



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش کنترل

عنوان

تعیین روند انتخاب توربین های بادی خانگی (توربین های بادی

کوچک)

استاد راهنما

دکتر رضا امیدی

نگارش

محمد رضا اکبری

پاییز ۹۵

## فهرست مطالب

چکیده	۱
فصل اول انرژی باد	۴
۱-۱- تعریف باد:	۵
۱-۲- مزایای انرژی باد:	۵
۱-۳- ناکارآمدیهای انرژی بادی:	۶
۱-۴- بررسی اقتصادی استفاده از انرژی باد:	۶
۱-۵- آینده انرژی باد در ایران:	۸
فصل دوم توربین های بادی	۹
۱-۲- تعریف توربین بادی:	۱۰
۲-۲- کاربرد توربین های بادی:	۱۰
۲-۳- انواع توربین های بادی بر اساس سرعت:	۱۱
۲-۳-۱- سرعت باد:	۱۱
۲-۳-۲- سرعت باد در توربین های بادی:	۱۱
۲-۴- دسته بندی توربین های بادی بر حسب اندازه:	۱۱
فصل سوم توربین های بادی کوچک	۱۳
۳-۱- اساس توربین های بادی کوچک:	۱۴
۳-۲- چگونگی کارکرد توربین های بادی کوچک:	۱۵
۳-۳- طراحی و ساخت توربین های بادی کوچک:	۱۵
۳-۴- اجزای یک توربین بادی کوچک:	۱۶
۳-۵- انواع توربین های بادی کوچک و مکانیزم کار آنها:	۱۸

- ۳-۶- توربین بادی با محور چرخش عمودی (VAWT): ..... ۲۰
- ۳-۶-۱- چرخش توربینهای بادی بر پایه نیروی درگ: ..... ۲۴
- ۳-۶-۲- چرخش توربینهای بادی بر پایه نیروی لیفت: ..... ۲۵
- ۳-۶-۳- مزایای توربینهای بادی محور عمودی: ..... ۲۷
- ۳-۶-۴- معایب توربینهای بادی محور عمودی: ..... ۲۷
- ۳-۷- توربینهای بادی با محور چرخش افقی (HAWT): ..... ۲۸
- ۳-۷-۱- اجزاء اصلی توربینهای بادی محور افقی: ..... ۲۹
- ۳-۷-۲- مزایای توربینهای بادی محور افقی: ..... ۳۱
- ۳-۷-۳- معایب توربینهای بادی محور افقی: ..... ۳۲
- ۳-۸- گیربکس های مورد استفاده در توربین های بادی کوچک: ..... ۳۲
- ۳-۹- ترمز مورد استفاده در توربین های بادی کوچک (در توان کمتر از ۱۰ کیلووات): ..... ۳۳
- ۳-۱۰- ژنراتورهای مورد استفاده در توربین های بادی کوچک: ..... ۳۳
- ۳-۱۱- سیستم کنترلی توربین های بادی کوچک: ..... ۳۸
- ۳-۱۲- دسته بندی انواع سیستم کنترلی توربین های بادی کوچک: ..... ۳۸
- ۳-۱۳- ساختار کنترلی توربین های بادی کوچک: ..... ۴۲
- ۳-۱۴- عملکرد روش های تولید برق (قدرت) در توربین های بادی کوچک: ..... ۴۴
- ۳-۱۵- استراتژی های مختلف کنترل توربین های بادی کوچک: ..... ۴۴
- مراجع: ..... ۴۶

## چکیده

گسترده‌گی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از مسائل اساسی مهم در زندگی بشر بوده و تلاش برای دستیابی به یک منبع تمام نشدنی انرژی از آرزوهای دیرینه انسان بوده است، از نقوش حک شده بر دیوار غارها می‌توان دریافت که بشر اولیه توانسته بود نیروی ماهیچه‌ای را به عنوان یک منبع انرژی مکانیکی به خوبی شناخته و از آن استفاده کند. ولی از آنجایی که این نیرو بسیار محدود و ضعیف است انسان همواره در تصورات خود نیرویی تمام نشدنی را جستجو می‌کرد که همواره در هر زمان و مکان در دسترس باشد. این موضوع را می‌توان در داستانهای مختلف که ساخته تخیل و ذهن بشر نخستین بوده، به خوبی دریافت. کم‌کم با پیشرفت تمدن بشری، چوب و پس از آن ذغال سنگ، نفت و گاز وارد بازار انرژی گردیدند. اما به دلیل افزایش روز افزون نیاز به انرژی و محدودیت منابع فسیلی از یک سو افزایش آلودگی محیط زیست ناشی از سوزاندن این منابع از سوی دیگر استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر را روز به روز با اهمیت تر و گسترده تر نموده است.

انرژی باد یکی از انواع اصلی انرژی‌های تجدید پذیر می‌باشد که از دیر باز ذهن بشر را به خود معطوف کرده بود به طوری که وی همواره به فکر کاربرد این انرژی در صنعت بوده است. بشر از انرژی باد برای به حرکت در آوردن قایقها و کشتیهای بادبانی و آسیابهای بادی استفاده می‌کرده است. در شرایط کنونی نیز با توجه به موارد ذکر شده و توجیه پذیری اقتصادی انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژیهای نو، پرداختن به انرژی باد امری حیاتی و ضروری به نظر می‌رسد. در کشور ما ایران- قابلیتها و پتانسیل‌های مناسبی جهت نصب و راه اندازی توربین‌های برق بادی وجود دارد، که با توجه به توجیه پذیری آن و تحقیقات، مطالعات و سرمایه گذاری که در این زمینه صورت گرفته، توسعه و کاربرد این تکنولوژی چشم انداز روشنی را فراروی سیاست‌گذاران بخش انرژی کشور در این زمینه قرار داده است.

استفاده از انرژی باد پیشینه دراز مدتی داشته و به حدود 2 سده پیش از میلاد در ایران باستان باز می‌گردد. برای نخستین بار ایرانیان موفق شدند با استفاده از نیروی بادچرخ چاه را به گردش درآورده و آب را از چاه‌ها به سطح مزارع برسانند. نخستین ماشینی که با استفاده از نیروی باد به حرکت درآمد چرخ بادی هرون بود. ولی نخستین آسیاب بادی عملی در سده ۷ میلادی در سیستان ساخته شد.

پیدایش آسیاب‌های بادی در اروپا مربوط به سده ۱۱ و ۱۲ میلادی است. نخستین مورد ثبت شده در مورد استفاده از آسیاب‌های بادی در انگلستان مربوط به سده‌های ۱۱ و ۱۲ میلادی است.

نخستین توربین بادی با کاربرد تولید برق یک ماشین شارژ باتری بود که در ژوئیه ۱۸۸۷ توسط یک مهندس اسکاتلندی به نام جیمز بلاث ساخته شد. چند ماه بعد مخترع آمریکایی چارلز فرانسیس برش نخستین توربین باد خودکار را برای تولید برق در کلیولند در اوهایو ساخت در سال ۱۹۰۸-۷۲ توربین بادی با کاربرد تولید برق (بین ۵ تا ۲۵ کیلو وات) در آمریکا فعال بودند.

در دهه ۱۹۳۰ توربین های بادی کوچک برای تولید برق مورد نیاز مزارع در آمریکا که هنوز سامانه سراسری توزیع برق راه اندازی نشده بود بسیار متداول بودند. در پاییز سال ۱۹۴۱ نخستین توربین بادی در کلاس مگاوات در ورمونت راه اندازی شد. نخستین توربین بادی متصل به شبکه برق در بریتانیا در سال ۱۹۵۱ در جزایر اورکنی ساخته شد.

در طول تاریخ، انسان ها باد را به شیوه های مختلف به کار برده اند. بیش از پنج هزار سال پیش مصریان باستان از نیروی باد برای راندن کشتی های خود روی رود نیل استفاده کردند. بعد از آن انسان، آسیاب بادی را برای آسیاب کردن غلات ساخت. آسیاب های بادی چون سرعت باد را کم می کنند، می توانند کار کنند. باد روی تیغه های ورقه مانند نازکی جریان یافته و آنها را بلند می کند و باعث چرخش آنها می شود (مانند تاثیر باد روی بال های هواپیما) تیغه ها به میله ی هدایت متصل است و آن فیزیک مولد برق را چرخانده و الکتریسیته تولید می کند.

بهترین محل برای نصب یا ساخت دستگاه بادی محلی است که سرعت باد حدود ۲۳ کیلومتر بر ساعت باشد. ماشین های بادی ۳۰ تا ۴۰ درصد انرژی متحرک باد را به برق تبدیل می کند، در حالی که یک دستگاه مولد زغال سوز، حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد انرژی شیمیایی زغال را به الکتریسیته قابل استفاده تبدیل می کند.

از آنجایی که زمین به طور نامساوی به وسیله نور خورشید گرم میشود بنابراین در قطب ها انرژی گرمایی کمتری نسبت به مناطق استوایی وجود دارد همچنین در خشکی ها تغییرات دما با سرعت بیشتری انجام می پذیرد و بنابراین خشکی های زمین نسبت به دریاها زودتر گرم و زودتر سرد میشوند. این تفاوت دمای جهانی موجب بوجود آمدن یک سیستم جهانی تبادل حرارتی خواهد شد که از سطح زمین تا هواکره که مانند یک سقف مصنوعی عمل میکند ادامه دارد. بیشتر انرژی که در حرکت باد وجود دارد را میتوان در سطوح بالای جو پیدا کرد جایی که سرعت مداوم باد به بیش از ۱۶۰ کیلومتر در ساعت میرسد در سطوح پایینی باد انرژی خود را بر اثر اصطکاک با سطح زمین و جو از دست میدهد.



## فصل اول

## انرژی باد

## ۱-۱- 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 سی 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.

## ۱-۲- مزایای انرژی باد:

- تجدیدشونده است و گاز گلخانه ای تولید نمی کند.
- وزش باد در زمستانها سریعتر است.
- کاهش هزینه مصرف الکتریسیته.
- انرژی باد نظیر سایر منابع انرژی تجدید پذیر، به طور گسترده ولی پراکنده در دسترس می باشد.
- وزش باد می تواند سبب شود توربین های بادی به حرکت دربیایند. میزان انرژی تولید شده در این توربین ها به میزان باد و نوع توربین بستگی دارد.
- از انرژی باد برای تولید الکتریسیته، پمپاژ آب، آرد کردن غلات، کوبیدن گندم، گرمایش خانه و غیره استفاده می شود.
- یکی دیگر از مزایای انرژی باد آن است که وزش باد در زمستانها سریعتر است و هنگامی که نیاز بیشتری به برق داریم الکتریسیته بیشتری پیشرفتهای اخیر در صنعت همواره سبب کاهش هزینه



الکتریسیته تولید شده توسط مولد های بادی می باشد. این مبلغ کمتر از هزینه الکتریسیته تولید شده توسط زغال سنگ و شکافت هسته ای است و از نظر اقتصادی قابل رقابت با سایر موارد میباشد.

- همچنین مانند دیگر انرژی های قابل تجدید و ادامه دار مخالفان زیادی ندارد.

### ۱-۳- ناکارآمدیهای انرژی بادی:

گفته میشود یکی از بزرگترین موانع بهره برداری از نیروی باد در بریتانیا مسئله تاثیر زیست محیطی آن است. بسیاری از مردم می گویند مولد های بادی از نظر ظاهری ناخوشایند بوده و پر سروصدا می باشند. بخصوص چون در نواحی زیبای خارج از مناطق شهری قرار دارند. اما باید گفت مولدی که سوخت آن زغال سنگ است مسلما پرسروصدا تر و زشت تر از دکل های آسیاب بادی خواهد بود. صدای متوالی توربین های دکل های آسیاب بادی برای کسانی که در نزدیکی آنها می باشند. یک موضوع مهم به شمار میرود. اکنون صدای این مولدها به کمک فن آوری چرخ دنده ها و توربین های سه تیغه ای قابل کنترل می باشد.

### ۱-۴- بررسی اقتصادی استفاده از انرژی باد:

در ارزیابی نیروگاه های 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 مولفه های مختلف می باشند. از آنجا که برای گسترش سیستم عرضه انرژی الکتریکی توسعه پایدار را تعقیب میکنیم باید تمام هزینه ها و منافع اجتماعی هر مولد را مد نظر قرار دهیم. باید در نظر داشت از بین صرفه های اقتصادی و غیر اقتصادی تنها هزینه دفع آلاینده های زیست محیطی و تصفیه گازهای مضر متصاعد از نیروگاه های فسیلی میتواند بصورت کمی در محاسبات وارد شود. این هزینه ها در واقع در برگیرنده تمام اثرات زیست محیطی آلاینده ها در کوتاه مدت و بلند مدت از قبیل تولید SO<sub>x</sub> و NO<sub>x</sub> و CO<sub>x</sub> و هیدروکربن ها و سایر گازهای سمی، آلودگی آب و خاک و ایجاد باران های اسیدی و تولید گازهای کاخانه ای می باشند.

در ضمن هزینه تولید برق از انرژی باد در دو دهه گذشته به طور 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 توربین های جدید قیمت را نیز کمتر خواهد کرد.

هر چند سال های اخیر با بزرگ تر شدن سایز توربین های تجاری، قیمت سرمایه گذاری آنها کاهش یافته است. صنعت انرژی باد منافع اقتصادی و اجتماعی مختلفی را به همراه دارد که از جمله مهمترین آنها عبارتند از:

۱) نداشتن هزینه های اجتماعی. این هزینه ها در تمام گزینه های متعارف انرژی (فسیلی) وجود دارند، لیکن علیرغم مبالغ قابل توجه آنها معمولاً در بررسی های اقتصادی لحاظ نمیشوند. انجمن انرژی باد جهان (WWEA) این هزینه ها را به کوه یخی تشبیه کرده است که حجم عظیم و ناپیدای آن در زیر آب قرار میگیرد.

۲) کاهش اتکاء به منابع انرژی وارداتی. این مسئله یکی از مهمترین دلایل رویکرد کشورهای صنعتی به انرژی های تجدید پذیر و انرژی باد است، لکن در کشورهای تولید کننده نفت نظیر ایران نیز از جنبه دیگری میتوان به آن نگرست وان افزایش فرصت صادرات است.

۳) تقویت ساختار اجتماعی و اقتصادی مناطق روستایی. به دلیل ماهیت انرژی باد که به تولید غیرمتمرکز و اغلب به نقاط دورافتاده و روستایی می پردازد، توسعه این صنعت چه در کشورهای سرمایه داری و پیشرفته و چه در کشورهای در حال توسعه تحولات و پیشرفت های آشکاری را در مناطق روستایی به دنبال خواهد داشت.

۴) 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 میکند که این رقم در کشورهای در حال توسعه به راحتی میتواند دو برابر شود.

در کشورمان ایران علی رغم اینکه مشاهده میشود با در نظر گرفتن هزینه های خصوصی نیروگاه های بادی و فسیلی، توسعه نیروگاه های بادی برای تولید برق هم اکنون در حال اقتصادی شدن میباشد ولی اگر هزینه های اجتماعی نیروگاه های فسیلی که دربرگیرنده اثرات برون زایی منفی است مبنای مقایسه قرار گیرد هزینه تولید در مولدهای بادی کمتر از فسیلی خواهد بود و برق حاصل از آن میتواند به عنوان یک انرژی پایدار در توسعه اقتصادی-اجتماعی کشورمان مورد استفاده قرار گیرند.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

## مراجع:

- ۱- ثقفی، محمود، انرژی بادی و کاربرد آن در کشاورزی، دانشگاه تهران ۱۳۷۲
- ۲- محمد زاده نوین، عارف، استراتژی توسعه انرژی های تجدید پذیر ۱۳۶۷
- ۳- مسعود پرخو، کنترل ولتاژ و فرکانس ژنراتورهای القایی در نیروگاه های ادی مستقل از شبکه ۱۳۷۶
- ۴- سازمان انرژی های نو ایران (سانا)، دفتر انرژی باد و امواج ۱۳۸۹
- ۵- R. Zavadil, N. Miller, A. Ellis, and E. Muljadi, "Making connections: Wind generation challenges and progress," IEEE Power Energy Mag.,
- 6- Barote, L.; Weissbach, R.; Teodorescu, R.; Marinescu, C.; Carstea, M.: Stand-alone wind system with VRB energy storage, Proceedings of International Conference OPTIM'۲۰۰۸, Brasov, Romania, May ۲۰۰۸, pp. ۴۱۲-۴۰۷.
- 7- Gonzalez, L. G.; Figueres, E.; Garcera, G.; Carranza, O.: Synchronization Techniques Comparison for Sensorless Control Applied to PMSG, Proc. of International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'09), Spain, 15-17 April 2009
- ۸- Hugh Piggott" PMG construction manual
- ۹- J.R. Bumby and R. Martin" Axial-flux permanent-magnet air-cored generator for small-scale wind turbines
- ۱۰- Garrison F. Price" Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator"
- ۱۱- Steven Fahey" Basic Principles Of The Homemade Axial Flux Alternator"
- ۱۲- J. R. Bumby, N. Stannard and R. Martin" A Permanent Magnet Generator for Small Scale Wind Turbines"

Astrom K.J., Hagglund T.,(2006): Advanced PID Contro, ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC 27709

14-A. Luo, C. Tang, Z. Shuai, J. Tang, X. Xu, and D. Chen, “Fuzzy-Pi based direct-output-voltage control strategy for the STATCOM used in utility distribution systems,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. ۷, no. ۵۶, pp. ۲۴۰۱-۲۴۱۱, July ۲۰۰۹.

15-C. Sicot, Rotational and turbulence effect on a wind turbine blade. Investigation of the stall