ مگاوات که سـرعت گردش روتور آن ۱۹ دور در دقیقه اسـت، جعبه دنده ای با نسبت ۱ به ۸۰ با سیستم خنک کننده روغن مورد نیاز است.
همچنین در مورد یک توربین بادی دو پره با ظرفیت اسمی ۳۰۰ کیلـووات، که سـرعت گردش روتـور آن ۷۲ دور در دقیقه اسـت، جعبـه دنده دو مرحله ای با نسـبت ۱ به ۲۵ مورد نیاز می باشد.
یکـی از نکات بسـیار قابـل توجه در طراحـی گیربکس توربیـن های بادی، حداقل بودن سـر و صدای حاصل از گیربکـس و در عیـن حال بالا بودن راندمان سیسـتم می باشد.

۸-۱۰- ترمز

در توربینهـای بـادی بـا ظرفیت بسـیار پاییـن (۱ الی ۵ کیلووات) معمولا از سیسـتم های ترمز کفشـکی استفاده می شـود، زیرا جهت متوقف نمودن پره ها، نیروی زیادی مورد نیاز نیست.
ترمزهای کفشـکی پس از نگهداشـتن دیسـک متصل به محور گیربکس، سیستم را کاملا متوقف می سازد.
در توربینهـای بـادی با ظرفیت بالا، از ترمزهای دیسـکی اسـتفاده می شـود. مزایای اسـتفاده از اینگونه ترمزها در توربینهای بادی شامل:
- سطوح تحت اصطکاک عمدتا در معرض جریان هوا قرار دارند.
- در دماهای بالا، میزان انبسـاط شـعاعی وجانبی در ترمز بسیار ناچیز بوده و بر روی ابعاد ترمز تاثیری نمی گذارد.
- بدلیل مسـئله خود تنظیمـی، کاربـرد اینگونه ترمزها راحت تراسـت.
- بازرسی و تعویض کفشکها به سهولت قابل انجام است.
در توربینهـای بادی، پس از دریافت فرمان از سنسـورهای بادسنج، توسط سیستم کنترل و از سیستم کنترل به ترمزها، توسـط یک سیستم هیدرولیک، فرمان لازم به ترمزها داده شده و ترمز دیسکی فعال می گردد.
هزینه سیسـتم های ترمز در توربین بـادی حدودا ۱٪ کل قیمت توربین بادی است.



نمونه ای از گیربکس

نمونه هایی از ترمزهای دیسکی

۹-۱۰- سیستم کنترل

برای بدست آوردن حداکثر راندمان از یک توربین بادی، باید بتوان همواره صفحه دوران توربین را عمود بر جهت وزش باد قرار داد.

برای این منظور از سیستم هایی برای تغیر جهت توربین بادی و قرار دادن سیستم در مسیر باد استفاده می شود.

این سیستم (yaw system) یک سیستم ترکیبی الکتریکی- مکانیکی است که هدایت آن توسط واحد کنترل انجام میشود. در توربین های بادی سایز کوچک به جای چرخ انحراف (yaw system) از بالچه استفاده می کنند.

همچنین سیستم هایی جهت کنترل و تنظیم سرعت دورانی در توربین بادی مورد استفاده قرار می گیرند. چنین سیستمهایی علاوه بر کنترل دور روتور، مقدار قدرت تولیدی و نیروهای وارده بر روتور در بادهای شدید را نیز محدود می کنند.

بنابراین سیستم کنترل مناسب ترین وضعیت مورد نیاز توربین بادی را انتخاب خواهد کرد. این سیستم تماما اتوماتیک بوده و قادر است عملکرد کلیه اجزاء و سنسورها و مقادیر واقعی سرعت دورانی و قدرت خروجی را کنترل نماید.

سیستم کنترل علاوه بر هدایت توربین های بادی به منظور استفاده بهینه، ابزاری جهت ایمن سازی آن در مقابل حوادث مختلف جوی نیز می باشد.

برخی عوامل که توسط سیستم های کنترل مورد مراقبت قرار می گیرند، شامل:

- کنترل افزایش ولتاژ ناگهانی بر اثر پدیده های مختلف نظیر رعد و برق و ...
- کنترل جهت قطع آرام سیستم توربین بادی
- کنترل مشخصات هواشناسی نظیر سرعت و جهت باد، درجه حرارت محیط، فشار محیط، سرعت توربین
- کنترل مشخصه های شبکه نظیر تجهیزات ولتاژ فاز، شدت جریان، ولتاژ ترانسفورماتورها و فرکانس برق تولیدی
- کنترل جهت محور توربین در بهترین شرایط در مسیر باد
- کنترل سرعت پره ها از طریق اعمال ترمز در زمانهای مورد نیاز
- کنترل سرعت ژنراتور

بطورکلی سیستمهای کنترل شامل کنترل بخشهای مکانیکی، الکتریکی، زیست محیطی و بهره برداری بهینه و ایمن می باشد.

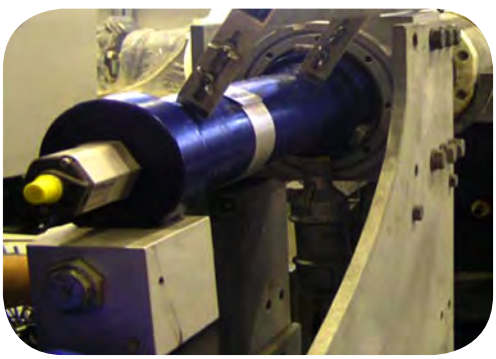
۱۰-۱۰- سیستم های هیدرولیک

به مجموعه جک و یونیت هیدرولیکی و اتصالات جانبی آنها اطلاق می شود. جک هیدرولیکی از یک سیلندر و پیستون دو طرفه تشکیل شده است و با انتقال سیال به هر ناحیه از آن، جک به سمت مخالف حرکت می کند.

یونیت هیدرولیکی از الکتروموتور، پمپ، مخزن تامین فشار اولیه، شیرهای هیدرولیکی، شیلنگهای انتقال سیال به دو ناحیه داخل سیلندر جک، مخزن روغن، روغن مخصوص و تجهیزات جنبی تشکیل شده است.

پس از دریافت فرمان، پمپ مقداری روغن را از داخل مخزن به محفظه جلو یا عقب سیلندر جک پمپ می کند تا جک بتواند به مقدار مورد نیاز محور تراورس را در جهت مورد نیاز حرکت دهد.

محور تراورس محوری است که از سوراخ داخل شفت اصلی عبور می کند و یک سمت آن با جک هیدرولیکی و طرف دیگر آن با مکانیزم مثلثی واقع درون هاب مرتبط است. وظیفه این محور انتقال حرکت جک هیدرولیکی و در واقع فرمان کنترلر به مکانیزم مثلثی است که باعث چرخش پره ها می گردد.



جک هیدرولیک

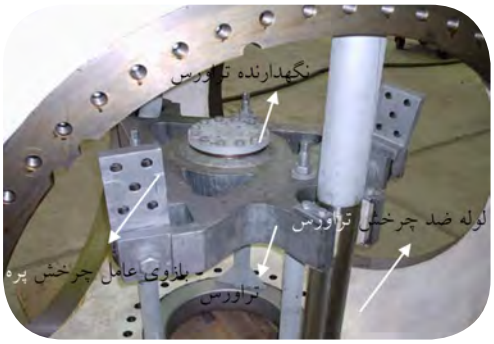
یونیت هیدرولیک

مکانیزم مثلثی درون هاب باعث تبدیل حرکت انتقالی محور تراورس به حرکت چرخشی و نتیجتا چرخش پره ها به دور محورشان می گردد.

۱۱- هزینه های زیست محیطی

گسترش روزافزون نیاز به انرژی و محدودیت منابع فسیلی، افزایش آلودگی محیط زیست ناشی از سوزاندن این منابع، بحث گرم شدن هوا و اثرات پدیده گلخانه‌ای، ریزش بارانهای اسیدی و ضرورت متعادل نمودن نشر co۲، همگی لزوم صرفه‌جویی در مصرف سوختهای فسیلی و توجه به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را ایجاب می‌کند.

در بین انرژیهای تجدیدپذیر، انرژی بادی یکی از اقتصادی ترین روشهای تولید برق بوده که آلودگی محیط زیست نداشته و پایان ناپذیر می باشد. طبق آمار موجود تولید هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی از باد می تواند از انتشار حدود یک کیلوگرم Co۲ در مقایسه با نیروگاههای سوخت فسیلی جلوگیری نماید. بطور کلی با جایگزینی هر یک درصد از انرژی برق بادی با انرژی برق تولیدی از نیروگاههای سوخت فسیلی می توان حدود ۳٪ از انتشار



مکانیزم مثلثی

گازهای گلخانه ای کاست. بعنوان نمونه درمنطقه منجیل هر توربین ۵۰۰ کیلووات در سال حداقل ۱٫۵۰۰٫۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی برق تولید می نماید که باعث کاهش آلاینده های محیط زیست به مقدار زیر خواهد گردید.

Co۲ =۱۲۷۵۰۰۰ kg
So۲= ۴۳۵۰ kg
Nox= ۳۹۰۰ kg
خاک = ۱۵۰ kg
خاکستر = ۸۲۵۰۰ kg

در زمانی که برق مورد نیاز شبکه توسط توربین های برق بادی تزریق می شود برق تولیدی سایر نیروگاهها کاهش یافته از این رو در مصرف سوخت فسیلی این نیروگاه ها صرفه جویی می گردد که با توجه به میزان تزریق برق بادی به شبکه، از انتشار آلاینده های محیط زیست کاسته خواهد شد که بر اساس ضرایب EPA (Energy protection Agency)آمریکا، هزینه های اجتماعی سه آلاینده مهم CO۲، SO۲ و NOX بخش انرژی، هر کیلوگرم به ترتیب معادل ۰/۰۵، ۳۵/۲ و ۱۶ دلار می باشد. در جدول زیر هزینه های اجتماعی تولید الکتریسیته از منابع مختلف بر حسب € cent/kwh در برخی از کشورها ارائه گردیده است.

ردیف	کشور	ذغال سنگ	گاز طبیعی	باد
۱	آلمان	۳-۶	۱-۲	۰/۰۵
۲	دانمارک	۴-۷	۲-۳	۰/۱
۳	اسپانیا	۵-۸	۱-۲	۰/۲
۴	یونان	۵-۸	۱	۰/۲۵
۵	انگلستان	۴-۷	۱-۳	۰/۱۵

۱۲- انرژی باد در ایران

کشور ایران از لحاظ منابع مختلف انرژی یکی از غنی ترین کشـورهای جهان محسـوب می گردد، چرا که از یک سو دارای منابع گسترده سوختهای فسیلی و تجدید ناپذیر نظیر نفت و گاز اسـت و از سـوی دیگر دارای پتانسـیل فراوان انرژیهای تجدید پذیر از جمله باد می باشد.

با توسـعه نگرشهای زیسـت محیطی و راهبردهای صرفه جویانه در بهره بـرداری از منابع انرژیهـای تجدید ناپذیر، اسـتفاده از انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژی مطرح در بسـیاری از کشورهای جهان رو به فزونی گذاشته است. اسـتفاده از تکنولوژی توربینهای بـادی به دلایل زیر می تواندیک انتخاب مناسـب در مقایسـه با سـایر منابع انرژی تجدید پذیر باشد.

– قیمت پایین توربینهای برق بادی در مقایسه با دیگر صور انرژیهای نو

– کمک در جهت ایجاد اشتغال در کشور.

لـذا به دلیل عـدم آلودگی محیط زیسـت در کشـورهای پیشـرفته نظیر آلمان، دانمارک، آمریکا،اسپانیا، انگلستان، و بسیاری کشورهای دیگر، توربینهای بادی بزرگ و کوچک ساخته شده است و برنامه هایی نیز جهت ادامه پژوهشها و استفاده بیشتر از انرژی باد جهت تولید برق در واحدهایی با توان چند مگاواتی مورد مطالعه می باشد.

در ایران نیز با توجه به وجود مناطق بادخیز طراحی و ساخت آسیابهای بادی از ۲۰۰ سال پیش از میلاد مسیح رایج بوده و هم اکنون نیز بسـتر مناسبی جهت گسترش بهره برداری از توربینهای بادی فراهم می باشد.مولدهای برق بادی می تواند جایگزین مناسـبی برای نیروگاه های گازی و بخاری باشـند. مطالعات و محاسـبات انجام شده در زمینه تخمین پتانسـیل انرژی باد در ایران نشـان داده اند که تنها در ۲۶ منطقه از کشـور(شـامل بیش از ۴۵ سایت مناسب) میزان ظرفیت اسمی سـایتها، با در نظر گرفتن یک راندمان کلی ۳۳٪، در حدود ۶۵۰۰ مگاوات می باشـد و این در شرایطی اسـت که ظرفیت اسـمی کل نیروگاه های برق کشور، (در حال حاضر) ۵۵۰۰۰ مگاوات می باشـد. قابل ذکر است که در توربینهای بادی، انرژی جنبشی باد به انرژی مکانیکی و سپس به انرژی الکتریکی تبدیل می گردد.

اسـتفاده فنی از انرژی باد وقتی ممکن اسـت که متوسـط سـرعت باد در محدوده ۵ الی ۲۵ باشد. پتانسیل قابل بهره بـرداری انـرژی بـاد در جهـان $۳/۰۵ \times ۱۰^{۴}$ میلیـارد کیلووات سـاعت برآورد گردیده اسـت کـه از این مقدار ۹۴۰۰۰ مـگاوات ظرفیـت نصب شـده تا اواخر سـال ۲۰۰۷ میلادی(۱۳۸۶ ه.ش.) در جهان می باشـد.

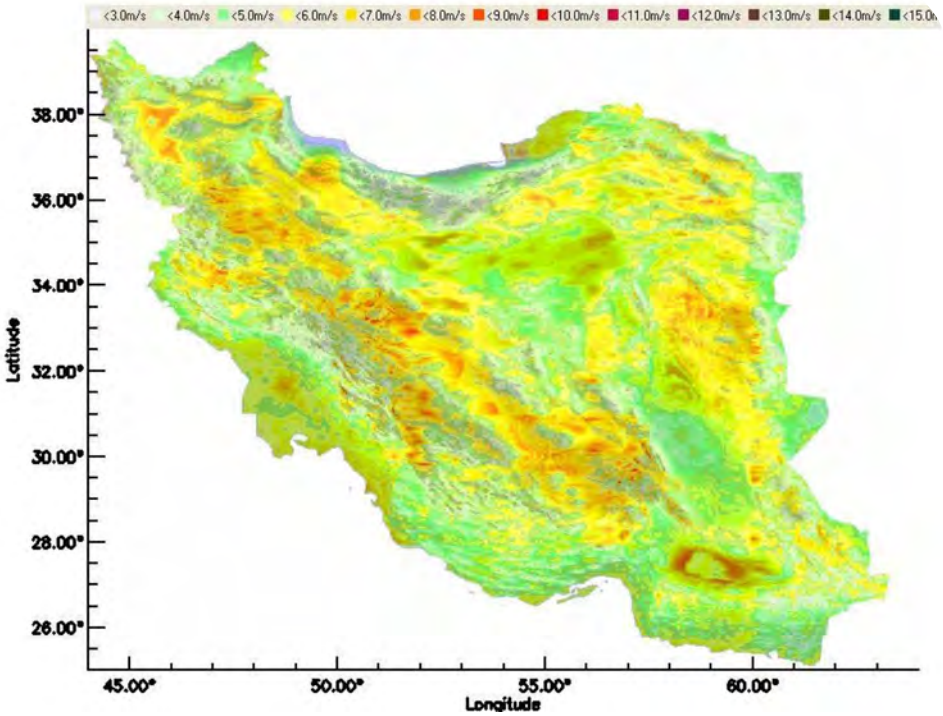
از مزایـای اسـتفاده از این انرژی عدم نیـاز توربین بادی به سوخت، تامین بخشـی از تقاضاهای انرژی برق، کمتر بودن نسـبی انرژی باد نسـبت به انرژی فسـیلی در بلند مدت، تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انـرژی، قدرت مانور زیاد در بهره بـرداری(از چند وات تا چندین مگاوات) ، عدم نیاز به آب و نداشتن آلودگی محیط زیست می باشد.

از پروژه های مـهـم در کشـور، مـی توان به پروژه های ۱۰۰ مگاوات در منجیل و ۲۸,۳ مگاوات بینالود در خراسان رضوی اشاره کرد.

نمایی از نیروگاه ۱۰۰بادی مگاوات منجیل

توربین های بادی نیروگاه شـامل تعدادی توربین به ظرفیت ۳۰۰، ۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰ و ۶۶۰ کیلووات می باشـد که خط تولید تمام قطعات به استثنای تربو ژنراتور، ساخت داخل می باشد.
علاوه بر پروژه های ذکر شـده سـازمان انرژی های نو ایران به منظور توسعه انرژی بادی در کشور، پروژه هایی را در دست اقدام دارد که شامل موارد ذیل می باشد :

- پروژه ۶۰ مگاوات در منطقه منجیل با توربین های با ظرفیت بالای ۱/۵ مگاوات
- مطالعات تولید توربین های بالای ۱/۵ مگاوات در ایران
- پروژه پردیس تحقیقاتی باد جهت ایجاد یک مرکز تحقیقاتی به منظور تست و تایید توربین های مختلف
- پروژه خرید تضمینی برق



۱-۱۲- نقشه اطلس باد ایران

به منظور تعیین مناطق با پتانسیل بالا و شناسائی نواحی مستعد جهت احداث نیروگاههای بادی، سانا پروژه ای با عنوان پتانسیل سنجی و تهیه اطلس باد کشور تعریف نموده که در حال حاضر نسخه اولیه اطلس باد کشور تهیه شده است.

۱۳- نتیجه گیری :

هزینه تولید الکتریسیته به پارامترها و مشخصه های مختلفی وابسته می‌باشد. این پارامترها و مشخصه ها که شامل ویژگیهای منطقه‌ای، هزینه سوخت نیروگاههای سوخت فسیلی، سیاستهای دولت و توانایی‌های تکنولوژیک می باشد، باعث نوسان هزینه تولید الکتریسیته می گردد.

با پیشرفت سریع تکنولوژی و کسب تجربه بیشتر در استفاده از انرژی باد هزینه تولید رفته رفته کاهش یافته،

بطوریکه در سالهای گذشته هزینه تولید الکتریسیته از ۴۰ سنت به ۳ الی ۵ سنت به ازاء هر کیلووات ساعت کاهش پیدا کرده است.

لازم به ذکر است که با افزایش سایز توربینهای بادی قیمت تمام شده آنها نیز کاهش می یابد. از طرف دیگر با کم شدن ذخائر نفت و گاز و حذف سوبسید فرآورده‌های نفتی هزینه سوخت نیروگاههای گازی و حرارتی روندی صعودی را طی می‌کنند که این امر در آینده توجیه‌پذیری نیروگاههای برق بادی نسبت به نیروگاههای گازی و حرارتی را بیان می‌نماید.

همچنین نیروگاههای برق بادی از سطح زمینی را که برای احداث مزارع برق بادی مورد استفاده قرار

می دهند تنها حدود یک درصد از کل سـطح مزارع بادی توسـط خود این توربینها اشغال می گردند و ۹۹٪ آن قابل اسـتفاده کشـاورزی و دامپروری می باشد. جاذبه های بصری و چشم انداز سیستم های انرژی بادی که در معـرض دید افراد نیز قرار می گیرند یکی دیگـر از مزایای انرژی باید بوده که نمادی از انرژی پاک برای مردم تلقی می گردند. با توجه به اینکه هزینه ها با قیمت سـوخت داخلی برای نیروگاههای گازی و حرارتی محاسـبه گردیده در صورتیکه اگر محاسبات با قیمت سوخت بین المللی باشد یعنی اگر قیمت سوختهای فسیلی در کشور واقعی گردد، واضح اسـت که نیروگاههای برق بادی توجیه پذیری اقتصادی بیشتری در مقایسه با نیروگاههای گازی و حرارتی با سـوخت فسیلی پیدا خواهند کرد. همچنین در محاسبات ارائه شده راندمان توربین‌های گازی و بخاری و سـایر پارامترها در شـرایط ایزو در نظر گرفته شده و همچنین محصولات بهترین شرکتهای سازنده توربینها مبنای مقایسـه قرار گرفته اسـت.در هر حال قدرت مانور زیاد،جهت بهره‌برداری در هر ظرفیت و اندازه (از چنـد وات تا چندین مـگاوات) و مدولار بودن نیروگاههای بادی و همچنین تامین برق مورد نیاز مناطق دور افتاده و تامین آب آشـامیدنی و کشاورزی و آبکشی از عمق کم جهت پرورش آبزیان از ویژگیهای منحصر بفرد سیسـتمهای انرژی بادی می باشد. در ضمن یکی از شـاخصهای توسعه پایدار در کشورها، تنوع در سبد انرژی تولیدی آنها میباشد که استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر از جمله انرژی باد و اضافه شدن آن به سبد انرژی کشور می تواند راه را برای توسعه پایدار هموار نماید. پس در خصوص دورنمای آینده اقتصادی استفاده از انرژی باد در ایران می توان گفت که اسـتفاده از این انرژی موجب صرفه جویی فرآورده های نفتی بعنوان سـوخت می شود، صرفه جویی حاصله در درجه اول موجب حفظ فرآورده های نفتی گشته که امکان صادرات و مهم‌تر اینکه تبدیل آنرا به مشتقات بسیار زیاد پتروشیمی با ارزش افزوده بالا فراهم می سازد. در درجه دوم تولید الکتریسیته از این انرژی فاقد هر گونه آلودگی زیسـت محیطی بوده که همین عامل کمک شـایانی به حفظ طبیعت سالم محیط زیست بشری نموده و در نتیجه مسیر برای نیل به توسعه پایدار اقتصادی، اجتماعی فراهم می گردد. استفاده از انرژی باد در داخل کشور علاوه بر عمران و آبادی موجب ایجاد مشاغل جدید شده و بالاخره با بومی سازی فن آوری انرژی باد اقتصاد کشور رشد بیشتری می یابد.

یادداشت

یادداشت