

یادداشت پژوهشی

پتانسیل سنجی امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه ی بروجرد

مهرداد جلالوند^۱ - حسین باخدا^{۲*} - مرتضی الماسی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۹

چکیده

برای مهار انرژی نهفته در باد، اولین گام تعیین انرژی پتانسیل باد می‌باشد. در این تحقیق از اطلاعات باد منطقه بروجرد، با فرکانس زمانی سه ساعته که در دوره‌های ۱۰ ساله (۲۰۱۱ - ۲۰۰۲) ثبت شده‌اند، استفاده شده است. برای پیش‌بینی احتمال وقوع سرعت‌های مختلف باد، از تابع ویبول دو پارامتره استفاده شده است. نتایج محاسبات نیکویی برازش توسط آزمون کی دو نشان داد در ۱۱ ماه از سال، توزیع فراوانی تجربی مطابق با توزیع ویبول دو پارامتره می‌باشد، ولی احتمال تجربی داده‌های سرعت در ماه سپتامبر از تابع ویبول دو پارامتره تبعیت نمی‌کند. برای ماه سپتامبر از تابع توزیع ویبول دو نمایی استفاده گردیده است. میزان انرژی قابل استحصال توسط یک توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی نمونه به نام آوانتیس مدل ای وی ۱۰۱۰، با ارتفاع برج ۹۹ متر، به تفکیک برای دوره‌های دو ماهه سال محاسبه شده است. پس از تعیین میزان انرژی مصرفی چاه‌های کشاورزی برقی منطقه در هر دوره از سال، میزان انرژی مورد نیاز و قابل استحصال، مطابقت داده شده است. در این تحقیق از نرم افزارهای SPSS نسخه ۱۸، ویندوگرافر ۳/۰/۲ و متلب ۷/۱۳/۰/۵۶۴ استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که در منطقه ی بروجرد، برای بهره‌برداری از انرژی باد در تمام سال، به حداقل ۳۹ توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی با ارتفاع ۹۹ متر نیاز است. با استفاده از توربین‌های مذکور علاوه بر گام برداشتن در مسیر توسعه ی پایدار کشاورزی، در طول سال نیز انرژی مازاد وجود داشته و قابل تزریق به شبکه ی سراسری برق خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد، تابع توزیع ویبول، توسعه ی پایدار، جهت باد، سرعت باد

مقدمه

ارزانی و قابلیت اطمینان بالا در آن دوره، رواج بسیاری یافت. تا اینکه در دهه‌های ۱۹۷۰ شوک‌های بزرگ نفتی ضربات بزرگی به اقتصاد انرژی‌های حاصل از نفت و گاز وارد آورد (Degunther, 2009). وقوع دو عامل در سال‌های اخیر، سبب ایجاد نقطه عطفی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌خصوص انرژی باد شده است؛ نخست تغییرات آب و هوایی بر اثر انباشت گازهای گلخانه‌ای در جو، و دوم، افزایش تقاضای مصرف انرژی برق در سراسر جهان. عوامل فوق باعث گشوده شدن چشم اندازی نوید بخش در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر شده است. انرژی باد مزایای زیادی نسبت به دیگر منابع انرژی تجدیدپذیر دارد که از آن جمله می‌توان به رایگان بودن، عدم آلودگی‌های زیست محیطی، عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تبدیل انرژی باد، عدم اشغال سطحی وسیع برای نصب تجهیزات مورد نیاز و دیگر موارد اشاره نمود. به‌دلیل وسعت زیاد و تنوع در توپوگرافی مناطق، لازم است توان انرژی باد در نقاط مختلف جغرافیایی به‌طور مستقل یا ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. انجمن انرژی باد آمریکا^۴

روزگار ارزانی و فراوانی انرژی به سر آمده و رویکرد جهانی، به‌سوی آزادی تدریجی از قید و بند سوخت‌های فسیلی است. در حال حاضر بخش عظیمی از انرژی در کشورهای مختلف، صرف انجام کارهای کشاورزی و ماشینی کردن عملیات کشاورزی می‌شود و به تبع آن مبالغ هنگفتی از بودجه‌ی کشورها نیز در این بخش از اقتصاد هزینه می‌شود. ولی آنچه که در این بین متمایزکننده‌ی کشورها خواهد بود، بازده انرژی مصرفی است که به‌عنوان معیاری برای پیشرفت تلقی می‌شود (Almassi et al., 2006). در دوران انقلاب صنعتی، استفاده از سوخت‌های فسیلی به‌دلیل

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲- استادیار، گروه ماشین‌آلات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

*- نویسنده مسئول: (Email: Hossein.Bakhoda@gmail.com)

۳- استاد، گروه مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

4- American wind energy association (AWEA)

طبق بررسی‌های صورت گرفته در شهرستان بروجرد، انرژی باد و جنبه‌های مختلف به‌کارگیری آن موضوعی است که تا به حال به آن پرداخته نشده است. از این رو در این تحقیق به بررسی وضعیت باد برای استفاده در بخش کشاورزی با تمرکز روی چاه‌های کشاورزی که عمده‌ترین مصرف‌کننده برق در بخش کشاورزی درون مزرعه‌ای می‌باشند، پرداخته شده است. طبق آمار موجود میزان انرژی مصرفی سالانه توسط این بخش از کشاورزی بیش از ۱۲۰۰۰ مگاوات ساعت می‌باشد (اداره برق شهرستان بروجرد). همچنین اکثر موتورهای دیزلی مورد استفاده در چاه‌ها فرسوده بوده و علاوه بر راندمان کم، هزینه‌ی تعمیر و نگهداری آن‌ها بالا است. دلایل مذکور به‌علاوه‌ی عدم پشتیبانی بعضی از قطعات و افزایش هزینه‌ی سوخت در سالیان اخیر و نیز مشکلات حمل و نقل سوخت تا محل مصرف، از مواردی هستند که روز به‌روز مشکلات چاه‌های دیزلی را شدت بخشیده و لزوم جایگزینی آن‌ها با موتورهای برقی را افزایش می‌دهد. هدف از انجام این تحقیق پتانسیل‌سنجی انرژی باد و مقایسه انرژی موجود و انرژی مورد نیاز پمپ‌های کشاورزی برقی در بروجرد است، تا ضمن تأمین برق مورد نیاز پمپ‌های مذکور، از انرژی مازاد نیز برای سایر اهداف استفاده گردد و بدین ترتیب گامی در جهت توسعه‌ی پایدار در بخش کشاورزی برداشته شود.

مواد و روش‌ها

محیط پژوهش

شهرستان بروجرد در استان لرستان و در غرب کشور واقع شده است. ارتفاع بروجرد از سطح دریا ۱۶۲۹ متر و بلندترین نقطه‌ی منطقه، قله‌ی والاش با ارتفاع ۳۶۲۳ متر در غرب شهرستان قرار گرفته و پست‌ترین ناحیه در دشت سیلاخور، ۱۵۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. مرکز این شهرستان در طول شرقی ۴۵°۴۸' و عرض شمالی ۵۵°۳۳' قرار دارد. اقلیم منطقه معتدل سرد است و گاهی بادهای با سرعت زیاد و خسارت‌زا نیز در این منطقه می‌وزد؛ پدیده‌ی خسارت‌بار بادی در اسفندماه سال ۱۳۸۸ با سرعت ثبت‌شده‌ی حدود ۹۰ کیلومتر در ساعت توسط ایستگاه سینوپتیک شهرستان از آن جمله است. سطحی معادل ۱۷۰۰۰ هکتار از اراضی این منطقه زیر کشت محصولات آبی و ۱۸۰۰۰ هکتار نیز به کشت دیم اختصاص دارد. همچنین در بخش طیور و آبزیان نیز گاو‌داری‌ها و مرغ‌داری‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی در این شهرستان مشغول فعالیت هستند (Ministry of Jihad Keshavarzi, 2011). اکثر آب مورد نیاز کشاورزی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق تأمین می‌شود. تعداد ۷۳۹ حلقه چاه آب‌رسانی به‌منظور تأمین آب مورد نیاز مزارع، باغات، واحدهای دامپروری و دیگر مصارف کشاورزی در بروجرد وجود دارد که از این تعداد، ۴۰۷ حلقه‌ی آن برقی و مابقی دیزل می‌باشند.

کانادا^۱ و تعدادی دیگر از کشورها در فواصل سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، اقدام به پتانسیل‌سنجی انرژی باد و تهیه‌ی اطلس انرژی باد در مناطق مختلفی نموده‌اند. در کشور ایران نیز نقشه‌های باد با رزولوشن متوسط و برای سرعت‌های باد تهیه شده است. این نقشه‌ها بر اساس اطلاعات بادهای اندازه‌گیری شده به مدت یک سال تهیه شده‌اند (Saghafi, 2009). باد و خصوصیات آن همواره محور تحقیقات گسترده‌ای بوده است که از جنبه‌های متفاوت به آن پرداخته شده است. طبق نتایج تحقیقات سلیک (۲۰۰۳)، تابع توزیع ویبول تابعی مناسب برای برآزش آماری اطلاعات باد است و توانایی ویژه‌ای در تخمین انرژی سالانه‌ی باد دارد. طی مطالعه‌ای در یانبو^۲ واقع در سواحل شرقی عربستان سعودی، نشان داده شد که در این منطقه انرژی بیشتر از تجهیزات کوچک‌تر تبدیل انرژی در مقایسه با تجهیزات بزرگ‌تر به‌دست می‌آید (Rehman, 2003). در نیجریه نیز، داده‌های سرعت باد با استفاده از تابع توزیع ویبول تحلیل شده است (Fadare, 2010). در بحرین نیز، در خصوص توان باد و سایت مناسب برای احداث توربین بادی، تحقیقی انجام شده است (Jowder, 2009). پتانسیل‌سنجی انرژی باد در سیلچار هندوستان^۳ نیز با استفاده از روش ویبول و رایلی انجام شد (Gupta and Biswas, 2010).

در داخل کشور هم، نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که، منطقه‌ی سنار چالوس در استان مازندران منطقه‌ای مناسب جهت مهار انرژی باد توسط توربین‌های سریع محور افقی ۶۰۰ کیلوواتی، که مناسب برای کوپله شدن با ژنراتورهای الکتریکی است، می‌باشد (Rieazi, 1998). تقفی و همکاران (۲۰۰۴)، پتانسیل باد را در منطقه سیاهپوش در استان قزوین مطالعه کردند و نشان دادند که سایت سیاهپوش طبق روش آمریکایی، در بالاترین کلاس (کلاس ۷) قرار دارد. شریفی (۲۰۰۵) توسط توزیع ویبول، چگالی سالانه‌ی باد را در استان قزوین تخمین زد و رحیمی و همکاران (۲۰۰۸)، در یک مطالعه‌ی موردی در شهر سمنان نشان دادند که این منطقه در رده‌بندی آمریکایی در کلاس یک، یعنی با پتانسیل بادی ناچیز قرار می‌گیرد. گندم کار و همکاران (۲۰۰۷)، پس از بررسی انرژی باد در منطقه‌ی سیستان، نتیجه گرفتند که در ماه‌های می، ژوئن، جولای و آگوست بیشتر بخش‌های شرقی کشور دارای توان تولید برق بادی هستند و در ماه‌های مارس، آوریل و سپتامبر هم بسیاری از بخش‌های استان سیستان و بلوچستان داری توان لازم برای تولید انرژی برق بادی است. سعیدی و همکاران (۲۰۱۱)، پتانسیل انرژی باد را در استان خراسان شمالی را بررسی کردند.

1- Canada wind energy association (CWEA)

2- Yanbo

3- Silchar (Assam, India)

عبارت است از: نسبت چگالی هوا در ارتفاعات مختلف به چگالی هوا در ارتفاع صفر (سطح دریا)، و نسبت چگالی در درجه حرارت عبارت است از: نسبت چگالی هوا در درجات مختلف حرارت به چگالی هوا در ۱۵/۵ درجه سلسیوس (Saghafi, 2009).

برای ترسیم گلبادهای نرم‌افزار ویندوگرافر نسخه ۳/۰/۲ استفاده شده که قابلیت رسم گلباد با سبک‌های متنوعی را دارد. با تشکیل جداول توزیع فراوانی، احتمال تجربی وقوع هر یک از سرعت‌های باد در هر ماه مشخص شده است.

برای پیش‌بینی احتمال وقوع هر یک از رخداد‌های باد از تابع توزیع ویبول به شرح رابطه (۳) استفاده شده است (Celik, 2003b; Mathew et al., 2002; Eskin, 2007; Vogiatzis, 2004).

$$f(v) = \frac{K}{C} \left(\frac{v}{C}\right)^{K-1} e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^K} \quad (3)$$

$f(v)$: احتمال توزیع ویبول

K : ضریب شکل (بدون بعد)

C : ضریب مقیاس ($m s^{-1}$)

V : سرعت باد در هر یک از طبقات سرعت باد ($m s^{-1}$)

سپس در مرحله‌ی بعد به منظور به‌دست آوردن مقدار تابع توزیع تجمعی ویبول دو پارامتره از رابطه (۴) استفاده شده است (Mathew et al., 2002; Eskin, 2007; Vogiatzis, 2004).

$$F(V) = 1 - e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^K} \quad (4)$$

V : سرعت باد ($m s^{-1}$)

K : ضریب شکل (بدون بعد)، مقدار K وسعت و پهنای تابع را نشان می‌دهد

C : ضریب ($m s^{-1}$)

برای تخمین هر یک پارامترهای K و C از روش تحلیل کمترین مربعات خطا و از رابطه‌های (۵) تا (۸) استفاده شده است (Al-Fawzan, 2000; Salahi, 2004).

$$Y = AX + b \quad (5)$$

در رابطه (۵): A ضریب زاویه‌ی خط و B عرض تقاطع خط با محور Y ها است.

مقادیر X ها و Y ها (برای تعیین مقادیر A و B مرتبط با پارامترهای C و K تابع ویبول) با استفاده از روابط (۶) و (۷) محاسبه شده است (Al-Fawzan, 2000; Salahi, 2004).

$$X = \ln(V_i) \quad (6)$$

$$Y = \ln\{-\ln[1-P(V)]\} \quad (7)$$

در روابط (۶) و (۷): V_i میان‌های طبقات سرعت باد و $P(V)$ درصد فراوانی تجمعی هر طبقه می‌باشند.

سپس رابطه‌ی رگرسیون خطی بین X و Y تعیین شده است. بعد از مشخص شدن مقادیر A و B ، مقدار K برابر ضریب زاویه خط (A)

متغیرهای استفاده شده

متغیرهای بررسی شده در تحقیق، داده‌های سرعت و جهت باد در یک دوره‌ی ۱۰ ساله، یعنی از سال ۲۰۰۲-۲۰۱۱ میلادی با فرکانس زمانی ۳ ساعته می‌باشند. بدین ترتیب در هر شبانه روز ۸ مشاهده مربوط به سرعت و ۸ مشاهده مربوط به جهت باد ثبت شده است. برای ثبت داده‌های مذکور در ایستگاه سینوپتیک شهرستان، از بادسنج و بادنمای لامبریخت استفاده شده است. در آمار به‌دست آمده در بعضی ساعات اطلاعات باد موجود نبودند. برای کامل شدن داده‌ها در دوره‌ی ۱۰ ساله، مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شده است. در ابتدا میانگین سرعت باد در طی ۱۰ سال برای هر یک از دوره‌های سه ساعته محاسبه شده و این جامعه مبنای محاسبات قرار گرفته است.

در این بررسی علاوه بر نرم‌افزار SPSS از نرم‌افزارهای Windographer نسخه ۳/۰/۲ و Matlab، نسخه ۷/۱۳/۰/۵۶۴ استفاده شده است.

روش تحقیق

سه مشخصه اقلیمی مورد نیاز برای پتانسیل‌سنجی عبارت بودند از: فشار هوا، دمای هوا و چگالی هوا.

فشار هوا رابطه‌ی عکس با ارتفاع دارد و برای اندازه‌گیری آن از رابطه (۱) استفاده شده است (Manwell, 2002).

$$P = 101.29(0.011837)Z + (4.793 \times 10^{-7})Z^2 \quad (1)$$

P : فشار هوا (kPa)

Z : ارتفاع از سطح دریا (m)

در این بررسی از آمار دمای هوای ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک شهرستان بروجرد استفاده شده است. میانگین دمای ماهیانه از میانگین حسابی (بدون وزن) دماهای روزانه به‌دست آمده است. از رابطه (۲) برای به‌دست آوردن چگالی هوای منطقه در ماه‌های مختلف سال استفاده شده است (Saghafi, 2009).

$$\rho = (DRA.DRT)1.21 \quad (2)$$

در رابطه (۲): DRA و DRT به ترتیب نسبت چگالی به ارتفاع و نسبت چگالی در درجه حرارت همان ماه می‌باشند. این دو مقدار، نسبت و بدون بعد هستند. ضریب ۱/۲۱، مقدار چگالی هوا در شرایط متعارفی ($15/5^\circ C$ در کنار دریا) است.

توضیح این‌که برای تعیین چگالی هوا در یک ارتفاع معین و در یک درجه حرارت معلوم، لازم است که مقادیر نسبت چگالی در ارتفاع و نسبت چگالی در درجه حرارت را با چگالی متعارفی هوا در هم ضرب کرد تا چگالی موردنظر به‌دست آید. نسبت چگالی به ارتفاع

را محاسبه نمود (Mathew, 2006).

$$P(V_1 < V < V_2) = e^{-\left(\frac{V_1}{C}\right)^K} - e^{-\left(\frac{V_2}{C}\right)^K} \quad (13)$$

در رابطه (۱۳)، P کسری از شبانه‌روز که توربین قادر به تبدیل انرژی است، V_1 سرعت راه‌اندازی توربین برحسب $m s^{-1}$ ، V_2 سرعت توقف توربین برحسب $m s^{-1}$ ، K پارامتر شکل (بدون بُعد) و C پارامتر مقیاس برحسب $m s^{-1}$ می‌باشد.

با ضرب نمودن مقدار P در ۲۴ (تعداد ساعات شبانه‌روز)، تعداد ساعاتی که توربین در طول شبانه‌روز قادر به تبدیل انرژی است، به تفکیک برای هر ماه به‌دست آمده است.

جدول ۱ - ارقام متداول ضریب K در واحدهای مختلف (Saghafi, 2009)

Table 1- K coefficient in various units

توان Power	سطح Area	سرعت Speed	K
W	ft ²	m h ⁻¹	0.0050800
W	ft ²	m s ⁻¹	0.0056900
W	ft ²	m h ⁻¹	0.0547000
W	ft ²	m s ⁻¹	0.6125000
W	ft ²	Knot	0.0077600
hp	ft ²	m h ⁻¹	0.00000681
hp	ft ²	m s ⁻¹	0.0000763

نتایج و بحث

فشار هوای منطقه‌ی بروجرد با توجه به ارتفاع ۱۶۲۹ متری آن از سطح دریا برابر با ۱۰۱۲/۳ kPa برآورد گردید.

چگالی هوای منطقه بین ۱/۰۵ - ۰/۹۶ متغیر است، بیشترین مقدار آن در ماه ژانویه بوده و با شروع گرم‌شدن هوا کاهش یافته و در ماه جولای به کمترین مقدار خود می‌رسد.

تغییرات ساعتی سرعت باد نشان می‌دهد که سرعت باد از حدود ساعت ۷ صبح به وقت محلی شروع به افزایش نموده و در حدود ساعت ۴ عصر به ماکزیمم خود می‌رسد و مجدداً شروع به کاهش می‌کند.

توزیع فراوانی ساعات سرعت باد نیز نشان می‌دهد که در ساعت ۱۲ گرینویچ (۴/۵ - ۳/۵ عصر به وقت محلی) سرعت باد حداکثر بوده و به‌طور میانگین ۵ متر بر ثانیه است و در ساعت صفر گرینویچ (۴/۵ - ۳/۵ صبح به وقت محلی) که کمترین سرعت‌ها دیده می‌شود، میانگین سرعت باد حداقل ۳ $m s^{-1}$ می‌باشد.

بررسی سالانه سرعت باد نشان می‌دهد که سریع‌ترین بادها در ماه‌های زمستان می‌وزند.

باد غالب در شهرستان، بادی است که به‌سمت جهات جنوب شرقی و اطراف آن (۱۸۰ - ۹۰ درجه) وزیده می‌شود. شکل ۱ گلبادهای جهت باد در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. ردیف اول از

می‌باشد) مقدار C از رابطه (۸) محاسبه شده است (Mathew *et al.*, 2002; Salahi, 2004).

$$C = \exp\left(-\frac{B}{A}\right) \quad (8)$$

برای سنجش میزان تطابق احتمالات واقعی و پیش‌بینی شده، آزمون نیکویی برازش انجام شده است. بدین منظور از روش کی‌دو طبق رابطه (۹) استفاده شده است (Mistaya Engineering, 2011).

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (9)$$

در رابطه (۹)؛ O_i و E_i به‌ترتیب فراوانی‌های مشاهده شده و فراوانی‌های مورد انتظار هستند.

برای پیش‌بینی سرعت باد در ماه‌هایی که فراوانی‌های مشاهده شده از تابع توزیع ویبول دو پارامتری تبعیت نمی‌کنند، از تابع توزیع ویبول دونمایی به‌شرح رابطه (۱۰)، استفاده شده است (Carta and Ramierz, 2007; Jaramillo and Borja, 2004).

$$f_{ww} = \int_0^{\infty} \frac{K_1}{C_1} \left(\frac{V}{C_1}\right)^{K_1-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C_1}\right)^{K_1}\right] dv + (1-P) \quad (10)$$

$$\int_0^{\infty} \frac{K_2}{C_2} \left(\frac{V}{C_2}\right)^{K_2-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C_2}\right)^{K_2}\right] dv = 1$$

در رابطه (۱۰)؛ V سرعت باد برحسب $m s^{-1}$ و C ها پارامترهای مقیاس توزیع سمت چپ و راست در شکل توزیع احتمالی دونمایی ویبول، K ها پارامترهای مربوط به شکل و P مقدار وزنی احتمال مربوط به سمت چپ شکل توزیع ($0 < P < 1$) می‌باشند.

مقدار P ، توسط رابطه (۱۱) تعیین شده است (Carta and Ramierz, 2007; Jaramillo and Borja, 2004).

$$V_m = PV_{m1} + (1-P)V_{m2} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱)؛ V_m سرعت متوسط بر حسب $m s^{-1}$ می‌باشد.

برای محاسبه‌ی توان تولیدی توسط توربین (نمونه) از رابطه (۱۲) استفاده شده است (Saghafi, 2009).

$$P = K \cdot e \cdot DRA \cdot DRT \cdot A \cdot V^3 \quad (12)$$

در رابطه (۱۲)؛ P توان توربین برحسب kW و K ضریب مربوط به واحدهای انتخاب‌شده که از جدول ۱ استخراج شده است (Saghafi, 2009)، e ضریب توان (طبق نظر مارکس، حداکثر قدرت باد در یک توربین که ممکن است تبدیل به انرژی مکانیکی شود، یعنی مقدار e ، ۵۹/۳ درصد می‌باشد)، DRA نسبت چگالی در ارتفاع، DRT نسبت چگالی در درجه حرارت، A سطح جارو شده توسط پره‌های توربین برحسب m^2 و V سرعت برحسب $m s^{-1}$ می‌باشند.

همچنین با داشتن پارامترهای شکل و مقیاس و نیز سرعت‌های راه‌اندازی و شروع به کار توربین و با استفاده از رابطه (۱۳) می‌توان تعداد ساعاتی را که در هر روز توربین قادر به تبدیل انرژی باد می‌باشد

سطح زمین، از سرعت آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاسته می‌شود و با افزایش ارتفاع، سرعت باد به علت عواملی همچون، کاهش اثر ناهمواری‌های سطحی، افزایش می‌یابد (Salahi, 2004). ضمن اینکه سرعت‌های نسبی باد برای یک مکان معین طبق نظر گلدینگ^۶، می‌تواند تابعی از ارتفاع بوده و افزایشی با توان ۰/۱۷ داشته باشد. نتیجه اینکه، بلندی برج نگهدارنده‌ی دستگاه مبدل انرژی باد، در نیروی به‌دست آمده اثرگذار خواهد بود (Saghafi, 2009). یعنی در صورت استفاده از برج کوتاه‌تر برای دستیابی به میزان انرژی موردنظر باید تعداد توربین‌ها افزایش یابد. توربین آوانتیس مدل ای‌وی ۱۰۱۰ قادر است در منطقه‌ی بروجرد در ماه‌های زمستان تا اوایل بهار در تعداد ساعات بیشتری از شبانه‌روز کار تبدیل انرژی را انجام دهد و با شروع گرم شدن هوا در ساعات کمتری از شبانه‌روز کار می‌کند.

جدول ۳ تعداد ساعت‌هایی که توربین مذکور قادر به تولید انرژی است را به تفکیک ماه نشان می‌دهد. کمترین مقدار چگالی توان باد در منطقه‌ی بروجرد در اواخر تابستان تا پاییز و بیشترین مقدار توان در زمستان تا اوایل بهار به‌دست می‌آید. جدول ۴ میانگین چگالی توان باد را به تفکیک ماه برحسب وات بر متر مربع نشان می‌دهد. نتیجه‌ی مطالعات تطابق بار بیان‌کننده‌ی این واقعیت است که در دو ماهه‌ی اول سال، انرژی قابل مهار، بیش از میزان مصرفی است (هر واحد توربین نمونه)، ولی در سایر دوره‌ها (خرداد تا اسفند ماه) انرژی قابل دسترس تنها کفاف بخشی از میزان انرژی مصرفی را خواهد داد. علت این تفاوت مربوط می‌شود به عواملی چون سرعت بالای باد، چگالی بالاتر هوا و نیز کسر بیشتری از شبانه‌روز که توربین قادر به تبدیل انرژی باد در دو ماهه‌ی اول سال است. سرعت باد در گردش سریع‌تر پره‌های توربین مؤثر است و چگالی بالای باد از این لحاظ اهمیت دارد که میزان بیشتری از مولکول‌های هوا با پره‌های توربین برخورد کرده و در به گردش درآوردن آن تأثیر دارند. در جدول ۵ میزان انرژی مصرفی و انرژی در دسترس در هر دوره و نیز تعداد توربین مورد نیاز در هر دوره نشان داده شده است. با استفاده از ۳۹ توربین نمونه، علاوه بر تأمین نیاز انرژی در تمام طول سال، حدود ۳۳/۳۴ GWh نیز انرژی مازاد تولید خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در عصر حاضر رویکرد جهانی به‌سمت انرژی‌های جایگزین است. نوع انرژی جایگزین در هر منطقه، با توجه به شرایط و پتانسیل‌های همان منطقه تعیین می‌شود. مثلاً در صورت تمرکز واحدهای دامپروری در یک محل، پتانسیل زیادی برای تولید بیوگاز وجود دارد و یا در مناطقی که بادخیز هستند، انرژی باد نمود پیدا می‌کند.

سمت چپ، گلباد مربوط به ماه ژانویه، فوریه و به‌همین ترتیب در آخرین سطر در سمت راست گلباد مربوط به ماه دسامبر نمایش داده شده است.

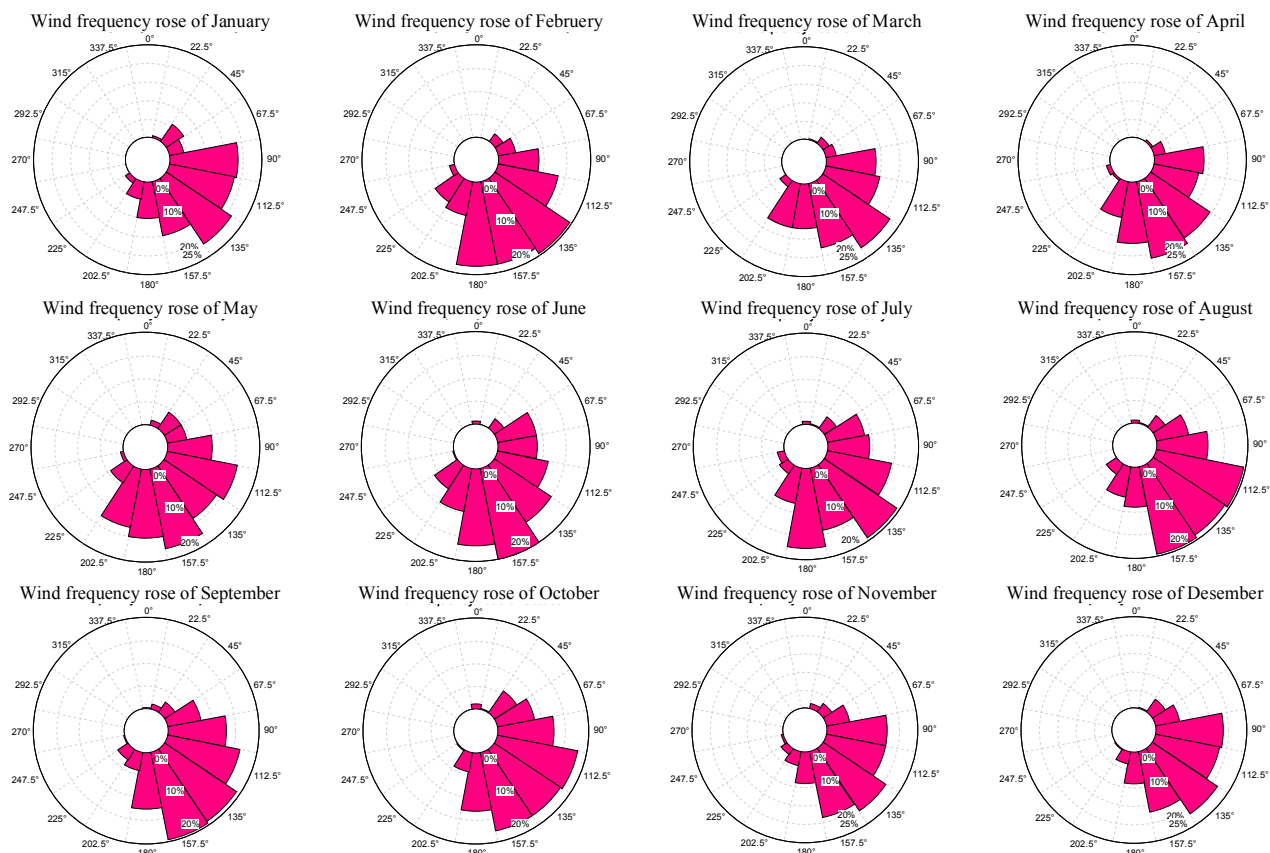
سریع‌ترین بادها در طول سال عموماً به‌سمت طیفی از جهات شمال جنوب شرقی^۱ تا شمال جنوب غربی^۲ می‌وزند (گلباد ۱۶ جهته). شکل ۲ گلبادهای سرعت باد در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. ردیف اول از سمت چپ گلباد مربوط به ماه ژانویه، فوریه و به‌همین ترتیب در آخرین سطر در سمت راست گلباد مربوط به ماه دسامبر نمایش داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از گلبادهای سرعت باد در منطقه‌ی بروجرد، به احتمال حدود ۳۷ درصد در طول سال سرعت باد بین ۳-۵ m s⁻¹ است (دامنه‌ی سرعتی مناسب برای مهار انرژی باد).

بیشترین درصد انرژی قابل استحصال از باد منطقه در طول سال از بادهایی به‌دست می‌آید که در جهات جنوب شرقی تا جنوب غربی وزیده می‌شوند. بررسی گلبادهای مختلف نشان می‌دهد که جهت باد غالب در منطقه، به‌غیر از ماه ژانویه، تغییرات زیادی در طول سال ندارد. همچنین بادهای غالب با جهت سریع‌ترین بادها مطابقت دارند.

تابع توزیع احتمال و بیبول دو پارامتری برای ۱۱ ماه از سال مناسب است و تنها در ماه سپتامبر مقادیر مشاهدات از این تابع تبعیت نمی‌کنند. نتایج برازش در جدول ۲ نشان داده شده است. در جدول ۲ مقادیر آماره که توسط آزمون کی‌دو مشخص شده‌اند با مقادیر بحرانی حاصل از جدول مقایسه شده‌اند. برای تخمین میزان توان قابل استحصال توسط توربین، یک توربین نمونه به نام آوانتیس مدل ای‌وی ۱۰۱۰ با توان ۲۳۰۰ کیلووات، سرعت راه‌اندازی ۳ m s⁻¹ و سرعت توقف ۲۵ m s⁻¹ در نظر گرفته شده است (Avantis energy group, 2012). این توربین بدون جعبه دنده است. علت انتخاب توربین مذکور این است که در زمان حاضر در دنیای توربین‌های بادی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، موضوع راندمان توربین در قسمت جعبه دنده^۳ می‌باشد. تکنولوژی ساخت توربین‌ها امروزه به‌سمتی پیش می‌رود که در آن‌ها به‌جای جعبه دنده‌ی مکانیکی، از سیستم‌هایی شامل استاتور و مگنت استفاده می‌شود. این نوع توربین‌ها علاوه بر راندمان بالاتر، قادرند در سرعت‌های کم باد نیز کار تبدیل انرژی را انجام دهند. با عنایت به این که نسبت ورودی به خروجی ژنراتور^۴ از نوع هم‌مان^۵ است، و نیز با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه مقدار ضریب توان (e)، برابر ۰/۴ در نظر گرفته شده است. ارتفاع برج توربین مذکور ۹۹ m است. لازم به توضیح است که با نزدیک شدن باد به

- 1- North of southeast (NSE)
- 2- North of southwest (NSW)
- 3- Gearbox
- 4- Construction
- 5- Direct drive

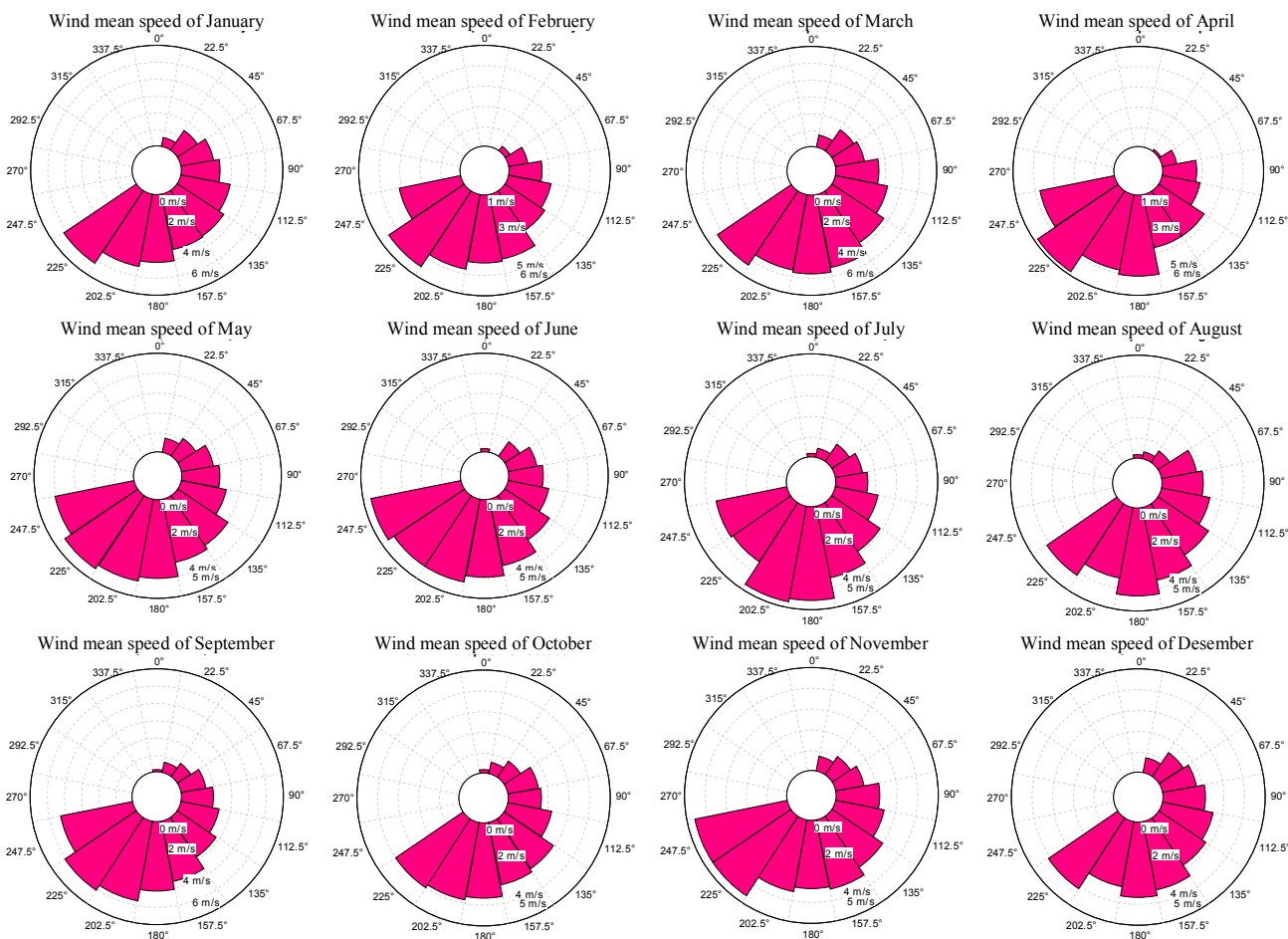


شکل ۱- گلباد جهت باد
Fig.1. Wind frequency rose

جدول ۲- نتایج نیکویی برازش توسط آزمون کی دو ($\alpha = 1\%$)

Table 2- Goodness of fit tests by Chi-Square test

رد نشدن	رد شدن	آماره	مقدار بحرانی	ماه
Acceptance	Rejection	Statistics	Critical	Month
*		18.744	33.409	January
*		24.509	37.566	February
*		22.715	41.638	March
*		15.888	34.805	April
*		17.866	32.000	May
*		24.556	33.409	June
*		16.468	30.578	July
*		22.886	33.409	August
	*	37.921	34.805	September
*		27.557	29.141	October
*		20.790	32.000	November
*		14.694	30.578	December



شکل ۲- گلباد سرعت باد

Fig.2. Mean wind speed

جدول ۳- کسری از شبانه‌روز که توربین آوانتیس مدل ای‌وی ۱۰۱۰، قادر به تبدیل انرژی باد است

Table 3- Term of the day that the Avantis turbine will generate energy

ماه	مدت زمانی از طول شبانه‌روز که توربین قادر به تبدیل انرژی باد است (%)	مدت زمانی از طول شبانه‌روز که توربین قادر به تبدیل انرژی باد است (ساعت)
Month	Term of the day that the turbine will generate energy (%)	Term of the day that the turbine will generate energy (Hour)
January	0.51	12.24
February	0.71	14.04
March	0.69	16.56
April	0.71	17.04
May	0.50	12.00
June	0.47	11.28
July	0.46	11.04
August	0.44	10.56
September	0.44	10.56
October	0.33	7.92
November	0.40	9.60
December	0.37	8.88

جدول ۴- مقدار چگالی باد در ماه‌های مختلف ($W m^{-2}$)، در ارتفاع ۱۰ متری

Table 4- Wind density in various months ($W m^{-2}$) at 10 m above the earth

ماه Month	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه) Average of wind speed ($m s^{-1}$)	میانگین چگالی توان باد (وات بر متر مربع) Average of wind density ($W m^{-2}$)	میانگین محتوای انرژی باد (کیلو وات ساعت بر متر مربع در ماه) Average of wind energy component ($kWh m^{-2} month^{-1}$)
January	3.07	26	19.34
February	3.80	47	31.58
March	3.79	49	36.45
April	3.77	45	32.40
May	3.07	28	20.83
June	3.00	29	20.88
July	3.00	33	24.55
August	2.91	26	19.34
September	2.90	26	18.72
October	2.55	18	13.39
November	2.75	19	13.68
December	2.68	17	12.64

جدول ۵- مقایسه میزان انرژی قابل استحصال و میزان مصرف در دوره‌های دو ماهه

Table 5- Load matching of energy available and energy consumption

تعداد توربین مورد نیاز Turbine necessary	درصد قابل تأمین Matching (%)	میزان انرژی در دسترس (کیلو وات ساعت) Energy supply (kWh)	میزان مصرف (کیلو وات ساعت) Consumption (kWh)	دوره‌ی مصرف در سال Term of consumption in year
1.00	100.00	291605.47	150730	1
5.18	19.28	134570.64	697789	2
16.36	6.11	115339.06	1887700	3
38.97	2.56	76391.43	2977449	4
26.18	3.81	128790.86	3372374	5
7.64	13.07	424350.72	3245414	6

صورت جامع‌تری نگریسته شود. در این تحقیق به بررسی خصوصیات باد در منطقه‌ی بروجرد پرداخته شده است و اصلی‌ترین پارامترها و ویژگی‌های باد، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در بادهای منطقه‌ی بروجرد انرژی پتانسیل قابل ملاحظه‌ای نهفته است و برای مهار آن در تمام طول سال به حداقل ۳۹ دستگاه توربین ۳۳۰۰ kW آوانتیس مدل ای‌وی ۱۰۱۰ با ارتفاع برج ۹۹ m نیاز است. از جمله مزایای این توربین که به‌عنوان نمونه انتخاب شده است می‌توان به راه‌اندازی توربین در سرعت $3 m s^{-1}$ ، تحمل بادهای تا سرعت $52/5 m s^{-1}$ ، محدوده دمایی کارکرد توربین (از $40^{\circ}C$ تا $40^{\circ}C$) اشاره کرد (Avantis Energy Group, 2012).

پیشنهادات

با توجه به نتایجی که از این تحقیق به‌دست آمده، پیشنهاد

در دنیای امروز، یکی از بخش‌هایی که نیاز به حمایت و کمک دارد، بخش انرژی است. در کشورهای پیشرفته، کشاورزی فقط مصرف‌کننده‌ی انرژی نیست، بلکه در مسیر به‌کارگیری منابع مختلف انرژی‌های جایگزین نیز گام‌های بزرگی برداشته شده، به‌طوری‌که علاوه بر رفع نیاز انرژی در امور مختلف کشاورزی، مازاد آن به شبکه‌های سراسری برق و برای مصارف عموم تزریق می‌شود. از طرفی پیش‌بینی بحران‌های شدیدتری که در آینده‌ای نه چندان دور، با محوریت سوخت‌های فسیلی اتفاق خواهد افتاد و نیز همگام شدن با روند رو به رشد تکنولوژی‌های مربوط به انرژی‌های جایگزین در دنیا، ضرورت به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر را افزایش می‌دهند. تنها با پیروی از روند جهانی می‌توان با سایر کشورها به مبادله‌ی اطلاعات و تکنولوژی روز دنیا پرداخت. صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی تنها راه‌حل برخورد با بحران انرژی نیست. این نوع نگرش‌ها ممکن است اثری مقطعی داشته باشند ولی مطمئناً در آینده و در دراز مدت، تنها راه‌حل نبوده و باید به بُعد افزایش میزان عرضه‌ی انرژی نیز به

فواصل زمانی کمتری صورت پذیرد. به این ترتیب میزان تغییرات و پیوستگی باد به صورت کامل‌تری به دست می‌آید.

مطالعات مکان‌یابی به منظور شناسایی بهترین نقاط برای نصب توربین انجام شود و مقایسه‌ای بین مناطق مسطح و تپه‌ها، در منطقه صورت پذیرد.

مطالعاتی در خصوص بهترین نحوه‌ی چیدمان و آرایش توربین‌ها و پیدا کردن فاصله‌ی بهینه‌ی توربین‌ها از یکدیگر انجام شود.

مطالعاتی با نگرش پایداری در خصوص انتخاب توربین کمتر با توان بیشتر یا تعداد بیشتر توربین با توان کمتر، در منطقه صورت گرفته و معیارهای هر نوع انتخاب مشخص شوند.

بررسی امکان استفاده از سیستم‌های ترکیبی انرژی‌های تجدیدپذیر با دیدگاه پایداری توصیه می‌شود.

می‌شود که تعداد ایستگاه‌های ثبت اطلاعات در منطقه افزایش یابد به طوری که بتوان در خصوص وضعیت باد، به تفکیک برای قسمت‌های مختلف منطقه نیز قضاوت نمود. تحقیق صورت گرفته در زمان حال حاضر و با توجه به واقعیات موجود و امکاناتی که در حال حاضر در دسترس می‌باشند انجام شده‌اند و نتایج نیز بر همین اساس به دست آمده‌اند. با داشتن اطلاعات باد به تفکیک برای نقاط مختلف منطقه که از لحاظ جغرافیایی و اقلیمی قابل تفکیک هستند، ممکن است احداث بیش از یک سایت در نقاط مختلف با ظرفیت‌های مختلف هم توجیه‌پذیر باشد. این که در این تحقیق پیشنهاد احداث یک سایت بادی داده شده است به خاطر این است که شرایط باد در تمام منطقه یکسان فرض شده است (به خاطر داشتن اطلاعات یکسان برای تمام منطقه).

فاصله‌ی برداشته‌ها و قرائت داده‌های باد با فرکانس کمتر و در

منابع

1. Al-Fawzan, M. A. 2000. Methods for estimating the parameters of the weibull distribution. King Abdulaziz city for science and technology Saudi Arabia.
2. Almassi, M., S. Kiani, and N. Loveimi. 2006. Principles of Agricultural Mechanization. Jungle Publishing Inc. Tehran. (In Farsi).
3. Avantis energy group. 2012. Available from: www.Avantis-energy.com. Accessed 15 August 2012.
4. Carta, J. A., and P. Ramirez. 2007. Analysis of two – component mixture Weibull statistics for estimation of wind speed distribution. Renewable and Sustainable Energy 32: 518-531.
5. Celik, A. N. 2003a. Assessing the suitability of wind speed probability distribution functions based on wind power density. Renewable Energy 28: 1563-1574.
6. Celik, A. N. 2003b. Energy output estimation for small-scale wind power generators using weibull-representative wind data. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91 (5): 693-707.
7. Degunther, R. 2009. Alternative energy for dommies. Wiley Publishsing Inc. Canada.
8. Eskin, N. 2007. Wind energy potential of Gokceada Island in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (3): 839-85.
9. Fadare, D. 2010. The application of artificial neural networks to mapping of wind speed profile for energy application in Nigeria. Journal of Applied Energy 87: 934-942.
10. Gandomkar, A., M. Kaviani, and S. Mas'udian. 2007. A study of Wind energy in Sistaan area for electricity generation. Journal of Isfahan University 27 (6): 95-104. (In Farsi).
11. Gupta, R., and A. Biswas. 2010. Wind data analysis of silchar (Assam, India) by Rayleigh's and weibull methods. Journal of Mechanical Engineering Research 2: 10-24.
12. Jaramillo, O., and M. Borja. 2004. Wind speed analysis in la ventosa, Mexico a bimodal probability distribution. Renewable Energy 29: 1613-1630.
13. Jowder, F. A. 2009. Wind Power analysis and site matching of wind turbine generators in Kingdom of Bahrain. Journal of Applied Energy 86: 538-545.
14. Manwell, J. 2002. Wind energy explained. John Wiley and sons Ltd. Canada.
15. Mathew, S., K. Pandey, and A. Kumar. 2002. Analysis of eind regimes for energy estimation. Renewable Energy 25: 99-381.
16. Mathew, S. 2006. Wind energy fundamentals, resource analysis and economics. Springer. New York.
17. Ministry of Jahad Keshavarzi. 2011. Available from: www.maj.ir. Accessed 5 June 2011. (In Farsi).
18. Mistaya Engineering. 2011. Available from: www.mistaya.ca. Accessed 26 October 2011.
19. Rahimi, A., M. Saghafi, and Z. Sarvghadi. 2008. Thecincal evaluation of renewable energies in sample structure for instruction. Journal of Mechanics Enginneing 17: 38-52. (In Farsi).
20. Rehman, S. 2003. Wind energy resources assessment for Yanbo, Saudi Arabia. Energy Conversion and

Management 45: 2019-2032.

21. Rieazi, S. M. 1998. Wind energy utilization in Maazandaran state (Senar Chalos Zone). Tehran, Iran. (In Farsi).
22. Saeedi, D., O. Nematolahi, and A. A. Alam Rajabi. 2011. Wind energy evaluation in North Khorasan State. Energy Management 1: 56-49. (In Farsi).
23. Saghafi, M., M. Sharifi, and M. Khalaji Asadi. 2004. Evaluation of Siahpush's wind energy in Qazvin for wind farm instulation. 5th International Conference of Energy, Tehran, Iran. (In Farsi).
24. Saghafi, M. 2009. Renewable Energies. Tehran University Publishing Inc. Tehran. (In Farsi).
25. Salahi, B. 2004. Wind Energy Potantial assessment. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Farsi).
26. Sharifi, M. 2005. Wind energy potential assessment in Ghazvin kohak weald for introduction of wind site. The 13th International Conference on Mechanic Engeenering. Industrial University of Isfahan. (In Farsi).
27. Vogiatzis, N. 2004. Analysis of wind potential and characteristics in North Aegean, Greece. Renewable Energy 29: 1193-1208.