



دانشگاه صنعتی (نوشیروانی) بابل

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-قدرت

موضوع:

ارائه یک روش جدید جهت حفاظت از ژنراتورهای

القایی دو سو تغذیه در هنگام بروز خطا

استاد راهنما:

دکتر سید اصغر غلامیان

استاد مشاور:

دکتر مجید شهابی

نام دانشجو:

عبدالرضا بابایی لاجیمی

شهریور ماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قدردانی

حمد و سپاس شایسته پروردگاریست که بشر را قدرت تفکر و تحصیل علم بخشید.

اینک که در سایه پرتو الطاف و عنایات خداوند سبحان، موفق به انجام پروژه پایان دوره شده ام، برخود می‌دانم سپاسگزار تمام آنهایی باشم که در این دوره، همراهی صمیمانه شان رهگشایم بود. از اساتید عزیز و گرانقدر دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بخصوص جناب آقای دکتر سید اصغر غلامیان که شاگردی ایشان برایم افتخاری بزرگ و تجربه ای گرانبها بوده است و یقیناً این پایان نامه بدون راهنمایی های دلسوزانه ایشان به سرانجام نمی رسید، و نیز از استاد مشاور، جناب آقای دکتر مجید شهابی که در به انجام رساندن این پایان نامه با تواناییهای علمی خود اینجانب را راهنمایی نمودند، نهایت تشکر و قدردانی می‌نمایم. برای این دو عزیز آرزوی سلامتی و سربلندی دارم.

از آقایان مهندسین محمد یزدانی اسرمی، علی عبادی و رامین طیبی به سبب همراهی شان در مراحل انجام پایان نامه و دلگرمی که به ایشان داشتم، صمیمانه سپاسگزارم.

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

و

مهمترین همسر با منم

چکیده

ژنراتورهای القایی با توجه به مزیت‌های اقتصادی و فنی، کاربرد گسترده‌ای در تولید انرژی الکتریکی بخصوص در نیروگاه‌های بادی دارند. در سال‌های اخیر، ژنراتورهای القایی دوسوتغذیه (DFIG)، به دلیل انعطاف پذیری در کنترل و کاهش هزینه‌های مربوط به ادوات الکترونیک قدرت، مورد توجه بیشتری قرار گرفته و کاربرد آنها به سرعت در حال افزایش است. هدف این پایان‌نامه، ارائه روشی است که بتواند، در هنگام بروز خطا، با هدف نگه داشتن ژنراتور در مدار و عدم آسیب رسیدن به آن، عملکرد مطلوبی در کنترل ولتاژ و کنترل جریان‌های خطا را دارا باشد. به این ترتیب، این روش قادر خواهد بود در تغییرات پارامترهای خروجی سیستم، نظیر تغییرات بار، ولتاژ و یا بروز اتصال کوتاه، عملکرد مطلوبی را از خود نشان دهد. جهت بررسی عملکرد این روش، شبیه‌سازیها در محیط Simulink نرم افزار MATLAB انجام شده است. در قسمت‌های الکتریکی مانند ژنراتور، خازن و ... از عناصر استاندارد این نرم افزار استفاده شده و بیشتر قسمت‌های کنترل‌لی با ترکیب بلوک‌های موجود و یا ایجاد بلوک‌های جدید انجام شده است. به این ترتیب روش ارائه شده در این پایان‌نامه، مزایای حفاظت ژنراتور در حین خطا، کنترل ولتاژ و جریان‌های خطا را خواهد داشت.

فهرست مطالب

شماره صفحات	عنوان
	فصل اول
۱۰.....	مقدمه
۱۱.....	۱-۱- باد
۱۲.....	۱-۲- چگونه یک توربین بادی کار می کند
۱۲.....	۱-۳- کاربرد توربینهای بادی
۱۳.....	۱-۴- انواع توربینهای بادی
۱۳.....	۱-۴-۱- توربینهای کوچک
۱۳.....	۱-۴-۲- توربینهای متوسط
۱۳.....	۱-۴-۳- توربینهای بزرگ
۱۴.....	۱-۵- تقسیم بندی توربینهای بادی از نظر استقرار
۱۴.....	۱-۵-۱- توربینهای بادی با محور چرخش عمودی
۱۴.....	۱-۵-۲- توربینهای بادی با محور چرخش افقی
۱۶.....	۱-۶- میزان انرژی دریافتی از باد
۱۷.....	۱-۶-۱- سرعت و رابطه توان
۱۸.....	۱-۶-۲- توان استخراجی از باد
۲۰.....	۱-۷- اجزای یک توربین بادی
۲۲.....	۱-۸- معرفی انواع ژنراتورهای بکار رفته در توربین های بادی
۲۳.....	۱-۸-۱- ژنراتورهای القایی
۲۴.....	۱-۸-۱-۱- ژنراتورهای القایی قفس سنجابی
۲۷.....	۱-۸-۱-۲- ژنراتورهای القایی رتور سیم پیچی شده
۲۸.....	۱-۸-۱-۳- ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه
۳۰.....	۱-۸-۲- ژنراتورهای سنکرون
۳۱.....	۱-۸-۲-۱- ژنراتورهای سنکرون با تحریک کلاسیک
۳۲.....	۱-۸-۲-۲- ژنراتورهای سنکرون با تحریک آهنربا دائم
۳۲.....	۱-۹- مقایسه انواع ژنراتورهای بکار رفته در نیروگاههای بادی
	فصل دوم
۳۵.....	پیشینه تحقیق
۳۶.....	۲-۱- مقدمه
۳۷.....	۲-۲- بررسی اجمالی ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحات
۳-۲- کنترل ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه در طول مدت اتصال کوتاه.....	۳۸
۳-۳-۱- غیر فعال کردن کانورتر.....	۳۸
۳-۳-۲- مقاومت کربار.....	۳۹
۳-۳-۳- کنترل توان با تغییر زاویه پره.....	۴۱
۳-۳-۴- تزریق ولتاژ به صورت سری با شبکه.....	۴۲
۳-۳-۵- روش متداول در جریان خطا در نیروگاه های بادی.....	۴۵

فصل سوم

ارائه و شبیه سازی مدل پیشنهادی جهت حفاظت از ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه هنگام

بروز خطا.....	۴۷
۳-۱- مدل و روابط ژنراتور القایی دو سو تغذیه DFIG.....	۴۸
۳-۲- روش کلی ژنراتور القایی دو سو تغذیه.....	۵۱
۳-۲-۱- کنترل کانورتر سمت رتور.....	۵۲
۳-۲-۲- کنترل کانورتر سمت شبکه.....	۵۳
۳-۲-۳-۱- کنترل کانورتر فاز C.....	۵۳
۳-۲-۳-۲- کنترل کانورتر فاز A.....	۵۴
۳-۲-۳-۳- کنترل کانورتر فاز B و محدود سازی جریان خطا.....	۵۵
۳-۳- روش جدید پیشنهادی.....	۵۶

فصل چهارم

شبیه سازی توربین بادی DFIG و نتایج.....	۵۸
۴-۱- مقدمه.....	۵۹
۴-۲- مدل DFIG.....	۵۹
۴-۳- خطای اتصال کوتاه یک فاز به زمین.....	۶۱
۴-۳-۱- نتایج شبیه سازی روش کلی ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه در طول مدت خطا.....	۶۳
۴-۳-۲- نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه در طول مدت خطا.....	۶۵
۴-۴- خطای اتصال کوتاه دو فاز به زمین.....	۶۷

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات.....	۷۱
-----------------------------	----

فهرست مطالب

شماره صفحات	عنوان
۷۲.....	۱-۵- نتیجه گیری.....
۷۲.....	۲-۵- پیشنهادات.....
۷۴.....	منابع و مراجع.....

فهرست شکل ها

شماره صفحات

عنوان

فصل اول

- شکل (۱-۱) : انواع توربین های بادی از حیث اندازه..... ۱۴
- شکل (۲-۱): توربین های با محور چرخش افقی و عمودی..... ۱۵
- شکل (۳-۱): تأثیر ارتفاع در سرعت و انرژی دریافتی از باد..... ۱۶
- شکل (۴-۱): نمودار راندمان رتور بر حسب $(\frac{v}{v_c})$ ۲۰
- شکل (۵-۱): اجزای بکار رفته در یک نمونه از توربین بادی..... ۲۲
- شکل (۶-۱): منحنی توان - سرعت با دو سرعت سنکرون..... ۲۵
- شکل (۷-۱): نحوه اتصال ژنراتورهای القایی قفس سنجابی به شبکه..... ۲۶
- شکل (۸-۱): نحوه اتصال سیستم راه انداز به ژنراتور القایی..... ۲۷
- شکل (۹-۱): نحوه اتصال DFIG به شبکه..... ۲۹
- شکل (۱۰-۱): نحوه اتصال ژنراتورهای SG..... ۳۱

فصل دوم

- شکل (۱-۲): مدل DFIG..... ۳۷
- شکل (۲-۲): نحوه اتصال مقاومت کربار به ژنراتور..... ۳۹
- شکل (۳-۲): بیشینه جریان رتور به ازای تغییر مقاومت کربار..... ۴۱
- شکل (۴-۲): شمای تزریق ولتاژ به صورت سری با شبکه..... ۴۳
- شکل (۵-۲): جبران نامتعادلی ولتاژ در DFIG..... ۴۴
- شکل (۶-۲): محدود کردن جریان خطا..... ۴۵

فصل سوم

- شکل (۱-۳): توربین بادی DFIG..... ۴۸
- شکل (۲-۳): مدار معادل DFIG..... ۴۹
- شکل (۳-۳): بلوک دیاگرام روش ارائه شده..... ۵۲
- شکل (۴-۳): بلوک دیاگرام لینک dc..... ۵۴
- شکل (۵-۳): بلوک دیاگرام تولید ولتاژ توالی منفی..... ۵۵
- شکل (۶-۳): بلوک دیاگرام محدود سازی جریان خطا..... ۵۶
- شکل (۷-۳): بلوک دیاگرام محدود سازی جریان خطا در هرفاز..... ۵۷

فصل چهارم

- شکل (۱-۴): یک سیستم قدرت ساده جهت اتصال به توربین بادی..... ۶۰
- شکل (۲-۴): مدل شبیه سازی شده DFIG..... ۶۰
- شکل (۳-۴): شماتیک طرز کار کانورترها..... ۶۱
- شکل (۴-۴): ولتاژ استاتور در طول مدت خطای تک فاز..... ۶۲

- شکل (۴-۵): جریان استاتور در طول مدت خطای تک فاز ۶۲
- شکل (۴-۶): توان اکتیو خروجی DFIG در طول مدت خطای تک فاز ۶۲
- شکل (۴-۷): توان راکتیو خروجی DFIG در طول مدت خطای تک فاز ۶۳
- شکل (۴-۸): ولتاژ استاتور روش اصلاح شده تزریق سری ولتاژ DFIG در طول مدت خطای تک فاز ۶۴
- شکل (۴-۹): جریان استاتور روش اصلاح شده تزریق سری ولتاژ DFIG در طول مدت خطای تک فاز ۶۴
- شکل (۴-۱۰): توان اکتیو خروجی روش اصلاح شده تزریق سری ولتاژ DFIG در طول مدت خطای تک فاز ۶۴
- شکل (۴-۱۱): توان راکتیو خروجی روش اصلاح شده تزریق سری ولتاژ DFIG در طول مدت خطای تک فاز ۶۵
- شکل (۴-۱۲): ولتاژ استاتور طرح پیشنهادی در طول مدت خطای تک فاز ۶۵
- شکل (۴-۱۳): جریان استاتور طرح پیشنهادی در طول مدت خطای تک فاز ۶۶
- شکل (۴-۱۴): توان اکتیو خروجی DFIG طرح پیشنهادی در طول مدت خطای تک فاز ۶۶
- شکل (۴-۱۵): توان راکتیو خروجی DFIG طرح پیشنهادی در طول مدت خطای تک فاز ۶۶
- شکل (۴-۱۶): ولتاژ استاتور در طول مدت خطای دو فاز ۶۷
- شکل (۴-۱۷): جریان وتور در طول مدت خطای دو فاز ۶۸
- شکل (۴-۱۸): توان اکتیو خروجی DFIG در طول مدت خطای دو فاز ۶۸
- شکل (۴-۱۹): توان راکتیو خروجی DFIG در طول مدت خطای دو فاز ۶۸
- شکل (۴-۲۰): ولتاژ استاتور طرح پیشنهادی در طول مدت خطای دو فاز ۶۹
- شکل (۴-۲۱): جریان وتور طرح پیشنهادی در طول مدت خطای دو فاز ۶۹
- شکل (۴-۲۲): توان اکتیو خروجی DFIG طرح پیشنهادی در طول مدت خطای دو فاز ۷۰
- شکل (۴-۲۳): توان راکتیو خروجی DFIG طرح پیشنهادی در طول مدت خطای دو فاز ۷۰

فصل پنجم

-

فهرست جدول ها

شماره صفحات

عنوان

فصل اول

جدول (۱-۱): مزایا و معایب انواع ژنراتورهای توربین بادی ۳۲

فصل دوم

-

فصل سوم

-

فصل چهارم

جدول (۱-۴): پارامترهای DFIG ۵۹

فصل پنجم

-

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- باد

انرژی بادی بیش از ۲۰۰۰ سال است که مورد استفاده قرار گرفته است. اولین آسیابهای بادی که در ایران مورد استفاده قرار گرفتند از باد برای تولید انرژی مکانیکی (آسیاب و خرد کردن غلات و تبدیل آن به آرد) استفاده می کردند.

در سالهای آغازین قرن بیستم، آسیابهای بادی برای کشیدن آب از زیرزمین مورد استفاده قرار گرفتند و امروزه هنوز بدین منظور بکار گرفته می شوند. پس از گسترش ژنراتورهای بادی، طولی نکشید که در مناطق دور افتاده استرالیا یعنی جاهایی که برق از ژنراتور های شهری تامین نمی شد، این توربین ها مورد استفاده قرار گرفتند. در اواسط قرن نوزدهم تنها در انگلستان بیش از ۱۰۰۰۰ آسیاب بادی کار می کرد.

استفاده جدی از توربین های بادی زمان بحران نفت در ۱۹۷۰ رخ داد که توجه بشر را به تولید نیروی برق مداوم و ایمن معطوف ساخت. که این امر مستقیماً به استقرار نیروی باد بعنوان منبع انرژی جهانی که سریعترین میزان رشد را داشته، منجر شد. بازاری که تنها در اروپا رشد متوسط سالانه ۳۰ درصدی داشته است یعنی نرخ رشدی که فقط با صنعت کامپیوتر و ارتباطات از راه دور برابری می کند. هم اکنون تغییرات جوی و موضوعات امنیتی انگیزش بیشتری برای بوجود آوردن منابع انرژی متنوع که ادامه یافتنی باشند و آلودگی ایجاد نکنند را فراهم می سازد.

اولین مزرعه بادی تجاری در انگلستان در سال ۱۹۹۱ در دلابول^۱ واقع در کرن وال^۲ ساخته شد که از توربین های ۴۰۰ کیلوواتی استفاده می کرد [۱].

¹ Delabole

² carnwall

۲-۱- چگونه یک توربین بادی کار می کند

توربین های بادی، با استفاده از نیروی طبیعی باد برای به حرکت درآوردن ژنراتور، الکتریسیته تولید می کنند.

از بسیاری جهات، توربین های بادی تکامل طبیعی آسیابهای بادی سنتی می باشند، اما اکنون معمولاً سه پره دارند که حول یک حلقه مرکزی افقی (که در نوک برج فولادی قرار دارد) اتصال داشته و می چرخد. یک توربین بادی دستگاهی است که دارای تعدادی پره می باشد که قابلیت دریافت انرژی، از باد و تبدیل آن را از طریقی یک محور به انرژی مکانیکی دارا می باشد این انرژی مکانیکی در غالب موارد به یک ماشین الکتریکی منتقل می شود و در نهایت انرژی الکتریکی تولید می شود [۲].

بیشتر توربین های بادی زمانی که سرعت باد حدود ۳-۴ متر در ثانیه می باشد، شروع به تولید برق می نمایند و حداکثر مجاز برق را در حدود ۱۵ متر در ثانیه تولید می کنند و برای جلوگیری از خسارات حاصل از توفان در ۲۵ متر در ثانیه و یا بیشتر متوقف شده و از کار می افتند.

۳-۱- کاربرد توربین های بادی

الف- کاربرد غیر نیروگاهی شامل:

۱. پمپهای بادی آبکش جهت:

- تامین آب آشامیدنی حیوانات در مناطق دور افتاده
- آبیاری در مقیاس کم
- آبکشی از عمق کم جهت پرورش آبزیان
- تامین آب مصرفی خانگی

۲. کاربرد توربین های بادی کوچک بعنوان تولید کننده برق برای:

- مصرف جزیره ها، مکان های دور افتاده از شبکه برق

- تامین برق شارژ باتری

ب- کاربردهای نیروگاهی

۱. نیروگاههای بادی منفرد جهت تامین انرژی الکتریکی واحدهای مسکونی، تجاری، صنعتی و یا

کشاورزی

۲. مزارع برق بادی جهت تامین بخشی از تقاضای انرژی برق شبکه

۱-۴- انواع توربین های بادی

توربین های بادی را از حیث اندازه نیز به سه دسته تقسیم می کنند:

۱-۴-۱- توربین های کوچک

توربین های کوچک قادرند ۵۰ تا ۶۰ کیلو وات انرژی تولید کنند. پره های روتور آن روی دایره ای به قطر

۱ تا ۱۵ متر می چرخند. توربین های بادی کوچک اصولاً در جاهای دور افتاده و جاهایی که برق رسانی به آنها

به صرفه نیست به کار می روند.

۱-۴-۲- توربین های متوسط

بیشتر ژنراتورهای بادی تجاری از نوع دوم هستند قطر دایره ای که پره های روتور روی آن جابجا می شود ۱۵ تا

۶۰ متر است و ۵۰ تا ۵۰۰ کیلو وات انرژی تولید می کنند. برخی از انواع آنها بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ کیلو وات برق

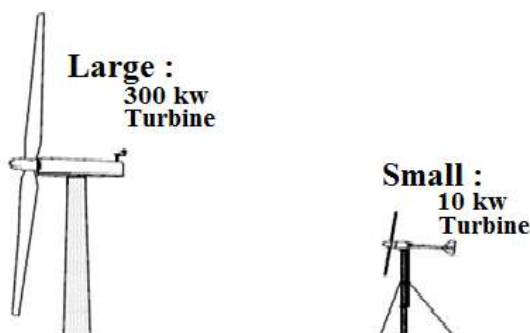
تولید می کنند.

۱-۴-۳- توربین های بزرگ

توربین های بزرگ که قطر دایره حرکت پره ها در آنها ۶۰ تا ۱۰۰ متر است، بین ۲ تا ۳ مگاوات انرژی

الکتریکی تولید می کنند. با افزایش تعداد کارخانه ها و بزرگ شدن آنها، فکر استفاده از توربین های متوسط

غالب شده است. بطوریکه بسیاری از کشورها روی این موضوع سرمایه گذاری کردند. اما به زودی مشخص گردید که مزایای اقتصادی توربین های بزرگ و قابلیت اطمینان آنها در مقابل توربین های متوسط به مراتب کمتر است. شکل (۱-۱)، این تقسیم بندی را نشان می دهد.



شکل (۱-۱): انواع توربین های بادی از حیث اندازه

۱-۵- تقسیم بندی توربین های بادی از نظر استقرار

توربین های بادی از لحاظ نحوه استقرار و ساختمان آن ها به دو گروه بعدی تقسیم می گردند:

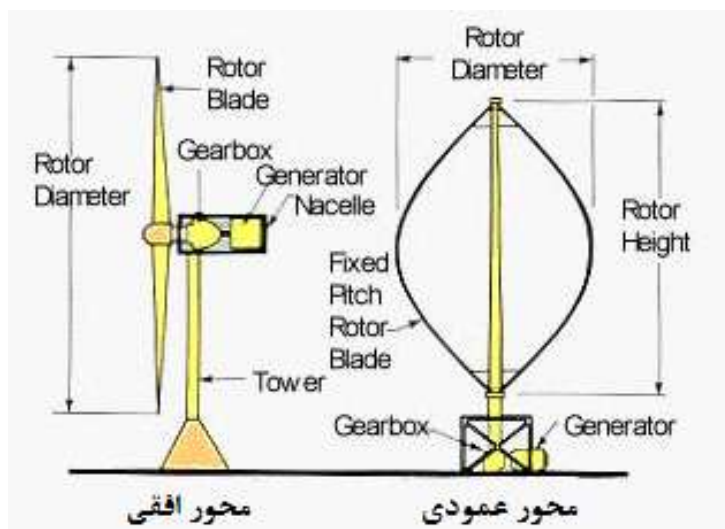
۱-۵-۱- توربین های بادی با محور چرخش عمودی

این توربین ها از دو بخش اصلی تشکیل شده اند: یک میله اصلی که رو به باد قرار می گیرد و میله های عمودی دیگر که عمود بر جهت باد کار گذاشته می شوند. ساخت این توربین ها بسیار ساده بوده و همچنین بازده پایین نیز دارند. در این نوع توربین ها در یک طرف توربین، باد بیشتر از طرف دیگر جذب می شود و باعث می گردد که لنگر پیدا کرده و بچرخد. یکی از مزایای این سیستم وابسته نبودن آن به جهت وزش باد می باشد.

۱-۵-۲- توربین های بادی با محور چرخش افقی

این توربین ها نسبت به مدل محور عمودی رایج تر بوده همچنین از لحاظ تکنولوژی، پیچیده تر و گرانتر نیز می باشند. ساخت آنها مشکلتر از نوع محور عمودی بوده ولی راندمان بسیار بالایی دارند. در سرعت های پایین

نیز توانایی تولید انرژی الکتریکی را داشته و توانایی تنظیم جهت در مسیر وزش باد را نیز دارند. این توربین‌ها دارای ۳ یا در مواردی ۲ پره می‌باشند که روی یک برج بلند نصب می‌شوند. این پره‌ها همواره در جهت وزش باد قرار می‌گیرند [۳]. شکل (۱-۲)، توربین نمونه افقی و عمودی را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲): توربین‌های با محور چرخش افقی و عمودی

توربین‌های افقی معمولاً از نظر سرعت به دو کم سرعت و پر سرعت دسته تقسیم می‌شوند.

مهمترین عامل در تعیین سرعت توربین‌های بادی محور افقی، تعداد پره‌ها می‌باشد. هرچه تعداد پره‌ها بیشتر باشد، سرعت کمتر است و گشتاور بیشتری تولید می‌کند. پر طرفدارترین این توربین‌ها، نوع سه پره می‌باشد.

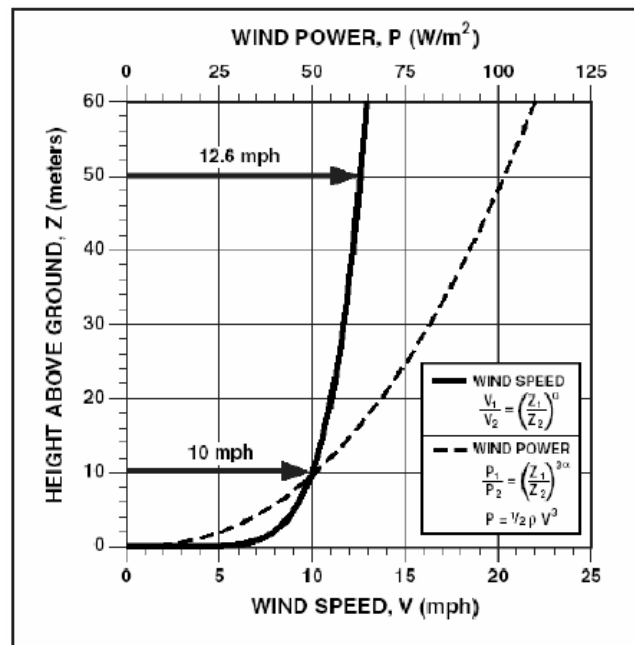
وقتی یک توربین بادی انتخاب می‌شود، قسمت اساسی و مهم، ساختمان پره‌های آن است. مواد ساختمانی یک پره ممکن است از چوب و یا چوبهایی باشد که بهم چسبانده شده و روی آن روکشی از فایبر گلاس قرار می‌گیرد. هر گاه پره فاقد فایبر گلاس باشد، برای جلوگیری از عوامل جوی از قبیل شن ریزه، باران و غیره، روی آن روکشی از مس یا سایر فلزات قرار می‌دهند.

۱-۶- میزان انرژی دریافتی از باد

خوشبختانه توربین های بادی توانایی کارکردن با هر نوع بادی را دارند و نوع بادهای در بازدهی آنها تاثیری ندارند. از نکات جالب در طراحی توربین های بادی این است که با افزایش ۵۰ متر در ارتفاع توربین های بادی میزان انرژی دریافتی ۱۰۰ درصد افزایش می یابد. میزان تاثیر گذاری ارتفاع در چگالی انرژی قابل دریافت در فرمول زیر نیز به خوبی مشهود است. شکل (۱-۳)، تأثیر ارتفاع در سرعت و انرژی دریافتی از باد را نشان می دهد.

$$kV_2/V_1 = P_2/P_1 \quad P_2/P_1 = (Z_2/Z_1)^{3K} \quad (1-1)$$

که در این فرمول معرف ارتفاع است، P چگالی انرژی و V سرعت باد را نشان می دهد. K نیز درجه پایداری نامیده می شود.



شکل (۱-۳): تأثیر ارتفاع در سرعت و انرژی دریافتی از باد

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

$$P = \frac{1}{2} \alpha \rho \pi r^2 v^3 \quad (2-1)$$

که در این فرمول P توان تبدیلی به وات، α ضریب بهره وری (که به طراحی توربین وابسته است) ρ چگالی وزنی باد بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، r شعاع پره های توربین بر حسب متر و v سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه است. در سال ۱۹۱۹ اثبات شد که یک توربین حداکثر می تواند ۵۹ درصد از انرژی را که در مسیر آن می وزد را استخراج کند و به این ترتیب α در معادله بالا هرگز بیشتر از ۰/۵۹ نخواهد شد [۳].

۱-۶-۱ - سرعت و رابطه توان

توربین از طریق برخورد باد به پره ها انرژی دریافت می کند. روابط حاکم بر تولید انرژی از باد، از انرژی جنبشی حرکت هوا حاصل می شود. انرژی جنبشی در توده ای هوای m که با سرعت v حرکت می کند با رابطه ای زیر در واحدهای SI داده می شود [۴، ۵].

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3-1)$$

قدرت هوای متحرک برابر با نرخ عبور انرژی جنبشی در ثانیه می باشد. بنابراین :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (4-1)$$

نرخ گذر توده ای هوا به کیلوگرم در ثانیه برابر $\rho.A.v$ می باشد. پس توان با رابطه ای زیر می تواند داده شود:

$$P = \frac{1}{2} (\rho.A.v) v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (5-1)$$

که A در رابطه بالا مساحت دایره ایست که از چرخش پره های توربین بادی حاصل می شود. دو سایت بادی بوسیله ی واحد توان در متر مربع از منطقه ی جاروب شده بوسیله ی پره های گردان مقایسه می شوند. این مقدار همچنین به تراکم توان در سایت اشاره دارد و با رابطه ی زیر داده می شود:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (6-1)$$

۱-۶-۲- توان استخراجی از باد

توان واقعی که بوسیله ی پره های رتور استخراج می شود برابر با تفاوت بین توان باد جریان بالا و جریان پایین می باشد [۶].

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho (v^2 - v_0^2) \quad (7-1)$$

سرعت باد از مقدار v به v_0 در سطح رتور ناپیوسته است. بنابراین نرخ عبور توده ی هوا، بوسیله ی حاصل ضرب تراکم در متوسط سرعت به دست می آید.

$$\text{نرخ عبور توده ی هوا} = \rho \cdot A \cdot \frac{v + v_0}{2} \quad (8-1)$$

توان مکانیک که بوسیله ی رتور استخراج شده و به ژنراتور الکتریکی تحویل داده می شود برابر است با :

$$P_0 = \frac{1}{2} \left[\rho \cdot A \frac{(v + v_0)}{2} \right] \cdot (v^2 - v_0^2) \quad (9-1)$$

رابطه ی فوق را می توان به صورت زیر نوشت :

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \frac{(1 + \frac{v_0}{v})(1 - (\frac{v_0}{v})^2)}{2} \quad (10-1)$$