18th International Power System Conference

۱۸ کنفرانس بین‌المللی برق

98-F-REN-862

بررسی نیروگاههای برق بادی نصب شده درایران از دیدگاه فنی و اقتصادی

دکتر مرتضی خلجی اسدی، بتول صفائی
سازمان انرژی اتمی
جمهوری اسلامی ایران

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدید پذیر- توربین‌بادی

چکیده

رشد فزایندهٔ مصرف انرژی متناسب با توسعه اقتصادی و روند افزایش جمعیت با توجه به محدودیت ذخایر سوختهای فسیلی از یک طرف و معضلات زیست محیطی ناشی از مصرف اینگونه منابع انرژی از طرف دیگر بهینه‌سازی در مصرف انرژی و استفاده از سایر منابع انرژی 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. در این مقاله پس از مقدمه‌ای کوتاه، تکنولوژی انرژی برق بادی، کنترل الکترونیکی آنها و کنترل کیفیت قدرت تولیدی مورد بحث واقع شده است. در ادامه پس از اشاره‌ای به آینده انرژی بادی در جهان، پتانسیل انرژی باد در ایران، مراحل انتقال تکنولوژی نیروگاههای برق بادی، اجرای پروژه ۱۰۰ مگاوات برق بادی در فازهای مختلف و نتایج بررسی‌های انجام شده در مورد نیروگاههای برق بادی نصب شده در ایران ارائه گردیده است. در پایان با محاسبه قیمت برق تولیدی از باد به بحث خاتمه داده شده است.

مقدمه

یکی از منابع پایان ناپذیر انرژی، انرژی باد می‌باشد، از این انرژی که بطور تقریب بیش از ۲۰۰۰۰ گیگاوات در جهان موجود است، می‌توان جهت راه‌اندازی مولدهای مختلف بادی استفاده کرد و بخشی از انرژی مکانیکی و الکتریکی مورد نیاز جامعه را تأمین نمود.

کاربرد انرژی بادی عاری از انتشار گازهای آلایندهٔ 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

Archive of SID

www.SID.ir

راه‌اندازی این تأسیسات به سرعت و سادگی ممکن می‌باشد. و در مقایسه با نصب و راه‌اندازی نیروگاههای متعارف که از سوخت فسیلی استفاده می‌نمایند از زمان بسیار کوتاهتری برخوردار بوده و حسن آن این است که توربین‌های برق بادی مرحله به مرحله نصب و راه‌اندازی می‌شوند و وارد مدار می‌گردند و در نتیجه از بهره‌وری بالاتری برخور دارند.

لذا با توجه به مزایای استفاده از تکنولوژیهای برق بادی و با توجه به حجم محدود ذخایر نفت و گاز و رشد روز افزون مصرف انرژی در کشور، دستیابی به فن‌آوری انرژی برق بادی پاسخگوی مناسبی به مشکلات سوختهای فسیلی خواهد بود.

تکنولوژی انرژی باد

توربین برق بادی تشکیل شده است از یک برج که موتور خانه‌ای در بالای آن قرار دارد. در این موتورخانه که به عبارت علمی تر« ناسل » نامیده می‌شود، ژنراتور، گیربکس، محور اصلی و سایر اجزای الکتریکی و الکترونیکی مورد نیاز واقع شده‌اند.

با وزش باد و برخورد توده هوایی به پره‌های توربین‌بادی که در بالای برج و به محور اصلی متصل شده‌اند، پره‌ها شروع به حرکت کرده و نیروی خود را به محور اصلی منتقل می‌کنند ولی از آنجا که سرعت باد برای چرخاندن محور اصلی در سرعتهای بالا که مورد نیاز ژنراتور می‌باشد، کافی نمی‌باشد. از گیربکس استفاده شده و سرعت کم حاصل از چرخش پره‌های توربین به سرعت بالاتر تبدیل می‌شود. مقدار این سرعت بستگی به نوع ژنراتور داشته و در بسیاری از موارد حدود ۵۰ برابر سرعت پره‌های توربین می‌باشد.

ژنراتور توربین‌های بادی با ژنراتورهای معمولی که در صنایع دیگر بکار می‌رود متفاوت می‌باشند، زیرا با توجه به تغییرات سرعت باد مرتباً انرژی مکانیکی روی شفت ژنراتور تغییر می‌کند و لازم است که شفت قابلیت تحمل تغییرات لحظه‌ای را داشته باشد.

ولتاژ الکتریکی ژنراتورهای توربین بادی ۴۰۰ و یا ۶۹۰ ولت می‌باشد که از طریق ترانسهای افزایندهٔ ولتاژ، ولتاژ آنها به ۱۰ تا ۳۰ کیلوولت تغییر می‌یابد. معمولاً نیز تعدادی از توربین‌ها را به یک ترانس متصل می‌کنند تا هزینه‌های مربوط به اطاق ترانس و تجهیزات لازمه کاهش یابد.

ژنراتورهای بادی به دو نوع سنکرون و آسنکرون طبقه بندی می‌شوند و به دو روش اتصال مستقیم و غیرمستقیم به شبکه متصل می‌گردند.

ژنراتورهای آسنکرون از ساختمان محکم و طول عمر زیادتری نسبت به ژنراتورهای سنکرون برخوردارند و هزینه تعمیر و نگهداری آنها نیز به مراتب کمتر است. علاوه بر اینها این ژنراتورها از نوع سنکرون ارزانتر می‌باشند. تمام موارد فوق باعث می‌گردد که در سیستم نیروگاههای برق بادی از ژنراتورهای آسنکرون بیشتر استفاده نمایند.

کنترل الکترونیکی توربین‌های برق بادی

عمل کنترل در توربین‌های بادی توسط یک کامپیوتر صنعتی صورت می‌گیرد که تمامی عملکرد توربین و صدور فرامین را تحت کنترل دارد و در لحظات مناسب فرامین به کنتاکتورها، سیستمهای هیدرولیک و سایر قسمتهای توربین صادر می‌گردد و هر چقدر که ظرفیت توربین بالاتر می‌رود، نقش کنترل و استفاده قابل اطمینان از توربین افزایش می‌یابد.

از طرف دیگر این کنترل کننده‌ها وظیفه انتقال اطلاعات و فرامین را از مکانی دورتر از محل استقرار توربین‌ها را دارند. این عمل معمولاً توسط یک برنامه نرم‌افزاری، یک PC، مودم و خط تلفن صورت می‌گیرد. پس از برقراری تماس با کامپیوتر مستقر در

www.SID.ir

سایت، فرامین از طریق فیبر نوری به توربین‌های مختلف ارسال می‌گردد.

این سیستم‌های کنترل می‌توانند تا ۵۰۰ پارامتر مختلف را بررسی و ثبت کنند تا بدین ترتیب انجام عملیات عیب‌یابی و تعمیر راحت‌تر صورت گیرد.

عملکرد کنترل کننده‌های توربین بصورتی است که در صورت بروز خطاهائیکه ممکن است به سیستم آسیب رساند، عملیات تولید توان متوقف می‌گردد و پس از رفع خطا سیستم بطور خودکار راه‌اندازی می‌گردد.

کنترل کیفیت قدرت تولیدی

عبارت کیفیت قدرت تولیدی به پایداری ولتاژ، فرکانس شبکه و عدم وجود هرگونه اغتشاش در شبکه بر می‌گردد. به همین منظور لازم است در هنگام اتصال توربین به شبکه و تحویل انرژی دقت زیادی بکار رود. بدین جهت کامپیوتر اجازه می‌دهد ژنراتور بدون اتصال به شبکه تا نزدیکی سرعت سنکرون توسط پّره و باد به حرکت در آید، سپس در لحظه مناسب عمل اتصال به شبکه به تدریج از طریق یک سری المانهای الکترونیک قدرت به نام تریستور صورت می‌گیرد و مانع از افزایش سرعت توربین بیش از اندازه می‌شود. عمل اتصال تدریجی ژنراتور به شبکه Soft start نامیده می‌شود. در این حالت از ایجاد جریانهای لحظه‌ای شدید جلوگیری می‌شود و باعث می‌گردد که ژنراتور و شبکه آسیبی نبینند.

آینده انرژی بادی در جهان[1]

در آیندهٔ نزدیک انرژی باد، با صرفه‌ترین منبع انرژی در دنیا خواهد بود. هزینه‌های مربوط به استفاده از سوختهای فسیلی،اعم از اکتشاف، استخراج، حمل و نقل، اثرات زیست محیطی و واکنشهای سیاسی که در راستای استفاده از سوختهای فسیلی به وجود خواهند آمد، به طور دقیق قابل اندازه‌گیری نبوده و یا در دسترس نمی‌باشندولی آنچه مسلم است، این است که شاخصهای اقتصادی مربوط به استفاده از سوختهای فسیلی در مقیاس‌های بزرگ بسیار بالاتر از شاخص‌های فعلی دنیا می‌باشند. از طرف دیگر با توجه به کاهش سوختهای فسیلی و افزایش طبیعی قیمت آنها، هزینه استفاده از آنها (میانگین هزینه در مدت زمان کوتاه) بسیار بالاتر از استانداردهای فعلی بوده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. البته باید در نظر داشت که هزینه‌های زیست محیطی و سیاسی نیز به هزینه‌های فوق افزوده شده و برهان دیگری بر پایان عصر استفاده از سوختهای فسیلی خواهد بود.

گرایش هر چه بیشتر به سوی انرژیهای تجدیدپذیر باعث کاهش قیمت تمام شده آنها گردیده است. گرچه در بررسیهای اقتصادی انرژیهای تجدیدپذیر پارامترهای عدم آلوده‌سازی محیط‌زیست در نظر گرفته نشده است در اروپا حدود یک سوم از گاز CO^2 انتشار یافته در محیط زیست از طریق نیروگاههای فسیلی تولید می‌شود. باید در نظر گرفت که در حقیقت در ازاء هر کیلووات ساعت برق تولیدی از انرژیهای تجدیدپذیر به جای استفاده از انرژیهای فسیلی مانند زغال سنگ، از انتشار حدود یک کیلوگرم CO^2 جلوگیری خواهد شد و بنابر این به ازای هر یک درصد انرژی متداول (فسیلی) که توسط باد جایگزین شود حدود ۰/۳ درصد انتشار گاز CO^2 کاهش می‌یابد. بنابر این در برنامهٔ آینده مصرف انرژی در دنیا،باد می‌تواند راه حلی در جهت کاهش CO^2 و صرفه‌جویی در اشکال دیگر انرژی باشد.

همانطور که گفته شد استفاده از انرژی بادی در سالهای آتی به طور جدی‌تری از سوی مجامع مربوطه

Archive of SID

www.SID.ir

پیگیری خواهد شد، انرژی بادی سریعترین رشد در بین سایر انرژیها برای تولید الکتریسیته را در سال ۱۹۹۰ داشته است. بخش اعظم این رشد سریع مربوط به کشورهای اروپایی بوده که سیاست آنها تمایل بیشتری را نسبت به آمریکا برای استفاده از انرژی باد از خود نشان داده است. ولیکن اخیراً وزارت انرژی آمریکا، پروژه‌ای را با نام Wind Powering America تعریف کرده که هدف آن تولید حداقل ۵درصد انرژی مورد نیاز ایالتهای آمریکا تا سال ۲۰۲۰ می‌باشد. در این راستا سعی بر این است که تعداد ایالتهایی که ظرفیت انرژی بادی آنها بیش از ۲۰ مگاوات است تا سال ۲۰۰۵ افزایش یافته و تا سال ۲۰۱۰ نیز تعداد ایالتهایی که ظرفیت انرژی بادی آنها بیش از ۲۴ مگاوات است با سیر صعودی همراه باشد. از دیگر اهداف این پروژه افزایش ۵ درصدی استفاده از انرژی باد در شبکه سراسری تا سال ۲۰۱۰ می‌باشد.

بر اساس پیش‌بینی کمیته شورای جهانی انرژی حداقل و حداکثر سهم منابع انرژی بادی در تأمین انرژی مورد نیاز جهان در سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۸۵ و ۲۱۵ میلیون تُن معادل نفت خام خواهد بود.

پتانسیل انرژی باد در ایران

مطالعه پتانسیل انرژی باد برای تولید برق و یا سایر استفاده‌های دیگر یکی از مهمترین ارکان استفاده از انرژی باد می‌باشد. اغلب کشورهای دنیا جهت کاربری استفاده از انرژی باد اقدام به تهیه نقشه‌های پتانسیل انرژی باد بصورت خطوط همگن نموده‌اند. مطالعات فوق در مورد مناطق جلگه‌ای از دشواریهای کمتر برخوردار است. در مناطق کوهستانی که در معرض جریانهای کلی جوی قرار ندارند. مطالعه بادهای محلی (Local) دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. می‌توانیم ایران را با توجه به شرایط توپوگرافی و محدودهٔ جغرافیایی و همچنین وسعت آن جزء گروه دوم در نظر بگیریم که در برگیرنده بادهای محلی و نواحی ساحلی می‌باشد. در این رابطه می‌توان شمال ایران (مناطق منجیل، رودبار و شمال قزوین) را نام برد.

بر اساس اندازه‌گیریهای بعمل آمده پتانسیل بین ۱۵۰۰ – ۹۰۰ وات بر متر مربع برای این مناطق محاسبه شده است. لذا نیروگاههای برق بادی در این مناطق نصب شده است. سایر مناطق مانند تبریز، فیروزکوه، اطراف اصفهان از پتانسیل خوبی برخوردارند. همچنین مناطقی دیگر مانند کویر شرقی ایران دارای پتانسیل بالقوه‌ای می‌باشدکه تحت عنوان بادهای ۱۲۰ روزه معروف می‌باشد. در این مناطق طبق اندازه‌گیریهای بعمل آمده و پروسس اطلاعات، پتانسیل انرژی باد بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ وات بر متر مربع برآورد شده و در بعضی از ماههای سال متجاوز از ۱۱۰۰ وات بر متر مربع می‌باشد. به این ترتیب برآورد پتانسیل انرژی باد بستگی کامل به جمع‌آوری آمارهای سرعت باد، محاسبه روند پروفیل عمودی و همچنین تداوم آن در دوره‌های طولانی مدت و سیکل‌های ده‌ساله دارد.

با تکنولوژی موجود توربین‌های برق بادی و مقرون به صرفه‌بودن آنها از نظر اقتصادی و بررسیهای انجام گرفته در مورد پتانسیل باد کشور، تولید انرژی الکتریکی به کمک توربین‌های برق بادی بیش از ۱۵۰۰۰ مگاوات برآورد می‌گردد. یقیناً با انجام Micro-Siting در سایر مناطق و پیشرفت تکنولوژی میزان انرژی قابل دسترس به مراتب بیش از مقدار ذکر شده خواهد بود.

ضرورت توسعه نیروگاههای برق بادی در ایران

نظر به اینکه ایران مناطق بادخیز بسیار زیادی دارد و فراوانی سرعت باد در آن مناطق بحدی است که استفاده از این انرژی را نه تنها ممکن بلکه اقتصادی می‌نماید، در نتیجه انتقال فن‌آوری توربین‌های برق بادی و بومی‌سازی این تکنولوژی در ایران امری ضروری است.

Archive of SID
www.SID.ir

مراحل انتقال تکنولوژی نیروگاههای برق بادی در ایران

مرکز توسعه انرژیهای نو سازمان‌انرژی‌اتمی‌ایران به منظور انتقال تکنولوژی ارزانترین نوع انرژیهای تجدیدپذیر یعنی انرژی باد، فرآیندهای توسعه این انرژی را با نصب دو نمونه پانصد کیلوواتی در منجیل جهت بررسی عملکرد از دیدگاه اقتصادی و فنی و بررسی موانع آن به منظور منطبق نمودن با شرایط کلی کشور (بعنوان مثال شرایط اقلیمی، صنعتی و غیره) و کسب پاره‌ای از تجربیات فنی آغاز نمود.

این دو نمونه مجموعاً سالانه به میزان چهار میلیون کیلووات ساعت الکتریسیته به شبکه سراسری برق تزریق نموده که از انتشار میزان متنابهی گاز CO2 (حدود ۲۶۵۵ تُن) و سایر گازهای آلاینده از جمله NOx به میزان ۴/۱ تُن و SO2 به میزان ۱۲ تُن جلوگیری نموده و موجب کاهش هزینه اجتماعی به میزان ۷۱۵ میلیون ریال می‌گردد(در مقایسه با نیروگاههای متداول سوخت فسیلی).

اجرای پروژه ۱۰۰ مگاوات

اجرای پروژه ۱۰۰ مگاوات نیروگاههای برق بادی همراه با انتقال تکنولوژی مربوطه جزء اهداف مرکز توسعه انرژیهای نو سازمان‌انرژی‌اتمی‌ایران در نظر گرفته شد. جهت عملی نمودن این فرآیند ابتدا با برگزاری مناقصه بین‌المللی از شرکتهای صاحب فن‌آوری توربین‌های بادی دعوت بعمل آورده شد و طی بررسی‌ها و مذاکرات انجام گرفته با این شرکتها، یکی از آنها که دارای بهترین شرایط از نظر اقتصادی، فنی و غیره بود انتخاب گردید، طبق تفاهمات بعمل آمده با این شرکتها قرار شد با اجرای پروژه ۱۰۰ مگاوات توربین‌های مولد الکتریسیته کلیه قطعات در فازهای مختلف درداخل کشور ساخته شود و قرارداد فاز اول به میزان ۱۰ مگاوات منعقد شد.

فاز اول مرحله ساخت و نصب ۱۰ مگاوات توربین بادی مولد الکتریسیته

جهت اجرای این مرحله انتخاب محل که از قبل در مورد دو نمونه قبلی آغاز شده بود در این فرآیندادامه یافت. تعیین محل‌های جدید با در نظر گرفتن نوع توربین جهت ایجاد مزرعه‌های بادی تعیین شد. شش قسمت از تجهیزات توربینهای برق‌بادی از جمله هاب، محور اصلی، سیستم یاو (yaw system)، برج، پایه برج و ناسل طبق قرارداد در داخل ایران ساخته شد. به طوریکه با کسب دانش فنی حاصله، امکان ساخت قطعات فوق‌الذکر در سطح استاندارد بین‌المللی را مقدور نموده است. در این مرحله بقیه تجهیزات از جمله پره، ژنراتور، گیربکس و سیستم کنترل توربینهای برق‌بادی از کشور صاحب تکنولوژی وارد گردید. و کلیه توربینها (۸واحد ۵۵۰کیلوواتی و ۱۹واحد ۳۰۰کیلوواتی) درایران مونتاژ، تست و نصب و راه‌اندازی شد.

اولین مجتمع نیروگاه‌های برق بادی کشور
محل نصب منجیل

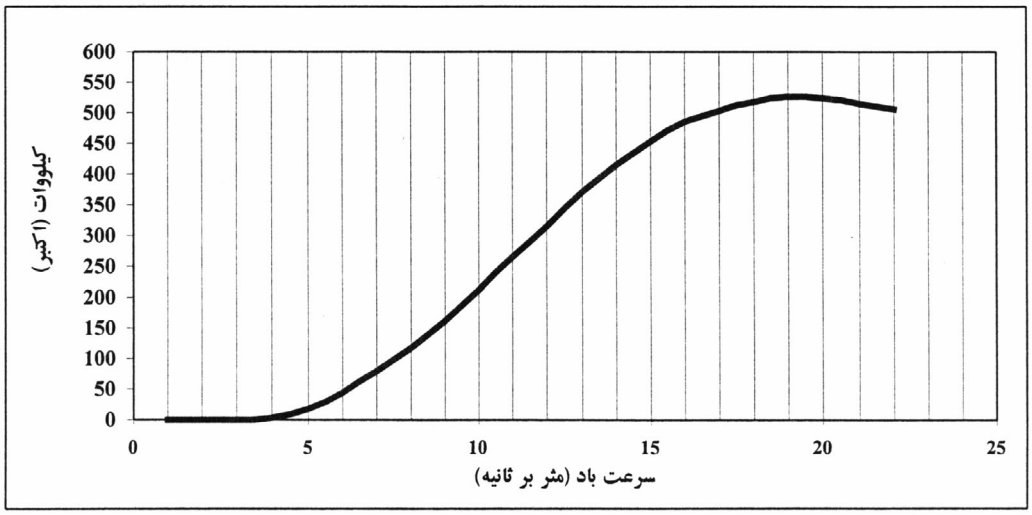
www.SID.ir

بررسی‌عملکرد نیروگاههای برق‌بادی نصب شده

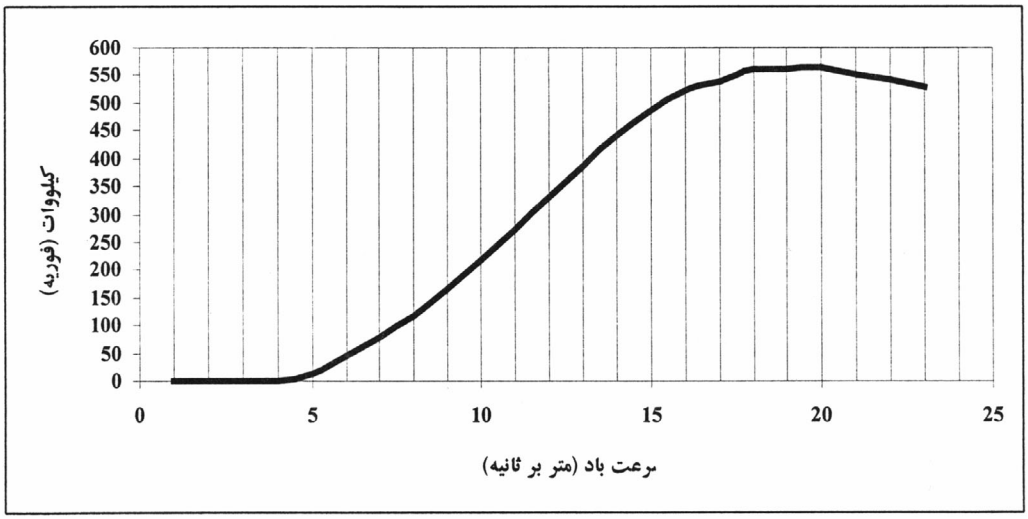
منحنی‌های شماره (۱)و (۲) به ترتیب منحنی‌های قدرت توربین‌های ۵۰۰ و ۳۰۰ کیلوواتی نصب شده در سایت منجیل را بر حسب سرعت باد نشان می‌دهد. بر اساس بررسی‌های انجام شده در مورد تولید توربین‌های بادی نصب شده (نمودار شماره ۱) مشاهده گردید [۲] که تولید توربین‌ها از آبان ماه شروع به افزایش نموده و رفته رفته در ماه تیر و مرداد به حداکثرمیزان‌خودمی‌رسد و دوباره بتدریج کاهش می‌یابد بطوری که درآبانماه به حداقل مقدار خود خواهد رسید.

نکته‌ای که در این بررسی حائز اهمیت بسیار است، آن است که میانگین تولید توربین‌ها (براساس نمودارهای شماره ۲و۳) در یکساعت بار پیک از میانگین تولید در یک ساعت بار عادی و بار کم در تمام ماههای سال بیشتر می‌باشد.

منحنی شماره ۱- قدرت توربین ۵۵۰ کیلوواتی نصب شده در سایت منجیل در سال ۲۰۰۱

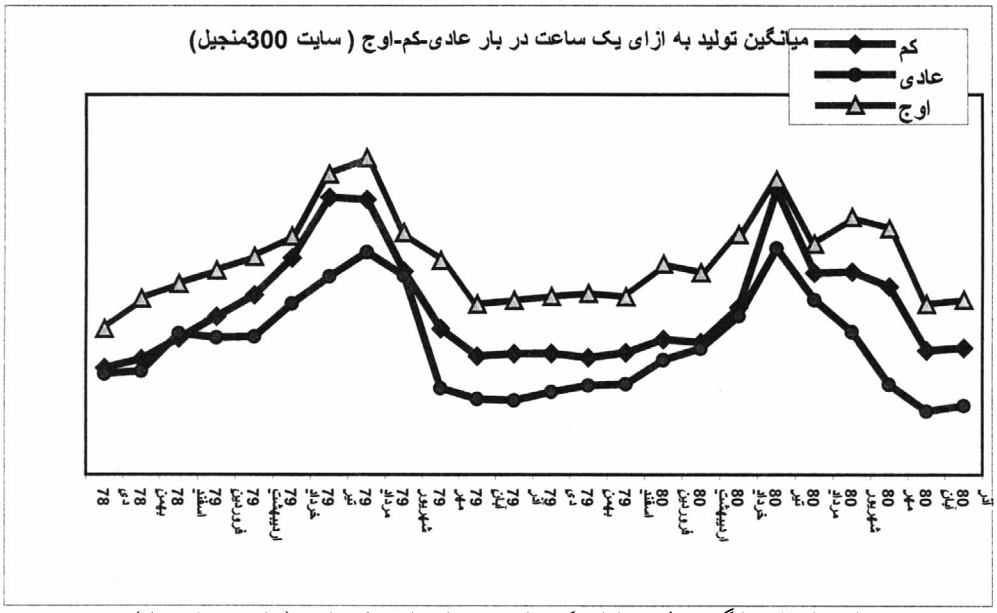


منحنی شماره ۲- قدرت توربین ۳۰۰ کیلوواتی نصب شده در سایت منجیل در سال ۲۰۰۱

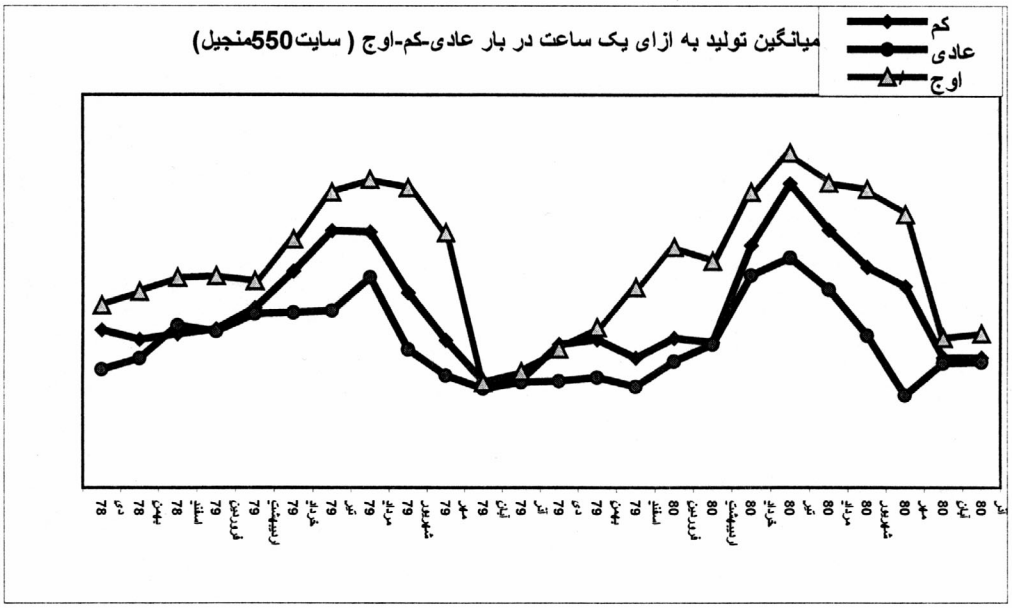


www.SID.ir

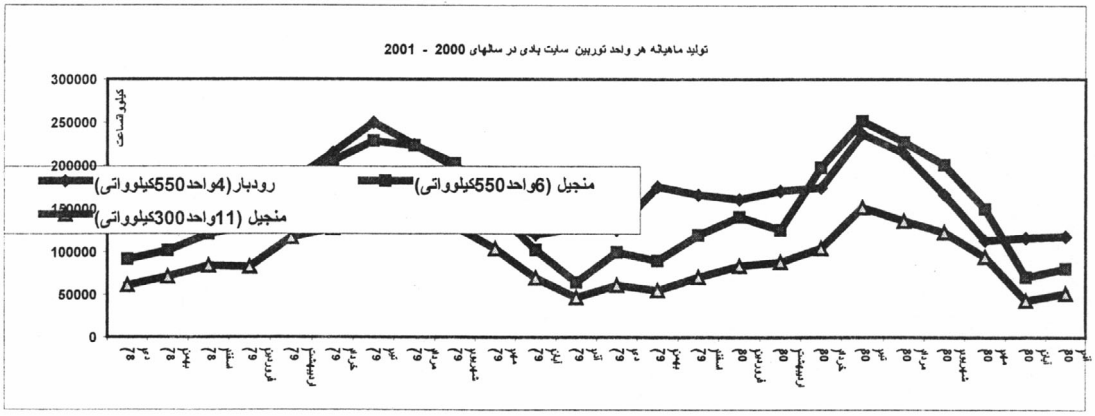
نمودار شماره۱-تولید ماهیانه هرواحدتوربین سایت بادی در سالهای 2000-2001



نمودارشماره۲- میانگین تولید به ازای یک ساعت در بار عادی-کم-اوج (سایت ۳۰۰منجیل)



نمودارشماره۳- میانگین تولید به ازای یک ساعت دربارعادی-کم-اوج (سایت۵۵۰منجیل)



www.SID.ir

در حال حاضر این نیروگاهها سالیانه حدود ۳۵،۰۰۰،۰۰۰ کیلووات ساعت برق تولید و به شبکه سراسری تزریق می‌نمایند که موجب جلوگیری از انتشار ۳۵/۸ تُن گاز NOx، ۱۰۵/۵ تُن گاز SO2، ۲۳۲۳۱/۷ تُن گاز CO2 شده و در این رابطه سالیانه حدود ۶۲۶۶/۶ میلیون ریال بابت هزینه رفع آلودگی صرفه‌جویی می‌شود. شایان ذکر است که در محاسبه هزینه صرفه‌جوئی شده فوق هزینه سوخت مصرف نشده لحاظ نگردیده است.

مرحله ساخت و نصب ۹۰ مگاوات توربین بادی مولد الکتریسیته

در این مرحله که تا پایان برنامه سوم صورت خواهد پذیرفت طراحی دینامیکی و ساخت مابقی قطعات از جمله پره، ژنراتور و ... در داخل کشور صورت می‌گیرد و قسمتهایی از سیستمهای کنترلی در داخل کشور ساخته شده و مابقی به علت صرفه اقتصادی آنها از خارج وارد می‌شوند. در این مرحله ۹۰ مگاوات توربین بادی مولد الکتریسیته تحت نظارت مرکز توسعه انرژیهای نو توسط متخصصین داخلی در کشور ساخته شده و بتدریج مونتاژ، نصب و راه‌اندازی می‌شوند. بطوریکه تا کنون ۲ توربین برق بادی ۵۵۰ کیلوواتی از این مجموعه در منجیل نصب و راه‌اندازی شده‌اند و نصب ۱۰ واحد ۳۰۰ کیلوواتی در هرزویل در حال‌انجام‌است.

همزمان با انتقال تکنولوژی و ساخت اینگونه توربین‌ها طراحی دینامیکی این توربین‌ها توسط نرم‌افزارهای موجود برای شرایط مناسب ایران انجام پذیرفته و هم زمان طراحی توربین‌های مولد الکتریسیته برای سایر مناطق مستعد بادخیز ایران صورت خواهد پذیرفت و سپس اقدام به ساخت آنها خواهد گردید.

قیمت برق تولیدی از باد

قیمت هر کیلووات ساعت برق تولیدی از باد تابعی است از شرایط جغرافیائی، کیفیت منابع باد محلی، ظرفیت توربین‌ها، چگونگی تأمین منابع مالی طرح، اندازهٔ پروژه، زمان تولید و بسیاری از فاکتورهای دیگر، با این حال بررسی و مقایسهٔ قیمت تمام شدهٔ هر کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاههای مختلف معیار نسبتاً مناسبی جهت ارزشیابی برق تولیدی از نیروگاههای بادی می‌باشد.

در بررسی اقتصادی نیروگاههای برق بادی به روش محاسبهٔ ارزش حال خالص (NPV) و مقایسهٔ آن با نیروگاههای بخاری و گازی با اطلاعات فنی داده شده در جدول شماره (۱) و مفروضات داده شده در خصوص متغیرهای اقتصادی در جدول شماره (۲) ارزش حال بهای هر کیلووات ساعت انرژی برق تولیدی نیروگاههای برق بادی ۲۲۶/۹۵ریال، نیروگاه گازی ۱۷۹/۷۳ ریال و نیروگاه بخاری ۱۱۷/۴۱ ریال محاسبه‌گردید.

می‌دانیم آلاینده‌های هوای منتشره از نیروگاهها دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم بسیاری بر روی انسانها، گیاهان و جانوران و اشیاء هستند. آمار بدست آمده از ترازنامه انرژی سال ۷۹ جمهوری اسلامی ایران نشان می‌دهد که هزینه اجتماعی سه آلایندهٔ مهم (دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسیدگوگرد واکسیدهای نیتروژن) نیروگاههای بخاری و گازی در سال ۱۳۷۹ به ترتیب۱ /۱۹۶ و ۲۲۲/۷ ریال بر کیلووات ساعت می‌باشد. حال اگر ارقام فوق را به ارزش حال قیمت تمام شدهٔ هر کیلووات ساعت برق تولیدی نیروگاههای گازی و بخاری اضافه کنیم. ارزش حال واقعی قیمت تمام شدهٔ هر کیلووات ساعت انرژی برق تولیدی نیروگاههای بادی با ضریب تولید ۳۴/۷۵ درصد معادل ۲۲۶/۹۵ ریال می‌باشد در حالیکه نیروگاه گازی با ضریب تولید ۲۵ درصد معادل ۴۰۲/۴ ریال و بخاری با ضریب تولید ۶۵ درصد معادل۳۱۳/۵ریال خواهد بود. همانگونه که ملاحظه می‌شود نیروگاههای برق بادی به مراتب مقرون بصرفه تر از نیروگاههای برق متعارف می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- اطلاعات فنی نیروگاههای گازی، بخاری و بادی

نوع نیروگاه	افت قدرت (درصد)	ارزش اسقاطی (درصد)	ضریب تولید (درصد)	زمان احداث (سال)	عمر (سال)	مصرف داخلی (درصد)	هزینه احداث		هزینه تعمیرات			هزینه سوخت با رایانه
									هزینه ثابت سالیانه	هزینه متغیر		
واحد							کیلووات/ دلار	کیلووات/ریال	کیلووات/ریال	**کیلووات ساعت/دلار**	کیلووات ساعت /ریال	کیلووات ساعت/دلار
گازی *	۱۸	۱۵	۲۵	۳	۲۰	۱	۱۷۹/۲۷	۲۵۱۵۷۲	۹۰۰۰	۰/۰۰۱۳	۰/۵۵	۰/۰۱۰۷
بخاری*	۰	۲۰	۶۵	۶	۳۰	۶	۳۰۷/۳	۴۶۱۰۳۰	۱۲۴۰۰	۰/۰۰۰۴	۰/۹۵	۰/۰۰۹
بادی	۰	۲۵	**۳۴/۷۵**	۱	۲۰	۰/۰۵		۶۸۹۴۸۱۴/۵۹*	**۲سال اول ۱۲۲۹۱۵/۳۱*** ۸ سال بعد ۱۵۵۷۶۸/۲۵*** ۱۰ سال بعد ۱۷۲۱۹۴/۷۲***	۰	**۱/۸۹**	۰

* **سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی**

** این هزینه شامل ۱۰۰٪ هزینه توربین‌های بادی و هزینه‌های پایه، سایت، نصب و راه‌اندازی،هزینه‌های عمومی و الکتریکی می‌باشد.

*** هزینه ثابت سالیانه تعمیرو نگهداری توربین‌های برق بادی بر اساس پیشنهاد GEF برای دو سال اول ۲/۱۷ درصد هزینه سرمایه‌گذاری تجهیزات توربین‌های برق بادی و برای ۸ سال بعد ۲/۷۵ درصد آن و برای ده سال آخر ۳/۰۴ درصد آن در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- اطلاعات و مفروضات در خصوص متغیرهای اقتصادی

نرخ ارز	۸۰۰۰ ریال
نرخ تنزیل داخلی	۲۴ درصد
نرخ تنزیل خارجی	۸ درصد
نرخ تورم داخلی	۱۹ درصد
نرخ تورم خارجی	۳ درصد

تحلیل نتایج

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد در بررسی‌انجام شده در مورد عملکرد نیروگاههای برق‌بادی مشاهده شده است که میانگین تولید توربینها در یک ساعت بار پیک از میانگین تولید در یک ساعت بار عادی و بار کم در تمام ماههای سال بیشتر است و این از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مهمتر از همه آنکه میزان تولید سالیانه توربین‌ها در سایت منجیل و رودبار از تولید سالیانه توربین‌های مشابه در نقاط دیگر جهان بیشتر است. طبق آمار موجود میزان تولید سالیانه هر مگاوات توربین بادی در نقاط دیگر جهان از ۲ تا ۳/۴ میلیون کیلووات ساعت متفاوت بوده است.[۳] در حالی که این رقم در سایت بادی منجیل و رودبار از ۳/۴ تا ۴ میلیون کیلووات ساعت برای هر مگاوات توربین برق بادی متغیر بوده است. لازم به تذکر است که بنا به توصیه کمپانی سازنده به منظور بالا بردن طول عمر توربین‌های بادی زاویه پرّه‌ها تغییر یافته است و گر نه میزان تولید سالیانه از مقدار فوق نیز بیشتر می‌شود. نکته قابل ذکر دیگر آنکه با بررسی توربین‌های نصب شده مشاهده گردید که این توربین‌ها دارای ضریب دسترسی (Availability Factor) بالای ۹۵ درصد می‌باشند. و بالاخره با محاسبه ارزش حال قیمت برق‌تولیدی از نیروگاههای برق‌بادی، بخاری و گازی و

Archive of SID
www.SID.ir

لحاظ نمودن هزینه اجتماعی سه آلاینده مهم زیست محیطی (دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن) مقرون به صرفه‌تر بودن نیروگاههای برق‌بادی از نیروگاههای متعارف با شرایط مورد مقایسه محرز گردید.

مراجع

1. http//www.Yahoo.Com (Search) Error! Error! Unknowh Switch argument.
۲. مجتبی رسولی کوهی، مرتضی خلجی اسدی، بتول صفائی، بررسی عوامل موثر بر تولید توربین‌های برق بادی، مجموعه مقالات دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۱.
3. Wind Stats, Vol.13, No.4, Autumn 2000.

Archive of SID

www.SID.ir