

دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، سال دوم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۲

B. Salahi PhD  
M. Behrouzim  
M. Ebrahimi  
H. Jems

پرومند صلاحی، دانشیار گروه اقلیم شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

محمود بهروزی، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه ملایر

محمد ابراهیمی، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه ملایر

حسن جمس، دانش آموزخته کارشناسی ارشد برنامه ریزی توریسم

E-mail: Salahi@uma.ac.ir

وصول: ۱۳۹۳/۱۱/۳ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۷

صص: ۷۵-۹۰

## ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی استفاده از آن در ایستگاه‌های همدید استان فارس

### چکیده

باد در زمره منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر به شمار می رود و در دهه گذشته، استفاده از انرژی باد در جهان با استقبال فراوان همراه بوده است. هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی پتانسیل انرژی باد ایستگاه‌های منتخب استان فارس شامل شیراز، آباده و لارستان در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۵ است. در این پژوهش، برای ترسیم گلباد سالانه ایستگاه‌ها، از نرم افزار wrplot استفاده گردید. داده‌های منفصل باد با استفاده از تابع توزیع ویبول جایگزین شدند. چگالی توان باد سالانه و دیگر فراسنج‌های انرژی باد در ترازهای ارتفاعی ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متر محاسبه شد. برای برآورد سرعت باد در ارتفاع بالاتر از ۱۰ متر، از مدل قانون توان یک هفتم استفاده شد. نتایج نشان دادند که ایستگاه همدید شیراز با چگالی توان بادی معادل ۵۸۴/۳۳ و ۱۱۶۴/۲۷ وات بر متر مربع در ارتفاع ۱۰ و ۵۰ متری و قرارگیری در طبقه هفتم اطلس انرژی باد ایالت متحده، از پتانسیل خوبی در زمینه انرژی باد برخوردار است و می تواند به عنوان مکانی مناسب برای سرمایه گذاری و مطالعه بیش تر در خصوص استقرار توربین‌های بادی و بهره‌برداری از انرژی باد تعیین گردد. در ایستگاه‌های آباده و لارستان به علت محدودیت در موجودیت ساعات باد در سال و دیگر فراسنج‌های انرژی باد، سرمایه گذاری در این زمینه، مقرون به صرفه نمی باشد.

**واژه‌های کلیدی:** استان فارس، انرژی باد، پتانسیل سنجی، تابع توزیع ویبول، توربین بادی.

### طرح مسأله

کاهش سریع سوخت‌های فسیلی، بحث گرمایش جهانی، اثر پدیده گلخانه‌ای و ریزش باران‌های اسیدی، لزوم بهره‌برداری از انرژی‌های تجدید شونده، به ویژه انرژی باد را افزایش داده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱، ۲۰). در جهان کنونی، نیاز به منابع انرژی جدید با توجه به تطابق نداشتن عرضه و تقاضای انرژی، بیش از پیش احساس می شود (مینائیان و همکاران، ۱۳۹۲، ۳۶). داده‌های آماری نشان می دهد که تولید برق در جهان در سال ۲۰۰۷، برابر ۱۶۴۲۹ تراوات ساعت بوده است. بر همین اساس، میزان مصرف برق در سال ۲۰۳۰، برابر ۲۸۹۳۰ تراوات ساعت تخمین زده

می‌شود. از این رو، نیاز به نیروگاه‌های بیشتر برای تولید انرژی الکتریکی احساس می‌شود (مینائیان و همکاران، ۱۳۹۲، ۳۵). باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر است که مزایای استفاده از آن در تولید انرژی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر، باعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و به تبع آن، ارتقاء فناوری و رشد چشمگیر مطالعه کاربردی این فراسنج اقلیمی در میان جوامع پیشرفته جهان شده است (امیدوار و دهقان، ۱۳۹۱، ۱۵۰). بادهای جهان جمعاً حدود  $2700 \text{ TW}$  انرژی را در خود نهفته‌اند که حدود ۲۵ درصد آن در ۱۰۰ متری زمین قرار دارد. با این حال، حتی ۱۰ درصد این مقدار انرژی، یعنی  $4 \text{ TW}$  از ظرفیت کل انرژی آبی جهان، بیشتر است (ثقفی، ۱۳۸۲، ۲۲).

طی دو دهه اخیر، بسیاری از محققین، وقت بسیاری برای توسعه یک مدل آماری مناسب صرف کرده‌اند تا توزیع سرعت باد را شرح دهند. توزیع‌های ویبول، رایله و لوگ نرمال به طور 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، به طور وسیعی برای بررسی پتانسیل انرژی باد در مناطق گوناگون کشورهای مختلف به کار می‌رود (لی و لی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵، ۳۰۲۳). انتخاب مکان مناسب برای نصب نیروگاه بادی از نکات حیاتی برای توسعه اقتصادی این گونه نیروگاه‌هاست. مطالعات به دست آمده از اطلس رنگی باد کشور در سال ۱۳۸۳ نشان می‌دهد که مناطق منجیل، شمال غرب در منطقه آذربایجان، سیستان، استان فارس، خراسان رضوی و منطقه خاف از بهترین مناطق بادخیز کشور است که می‌توان برای احداث نیروگاه‌های برق بادی از این مناطق بهره گرفت. استان فارس نیز به دلیل ویژگی‌های خاص توپوگرافی و برخورداری از بادهای مناسب، ظرفیت مناسبی برای تولید برق بادی دارد فراهم است لذا در این پژوهش سعی بر این است تا پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی استفاده از آن در ایستگاه‌های همدید منتخب استان فارس تعیین گردد.

### پیشینه پژوهش

کاوایانی (۱۳۷۴، ۱۲۷) با در نظر گرفتن سرعت لازم برای تولید برق از انرژی باد و به کمک داده‌های بادی از سال ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵ در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، به ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران پرداخت و منطقه سیستان (زابل) را بهترین ناحیه ایران برای احداث نیروگاه بادی معرفی کرد. وی پس از سیستان، سواحل و جزایر جنوبی ایران را بهترین مناطق برای هدف مذکور دانسته است. سعیدی و همکاران (۱۳۹۰، ۴۹) پتانسیل انرژی باد را در استان خراسان شمالی با استفاده از توزیع ویبول بررسی کردند. آن‌ها برای این کار، از آمار و اطلاعات دو ایستگاه بجنورد و اسفراین بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ بهره بردند. نتایج آن‌ها نشان داد که چگالی توان باد شهر بجنورد در ارتفاع ۳۰ و ۴۰ متری به ترتیب برابر با ۲۰۰ و ۲۵۰ وات بر متر مربع است. مقدار این شاخص برای شهر اسفراین نیز حدود ۲۰۰ و ۳۰۰ وات بر متر مربع به دست آمده است. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳، ۲۷۳) امکان استفاده از انرژی باد در استان‌های اردبیل و زنجان را با استفاده از توزیع ویبول بررسی نمودند. نتایج آن‌ها حاکی از این است که ایستگاه اردبیل پتانسیل بالایی به منظور بهره‌برداری از توان انرژی باد را دارد. دورولو<sup>۲</sup> (۲۰۰۳، ۲۳۱۶) برای مدل‌سازی سرعت باد در چهار ایستگاه عمان، از

توزیع ویول استفاده کرده است. وی پارامترهای شکل و مقیاس توزیع ویول را با استفاده از روش گشتاورها، روش رگرسیونی و روش کی‌دو برآورد کرده است. نتیجه پژوهش دورولو نشان داد که برآوردها با استفاده از روش کی‌دو و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برازش بهتری با داده‌ها دارد. لی و لی (۲۰۰۵، ۳۰۱۴) به بررسی ویژگی‌ها و برآورد پتانسیل انرژی باد در منطقه واترلو کانادا بر پایه‌ی داده‌های ارتفاع ۱۰ متری در یک دوره ۵ ساله پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میانگین قدرت باد سالانه ۱۰۵ وات بر متر مربع می‌باشد و در فصول سرد سال، قدرت باد در شب ۱۸۰ و در روز ۱۱۰ وات بر متر مربع است. اسکائینا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸، ۸۴۰) 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، و برای ارتفاع ۵۰ متر برون-یابی کردند و به این نتیجه رسیدند که جزیره گاکسیا پتانسیل دریافت انرژی باد را دارد. بکل و پالم<sup>۲</sup> (۲۰۰۹، ۳۸۸) به بررسی پتانسیل انرژی باد در چهار منطقه اتیوپی در ارتفاع ۱۰ متری پرداختند و نتیجه گرفتند که سه شهر آدیس‌آبابا، مکل<sup>۳</sup> و نازرت<sup>۴</sup> با میانگین سرعت باد ۴ متر در ثانیه دارای پتانسیل انرژی باد هستند. بلو و کوراسین<sup>۵</sup> (۲۰۰۹، ۲۲۴۶)، ویژگی‌های 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 و به این نتیجه رسیدند که در تمام فصول حداقل سرعت باد در اوایل صبح و حداکثر سرعت باد در بعدازظهر اتفاق می‌افتد و بیش‌ترین سرعت باد در فصل بهار با سرعت ۸ متر در ثانیه رخ داده است. صلاحی (۱۳۸۳، ۸۷) پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل را با استفاده از داده‌های بلند مدت سمت و سرعت باد و تابع توزیع ویول مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که ایستگاه سینوپتیک اردبیل با توجه به تعداد ساعات وزش بادهای بالاتر از ۴ متر در ثانیه در سال، می‌تواند مکانی مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی باد به حساب آید. زاهدی و همکاران (۱۳۸۴، ۵۴) چگالی و توان باد اردبیل را به منظور استفاده از انرژی آن بررسی نمودند و نشان دادند که این ایستگاه می‌تواند به‌عنوان یکی از نقاط مناسب به منظور بهره‌برداری از انرژی باد محسوب شود. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸، ۱۵۵) انرژی باد را با استفاده از میانگین ماهانه سرعت باد و داده‌های ساعتی در ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در بین ایستگاه‌های منطقه، خور و بیابانک، داران و نطنز با سرعت و چگالی توان کم باد مواجه هستند و الگوی تغییرات چگالی ماهانه توان باد در ایستگاه اردستان نیز با سایر ایستگاه‌ها متفاوت است. انتظاری و همکاران (۱۳۹۱، ۴۴) پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در شهر سبزوار را با استفاده از داده‌های بلند مدت سمت و سرعت باد مورد ارزیابی قرار داد. محمدی و همکاران (۱۳۹۱، ۳۰) پتانسیل انرژی در استان کرمانشاه را با استفاده از داده‌های سه ساعته سرعت باد و توزیع ویول ارزیابی نمودند. امیدوار و دهقان (۱۳۹۱، ۱۶۷) تولید انرژی در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد را با استفاده از داده‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری و ۵۰ متری، پتانسیل سنجی نموده و مشخصه‌های نیروی باد را مورد ارزیابی قرار دادند. مینائیان و همکاران (۱۳۹۲، ۴۰) انرژی باد را در استان سیستان و بلوچستان پتانسیل سنجی نموده و جهت احداث نیروگاه بادی،

1 - Eskina

2- Bekele &amp; Palm

3 - Mekele

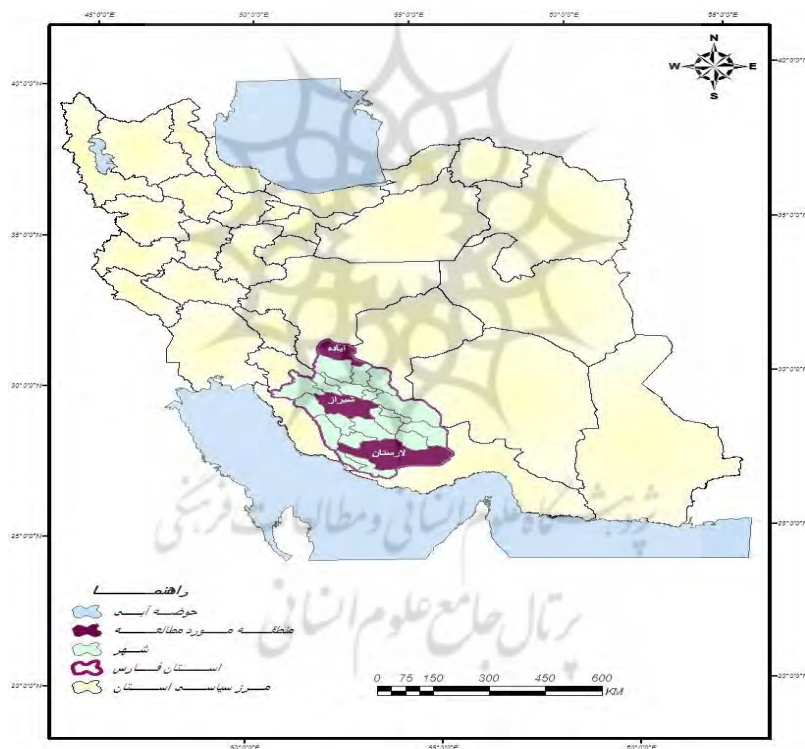
4 - Nazret

5 - Belu &amp; Koracin

تحلیل اقتصادی انجام داد. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در انرژی باد، توزیع و بیول تابع مناسبی برای تبیین انرژی باد به شمار می‌رود.

## داده‌ها و روش‌ها

استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی، همچنین ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است (بهروزی، ۱۳۹۰، ۵۸). با توجه به موقعیت طبیعی، ریاضی و گستردگی استان فارس و وجود خلا آماری در داده‌های مورد بررسی، سه ایستگاه همدید آباده به‌عنوان نماینده شمال استان، ایستگاه همدید شیراز، به‌عنوان نماینده مرکز استان و ایستگاه همدید لارستان به‌عنوان نماینده جنوب استان انتخاب شدند. جدول شماره ۱، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب استان فارس را نشان می‌دهد.



نگاره ۱- موقعیت استان فارس و شهرستان‌های مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب استان فارس

نام ایستگاه	ارتفاع (M)	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)
شیراز	۱۴۸۴	۲۹ ۳۲	۳۶ ۵۲
آباده	۲۰۳۰	۳۱ ۱۱	۴۰ ۵۲
لارستان	۷۹۲	۲۷ ۴۱	۱۷ ۵۴

در این پژوهش، دوره آماری مشترک ۱۶ ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۰) انتخاب شد که فاقد گپ آماری در طول دوره و در هر سه ایستگاه منتخب استان فارس است. آمار سمت و سرعت بادهای سه ساعته روزانه (۸ برداشت در هر روز، ۱۴۰۱۶۰۰ برداشت در کل دوره آماری ۱۶ ساله) ایستگاه‌های همدید مورد بررسی، از اداره هواشناسی استان فارس، به شکل فرمت Scedata استخراج شد. سپس داده‌های سرعت باد که در دفاتر همدیدی بر حسب نات درج شده بودند، به متر بر ثانیه تبدیل شدند. کلیه داده‌های مورد استفاده به صورت کدهای ۲۸ کارکتری درآمده و توسط نرم افزار WR plot، گلبادهای شانزده جهتی سالانه ترسیم شد. 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، به‌خصوص در محدوده سرعت توربین‌های بادی نشان می‌دهد، استفاده شد (چانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱، ۲۷۴).

### 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 گاماست<sup>۴</sup>. این تابع نسبت به توابع دیگر نظیر رایله از انعطاف‌پذیری بیش‌تری برخوردار بوده و به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$v) = \left[ \frac{v}{c} \right] \left[ \frac{v}{c} \right]^k \text{EXP} \left[ - \left( \frac{v}{c} \right)^K \right] (p) \quad (1)$$

در این رابطه،  $(K)$  یک پارامتر بدون بعد مربوط به «فاکتور شکل»<sup>۵</sup> است و  $(c)$  پارامتری به‌عنوان (فاکتور مقیاس<sup>۶</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 برآزش حداقل مربعات<sup>۷</sup> است که به کمک تابع احتمال تجمعی به‌دست می‌آید (صلاحی، ۱۳۸۳، ۹۲). لازم است که با استفاده از معادله رگرسیون، رابطه خطی مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن مشخص شود:

$$y = ax + b \quad (2)$$

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

$$Y = \text{Ln}\{-\text{Ln}[1-P(v)]\} \quad X = \text{Ln}(vi) \quad (3)$$

- 1- Chang
- 2-Weibull Probability Distribution Function
- 3-Rayleigh
- 4-Gamma distribution
- 5- Form factor
- 6 - Scale factor
- 7 - Least- square

در رابطه (۳)،  $v_i$  میانگین 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، ۹۳). با مشخص شدن  $a$  و  $b$ ، مقادیر  $k$  و  $C$  از رابطه (۴) قابل محاسبه هستند:

$$C = \text{Exp}(-B/A) \quad K = A \quad (4)$$

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 بعد مربوط به «فاکتور شکل» است و  $(C)$  پارامتری به‌عنوان (فاکتور مقیاس) قابل محاسبه می‌باشند (روکا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۲، ۳۹۹). پس از محاسبه فراسنج‌های شکل و مقیاس تابع ویبول ( $C$  و  $k$ )، مقادیر تابع احتمال ویبول ( $pW$ ) محاسبه شد. همچنین، مقادیر محاسبه شده برای وقوع سرعت‌های باد ایستگاه همدیدی شیراز از طریق تابع پیوسته ویبول و احتمال مشاهده شده (واقعی) رخداد سرعت‌های باد به منظور نیکوئی برازش مجموعه داده‌ها به توزیع داده شده، با آزمون «کی دو» سنجیده شد. صحت این جایگزینی با آماره آزمون در تست «کی دو» به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود (عبدالله زاده و عبدالله زاده، ۱۳۷۹، ۲۵۰):

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (5)$$

که در آن،  $O_i$  فراوانی مشاهده شده و  $E_i$  فراوانی مورد انتظار است. پس از محاسبه مقادیر فراسنج‌های شکل و مقیاس تابع ویبول، وضعیت ایستگاه‌های منتخب استان فارس 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 دهقان، ۱۳۹۱، ۱۵۹).

$$\frac{p}{A} = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma \left[ \frac{K+3}{K} \right] \quad (6)$$

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  $1/225$  کیلوگرم در متر مکعب است. یکی از روش‌های محاسبه چگالی هوا به صورت رابطه (۷) قابل محاسبه می‌باشد (جهانگیری و همکاران، ۱۳۸۴، ۱۵۹).

$$\rho = 1/225 - (1.194 * 10^{-4}) * Z \quad (7)$$

که در آن،  $Z$  ارتفاع ایستگاه در سطح تراز دریا بر حسب متر می‌باشد. 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،

1- Form factor  
2 - Scale factor  
3- Rocha

۱۳۸۴، ۱۶۰). در این پژوهش، ۲ ارتفاع ۵۰ متری، ارتفاع منتخب برای استفاده از چرخ توربین‌های بادی مرتفع و ۲۰ متری، به دلیل قرارگیری چرخ توربین‌های بادی کوچک در مصارف کشاورزی (چاه‌های آب)، انتخاب و بررسی شده است (جهانگیری و همکاران، ۱۳۸۴، ۱۶۰). برای برآورد سرعت باد از مدل توان یک هفتم نیرو استفاده شد که از رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$\frac{C_2}{C_1} = \left[ \frac{Z_2}{Z_1} \right] \quad (8)$$

در این رابطه،  $C_1$  و  $C_2$  فراسنج‌های مقیاس تابع ویبول، به ترتیب در ارتفاع‌های  $Z_1$  و  $Z_2$  هستند. حتی اگر فراسنج شکل ( $K$ ) تابع ویبول با ارتفاع تغییر کند، این تغییر جزئی بوده و در تجزیه و تحلیل پتانسیل انرژی باد، فراسنج  $K$  مستقل از ارتفاع پنداشته می‌شود (امیدوار و دهقان، ۱۳۹۱، ۱۶۱). محتمل‌ترین سرعت باد، یا سرعت بیش‌ترین احتمال وقوع باد که با علامت  $V_{MP}$  نشان داده می‌شود، از رابطه (۹) قابل محاسبه است.

$$V_{MP} = C \left[ \frac{K-1}{K} \right]^{1/K} \quad (9)$$

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 فراسنج‌های مهم در طراحی توربین‌های بادی است که از رابطه (۱۰) به دست می‌آید (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۴، ۵۹).

$$V_{MAXE} = C \left[ 1 + \frac{2}{K} \right]^{1/K} \quad (10)$$

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

$$V = \left[ \frac{K+1}{K} \right] \quad (11)$$

جهت تصمیم‌گیری در طراحی و نصب توربین‌های بادی، توجه به اینکه توربین‌های بادی در یک سرعت مشخص راه‌اندازی شده و شروع به بازدهی نیرو می‌کند و در یک سرعت خاص توربین برای جلوگیری از آسیب، پره‌های خود را موازی با باد قرار داده و از حرکت باز می‌ایستند مهم است (امیدوار و دهقان، ۱۳۹۱، ۱۶۱). از این رو، احتمال وقوع سرعت‌های باد بالاتر از  $V^*$  را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۲) تعیین نمود (صلاحی، ۱۳۸۳، ۹۳)

$$P(V > V^*) = \text{EXP} \left[ - \left( \frac{V^*}{V} \right)^K \right] \quad (12)$$

با توجه به اینکه سرعت راه‌انداز و سرعت توقف اکثر توربین‌های بادی به ترتیب ۴ و ۲۵ متر در ثانیه است، لذا احتمال وقوع سرعت‌های باد بین مقادیر مذکور را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۲) و به صورت رابطه (۱۳) به دست آورد. لذا چنانچه ۴ برابر با  $V_1$  و ۲۵ برابر با  $V_2$  در نظر گرفته شود، آن‌گاه:

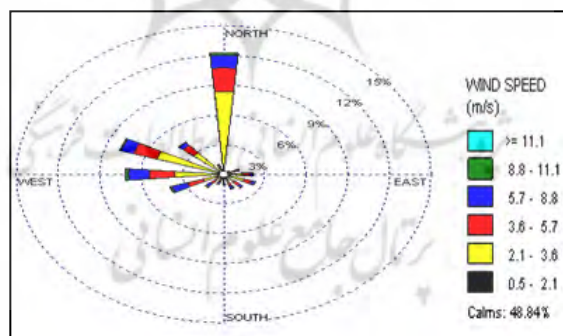
$$P(V > V^*) = \text{EXP} \left[ - \left( \frac{V_1}{C} \right)^K \right] - \text{EXP} \left[ - \left( \frac{V_2}{C} \right)^K \right] \quad (13)$$

آزمایشگاه ملی انرژی باد زیر نظر وزارت نیرو 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 یک (پایین-

ترین) تا طبقه هفت (بالا ترین) قرار می گیرند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱، ۲۴). هر طبقه نمایان گر گستره ایی از تراکم قدرت باد (وات بر متر مربع) و محدوده ای از سرعت باد (متر بر ثانیه) در یک ارتفاع مشخص بالاتر از سطح زمین است. به طور معمول، در این شبکه بندی، طبقه ۴ و بالاتر برای به کارگیری اکثر توربین های بادی و طبقه ۳، در صورت استفاده از توربین های بادی مرتفع، برای توسعه انرژی باد مناسب هستند. طبقه ۲، به عنوان یک منطقه مرزی برای توسعه قدرت باد در نظر گرفته می شود. در نهایت طبقه ۱، برای استفاده از انرژی باد نامناسب است. در این پژوهش، به منظور اعتبار و صحت بررسی، از طبقه بندی انرژی باد بر اساس اطلس انرژی باد نیز استفاده شده است. این حقیقت که قدرت با توان سوم سرعت متناسب است، باد را به عنوان اولین عامل مورد نظر جهت طراحی توربین بادی معرفی می کند. از این رو، سرعت متوسط و توزیع سالانه باد، تغییرات و تداوم وزش آن حائز اهمیت است (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۴، ۴۷). جهت نیل به این مقصود، ترسیم منحنی سرعت- تداوم باد ضروری است. این منحنی نشان دهنده محدوده سرعت باد در محور است.

## بحث

گلباد سالانه معرف وضعیت جهت، سرعت و فراوانی بادهای غالب منطقه است که به علت محدودیت در تعداد صفحات مقاله، فقط گلباد ایستگاه شیراز ارائه شده است. باتوجه به نگاره شماره ۲، جهت باد غالب در ایستگاه شیراز، شمالی و باد نایب غالب، غربی است که نشان از ورود سامانه بادهای غربی در منطقه می باشد. همچنین الگوهای فشاری سطح زمین از قبیل کم فشار خلیج فارس، پرفشار عربستان و زبانه های پرفشار شمال دریای خزر در کنار توپوگرافی و عوامل محلی منطقه، تعیین کننده جهت باد غالب در منطقه شده اند.



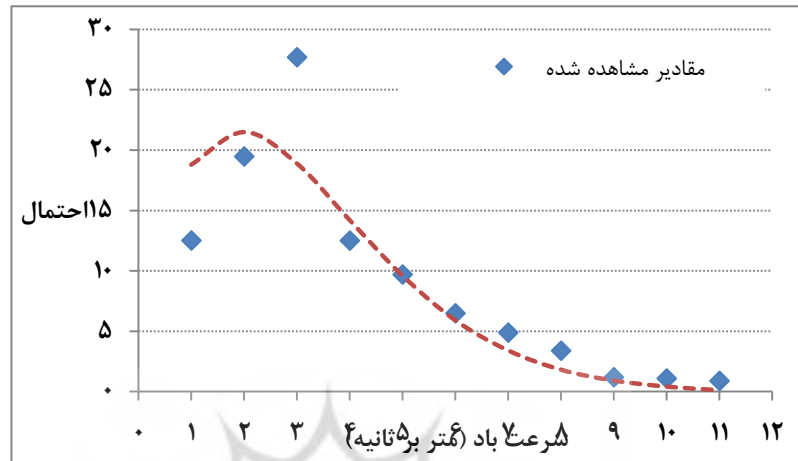
نگاره ۲- گلباد سالانه ایستگاه شیراز

## نگاره ۲) گلباد سالانه ایستگاه شیراز

به منظور برآورد مقادیر پارامتر شکل (k) و مقیاس (c) توزیع ویبول برای ایستگاه های مورد مطالعه، از روابط ۱ تا ۴ استفاده شد. محاسبات حاصل از روابط مزبور به صورت گرافیکی (نگاره های ۳ و ۴) و هم چنین جدول ۲ به عنوان نمونه برای ایستگاه شیراز ارائه شده است. نتایج حاکی از این است که پارامتر شکل (k) برای ایستگاه های شیراز، آباده و

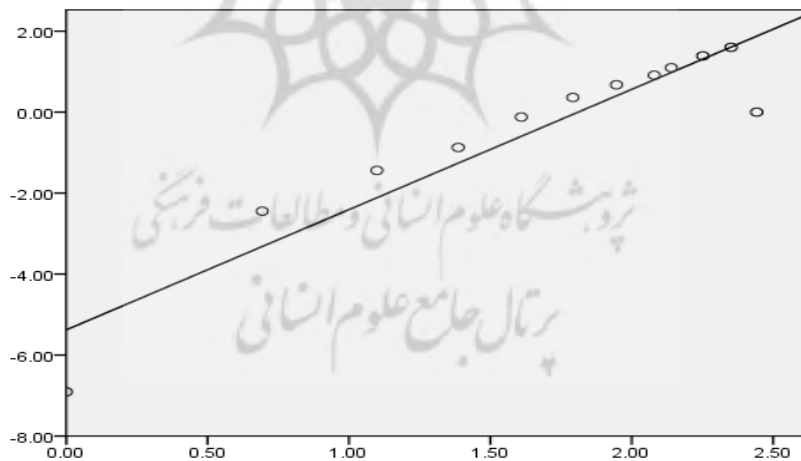


لارستان به ترتیب ۲/۶۰، ۱/۵۹ و ۲/۹۹ برآورد شد. همچنین پارامتر مقیاس (C) به ترتیب ۶/۳۱، ۳/۵۱ و ۶/۱۱ حاصل شد. در ادامه، به منظور سنجش تناسب توزیع برای محاسبه انرژی، از آزمون کی‌دو استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمون نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، توزیع ویبول برازش مناسبی بر داده‌های سرعت باد دارد و می‌توان با استفاده از این توزیع ریاضی و محاسبه پارامترهای آن، انرژی باد را در منطقه مورد آزمون قرار داد.



نگاره ۳- برازش مقادیر احتمال سرعت های مشاهده شده با استفاده از مدل ریاضی ویبول در ایستگاه سینوپتیک

شیراز



نگاره ۴- رابطه خطی بین  $Y_i$  و  $X_i$  برای تعیین مقادیر  $a$  و  $b$  مرتبط با پارامترهای  $k$  و  $C$  تابع ویبول در ایستگاه شیراز

جدول ۲- مقادیر احتمالات تجربی و ویبول در ایستگاه همدید شیراز در دوره آماری سال‌های (۱۹۹۰-۲۰۰۵)

میان‌ه طبقات سرعت $V_i(m/s)$	فراوانی ( $f$ )	درصد فراوانی $P(v_i)$	درصد فرارانی تجمعی $P(v)$	ساعت در سال (Hour/Y)	ساعت در سال تجمعی (Hour/Y)	مقادیر مقادیر یر $x_i$	مقادیر مقادیر یر $y_i$	مقادیر تابع ویبول $Pw(v_i)$
۱	۲۵۰۰	۱۲/۵۳	۱۲/۵	۵۰۰	۵۰۰	۰	-۲	۱۸/۸
۲	۳۸۸۹	۱۹/۴۹	۳۱/۹	۷۷۷/۸	۱۲۷۷/۸	۰/۶۹	-۰/۹	۲۱/۵
۳	۵۵۲۸	۲۷/۷۱	۵۹/۷	۱۱۰۵/۶	۲۳۸۳/۴	۱/۰	۰/۰۹	۱۸/۹
۴	۲۴۹۷	۱۲/۵۲	۷۲/۲	۴۹۹/۴	۲۸۸۲/۸	۱/۳	-۰/۲	۱۴/۲
۵	۱۹۳۸	۹/۷۱	۸۱/۹	۳۸۷/۶	۳۲۷۰/۴	۱/۶	۰/۵	۹/۶
۶	۱۳۰۰	۶/۵	۸۸/۴	۲۶۰	۳۵۳۰/۴	۱/۷	۰/۷	۵/۹
۷	۹۸۷	۴/۹	۹۳/۳۹	۱۹۷/۴	۳۷۲۷/۸	۱/۹	۰/۹	۳/۴
۸	۶۸۵	۳/۴	۹۶/۸	۱۳۷	۳۸۶۴/۸	۲/۰۷	۱/۲	۱/۸
۹	۲۵۲	۱/۲	۹۸/۰	۵۰,۴	۳۹۱۵/۲	۲/۱	۱/۳	۰/۹
۱۰	۲۳۴	۱/۱	۹۹/۲	۴۶,۸	۳۹۶۲	۲/۳	۱/۵	۰/۴
۱۱	۲۲۱	۰/۹	۹۹/۹	۴۴/۲	۴۰۰۶/۲	۲/۳۹	۲	۰/۱

جدول ۳- آماره کی دو با مقادیر بحرانی کی دو در سطح معناداری ۰/۰۵

پارامتر	آباده	شیراز	لارستان
درجه آزادی	۱۲	۱۰	۱۱
آماره آزمون	۱۹/۱۸	۱۱/۵۲	۱۰/۶۵
مقدار بحرانی ۰/۹۵	۲۱/۲	۱۸/۳	۱۹/۶۷

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 نشان داد که در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، ایستگاه لارستان با ۷۶۶/۴۷ وات بر متر مربع بیشترین میزان چگالی باد را دارا می‌باشد. ایستگاه‌های شیراز و آباده هم به ترتیب با میزان ۵۸۴/۳۳ و ۶۸/۵۷ وات بر متر مربع در رده‌های بعدی قرار دارند. با توجه به این که ارتفاع محور بیشتر توربین‌های بادی تجاری، حدود ۳۰ تا ۸۰ متر از سطح زمین است، در این پژوهش، ۲ ارتفاع ۵۰ متری و ۲۰ متری از سطح زمین، به منظور بررسی انرژی باد

انتخاب شدند و میزان سرعت باد در این ارتفاعات، با استفاده از قانون توان یک‌هفتم محاسبه شد. نتایج حاصل از رابطه ۸ و روابط محاسبه چگالی باد نشان می‌دهد که در ارتفاع ۲۰ متری از سطح زمین، میزان چگالی باد در ایستگاه‌های شیراز، آباد و لارستان به ترتیب ۷۸۴/۱۸، ۹۲/۲۷ و ۱۰۲۹/۳۰ وات بر متر مربع برآورد گردید و در ارتفاع ۵۰ متری که مناسب برای توربین‌های بادی به منظور تولید نیرو است، به ترتیب ۱۱۶۴/۲۷، ۱۳۶/۶۶ و ۱۵۲۲/۸۲ وات بر متر مربع برآورد گردید. در ادامه، پس از محاسبات، نتایج محتمل‌ترین سرعت باد، سرعت نامی باد، میانگین، احتمال وزش باد با سرعت‌های بین ۴ تا ۲۵ متر بر ثانیه (درصد) و چگالی یا قدرت انرژی باد در ارتفاع‌های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری ایستگاه‌های منتخب استان فارس در جداول شماره ۴ تا ۶ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج محاسبات فراسنج‌های موثر در تعیین مکان مناسب برای نصب توربین بادی در ارتفاع ۱۰ متری

ایستگاه	میانگین سرعت باد (M/S)	محتمل‌ترین سرعت باد (M/S)	سرعت نامی باد (M/S)	احتمال سرعت بین ۴ تا ۲۵	ساعت موجودیت باد در سال	قدرت باد (W/M <sup>2</sup> )
شیراز	۵/۶۰	۵/۲۳	۷/۸۵	۷۴	۴۰۰۶	۵۸۴/۳۳
آباد	۳/۱۴	۱/۸۸	۵/۸۵	۲۹	۳۳۱۲	۶۸/۵۷
لارستان	۵/۴۵	۵/۳۳	۷/۲۵	۷۵	۲۱۶۵	۷۶۶/۴۷

جدول ۵- نتایج محاسبات فراسنج‌های موثر در تعیین مکان مناسب برای نصب توربین بادی، در ارتفاع ۲۰ متری

ایستگاه	میانگین سرعت باد (M/S)	محتمل‌ترین سرعت باد (M/S)	سرعت نامی باد (M/S)	احتمال سرعت بین ۴ تا ۲۵	ساعت موجودیت باد در سال	قدرت باد (W/M <sup>2</sup> )
شیراز	۶/۱۸	۵/۷۷	۸/۶۶	۷۹	۴۰۰۶	۷۸۴/۱۸
آباد	۳/۴۶	۲/۰۷	۶/۴۵	۳۵	۳۳۱۲	۹۲/۲۷
لارستان	۶/۰۱	۵/۸۸	۷/۹۹	۸۱	۲۱۶۵	۱۰۲۹/۳۰

جدول ۶- نتایج محاسبات فراسنج‌های موثر در تعیین مکان مناسب برای نصب توربین بادی، در ارتفاع ۵۰ متری

ایستگاه	میانگین سرعت باد (M/S)	محتمل‌ترین سرعت باد (M/S)	سرعت نامی باد (M/S)	احتمال سرعت بین ۴ تا ۲۵	ساعت موجودیت باد در سال	قدرت باد (W/M <sup>2</sup> )
شیراز	۷/۰۵	۶/۵۸	۹/۸۸	۸۴	۴۰۰۶	۱۱۶۴/۲۷
آباد	۳/۹۴	۲/۳۶	۷/۳۶	۴۲	۳۳۱۲	۱۳۶/۶۶
لارستان	۶/۸۵	۶/۷۰	۹/۱۱	۸۶	۲۱۶۵	۱۵۲۲/۸۲

در ادامه مطالعه و محاسبه پارامترهای مزبور، چگالی قدرت باد با اطلس انرژی باد ایالت متحده نیز مقایسه شد. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که ایستگاه‌های شیراز و لارستان با قدرت باد ۱۱۶۴ و ۱۵۲۲ وات بر متر مربع در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین که مناسب‌ترین ارتفاع جهت تولید انرژی به وسیله توربین بادی می‌باشد، با قرار گرفتن در طبقه هفتم این اطلس، جهت تولید انرژی مناسب قلمداد شدند و ایستگاه آباده با ۱۳۶ وات بر متر مربع، با قرارگیری در طبقه اول اطلس، مناسب جهت تولید انرژی نمی‌باشد.

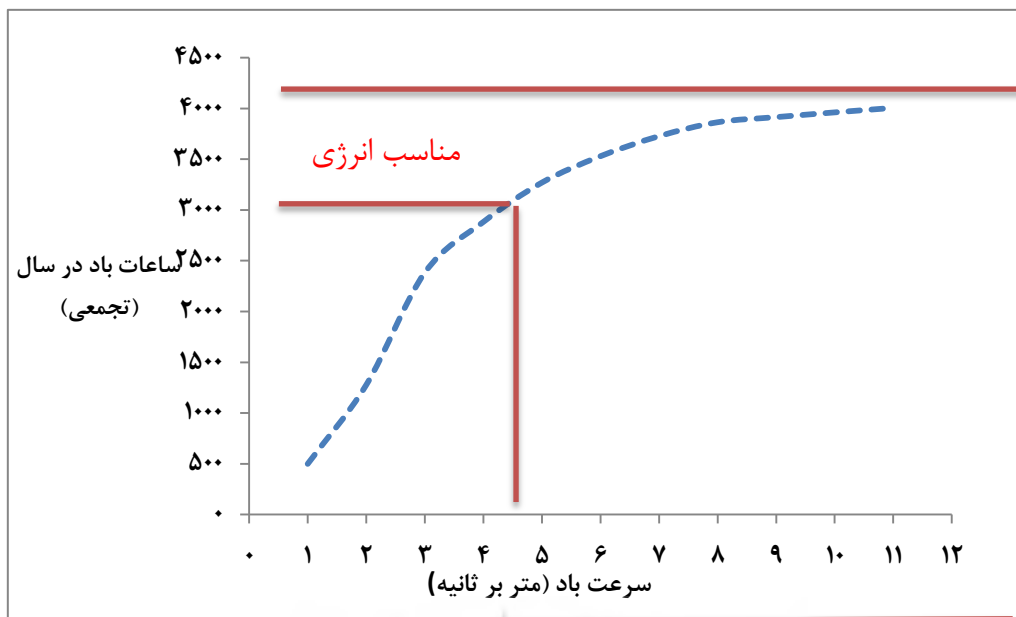
جدول ۷- طبقات استاندارد چگالی توان باد (کمیته ملی هماهنگی باد ۱۹۹۷) برای ایستگاه‌های استان فارس (۱۰ متری)

میزان چگالی توان باد	ایستگاه	ارتفاع ۱۰ متر		طبقه بندی قدرت باد
		چگالی توان باد ( $w/m^2$ )	سرعت ( $m/s$ )	
۶۸/۵۷	آباده	۱۰۰-۰	۴/۴-۰	۱
		۱۵۰-۱۰۰	۵/۱-۴/۴	۲
		۲۰۰-۱۵۰	۵/۶-۵/۱	۳
		۲۵۰-۲۰۰	۶-۵/۶	۴
		۳۰۰-۲۵۰	۶/۴-۶	۵
		۴۰۰-۳۰۰	۷-۶/۴	۶
۷۶۶-۵۸۴	شیراز- لارستان	۱۰۰۰-۴۰۰	۹/۴-۷	۷

جدول ۸- طبقات استاندارد چگالی توان باد (کمیته ملی هماهنگی باد) برای ایستگاه‌های استان فارس (۵۰ متری)

میزان چگالی توان باد	ایستگاه	ارتفاع ۵۰ متر		طبقه بندی قدرت باد
		چگالی توان باد ( $w/m^2$ )	سرعت ( $m/s$ )	
۱۳۶/۶۶	آباده	۲۰۰-۰	۵/۶-۰	۱
		۳۰۰-۲۰۰	۶/۴-۵/۶	۲
		۴۰۰-۳۰۰	۷-۶/۴	۳
		۵۰۰-۴۰۰	۷/۵-۷	۴
		۶۰۰-۵۰۰	۸-۷/۵	۵
		۸۰۰-۶۰۰	۸/۸-۸	۶
۱۵۲۲-۱۱۶۴	شیراز- لارستان	۲۰۰۰-۸۰۰	۹/۱۱-۸/۸	۷

در نهایت، پس از ترسیم منحنی سرعت- تداوم باد ایستگاه شیراز (نگاره ۵)، می‌توان دریافت که عملاً، حدود ۲۲۰۰ ساعت از ساعات سال، توربین‌های بادی مفروض در ایستگاه شیراز، در حال سکون و یا در صورت چرخش، تولید انرژی نخواهند کرد.



نگاره ۵- منحنی سرعت- تداوم باد در ایستگاه شیراز

## یافته‌ها

نتایج این پژوهش نشان داد که قدرت و چگالی انرژی باد در ایستگاه‌های شیراز و لارستان به ترتیب ۵۴۸ و ۷۶۶ وات بر متر مربع در ارتفاع ۱۰ متری است و این در حالی است که در ارتفاع ۵۰ متری (که ارتفاع نصب اکثر توربین‌های بادی است)، محتمل‌ترین سرعت باد برای ایستگاه‌های شیراز و لارستان به ترتیب ۶/۵۸ و ۶/۷۰ متر بر ثانیه می‌باشد. میانگین سرعت بادها در ارتفاع ۵۰ متری برای ایستگاه‌های شیراز و لارستان رقمی بیش از ۶/۵ متر بر ثانیه محاسبه شده است که این سرعت‌ها از سرعت‌های شروع به کار توربین‌های بادی بالاترند. اختلاف سالانه محتمل‌ترین سرعت باد و سرعت نامی باد در ایستگاه‌های شیراز و لارستان کمتر از ۳ متر بر ثانیه است که در واقع نشان دهنده اختلاف ناچیز بین بیش‌ترین احتمال رخداد سرعت باد با سرعت بادی است که بیش‌ترین انرژی را در خروجی به دست می‌دهد. پس از انجام محاسبات، مشخص گردید که ۸۴٪ از ۴۰۰۶ ساعت موجودیت باد در ایستگاه شیراز، سرعت باد بین ۴ الی ۲۵ متر بر ثانیه رخ داده است که ۳۳۶۵ ساعت در سال در این محدوده قرار دارد. در ایستگاه‌های آباده و لارستان، ساعات موجودیت باد به ترتیب ۳۳۱۲ و ۲۱۶۵ محاسبه شد که کمتر از ۴۰۰۰ می‌باشد و از نظر اجرای طرح نیروگاه بادی، مقرون به صرفه نمی‌باشند. البته با توجه به جدول و اطلس انرژی باد ایالت متحده، ایستگاه شیراز و لارستان با قرارگیری در طبقه هفتم، از نظر قدرت انرژی باد، پتانسیل مناسبی جهت استقرار توربین‌های بادی را دارا می‌باشند. ایستگاه آباده هم با قرارگیری در طبقه اول، جهت استفاده از انرژی باد منطقه، نامناسب می‌باشد. با توجه به موارد مذکور و در نظر گرفتن جمیع جهات و محاسبات انجام شده و نیز با عنایت به تعداد ساعات کارکرد توربین‌های بادی ایستگاه شیراز در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین که حدود ۴۰۰۶ ساعت در سال با چگالی توان ۱۱۶۴/۲۷ وات در متر مربع است، استفاده از انرژی باد در این ایستگاه به شرط استقرار محور توربین‌های بادی در ارتفاع ۵۰ متری سطح زمین و بالاتر، امکان‌پذیر

و مقرون به صرفه می‌باشد. در مقایسه با توربین‌های بادی مورد استفاده در کشور نیز می‌توان گفت که در سایت رودبار که در ۸۷ درصد روزهای سال، باد وجود دارد، حدود ۴/۲ میلیون کیلووات ساعت برای یک توربین می‌توان انرژی به دست آورد در حالی که در ایستگاه شیراز با در نظر گرفتن راندمان ۳۳ درصدی توربین‌های بادی، این مقدار کمتر از مقدار مذکور برای یک توربین بادی است ولی در مقایسه با سایر سایت‌های بادی نصب شده در کشور، مناسب می‌باشد. در ضمن توصیه می‌شود در این ایستگاه از توربین‌های سه پره با محور افقی با ظرفیت ۵۰۰ تا ۶۶۰ کیلوواتی که در اغلب سایت‌های بادی کشور نصب شده است استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهشگران محترم، ارزیابی اقتصادی به کارگیری نیروگاه‌های بادی را با تکنیک‌های مختلف نظیر تکنیک برگشتی و غیره بررسی نمایند.

## منابع

- ۱- امیدوار، کمال؛ دهقان، مهدی، ۱۳۹۱، پتانسیل سنجی و برآورد مشخصه‌های نیروی باد برای تولید انرژی در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال بیست و هفتم، شماره ۱۰۵، صص ۱۷۰-۱۵۰.
- ۲- انتظاری، علیرضا؛ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ عرفانی، عاطفه؛ برزویی، اکرم، ۱۳۹۱، ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۹، صص ۳۳-۴۶.
- ۳- بهروزی، محمود، ۱۳۹۰، تحلیل آماری و سینوپتیکی بادهای توفنده استان فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: برومند صلاحی، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیای طبیعی.
- ۴- ثقفی، محمود، ۱۳۸۲، انرژی‌های تجدیدپذیر نوین، چاپ دوم، تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۲۵۲ صفحه.
- ۵- جمیل، مجید، ۱۳۸۰، چگالی انرژی باد، مجله نیوار، شماره ۴۲، صص ۵۰-۲۷.
- ۶- جهانبخش، سعید؛ رضایی بنفشه، مجید؛ دین‌پژوه، یعقوب؛ اسمعیل‌پور، مرضیه، ۱۳۹۳، امکان‌سنجی استفاده از انرژی باد در استان‌های اردبیل و زنجان، نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۶، شماره ۳، صص ۲۷۴-۲۶۱.
- ۷- جهانگیری، زهره؛ رحیم‌زاده، فاطمه؛ کمالی، غلامعلی، ۱۳۸۴، محاسبه انرژی باد با استفاده از توزیع ویبال دو پارامتره، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۶، صص ۱۷۰-۱۵۱.
- ۸- رحیم‌زاده، فاطمه، ۱۳۸۸، برآورد انرژی باد در ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳۵، صص ۱۵۵-۱۷۲.
- ۹- زاهدی، سعید؛ صلاحی، برومند؛ جمیل، مجید، ۱۳۸۴، محاسبه چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۴۱-۵۵.
- ۱۰- سعیدی، داوود؛ نعمت‌اللهی، امید؛ عالم‌رجبی، علی‌اکبر، ۱۳۹۰، بررسی پتانسیل انرژی باد در استان خراسان شمالی در ایران، نشریه علمی-پژوهشی مدیریت انرژی، دوره ۱، شماره ۱، صص ۴۹-۵۶.

۱۱- صلاحی، برومند، ۱۳۸۳، پتانسیل سنجی انرژی باد و برآزش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۲، صص ۱۰۴-۸۷.

۱۲- عبدالله زاده، کاوه؛ عبدالله زاده، یحیی، ۱۳۷۹، مفاهیم کاربردی آمار و احتمالات، چاپ اول، نشر آییز، ۲۳۵ صفحه.

۱۳- کاویانی، محمدرضا، ۱۳۷۴، توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۶، صص ۱۴۴-۱۲۷.

۱۴- محمدی، حسین؛ رستمی جلیلیان، شیما، تقوی، فرحناز؛ شمسی‌پور، علی اکبر، ۱۳۹۱، پتانسیل سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۸۰، صص ۳۲-۱۹.

۱۵- مینائیان، علی؛ صداقت، احمد؛ عالم رجبی، علی اکبر، ۱۳۹۲، پتانسیل سنجی انرژی بادی در استان سیستان و بلوچستان و تحلیل اقتصادی برای نیروگاه بادی، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، سال سوم، شماره ۳، صص ۴۱-۳۴.

- 16- Bekele, G. & Palm, B., 2009, Wind Energy Potential Assessment at Four Typical Locations in Ethiopia, Applied Energy, Vol. 86, PP. 388-396.
- 17- Belu, R. & Koracin, D., 2009, Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Western Nevada, Renewable Energy, Vol. 34, PP. 2246-2251.
- 18- 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.
- 19- Dorvlo, A., 2003, Estimating Wind Speed Distribution, Energy Conversion and Management, VOL. 43, NO. 17. PP. 2311-2318.
- 20- 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.
- 21- 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.
- 22- 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.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی