Archive of SID

فصل‌نامهٔ مطالعات اقتصاد انرژی/ سال پنجم / شمارهٔ ۱۷/ تابستان ۱۳۸۷/ صفحات ۱۴۰ -۱۱۳

برآورد پتانسیل برق بادی و اثر بهره‌گیری از آن در صرفه‌جویی سوخت فسیلی در ایران

نیلوفر شعربافیان

کارشناس ارشد انرژی‌های تجدید پذیر، دانشگاه تکنولوژی وین، niloofar1359@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۷ تاریخ پذیرش: ۸۸/۲/۱۹

چکیده

ایران مبالغ زیادی را در زمینهٔ انرژی تجدیدپذیر برق بادی، سرمایه‌گذاری کرده است. میزان یارانه‌های تخصیصی در بخش برق فسیلی حدود ۷/۳ میلیارد یورو است که مانعی جدی بر سر راه توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر به‌شمار می‌رود. علی‌رغم وجود یارانه‌ها، میزان ظرفیت نصب شدهٔ برق بادی تا اوایل سال ۱۳۸۷ بالغ بر ۱۲۸ مگاوات بوده است، که تولید ۳۰۷ گیگاوات برق را طی دورهٔ ۸۴-۱۳۷۳ را به همراه داشته است. این میزان برق تولیدی سبب صرفه‌جوئی ۴۲۵ هزار بشکه معادل نفت در بخش نیروگاهی ایران شده و در جای خود موجب کاهش یک میلیون تن انواع آلاینده‌های زیست محیطی در فاصلهٔ ۱۳۸۴-۱۳۷۳ شده است. با استفاده از اطلاعات واقعی ماهیانهٔ باد در استان‌های کشور و با بهره‌گیری از معادلهٔ چگالی وایبول، پتانسیل قابل استفادهٔ باد در استان‌ها محاسبه شده و در نهایت کل پتانسیل برق بادی به میزان ۳/۶ گیگاوات تخمین زده شده است. البته محاسبات دیگر تا حد ۶ گیگاوات ظرفیت را برآورد کرده‌اند. براساس سیاست‌های فعلی انرژی کشور، ارزش حال خالص و نرخ بازدهٔ داخلی پروژه‌های باد در سه استان گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی محاسبه شده است، که تأییدکنندهٔ این واقعیت است که پروژه‌های برق بادی در این سه استان از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند.

نتایج نشان می‌دهد که با حذف یارانه‌های انرژی فسیلی به همراه یک روش بازار محور، می‌توان ظرفیت انرژی بادی را به ۳/۶ تا ۶ گیگاوات افزایش داد. این ظرفیت نصب شده می‌تواند سبب صرفه‌جوئی حدود ۴۷ تا ۸۴ میلیون بشکه معادل نفت (۱۲۷۰۰۰ تا ۲۳۰۰۰۰ بشکه در روز) در بخش نیروگاهی ایران شود.

طبقه‌بندی JEL: Q55, Q42, O33

کلید واژه: انرژی باد، ایران، پتانسیل، بهره‌گیری از پتانسیل، تابع توزیع وایبول، ارزش حاصل خالص و نرخ بازدهٔ داخلی

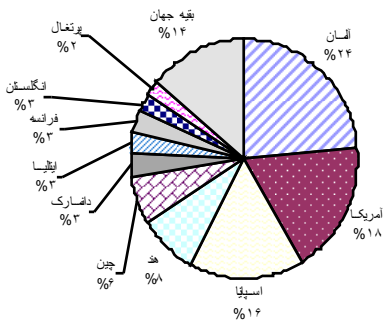
www.SID.ir

Archive of SID

۱-مقدمه

بهره‌گیری از انرژی باد اولین بار توسط ایرانیان در ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح انجام پذیرفته است.این تکنولوژی از طریق ایرانیان به امپراتوری رم باستان در سال‌های ۲۵۰ بعد از میلاد انتقال یافت. به هر حال اولین توربین بادی در سیستان وافغانستان در قرن هفتم میلادی ساخته شد [1]، اما کشورهای اروپائی در به‌کارگیری تکنولوژی نوین بهره‌گیری از باد، پیشرو هستند.

اروپا دارای بازار پیشرو در انرژی باد است و این وضعیت در آینده هم‌چنان پابرجا خواهد بود. آلمان از نظر میزان ظرفیت نصب شده در رتبهٔ اول جهان قرار دارد. این کشور ۲۳/۷ درصد ظرفیت نصب شدهٔ جهان را در سال ۲۰۰۷ به خود اختصاص داده است. همان‌گونه که نمودار ۱ نشان می‌دهد، آمریکا و اسپانیا هر یک به ترتیب با ۱۷/۹ و ۱۶/۱ درصد ظرفیت نصب شدهٔ جهان در سال ۲۰۰۷ به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. ده کشور برتر جهان در زمینهٔ ظرفیت نصب شدهٔ انرژی باد در نمودار ۱ نشان داده شده‌اند(گویک [2]، ۲۰۰۷). این کشورها در مجموع ۸۶/۱ درصد کل ظرفیت نصب شده در جهان را به خود اختصاص داده‌اند. صنعت انرژی باد به سرعت در دنیا در حال گسترش است، هر چند که توسعهٔ این صنعت همان‌گونه که نمودار ۱ نشان می‌دهد، در بین کشورهای مختلف، متفاوت است. نمودار ۲، روند تجمعی ظرفیت نصب شدهٔ انرژی در جهان را نشان می‌دهد.



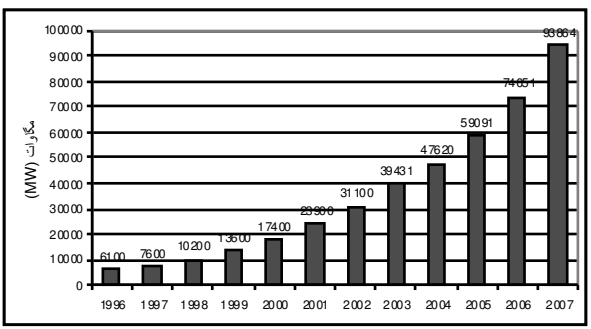
نمودار ۱- ده کشور برتر درظرفیت نصب شده برق‌بادی در سال ۲۰۰۷

1 - Wikipedia, 2008 ; The Need Project, 2008
2- GWEC.

www.SID.ir

Archive of SID

در فاصلهٔ سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰، رشد ظرفیت نصب شدهٔ برق بادی بسیار کم بود، ولی بعد از سال ۲۰۰۰، توسعهٔ ظرفیت نصب شده سرعت گرفته است. ظرفیت نصب شده در سال ۱۹۹۶ حدود ۶۱۰۰ مگاوات بوده، که در سال ۲۰۰۷ به ۹۳۸۶۴ مگاوات رسیده است. ظرفیت نصب شده در جهان طی این مدت سالیانه حدود ۲۴/۹ درصد رشد داشته است [۱].



نمودار ۲ - روند ظرفیت تراکمی نصب شدهٔ برق بادی در جهان در فاصلهٔ ۲۰۰۷-۱۹۹۶

منبع : گوپک، ۲۰۰۷

ایران صادر کنندهٔ نفت و گاز است و ذخایر سرشاری از گاز و نفت را داراست. وجود ذخایر فراوان نفت و گاز به همراه سایر عوامل اقتصادی و سیاست‌گذاری‌های انرژی و اقتصادی دیگر سبب شده است که از منابع انرژی به‌صورت بهینه استفاده نشود و مقادیر زیادی یارانه نیز به‌صورت غیرفنی به بخش‌های مختلف اقتصادی تخصیص یابد، که بار مالی زیادی را به اقتصاد و بودجهٔ دولت تحمیل کرده است. چنین وضعیتی، توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر را نیز با دشواری‌های فراوانی روبرو کرده است. توسعهٔ

1- نرخ متوسط رشد سالیانه از فرمول $g = \ln(X_t / X_{t-1})/n$ که در آن n، تعداد سال‌های بین دو دوره است تعریف می گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

انرژی‌های تجدیدپذیر در چنین شرایطی تنها به کمک حمایت‌های مستقیم دولت امکان‌پذیر است.

به منظور ارزیابی و محاسبهٔ پتانسیل انرژی بادی برای تولید برق درایران، این مقاله وضعیت بازار برق، سیاست قیمت‌گذاری، سیاست‌گذاری برق بادی، تکنولوژی مورد استفادهٔ برق بادی و نقشهٔ باد و سرعت باد در استان‌های مختلف کشور را مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از داده‌های آمار واقعی باد در کشور، تابع چگالی احتمال وایبول [1] برای باد و نیز ظرفیت برق بادی برای سه استان که مناسب‌ترین شرایط برق بادی را دارا هستند، محاسبه و ترسیم می‌شود.

براساس تحلیل وای بول، ارزش حال خالص [2] توربین‌های بادی ۶۶۰ کیلوواتی برای سه استان کشور، محاسبه و در نهایت براساس آن ظرفیت ممکن و اقتصادی بهره‌گیری از برق بادی برآورد می‌شود. به علاوه اثر بهره‌گیری از انرژی باد بر محیط زیست و نیز صرفه‌جوئی مصرف نفت در کشور مورد بررسی کمی قرار می‌گیرد. نشان داده می‌شود که بهره‌گیری کامل از پتانسیل انرژی باد در کشور، می‌تواند مقادیر قابل توجهی از انرژی‌های فسیلی را ذخیره و در قیمت‌های جهانی به بازارهای بین المللی عرضه کند.

بخش دوم مقاله، وضعیت فعلی بازار برق در ایران را مورد بررسی قرار می‌دهد. سیاست‌های انرژی بادی در بخش سوم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم تکنولوژی باد در ایران مورد اشاره قرار می‌گیرد. هم‌چنین اثرات خارجی مثبت و منفی استفاده از انرژی بادی در بخش پنجم ارائه می‌شود. بخش ششم تخمین پتانسیل باد در ایران را در بردارد و بخش آخر نیز به خلاصه و نتیجه‌گیری مقاله اختصاص دارد.

۲- بازار برق در ایران

۲-۱- قیمت برق در ایران

در ایران قیمت برق توسط دولت تعیین شده و در بخش‌های مختلف اقتصادی متفاوت است. نمودار ۳، نشان می‌دهد که کم‌ترین قیمت برق از بخش کشاورزی و بیش‌ترین قیمت از بخش تجاری دریافت می‌شود. در دههٔ اخیر، تلاش‌های زیادی برای

1 - Weibull density function.

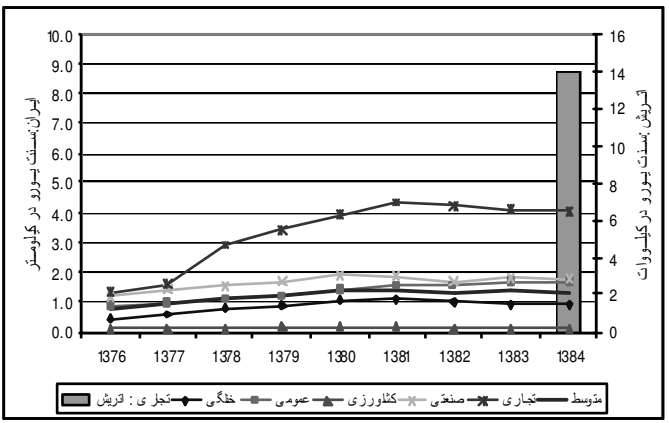
2 - Net Present Value.

www.SID.ir

Archive of SID

تعدیل و اصلاح یمت‌های انرژی و برق انجام شده است، ولی با این وجود قیمت‌های برق بسیار پایین‌اند و یارانه‌های ضمنی سنگینی را شامل می‌کنند.

قیمت‌های برق در محدودهٔ ۰/۹ تا ۴/۱ سنت یورو در هر کیلووات ساعت هستند، که قابل مقایسه با قیمت برق در کشورهای با بازار آزاد برق نیستند. به‌عنوان مثال قیمت برق در بخش تجاری در کشور اتریش معادل ۱۴ سنت یورو در هر کیلو وات ساعت در سال ۱۳۸۴ بوده است. در چنین شرایطی، صنعت برق بادی در ایران به دشواری می‌تواند رقابت کند.



نمودار۳ -قیمت برق در بخش‌های مختلف در ایران

منبع: ترازنامهٔ انرژی ایران ۱۳۸۴، وزارت نیرو، IEA Prices and Taxes 2002

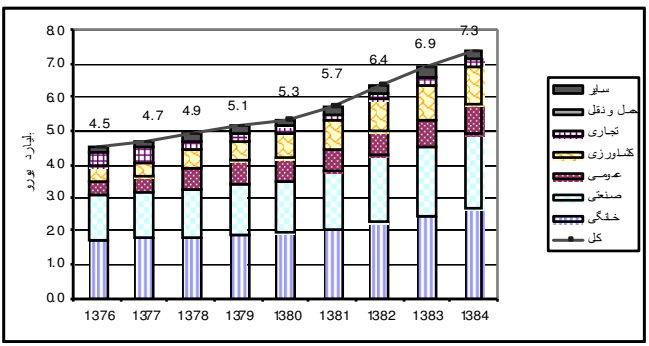
۲-۲ - یارانه‌های ضمنی برق در ایران

گرچه ایران دارای پتانسیل بالایی برای برق بادی‌است، ولی یارانه‌های فنی تخصیصی برای مصرف کنندگان برق سبب عدم تشویق سرمایه‌گذاران برای توسعهٔ برق بادی می‌شود. نمودار ۴، روند یارانهٔ برق را در بخش‌های مختلف اقتصادی نشان می‌دهد. میزان یارانهٔ برق برابر با ۴/۵ میلیارد یورو در سال ۱۳۷۶ بوده است. از آن‌جایی که تعدیل رو به بالای قیمت برق به دلیل جلوگیری از افزایش تورم، متوقف شده، یارانهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

ضمنی به دلیل افزایش مصرف برق به ۷/۳ میلیارد یـور در سـال ۱۳۸۴ رسـیده اسـت. حذف یارانه برق می‌تواند بار مالی دولـت را کـاهش داده و هـم‌زمـان زمینـهٔ مـساعدتری برای توسعهٔ برق فراهم کند.



نمودار۴ - یارانه ضمنی برق در ایران

منبع: نتایج تحقیق

* توجه: قیمت برق در بخش حمل و نقل مانند قیمت برق در بخش عمومی در نظر گرفته شده است.

۲-۳ - *تولید و مصرف برق*

نیروگاه‌های حرارتی مولد برق (نیروگاه‌های بخاری و توربین گازی)، بخش عمـده‌ای از برق ایران را تولید می‌کنند. حدود ۸۹/۹ درصد تولید برق در نیروگاه‌هـای حرارتـی (با سوخت نفت گاز، گازطبیعی و یا هر دو سوخت) انجام می‌پذیرد. نیروگاه‌های برق آبی کوچک و بزرگ، ۸/۹ درصد در تولید برق سهم دارند. سهم کوچکی از تولید برق توسط نیروگاه‌های بادی و خورشیدی انجام می‌پـذیرد، کـه در سـال ۱۳۸۴ ایـن سـهم حـدود ۰/۰۴ درصد بوده است. میزان تولید برق توسط نیروگـاه‌هـای تجدیدپـذیر حـدود ۷۱ گیگاوات ساعت در همین سال بوده است.

از کل برق تولید و وارد شده به کشور، حـدود ۳۴/۸ درصـد آن یـا تلـف شـده و یـا توسط نیروگاه‌ها و شبکهٔ برق و پالایشگاه‌ها مصرف شده است. یک سهم کوچکی از بـرق تولیدی نیز به کـشورهای همـسایه صـادر مـی‌شـود. بقیـهٔ آن یعنـی ۷۵/۲ درصـد، در بخش‌های نهایی اقتصادی به مصرف می‌رسد. حدود ۵۰/۹ درصد کل تقاضـای بـرق در

www.SID.ir

Archive of SID

بخش‌های خانگی و تجاری به‌طورعمده برای روشنایی و برای وسایل خانگی برق انجام می‌پذیرد. بخش صنعت با ۳۳/۹ درصد دومین مصرف کنندهٔ اصلی برق است. حدود ۱۵/۴ درصد دربخش کشاورزی، حمل و نقل و روشنایی عمومی مصرف می‌گردد.

۲-۴- ظرفیت برق بادی نصب شده در ایران

سازمان انرژی‌های نو ایران(سانا) وابسته به وزارت نیرو و سازمان انرژی اتمی ایران، دو سازمانی هستند که امور پروژه‌های انرژی برق بادی را انجام می‌دهند. براساس قوانین کشوری تمامی پروژه‌های باد کشور تحت نظارت و سرپرستی وزارت نیرو قرار دارد. سازمان انرژی‌های نو ایران نقشهٔ بادی کل کشور را به منظور تسهیل توسعهٔ برق بادی تهیه کرده است. طبق این نقشه ایران تقریباً در تمامی نقاط کشور دارای پتانسیل بادی خوبی برای تولید برق بادی است. این نقشه براساس ۵۰ ایستگاه بادسنجی که اطلاعات باد را برای ۱۲ ماه ثبت کرده‌اند، تهیه شده است. محل‌های مناسب برای ایجاد مزرعهٔ بادی، با استفاده از اطلاعات ۱۰ ایستگاه بادی پیشنهاد شده‌اند.

ظرفیت نصب شدهٔ برق بادی تا سال ۱۳۸۴ برابر با ۴۷/۵۸ مگاوات بوده که شامل ۹۲ توربین بادی است. آخرین اطلاعات در دسترس نشان می‌دهد که ظرفیت نصب شدهٔ برق بادی تا اواسط سال ۱۳۸۷ به ۱۲۸ مگاوات رسیده است. جدول ۱، اطلاعات تفصیلی در مورد ظرفیت نصب شدهٔ مزارع بادی کشور را در بردارد. ظرفیت توربین‌های بادی نصب شده در دامنهٔ ۱۳۰ تا ۶۶۰ کیلو وات قرار دارد. تعداد توربین‌های با ظرفیت ۶۶۰ کیلو وات، دارای فراوانی بیش‌تری در این مجموعه هستند.

پروژه‌های بادی متعددی برای استان‌های مختلف کشور در دست‌مطالعه قرار دارند. مطالعات امکان‌یابی یک نیروگاه برق بادی ۶۵ مگاواتی در استان گیلان قبلاً انجام پذیرفته است. در این سطح سرعت باد در ارتفاع ۴۰ متری حدود ۸ متر بر ثانیه است که این سرعت برای پروژه‌های برق بادی مناسب است. این بزرگ‌ترین پروژهٔ برق بادی است که توربین‌های بادی با ظرفیت یک مگاواتی را نصب می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱-توربین‌های بادی نصب شده در ایران تا پایان ۱۳۸۴

سایت	استان	شهر	تعداد توربین‌های نصب شده							ظرفیت
			تعداد	۱۳۰kw	۳۰۰kw	۵۰۰Kw	۵۵۰Kw	۶۰۰Kw	۶۶۰ Kw	Kw
رودبار	گیلان	رودبار	۴	-	-	۱	۳	-	-	۲۱۵۰
منجیل	گیلان	منجیل	۳۱	-	۱۵	۱	۱۵	-	-	۱۳۲۵۰
پسکولان	گیلان	منجیل	۲۲	-	-	-	-	-	۲۲	۱۴۵۲۰
هرزویل	گیلان	منجیل	۱۲	-	۱۲	-	-	-	-	۳۶۰۰
بابائیان	گیلان	منجیل	۱	-	-	-	-	۱	-	۶۰۰
بینالود	خراسان	بینالود	۲۰	-	-	-	-	-	۲۰	۱۳۲۰۰
ونتین(دیزآباد)	خراسان	مشهد	۲	۲	-	-	-	-	-	۲۶۰
کل	-	-	**۹۲**	**۲**	**۲۷**	**۲**	**۱۸**	**۱**	**۴۲**	**۴۷۵۸۰**

منبع: ترازنامهٔ انرژی ایران، ۱۳۸۴، وزارت نیرو

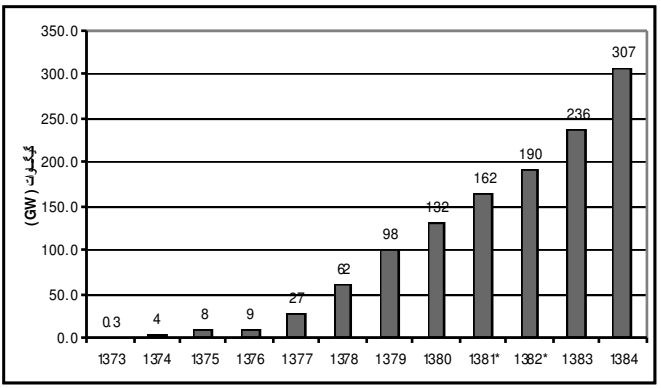
توجه: آخرین اطلاعات در دسترس حاکی از آن است که ظرفیت برق بادی نصب شده در سایت‌های منجیل و بینالود به ترتیب به ۱۰۰ مگاوات و ۲۸/۳ مگاوات تا اواسط ۱۳۸۷ افزایش یافته است (سرمایه، ۱۳۸۷).

۲-۵- تولید برق بادی در ایران

تولید برق بادی ۰/۳ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۷۳ بوده، که این میزان به سطح ۷۰ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۸۴ رسیده است. میزان تولید برق بادی در مقایسه با تولید برق از نیروگاه‌های حرارتی و آبی بسیار ناچیز است. سهم برق بادی از کل تولید در سال ۱۳۸۴ حدود ۰/۰۴ درصد بوده است. نمودار ۵، نشان می‌دهد که تولید تجمعی برق بادی از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴ به میزان ۳۰۷ گیگاوات ساعت بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۵ -تولید تراکمی برق بادی

منبع: ترازنامهٔ انرژی ایران، ۱۳۸۴، وزارت نیرو

توجه: به‌دلیل تعمیر برخی توربین‌های بادی در سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲، تولید کاهش داشته است.

۳ - سیاست‌های برق بادی در ایران

-خرید برق بادی تولیدی با قیمت‌های تضمینی توسط دولت

طبق برنامهٔ پنج سالهٔ توسعهٔ اقتصادی چهارم ، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل ظرفیت تولید برق کشور در سال ۱۳۸۸ بایستی به یک درصد برسد. با توجه به این‌که کل ظرفیت برق نصب شده حدود ۵۰۰۰۰ مگاوات است،مقدار برق تجدیدپذیر بایستی به سطح ۵۰۰ مگاوات در سال ۱۳۸۸ برسد.

فعالیت‌های، انرژی‌های تجدید پذیر در ایران از سال ۱۳۵۴ توسط وزارت نیرو با کار بر روی پروژه‌های زمین گرمایی آغاز شد. بخش‌انرژی‌های تجدیدپذیر توسط وزارت نیرو در سال ۱۳۷۲ برای توسعهٔ این انرژی‌ها در ایران بنا نهاده شد، سه سال بعد یک شرکت دولتی به نام سازمان انرژی‌های نو (سانا)، زیر نظر وزارت نیرو تأسیس شد. این سازمان در سال ۱۳۷۹ تلاش کرد که ۵۰ شرکت خصوصی را در فعالیت‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر درگیر کند. سومین برنامهٔ پنج سالهٔ توسعهٔ اقتصادی کشور،

www.SID.ir

Archive of SID

تبصرهٔ ۶۵ مقررات مرتبط به تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیررا ارایه می‌کند. این تبصره در چهارمین برنامهٔ پنج سالهٔ توسعهٔ اقتصادی کشور (۱۳۸۸-۱۳۸۳) نیز دوباره ارایه و تصویب شد. براساس این تبصره، وزارت نیرو برق تولید شده از انرژی‌های تجدیدپذیر را براساس قیمت‌های مصوب تضمین شده خریداری می‌کند. این قیمت‌ها به نحوی تنظیم می‌شوند که پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر اقتصادی شوند. قیمت‌های تضمینی خرید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲-قیمت تضمین شدهٔ برق تجدیدپذیر توسط دولت

دوره	ریال/ کیلو وات ساعت	سنت پورو در کیلو وات ساعت
بار حداکثر مصرف	۶۵۰	۵/۹
بار معمولی	۶۵۰	۵/۹
بار حداقل مصرف	۴۵۰	۴/۱

*توجه: یک یورو برابر ۱۰۹۹۷ ریال در سال ۱۳۸۳ در نظر گرفته شده است. هیئت وزیران بنا به مصوبهٔ شمارهٔ ۱۴۲۵۵۱/ت ۴۱۱۱۳ ه مورخ ۱۳۸۷/۰۸/۱۵ خرید تضمینی برق از منابع تجدیدپذیر (جایگزین تعرفه‌های ماده ۶۲ قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت) برای تولیدکنندگان غیر دولتی را برابر با ۱۳۰۰ریال بر کیلووات ساعت در ساعات اوج و میان باری و ۹۰۰ ریال بر کیلووات ساعت در ساعات کم باری تصویب کرد (SUNA, 1387).

دولت تلاش می‌کند که از طریق قیمت‌های تضمینی خرید برق، توسعهٔ برق تجدیدپذیر را تشویق کند. ولی بهترین شیوه بر مبنای روش‌های بازار محور خواهد بود که در آن یارانه‌های برق فسیلی کاملاً حذف و به‌علاوه پروژه‌های برق بادی از نرخ‌های بهره ترجیحی برخوردار شوند. این روش بازار محور می‌تواند توسعهٔ مداوم انرژی‌های تجدیدپذیر را در بلندمدت تضمین کند.

-مشارکت بخش خصوصی و خصوصی سازی

سیاست‌گذاران بخش انرژی سعی می‌کنند که بخش خصوصی را برای توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر علی‌رغم وجود یارانه‌های سنگین روی سوخت‌های فسیلی ترغیب کنند. سانا نقشه‌های باد کشور ایران را تهیه نموده و دستورالعمل‌های لازم را برای بهره‌گیری این بخش از انرژی‌های تجدیدپذیر ارایه کرده است. تاکنون حدود ۳۰۰ مگاوات ظرفیت از سوی بخش خصوصی برای تولید برق بادی درخواست مجوز شده، که

www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۶۰۰ مگاوات آن تاکنون مجوز صادر شده است (آرمودلی،۱۳۸۷). بخش خصوصی نیازمند حمایت‌های فنی و مالی است و در تلاش است که بتواند از منابع مالی صندوق ذخیرهٔ ارزی استفاده کند.

اکنون سیاست‌گذاران بخش انرژی مطابق روندهای جاری خصوصی‌سازی و آزادسازی در اقتصاد کشور، در تلاش هستند که بخشی از نیروگاه‌های بادی فعال فعلی را به بخش خصوصی منتقل کنند تا بدین‌وسیله قابلیت‌های بخش خصوصی را در تأمین مالی و مسایل فنی برق بادی افزایش دهند. اعتقاد بر این است که با این شیوه بهتر می‌توان مشارکت بخش‌خصوصی را افزایش داد.

قرار است که نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی منجیل و ۲۸/۳ مگاواتی بینالود، از طریق بازار بورس تهران به بخش خصوصی منتقل شوند. در مرحلهٔ اول، ۶۵ درصد سهم این نیروگاه‌ها به بخش خصوصی منتقل می‌شود و مابقی در اختیار دولت باقی می‌ماند تا اطمینان حاصل شود که فعالیت نیروگاه‌ها بدون مشکل ادامه یابد. دولت هم‌چنان در زمینهٔ برق بادی سرمایه‌گذاری خواهدو از طریق این مکانیزم بخشی از آن را به بخش خصوصی منتقل خواهد کرد، تا هم‌چنان مشارکت بخش خصوصی را در برق بادی افزایش دهد. بهتر است که نیروگاه جدید بادی از توربین‌های بادی با ظرفیت یک مگاوات بجای ۶۶۰ کیلووات استفاده نماید و سپس از عملیاتی شدن به بخش خصوصی منتقل گردد (سرمایه،۱۳۸۷).

۴ - تکنولوژی انرژی بادی در ایران

تکنولوژی انرژی بادی مورد استفاده در ایران مبتنی بر آخرین تکنولوژی در دسترس از کشور دانمارک است. ایران تا اوایل سال ۱۳۸۷ تعداد ۳۷ توربین بادی را از شرکت وستاس[1] دانمارک، خریداری و به کشور وارد و نصب کرده‌است. (وستاس، ۲۰۰۸). به منظور بومی سازی تکنولوژی توربین‌های بادی در کشور، شرکت صبا نیرو وابسته به گروه صنعتی سدید و با همکاری شرکت دانمارکی وستاس، برای تولید توربین‌های بادی ۳۰۰ کیلووات، ۵۵۰ کیلووات و ۶۶۰ کیلووات در سال ۱۳۷۹ تأسیس شد (صبا نیرو،۱۳۸۷).

1- VESTAS.

www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۵۰ درصد قطعات این توربین‌ها در داخل تهیه و مابقی آن از خارج وارد می‌شود و در نهایت توربین‌های بادی در داخل کشور مونتاژ می‌شوند. ایران بزرگ‌ترین کشور صادرکنندهٔ توربین‌های بادی در منطقهٔ خلیج فارس و خاورمیانه است. هم‌چنین برای تولید قیمت‌های حساس در داخل کشور، مانند ژنراتور و گیربکس و سیستم‌های هیدرولیک و قطعات الکتریکی برنامه‌ریزی کرده است.

اکنون توربین‌های با ظرفیت ۳ تا ۵ مگاوات در بازارهای جهان عرضه می‌شوند. ولی لازم به ذکر است که حمل و نقل و نصب این توربین‌ها نیاز به تجهیزات و زیربناهای خاصی در هر کشوری دارد. در حال حاضر چرثقیل‌های ۱۶۰ تنی برای نصب توربین‌های ۶۶۰ کیلوواتی در ایران استفاده می‌شوند. لازم به یادآوری است که تعداد کمی از این جرثقیل‌ها در ایران وجود دارند.

جدول ۳، ویژگی‌های فنی توربین بادی S۴۷ با ظرفیت ۶۶۰ کیلووات را که در کارخانه صبا نیرو ساخته می‌شود نشان می‌دهد. این توربین دارای دو سیستم کنترل اتوماتیک است. سیستم بهینه سازی زاویه [1] که زاویهٔ پره های توربین را تنظیم می‌کند،

جدول ۳ - ویژگی‌های توربین بادی S47 با ظرفیت ۶۶۰ کیلووات‌ساخته شده توسط شرکت صبا نیرو

شرح	واحد
عمر مفید	۲۰ سال
شرایط هوایی	۲۰- تا ۴۰+ درجه سانتی گراد
قطر روتور	۴۷ متر
سطح جاروب	۱۷۳۵ مترمربع
چرخش اسمی	۲۵/۵ Rpm
طول پره‌ها	۲۲/۹
بازهٔ عملیاتی (سرعت باد)	۲۵-۴ متر بر ثانیه
سرعت حداقل باد	۴ متر بر ثانیه
سرعت باد اسمی	۱۵ متر بر ثانیه
حداکثر سرعت باد	۲۵ متر بر ثانیه
ترمز	آیرودینامیک
سیستم‌های کنترلی	کنترل زاویه پره‌ها و تنظیم سرعت
ژنراتور برق	آسنکرون ۶۶۰ کیلووات، ۵۰ هرتز

منبع: شرکت صبانیرو، ۱۳۸۷، www.sabaniroo.ir

1 - PitchOptiTip.

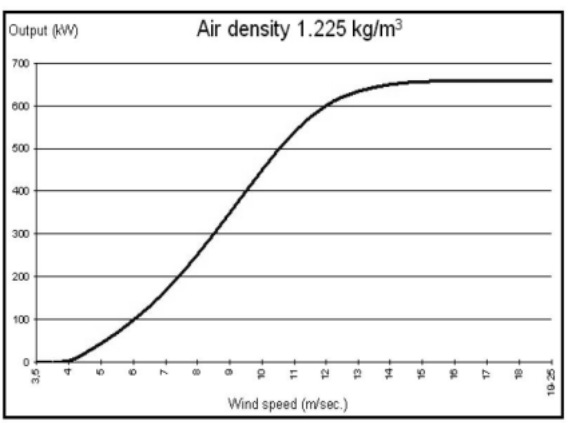
www.SID.ir

Archive of SID

سبب می‌شود که همواره زاویهٔ پره‌ها نسبت به باد در حال وزش، حالت بهینه داشته باشند. به‌علاوه این امکان را فراهم می‌کند که صدای ایجاد شده توسط توربین از سطح مورد نظر تعیین شده در مقررات هر کشوری فراتر نرود.

سیستم کنترلی سرعت[1] این امکان را فراهم می‌کند که سرعت چرخش محوری توربین در مقابل بادهای تند تنظیم شود، به‌طوری‌که در دامنهٔ ۱۰درصد بالاتر و یا پائین‌تر از سرعت اسمی تعریف شده تغییر کند. این سیستم کنترلی از نوسانات ناخواسته در تولید برق در شبکه جلوگیری و به‌علاوه از وارد شدن فشار زیاد بر قسمت‌های مختلف توربین جلوگیری می‌کند.

نمودار ۶، منحنی توان[2] توربین S۴۷ را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که سرعت باد در دامنهٔ ۱۳ تا ۱۵ متر بر ثانیه بهترین نتیجه را برای تولید برق به‌دست می‌دهد، اما در همین حال توربین در دامنهٔ سرعت ۴ تا ۲۵ متر بر ثانیه نیز عملیاتی است و برق تولید می‌کند.



نمودار ۶ – منحنی توان توربین بادی S۴۷

منبع: شرکت صبا نیرو

1- Optislip.
2- Power curve.

www.SID.ir

Archive of SID

۵ -اثرات خارجی مثبت و منفی

تولید برق از انرژی باد دارای اثرات خارجی منفی و مثبت است. اثرات خارجی مثبت عبارت از صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی است. هم‌چنین برخی اثرات خارجی منفی شامل صدمه زدن به چشم اندازهای طبیعی کشور ، مهاجرت حیوانات وحشی منطقه و صدای توربین هنگام گردش پره‌ها است. در این قسمت اثرات خارجی مثبت مربوط به صرفه‌جویی نفت و نیز کاهش آلاینده‌های زیست محیطی ناشی از تولید برق‌بادی از ابتدای تولید تاکنون، برآورد می‌شود.

-صرفه‌جوئی در نفت

سوخت نیروگاههای حرارتی کشور برای تولید برق شامل نفت و گاز، دیزل و گاز طبیعی است. مصرف این سوخت‌ها سبب انتشار انواع آلاینده‌های زیست محیطی می‌شود. سوخت‌های فسیلی مورد استفاده، در نیروگاه‌های حرارتی در صورت صرفه‌جویی می‌توانند با قیمت‌های بین‌المللی در بازار جهانی به فروش برسند. بنابراین قیمت‌های بین‌المللی این انرژی‌ها می‌تواند به عنوان هزینهٔ فرصت این سوخت‌ها در نظر گرفته شود. نیروگاه‌های بادی از منابع پتانسیل‌های باد کشور که تجدیدپذیر هستند، استفاده می‌کنند. با تولید برق از این نیروگاه‌ها مقادیر قابل توجهی سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی می‌شود. با استفاده از متوسط قیمت یک بشکهٔ سوخت مخلوط [1] بدون مالیات در کشورهای OECD به‌عنوان هزینه فرصت سوخت‌های مصرفی در نیروگاه‌های کشور می‌توان ارزش دلاری میزان صرفه‌جویی را برآورد کرد.

میزان صرفه‌جویی سوخت فسیلی در بخش تولید برق از طریق تولید برق بادی با استفاده از نسبت تولید برق فسیلی به‌میزان مصرف سوخت فسیلی در نیروگاه‌های حرارتی محاسبه می‌شود. نسبت ستاده –نهاده [2] در رابطهٔ (۱) نشان داده شده است. نسبت محاسبه شده در رابطهٔ (۱)، برای محاسبهٔ مقدار صرفه‌جویی سوخت به‌دلیل، تولید برق بادی در نیروگاه‌های بادی کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد که در رابطهٔ (۲) نشان داده شده است.

1- Composite barrel.
2- Output–Input ratio.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\eta = \frac{e}{o} = ۶۷۹ \qquad (۱)$$

$$O_w = \frac{e_w}{\eta} \qquad (۲)$$

که در آن η ، نسبت ستاده به نهاده در نیروگاه‌های حرارتی کشور است و E، عبارت از مقدار برق تولیدی در نیروگاه‌های حرارتی (میلیون کیلووات ساعت) و o ، مقدار سبد نفت مصرفی (میلیون بشکه معادل نفت) است. این موارد با اندیس w، بیانگر همین مقادیر در نیروگاه‌های بادی کشور است.

جدول ۴، مقادیر نسبت ستاده به نهاده را در سال‌های مختلف برای نیروگاه‌های حرارتی کشور محاسبه کرده است. نسبت‌های محاسبه شده در سال‌های مختلف تفاوت اندکی با یکدیگر دارند، که نتیجهٔ تفاوت در بهره‌گیری از ظرفیت‌های تولیدی بوده است. میانگین این نسبت برای محاسبهٔ میزان صرفه‌جویی نفت مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۴ - تولید برق ومصرف نفت در نیروگاه‌های حرارتی

سال	تولید برق نیروگاه حرارتی	مصرف نفت	نسبت ستاده به نهاد
	میلیون کیلووات ساعت	میلیون بشکه معادل نفت	میلیون کیلووات هر میلیون بشکه نفت
۱۳۸۲	۱۴۶۹۳۵/۰۵	۲۱۴/۳۱	۶۸۵/۶
۱۳۸۳	۱۵۹۹۸۱/۲۹	۲۴۰/۰۶	۶۶۴/۴
۱۳۸۴	۱۷۳۴۹۳/۶	۲۵۲/۷۷	۶۸۴/۴
متوسط	۱۶۰۱۷۳	۲۳۶	۶۷۹

منبع: ترازنامهٔ انرژی ایران ۱۳۸۴، وزارت نیرو.

تولید برق بادی در طول سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴ سبب صرفه‌جویی در مصرف نفت به میزان ۴۵۲۰۰۰ بشکه معادل نفت شده که ارزش آن در قیمت‌های جاری حدود ۲۲/۳ میلیون دلار است. ارزش پولی این صرفه‌جویی در طول زمان هم‌زمان با افزایش تولید برق بادی بیش‌تر خواهد شد.

-کاهش آلاینده‌های زیست محیطی

تولید برق بادی سبب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی برای تولید برق معادل در نیروگاه‌های حرارتی می‌شود، که این خود می‌تواند به کاهش آلاینده‌های زیست محیطی

www.SID.ir

Archive of SID

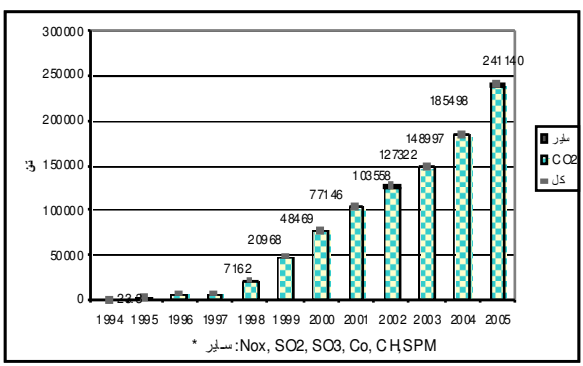
کمک کند. جدول ۵، میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی را برای تولید یک میلیون کیلووات ساعت برق در نیروگاه‌های حرارتی با سوخت دیزل نشان می‌دهد. انتشار CO_2، بخش عمده‌ای از آلاینده‌های زیست محیطی را در نیروگاه‌های حرارتی به خود اختصاص می‌دهد. برای یک میلیون کیلووات ساعت برق تولیدی حدود ۷۷۸/۱۶ تن CO_2 منتشر می‌شود.

جدول ۵ - انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه‌های حرارتی دیزلی در ایران در سال ۱۳۸۴

شرح	NOX	SO2	CO2	SO3	CO	CH	SPM
کل انتشار آلاینده‌ها (میلیون تن)	۳۲۴	۹۷۹	۱۶۴۹۷۰	۱۵	-	۲۰	۶۲
انتشار آلاینده‌ها: تن برای هر میلیون کیلووات ساعت برق	۱/۵۳	۴/۶۲	۷۷۸/۱۶	٪۷	٪	٪۹	٪۲۹

منبع: ترازنامهٔ انرژی، ۱۳۸۴، وزارت نیرو.

نمودار ۷، روند کاهش (عدم انتشار) آلاینده‌های زیست محیطی به دلیل تولید برق بادی را نشان می‌دهد. کل میزان عدم انتشار انواع آلاینده‌ها طی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴ حدود یک میلیون تن است. مقدار پولی شده این عدم انتشار می‌تواند به‌عنوان اثرات خارجی مثبت نیروگاه‌های بادی در نظر گرفته شودو در تحلیل‌های هزینهٔ فایدهٔ اجتماعی لحاظ شود.



نمودار ۷ - عدم انتشار آلاینده‌های زیست محیطی به‌دلیل تولید برق بادی در ایران

منبع: نتایج تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

-سایر اثرات خارجی

برخی از اثرات خارجی منفی نیز برای تولید برق بادی وجود دارند که می‌توان از میان آن‌ها به تأثیر نامطلوب بر چشم اندازهای طبیعی، آلودگی صوتی، اثر نوسانی بر شبکهٔ برق، مهاجرت حیوانات وحشی منطقه و ... اشاره کرد، که می‌توان مقادیر پولی آن‌ها را برآورد کرد و در تحلیل‌های فایدهٔ -هزینه‌اجتماعی پروژه‌های بادی در نظر گرفت. در یک مطالعه نشان داده شده است که هزینه‌های اجتماعی آلودگی صوتی توسط توربین‌های بادی با توجه به شرایط باد در مناطق مختلف ایران تفاوت می‌کند (احیایی و همکاران[1]، ۲۰۰۶) براساس این مطالعه، ارزش پولی هزینه‌های ناشی از آلودگی صوتی (از طریق محاسبه هزینه‌های لازم برای کاهش صدا) برابر با ۱۵ سنت و ۲۵ سنت آمریکا در هر کیلووات ساعت به‌ترتیب در تهران و منطقهٔ منجیل برآورد شده است.

۶- برآورد پتانسیل فنی –اقتصادی انرژی باد در ایران

-سرعت و توان باد

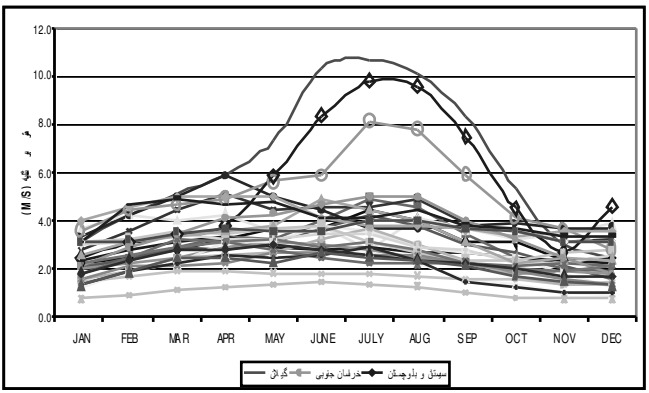
ایستگاه‌های متعددی در سراسر کشور اطلاعات سرعت باد را در ماه‌های مختلف جمع‌آوری می‌کنند. نمودار ۸، متوسط سرعت باد را در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. اطلاعات دریافتی از سازمان هواشناسی کشور است[2]. سرعت باد برای همه استان‌های کشور براساس اطلاعات یک ایستگاه هواشناسی نمونه در آن استان ترسیم شده است. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، سه استان گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی، دارای پتانسیل باد خیزی خوبی در کشور هستند. در بسیاری از ماه‌های سال، سرعت باد برای این سه استان در دامنهٔ ۴ تا ۱۰ متر بر ثانیه (M/S) که برای تولید برق بادی در نیروگاه‌های بادی مناسب است، قرار دارد.

1 - Ehyaei etal.

2 - I.R.of IranMeteorological Organization(IRIMO)

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۸ - سرعت باد در استان‌های کشور

منبع: سازمان هواشناسی کشور، IRIMO، ۲۰۰۸ www.irimo.ir

مقدار توان تئوریکی باد براساس معادلهٔ توان در رابطهٔ (۳) برآورد می‌شود.

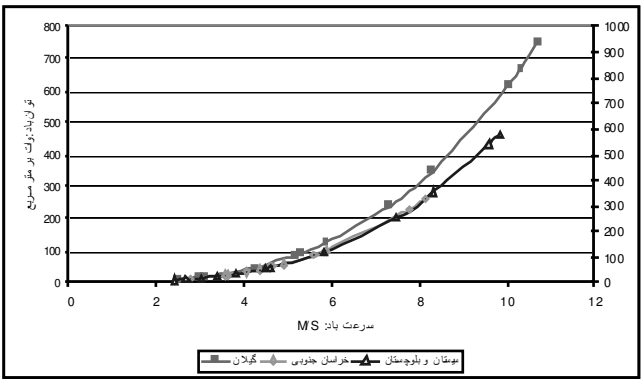
$$p = \frac{1}{2} * \rho * a * v^{3} \qquad (۳)$$

که در آن p، ظرفیت توان باد بر حسب وات ρ چگالی باد (کیلـوگرم/مترمربـع)، a، بیانگر سطح چاروب[1] (شعاع روتور ضربدر عدد پی؛ $r\pi$) و v سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه است. نمودار ۹، توان نظری باد را براساس اطلاعات سرعت واقعی باد در سـه اسـتان مورد اشاره نشان می‌دهد. استان گیلان در مقایسه با دو اسـتان دیگـر دارای تـوان نظـری بالاتری است.

1- Swept area.

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۹ - توان نظری باد در سه استان کشور

منبع : نتایج تحقیق براساس رابطهٔ (۳)

- *پتانسیل نظری برق بادی*

پتانسیل نظری برق بادی برای سه‌استان کشور با استفاده از تابع توزیع وایبول برآورد می‌شود. در این تابع توزیع، فرض می‌شود که ضریب شکل تابع [1] برابر ۲ باشد. هم‌چنین برای ضریب مقیاس (مقدار میانگین) از میانگین سرعت باد در طول سال برای هر استان استفاده شده است.

$$f(x,k,\lambda)=\frac{k}{\lambda}\left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1}e^{-(x/\lambda)^k} \qquad (۴)$$

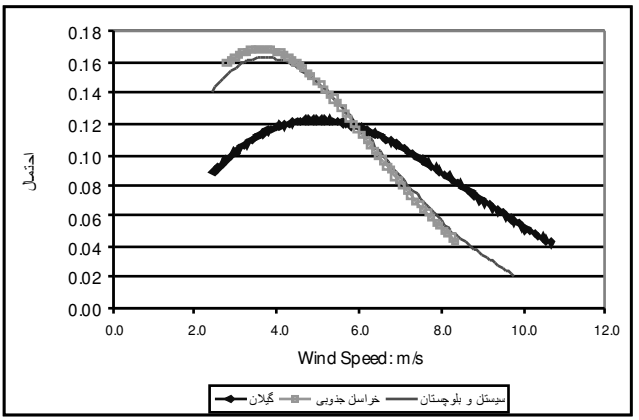
که در آن x، λ و k، به ترتیب سرعت باد، ضریب میانگین (مقیاس) و ضریب شکل تابع (چولگی) هستند.

نمودار ۱۰، تابع چگالی وایبولی را برای استان‌های گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی نشان می‌دهد. در این تابع ضریب چولگی برابر ۲ برای همهٔ استان است و متوسط سرعت باد برای گیلان، ۷، سیستان و بلوچستان ۵/۲۶ و خراسان جنوبی ۵/۲۱ متر بر ثانیه است.

1- Shape coefficient (Parameter).

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۱۰ - توزیع وایبول برای ۳ استان کشور

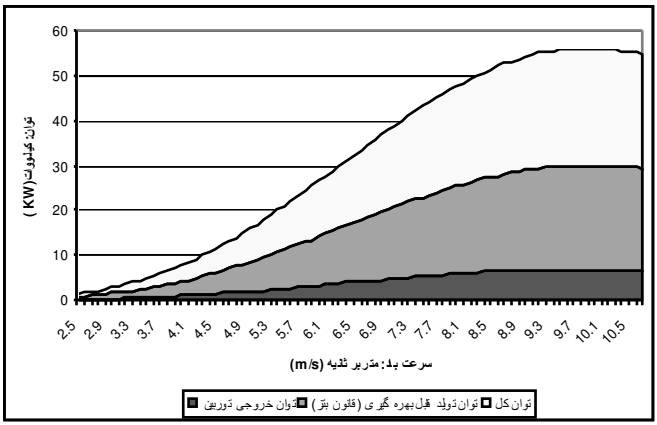
منبع : نتایج تحقیق بر اساس رابطه (۴)

با در نظر گرفتن یک توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی با سطح جاروب ۱۷۳۵ مترمربع و قطر روتور ۴۷ متری، می‌توان تابع چگالی توان برق بادی برای کل توان در دسترس، توان بادی قابل بهره‌گیری (براساس قانون بتز [1]) و توان نهایی حاصل از توربین بادی را محاسبه کرد. نمودار ۱۱، برای نمونه تابع چگالی‌های فوق را برای استان گیلان نشان می‌دهد.

1- betz.

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار۱۱- توابع چگالی توان برای استان گیلان

منبع: نتایج تحقیق

با استفاده از داده‌های واقعی باد در سه استان کشور و با استفاده از توابع چگالی وایبول تعیین شده برای هر یک از این استان‌ها، متوسط پتانسیل تولید برق بادی محاسبه شده است. متوسط پتانسیل تولید تولید برق بادی در استان‌های گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی به ترتیب در سطح ۳۱۶ کیلووات، ۱۹۱ کیلووات و ۱۴۰ کیلووات برآورد شده است. این ارقام برای محاسبهٔ ارزش‌های خالص پروژهٔ برق بادی (NPV) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

-تحلیل ارزش خالص پروژه‌های بادی

ارزش‌های خالص پروژهٔ نصب یک توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی برای سه استان کشور محاسبه می‌شود، جدول ۶، تمامی فروض مورد نیاز برای تحلیل NPV را در بردارد. فرض می‌شود که پروژه‌های انرژی بادی می‌توانند از صندوق ذخیره‌ای ارزی کشور تأمین مالی شوند. در این صورت هزینه‌های بهرهٔ اختصاص یافته به وام‌های پرداختی، در سطح نرخ‌های بهرهٔ بین‌المللی خواهد بود. برای این منظور نرخ بهرهٔ سالیانه به میزان ۶ درصد در نظر گرفته شده است. هزینهٔ سرمایهٔ لازم برای یک توربین ۶۶۰ کیلو واتی

www.SID.ir

Archive of SID

برابر با ۱۰۰۰ دلار برای هر کیلووات ظرفیت در نظر گرفته می‌شود[1]. هزینه‌های نصب ظرفیت برای مناطق مختلف، متفاوت است ولی در این‌جا متوسط هزینهٔ نصب برابر با ۱۰درصد هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه در نظر گرفته می‌شود. هزینهٔ عملیاتی و تعمیر و نگهداری سالیانه برابر با یک درصد هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه فرض شده است. قیمت برق نیز همان قیمت تضمینی خرید برق توسط دولت‌است. میزان پتانسیل قابل استفادهٔ یک توربین بادی نیز قبلاً توسط تابع چگالی وایبول محاسبه شده، که در محاسبات NPV به‌کار می‌رود.

جدول۶ - فروض مربوط به محاسبهٔ NPV برای پروژه‌های بادی

توضیح	مقدار	واحد
نرخ بهره واقعی٪	۶	درصد
نرخ تبدیل ارز (دلار/ ریال)	۱۰۰۰۰	ریال برابر هر دلار آمریکا
هزینه سرمایه‌گذاری	۶۶۰۰۰۰	دلار آمریکا
هزینه نصب	٪۱۰	از هزینه سرمایه‌گذاری
عمر مفید	۲۰	سال
هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	٪۱	از هزینه سرمایه‌گذاری در هر سال
قیمت برق (تضمینی خرید توسط دولت)	۷۸۰	ریال در هر کیلووات ساعت
متوسط ظرفیت نصب شده قابل بهره‌گیری، (متوسط سال) در گیلان	۳۱۶	کیلووات
متوسط ظرفیت نصب شده قابل بهره‌گیری(متوسط سال) در سیستان و بلوچستان	۱۹۱	کیلووات
متوسط ظرفیت نصب شده قابل بهره‌گیری(متوسط سال) در خراسان جنوبی	۱۴۰	کیلووات

منبع: فروض مورد نویسنده و اطلاعات محاسباتی در بخش‌های قبلی

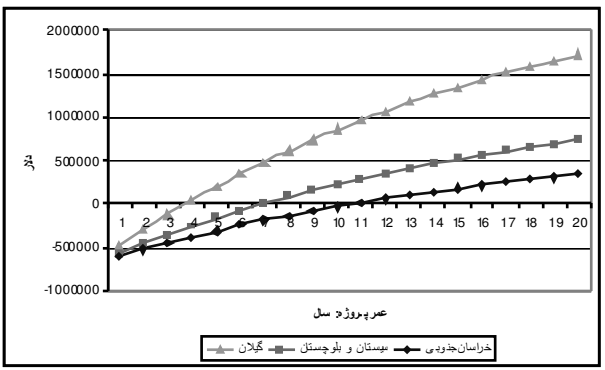
ارزش‌های خالص پروژهٔ توربین‌های ۶۶۰ کیلووات سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی به ترتیب ۱/۷، ۰/۷ و ۰/۳ میلیون دلار است. نمودار ۱۲، جریان نقدی تجمعی پروژه‌های بادی در سه استان کشور را نشان می‌دهد. بازگشت سرمایه به ترتیب برای استان‌های یاد شده در سال‌های چهارم، هفتم و دهم از زمان سرمایه‌گذاری اولیه حاصل

1 -Wind power organization.

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. نرخ بازدهٔ داخلی پروژه‌های بادی در گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی به ترتیب ۰/۴۰، ۰/۲۰ و ۰/۱۲است. بنابراین نصب توربین‌های بادی با فروض موجود، در این استان‌ها اقتصادی است.اما بهترین شرایط براساس محاسبات انجام شده واطلاعات در دسترس، مناطق مناسب در استان گیلان است.



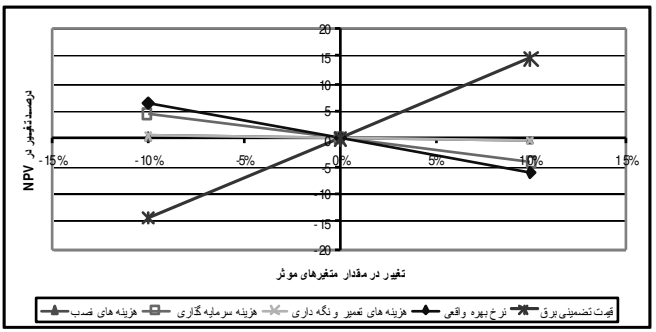
نمودار۱۲- جریان نقدی تجمعی پروژه‌های بادی در استان‌های گیلان

منبع: نتایج تحقیق بر اساس اطلاعات جدول ۶

بدون تردید با تغییر مقادیر متغیرهای مؤثر بر ارزش حال پروژه ، مقادیر NPV تحت تأثیر قرار می‌گیرد و می‌تواند شرایط اقتصادی متفاوتی را بر پروژه تحمیل کند. تحلیل حساسیت برای پروژهٔ گیلان انجام گرفته است، که نشان می‌دهد مهم‌ترین و مؤثرترین متغیر بر ارزیابی اقتصادی، طرح مربوط به قیمت تضمینی برق بادی از طرف دولت می‌باشد. با تغییر ۱۰ درصد در قیمت تضمینی برق، مقدار NPV طرح به میزان حدود ۱۴ درصد تغییر می کند. همان‌گونه که نمودار تارعنکبوتی ۱۳ نشان می‌دهد، نرخ بهرهٔ واقعی و هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه از این نظر به ترتیب در رتبهٔ دوم و سوم قرار دارند. با ۱۰ درصد تغییر در نرخ بهره و هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه، مقدار NPV به‌ترتیب به میزان حدود ۶ و ۴ درصد تغییر می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۱۳ - تحلیل حساسیت پروژهٔ برق بادی در استان گیلان

منبع: نتایج تحقیق

بنابراین بزرگ‌ترین خطری که ارزش اقتصادی پروژه‌های بادی را تهدید می‌کند، به قیمت خرید برق تضمینی از طرف دولت مربوط است. در صورتی‌که در شرایط تورمی، تعدیل رو به بالای قیمت تضمینی برق‌انجام نگیرد، در این صورت پروژه‌های بادی تحت تأثیر قرار می گیرند و ممکن است که اقتصادی بودن آن‌ها را زیر سوال ببرند. اما به دلیل حمایت استراتژیک دولت از انرژی‌های تجدید پذیر، تعدیلات رو به بالای قیمت برق به نفع انرژی‌های تجدید پذیر انجام می پذیرد.

-تخمین پتانسیل برق بادی در کشور

برآورد ارزش خالص پروژه‌های بادی در سه استان کشور نشان داد که این پروژه‌ها از نظر اقتصادی قابل بهره‌برداری هستند. تابع توزیع چگالی توان وایبول میزان متوسط ظرفیت قابل بهره‌گیری بر حسب کیلووات را برای سه‌استان کشور ارایه کرد که براساس آن اکنون می‌توان میزان پتانسیل برق بادی کشور را برآورد کرد. برای این منظور، فرض می‌شود که ۰/۱۵ مساحت استان انتخاب شده، بتواند به مزرعهٔ بادی برای تولید برق بادی و عرضهٔ آن به شبکهٔ برق و یا مصرف منطقه‌ای اختصاص داده شود. به‌علاوه فرض می‌شود که عرضهٔ برق از نیروگاه‌های بادی‌اثرات منفی بر شبکهٔ برق نداشته باشد. هم‌چنین فرض می‌شود که هر توربین بادی دو کیلو متر مربع زمین به

www.SID.ir

Archive of SID

خود اختصاص دهد. براساس این فروض، پتانسیل انرژی بادی در هر استان براساس رابطهٔ (۵) محاسبه می‌شود:

$$wep = \sum ۰/۱۵ * \frac{sq}{۲} * tc \qquad (۵)$$

که در آن wep، میزان پتانسیل برق بادی در ایران (کیلووات)، sq، مساحت استان مربوط بر حسب کیلومترمربع و tc ظرفیت قابل بهره‌گیری توربین بادی‌است که از روش تابع توزیع چگالی توان و ایبول به‌دست آمده است.

جدول ۷، اطلاعات مربوط به معادلهٔ ۵ و برآورد پتانسیل برق بادی در ایران را در بردارد. بر مبنای سیاست‌های جاری و اطلاعات در دسترس باد برای استان‌های بادخیز کشور، پتانسیل برق بادی در ایران برابر ۳۶۰۰ مگاوات برآورد می‌شود. تخمین‌های دیگر، ارقام بالاتری را نشان می‌دهند. به عنوان مثال سازمان انرژی‌های نو کشور

جدول ۷ - تخمین پتانسیل برق بادی در ایران

استان	مساحت	مساحت در دسترس برابر مزرعهٔ بادی	مساحت اختصاص یافته به مزرعهٔ بادی	تعداد توربین‌ها	ظرفیت قابل بهره‌گیری توربین	پتانسیل
واحد	کیلومتر مربع	درصد از کل مساحت	کیلومترمربع	تعداد	تعداد کیلووات	۱۰۰۰ مگاوات
گیلان	۱۴۵۴۲	۰/۱۵	۲۱۰۶/۳	۱۰۵۳/۱۵	۳۱۶	۰/۳
سیستان و بلوچستان	۱۸۱۷۸۵	۰/۱۵	۲۷۲۶۷/۷۵	/۸۸ ۱۳۶۳۳	۱۹۱	۲/۶
خراسان جنوبی	۶۹۵۵۵	۰/۱۵	۱۰۴۳۳/۲۵	۵۲۱۶/۲۳	۱۴۰	۰/۷

منبع: مساحت از مرکز آمار ایران، نتایج تحقیق

معتقداست که حداقل ظرفیت برق بادی قابل نصب در کل کشور حدود ۵۰۰۰ مگاوات است (رمضانی [1]، ۲۰۰۸). پتانسیل بالاتری توسط مرکز تحقیقات انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح ۶۵۰۰ مگاوات برآورد شده است (کاظمی کارگر و همکاران [2]، ۲۰۰۵). علت تفاوت در تخمین پتانسیل‌ها، تفاوت در فروض مورد استفاده، به‌ویژه فروض مربوط به پارامترهای تابع وایبول است. چنان‌چه کل پتانسیل بادی کشور به بهره‌برداری برسد

1 -Ramezani.
2 - Kazemi Kargar et al

www.SID.ir

Archive of SID

(یعنی ۳/۶ تا ۶/۵ مگاوات)، سبب، صرفه‌جویی بین ۴۷ تا ۸۴ میلیون بشکه معادل نفت در هر سال (یا ۱۲۷۰۰۰ بشکه در روز تا ۲۳۰۰۰۰ بشکه در روز) خواهد شد.

۷- نتیجه‌گیری و راهبردهای سیاستی

یارانهٔ انرژی تخصیص یافته به سوخت‌های فسیلی درایران در سطح بسیار بالایی است، که یکی از موانع بزرگ در راه توسعهٔ انرژی‌های رقیب و به‌ویژه توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و از جمله برق بادی محسوب می‌شود. سیاست‌گذاران بخش انرژی کشور تلاش کرده‌اند علیرغم وجود این مشکلات، انرژی‌های تجدیدپذیر را حمایت کرده و قدری توسعه دهند. سیاست‌گذاران انرژی کشور موفق شدند تبصره‌ای را در قانون برنامهٔ سوم و چهارم توسعهٔ اقتصادی کشور بگنجانند که براساس آن دولت موظف شد برق تولیدی از نیروگاه‌های بادی را با قیمت تضمینی خریداری کند. این قیمت‌ها در سطحی هستند که پروژه‌های برق بادی را از لحاظ اقتصادی قابل بهره‌برداری می‌کنند. وزارت نیرو در این زمینه رهبری توسعهٔ نیروگاه‌های بادی کشور را در زمینه‌های مختلف در دست دارد و اکنون در تلاش است که با خصوصی‌سازی نیروگاه‌های بادی مشارکت بخش خصوصی را در این بخش افزایش دهد. هم‌چنین دولت به‌طور مؤفقیت‌آمیزی توانست شرکت سازندهٔ توربین‌های بادی، را مورد حمایت قرار دهد تا ازاین طریق به‌تدریج تکنولوژی توربین‌های بادی کشور بومی شود.

گرچه تلاش‌های زیادی برای توسعهٔ صنعت انرژی باد در کشور انجام پذیرفته، ولی بخش خصوصی هنوز چندان انگیزه قوی برای سرمایه‌گذاری از خود نشان نداده است. به منظور بهره‌گیری کامل از پتانسیل‌های در دسترس در کشور، نیاز به تدوین یک برنامهٔ جامع با عنوان قانون بهره‌گیری کامل از انرژی‌های تجدیدپذیر است. در این برنامهٔ سیاستی لازم‌است که دولت نحوهٔ ارایهٔ اطلاعات فنی و داده‌های لازم را به سرمایه‌گذاران پیش‌بینی کند. به‌علاوه تخصیص وام‌های با نرخ بهرهٔ ترجیحی برای پروژه‌های بادی کشور در نظر گرفته شود. مهم‌ترین مسئله در این برنامه کاهش فرآیندهای اداری است. حذف تدریجی یارانه‌های ضمنی انرژی‌های فسیلی، تخصیص پاداش‌ها و اعتبارهای مرتبط با کاهش co_2 به نیروگاه‌های برق بادی و دیگر معیارهای تشویقی بازار محور می‌توانند در این برنامهٔ جامع گنجانده شوند. تحقیقات بیش‌تر بر

www.SID.ir

Archive of SID

روی سیاست‌های جامع برای تهیهٔ قانون انرژی‌های تجدیدپذیر مبتنی بر معیارهـای بـازار محور، توصیه می‌شود.

فهرست منابع

ترازنامهٔ انرژی کشور، ۱۳۸۴، وزارت نیرو

روزنامهٔ سرمایه، ۱۳۸۷، خصوصی سازی در نیروگاه بادی در ایران، اول تیر ۱۳۸۷

سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، ۱۳۸۷، www.suna.org.ir

سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۷، سایت اینترنتی سازمان، www.irimo.ir

گندمکار امیر و فرینوش کیارسی، ۱۳۸۵، پتانسیل انرژی باد در ایران، بیـست و یکمـین کنوانسین بین‌المللی برق، تهران (psc2006).

Ardehali M. M, 2006, Rural energy development in Iran: Non- renewable and renewable resources, Renewable energy 31(2006) 655-662, doi:10.10 16/j.renene.2005.08.002

Ameri Mohammad, Mehdi Ghaderi and Mehdi Hosseini, 2006, Recent advances in the Implementation of wind energy in Iran, the 2nd Joint international conference on " sustainable energy and environment (SEE), 21-23 November 2006 Bangkok, Thailand.

Egtesad Energy (Energy Economics), 2008, wind energy, August-September 2008 / No.105-106.

Ehyaei M.A and M. N. Bhadori, 2006, Internalizing the social cost of noise pollution in the cost analysis of electricity generated by wind turbines, Wind Engineering, Volume 30, No. 6, PP 521-529

Fadai v, 2007, The feasibility of manufacturing wind turbines in Iran, Renewable and sustainable energy reviews, doi:10.1016/j.rser.2005.01.012

Gandomkar Amir, Kiyarasi Farinoush, 2006, Wind energy potential in Iran [Persian], 21st International power system conference (PSC2006).

Ghobadiayn Barat, Gholam Hassan Najafi, Hadi Rahimi, T.F. yusif, 2008, Feature of renewable energy of Iran, Renewable and sustainable energy reviews, doi:10.1016/j.rser.2007.11.010

Gianni Morena, Marziye Aman Abadi, Ehsan Maghsodi, Development of wind and solar energy in Iran and other part of the world, [Persian], 2006.

www.SID.ir

Archive of SID

the first international conference on energy management & planning, Tehran-Iran

GWEC (global wind energy council), 2007, global wind 2000 report.

IEA, 2007, IEA energy prices and taxes.

IRIMO (Iran Meteorological Organization), 2008, www.irimo.ir.

Kazemi Kargar H, A.Zahedi, V.Ohis, G. Taleghani, and M.Khalaji, 2005, Wind and solar energy development in Iran , center of renewable energy research and application.

Khalaji Asadi Mori, Safayi Batool, 2003, Installed wind electricity power plants in Iran: Techno- economical approach, 18th international power system conference Tehran-Iran. Ministry of power, 2006, Energy balance of Iran.

Mostafaeipour Ali , Hossein Abarghooei, 2008, Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran, Renewable & sustainable energy reviews, doi:10.1016/j.rser.2007.01.029

Rajabi M.R, R. Modarres, 2008, Extreme value frequency analysis of wind data from Isfahan, Iran, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96(2008) 78-82, doi:10.1016/j.jweia.2007.03.005

Ramezani Mohammad Ali, 2008, wind energy, Energy Economics, No.105-106, August- September 2008.

Sabaniroo, 2008, http://www.sabaniroo.co.ir/

Salehi V. ,S. Kahrobaee, S. Afsharnia, A.Sadeghiyan, Investigation of power variation for First Iran's wind farm 'VALFAGR' Regard to Simulation Model and Recorded Field Data, 2006, Nordic wind conference, Espoo, Finland.

Sarmaye, 2008, Privatization of two wind power plants in Iran, 21st June 2008, Sarmayeh newspaper[Persian].

Suna, 2008, ministry of power, www.suna.org.ir

The Need Project, 2008, Wind, http://www.need.org/needpdf/ infobook_activities/ SecInfo/WindS.pdf.

Vestas, 2008, Vestas wind turbine system specification, www.vestas.com.

Wikipedia, 2008, History of wind power, en.wikipedia.org/ wiki/History_of_wind_power.

www.SID.ir