تاسیس ۱۳۰۷
دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان

بررسی تحلیلی و اقتصادی اتصال AC/AC نیروگاه های بادی به شبکه

استاد راهنما
دکتر محمد توکلی بینا

نگارش
حمید پالیزگر

بهار ۱۳۹۰

چکیده

رشد فزایندۀ مصرف انرژی، روند افزایش جمعیت، محدودیت ذخایر سوختهای فسیلی و معضلات زیست محیطی ناشی از مصرف اینگونه منابع انرژی، بهینه‌سازی در مصرف انرژی و استفاده از سایر منابع را ضروری میسازد. در راستای بکارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر، تولید برق از انرژی باد، به دلیل شرایط اقتصادی بهتر، بیشتر مورد توجه واقع شده است. کاربرد انرژی بادی عاری از انتشار گازهای آلایندۀ زیست محیطی است. گر چه صنعت تولید توربین‌ها و سایر تجهیزات مورد نیاز برای تبدیل انرژی بادی به انرژی الکتریکی بسیار پیشرفته است، اما نصب و راه‌اندازی این تأسیسات به سرعت و سادگی ممکن می باشد. در مقایسه با نصب و راه‌اندازی نیروگاههای متعارف که از سوخت فسیلی استفاده می نمایند، از زمان بسیار کوتاهتری برخوردار بوده و حسن آن این است که توربین‌های برق بادی مرحله به مرحله نصب و راه‌اندازی شده و وارد مدار میگردند و در نتیجه از بهره‌وری بالاتری برخوردار می باشند. اساسی ترین هدف مورد نظر در صنعت جهانی، دست یابی به سیستمی است که هم از نظر اقتصادی و هم از نظر بهره وری در شبکه، بهترین مشخصه ها را دارا باشد. استفاده از سیستم های بادی در کشور نیز با چالشهایی چون نبود تکنولوژی مناسب، تحریم های اقتصادی، نبود زیر ساختهای مناسب حمل و نقل و غیره روبرو می باشد. بدین منظور، مناطق مناسب برای احداث نیروگاه های بادی در ایران معرفی گردیده اند. سپس ژنراتورهای بادی و مبدلهای فرکانسی آنها مورد بحث واقع شده و مقایسه اقتصادی به منظور به دست آوردن مناسبترین سیستم در کشور انجام شده است. در نهایت سیستم های برگزیده، در برنامه MATLAB شبیه سازی گردیده و بهترین توپولوژی چه از نظر اقتصادی و چه عملکردی در شبکه، برای استفاده در سیستمهای بادی کشور معرفی می گردد.

واژه های کلیدی:

ژنراتور القایی با تغذیه دوبل- ژنراتور سنکرون- ژنراتورمغناطیس دائم- مبدلهای فرکانسی -توربین های بادی

فهرست **صفحه**

فصل اول ۱

۱-۱-معرفی..... ۲

۱-۲-ساختار پایان نامه..... ۱۱

فصل دوم ۱۲

۲-۱-انرژی بادی در ایران..... ۱۳

۲-۲-داده ها و روش شناسی..... ۱۶

فصل سوم ۲۶

۳-۱-طرح کلی و ساختار توربین های بادی..... ۲۷

۳-۲-ژنراتورهای درایو مستقیم و جعبه دنده ای..... ۳۳

۳-۲-۱ مقایسه کلی سیستم های ژنراتورهای DD و GD..... ۳۴

۳-۳-مبدلهای الکترونیک قدرت..... ۳۸

۳-۳-۱ یکسو کننده دیودی..... ۴۱

۳-۳-۲ مبدل Back-to-Back PWM-VSI..... ۴۲

۳-۳-۳ مبدل Tandem..... ۴۳

۳-۳-۴ مبدل ماتریسی..... ۴۵

۳-۳-۵ مبدل چند سطحی..... ۴۷

۳-۳-۶ مبدل رزنانسی..... ۴۹

۳-۳-۷ مقایسه نهایی بین مبدلهای فرکانسی..... ۵۱

۳-۴-هزینه های سرمایه گذاری و سالیانه..... ۵۳

۳-۵-درآمدها..... ۵۵

۳-۶-گزینه های پیش رو..... ۵۶
۳-۷-مقایسه پارامتر ها..... ۵۷
۳-۷-۱ ابعاد و وزن..... ۵۷
۳-۷-۲ راندمان و تولید سالانه..... ۵۸
۳-۷-۳ قیمت تمام شده(سرمایه گذاری اولیه)..... ۶۱
۳-۷-۴ هزینه تعمیر و نگهداری..... ۶۲
۳-۷-۵ قیمت تمام شده برق..... ۶۴
۳-۷-۶ قابلیت دسترسی..... ۶۵
۳-۷-۷ امکان تولید یا تامین قطعات و حمل و نقل..... ۶۶
۳-۷-۸ مقبولیت جهانی و بازار توربین..... ۶۷
فصل چهارم ۶۹
۴-۱-مقدمه..... ۷۰
۴-۲-مدل سازی توربین سرعت متغیر با تغذیه دوبل..... ۷۱
۴-۳-مدل سازی Converter و سیستم کنترل..... ۷۶
۴-۴-نتایج شبیه سازی در حالتی که خطا در شبکه وجود ندارد..... ۸۱
۴-۴-۱ اتصال DFIG..... ۸۱
۴-۴-۲ اتصال PMSG..... ۸۶
۴-۴-۳ اتصال SG..... ۱۰۰
۴-۵-نتایج شبیه سازی در حالتی که خطا در شبکه رخ داده است..... ۱۰۰
فصل پنجم ۱۰۹
۵-۱-نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۱۰

پیوست ۱-ژنراتور القایی با تغذیه دوبل ۱۱۵

پیوست ۲-ژنراتور سنکرون ۱۱۷

پیوست ۳-ژنراتور مغناطیس دائم ۱۱۹

منابع و مراجع ۱۲۰

فهرست اشکال **صفحه**

شکل ۱-۱-چشم انداز مصرف انرژی طی ۳۰ سال آینده[۱].....۲

شکل ۲-۱-انرژی تولیدی در ایران.....۱۱

شکل ۲-۲-الف-انرژی باد در ارتفاع ۶۰ متری.....۱۲

شکل ۲-۲-ب-سرعت باد در ارتفاع ۶۰ متری.....۱۲

شکل ۲-۳-الف-انرژی باد در ارتفاع ۸۰ متری.....۱۳

شکل ۲-۳-ب-انرژی باد در ارتفاع ۸۰ متری.....۱۳

شکل ۲-۴-پراکندگی ایستگاه های سینوپتیک دارای آمار باد ۱۰ ساله کامل.....۱۵

شکل ۲-۵-پراکندگی ایستگاه های سینوپتیک کشور بر اساس میانگین سرعت وزش باد.....۱۷

شکل ۲-۶-پراکندگی ایستگاه های سینوپتیک کشور بر اساس وزش بادهای با سرعت بالاتر از ۸ گره.....۱۸

شکل ۲-۷-گروه بندی ایستگاه های سینوپتیک کشور بر اساس توان تولید برق بادی.....۱۹

شکل۳-۱-آرایش های مختلف ژنراتورهای القایی و مبدلهای الکترونیک قدرت در اتصال به شبکه.....۲۴

شکل ۳-۲-آرایش های مختلف ژنراتورهای سنکرون و مبدلهای الکترونیک قدرت در اتصال به شبکه.....۲۶

شکل ۳-۳-نقشه تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی.....۲۹

شکل۳-۴-نحوه اتصال ژنراتورهای بدون گیربکس به شبکه (ژنراتورهای سنکرون و مغناطیس دائم).....۳۳

شکل ۳-۵-نحوه اتصال ژنراتورهای بدون گیربکس به شبکه (ژنراتورالقایی با تغذیه دوبل).....۳۴

شکل ۳-۶-نمودار مفهوم پایه معکوس کننده برای سرعتهای تنظیم پذیر در توربین های بادی.....۳۷

شکل ۳-۷-یکسو کننده دیودی برای تبدیل سه فاز ac به dc.....۳۸

شکل ۳-۸-توپولوژی مبدل PWM-VSI پشت به پشت.....۳۹

شکل ۳-۹-توپولوژی مبدل Tandem استفاده شده در ژنراتورهای القایی سیستم بادی.....۴۱

شکل ۳-۱۰-توپولوژی مبدل ماتریسی استفاده شده در ژنراتورهای القایی سیستم بادی.....۴۲

شکل ۳-۱۱-توپولوژی های مبدلهای چند سطحی استفاده شده در ژنراتورهای القایی سیستم بادی.....۴۴

شکل ۳-۱۲-توپولوژی مبدل رزنانسی استفاده شده در ژنراتورهای القایی سیستم بادی.....۴۷

شکل ۳-۱۳-سهم توان نصب شده هر یک از توربین ها در طول سال.....۵۳

شکل ۳-۱۴-مقایسه راندمان مسیر انتقال انرژی در دو مکانیزم با و بدون گیربکس.....۵۶

شکل ۳-۱۵-مقایسه راندمان میان ژنراتورهای مختلف همراه با مبدل الکترونیک قدرت.....۵۷

شکل ۳-۱۶-هزینه های عمده توربین برای نمونه ۳ مگاواتی.....۶۰

شکل ۳-۱۷-هزینه های تعمیر و نگهداری برای نمونه ۳ مگاواتی.....۶۱

شکل ۳-۱۸-نرخ وقوع خطای توربین های بادی نصب شده در کشور آمریکا.....۶۲

شکل ۴-۱-سیستم انتقال قدرت مورد استفاده در شبیه سازی.....۶۶

شکل ۴-۲-نحوه اتصال ژنراتور القایی تغذیه دوبل به شبکه در شبیه سازی.....۶۸

شکل ۴-۳-منحنی توان پیموده شده.....۶۸

شکل ۴-۴-شمای کلی اتصال DFIG به شبکه.....۶۹

شکل ۴-۵-نحوه شارش توان در شبکه.....۷۲

شکل ۴-۶-الگوریتم کنترل سمت روتور.....۷۴

شکل ۴-۷-کنترل سمت شبکه.....۷۶

شکل ۴-۸-کنترل زاویه گام.....۷۷

شکل ۴-۹-توان اکتیو و توان راکتیو ژنراتور القایی.....۷۸

شکل ۴-۱۰-ولتاژ خازن ژنراتورالقایی.....۷۹

شکل ۴-۱۱-میزان لغزش روتور.....۷۹

شکل ۴-۱۲-میزان سرعت روتور ژنراتور القایی.....۸۰

شکل ۴-۱۳-توان اکتیو منتقل شده توسط استاتور.....۸۰

شکل ۴-۱۴-توان اکتیو منتقل شده توسط روتور..... ۸۱
شکل ۴-۱۵-میزان تلفات مبدل در ژنراتور القایی..... ۸۱
شکل ۴-۱۶-روشهای متفاوت اتصال PMSG به شبکه..... ۸۳
شکل ۴-۱۷-نحوه اتصال سیستم به شبکه..... ۸۵
شکل ۴-۱۸-بلوک کنترلی سمت ژنراتور..... ۸۵
شکل ۴-۱۹-نحوه اتصال و کنترل ژنراتور مغناطیس دائم..... ۸۶
شکل ۴-۲۰-طراحی جبران کننده هارمونیکی مربوط به توالی مثبت هارمونیک پنجم..... ۸۷
شکل ۴-۲۱-توان اکتیو و توان راکتیو ژنراتور مغناطیس دائم..... ۸۸
شکل ۴-۲۲-ولتاژ خازن ژنراتور مغناطیس دائم..... ۸۹
شکل ۴-۲۳-میزان سرعت روتور ژنراتور مغناطیس دائم..... ۸۹
شکل ۴-۲۴-میزان تلفات مبدل در ژنراتور مغناطیس دائم..... ۹۰
شکل ۴-۲۵-نحوه اتصال و کنترل ژنراتور سنکرون..... ۹۲
شکل ۴-۲۶-آرایش سیستم سنکرون با امکان کنترل خارجی ولتاژ میدان..... ۹۳
شکل ۴-۲۷-آرایش سیستم سنکرون با امکان کنترل داخلی ولتاژ میدان..... ۹۳
شکل ۴-۲۸- توان اکتیو و توان راکتیو ژنراتور سنکرون..... ۹۴
شکل ۴-۲۹-ولتاژ خازن ژنراتور سنکرون..... ۹۵
شکل ۴-۳۰-میزان تلفات مبدل در ژنراتور سنکرون..... ۹۵
شکل ۴-۳۱-ولتاژ خازن ژنراتور القایی در حالت وقوع خطا..... ۹۸
شکل ۴-۳۲-توان اکتیو و توان راکتیو ژنراتور القایی در حالت وقوع خطا..... ۹۹
شکل ۴-۳۳-توان توان راکتیو ژنراتور القایی در حالت وقوع خطا..... ۹۹

شکل ۴-۳۴-ولتاژ خازن ژنراتور سنکرون در حالت وقوع خطا..... ۱۰۰
شکل ۴-۳۵-توان اکتیو و توان راکتیو ژنراتورسنکرون در حالت وقوع خطا..... ۱۰۰
شکل ۴-۳۶-توان توان راکتیو ژنراتور سنکرون در حالت وقوع خطا..... ۱۰۱
شکل ۴-۳۷-ولتاژ خازن ژنراتور مغنطیس دائم در حالت وقوع خطا..... ۱۰۱
شکل ۴-۳۸-توان اکتیو ژنراتور مغنطیس دائم در حالت وقوع خطا..... ۱۰۲
شکل ۴-۳۹-توان راکتیو ژنراتور مغنطیس دائم در حالت وقوع خطا..... ۱۰۲

فهرست جداول **صفحه**

جدول ۱-۱-میزان انرژی بادی در کشور های مختلف تا پایان سال ۲۰۱۰ براساس آمار سازمان انرژی بادی جهان..... ۴

جدول ۱-۲-ظرفیت مزارع بادی نصب شده در نیروگاه های بادی منجیل (سایتهای پسکولان، هرزویل و سیاهپوش)..... ۷

جدول ۱-۳-ظرفیت مزارع بادی نصب شده در سایت بینالود واقع در استان خراسان رضوی..... ۷

جدول ۱-۴-ظرفیت مزارع بادی نصب شده در سایت لوتک واقع در شهر زابل..... ۷

جدول ۱-۵-ظرفیت مزارع بادی نصب شده در سایت عون بن علی واقع در شهر تبریز..... ۸

جدول ۲-۱-ویژگی باد در ایستگاه های بادخیز کشور..... ۲۰

جدول ۳-۱-روشهای کنترلی معمول برای توربینهای بادی..... ۲۸

جدول ۳-۲-ماکزیمم توان و مشخصه سوئیچهای مختلف[۱۵]..... ۳۰

جدول ۳-۳-مقایسه ۵ درایو AC برای سرعتهای تنظیم پذیر..... ۳۸

جدول ۳-۴-قطر استاتور در مکانیزم های مختلف برای نمونه ۳ مگاواتی..... ۵۵

جدول ۳-۵-وزن مواد فعال ژنراتور در مکانیزم های مختلف توربین ۳ مگاواتی..... ۵۵

جدول ۳-۶-میزان تلفات و تولید سالیانه توربین در مکانیزم های مختلف..... ۵۸

جدول ۳-۷-هزینه های عمده توربین برای نمونه ۳ مگاواتی..... ۵۹

جدول ۳-۸-نسبت انرژی سالانه تولیدی به هزینه تمام شده توربین..... ۵۹

جدول ۳-۹-هزینه های تعمیر و نگهداری دو مکانیزم با و بدون گیربکس..... ۶۰

جدول ۳-۱۰-قیمت تمام شده برق در مکانیزم های مختلف توربین ۳ مگاواتی..... ۶۱

جدول ۳-۱۱-قابلیت دسترسی در هر یک از دو مکانیزم[۱۸]..... ۶۳

جدول۴-۱-مزایا و معایب ژنراتورهای مغناطیس دائم مورد مطالعه در پایان نامه.....۱۰۳

جدول۴-۲-مزایا و معایب ژنراتورهای القایی مورد مطالعه در پایان نامه.....۱۰۳

جدول۴-۳-مزایا و معایب ژنراتورهای سنکرون مورد مطالعه در پایان نامه.....۱۰۴

جدول۵-۱- نتایج نهایی مقایسات انجام شده بین توپولوژی های مختلف در پایان نامه.....۱۰۷

فصل اول

مقدمه

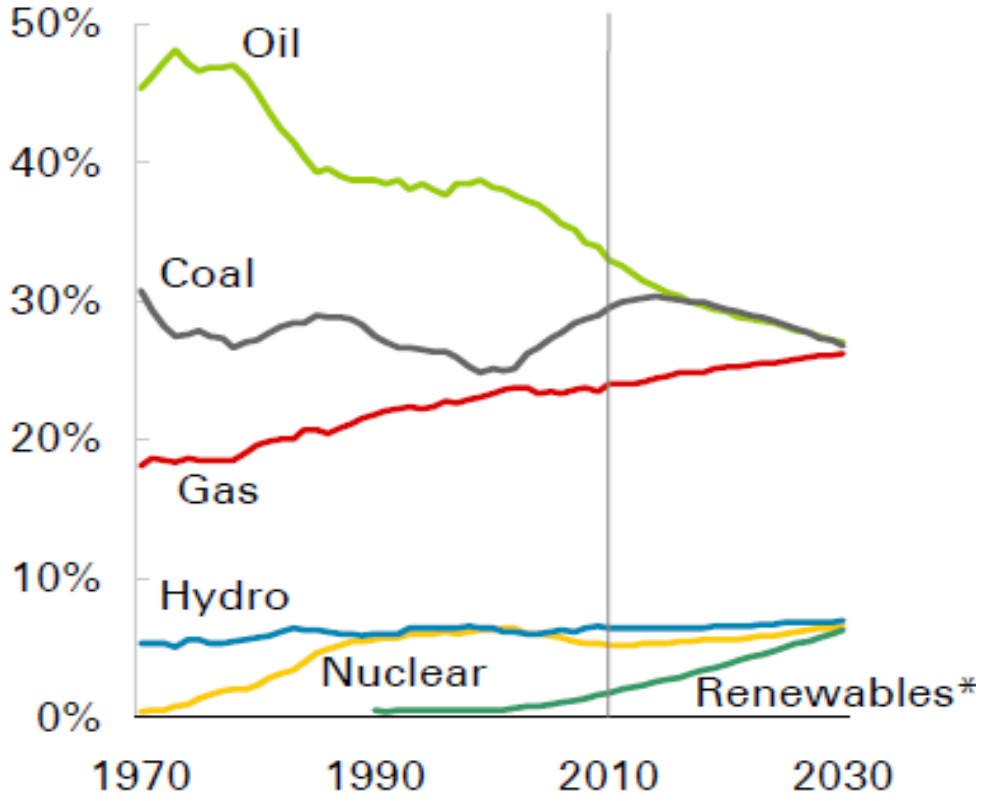
۱-۱ معرفی

امروزه استفاده از سوختهای فسیلی بالاترین درصد تامین انرژی را در دنیا به خود اختصاص داده است. با توجه به روند رو به اتمام آنها در آینده نه چندان دور، نگرانی عمیقی برای جایگزینی آنها بوجود آمده است. آنچه اکنون به عنوان بزرگترین مشکل جهانی، بشر را تهدید می نماید، کمبود انرژی و آلودگی هوا بر اثر استفاده از سوخت های فسیلی می باشد. برای رفع این دو معضل بزرگ از مدتها پیش، پژوهشگران و دانشمندان مطالعه و تحقیق برای استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و پاک را شروع نموده اند. اکنون که مشکلات مربوط به گرانی و کمبود سوختهای فسیلی و همچنین اتمام ذخایر آنها طی چندین سال آینده پیش بینی شده است، مسئولان کشورهای مختلف با اختصاص بودجه های کلان، مراکز صنعتی، پژوهشی و دانشگاه ها را به یافتن انرژی های جایگزین و ارزان تر و همچنین کم مخاطره تر تشویق می نمایند.

از گذشته نه چندان دور، راه حلهایی برای تولید انرژی از منابع طبیعی مورد مطالعه قرار گرفته است و عناصری مانند آب، باد، نور خورشید و امواج اقیانوس ها و ... مورد توجه دانشمندان قرار گرفته اند. استفاده از اینگونه منـابع به عنوان تولید کننده انرژی نه تنها دارای مزیت ارزان بودن و فراوانی بسیار می باشد بلکه باعث کاهش آلودگی های زیست محیطی نیز می گردد که خود یکی از مشکلات بزرگ بشر در قرن حاضر می باشد.

مصرف عمده انرژی طی ۲۰ سال گذشته به میزان ۴۵٪ رشد نموده است و احتمالاً رشد ۳۹٪ دیگری نیز در طی ۲۰ سال آینده یعنی تا سال ۲۰۳۰ خواهد داشت. این امر موجب افزایش روز افزون انتشار گـاز دی اکسید کربن که عامل اصلی آلودگی هوا می باشد خواهد شد و لذا نیاز به استفاده از انرژی های پاک بیشتر نمایان خواهد گردید. با توجه به شکل ۱-۱ می توان نتیجه گیری نمود که طی ۲۰ سال آینده روند استفاده از سوختهای فسیلی به عنوان منبع اصلی انرژی از میزان ۸۳٪ بین سالهای ۱۹۹۰تا ۲۰۱۰ به

میزان ۶۴٪ بین سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ کاهش و در کنار آن، استفاده از انرژی های تجدید پذیر از میزان ۵٪ به حدود ۱۸٪ افزایش خواهد داشت[۱].



شکل ۱-۱ چشم انداز مصرف انرژی طی ۳۰ سال آینده[۱]

به منظور دست یابی به روش مناسب مصرف انرژی، می بایست در ابتدا به این نکته توجه نمود که استفاده از انرژی های تجدید پذیر و یا فسیلی با توجه به ویژگی های خاص خود دارای معایب و مزایایی می باشد. در اینصورت برنامه ریزی برای استفاده از منابع مختلف برای تامین انرژی مورد نیاز می بایست همراه با مدیریت صحیح انرژی صورت پذیرد، تا در حد امکان نرخ مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست کاهش یابد. روشهای متفاوتی به منظور کاهش مصرف انرژی وجود دارد که در زیر به تعدادی از آنها اشاره گردیده است :

- افزایش وسایل حمل و نقل عمومی
- نزدیک نمودن محل کار به محل زندگی و یا کار در خانه به واسطه پیشرفت تکنولوژی

- بهینه نمودن مصرف سوخت
- تصویب قوانین کارآمد به منظور جلوگیری از مصرف بیش از حد انرژی توسط مشترکین مختلف

با توجه به توضیحات فوق و شکل ۱-۱ به نظر می رسد تامین انرژی مورد نیاز بشر با استفاده از انرژی های تجدید پذیر، امری معقول و اقتصادی می باشد. ویژگیهایی همچون پتانسیل بالا، قابلیت تجدید پذیری، کیفیت منابع، تنوع در انرژی تولیدی و غیره، باعث توجه بیشتر به این منابع گردیده است.

در بین انرژی های تجدید پذیر، انرژی بادی به دلیل دارا بودن مزایای اقتصادی زیادی که در ذیل به برخی از آنها اشاره شده است، مورد توجه کشور های مختلف قرار گرفته اند.

- ایجاد فرصت های شغلی جدید و کاهش وابستگی به دیگر منابع انرژی
- کاهش ریسک ناشی از تغییر قیمت سوخت برای سرمایه گذاری در تولید برق
- کاهش هزینه احداث نیروگاه های توربین بادی با پیشرفت تکنولوژی
- آلایندگی زیست محیطی کمتر در مقایسه با منابع انرژی های فسیلی
- تقویت ساختار اجتماعی و اقتصادی مناطق روستایی
- کمتر بودن نسبی قیمت انرژی حاصل از باد در بلندمدت
- تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انرژی
- عدم نیاز به آب

در جدول ۱-۱ نیز می توان به میزان ظرفیت بادی نصب شده در کشورهای مختلف تا پایان ماه ژوئن سال ۲۰۱۰ را مشاهد نمود، که در این بین آمریکا همانند سالهای پیش رتبه اول و کشور چین با رتبه دوم در بین کشورهای جهان و ۷.۸۰۰ مگاوات ظرفیت نصب شده در طول یک سال، بیشترین پیشرفت در زمینه نصب توربین های بادی را به خود اختصاص داده است[۱].

جدول ۱-۱ میزان انرژی بادی در کشور های مختلف تا پایان سال ۲۰۱۰ براساس آمار سازمان انرژی بادی جهان[۱]

Position	Country	Total capacity June 2010 [MW]	Added capacity June 2010 [MW]	Total capacity End 2009 [MW]	Percentage (Solo/Total) %
۱	USA	۳۶.۳۰۰	۱.۲۰۰	۳۵.۱۹۵	۲۲.۰۱
۲	China	۳۳.۸۰۰	۷.۸۰۰	۲۶.۰۱۰	۱۶.۳۳
۳	Germany	۲.۴۰۰	۶۶۰	۲۵.۷۷۷	۱۶.۱۹
۴	Spain	۱۹.۵۰۰	۴۰۰	۱۹.۱۴۹	۱۲.۰۲
۵	India	۱۲.۱۰۰	۱.۲۰۰	۱۰.۹۲۵	۶.۰۸
۶	Italy	۵.۳۰۰	۴۵۰	۴.۸۵۰	۳.۰۴
۷	France	۵.۰۰۰	۵۰۰	۴.۵۲۱	۲.۸۳
۸	United Kingdom	۴.۶۰۰	۵۰۰	۴.۰۹۲	۲.۵۷
۹	Portugal	۳.۸۰۰	۲۳۰	۳.۵۳۵	۲.۲۲
۱۰	Denmark	۳.۷۰۰	۱۹۰	۳.۴۹۷	۲.۱۹
	Rest of the world	۲۴.۵۰۰	۲.۸۷۰	۲۱.۶۹۸	۱۳.۶۲
Total		۱۷۵.۰۰۰	۱۶.۰۰۰	۱۵۹.۲۱۳	

WWEA 2010

۱ World Wind Energy Association (WWEA)

طبق گزارش منتشر شده توسط انجمن انرژی باد جهان (GWEC[1]) در سال ۲۰۰۸ بیش از ۳۶.۵ میلیارد دلار در بخش افزایش ظرفیت، ساخت نیروگاه و تحقیق و توسعه انرژی های تجدید پذیر در جهان سرمایه گذاری شده است و بیش از ۴۰۰ هزار موقعیت شغلی ایجاد گردیده است. بر اساس پیش بینی های صورت گرفته این آمار در سال ۲۰۲۰ به ۱۴۹.۴ میلیون دلار در بخش سرمایه گذاری در صنعت باد و ایجاد بیش از ۲.۲ میلیون موقعیت شغلی افزایش خواهد نمود. در حداقل ۶۶ کشور جهان، اهداف راهبردی در جهت توسعه انرژی های تجدید پذیر تدوین، و سیاست گذاری های لازم برای سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ انجام شده است. در این راستا کشورهای پیشرو اروپا در کمیسیونی در سال ۲۰۰۷ هدف تامین ۲۰٪ از احتیاجات انرژی خود را از منابع تجدید پذیر تا سال ۲۰۲۰ مقرر نموده اند. تخمین زده می شود در سال ۲۰۲۰ میلادی سهم انرژی بادی در تامین انرژی جهان حدود TWh ۳۷۵ در سال خواهد بود. در قالب ضرورتهای زیست محیطی، این سهم ممکن است در سال ۲۰۲۰ به حدود TWh ۹۰۰ افزایش می یابد[۱۰].

با توجه به توضیحات ارائه شده می توان نتیجه گیری نمود که استفاده از انرژی های پاک و تجدید پذیر در حال افزایش می باشد. دولتهای مختلف در راستای دست یابی به انرژی ارزانتر و سازگارتر با محیط زیست اقدامات مفیدی را در جهت پیشبرد تکنولوژی استفاده از انرژی های بادی به کار برده اند.

ایران نیز به عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه توجه ویژه ای به گسترش استفاده از انرژی ها تجدید پذیر نموده است و طی چند سال اخیر پیشرفتهای متعدی در این زمینه صورت پذیرفته است. در بسیاری از مناطق ایران منابع آب سطحی کم است و در واقع امکان تولید برق آبی وجود ندارد و یا به علت دور بودن از مراکز بزرگ صنعتی و شهری کشور، سوخت رسانی به آنها با مشکل همراه است. لذا احداث نیروگاه های بخاری (که سوخت فسیلی مصرف می کنند) بسیار پر هزینه و غیر اقتصادی می باشد. تنها راه رساندن انرژی الکتریکی به این مناطق، اتصال به شبکه سراسری است که آن هم با

---

۱ global wind energy council

مشکلات زیادی از قبیل اتلاف انرژی و هزینه بالای نگهداری همراه است. با این حال دو منبع انرژی در ایران به وفور یافت می شوند، اول انرژی خورشید و دوم انرژی بادی. آسمان بیشتر نقاط ایران در بیشتر زمانهای سال صاف و آفتابی است و لذا تابشی خورشید در تمام طول سال در این مناطق فراهم است. وزش بادهای قوی و مداوم، منبع انرژی بسیار مهم دیگری برای بسیاری از نقاط کشور می باشد.

از نظر اقتصادی استفاده از انرژی بادی برای تولید برق بسیار مناسب است، زیرا هیچگونه هزینه ای برای سوخت پرداخت نخواهد شد و همچنین هیچگونه وابستگی به دریافت سوخت از جانب کشورهایی که از نظر سیاسی و اقتصادی در وضعیت ناپایداری قرار دارند وجود ندارد. هرکیلو وات ساعتی انرژی تولیدی توسط نیروی باد، پتانسیل جایگزینی واردات سوخت های فسیلی را دارا می باشد. این امر موجب بالانس کردن پرداختهای بین المللی نه تنها برای کشورهای پیشرفته بلکه بیشتر برای کشورهای فقیری مانند آفریقا، آسیا و آمریکای جنوبی که اقتصاد آنها به دلیل تغییرات فاحش قیمت نفت تخریب شده است می گردد.

از دیگر مزایای نیروگاه های بادی می توان به سرعت ساخته شدن آنها به نسبت دیگر نیروگاه ها اشاره کرد. برخلاف نیروگاه های معمول و سنتی که استفاده از آنها تا زمان پایان ساخت آنها امکان پذیر نمی باشد، این نیروگاه ها هنگامی که نیمه کاره نیز می باشند می توانند به عنوان نیروگاه کوچکی مد نظر قرار گرفته و از زمان اتصال اولین توربین به شبکه به تولید انرژی پرداخته و درآمد کسب نمایند.

در [۲]، توربین های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد با استفاده از آمار ۵ ساله باد (۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵) در ایستگاه های سینوپتیک در ایران بررسی شده است که ضمن اشاره به انواع توربین های بادی و میزان انرژی بادی و سرعت لازم برای تولید برق بادی، به ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران پرداخته است.

از جمله دیگر مطالعات صورت گرفته در این خصوص می توان به [۸ -۳] و همچنین گزارش های موجود در سایت های مختلف مربوط به وزارت نیرو و سازمان انرژی های نو ایران (سانا) اشاره نمود.

در جداول ۱-۲ تا ۱-۵ می توان خلاصه ای از وضعیت ظرفیت های بادی نصب شده در کشور تا پایان سال ۱۳۸۸ را مشاهده نمود[۹].

جدول ۱-۲ ظرفیت مزارع بادی نصب شده در نیروگاه های بادی منجیل (سایتهای پسکولان، هرزویل و سیاهپوش)

نوع توربین بادی (کیلووات)	تعداد	مجموع ظرفیت نصب شده(مگاوات)	تاریخ
۳۰۰ & ۵۰۰	۲۸	۱۲	۱۳۸۲
۳۰۰	۱۰	۳	۱۳۸۴
۵۵۰	۱۰	۵.۵	۱۳۸۵
۶۶۰	۲۲	۱۴.۵۲	۱۳۸۵
۶۶۰	۱۷	۱۱.۲۲	۱۳۸۶
۶۶۰	۱۵	۹.۹	۱۳۸۷
۶۶۰	۹	۵.۹۴	۱۳۸۸
مجموع ظرفیت نصب شده(مگاوات)		۶۲.۰۸	

جدول ۱-۳ ظرفیت مزارع بادی نصب شده در سایت بینالود واقع در استان خراسان رضوی

نوع توربین بادی (کیلووات)	تعداد	مجموع ظرفیت نصب شده(مگاوات)	تاریخ
۶۶۰	۲۰	۱۳.۲	۱۳۸۵
۶۶۰	۲۳	۱۵.۱۸	۱۳۸۶
مجموع ظرفیت نصب شده(مگاوات)		۲۸.۳۸	

جدول ۱-۴ ظرفیت مزارع بادی نصب شده در سایت لوتک واقع در شهر زابل

نوع توربین بادی (کیلووات)	تعداد	مجموع ظرفیت نصب شده(مگاوات)	تاریخ
۶۶۰	۱	۰.۶۶	۱۳۸۸
مجموع ظرفیت نصب شده(مگاوات)		۰.۶۶	

جدول ۱-۵ ظرفیت مزارع بادی نصب شده در سایت عون بن علی واقع در شهر تبریز

نوع توربین بادی (کیلووات)	تعداد	مجموع ظرفیت نصب شده(مگاوات)	تاریخ
۶۶۰	۱	۰.۶۶	۱۳۸۸
مجموع ظرفیت نصب شده(مگاوات)		۰.۶۶	

مجموع ظرفیت مزارع بادی نصب شده در ایران تا پایان سال ۱۳۸۸ معادل ۸۶.۸۷ مگاوات می باشد. نیروگاه بادی بینالود با وسعت ۷۰۰ هکتار در نزدیکی شهرستان نیشابور در استان خراسان رضوی قرار دارد. ساخت این نیروگاه در سال ۱۳۸۱ آغاز و در سال ۱۳۸۶ به پایان رسید. در این پروژه، ۴۳ دستگاه توربین بادی ۶۶۰ کیلووات به ظرفیت ۲۸.۳۸ مگاوات وجود دارد. فاز دوم این نیروگاه شامل ۵۰ واحد توربین ۶۶۰ کیلوواتی به ظرفیت ۳۳۰۰۰ کیلووات است که ساخت آن در مهر ماه سال ۱۳۸۷ آغاز گردیده است و پیش بینی می گردد ساخت این نیروگاه ۲ سال به طول خواهد کشید که در این صورت ظرفیت بادی نصب شده در کشور تا پایان سال ۱۳۸۹ به میزان ۱۲۰ مگاوات افزایش پیدا خواهد نمود.

همانطور که پیش تر نیز اشاره گردید، سهم کشور ایران در این میان تا کنون کمتر از ۱۰۰ مگاوات می باشد که اگر نیروگاه های آبی متوسط و بزرگ را هم جزء منابع تجدید پذیر محسوب کنیم، آنگاه این ظرفیت به ۷۷۰۰ مگاوات خواهد رسید. با توجه به توضیحات ارائه شده می توان نتیجه گیری نمود که استفاده از انرژی های پاک و تجدید پذیر در سراسر دنیا در حال افزایش می باشد و دولتهای مختلف در راستای دست یابی به انرژیهای ارزانتر و سازگارتر با محیط زیست اقدامات مفیدی را در جهت پیشبرد تکنولوژی استفاده از انرژی های بادی به کار برده اند. بنابر این، با توجه به نیاز به انرژی پاک ضرورت دارد که مقایسات تحلیلی و ارزیابی اقتصادی مناسبی در بخشهای مختلف اتصال نیروگاه های بادی به شبکه صورت پذیرد. در این ارتباط، این پایان نامه ضمن مقایسه و ارزیابی تحلیلی نحوه اتصال ژنراتورهای بادی به شبکه و پیرو مطالعات صورت گرفته پیشین در رابطه با انرژی های بادی، نحوه استفاده از آن، با توجه به شرایط زیست محیطی و اقتصادی کشور و همچنین میزان تکنولوژی موجود در صنایع نیروگاهی به