دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان: تحلیل و مدل سازی دینامیکی مزرعه بادی

استاد راهنما: دکتر کاظم مظلومی

نگارش: مهدی رستمی فجر- بهرام اسلامی

شهریور۹۱

تشکر و قدرداني

از زحمات استاد گرانقدرجناب آقای دکترکاظم مظلومی که در انجام این پروژه مارا یاری نموده ودر سختی ها راهنمایی های ایشان روشنگر راه ما بود.

و از دوست عزیزمان جناب آقای دکتر جواد نباتی که در انجام این پروژه مشوق ما بودند.

تقدیم به پدر ومادر:

عزیزانی که در همه عمر پشتیبان و مشوقمان بوده اند.

وتقدیم به:

همه کسانی که لحظه ای بعد انسانی و وجدانی خود را فراموش نمی کنند و بر آستان گران سنگ انسانیت سر فرود می آورند و انسان را با همه تفاوت هایش ارج می نهند.

سرفصل

عنوان	صفحه
مقدمه	۱۰
۱فصل اول اهمیت توربین بادی	۱۳
۱.۱ مشکلات و مضرات استفاده از سوخت های فسیلی	۱۳
۲.۱ میزان نصب توربین بادی در کشور های مختلف جهان	۱۴
۲ فصل دوم تاریخچه ی توربین بادی	۱۷
۱.۲ آسیاب های قدیمی ساخته شده در ایران	۱۷
۲.۲ آسیاب های بادی ابتدایی اروپا	۱۸
۳.۲ آسیاب های بادی نسل دوم اروپا	۱۹
۴.۲ ابداع اولین توربین بادی	۲۰
۵.۲ سیر تکاملی توربین بادی	۲۲
۳فصل سوم ساختمان و کارکرد توربین بادی	۲۷
۱.۳ انواع توربین های بادی	۲۷
۲.۳ اجزای یک سامانه ی تبدیل انرژی باد به انرژی برق	۲۸
۱.۲.۳ برج	۲۹
۲.۲.۳ توربین	۳۰
۳.۲.۳ سامانه ی انحراف	۳۰

۴.۲.۳ جعبه دنده ی مکانیکی ۳۰
۵.۲.۳ ژنراتور الکتریکی ۳۱
۶.۲.۳ سامانه ی کنترل توان ۳۱
۴فصل چهارم سیستم توربین بادی سرعت متغییر با ژنراتور القائی تغذیه دو سویه ۳۳
۱.۴ طبقه بندی توربین های بادی بر مبنای نحوه ی ارتباط آن ها با شبکه سراسری ۳۳
۱.۱.۴ توربین های بادی جدا از شبکه ۳۳
۲.۱.۴ توربین های بادی متصل به شبکه ۳۴
۲.۴ طبقه بندی توربین های بادی بر مبنای ظرفیت تولید انرژی الکتریکی آن ها ۳۵
۱.۲.۴ توربین های کوچک بادی مستقل از شبکه ۳۵
۲.۲.۴ توربین های متوسط بادی مستقل از شبکه ۳۵
۳.۲.۴ توربین های بزرگ بادی متصل به شبکه ۳۶
۳.۴ مقایسه ی توربین های مجهز به ژنراتور القایی قفس سنجابی و مقاومت متغییر ۳۷
۴.۴ سیستم توربین بادی سرعت متغییر با ژنراتور القایی تغذیه دو سویه ۳۹
۵فصل پنجم **SIMULINK IN MATLAB** ۴۱

۱.۵ معادلات توربین بادی ۴۲
۲.۵ مدل مزرعه و توربین بادی ۴۳
۳.۵ بلوک های اجزای مختلف مزرعه بادی در **MATLAB** ۴۸
۴.۵ نتایج شبیه سازی در **MATLAB** ۵۴
منابع و مراجع ۵۹

فهرست شکل ها

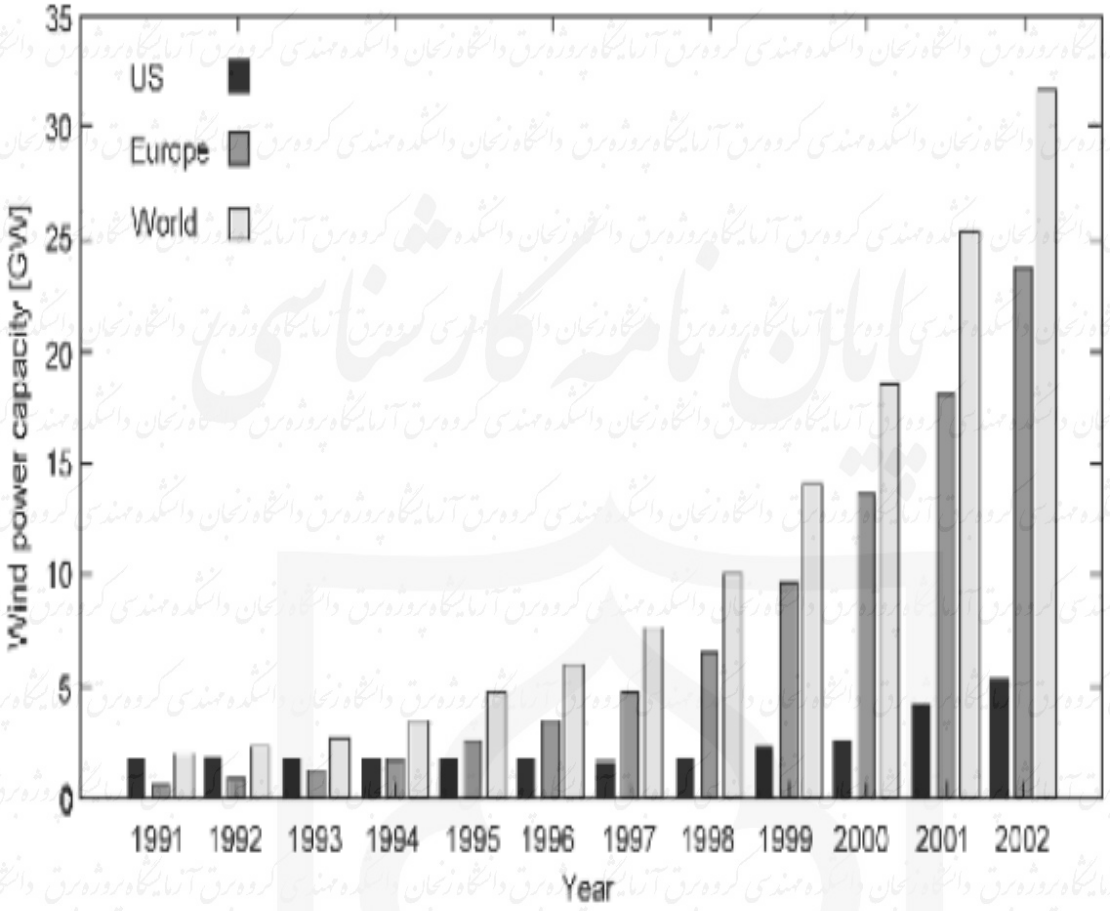
عنوان	صفحه
شکل(۱-۲):شکل شماتیک آسیاب های بادی قدیم ایران	۱۷
شکل(۲-۲):آسیاب های بادی ابتدایی اروپا	۱۸
شکل(۲-۳):آسیاب های بادی نسل دوم اروپا	۱۸
شکل(۲-۴):نمونه تلمبه بادی موجود در مزارع	۱۹
شکل(۲-۵):توربین بادی ساخت براش آمریکا	۲۰
شکل(۲-۶): ژاکوب در حال تنظیم فنر کنترل زاویه پیچ	۲۱
شکل(۲-۷):توربین بادی عظیم پانتام	۲۲
شکل(۳-۱): توربین بادی از نوع اچ-رتور و داریوس	۲۸
شکل(۳-۲):سامانه ی تبدیل انرژی	۳۰
شکل(۳-۳):انواع منحنی های توان تولیدی توربین بادی	۳۲
شکل(۴-۱):شماتیک کلی ژنراتور القایی تغذیه دو سویه (DFIG)	۳۹
شکل(۴-۲):اتصال ژنراتور القایی تغذیه دو سویه با مبدل الکترونیک قدرت	۴۰
شکل(۵-۱):مدل کلی مزرعه بادی	۴۳
شکل(۵-۲):مدل توربین بادی	۴۴

شکل(۵-۳):طریقه اتصال توربین بادی به شبکه ۴۵
شکل(۵-۳):پارامتر های قدرت توربین بادی ۴۶
شکل(۵-۴):اساس طرح یک واحد بادی ۴۷

مقدمه

امروزه قسمت اعظم برق تولیدی دنیا به صورت مرسوم آبی، حرارتی و هسته ای تولید می شود مزایای اصلی تولید برق به این شکل مرسوم، قیمت برق تولیدی و قابلیت کنترل و انعطاف پذیری خروجی آن می باشد .از طرف دیگر مزایای اصلی تولید برق از انرژیهای نو، استفاده از منبع انرژی اولیه که به صورت نامحدود موجود میباشد (مثل نور خورشید، باد و ...) و آسیب نرساندن به محیط زیست می باشد .در سراسر دنیا، دولت ها سعی در نشان دادن مزایای تولید توسط انرژی های نو دارند و به همین دلیل از توسعه تولید توسط انرژی های نو به طرق مختلف حمایت می کنند .به این صورت روز به روز از معایب اصلی تکنولوژی های تولید توسط انرژی های نو کاسته می شود.

یکی از تکنولوژی های استفاده شده جهت بهره برداری از انرژی های نو، توربین های بادی می باشند که انرژی موجود در باد را به برق تبدیل می کنند .باد یک منبع انرژی اولیه تمام نشدنی می باشد .اگرچه توربین های بادی روی مناظر طبیعی تاثیرگذار هستند و تولید نویز می کنند، اما این تاثیرات ناچیز می باشند و به نظر نمی رسد که اکوسیستم تحت تاثیر قرار گیرد .توربین های بادی پس از چند ماه هزینه های تولید و ساخت و نصب خود را برمی گردانند و تعادل هزینه برقرار می گردد .تولید توسط انرژی باد در مقایسه با دیگر منابع انرژی تجدیدپذیر نظیر فوتوولتائیک، امواج دریا و ...ارزانتر و مقرون به صرفه تر می باشد؛ به همین علت کشورهایی نظیر آلمان، دانمارک و اسپانیا از این نوع انرژی برای تولید برق استقبال کرده و باعث رشد سریع این صنعت در دنیا شده اند. شکل زیر نشان دهنده رشد تولید توان توسط انرژی بادی در امریکا، اروپا و بقیه کشورهای دنیا در سال های اخیر می باشد.



ظرفیت توان بادی نصب شده در امریکا اروپا وجهان

همانطور که مشاهده می شود ظرفیت نصب توان بادی تقریباً رشد نمایی داشته است و رشد سالانه در ۵ سال آخر بیشتر از ۳۰ % بوده است .دلیل این افزایش رشد به علت کم هزینه بودن انرژی بادی نسبت به سایر منابع انرژی تجدیدپذیر بوده است .این نتایج را شبیه سازی ها هم نشان داده اند .توان الکتریکی بادی رشد چشمگیری در ده سال گذشته خصوصاً در دانمارک، اسپانیا و آلمان داشته است. بیش از ۷۰ % توربین های بادی تولیدکننده توان الکتریکی در اروپا نصب شده اند.

امروزه توان بادی به عنوان یک آلترناتیو مقرون به صرفه در مقابل سایر تولیدکننده های مرسوم برق، همراه با مزایای زیست محیطی مطرح شده است .هنگامی که قسمت عمدهای از انرژی توسط باد تأمین گردد در این صورت نیروگاه های بادی نیز باید مانند سایر نیروگاه های مرسوم به حساب آورده شوند تا عملکرد مطمئن شبکه حاصل شود .تاکنون جنبه های فنی این موضوع فقط زمینه تحقیق در دانشگاه ها بوده است .از آنجا که روند

تجدید ساختار انرژی در بسیاری از کشورهای دنیا آغاز شده است؛ جنبه های اقتصادی برای دست اندرکاران تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی اهمیت خاصی پیدا کرده است .درگیری با مسأله تعریف قوانین بازار از یک طرف و نیاز به انرژی ارزان که دارای سود خوبی باشد از طرف دیگر، رقبای تجاری را مجبور به کمک همه جانبه به تحقیقات در این زمینه کرده است.

فصل اول: اهمیت توربین های باد

۱-۱ : مشکلات و مضرات استفاده از سوخت های فسیلی

با پیشرفت کشور های جهان میزان مصرف انرژی نیز افزایش یافته است .از طرف دیگر رشد جمعیت و بالا رفتن رفاه عمومی تقاضا برای انرژی در جهان را افزایش داده است . در حال حاضر بیشتر انرژی درخواستی جهان توسط سوخت های فسیلی تامین می شود . از مشکلاتی که مانع استفاده از سوخت های فسیلی می شود یکی پایان پذیر بودن آنها است و دیگری آلودگی ناشی ازاستفاده از آنها می باشد .منابع سوخت های فسیلی دیر یا زود به اتمام می رسند و با توجه به وابستگی بیش از حد بشر به این منبع انرژی خطر نابودی تمدن بشری با اتمام این منبع وجود دارد.

این مشکل بشر را به فکر استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر انداخت . انرژی های تجدیدپذیر کمتر از سوخت های فسیلی به محیط زیست صدمه می رسانند . سوخت های فسیلی دارای زنجیره کربن هستند و پس از سوختن این کربن در هوا منتشر می شود .دی اکسیدکربن یکی از موادی است که وجود آن در جو مانع بازتاب انرژی حرارتی از سطح زمین به کیهان می شود و دمای کر ه زمین را بالا می برد .بر طبق قرارداد کیوتو کشور های جهان باید در راستای کاهش انتشار گاز های گلخانه ای بکوشند .برای دست یابی به این مقصود باید مصرف سوخت های فسیلی کاهش یابد . کاهش مصرف سوخت های فسیلی منوط به استفاده از منابع انرژی جایگزین است . سال ها است که دانشمندان روی منابع مختلف انرژی کار می کنند .از جمله منابعی که مورد بررسی قرار گرفته اند آب، باد، خورشید،زمین گرمایی و اتمی می باشند .باوجود اینکه 75 درصد سطح زمین از آب پوشید ه شده است ولی استفاده از انرژی آب محدود به برخی نقاط خاص می شود و نیاز به ساز ههای عظیم می باشد . انرژی خورشیدی و زمین گرمایی از منابعی هستند که جوان بوده و به تازگی استفاده از آنها آغاز شده است و هنوز جایگاه مناسبی در بین منابع انرژی برای خود بدست نیاورده اند .در این بین انرژی اتمی وباد به سرعت در حال پیشرفت می باشند .انرژی اتمی نیاز به زیر ساخت های عظیم دارد و کار با آن دارای خطراتی می باشد از جمله نشت مواد هسته ای و مسئله دفن زباله های هسته ای .باد انرژ ی تمیز، در دسترس و آسان می باشد .در گذشته از این منبع انرژی برای مقاصدی چون کشاورزی، صنعت و دریانوردی استفاده می شده است ولی اخیراً از این منبع برای تولید برق استفاده می شود و پیشرفت های زیادی هم کرده است .با شناخت دقیق منابع باد در هر کشور و با ایجاد مزارع برق بادی م یتوان درصد بالایی از برق مورد نیاز هر کشور را از این روش تهیه کرد.

۲-۱ میزان نصب توربین بادی در کشور های مختلف جهان

با توجه به بحران سوخت های فسیلی در جهان و آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف این سوخت ها و نیز با توجه به اینکه یکی از مصارف زیاد سوخت های فسیلی در صنعت تولید برق است ، استفاده از منابع تجدیدپذیر به منظور تولید برق امری اجتناب ناپذیر است .در این میان، به علت پایین بودن قیمت برق تولیدی از انرژی باد نسبت به منابع تجدیدپذیر دیگر، امروزه تولید برق از انرژ ی باد مورد توجه زیادی قرار گرفته است.جدول ۱-۱ میزان ظرفیت نصب شده ی توربین بادی در بعضی از کشور های اروپایی در سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۳ را نشان می دهد .مطابق این جدول، مشاهده می شود که میزان ظرفیت نصب شده ی توربین بادی ظرف مدت این ۸ سال در کشور آلمان بیش از ۱۲ برابر شده و در کشور دانمارک بیش از ۵ برابر شده و کشور های اروپایی دیگر نیز وضعیتی مشابه دارند، که این امر نشاندهنده ی تمایل زیاد کشور های پیشرفته به استفاده از انرژی باد برای تولید برق است.

جدول ۱-۱میزان ظرفیت نصب شده ی توربین بادی در بعضی کشورهای اروپایی

کشور	میزان ظرفیت نصب شده در سال ۱۹۹۵ بر حسب مگاوات	میزان ظرفیت نصب شده در سال ۲۰۰۳ بر حسب مگاوات
آلمان	۱۱۳۶	۱۴۶۰۹
دانمارک	۶۱۹	۳۱۱۰
اسپانیا	۱۴۵	۶۲۰۲
هلند	۲۳۶	۹۱۲

جدول ۱-۲ میزان ظرفیت نصب شده ی توربین باد در قسمت های مختلف جهان در سال ۱۹۹۵ و ۲۰۰۳ را نشان می دهد .مطابق این جدول، ظرفیت نصب شده ی توربین بادی در اروپا ظرف مدت ا ین هشت سال، ۱۴ برابر شده و در آمریکای شمالی حدوداً ۶ برابر شده که نشان می دهد انرژی باد به تدریج به یکی از منابع مهم برای تولید انرژی الکتریسیته تبدیل می شود.

منابع و مراجع :

[1] R. Ramakumar, N. Butler, A. Rodriguez and S. Venkata, “Economic aspects of advanced energy technologies”, Proceedings of the IEEE, Volume 81, Issue 3, March 1993, pp. 318 – 332.

[2] D. Hornak, N. Chau, “Green power - wind generated protection and control considerations”, Protective Relay Engineers, 2004 57th Annual Conference for 30 Mar-1 Apr 2004, pp. 110 – 131.

[3] S. Haslam, P. Crossley and N. Jenkins, “Design and evaluation of a wind farm protection relay”, Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings, Volume 146, Issue 1, Jan. 1999, pp. 37 – 44.

[4] R. Fuchs, “Protection schemes for decentralized power generation”, Developments in Power System Protection, 2004. Eighth IEE International, 5-8 April 2004, Vol. 1, pp. 323 – 326.

[5] K. Maki, S. Repo, P. Jarventausta, “Effect of wind power based distributed generation on protection of distribution network,” Developments in Power System Protection, 2004. Eighth IEE International Conference, 5-8 April 2004, Vol.1, pp. 327 – 330.

[6] Stefan Bauschke1, Clemens Obkircher, Georg Achleitner, Lothar Fickert and Manfred Sakulin, “mproved Protection system for electrical components in wind energy plants”. 15 th Power System Protection

Conf., PSP 2006, Bled, Slovenia, 6-8 Sept. 2006.

[7] The MathWorks Inc., MATLAB, Ver. 7.2, 2006, "

[8] Luis M. Fernandez, Jose Ramo Saenz, Francisco Jurado "Dynamic models of Wind farms with fixed speed wind turbines", Renewable energy 31 (2006), Elsevier, pp. 1203-1230.

[9] Srinivas R. Chellapilla and B. H, Chowdhury, "A Dynamic model of Induction Generators for Wind Power Studies", Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE, Volume 4, 13-17 July 2003, pp. 2340-2344

[10] T. Petru and T. Thiringer, "Modeling of wind turbines for power system studies", Power Systems, IEEE Transactions on

[11] Volume 17, Issue 4, Nov. 2002 Page(s):1132 – 1139.

[12] Krause, P.C., O. Wasynczuk, and S.D. Sudhoff, "Analysis of ElectricMachinery",