

ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار

علیرضا انتزاری* استادیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری
ابوالقاسم امیراحمدی، دانشیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری
عاطفه عرفانی، کارشناس ارشد آب و هواشناسی
اکرم برزویی، کارشناس ارشد آب و هواشناسی

چکیده

در قرن حاضر افزایش جمعیت، نیاز بیش‌تر به مواد غذایی، افزایش آلودگی‌های زیست محیطی، استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، از جمله باد را بیش از پیش مورد توجه انسان قرار داده است. موقعیت جغرافیایی خاص ایران، امکان استفاده از این انرژی پاک را فراهم و آن را از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌نماید. در این پژوهش به منظور ارزیابی انرژی باد در سبزوار، از داده‌های روزانه و ساعتی سمت و سرعت باد در طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۸-۲۰۰۷) استفاده شد. پس از کنترل کمی و کیفی داده‌ها، متوسط ماهانه، روزانه و ساعتی سمت و سرعت و هم‌چنین تغییرپذیری آن محاسبه گردید. گلبادهای ماهانه ترسیم و براساس آن‌ها رژیم بادهای غالب و شدید و نیز فراوانی آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از روش‌های آماری و روابط ریاضی، مقدار انرژی پتانسیل باد در ارتفاع ۴۰ متری محاسبه و برآورد گردید و در نهایت امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار با استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود و براساس بادهای با سرعت بیش از ۴ متر بر ثانیه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که سرعت متوسط سالانه باد در این ایستگاه ۲/۵۳ متر بر ثانیه بوده و باد غالب در تمامی ماه‌ها شرقی است. باد شرقی در ماه اوت دارای بیش‌ترین فراوانی (۳۵/۵ درصد) و باد جنوبی دارای کم‌ترین فراوانی است. انرژی پتانسیل باد در طی سال حدود ۳۱۱۵۰ ژول بر متر مربع برآورد می‌گردد. بیش‌ترین انرژی پتانسیل در ماه جولای ۶۳۲۷ و کم‌ترین انرژی (۳۸۸ ژول بر متر مربع) مربوط به ماه دسامبر است. هم‌چنین بیش‌ترین انرژی پتانسیل روزانه (۵۶۶۳) بین ساعات ۳ الی ۶ بعد از ظهر و کم‌ترین مقدار (۲۴۴۰) به بازه زمانی ۱۲/۵ الی ۳/۵ شب مربوط می‌شود. انرژی قابل استحصال به ازای نصب یک دستگاه توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی در طی سال حدود ۴۹۴۰۰۰ کیلووات ساعت برآورد می‌گردد که ارزش اقتصادی آب با توجه به نرخ تضمینی خرید انرژی‌های پاک در سال ۱۳۹۱ معادل ۶۱۷۵۰۰۰۰ ریال خواهد بود.

واژگان کلیدی

انرژی‌های نو، نیروگاه بادی، گلباد، سبزوار

رشد روزافزون تقاضای انرژی، افزایش استانداردهای زندگی، گرم شدن بیش از حد کره‌ی زمین و در نهایت مشکلات زیست‌محیطی و اکولوژیکی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی به ویژه نفت و مشتقات آن، نگرانی‌هایی را برای کشورهای مختلف ایجاد کرده است. در این راستا انرژی‌های نو از جمله پتانسیل‌های آبی، انرژی‌های خورشیدی و بادی به دلیل عدم آلودگی محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. استفاده از سوخت‌های فسیلی جهت کسب انرژی الکتریسته، علاوه بر تمام شدن سریع آن باعث آلودگی محیط زیست می‌گردد. طبق برآوردهای انجام شده میزان آلودگی محیط به ازای هر مگاوات ساعت تولید انرژی با سوخت گازوئیل ۳/۲۱ کیلوگرم انواع اکسیدها، کربن و منواکسید کربن و ۶۵۷ کیلوگرم دی‌اکسید کربن است. به دلایل فوق در سال‌های اخیر نیروگاه‌های بادی به‌طور حیرت‌انگیزی از نظر اقتصادی با سایر نیروگاه‌ها قابل رقابت شده‌اند. پنج کشور، آلمان، اسپانیا، آمریکا، هندوستان و دانمارک، که بزرگ‌ترین بازار انرژی باد را دارند، در سال ۲۰۰۳ حدود ۸۲ درصد از توان توربین‌های نصب شده را به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که این رقم در سال ۲۰۰۴ به حدود ۷۹ درصد و در سال ۲۰۰۵ به حدود ۷۷ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که توان توربین‌های اضافه شده در این پنج کشور ۳۳۷ مگاوات، یعنی حدود ۶۴ درصد رشد جهانی، بوده است. این امر بیانگر افزایش تنوع مکانی استفاده از انرژی باد در سطح جهان است. در پایان سال ۲۰۰۵ میلادی کشور ایران با مجموع توان ۳۱/۶ مگاوات تولید برق بادی، در بین ۶۵ کشور تولید کننده در رتبه ۳۱ قرار گرفته است (گندمکار، ۱۳۸۸: ۸۵). مطابق گزارش نشریه‌ی سازمان هواشناسی جهانی وابسته به سازمان ملل^۱ قدیمی‌ترین توربین شناخته شده (در قالب آسیاب بادی) در ایران شناسایی شده است. ایران تا اوایل سال ۱۳۸۷ تعداد ۳۷ توربین بادی را از شرکت وستاس^۲ دانمارک، خریداری و به کشور وارد و نصب کرده است (وستاس، ۲۰۰۸). به منظور بومی‌سازی تکنولوژی توربین‌های بادی در کشور، شرکت صبا نیرو وابسته به گروه صنعتی سدید و با همکاری شرکت دانمارکی وستاس، برای تولید توربین‌های بادی ۳۰۰، ۵۵۰ و ۶۶۰ کیلووات در سال ۱۳۷۹، تأسیس شد (صبا نیرو، ۱۳۸۷).

پژوهش‌های متعددی در رابطه با امکان استفاده از پتانسیل انرژی باد در مناطق مختلف جغرافیایی براساس آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی انجام و نتایج ارزشمندی بدست آمده است. تانای سیدکی اوپار^۳ (۱۹۹۸) مشخصات و ویژگی‌های سرعت باد در ۷ ایستگاه هواشناسی ترکیه را در ارتفاع ۱۰ متری بررسی نموده و سرعت‌های متوسط سالانه این ایستگاه‌ها را ۴ الی ۶/۵ متر در ثانیه برآورد و سپس توان انرژی باد این مناطق را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است (عبدلی و صراف و شمعی، ۱۳۸۸، ص ۷۴-۵۷).

مانوئل و تلسون^۴ (۲۰۰۲) روند روزانه، ماهانه و سالانه‌ی سرعت‌های باد یک ناحیه را برای کسب انرژی مطالعه کرده و بادهای با سرعت ۴ الی ۲۵ متر در ثانیه را جهت کسب انرژی مناسب دانسته‌اند. ایشان در توان‌سنجی چگالی انرژی از توابع توزیع ویبول و رایله استفاده نموده و ضرایب x ، y تابع ویبول را با روش حداقل مربعات و معادلات دو مجهولی بدست آورده‌اند (عبدلی و صراف و شمعی، ۱۳۸۸، ص ۷۴-۵۷).

1. Word Meter Logical Organizazion

2. VESTAS

3. Tanay sidki uyar

4. Manuel, L

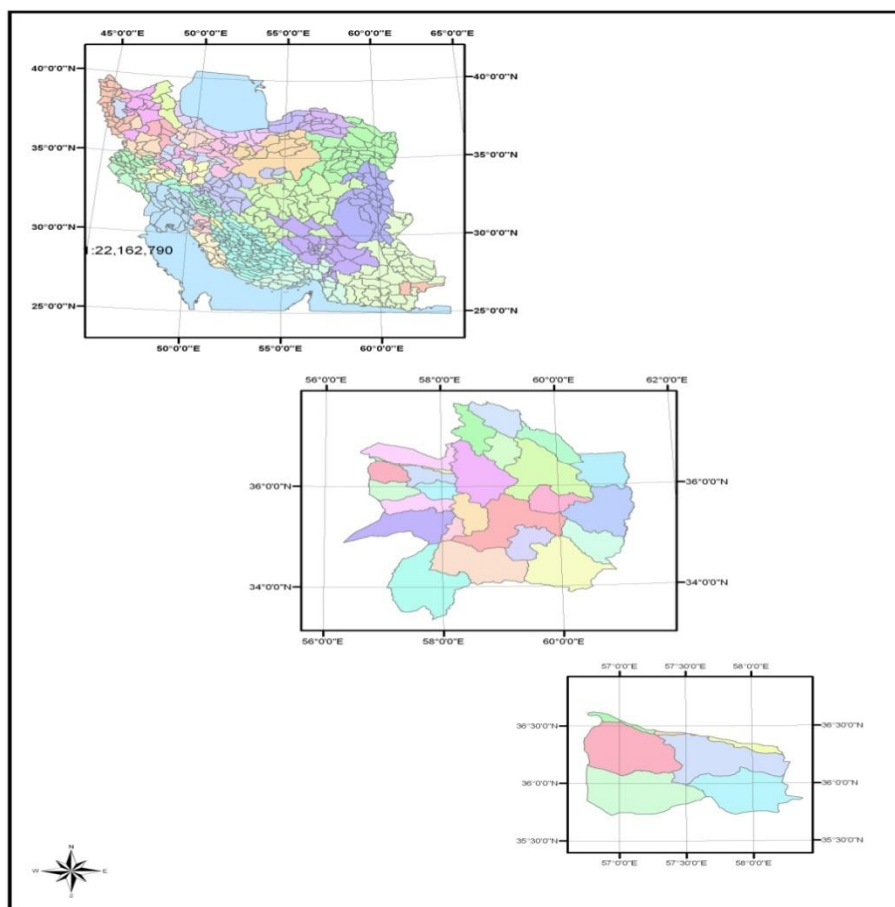
برومند صالحی و همکاران (۱۳۸۰ و ۱۳۸۳) پتانسیل انرژی باد در ایستگاه اردبیل را با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول انجام داده و براساس نتایج حاصل چگالی توان باد در این ایستگاه را ۳۴۲ وات در متر مربع بدست آورده اند. پژوهش دیگری توسط مظلومی (۱۳۸۰) صورت گرفته که ارزیابی اقتصادی نصب و احداث نیروگاه‌های بادی در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی در ایران را بررسی کرده و متوجه شده از نظر اقتصادی توربین‌های بادی مولد انرژی کاملاً قابل رقابت با نیروگاه‌های فسیلی می‌باشند و از نقطه نظر تکنولوژی، زیست‌محیطی و مصرف سوخت‌های فسیلی توربین‌های بادی از وضعیت بهتری نسبت به نیروگاه‌های فسیلی برخوردار می‌باشند (فخر مظلومی، ۱۳۸۰). جهانگیری (۱۳۸۴) رژیم باد را با استفاده از داده‌های سه ساعته چند ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره‌ی زمانی ده ساله مورد بررسی قرار داده است. جمیل (۱۳۸۰) داده‌های جهت و سرعت باد در یک منطقه جغرافیایی را تابع ارتفاع، فصل و ساعت اندازه‌گیری می‌داند و عموماً اندازه‌گیری سرعت و جهت‌های ورزش باد برای یک سال کامل کفایت می‌کند. کرد (۱۳۷۹) پتانسیل‌های محلی و ظرفیت‌های بالقوه‌ی انرژی باد در مناطق روستایی ایران را بررسی و رژیم باد را با استفاده از آمار هواشناسی سرعت باد مورد مطالعه قرار داده و شهرها و استان‌هایی که از پتانسیل مناسبی از سرعت باد در ارتفاع ۱۰ و ۴۰ متری برخوردار بوده‌اند را معرفی کرده است. جعفری (۱۳۷۸) برای تعیین موقعیت محل مناسب جهت نصب توربین‌های بادی تحقیقاتی در مورد سرعت، زمان وزش و ضریب تداوم باد و نیز انرژی قابل دریافت از آن در روز، ماه و سال در هر منطقه انجام داده و سپس توربین مورد نظر را با توجه به آن شرایط، طراحی نموده است (امانی و شمعی، ۱۳۸۸، ص ۷۴-۵۷).

براساس مطالعات به عمل آمده در برخی از نواحی بادخیز کشور مانند منجیل و رودبار پتانسیل بین ۱۵۰۰-۹۰۰ وات بر مترمربع محاسبه شده است. سایر مناطق مانند تبریز، فیروزکوه، اطراف اصفهان و شرق کشور از پتانسیل خوبی برخوردارند. بنابراین لازم است توان انرژی باد در مناطق جغرافیایی کشور به طور مستقل و ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. استان خراسان رضوی یکی از قطب‌های صنعتی کشور است که در صورت شناسایی نقاط مستعد برای ایجاد نیروگاه‌های بادی در آن، به تأمین برق مورد نیاز در این استان کمک فراوانی خواهد شد. با توجه به قرارگیری شهرستان سبزوار در حاشیه‌ی دشت کویر و شرایط جغرافیایی خاص منطقه که زمینه را برای تشکیل مراکز فشار و در نتیجه وزش بادهای مناسب فراهم می‌سازد، لزوم بررسی در زمینه‌ی استفاده از انرژی باد که توجیه اقتصادی مناسبی داشته باشد، ضروری به نظر می‌آید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق با استفاده از روش‌های آماری و روابط ریاضی و محاسباتی، مقدار انرژی و سمت و سرعت باد در ماه‌های مختلف مشخص و برآورد شده است. به این منظور از آمار روزانه و ساعتی (هشت‌بار اندازه‌گیری با فواصل زمانی سه ساعته به وقت گرینوچ) سمت و سرعت باد در طی دوره‌ی آماری ۳۰ ساله (۲۰۰۷-۱۹۷۷)، ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سبزوار واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۳ دقیقه، استفاده گردید. شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه



پس از کنترل کمی و کیفی داده‌ها، ماتریسی به ابعاد ۳۶۵ (تعداد روزهای سال) در ۲۴۰ (تعداد اندازه-گیری ساعتی در طی ۳۰ سال) حاصل و براساس آن متوسط سمت و سرعت باد با فواصل زمانی ۳ ساعت استخراج گردیدند.

برآورد سرعت باد در ارتفاع بالاتر

در قسمت‌های زیرین تروپوسفر با افزایش ارتفاع به دلیل کاهش نیروی اصطکاک سرعت باد افزایش می‌یابد. طبق استاندارد سازمان هواشناسی جهانی، اندازه‌گیری سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متری صورت می‌پذیرد. اما جهت نصب توربین‌های بادی، میزان سرعت باد در ارتفاعات بالاتر مورد نیاز است. به همین دلیل تحقیقات مختلفی براساس تئوری‌های سیالاتی و روش‌های آماری برای محاسبه‌ی سرعت باد صورت گرفته است که به عنوان نمونه می‌توان به مراجع (جانسن^۱، ۲۰۰۶)، جاودر^۲ (۲۰۰۹) و. مونجوموری^۳ (۲۰۰۰) اشاره نمود. در این تحقیق برای تبدیل سرعت باد از ارتفاع ۱۰ به ۴۰ متری از رابطه‌ی زیر استفاده شد.

¹ Johnson

² Jowder

³ Montgomerie

$$\frac{v}{v_{ref}} = \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha \quad (2-1)$$

=V سرعت باد در ارتفاع z بالای سطح زمین (سرعت باد در ارتفاع مورد نظر).

v_{ref} = سرعت مرجع یا سرعت بادی که در ارتفاع z_{ref} اندازه‌گیری شده (سرعت در ارتفاع ۱۰ متری).

و α تابع میزان زبری یا ناهمواری سطح زمین است.

با توجه به اینکه نصب توربین‌های بادی در مناطق شهری به دلیل یک سری خطرات احتمالی همچون پرتاب یخ، سقوط دکل و پره‌ها، آلودگی صوتی و... امکان پذیر نمی باشد و از طرفی قسمت اعظم منطقه سبزوار مناطق هموار (دشت) می باشد، مقدار $\alpha/2$ برای α در نظر گرفته شد.

محاسبه انرژی پتانسیل باد

جهت برآورد میزان انرژی باد از رابطه‌ی زیر استفاده شد.

$$W = 1/2 \rho v^3 AT \quad (2-2)$$

در این رابطه ρ چگالی هوا (برای شرایط استاندارد ۱/۲۲۵ کیلوگرم درمتر مکعب) ، v سرعت باد) بر حسب متر بر ثانیه)، A مساحت (متر مربع) و T زمان (ثانیه) و W مقدار انرژی بر حسب ژول است.

برآورد انرژی قابل استحصال

با توجه به آستانه‌ی (۴ متر بر ثانیه) توربین‌های بادی ۶۶۰ کیلوواتی پس از تبدیل سرعت باد به ارتفاع ۴۰ متری و حذف بادهای با سرعت کم‌تر از حد آستانه، میزات انرژی قابل استحصال و در صد اطمینان آن محاسبه و برآورد گردید.

تغییرپذیری باد

نظر به اهمیت تداوم و پایداری باد در تولید الکتریسیته، میزان تغییر پذیری بادهای با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه گردید.

$$CV = \frac{\sigma}{x} \times 100 \quad (2-3)$$

در این رابطه :

CV درصد تغییرپذیری، \bar{x} میانگین داده‌ها و σ انحراف معیار داده‌هاست که از رابطه‌ی زیر حاصل می‌گردد.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-4)$$

که در آن :

σ انحراف معیار، x_i هر کدام از داده‌ها، \bar{x} میانگین داده‌ها و n تعداد داده‌هاست.

جهت رسم گلبادهای ماهانه نیز پس از محاسبه میانگین سرعت و فراوانی بادهای از جهات مختلف، از نرم‌افزار WRPLOT استفاده گردید.

مباحث و نتایج

انرژی باد همچون سایر منابع تجدیدپذیر، به طور گسترده ولی پراکنده در دسترس است. تابش نامساوی خورشید به دلیل کروییت زمین و کجی محور چرخش آن به دور خود و تفاوت در جذب انرژی تابشی خورشید در سطح زمین به دلایل فیزیکی و جغرافیایی، باعث اختلاف انرژی در سطح زمین و نهایتاً حرکت هوا و وزش باد می‌گردد. بنابراین ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی هر منطقه نقش عمده‌ای در ثبات و تداوم انرژی حاصل از باد خواهند داشت. جدول (۱) متوسط ساعتی و ماهانه سرعت باد در ایستگاه سبزواری را نشان می‌دهد.

جدول (۱): متوسط ماهانه و ساعتی سرعت باد (متر بر ثانیه)، در طی دوره آماری (۱۹۷۸-۲۰۰۷) در ایستگاه سبزواری

| ساعت | ۰ | ۳ | ۶ | ۹ | ۱۲ | ۱۵ | ۱۸ | ۲۱ | mean |
|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| jan | ۱/۵۸ | ۱/۷۷ | ۲/۲۱ | ۱/۶۳ | ۰/۶۹ | ۰/۹۴ | ۱/۱۷ | ۱/۱۴ | ۱/۵۵ |
| feb | ۲/۱۳ | ۲/۰۲ | ۲/۷۹ | ۲/۱۶ | ۲/۵۱ | ۱/۵۸ | ۱/۶۹ | ۱/۹۹ | ۲/۱۱ |
| mar | ۲/۳۲ | ۲/۳۸ | ۲/۹۹ | ۲/۵۵ | ۲/۹۰ | ۱/۹۷ | ۲/۱۳ | ۲/۳۷ | ۲/۴۵ |
| apr | ۲/۲۴ | ۲/۸۵ | ۳/۱۲ | ۲/۸۰ | ۳/۳۱ | ۲/۳۸ | ۲/۴۸ | ۲/۴۱ | ۲/۷۰ |
| may | ۲/۴ | ۳/۱۱ | ۳/۳۶ | ۲/۶۵ | ۳/۱۰ | ۳/۲۹ | ۳/۴۸ | ۲/۸۴ | ۳/۰۳ |
| jun | ۲/۶۴ | ۳/۲۲ | ۳/۹۶ | ۳/۰۳ | ۳/۱۰ | ۴/۰۷ | ۴/۴۸ | ۳/۳۵ | ۳/۴۸ |
| jul | ۲/۴۱ | ۲/۶۳ | ۳/۹۹ | ۳/۲۶ | ۳/۴۶ | ۴/۸۱ | ۵/۰۳ | ۳/۱۴ | ۳/۶۰ |
| aug | ۲/۲۳ | ۲/۵۰ | ۳/۷۷ | ۲/۹۸ | ۲/۹۴ | ۳/۸۷ | ۴/۵۳ | ۳ | ۳/۲۳ |
| sep | ۲/۴۹ | ۲/۸۹ | ۳/۹۶ | ۲/۳۵ | ۲/۲۳ | ۲/۴۴ | ۳/۵۲ | ۲/۸۱ | ۲/۸۴ |
| oct | ۲/۰۳ | ۲/۷۰ | ۳/۲۱ | ۱/۶۷ | ۲/۲۰ | ۱/۵۴ | ۲/۱۱ | ۱/۷۲ | ۲/۱۵ |
| nov | ۱/۸۷ | ۲/۲۳ | ۱/۹۴ | ۱/۶۹ | ۱/۹۰ | ۱/۲۰ | ۱/۴۸ | ۱/۴۷ | ۱/۸۵ |
| dec | ۱/۳۰ | ۱/۶۵ | ۲/۱۹ | ۱/۵۹ | ۱/۵۳ | ۰/۸۳ | ۱/۰۸ | ۰/۹۵ | ۱/۳۹ |
| V | ۲/۱۴ | ۲/۵۰ | ۳/۲۱ | ۳/۳۷ | ۲/۵۷ | ۲/۴۱ | ۲/۷۸ | ۲/۲۹ | ۲/۵۳ |
| S | ۰/۲۰۲ | ۰/۸۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲۹ | ۰/۱۱۴ | ۱/۰۸۰ | ۰/۰۶۸ | ۰/۳۲۹ | ۰/۱۱۴ |
| Cv | ۹/۴۴ | ۳/۲۰ | ۰/۴۰ | ۱/۲۱ | ۴/۴۲ | ۳/۳۳ | ۲/۴۶ | ۱۴/۳۹ | ۴/۵۲ |

در جدول V سرعت متوسط، S انحراف معیار و C.V درصد تغییرپذیری است.

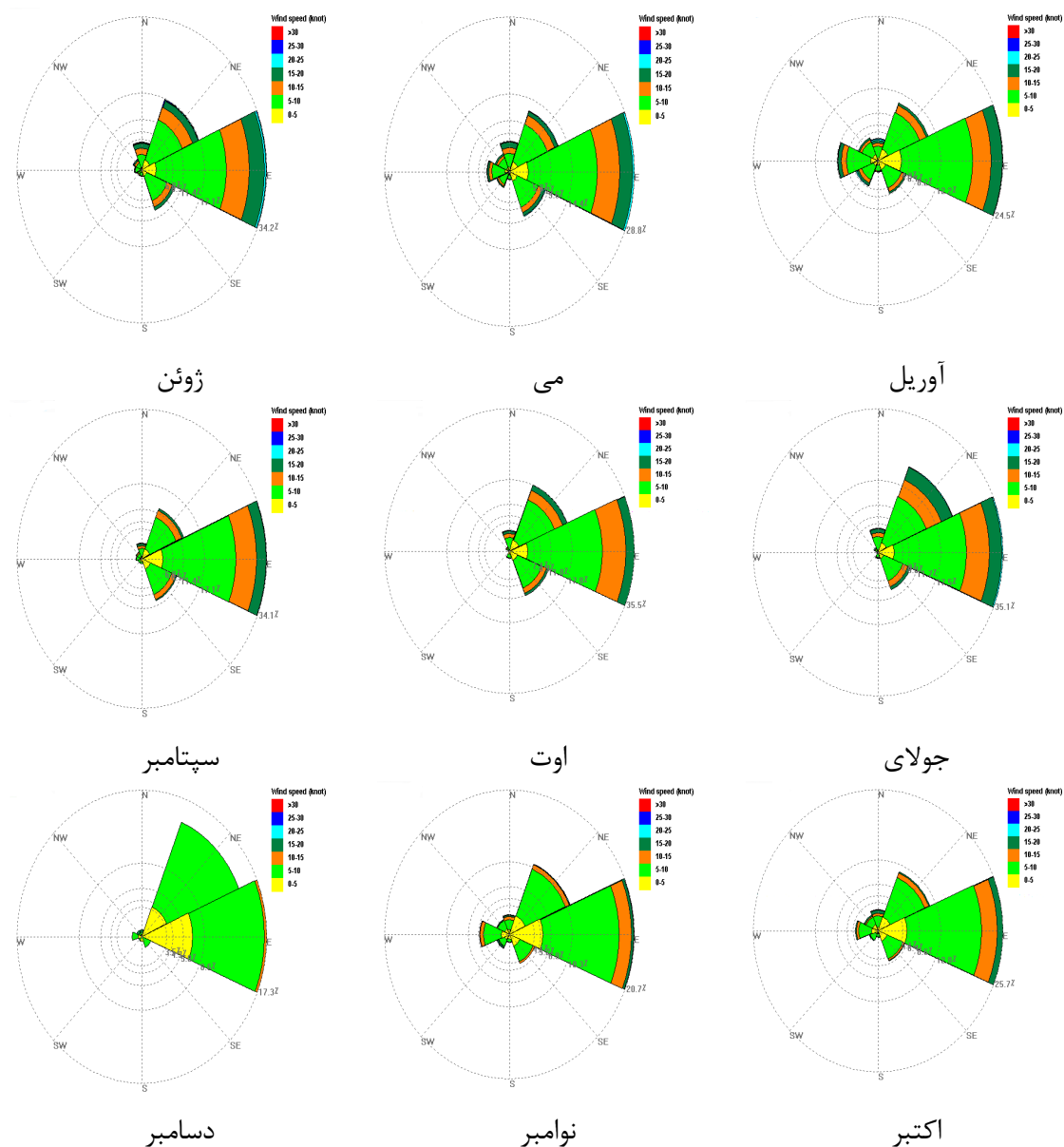
با توجه به جدول فوق، میانگین سالانه‌ی سرعت باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه سینوپتیک سبزواری طی دوره سی ساله ۲/۵۳ متر بر ثانیه می‌باشد. ماه‌های جولای و دسامبر با ۳/۶ و ۱/۳۹ به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین متوسط سرعت باد هستند. در طی شبانه روز بیش‌ترین سرعت باد (۳/۲۱ متر بر ثانیه) مربوط به ساعت شش (نه و نیم به وقت ایران) و کم‌ترین سرعت‌ها مربوط به ساعت ۲۴ است (۲/۱۴ متر بر ثانیه). همچنین بیش‌ترین تغییرپذیری سرعت باد در ساعت ۲۱ (دوازده و نیم شب به وقت رسمی کشور) و کم‌ترین تغییرات به ساعت ۹/۵ صبح مربوط می‌گردد. تغییرپذیری سالانه سرعت باد در این ایستگاه ۴/۵ درصد است. پایین بودن درصد تغییرپذیری ساعتی و سالانه سرعت باد بیانگر تداوم مناسب سرعت باد است.

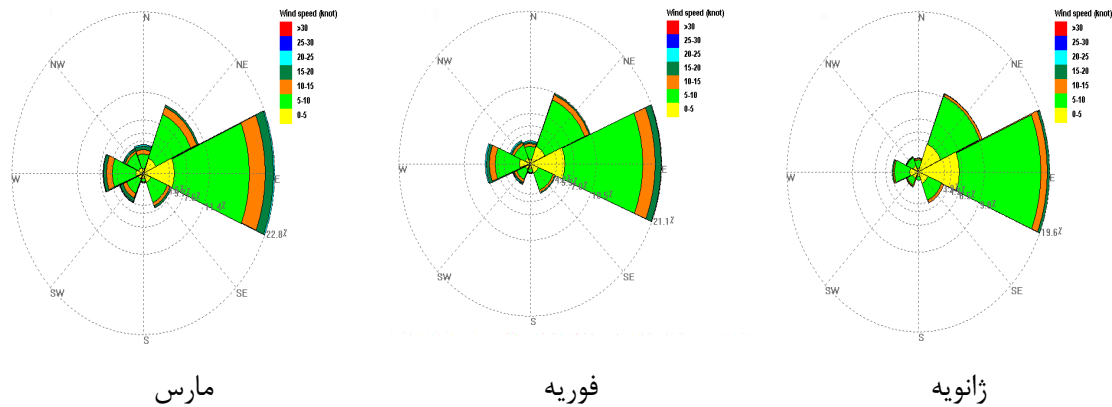
براساس داده‌های جدول مزبور در ماه‌های آوریل، می، ژوئن، جولای اوت و سپتامبر سرعت بادها بیش از میانگین سالانه (۲/۵۳ متر بر ثانیه) است.

تجزیه و تحلیل فراوانی بادها

با استفاده از داده‌های ساعتی باد در ایستگاه سینوپتیک سبزوار در طی دوره‌ی سی ساله، گلبادهای ماهانه این ایستگاه تهیه و ترسیم شده است (شکل ۲).

شکل (۲): گلبادهای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سبزوار در طی دوره آماری (۱۹۷۸-۲۰۰۷)





با توجه به گلبادهای ماهانه، باد غالب در کلیه ماههای سال شرقی است و حدوداً ۳۰ درصد بادهای را شامل می‌شود.

بیشترین فراوانی باد شرقی به ترتیب در ماههای، اوت (۳۵/۵) جولای (۳۵/۱) و سپتامبر (۳۴/۱) است، یعنی سه ماه فصل تابستان و کمترین فراوانی باد در طی سال از سمت جنوب و در مرتبه بعد جنوب غربی است.

بیشترین فراوانی سرعت باد (۳/۶ - ۲/۱) مربوط به ماههای فصل تابستان است و بادهای با سرعت ۵/۷ - ۳/۶ از فراوانی کمتری در این فصل برخوردارند. همچنین بادهای با سرعت ۵/۷ - ۸/۸ بندرت در این فصل اتفاق افتاده و در فصول پاییز و زمستان اصلاً وجود ندارند. بادهای با سرعت ۲/۱ - ۰/۵ که از شدت کمی برخوردارند بیشتر در فصل پاییز و زمستان وجود داشته و بطور میانگین ۲۰٪ بادهای را شامل می‌شوند.

برآورد انرژی پتانسیل باد در ایستگاه سینوپتیک سبزوار

جهت برآورد انرژی باد ابتدا سرعت اندازه‌گیری شده در ایستگاه (جدول ۱) با استفاده از رابطه ۱-۲ به ارتفاع ۴۰ متری تبدیل و سپس میزان انرژی پتانسیل برای بازه‌های زمانی ۳ ساعت براساس سرعت متوسط باد در هر بازه با استفاده از رابطه ۲-۲ محاسبه گردید (جدول ۲).

جدول (۲): انرژی پتانسیل باد در ایستگاه سینوپتیک سبزوار در ارتفاع ۴۰ متری (ژول بر متر مربع)

| ماه | ۰-۳ | ۳-۶ | ۶-۹ | ۹-۱۲ | ۱۲-۱۵ | ۱۵-۱۸ | ۱۸-۲۱ | ۲۴-۲۱ | جمع |
|-----|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Jan | ۷۰/۴۴ | ۱۱۷/۶۱ | ۱۰۵/۸۶ | ۶۸/۵۳ | ۳۴/۲۵ | ۱۷/۷۷ | ۳۲/۵۰ | ۴۵/۳۷ | ۴۹۲/۳۳ |
| Feb | ۱۳۰/۲۰ | ۲۱۰/۷۲ | ۲۲۹/۱۸ | ۱۹۱/۴۰ | ۱۷۱/۵۶ | ۶۵/۷۴ | ۹۳/۷۵ | ۱۳۳/۱۲ | ۱۲۲۵/۶۸ |
| Mar | ۱۹۷/۰۷ | ۲۹۳/۴۵ | ۳۲۱/۶۷ | ۳۰۶/۰۷ | ۲۱۶/۷۷ | ۱۳۰/۲۰ | ۱۷۱/۵۶ | ۱۹۵/۱۷ | ۱۸۳۱/۹۴ |
| Apr | ۲۴۸/۷۰ | ۴۰۱/۵۲ | ۳۹۲/۴۰ | ۴۲۹/۷۴ | ۳۴۸/۸۴ | ۲۱۶/۷۷ | ۲۲۰/۸۵ | ۱۸۹/۵۴ | ۲۴۴۸/۳۴ |
| May | ۳۱۶/۴۱ | ۵۱۱/۴۰ | ۴۱۰/۷۹ | ۳۶۰/۱۲ | ۴۹۳/۶۰ | ۵۸۶/۸۶ | ۴۷۶/۲۲ | ۴۰۴/۶۰ | ۳۵۶۰ |
| Jun | ۳۸۰/۴۵ | ۷۰۰/۰۲ | ۶۴۳/۸۸ | ۴۳۶/۱۹ | ۶۹۵/۶۰ | ۱۱۸۰/۴۷ | ۹۰۸/۸۲ | ۴۰۴/۵۹ | ۵۳۵۰/۰۲ |
| Jul | ۲۴۲/۰۷ | ۵۴۸/۲۷ | ۷۲۲/۴۶ | ۵۷۵/۱۰ | ۱۰۷۰/۸۳ | ۱۸۰۸/۲۷ | ۱۰۳۵/۸۵ | ۳۲۴/۳۲ | ۶۳۲۷/۱۶ |
| Aug | ۲۰۰/۹۱ | ۴۶۵/۹۹ | ۵۷۹ | ۳۹۲/۴۰ | ۵۹۴/۷۹ | ۱۱۱۸/۶۸ | ۸۰۷/۱۹ | ۲۷۱/۶۴ | ۴۴۳۰/۵۹ |
| sep | ۲۹۳/۴۵ | ۶۰۶/۸۲ | ۴۷۲/۸۰ | ۱۸۲/۲۰ | ۱۹۱/۴۰ | ۳۹۸/۴۶ | ۴۷۹/۶۷ | ۲۸۱/۱۹ | ۲۹۰۶ |
| Oct | ۲۰۰/۹۱ | ۳۸۹/۳۸ | ۲۱۸/۸۰ | ۱۰۹/۶۹ | ۹۸/۴۸ | ۹۱/۴۵ | ۱۰۵/۸۶ | ۹۹/۶۸ | ۱۳۱/۲۴ |

| ماه | ۰-۳ | ۳-۶ | ۶-۹ | ۹-۱۲ | ۱۲-۱۵ | ۱۵-۱۸ | ۱۸-۲۱ | ۲۴-۲۱ | جمع |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Nov | ۱۳۰/۲۰ | ۲۶۲/۳۰ | ۱۸۷/۶۸ | ۸۵/۸۵ | ۵۵/۳۴ | ۳۶/۰۶ | ۴۷/۵۶ | ۷۰/۴۴ | ۸۷۵/۴۳ |
| Dec | ۴۸/۳۰ | ۱۰۷/۱۳ | ۱۰۲/۱۲ | ۵۶/۹۹ | ۲۴/۶۳ | ۱۲/۹۲ | ۱۵/۵۶ | ۲۱/۰۱ | ۳۸۸/۶۷ |
| مجموع | ۲۴۵۹/۱ | ۴۶۱۴/۶۱ | ۴۳۸۶/۶۳ | ۳۱۹۴/۲۷ | ۳۹۹۶/۰۷ | ۵۶۶۳/۶۵ | ۴۳۹۵/۳۸ | ۲۴۴۰/۶۶ | ۳۱۱۵۰/۳۶ |

همان‌طور که در جدول مزبور مشاهده می‌گردد میزان انرژی پتانسیل باد در ارتفاع ۴۰ متری به ازای هر مترمربع در سال حدود ۳۱۱۵۰ ژول می‌باشد. اما نکته قابل ملاحظه محدودیت توربین‌های بادی موجود است که امکان تولید الکتریسته را در سرعت‌های پایین باد ندارند. به همین منظور با استفاده از اطلاعات توربین‌های بادی مورد استفاده در کشور و سرعت و تداوم بادها در ایستگاه سینوپتیک سبزوار، سعی گردید میزان انرژی قابل استحصال مورد ارزیابی قرار گیرد.

انرژی الکتریسته قابل استحصال در ایستگاه سبزوار

میزان انرژی قابل استحصال توسط توربین‌های بادی، علاوه بر سرعت و تداوم باد به عواملی همچون راندمان توربین، ارتفاع دکل، دایره چرخش پرها (سطح جاروب شده) وابسته است. در حال حاضر توربین‌های با ظرفیت ۳ تا ۵ مگاوات در بازارهای جهانی عرضه می‌گردد اما حمل و نقل و نصب این توربین‌ها نیازمند تجهیزات و زیرساخت‌های خاص خود می‌باشد.

توربین‌های نصب شده در ایران با تکنولوژی شرکت وستاس دانمارک دارای مشخصات زیر است.

جدول (۳): مشخصات توربین ۶۶۰ کیلووات (منبع: سایت شرکت وستاس)

| | |
|------------------|----------------------|
| توان | ۶۶۰ کیلووات |
| نوع ژنراتور | القایی |
| مساحت جاروب پرها | ۱۷۳۵ |
| ارتفاع | ۴۰ متر |
| سازنده | وستاس دانمارک |
| محدوده سرعتی | ۴ تا ۲۵ متر بر ثانیه |

جهت برآورد انرژی قابل استحصال با توجه به آستانه توربین‌های ۶۶۰ کیلوواتی، بادهایی که دارای سرعت کم‌تر ۴ متر بر ثانیه بودند، از مطالعه حذف و سپس متوسط سرعت و تغییرپذیری این بادها در طی دوره ۳۰ ساله برای بازه‌های زمانی سه ساعته محاسبه گردید (جدول ۴).

جدول (۴): متوسط سرعت و تغییرپذیری بادهای بیش از ۴ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ متری در ایستگاه سینوپتیک سبزوآر در طی دوره آماری

| ماه | شاخص | ۰-۳ | ۳-۶ | ۶-۹ | ۹-۱۲ | ۱۲-۱۵ | ۱۵-۱۸ | ۱۸-۲۱ | ۲۱-۲۴ |
|-----|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Jan | سرعت | ۶/۲۸ | ۶/۲ | ۶/۴۵۵ | ۶/۶۴ | ۶/۵۶ | ۶/۳۱ | ۶/۶۳ | ۶/۷۷۵ |
| | تغییرپذیری | ۲۴/۵ | ۲۲/۰۵ | ۲۵/۶۵ | ۳۰/۵ | ۲۸/۵ | ۲۵/۵ | ۲۷/۳۵ | ۲۷/۹۵ |
| Feb | سرعت | ۶/۷۴۵ | ۶/۷۱ | ۷/۰۴۵ | ۷/۴۱۵ | ۷/۴ | ۷/۰۷۵ | ۶/۸۹ | ۶/۸۸ |
| | تغییرپذیری | ۳۲ | ۲۸/۷۵ | ۳۲/۵۵ | ۳۴/۹۵ | ۳۴/۴ | ۳۳/۱۵ | ۲۹/۷ | ۳۱/۸ |
| Mar | سرعت | ۶/۷۶ | ۶/۹۱۵ | ۷/۳۲۵ | ۷/۶۸۵ | ۷/۶۶۵ | ۷/۴۴۵ | ۷/۲۶ | ۶/۹۶۵ |
| | تغییرپذیری | ۲۷/۷ | ۲۸ | ۳۳/۲ | ۳۴/۶۵ | ۳۴ | ۳۴/۲ | ۳۲/۸۵ | ۳۰/۹ |
| Apr | سرعت | ۶/۹۲۵ | ۷/۰۰۵ | ۷/۳۳۵ | ۷/۵۷ | ۷/۷۱ | ۷/۶۷ | ۷/۴۲۵ | ۷/۱۵ |
| | تغییرپذیری | ۲۷/۴۵ | ۲۷/۹ | ۳۲/۵ | ۳۵/۴ | ۳۴/۹ | ۳۳ | ۳۱/۰۵ | ۲۹/۶ |
| May | سرعت | ۷/۲۷۵ | ۷/۲۶ | ۷/۲۵۵ | ۷/۴۱ | ۷/۸۳ | ۷/۸۹۵ | ۷/۶۳ | ۷/۴۲۵ |
| | تغییرپذیری | ۲۸/۱۵ | ۲۹/۴ | ۳۱/۴۵ | ۳۱/۴۸ | ۳۴/۳۵ | ۳۴/۱۵ | ۳۱/۸ | ۳۰/۸ |
| Jun | سرعت | ۷/۱۴ | ۷/۳۴۵ | ۷/۳۹ | ۷/۳۷ | ۷/۹۱۵ | ۸/۱۲ | ۷/۶۹ | ۷/۳ |
| | تغییرپذیری | ۳۰/۴۵ | ۳۱/۹ | ۳۲/۱ | ۳۲/۴۵ | ۳۳/۲۵ | ۳۱/۹۵ | ۳۰/۶ | ۳۰/۱ |
| Jul | سرعت | ۶/۹۳۵ | ۷/۰۴۵ | ۷/۱۳۵ | ۷/۲۶ | ۷/۹۳۵ | ۸/۱۹۵ | ۷/۵۸۵ | ۷/۰۹ |
| | تغییرپذیری | ۲۴/۷۵ | ۲۶/۱۵ | ۲۷/۳۵ | ۲۸/۴ | ۳۰/۷۵ | ۳۰/۲ | ۲۸ | ۲۶/۱ |
| Aug | سرعت | ۶/۷۱۵ | ۶/۸۲ | ۷/۰۲ | ۷ | ۷/۳۲ | ۷/۵۶ | ۷/۱۹۵ | ۶/۸۷ |
| | تغییرپذیری | ۲۵/۸ | ۲۴/۸ | ۲۶/۸۵ | ۲۸/۰۵ | ۲۹/۷ | ۲۹/۲۵ | ۲۶/۰۵ | ۲۶/۳ |
| Sep | سرعت | ۶/۷۲۵ | ۶/۹۸۵ | ۷/۰۳۵ | ۶/۷۴۵ | ۷/۲۵ | ۷/۵۶ | ۷/۲۶ | ۶/۹۸ |
| | تغییرپذیری | ۳۲/۹ | ۲۶/۴ | ۲۶/۹۵ | ۲۶/۸۵ | ۳۱/۲ | ۳۰/۵ | ۲۶/۸۵ | ۲۵/۱۵ |
| Oug | سرعت | ۶/۵۶ | ۶/۳۱ | ۶/۲۹ | ۶/۸۱ | ۷/۳۰۵ | ۷/۲۶ | ۶/۸۲ | ۶/۶ |
| | تغییرپذیری | ۲۲/۷ | ۲۴/۷ | ۲۵ | ۲۷/۶۵ | ۳۲/۳۵ | ۳۰/۷ | ۲۸ | ۲۵ |
| Nov | سرعت | ۶/۴۵۵ | ۶/۵ | ۶/۷۸ | ۶/۸۳ | ۶/۸۷ | ۶/۷۵ | ۶/۶۱ | ۶/۶۳ |
| | تغییرپذیری | ۲۴/۲۵ | ۲۳/۴۵ | ۲۶/۸۵ | ۲۹/۵۵ | ۳۱/۷ | ۳۲/۸۵ | ۳۰/۱ | ۲۷/۰۵ |
| Dec | سرعت | ۵/۹۶ | ۶/۰۸ | ۶/۶۳ | ۷/۱ | ۶/۸۵ | ۶/۱۲ | ۶/۱۴ | ۶/۲۸ |
| | تغییرپذیری | ۲۰/۸ | ۲۱ | ۲۶/۶۵ | ۳۰/۷ | ۳۰/۲ | ۲۹/۵ | ۳۰/۸۵ | ۲۷/۳ |

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود در ماه‌های آوریل، می، ژوئن و جولای سرعت بادهای بیش از ۷ متر بر ثانیه بوده که از نظر توان انرژی در محدوده‌ی مناسبی قرار دارند. در بقیه ماه‌ها متوسط سرعت از عدد مزبور کمتر و پایین‌ترین مقادیر مربوط به ماه دسامبر است. در طی شبانه روز از ساعت ۹/۵ صبح به وقت محلی تا ساعت ۹/۵ شب بادهای از سرعت بیش‌تری نسبت به سایر ساعات شبانه روز برخوردار می‌باشند. وزش بیش‌تر بادهای در طی ساعات روز و اوایل شب ناشی از اختلاف فشار ناشی از تابش نامساوی خورشید و پراکندگی ناهمواری‌ها در منطقه است.

در جدول ۵ انرژی قابل استحصال از طریق نصب یک دستگاه توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی در منطقه محاسبه و برآورد شده است.

جدول (۵): انرژی قابل استحصال توسط یک دستگاه توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی در سبزواری بر حسب کیلو وات ساعت

| ماه | شاخص | ۰۰-۳ | ۳-۶ | ۶-۹ | ۹-۱۲ | ۱۲-۱۵ | ۱۵-۱۸ | ۱۸-۲۱ | ۲۱-۲۴ | مجموع |
|-------|------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|----------|
| Jan | E | ۳۶۰۵/۷ | ۳۴۶۹/۶ | ۳۹۱۵/۶ | ۴۲۶۱/۹ | ۴۱۰۹/۸ | ۳۶۵۷/۶ | ۴۲۴۲/۷ | ۴۵۲۷/۲ | ۳۱۷۹۰/۲ |
| | P | ۱۶/۹ | ۲۴/۵ | ۲۳/۴ | ۱۹/۳ | ۱۴/۷ | ۱۰/۶ | ۷/۶ | ۱۲/۵ | ۱۶/۷ |
| Feb | E | ۴۴۶۷/۴ | ۴۳۹۸/۲ | ۵۰۹۰/۴ | ۵۹۳۵/۳ | ۵۸۹۹/۳ | ۵۱۵۵/۷ | ۴۷۶۱/۷ | ۴۷۴۱/۱ | ۴۰۴۴۸/۹ |
| | P | ۲۱/۶ | ۲۸/۹ | ۳۰/۳ | ۲۷/۴ | ۲۳/۱ | ۱۷/۶ | ۱۱ | ۱۸/۷ | ۲۲/۳ |
| Mar | E | ۴۴۹۷/۳ | ۴۸۱۳/۷ | ۵۷۲۱/۸ | ۶۶۰۷/۵ | ۶۵۵۶/۱ | ۶۰۰۷/۶ | ۵۵۷۰/۸ | ۴۹۱۸/۹ | ۴۴۶۹۳/۶ |
| | P | ۲۹/۱ | ۳۷/۳ | ۳۸/۹ | ۳۸/۴ | ۳۲ | ۲۷/۱ | ۲۸ | ۲۸/۲ | ۳۲/۱۱ |
| Apr | E | ۴۸۴۳/۷ | ۵۰۰۴/۲ | ۵۷۴۵/۲ | ۶۳۱۵/۳ | ۶۶۷۲/۲ | ۶۵۶۸/۹ | ۵۹۵۹/۳ | ۵۳۲۱/۴ | ۴۶۴۲۱/۱ |
| | P | ۳۴/۱ | ۳۹/۷ | ۳۸/۴ | ۳۹/۸ | ۳۷/۱ | ۳۱/۳ | ۳۳/۶ | ۳۱/۷ | ۲۵/۶۳ |
| May | E | ۵۶۰۵/۴ | ۵۵۷۰/۸ | ۵۵۵۹/۳ | ۵۹۲۳/۳ | ۶۹۸۸/۶ | ۷۱۶۴/۱ | ۶۴۶۶/۷ | ۵۹۵۹/۳ | ۴۹۲۳۷/۴ |
| | P | ۴۰/۳ | ۴۶/۹ | ۴۲/۱ | ۳۸/۹ | ۴۴/۶ | ۴۸/۸ | ۳۲ | ۴۳/۷ | ۴۲/۱۳ |
| Jun | E | ۵۲۹۹/۱ | ۵۷۶۸/۷ | ۵۸۷۵/۴ | ۵۸۲۷/۹ | ۷۲۱۸/۷ | ۷۷۹۴/۲ | ۶۶۲۰/۴ | ۵۶۶۳/۴ | ۵۰۰۶۷/۹ |
| | P | ۴۰/۱ | ۵۰/۶ | ۴۸/۷ | ۴۲/۴ | ۴۹/۱ | ۶۱/۱ | ۵۸/۶ | ۵۰/۹ | ۵۰/۲ |
| Jul | E | ۴۸۵۵/۶ | ۵۰۹۰/۷ | ۵۲۸۷/۹ | ۵۵۷۰/۸ | ۷۲۷۳/۶ | ۸۰۱۲/۲ | ۶۳۵۲/۹ | ۵۱۸۸/۵ | ۴۷۶۳۱/۹ |
| | P | ۳۷/۵ | ۵۰/۶ | ۵۶/۲ | ۵۰/۹ | ۶۰/۹ | ۷۴/۲ | ۶۳/۶ | ۵۷/۳ | ۵۶/۴ |
| Aug | E | ۴۴۰۸/۱ | ۴۶۱۸/۱ | ۵۰۳۶/۴ | ۴۹۹۳/۵ | ۵۷۱۰/۱ | ۶۲۹۰/۳ | ۵۴۲۲/۵ | ۴۷۲۰/۴ | ۴۱۱۹۹/۱ |
| | P | ۳۴/۷ | ۴۶/۸ | ۵۰/۴ | ۴۳/۱ | ۵۰/۷ | ۶۶ | ۶۱/۳ | ۵۴/۲ | ۵۰/۹ |
| Sep | E | ۴۴۲۷/۷ | ۴۹۶۱/۴ | ۵۰۶۸/۷ | ۴۴۶۷/۴ | ۵۵۴۷/۸ | ۶۲۹۰/۳ | ۵۵۷۰/۸ | ۴۴۵۰/۸ | ۴۱۲۸/۹ |
| | P | ۳۸/۷ | ۴۷/۹ | ۴۲/۲ | ۲۸/۶ | ۳۰/۳ | ۴۱/۲ | ۴۵ | ۴۳/۵ | ۳۹/۷ |
| Oct | E | ۴۱۱۹/۸ | ۳۶۵۷/۶ | ۳۶۲۲/۹ | ۴۵۹۷/۸ | ۵۶۷۵/۱ | ۵۵۷۰/۸ | ۴۶۱۸/۱ | ۴۱۸۵/۴ | ۳۶۰۴۶/۷ |
| | P | ۳۲/۲ | ۴۰/۶ | ۳۳/۳ | ۲۴/۵ | ۲۳/۲ | ۲۳/۶ | ۲۶/۶ | ۲۸/۸ | ۲۹/۰۶ |
| Nov | E | ۳۹۱۵/۶ | ۳۹۹۸/۱ | ۴۵۴۷/۳ | ۴۶۳۸/۴ | ۴۷۲۰/۴ | ۴۴۸۷/۳ | ۴۲۰۴/۵ | ۴۲۵۲/۴ | ۳۴۷۶۳/۸ |
| | P | ۲۳/۸ | ۳۱/۴ | ۲۷/۷ | ۲۰/۳ | ۱۷/۶ | ۱۴/۲ | ۱۶/۱ | ۱۸/۸ | ۲۱/۲۱ |
| Dec | E | ۳۰۸۲/۱ | ۳۲۷۲/۱ | ۴۲۴۲/۷ | ۵۲۱۰/۵ | ۴۶۸۹/۵ | ۳۳۳۷ | ۳۳۶۹/۹ | ۳۶۱۴/۳ | ۳۰۸۱/۱ |
| | P | ۵/۶ | ۸ | ۸/۵ | ۶/۹ | ۴/۹ | ۳/۸ | ۵/۹ | ۴/۶ | ۶ |
| مجموع | E | ۵۳۱۱۷/۶ | ۵۴۶۲۲/۷ | ۵۹۷۱۳/۶ | ۶۴۳۴۹/۴ | ۷۱۰۶۰/۹ | ۷۰۳۳۶ | ۶۳۱۶۰/۱ | ۵۸۰۴۲/۹ | ۴۹۴۴۰۳/۴ |
| | P | ۲۹/۵ | ۳۷/۷ | ۳۶/۷ | ۳۱/۵ | ۳۲/۳ | ۳۴/۹ | ۳۲/۴ | ۳۲/۷ | ۳۳/۴۷ |

E میزان انرژی P درصد اطمینان

مهم‌ترین نتایج حاصل از جدول فوق عبارتند از :

سالانه حدود ۴۹۴۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریسیته با نصب یکدستگاه توربین بادی در ایستگاه سبزواری با ۳۳/۵ درصد اطمینان قابل تولید است.

بیشترین انرژی قابل استحصال در ماه‌های آوریل، می و ژوئن و کمترین تولید انرژی در ماه‌های دسامبر و ژانویه می‌باشد.

بیشترین میزان تولید انرژی روزانه در ساعات ۳/۵ تا ۶/۵ بعدازظهر به وقت محلی است و در رتبه‌های بعدی ساعات ۶/۵ تا ۹/۵ شب و ۹/۵ صبح تا ۱۲/۵ ظهر قرار می‌گیرند. به عبارتی از ساعت ۱۲/۵ ظهر الی ۱۲/۵ شب (زمان پیک مصرف برق) بیشترین تولید انرژی را خواهیم داشت. ضریب اطمینان در این ساعات

از ۳۱/۵ تا حدود ۳۵ درصد در نوسان می‌باشد. در ساعات ۱۲/۵ شب الی ۶/۵ صبح تولید انرژی به حداقل می‌رسد.

در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه، اکتبر و نوامبر میزان اطمینان به انرژی تولیدی کم‌تر از ۳۰ درصد بوده و در ماه‌های ژوئن، جولای و اوت میزان اطمینان به بالای ۵۰ درصد می‌رسد.

بیش‌ترین انرژی قابل استحصال از ساعت ۶/۵ تا ۹/۵ شب ماه ژوئن با ضریب اطمینان ۷۴/۱۵ به حدود ۷۷۹۴ کیلووات ساعت می‌رسد.

نتیجه‌گیری

براساس فهرست بهای سال ۱۳۹۱ نصب یکدستگاه توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی هزینه ای معادل ۱۲ میلیارد ریال خواهد داشت و با توجه به برآوردهای انجام شده ارزش اقتصادی انرژی تولید شده با توجه به قیمت خرید تضمینی انرژی‌ها پاک، توسط وزارت نیرو، سالانه حدود ۶۱۷۵۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد که بدین ترتیب دوره بازگشت سرمایه حدود ۱۹ سال خواهد بود. اما در صورت استفاده از توربین‌های بادی با راندمان بالاتر و یا افزایش قیمت خرید انرژی الکتریسیته مطمئناً این زمان بسیار کوتاه‌تر و ساخت نیروگاه اقتصادی‌تر خواهد بود.

فهرست منابع:

۱. امانی، ابوالفضل؛ حسینی شمعی، عباس، بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز رودخانه ارس جنوبی، مجله علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دهم، شماره‌ی ۲۹، بهار ۱۳۸۹، ص ۱-۲۶.
۲. جعفری، ع، (۱۳۷۸)، «طراحی، ساخت و آمایش توربین بادی مولد الکتریسیته، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، گروه مکانیک.
۳. جمیل، م، (۱۳۸۰)، چگالی انرژی باد، مجله‌ی نیوار، شماره ۴۲ و ۴۳.
۴. جمیل، مجید، کاربرد نیروگاه‌های بادی در آلمان، نشریه‌ی انرژی ایران، شهریور ۱۳۷۵.
۵. جهانگیری و همکاران (۱۳۸۴)، محاسبه‌ی انرژی باد با استفاده از توزیع ویبولی دو پارامتره، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال بیستم، شماره‌ی ۷۶.
۶. سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، ۱۳۹۱، سایت اینترنتی
۷. شمس‌آبادی، علی حسین، بررسی امکان استفاده از انرژی باد در شرایط اقلیمی نقاط مختلف ایران، چهارمین کنفرانس سراسری روستا و انرژی، چاه‌بهار، اسفند ۱۳۷۹.
۸. صبا نیرو، ۱۳۹۱، www.sabanirroo.co.ir
۹. عبدلی، حبیب؛ ساری صراف، بهروز؛ حسینی شمعی، عباس، مقاله‌ی امکان‌سنجی پتانسیل انرژی باد و کاربرد آن در طرح‌های توسعه صنعتی مطالعه مورد استان آذربایجان شرقی، مجله‌ی علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره‌ی ۲۸، مرداد ۸۸، ص ۷۴-۷۵.
۱۰. علی‌آبادی، هادی، (۱۳۸۶)، بررسی و بهبود پایداری نیروگاه‌های بادی متصل به شبکه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۱. عنبری، مصطفی، پیش‌بینی سرعت بادهای ۱۲۰ روزه شمال با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و ارزیابی تداوم و توان الکتریسیته آن، رساله‌ی کارشناسی ارشد جغرافیا،
۱۲. فخر مظلومی، محمدرضا، ارزیابی اقتصادی نصب و احداث نیروگاه‌های توربین بادی در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی در ایران، رساله‌ی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی و بازاریابی، دانشگاه آزاد اسلامی (تهران مرکزی)، ۱۳۸۰.
۱۳. کاویانی، م.ر، (۱۳۷۴)، توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل باد در ایران، فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال دهم، شماره ۳۶.
۱۴. کرد، ب، (۱۳۷۹)، نقش انرژی‌های نو در تأمین انرژی روستایی در ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
۱۵. گزارش مرکز توسعه انرژی‌های نو، سازمان انرژی اتمی ایران.
۱۶. گندمکار، امیر (۱۳۸۸)، ارزیابی انرژی باد در کشور ایران، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره‌ی ۴، ص ۸۵.
۱۷. نشریه سازمان انرژی‌های نو ایران، سال چهارم، شماره شانزدهم، تیرماه ۸۹، ص ۴.
۱۸. نقشه‌ی توپوگرافی $\frac{1}{50/000}$ سازمان زمین‌شناسی کشور

۱۹. نقشه‌ی زمین‌شناسی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح

۲۰. وزارت نیرو، دفتر انرژی نو، ۱۳۷۵.

21. *Bloomberg new energy finance*
22. *Johnson, G.I. 2006. Wind Energy systems. Electronic Edition, Manhattah, ks.*
23. *Jowder, F. 2009. wind power analysis and site matching of wind turbine generators in kingdom of Bahrain. Applied Energy 86: 583-545.*
24. *Manuel, Uance, Nelson, Lock (2002), "Analysis of time series data on wind turbine loads".*
25. *Montgomerie, B. 2000. A cook boot methoud for the constroction of steady aerodynamics cl and CD curves to be used in blade – element momentum theory for wind turbines. IEA Joint Action Aerodynamics of wind Turbines 14th symposium Boulder, p. 113-25.*
26. *Sidki Uyar, "Tanany Molly, Jens (1998), wind energy in Turhey".*
27. *Vestas, 2008, vestas wind turvine system specification, www.Vestas.com*
28. *www.suna.org.ir*