

## پتانسیل سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه

حسین محمدی\* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران  
شیما رستمی جلیلیان - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران  
فرحناز تقوی - استادیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه‌ی ژئوفیزیک، دانشگاه تهران  
علی‌اکبر شمسی‌پور - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۰۳/۳۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۳/۲۱

### چکیده

کاهش سریع سوخت‌های سنگواره‌ای، بحث گرمایش جهانی و اثر پدیده‌ی گلخانه‌ای، آلودگی‌های محیطی و ریزش باران‌های اسیدی، لزوم توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه انرژی باد را به‌عنوان یک انرژی تمیز، پایان‌ناپذیر و رایگان، بیش از پیش افزایش داده است. در این پژوهش، ارزیابی پتانسیل انرژی باد در استان کرمانشاه، بر پایه‌ی داده‌های جهت و سرعت سه‌ساعته‌ی باد ایستگاه‌های همدید کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، روانسر، کنگاور و سرپل‌ذهاب، در طول سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶ انجام شد. برای ترسیم گلباد ایستگاه‌ها از نرم‌افزار Wrpplot و برای برازش داده‌ها از توزیع احتمال ویبول استفاده شد. در ادامه، چگالی توان باد سالانه در ترازهای ارتفاعی ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متر به‌دست آمد که برای برآورد سرعت باد در ارتفاع بالاتر از ۱۰ متر، از مدل قانون توان یک‌هفتم استفاده شد. همچنین پراسنج‌های دیگری همانند سرعت نامی، محتمل‌ترین سرعت و زمان کاربرد مناسب باد، محاسبه شده و در پایان، مناطق مستعد تولید انرژی باد در استان بر اساس جدول طبقه‌بندی سایت‌های بادی آمریکا رتبه‌بندی و به‌نمایش گذاشته شد. بر پایه‌ی محاسبات انجام شده، پتانسیل انرژی باد تراز ۱۰ متر ایستگاه‌های روانسر، سرپل‌ذهاب، کنگاور، اسلام‌آباد غرب و کرمانشاه به‌ترتیب ۲۵۴، ۲۲۳، ۲۱۴، ۱۴۶ و ۸۲ وات بر مترمربع در واحد سطح به‌دست آمد که این مقادیر در ترازهای بالاتر به یک نسبت مساوی، برای همه‌ی ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش گویای این است که سه ایستگاه روانسر، سرپل‌ذهاب و کنگاور، پتانسیل مناسبی برای تولید انرژی باد دارند. منطقه‌ی اسلام‌آباد غرب در صورت استفاده از توربین‌های بادی مرتفع، برای بهره‌برداری از انرژی باد مناسب است و کرمانشاه برای استفاده از انرژی باد، پتانسیل مناسبی ندارد.

کلیدواژه‌ها: چگالی توان باد، تابع توزیع ویبول، قانون توان، استان کرمانشاه.

## مقدمه

کاهش سریع سوخت‌های فسیلی، بحث گرمایش جهانی و اثر پدیده‌ی گلخانه‌ای و ریزش باران‌های اسیدی، لزوم بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدشونده، به‌ویژه انرژی باد را افزایش داده است (رحمان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۳: ۵۷۴). همچنین در گسترش برنامه‌های عمرانی، شایسته است توان‌های محیطی مناطق شناسایی و تلاش‌های جدی و مؤثری برای توسعه‌ی بهره‌برداری از پتانسیل انرژی باد در کاربردهای مختلف انجام گیرد. در این رابطه، پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی استفاده از آن در ایستگاه‌های همدید استان کرمانشاه، مورد ارزیابی قرار گرفت.

توزیع سرعت باد، یکی از ویژگی‌های باد است که دارای اهمیت بسیاری، نه تنها برای طراحی محیطی و ساختاری، بلکه برای بررسی پتانسیل انرژی باد و اجرای سامانه‌ی حفاظت از انرژی باد است. طی دو دهه‌ی اخیر، بسیاری از پژوهشگران، وقت بسیاری را برای توسعه‌ی یک مدل آماری مناسب صرف کرده‌اند تا توزیع سرعت باد را شرح دهند. توزیع‌های ویبول و رایله و لوگ نرمال به‌طور معمول برای تعیین توزیع احتمال سرعت باد مناسب هستند که کاربرد توزیع احتمال ویبول دو پارامتره، یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای توصیف نوسان سرعت باد است. این توزیع به‌طور وسیعی برای بررسی پتانسیل انرژی باد در مناطق گوناگون کشورهای مختلف به‌کار می‌رود (لی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵: ۱۲۲۲). در ادامه به گزیده‌ای از پژوهش‌هایی که طی دهه‌ی اخیر انجام شده اشاره می‌شود.

بیلو و کوراسین<sup>۳</sup> (۲۰۰۹)، ویژگی‌های باد و پتانسیل انرژی باد در نوادای غربی را با استفاده از داده‌های باد، دما و داده‌های فشار در دوره‌ی ۴/۵ ساله، برای چهار مکان در ارتفاع بالای ۵۰ متر مطالعه کردند. بیکلی و پالم<sup>۴</sup> (۲۰۰۹)، به بررسی پتانسیل انرژی باد در چهار منطقه‌ی اتیوپی در ارتفاع ۱۰ متری پرداختند. الاموریا و بن عامر<sup>۵</sup> (۲۰۰۸)، پتانسیل انرژی باد در تونس را با استفاده از داده‌های هواشناسی در ارتفاع ۲ و ۱۰ متر ۱۷ ایستگاه همدیدی موجود در کشور، مورد ارزیابی قرار دادند. اسکاین<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، پتانسیل انرژی باد جزیره‌ی گاکسیداد در شمال دریای اژه، در ترکیه را با استفاده از داده‌های گردآوری شده‌ی چهار مکان در ارتفاع ۱۰ و ۳۰ متری، گردآوری و برای ارتفاع ۵۰ متر برون‌یابی کردند. مصطفی عمر<sup>۷</sup> (۲۰۰۸)، به مطالعه‌ی انرژی باد در سودان پرداخت. مصطفایی‌پور و ابرقویی (۲۰۰۸)، به بررسی انرژی باد در نواحی منتخبی از منجیل در شمال ایران پرداختند. احمد شاتا و هانیتج<sup>۸</sup> (۲۰۰۶)، پتانسیل انرژی باد و تولید برق ساحلی دریای مدیترانه در مصر را ارزیابی کرده و چگالی انرژی باد ارتفاع ۳۰ و ۵۰ متر را برآورد کردند. لی (۲۰۰۵)، به بررسی ویژگی‌ها و برآورد پتانسیل انرژی باد در منطقه‌ی واترلو کانادا برپایه‌ی داده‌های ارتفاع ۱۰ متری در یک دوره‌ی پنج ساله پرداخت. الناصر<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، به بررسی پتانسیل تولید انرژی باد در کشور کویت با استفاده از

1. Rahman
2. Li
3. Belu & Koracin
4. Bekele & Palm
5. Elamouria & Ben Amara
6. Eskina
7. Mustafa Omer
8. Ahmed Shata & Hanitsch
9. Al-Nassar

داده‌های باد ۱۰ متری و برون‌یابی آن در ترازهای ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری شش منطقه پرداختند. ای. آکپینر<sup>۱</sup> و س. اکپینر (۲۰۰۵)، به برآورد و واکاوی فصلی انرژی باد و توربین‌های بادی در مناطق اطراف ایلازیگ ترکیه و رمضان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۴)، به واکاوی داده‌ها و پتانسیل سنجی انرژی باد در کیوتایای ترکیه پرداختند. در ایران نیز برخی پژوهش‌ها در رابطه با پتانسیل سنجی باد انجام شده که از مهم‌ترین آنها امکان‌سنجی استفاده از انرژی باد در برخی از نقاط ایران، در قالب چند طرح پژوهشی است که به‌وسیله‌ی معاونت انرژی وزارت نیرو (۱۳۷۴)، اجرا شده و چند طرح دیگر نیز در دست اجرا دارد. همچنین، جهانگیری و همکاران (۱۳۸۴)، به محاسبه‌ی انرژی باد با استفاده از توزیع ویبول دوپارامتره و داده‌های سه‌ساعته‌ی باد مناطق سردشت و ماهشهر، در یک دوره‌ی زمانی ۱۰ ساله پرداختند. نتایج نشان داد که دو منطقه‌ی نامبرده، از نظر تولید انرژی باد مناسب هستند. حق‌پرست و همکاران (۱۳۸۴)، پتانسیل انرژی باد هفت منطقه در شمال غرب کشور را مورد ارزیابی و مناطق مورد نظر را از نظر پتانسیل انرژی باد برای احداث نیروگاه بادی رتبه‌بندی کردند. صلاحی (۱۳۸۳)، به پتانسیل سنجی انرژی باد با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول در استان اردبیل پرداخته و در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه اردبیل برای بهره‌برداری از انرژی باد مناسب ارزیابی شد.

## مواد و روش‌ها

آمار جهت و سرعت سه‌ساعته‌ی روزانه‌ی باد ایستگاه‌های همید استان کرمانشاه در یک دوره‌ی آماری ۱۰ ساله (۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶) از سازمان هواشناسی دریافت شد و ویژگی‌های باد، از جمله: سرعت، جهت و فراوانی باد در هر سرعتی برای محاسبه‌ی توزیع احتمال ویبول، محاسبه شد. محدوده‌ی مطالعاتی استان کرمانشاه است که در غرب ایران بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ تا ۳۵ درجه‌ی شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۵ تا ۴۸ درجه‌ی شرقی واقع شده است. وسعت استان برابر با ۲۴۶۳۶ کیلومترمربع (حدود ۱/۵ درصد مساحت کشور) است. کرمانشاه در کوهپایه‌ها و دامنه‌های غربی رشته‌کوه‌های زاگرس با ناهمواری‌های پیچیده قرار دارد که در مسیر بادهای غربی در طول دوره‌ی سرد سال و تحت‌تأثیر بادهای محلی در طول دوره‌ی گرم است. بادهای محلی منطقه، ناشی از اختلاف ارتفاع و تفاوت‌های دمایی و فشار، شکل می‌گیرند. بنابراین، کرمانشاه در هر دو دوره‌ی سرد و گرم می‌تواند، از منشأهای مختلف، دارای جریان‌های هوای شدید و ضعیف باشد. ایستگاه‌های مورد بررسی در این پژوهش عبارتند از: کرمانشاه، اسلام‌آبادغرب، روانسر، کنگاور و سرپل‌ذهاب که ارتفاع آنها از سطح دریا به‌ترتیب: ۱۳۲۹، ۱۳۴۹، ۱۳۸۰، ۱۴۶۸ و ۵۴۵ است.

## تابع احتمال ویبول و چگالی توان باد

تابع ویبول حالت خاصی از توزیع گاما است. این توزیع به‌طور معمول برای رسم توزیع‌های باد مکان‌های معین، در دوره‌ی زمانی معین ماهانه و سالانه به‌کار می‌رود (ژو و همکاران، ۲۰۰۶، ۷۴۲) و نسبت به توابع دیگر انعطاف بیشتری دارد که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P(V) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right] \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در این رابطه (K) یک پارامتر بدون بُعد معروف به "عامل شکل" و (C) پارامتری به نام "عامل مقیاس" است که به واحد متر بر ثانیه محاسبه می‌شود (احمد شاتا و هانیتج، ۲۰۰۶: ۱۱۹۰؛ لی، ۲۰۰۵: ۱۲۲۲ و آکپینر، ۲۰۰۵: ۱۸۵۱). روش‌های مختلفی برای محاسبه‌ی پارامترهای مقیاس و شکل تابع ویبول وجود دارد. یکی از این روش‌ها "برازش حداقل مربعات" است که به کمک تابع احتمال تجمعی به دست می‌آید. برای این کار لازم است با استفاده از معادله‌ی رگرسیون، رابطه‌ی خطی بین مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن به شکل زیر مشخص شود:

$$Y = Ax + b \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

که A ضریب زاویه خط و b عرض تقاطع خط با محور Y است. مقادیر رابطه‌ی خطی بین  $Y_i$  و  $X_i$  برای تعیین مقادیر A و B مرتبط با پارامترهای C و K تابع ویبول از رابطه‌ی شماره‌ی ۳ محاسبه شود:

$$X = \ln(V_i) \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

$$Y = \ln\{-\ln[1-P(V)]\} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

در این رابطه  $V_i$  میانگی طبقات سرعت باد و  $P(V)$  درصد فراوانی تجمعی هر طبقه است. با مشخص شدن مقادیر ستون‌های X و Y، مقادیر A و B با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$K = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i} = A \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

$$B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{A}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

$$C = \exp\left(-\frac{B}{A}\right) \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

با داشتن پارامترهای شکل و مقیاس (K, C) و استفاده از سرعت‌های موجود ( $V_i$ ) و نیز با استفاده از تابع ویبول، مقادیر تابع احتمال پیوسته‌ی ویبول ( $P_w$ ) محاسبه می‌شود (صلاحی، ۱۳۸۳: ۹۳). پس از محاسبه‌ی اجزای تابع ویبول، می‌توان به محاسبه‌ی چگالی توان باد در ارتفاع ۱۰ متری پرداخت که از رابطه‌ی شماره‌ی ۸ به دست می‌آید:

$$P_{ave} = \frac{1}{2} \rho \cdot C^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right) \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

که  $\Gamma$  تابع گاما،  $C$  و  $K$  پارامترهای تابع ویبول و  $\rho$  چگالی هواست. مقدار چگالی هوا در شرایط متعارف دما و فشار برابر  $1/225$  کیلوگرم در مترمکعب است. با توجه به رابطه‌ی شماره‌ی ۸ و نیز واحد بودن سطح، می‌توان دریافت که مقدار چگالی انرژی باد یک منطقه، وابستگی کامل به پارامترهای تابع ویبول دارد.

### برآورد سرعت باد در راستای قائم

بررسی منابع نشان دادند که ارتفاع محور بیشتر توربین‌های بادی تجاری، حدود ۳۰ تا ۸۰ متر از سطح زمین است. از سوی دیگر، با افزایش ارتفاع از سطح زمین و کاهش اثر ناهمواری‌های سطحی، بر مقدار سرعت باد و به دنبال آن، قدرت باد افزوده می‌شود (جهانگیری و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۶۶). در اینجا دو ارتفاع ۵۰ متر، ارتفاع منتخب برای استفاده از چرخ توربین‌های بادی مرتفع (اسکاینا و همکاران، ۲۰۰۸: ۸۳۹) و ۲۰ متر، به دلیل قرارگیری چرخ توربین‌های بادی کوچک در مصارفی مانند، کشاورزی (چاه‌های آب)، انتخاب و بررسی شده است. برای برآورد سرعت باد از مدل قانون توان  $\frac{1}{7}$  استفاده شد که از رابطه‌ی شماره‌ی ۹ به دست می‌آید:

$$\frac{v(z)}{v(z_0)} = \left[ \frac{z}{z_0} \right]^{\frac{1}{7}} \quad \text{(رابطه‌ی ۹)}$$

در این رابطه  $z$  ارتفاع سرعت باد مطلوب،  $v(z)$  سرعت بادی که باید برآورد شود و  $z_0$  و  $v(z_0)$  به ترتیب، ارتفاع مرجع و سرعت باد مرجع هستند [محل ارتفاع ۱۰ متری] (الناصر و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۱۵۵؛ لو و همکاران، ۲۰۰۲: ۴). توجه به این نکته ضروری است که توان فوق، مقدار انرژی موجود در توده‌ی هوا را به دست می‌دهد و نباید آن را با انرژی قابل استحصال و توان تولیدی توربین اشتباه کرد. مقدار فوق برای تعیین کیفیت سایت و پتانسیل آن مورد استفاده قرار می‌گیرد (تقوی، ۱۳۷۵: ۴۹).

برخی از پارامترهای دیگر که در راستای استفاده از انرژی باد و به کارگیری توربین بادی مفید هستند، عبارتند از: سرعت نامی<sup>۱</sup>، محتمل‌ترین سرعت باد و زمان کاربرد مناسب. سرعت نامی باد ( $V_{mec}$ )، سرعتی است که بیشترین انرژی را در طول سال تولید می‌کند و از رابطه‌ی شماره‌ی ۱۰ به دست می‌آید:

$$V_{mec} = \left( 1 + \frac{2}{K} \right)^{\lambda} \quad \text{(رابطه‌ی ۱۰)}$$

محتمل‌ترین یا بیشترین احتمال رخداد سرعت باد با ( $V_{mp}$ ) نشان داده می‌شود و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$V_{mp} = C(1 - \lambda)^{\lambda} \quad \text{(رابطه‌ی ۱۱)}$$

در رابطه‌ی سرعت نامی، محتمل‌ترین سرعت باد برابر با  $\lambda = \frac{1}{K}$  است.

با توجه به اینکه سرعت راه‌اندازی و سرعت توقف اکثر توربین‌های بادی، به ترتیب ۴ و ۲۵ متر در ثانیه است،

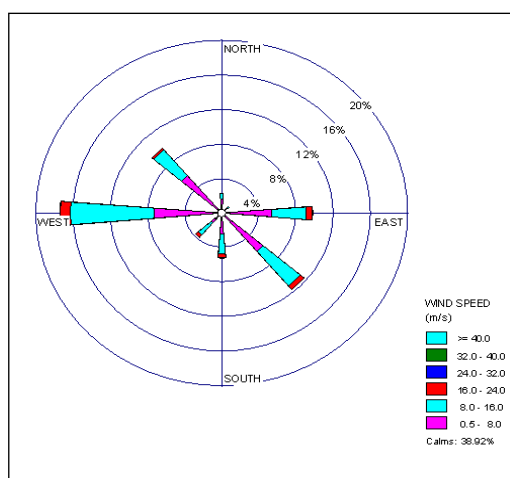
احتمال وقوع سرعت‌های بین مقادیر مذکور را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$P(V_1 < V < V_2) = \exp\left[-\left(\frac{V_1}{C}\right)^K\right] - \exp\left[-\left(\frac{V_2}{C}\right)^K\right] \quad \text{رابطه‌ی ۱۲}$$

در این رابطه،  $V_1$  معادل باد با ۴ متر در ثانیه و  $V_2$  معادل باد ۲۵ متر بر ثانیه است (صلاحی، ۱۳۸۳: ۱۰۱).

## یافته‌های تحقیق

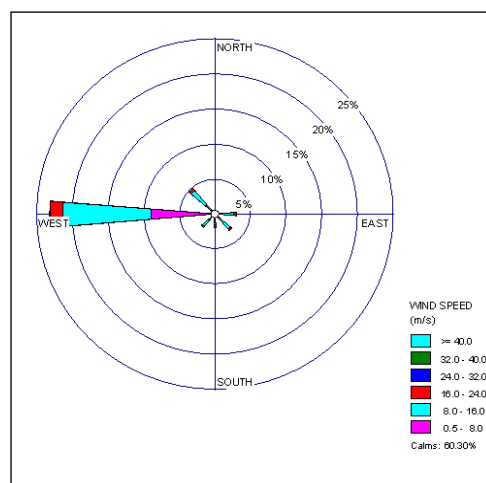
در رابطه با ویژگی‌های باد، شکل‌های (۱ تا ۵) گلباد سالانه‌ی معرف و وضعیت جهت، سرعت و فراوانی ۱۰ ساله‌ی ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه هستند. با توجه به گلباد سالانه‌ی ایستگاه‌ها، باد غالب غربی و باد نایب غالب، به جز در ایستگاه سرپل‌ذهاب، جنوب‌غربی و شمال‌غربی است که نشان‌دهنده‌ی غلبه‌ی سامانه‌ی بادهای غربی در این منطقه است. در ایستگاه سرپل‌ذهاب، باد نایب غالب از جهت جنوب‌شرقی می‌وزد که می‌تواند در اثر ناهمواری‌هایی که در شرق و جنوب‌شرق این شهرستان قرار دارد، ایجاد شده باشد. میانگین سرعت باد غالب سالانه در ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد، روانسر، کنگاور و سرپل‌ذهاب به ترتیب: ۴/۲، ۴/۴، ۵/۸، ۵/۸ و ۵/۱ است که این مقدار در ایستگاه‌های کنگاور و روانسر از همه بیشتر است.

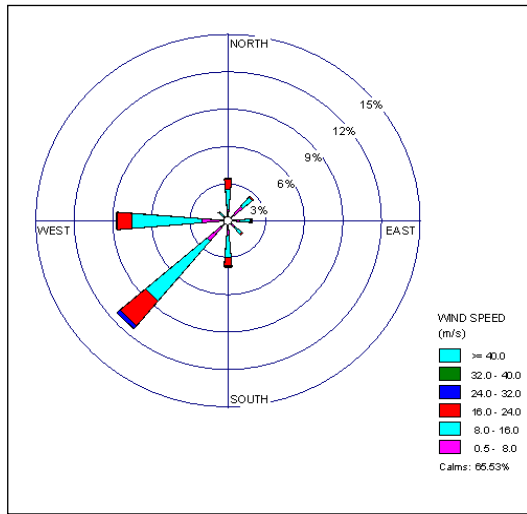


شکل ۱. گلباد سالانه‌ی ایستگاه کرمانشاه (۱۹۹۷-۲۰۰۶)

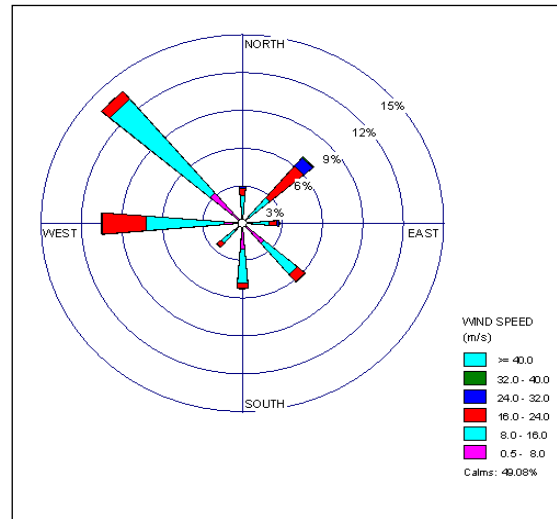
شکل ۲. گلباد سالانه‌ی ایستگاه اسلام‌آباد غرب

(۱۹۹۷-۲۰۰۶)

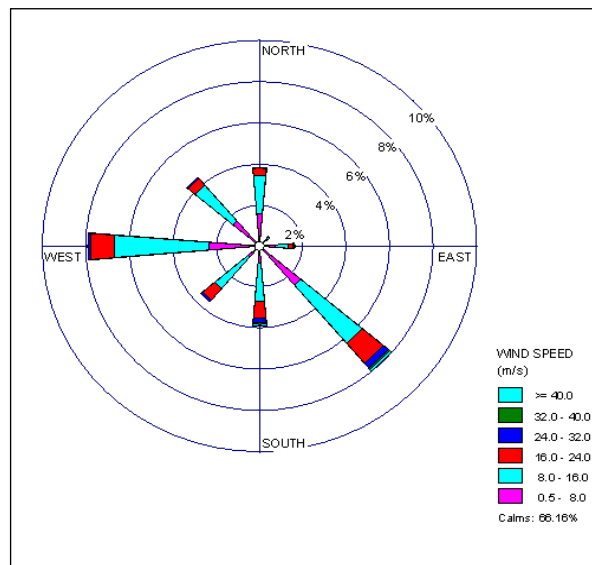




شکل ۴. گلباد سالانه‌ی ایستگاه کنگاور (۱۹۹۷-۲۰۰۶)



شکل ۳. گلباد سالانه‌ی ایستگاه روانسر (۱۹۹۷-۲۰۰۶)



شکل ۵. گلباد سالانه‌ی ایستگاه سرپل ذهاب (۱۹۹۷-۲۰۰۶)

### نتایج برآزش توزیع ویبول بر داده‌های سرعت باد

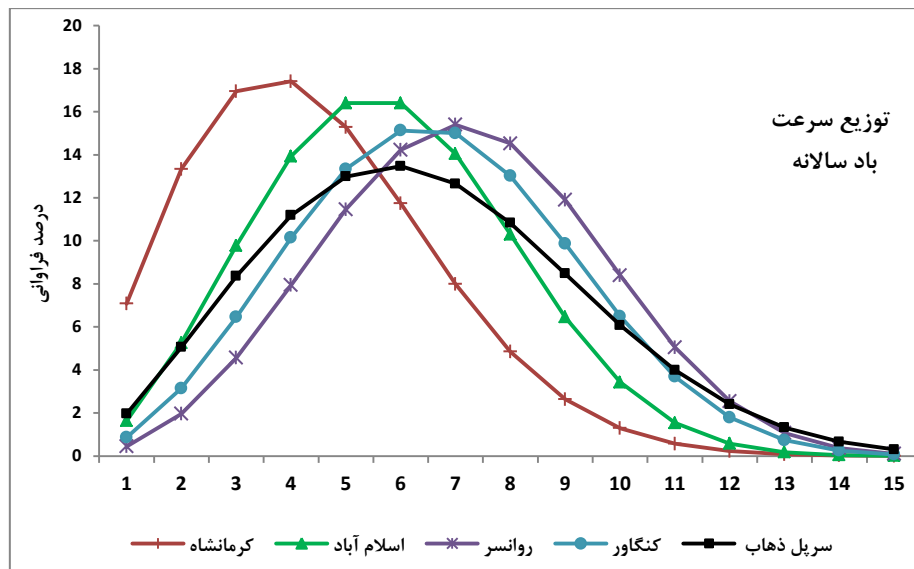
در بررسی محاسبات مربوط به انرژی باد، چگونگی توزیع فراوانی‌های باد اهمیت بسیاری دارد. با توجه به جدول شماره ۱ که مقادیر فراوانی مشاهده‌شده را در ایستگاه‌های استان نشان می‌دهد، بیشترین فراوانی سرعت باد سالانه‌ی ایستگاه کرمانشاه و اسلام‌آباد غرب بین ۲ تا ۶، کنگاور و سرپل ذهاب ۲ تا ۷ و روانسر ۲ تا ۸ متر بر ثانیه است. گفتنی است، مقدار فراوانی در سرعت‌های مذکور، به ترتیب در ایستگاه‌های کنگاور و سرپل ذهاب و کرمانشاه بیشتر از

دیگر ایستگاه‌هاست، اما در سرعت‌های بالاتر از سرعت‌های گفته‌شده، روانسر و سرپل‌ذهاب فراوانی بیشتری دارند. در محاسبه‌ی توزیع ویبول، ابتدا مقادیر C و K یا پارامترهای شکل و مقیاس محاسبه شد. مقادیر ضریب C برای ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام آبادغرب، روانسر، کنگاور و سرپل‌ذهاب به ترتیب عبارت است از: ۵، ۶/۵، ۸، ۷/۵ و ۷/۳ و مقادیر K به ترتیب: ۲/۱، ۲/۷، ۳/۲، ۲/۹ و ۲/۴ به دست آمد. مقدار چگالی انرژی باد در یک منطقه، وابستگی کامل به پارامترهای ذکر شده دارد. با داشتن مقادیر سرعت باد و پارامترهای C و K، می‌توان وضعیت ایستگاه‌ها را از نظر پتانسیل انرژی باد بررسی کرد. خلاصه‌ی طبقه‌بندی‌شده‌ی مشاهدات سرعت باد (بدون در نظر گرفتن جهت باد) و مقادیر تابع احتمال پیوسته‌ی ویبول (Pw) ایستگاه‌های استان کرمانشاه در جدول شماره‌ی ۱ ارائه و در شکل شماره‌ی ۶، برآزش توزیع ویبول بر داده‌های مشاهداتی سرعت باد سالانه‌ی ایستگاه‌های استان، برای مقایسه نمایش داده شده است. این شکل چگونگی توزیع فراوانی سرعت باد را در محدوده‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در ایستگاه کرمانشاه بیشترین مقدار توزیع ویبول سرعت باد در محدوده‌ی ۲ تا ۶، اسلام‌آباد غرب ۳ تا ۸، کنگاور و سرپل‌ذهاب ۴ تا ۹ و روانسر در محدوده‌ی بین ۵ تا ۱۰ قرار دارند. هر چه فراوانی توزیع سرعت باد در سرعت‌های بالاتر قرار گیرد مانند ایستگاه روانسر، مقدار انرژی به دست آمده از باد بیشتر خواهد شد.

جدول ۱. مقادیر مشاهداتی و توزیع ویبول داده‌های سرعت باد سالانه‌ی ایستگاه‌های استان کرمانشاه (۱۹۹۷-۲۰۰۶)

ردیف	طبقات سرعت	میان‌ه طبقات	کرمانشاه		اسلام آبادغرب		روانسر		کنگاور		سرپل‌ذهاب	
			مقدار فراروانی	مقدار ویبول	مقدار فراروانی	مقدار ویبول	مقدار فراروانی	مقدار ویبول	مقدار فراروانی	مقدار ویبول	مقدار فراروانی	مقدار ویبول
۱	۰/۵-۱/۵	۱	۲۵۵	۷/۰۷۸	۱۱	۱/۶۳۵	۲	۰/۴۴۵	۴	۰/۸۶۰	۱۱	۱/۹۵۹
۲	۱/۵-۲/۵	۲	۵۰۵۷	۱۳/۳۳۳	۱۵۲۸	۵/۲۵۵	۹۸۲	۱/۹۶۵	۹۴۸	۳/۱۴۲	۱۸۵۸	۵/۰۵۷
۳	۲/۵-۳/۵	۳	۳۷۱۱	۱۶/۹۴۹	۲۷۱۱	۹/۷۸۳	۲۳۸۳	۴/۵۶۶	۲۰۱۰	۶/۴۵۳	۱۲۸۴	۸/۳۶۰
۴	۳/۵-۴/۵	۴	۳۰۳۷	۱۷/۴۱۴	۲۴۰۶	۱۳/۹۳۴	۲۵۵۱	۷/۹۴۶	۱۳۵۲	۱۰/۱۴۶	۲۰۳۸	۱۱/۱۸۵
۵	۴/۵-۵/۵	۵	۲۴۰۷	۱۵/۲۸۶	۱۹۷۳	۱۶/۴۰۳	۲۸۲۱	۱۱/۴۶۴	۱۷۴۶	۱۳/۳۳۴	۹۹۵	۱۲/۹۸۹
۶	۵/۵-۶/۵	۶	۱۴۶۹	۱۱/۷۴۱	۱۲۳۰	۱۶/۳۹۸	۱۳۹۶	۱۴/۲۳۱	۱۱۵۰	۱۵/۱۳۱	۱۵۲۰	۱۳/۴۷۲
۷	۶/۵-۷/۵	۷	۸۲۷	۷/۹۸۹	۷۱۵	۱۴/۰۴۲	۱۳۶۵	۱۵/۳۹۴	۱۰۴۸	۱۴/۹۹۹	۳۷۰	۱۲/۶۵۲
۸	۷/۵-۸/۵	۸	۵۶۲	۴/۸۵۰	۴۹۷	۱۰/۳۰۳	۱۰۸۰	۱۴/۵۲۹	۷۶۹	۱۳/۰۱۹	۶۸۵	۱۰/۸۳۱
۹	۸/۵-۹/۵	۹	۲۵۶	۲/۶۳۸	۲۱۳	۶/۴۵۴	۵۰۳	۱۱/۹۰۵	۲۴۲	۹/۸۶۶	۱۴۸	۸/۴۷۹
۱۰	۹/۵-۱۰/۵	۱۰	۱۵۲	۱/۲۸۹	۱۷۰	۳/۴۳۱	۹۳۱	۸/۳۹۹	۴۰۷	۶/۴۹۳	۲۹۹	۶/۰۷۹
۱۱	۱۰/۵-۱۱/۵	۱۱	۴۸	۰/۵۶۷	۵۴	۱/۵۳۶	۱۷۰	۵/۰۴۵	۹۲	۳/۶۸۴	۶۲	۳/۹۹۱
۱۲	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۲	۳۴	۰/۲۲۵	۴۲	۰/۵۷۵	۲۴۴	۲/۵۴۹	۱۲۶	۱/۷۸۸	۲۴۶	۲/۳۹۹
۱۳	۱۲/۵-۱۳/۵	۱۳	۱۷	۰/۰۸۰	۱۲	۰/۱۷۸	۱۰۸	۱/۰۶۹	۳۶	۰/۷۳۵	۳۱	۱/۳۱۹
۱۴	۱۳/۵-۱۴/۵	۱۴	۱۱	۰/۰۲۶	۱۳	۰/۰۴۵	۱۱۲	۰/۳۶۶	۴۲	۰/۲۵۴	۷۳	۰/۶۶۲
۱۵	۱۵/۵-۱۵/۵	۱۵	۲	۰/۰۰۸	۲۳	۰/۰۰۹	۲۳۰	۰/۱۰۱	۹۹	۰/۰۷۳	۲۶۰	۰/۳۰۳





شکل ۶. نمودار برازش توزیع ویبول بر داده‌های سرعت باد سالانه‌ی ایستگاه‌های هم‌دید استان کرمانشاه

### نتایج سرعت باد در راستای قائم و چگالی توان باد

مقدار چگالی توان باد به صورت سالانه، در ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری در جدول شماره‌ی ۳ ارائه شده است. برای برآورد توان باد در ارتفاع ۲۰ و ۵۰ متری، ابتدا برون‌یابی سرعت باد با استفاده از قانون توان صورت گرفت که نتایج آن در جدول شماره‌ی ۲ ارائه شده و نشان می‌دهد که سرعت باد در هر طبقه با یک مقدار ثابت بیشتر می‌شود. با توجه به جدول شماره‌ی ۳، پایین‌ترین مقدار چگالی توان باد، مربوط به ایستگاه کرمانشاه و بالاترین آن، در ایستگاه روانسر است و در رتبه‌های بعد به ترتیب، ایستگاه‌های سرپل ذهاب، کنگاور و اسلام‌آباد غرب دارای بیشترین مقدار توان باد هستند.

جدول ۲. اندازه‌گیری سرعت باد در ترازهای ارتفاعی ۲۰ و ۵۰ متر

میان‌ه طبقه (Vi)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
V(۲۰)	۱/۱	۲/۲	۳/۳	۴/۴	۵/۵	۶/۶	۷/۷	۸/۸	۹/۹	۱۱/۰	۱۲/۱	۱۳/۲	۱۴/۴	۱۵/۵	۱۶/۶
V(۵۰)	۱/۳	۲/۵	۳/۸	۵/۰	۶/۳	۷/۶	۸/۸	۱۰/۱	۱۱/۳	۱۲/۶	۱۳/۸	۱۵/۱	۱۶/۴	۱۷/۶	۱۸/۹

جدول ۳. مقادیر میانگین چگالی توان باد سالانه در ارتفاعات مختلف ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متر

ایستگاه	ارتفاع ۱۰ متر	ارتفاع ۲۰ متر	ارتفاع ۵۰ متر
روانسر	۲۵۴	۳۵۰	۵۳۳
سرپل ذهاب	۲۲۳	۳۰۷	۴۶۷
کنگاور	۲۱۴	۲۹۴	۴۴۸
اسلام آباد غرب	۱۴۶	۲۰۱	۳۰۶
کرمانشاه	۸۲	۱۱۲	۱۷۱

مقادیر سالانه‌ی سرعت نامی، محتمل‌ترین سرعت باد، زمان کاربرد مناسب و ساعات موجودیت باد بین سرعت‌های ۰/۵ تا ۲۵ و ۴ تا ۲۵ متر بر ثانیه که در رابطه با کاربرد توربین‌های بادی مهم هستند، در جدول شماره‌ی ۴ ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین عوامل در طراحی توربین‌های بادی، سرعت نامی باد است؛ یعنی کمترین سرعتی که در آن سرعت، حداکثر باد خروجی تولید می‌شود (صلاحی، ۱۳۸۳: ۱۰۲). با توجه به جدول مذکور، مقدار سرعت نامی برای ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، روانسر، کنگاور و سرپل ذهاب به ترتیب: ۶/۹، ۷/۹، ۹/۳، ۸/۹ و ۹/۴ است. محتمل‌ترین سرعت باد در ایستگاه روانسر ۷ و کرمانشاه ۳/۶ متر بر ثانیه است. هر چه احتمال وقوع باد در سرعت‌های بالاتر بیشتر باشد، برای بهره‌برداری از انرژی باد مناسب‌تر است. بنابراین در رابطه با زمان کاربرد مناسب، میزان درصد احتمال وقوع سرعت‌های باد با سرعت بین سرعت توقف و راه‌اندازی توربین‌های بادی؛ یعنی ۴ و ۲۵ متر بر ثانیه، در ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، روانسر، کنگاور و سرپل ذهاب به ترتیب: ۵۳، ۷۷، ۸۹، ۸۵ و ۷۹ درصد است.

جدول ۴. سرعت نامی، محتمل‌ترین سرعت، زمان کاربرد مناسب و ساعات موجودیت باد سالانه‌ی ایستگاه‌های کرمانشاه

مشخصات کلی باد	کرمانشاه	اسلام‌آباد غرب	روانسر	کنگاور	سرپل ذهاب
محتمل‌ترین سرعت	۳/۶	۵/۵	۷/۱	۶/۴	۵/۹
سرعت نامی باد	۶/۹	۷/۹	۹/۳	۸/۹	۹/۴
زمان کاربرد مناسب	۰/۵۳	۰/۷۷	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۷۹
ساعات موجودیت باد با سرعت ۰/۵-۲۵m/s	۵۳۵۴	۳۴۷۹	۴۴۶۳	۳۰۲۱	۲۹۶۴
ساعات موجودیت باد با سرعت ۴-۲۵m/s	۲۶۴۷	۲۲۰۴	۳۴۵۳	۲۱۳۳	۲۰۱۸
درصد ساعات باد با سرعت ۴-۲۵m/s	۴۹	۶۳	۷۷	۷۱	۶۸

از نظر ساعات موجودیت باد، همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در ایستگاه کرمانشاه، زمان موجودیت باد در سال زیاد است، اما کمابیش ۵۰ درصد از آن، بادهای با سرعت پایین‌تر از ۴ متر بر ثانیه است و با در نظر گرفتن محاسبات مربوط به توزیع احتمال ویبول می‌توان گفت که بیش از ۸۰ درصد از ساعات موجودیت باد سالانه‌ی ایستگاه، سرعت کمتر از ۶ متر بر ثانیه دارند، در نتیجه این مقدار زمان موجودیت باد سالانه، باعث ایجاد یک مزیت برای این ایستگاه نشده است.

### نتایج طبقه‌بندی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های استان کرمانشاه

آزمایشگاه ملی انرژی باد زیر نظر وزارت نیروی ایالت متحده، برنامه‌ای را برای طبقه‌بندی قدرت باد ارائه و در اطلس انرژی باد آمریکا به کار برده است. در آن طبقه‌بندی، مناطق مختلف بر اساس توان باد در طبقه‌ی ۱ (پایین‌ترین) تا طبقه‌ی ۷ (بالاترین) قرار می‌گیرند (کامو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۰۲؛ جیویر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۰۰۲). هر طبقه نمایانگر گستره‌ای از تراکم قدرت باد (وات بر مترمربع) و محدوده‌ای از سرعت باد (متر بر ثانیه) در یک ارتفاع مشخص بالاتر از سطح زمین است. به‌طور معمول، در این شبکه‌بندی، طبقه‌ی ۴ و بالاتر برای به‌کارگیری اکثر توربین‌های بادی و

1. Kamau

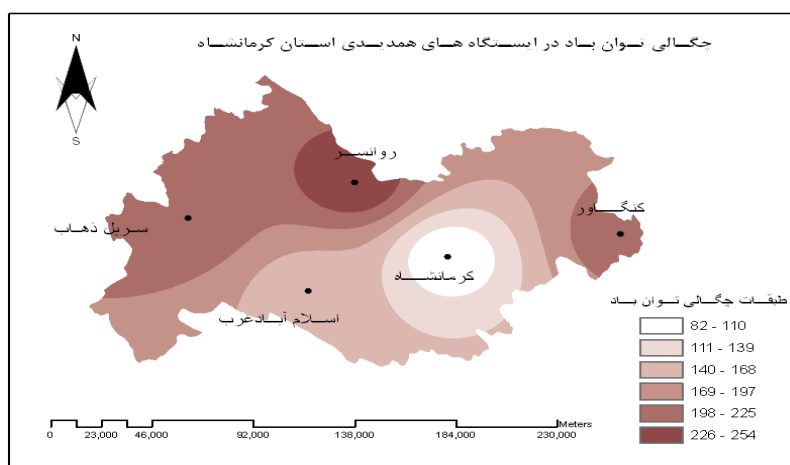
2. Jewer

طبقه ۳، در صورت استفاده از توربین‌های بادی مرتفع، برای توسعه انرژی باد مناسب هستند. طبقه ۲، به‌عنوان یک منطقه مرزی برای توسعه قدرت باد در نظر گرفته می‌شود و طبقه ۱ برای استفاده از انرژی باد نامناسب است. این طبقه‌بندی، برای برآورد قدرت باد در مناطق آزاد و بدون مانع محلی کاربرد دارد و برآورد قدرت باد، با توجه به ویژگی‌های زمین در مناطقی همچون، دشت‌های باز، تپه‌ها و نواحی کوهستانی با هم متفاوت هستند (آی‌لینکا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۸۸۷). در جدول شماره ۵ طبقه‌بندی مورد نظر ارائه شده است. بر اساس این جدول، ایستگاه کرمانشاه در طبقه ۱، اسلام‌آباد غرب میان طبقه ۲ و ۳، کنگاور و سرپل‌ذهاب در طبقه ۴ و روانسر در طبقه ۵ قرار دارد.

جدول ۵. چگالی توان باد سالانه و طبقه‌بندی‌های آن در ارتفاع ۱۰ و ۵۰ متر برای ایستگاه‌های استان کرمانشاه

میزان چگالی توان باد	ایستگاه	ارتفاع ۵۰ متر		میزان چگالی توان باد	ایستگاه	ارتفاع ۱۰ متر		طبقه بندی قدرت باد
		چگالی توان باد (w/m <sup>2</sup> )	سرعت (m/s)			چگالی توان باد (w/m <sup>2</sup> )	سرعت (m/s)	
۱۷۱	کرمانشاه	۰-۲۰۰	۵/۶ - ۱۲/۵	۸۲	کرمانشاه	۰-۱۰۰	۴/۴ - ۹/۸	۱
		۲۰۰-۳۰۰	۶/۴ - ۱۴/۳	۱۴۶	اسلام آبادغرب	۱۰۰-۱۵۰	۵/۱ - ۱۱/۵	۲
۳۰۶	اسلام آبادغرب	۳۰۰-۴۰۰	۷/۰ - ۱۵/۷			۱۵۰-۲۰۰	۵/۶ - ۱۲/۵	۳
۴۶۷	کنگاور	۴۰۰-۵۰۰	۷/۵ - ۱۶/۸	۲۲۳	کنگاور	۲۰۰-۲۵۰	۶/۰ - ۱۲/۴	۴
۴۴۸	سرپل زهاب			۲۱۴	سرپل زهاب			۴
۵۳۳	روانسر	۵۰۰-۶۰۰	۸/۰ - ۱۷/۹	۲۵۴	روانسر	۲۵۰-۳۰۰	۶/۴ - ۱۴/۳	۵
		۶۰۰-۸۰۰	۸/۸ - ۱۹/۷			۳۰۰-۴۰۰	۷/۰ - ۱۵/۷	۶
		۸۰۰-۲۰۰۰	۱۱/۹ - ۲۶/۶			۴۰۰-۱۰۰۰	۹/۴ - ۲۱/۱	۷

در شکل ۷، نقشه‌ی حاصل از نتایج محاسبات انرژی باد سالانه در استان کرمانشاه را به نمایش گذاشته شده است. بر طبق این نقشه، بیشترین چگالی توان باد به ترتیب در ایستگاه‌های روانسر واقع در شمال استان، سرپل‌ذهاب در غرب و کنگاور در شرق استان مشاهده می‌شود. اسلام‌آبادغرب و کرمانشاه، در قسمت جنوب و مرکز، توان انرژی کمتری دارند.



شکل ۷. نقشه‌ی پتانسیل انرژی باد سالانه‌ی استان کرمانشاه

## بحث و نتیجه‌گیری

توزیع فراوانی سرعت باد سالانه‌ی ایستگاه کرمانشاه و اسلام‌آباد غرب بین ۲ تا ۶، کنگاور و سرپل‌ذهاب ۲ تا ۷ و روانسر ۲ تا ۸ متر بر ثانیه قرار دارد. اما با استفاده از تابع ویبول در ایستگاه کرمانشاه، بیشترین مقدار توزیع سرعت باد در محدوده‌ی ۲ تا ۶، اسلام‌آباد غرب ۳ تا ۸، روانسر ۵ تا ۱۰، کنگاور و سرپل‌ذهاب در محدوده‌ی ۴ تا ۹ قرار دارند. هر چه این توزیع در سرعت‌های بالاتر قرار گیرد، مقدار انرژی به‌دست آمده از باد بیشتر خواهد شد. از نظر زمان کاربرد مناسب، سرعت نامی و محتمل‌ترین سرعت، میزان چگالی توان باد و مناسب بودن ایستگاه‌های هم‌دید استان برای بهره‌برداری از انرژی باد با توجه به طبقه‌بندی انجام شده در آمریکا، به‌ترتیب ایستگاه‌های روانسر، سرپل‌ذهاب، کنگاور، اسلام‌آباد غرب و کرمانشاه قرار دارند. از آنجاکه در این طبقه‌بندی، لزوم استفاده از توربین‌های بادی را در طبقه‌ی ۴ و بالاتر قرار داده است، در ایستگاه‌های روانسر، سرپل‌ذهاب و کنگاور می‌توان از توربین‌های بادی اندازه‌ی کوچک و متوسط برای بهره‌گیری از انرژی باد استفاده کرد. این توربین‌ها کاربردهای غیر نیروگاهی زیر را نیز دارند:

- (۱) پمپ‌های بادی آبکش؛
- (۲) کاربرد توربین‌های کوچک به‌عنوان تولید کننده‌ی برق؛
- (۳) شارژ باتری و کاربردهای نیروگاهی در مقیاس متوسط، مانند توربین‌های بادی منفرد که برای تأمین بارهای الکتریکی از نوع مسکونی، تجاری، صنعتی یا کشاورزی، یا به‌عبارتی تأمین انرژی برای پایگاه‌های موقتی استفاده می‌شود.

گفتنی است که لزوم استفاده از انرژی باد در کاربردهای بزرگ‌مقیاس، مانند ایجاد مزرعه‌ی بادی، قرارگیری ایستگاه‌ها در بالاترین رده‌ی طبقه‌بندی، یعنی طبقه ۷ است. با توجه به محاسبات انجام شده، هیچ‌کدام از ایستگاه‌های استان در این طبقه قرار ندارند و برای تأسیس مزرعه‌ی بادی یا استفاده از انرژی باد در مقیاس بزرگ مناسب نیستند.

## منابع

- تقوی، فرحناز، ۱۳۷۵، محاسبه‌ی عددی سرعت باد برای ساخت پانل انرژی باد در دیزباد نیشابور، نهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.
- جهانگیری، زهره؛ رحیمزاده، فاطمه؛ کمالی، غلامعلی، ۱۳۸۴، محاسبه‌ی انرژی باد با استفاده از توزیع دو پارامتری ویبول، فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۶، صص. ۱۵۱-۱۷۰.
- حق‌پرست کاشانی، آرش؛ کعبی نژادیان، فؤاد؛ فغفوری، ناصر؛ لاری، حمیدرضا، ۱۳۸۴، تحلیل پتانسیل انرژی باد در شمال غرب ایران، بیستمین کنفرانس بین‌المللی شرکت برق، تهران.
- صالحی، برومند، ۱۳۸۳، پتانسیل‌سنجی انرژی باد و برآزش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل، مجله‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۲، صص. ۸۷-۱۰۴.

- Ahmed- Shata, A.S. & Hanitsch, R., 2006, **Evaluation of Wind Energy Potential and Electricity Generation on the Coast of Mediterranean Sea in Egypt**, Renewable Energy, Vol. 31, PP.1183-1202.
- Al-Nassar, W., Alhajraf, S., Al-Enizi, A., Al-Awadhi, L., 2005, **Potential Wind Power Generation in the State of Kuwait**, Renewable Energy, Vol. 30, PP. 2149-2161.
- Bekele, G. & Palm, B., 2009, **Wind Energy Potential Assessment at Four Typical Locations in Ethiopia**, Applied Energy, Vol. 86, PP. 388-396.
- Belu, R. & Koracin, D., 2009, **Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Western Nevada**, Renewable Energy, Vol. 34, PP. 2246-2251.
- Elamouria, M. & Ben- Amara, F., 2008, **Wind Energy Potential in Tunisia**, Renewable Energy, Vol. 33, PP. 758–768.
- Eskina, N., Artar, H., Tolun, S., 2008, **Wind Energy Potential of Gokceada Island in Turkey**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 12, PP. 839-851.
- Haghparsat Kashani, A., Kabi Nejadian, F., Faghfori, N., Lari, H., 2005, **Analysis of Wind Power Energy at West-North Area of Iran**, 20<sup>th</sup> International Conference of Electric Company, Tehran.
- Ilinca, A., McCarthy, E., Chaumel, J.L. and Retiveau, J.L., 2003, **Wind Potential Assessment of Quebec Province**, Renewable Energy, Vol. 28, PP. 1881-1897.
- Jahangiri, Z., Rahimzadeh, F., Kamali, Gh., 2005, **Calculation of Wind Energy with Using of Two Parameters Weibull Distribution**, Journal of Geographical Research, No. 76, PP.151-170.
- Jewer, P., Iqbal, M.T., Khan, M.J., 2005, **Wind Energy Resource Map of Labrador**, Renewable Energy, Vol. 30, PP. 989-1004.
- Kamau, J.N. , & et al., 2010, **6 Years of Wind Data for Marsabit, Kenya Average over 14 m.s at 100 m Hub Height; An Analysis of the Wind Energy Potential**, Renewable Energy, Vol. 35, PP. 1298-1302.
- Kavak Akpınar, E., & Akpınar, S., 2005, **An assessment on Seasonal Analysis of Wind Energy Characteristics and Wind Turbine Characteristics**, Energy Conversion and Management, No. 46, PP. 1848-1867.
- Li, M., & Li, X., 2005, **Investigation of Wind Characteristics and Assessment of Wind Energy Potential for Waterloo Region, Canada**, Energy Conversion and Management, No. 46, PP. 3014-3033.
- Lu, L., & Yang, H., Burnett, J., 2002, **Investigation on Wind Power Potential on Hong Kong Islands-an Analysis of Wind Power and Wind Turbine Characteristics**, Renewable Energy, Vol. 27, PP. 1–12.

- Mostafaeipoura, A., & Abarghoeeib, H., 2008, **Harnessing Wind Energy at Manjil Area Located in North of Iran**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.12, No. 6, PP. 1758-1766.
- Mustafa Omer, A., 2008, **On the Wind Energy Resources of Sudan**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 12, No. 8, PP. 2117-2139.
- Ramazan, K., & et al., 2004, **The Analysis of Wind Data and Wind Energy Potential in Kutahya, Turkey**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 8, PP. 277-288.
- Rehman, S., & Halawani, T.O., Mohandes, M., 2003, **Wind Power Cost Assessment at Twenty Locations in the Kingdom of Saudi Arabia**, Renewable Energy, Vol. 28, PP. 573-583.
- Salahi, B., 2004, **Evaluation of Wind Energy and Fitting of Actual Probabilities of Wind Occurrence with Using Weibull Probability distribution Function at Synoptic Station of Ardebil Province**, Journal of Geographical Research, No. 72, PP. 87-104.
- Taghavi, F., 1996, **Numerical Calculation of Wind Speed for Wind Power Plant Construction of Dizbad Neyshaboor**, 9<sup>th</sup> Iranian Geophysical Conference, Oct. 29-31, Tehran-Iran.
- Zhou, W., Yang, H., Fang, ZH., 2006, **Wind Power Potential and Characteristics Analysis of the Pearl River Delta Region, China**, Renewable Energy, No. 31, PP. 739 -753.

## *Evaluation Of Wind Energy Potential In Kermanshah Province*

**Mohammadi H.\***

Prof. in Climatology, University of Tehran

**Rostami Jalilian SH.**

Ph.D. Student in Climatology, University of Zahedan

**Taghavi F.**

Assistant Prof. in Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran

**Shamsipour A.A.**

Assistant Prof. in Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran

Received: 20/06/2010

Accepted: 10/06/2012

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

The rapid reduction of fossil fuels, global warming, green house effects, environmental pollution and falling of acid rains have increased the need of attention to renewable energies especially wind energy as a clear interminable and free energy source (Rahman et al, 2003). Therefore, in order to exploit the potential energy of wind, assessment in different areas should be considered. This study assessed the potential of wind energy at Kermanshah province. Wind energy potential based on statistics of three hours wind direction and speed of synoptic stations of province including Kermanshah, Eslamabade Gharb, Ravansar, Kangavar and Sarpolzahab, Was assessed from 1997 to 2006. For showing wind speed and direction of province stations, the Wplot software was used as well us the Weibull mathematical model for befitting of data possibilities distribution.

Distribution of wind speed is a feature of wind that contains important data not only for environmental and structural design, but also as the potential for wind energy and wind energy conservation system. During the past two decades many researchers have spent much time to develop an appropriate statistical model for the distribution of wind speed. Application of two-parameter Weibull probability distribution is one of the best ways to describe the distribution of fluctuating wind speed and has been used to investigate wind power in many different countries (Li, 2005). Al-Nassar et al (2005) investigated the potential for wind energy production in

\*E-mail: [hmmohammadi@yahoo.com](mailto:hmmohammadi@yahoo.com)

Kuwait. Belu and Koracin (2009) studied wind characteristics and wind energy potential in Western Nevada. Similar research has been done in Iran. Salahi et al (2004) evaluated wind energy using the probability distribution function Weibull for Ardebil province. Jehangiri et al (2005) calculated the wind energy with two parameters Weibull distribution for... province.

As part of the US Department of Energy's Federal Wind Energy Program, developed a wind power classification scheme. Areas are classified on the basis of wind power, ranging from 1 (lowest) to 7 (highest). Each class represents a range of wind power density (W/m<sup>2</sup>) or a range of equivalent mean wind speeds (m/s) at specified heights above ground level. Typically, grid blocks designated as Class 4 or greater are considered to be suitable for most wind turbine applications. Class 3 areas are suitable for wind energy development using taller wind turbine towers. Class 2 areas are considered marginal for wind power development and Class 1 areas are unsuitable (Ilinca et al., 2003).

In this research using Weibull probability distribution function, Kermanshah province was zoning for developing wind power potential

### Methodology

Weibull function is a case of Gama distribution. This distribution is usually used to plot the wind distributions for specific locations in the determined monthly and annual time period (Zhou et al., 2006). This distribution is defined as follows:

$$P(V) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right] \quad (1)$$

In this formula, (K) is a dimensionless parameter known as the "form factor" and (C) is a parameter called "scale factor" that the unit is meters per second (Ahmad-shata and Hanitsch, 2006).

After calculating the components of Weibull function, wind power density at a height of 10 meters can be obtained from the following relation:

$$P_{ave} = \frac{1}{2} \rho \cdot C^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right) \quad (2)$$

Where  $\Gamma$  is Gama function, C and K are parameters of Weibull function and  $\rho$  is density of air. Density of air at standard conditions of temperature and pressure is equal to 1.225 kg per cubic meter.

Studies have shown that the height of most commercial wind turbines is about 30 to 80 meters from ground level (Jahangiri et al, 1384). Here 2 and 50 meter values were selected. To estimate the wind speed, 1/7 power law model was used according to the following equation:

$$\frac{v(z)}{v(z_0)} = \left[\frac{z}{z_0}\right]^{\frac{1}{7}} \quad (3)$$

In this Equation z is height of desirable wind speed, V(z) is the wind speed that must be



estimate, and  $z_0$  and  $V(z_0)$  are reference Height and wind speed, respectively (Annaser et al., 2005).

### **Results and Discussion**

Weibull continuous probability values ( $P_w$ ) in Kermanshah station is between 2 and 6, the Eslamabad Gharb between 3 and 8, Kangvar and Sarpol zehab between 4 and 9, and Ravansar between 5 and 10.

The amount of annual wind power density at heights of 10, 20 and 50 meters, is the lowest and highest value belong to Kermanshah and Ravansar station respectively. Sarpol zehab, Islamabad Gharb and Kangavar Wether stations have higher amount of wind power respectively after Kermanshah. The value of annual potential wind energy at four named stations at the level of 10 meter is 254, 223, 214, 146 and 82 watt on square meter, respectively.

### **Conclusion**

In general, the results show that Ravansar, Kangavar and Sarpolzahab stations are suitable for using wind energy; EslamabadeGharb is suitable provided that high elevation wind turbines are used and Kermanshah station is known unsuitable for using wind energy.

**Keywords:** *Wind Power Density, Weibull Distribution, Power Law, Kermanshah Province.*