



## بررسی پتانسیل فنی و طبیعی بهره‌مندی از توان باد در شهرستان دماوند

امیرحسین طاهر احمدی<sup>۱</sup> - داود محمدزمانی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰

### چکیده:

با توجه به نیاز توسعه کشورها میزان به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در کشورهای جهان رو به افزایش بوده بطوریکه یکی از شاخص‌های توسعه یافتگی مصرف انرژی محسوب می‌شود. باد در زمره منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر به شمار می‌رود و در دهه گذشته، استفاده از انرژی باد در جهان با استقبال فراوان همراه بوده است. در این پژوهش برخی مشخصه‌های انرژی باد در شهرستان دماوند با استفاده از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور داده‌های مربوط به باد از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دماوند مربوط به سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ دریافت شد. در این داده‌ها متغیرهای بیشینه سرعت باد، بیشینه سمت باد، کمینه و بیشینه مطلق درجه حرارت مورد توجه قرار گرفت. داده‌های باد شامل تابع چگالی احتمال و بیول، تابع توزیع انباشتی و چگالی توان باد مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین چگالی توان مربوط به مهرماه به میزان ۵۵۹/۲ وات بر مترمربع و کمترین آن مربوط به آذرماه به میزان ۱۲۴/۲ وات بر مترمربع بود. تیرماه نیز با چگالی توان باد به میزان ۵۰۹/۲ وات بر مترمربع نیز دارای پتانسیل مناسبی در میزان توان باد را داراست. البته در مقایسه با میانگین جهانی ۸۰۰ وات بر مترمربع، منطقه دماوند با چگالی توان ۵۹۹/۲ وات بر مترمربع از قابلیت نصب ضعیف‌تری برای نیروگاه بادی برخوردار است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که این شهرستان پتانسیل و توانایی استفاده از انرژی باد بوسیله توربین‌های بادی را داراست.

**کلمات کلیدی:** توان باد، توربین بادی، چگالی احتمال و بیول، دماوند

### مقدمه

دنیا سهم دارد، هم اکنون انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از ۱۴ درصد از انرژی اولیه جهان را تأمین می‌کنند. اما متأسفانه در کشور ما این انرژی سهم چندانی نداشته که این موضوع زنگ خطری در مصرف سوخت‌های فسیلی برای کشور محسوب می‌شود.

رشد چشمگیر صنعت انرژی باد در جهان در سال ۲۰۰۸ بیانگر این واقعیت بوده که کارشناسان این انرژی علاقه‌مند به گسترش و بهره‌گیری روز افزون از آن بوده‌اند. لذا باید توجه داشت که انرژی بادی، فناوری نوینی بوده که به منظور بهره‌برداری نیازمند سیاست‌های ویژه‌ای می‌باشد.

کشورهای پیشرفته راهبردها و برنامه‌ریزی‌هایی صورت داده‌اند، که تصویب تعرفه‌های خرید برق بادی سالیانه از جمله بوده بطوریکه این تعرفه‌ها متناسب با میزان تورم و نوع فناوری

با توجه به نیاز توسعه کشورها، میزان به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در کشورهای جهان رو به افزایش است به گونه‌ای که یکی از شاخص‌های توسعه یافتگی میزان مصرف انرژی محسوب می‌شود. برابر برنامه‌ریزی‌های به عمل آمده این نوع انرژی روز به روز سهم بیشتری در نظام تأمین انرژی ایجاد نموده است. در این زمینه در سال ۲۰۰۸ میلادی بیش از ۱۲۰ میلیارد دلار در بخش افزایش ظرفیت‌ها، احداث نیروگاه‌ها و تحقیق و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری شده است.

تا انتهای سال ۲۰۱۰ میلادی، ظرفیت‌های موجود در انرژی‌های تجدیدپذیر معادل ۳/۸ درصد در تولید الکتریسیته جهان بوده است (این ارقام بدون در نظر گرفتن انرژی آبی می‌باشد، زیرا این انرژی به تنهایی ۱۵ درصد در تولید الکتریسیته

<sup>۱</sup> - دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مکانیزاسیون کشاورزی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

<sup>۲</sup> - گروه مکانیزاسیون کشاورزی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

dr.dmzamani2gmail.com\* نویسنده مسوول



در تولید انرژی الکتریکی دنیا تا سال ۲۰۱۳ به ۳/۳۵ درصد و تا سال ۲۰۱۸ به ۸ درصد برسد.

زاهدی و همکاران (۱۳۸۴) در پژوهشی به محاسبه چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل پرداختند. با استفاده از آمار بادهای ساعتی و روزانه ده ساله از ایستگاه مذکور، میانگین سرعت باد ۶/۳۷ متر بر ثانیه، ضریب تغییرات باد ۵۶ درصد و ضریب ثبات باد ۴۵ درصد، چگالی توان باد ۳۰۲/۶۴ وات در مترمربع و ضریب تغییرات باد ۵۶/۵ به دست آمد. آذری و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به توان سنجی باد برای توسعه پایدار انرژی در استان همدان پرداختند. در این پژوهش ابتدا داده‌های بلند مدت سه ساعته ایستگاه سینوتیک استان همدان در طی دوره آماری ۵ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس توزیع آماری مختلف برای برآزش بر داده‌های باد مورد آزمون قرار گرفت و احتمال تجربی داده‌ها با استفاده از توزیع گوسی معکوس بیشترین دقت را در پیش بینی احتمالات وقوع سرعت دارد. همچنین چگالی توان باد در حداکثر ارتفاع ممکن استفاده از توان باد، ایستگاه همدان، نوزه، نهاوند و تویسرکان به ترتیب ۱۵/۲۴، ۲۱/۷، ۱۰/۸ و ۶/۳ وات در هر مترمربع است. بر اساس نتایج بدست آمده هیچ یک از ارقام محاسبه شده در مقایسه با استانداردهای جهانی جهت احداث نیروگاه در حد مطلوب نیست. منسوبی حسینی و صداقت (۱۳۹۸) در پژوهشی در استان همدان به بررسی پتانسیل انرژی باد پرداختند. داده‌های سرعت و جهت در سه ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متر و با فاصله داده برداری ۱۰ دقیقه‌ای از سایت سازمان انرژی‌های نو ایران استخراج گردید. داده‌ها برای چهار ایستگاه سینوتیک کبودر اهنک، نهاوند، قهاوند و رسول‌آباد که در بخش‌های مختلف استان قرار دارند انتخاب شد. میانگین سرعت باد تابع توزیع چگالی احتمال و برآزش آن بطرق مختلف و همچنین بررسی پارامترهای مهمی نظیر تابع توزیع انباشتگی جهت وزش باد شدت توربولانس و سرعت نامی برای ایران ایستگاه‌ها تعیین شد که قهاوند بیشترین پتانسیل باد را با مقادیر سرعت متوسط ۵/۲۵ متر بر ثانیه در ارتفاع ۴۰ متری و توان متوسط سالیانه ۲۵۵/۹۸ وات بر مترمربع را دارا می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

شهرستان دماوند نام یکی از شهرستان‌های استان تهران در ایران است. این شهرستان با مساحتی حدود ۱۸۸ هزار هکتار در محدوده شهرستان‌های فیروزکوه، امل، ورامین و گرمسار قرار دارد و منطقه‌ای کوهستانی است که متوسط

مورد استفاده متغیر می‌باشد از طرفی سالیانه با توجه قدیمی شدن فناوری‌های مورد استفاده میزان تعرفه خرید برق کاهش یافته که این روش شیوه مناسبی به منظور حمایت و تشویق سرمایه‌گذاران جهت بهره‌گیری از فناوری‌های جدیدتر و در نتیجه افزایش بازدهی و تولید می‌باشد.

استفاده از انرژی باد برای نخستین بار توسط ایرانیان با ساخت آسیاب‌های بادی، ۲۰۰ سال پیش از میلاد مسیح صورت گرفت و در قرون ۱۲ و ۱۳ به اروپا و سپس قاره آمریکا انتقال یافت. نمونه‌هایی از این آسیاب‌ها هنوز در مناطق خواف (استان خراسان رضوی) و نهبندان (استان خراسان جنوبی) وجود دارند که هنوز هم استفاده می‌شوند. همچنین تا قبل از سال ۱۳۱۹ شمسی در منطقه بادخیز منجیل، از انرژی باد برای پمپاژ آب و روشنایی استفاده می‌شده است. استفاده از بادگیر نیز از سال‌های بسیار قدیم در ایران متداول بوده است. تا قبل از اختراع کولر برقی و گسترش آن در شهرهای مختلف، از بادگیر در ساختمان‌های مختلف مسکونی، مذهبی و خدماتی استفاده می‌شده است.

در ایران با توجه به وجود مناطق بادخیز، بستر مناسبی جهت گسترش بهره‌برداری از توربین‌های بادی فراهم می‌باشد. یکی از مهمترین پروژه‌های انجام شده در زمینه انرژی بادی تهیه اطلس بادی کشور بوده است که پروژه مذکور در سازمان انرژی‌های نو ایران صورت گرفته و به عنوان یکی از پروژه‌های ملی در صنعت انرژی باد محسوب می‌گردد. طبق اطلس بادی تهیه شده و بر اساس اطلاعات دریافتی از ۶۰ ایستگاه و در مناطق مختلف کشور، میزان ظرفیت اسمی سایت‌ها در حدود ۶۰۰۰۰ مگاوات می‌باشد. بر پایه پیش بینی‌های صورت گرفته، میزان انرژی قابل استحصال بادی کشور از لحاظ اقتصادی بالغ بر ۱۸۰۰۰ مگاوات تخمین زده می‌شود که نشان دهنده پتانسیل قابل توجه کشور در زمینه احداث نیروگاه‌های بادی و همچنین اقتصادی بودن سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی بادی می‌باشد.

در پایان سال ۲۰۱۰، میزان ظرفیت نامی تولید برق بادی در سراسر جهان برابر ۱۹۷ گیگاوات بود. امروزه توان بادی در دنیا ظرفیت تولید سالانه ۴۳۰ تراوات ساعت انرژی الکتریکی را دارد که این میزان ۲/۵ درصد مصرف برق دنیاست. در ۵ سال گذشته، رشد متوسط سالانه در توان بادی دنیا ۲۷/۶ درصد بوده و انتظار می‌رود که سهم باد



(۱)

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \left( \sum_{j=1}^n U_j \right)$$

$\Gamma$  تابع گاما است که توسط انتگرال رابطه ۲ تعریف می‌شود:

(۲)

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} \exp(-u) du$$

$\sigma_U$  انحراف معیار است و با توجه به رابطه ۳ قابل محاسبه

است که در آن  $N$  تعداد داده های ثبت شده است:

(۳)

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (U_j - \bar{U})^2}$$

در نهایت تابع چگالی ویبول توسط رابطه ۴ بدست می‌آید:

(۴)

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

به طور اساسی ضریب شکل  $c$  نشان می‌دهد که چه

مقدار یک منطقه بادخیز است، ضریب  $k$  نشان دهنده

میزان قله‌ای بودن تابع توزیع سرعت باد است بدین معنی

که هر اندازه مقادیر سرعت باد به یک مقدار خاص نزدیک-

تر باشد مقدار  $k$  بزرگتر می‌شود. یک مطالعه روی کارهای

انجام شده قبلی نشان می‌دهد که ضریب شکل در توزیع

ویبول در بیشتر مناطق بادخیز دنیا بین  $1/2$  تا  $2/75$  می-

باشد.

برای محاسبه پارامترهای تابع ویبول روش‌های مختلفی

وجود دارد. در این مطالعه از روش انحراف استاندارد برای

تعیین پارامترها استفاده شده است. توسط این روش پارامتر-

های  $k$  و  $c$  از رابطه ۵ و ۶ بدست می‌آیند:

(۵)

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

که زمانی دارای اعتبار است که  $1 \leq k \leq 11$  باشد. مقدار

$k$  برای اکثر مقاطع باد حدود ۲ می‌باشد.

(۶)

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

$$\frac{c}{\bar{U}} = \frac{k^{2.6674}}{0.184 + 0.816k^{2.73855}} \quad (7)$$

همچنین انحراف معیار توسط  $k$  به صورت رابطه

۸ تعریف می‌شود:

ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۲۰۰۰ متر است و از میزان ۱۸۸ هزار هکتار مساحت شهرستان، ۸۳ درصد جزو منابع ملی و ۱۶ درصد جزء زمین‌های کشاورزی و حدود یک درصد بقیه نیز جزء حوزه شهری است.

داده‌های مربوط به باد از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دماوند مربوط به سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ دریافت شد. در این داده‌ها متغیرهای بیشینه سرعت باد، بیشینه سمت باد، کمینه و بیشینه مطلق درجه حرارت وجود داشت. داده‌ها توسط نرم افزار اکسل دسته بندی و مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی داده‌های باد از چندین تابع استفاده شد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

### تابع چگالی احتمال ویبول

دانستن توزیع سرعت باد در یک منطقه، نقش اساسی در تعیین و تخمین پتانسیل بادی در هر منطقه دارد. اگر توزیع سرعت باد در هر منطقه مورد بررسی مشخص باشد، به راحتی می‌توان توان باد و شرایط اقتصادی توربین بادی را محاسبه کرد. با توجه به گسترده بودن پارامترهای تحلیل انرژی باد، تنها کافی است پارامترهای کلیدی برای داده‌های باد را تحلیل کنیم. ساده‌ترین و کاربردی‌ترین روش برای روند اشاره شده استفاده از تابع توزیع است. توابع ریاضی وجود دارند که می‌توانند برای مدل کردن منحنی باد به کار روند. انواع توابع احتمالی شامل توابع توزیع Rayleigh, Gamma, Beta, Gaussian and Lognormal Weibull هستند.

معمولاً در مطالعات توان باد از توابع چگالی احتمال ویبول و رایلی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه رایلی زیر مجموعه‌ای از ویبول محسوب می‌شود در این مطالعه تنها از تابع چگالی ویبول استفاده شده است.

تابع توزیع ویبول نسبت به سایر توابع مزایای زیادی دارد از جمله انعطاف پذیری، وابستگی به دو پارامتر، سادگی در محاسبات و برازش مناسب داده‌ها (کارتس و همکاران، ۲۰۰۹). مهمترین ایراد تابع توزیع ویبول برای سرعت‌های نزدیک صفر است، که احتمال وزش باد را در این نواحی به دقت نشان نمی‌دهد که البته با توجه به سرعت شروع عملکرد توربین-های تجاری ۲/۵ تا ۹/۵ متر بر ثانیه اثرات احتمالات در سرعت-های پایین قابل نظر است (کیهانی و همکاران، ۲۰۱۰).

تعیین دقیق تابع چگالی احتمال ویبول احتیاج به محاسبه دو ضریب شکل (بدون بعد) و ضریب مقیاس دارد. برای محاسبه این دو پارامتر  $\bar{U}$  و  $\Gamma$  ابتدا توابع تعریف می‌شوند.  $\bar{U}$  متوسط سرعت باد است و توسط رابطه ۱ مشخص می‌شود.



بر اساس تابع چگالی احتمال ویبول، توان باد توسط

۱۴ محاسبه می‌شود:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \int_c^{\infty} U^3 f(U) dU = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left( 1 + \frac{3}{k} \right) \quad (14)$$

که در آن  $\rho$  چگالی هوا، که در شرایط استاندارد (سطح دریا و دمای متوسط ۱۵ درجه و فشار ۱ اتمسفر) برابر  $1,225 \text{ kg/m}^3$  است. چگالی هوا تابعی از حرارت و فشار است که با ارتفاع تغییر می‌کند. بنابراین جهت تعیین چگالی هوا در ارتفاع  $Z$  از سطح دریا از رابطه ۱۵ استفاده می‌شود:

$$\rho = \frac{\bar{P}}{R_d \bar{T}} \quad (15)$$

که در آن  $\bar{P}$  متوسط فشار هوای ماهانه بر حسب پاسکال  $\bar{T}$  متوسط دمای هوای ماهانه بر حسب کلوین،  $R_d$  ثابت گاز که برای هوای خشک مقدار  $281 \text{ (J/kg.K)}$  دارد.

### نتایج

#### نتایج مربوط به ارزیابی داده‌های سرعت باد

جدول ۱ میانگین داده‌های مربوط به سرعت متوسط و انحراف معیار آن را برای داده‌های مربوط به شهر دماوند در طی سالهای ۱۳۹۳-۱۳۹۷ را نمایش می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود متوسط سرعت باد در طی این پنج سال  $7/55$  متر بر ثانیه و انحراف معیار آن  $3/68$  متر بر ثانیه است.

$$\sigma_U = \bar{U} \sqrt{\frac{\Gamma(1+\frac{2}{k})}{\Gamma(1+\frac{2}{k})^2}} \quad (8)$$

با استفاده از تابع توزیع ویبول نیز می‌توان مقادیر  $\sigma_U$  و  $\bar{U}$  را به صورت زیر بیان کرد:

$$\bar{U} = \int_0^{\infty} U f_w(U) dU = c \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right) \quad (9)$$

$$\sigma_U = \sqrt{c^2 \left( \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k} \right) - \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right) \right]^2 \right)} \quad (10)$$

یکی دیگر از پارامترهای تحلیلی مهم، تابع توزیع انباشتی می‌باشد. همچنین تابع توزیع انباشتی که برای تخمین زمانی که سرعت باد در یک بازه خاص قرار می‌گیرد، (احتمال اینکه سرعت باد کمتر با مساوی سرعت باد داده شده  $U$  باشد) به صورت زیر است:

$$F(U) = 1 + \exp \left[ - \left( \frac{U}{c} \right)^k \right] \quad (11)$$

برای تحلیل منابع بادی در یک منطقه، به روابط دیگری نیز نیاز داریم. تعیین چگالی توان باد یکی از ملزومات تحلیل است. چگالی توان باد نشان دهنده این است که چه مقدار انرژی برای تبدیل به برق توسط باد، وجود دارد. توان باد از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{1}{2} \rho A \bar{U}^3 \quad (12)$$

توان باد بر واحد سطح از رابطه ۱۳ بدست می‌آید:

$$P = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^3 \quad \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad (13)$$

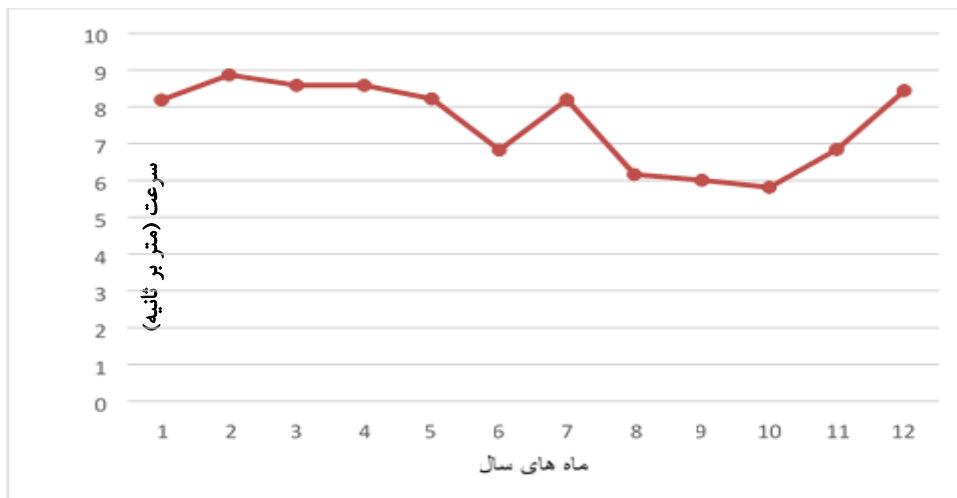
جدول ۱: متوسط سرعت و انحراف معیار ماهانه باد در شهر دماوند در طول دوره (۱۳۹۳-۱۳۹۷)

ماه	متوسط سرعت (متر بر ثانیه)	انحراف معیار (متر بر ثانیه)
فروردین	۸/۱۸	۳/۷۹
اردیبهشت	۸/۸۷	۳/۳۲
خرداد	۸/۵۸	۳/۰۶
تیر	۸/۵۸	۲/۵۴
مرداد	۸/۲	۷/۰۴
شهریور	۶/۸۳	۳/۴
مهر	۸/۱۹	۴/۶
آبان	۶/۱۶	۲/۷
آذر	۶/۰۰	۳/۵۴
دی	۵/۸۱	۳/۳۰
بهمن	۶/۸۴	۲/۹۳
اسفند	۸/۴۴	۳/۹۶
میانگین کل ماه‌های سال	۷/۵۵	۳/۶۸

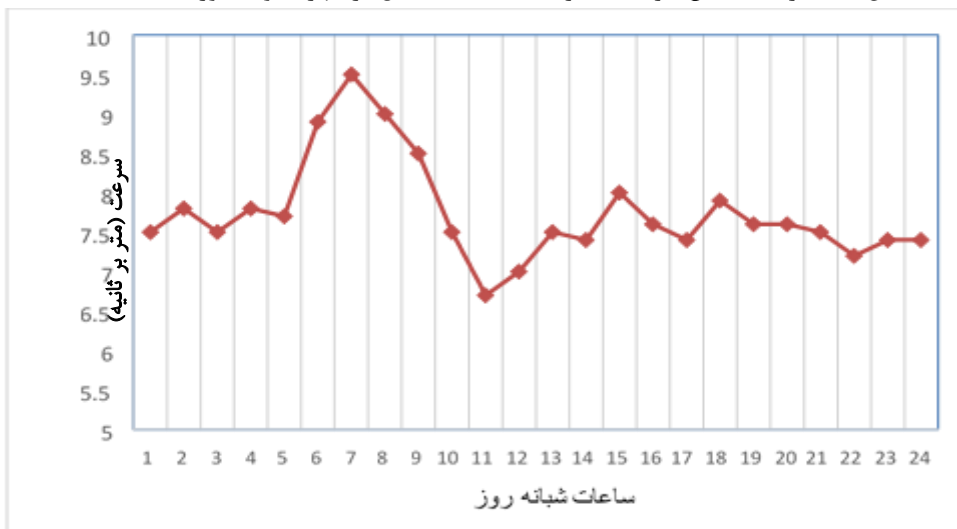
جز در مهر ماه در بقیه ماه‌های سال تغییرات سرعت باد از روند نسبتاً ثابتی برخوردار بوده است. در مورد ساعات شبانه روز بیشترین نوسان مربوط به ساعات ۶ الی ۸ صبح بوده

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب منحنی تغییرات سرعت متوسط باد در طی ماه‌های سال و ساعات شبانه روز از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود.

است.



شکل ۱- تغییرات میانگین سرعت باد در ماه‌های مختلف سال در شهر دماوند (دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷)



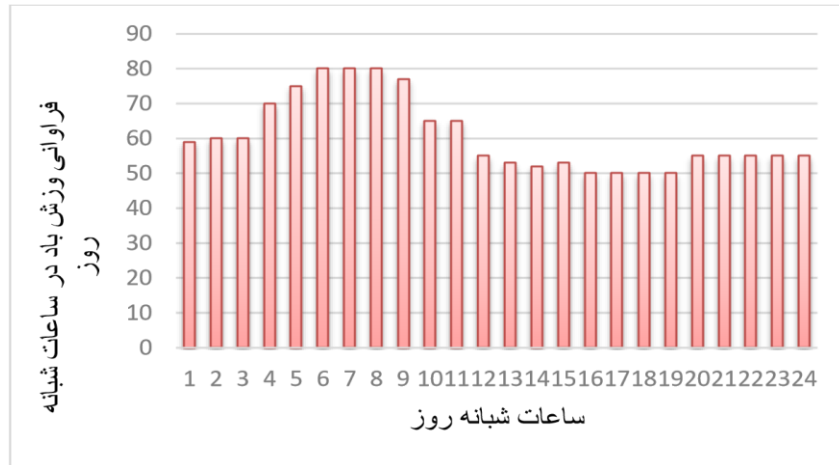
شکل ۲- متوسط سرعت باد در ساعات شبانه روز (دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷)



شکل ۳- انحراف معیار سرعت باد در شهر دماوند (دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷)

متوسط سرعت کمتر باشد نشان دهنده وزش باد با سرعت- های یکنواخت است. شکل ۴ منحنی تغییرات فراوانی داده- های باد در طی ساعات شبانه روز در منطقه را در سال- های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد. بیشترین تعداد داده‌ها در بازه زمانی ۵ تا ۹ صبح بوده و این فراوانی در ساعات ۱۵ الی ۱۹ بصورت یکنواخت کمترین مقدار را داراست.

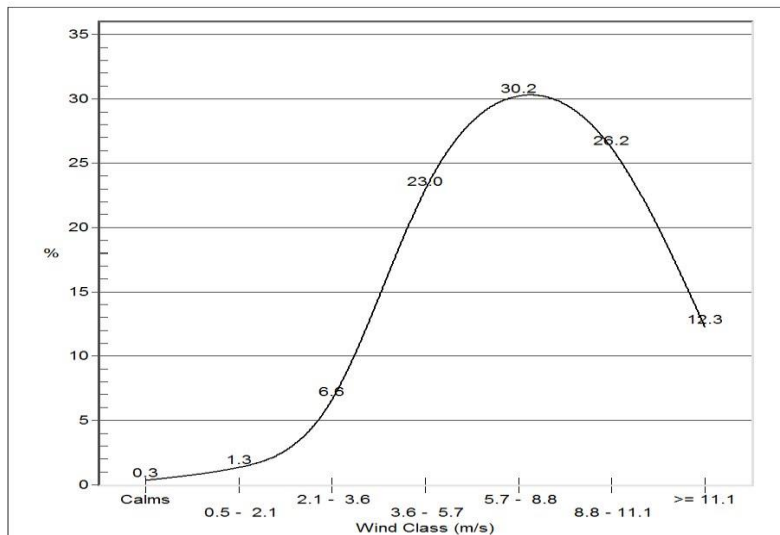
انحراف معیار داده‌های مربوط به سرعت باد در منطقه در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین انحراف معیار مربوط به ماه شهریور و کمترین متعلق به مرداد ماه می- باشد. این بدان معناست که پراکندگی داده‌های سرعت باد در این دو ماه به ترتیب بیشترین و کمترین میزان را داشته است که هرچه پراکندگی داده‌های سرعت از



شکل ۴- فراوانی وزش باد در ساعات مختلف شبانه روز در شهر دماوند (دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷)

گرفته است. لذا می‌توان در طراحی و نصب توربین این کلاس سرعت را به کلاس سرعت غالب در نظر گرفت.

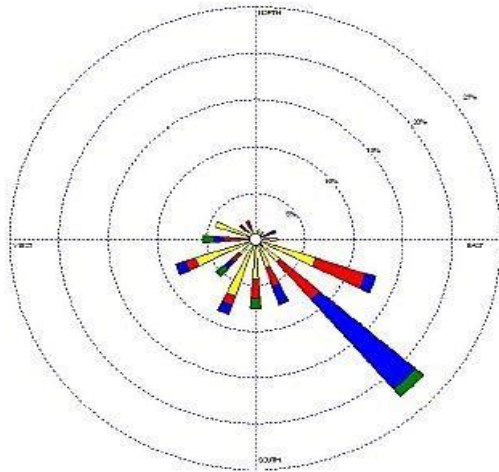
همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود سرعت باد غالب منطقه در کلاس ۵/۷ تا ۸/۸ متر بر ثانیه قرار



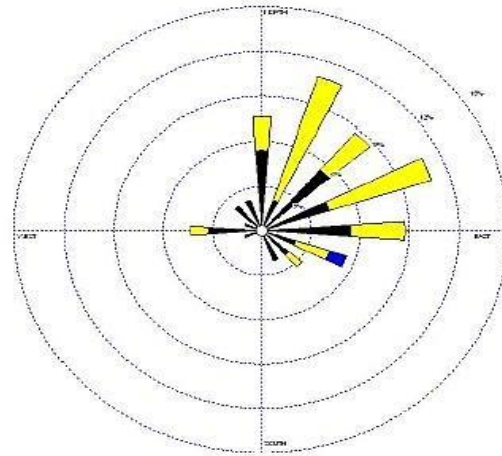
شکل ۵- توزیع سهم فراوانی سرعت باد در شهر دماوند (دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷)

وزش باد ۹/۵ متر بر ثانیه از سمت جنوب وزیده است. میانگین سرعت باد ۸/۹ متر بر ثانیه و درصد باد آرام ۱۸/۲۴ درصد می‌باشد. شکل‌های ۶ تا ۹ به ترتیب نمودار گلبادهای ساعت ۷:۳۰، ۱۳:۳۰، ۱۹:۳۰ و نمودار گلباد متوسط وزش باد روزانه شهرستان دماوند می‌باشد.

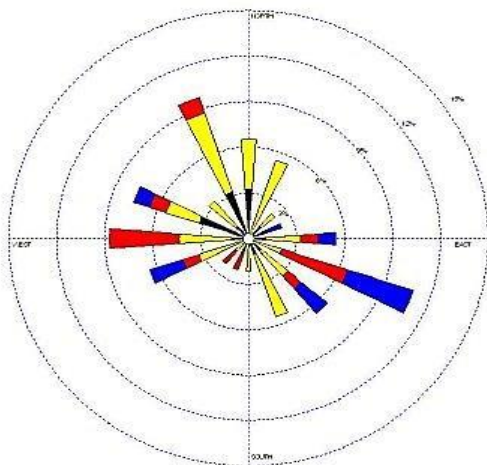
گلباد متوسط میزان وزش باد در ساعت شبانه روز برای ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه به گزارش ایستگاه سینوپتیک دماوند، باد غالب دماوند در این شهرستان جنوب شرقی می‌باشد. البته در ساعات ۵ الی ۹ صبح باد غالب شمال شرقی بوده است. بیشینه سرعت



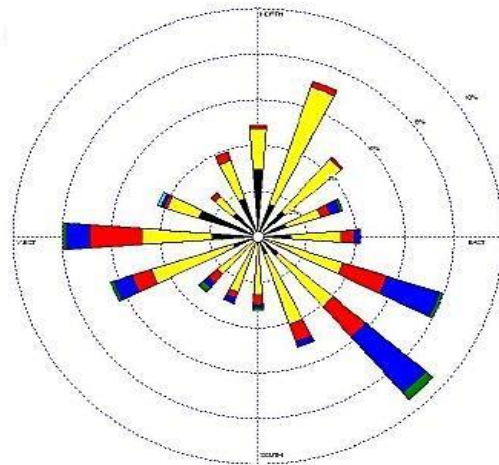
شکل ۷- نمودار گلباد متوسط میزان وزش باد برای ساعت ۱۳:۳۰



شکل ۶- نمودار گلباد متوسط میزان وزش باد برای ساعت ۱۷:۳۰



شکل ۸- نمودار گلباد متوسط میزان وزش باد برای ساعت ۱۹:۳۰



شکل ۹- نمودار گلباد متوسط میزان وزش روزانه باد برای شهرستان دماوند

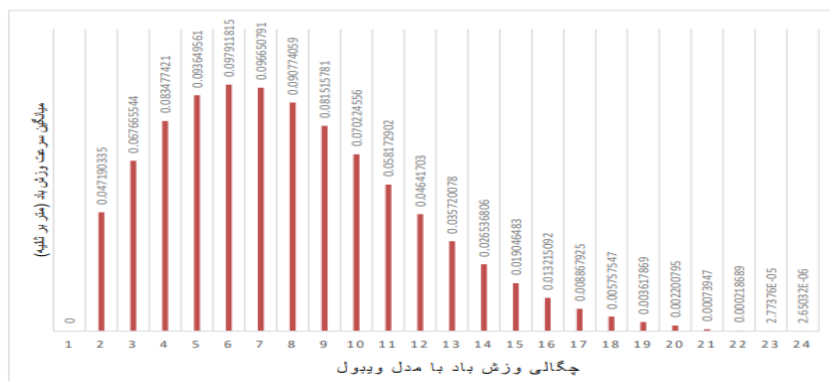
## مدل توزیع چگالی وزش باد در شهرستان دماوند

جدول ۲: پارامترهای توزیع ویبول برای ماه‌های سال در شهرستان دماوند (دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷)

ماه	پارامتر شکل (K)	پارامتر مقیاس (C: متر بر ثانیه)
فروردین	۲/۴۱	۹/۷۴
اردیبهشت	۲/۴۷	۹/۹
خرداد	۳/۰۳	۹/۶
تیر	۳/۷	۹/۵
مرداد	۱/۱۶	۸/۷
شهریور	۲/۱۳	۷/۷۲
مهر	۱/۸۴	۹/۲۲
آبان	۲/۴	۶/۹۵
آذر	۱/۷	۶/۷۵
دی	۱/۸	۶/۵۳
بهمن	۲/۴	۷/۷
اسفند	۲/۲۴	۹/۵
میانگین کل ماه‌های سال	۲/۰۸	۸/۴۸

چگالی ویبول از توزیع مناسبی برخوردار است. بر اساس نتایج حاصل از جدول ۲ مدل توزیع ویبول برای چگالی وزش باد شهرستان دماوند در طول سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۷ با توجه به رابطه ۳ به شرح زیر می‌باشد:

بر اساس نتایج بدست آمده از جدول ۲ میانگین ضریب شکل (C) و پارامتر (K) میزان قله‌ای بودن منحنی توزیع به ترتیب ۲/۰۸ و ۸/۴۸ بوده است. این مقادیر در مقایسه با میانگین ملی از مقادیر قابل قبولی برخوردار است. همانطور که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود نمودار



شکل ۱۰- چگالی ویبول سرعت وزش باد برای شهرستان دماوند (دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷)





## چگالی توان باد

برای تحلیل منابع بادی در یک منطقه، به روابط دیگری نیز نیاز است. تعیین چگالی توان باد یکی از ملزومات تحلیل می‌باشد. چگالی توان باد نشان دهنده این است که چه مقدار انرژی برای تبدیل به برق توسط باد، وجود دارد. میانگین کل چگالی توان باد برابر ۳۴۰ وات بر مترمربع می‌باشد و نشان می‌دهد که قابلیت شهرستان دماوند برای نصب توربین بادی بر اساس کلاس بندی انجام شده در حد نسبتاً خوب بوده و قابل توصیه است. این میزان در مقیاس با میانگین چگالی توان باد استان همدان به میزان ۲۵۵/۹۸ وات بر متر مربع (منسوبی حسینی و صداقت، ۱۳۹۸) بیشتر و نشان دهنده ظرفیت مناسب منطقه دماوند برای نصب توربین بادی می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل شده از تحلیل‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرستان دماوند در بازه زمانی سال -های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ می‌توان نتیجه گرفت این شهرستان و توانایی استفاده از انرژی باد بوسیله توربین‌های بادی را داراست. متوسط سرعت باد در طی این پنج سال ۷/۵۵ متر بر ثانیه و انحراف معیار آن ۳/۶۸ متر بر ثانیه است. باد غالب در شهرستان دماوند جنوب شرقی می‌باشد. البته در ساعات ۵ الی ۹ صبح باد غالب شمال شرقی بوده است. لذا در مکان‌یابی و نصب صحیح توربین‌ها باید به این جهت توجه نشان داد. بیشینه سرعت وزش باد ۹/۵ متر بر ثانیه از سمت جنوب وزیده است. میانگین سرعت باد ۸/۹ متر بر ثانیه و درصد باد آرام ۱۸/۲۴ درصد می‌باشد در مقایسه با میانگین جهانی (۸۰۰ وات بر متر مربع) منطقه دماوند با چگالی توان ۵۵۹/۲ وات بر مترمربع از قابلیت نصب ضعیف‌تری برای نیروگاه بادی برخوردار است.

## References

- R., Chen, H., & Ghajar, R. 1996. Time-series models for reliability evaluation of power systems including wind energy. *Microelectronics Reliability*, 36(9), pp. 1253-1261.
- Rehman, S., El-Amin, I. M., Ahmad, F., Shaahid, S. M., Al-Shehri, A. M., Bakhashwain, J. M., & Shash, A. 2007. Feasibility study of hybrid retrofits to an isolated off-grid diesel power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), pp. 635-653.
- Schroeder, E. 2010. *Turning Offshore Wind On*, California Law Review, Vol. 98, Issue.5, pp.1631-1667.
- Elmagri, A., Giri, F., Elfadili, A., and Dugard, L. 2013. Adaptive Nonlinear Control of Wind Energy Conversion System with PMS Generator
- Emna, M. E., Adel, K., and Mimouni, M. F. 2013. The Wind Energy Conversion System Using PMSG Controlled by Vector Control and SMC Strategies. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 3(1), pp. 41-50.
- Fadare, D., 2010. The application of artificial neural networks to mapping of wind speed profile for energy application in Nigeria. *Applied Energy* Vol.87, pp.934-942.
- Islam MR, Saidur R, Rahim NA. 2011. "Assessment of wind energy potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull distribution function". *Energy*, 36, 985- 92.
- Keyhani A, Ghasemi-Varnamkhashti M, Abbaszadeh R. 2010. "An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran". *Energy*, 188201.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., and Tuttle, M. D. 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), pp. 315-324.
- Lu, L., Yang, H., and Burnett, J. 2002. Investigation on wind power potential on Hong Kong islands-an analysis of wind power and wind turbine characteristics. *Renewable Energy*, 27(1), 1-12.
- M.H. Abedi, M.S. Sepasian, D. Farokhzad, 2012. " Sub-transmission Expansion Planning with Attendance of Wind Farms", *International Journal of Science and Technology* Volume 1 No. 10, October
- Alamdari P, Nematollahi O, Mirhosseini M., 2012. "Assessment of wind energy in Iran: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 836-860.
- Altun k aynak, A., Erdik, T., Dabanlı I., Sen Z. 2012. "theoretical derivation of wind power probability distribution function and applications". *Applied Energy*, 92, 809-814
9. Billinto.
- Carta J.A, Ramirez P, Velazquez S. 2009. "A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis- Case



Tchinda, R., Kaptouom, E., 2003. Wind energy in Adamou and North Cameroon provinces. *Energy Conversion and Management*, Vol.44, pp.845–857.

Wisrr, D., 2008. Technical note A wind energy analysis of Grenada: an estimation using the 'Weibull' density Function", *Renewable Energy*, No. 28.

## Technical and Natural Potential of Wind Power Utilization in Damavand City

Amir Hosein Taher Ahmadi<sup>1</sup>, Davood Mohammad Zamani<sup>2\*</sup>

1- M.Sc., Department of Agricultural Mechanization, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran

2- Department of Agricultural Mechanization, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran

\*Corresponding author: dr.dmzamani@gmail.com

*Received: 31 Agu 2022*

*Accept: 22 Sep 2022*

### Abstract

Due to the need of developing countries, the use of renewable energies in the world is also increasing, which is one of the indicators of development of energy consumption. Wind is one of the cleanest and renewable energy sources and in the past decade, the use of wind energy in the world has been widely welcomed. Therefore, in this study, we will try to calculate some wind energy characteristics in Damavand city using synoptic station meteorological statistics. For this purpose, wind data were obtained from Damavand Synoptic Weather Station from 2014 to 2018. These data included the variables of maximum wind speed, maximum wind direction, minimum and absolute maximum temperature. Wind data were investigated by the Weibull probability density function, the cumulative distribution function, and the wind power density. The results showed that the city has the potential and ability to use wind energy by wind turbines. The average wind speed over these five years is  $7.55 \text{ m.s}^{-1}$  and its standard deviation is  $3.68 \text{ m.s}^{-1}$ . The prevailing wind is in the southeast of Damavand. Of course, there was a dominant northeast wind between 5 and 9 AM. The maximum wind speed is  $9.5 \text{ m.s}^{-1}$  from the south. The average wind speed is  $8.9 \text{ m/s}$  and the wind percentage is 18.24%. The highest power density is in October ( $559.2 \text{ W.m}^{-2}$ ) and the lowest is in December ( $124.2 \text{ W.m}^{-2}$ ). It should be noted that July with a wind power density of 509.2 also has a good potential for wind power. Compared to the world average ( $800 \text{ W.m}^{-2}$ ), the Damavand region with a power density of  $599.2 \text{ W.m}^{-2}$  has a lower capacity for wind power.

**Keywords:** Damavand, Weibull probability density, Wind power, Wind turbine