

تحلیل آماری استفاده از انرژی باد در استان خراسان شمالی

مطالعه موردی: بجنورد

مهدی جهانگیری

رسول کلباسی

احمد صداقت

دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان

استاد یار دانشکده مکانیک

M.Jahangiri@me.iut.ac.ir

R.Kalbasi@me.iut.ac.ir

Sedaghat@cc.iut.ac.ir

محسن ثقفیان

حسن مهدیزاده

استاد یار دانشکده مکانیک

کارشناس ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز

Saghafian@cc.iut.ac.ir

hasmehdizade@gmail.com

چکیده

پتانسیل باد، برای تولید انرژی پاک، در بسیاری از نقاط ایران قابل توجه است. در این مقاله، یک تحلیل آماری روی داده‌های بادی ایستگاه بجنورد در استان خراسان شمالی انجام شده است. به منظور برآورد اولیه انرژی باد در این ایستگاه محاسبات لازم بر روی اطلاعات آماری اندازه‌گیری شده توسط سازمان انرژی‌های نو ایران انجام شده است. با توجه به داده‌ها، محاسبات در یک بازه ۱۲ ماهه انجام شده است. ابتدا سرعت باد در ارتفاع ۴۰ متری، ۳۰ متری و ۱۰ متری در ماههای مختلف مطالعه شده است. این ایستگاه دارای میانگین سرعت به ترتیب ۵/۸۲ متر بر ثانیه، ۵/۶ متر بر ثانیه و ۵/۲۶ متر بر ثانیه در ارتفاع‌های یاد شده است. همچنین گلباد بیشترین جهت وزش باد بررسی گردیده است. از نمودار گلباد سرعت و جهت در ارتفاع‌های ۳۰ متری و ۳۷/۵ متری دیده می‌شود که جهت باد غالب در جهتی بین شرق و شمال شرقی می‌باشد. در ایستگاه بجنورد با توجه به گلباد این ایستگاه نمی‌توان بیان کرد که در طول سال جهت غالب باد ثابت می‌باشد. این موضوع در امر چیدمانی توربین‌ها مهم است، زیرا که ثابت بودن جهت باد مزیت عمده‌ای برای

نیروگاه می‌باشد. همچنین با ارزیابی توان متوسط باد سالانه در ارتفاع‌های ۱۰ متری، ۳۰ متری و ۴۰ متری دیده می‌شود بیشترین میزان توان باد در ماه می^۱ رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد، ایستگاه بجنورد، توربین باد، توزیع ویبول، چگالی توان، گلباد.

مقدمه

در سال ۲۰۰۸ مصرف انرژی جهان معادل ۴۷۴ اگزاژول ($4.74 \times 10^{20} J$) بوده که ۸۰ تا ۹۰ درصد انرژی مصرفی جهان از منابع فسیلی حاصل شده است [۱]. این در حالیست که پتانسیل انرژی باد به عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر انرژی حدود ۱۵ برابر مصرف انرژی جهان است [۲]. امروزه استفاده از این منبع انرژی با نرخ رشد فزاینده‌ای در حال افزایش است. بر اساس آمارهای منتشر شده از سوی انجمن انرژی باد اروپا، در سال ۲۰۰۸ حدود ۴۳ درصد از تجهیزات نصب شده جدید جهت تولید انرژی در اروپا مربوط به انرژی باد بوده است [۳]. در ایران، به عنوان اولین تمدنی که ۹۰۰ سال قبل از میلاد از انرژی باد برای پمپ آب و خرد کردن دانه استفاده کرده است [۴]، فعالیت‌هایی در راستای تولید توان از منابع بادی در حال انجام است. در ایران ظرفیت تولید ۱۰ هزار مگاوات برق از نیروگاه‌های بادی پیش‌بینی شده است که در حال حاضر نیروگاه بادی منجیل با ظرفیت ۷۰ مگاوات و نیروگاه بادی بینالود با ظرفیت ۲۸ مگاوات برق تولید می‌کند [۵]. طبق گزارش سازمان جهانی انرژی باد [۶]، ایران با ۲۳/۳٪ رشد در رده سی و پنجم تولید برق بادی جهان در سال ۲۰۰۸ قرار داشته است. آمریکا، آلمان، اسپانیا، چین و هند با تولید ۲۰ هزار تا ۱۰ هزار مگاوات در رده‌های نخست قرار دارند. در زمینه بررسی منابع انرژی باد در ایران جهت تولید برق کارهای متعددی تاکنون انجام شده است که از آن جمله می‌توان به تهیه اطلس باد کشور توسط سازمان انرژی‌های نو اشاره کرد [۵]. رحیم زاده و جهانگیری [۷] با استفاده از روش‌های آماری و اطلاعات هواشناسی سرعت و چگالی انرژی باد را در چند ایستگاه هواشناسی کشور بررسی نمودند. گندمکار و همکاران [۸] تغییرات سالانه و روزانه سرعت باد در منطقه سیستان را جهت تولید برق بادی مورد مطالعه قرار دادند. عامری و همکاران [۹]، پیشرفتهای اخیر در توسعه انرژی باد در کشور را با اشاره‌ای به تهیه نقشه صفر اطلس بادی کشور بیان نمودند. آنها با یک مطالعه نرم افزاری توسط ECOWIND و با استفاده از داده‌های آماری باد، منحنی عملکرد توربین باد و پارامترهای اقتصادی تخمین مناسبی برای قیمت تمام شده برق پیدا کردند که بررسی‌های آنها حاکی از اقتصادی بودن برق تولیدی در نیروگاه بادی منجیل و بینالود است. همچنین پتانسیل انرژی باد در منطقه منجیل توسط مصطفایی پور و ابرقوئی [۱۰] بررسی شد که این منطقه به عنوان یکی از مناطق بادخیز جهان معرفی شده است. اخیراً یک مطالعه امکان سنجی نصب توربین باد توسط مصطفایی پور [۱۱] برای چند شهر استان یزد انجام شده است. وی بر اساس داده‌های آماری ۱۳ ساله از ۱۱ ایستگاه پتانسیل انرژی باد از نظر سرعت و جهت را مورد بررسی قرار داده است. کیهانی و همکاران [۱۲]، یک برآورد آماری از توابع توزیع سرعت و جهت باد براساس داده‌های ۱۱ ساله باد در تهران انجام دادند که مطالعه آنها نشان داد که سایت مورد بررسی برای تولید توان در مقیاس بزرگ مناسب نیست.

در این مقاله پتانسیل انرژی باد در ایستگاه بجنورد [۵] در استان خراسان شمالی، در ۱۲ ماه متوالی مورد بررسی قرار گرفته است. پتانسیل انرژی باد در این ایستگاه با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول برآورد شده است.

ایستگاه مورد مطالعه

شهر بجنورد در استان خراسان شمالی تقریباً در شمال شرقی ایران، در عرض جغرافیایی ۳۷/۴۹ و طول

جغرافیایی ۵۷/۳۲ قرار گرفته است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۰۷۰ متر می‌باشد. از اطلاعات سرعت و جهت باد این شهرستان از تاریخ ۲۰۰۷/۱/۱ تا تاریخ ۲۰۰۸/۱/۱ در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه برای هر داده برداری، استفاده شده است.

تحلیل آماری داده‌های بادی

توزیع ویبول (Weibull distribution)

برای تعیین پتانسیل انرژی باد در یک سایت مورد نظر و تخمین انرژی خروجی از این سایت از روش‌های آماری استفاده می‌شود. اگر سری زمانی داده‌های اندازه‌گیری شده در یک ارتفاع خاص موجود باشد می‌توان تابع توزیع چگالی احتمال سرعت را بصورت زیر نوشت [۴]:

(۱)

$$p(U_a \leq U \leq U_b) = \int_{U_a}^{U_b} p(U) dU$$

که در آن U نمایانگر سرعت و $\int_c^\infty p(U) dU = 1$. یکی از این توابع که صحت آن با اندازه‌گیری در نقاط مختلف جهان ثابت شده است، تابع توزیع چگالی احتمال ویبول است که نیازمند دو پارامتر k (ضریب شکل) و c (ضریب مقیاس) است و به فرم زیر می‌باشد:

(۲)

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

همچنین تابع توزیع انباشتگی (cumulative distribution function) که برای تخمین زمانی که سرعت باد در یک بازه خاص قرار می‌گیرد به صورت زیر است [۴، ۱۳]:

(۳)

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

برای تعیین c و k از روابط تجربی زیر استفاده می‌شود [۴، ۱۴]:

الف- رابطه تجربی ارائه شده توسط Justus

با داشتن انحراف معیار و سرعت متوسط می‌توان ضرایب k و c را مطابق فرمول زیر بدست آورد.

(۴)

$$k = \left(\frac{\sigma_U}{U}\right)^{-1.086}$$

(۵)

$$c = \frac{\bar{U}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$$

در رابطه اخیر Γ ، تابع گاما می‌باشد.

ب- رابطه تجربی Lysen

در روش فوق ابتدا ضریب k از معادله (۴) بدست آمده و سپس به کمک معادله زیر مقدار c بدست می‌آید.

$$\frac{c}{U} = \left(0.568 + \frac{0.433}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (۶)$$

در رابطه اخیر σ_U ، انحراف معیار استاندارد و \bar{U} ، سرعت متوسط داده‌ها است.

چگالی توان

چگالی توان باد (توان باد بر واحد سطح) به دانسیته هوا (در شرایط استاندارد سطح دریا $\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3}$) و توان سوم سرعت باد بستگی دارد. توان باد علاوه بر این به مساحت جاروب شده توسط روتور توربین باد (قطر روتور) وابسته است. چگالی توان متوسط به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{\bar{P}}{A} = \frac{1}{2} \rho \int_c^{\infty} U^3 p(U) dU \quad (۷)$$

همچنین چگالی انرژی باد در یک بازه زمانی داده شده عبارتست از:

$$\frac{\bar{E}}{A} = \left(\frac{\bar{P}}{A} \right) (N \Delta t) \quad (۸)$$

نسبت $K_e = \frac{U^3}{(\bar{U})^3}$ بعنوان ضریب الگوی انرژی تعریف شده که برابر توان کل در دسترس باد به توانی که از مکعب کردن سرعت متوسط حاصل می‌شود، است.

برای تخمین توان کلی که از نصب یک توربین باد می‌توان در یک سایت بدست آورد، \bar{P}_w با داشتن تابع توزیع چگالی احتمال سرعت باد، $p(U)$ ، و نمودار توان توربین، $P_w(U)$ ، داریم:

$$\bar{P}_w = \int_0^{\infty} P_w(U) p(U) dU \quad (۹)$$

انتگرال فوق با استفاده از روش‌های عددی قابل محاسبه است. از روش ذوزنقه در حل انتگرال فوق داریم [۱۳]:

(۱۰)

$$\bar{P}_w = \sum_{i=1}^{N_B} \frac{1}{2} (U_{i+1} - U_i) (p(U_{i+1}) P_w(U_{i+1}) + p(U_i) P_w(U_i))$$

شدت آشفتگی (Turbulence Intensity)

آشفتگی در باد به دلیل هدر رفتن انرژی جنبشی باد و تبدیل آن به انرژی گرمایی بر اثر تشکیل و نابودی گردابه‌های کوچک، رخ می‌دهد. آشفتگی باد ممکن است در زمان طولانی ثابت باشد اما در بازه‌های زمانی کوچک بسیار متغیر است. معمولاً آشفتگی جریان بدلیل زبری سطح (درختان، ساختمانها و ...) و ارتفاع بالای سطح بوجود می‌آید [۱۳]. وجود آشفتگی در جریان باد نه تنها از توان آن می‌کاهد، بلکه باعث ایجاد پدیده

خستگی در توربین باد می‌شود [۱۳]. یکی از معیارهای اندازه‌گیری آشفستگی، شدت آشفستگی است که بصورت انحراف معیار استاندارد سرعت باد به سرعت متوسط تعریف می‌شود:

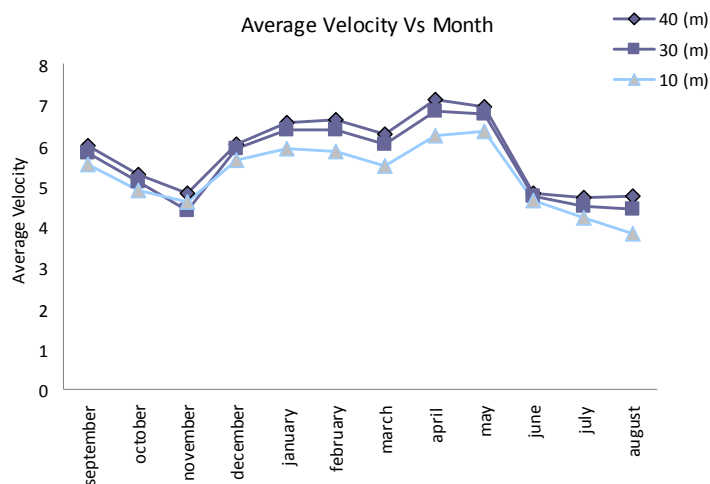
$$(11)$$

$$TI = \frac{\sigma_U}{U}$$

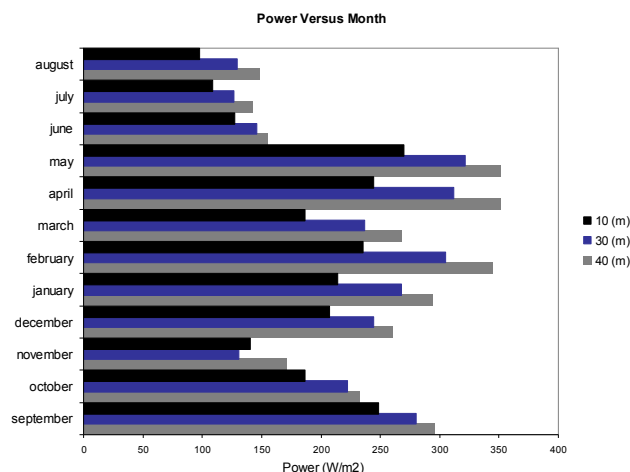
در رابطه اخیر انحراف معیار استاندارد و سرعت متوسط روی یک بازه زمانی معمولاً ۱۰ دقیقه محاسبه می‌شوند [۴].

نتایج

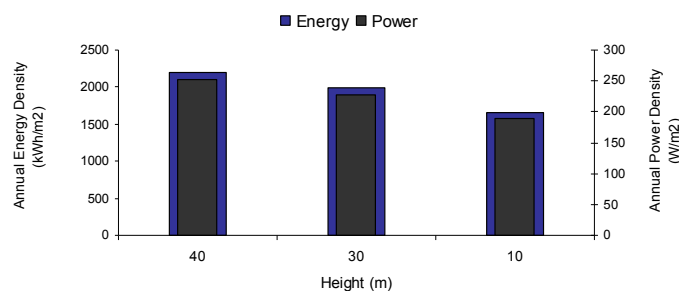
با استفاده از اطلاعات سرعت و جهت باد شهرستان بجنورد که از تاریخ ۲۰۰۷/۱/۱ تا تاریخ ۲۰۰۸/۱/۱ در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه برای هر داده برداری در اختیار ما است، نمودارهای توزیع سرعت، توان متوسط، چگالی توان و انرژی سالانه در ارتفاع‌های ۱۰ متری، ۳۰ متری و ۴۰ متری در شکل‌های ۱ تا ۳ رسم شده است. همانطور که از این نمودارها دیده می‌شود که در ارتفاع ۴۰ متری مقدارهای سرعت متوسط، توان متوسط، چگالی انرژی متوسط نسبت به ارتفاع‌های دیگر و در یک ارتفاع همین مقادیر مربوط به ماه می ۲۰۰۷ نسبت به ماه‌های دیگر بالاتر است و در ارتفاع ۳۰ متری نیز نتایجی مناسب و نزدیک به ارتفاع ۴۰ متری ثبت شده است.



شکل ۱- سرعت متوسط باد ماهیانه در ارتفاع‌های ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری

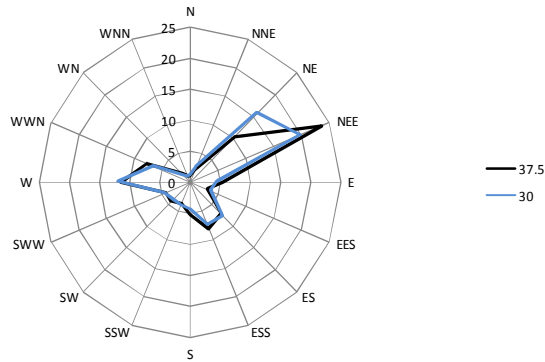


شکل ۲- توان متوسط باد ماهیانه در ارتفاع های ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری



شکل ۳- چگالی توان و انرژی سالیانه در ارتفاع های ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری

شکل ۴ نمودار گلباد این سایت را نشان می دهد. همانطور که از نمودار گلباد سرعت و جهت در ارتفاع ۳۰ متری دیده می شود، جهت باد غالب در جهتی بین شرق و شمال شرقی مطابق شکل می باشد. نمودار گلباد جهتی در ارتفاع ۳۷/۵ متری نیز جهت باد غالب را در جهتی بین شرق و شمال شرقی نشان می دهد. با توجه به گلباد این ایستگاه نمی توان بیان کرد که در طول سال جهت غالب باد ثابت می باشد. این موضوع در امر چیدمانی توربین ها مهم است، زیرا که ثابت بودن جهت باد مزیت عمده ای برای نیروگاه می باشد. حدود ۳۵٪ از وزش باد در جهت بین شرق و شمال شرق اتفاق افتاده است.



شکل ۴- گلیاد سرعت و جهت در ارتفاع ۳۰ متری

در جدول ۱ مقادیر مربوط به سرعت متوسط سالیانه، توان متوسط سالیانه و فاکتور انرژی سالیانه این سایت در ارتفاع های ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری آورده شده است.

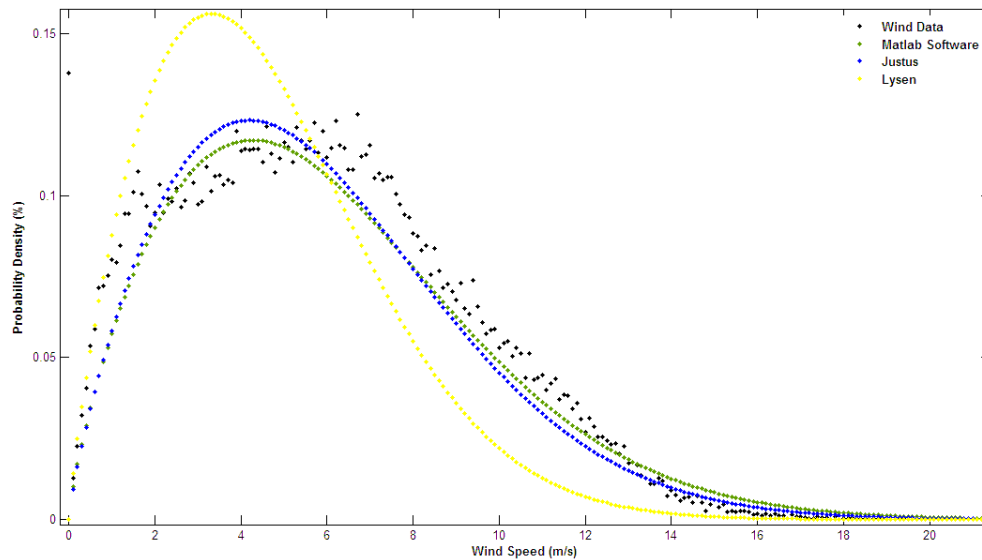
| ایستگاه نصب شده در بجنورد | | | |
|---------------------------|------------|--------|--------|
| سرعت (m/s) | ارتفاع (m) | | |
| | ۴۰ | ۳۰ | ۱۰ |
| متوسط | ۵/۸۲ | ۵/۶ | ۵/۲۶ |
| توان باد (W/m^2) | ۲۵۱/۷۱ | ۲۲۶/۸۳ | ۱۸۸/۸۴ |
| فاکتور انرژی | ۲/۰۸ | ۲/۱۰ | ۲/۱۱ |

جدول ۱- اطلاعات سالیانه در ارتفاع های ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری

همان طور که قبلا اشاره شد برای تعیین پتانسیل انرژی باد در سایت مورد نظر و تخمین انرژی خروجی از این سایت از تابع توزیع ویبول استفاده می شود. رسم تابع توزیع ویبول توسط نرم افزار متلب انجام شده است. به منظور مقایسه و اعتبارسنجی روابط ارائه شده برای محاسبه ضریب شکل و فاکتور مقیاس (معادلات (۴)، (۵) و (۶)) در جدول ۲ این ضرائب توسط نرم افزار متلب و توسط معادلات پیشنهادی محاسبه و جمع آوری شده است. ملاحظه می شود که دقت معادله تجربی ارائه شده توسط Lysen از دقت کمتری نسبت به معادله Justus برخوردار است. در شکل ۵ دقت این روش ها توسط نمودار نشان داده شده است.

| نام شهر | نرم افزار متلب | | فرمول های (۴ و ۵) | | فرمول های (۴ و ۶) | |
|---------|----------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| | ضریب شکل | فاکتور مقیاس | ضریب شکل | فاکتور مقیاس | ضریب شکل | فاکتور مقیاس |
| بجنورد | ۱/۷۷۱ | ۶/۸۱ | ۱/۸۱ | ۶/۵۵ | ۱/۸۱ | ۵/۱۷ |

جدول ۲- مقایسه بین روشهای مختلف در بدست آوردن ضرائب مورد کاربرد در تابع ویبول



شکل ۵- تابع توزیع ویبول برای ایستگاه بجنورد

نتیجه گیری

در این مقاله به تحلیل آماری داده‌های بادی ایستگاه بجنورد که در استان خراسان شمالی قرار گرفته، پرداخته شده است. داده‌های بادی این ایستگاه از پایگاه اینترنتی سازمان انرژی‌های نو ایران اخذ شده است. داده‌های بادی مربوط به فواصل زمانی ۱۰ دقیقه در سه ارتفاع ۱۰ متری، ۳۰ متری و ۴۰ متری از سطح زمین ثبت شده بود، به صورت آماری و مستقیم تحلیل شد. این ایستگاه دارای میانگین سرعت به ترتیب ۵/۸۲ متر بر ثانیه، ۵/۶ متر بر ثانیه و ۵/۲۶ متر بر ثانیه در ارتفاع‌های یاد شده است. همچنین گلباد بیشترین جهت وزش باد بررسی گردیده است. در ایستگاه بجنورد بیشترین فرکانس وزش باد در جهت بین شرق و شمال-شرقی اتفاق افتاده است. با توجه به نمودار گلباد این ایستگاه نمی‌توان بیان کرد که در طول سال جهت غالب باد ثابت می‌باشد. این موضوع در امر چیدمانی توربین‌ها مهم است، زیرا که ثابت بودن جهت باد مزیت عمده‌ای برای نیروگاه می‌باشد.

در انتها باید اذعان داشت که کار حاضر تنها یک مطالعه اولیه، به منظور تخمین پتانسیل انرژی باد در شهر مذکور می‌باشد. برای کارهای جدی‌تر باید داده‌های اندازه‌گیری شده برای چند سال را بررسی نمود. علاوه بر آن دانستن شرایط محیطی از قبیل نوع زمین، ارتفاع منطقه می‌تواند در روند تصمیم‌گیری برای محل قرارگیری سایت توربین باد مؤثر باشد.

- [1] International Energy Agency (IEA), www.iea.org/
- [2] American Wind Energy Association (AWEA), www.awea.org/
- [3] Global Wind Energy Council (GWEC), <http://www.gwec.net/>
- [4] James F. Manwell, Jon G. McGowan, Anthony L. Rogers, Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, John Wiley & Sons, p.11, 2002.
- [5] <http://www.suna.org.ir/> سازمان انرژی‌های نو ایران
- [6] World Wind Energy Association (WWEA), www.wwindea.org/
- [7] فاطمه رحیم زاده و زهره جهانگیری، " مکان یابی مناسب برای استفاده از انرژی باد در کشور"، سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۲
- [8] امیر گندمکار، محمد رضا کاویانی و سید ابوالفضل مسعودیان، " بررسی انرژی باد در منطقه سیستان به منظور تولید برق بادی"، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، جلد ۲۷، شماره ۶، صص ۹۵-۱۰۴، ۱۳۸۶-۱۳۸۲
- [9] Mohammad Ameri, Mehdi Ghadiri and Mehdi Hosseini, "Recent Advances in the Implementation of Wind Energy in Iran", The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006), Bangkok, Thailand, November 2006.
- [10] Ali Mostafaeipour and Hossein Abarghoeei, "Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 12, No. 6, pp. 1758-1766, 2008.
- [11] Ali Mostafaeipour, "Feasibility study of harnessing wind energy for turbine installation in province of Yazd in Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, pp.93-111, 2010.
- [12] A. Keyhani, M. Ghasemi-Varnamkhasia, M. Khanalia, and R. Abbaszadeh, "An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran", Energy, Vol. 35, No.1, pp. 188-201, 2010
- [13] Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins and Ervin Bossanyi, WIND ENERGY HANDBOOK, John Wiley & Sons, 2001.
- [14] Anastasios Balouktsis, Dimitrios Chassapis and Thodoris D. Karapantsios, "A nomogram method for estimating the energy produced by wind turbine generators", Solar Energy, Vol. 72, No.3, pp. 251-259, 2002.
- [15] <http://www.re-energy.ca>
- [16] <http://www.asoy.netfirms.com/cordinents.htm>
- [17] Windturbines Reference Pages, <http://www.windturbines.ca/>
- [18] TheVirtual Websites for Wind Power Technology Worldwide, www.windturbinewarehouse.com/
- [19] Windturbines Reference Pages, <http://www.windturbines.ca/>
- [20] ENERCONWindblatt, <http://www.enercon.de/>