

# پتانسیل سنجی انرژی باد برای تولید الکتریسیته در استان خراسان رضوی

## مطالعه موردی: ایستگاه قدمگاه

مهدی جهانگیری<sup>۱</sup>، علیرضا حجتی ملایری<sup>۲</sup>، احمد صداقت<sup>۳</sup>، احسان آقایی<sup>۴</sup>  
دانشکده ی مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان، *M.Jahangiri@me.iut.ac.ir*

### چکیده

در این مقاله، یک تحلیل آماری روی داده‌های بادی ایستگاه قدمگاه در استان خراسان رضوی به منظور تولید الکتریسیته انجام شده است. برای برآورد اولیه انرژی باد در این ایستگاه محاسبات لازم بر روی اطلاعات آماری اندازه‌گیری شده توسط سازمان انرژی‌های نو ایران انجام شده است. لازم به ذکر است که با توجه به این داده‌ها، محاسبات در یک بازه ۱۲ ماهه صورت گرفته است. سرعت باد در ارتفاع‌های ۴۰ متری، ۳۰ متری و ۱۰ متری در ماههای مختلف مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج تحلیل آماری نشان می دهد که این ایستگاه دارای میانگین سرعت به ترتیب ۵/۲۴ متر بر ثانیه، ۵/۰۵ متر بر ثانیه و ۴/۲ متر بر ثانیه در ارتفاع‌های یاد شده می باشد. همچنین از نمودار گلباد سرعت و جهت در ارتفاع‌های ۳۰ متری و ۳۷/۵ متری مشاهده می شود که جهت غالب باد در راستای غرب و نزدیک به غرب می باشد. در ایستگاه قدمگاه با توجه به گلباد این ایستگاه می توان بیان کرد که در طول سال جهت غالب باد ثابت است. این موضوع در چیدمان توربین‌ها بسیار اهمیت دارد، زیرا ثابت بودن جهت باد مزیت عمده‌ای برای نیروگاه می باشد. همچنین با ارزیابی توان متوسط باد سالیانه در ارتفاع‌های ۱۰ متری، ۳۰ متری و ۴۰ متری دیده می شود بیشترین میزان توان باد در ماه فوریه رخ داده است.

**واژه‌های کلیدی:** استان خراسان رضوی، انرژی باد، ایستگاه قدمگاه، توزیع ویبول، چگالی توان.

- ۱- دانشجوی دکتری تبدیل انرژی دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۳- استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۴- مدرس گروه مکانیک دانشگاه علمی کاربردی واحد علویچه

## ۱- مقدمه

در سال ۲۰۰۸ مصرف انرژی جهان معادل ۴۷۴ اگزاژول 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 نیز، به عنوان اولین تمدنی که ۹۰۰ سال قبل از میلاد مسیح از انرژی باد برای پمپ آب و خرد کردن دانه استفاده می‌کرده 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 می‌کنند [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 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 امکان‌سنجی 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 قدمگاه [۵] در استان خراسان رضوی، 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.

## ۲- ایستگاه مورد مطالعه

شهر قدمگاه در استان خراسان رضوی تقریباً در شمال شرقی ایران، در عرض جغرافیایی ۳۶/۸ و طول جغرافیایی ۵۸/۹۶ قرار گرفته است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۲۰۳ متر می‌باشد. شهر قدمگاه مرکز شهرستان زبرخان می‌باشد که در جنوب شرقی رشته کوه‌های بینالود قرار گرفته و بدلیل قرار گرفتن در مسیر جاده ابریشم دارای اهمیتی خاص بوده است. این شهر در فاصله ۲۲ کیلومتری شهر نیشابور و یک صد کیلومتری غرب مشهد قرار دارد و از شهر دررود ۶ کیلومتر و از شهر خرو ۵ کیلومتر فاصله دارد. 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 داده‌برداری، استفاده شده است.

### ۳- تحلیل آماری داده‌های بادی

#### ۳-۱- 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]:

$$p(U_a \leq U \leq U_b) = \int_{U_a}^{U_b} p(U) dU \quad (1)$$

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:

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

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

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (3)$$

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

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.

$$k = \left(\frac{\sigma_U}{\bar{U}}\right)^{-1.086} \quad (4)$$

$$c = \frac{\bar{U}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (5)$$

در رابطه اخیر  $\Gamma$ ، 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.

$$\frac{c}{\bar{U}} = \left(0.568 + \frac{0.433}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (6)$$

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

#### ۳-۲- 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:

$$\frac{\bar{P}}{A} = \frac{1}{2} \rho \int_c^\infty U^3 p(U) dU \quad (7)$$

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

$$\frac{\bar{E}}{A} = \left( \frac{\bar{P}}{A} \right) (N\Delta t) \quad (8)$$

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:

$$\bar{P}_w = \int_0^\infty P_w(U) p(U) dU \quad (9)$$

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

$$\bar{P}_w = \sum_{i=1}^{N_B} \frac{1}{2} (p(U_{i+1})P_w(U_{i+1}) + p(U_i)P_w(U_i)) \times (U_{i+1} - U_i) \quad (10)$$

### ۳-۳- شدت آشفتگی (Turbulence Intensity)

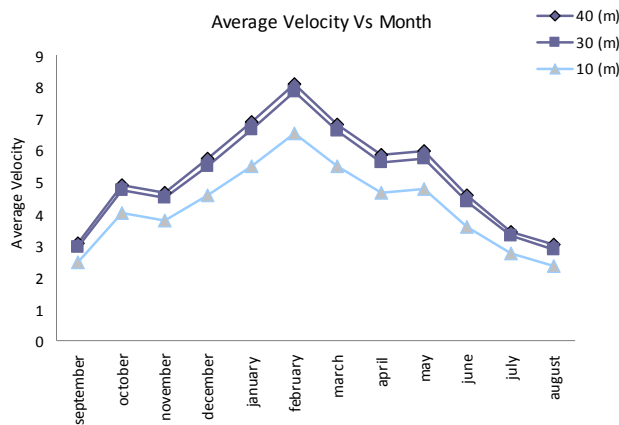
آشفتگی در باد به دلیل هدر رفتن انرژی جنبشی باد و تبدیل آن به انرژی گرمایی بر اثر تشکیل و نابودی گردابه‌های کوچک، رخ می‌دهد. آشفتگی باد ممکن است در زمان طولانی ثابت باشد اما در بازه‌های زمانی کوچک بسیار متغیر است. معمولاً آشفتگی جریان بدلیل زبری سطح (درختان، ساختمانها و ...) و ارتفاع بالای سطح بوجود می‌آید [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 اندازه گیری آشفتگی، شدت آشفتگی است که بصورت انحراف معیار استاندارد سرعت باد به سرعت متوسط تعریف می‌شود:

$$TI = \frac{\sigma_U}{U} \quad (11)$$

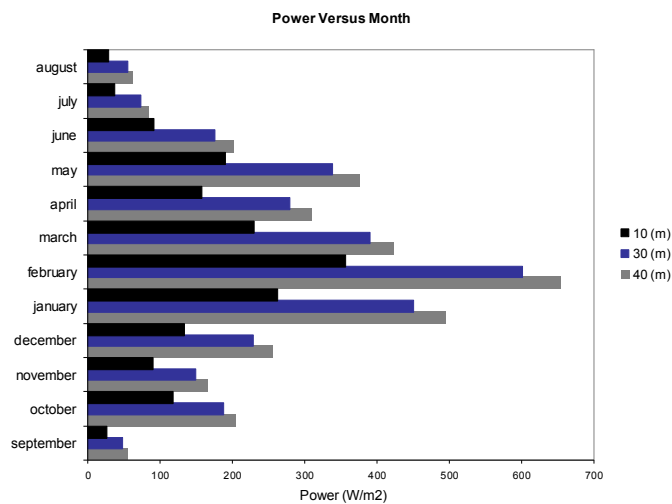
در رابطه اخیر انحراف معیار استاندارد و سرعت متوسط روی یک بازه زمانی معمولاً ۱۰ دقیقه محاسبه می‌شوند [۴].

### ۴- نتایج

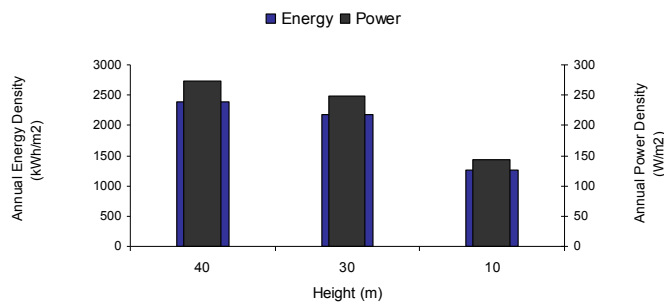
با استفاده از اطلاعات سرعت و جهت باد شهرستان قدمگاه که از تاریخ ۲۰۰۷/۱/۱ تا تاریخ ۲۰۰۸/۱/۱ در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه برای هر داده برداری در اختیار ما است، نمودارهای توزیع سرعت، توان متوسط، چگالی توان و انرژی سالانه در ارتفاعهای ۱۰ متری، ۳۰ متری و ۴۰ متری در شکل های ۱ تا ۳ رسم شده است. همانطور که در این نمودارها مشاهده می‌شود در ارتفاع ۴۰ متری مقدارهای سرعت متوسط، توان متوسط، چگالی انرژی متوسط نسبت به ارتفاع های دیگر و در یک ارتفاع همین مقادیر مربوط به ماه فوریه 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 ارتفاع های ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری

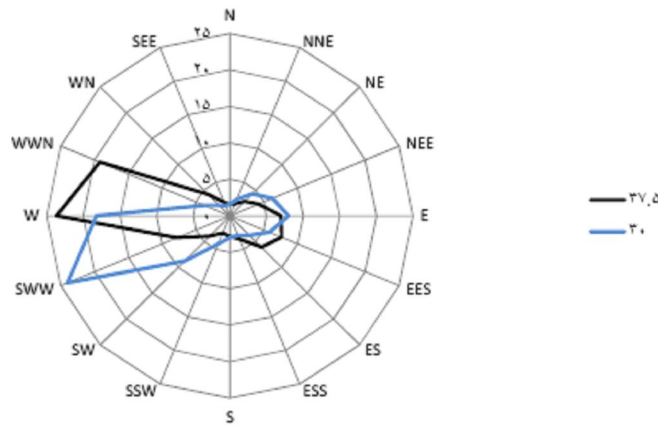


شکل ۲- توان متوسط باد ماهیانه در ارتفاع های ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری



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

شکل ۴ نمودار گلباد این سایت را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار گلباد سرعت و جهت در ارتفاع ۳۰ متری و ۳۷/۵ متری دیده می‌شود جهت غالب باد در جهت غرب و نزدیک به غرب می‌باشد. با توجه به گلباد این ایستگاه می‌توان بیان کرد که در طول سال جهت غالب باد ثابت می‌باشد. این موضوع در امر چیدمان توربین‌ها مهم است، زیرا که ثابت بودن جهت باد مزیت عمده‌ای برای نیروگاه می‌باشد.



شکل ۴- گلباد سرعت و جهت در ارتفاع ۳۰ متری و ۳۷/۵ 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.

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

ایستگاه نصب شده در قدمگاه			پارامتر مورد بررسی
ارتفاع (m)			
۴۰	۳۰	۱۰	
۵/۲۴	۵/۰۵	۴/۲۰	سرعت متوسط (m/s)
۲۷۳/۷۴	۲۴۷/۸۶	۱۴۳/۶۰	توان باد ( $W/m^2$ )
۳/۰۹	۳/۱۳	۳/۱۶	فاکتور انرژی

همان‌طور که اشاره شد برای تعیین پتانسیل انرژی باد در سایت مورد نظر و تخمین انرژی خروجی از این سایت از تابع توزیع ویبول استفاده می‌شود. رسم تابع توزیع ویبول توسط نرم‌افزار 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 نرم‌افزار متلب و توسط معادلات پیشنهادی محاسبه و جمع‌آوری شده است. ملاحظه می‌شود که دقت معادله تجربی ارائه شده توسط Lysen از دقت کمتری نسبت به معادله Justus برخوردار است. در شکل ۵ دقت این روش‌ها توسط نمودار نشان داده شده است.

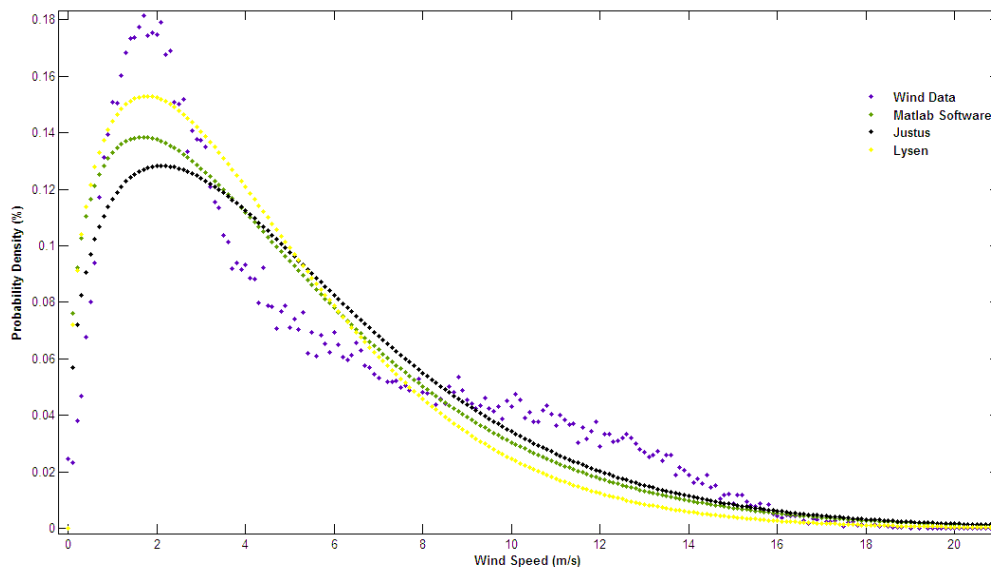
## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله به تحلیل آماری داده‌های بادی ایستگاه قدمگاه که در استان خراسان رضوی قرار گرفته، پرداخته شده است. داده‌های بادی این ایستگاه از پایگاه اینترنتی سازمان انرژی‌های نو ایران اخذ شده است. داده‌های بادی که 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 ۵/۲۴ متر بر ثانیه، ۵/۰۵ متر بر ثانیه و ۴/۲ متر بر ثانیه در ارتفاع‌های یاد شده است. همچنین گلباد بیشترین جهت وزش باد بررسی گردیده است و مشاهده می‌شود که جهت غالب باد در جهت غرب و نزدیک به غرب می‌باشد. با توجه به نمودار گلباد این ایستگاه می‌توان بیان کرد که در طول سال جهت غالب باد ثابت می‌باشد. این موضوع در امر چیدمان 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.

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

نام شهر	فرمول‌های (۴ و ۶)		فرمول‌های (۴ و ۵)		نرم افزار متلب	
	ضریب شکل	فاکتور مقیاس	ضریب شکل	فاکتور مقیاس	ضریب شکل	فاکتور مقیاس
قدمگاه	۱/۳۵	۴/۸	۱/۳۵	۵/۳۲	۱/۳۹	۵/۳۲



شکل ۵- تابع توزیع ویبول برای ایستگاه قدمگاه

## تشکر و قدردانی

در پایان بر خود لازم می‌دانیم که از سرکار خانمها بهناز حبیبی کارشناس زبان انگلیسی و مهندس نعیمه محمد رضایی که ما را در انجام این پروژه یاری رساندند، تشکر نماییم.

## مراجع

- [1] International Energy Agency (IEA), [www.iea.org/](http://www.iea.org/)
- [2] American Wind Energy Association (AWEA), [www.awea.org/](http://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.
- [۵] سازمان انرژی‌های نو ایران <http://www.sun.org.ir/>
- [6] World Wind Energy Association (WWEA), [www.wwea.org/](http://www.wwea.org/)
- [۷] 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
- [۸] 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/](http://www.windturbinewarehouse.com/)
- [19] Windturbines Reference Pages, <http://www.windturbines.ca/>
- [20] ENERCONWindblatt, <http://www.enercon.de/>



# Assessment of potential wind energy for electricity production in Khorasan Razavi Case Study: Ghadamgah station

Mehdi Jahangiri<sup>1</sup>, Alireza Hajji Malayeri<sup>2</sup>, Ahmad Sedaghat<sup>3</sup>, Ehsan Aghaei<sup>4</sup>

*Department of Mechanical Engineering, Isfahan university of technology*

*M.jahangiri@me.iut.ac.ir*

## ABSTRACT

In this paper a statistical analysis on wind data of Ghadamgah station in Khorasan Razavi province is implemented. Renewable energy organization of Iran's 12-month data are used for wind energy calculations. Wind velocity at 40, 30 and 10 meter heights is studied firstly. Mean wind velocity on this station at mentioned height is 5.24, 5.05, 4.2 m/s respectively. Also windrose of wind blow direction is investigated. Using windrose graph, wind velocity and direction at 30 and 37.5 meters height is presented. Dominant wind direction is between west and southwest-west. According to Ghadamgah station wind rose dominant wind direction is fixed. It's important in turbines arrangement, because wind direction fixing is an important advantage for a wind power station. Annual wind mean power at 10, 30 and 40 meters height show that maximum of wind power production is on February. Also with evaluation the annual wind average power at heights of 10, 30 and 40 meters can be seen 40 and 30 meters heights for installing wind turbines are suitable.

**Key words:** Khorasan Razavi Province, wind energy, Ghadamgah Station, weibull distribution, power density.

---

<sup>1</sup> Mechanic PHD Student, Isfahan University of technology

<sup>2</sup> Mechanic Master of Science student, Isfahan University of technology

<sup>3</sup> Mechanic Assistant Professor, Isfahan University of technology

<sup>4</sup> Department of Mechanical Engineering, Alavijeh University of Applied Sciences