

فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۶، شماره پیاپی ۲۲، تابستان ۱۳۹۵

شاپای چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ - شاپای الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳

<http://jzpm.miau.ac.ir>

## بررسی وضعیت انرژی باد در استان خوزستان به منظور استفاده از توربین‌های بادی

محمود خسروی<sup>۱</sup>: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی- اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

محمد ابراهیمی: کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان و دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی،

دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

محمود بهروزی: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی- مخاطرات محیطی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۴      صص ۲۹-۴۲      پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۲۰

### چکیده

استفاده از توربین‌های بادی به‌عنوان مولد انرژی برق در مناطق بادخیز کشورهای مختلف، تبدیل به یک فرآیند کاملاً تجاری و اجتناب‌ناپذیر شده است. به این منظور، در این پژوهش سعی شده است تا وضعیت انرژی باد جهت استحصال انرژی از طریق نصب توربین‌های بادی در استان خوزستان بررسی گردد. روش تحقیق بر اساس استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استان و محاسبه میزان انرژی حاصله از باد با توجه به نصب توربین‌های بادی تجاری می‌باشد. داده‌های سه ساعته سرعت و جهت باد دوره آماری مشترک (۲۰۰۱-۲۰۱۰) برای ایستگاه‌های منتخب استان که در این پژوهش ایستگاه‌های بستان، دزفول، بهبهان، آبادان، مسجدسلیمان و اهواز می‌باشند از اداره کل هواشناسی خوزستان اخذ گردید. داده‌های منفصل باد با استفاده از تابع توزیع ویبول جایگزین شدند. چگالی توان باد سالانه و دیگر فرا سنج‌های انرژی باد در ترازهای ارتفاعی ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متر به دست آمد و برای برآورد سرعت باد در ارتفاع بالاتر از ۱۰ متر، از مدل قانون توان یک‌هفتم استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد که در استان خوزستان، ایستگاه‌های دزفول، اهواز و آبادان به ترتیب با توان تولید ۸۲۴، ۲۳۲ و ۲۲۵ کیلووات نیرو برای نصب و راه‌اندازی توربین‌های مزارع بادی تجاری مناسب هستند. با توجه به نصب توربین‌های بادی تجاری در ارتفاع ۵۰ متری و سطح روتور ۸۰ متری و همچنین با در نظر گرفتن ضریب قدرت بیشترین، توان تولید انرژی توربین، انرژی الکتریکی، ایستگاه‌های دزفول، اهواز و آبادان به ترتیب با توان تولید نیرو به میزان ۴۴۳، ۱۲۵ و ۱۲۱ کیلووات در ثانیه مستعد نصب توربین‌های بادی تجاری هستند.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی باد، توربین بادی، تابع توزیع ویبول، تولید برق، خوزستان.

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول: [Khosravi@Gep.usb.ac.ir](mailto:Khosravi@Gep.usb.ac.ir)، ۰۹۱۵۱۴۱۲۲۸۱

**بیان مسأله:**

در جهان هزاران توربین بادی در حال بهره‌برداری وجود دارد که ظرفیت تولیدی آنها به ۷۳۹۰۴ مگاوات می‌رسد و در این میان اتحادیه اروپا ۶۵٪ از کل توان بادی جهان را تولید می‌کند. تولید برق بادی در میان دیگر روش‌های تولید انرژی الکتریکی دارای بیشتری شتاب رشد در قرن ۲۱ بوده است به طوری که تولید توان بادی جهان در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ چهار برابر شده است (تارنمای گروه مهندسی توربین‌های بادی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۴). این در حالی است که در ایران با توجه به وجود مناطق بادخیز، طراحی و ساخت آسیاب‌های بادی از ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد رایج بوده و هم‌اکنون نیز بستر مناسبی جهت گسترش بهره‌برداری از توربین‌های بادی فراهم هست. مولدهای برق بادی می‌تواند جایگزین مناسبی برای نیروگاه‌های گازی و بخاری باشند (وزارت نیرو، ۱۳۹۳). میزان ظرفیت نصب‌شده برق بادی تا اوایل سال ۱۳۸۷ بالغ بر ۱۲۸ مگاوات بوده است که تولید ۳۰۷ گیگاوات ساعت برق را طی دوره ۱۳۷۴-۱۳۸۳ را به همراه داشته است. این میزان برق تولیدی سبب صرفه‌جویی ۴۲۵ هزار بشکه معادل نفت در بخش نیروگاهی ایران شده و در جای خود موجب کاهش یک میلیون تن انواع آلاینده‌های زیست‌محیطی در فاصله ۱۳۷۴-۱۳۸۳ شده است (شعربافیان، ۱۳۸۷: ۱۱۳). مطالب ارائه شده تماماً گویای اهمیت این انرژی تجدید پذیر در طبیعت می‌باشد که به‌سادگی و صرف از سرمایه‌گذاری اولیه، بدون هیچ هزینه‌ای قابل استفاده است (تیزپر، ۱۳۹۲: ۶).

با توجه به این پتانسیل طبیعت، وزارت نیرو در ایران، نصب پنج هزار مگاوات نیروگاه تجدید پذیر در قانون برنامه پنجم توسعه را هدف‌گذاری کرده است که از این میزان ۴۵۰۰ مگاوات آن را برای توسعه باد در نظر گرفته است (وزارت نیرو، ۱۳۹۳). لذا برای دستیابی به چنین هدف مهمی در جهت توسعه و آبادانی کشور نیاز به مطالعات دقیق و صحیح هست. گزارشی که از وزارت نیرو منتشر شده سهم نیروگاه‌های برق‌آبی از ابتدای سال ۱۳۹۳ تا پایان دی‌ماه در استان خوزستان برابر با ۳۶ درصد و نیروگاه‌های حرارتی ۶۴ درصد کل انرژی تولیدی بوده است که نیروگاه‌های حرارتی در مقایسه با مدت مشابه سال ۱۳۹۲، ۲۳ درصد افزایش تولید داشته‌اند (وزارت نیرو، ۱۳۹۳). این در حالی است که انرژی بادی در این پیشرفت‌ها هیچ جایگاهی نداشته است. با توجه به شرایط بیان‌شده، ضروری است به بررسی پتانسیل انرژی باد در استان خوزستان پرداخته شود. این پژوهش به دنبال پاسخ به سؤالات اساسی زیر می‌باشد:

- آیا استان خوزستان با توجه به توپوگرافی و بادخیز بودن، می‌تواند گزینه مناسبی برای بررسی این نوع از انرژی پاک باشد؟
- کدام مناطق استان با توجه به نوع توربین نصب‌شده و انرژی باد توانایی بیشتری برای تولید برق دارند؟

**پیشینه تحقیق:**

طی دو دهه‌ی اخیر بسیاری از محققین به بررسی تولید برق از انرژی بادی در نقاط مختلف جهان پرداخته‌اند. به‌گزیده‌ای از پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده است، اشاره می‌شود:

مجیب و همکاران (۱۳۸۲) با توجه به خصوصیات مناطق مختلف استان کردستان از نظر وضعیت باد، سرعت طراحی باد برای طراحی یک توربین باد به قدرت ۱۰ کیلووات را برای تولید برق تعیین کردند. هم‌چنین با استفاده از تئوری مومنتم گردابه‌ای گلاورت اصلاح‌شده، روش طراحی توربین بادی بررسی و بر اساس آن یک برنامه کامپیوتری تدوین نمودند و سپس ضرایب نیروی محوری، گشتاور و توان یک روتور در شرایط نقطه طرح و خارج از آن را محاسبه کردند. مطالعات آماری باد نشان داد که شهرهای بیجار، زرینه اوباتو، قروه، سقز و مریوان به ترتیب بیشترین پتانسیل انرژی باد را دارند و از نظر استفاده از انرژی باد مناطق بیجار و قروه برای نصب توربین باد مناسب می‌باشند. صلاحی (۱۳۸۳) پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل را با استفاده از داده‌های بلندمدت سه ساعته سمت و سرعت باد و تابع چگالی احتمال ویبول مورد بررسی قرار داد. نتایج پژوهش وی نشان داد که ایستگاه سینوپتیک اردبیل مکانی مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی باد می‌باشد. امیدوار و همکاران (۱۳۹۱) مشخصه‌های نیروی باد برای تولید انرژی در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد را برآورد نمودند و نشان دادند که استفاده از انرژی باد در ایستگاه همدید شهرستان یزد به شرط استفاده از توربین‌هایی با سرعت شروع

به کار ۲/۳۲ متر بر ثانیه و با ارتفاع محور ۵۰ متره بالا، برای تولید انرژی مقرون به صرفه می‌باشد. تیزپر و همکاران (۱۳۹۲) منابع باد منطقه میل نادر را با استفاده از تحلیل آماری داده‌های باد جهت تعیین چگالی توان بادی و بررسی امکان نصب نیروگاه بادی مورد ارزیابی قراردادند و نشان دادند که چگالی توان بادی در منطقه موردنظر برابر با  $692 W/m^2$  بوده و بهترین ارتفاع جهت نصب توربین بادی برابر با ۸۰ متر است.

جلال‌وند و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی پتانسیل‌سنجی امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه بروجرد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در منطقه بروجرد، برای بهره‌برداری از انرژی باد در تمام سال، به حداقل ۳۹ توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی با ارتفاع ۹۹ متر نیاز است. محققین داخلی دیگری نیز در این زمینه مطالعاتی انجام داده‌اند که پژوهش‌های آنان قابل تأمل می‌باشد. انتظاری و همکاران (۱۳۹۱) در شهرستان سبزواری، مینائیان و همکاران (۱۳۹۲) در استان سیستان و بلوچستان و محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در استان کرمانشاه، مطالعاتی را در زمینه انرژی باد انجام داده‌اند.

در سطح بین‌المللی نیز محققین مطالعات خود را در این زمینه بسط داده‌اند. بیلیر و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از داده‌های یک‌ساله (بین ژوئن سال ۲۰۱۲ تا ژوئن سال ۲۰۱۳) ایستگاه اندازه‌گیری هواشناسی دانشگاه آتلیم استانبول به تجزیه و تحلیل چگالی توان سرعت باد فصلی و سالانه سه ارتفاع ۲۰، ۳۰ و ۵۰ متری سطح زمین بر اساس تابع توزیع ویبول پرداختند. نتیجه پژوهش نشان داد که بالاترین مقدار قدرت و چگالی باد در فصل زمستان و کمترین در فصل پاییز می‌باشد. همچنین بهترین جت نصب توربین به سمت بادهای جنوب شرقی است. (Bilir et al, 2015:10) داهی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به تجزیه و تحلیل قدرت بالقوه سرعت باد در صحرای الجزایر با استفاده از تابع توزیع ویبول پرداختند. آنها شبیه‌سازی قدرت انرژی باد را برای داده‌های سرعت باد در ۱۰ متری و در یک مدت‌زمان ۸۷۶۰ ساعته (یک سال) انجام دادند (Dahbi et al 2013:179). بروسکا در سال ۲۰۱۴ با استفاده از روش‌های آماری جدید به ارزیابی سیستم توربین پرانرژی و اقتصادی اقدام کرد. در این پژوهش برای تحلیل اثر سرعت باد در میزان تولید انرژی و سودآوری از تابع توزیع ویبول بهره گرفته است (Brusca, 2014:180). آزاد در سال ۲۰۱۴ توزیع ویبول را برای تجزیه و تحلیل انرژی باد در جزیره های‌تای بنگلادش مورد استفاده قرار داد. آزاد بیان کرد که توزیع ویبول می‌تواند در توصیف داده‌های باد بهترین روش باشد. وی با بیان اینکه در منطقه مورد مطالعه ۵۸ درصد سرعت بادهای بالای ۶ متر بر ثانیه است، این ناحیه می‌تواند برای به کارگیری توربین‌های کوچک مناسب باشد (Azad et al, 2014:275). ایندهوماسی و همکاران (۲۰۱۴) پارامترهای توزیع ویبول را برای محاسبه سرعت باد در کوماری هندوستان استفاده کردند. در این پژوهش از آمار ۱۸ ساله دو ایستگاه در منطقه کوماری هندوستان استفاده گردید (Indhumathy et al, 2014: 8340). بیلو و کوراسین (۲۰۰۹)، ویژگی‌های باد و پتانسیل انرژی باد در نوادای غربی را با استفاده از داده‌های باد، دما و فشار در دوره ۴ ساله، برای چهار مکان در ارتفاع بالای ۵۰ متر مطالعه کردند (Belu and Koracin, 2009: 2246) بیکل و پالم (۲۰۰۹) به بررسی پتانسیل انرژی باد در چهار منطقه اتیوپی در ارتفاع ۱۰ متری پرداخته‌اند (Bekele and Palm, 2009: 388). اسکینا و همکاران (۲۰۰۸) پتانسیل انرژی باد جزیره گاکسیا را در شمال دریای اژه در ترکیه را با استفاده از داده‌های گردآوری شده چهار مکان در ارتفاع ۱۰ و ۳۰ متری، گردآوری و برای ارتفاع ۵۰ متر برون‌یابی کردند (Eskina et al, 2008: 839). لی (۲۰۰۵) به بررسی ویژگی‌ها و برآورد پتانسیل انرژی باد در منطقه واترلو کانادا بر پایه‌ی داده‌های ارتفاع ۱۰ متری در یک دوره ۵ ساله پرداخت (Li, 2005: 2014).

#### مواد و روش تحقیق:

**داده‌های پژوهش:** در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت انرژی باد در استان خوزستان، دوره آماری مشترک ۱۰ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰) برای ۶ ایستگاه سینوپتیک نامبرده انتخاب شد. آمار سرعت بادهای سه‌ساعته در کل دوره آماری ۱۰ ساله ایستگاه‌های همدید مورد بررسی، از اداره هواشناسی استان خوزستان، دریافت گردید. در این پژوهش ۱۵۷۲۰۰۰ داده مورد استفاده و بررسی قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در دوره زمانی بیان شده دارای خلع آماری نبوده و نیازی به بازسازی

نداشته است. سپس داده‌های سرعت باد که در دفاتر همدیدی برحسب نات درج شده بودند، برای استفاده به متر بر ثانیه تبدیل شدند. (۱ نات = ۵۱۴ متر بر ثانیه).

**روش بررسی داده‌های باد:** سرعت باد در محاسبات انرژی باد، به‌عنوان یک متغیر تصادفی پیوسته موردنظر است که می‌تواند تمام مقادیر واقع در یک فاصله را اختیار کند (Karsli et al, 2003:826). در عمل، برداشت‌های سرعت باد در ایستگاه‌های همدیدی با فواصل زمانی سه‌ساعته انجام می‌پذیرد که تابع چنین احتمالی، یک تابع گسسته است. بنابراین بایستی نمودار توزیع فراوانی سرعت‌های باد مکان‌های مورد مطالعه را با یک تابع توزیع پیوسته جایگزین نمود (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۵۳). چون میزان باد دائماً تغییر می‌کند، میزان متوسط مشخص شده برای یک منطقه خاص صرفاً نمی‌تواند میزان تولید توربین بادی نصب‌شده در آن منطقه را مشخص کند. برای مشخص کردن فراوانی سرعت باد در یک منطقه معمولاً از یک ضریب توزیع در اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به منطقه استفاده می‌کنند. برای تعیین پتانسیل انرژی باد در توربین‌های بادی جهت تولید برق و تخمین انرژی خروجی از آن، از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول که انطباق خوبی با داده‌های سرعت باد، به-خصوص در محدوده سرعت توربین‌های بادی نشان می‌دهد، استفاده می‌شود (Chang, 2011:272)

### تابع توزیع ویبول<sup>۲</sup> و محاسبه پارامترهای آن:

توابع توزیع چگالی احتمال که در انرژی باد تأیید شده و کاربرد زیادی دارند، توابع توزیع احتمال ویبول و رایله<sup>۳</sup> می‌باشند (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۹). تابع ویبول حالت خاصی از توزیع گاما می‌باشد. این تابع نسبت به توابع دیگر نظیر رایله از انعطاف‌پذیری بیش‌تری برخوردار بوده و به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

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

در این رابطه،  $(K)$  یک پارامتر بدون بعد مربوط به «فاکتور شکل»<sup>۴</sup> است و  $(C)$  پارامتری به‌عنوان «فاکتور مقیاس»<sup>۵</sup> است که به واحد متر بر ثانیه محاسبه می‌شود. روش‌های مختلفی جهت محاسبه پارامترهای مقیاس و شکل تابع ویبول وجود دارد که یکی از این روش‌ها "روش برازش حداقل مربعات"<sup>۶</sup> است که به کمک تابع احتمال تجمعی به دست می‌آید (صلاحی، ۱۳۸۳: ۸۸). لازم است که با استفاده از معادله رگرسیون، رابطه خطی مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن مشخص شود:

$$y = ax + b \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله،  $(a)$  به‌عنوان ضریب زاویه خط و  $b$  عرض تقاطع با محور  $y$  ها است. رابطه خطی بین  $x_i$  و  $y_i$  برای تعیین مقادیر  $a$  و  $b$  به‌صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$Y = \ln\{-\ln[1-P(v)]\} \quad X = \ln(vi) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)،  $v_i$  میانه طبقات سرعت باد و  $p(v)$  درصد فراوانی تجمعی سرعت‌های باد هر طبقه است. با مشخص شدن مقادیر  $x$  و  $y$ ، مقادیر  $a$  و  $b$  از رابطه رگرسیون قابل محاسبه هستند (صلاحی، ۱۳۸۳: ۸۸). با مشخص شدن  $a$  و  $b$ ، مقادیر  $k$  و  $c$  از رابطه (۴) قابل محاسبه هستند:

$$C = \exp\left[\frac{-B}{A}\right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

A=K

پس از محاسبه مقادیر  $x_i$  و  $y_i$ ، می‌توان خط  $y = ax + b$  را که در واقع خطی است با نزدیک‌ترین فاصله نسبت به نقاط  $x_i$  و  $y_i$  به منظور تعیین مقادیر  $a$  و  $b$  ترسیم کرد. پس از محاسبه پارامترهای  $a$  و  $b$ ، پارامترهای  $(K)$  که یک پارامتر بدون

<sup>1</sup> - Knot

<sup>2</sup> - Weibull Probability Distribution Function

<sup>3</sup> - Rayleigh

<sup>4</sup> - Form factor

<sup>5</sup> - Scale factor

<sup>6</sup> - Least-square

بعد مربوط به «فاکتور شکل»<sup>۱</sup> است و ( $C$ ) پارامتری به‌عنوان (فاکتور مقیاس)<sup>۲</sup> قابل محاسبه می‌باشند (Rocha et al, 2012: 395). پس از محاسبه فرا سنج‌های شکل و مقیاس تابع ویبول ( $C$  و  $k$ )، مقادیر تابع احتمال ویبول ( $PW$ ) محاسبه شد. همچنین، مقادیر محاسبه‌شده برای وقوع سرعت‌های باد ایستگاه‌های همدیدی منتخب استان خوزستان از طریق تابع پیوسته ویبول و احتمال مشاهده شده (واقعی) رخداد سرعت‌های باد به‌منظور نیکوئی برآزش مجموعه داده‌ها به توزیع داده‌شده، با آزمون «کولموگروف-اسمیرنوف» سنجیده شد. با توجه به اینکه تعداد داده‌های توزیع ویبول که در این مطالعه برای تمامی ایستگاه‌ها کمتر از ۵۰ می‌باشد، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد و مشخص شد که می‌توان به جایگزینی داده‌های گسسته ویبول به‌جای داده‌های منفصل سرعت باد ایستگاه اعتماد نمود و استفاده کرد. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف از طریق رابطه شماره (۵) به دست می‌آید (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۲۴۸).

$$D = \max|F_n(x) - F(x)| \quad \text{رابطه (۵)}$$

$F_n(x)$  = تابع توزیع تجربی و  $F(x)$  = توزیع نظری می‌باشد.

فرضیات آزمون کولموگروف-اسمیرنوف عبارت‌اند از:

$H_0$  = داده‌ها نرمال است و  $H_1$  = داده‌ها نرمال نیست.

پس از محاسبه مقادیر فرا سنج‌های شکل و مقیاس تابع ویبول، وضعیت ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان از نظر پتانسیل انرژی باد ارزیابی شد. یکی از مهم‌ترین محاسباتی که در رابطه با ارزیابی پتانسیل انرژی باد باید صورت گیرد، محاسبه چگالی انرژی باد است. میانگین چگالی انرژی باد در یک مکان بر اساس تابع چگالی احتمال را می‌توان از طریق رابطه (۶) به دست آورد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۵۹).

$$= \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma \left[ \frac{K+3}{K} \right] \frac{P}{A} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن:  $\Gamma$  = تابع معروف گاما،  $C$  و  $K$  پارامترهای تابع ویبول و  $P$  چگالی هواست.

مقدار چگالی هوا در شرایط متعارف دما و فشار، برابر ۱/۲۲۵ کیلوگرم در مترمکعب است. یکی از روش‌های محاسبه چگالی هوا به‌صورت رابطه (۷) قابل محاسبه می‌باشد (جهانگیری و همکاران، ۱۳۸۴، ۱۵۹).

$$= 1/225 - (1.194 * 10^{-4}) * Z \rho \quad \text{رابطه (۷)}$$

که  $Z$  ارتفاع ایستگاه در سطح تراز دریا برحسب متر می‌باشد. با توجه به اینکه هدف از این پژوهش اندازه‌گیری این پارامتر در ارتفاعی می‌باشد که مورد استفاده توربین‌های بادی کشاورزی (با ارتفاع ۲۰ متری) و توربین‌های تجاری تولید برق (ارتفاع ۵۰ متری) قرار می‌گیرد (شیخ داوودی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۴)، مقدار چگالی هوا در این سه ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری اندازه‌گیری شد. برای برآورد سرعت باد از مدل توان یک‌هفتم نیرو استفاده شد که از رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$= \frac{Z_2 C_2}{Z_1 C_1} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه،  $C_1$  و  $C_2$  فرا سنج‌های مقیاس تابع ویبول، به ترتیب در ارتفاع‌های  $Z_1$  و  $Z_2$  هستند. حتی اگر فرا سنج شکل ( $K$ ) تابع ویبول با ارتفاع تغییر کند، این تغییر جزئی بوده و در تجزیه و تحلیل پتانسیل انرژی باد، فرا سنج  $K$  مستقل از ارتفاع پنداشته می‌شود (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۶۱).

محتتمل ترین سرعت باد، یا سرعت بیش‌ترین احتمال وقوع باد که با علامت  $V_{MP}$  نشان داده می‌شود، از رابطه (۹) قابل محاسبه است.

$$V_{MP} = C \left[ \frac{K-1}{K} \right]^{1/K} \quad \text{رابطه (۹)}$$

<sup>1</sup> - Form factor

<sup>2</sup> - Scale factor

سرعت نامی باد، یا سرعت بادی که حداکثر انرژی الکتریکی را در خروجی ایجاد می‌کند، در واقع سرعتی است که بیش‌ترین انرژی را تولید می‌کند. این سرعت که با علامت  $V_{MAXE}$  نشان داده می‌شود، یکی از فرا سنج‌های مهم در طراحی توربین‌های بادی است که از رابطه (۱۰) به دست می‌آید (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۹).

$$V_{MAXE} = C \left[ 1 + \frac{2}{K} \right]^{1/K} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

میانگین سرعت باد ( $V$ ) از طریق رابطه (۱۱) قابل محاسبه‌اند (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۶۱).

$$V = \left[ \frac{K+1}{K} \right] \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

**قدرت نامی باد،** انرژی بادی که از مساحت ( $A$ ) پره توربین می‌گذرد با توان سوم باد نسبت مستقیم دارد و از رابطه (۱۲) قابل محاسبه است.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$P$  = قدرت باد (وات)،  $\rho$  = وزن مخصوص هوا (چگالی یا دانسیته)،  $A$  = سطح دایره‌ای شکل جارو شده توسط پره‌های روتور<sup>۱</sup> و  $V$  = سرعت نسبی باد که حاصل از برآیند دو سرعت واقعی در محیط و سرعت روتور می‌باشد (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸).

### قدرت توربین بادی :

اگر بتوان سرعت روتور را متناسب با سرعت باد کنترل نمود، همواره می‌توان از ضریب قدرت ماکزیمم برخوردار بود. بر اساس تئوری بتز<sup>۲</sup>، برای اخذ حداکثر انرژی ممکن، روتور توربین بادی باید به گونه‌ای تعبیه گردد که سرعت جریان در پائین دست روتور (پشت روتور) ۱٫۳ سرعت بالا دست (مقابل روتور) باشد. بدین ترتیب مقدار ضریب قدرت ماکزیمم در بهترین توربین‌ها ۰٫۵۹۳ است. یعنی اینکه توربین فقط می‌تواند ۵۹/۲۵٪ از انرژی باد را به انرژی مکانیکی تبدیل نماید (Bianchi et al, 2007:16). قدرت توربین بادی با استفاده از رابطه شماره (۱۳) به دست آمده است.

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$C_p$  = ضریب قدرت نامیده می‌شود که طبق تعریف، درصدی از انرژی باد است که به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود.

$$C_p \text{ max: } 0.593$$

سایر پارامترهای این رابطه، همانند رابطه قدرت باد هست.

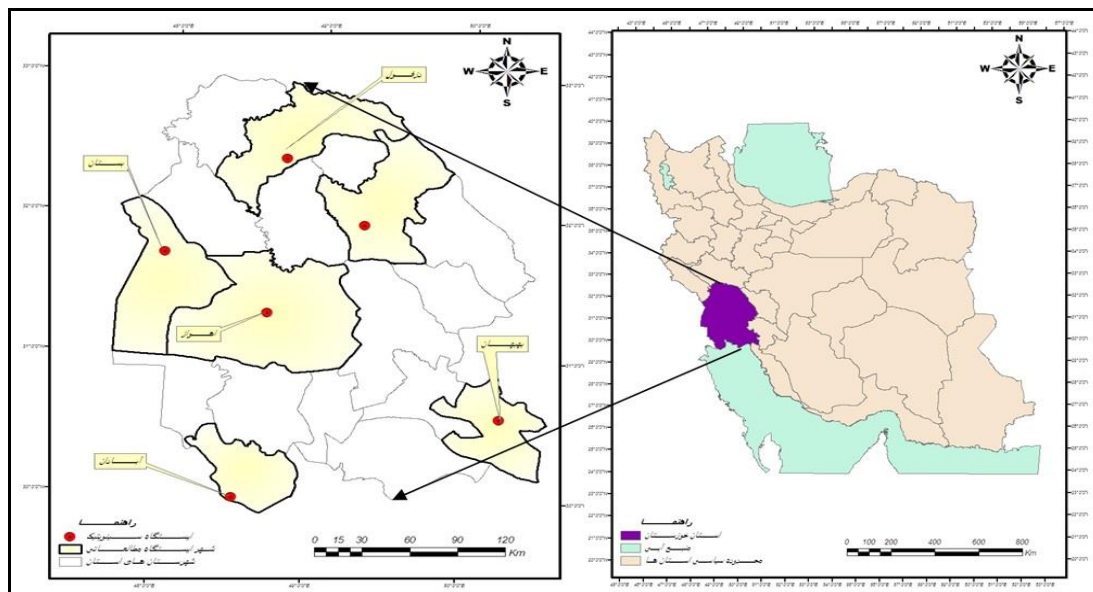
در این پژوهش، مقدار انرژی باد برای سه نوع نیروگاه‌ها (توربین) محاسبه شده است که از نظر ظرفیت به سه گروه نیروگاه‌های کوچک، متوسط و بزرگ (مگاواتی) تقسیم‌بندی می‌شوند. مشخصات این نیروگاه‌ها از سازمان انرژی‌های نو ایران دریافت شده است (تارنامای سانا<sup>۳</sup>: ۱۳۹۴).

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان خوزستان شامل: اهواز، آبادان، دزفول، بستان، بهبهان و مسجدسلیمان هست. مختصات جغرافیایی این منطقه و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> روتور (Router): به مجموعه تیغه‌ها و توبی وسط توربین بادی روتور گفته می‌شود.

<sup>۲</sup> - betz

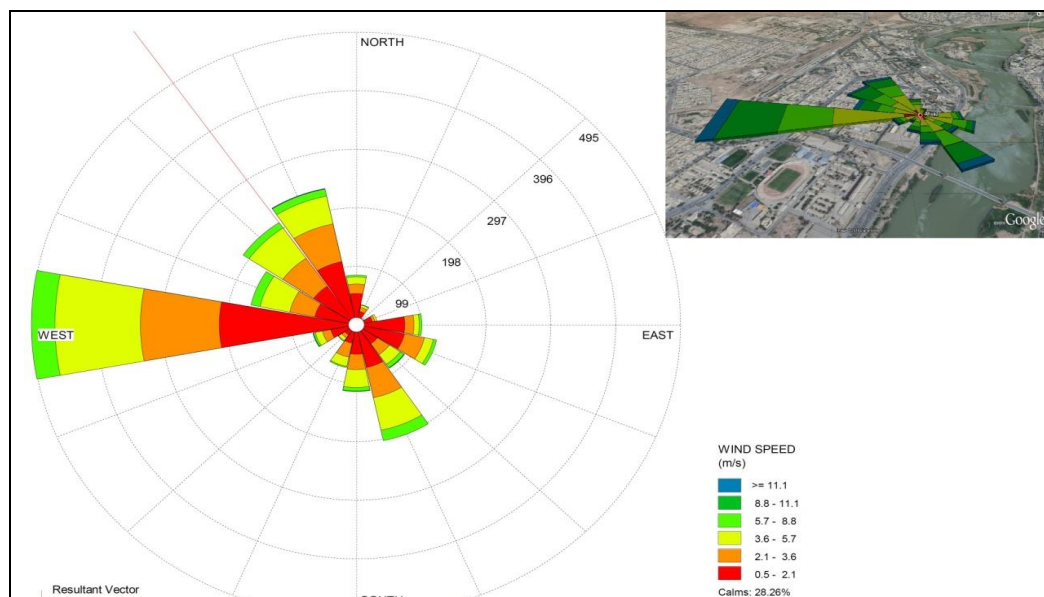
<sup>۳</sup> www.suna.org.ir



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان

#### یافته‌های تحقیق:

گلباد ایستگاه سینوپتیک اهواز به عنوان نماینده برای توصیف وضعیت باد در استان خوزستان، در شکل شماره (۲) ارائه شده است. در ایستگاه اهواز ۲۸/۲۶ درصد بادها آرام و ۷۱/۷۴ درصد از بادها دارای سمت و سرعت می‌باشند. باد غالب (۱۸ درصد از کل بادها) ایستگاه اهواز غربی (W) می‌باشد. به طور کلی بیشترین جهت وزش باد در منطقه بادهای غربی و شمال شرقی است.



شکل ۲- گلباد ایستگاه سینوپتیک اهواز

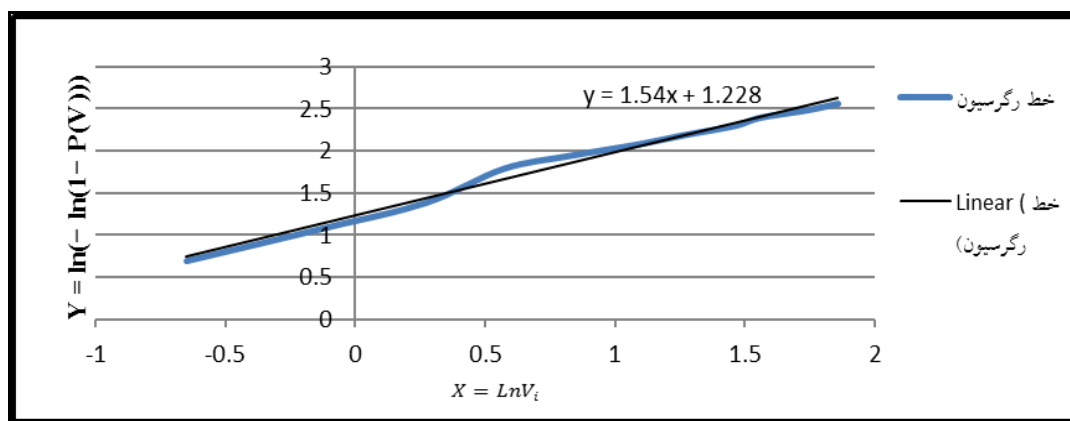
به منظور برآورد مقادیر پارامتر شکل ( $k$ ) و مقیاس ( $C$ ) توزیع ویبول برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، از روابط (۱ تا ۴) استفاده شد. محاسبات حاصل از روابط مزبور به صورت گرافیکی (شکل‌های ۳ و ۴) و همچنین جداول (۱ و ۲) به عنوان نمونه برای ایستگاه اهواز ارائه شده است. نتایج حاصل حاکی از این است که پارامتر شکل ( $k$ ) برای ایستگاه‌های آبادان، مسجدسلیمان،

بهبهان، دزفول، بستان و اهواز به ترتیب ۱/۷۷، ۱/۲۲، ۱/۱۴، ۲/۲۴، ۱/۳۶ و ۱/۵۵ برآورد شد. هم‌چنین پارامتر مقیاس (C) برای ارتفاعات ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری نیز از طریق قانون توان یک هفتم محاسبه و در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

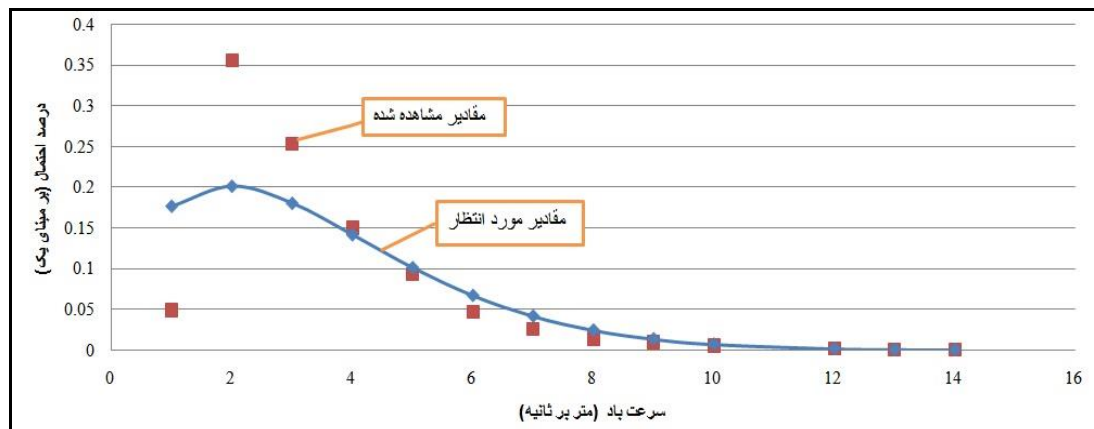
جدول ۱- مقدار عامل شکل (K) و مقیاس شکل (C) به متر بر ثانیه برای ایستگاه‌های استان خوزستان

شهر	آبادان	مسجد سلیمان	بهبهان	دزفول	بستان	اهواز
C ۱۰ متری	۳/۵۵	۲/۶۹	۲/۴۸	۵/۷۸	۳/۱۵	۳/۷۴
C ۲۰ متری	۳/۹۱	۲/۹۶	۲/۷۴	۶/۳۸	۳/۴۸	۴/۱۲
C ۵۰ متری	۴/۴۷	۳/۳۸	۳/۱۳	۷/۲۸	۳/۹۷	۴/۷۰
K	۱/۷۷	۱/۲۲	۱/۱۴	۲/۲۴	۱/۳۶	۱/۵۵

منبع: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۴.



شکل ۳- رگرسیون خطی محاسبه پارامترهای مقیاس و شکل تابع ویبول ایستگاه اهواز



شکل ۴- برازش مقادیر احتمال مشاهده شده رخداد سرعت‌های باد با استفاده از مدل ویبول در ایستگاه اهواز

جدول ۲- مقدار فراوانی، درصد فراوانی و احتمال ویبول برای سرعت‌های مختلف باد ایستگاه اهواز

سرعت باد به متر بر ثانیه	۱	۱	۳	۴	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۵	۲۰
فراوانی	۳۶۵	۴۰	۱۵۱۸	۸۰	۲۶۸	۱۴۴	۶۲	۲۵	۷	۷	۱	۱	۱
درصد فراوانی	۱۱/۳	۱/۲	۴۷/۳	۲۵/۱	۸/۲	۳/۵	۱/۹	۰/۸	۰/۲	۰/۲	۰	۰	۰
مقدار ویبول	۰/۳۸۳۳۷۶	۰/۳۰۴۵۴۱	۰/۱۴۶۸۱۳	۰/۰۸۱۷۹۲۱	۰/۰۴۳۶۶۵	۰/۰۲۰۳۹۶	۰/۰۱۲۰۵۸	۰/۰۰۷۰۷۸	۰/۰۰۴۱۱۱	۰/۰۰۲۳۶۵	۰/۰۰۱۳۴۸	۰/۰۰۰۳۳۹	۰/۰۰۰۳۳۷۶

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۴.



به منظور مناسبت توزیع برای محاسبه انرژی، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد و نتایج حاصل از این آزمون نشان می‌دهد که در سطح ۹۵ درصد  $x^2=0.95$  ( $a=0.05$ ) توزیع ویبول برازش مناسبی بر داده‌های سرعت باد دارد و می‌توان با استفاده از این نوع توزیع ریاضی و محاسبه پارامترهای آن، انرژی باد را در منطقه مورد آزمون قرار داد. (جدول شماره ۳).

جدول ۳- آزمون کلموگروف-اسمیرنوف

شهر	بستان	بهبهان	مسجدسلیمان	آبادان	دزفول	اهواز
تعداد داده‌ها (n)	۱۵	۱۲	۱۵	۱۵	۱۵	۱۳
Kolmogorov-Smirnov	۰/۰۶۹	۰/۴۶۲	۰/۲۴۲	۰/۶۹۵	۰/۲۱۲	۰/۳۴۹
وضعیت فرضیه صفر	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۴.

بهترین راه برای ارزیابی منبع باد موجود در یک منطقه، محاسبه مقادیر چگالی توان باد است که نشان می‌دهد چه مقدار انرژی در آن منطقه برای تبدیل به الکتریسیته توسط توربین بادی وجود دارد (جهانگیری و همکاران، ۱۳۸۴:۱۵۹). نتایج حاصل از روابط (۶ و ۷) که در جدول شماره (۴) ارائه شده، نشان داد که در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، ایستگاه دزفول با ۳۵۵ و ایستگاه آبادان با ۲۴۹ وات بر مترمربع بیشترین میزان چگالی باد را دارا می‌باشند و ایستگاه‌های بستان و بهبهان هم به ترتیب با میزان ۳۲ و ۵۴ وات بر مترمربع کمترین میزان چگالی را دارند. با توجه به اینکه ارتفاع محور بیشتر توربین‌های بادی تجاری، حدود ۳۰ تا ۸۰ متر از سطح زمین است، در این پژوهش، ۲ ارتفاع ۵۰ متر و ۲۰ متر، به‌منظور بررسی انرژی باد انتخاب شدند و میزان سرعت باد در این ارتفاعات، با استفاده از قانون توان یک‌هفتم (رابطه ۸) محاسبه شد. نتایج حاصل از رابطه (۶) و روابط محاسبه چگالی باد نشان می‌دهد که در ارتفاع ۲۰ متری از سطح زمین، میزان چگالی باد ایستگاه دزفول ۴۷۷ وات بر مترمربع برآورد گردید که بیشترین میزان را داراست و در ارتفاع ۵۰ متری که مناسب برای توربین‌های بادی به‌منظور تولید نیرو می‌باشد، ایستگاه دزفول با ۷۰۷/۶۴ وات بر مترمربع بیشترین چگالی باد را دارد.

جدول ۴- چگالی انرژی باد ارتفاعات مختلف ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

شهر	چگالی انرژی باد ۱۰ متری	چگالی انرژی باد ۲۰ متری	چگالی انرژی باد ۵۰ متری
اهواز	۶۰/۵۶	۸۱/۵۱	۱۲۰/۷۱
بستان	۳۲/۷۱	۴۴/۰۲	۶۵/۱۹
دزفول	۳۵۵/۰۲	۴۷۷/۸۲	۷۰۷/۶۴
بهبهان	۵۴/۳۹	۷۳/۲۰	۱۰۸/۴۲
مسجدسلیمان	۶۰/۴۳	۸۱/۳۳	۱۲۰/۴۵
آبادان	۲۴۹/۰۹	۳۳۵/۲۶	۴۹۵/۹۱

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۴.

در ادامه، پس از محاسبات، نتایج محتمل‌ترین سرعت باد، سرعت نامی باد، میانگین سرعت باد حاصل از روابط ۹، ۱۰ و ۱۱ ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان در جداول شماره (۵، ۶ و ۷) ارائه شده است.

جدول ۵- محتمل ترین سرعت باد در ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

شهر	محتمل ترین سرعت باد در ۱۰ متری	محتمل ترین سرعت باد در ۲۰ متری	محتمل ترین سرعت باد در ۵۰ متری
اهواز	۱/۹۱۱	۲/۱۰	۲/۴۰
بستان	۱/۱۹۶	۱/۳۲	۱/۵۰
دزفول	۴/۴۳۹	۴/۹۰	۵/۵۸
بهبهان	۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۵۱
مسجدسلیمان	۰/۶۴	۰/۷۱	۰/۸۱
آبادان	۲/۲۱	۲/۴۴	۲/۷۹

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۴.

جدول ۶- سرعت نامی باد در ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

شهر	سرعت نامی باد در ۱۰ متری	سرعت نامی باد در ۲۰ متری	سرعت نامی باد در ۵۰ متری
اهواز	۶/۴	۷/۱	۸
بستان	۶/۱	۶/۷	۷/۷
دزفول	۷/۷	۸/۵	۹/۷
بهبهان	۶	۶/۶	۷/۶
مسجدسلیمان	۶	۶/۶	۷/۵
آبادان	۵/۴	۶	۶/۸

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۴.

جدول ۷- میانگین باد در ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

شهر	میانگین سرعت باد در ۱۰ متری	میانگین سرعت باد در ۲۰ متری	میانگین سرعت باد در ۵۰ متری
اهواز	۳/۴	۳/۷	۴/۲
بستان	۲/۹	۳/۲	۳/۶
دزفول	۵/۱	۵/۷	۶/۴
بهبهان	۲/۴	۲/۶	۳
مسجدسلیمان	۲/۵	۲/۸	۳/۲
آبادان	۳/۳	۳/۷	۴/۲

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۴.

در ادامه توان باد برای سطحی به اندازه مساحت جاروب شده هوا توسط روتر در ارتفاع ۱۰، ۲۰، ۵۰ متری از سطح زمین برای تمامی ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان محاسبه و در جدول شماره ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- توان باد به کیلووات برای سطحی به‌اندازه مساحت جاروب شده هوا توسط روتر در ارتفاع ۱۰، ۲۰، ۵۰ متری از سطح زمین ایستگاه‌های استان خوزستان

ارتفاع از سطح زمین	سطح ۱۰ متری			سطح ۲۰ متری			سطح ۵۰ متری		
	۲۰ متری	۴۵ متری	۸۰ متری	۲۰ متری	۴۵ متری	۸۰ متری	۲۰ متری	۴۵ متری	۸۰ متری
اندازه توربین (قطر روتور)									
سطح جاروب روتر ایستگاه	۳۱۴	۱۵۹۰	۵۰۲۴	۳۱۴	۱۵۹۰	۵۰۲۴	۳۱۴	۱۵۹۰	۵۰۲۴
اهواز	۷	۳۷	۱۶۱	۱۰	۶۸	۲۱۶	۱۵	۷۴	۲۳۲
بستان	۵	۲۳	۹۶	۶	۴۱	۱۳۰	۹	۴۷	۱۴۷
دزفول	۲۶	۱۳۱	۵۹۵	۳۵	۲۵۳	۸۰۱	۵۲	۲۶۱	۸۲۴
بهبهان	۳	۱۳	۴۷	۳	۲۰	۶۳	۵	۲۶	۸۱
مسجد سلیمان	۳	۱۶	۶۰	۴	۲۶	۸۰	۶	۳۱	۹۸
آبادان	۷	۳۶	۱۳۸	۱۰	۵۹	۱۸۵	۱۴	۷۱	۲۲۵

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۴.

هم‌چنین، توان باد بر اساس مقدار ضریب قدرت ماکزیمم برای سطحی به اندازه مساحت جاروب شده هوا توسط روتر در ارتفاع ۱۰، ۲۰، ۵۰ متری از سطح زمین با استفاده از رابطه ۱۳ به‌دست‌آمده و برای تمامی ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان محاسبه و در جدول شماره ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- توان باد به کیلووات بر اساس مقدار ضریب قدرت ماکزیمم برای سطحی به‌اندازه مساحت جاروب شده هوا توسط روتر در ارتفاع ۱۰، ۲۰، ۵۰ متری از سطح زمین

ارتفاع از سطح زمین	سطح ۱۰ متری			سطح ۲۰ متری			سطح ۵۰ متری		
	۲۰ متری	۴۵ متری	۸۰ متری	۲۰ متری	۴۵ متری	۸۰ متری	۲۰ متری	۴۵ متری	۸۰ متری
اندازه توربین (قطر روتور)									
سطح جاروب روتر شهر	۳۱۴	۱۵۹۰	۵۰۲۴	۳۱۴	۱۵۹۰	۵۰۲۴	۳۱۴	۱۵۹۰	۵۰۲۴
اهواز	۴	۲۰	۸۷	۵	۳۷	۱۱۷	۸	۴۰	۱۲۵
بستان	۲	۱۳	۵۲	۳	۲۲	۷۰	۵	۲۵	۷۹
دزفول	۱۴	۷۱	۳۲۱	۱۹	۱۳۷	۴۳۲	۲۸	۱۴۱	۴۴۳
بهبهان	۱	۷	۲۵	۲	۱۱	۳۴	۳	۱۴	۴۴
مسجد سلیمان	۲	۸	۳۲	۲	۱۴	۴۳	۳	۱۷	۵۳
آبادان	۴	۱۹	۷۴	۵	۳۲	۱۰۰	۸	۳۸	۱۲۱

منبع: محاسبات نویسندگان، ۱۳۹۴.

### نتیجه‌گیری:

بررسی‌های صورت گرفته در زمینه اندازه‌گیری انرژی باد استان خوزستان در مطالعات قبلی نشان از به کارگیری داده‌های گذشته ده‌دقیقه‌ای وزارت نیرو در مدت یک‌سال می‌باشد که اعتماد به نتایج آن چندان علمی نخواهد بود. مطالعه ویژگی‌های باد در استان خوزستان باهدف بررسی امکان‌سنجی نصب توربین‌های بادی کشاورزی و تجاری انجام شد و نشان داد که ۳۰ تا ۶۰ درصد سرعت‌های باد رخ داده در استان بین ۴ تا ۲۰ متر در ثانیه می‌باشد. بیش‌ترین میزان چگالی انرژی باد در ایستگاه

دزفول به مقدار ۳۵۵، ۴۷۷ و ۷۰۷ و کمترین آن در ایستگاه بستان ۳۲، ۴۴ و ۶۵ در ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری است. بیشترین سرعتی که در استان می‌تواند بیشترین انرژی را تولید کند، در ایستگاه دزفول با سرعتی معادل ۷/۷، ۸/۵ و ۹/۷ به ترتیب برای ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری رخ خواهد داد و کمترین آن در آبادان به مقدار ۵/۴، ۶ و ۶/۸ متر در ثانیه برای همان سه ارتفاع می‌باشد. میانگین سرعت باد در ایستگاه دزفول ۵/۸، ۵/۷ و ۶/۴ متر بر ثانیه و در ایستگاه اهواز ۳/۴، ۳/۷ و ۴/۲ متر بر ثانیه برای سه ارتفاع مورد بررسی بیشترین میانگین سرعت را در استان دارند. توان و یا به عبارتی شدت باد را با مقیاس وات در مترمربع می‌سنجند. قدرت نامی باد، یعنی مقدار توان تولید باد به وات در مساحتی که روتور توربین آن را جاروب می‌کند و این مقدار تولید برق بدون در نظر گرفتن ظرفیت بیشترین قدرت است. این میزان توان برابر ارتفاع ۲۰ متری که برای توربین‌های کشاورزی محاسبه شده است در ایستگاه دزفول ۳۵، ۲۵۲ و ۸۰۱ کیلووات برای روتورهایی با مساحت جاروب کنندگی ۲۰، ۴۵ و ۸۰ متری می‌باشد و برای توربین‌های بادی تجاری ۵۳، ۲۶۱ و ۸۲۴ کیلووات برای روتورهای با مساحت جاروب کنندگی ۲۰، ۴۵ و ۸۰ متری است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استان خوزستان برای نصب و راه‌اندازی توربین‌های کشاورزی مستعد می‌باشد و برای توربین‌های بادی تجاری در ایستگاه‌های دزفول، اهواز و آبادان که توان تولید ۸۲۴، ۲۳۲ و ۲۲۵ کیلووات را دارند، برای ایجاد مزارع بادی تجاری مناسب هستند. با توجه به نصب توربین‌های بادی تجاری در ارتفاع ۵۰ متری و سطح روتور ۸۰ متری و هم‌چنین با در نظر گرفتن ضریب بیشترین قدرت، توان تولید انرژی توربین، انرژی الکتریکی به مقدار ۴۴۳، ۱۲۵ و ۱۲۱ کیلووات در ثانیه، توانایی تولید را در ایستگاه‌های دزفول، اهواز و آبادان را دارد. بهترین جهت برای نصب توربین برای دریافت بیشتر باد در استان خوزستان، جهت غرب و شمال غرب است. این به دلیل موقعیت جغرافیایی استان می‌باشد که در مسیر بادهای غربی و وزش بادهای شمالی است که در مسیر خود با تغییر جهت به حالت شمال غربی از منطقه می‌گذرند. به‌طور کلی با توجه به اینکه بیش از ۷۰ درصد بادهای در منطقه دارای سمت و سرعت می‌باشند می‌توان نتیجه گرفت منطقه مورد مطالعه دارای وضعیت باد خیز است و برای سرمایه‌گذاری مزارع بادی، بخصوص استفاده از توربین‌های بادی کشاورزی مناسب می‌باشد

### References:

1. Azad, A. K, Rasul M. G. Alam M. M., Ameer Uddin S. M, Sukanta K. M, (2014): Analysis of wind energy conversion system using Weibull distribution, 10th International Conference on Mechanical Engineering, ICME Vol 90, pp 725–732 (in Persian)
2. Bekele, G, Palm, B, (2009): Wind energy potential assessment at four typical locations in Ethiopia, Applied Energy Vol. 86, PP. 388-396.
3. Belu, R., Koracin, D., (2009): Wind characteristics and wind energy potential in western Nevada, Vol. 34, PP. 2246-2251.
4. Bianchi, Fernando D. de, Battista, Hernán, Mantz, Ricardo J, (2007): Wind Turbine Control Systems, Principles, Modeling and Gain Scheduling Design, Springer-Verlag, p 147.
5. Bilir; Levent, Mehmet Imir, Yilser Devrim, Ayhan Albostan, (2015): Seasonal and yearly wind speed distribution and wind power density analysis based on Weibull distribution function, International Journal of Hydrogen Energy, Vol 40, pp 15301–15310
6. Bostami Mohammadi, M, (2013): The Technical, Economical and Environmental feasibility of using wind energy for irrigating of farms and gardens in khuzestan province, M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Shahid Chamran Ahwaz. (in Persian)
7. Brusca, S., (2014): A new statistical based energetic-economic methodology for wind turbine systems evaluation, 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013, pp 180 - 187.
8. Chang, P.T., (2011): Performance Comparison of six Numerical Methods in Estimating Weibull Parameters for Wind Energy Application, Applied Energy. Vol. 88, NO. 1, PP. 272-282.
9. Dahbi, M., Bentallal A., Sellam, M., (2013): the Analysis of Wind Power Potential in Sahara Site Algeria-an Estimation Using the 'Weibull' Density Function, Terra Green 13

- International Conference 2013 - Advancements in Renewable Energy and Clean Environment*, pp 179 – 188.
10. Entezari,A,Amirahmadi,A, Erfani,A, Borzoui,A, (2012):Evaluation of wind power potential and Feasibility of establishing wind power Generators in Sabzevar, *Journal of Arid Regions Geographical Studies*,Vol 3,No 9-10,pp 33-46(in Persian)
  11. Eskina, N., Artar, H., Tolun, S., (2008): Wind energy potential of Gökçeada Island in Turkey, *Vol. 12, PP. 839-851.*
  12. Indhumathy.D1, Seshaiyah. C.V2, Sukkiramathi.K3, (2014): Estimation of Weibull Parameters for Wind speed calculation at Kanyakumari in India, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol 3, pp 8340 – 8345.
  13. Iranian Meteorological Organization (IRIMO),(2014):Wind speeds and direction data bank. (in Persian)
  14. Isfahan University of Technology,(2015):, Wind Turbines Engineering Department ,<http://wtg.iut.ac.ir/page19.html> (in Persian)
  15. Jahangiri,Z,Rahimzadeh,F,Kamali,GH.A,2005, Wind Energy Calculation by Using Weibull-2 Distribution, *Geographical Researches Quarterly*, Vol 20,No1(76),pp 151-170. (in Persian)
  16. Jalavand, M, Bakhoda,H,Almasi, M, (2014):Wind Energy Potential Assessment for Electric Pumps of Agriculture in Broujerd, *Journal of Agricultural Machinery*, Vol 4,No 2,pp 368-377(in Persian)
  17. Jamil,M,Abaspoursani,K,Khorasani,E,Basirea,A,Talebhaydari,M,(2005):Determining of wind velocity in Manjil region for using in Wind turbines, *International Journal of Engineering Science(IJES)*,vol16,No3,pp55-61(in Persian)
  18. Kararli, V.M. Gecit, C. (2003): An investigation on wind power potential of Nurdag-Gaziantep Turkey, *Renewable Energy*, Vol 28, 823–830.
  19. Li, M., Li, X., (2005): Investigation of wind characteristics and assessment of wind energy potential for Waterloo region Canada, *Vol. 46, PP. 3014-3033.*
  20. Minaian,A, Sedaghat ,A,Alamrajabi, A.A, (2013): Potentiometric survey of wind energy in Sistan and Baluchestan province and economic analysis for wind farm construction, *Journal of Energy Engineering and Management*, Vol 3,No 3,pp 34-41(in Persian)
  21. Ministry of Energy,(2014):Renewable Energy Organization of Iran(SUNA), <http://www.sun.org.ir/en/home>(in Persian)
  22. Mohammadi, H, Rostami Jalilian,SH, Taghavi,F,Shamsipour ,A.A, (2012):Evaluation of Wind Energy Potential In Kermanshah Province, *Physical Geography Research Quarterly*, Vol 44,No 80,pp19-32. (in Persian)
  23. Mojib,J,Shirani,E,AhamadiKia,H,Talebi,F,(2003):Using wind for energy generation in Kordestan province, *International Journal of Industrial Engineering and Production Management (IJIE)*,Vol 14,No 5,pp 63-85. (in Persian)
  24. Omidvar,K, Dehghantarjani,M,(2012):The evaluation of potential winds power for producing energy in synoptic stations of Yazd province, *Geographical Researches Quarterly*, Vol 27,No 105,pp 150-161(in Persian)
  25. Rahimzadeh,F,(2011):Statistical methods in Meteorology and Climatology researches, Hossieni publication, Theran, Iran. (in Persian)
  26. Rocha, P., Sousa, R., Andrade, C., Silva, M., (2012): Comparison of Seven Numerical Methods of Determining Weibull Parameters For Wind Energy Generation in The Northeast Region of Brazil, *Applied Energy*, Vol. 89, No. 1, pp. 395-400.
  27. Saidi,D,Nematolahi,O,AlamRajabi ,A.A, (2011):A survey on potential of wind energy in North Khorasan Province, *Journal of Energy Management*, Vol 1,No 1,pp 49-56. (in Persian)
  28. Salahi,B,(2004): Estimation of wind energy potential and fit of actual probability of wind occurrence using Weibull distribution function in Ardabil province synoptic stations, , *Geographical Researches Quarterly*, Vol 19,No 1(72),pp 87-104. (in Persian)
  29. Shearbafian,N,(2008):Estimation of wind power potential and its effect on saving fossil fuel in Iran,*Quarterly Energy Economics Review*,Vol 5,No 17,pp 113-140. (in Persian)

30. Soltani,S.B,Gholamian,S.A,Dastjani Farahni,K, (2000):Survey on potential wind energy in Amirabad port for wind turbines construction, *Iranian Journal of Energy*, Vol 13,No 35,pp 1-16(in Persian)
31. Tizpar,E,Satkin,M,Roshan, MA,Jorabli,AS, (2013):Analyzing of wind data of Mil Nader Region(Sistan and Baluchestan province) and determining wind density for establishing wind energy generator, *The first conference of Iranian Wind Energy Association, Teheran,Iran(in Persian)*
32. Zahedi,M.Salahi,B,Jamil,M, (2005):Wind power and density calculation for using energy generation in Ardabil, *Journal of Geographical Research*, Vol 37, No 53,pp 41-55. (in Persian)