فناوری‌های تولید پراکنده

جلسه دوم

- معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی
- مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی
- چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق
- پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب
- ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

توربین‌ها و مزارع بادی

- معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی
- مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی
- چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق
- پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب
- ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

fppt.com

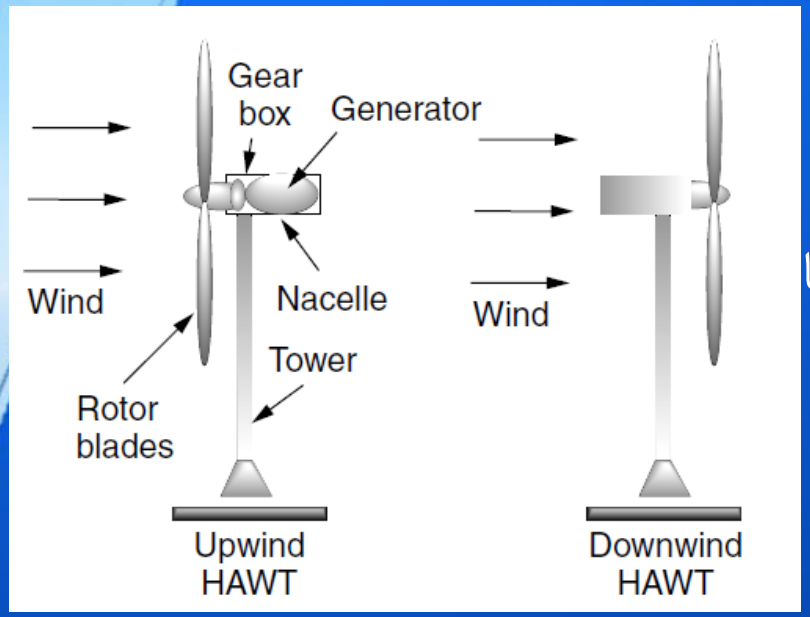
معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

توربین بادی:

- توربین بادی با حرکت هوا به چرخش درمی‌آید و به یک ژنراتور الکتریکی توان می‌دهد تا جریان الکتریکی تولید کند.
- به زبان ساده‌تر، توربین بادی برعکس یک پنکه کار می‌کند. به جای استفاده از توان الکتریکی برای تولید باد، مثل پنکه، توربین‌های بادی از باد برای تولید توان الکتریکی استفاده می‌کنند.
- باد پره‌ها را به حرکت درمی‌آورد که محور را می‌چرخانند و محور به یک ژنراتور متصل است که توان الکتریکی تولید می‌کند.

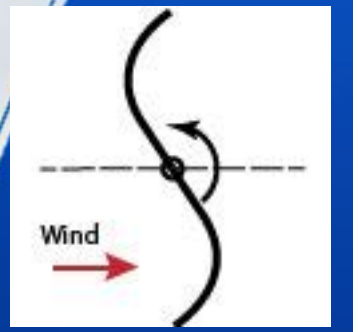
fppt.com

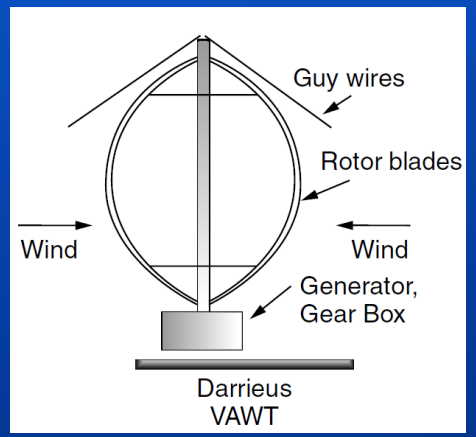
معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

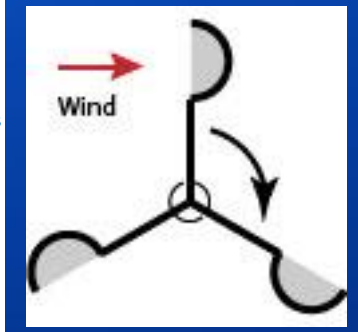


انواع توربین‌های بادی:

- توربین‌های بادی با محور افقی (HAWT)
  - توربین‌های خلاف جهت باد (Upwind HAWT) (پرکا
    - سیستم کنترل YAW پیچیده
    - عملکرد یکنواخت با قدرت بیشتر
  - Downwind HWAT توربین‌های هم‌جهت با باد
    - بدون نیاز به کنترل YAW
    - مواجه با پدیده خستگی و دارای نویز و قدرت پایین







- توربین‌های بادی با محور عمودی (VAWT)
  - Darrieus VAWT
    - بدون نیاز به کنترل YAW
    - قابلیت نصب تجهیزات بر روی زمین
    - در معرض استرس تغییرات سرعت باد

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

پره‌های توربین‌های بادی:

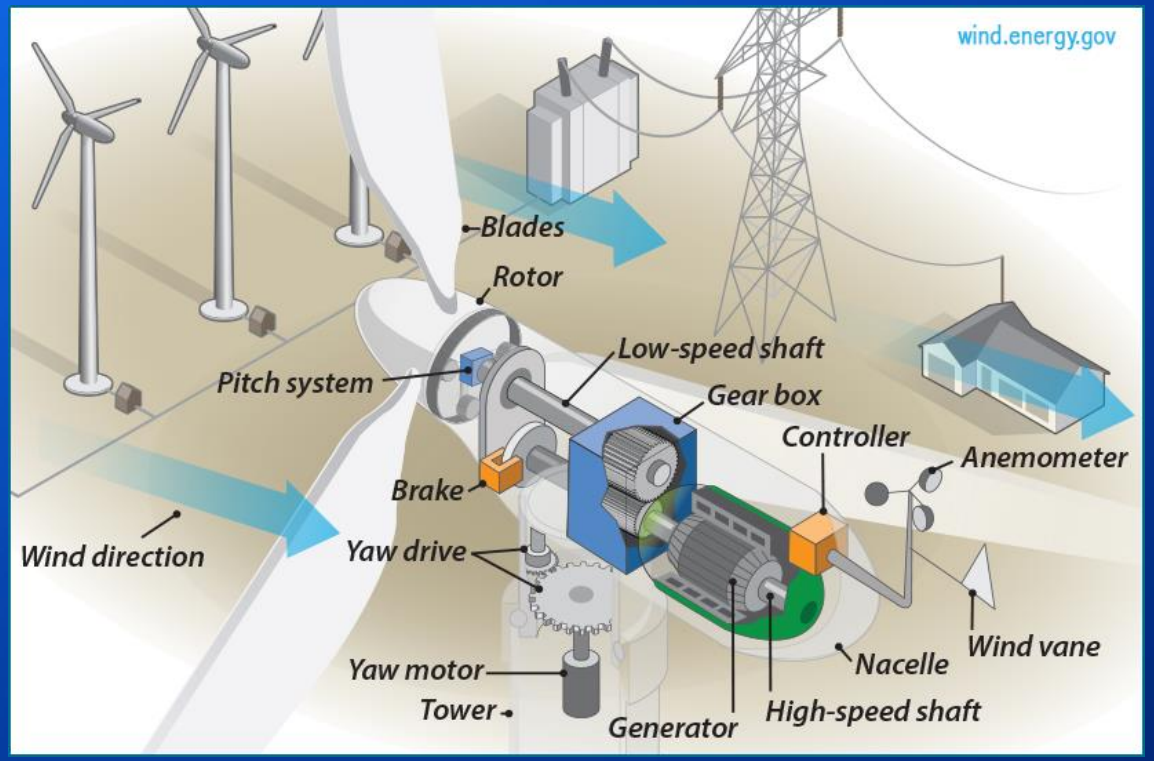
- تعداد پره‌های زیاد
  - گشتاور بالا
  - سرعت دورانی پایین
  - استفاده برای پمپ‌های آب
- تعداد پره‌های کم
  - سرعت دورانی بالا
  - قابلیت استفاده از ژنراتورهای کوچک‌تر

- ❑ توربین‌های آمریکایی با دو پره
- ❑ توربین‌های اروپایی با سه پره:
  - عملکرد یکنواختتر، کم صداتر، وزن و هزینه بیشتر، نصب و نگهداری مشکلتر

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

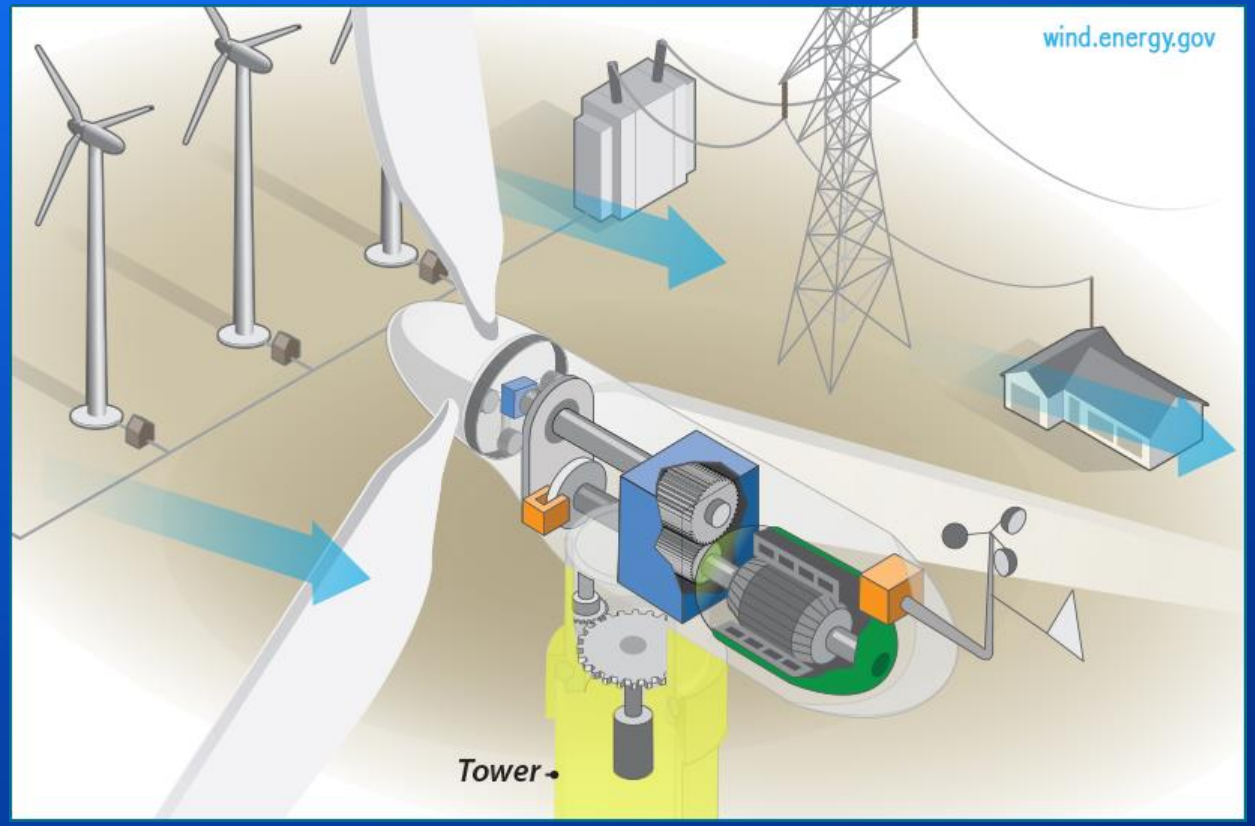


fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- برج:



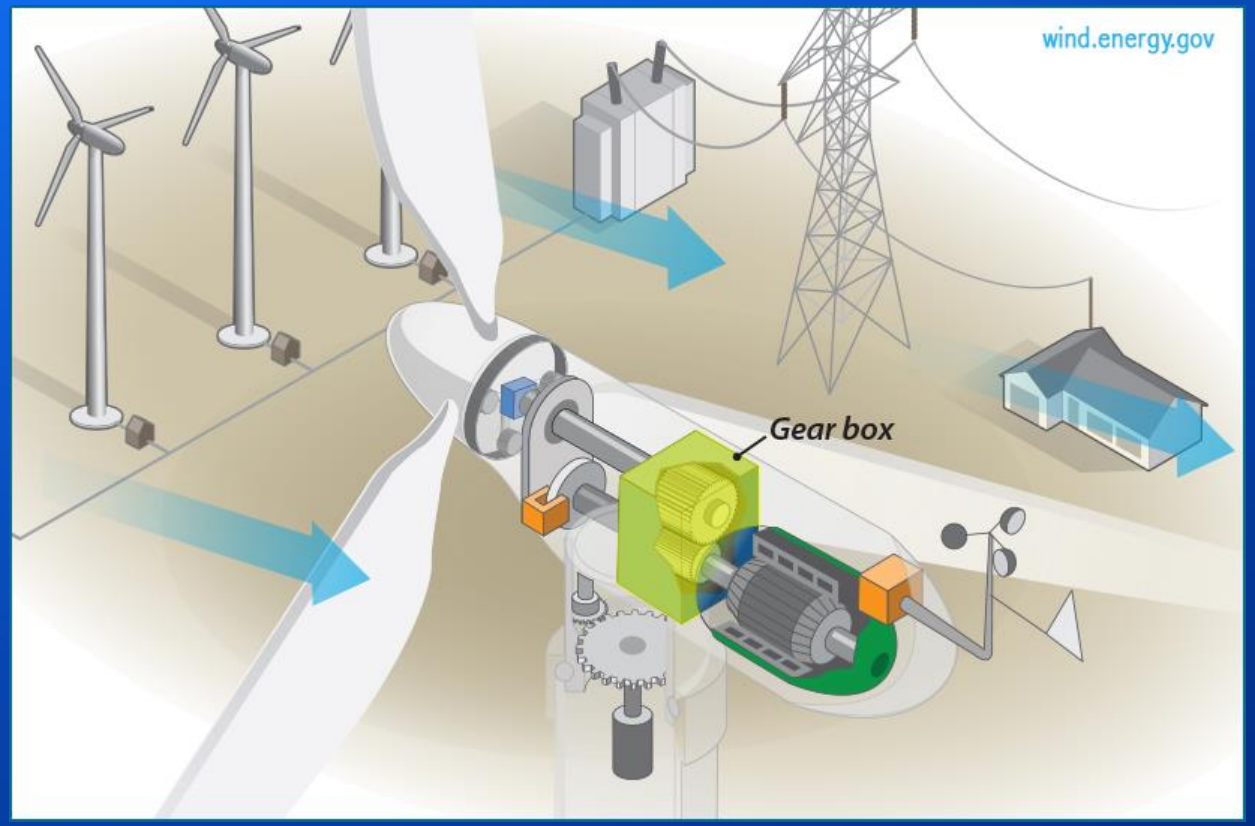
ساخته شده از استیل استوانه‌ای، سیمان و یا توری استیل که ساختار توربین را پشتیبانی می‌کند. به دلیل اینکه سرعت باد با ارتفاع افزایش می‌یابد، برج‌های بلندتر توربین را قادر می‌سازند که انرژی بیشتری جذب کند و در نتیجه برق بیشتری تولید کند.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- ژنراتور:



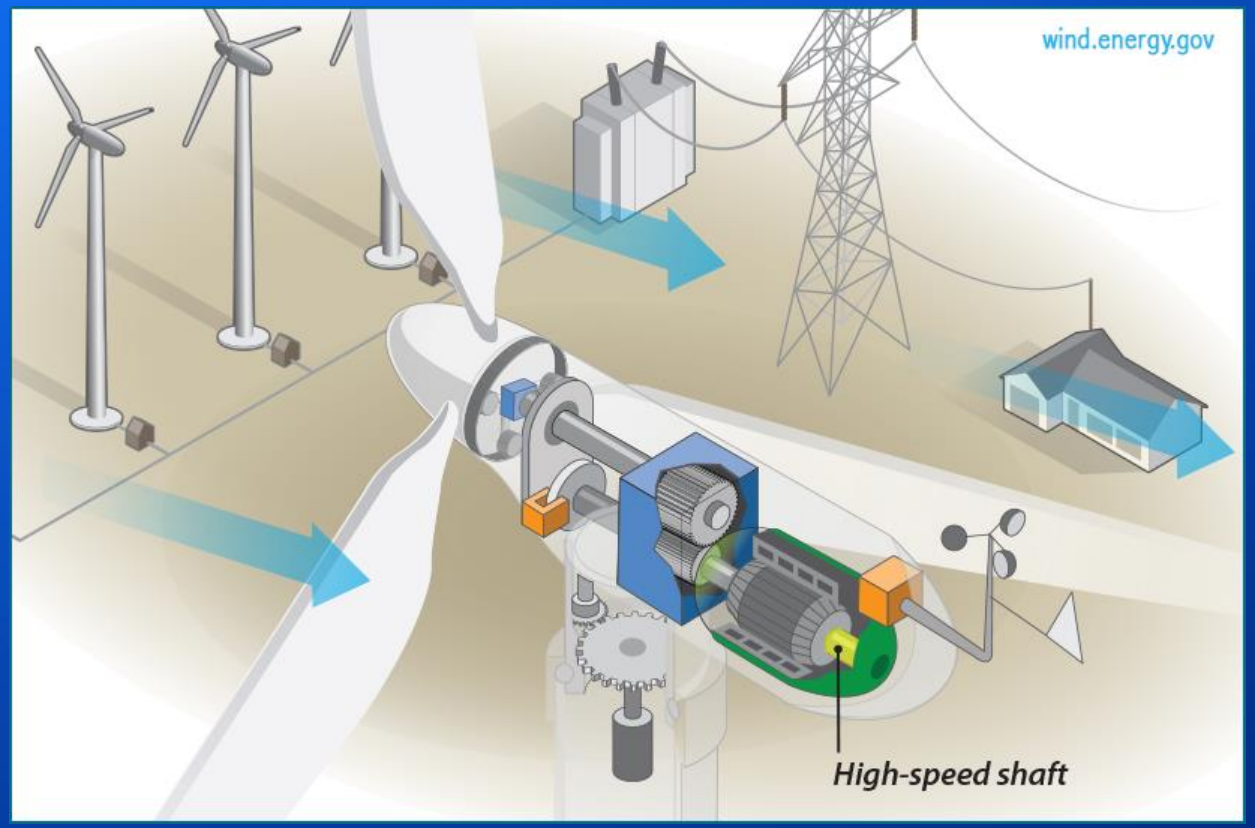
برق متناوب ۵۰-۶۰ هرتز تولید می‌کند و معمولاً یک ژنراتور القایی است.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- محور سرعت بالا:



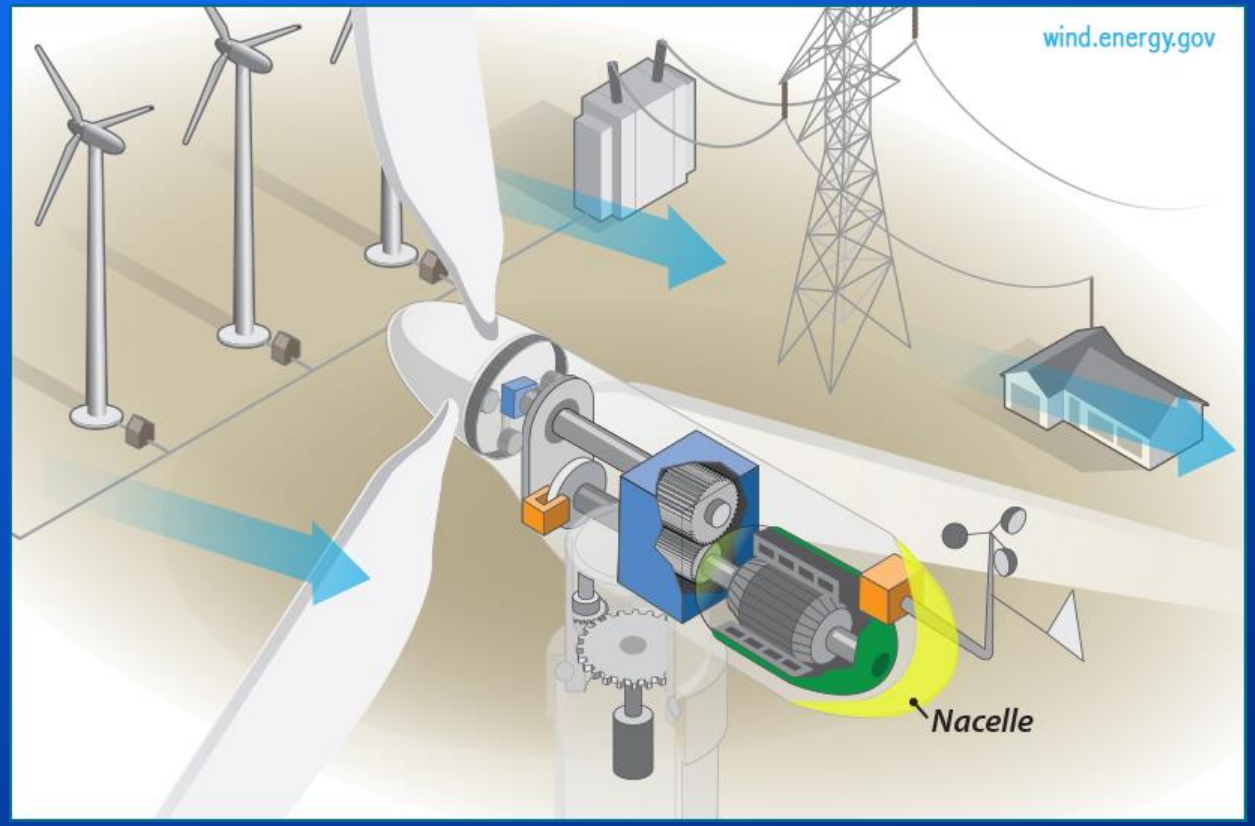
ژنراتور را به حرکت درمی‌آرود.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- محفظه:



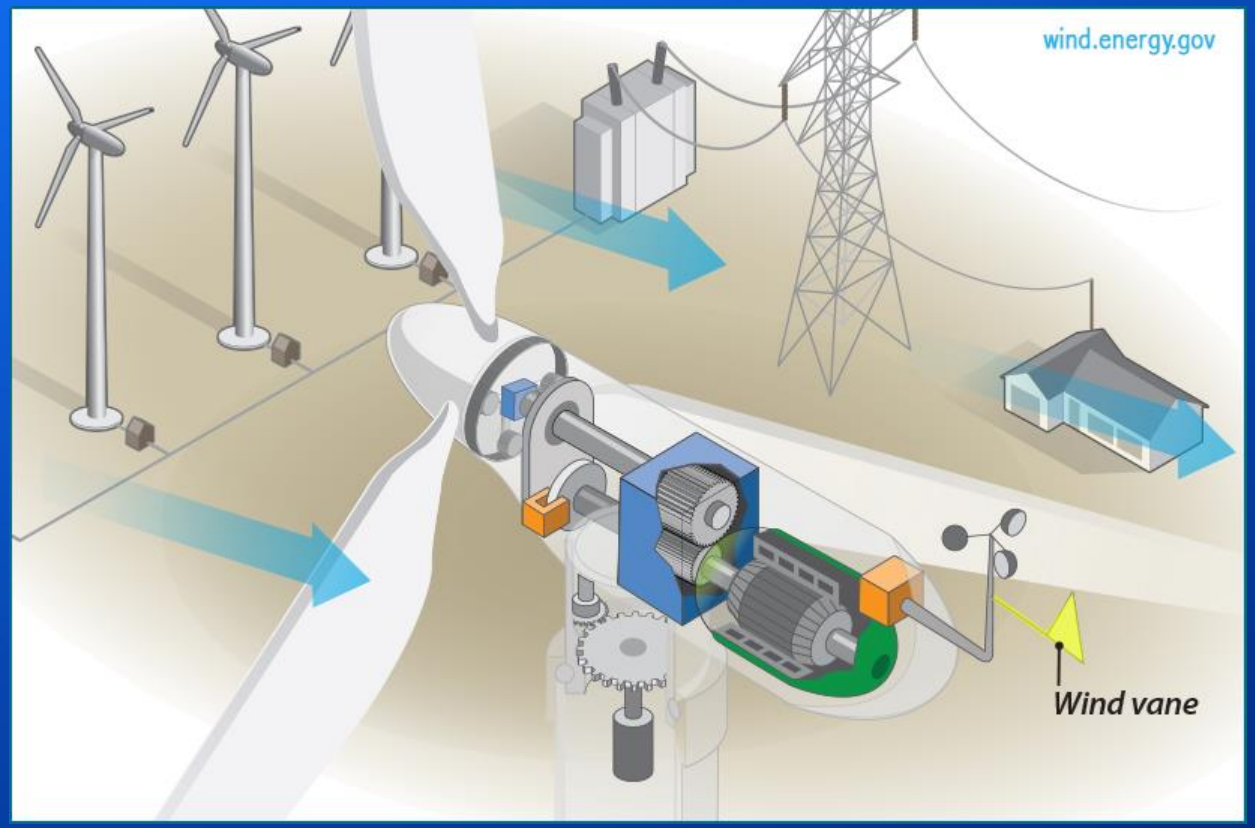
در بالای برج قرار دارد و شامل جعبه دنده، محورها، ژنراتور، کنترل‌کننده، و ترمز می‌باشد. برخی محفظه‌ها به قدری بزرگ هستند که یک هلیکوپتر می‌تواند روی آن فرود آید.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- بادنما:

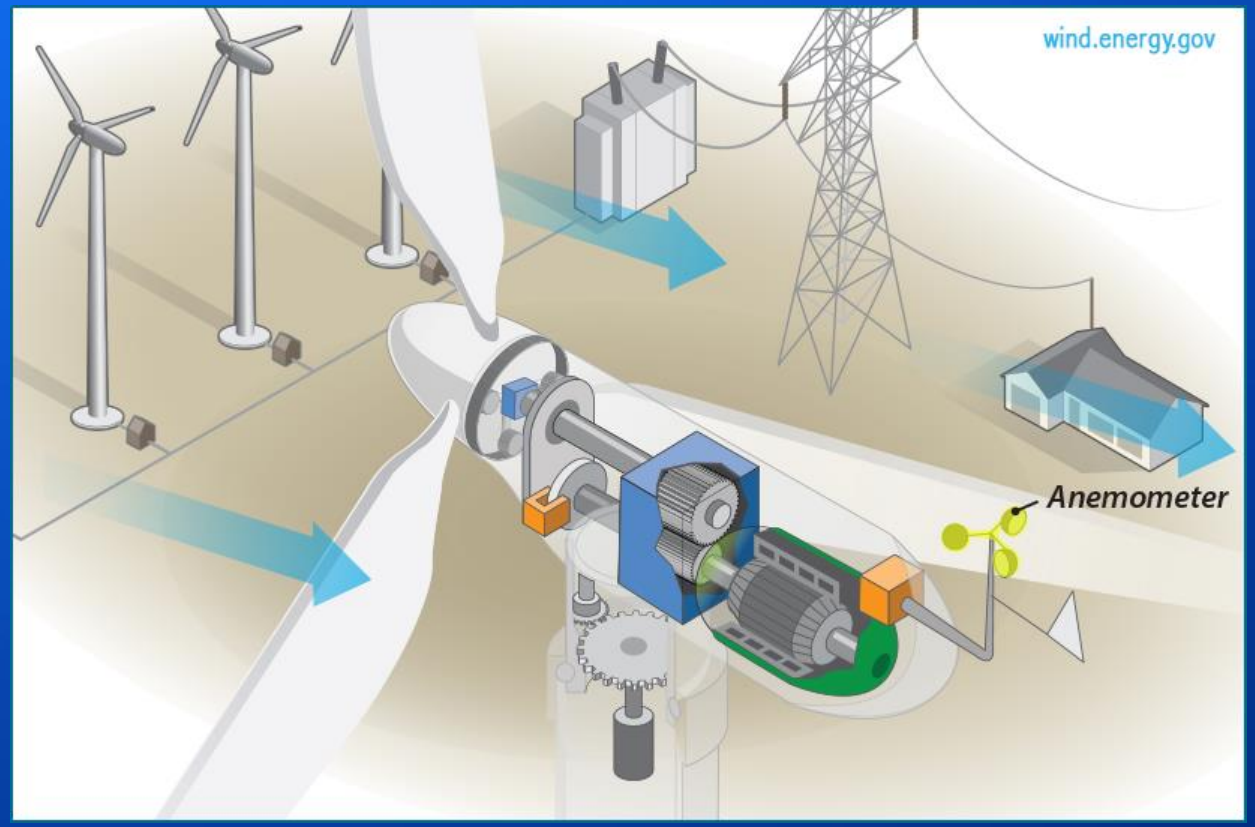


جهت باد را می‌سنجد و با محرک چرخش در ارتباط است تا توربین را متناسب با باد جهت‌دهی کند.

fppt.com

معرفی اجزای توربین:

- بادسنج:



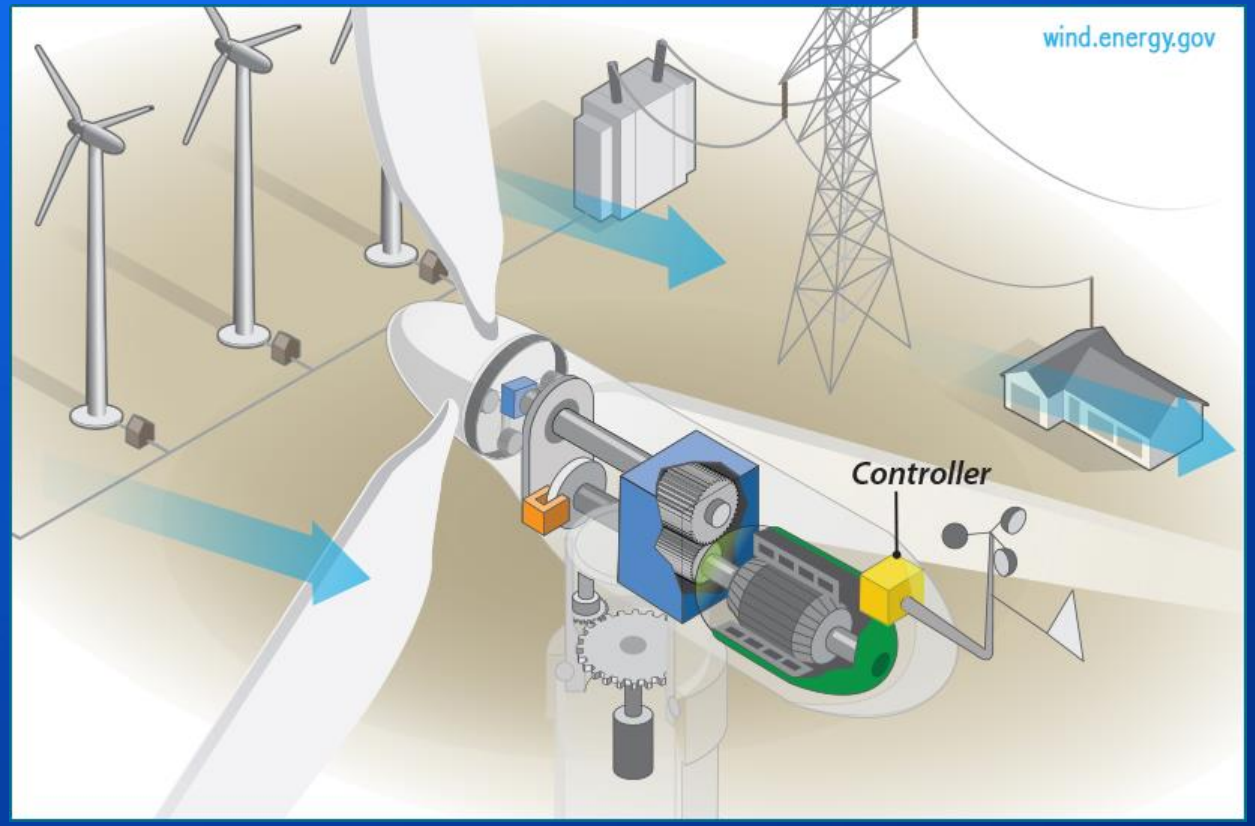
سرعت باد را اندازه‌گیری می‌کند و اطلاعات سرعت باد را به کنترلر انتقال می‌دهد.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- کنترل‌کننده:



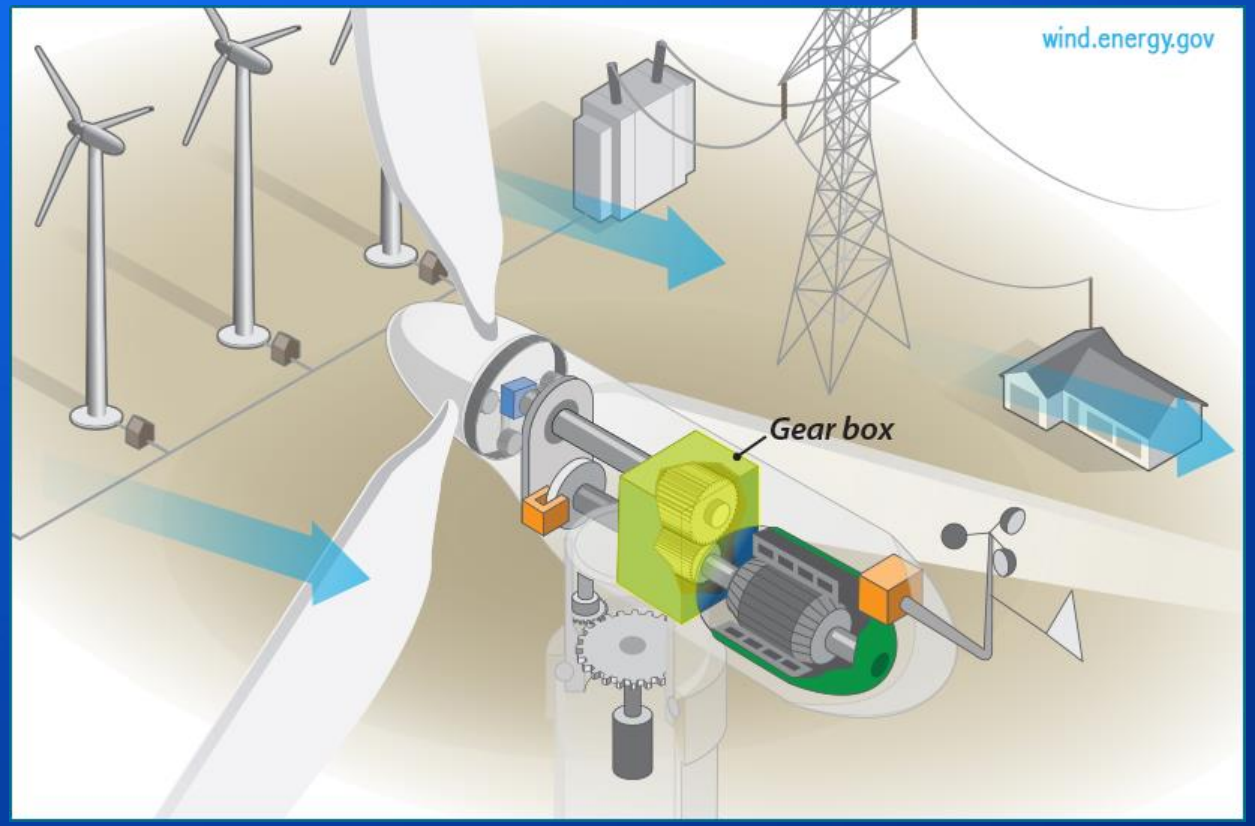
ماشین را در سرعت‌های باد حدود ۸ تا ۱۶mph روشن و در سرعت ۵۵mph خاموش می‌کند. توربین‌ها به علت امکان آسیب دیدن در سرعت‌های بالا کار نمی‌کنند.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- جعبه دنده:



محور سرعت پایین را به محور سرعت بالا متصل می‌کند و سرعت دورانی را از حدود ۳۰-۶۰ rpm به ۱۰۰۰-۱۸۰۰rpm که برای تولید برق در اکثر ژانراتورها لازم است، می‌رساند.

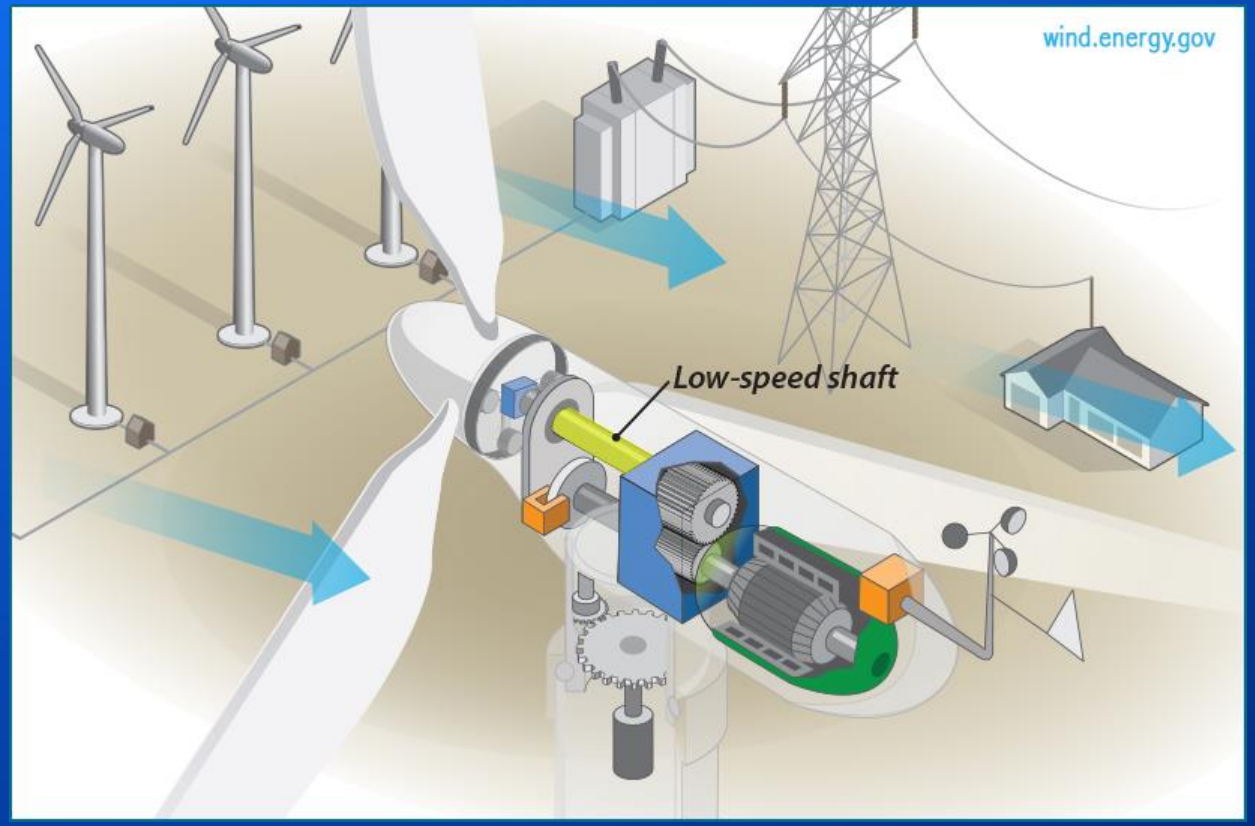
جعبه دنده سنگین و پرهزینه است، به همین علت مهندسان در پی ژنراتورهایی هستند که به‌طور مستقیم در سرعت‌های پایین کار می‌کنند و نیازی به جعبه دنده ندارند.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- محور سرعت پایین:



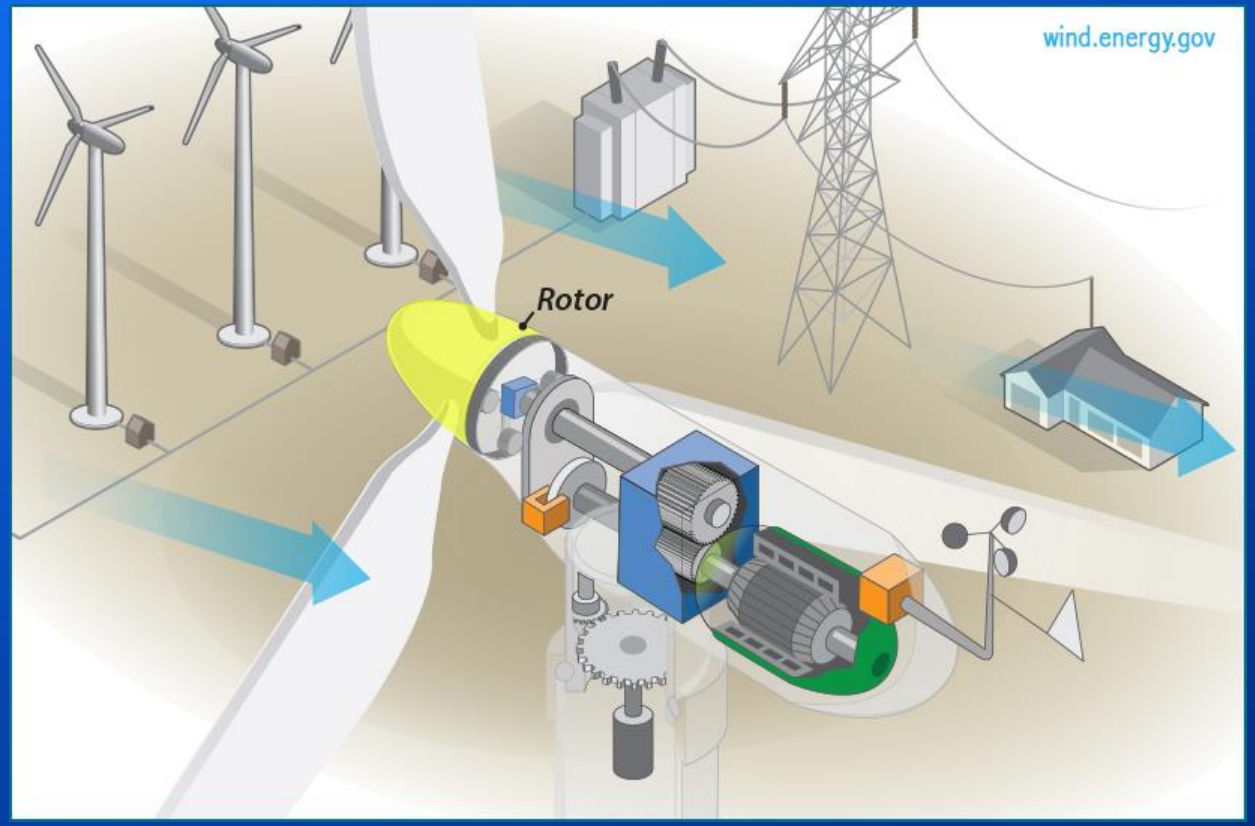
محور سرعت پایین با سرعت حدود ۳۰-۶۰ rpm می‌چرخد.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- روتور:



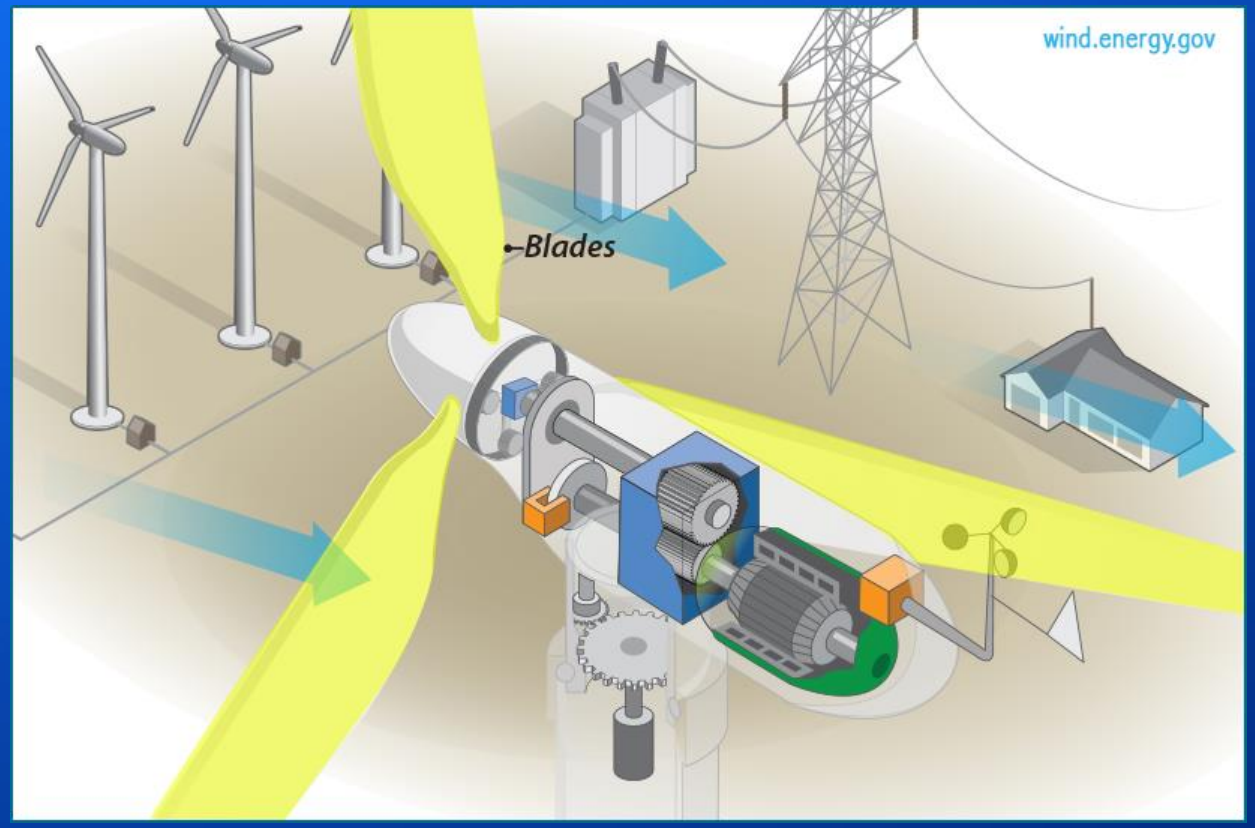
پره‌ها و هاب با یکدیگر روتور را تشکیل می‌دهند.

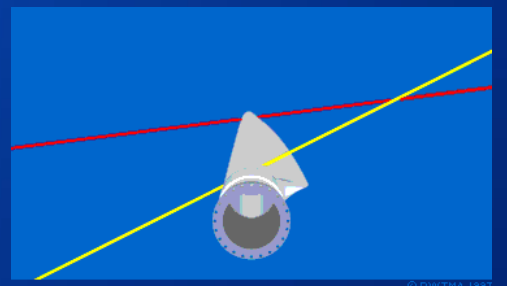
fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- پره‌ها:





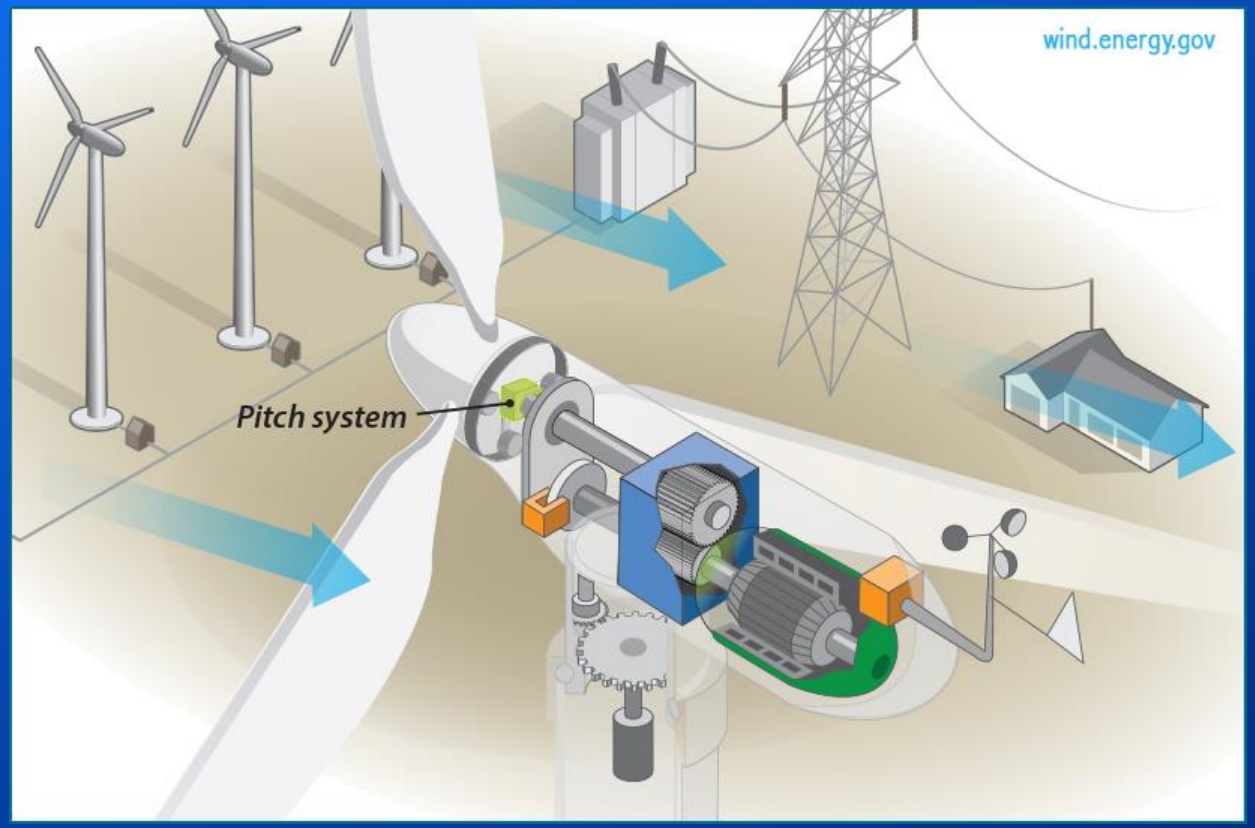
با وزش باد بر روی آنها به حرکت درمی‌آیند و می‌چرخند و روتور را به گردش درمی‌آورند. اکثر توربین‌ها ۲ یا ۳ پره دارند.

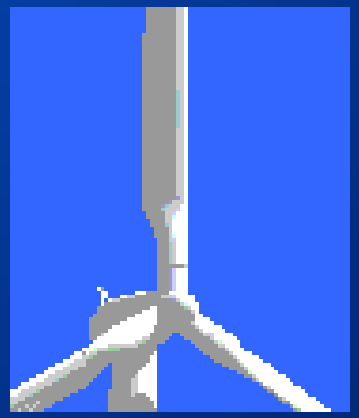
fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- سیستم مهار:





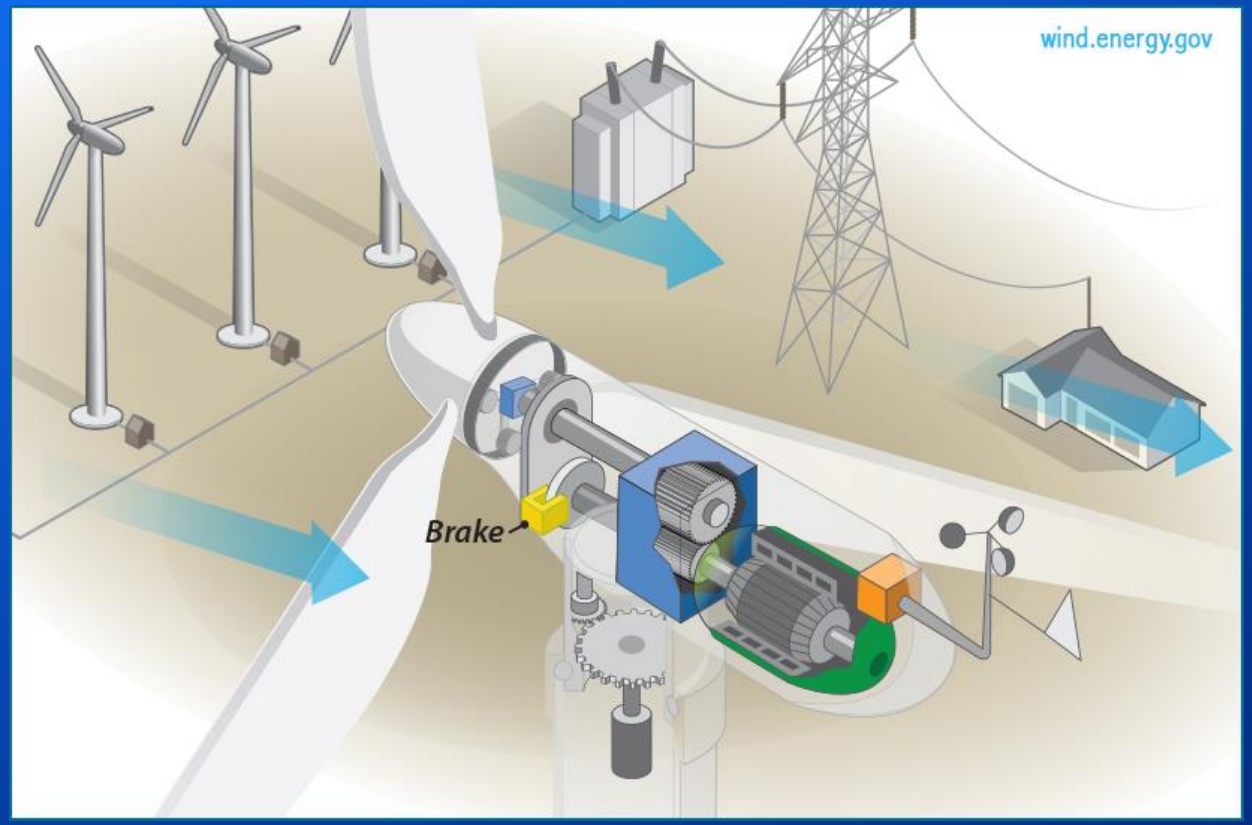
توان تولیدی توربین را کنترل می‌کند. در واقع پره‌ها را از قرار گرفتن در معرض باد حفظ می‌کند تا سرعت روتور را کنترل کند و از چرخش آن در سرعت‌های باد بسیار بالا یا بسیار پایین برای تولید برق جلوگیری کند.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- ترمز:



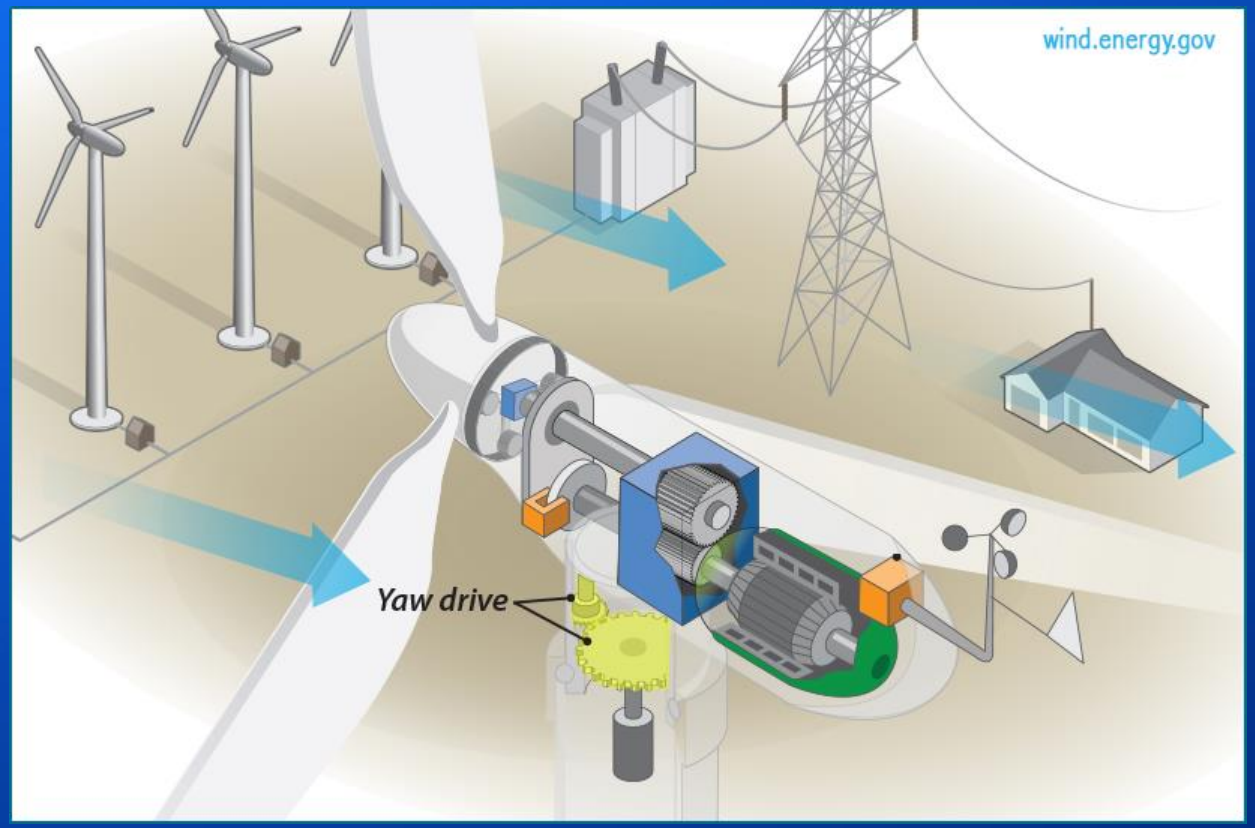
در مواقع ضروری، روتور را به صورت مکانیکی، الکتریکی و یا هیدرولیکی متوقف می‌کند.

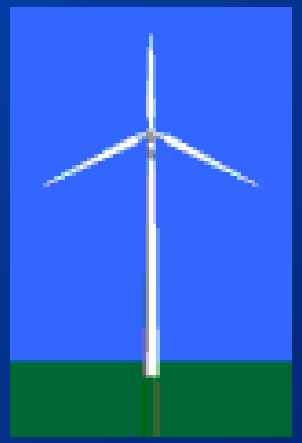
fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- محرک چرخش:



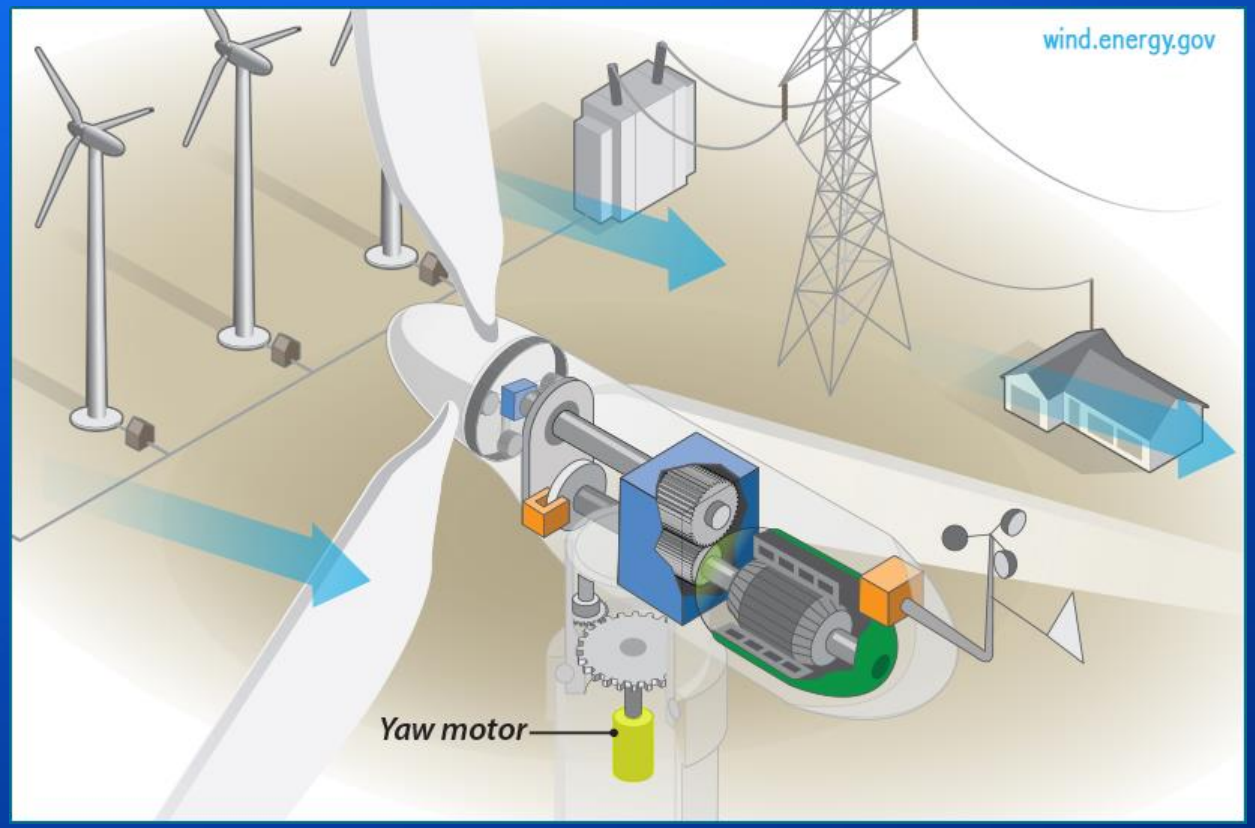


توربین‌های خلاف جهت باد را طوری جهت‌دهی می‌کند که با تغییر جهت باد همواره مقابل آن باشند. توربین‌های هم‌جهت باد نیازی به محرک چرخش ندارند چرا که خود باد روتور را در جهت آن قرار می‌دهد.

fppt.com

معرفی اجزای توربین:

- موتور چرخش:



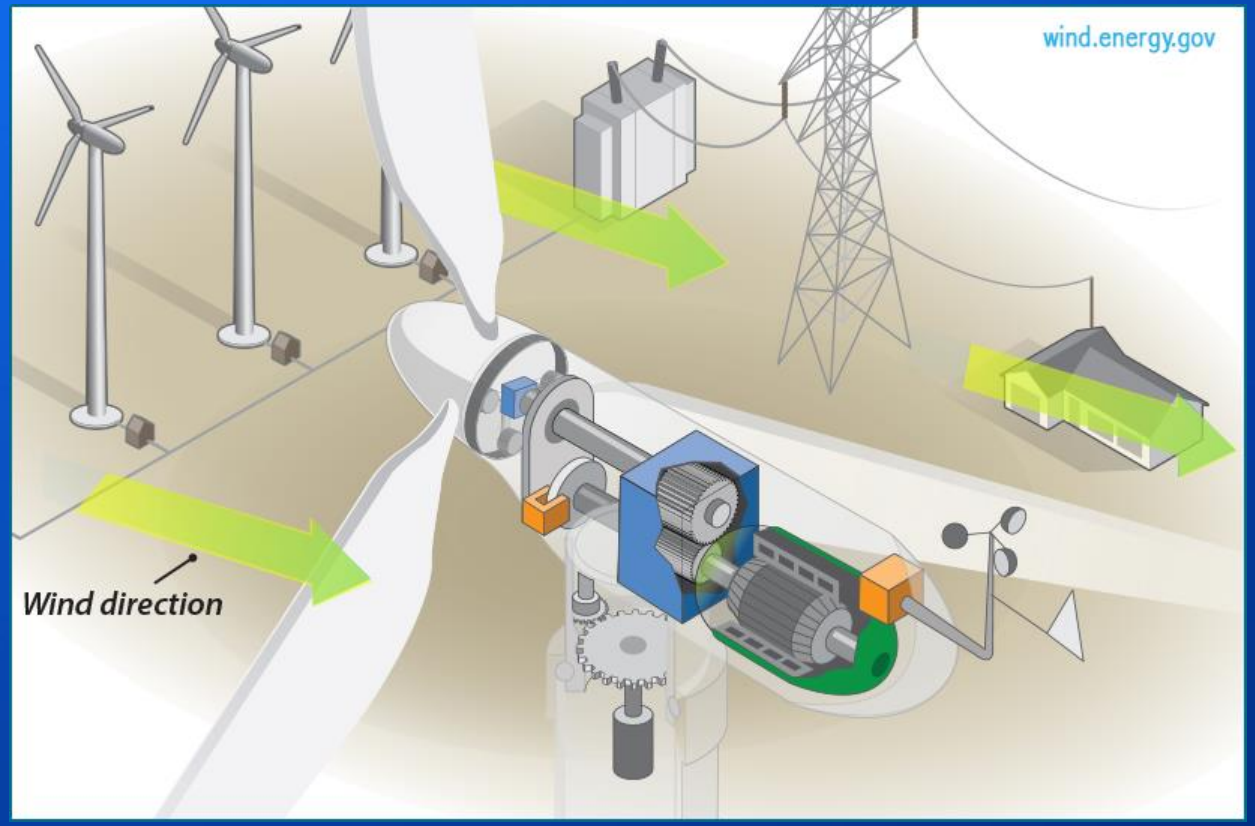
به محرک چرخش نیرو می‌بخشد.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

معرفی اجزای توربین:

- جهت باد:



طراحی توربین را تعیین می‌کند. توربین‌های خلاف جهت باد (مانند شکل) از جلو با باد مواجه می‌شوند در حالی که توربین‌های هم‌جهت با باد برعکس می‌باشند.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

نحوه عملکرد توربین و مزرعه بادی:

fppt.com

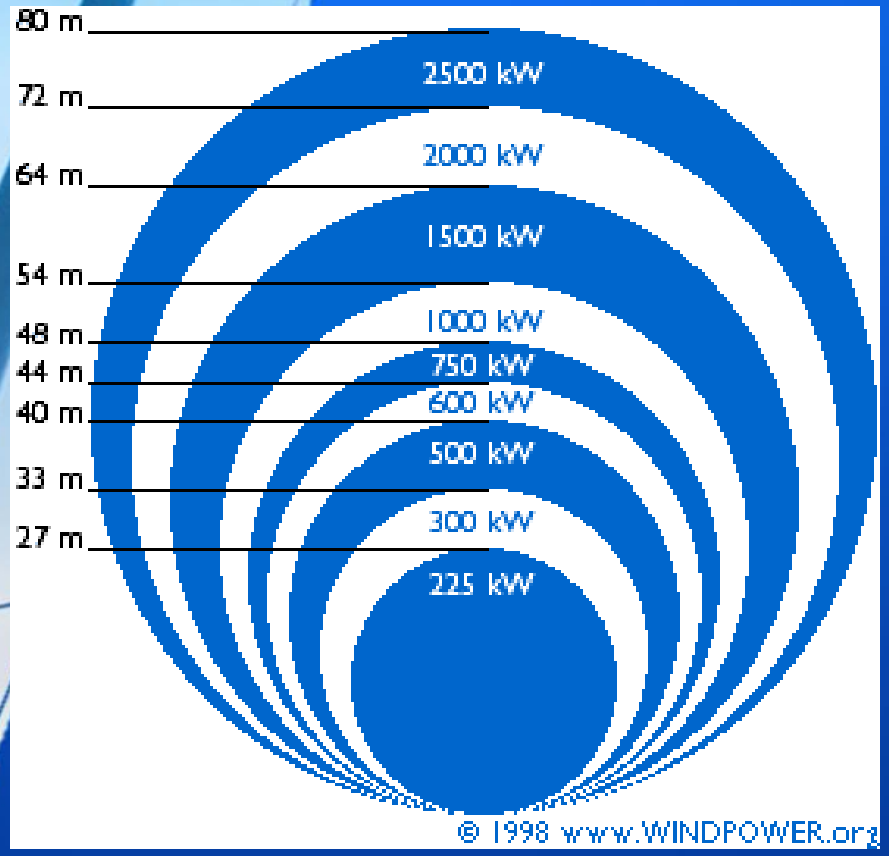
معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

اندازه توربین و ظرفیت توان:

- توربین‌های بادی در سایزهای مختلفی در دسترس هستند و در نتیجه ظرفیت‌های توانی متفاوتی ارائه می‌کنند.
- بزرگترین توربین دارای پره‌هایی با اندازه‌ای بیشتر از طول زمین فوتبال و ارتفاعی برابر با ساختمان ۲۰ طبقه است که توان الکتریکی آن برای تأمین انرژی ۱۴۰۰ خانه کافی است.
- یک توربین کوچک خانگی دارای روتورهایی با قطر ۲/۵ تا ۷/۵ متر است و ارتفاع آن ۹ متر می‌باشد و می‌تواند توان الکتریکی موردنیاز یک خانه یا محل کار کوچک تمام الکتریک را تأمین نماید.
- توربین‌های صنعتی دارای اندازه ۵۰ تا ۷۰ کیلووات هستند. توربین‌های کوچک تنها، زیر ۵۰ کیلووات، برای خانه‌ها، دیش های مخابراتی و یا پمپ‌های آب به کارگرفته می‌شوند.

fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی



اندازه توربین و ظرفیت توان:

- اندازه‌های نرمال روتور توربین‌های بادی:

  - یک توربین با ژنراتور ۶۰۰ کیلووات دارای روتوری با قطر حدود ۴۴ متر است.

  - با دو برابر کردن قطر روتور، مساحت ۴ برابر می‌شود که به معنی ۴ برابر شدن توان دریافتی از روتور می‌باشد.

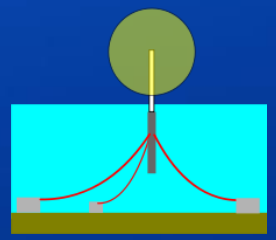
fppt.com

معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی

تقسیم‌بندی توان توربین‌های بادی:

- مزارع بزرگ On-shore
  - ۴۴۲ گیگاوات با حدود ۲۱۰ هزار توربین

- مزارع کوچک On-shore
  - کمتر از ۱ گیگاوات با حدود ۸۰۰ هزار توربین



- مزارع Off-shore
  - حدود ۱۲ گیگاوات با ۴هزار توربین

fppt.com

توربین‌ها و مزارع بادی

- معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی
- **مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی**
- چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق
- پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب
- زیرساخت‌های موردنیاز

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

مسائل اقتصادی:

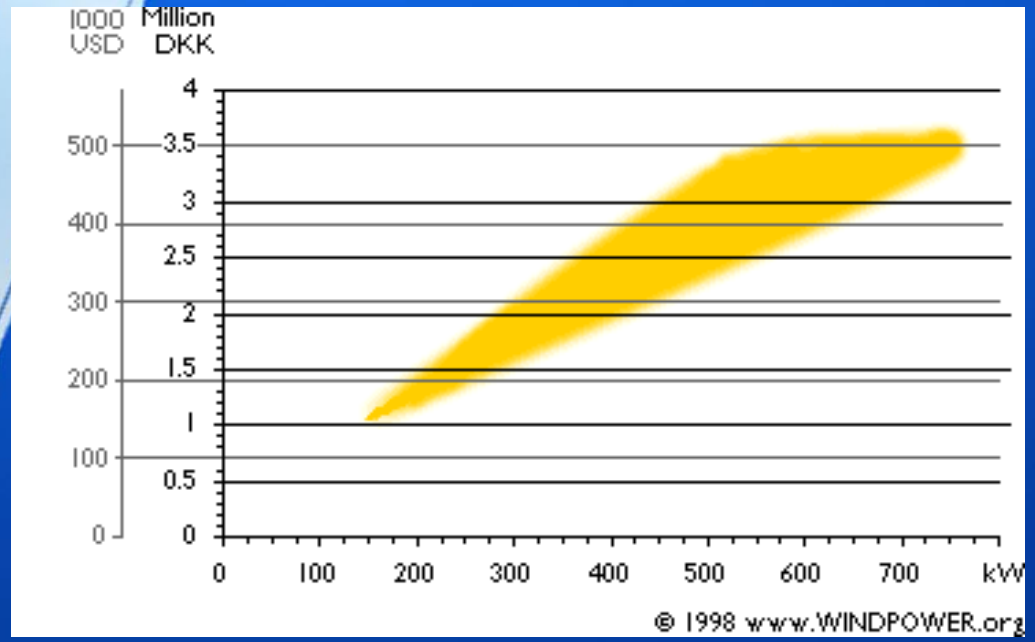
- به دلیل پیشرفت‌های مداوم در بازدهی توربین و از سوی دیگر قیمت‌های بالای سوخت، انرژی باد قابلیت رقابت با تولیدکنندگان سنتی توان الکتریکی را یافته است و در مکان‌هایی با سرعت باد بالا بر روی زمین، استفاده از انرژی باد کاملاً قابلیت تجاری شدن دارد.
- با وجود اینکه هزینه‌های انرژی باد در دهه‌های اخیر به شدت کاهش یافته است، این فناوری نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری نسبت به ژنراتورهای با سوخت فسیلی دارد.
- حدود ۸۰ درصد سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به تجهیزات و ماشین‌آلات می‌باشد و مابقی مربوط به آماده‌سازی سایت و نصب می‌شود.
- تولید توان الکتریکی از انرژی باد در مقایسه با توان تولیدی از سیستم‌هایی با سوخت‌های فسیلی از لحاظ هزینه‌های طول عمر (با احتساب هزینه‌های سوخت و بهره‌برداری) بسیار مقرون به صرفه‌تر است؛ چرا که نیازی به خریداری سوخت نیست و هزینه‌های نگهداری آن بسیار جزئی است.

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

هزینه‌های توربین:

- با تغییر سایز توربین، به دلیل تغییر در ارتفاع برج و قطر روتور، هزینه‌های آن تغییر می‌کند.
- هر متر ارتفاع بیشتر برج حدود ۱۵۰۰ دلار خرج خواهد داشت.
- با افزایش توان از ۱۵۰ کیلووات به ۶۰۰ کیلووات، هزینه به جای ۴ برابر شدن، سه برابر خواهد شد.
- به دلیل تغییر جزئی در هزینه‌های لوازم الکترونیکی و نیروی انسانی موردنیاز
- قیمت متوسط برای مزارع بزرگ حدود ۱۰۰۰دلار به ازای هر کیلووات توان نصب شده است.
- برای توربین‌های کوچک قیمت هر کیلووات تولیدی کمی بیشتر خواهد بود.



fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

هزینه‌های نصب توربین:

- هزینه‌های نصب شامل پایه‌هایی تقویت شده سیمانی، ساخت جاده برای انتقال توربین و برج، ترانسفورماتور برای تبدیل جریان ولتاژ پایین (۶۹۰ ولت) توربین به جریان با ولتاژ۱۰-۳۰ کیلوولت برای شبکه محلی، ارتباط تلفنی برای کنترل از راه دور و نظارت بر توربین و هزینه‌های کابل‌کشی از توربین تا خطوط ۱۰-۳۰ کیلوولت می‌باشد.
- هزینه‌های نصب با توجه به شرایط مکانی می‌تواند بسیار متفاوت باشد. فاکتورهایی مثل فاصله از جاده اصلی، وضعیت خاک منطقه برای ساخت جاده با تحمل ماشین‌آلات ۳۰ تنی، هزینه انتقال توربین‌ها به سایت، فاصله از خطوط اصلی برق و... در هزینه‌های نصب تأثیرگذارند.
- همچنین واضح است که نصب چندین توربین در یک مکان از نظر اقتصادی به صرفه‌تر از نصب تنها یک توربین خواهد بود. البته بایستی شبکه محلی تحمل توان تولیدی توربین‌های بادی را داشته باشد در غیر این صورت تقویت شبکه محلی نیز هزینه خواهد داشت.

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

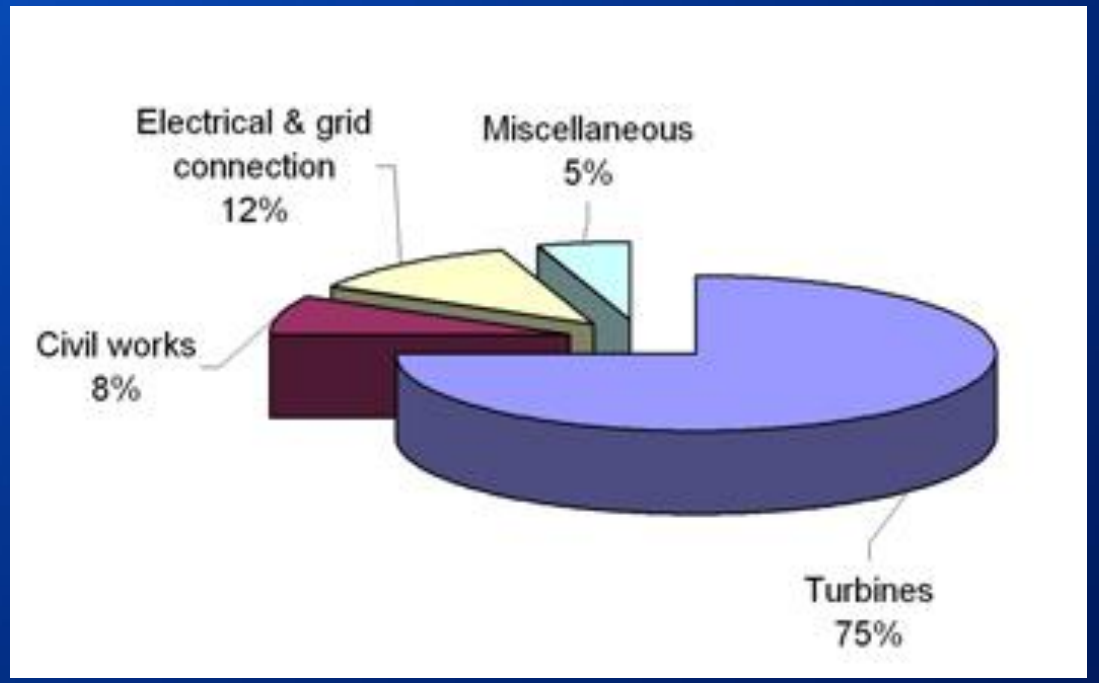
هزینه‌های نصب توربین:

برای یک توربین ۲ مگاواتی نمونه

	Investment (€1000/MW)	Share (%)
Turbine (ex-works)	928	75.6
Foundations	80	6.5
Electric installation	18	1.5
Grid connection	109	8.9
Control systems	4	0.3
Consultancy	15	1.2
Land	48	3.9
Financial costs	15	1.2
Road	11	0.9
Total	1227	100

Note: Calculations by the author based on selected data for European wind turbine installations.

Source: Risø DTU

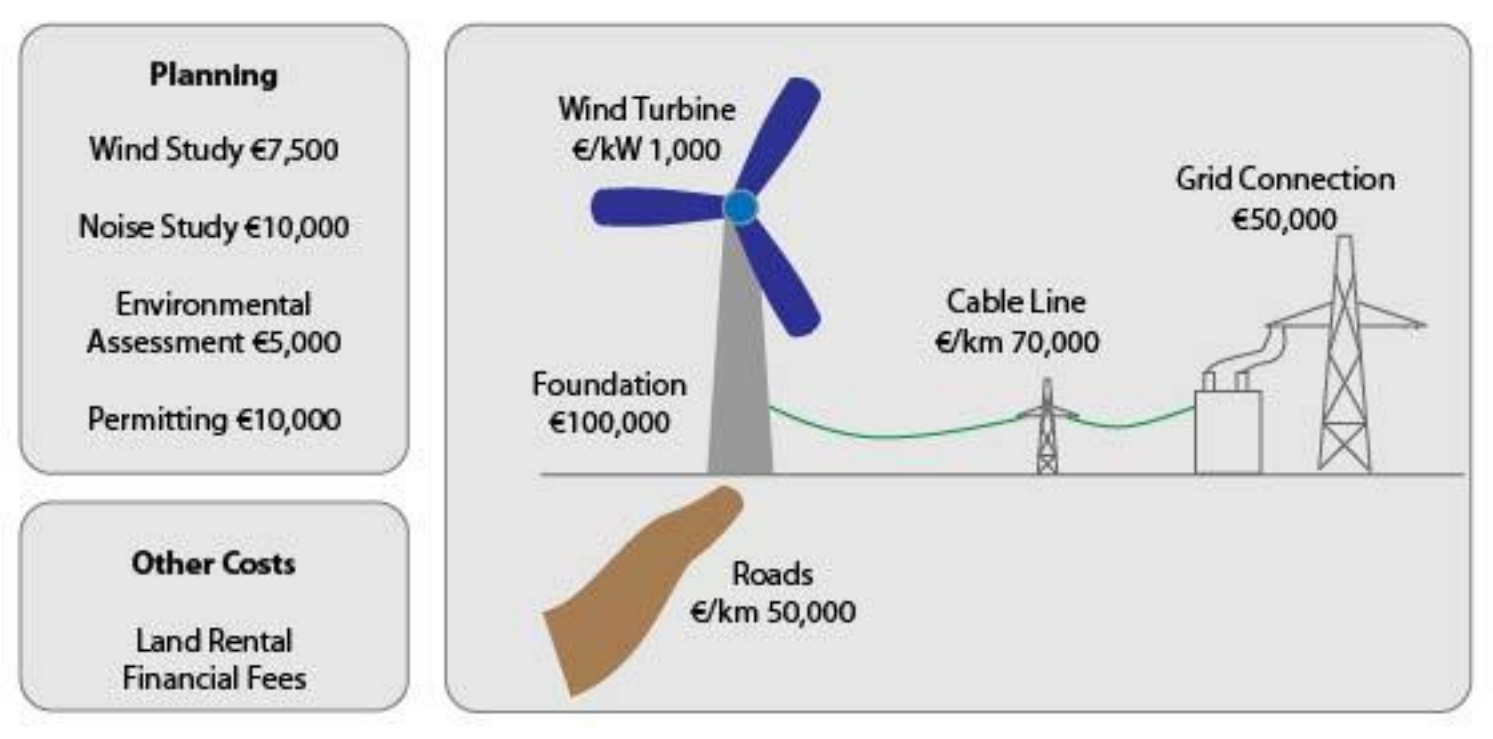


fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

هزینه‌های نصب توربین:

- تجهیزات توربین بخش عمده هزینه‌های نصب را دربرمی‌گیرد.
- با این حال هزیته سیم‌کشی به ترانسفورماتور، اتصال به شبکه، فوندانسیون و جاده‌ها نیز می‌تواند قابل توجه باشد.
- پیشبرد پروژه شامل مطالعات عمقی باد، دریافت مجوز، و نیز مطالعات نویز و دیگر ارزیابی‌های زیست‌محیطی می‌باشد.
- به طور کلی هزینه نصب توربین‌ها به ۱۶۰۰ یورو به ازای هر کیلووات نامی می‌رسد.
- در حالت offshore، فوندانسیون سهم بسیار بیشتری در کل هزینه‌ها دارد.



fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری توربین:

- توربین‌های مدرن برای ۱۲۰هزار ساعت کار در طول عمر ۲۰ساله طراحی شده‌اند که بسیار بیشتر از عمر ۴ تا ۶ هزار ساعته موتور یک خودرو است.
- تجربه نشان می‌دهد که هزینه نگهداری هنگامی که توربین تازه شروع بکارکرده است بسیار پایین است اما هرچه عمر آن بیشتر می‌شود هزینه نگهداری آن تاحدی افزایش می‌یابد.
- مطالعه روی ۵۰۰۰ توربین بادی در دانمارک از سال ۱۹۷۵ نشان می‌دهد که توربین‌های نسل جدید هزینه تعمیرات و نگهداری نسبتاً کمتری به توربین‌های نسل قدیم دارند.
- توربین‌های نسل قدیم هزینه متوسط نگهداری سالیانه‌ای برابر ۳درصد هزینه سرمایه‌گذاری اولیه‌شان دارند. در حالی که توربین‌های نسل جدید به طور متوسط بزرگتر هستند و هزینه نگهداری پایین‌تری به ازای هر کیلووات دارند. هزینه متوسط نگهداری سالیانه توربین‌های مدرن حدود ۱/۵ تا ۲ درصد هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تخمین زده شده است.
- بخشی زیادی از هزینه نگهداری، یک مقدار ثابت سالانه برای سرویس توربین‌هاست. این هزینه را می‌توان به ازای هر کیلووات ساعت تولیدی نیز محاسبه کرد تا تأثیر خستگی و استهلاک را نیز در نظر گرفت، که برابر ۰/۰۱ دلار بر کیلووات ساعت است.

fppt.com

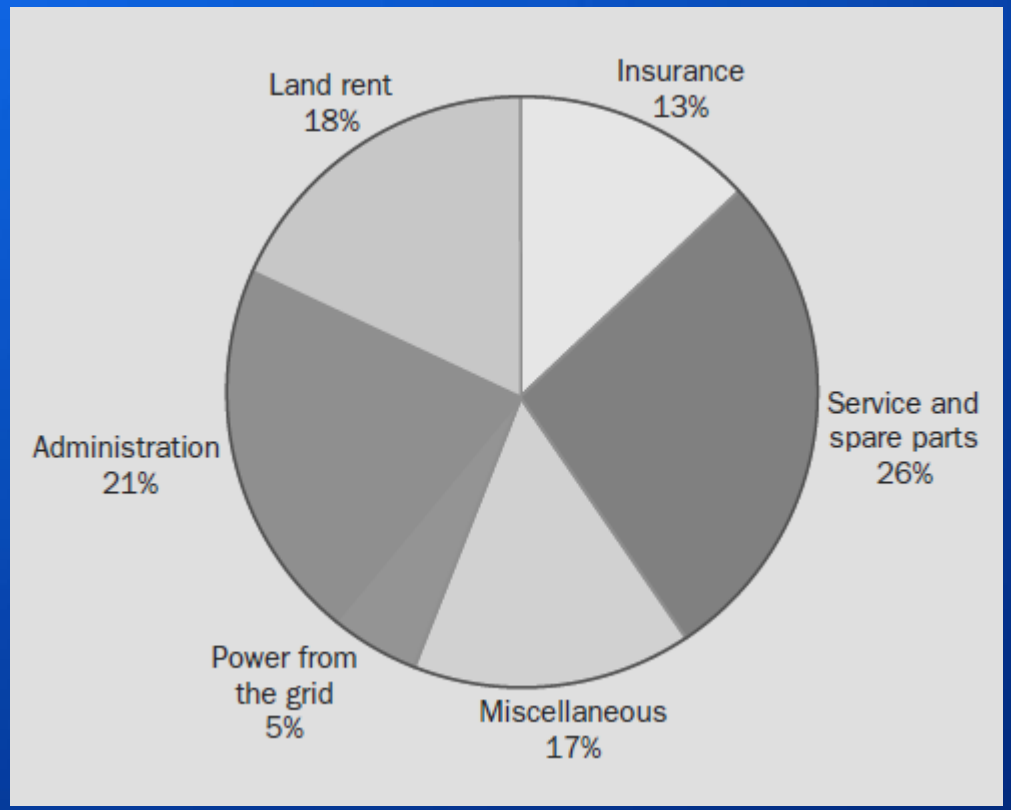
مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری توربین:

- اجزای توربین بادی معمولاً برای طول عمر ۲۰ سال طراحی می‌شوند. اما عمر واقعی یک توربین بادی وابسته به کیفیت توربین و شرایط آب و هوایی محل قرارگیری آن است.
- برخی از اجزای توربین بادی مثل پره‌ها و جعبه دنده نسبت به سایر اجزا در معرض خرابی بیشتری قرار دارند و موجب کاهش عمر مفید توربین می‌شوند.
- در برخی مواقع، افزایش عمر توربین با انجام تعمیرات اساسی مثل تعویض پره‌های روتور، می‌تواند مقرون به صرفه باشد.
- هزینه مجموعه‌ی جدید پرهای روتور، جعبه دنده، یا ژانراتور معمولاً در حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد قیمت توربین است.

fppt.com

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری توربین:



بخش‌های مختلف هزینه بهره‌برداری و نگهداری

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

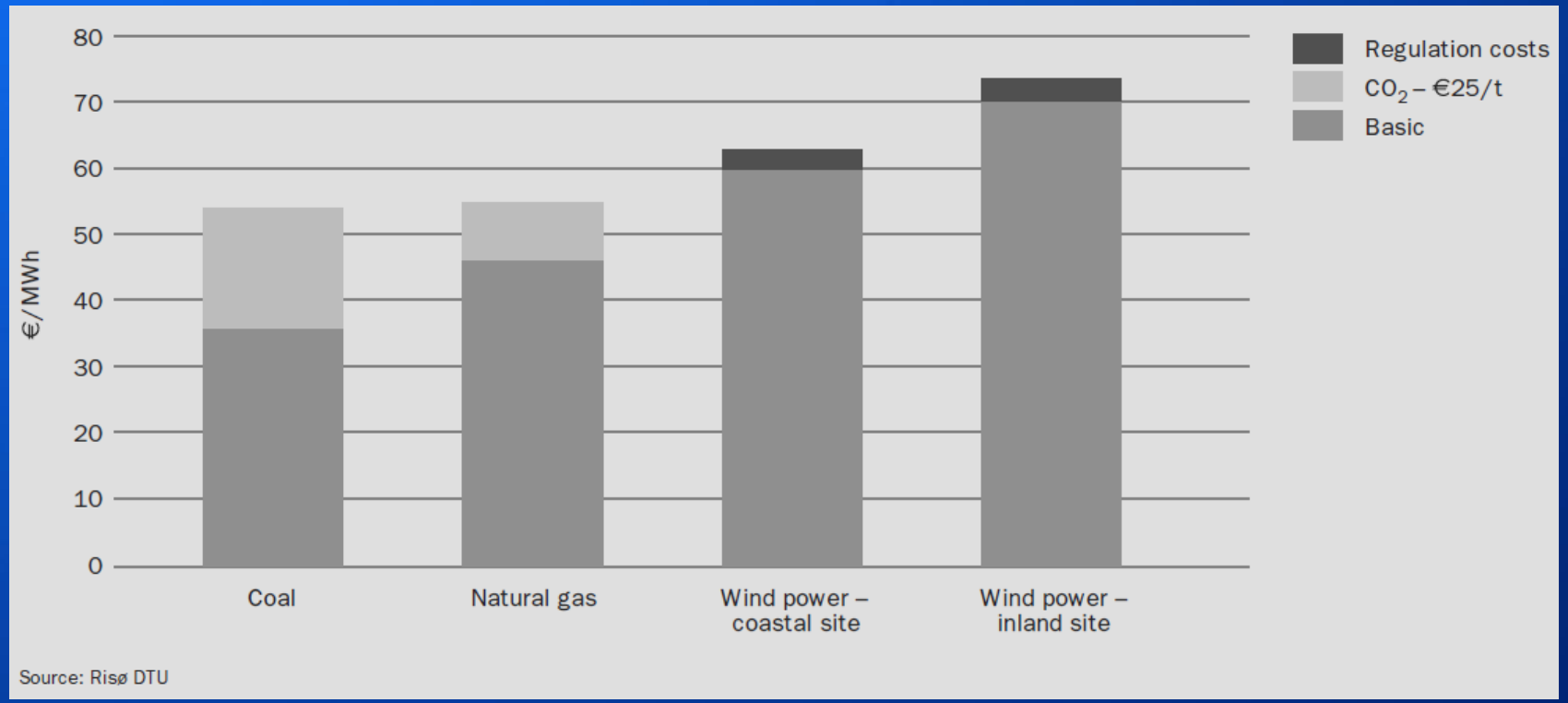
تعرفه‌های انرژی باد:

- تعرفه‌های انرژی الکتریکی:
  - شرکت های برقی اغلب تمایل استفاده از نیروگاه ها در بازه زمانی پیک دارند چرا که اغلب آنها در این بازه مجبورند به منظور تامین بار الکتریکی از نیروگاه های با بازدهی پایین استفاده نمایند.
  - برخی شرکت‌ها نرخ‌های متغییری برای خرید انرژی الکتریکی از توربین‌های بادی در ساعت‌های مختلف روز تعیین می‌کنند. این نرخ به طور معمول کمتر از قیمت فروش برق به مشترکین است چرا که قیمت فروش برق شامل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه الکتریکی و سود آن نیز می‌باشد.
- اعتبارهای محیط‌زیستی:
  - بسیاری از کشورها که از توسعه منابع تولید تجدیدپذیر حمایت می‌کنند، امتیازات محیط‌زیستی بخصوصی مانند بازپرداخت مالیات‌ها، به منابع تولید انرژی بادی اختصاص می‌دهند.
- اعتبار ظرفیت:
  - به‌منظور تأمین توان موردنیاز مصرف‌کنندگان بزرگ، لازم است که شرکت‌های برقی ظرفیت تولیدی بیشتری داشته باشند. اما وجود توربین‌های بادی به عنوان بار منفی موجب به تأخیر افتادن نصب ظرفیت‌های تولیدی جدید می‌گردند. به همین خاطر برخی از شرکت‌ها سالانه مبلغی به عنوان اعتبار ظرفیت به مالکان توربین‌های بادی پرداخت می‌کنند.
- عوارض توان راکتیو:
  - ایجاد اغتشاش در جریان شبکه توسط ژنراتور القایی توربین بادی به دلیل مصرف توان راکتیو، موجب کاهش راندمان انتقال توان می‌شود. چنانچه توربین بادی مجهز به جبران‌کننده توان راکتیو نباشد، بایستی بابت آن عوارض بپردازد.

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

مقایسه هزینه با سایر منابع تولیدی سنتی:



هزینه توان تولیدشده از طریق انرژی باد در مقایسه با نیروگاه‌های سنتی

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

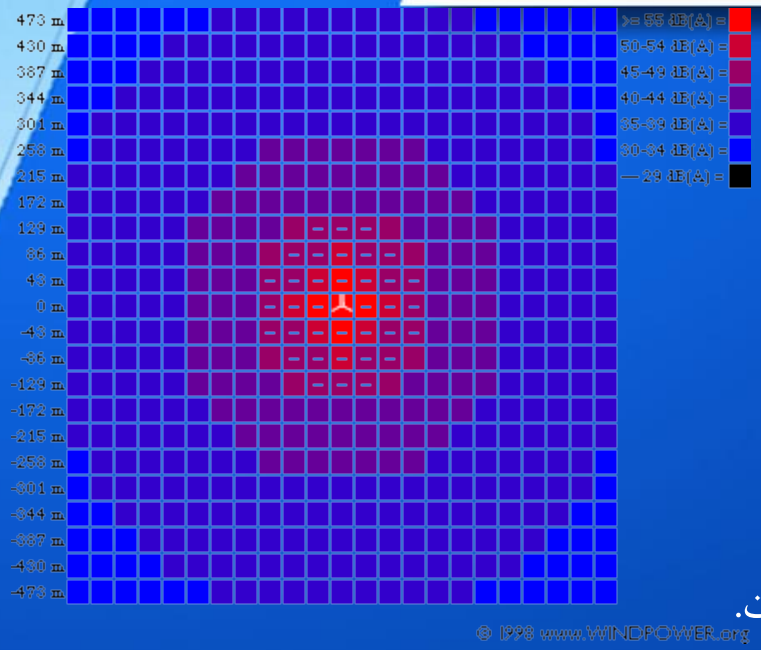
مسائل زیست‌محیطی:

- تأثیر انرژی باد بر انسان‌ها، حیوانات، انتشار کربن و صرفه‌جویی در انرژی بایستی مورد مطالعه قرار گیرد.

- نگرانی‌های اصلی زیست‌محیطی در رابطه با پروژه‌های توسعه انرژی باد عبارتند از:
  - ❖ آلودگی صوتی
  - ❖ سوسو کردن سایه (Shadow Flicker)
  - ❖ تأثیر دیداری
  - ❖ برخورد پرندگان

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی



مسائل زیست‌محیطی:

- ❖ آلودگی صوتی:
  - نویز ایرودینامیک
  - صدای محور
  - صدای جعبه دنده
- ❑ اندازه‌گیری نویز:
  - یک توربین مدرن دارای سطح صدای ۹۰ الی ۱۰۰ دسیبل است.
  - در فاصله ۳۵۰-۱۰۰۰ متری، سطح صدا کمتر از ۴۵ دسیبل (مشابه صدای ورق زدن یک کتاب) می‌شود.
  - سطح صدای مورد پذیرش برای توربین‌های بادی، ۳۵ دسیبل در شب و ۴۵ دسیبل در روز با پنجره باز است.
- ➢ با طراحی توربین‌های پربازده‌تر، میزان بیشتری از انرژی باد به گشتاور چرخشی تبدیل می‌شود و آلودگی صوتی کمتری ایجاد می‌شود.
- ➢ مکان‌یابی مناسب و استفاده درست از مواد عایق موجب حداقل کردن اثرات صوتی توربین می‌گردد.

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

مسائل زیست‌محیطی:

- سوسو کردن سایه (Shadow Flicker) :
  - توربین‌های بادی در نور مستقیم خورشید در نزدیک خود سایه ایجاد می‌کنند.
  - پره‌ها با حرکت خود نور را پرتوهای نور را قطع می‌کنند و حالت سو سو زدن ایجاد می‌کنند.
  - فرکانس این سوسوزدن زیر ۲هرتز است و موجب حملات صرعی نمی‌گردد، اما به هرحال در خانه و در حالت بیداری اذیت‌کننده است.
- نیاز به آنالیز دقیق سایه در مجاورت توربین بادی
- مقررات آلمان:

حداکثر میزان مجاز سوسو زدن سایه برابر است با:

- ۳۰ ساعت سوسو زدن در سال در بدترین حالت
- ۳۰ دقیقه حداکثر در بدترین روز سال
- تأثیر سایه واقعی محدود به ۸ ساعت در سال

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

مسائل زیست‌محیطی:

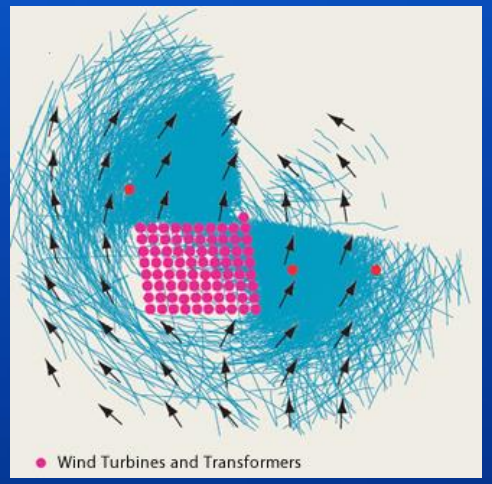
- تأثیر دیداری:
  - توربین‌های بادی به دلیل ارتفاعشان در تمامی مناظر قابل رؤیت هستند.
  - وجود یک توربین بزرگ احتمالاً مقبول‌تر از چندین توربین کوچک است چرا که اثر دیداری کمتری خواهد داشت.
  - همچنین سرعت چرخشی توربین‌های بزرگ‌تر کمتر است و جلب توجه زیادی نمی‌کند.
  - برخی سازندگان توربین‌ها را خاکستری و یا سبز رنگ می‌کنند تا با محیط همخوانی بیشتری داشته باشد و کمتر جلب توجه کند.

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

مسائل زیست‌محیطی:

- برخورد پرندگان:
  - توربین‌های بادی بایستی با فاصله از مناطق حفاظت شده و محل پرورش گونه‌های حساس نصب شوند.
  - یک مطالعه در آلمان نشان می‌دهد که به ازای هر دو توربین یک پرنده در سال و به طور کلی در سال ۸ هزار پرنده در اثر برخورد با توربین‌های بادی می‌میرند.
  - در حالی که ۵-۱۰ میلیون پرنده در جاده‌ها می‌میرند و به همین تعداد در اثر خطوط انتقال از بین می‌روند.
  - جدا از برخورد مستقیم پرندگان، تغییر فشار زیاد در اطراف توربین می‌تواند آسیب‌های داخلی به برخی از پرندگان بخصوص خفاش‌ها بزند.



- راه‌های جلوگیری از برخورد پرندگان:
  - افزایش قابل رؤیت بودن پره‌های روتور
  - استفاده از چراغهای چشمک‌زن سفید
  - آزاد گذاشتن مسیرهای اصلی کوچ پرندگان

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

مسائل زیست‌محیطی:

- روش ارزیابی چرخه عمر (LCA) ابزار مناسبی برای سنجش اثرات استفاده از توربین بادی برای تولید انرژی الکتریکی در مقایسه با دیگر فناوری‌های تولید توان است.
- مطالعات چرخه عمر نشان می‌دهد که مرحله ساخت توربین برجسته‌ترین مرحله از لحاظ تأثیرات زیست‌محیطی است.
- اثرات زیست محیطی مراحل انتقال و بهره‌برداری در مقایسه با کل چرخه قابل توجه نمی‌باشد.
- مرحله بازیافت و دفع نیز در پروفیل زیست‌محیطی توربین بادی تأثیر بسزایی دارد. هرچه قابلیت بازیافت بیشتر باشد، توربین اثر زیست محیطی مثبت‌تری خواهد داشت.

	Emissions					Benefits			
	Average wind	Nuclear	Solar PV	Solar thermal	Biomass CHP	vs. Nuclear	vs. Solar PV	vs. Solar thermal	vs. Biomass CHP
Carbon dioxide, fossil (g)	8	8	53	9	83	0	45	1	75
Methane, fossil (mg)	8	20	100	18	119	12	92	10	111
Nitrogen oxides (mg)	31	32	112	37	814	1	81	6	784
NMVOC (mg)	6	6	20	6	66	0	14	1	60
Particulates (mg)	15	17	107	27	144	1	91	12	128
Sulphur dioxide (mg)	32	46	0	31	250	15	–31	–1	218

Source: CIEMAT

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

مسائل زیست‌محیطی:

- زمان بالانس انرژی:
  - بالانس انرژی توربین‌های بادی بسیار مثبت است. انرژی مصرف شده در کل چرخه در طول چند ماه بازمی‌گردد.
  - دوره بازگشت انرژی برای توربین‌های onshore، ۳ تا ۵ ماه و برای توربینهای offshore، ۷ تا ۸ ماه می‌باشد.
  - بیشترین نیاز انرژی توربین بادی مربوط به دوران ساخت ان است. مزارع بادی offshore برای ساخت فوندانسیون نیاز به انرژی بیشتری دارند.

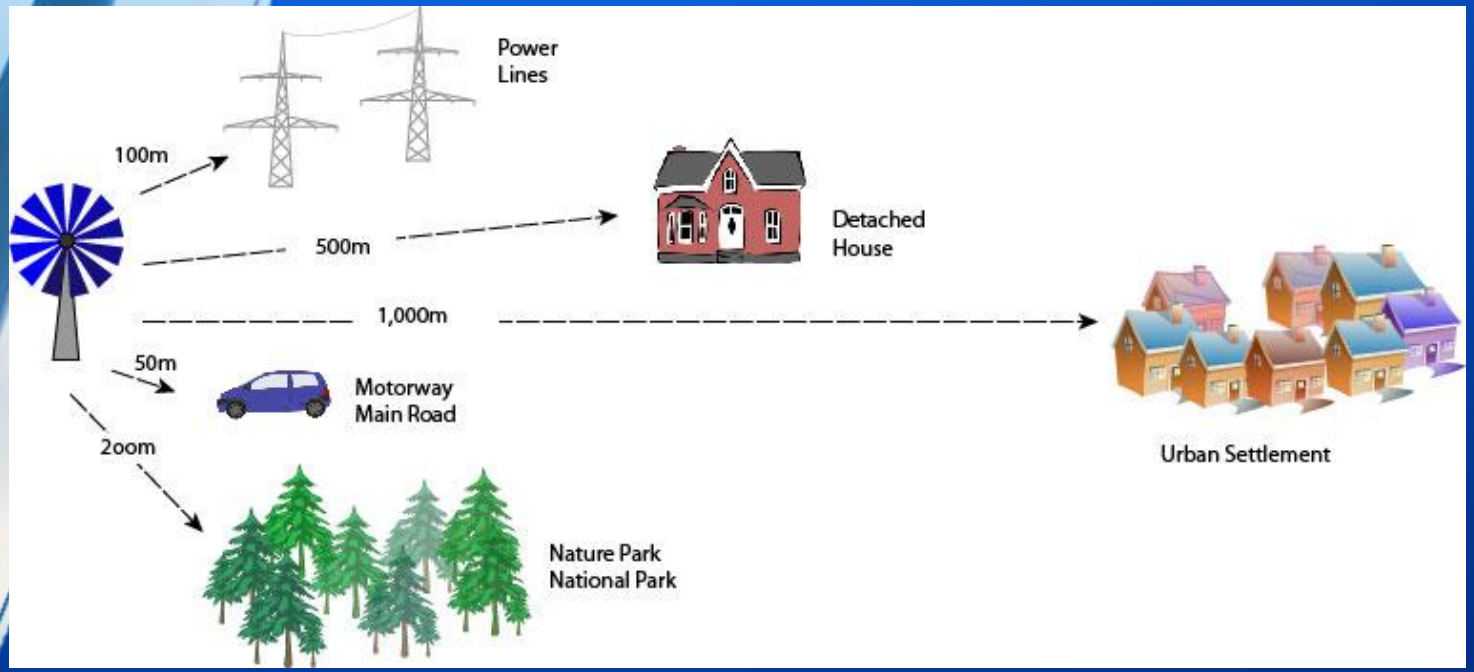
- جلوگیری از انتشار کربن:
  - به ازای هر کیولوات ساعت انرژی الکتریکی تولیدی از یک توربین بادی از انتشار ۱۷۲ گرم کربن جلوگیری می‌شود.

fppt.com

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی

مسائل زیست‌محیطی:

- مکان نصب توربین‌های بادی:
  - با در نظر گرفتن اثرات نویز، سایه، جلوه‌های بصری، مزاحمت برای پرندگان و مقررات سلامت و امنیت، استانداردی برای نصب توربین‌های بادی مشخص شده است و رعایت این استاندارد بایستی توسط صادرکنندگان مجوز کنترل شود.



- کمترین فاصله توربین بادی از:
  - جاده‌های اصلی به اندازه ارتفاع سقوط (۵۰ متر)
  - خطوط انتقال ۱۰۰ متر
  - پارک‌ها و مناطق تفریحی ۲۰۰ متر
  - خانه‌های مجزا ۵۰۰ متر
  - مناطق شهری ۱ کیلومتر

fppt.com

توربین‌ها و مزارع بادی

- معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی
- مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی
- چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق
- پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب
- زیرساخت‌های موردنیاز

fppt.com

چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق

سناریوهای آینده انرژی باد در جهان:

- تحول در بازارهای برق در سراسر جهان و نوسانات شدید در سیاست، هم به نفع استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و هم علیه آن، پیش‌بینی آینده انرژی بادو یا هر صنعت دیگری را به چالش می‌کشد.
- با این حال همواره انرژی باد نقشی با محوریت اصلی در سناریوهای آینده بازی می‌کند و سناوریوهای مختلف را همگرا می‌کند.

❖ بررسی چهار سناریو مختلف:

- سناریو سیاست‌های جدید آژانس بین‌المللی انرژی
- سناریو ۴۵۰ آژانس بین‌المللی انرژی
- سناریو معتدل کمیته جهانی انرژی باد
- سناریو پیشرفته کمیته جهانی انرژی باد

fppt.com

چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق

سناریوهای آینده انرژی باد در جهان:

- سناریو سیاست‌های جدید آژانس بین‌المللی انرژی
  - بر اساس ارزیابی جهت‌گیری‌ها و اهداف ملی و بین‌المللی سیاست‌های انرژی و آب و هوا
  - همانند مقاصد کاهش انتشار کربن در معاهده ۲۰۱۵ پاریس
- سناریو ۴۵۰ آژانس بین‌المللی انرژی
  - تعیین مسیری برای محدودکردن افزایش جهانی دما به ۲درجه سانتی‌گراد با شانس ۵۰ درصدی
  - مستلزم محدود کردن انتشار گارهای گلخانه‌ای به ۴۵۰ ppm کربن دی اکسید
- سناریو معتدل کمیته جهانی انرژی باد
  - شبیه سناریو اول تمامی سیاست‌های حمایت را در نظر می‌گیرد
  - با این فرض که کلیه معاهدات دولت‌ها در COP21 به صورت معتدل انجام می‌گیرد
- سناریو پیشرفته کمیته جهانی انرژی باد
  - خوشبینانه‌ترین سناریو است که نهایت مرزهای پیشرفت انرژی باد را مشخص می‌کند.
  - با فرض تعهد به انرژی‌های پاک همراه با صنعت، تمایل سیاسی به اعمال سیاست‌های درست و مداومت در رسیدن به آنها

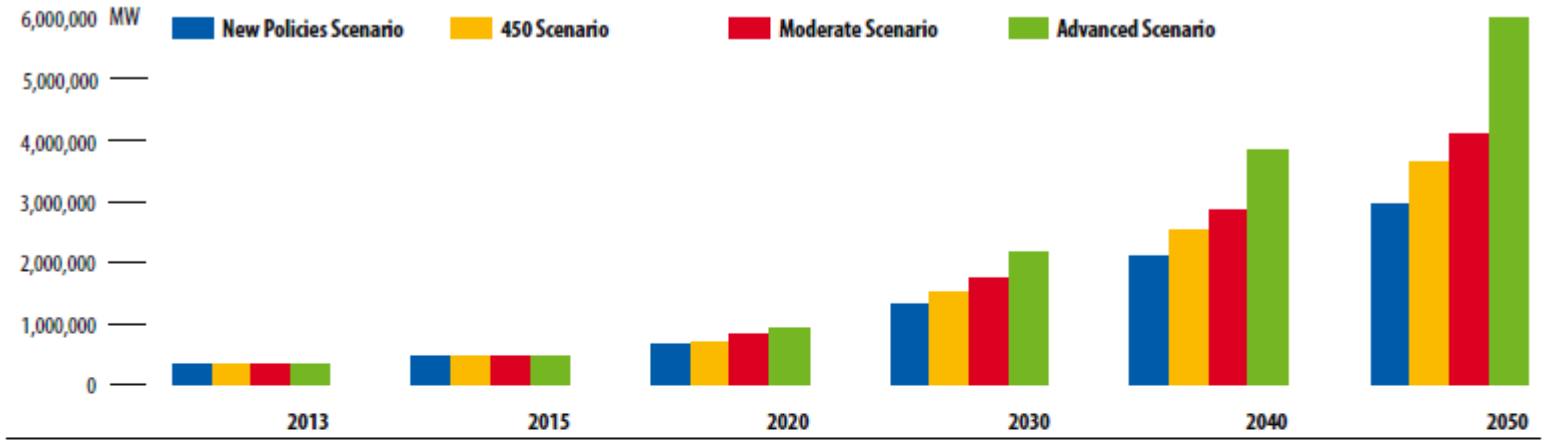
fppt.com

چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق

سناریوهای آینده انرژی باد در جهان:

- طبق سناریو پیشرفته، تا سال ۲۰۵۰ ظرفیت نصب شده جهانی انرژی باد به ۵۸۰۶ گیگاوات خواهد رسید.

GLOBAL CUMULATIVE WIND POWER CAPACITY



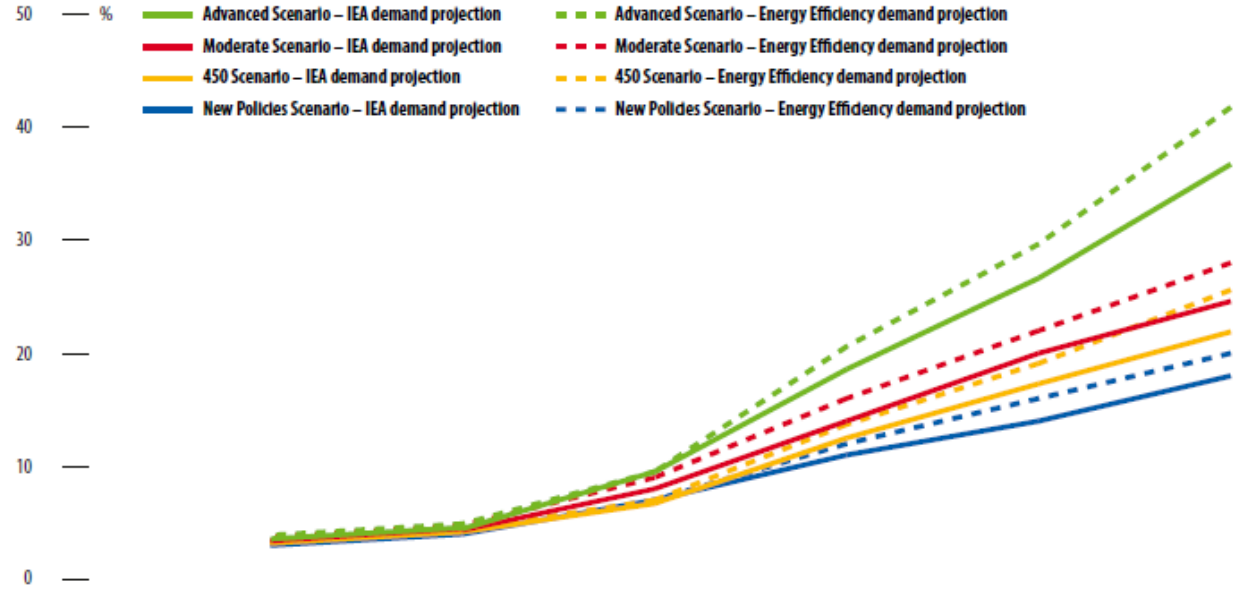
	2013	2015	2020	2030	2040	2050
New Policies Scenario						
MW	318,354	432,656	639,478	1,259,974	2,052,583	2,869,611
TWh/a	714	868	1,569	3,311	5,394	7,541
450 Scenario						
MW	318,354	432,656	658,009	1,454,395	2,458,757	3,545,595
TWh/a	714	868	1,614	3,822	6,462	9,318
Moderate Scenario						
MW	318,354	432,656	797,028	1,675,624	2,767,351	3,983,995
TWh/a	714	868	1,955	4,404	7,273	10,470
Advanced Scenario						
MW	318,354	432,656	879,446	2,110,161	3,720,919	5,805,882
TWh/a	714	868	2,157	5,546	9,779	15,258

fppt.com

چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق

سناریوهای آینده انرژی باد در جهان:

- سهم انرژی باد در تولید توان الکتریکی مورد نیاز بر اساس دو پیش‌بینی متفاوت از توسعه تقاضای انرژی الکتریکی



	2013	2015	2020	2030	2040	2050
New Policies Scenario						
IEA demand projection	3%	4%	7%	11%	14%	18%
Energy Efficiency demand projection	3%	4%	7%	12%	16%	20%
450 Scenario						
IEA demand projection	3%	4%	7%	13%	17%	22%
Energy Efficiency demand projection	3%	4%	7%	14%	19%	25%
Moderate Scenario						
IEA demand projection	3%	4%	8%	14%	20%	25%
Energy Efficiency demand projection	3%	4%	9%	16%	22%	28%
Advanced Scenario						
IEA demand projection	3%	4%	9%	18%	26%	36%
Energy Efficiency demand projection	3%	4%	9%	20%	29%	41%

fppt.com

چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق

سناریوهای آینده انرژی باد در جهان:

❖ پیش‌بینی بازار تا ۲۰۲۱:

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Cumulative [GW]	486.8	546.1	607.0	671.7	741.7	817.0
Cumulative capacity growth rate [%]	12.5%	12.2%	11.2%	10.7%	10.7%	10.4%
Annual installed capacity [GW]	54.6	59.4	60.9	64.7	70.0	75.3
Annual installed capacity growth rate [%]	-14.2%	8.8%	2.5%	6.2%	8.2%	7.6%

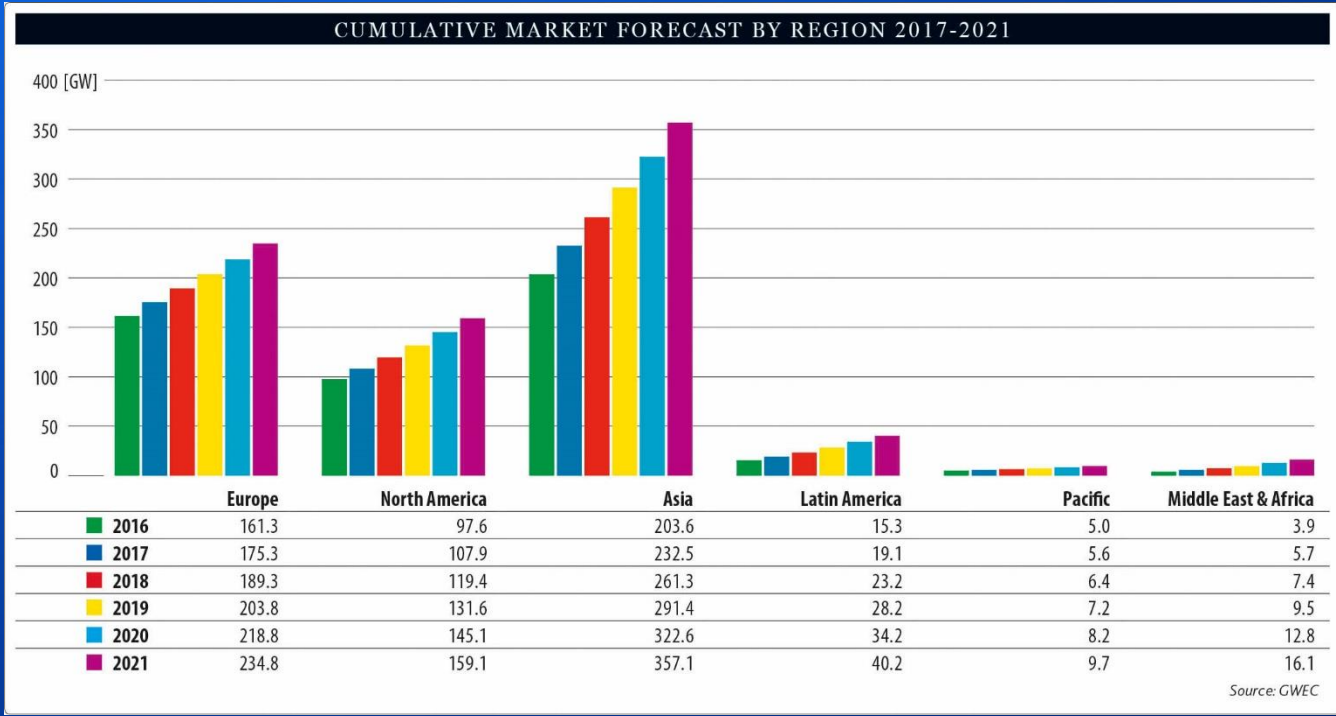
Source: GWEC

fppt.com

چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق

سناریوهای آینده انرژی باد در جهان:

- پیش‌بینی ظرفیت نصب شده بر اساس منطقه:



	Europe	North America	Asia	Latin America	Pacific	Middle East & Africa
2016	161.3	97.6	203.6	15.3	5.0	3.9
2017	175.3	107.9	232.5	19.1	5.6	5.7
2018	189.3	119.4	261.3	23.2	6.4	7.4
2019	203.8	131.6	291.4	28.2	7.2	9.5
2020	218.8	145.1	322.6	34.2	8.2	12.8
2021	234.8	159.1	357.1	40.2	9.7	16.1

Source: GWEC

fppt.com

چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق

چشم‌انداز مثبت بازار انرژی باد:

- پیشرفت تکنولوژی
- کاهش هزینه‌ها
- فراخوان استفاده از انرژی‌های پاک برای کاهش آلاینده‌ها و پاکیزگی هوا
- ایجاد شغل‌ها و صنایع جدید

fppt.com

توربین‌ها و مزارع بادی

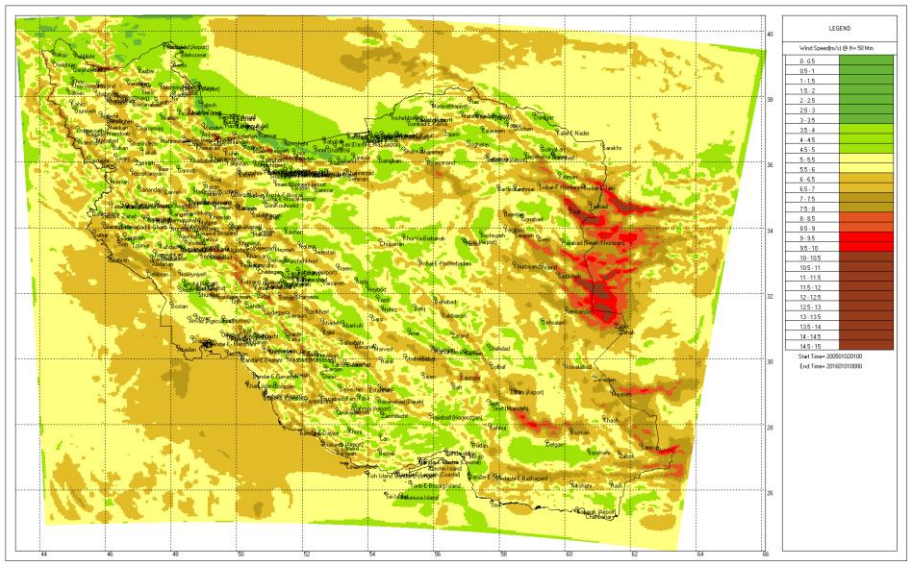
- معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی
- مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی
- چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق
- پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب
- زیرساخت‌های موردنیاز

fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

پتانسیل‌سنجی:

- جمع‌آوری اطلاعات باد و تهیه نقشه باد کلی
- برآورد پتانسیل انرژی بادی کشور و شناسایی مناطق بادخیز و مستعد
- بررسی مناطق برگزیده از روی نقشه با رزولوشون و جزئیات بیشتر



❖ باید در نظر داشت که اطلس‌های باد بدون در نظر گرفتن موانع، عوامل افزایش سرعت و یا شدت سختی منطقه تهیه می‌شوند. بنابراین ممکن است در مناطق با سرعت باد کمتر، بر روی تپه‌ها و بلندی‌ها مکان‌های خوبی برای نصب توربین یافت شود در مقایسه با مناطق پر باد سرپوشیده!

fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

شدت سختی منطقه و کاهش سرعت باد:

- در ارتفاع‌های زیاد از زمین، در فاصله‌های حدود ۱ کیلومتر، باد تحت تأثیر سطح زمین قرار نمی‌گیرد.
- در لایه‌های پایین‌تر جو، سرعت باد به شدت از اصطکاک با سطح زمین تأثیر می‌پذیرد.
- در پتانسیل‌سنجی انرژی باد سختی منطقه، اثر موانع، و تأثیر برآمدگی‌ها (مثل اثر تونل و تپه) اهمیت می‌یابند.

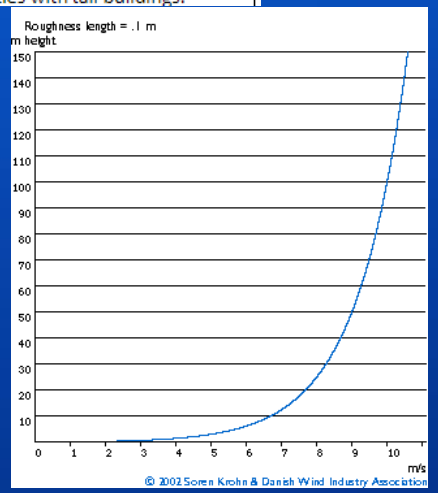
❖ شدت سختی **(Roughness)**:

- به طور کلی هرچقدر سختی یک منطقه بیشتر باشد، سرعت باد در آن منطقه بیشتر کاهش می‌یابد.
- جنگل‌ها و شهرهای بزرگ سرعت باد را به شدت کاهش می‌دهند در حالی که باندهای فرود سیمانی هواپیما به میزان کمی در سرعت باد منطقه اثر دارند. حتی سطوح آبی نسبت به سطوح سیمانی اثر کمتری بر سرعت باد دارند اما علفزارها، بوته‌ها و درختچه‌ها کاهش شدیدی در سرعت باد ایجاد می‌کنند.

fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

Roughness Class RC	Roughness Length, Z_0 [m]	Energy Index [%]	Local Terrain Type, Landscape, Topography, Vegetation
0	**0.0002**	100	Water surface.
0.5	**0.0024**	73	Completely open terrain with a smooth surface, such as concrete runways in airports, mowed grass.
1	**0.03**	52	Open agricultural area without fences and hedgerows and very scattered buildings. Only softly rounded hills.
1.5	**0.055**	45	Agricultural land with some houses and 8 meter tall sheltering hedgerows within a distance of about 1250 meters.
2	**0.1**	39	Agricultural land with some houses and 8 meter tall sheltering hedgerows within a distance of about 500 meters.
2.5	**0.2**	31	Agricultural land with many houses, shrubs and plants, or 8 meters tall sheltering hedgerows within a distance of about 250 meters.
3	**0.4**	24	Villages, small towns, agricultural land with many or tall sheltering hedgerows, forests and very rough and uneven terrain.
3.5	**0.8**	18	Larger cities with tall buildings.



:Roughness Classes

- در صنعت باد به منظور سنجش وضعیت باد در یک منطقه از کلاس‌های سختی استفاده می‌گردد.
- منظور از کلاس سختی بالای ۳ تا ۴ منطقه‌ای با درختان و ساختمان‌های زیاد است در حالی که کلاس سختی سطح یک دریا صفر می‌باشد.
- جاده‌های سیمانی و همچنین مناطق مسطح باز دارای سختی ۰/۵ هستند.

:Wind Shear

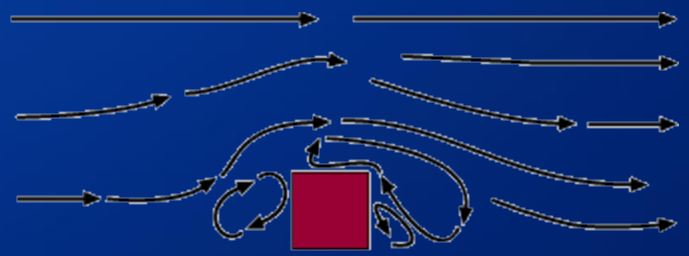
- نشان‌دهنده میزان کاهش سرعت در هر شدت سختی است.
- این مفهوم در طراحی توربین نیز اهمیت می‌یابد چرا که اگر توربینی با ارتفاع و قطر ۴۰ متر داشته باشیم، میزان نیروهای وارد شده به پره‌ها هنگامی که در بالاترین و پایین‌ترین موقعیت‌های خود قرار دارند متفاوت خواهد بود.
- شکل مقابل سرعت باد را برای یک منطقه با سختی ۲ و با فرض سرعت باد ۱۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰۰ متری نشان می‌دهد.

fppt.com

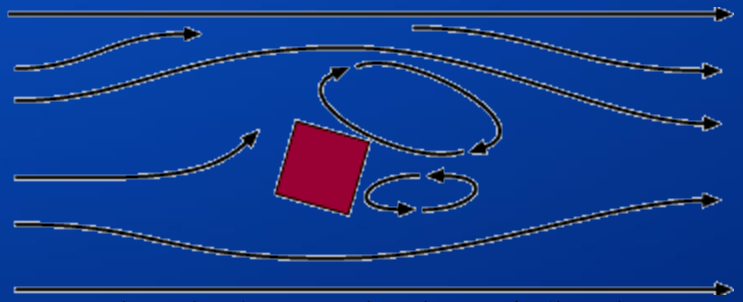
پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

موانع و اغتشاشات:

- موانع موجود بر سر راه باد مثل ساختمان‌ها، درختان، صخره‌ها و غیره می‌توانند به شدت سرعت باد را کاهش دهند و در اطراف خود اغتشاش ایجاد کنند.
- همان‌طور که از شکل‌ها می‌توان دید، گاهی اوقات موانع تا سه برابر ارتفاع خود اغتشاش ایجاد می‌کنند.
- شدت اغتشاشات در پشت مانع بیشتر از جلوی آن است و به همین علت بایستی از قرار دادن توربین‌های upwind روبروی موانع جلوگیری نمود.
- اثر مانع بر کاهش سرعت باد با افزایش ارتفاع و طول مانع بیشتر می‌شود. این اثر با نزدیک شدن به مانع و همچنین نزدیک شدن به سطح زمین شدیدتر می‌شود.
- اغتشاش موجب کاهش احتمال استفاده بهته از انرژی باد در توربین باد می‌شود. همچنین اثر خستگی و اصطحلاک بیشتری بر توربین وارد می‌کند.
- برج‌های توربین‌ها معمولا به قدر کافی بلند ساخته می‌شود تا از اغتشاشات باد در نزدیکی سطح زمین در امان باشند.



نمای کناری از جریان باد در حول یک مانع



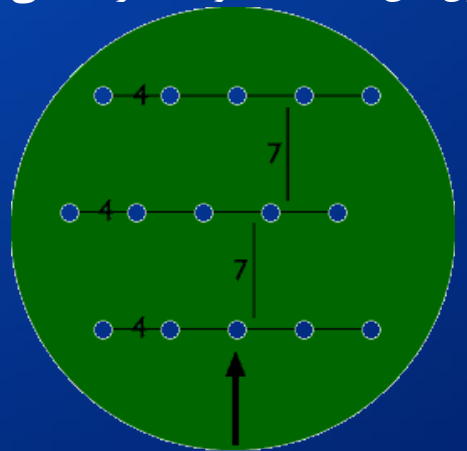
نمای بالا از جریان باد در حول یک مانع

fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

اثر دنباله (Wake Effect):

- طبق اصل پایستگی انرژی، بادی که توربین را ترک می‌کند نسبت به بادی که به آن برخورد کرده است انرژی کمتری دارد چرا که انرژی آن برای تولید برق گرفته شده است.
- در نتیجه همواره در پشت توربین‌ها دنباله‌ای از باد وجود دارد که کند و دارای اغتشاش است.
- این اثر در طراحی مزارع بادی بایستی مورد توجه قرار گیرد. به منظور قرار نگرفتن توربین‌ها در نزدیکی این اغتشاشات، در مزارع بادی توربین‌ها را با فاصله‌ای حداقل به اندازه سه برابر قطر روتور از هم قرار می‌دهند.
- در مزارع بادی فاصله توربین‌ها به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که در جهت اصلی باد حدود ۵ الی ۹ برابر قطر روتور و عمود بر جهت اصلی باد ۳ تا ۵ برابر قطر روتور از یکدیگر فاصله داشته باشند.
- با توجه به اندازه روتور، وضعیت وزش باد، شدت سختی منطقه، توسعه‌دهندگان توربین‌های بادی می‌توانند تلفات انرژی باد را به دلیل همپوشانی، محاسبه نمایند. به طور معمول این تلفات حدود ۵ درصد می‌باشد.



fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

اثر تونل:

- هنگام وزش باد در حضور دو مانع، هوا کمپرس شده و در میان دو مانع سرعت آن به شدت افزایش می‌یابد که به این پدیده اثر تونل گفته می‌شود.
- به عنوان مثال اگر سرعت باد در فضای آزاد ۶ متر بر ثانیه باشد، سرعت آن در یک تونل طبیعی می‌تواند به ۹ متر بر ثانیه برسد.
- قرار دادن توربین در چنین موقعیتی می‌تواند موجب دستیابی به سرعت‌های بیشتر شود.

اثر بلندی:

- بادی که به قله کوه‌ها می‌وزد، چگالتر و سریعتر می‌شود و پس از آن آهسته و گسترده می‌شود.
- بنابراین قرار دادن توربین‌ها بر روی بلندی موجب استفاده بهتر از انرژی باد می‌گردد.
- البته بایستی توجه داشت که باد پس از عبور از توربین دچار اغتشاش می‌شود و چنانچه بلندی دارای شیب زیاد یا سطح ناهموار باشد باعث تشدید اغتشاش‌ها می‌گردد و ممکن است اثر منفی بر سرعت باد بگذارد.

fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

انتخاب توربین:

- به منظور بهره‌وری از انرژی باد، بایستی اتدازه توربین با توجه به شرایط محلی باد بهینه گردد.
- در مناطقی که سرعت باد بالاست، استفاده از توربین‌های با ژنراتور بزرگ مناسب‌تر است چرا که می‌توانند از حداکثر انرژی باد برای تأمین انرژی الکتریکی بهره بگیرند. اما این توربین‌ها در بادهای با سرعت پایین عملکرد مناسبی ندارند و حرکت نمی‌کنند زیرا ژنراتورهای بزرگ به نیروی بیشتری برای چرخیدن احتیاج دارند.
- با نصب توربین در یک منطقه با سرعت باد پایین، خروجی سالانه توربین در صورتی حداکثر می‌گردد که از یک ژنراتور کوچک با سایز روتور مناسب استفاده گردد. به عنوان مثال برای یک ژنراتور ۶۰۰ کیلووات، قطر روتور می‌تواند از ۳۹ تا ۴۸ متر متغیر باشد.
- علت اینکه از یک ژنراتور کوچک در مناطق با باد کم خروجی بیشتری حاصل می‌شود این است که توربین در ساعات بیشتری در طول سال به چرخش درمی‌آید چون به نیروی کمتری نیاز دارد.

fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

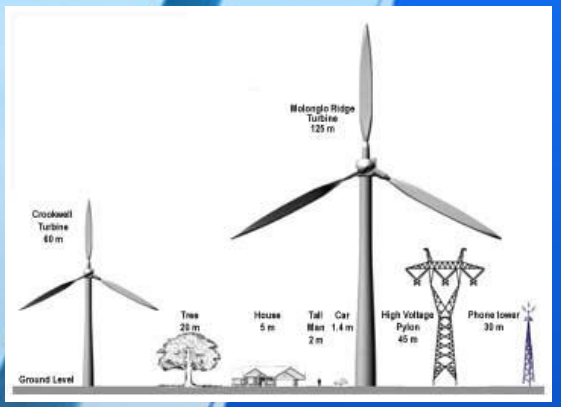
انتخاب توربین:

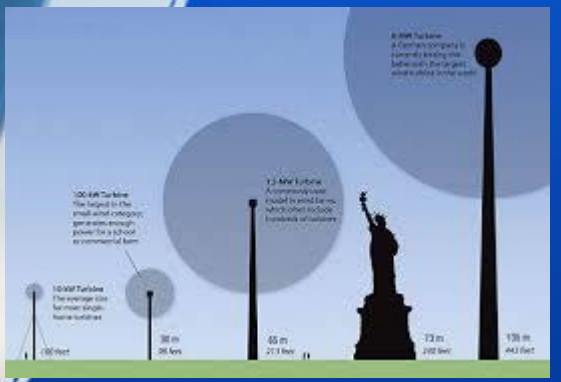
- استفاده از روتور بزرگ در کنار یک ژنراتور کوچک در مناطق با سرعت باد پایین موجب تولید برق در اکثر ساعات سال می‌گردد اما با استفاده از این ترکیب نمی‌توان از حداکثر توان باد در مناطق با سرعت باد بالا برای تولید برق بهره برد.
- به همین علت سازندگان بایستی با توجه به **توزیع سرعت باد** و همچنین **میزان انرژی باد در سرعت‌های مختلف**، ترکیب ایده‌آل سایز روتور و سایز ژنراتور را برای سایت موردنظر تعیین نمایند.
- سایز ایده‌آل توربین تنها بر اساس ویژگی‌های فنی تعیین نمی‌گردد و بلکه بایستی ترکیبی از ویژگی‌های فنی و مسائل اقتصادی در نظرگرفت تا هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی را با کمترین هزینه ممکن تولید کرد.
- حداکثر کردن توان تولیدی از انرژی باد در صورتی که مستلزم ساخت توربین بادی گران قیمت باشد، لزوماً بهترین راهکار نیست. با این حال ممکن است در برخی موارد بکارگیری همزمان چند نوع ژنراتور به دلیل قیمت برق مقرون به صرفه باشد.
- همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، هرچه ارتفاع برج بیشتر باشد توان تولیدی توربین بیشتر خواهد شد اما بایستی با توجه به سختی منطقه و قیمت برق، بررسی نمود که آیا افزایش ارتفاع برج اقتصادی خواهد بود یا خیر؟

fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

انتخاب توربین:





❖ دلایل استفاده از توربین‌های بزرگ:

- ✓ توربین‌های بزرگ نسبت به توربین‌های کوچک هر واحد توان الکتریکی را با هزینه کمتری تولید می‌کنند. زیرا هزینه فوندانسیون، ساخت جاده، اتصالات الکتریکی و همچنین برخی اجزای توربین مستقل از اندازه توربین می‌باشد.
- ✓ توربین‌های بزرگنر برای مزارع بادی offshore مناسبتر هستند زیرا هزینه فوندانسیون به نسبت سایز توربین زیاد نمی‌شود و همچنین هزینه نگهداری مستقل از سایز ان می‌باشد.
- ✓ در مناطقی که امکان نصب چندین توربین میسر نیست، با استفاده از یک توربین بزرگ با ارتفاع زیاد می‌توان از انرژی باد موجود بهره بیشتری برد.
- ✓ گاهی اوقات ممکن است ملاحظات زیبایی‌شناسی به استفاده از توربین‌های بزرگ الویت بخشد، چرا که توربین‌های بزرگ با سرعت دورانی کمتری می‌چرخند و توجه بصری کمتری جلب می‌کنند.

fppt.com

پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب

انتخاب توربین:

- دلایل استفاده از توربین‌های کوچک:
  - ✓ عدم توانایی شبکه محلی برای کنترل توان خروجی یک توربین بزرگ، بخصوص در مناطق دور افتاده که به علت جمعیت کم و مصرف پایین در منطقه شبکه آن ضعیف است.
  - ✓ وجود تغییرات کمتر در توان خروجی یک مزرعه بادی متشکل از توربین‌های کوچک در مقایسه با توان خروجی یک توربین بزرگ
  - ✓ هزینه استفاده از جرثقیل و ساخت جاده‌های مناسب برای حمل و نقل اجزای توربین‌ها ممکن است در برخی مناطق مقرون بصرفه نباشد و استفاده از توربین‌های کوچک را منطقی‌تر سازد.
  - ✓ استفاده از چندین توربین کوچک، ریسک تاشی از خراب شدن توربین‌ها را در شرایط مختلف کاهش می‌دهد.

fppt.com

توربین‌ها و مزارع بادی

- معرفی فناوری، اجزاء، مشخصات و انواع توربین‌ها و مزارع بادی
- مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های بادی
- چشم انداز انرژی باد در آینده صنعت برق
- پتانسیل‌سنجی و انتخاب توربین با مشخصات مناسب
- ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

fppt.com

ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

زیرساخت مورد نیاز:

- کارهای عمرانی
- ملاحظات الکتریکی
- سیستم نظارت و پایش

fppt.com

ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

زیرساخت مورد نیاز:

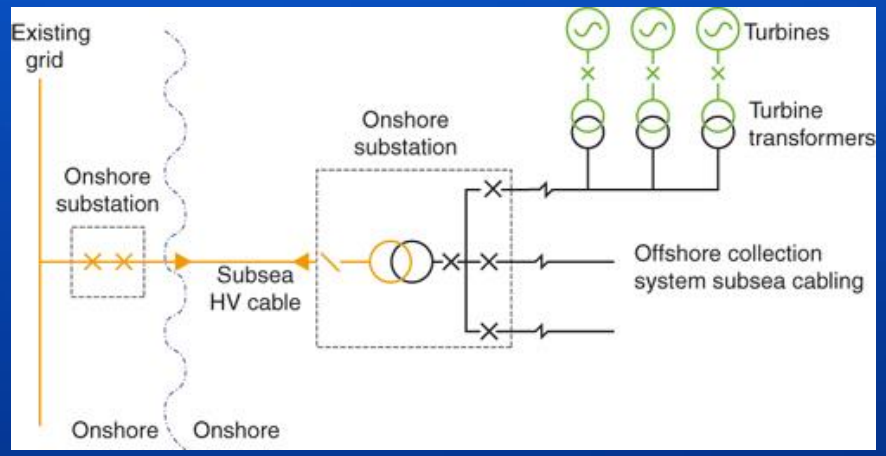
- کارهای عمرانی:
  - ساخت جاده و زه‌کشی
  - فوندانسیون‌های توربین بادی
  - فوندانسیون‌های دکل هواشناسی (و در برخی مواقع ساخت دکل‌ها)
  - ساختمان‌های برای تابلو برق‌ها، تجهیزات مرکزی اسکادا، و تجهیزات یدکی و تعمیرات و نگهداری

fppt.com

ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

زیرساخت مورد نیاز:

- ملاحظات الکتریکی:
  - تجهیزات در نقطه اتصال
  - خطوط زمینی یا هوایی جهت تشکیل فیدر شعاعی به توربین‌های بادی
  - تابلو برق جهت حفاظت و قطع کردن اتصال به فیدر
  - ترانسفورماتور و تابلو برق مجزا برای هر توربین (امروزه با خود توربین ارائه می‌شود)
  - تجهیزات جبران توان راکتیو در صورت لزوم
  - الکترودها و سیستم زمین



fppt.com

ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

زیرساخت مورد نیاز:

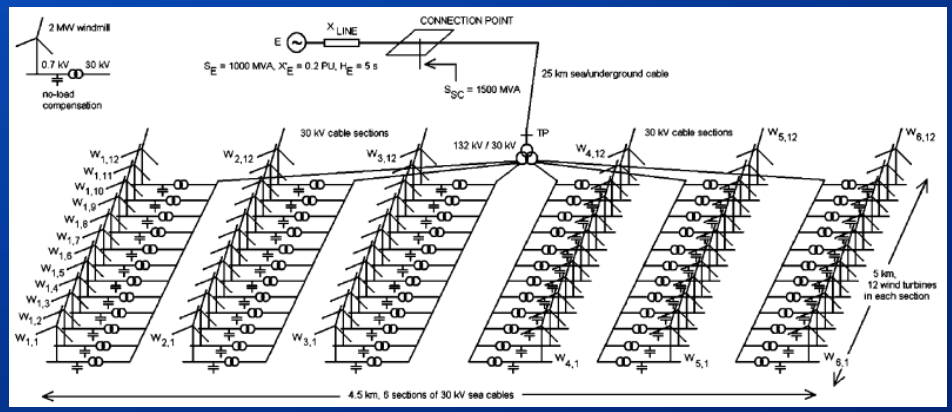
- ملاحظات الکتریکی:
  - ژنراتور توربین‌های بادی معمولاً ولتاژ پایین (زیر ۱۰۰۰ ولت) هستند و ولتاژ برخی توربین‌های بزرگتر تا ۳کیلووات هم می‌رسد.
  - اتصال مستقیم توربین‌ها به یکدیگر در ولتاژ پایین از نظر اقتصادی توجیه ندارد و بایستی ولتاژ هر ژنراتور توسط ترانسفورماتور تا سطح ولتاژ متوسط بالا بیاد.
  - به همین علت توربین‌های بادی در شبکه با ولتاژ متوسط (حدود ۱۰ تا ۳۵ کیلوولت) بهره‌برداری می‌شوند.

fppt.com

ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

زیرساخت مورد نیاز:

- ملاحظات الکتریکی:
  - شبکه ولتاژ متوسط توان‌های خروجی را به یک نقطه مرکزی انتقال می‌دهد که یا مستقیماً به شبکه محلی ولتاژ پایین متصل می‌گردد یا از طریق ترانسفورماتور پست به سطح ولتاژ بالاتر (۱۰۰-۱۵۰ کیلوولت) می‌رسد و به شبکه اصلی وصل می‌شود.
  - شبکه ولتاژ متوسط دارای فیدرهای شعاعی است زیرا بر خلاف سایر شبکه‌های قدرت، ساختار حلقه‌ای در این مزارع بادی توجیه‌پذیر نیست. بنابراین رخداد خطا در کابل یا ترانسفورماتور یک توربین موجب قطع تمامی توربین‌های فیدر می‌گردد.
  - در نقطه اتصال امکان وصل شدن مشترکین نیز وجود دارد. اثرات افت ولتاژ، فلیکر و جریان هارمونیک در این نقاط اهمیت می‌یابد.

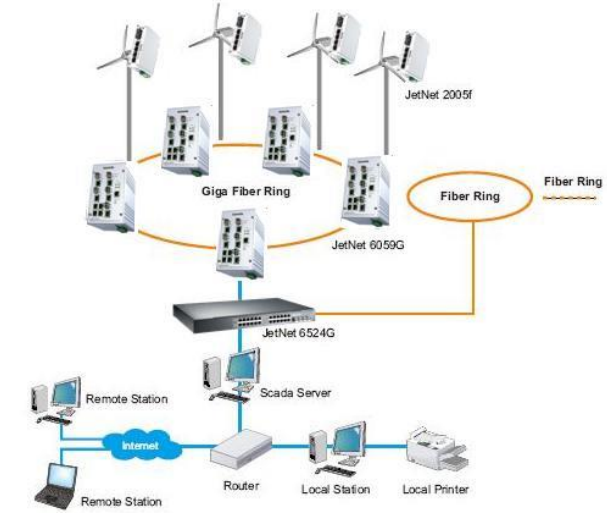


fppt.com

ملاحظات فنی و زیرساخت‌های موردنیاز

زیرساخت مورد نیاز:

- سیستم نظارت و پایش (اسکادا):
  - کامپیوتر مرکزی
  - کابل‌های سیگنال به توربین‌ها و دکل هواشناسی
  - تجهیزات اندازه‌گیری سرعت باد و دیگر شاخص‌های هواشناسی
  - تجهیزات اندازه‌گیری الکتریکی در مجاورت نقطه اتصال



fppt.com

با سپاس از توجه شما