

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

نیلوفر شعربافیلن

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

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۸۸/۲/۱۹

### چکیده

ایران مبالغ زیادی را در زمینه انرژی تجدیدپذیر برق بادی، سرمایه‌گذاری کرده است. میزان یارانه‌های تخصیصی در بخش برق فسیلی حدود ۷/۳ میلیارد یورو است که مانعی جدی و سر راه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به شمار می‌رود. علی‌رغم وجود یارانه‌ها، میزان ظرفیت نصب شده برق بادی تا اوایل سال ۱۳۸۷ بالغ بر ۱۲۸ مگاوات بوده است، که تولید ۳۰۷ گیگاوات برق را طی دوره ۸۴-۱۳۷۳ را به همراه داشته است. این میزان برق تولیدی سبب صرفه‌جویی ۴۲۵ هزار بشکه معادل نفت در بخش نیروگاهی ایران شده و در جای خود موجب کاهش یک میلیون تن انواع آلاینده‌های زیست محیطی در فاصله ۱۳۸۴-۱۳۷۳ شده است. با استفاده از اطلاعات واقعی ماهیانه باد در استان‌های کشور و با بهره‌گیری از معادله چگالی وایبول، پتانسیل قابل استفاده 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 بازده داخلی پروژه‌های باد در سه استان گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی محاسبه شده است، که تأییدکننده 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 صرفه‌جویی حدود ۴۷ تا ۸۴ میلیون بشکه معادل نفت (۱۲۷۰۰۰ تا ۲۳۰۰۰۰ بشکه در روز) در بخش نیروگاهی ایران شود.

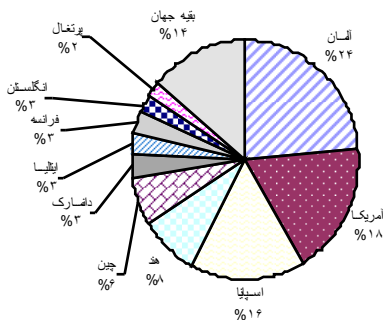
طبقه‌بندی: Q55, Q42, O33:JEL

کلیدواژه: انرژی باد، ایران، پتانسیل، بهره‌گیری از پتانسیل، تابع توزیع وایبول، ارزش حاصل خالص و نرخ بازده داخلی

### ۱- مقدمه

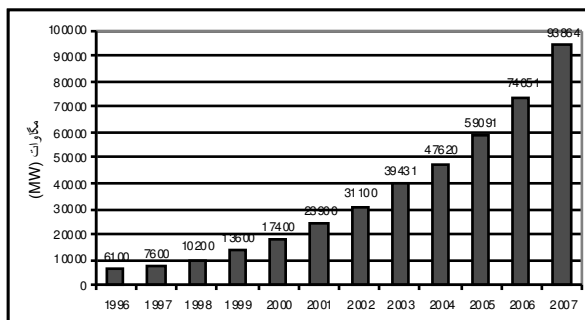
بهره‌گیری از انرژی باد اولین بار توسط ایرانیان در ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح انجام پذیرفته است. این تکنولوژی از طریق ایرانیان به امپراتوری روم باستان در سال‌های ۲۵۰ بعد از میلاد انتقال یافت. به هر حال اولین توربین بادی در سیستان و افغانستان در قرن هفتم میلادی ساخته شد، اما کشورهای اروپائی در به‌کارگیری 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 رتبه اول جهان قرار دارد. این کشور ۲۳/۷ درصد ظرفیت نصب شده 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 شده جهان در سال ۲۰۰۷ به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. ده کشور برتر جهان در زمینه ظرفیت نصب شده انرژی باد در نمودار ۱ نشان داده شده‌اند (گوپک، 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 توسعه این صنعت همان‌گونه که نمودار ۱ نشان می‌دهد، در بین کشورهای مختلف، متفاوت است. نمودار ۲، روند تجمعی ظرفیت نصب شده انرژی در جهان را نشان می‌دهد.



نمودار ۱- ده کشور برتر در ظرفیت نصب شده برق بادی در سال ۲۰۰۷

در فاصله سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰، رشد ظرفیت نصب شده بادی بسیار کم بود، ولی بعد از سال ۲۰۰۰، توسعه 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<sup>۱</sup>.



نمودار ۲- روند ظرفیت تراکمی نصب شده بادی در جهان در فاصله ۲۰۰۷ تا ۱۹۹۶

منبع: گویک، ۲۰۰۷

ایران صادر کننده 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 سیاست گذاری هلی انرژی و اقتصادی دیگر سبب شده است که از منابع انرژی به صورت بهینه استفاده نشود و مقادیر زیادی یارانه نیز به صورت غیر فنی به بخش های مختلف اقتصادی تخصیص یابد، که بار مالی زیادی را به اقتصاد و بودجه دولت تحمیل کرده است. چنین وضعیتی، توسعه انرژی های تجدیدپذیر را نیز بادشواری های فراوانی روبرو کرده است. توسعه

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

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

به منظور ارزیابی و محاسبه پتانسیل انرژی بادی برلی تولید برق در ایران، این مقاله وضعیت بازار برق، سیاست قیمت‌گذاری، سیاست‌گذاری برق بادی، تکنولوژی مورد استفاده برق بادی و نقشه 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<sup>۱</sup> برلی 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 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 صرفه‌جویی 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 بین‌المللی 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

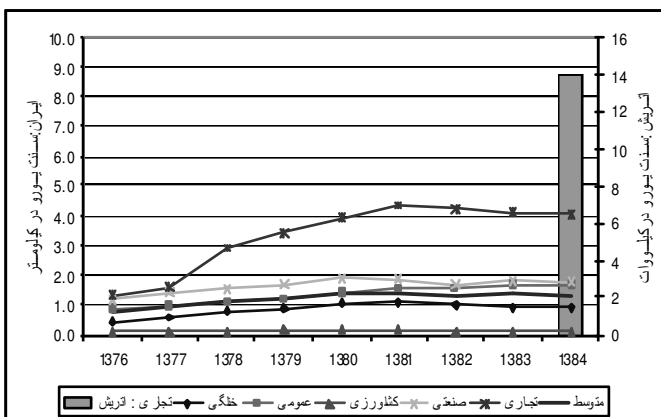
### ۲-۱- قیمت برق در ایران

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 دهه اخیر، تلاش‌های زیادی برای

1 - Weibull density function.

2 - Net Present Value.

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



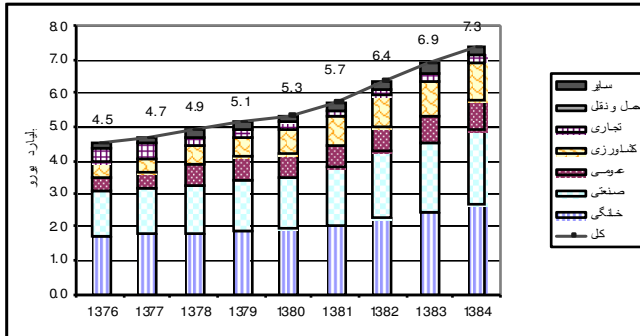
نمودار ۳- قیمت برق در بخش‌های مختلف در ایران

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

## ۲-۲- یارانه‌های ضمنی برق در ایران

گرچه ایران دارایی پتانسیل بالایی برای برق بادی است، ولی یارانه‌های فنی تخصیصی برای مصرف کنندگان برق سبب عدم تشویق سرمایه‌گذاران برای توسعه برق بادی می‌شود. نمودار ۴، روند یارانه برق را در بخش‌های مختلف اقتصادی نشان می‌دهد. میزان یارانه 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، یارانه

ضمنی به دلیل افزایش مصرف برق به ۷/۳ میلیارد یور در سال ۱۳۸۴ رسیده است. حذف یارانه برق می‌تواند بار مالی دولت را کاهش داده و هم‌زمان زمینه‌سازتری برای توسعه برق فراهم کند.



نمودار ۴- 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 عمده‌ای از برق ایران را تولید می‌کنند. حدود ۸۹/۹ درصد تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی (با سوخت نفت، گاز، گاز طبیعی و یا هر دو سوخت) انجام می‌پذیرد. نیروگاه‌های برق آبی کوچک و بزرگ، ۹/۸ درصد در تولید برق سهم دارند. سهم کوچکی از تولید برق توسط نیروگاه‌های بادی و خورشیدی انجام می‌پذیرد، که در سال ۱۳۸۴ این سهم حدود ۰/۴ درصد بوده است. میزان تولید برق توسط نیروگاه‌های تجدیدپذیر حدود ۷۱ گیگاوات ساعت در همین سال بوده است.

از کل برق تولید و وارد شده به کشور، حدود ۳۴/۸ درصد آن یا تلف شده و یا توسط نیروگاه‌ها و شبکه برق و پالایشگاه‌ها مصرف شده است. یک سهم کوچکی از برق تولیدی نیز به کشورهای همسایه صادر می‌شود. بقیه آن یعنی ۷۵/۲ درصد، در بخش‌های نهایی اقتصادی به مصرف می‌رسد. حدود ۵۰/۹ درصد کل تقاضای برق در

بخش های خانگی و تجاری به طور عمده برای روشنایی و برلی وسایل خانگی برق انجام می پذیرد. بخش صنعت با ۳۳/۹ درصد دومین مصرف کننده اصلی برق است. حدود ۱۵/۴ درصد در بخش کشاورزی، حمل و نقل و روشنایی عمومی مصرف می گردد.

## ۲-۴- ظرفیت برق بادی نصب شده در ایران

سازمان انرژی های نو ایران (سانا) وابسته به وزارت نیرو و سازمان انرژی اتمی ایران، دو سازمانی هستند که امور پروژه های انرژی برق بادی را انجام می دهند. براساس قوانین کشوری تمامی پروژه های باد کشور تحت نظارت و سرپرستی وزارت نیرو قرار دارد. سازمان انرژی های نو ایران نقشه بادی کل کشور را به منظور تسهیل توسعه 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 کرده اند، تهیه شده است. محل های مناسب برای ایجاد مزرعه بادی، با استفاده از اطلاعات ۱۰ ایستگاه بادی پیشنهاد شده اند.

ظرفیت نصب شده برق بادی تا سال ۱۳۸۴ برابر با ۴۷/۵۸ مگاوات بوده که شامل ۹۲ توربین بادی است. آخرین اطلاعات در دسترس نشان می دهد که ظرفیت نصب شده برق بادی تا اواسط سال ۱۳۸۷ به ۱۲۸ مگاوات رسیده است. جدول ۱، اطلاعات تفصیلی در مورد ظرفیت نصب شده مزارع بادی کشور را در بردارد. ظرفیت توربین های بادی نصب شده در دامنه ۱۳۰ تا ۶۶۰ کیلو وات قرار دارد. تعداد توربین های با ظرفیت ۶۶۰ کیلو وات، داری فراوانی بیش تری در این مجموعه هستند.

پروژه های بادی متعددی برای استلن های مختلف کشور در دست مطالعه قرار دارند. مطالعات امکان یابی 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 پروژه های برق بادی مناسب است. این بزرگ ترین پروژه برق بادی است که توربین های بادی با ظرفیت یک مگاواتی را نصب می کند.

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

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

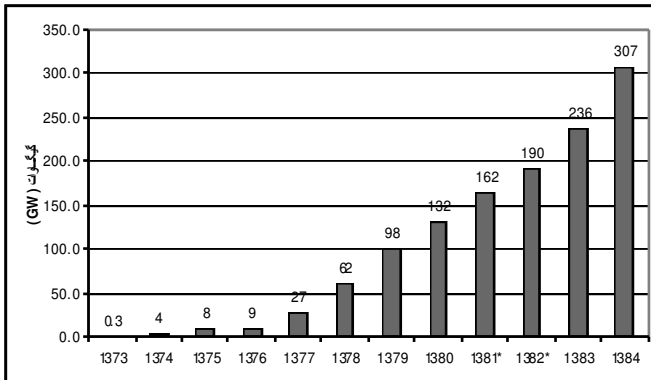
منبع: ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۸۴، وزارت نیرو

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 (سرمايه، 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.





نمودار ۵- تولید تراکمی برق بادی

منبع: ترانزنامه انرژی ایران، ۱۳۸۴، وزارت نیرو

توجه: به دلیل 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 برنامه پنج ساله توسعه اقتصادی چهارم، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل ظرفیت تولید برق کشور در سال ۱۳۸۸ بایستی به یک درصد برسد. با توجه به این که کل ظرفیت برق نصب شده حدود ۵۰۰۰۰ مگاوات است، مقدار برق تجدیدپذیر بایستی به سطح ۵۰۰ مگاوات در سال ۱۳۸۸ برسد.

فعالیت‌های، انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران از سال ۱۳۵۴ توسط وزارت نیرو با کار بر روی پروژه‌های زمین گرمایی آغاز شد. بخش انرژی‌های تجدیدپذیر توسط وزارت نیرو در سال ۱۳۷۲ برلی توسعه 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 برنامه پنج ساله توسعه اقتصادی کشور،

تبصره ۶۵ مقررات مرتبط به تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیر را ارایه می‌کند. این تبصره در چهارمین برنامه پنج ساله توسعه 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 شده برق تجدیدپذیر توسط دولت

دوره	ریال / کیلووات ساعت	سنت یورو در کیلووات ساعت
پار حداکثر مصرف	۶۵۰	۵/۹
پار معمولی	۶۵۰	۵/۹
پار حداقل مصرف	۴۵۰	۴/۱

\*توجه: یک یورو برابر ۱۰۹۹۷ ریال در سال ۱۳۸۲ در نظر گرفته شده است. هیئت وزیران بنا به مصوبه شماره ۱۴۲۵۵۱/ت ۴۱۱۱۳ هـ. 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 ۱۳۰۰ ریال 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، توسعه 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 توسعه مداوم انرژی‌های تجدیدپذیر را در بلندمدت تضمین کند.

#### - مشارکت بخش خصوصی و خصوصی سازی

سیاست‌گذاران بخش انرژی سعی می‌کنند که بخش خصوصی را برای توسعه 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

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 ذخیره 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 بخش خصوصی 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 مرحله 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 زمینه برق بادی سرمایه‌گذاری خواهد و 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 (سرمايه، 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<sup>۱</sup> دانمارک، خریداری و به کشور وارد و نصب کرده است. (وستاس، ۲۰۰۸). به منظور بومی سازی تکنولوژی توربین‌های بادی در کشور، شرکت صبا نیرو وابسته به گروه صنعتی سدیدو با همکاری شرکت دانمارکی وستاس، برای تولید توربین‌های بادی ۳۰۰ کیلووات، ۵۵۰ کیلووات و ۶۶۰ کیلووات در سال ۱۳۷۹ تأسیس شد (صبا نیرو، ۱۳۸۷).

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 صادرکننده توربین‌های بادی در منطقه 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 زیربنای 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 S47 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<sup>۱</sup> که زاویه پره‌های توربین را تنظیم می‌کند،

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

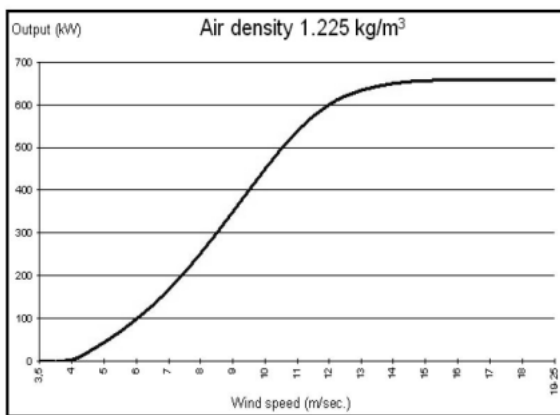
شرح	واحد
عمر مفید	۲۰ سال
شرایط هوایی	۲۰- تا +۴۰ درجه سانتی‌گراد
قطر روتور	۴۷ متر
سطح چاروب	۱۷۲۵ مترمربع
چرخش اسمی	۲۵/۵ Rpm
طول پرها	۲۲/۹
بازه عملیاتی (سرعت باد)	۴-۲۵ متر بر ثانیه
سرعت حداقل باد	۴ متر بر ثانیه
سرعت باد اسمی	۱۵ متر بر ثانیه
حداکثر سرعت باد	۲۵ متر بر ثانیه
ترمز	ایرودینامیک
سیستم‌های کنترلی	کنترل زاویه پرها و تنظیم سرعت
ژنراتور برق	آسنکرون ۶۶۰ کیلووات، ۵۰ هرتز

منبع: شرکت صبا نیرو، ۱۳۸۷، www.sabanirroo.ir

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

سیستم کنترلی سرعت<sup>۱</sup> این امکان را فراهم می‌کند که سرعت چرخش محوری توربین در مقابل بادهای تند تنظیم شود، به‌طوری‌که در دامنه ۱۰ درصد بالاتر و یا پایین‌تر 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<sup>۲</sup> توربین S۴۷ را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که سرعت باد در دامنه ۱۳ تا ۱۵ متر بر ثانیه بهترین نتیجه را برای تولید برق به‌دست می‌دهد، اما در همین حال توربین در دامنه 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.

### 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 زیست‌محیطی است. همچنین برخی اثرات خارجی منفی شامل صدمه زدن به چشم اندازهای طبیعی کشور، مهاجرت حیوانات وحشی منقطع و صدای توربین هنگام گردش پره‌ها است. در این قسمت اثرات خارجی مثبت مربوط به صرفه‌جویی نفت و نیز کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید برق بادی از ابتدای تولید تاکنون، برآورد می‌شود.

#### -صرفه‌جویی 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 زیست‌محیطی 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 هزینه 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 بشکه سوخت مخلوط<sup>۱</sup> بدون مالیات در کشوره‌های 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 به میزان مصرف سوخت فسیلی در نیروگاه‌های حرارتی محاسبه می‌شود. نسبت ستاده - نهاده<sup>۲</sup> در رابطه (۱) نشان داده شده است. نسبت محاسبه شده در رابطه (۱)، برای محاسبه مقدار صرفه‌جویی سوخت به‌دلیل، تولید برق بادی در نیروگاه‌های بادی کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد که در رابطه (۲) نشان داده شده است.

1- Composite barrel.

2- Output-Input ratio.

$$\eta = \frac{e}{o} = 679 \quad (1)$$

$$O_w = \frac{e \cdot w}{\eta} \quad (2)$$

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

جدول ۴، مقادیر نسبت ستاده به نهاده را در سال های مختلف برای نیروگاه های حرارتی کشور محاسبه کرده است. نسبت های محاسبه شده در سال های مختلف تفاوت اندکی با یکدیگر دارند، که نتیجه تفاوت در بهره گیری از ظرفیت های تولیدی بوده است. میانگین این نسبت برای محاسبه میزان صرفه جویی نفت مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۴ - تولید برق و مصرف نفت در نیروگاه های حرارتی

سال	تولید برق نیروگاه حرارتی میلیون کیلووات ساعت	مصرف نفت میلیون بشکه معادل نفت	نسبت ستاده به نهاد میلیون کیلووات هر میلیون بشکه نفت
۱۳۸۲	۱۴۶۹۳۵۰۵	۲۱۴/۳۱	۶۸۵/۶
۱۳۸۳	۱۵۹۹۸۱/۲۹	۲۴۰/۰۶	۶۶۴/۴
۱۳۸۴	۱۷۳۴۹۳/۶	۲۵۲/۷۷	۶۸۴/۴
متوسط	۱۶۰۱۷۳	۲۳۶	۶۷۹

منبع: ترازنامه انرژی ایران ۱۳۸۴، وزارت نیرو.

تولید برق بادی در طول سال های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴ سبب صرفه جویی در مصرف هفت به میزان ۴۵۲۰۰۰ بشکه معادل نفت شده که ارزش آن در قیمت های جاری حدود ۲۲/۳ میلیون دلار است. ارزش پولی این صرفه جویی در طول زمان هم زملن با افزایش تولید برق بادی بیش تر خواهد شد.

### - کاهش آلاینده های زیست محیطی

تولید برق بادی سبب کاهش مصرف سوخت های فسیلی برای تولید برق معادل در نیروگاه های حرارتی می شود، که این خود می تواند به کاهش آلاینده های زیست محیطی

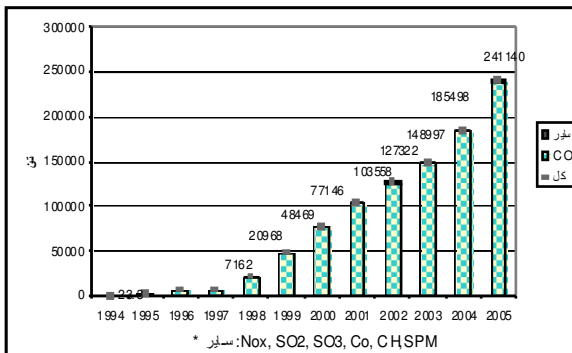
کمک کند. جدول ۵، میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی را برای تولید یک میلیون کیلووات ساعت برق در نیروگاه‌های حرارتی با سوخت دیزل نشان می‌دهد. انتشار  $CO_2$ ، بخش عمده‌ای از آلاینده‌های زیست محیطی را در نیروگاه‌های حرارتی به خود اختصاص می‌دهد. برای یک میلیون کیلووات ساعت برق تولیدی حدود ۷۷۸/۱۶ تن  $CO_2$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

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

SPM	CH	CO	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>X</sub>	شرح
۶۲	۲۰	-	۱۵	۱۶۴۹۷۰	۹۷۹	۳۲۴	کل انتشار آلاینده‌ها (میلیون تن)
۷۲۹	٪۹	٪	٪۷	۷۷۸/۱۶	۴/۶۲	۱/۵۳	انتشار آلاینده‌ها : تن برای هر میلیون کیلووات ساعت برق

منبع: ترانزاکشن 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 شود و در تحلیل‌های هزینه‌فایده اجتماعی لحاظ شود.



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

منبع: نتایج تحقیق



### - سایر اثرات خارجی

برخی از اثرات خارجی منفی نیز بر تولید برق بادی وجود دارند که می‌توان از میان آن‌ها به تأثیر نامطلوب بر چشم‌اندازهای طبیعی، آلودگی صوتی، اثر نوسانی بر شبکه برق، مهاجرت حیوانات وحشی منطقه و ... اشاره کرد، که می‌توان مقادیر پولی آن‌ها را برآورد کرد و در تحلیل‌های فیلدها - 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 (حیایی و همکاران<sup>۱</sup>، 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 به ترتیب در تهران و منطقه منجیل برآورد شده است.

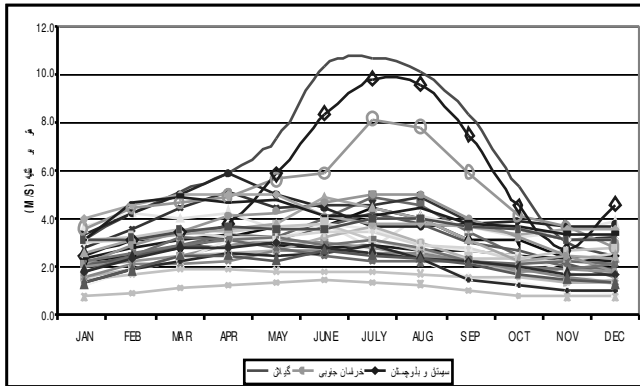
### ۶- برآورد پتانسیل فنی - اقتصادی انرژی باد در ایران

#### - 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<sup>۲</sup>. 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 دامنه ۴ تا ۱۰ متر بر ثانیه (M/S) که برای تولید برق بادی در نیروگاه‌های بادی مناسب است، قرار دارد.

1 - Ehyaei et al.

2 - I.R.of Iran Meteorological Organization (IRIMO)



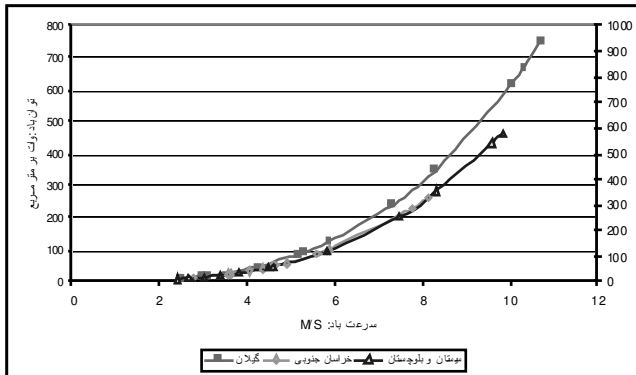
نمودار ۸ - سرعت باد در استان‌های کشور

منبع: سازمان هواشناسی کشور، IRIMO، ۲۰۰۸. [www.irimo.ir](http://www.irimo.ir)

مقدار توان تئوریک باد براساس معادله توان در رابطه (۳) برآورد می‌شود.

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

که در آن  $p$ ، ظرفیت توان باد بر حسب وات  $\rho$  چگالی باد (کیلوگرم/مترمربع)،  $a$ ، بیانگر سطح چاروب (شعاع روتور ضربدر عدد پی؛  $\pi$ ) و  $v$  سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه است. نمودار ۹، توان نظری باد را براساس اطلاعات سرعت واقعی باد در سه استان مورد اشاره نشان می‌دهد. استان گیلان در مقایسه با دو استان دیگر دارای توان نظری بالاتری است.



نمودار ۹ - توان نظری باد در سه استان کشور

منبع : نتایج تحقیق براساس رابطه (۳)

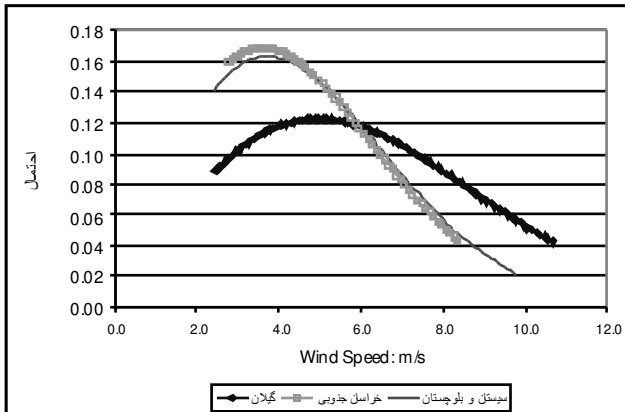
**پتانسیل نظری برق بادی**

پتانسیل نظری برق بادی برای سه استان کشور با استفاده از تابع توزیع وایبول برآورد می‌شود. در این تابع توزیع، فرض می‌شود که ضریب شکل تابع ۱ برابر ۲ باشد. همچنین برای ضریب مقیاس (مقدار میانگین) از میانگین سرعت باد در طول سال برای هر استان استفاده شده است.

$$f(x, k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} \quad (4)$$

که در آن  $x$ ،  $\lambda$  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 همه استان است و متوسط سرعت باد برای گیلان، ۷، سیستان و بلوچستان ۵/۲۶ و خراسان جنوبی ۵/۲۱ متر بر ثانیه است.

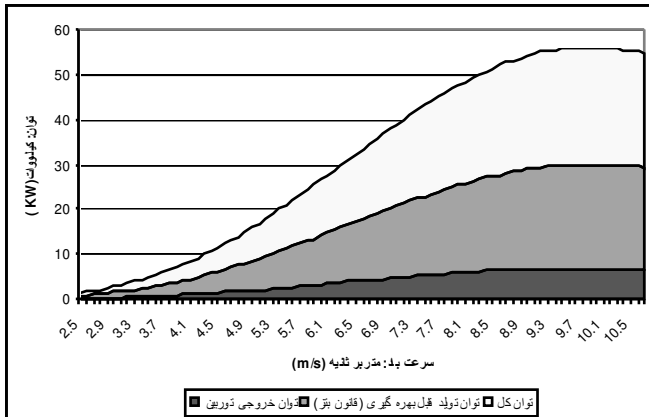


#### نمودار ۱۰ - توزیع وایبول برای ۳ استان کشور

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<sup>۱</sup>) 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.



نمودار ۱۱- توابع چگالی توان برلی 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 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 محاسبه ارزش‌های خالص پروژه برق بادی (NPV) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### - تحلیل ارزش خالص پروژه‌های بادی

ارزش‌های خالص پروژه 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 ذخیره‌های ارزی کشور تأمین مالی شوند. در این صورت هزینه‌های بهره‌ی اختصاص یافته به وام‌های پرداختی، در سطح نرخ‌های بهره بین‌المللی خواهد بود. برای این منظور نرخ بهره سالانه به میزان ۶ درصد در نظر گرفته شده است. هزینه سرمایه لازم برای یک توربین ۶۶۰ کیلوواتی

برابر با ۱۰۰۰ دلار برای هر کیلووات ظرفیت در نظر گرفته می‌شود.<sup>۱</sup> هزینه‌های نصب ظرفیت برای مناطق مختلف، متفاوت است ولی در این جا متوسط هزینهٔ نصب برابر با ۱۰ درصد هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه در نظر گرفته می‌شود. هزینهٔ عملیاتی و تعمیر و نگهداری سالانه برابر با یک درصد هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه فرض شده است. قیمت برق نیز همان قیمت تضمینی خرید برق توسط دولت است. میزان پتانسیل قابل استفاده یک توربین بادی نیز قبلاً توسط تابع چگالی ویبول محاسبه شده، که در محاسبات NPV به کار می‌رود.

جدول ۶- فرض مربوط به محاسبهٔ NPV برای پروژه‌های بادی

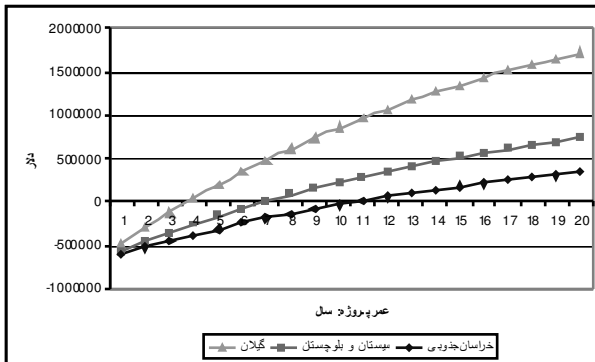
واحد	مقدار	توضیح
درصد	۶	رخ بهره واقعی <sup>۲</sup>
ریال برابر هر دلار آمریکا	۱۰۰۰۰	رخ تبدیل ارز (دلار/ریال)
دلار آمریکا	۶۶۰۰۰۰	هزینه سرمایه‌گذاری
از هزینه سرمایه‌گذاری	٪۱۰	هزینه نصب
سال	۲۰	عمر مفید
از هزینه سرمایه‌گذاری در هر سال	٪۱	هزینه‌های نگهداری و تعمیرات
ریال در هر کیلووات ساعت	۷۸۰	قیمت برق (تضمینی خرید توسط دولت)
کیلووات	۳۱۶	متوسط ظرفیت نصب شده قابل بهره‌گیری، (متوسط سال) در گیلان
کیلووات	۱۹۱	متوسط ظرفیت نصب شده قابل بهره‌گیری (متوسط سال) در سیستان و بلوچستان
کیلووات	۱۴۰	متوسط ظرفیت نصب شده قابل بهره‌گیری (متوسط سال) در خراسان جنوبی

منبع: فرض مورد نویسنده و اطلاعات محاسباتی در بخش‌های قبلی

ارزش‌های خالص پروژهٔ توربین‌های ۶۶۰ کیلووات سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی به ترتیب ۰/۱۷، 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.

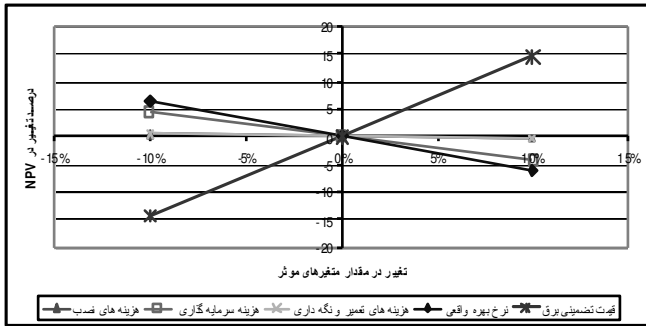
می شود. نرخ بازده داخلی پروژه های بادی در گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی به ترتیب ۰/۴۰، ۰/۲۰ و ۰/۱۲ است. بنابراین نصب توربین های بادی با فروض موجود، در این استان ها اقتصادی است. اما بهترین شرایط براساس محاسبات انجام شده اطلاعات در دسترس، مناطق مناسب در استان گیلان است.



نمودار ۱۲- جریان نقدی تجمعی پروژه های بادی در استان های 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 می گیرد و می تواند شرایط اقتصادی متفاوتی را بر پروژه تحمیل کند. تحلیل حساسیت برای پروژه گیلان انجام گرفته است، که نشان می دهد مهم ترین و مؤثرترین متغیر بر ارزیابی اقتصادی، طرح مربوط به قیمت تضمینی برق بادی از طرف دولت می باشد. با تغییر ۱۰ درصد در قیمت تضمینی برق، مقدار NPV طرح به میزان حدود ۱۴ درصد تغییر می کند. همان گونه که نمودار تارنکبوتی ۱۳ نشان می دهد، نرخ بهره واقعی و هزینه سرمایه گذاری اولیه از این نظر به ترتیب دررتبه دوم و سوم قرار دارند. با ۱۰ درصد تغییر در نرخ بهره و هزینه سرمایه گذاری اولیه، مقدار NPV به ترتیب به میزان حدود ۶ و ۴ درصد تغییر می کند.



نمودار ۱۳ - تحلیل حساسیت پروژه 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 صورتی که در شرایط تورمی، تعدیل رو به بالای قیمت تضمینی برق انجام نگیرد، در این صورت پروژه‌های بادی تحت تأثیر قرار می‌گیرند 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 می‌پذیرد.

#### -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 و ایزول میزان متوسط ظرفیت قابل بهره‌گیری بر حسب کیلووات را برای سه استان کشور ارائه کرد که براساس آن اکنون می‌توان میزان پتانسیل برق بادی کشور را برآورد کرد. برای این منظور، فرض می‌شود که ۱۵٪ مساحت استان انتخاب شده، بتواند به مزرعه بادی برای تولید برق بادی و عرضه آن به شبکه برق و یا مصرف منطقه‌ای اختصاص داده شود. به‌علاوه فرض می‌شود که عرضه برق از نیروگاه‌های بادی اثرات منفی بر شبکه برق نداشته باشد. هم‌چنین فرض می‌شود که هر توربین بادی دو کیلو متر مربع زمین به



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

$$wep = \sum \frac{sq}{2} * 0.15 * tc \quad (5)$$

که در آن  $wep$ ، میزان پتانسیل برق بادی در ایران (کیلووات)،  $sq$ ، مساحت استان مربوط بر حسب کیلومتر مربع و  $tc$  ظرفیت قابل بهره‌گیری توربین بادی است که از روش تابع توزیع چگالی توان و ایبول به‌دست آمده است. جدول ۷، اطلاعات مربوط به معادله 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 برپایه مزرعه بادی	مساحت اختصاص یافته به مزرعه بادی	تعداد توربین‌ها	ظرفیت قابل بهره‌گیری توربین	پتانسیل
واحد	کیلومتر مربع	درصد از کل مساحت	کیلومتر مربع	تعداد	کیلوات	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	۵۲۱۶/۳۳	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 (رضانی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). پتانسیل بالاتری توسط مرکز تحقیقات انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح ۶۵۰۰ مگاوات برآورد شده است (کازمی کارگر و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵). علت تفاوت در تخمین پتانسیل‌ها، تفاوت در فروض مورد استفاده، به‌ویژه فروض مربوط به پارامترهای تابع و ایبول است. چنان‌چه کل پتانسیل بادی کشور به بهره‌برداری برسد

1 -Ramezani.

2 - Kazemi Kargar et al

(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

یارانه انرژی تخصیص یافته به سوخت‌های فسیلی در ایران در سطح بسیار بالایی است، که یکی از موانع بزرگ در راه توسعه انرژی‌های رقیب و به‌ویژه توسعه 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 برنامه سوم و چهارم توسعه 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 توسعه 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 مؤفقت‌آمیزی توانست شرکت سازنده توربین‌های بادی، را مورد حمایت قرار دهد تا از این طریق به تدریج تکنولوژی توربین‌های بادی کشور بومی شود.

گرچه تلاش‌های زیادی برای توسعه 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 برنامه جامع با عنوان قانون بهره‌گیری کامل از انرژی‌های تجدیدپذیر است. در این برنامه سیاستی لازم است که دولت نحوه‌ارایه اطلاعات فنی و داده‌های لازم را به سرمایه‌گذاران پیش‌بینی کند. به‌علاوه تخصیص وام‌های با نرخ بهره ترجیحی برای پروژه‌های بادی کشور در نظر گرفته شود. مهم‌ترین مسئله در این برنامه کاهش فرآیندهای اداری است. حذف تدریجی یارانه‌های ضمنی انرژی‌های فسیلی، تخصیصی پاداش‌ها و اعتبارهای مرتبط با کاهش CO<sub>2</sub> به نیروگاه‌های برق بادی و دیگر معیارهای تشویقی بازار محور می‌توانند در این برنامه جامع گنجانده شوند. تحقیقات بیش‌تر بر

روی سیاست‌های جامع برای تهیه قانون انرژی‌های تجدیدپذیر مبتنی بر معیارهای بازار محور، توصیه می‌شود.

### فهرست منابع

- ترازنامه انرژی کشور، ۱۳۸۴، وزارت نیرو
- روزنامه سرمایه، ۱۳۸۷، خصوصی سازی در نیروگاه بادی در ایران، اول تیر ۱۳۸۷
- سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، ۱۳۸۷، [www.suna.org.ir](http://www.suna.org.ir)
- سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۷، سایت اینترنتی سازمان، [www.iriimo.ir](http://www.iriimo.ir)
- گندمکار امیر و فرینوش کیارسی، ۱۳۸۵، پتانسیل انرژی باد در ایران، بیست و یکمین کنوانسیون 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:10.1016/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
- Ehyaiei 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

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](http://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.

Mostafaiepour Ali , Hossein Abarghoeei, 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](http://www.suna.org.ir)

The Need Project, 2008, Wind, [http://www.needorg/needpdf/infobook\\_activities/ SecInfo/WindS.pdf](http://www.needorg/needpdf/infobook_activities/SecInfo/WindS.pdf).

Vestas, 2008, Vestas wind turbine system specification, [www.vestas.com](http://www.vestas.com).

Wikipedia, 2008, History of wind power, [en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_wind\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_wind_power).