





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 کب فنآوری و دانش فنی انرژیهای نو برای
ایجاد نیروگاههایی از قبیل بادی خورشیدی پیل های سوختی
و زمین گرمایی در کشور

فهرست مطالب

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



انجمنی بنیاد



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 در مورد سایر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در حال انجام است.

با نیم‌نگاهی به آمارهای به دست آمده در سال ۲۰۰۷ می‌توان مشاهده 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 در نظر 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 سر آن 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 بر روی 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.

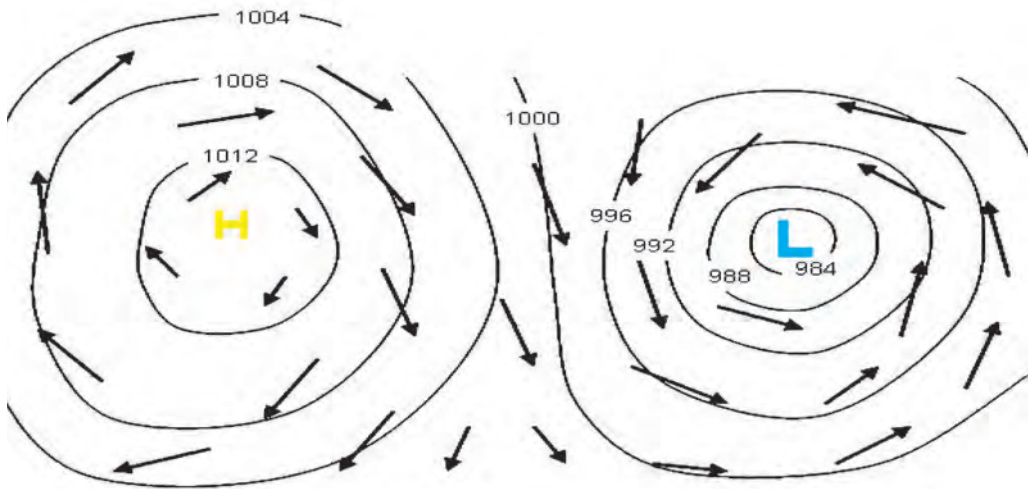


ب- حرکت وضعی زمین:

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 شده در اتمسفر آن باعث جابجایی نسبتاً 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 فشار متعادل در اتمسفر 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 یادشده، وقتی یک توده هوا شروع 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

یکی از دلایل و الزامات توسعه برق بادی، 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 متوسط در طی صد سال آینده ۵/۸ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت که این خود می تواند پدیده هایی مانند وقوع سیل و خشکسالی و نواسانات شدید آب و هوایی را به همراه داشته باشد. به همین جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به عنوان یک ضرورت جهانی شناخته شده است.

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

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

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

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 کارایی 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 ارزاتر 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 متساعد 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 معمولاً 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 سازه های 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

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 بادی تا سال ۲۰۲۰ قرار داده 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

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.

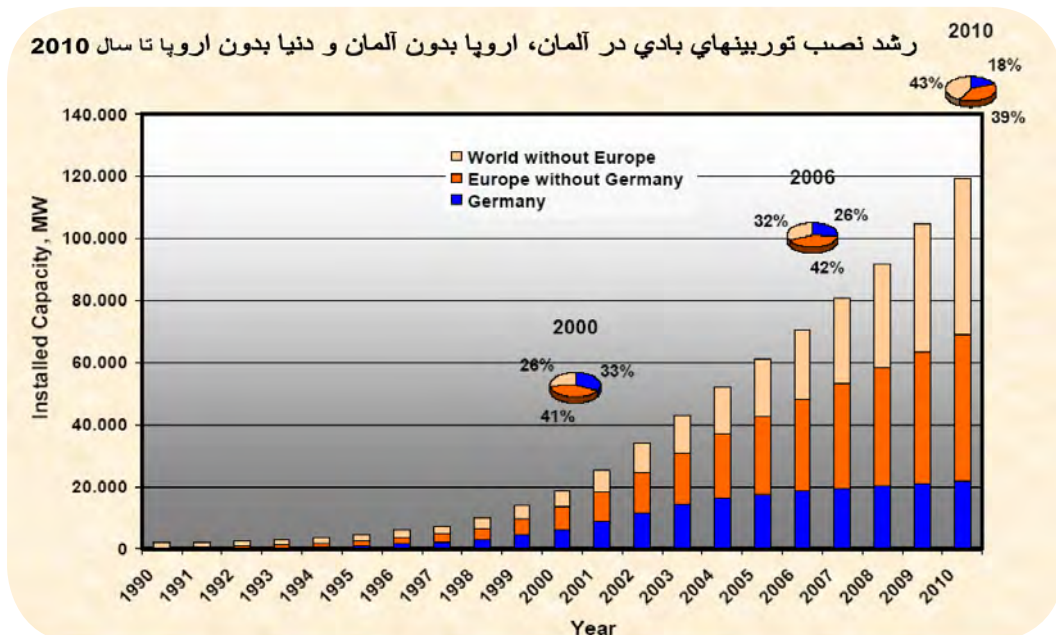
در کشورمان ایران علیرغم اینکه مشاهده می شود با در نظر گرفتن هزینه های خصوصی نیروگاههای بادی و فسیلی، توسعه نیروگاههای بادی برای تولید برق هم اکنون در حال اقتصادی شدن می باشد ولی اگر هزینه های اجتماعی نیروگاههای فسیلی که در برگرنده اثرات برونزایی منفی است مبنای مقایسه قرار گیرد هزینه تولید در مولدهای 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 عمدتاً 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

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



۴- مطالعات امکان سنجی احداث نیروگاه بادی

مطالعه امکان سنجی اولین گام در احداث مزارع بادی است که هدف نهایی آن ارزیابی امکان پذیر بودن تاسیس یک نیروگاه بادی به لحاظ فنی، اقتصادی، زیر ساختهای مورد نیاز و غیره در یک سایت مشخص و استفاده از توربین های معین می باشد. برآورد انرژی تولید سالیانه نیروگاه، چگونگی اتصال به شبکه سراسری یا محلی و مشخصات شبکه از مواردی می باشد که باید در گزارش امکان سنجی دقیقاً مشخص گردد.

الف- برآورد انرژی تولیدی سالیانه نیروگاه

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

در طی دهه گذشته ، در بسیاری از کشورها مطالعاتی برای تخمین منبع انرژی باد در دسترس در هر منطقه ، انجام گرفت. برخی از این مطالعات تا حد اطلس باد مانند اطلس منبع انرژی باد ایالات متحده آمریکا، 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، بخشی از کشورهای مستقل مشترک المنافع و ... یک نقشه باد هم برای کل دنیا چاپ شده است.

خود می باشد.

در نتیجه بمنظور برآورد انرژی تولیدی از نرم افزارهای متداول نظیر Wasp، WindPro، GH و WindFarmer و سایر نرم افزارهای معتبر استفاده می گردد.

ب- مطالعات احداث

۱- بررسی منطقه از نظر وضعیت راه ها 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- مطالعه منطقه از نظر نداشتن منع قانونی، زیست محیطی، فرهنگی و غیره.

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

ج- بررسی های اقتصادی

۱- مطالعه هزینه های احداث

۱-۱- برآورد هزینه های عمرانی شامل: 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- برآورد هزینه های بهره برداری و تعمیر و نگهداری (بصورت متغیر و ثابت)

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

۶- برآورد نرخ تنزیل و نرخ تورم

۷- برآورد درآمد حاصل از فروش برق 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 مدل های) مناسب توربین بادی

- وضعیت موضعی باد و ارزیابی سایت

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

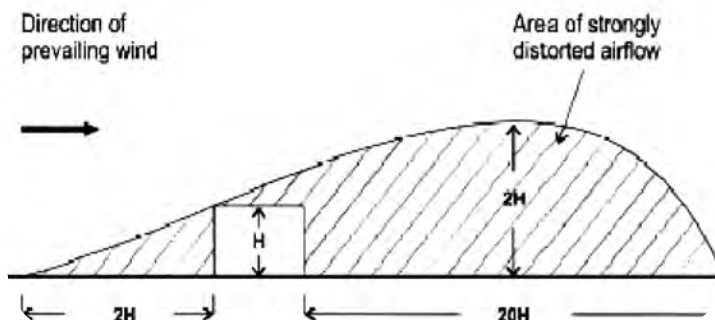
- موانع

- زبری سطح

- اروگرافی (وضعیت پستی و بلندی)

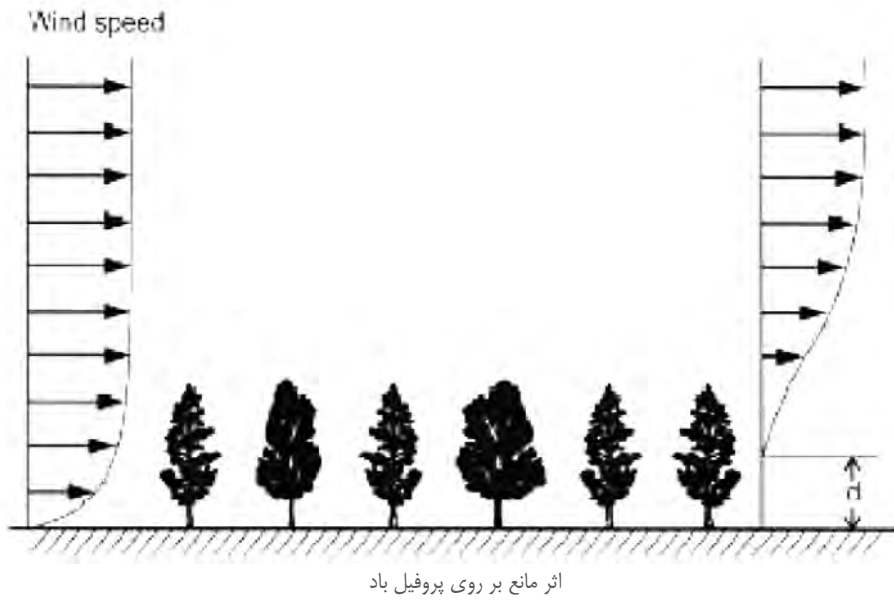
در شکل تاثیر یک مانع منفرد به ارتفاع H روی جریان باد نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود، این مانع طولی به اندازه $20H$ در مسیر خود را به لحاظ وضعیت باد دچار آشفتگی می سازد. همچنین باید توجه داشت که در صورت استفاده از توربین بادی در محل، این توربین باید دارای حداقل $20H$ فاصله از مانع بوده و لبه پایینی پره توربین باید دارای ارتفاع سه برابر ارتفاع مانع باشد.

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

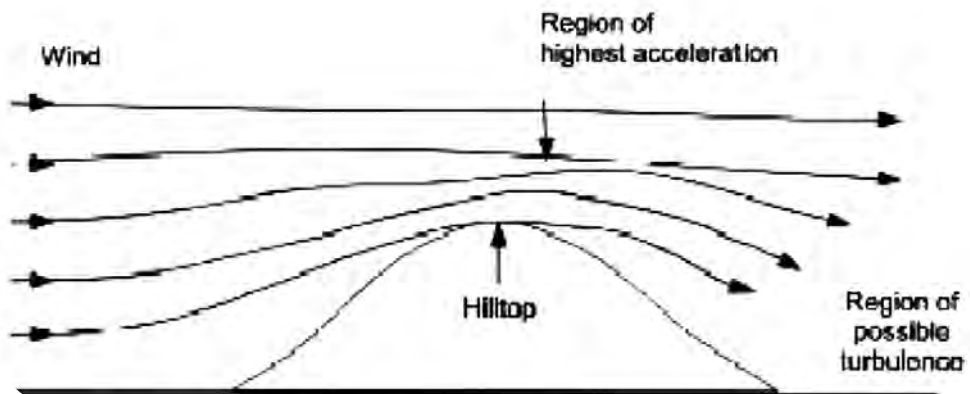


اثر مانع بر روی جریان هوا

از درختان) روی پروفیل باد نشان داده شده است



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



اثر اروگرافی زمین بر روی جریان باد

شاخصه 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

مکان مولد بادی باید علاوه بر موقعیت مناسب از نظر بادخیز بودن به گونه ای انتخاب گردد که بالاترین بهره اقتصادی، کمترین تأثیر تخریبی بر روی محیط اطراف (عدم نیاز به تغییر شرایط موجود در منطقه و تجهیزات پیچیده)، را دارا باشد. بنابراین منطقه و ساختار آن نقش بسیار مهم و اساسی در عملکرد بهینه مولد بادی خواهد داشت.

بدیهی است مکان نصب مولد بادی باید دارای سرعت متوسط بالا و تداوم مناسب وزش باد باشد. از این رو بررسی سرعت و سایر پارامترهای باد، اولین و مهمترین گام در

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

- تعیین پتانسیل تخمینی باد
- تعیین نوع تملک زمین
- نزدیکی به خطوط انتقال و وضعیت شبکه (توان اتصال کوتاه، کیفیت خطوط انتقال)
- دسترسی به جاده ها
- شرایط اقلیمی
- سایر 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 بررسی های مذکور در خصوص انتخاب سایت مناسب، انتخاب مدل یا مدل های مناسب توربین بادی مورد مطالعه قرار می گیرد که شامل:

- برآورد توان خروجی نیروگاه که عمدتاً به کمک نرم افزارهای کامپیوتری انجام می گیرد
- انتخاب ارتفاع هاب مناسب
- بررسی ضریب توان، توان حداکثر، و همچنین اثرات توربین بر روی شبکه
- کنترل صدای ناشی از توربین
- ضریب دسترسی فنی
- اقتصادی بودن احداث نیروگاه در کاهش مدت زمان برگشت سرمایه
- انتخاب نوع و تعداد توربین های قابل نصب

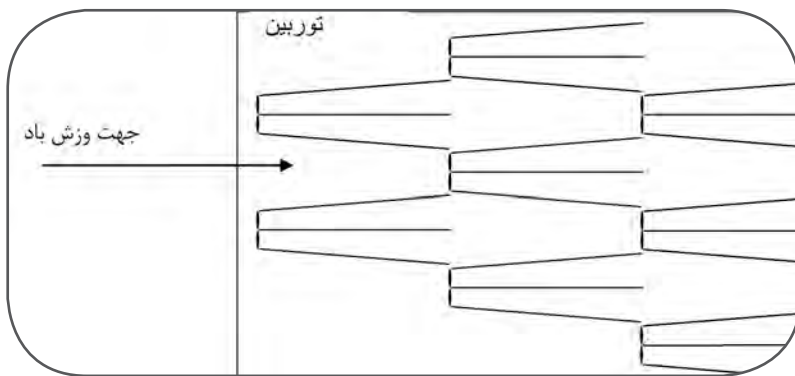
۵- نحوه آرایش توربین های بادی

برای تولید برق به مقدار زیاد که بتواند شبکه سراسری برق را تغذیه نماید نیاز به ایجاد مزرعه یا پارک توربین های بادبست که از مجموعه ای از توربین های بادی تشکیل شده و اصطلاحاً نیروگاه بادی گفته می شود. با بهره برداری از تعداد بیشتری از توربین های بادی جریان برق تولیدی روی هم رفته ظرفیتهای بالایی در حد چند مگاوات ایجاد می شود. بدین طریق می توان برق تولیدی را از نظر اقتصادی با نیروگاه های متداول قابل رقابت و عملکرد نیروگاه و هزینه های نگهداری آن را به صرفه و بهینه نمود. تعداد توربین های بادی که یک مجتمع نیروگاهی را تشکیل می دهند در عمل متفاوت است و در استحصال جریان برق از توربین های بادی، مسائل متعدد از جمله کیفیت برق علاوه بر کمیت آن نیز برای مهندسين صنعت برق که با این موضوعات سر و کار دارند اهمیت دارد. برق تولیدی می بایست با کیفیت قابل قبول وارد شبکه شود و در درازمدت بازدهی خوبی داشته باشد. از دیگر مسائل، فاصله بهینه بین توربین های نصب شده و نحوه آرایش آنها می باشد



تا از زمین و باد موجود منطقه حداکثر استفاده شده و در حوالی نیروگاه آلودگی های زیست محیطی نظیر آلودگی صوتی ایجاد نشود.

توربینهای بادی با توجه به مورفولوژی (فرم یا شکل مکانی) منطقه با فواصل مشخص نزدیک یکدیگر و در شکل متقارن و مناسب (منظره متناسب با طبیعت) طوری نصب می شوند که در اغلب اوقات در جهت وزش باد غالب منطقه باشند 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 در شکل 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 سد...)
- *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.

$$P = \text{work} / \text{time}$$

$$p = \frac{1}{2} m v^2 / t = \frac{1}{2} (\rho A d) v^2 / t = \frac{1}{2} \rho A v^2 (d/t)$$

$$d/t = v$$

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

$$P - \text{قدرت باد (وات)}$$

$$\rho - \text{وزن مخصوص هوا (چگالی یا دانسیته)}$$

$$A - \text{سطح دایره ای شکل جارو شده توسط پره های روتور}$$

$$V - \text{سرعت نسبی باد که حاصل از برآیند دو سرعت واقعی در محیط و سرعت روتور می باشد.}$$

قدرت توربین بادی :

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

C_p - 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) $1/3$ سرعت بالا دست (مقابل روتور) باشد.

بدین ترتیب مقدار ضریب قدرت ماکزیمم:

$$C_{p \max} = 0.593$$

لازم به ذکر می باشد که 59.3% 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 اصطلاحاً 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	$\leq 80 \text{ kw}$	تا ۲۰ متر	اغلب برق تولید شده از این نیروگاهها به مصرف خصوصی میرسد.
متوسط	$80 < \text{kw} \leq 750$	از ۲۰ تا ۴۵ متر	معمولاً صاحب این نیروگاهها تعاونیهای برق بادی و یا شرکت های خصوصی برق هستند که به شبکه سراسری برق می دهند.
بزرگ	$> 750 \text{ kw}$	بیشتر از ۴۵ متر	سرمایه گذاری لازم برای این نوع نیروگاهها جهت نصب و بهره برداری معمولاً به چند میلیون یورو بالغ میگردد.

۷-۱- ظرفیت نصب شده انرژی بادی در جهان

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

نمودار زیر بر اساس مطالعات صورت گرفته در WWEA «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



ظرفیت سالیانه انرژی بادی در جهان

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.

تا انتهای سال ۲۰۰۹ دارا هستند شامل آمریکا با ۳۵۱۵۹ مگاوات، آلمان با ۲۵۷۷۷ مگاوات، چین با ۲۵۱۰۴ مگاوات، اسپانیا با ۱۹۱۴۹ و 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

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 می باشند.

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 ۴۰۰ کیلووات 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 سالانه 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 مبدل های محور افقی محسوب می گردد و وسیله ای است که روتور را دائماً 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 افتحایی 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.



نمونه ای از بادسنج کاسه ای

۹- دکل بادسنجی

جهت اندازه گیری سرعت و جهت باد برای محاسبه میزان انرژی قابل استحصال از منطقه و شناخت جوی آن بکار گرفته می شود. 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 تشکیل شده که هر یک به انتهای یک بازوی افقی متصل می باشند که برروی یک محور قائم و در ارتفاعات مختلف نصب شده اند. اساس کار این بادسنج بر این واقعیت است که مقاومت سطح مقعر شکل در برابر جریان هوا بیش از سطح محدب شکل کاسه می باشد. به کمک این بادسنج می توان سرعت باد را با دقت های مختلف اندازه گیری نمود.

۹-۲ - بادسنج عقربه دار

در این نوع از بادسنج سرعت چرخش فنجان یا پره به شمارش گر منتقل شده که مستقیما سرعت باد را محاسبه می کند.

۹-۳ - بادسنج دستی

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

۹-۵ - بادسنج لیزری

این نوع بادسنج دارای دقت بالامیباشد که کاربردهای آزمایشگاهی دارد.

ایستگاههای باد سنجی علاوه بر سرعت باد پارامترهای دیگری مانند: جهت باد، دمای منطقه، میزان رطوبت، شدت تشعشع و میزان فشار هوا را اندازه گیری می کنند.

برای سنجش هر کدام از عوامل فوق حس گر مخصوص این کمیت نصب و توسط آن، مقدار کمیت سنجیده می شود.

سرعت باد مهمترین عاملی است که در یک دستگاه بادسنجی اندازه گیری می شود. هر ایستگاه حداقل دارای ۳ حس گر بادسنج است که در ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متری نصب شده و سرعت باد را اندازه گیری می کنند. (استاندارد ارتفاعی کشورهای مختلف متفاوت است). طبق آخرین استانداردهای سازمان هواشناسی اطراف ایستگاه بادسنجی تا شعاع ۹۰ متری نباید هیچگونه موانع طبیعی یا مصنوعی نسبتا بزرگ قرار داشته باشد. سنسورهای بادسنجی امروزه از نظر ساخت تنوع بسیار زیادی دارند ولی از نظر ساختاری به دو دسته بزرگ تقسیم می شوند: نوع مکانیکی و الکتریکی (اولتراسونیک). 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 (شمال، جنوب، شرق، ...) با دقت حداکثر $\pm 10^\circ$ بدست می آیند. در هوای طوفانی معمولا نتایج تا $\pm 30^\circ$ دارای خطا هستند.

۶-۹- روند اجرای پروژه اطلس باد کشور

اجرای نرم افزار مدل سازی اتمسفریک باد (KLIMM)

به منظور تهیه نقشه باد ویرایش صفر، مساحت کل کشور به مناطق مختلف تقسیم گردیده است و نرم افزار KLIMM به صورت مقدماتی 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 ایستگاه بادسنجی در سرتاسر ایران که ثبت اطلاعات برای حداقل ۱۲ ماه توسط ایستگاههای مذکور انجام شده 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 مستعد و پرتانسیل باد هر منطقه جهت احداث نیروگاههای بادی است. در عین حال این نقشه 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

نقشه ویرایش صفر باد ایران با رزولوشن تقریبی $900\text{ m} \times 900\text{ m}$ 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 تهیه نقشه مذکور عبارتند از :
اطلاعات باد جو بالا در ارتفاع 7400 m از سطح 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)
اطلاعات و نقشه های توپوگرافی بارزولوشن $900\text{ m} \times 900\text{ m}$

اطلاعات و نقشه های کاربری اراضی (land use) با رزولوشن $900\text{ m} \times 900\text{ m}$
اطلاعات باد ایستگاههای بادسنجی خوزستان، منجیل و بینالود

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

براساس اطلاعات بدست آمده، ۵۰ نقطه جدید برای نصب و راه اندازی ایستگاهها باد سنجی تعیین گردیده است که پس از برداشت اطلاعات، در آینده جهت انجام مطالعات امکان سنجی سایت های برگزیده و بروز رسانی نقشه باد ایران مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

در نقشه مذکور (صفحه ۳۷) شرایط باد و سرعت متوسط سالانه مناطق مختلف با استفاده از رنگ های مختلف نمایش داده شده است.

رنگ زرد که نشان دهنده 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 غرب، مرکز و شرق ایران (با رنگ قرمز و نارنجی و با سرعت ۷ تا 9 m/s) قابل مشاهده هستند (از جمله حد فاصل ایرانشهر و کهنوج، جنوب کرمان و رفسنجان

، جنوب شرق نیشابور، کوهپایه های شرق زاگرس و...) لازم به ذکر است نواحی بادخیز که دارای عوارض طبیعی پیچیده هستند با توجه به رزولوشن نقشه صفر ($900\text{ m} \times 900\text{ m}$) در این نقشه دیده نمی شوند. برای این مناطق از جمله منجیل و ده سایت برتر ایران متعاقباً پس از انجام یکسال عملیات بادسنجی، نقشه های باد با رزولوشن تقریبی $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ تهیه و چیدمان و ظرفیت توربین های مناسب جهت احداث نیروگاه بادی تعیین خواهند شد.

۱۰- توربین بادی با محور افقی

۱-۱۰- روتور

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

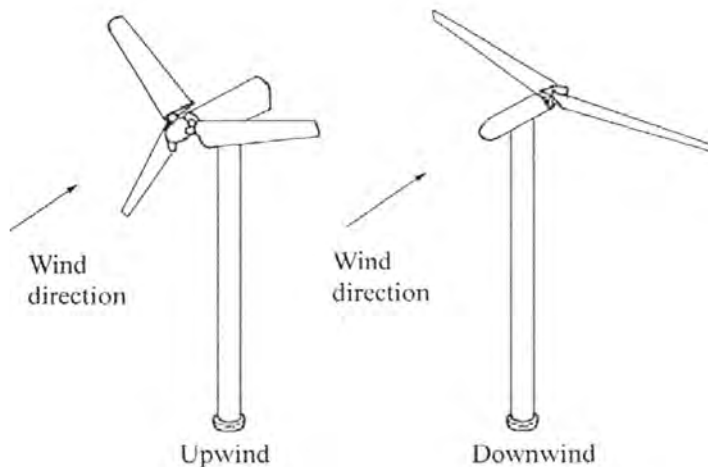
روتور یک توربین بادی محور افقی بطور خلاصه متشکل از تعدادی پره می باشد که بطور شعاعی در اطراف یک شفت که موازی باد قرار بگیرد نصب شده اند و بدین ترتیب روتوری را تشکیل می دهند که عمود بر جهت باد دوران میکند. معمولا روتور توسط یک برج در ارتفاع مناسبی نسبت به زمین قرار می گیرد و البته پیش بینی های لازم برای هم جهت شدن امتداد شفت با جهت 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 ماشینی که قرار است رانده شود منتقل می گردد.

پره های روتور معمولا مطابق یکی از آنروفویلهای استاندارد انتخاب می شوند که مشخصه های آنرودینامیکی پروفیل آنها شناخته شده است.

تعداد 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 پشت به باد جلوگیری از برخورد پره ها بخصوص پره های قابل ارتجاع به پایه برج می باشد و



توربین بادی و جهت باد

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

۲-۱۰-۱ پره :

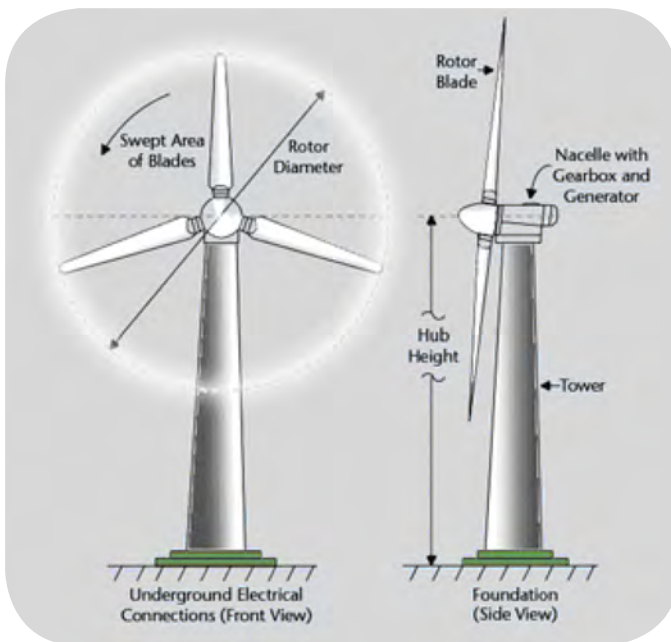
یکی از مهمترین بخشهای توربین بادی بوده و وظیفه آن تولید نیروی لازم برای چرخاندن شفت اصلی توربین باد است. پره به گونه ای ساخته می شود که استحکام و استقامت بسیار بالا در برابر نیروهای دینامیکی و آیرودینامیکی داشته باشد.

پره های توربین باد، انرژی باد را به واسطه کم کردن سرعت باد از آن می گیرند و می چرخند. کاهش سرعت

همچنین می توان طول شفت روتور را حتی المقدور کوتاه انتخاب نمود.

مهمترین مزیت این عمل این است که می توان برای کاهش تنش در ریشه پره ها آنها را به سمت پائین دست جریان متمایل ساخت که در آن صورت روتور به شکل مخروط درآمده و اصطلاحاً کونیک می شود.

به این ترتیب ممان نیروی باد حول ریشه پره با ممان ناشی از نیروی گریز از مرکز تقریباً متعادل میشود. البته پره بعضی از توربینهای بزرگ بگونه ای روی هاب تعبیه می شوند که قابلیت جابجایی داشته باشند بطوریکه بسته به شدت باد و یا سرعت دورانی بهترین مخروط ممکن را بوجود بیاورند.



نمایی از سطح روتور و ارتفاع هاب

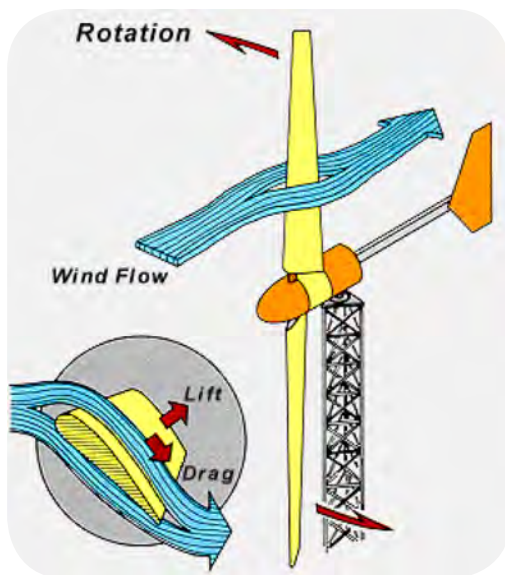
هنگامی که جسمی در مقابل حرکت سیال قرار می گیرد نیرویی از طرف سیال به آن وارد می شود که می توان آن را به دو نیرو تجزیه کرد. یک نیرو در جهت سرعت سیال و دیگری در جهت عمود بر آن خواهد بود.

نیروی اعمالی در جهت سیال به نیروی درگ یا پسا و نیروی عمود بر آن به نیروی لیفت یا برا معروف است. درگ نیرویی بازدارنده است که در اثر حرکت سیال حول

باد و ازدیاد سرعت پره های روتور با اعمال نیرو برروی باد از طریق پره و بالعکس از طریق باد برروی پره صورت می گیرد.

امروزه بیشتر، توربینهای با دو یا سه پره متداول می باشند. با افزایش تعداد پره ها شدت ارتعاشات کاهش می یابد و در توربینهای با سه پره در مقایسه با توربینهای دو پره میزان سر و صدا و استهلاك کمتر می باشد.

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 گشتاور 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 (حدوداً) به بال هواپیما برخورد می کند. مقطع (آیرودینامیکی) بال باعث می شود که باد در قسمت 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.



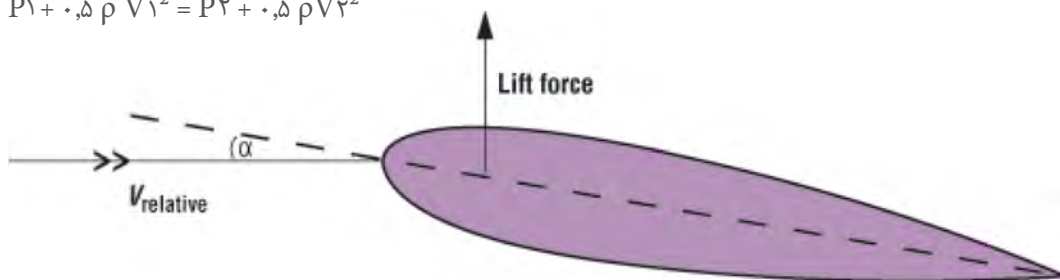
پره های آیرودینامیکی و نیروهای وارد بر پره

قانون برنولی:

جریان های هوا باید در یک زمان به هم برسند و چون مسافتی که هوا در قسمت فوقانی بال طی می کند، بیشتر 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 V_1 بیشتر شود، باید P_1 کمتر شود تا جواب معادله برنولی درست باشد. در نتیجه فشار هوا در قسمت فوقانی بال کمتر شده و هواپیما به بالا صعود می کند.

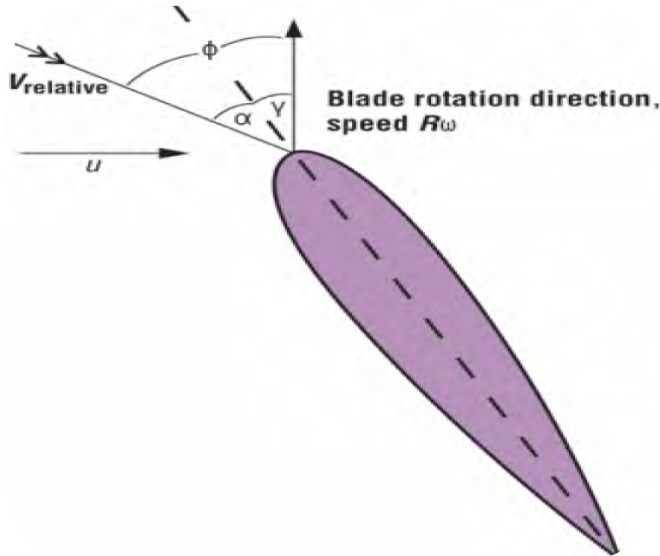
$$P + 0.5 \rho V^2 + \rho gh = \text{cte}$$

$$P_1 + 0.5 \rho V_1^2 = P_2 + 0.5 \rho V_2^2$$



تأثیر 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.



طراحی پره:

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

$$\text{Lift} = C_l \left(\frac{\rho}{2}\right) A v^2$$

$$\text{Drag} = C_d \left(\frac{\rho}{2}\right) A v^2$$

C_l , C_d ضرایب لیفت و درگ می باشند. ρ وزن مخصوص سیال و A سطح جارو شده توسط پره در مقابل سیال (باد) و v سرعت سیال (باد) می باشد.

ضرایب لیفت و درگ برای اشکال هندسی رایج به صورت جداول اطلاعاتی در دسترس می باشند.

این ضرایب با توجه 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

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 و سرعت بسیار بالای پره، که به سرعت بهینه معروف است، می باشد.

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.

$$v = 2 \pi r N$$

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 ضمناً 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.

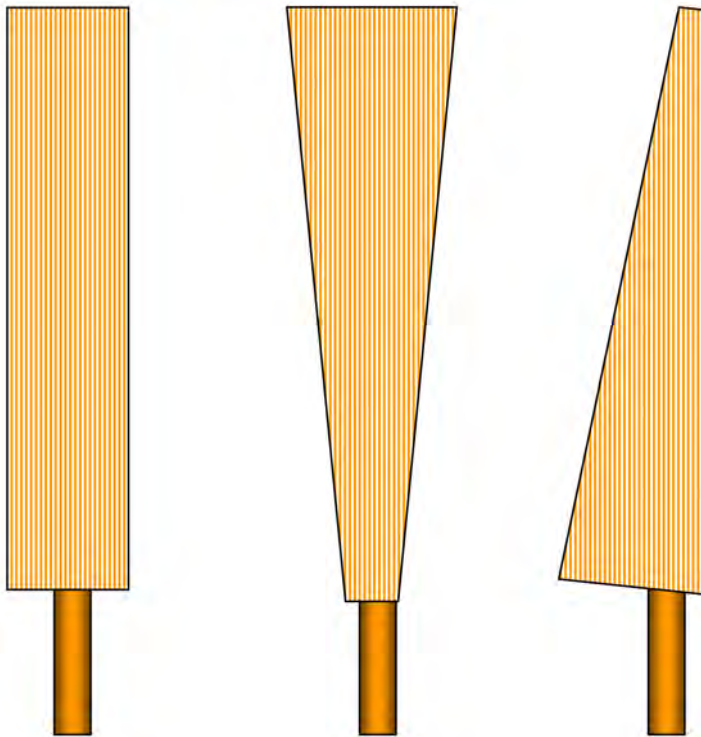
مشخصه ضریب قدرت روتورهای بادی را بر حسب نسبت سرعت نوک $(V / 2 \pi R N)$ بیان می کنند که V سرعت

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

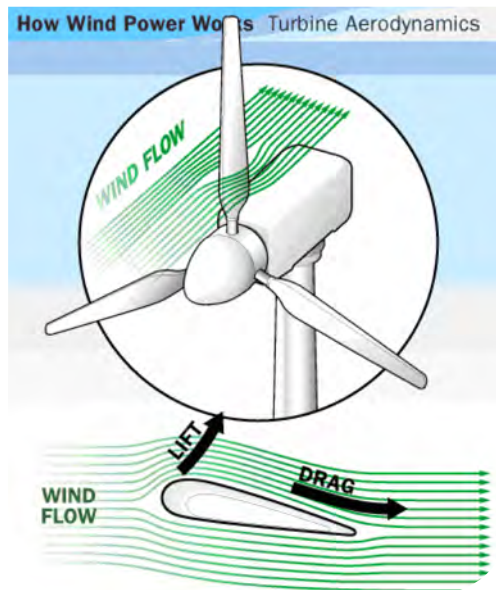
جهت حداکثر رساندن راندمان، پره را با مقطع منحنی شکل طراحی کرده و لبه پشتی پره به صورت تیز و لبه جلویی آن به صورت منحنی شکل ساخته می شود. همچنین جهت حداقل رساندن نیروی درگ، سطح پره باید صاف باشد.

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 ایرودینامیکی پره های امروزی دارای انحنای خاصی می باشد.



مقطع ایرودینامیکی پره



روتور با پره های چوبی

با این نوع طراحی نیروی لیفت افزایش و نیروی درگ کاهش می یابد.

پره ها را از چوب، آلومینیوم، فایبر گلاس تقویت شده، فولاد و یا ترکیبی از این مواد می سازند. چوب اغلب برای ساختن پره توربینهای بادی کوچک بطور 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 های بزرگتر، چوب بصورت تخته چندلا یا ورقه های نازک به ضخامت تقریبی سه میلیمتر که بطور مناسب بر روی یکدیگر متصل می گردند، استفاده می شود. پره های چوبی از خواص خوبی برخوردارند، اما باید حتما ضد آب شوند، زیرا رطوبت موجب متورم شدن چوب می شود که نه تنها بر شکل هندسی پره و نتیجتا مشخصه آنرودینامیکی اثر می گذارد، بلکه موجب عدم توازن و گاه ایجاد ترک در پره ها نیز می گردد.

معمولا برای حفاظت پره های چوبی در برابر رطوبت، آنها را با ورقه ای از فایبر گلاس، رزین و یا مواد مناسب دیگر می پوشانند.



توربین پرپره

آلیاژهای آلومینیوم نیز برای ساخت پره ماشینهای کوچکی که کورد ثابتی دارند بکار می روند. اخیرا فایبر گلاس تقویت شده که از استحکام و قابلیت شکل پذیری خوبی برخوردار است مورد توجه تولیدکنندگان قرار گرفته است، بطوریکه پره اکثر توربینهای کوچک و متوسط امروزی از این جنس ساخته می شوند.

گاهی پره های مرکب از فایبر گلاس و فولاد نیز مشاهده می شود. خصوصیت خستگی فایبر گلاس تقویت شده بهتر از آلیاژهای فلزی است و ضمنا مقاومت خوردگی آنها بسیار خوبست.

پره روتورهای بادی خیلی بزرگ بصورت تلفیق آلیاژهای آلومینیوم و فولاد ساخته می شوند. باید توجه داشت که در مناطق نزدیک دریا پاشش نمک می تواند عامل نگران کننده ای برای این نوع پره ها باشد، زیرا در شرایط دریایی فولاد دیگر حد تحملی (بیشترین تنش که جسم علیرغم دفعات تکرار و تغییر تنش تحمل می نماید) نخواهد داشت و بالاخره پره توربین های پرپره از ورقه های گالوانیزه ساخته می شوند.

۳-۱۰- برج

در میان برجها، نوع مشبک آن از سایر انواع ارزانتر می باشد و دلیل آن کاهش میزان فولاد بکار رفته در این نوع از برج می باشد. همچنین اثر سایه برج در این دسته از برجها کمتر است.



نمونه ای از برج توربین بادی

سازه های مشبک فولادی- برجهای استوانه ای فولادی یا بتنی و همچنین ستونهای مهار شده توسط کابل از رایج ترین برجهای نگهدارنده محسوب می شوند. برجهای قدیمی اصطلاحاً فرکانس بالا ساخته می شدند به این معنا که فرکانس طبیعی یا اصلی آنها بسیار بالاتر از فرکانس منابع تحریکی همچون عبور پره ها از مقابل برج و غیره انتخاب می گردید و این بدان دلیل بود که شناخت کافی از منابع تحریک در واقع نیروهای متناوب اعمال شده بر برج وجود نداشت. چنین برجهایی بسیار محکم- صلب و نتیجتاً گران بودند.

اما اخیراً روتورهای فرکانس بالا را بر برجهای فرکانس پایین نصب می کنند. چنین برجهایی سبکتر- 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.

یکی دیگر از نکاتی که اخیراً در طراحی بعضی از برجها مورد توجه قرار گرفته است، تحمل و مقاومت آنها به هنگام

جهت دسترسی به قسمتهای داخلی برج و به ویژه ناسل، معمولاً از پلکان هایی که در داخل برج تعبیه شده اند استفاده می گردد.



نمایی از داخل برج

فقدان یکی از پره ها است. اگر این نکته به هنگام طراحی برج مد نظر قرار گیرد در صورت شکستن یکی از پره ها، نیروگاه بکلی معدوم نمی گردد.

ارتفاع برج معمولاً بین یک تا یک و نیم برابر قطر روتور در نظر گرفته می شود. انتخاب نوع برج وابستگی به شرایط سایت دارد. همچنین سفتی برج فاکتور مهمی در دینامیک سازه توربین باد محسوب 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، نوسانات توان و صدای تولید شده در محاسبات مربوطه می بایست لحاظ گردند.

برای مثال بدلیل وجود اثر سایه برج، توربینهای پشت به باد معمولاً نسبت به انواع رو به باد پر سرو صدا تر هستند. از آنجا که قیمت تمام شده برج چیزی در حدود ۲۰ درصد قیمت کل توربین بادی می باشد، انتخاب بهینه ارتفاع و نوع برج از نکات حائز اهمیت می باشد.

۴-۱۰-۱ ناسل

شامل پوشش خارجی مجموعه توربین، شاسی و سیستم دوران حول محور برج می باشد که روتور به آن متصل است. ناسل در بالای برج قرار دارد. بعضی از ناسل ها آنقدر بزرگند که تکنسین ها می توانند داخل آن باشند. در گذشته توربینهای بادی با یک سرعت دورانی ثابت (دور روتور) کار می کردند، اما مدلهای امروزی تقریباً سیستم یک سرعت را کنار گذاشته اند. از میان ۵۸ مدل توربین موجود، ۲ مدل یک سرعت، ۲۲ مدل دو سرعت 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

پیش از نصب برج، محل دقیق توربین مشخص شده و فونداسیون مناسب آن با توجه به شدت و قدرت باد طراحی و ساخته میشود.



فونداسیون برج

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



مونتاژ قطعات برج

دیگر یعنی گیربکسهای با شفت موازی کاملاً بارزتر است. بعضی از توربینهای باد از یک طرح خاص برای ژنراتور استفاده می کنند (ژنراتور با تعداد قطب بالا) که در آن نیازی به استفاده از گیربکس نمیباشد.

در حالی که طراحی سیستم انتقال قدرت یک توربین باد از همان مفاهیم اصول متداول مهندسی مکانیک در طراحی اجزاء ماشین سود می جوید، مسأله بارگذاری اجزاء این سیستم 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.

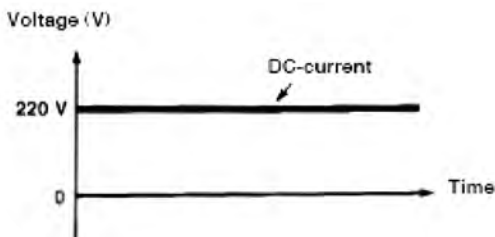
۶-۱۰- ژنراتور

پره های توربین بادی انرژی جنبشی باد را به انرژی دورانی در سیستم 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.

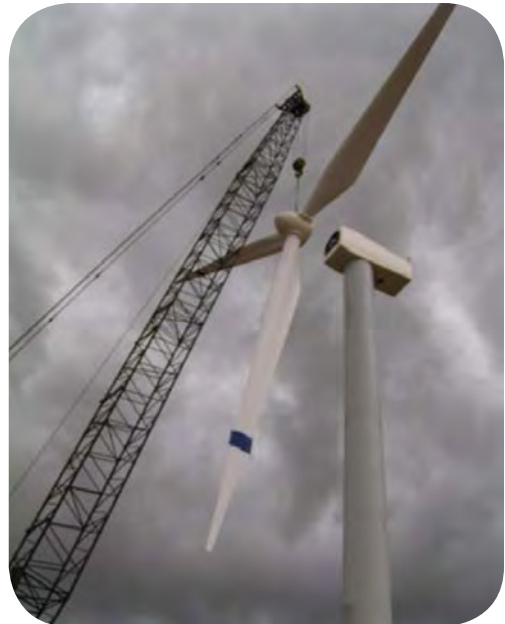
- ژنراتور جریان مستقیم
- آلترناتور یا ژنراتور سنکرون
- ژنراتور القایی یا آسنکرون

در نیروگاهها و تاسیسات کوچک سابقاً بیشتر از ژنراتورهای جریان مستقیم استفاده می شد و اکنون در بعضی از مولدهای کوچک که برای شارژ باتری بکار می روند از این گونه ژنراتورها استفاده می گردد. همچنین برای تامین قدرت وسایل مخابراتی، چراغهای دریایی و اماکن دور افتاده که به انرژی الکتریکی کمی نیاز دارند بکار گرفته می شود.

از مزیتهای جریان مستقیم این است که با متصل کردن باتریها امکان برق رسانی دائم، حتی در صورت از کار افتادن ژنراتور در نیروگاه، امکان پذیر می باشد.



جریان مستقیم



نصب روتور

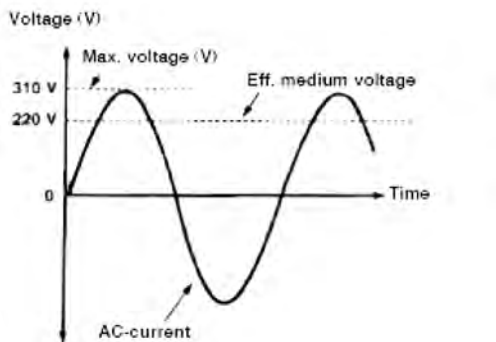
۵-۱۰- سیستم انتقال قدرت:

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

سایر اجزاء این سیستم شامل یاتاقانها ، یک یا چند کوپلینگ ، ترمز مکانیکی و اجزاء دوار ژنراتور می باشد. در این مجموعه وظیفه گیربکس افزایش سرعت نامی روتور از یک مقدار کم (در حد چند ده دور در دقیقه) به یک مقدار بالا (در حد چند صد یا چند هزار دور در دقیقه) که مناسب برای تحریک یک ژنراتور استاندارد است، می باشد.

عمدتاً دو نوع گیربکس در توربینهای بادی مورد استفاده قرار میگیرد: گیربکسهای با شفتهای موازی و گیربکسهای سیارهای.

برای توربینهای سائز متوسط به بالا (بزرگتر از ۵۰۰ KW) مزیت وزن و سائز در گیربکسهای سیارهای نسبت به نوع



جریان متناوب

تحریک خود باشند.

ژنراتورهای آسنکرون ضمن اینکه ارزاترند، از نظر ساختمانی نیز ساده تر و لذا قابل اعتمادتر می باشند و علاوه مزیت‌های زیر را دارا هستند:

- به سادگی به شبکه متصل می شوند، زیرا می توانند با حدود چند درصد اختلاف سرعت از سرعت سنکرون، بدون هیچ مشکلی به شبکه مرتبط شوند.

- به هنگام اتصال به شبکه ارتعاشی در آنها تولید نمی‌شود.

- سرعت چرخش روتور هماهنگ با فرکانس شبکه می باشد و با به کار بردن تجهیزات کنترلی لازم می توان برق را به طور مستقیم به شبکه تزریق نمود.

- از معایب استفاده ژنراتورهای آسنکرون، وابستگی و حساسیت زیاد به سرعت چرخش روتور می باشد.

بنابراین نیروگاه‌های اولیه دارای انبارهای بزرگ باتری بودند. این سیستمها با توربینهای بادی به عنوان منبع اصلی انرژی کاملاً منطبق بودند و با این ذخیره بزرگ باتریها، برق رسانی به صورت آرام امکان پذیر می بود.

یکی از معایب بزرگ سیستم جریان مستقیم، ایجاد جرقه الکتریکی قوی بر اثر قطع جریان در ولتاژهای بالا می باشد. از دیگر معایب این سیستم، عدم کارایی ذخیره انرژی باتریها در سیستم شبکه های الکتریکی به دلیل افزایش مصرف انرژی می باشد.

بنابراین با افزایش روزافزون مصرف انرژی، سیستم برق مستقیم روش منطقی نبوده و به تدریج با سیستم برق متناوب جایگزین شد.

همانگونه که در منحنی مشخص است، ماکزیمم ولتاژ در جریان متناوب از ماکزیمم ولتاژ در جریان ثابت بیشتر است تا بتواند همان توان را تامین کند.

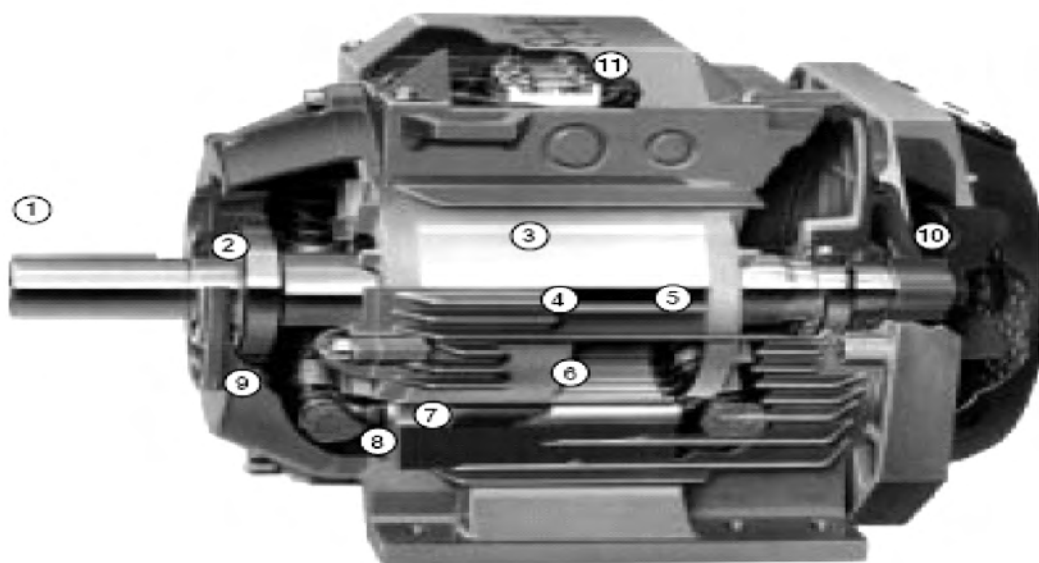
مزیت اصلی جریان متناوب، قابلیت استفاده از ترانسفورماتورها می باشد. این مزیت باعث تناوب ولتاژ بدون افت انرژی شده و همچنین امکان افزایش ولتاژ جهت انتقال برق را مهیا می سازد.

اکنون اکثر مولدهای جریان مستقیم با ژنراتورهای سنکرون یا آسنکرون جایگزین شده اند. این ژنراتورها جریان متناوب تولید می کنند که می توان به سادگی و توسط 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 اولاً راندمان بالاتری دارند و ثانياً در رنج وسیعتری از سرعت دوران نسبت به ژنراتورهای جریان مستقیم قادر به تولید الکتریسیته می باشند و در واقع نسبت بین حداکثر و حداقل سرعت دورانی برای تولید الکتریسیته در ژنراتور جریان متناوب بالاتر است.

ژنراتورهای سنکرون نسبت به ژنراتورهای آسنکرون گرانتز (جریان مغناطیس کننده خود را فراهم می کنند) و ضمناً پیچیده تر هستند، در نتیجه بیشتر به تعمیر نیاز پیدا می کنند.

از مزیت‌های مهم ماشینهای سنکرون آن است که میتوانند بعنوان یک ژنراتور مستقل عمل نموده و بدون هیچ منبع خارجی قادر به تامین جریان میدان مغناطیسی مدار



نمونه ای از ژنراتور آسنکرون

اجزاء 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

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، موتور است 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.

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 ناخواسته در شبکه و کاهش اعمال شوک 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.



نمونه ای از روتور و استاتور در موتور آسنکرون

ترکیب و آرایش 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 افزایش 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 سرعت های دوران روتور و ژنراتور، سبب بالا بردن گشتاورهای ورودی و نسبت دور جعبه دنده می گردد.

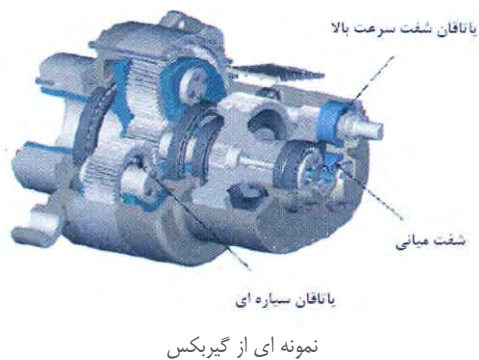
جعبه دنده های با محور موازی در مقایسه با جعبه دنده های خورشیدی، از نظر طراحی و نگهداری ساده تر اما وزن آنها بیشتر است. در جعبه دنده های خورشیدی، محورهای خروجی و ورودی معمولا در یک امتداد قرار

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



دارند، اما در جعبه دنده های محور موازی، امتداد محور ورودی با خروجی یکسان نیست.

بنحیث مثال برای یک توربین بادی سه پره با ظرفیت اسمی ۱/۵ مگاوات که سرعت گردش روتور آن ۱۹ دور در دقیقه است، 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 کیلووات، که سرعت گردش روتور آن ۷۲ دور در دقیقه است، جعبه دنده دو مرحله ای با نسبت ۱ به ۲۵ مورد نیاز می باشد.

یکی از نکات بسیار قابل توجه در طراحی گیربکس توربین های بادی، حداقل بودن سر و صدای حاصل از گیربکس و در عین حال بالا بودن راندمان سیستم می باشد.

۸-۱۰- ترمز

در توربینهای بادی با ظرفیت بسیار پایین (۱ الی ۵ کیلووات) معمولاً از سیستم های ترمز کششی استفاده می شود، زیرا جهت متوقف نمودن پره ها، نیروی زیادی مورد نیاز نیست.

ترمزهای کششی پس از نگهداشتن دیسک متصل به محور گیربکس، سیستم را کاملاً متوقف می سازد.

در توربینهای بادی با ظرفیت بالا، از ترمزهای دیسکی استفاده می شود. مزایای استفاده از اینگونه ترمزها در توربینهای بادی شامل:

- سطوح تحت اصطکاک عمدتاً در معرض جریان هوا قرار دارند.

- در دماهای بالا، میزان انبساط شعاعی وجانبی در ترمز بسیار ناچیز بوده و بر روی ابعاد ترمز تاثیری نمی گذارد.

- بدلیل مسئله خود تنظیمی، کاربرد اینگونه ترمزها راحت تر است.

- بازرسی و تعویض کشکها به سهولت قابل انجام است. در توربینهای بادی، پس از دریافت فرمان از سنسورهای بادسنج، توسط سیستم کنترل و از سیستم کنترل به ترمزها، توسط یک سیستم هیدرولیک، فرمان لازم به ترمزها داده شده و ترمز دیسکی فعال می گردد.

هزینه سیستم های ترمز در توربین بادی حدوداً ۱٪ کل قیمت توربین بادی است.



نمونه هایی از ترمزهای دیسکی

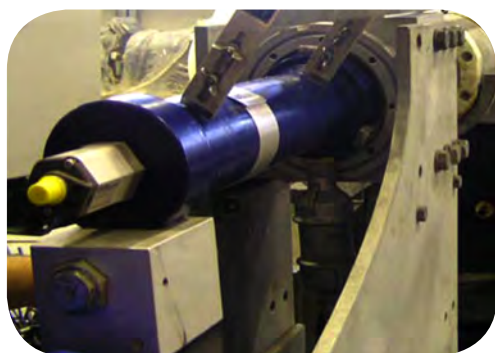
۱۰-۱-۱۰- سیستم های هیدرولیک

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 مثلی واقع درون هاب مرتبط است. وظیفه این محور انتقال حرکت جک هیدرولیکی و در واقع فرمان کنترلر به مکانیزم مثلی است که باعث چرخش پره ها می گردد.



جک هیدرولیک



یونیت هیدرولیک

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 تغییر 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

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



مکانیزم مثلثی

گازهای گلخانه ای کاست. بعنوان نمونه در منطقه منجیل هر توربین ۵۰۰ کیلووات در سال حداقل ۱۵۰۰٫۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی برق تولید می نماید که باعث کاهش آلاینده های محیط زیست به مقدار زیر خواهد گردید.

$$\text{Co}_2 = 1275000 \text{ kg}$$

$$\text{So}_2 = 4350 \text{ kg}$$

$$\text{Nox} = 3900 \text{ kg}$$

$$\text{ خاک} = 150 \text{ kg}$$

$$\text{ خاکستر} = 82500 \text{ kg}$$

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 SO_2 ، CO_2 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	۰/۱۲
۴	یونان	۵-۸	۱	۰/۲۵
۵	انگلستان	۴-۷	۱-۳	۰/۱۵

مکانیزم مثلثی درون هاب باعث تبدیل حرکت انتقالی محور تراورس به حرکت چرخشی و نتیجتاً 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 گلخانه ای، ریزش بارانهای اسیدی و ضرورت متعادل نمودن نشر CO_2 ، همگی لزوم صرفه جویی در مصرف سوختهای فسیلی و توجه به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را ایجاب می کند. 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 CO_2 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



۱۲- انرژی باد در ایران

کشور ایران از لحاظ منابع مختلف انرژی یکی از غنی ترین کشورهای جهان محسوب می گردد، چرا که از یک سو دارای منابع گسترده سوختهای فسیلی و تجدید ناپذیر نظیر نفت و گاز است و از سوی دیگر دارای پتانسیل فراوان انرژیهای تجدید پذیر از جمله باد می باشد.

با توسعه نگرشهای زیست محیطی و راهبردهای صرفه جویانه در بهره برداری از منابع انرژیهای تجدید ناپذیر، استفاده از انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژی مطرح در بسیاری از کشورهای جهان رو به فزونی گذاشته است. استفاده از تکنولوژی توربینهای بادی به دلایل زیر می تواند یک انتخاب مناسب در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدید پذیر باشد.

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

- کمک در جهت ایجاد اشتغال در کشور.

لذا به دلیل عدم آلودگی محیط زیست در کشورهای پیشرفته 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 بستر مناسبی جهت گسترش بهره برداری از توربینهای بادی فراهم می باشد. مولدهای برق بادی می تواند جایگزین مناسبی برای نیروگاه های گازی و بخاری باشند. مطالعات و محاسبات انجام شده در زمینه تخمین پتانسیل انرژی باد در ایران نشان داده اند که تنها در ۲۶ منطقه از کشور (شامل بیش از ۴۵ سایت مناسب) میزان ظرفیت اسمی سایتها، با در نظر گرفتن یک راندمان کلی ۳۳٪، در حدود ۶۵۰۰ مگاوات می باشد و این در شرایطی است که ظرفیت اسمی کل نیروگاه های برق کشور، (در حال حاضر) ۵۵۰۰۰ مگاوات می باشد. قابل ذکر است که در توربینهای بادی، انرژی جنبشی باد به انرژی مکانیکی و سپس به انرژی الکتریکی تبدیل می گردد.

استفاده فنی از انرژی باد وقتی ممکن است که متوسط سرعت باد در محدوده ۵ الی ۲۵ باشد. پتانسیل قابل بهره

برداری انرژی باد در جهان $4 \times 10^4 \times 3/05$ میلیارد کیلووات ساعت برآورد گردیده است که از این مقدار ۹۴۰۰۰ مگاوات ظرفیت نصب شده تا اواخر سال ۲۰۰۷ میلادی (۱۳۸۶ ه.ش.) در جهان می باشد.

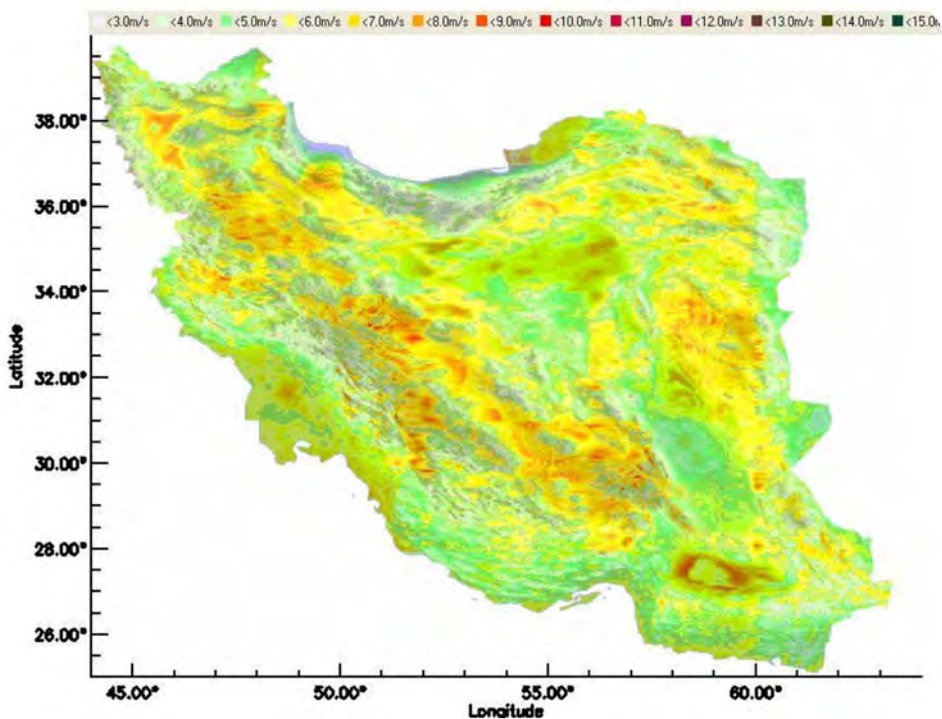
از مزایای استفاده از این انرژی عدم نیاز توربین بادی به سوخت، تامین بخشی از تقاضاهای انرژی برق، کمتر بودن نسبی انرژی باد نسبت به انرژی فسیلی در بلند مدت، تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انرژی، قدرت مانور زیاد در بهره برداری (از چند وات تا چندین مگاوات)، عدم نیاز به آب و نداشتن آلودگی محیط زیست می باشد.

از پروژه های مهم در کشور، می توان به پروژه های ۱۰۰ مگاوات در منجیل و ۲۸,۳ مگاوات بینالود در خراسان رضوی اشاره کرد.



نمایی از نیروگاه ۱۰۰ بادی مگاوات منجیل

- توربین های بادی نیروگاه شامل تعدادی توربین به ظرفیت ۳۰۰، ۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰ و ۶۶۰ کیلووات می باشد که خط تولید تمام قطعات به استثنای تربو ژنراتور، ساخت داخل می باشد.
- علاوه بر پروژه های ذکر شده سازمان 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



۱۲-۱- نقشه اطلس باد ایران

به منظور تعیین مناطق با پتانسیل بالا و شناسایی 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 می باشد. این پارامترها و مشخصه ها که شامل ویژگیهای منطقه ای، هزینه سوخت نیروگاههای سوخت فسیلی، سیاستهای دولت و توانایی های 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 سائز توربینهای بادی قیمت تمام شده آنها نیز کاهش می یابد. از طرف دیگر با کم شدن ذخائر نفت و گاز و حذف سوبسید فرآورده های نفتی هزینه سوخت نیروگاههای گازی و حرارتی روندی صعودی را طی می کنند که این امر در آینده توجیه پذیری نیروگاههای برق بادی نسبت به نیروگاههای گازی و حرارتی را بیان می نماید.

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 سطح مزارع بادی توسط خود این توربینها اشغال می گردند و ۹۹٪ آن قابل استفاده کشاورزی و دامپروری می باشد. جاذبه های بصری و چشم انداز سیستم های انرژی بادی که در معرض دید افراد نیز قرار می گیرند یکی دیگر از مزایای انرژی باید بوده که نمادی از انرژی پاک برای مردم تلقی می گردند. با توجه به اینکه هزینه ها با قیمت سوخت داخلی برای نیروگاههای گازی و حرارتی محاسبه گردیده در صورتیکه اگر محاسبات با قیمت سوخت بین المللی باشد یعنی اگر قیمت سوختهای فسیلی در کشور واقعی گردد، واضح است که نیروگاههای برق بادی توجیه پذیری اقتصادی بیشتری در مقایسه با نیروگاههای گازی و حرارتی با سوخت فسیلی پیدا خواهند کرد. همچنین در محاسبات ارائه شده راندمان توربینهای گازی و بخاری و سایر پارامترها در شرایط ایزو در نظر گرفته شده و همچنین محصولات بهترین شرکتهای سازنده توربینها مبنای مقایسه قرار گرفته است. در هر حال قدرت مانور زیاد، جهت بهره برداری در هر ظرفیت و اندازه (از چند وات تا چندین مگاوات) و مدولار بودن نیروگاههای بادی و همچنین تامین برق مورد نیاز مناطق دور افتاده و تامین آب آشامیدنی و کشاورزی و آبکشی از عمق کم جهت پرورش آبزیان از ویژگیهای منحصر بفرد سیستمهای انرژی بادی می باشد. در ضمن یکی از شاخصهای 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 استفاده از این انرژی موجب صرفه جویی فرآورده های نفتی بعنوان سوخت 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 زیست محیطی بوده که همین عامل کمک شایانی 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

This image shows a full page of a document template designed for handwriting practice. It features approximately 28 evenly spaced, thin horizontal grey lines extending across the entire width of the page. The background is plain white, and there are no margins, text, or other markings present.



POWEREN.IR