

## فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و یکم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵، شماره پیاپی ۱۲۱

Dr.Gh.A. Fallah Ghalhari

دکتر غلامعباس فلاح قاهری، استادیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

M. Rostamian

مهناز رستمیان، کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زنجان

mroostamian1394@yahoo.com

### پتانسیل سنجی انرژی باد در ایستگاه‌های منتخب استان چهارمحال و بختیاری

#### چکیده

ایران از پتانسیل‌های بالایی در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر برخوردار است. موقعیت جغرافیایی ایران موجب شده که منبع بسیار بزرگی از انرژی‌های خورشیدی و بادی در آن موجود باشد. در پژوهش حاضر، پتانسیل انرژی در ایستگاه‌های همدید استان چهارمحال و بختیاری که دارای اطلاعات باد با دوره‌های آماری ۲۷ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۸) بودند، مطالعه شد. داده‌های ساعتی سرعت باد از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. این داده‌ها در فواصل زمانی سه ساعته و در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شده‌اند. فراوانی این داده‌ها بر حسب مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه در نرم افزار اکسل مرتب شدند. برای محاسبه احتمال وقوع داده‌ها از توزیع احتمال ویبول استفاده شد. بدین منظور فراوانی هر یک از سرعت‌های باد در ساعات مختلف استخراج شدند. در ابتدا آزمون کای مربع برای تمام ایستگاه‌های استان انجام شد و ایستگاه‌هایی که داده‌های سرعت باد آنها از توزیع ویبول تبعیت نمی‌کردند حذف شدند. برای محاسبه پارامترهای شکل و مقیاس توزیع ویبول از روش حداقل مربعات استفاده شد. با استفاده از قانون یک هفتم، اطلاعات باد در ارتفاع ۱۰ متری به ارتفاع ۵۰ متری (که بیشینه ارتفاع توربین‌های بادی است) تبدیل و خصوصیات سرعت و توان باد در این ارتفاع محاسبه شدند. نتایج این تحقیق نشان داد پتانسیل انرژی باد در مقیاس سالانه در ارتفاع ۱۰ متری به ترتیب در ایستگاه‌های بروجن، شهرکرد و کوهرنگ به ترتیب  $۲۰۰/۱۲$ ،  $۱۵۴/۱۶۷$ ،  $۶۸/۴۱$  وات بر متر مربع و در ارتفاع ۵۰ متری نیز به ترتیب  $۳۹۱/۵۹$ ،  $۳۰۲/۳۲۳$ ،  $۶۷/۷۷$  وات بر متر مربع در واحد سطح است. این مقادیر در اکثر ارتفاعات در ایستگاه بروجن با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در مقیاس سالانه ایستگاه بروجن از پتانسیل مناسبی برای تولید انرژی بادی برخوردار است. بیشترین چگالی توان باد در هر سه ایستگاه در فصل زمستان به دست آمد. در مقیاس ماهانه نیز در ایستگاه‌های شهرکرد و بروجن بیشترین چگالی توان باد متعلق به ماه مارس است، اما در ایستگاه کوهرنگ بیشترین چگالی توان باد متعلق به ماه ژانویه است.

**واژگان کلیدی:** چهارمحال و بختیاری، انرژی باد، توزیع ویبول، چگالی توان باد، قانون توان.

#### مقدمه

گسترش روز افزون نیاز به انرژی و محدودیت منابع فسیلی، افزایش آلودگی محیط زیست ناشی از سوزاندن این منابع، گرم شدن جهانی، ریزش باران‌های اسیدی و ضرورت متعادل نمودن نشر دی اکسید کربن و لزوم کاهش در مصرف سوخت‌های فسیلی، توجه مضاعف به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را دو چندان کرده است. در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های تولید برق است که آلودگی محیط زیست را در پی نداشته و پایان‌ناپذیر نیز می‌باشد (سازمان انرژی‌های نو ایران، ۱۳۹۳). سگورو و لامبرت<sup>۱</sup> (۲۰۰۰، ۵-۷۵) از سه روش

پیشینه درست‌نمایی، اصلاح شده و روش گرافیکی، برای محاسبه پارامترهای توزیع ویبول استفاده نمودند. دورولو<sup>۱</sup> (۲۰۰۳، ۲۳۱۸-۲۳۱۱) برای مدل سازی سرعت باد در چهار ایستگاه عمان، از توزیع ویبول استفاده کرده است. احمد شاتا و هانیج<sup>۲</sup> (۲۰۰۶، ۱۲۰۲-۱۱۸۳) پتانسیل انرژی باد و تولید برق ساحلی دریای مدیترانه را در مصر ارزیابی و چگالی انرژی باد را در ارتفاع ۳۰ و ۵۰ متری برآورد نموده‌اند. اسکانیا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۸، ۸۵۱-۸۳۹)، پتانسیل انرژی باد جزیره‌ی گاکسیادا در شمال دریای اژه در ترکیه را برآورد نمودند.

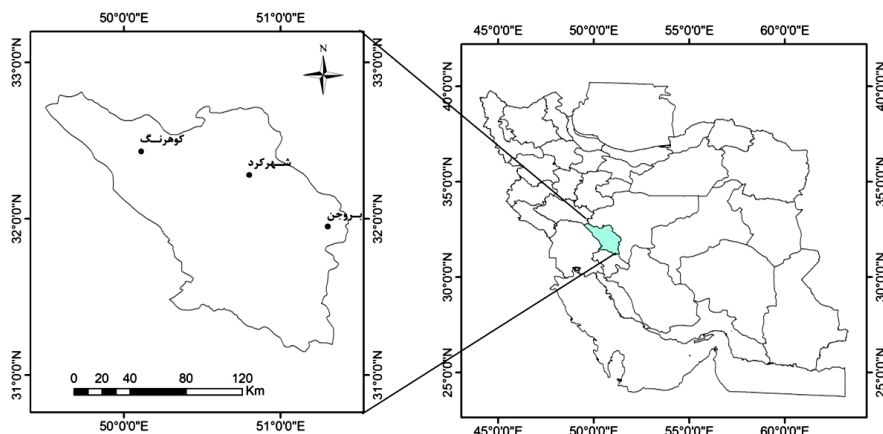
بیلو و کوراسین<sup>۴</sup> (۲۰۰۹، ۲۲۵۱-۲۲۴۶) ویژگی‌های باد و پتانسیل انرژی باد چهار منطقه را در نوادای غربی مطالعه کردند. لی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۰، ۳۰۶-۳۰۲) اثر اقلیم و تغییرپذیری آن را بر روی منابع انرژی باد دریاچه‌های پنجگانه ایالات متحده آمریکا بررسی کردند. والرید و همکاران (۲۰۱۴، ۳۱۰۹-۳۱۰۰) با بررسی داده‌های سرعت باد که در دوره ۲۰۱۳-۲۰۰۴ از یک دیرک ۶۰ متری به دست آمده بود، توزیع انرژی باد را بر حسب ارتفاع در لتونی ارزیابی نمودند. اوردا و همکاران (۲۰۱۵، ۴۳۴-۴۱۴) از ۱۱ توزیع آماری برای تحلیل داده‌های سرعت باد در ایستگاه‌های منتخب امارات متحده عربی استفاده نمودند. آزاد و همکاران (۲۰۱۵، ۷۲۷-۷۲۲) از توزیع ویبول برای تحلیل داده‌های سرعت باد در ایستگاه‌های منتخب سندویپ<sup>۶</sup>، مونگلا<sup>۷</sup> و خاکراچری<sup>۸</sup> در بنگلادش استفاده نمودند. لونت<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۵، ۱۵۳۰۱) از توزیع ویبول برای برآورد به داده‌های سرعت باد در شهر آنکارا پایتخت ترکیه استفاده نمودند. کایوانی (۱۳۷۴، ص ۱۴۴-۱۲۷) با استفاده از آمار پنج ساله باد (۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵) ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، به ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران پرداخته و به این نتیجه رسیده که در کل کشور، ایستگاه زابل (منطقه سیستان) بهترین شرایط را برای احداث مزارع بادی دارد و پس از آن سواحل و جزایر جنوبی ایران برای این امر مناسب هستند. صلاحی (۱۳۸۳، ص ۸۷) نتیجه گرفته است ایستگاه اردبیل مکان مناسبی برای استفاده از انرژی باد است. عبدلی و همکاران (۱۳۸۸، ص ۵۸) با در نظر گرفتن آستانه سرعت ۵ متر در ثانیه و مقادیر چگالی توان باد، پتانسیل ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی را برای احداث پارک‌های بادی تعیین نمودند. گندمکار (۱۳۸۸، ص ۱۰۰-۸۵) در تحقیقی با بررسی آمار ده ساله وزش باد در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور نشان داد بسیاری از نواحی ایران، از جمله نواحی ساحلی دریای عمان و جزایر خلیج فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور بادخیز هستند و در آنها توان تولید برق بادی، بویژه در فصل تابستان وجود دارد. سعیدی و همکاران (۱۳۹۰، ص ۵۶-۴۹) از توزیع ویبول برای ارزیابی پتانسیل انرژی باد در استان خراسان شمالی استفاده کردند. محمدی و همکاران (۱۳۹۱، ص ۱۹) نشان دادند سه ایستگاه روانسر، سرپل ذهاب و کنگاور در استان کرمانشاه از پتانسیل مناسبی برای تولید انرژی باد برخوردارند. مجرد و همکاران (۱۳۹۲، ص ۱۳۷) قابلیت‌های انرژی باد را در استان‌های کرمانشاه و کردستان مورد ارزیابی قرار دادند. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۳، ص ۲۶۱) به ارزیابی پتانسیل انرژی باد در استانهای اردبیل و زنجان پرداختند. نتایج آنها نشان داد ایستگاه اردبیل پتانسیل بالایی برای بهره برداری از انرژی باد دارد. هدف این پژوهش، بررسی وضعیت کلی باد و ویژگیهای سمت و سرعت آن و نیز تعیین پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی استفاده از آن در استان چهارمحال و بختیاری است. از دیگر اهداف این پژوهش پیش‌بینی درصد وقوع احتمال هریک از سرعتها با استفاده از تابع توزیع پیوسته احتمال ویبول است.

## 2. Dorvlo

1. Ahmed – Shata , A.S. & Hanitsch
2. Eskin
3. Belu,R.&Koracin
4. Lee
5. Sandwip
6. Mongla
7. Khagrachari
8. Levent

## داده‌ها و روش پژوهش

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، استان چهارمحال و بختیاری است (شکل ۱). وسعت این استان در حدود ۱۶۵۳۳ کیلومتر مربع می‌باشد و دارای یک درصد از کل وسعت ایران می‌باشد و بدلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب و هوایی متنوع بوده و اقلیمهای متفاوتی در آن وجود دارد. بارش‌های منطقه غالباً تحت تاثیر جریان‌های جوی مدیترانه و عمدتاً کم فشار سودانی قرار دارد (سایت اداره کل هواشناسی چهارمحال و بختیاری، ۱۳۹۳).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های منتخب

## روش تحقیق

محاسبه چگالی باد در یک ناحیه جغرافیایی، نخستین و اساسی‌ترین مسئله برای استفاده از انرژی باد و برآورد پتانسیل آن و دیگر مشخصه‌های باد می‌باشد. لذا آگاهی از سرعت میانگین سالانه و نیز چگالی توان باد در انتخاب یک محل برای نیروگاه بادی از اهمیت خاصی برخوردار است (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۴). در این پژوهش، آمار سه ساعته سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی شهرکرد، بروجن و کوهرنگ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. سپس داده‌های سرعت و جهت باد در نرم افزار اکسل مرتب شد. ویژگی‌های باد از جمله سرعت و فراوانی آن صرف نظر از ساعت وقوع به صورت سالانه، فصلی و ماهانه به دست آورده شد. با توجه به اینکه بهترین توزیع نظری برای داده‌های باد، تابع توزیع ویبول می‌باشد، پارامترهای مربوط به توزیع ویبول در هر ایستگاه با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی محاسبه شد. سپس تابع توزیع ویبول برای هر ایستگاه به طور جداگانه به دست آورده شد. در ادامه با استفاده از فراوانی‌های به دست آمده از توزیع ویبول و فراوانی‌های تجربی مشاهده شده در هر ایستگاه، آزمون نکویی برازش با استفاده از آزمون کای مربع بر روی داده‌های باد اعمال شد. پس از اطمینان از برازش داده‌های باد بر توزیع احتمال ویبول، توان باد و قدرت نسبی باد با استفاده از این توزیع در ایستگاه‌های مورد استفاده به دست آمد. در ادامه با استفاده از قانون یک هفتم، اطلاعات باد در ارتفاع ۱۰ متری به ارتفاع ۵۰ متری (که بیشینه ارتفاع توربین‌های بادی است) تبدیل و خصوصیات سرعت، توان و ساعات موجودیت باد محاسبه شدند.

## توزیع احتمال ویبول

توابع توزیع چگالی احتمال که برای انرژی باد تایید شده و کاربرد زیادی دارند، شامل دو توزیع احتمال ویبول و رابله<sup>۱</sup> می‌باشند. تابع ویبول حالت خاصی از توزیع گاماست<sup>۲</sup> (ژو و همکاران<sup>۱</sup> ۲۰۰۶، ۷۴۲). این تابع نسبت به توابع دیگر نظیر رابله از انعطاف پذیری بیشتری برخوردار و به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (واکر و جنکینز<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷):

1. Rayleigh  
2. Gamma distribution

پتانسیل سنجی انرژی باد در ایستگاههای منتخب استان چهارمحال بختیاری/۱۷۱

$$P(V) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left(-\frac{V}{C}\right) \quad V > 0, K > 0, C > 0 \quad (1)$$

در رابطه فوق،  $K$  یک عدد بدون بعد به نام پارامتر شکل و  $C$  پارامتر مقیاس است که بر حسب 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>۳</sup> است که به کمک تابع احتمال تجمعی بدست می‌آید (صلاحی و همکاران، ۱۳۸۳). بدین منظور لازم است با استفاده از معادله رگرسیون خطی، رابطه خطی بین مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن مشخص شود:

$$Y = AX + B \quad (2)$$

در معادله فوق،  $A$  ضریب زاویه (شیب) خط رگرسیون و  $B$  عرض از مبدأ خط رگرسیون است. برای تعیین مقادیر  $A$  و  $B$ ، لازم است ابتدا رابطه خطی بین  $X_i$  و  $Y_i$  توسط روابط زیر محاسبه شود:

$$X = \text{Ln}(V_i) \quad (3)$$

$$Y = \text{Ln}[-\text{Ln}(1-P(V))] \quad (4)$$

در روابط فوق،  $V_i$  میانه طبقات سرعت باد و  $P(V)$  درصد فراوانی تجمعی سرعت‌های باد هر طبقه است (صلاحی و همکاران، ۱۳۸۳). در مرحله بعد، با مشخص شدن مقادیر  $X$  و  $Y$ ، مقادیر  $K$  و  $C$  توسط روابط زیر قابل محاسبه است:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}} = K \quad (5)$$

$$B = \bar{Y} - A\bar{X} \quad (6)$$

$$C = \exp\left(-\frac{B}{A}\right) \quad (7)$$

البته روش دیگری نیز برای دست آوردن مقادیر  $A$  و  $B$  وجود دارد. بدین منظور پس از محاسبه مقادیر  $X_i$  و  $Y_i$ ، می‌توان بهترین خط ممکن را برای به دست آوردن معادله خط رگرسیون  $Y = AX + B$  به این نقاط برازش داد و در ادامه مقادیر مربوط به  $A$  و  $B$  را به دست آورد (رضایی، ۱۳۸۶، صلاحی و همکاران، ۱۳۸۳).

### محاسبه چگالی انرژی باد

با داشتن پارامتر شکل و مقیاس توزیع ویبول ( $C$  و  $K$ ) و استفاده از سرعت‌های موجود باد ( $V_i$ )، می‌توان پتانسیل انرژی باد یک منطقه را محاسبه نمود (صلاحی و همکاران، ۱۳۸۳). پتانسیل انرژی باد یک منطقه در واحد سطح از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\frac{P_{ave}}{S} = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma\left(\frac{K+3}{K}\right) \quad (8)$$

در رابطه فوق،  $\Gamma$  تابع گاما،  $K$  و  $C$  پارامترهای شکل و مقیاس توزیع ویبول،  $S$  معرف سطح و  $\rho$  میانگین چگالی هواست.

مقدار چگالی هوا در سطح دریا ( $\rho_0$ ) در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد و فشار ۱ اتمسفر برابر ۱/۲۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. مقدار چگالی هوا برای هر ارتفاع دلخواه از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{Z}{H_\rho}\right) \quad (9)$$

در رابطه فوق،  $\rho_0 = 1.225 \text{ kg.m}^{-3}$  چگالی متوسط هوا در سطح دریا،  $H_\rho = 8.55 \text{ km}$  ارتفاع مقیاس برای چگالی هوا و  $Z$  ارتفاع است (فلاح قاهره، ۱۳۹۳).

با توجه به رابطه (۸) می‌توان نتیجه گرفت که مقدار انرژی باد یک منطقه، به پارامترهای توزیع ویبول بستگی دارد. این حقیقت که قدرت باد با توان سوم سرعت باد متناسب است، باد را به‌عنوان اولین عامل مهم جهت طراحی توربین بادی معرفی می‌کند. از این‌رو، سرعت متوسط و توزیع سالانه‌ی باد، تغییرات و تداوم وزش آن حائز اهمیت است (صلاحی، ۱۳۸۳). ارتفاع ۵۰ متری، ارتفاع محور اکثر توربین‌های بادی است (اسکین، ۲۰۰۸). توزیع سرعت باد بر فراز لایه مرزی صفحه تخت و جریان‌های کانالی را می‌توان به صورت تقریبی توسط نیمرخ قانون توانی به شکل زیر بیان نمود:

$$\frac{U}{U_h} = \left(\frac{z}{h}\right)^m \quad (10)$$

در معادله فوق  $U$  سرعت باد در ارتفاع  $z$ ،  $U_h$  سرعت باد در ارتفاع  $h$ ، و  $m$  پارامتر مربوط به زبری سطح است که مقدار آن برای سطوح صاف برابر  $\frac{1}{7}$  است. چون سرعت باد به صورت یکنوا با ارتفاع تا سقف لایه مرزی جو افزایش نمی‌یابد، نسخه تا اندازه‌ای اصلاح شده معادله فوق به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\frac{U}{U_r} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^m \quad (11)$$

که  $U_r$  سرعت باد در ارتفاع مرجع  $z_r$  است که کوچکتر یا مساوی بیشینه ارتفاع اندازه‌گیری سرعت باد یا ارتفاع مرجع استاندارد ۱۰ متری از سطح زمین است. نیمرخ قانون توانی مبنای نظری دقیق ندارد، اما اغلب اوقات، برازش قابل قبولی را به نیمرخ‌های سرعت باد مشاهده شده در بخش پائین لایه مرزی فراهم می‌نماید. نمای  $m$  به زبری سطح و پایداری جو بستگی دارد (فلاح قاهره، ۱۳۹۳). در این تحقیق بر اساس پیشنهاد انجمن مهندسين عمران ایالات متحده و موسسه بین‌المللی استاندارد از نمای ۰/۱۴ برای به دست آوردن سرعت باد در ارتفاعات دیگر استفاده شده است. بنابراین سرعت باد به دست آمده در ارتفاع ۱۰ متری، با استفاده از قانون فوق، به ارتفاع ۵۰ متری تبدیل شدند. سرعت نامی بادی<sup>۲</sup> یا سرعت بادی که حداکثر انرژی الکتریکی را در خروجی ایجاد می‌کند، در واقع سرعتی است که بیشترین انرژی را تولید می‌کند (صلاحی، ۱۳۸۳). این سرعت که با علامت  $V_{mec}$  نشان داده می‌شود، یکی از فراسنج‌های مهم در طراحی توربین‌های بادی است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V_{mec} = C \left(1 + \frac{2}{K}\right)^{1/K} \quad (12)$$

محتمل‌ترین<sup>۳</sup> یا بیشترین احتمال رخداد سرعت باد با نماد  $V_{mp}$  نشان داده می‌شود و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$V_{mp} = C \left(1 - \frac{1}{K}\right)^{1/K} \quad (13)$$

با توجه به اینکه توربین‌های بادی در یک سرعت مشخص راه‌اندازی و در یک سرعت مشخص متوقف می‌شوند،

احتمال وقوع سرعت‌های باد بالاتر از یک مقدار مشخص ( $V^*$ ) را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$P(V > V^*) = \exp\left[\left(-\frac{V^*}{V}\right)^K\right] \quad (14)$$

با توجه به اینکه سرعت راه‌اندازی و سرعت توقف اکثر توربین‌های بادی به ترتیب ۴ و ۲۵ متر بر ثانیه است، لذا احتمال وقوع سرعت‌های باد بین مقادیر مذکور را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۵) به دست آورد. لذا چنانچه  $V_1 = 4 \text{ m.s}^{-1}$  و  $V_2 = 25 \text{ m.s}^{-1}$  در نظر گرفته شود، آنگاه این احتمال با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$P(V_1 < V < V_2) = \exp\left[-\left(\frac{V_1}{C}\right)^K\right] - \exp\left[-\left(\frac{V_2}{C}\right)^K\right] \quad (15)$$

یکی از پارامترهای مهم در استفاده از توربین های بادی در یک مکان، موجودیت ساعات باد در سال است که می توان آن را از رابطه (۱۶) به دست آورد. در این رابطه،  $W_e$  موجودیت باد،  $N$  تعداد سال های مورد بررسی،  $f_i$  فراوانی های رخداد باد و  $\sum_{i=1}^n f_i$  مجموع فراوانی تک تک ساعات برای تمام طبقات و  $t$  فاصله زمانی بین برداشت های باد است که با توجه به داده برداری ۳ ساعته سمت و سرعت باد، ۳ در نظر گرفته می شود:

$$W_e = \frac{\sum f_i}{N} \times t \quad (16)$$

در این تحقیق برای آزمون نکویی برازش داده های سرعت باد با توزیع احتمال ویبول، از آزمون کای مربع استفاده گردید. آماره این آزمون به شرح زیر محاسبه می شود:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (17)$$

در رابطه فوق،  $\chi^2$  آماره آزمون کای مربع،  $O_i$  فراوانی مشاهده شده و  $E_i$  فراوانی مورد انتظار از توزیع ویبول است. این آماره با آماره آزمون کای مربع که به ازاء درجه آزادی و سطح معنی داری مورد نظر از جدول به دست می آید، مقایسه می شود. اگر کای مربع محاسبه شده بیشتر از آماره به دست آمده از جدول باشد، فرض صفر رد می شود و چنین استنباط می شود که داده ها از توزیع مورد نظر پیروی نمی کنند (رضایی، ۱۳۸۶). در غیر اینصورت فرض صفر تایید می شود. فرض های مورد آزمون در برازش داده های باد به توزیع ویبول به قرار زیر است:

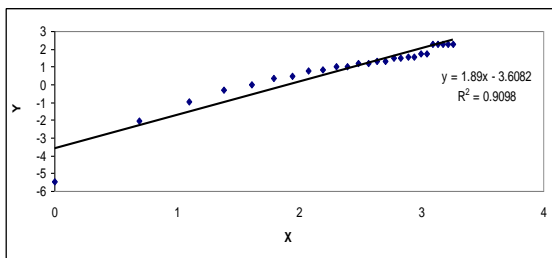
فرض صفر: داده های سرعت باد از توزیع ویبول تبعیت می نمایند.

فرض مخالف: داده های سرعت باد از توزیع ویبول تبعیت نمی نمایند.

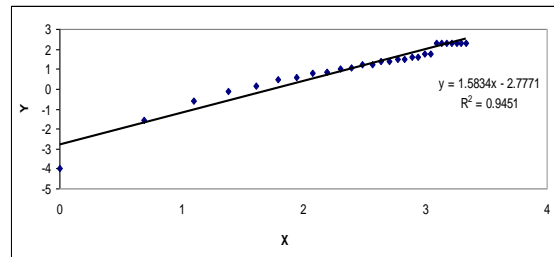
## یافته های تحقیق

### نتایج برازش توزیع ویبول بر داده های سرعت باد

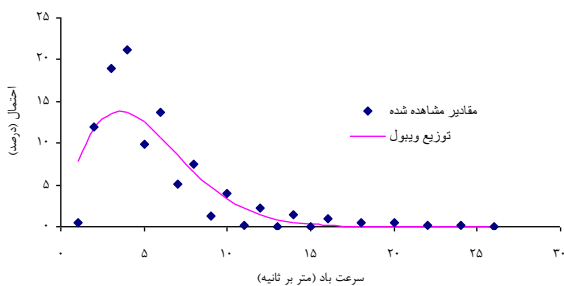
همان طور که در بالا بیان شد، برای محاسبه پارامترهای شکل و مقیاس تابع ویبول ( $K$  و  $C$ )، باید مقادیر  $A$  و  $B$  در هر ایستگاه محاسبه شوند. رابطه خطی بین  $X$  و  $Y$  برای تعیین مقادیر  $A$  و  $B$  در هر سه ایستگاه در شکل های ۲ تا ۴ ترسیم شده است. همان طور که مشاهده می شود، روابط به دست آمده از دقت نسبتاً بالایی برخوردارند. لازم به ذکر است مقدار چگالی باد در یک منطقه وابستگی کاملی به پارامترهای شکل و مقیاس تابع ویبول دارد. پس از محاسبه پارامتر شکل و مقیاس تابع ویبول و قرار دادن آنها در رابطه (۱)، مقادیر تابع احتمال ویبول ( $P_v$ ) محاسبه شده است. شکل های ۵ تا ۷ مقادیر مشاهده شده سرعت باد را در مقایسه به مقادیر به دست آمده از توزیع ویبول نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، در ایستگاه های مورد مطالعه، مقادیر مشاهده شده برازش خوبی را با توزیع ویبول نشان می دهند. جدول (۱) مقادیر آماره آزمون کای مربع را نشان می دهد. چون آماره به دست آمده از آزمون کای مربع در ایستگاه های بروجن، شهر کرد و کوهرنگ کمتر از مقدار بحرانی جدول در سطح ۵ درصد است، لذا دلیل کافی برای رد فرض صفر در اختیار نیست و لذا نتیجه می گیریم داده های سرعت باد در این ایستگاه ها از توزیع احتمال ویبول تبعیت می نمایند.



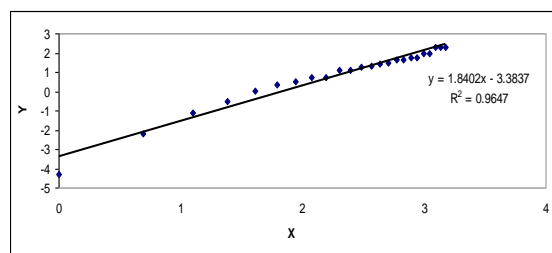
شکل ۳- رابطه خطی بین X و Y برای تعیین مقادیر A و B در ایستگاه بروجن



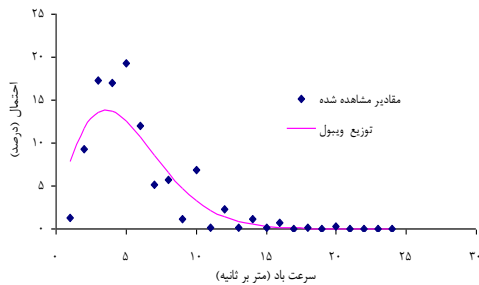
شکل ۲- رابطه خطی بین X و Y برای تعیین مقادیر A و B در ایستگاه شهرکرد



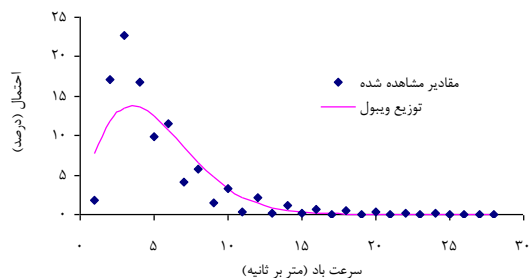
شکل ۵- مقادیر احتمال تجربی و ویبول سرعت باد در ایستگاه بروجن



شکل ۴- رابطه خطی بین X و Y برای تعیین مقادیر A و B در ایستگاه کوهرننگ



شکل ۷- مقادیر احتمال تجربی و ویبول سرعت باد در ایستگاه کوهرننگ



شکل ۶- مقادیر احتمال تجربی و ویبول سرعت باد در ایستگاه شهرکرد

جدول ۱- مقادیر بحرانی و محاسبه شده آزمون کای مربع در ایستگاههای مختلف

پارامتر	بروجن	شهرکرد	کوهرننگ
درجه آزادی	۲۵	۲۶	۲۲
آماره آزمون	۲۱/۳	۲۲/۸	۳۳/۷
مقدار بحرانی در سطح ۵ درصد	۳۷/۷	۳۸/۹	۳۳/۹

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

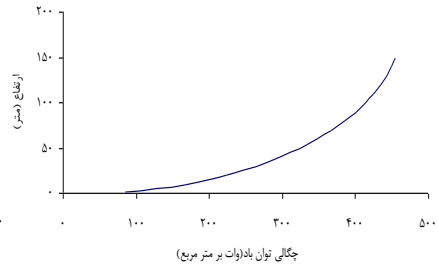
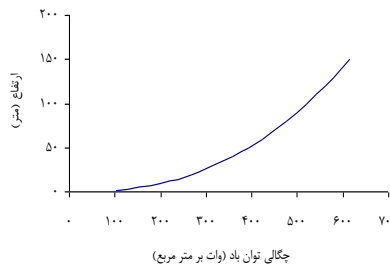
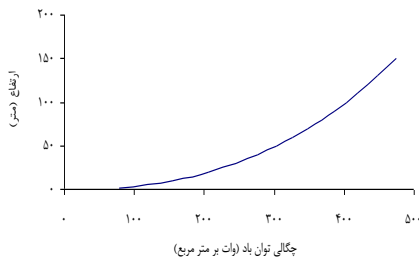
مقدار چگالی توان باد در مقیاس سالانه در ارتفاعهای ۲ تا ۱۵۰ متری در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول (۲) در اکثر ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری، بالاترین مقدار چگالی توان باد به ترتیب مربوط به ایستگاههای بروجن، کوهرننگ و شهرکرد است. در ارتفاع ۱۰ متری، بالاترین مقدار چگالی توان باد مربوط به ایستگاه بروجن به مقدار ۲۰۰/۱۲ وات بر متر مربع و پایین ترین آن

پتانسیل سنجی انرژی باد در ایستگاههای منتخب استان چهارمحال بختیاری/۱۷۵

مربوط به ایستگاه کوهرنگ به مقدار ۱۵۴/۶۸ وات بر متر مربع است. همچنین با توجه به جدول (۲) در ارتفاع ۵۰ متری هم مانند ارتفاع ۱۰ متری، پایین ترین مقدار چگالی توان باد مربوط به ایستگاه کوهرنگ به مقدار ۳۰۲/۶۷ وات بر متر مربع و بالاترین آن مربوط به ایستگاه بروجن به مقدار ۳۹۱/۵۹ وات بر متر مربع است. شکل های ۸ تا ۱۰ نحوه تغییرات چگالی توان باد را بر حسب ارتفاع در ایستگاه های مورد مطالعه نشان می دهد.

جدول ۲- چگالی سالانه توان باد (بر حسب وات بر متر مربع) در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری

ایستگاه	۲	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰
شهرکرد	۲۵/۸۵	۴۱/۱۶۷	۴۶/۲۲۳	۵۱/۲۶۶	۵۳/۲۹۶	۵۷/۳۲۳	۵۹/۳۴۷	۶۱/۳۶۷	۶۲/۳۸۴	۶۳/۴۰۰	۶۴/۴۱۲	۶۵/۴۲۴	۶۶/۴۳۴	۶۷/۴۴۲	۶۸/۴۴۹	۶۹/۴۵۴
بروجن	۹۲/۱۰۱	۱۲/۲۰۰	۴۴/۲۶۷	۷۲/۳۱۶	۹۸/۳۵۶	۱۲۲/۳۹۱	۱۴۶/۴۲۲	۱۶۹/۴۴۹	۱۹۱/۴۷۵	۲۱۵/۴۹۸	۲۳۸/۵۲۰	۲۵۴/۵۴۱	۲۶۱/۵۶۱	۲۶۹/۵۷۹	۲۷۶/۵۹۷	۲۸۳/۶۱۳
کوهرنگ	۷۷/۷۸	۶۸/۱۵۴	۷۱/۲۰۶	۷۴/۲۴۴	۷۶/۲۷۵	۷۷/۳۰۲	۷۸/۳۲۶	۷۹/۳۴۷	۸۰/۳۶۷	۸۱/۳۸۵	۸۲/۴۰۲	۸۳/۴۱۸	۸۴/۴۳۳	۸۵/۴۴۷	۸۶/۴۶۱	۸۷/۴۷۴



شکل ۱۰- مقادیر چگالی توان باد بر حسب ارتفاع در ایستگاه کوهرنگ

شکل ۹- مقادیر چگالی توان باد بر حسب ارتفاع در ایستگاه بروجن

شکل ۸- مقادیر چگالی توان باد بر حسب ارتفاع در ایستگاه شهرکرد

جداول ۳ تا ۵ نتایج حاصل از محاسبه محتمل ترین سرعت باد، سرعت نامی باد و احتمال وقوع سرعت های باد بین ۲۵-۴ متر بر ثانیه را به ترتیب در ارتفاع های ۲ تا ۱۵۰ متری نشان می دهد. همان طور که در جدول (۳) مشاهده می شود در اکثر ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری بالاترین مقدار محتمل ترین سرعت باد به ترتیب مربوط به ایستگاه های بروجن، کوهرنگ و شهرکرد است. در ارتفاع ۱۰ متری، محتمل ترین سرعت باد در ایستگاه بروجن با مقدار ۴/۵۱ متر بر ثانیه از بقیه ایستگاه ها بالاتر است و پایین ترین آن مربوط به ایستگاه شهرکرد است. در ارتفاع ۵۰ متری، محتمل ترین سرعت باد به ترتیب متعلق به ایستگاه های بروجن و کوهرنگ با مقادیر ۵/۶۴ و ۵/۱۳ متر بر ثانیه است.

با توجه به جدول (۴) در اکثر ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری، بالاترین مقدار سرعت نامی باد به ترتیب مربوط به ایستگاه بروجن، شهرکرد و کوهرنگ است. در ارتفاع ۱۰ متری، بالاترین سرعت نامی باد در ایستگاه بروجن به میزان ۹/۸۳ متر بر ثانیه و پایین ترین آن مربوط به ایستگاه کوهرنگ به میزان ۹/۳۵ متر بر ثانیه است. در ارتفاع ۵۰ متری نیز بالاترین و پایین ترین آن به ترتیب مربوط به ایستگاه بروجن و کوهرنگ است. همچنین با توجه به جدول (۵) در اکثر ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری بالاترین مقدار احتمال وقوع سرعت باد ۲۵-۴ متر بر ثانیه به ترتیب مربوط به ایستگاه های شهرکرد و بروجن است. در ارتفاع های ۱۰ و ۵۰ متری بالاترین مقادیر احتمال وقوع سرعت باد ۲۵-۴ متر بر ثانیه در ایستگاه شهرکرد به ترتیب با مقادیر ۰/۳۳ و ۰/۴۱ است. همچنین پایین ترین



مقادیر احتمال وقوع سرعت باد ۲۵-۴ متر بر ثانیه در ارتفاع‌های ۱۰ و ۵۰ متری متعلق به ایستگاه کوه‌رنگ به مقدار ۰/۳۱ و ۰/۳۹ است.

**جدول ۳- محتمل ترین سرعت باد در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متر در مقیاس سالانه در ایستگاه های استان چهار محال و بختیاری**

ایستگاه	۲	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱	۱۲	۱۳۰	۱۴	۱۵
شهرکرد	۴/۴	۶/۶	۳/۷	۵/۷	۷/۲	۸/۳	۹/۳	۱۰/۲	۱۱/۹	۱۲/۶	۱۳/۴	۱۴/۸	۱۵/۳	۱۶/۴	۱۷/۳	۱۸/۴
بروجن	۶/۴	۵/۴	۹/۶	۲۵/۵	۴۷/۵	۶۴/۵	۷۹/۵	۹۲/۵	۱۰۳/۶	۱۱۶/۶	۱۲۲/۶	۱۳۰/۶	۱۳۸/۶	۱۴۵/۶	۱۵۲/۶	۱۶۰/۶
کوه‌رنگ	۲/۴	۰/۹	۵/۴	۷/۴	۹/۴	۱۳/۵	۲۶/۵	۳۸/۵	۴۸/۵	۵۷/۵	۶۵/۵	۷۳/۵	۸۰/۵	۸۶/۵	۹۲/۵	۹۸/۵

**جدول ۴- سرعت نامی باد در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری در مقیاس سالانه ایستگاه های استان چهار محال و بختیاری**

ایستگاه	۲	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰
شهرکرد	۷۳/۷	۶۸/۹	۶۷/۱۰	۲۹/۱۱	۷۶/۱۱	۱۳/۱۲	۴۴/۱۲	۷۱/۱۲	۹۵/۱۲	۱۷/۱۳	۳۷/۱۳	۵۵/۱۳	۷۱/۱۳	۸۷/۱۳	۰۱/۱۴	۱۵/۱۴
بروجن	۸۵/۷	۸۳/۹	۸۳/۱۰	۴۷/۱۱	۹۴/۱۱	۳۲/۱۲	۶۳/۱۲	۹۱/۱۲	۱۵/۱۳	۳۷/۱۳	۵۷/۱۳	۷۵/۱۳	۹۲/۱۳	۰۸/۱۴	۲۲/۱۴	۳۶/۱۴
کوه‌رنگ	۴۷/۷	۳۵/۹	۳۱/۱۰	۹۱/۱۰	۳۶/۱۱	۷۲/۱۱	۰۲/۱۲	۲۸/۱۲	۵۱/۱۲	۷۲/۱۲	۹۱/۱۲	۰۸/۱۳	۲۴/۱۳	۳۹/۱۳	۵۳/۱۳	۶۶/۱۳

**جدول ۵- احتمال وقوع سرعتهای های بین ۴ و ۲۵ (متر بر ثانیه) در مقیاس سالانه ایستگاه های استان چهار محال و بختیاری**

ایستگاه	۲	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰
شهرکرد	۲۵/۰	۳۳/۰	۳۷/۰	۳۹/۰	۴۰/۰	۴۱/۰	۴۲/۰	۴۳/۰	۴۴/۰	۴۴/۰	۴۵/۰	۴۵/۰	۴۵/۰	۴۶/۰	۴۶/۰	۴۶/۰
بروجن	۲۴/۰	۳۲/۰	۳۶/۰	۳۸/۰	۳۹/۰	۴۰/۰	۴۱/۰	۴۲/۰	۴۳/۰	۴۳/۰	۴۴/۰	۰,۴۴	۴۴/۰	۴۵/۰	۴۵/۰	۴۵/۰
کوه‌رنگ	۲۳/۰	۳۱/۰	۳۴/۰	۳۶/۰	۳۸/۰	۳۹/۰	۴۰/۰	۴۱/۰	۴۱/۰	۴۲/۰	۴۲/۰	۴۳/۰	۴۳/۰	۴۳/۰	۴۴/۰	۴۴/۰

### محاسبه ساعات موجودیت باد

با توجه به رابطه (۱۶)، میانگین کل ساعات موجودیت باد برای ایستگاه‌های شهرکرد، بروجن، کوه‌رنگ، به ترتیب ۳۴۰۴/۴، ۳۴۷۶/۱، ۲۷۷۵/۶ ساعت در سال برآورد گردید. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ایستگاه بروجن بیشترین و ایستگاه کوه‌رنگ کمترین ساعات موجودیت باد را در سال به خود اختصاص داده‌اند.

### توزیع فصلی و ماهانه چگالی توان باد

نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد در مقیاس فصلی، فصل زمستان دارای بیشترین چگالی توان باد در بین فصول سال است. در ایستگاه‌های بروجن و شهرکرد از نظر توزیع فصلی چگالی توان باد، فصول بهار، پاییز و تابستان در رتبه‌های بعدی قرار دارند، اما در ایستگاه کوه‌رنگ، فصل پاییز، بهار و تابستان در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در مقیاس ماهانه نیز، ایستگاه‌های شهرکرد و بروجن در ماه مارس از بیشترین چگالی توان باد برخوردار هستند، اما در ایستگاه کوه‌رنگ، بیشترین چگالی توان باد متعلق به ماه ژانویه است. بنابراین توزیع زمانی چگالی توان باد با حاکمیت چیره بادهای غربی از یک طرف و بادهای محلی که در هنگام انتقال از یک فصل به فصل دیگر معمولاً در مناطق مختلف حاکمیت دارند، مطابقت دارد. جداول ۶ تا ۸ توزیع فصلی و ماهانه چگالی توان باد را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نیز توزیع فصلی و ماهانه چگالی توان باد را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۶- توزیع فصلی و ماهانه چگالی توان باد در ایستگاه شهرکرد

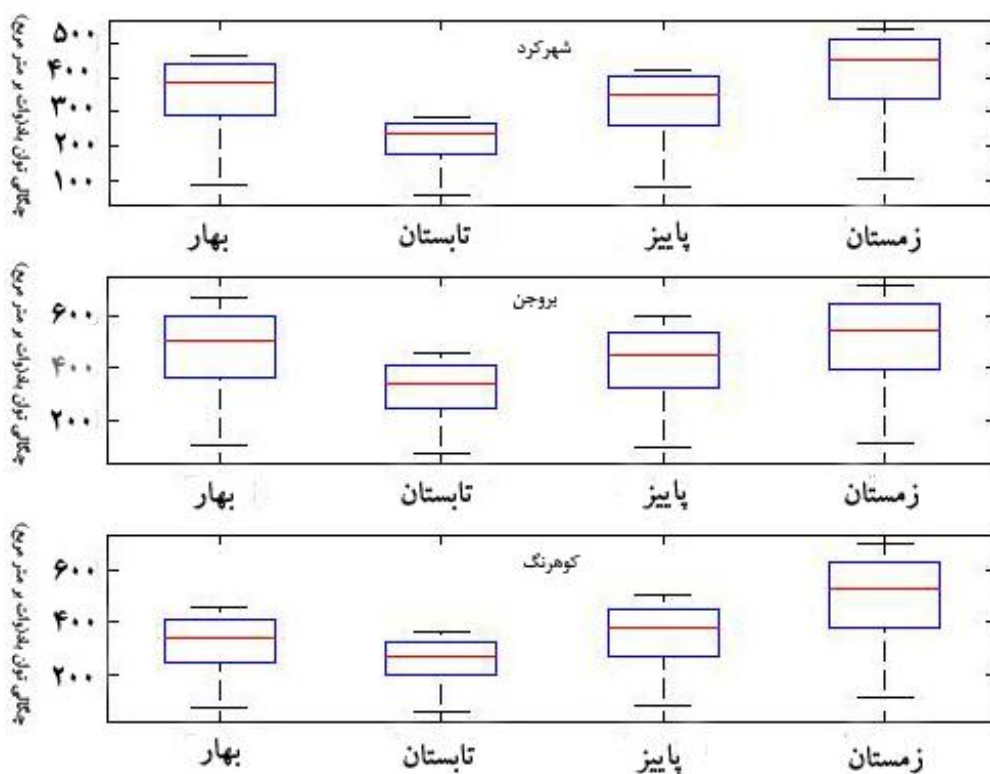
۱۵۰	۴۶۶/۱	۶/۸۸۳	۴/۴۲۴	۰/۵۴۴	۴۸۹/۱	۴۹۶/۴	۵۹۰/۹	۵۱۱/۲	۵۰۵/۵	۳۳۸/۰	۲۸۱/۶	۲۸۵/۸	۳۹۷/۵	۴۱۳/۵	۳۹۷/۵	۴۰۶/۳
۱۴۰	۴۶۰/۸	۴/۲۸۰	۶/۴۱۹	۸/۵۳۷	۳۸۳/۵	۴۹۰/۷	۵۸۴/۲	۵۰۵/۴	۴۹۹/۷	۳۳۴/۲	۲۶۸/۴	۲۸۲/۵	۳۹۳/۲	۴۰۸/۸	۳۹۳/۲	۴۰۱/۷
۱۳۰	۴۵۴	۳/۲۷۶	۵/۴۱۳	۹/۵۲۹	۴۷۶/۵	۴۸۳/۵	۵۷۵/۶	۴۹۸/۰	۴۹۲/۴	۳۲۹/۳	۲۷۴/۴	۲۷۸/۴	۳۸۷/۴	۴۰۲/۸	۳۸۷/۴	۳۹۵/۸
۱۲۰	۴۴۵/۸	۲/۲۷۱	۹/۴۰۵	۲/۵۲۰	۴۶۷/۸	۴۷۴/۷	۵۶۵/۱	۴۸۸/۹	۴۸۳/۴	۳۲۳/۳	۲۶۹/۳	۲۷۳/۳	۳۸۰/۴	۳۹۵/۴	۳۸۰/۴	۳۸۸/۶
۱۱۰	۴۳۵/۸	۲/۲۶۵	۹/۳۹۶	۶/۵۰۸	۴۵۷/۳	۴۶۴/۲	۵۵۲/۵	۴۷۸/۱	۴۷۲/۸	۳۱۶/۱	۲۶۳/۴	۲۶۷/۲	۳۶۷/۲	۳۸۶/۶	۳۷۱/۹	۳۸۰/۰
۱۰۰	۴۲۴/۲	۱/۲۵۸	۳/۳۸۶	۰/۴۹۵	۴۴۵/۱	۴۵۱/۷	۵۳۷/۷	۴۶۵/۲	۴۶۰/۰	۳۰۷/۶	۲۵۶/۳	۲۴۷/۲	۳۶۱/۹	۳۷۶/۳	۳۶۱/۹	۳۶۹/۸
۹۰	۴۱۰/۶	۸/۲۴۹	۹/۳۷۳	۲/۴۷۹	۴۳۰/۸	۴۳۷/۳	۵۲۰/۵	۴۵۰/۳	۴۴۵/۳	۲۹۷/۸	۲۴۸/۱	۲۳۹/۳	۳۴۷/۸	۳۶۴/۲	۳۵۰/۳	۳۵۷/۹
۸۰	۳۹۴/۹	۳/۲۴۰	۶/۳۵۹	۹/۴۶۰	۴۱۶/۴	۴۲۰/۶	۵۰۰/۶	۴۳۳/۱	۴۲۸/۳	۲۸۶/۴	۲۳۸/۶	۲۳۰/۱	۳۳۷/۰	۳۵۰/۳	۳۳۷/۰	۳۴۴/۳
۷۰	۳۷۶/۹	۳/۲۲۹	۷/۳۴۴	۸/۴۴۹	۳۹۵/۵	۴۰۱/۴	۴۷۷/۸	۴۱۳/۴	۴۰۸/۷	۲۷۳/۳	۲۲۷/۸	۲۱۹/۶	۳۲۱/۰	۳۳۴/۳	۳۲۱/۶	۳۲۸/۵
۶۰	۳۵۶/۱	۷/۲۱۶	۳/۳۲۴	۶/۴۱۵	۳۷۳/۷	۳۷۹/۳	۴۵۱/۵	۳۹۰/۶	۳۸۶/۲	۲۵۸/۳	۲۱۵/۲	۲۰۷/۵	۳۱۵/۹	۳۱۵/۹	۳۰۳/۹	۳۱۰/۵
۵۰	۳۳۲/۲	۱/۲۰۲	۵/۳۰۲	۷/۳۸۷	۳۴۸/۶	۳۵۳/۸	۴۲۱/۲	۳۶۶/۴	۳۶۰/۳	۲۴۰/۹	۲۰۰/۷	۱۹۳/۶	۲۹۴/۷	۲۹۴/۷	۲۸۳/۵	۲۸۹/۶
۴۰	۳۰۴/۳	۱/۱۸۵	۱/۲۷۷	۱/۴۵۵	۳۱۹/۳	۳۲۴/۰	۳۸۵/۷	۳۳۳/۷	۳۳۰/۰	۲۲۰/۷	۱۸۳/۸	۱۷۷/۳	۲۵۹/۶	۲۶۹/۹	۲۵۹/۶	۲۶۵/۳
۳۰	۲۷۰/۹	۸/۱۶۴	۷/۲۴۶	۲/۳۱۶	۲۸۴/۳	۲۸۸/۵	۳۴۳/۴	۲۹۷/۱	۲۹۳/۸	۱۹۶/۵	۱۶۳/۸	۱۵۷/۹	۲۴۰/۳	۲۴۰/۳	۲۳۱/۲	۲۳۶/۲
۲۰	۲۲۹/۳	۵/۱۳۹	۸/۲۰۸	۶/۴۶۷	۲۴۰/۶	۲۴۴/۲	۲۹۰/۷	۲۵۱/۵	۲۴۸/۷	۱۶۶/۳	۱۳۸/۵	۱۳۳/۶	۱۹۹/۹	۲۰۳/۴	۱۹۵/۷	۱۹۹/۹
۱۰	۱۷۱/۸	۵/۱۰۴	۴/۱۵۶	۵/۲۰۰	۱۸۰/۳	۱۸۲/۹	۲۱۷/۸	۱۸۸/۴	۱۸۶/۳	۱۲۴/۶	۱۰۳/۸	۱۰۰/۱	۱۴۹/۸	۱۵۲/۴	۱۴۶/۶	۱۴۹/۸
۲	۸۷/۵	۲/۵۳	۷/۷۹	۱/۱۰۲	۹۱/۸	۹۳/۲	۱۱۰/۹	۹۶/۰	۹۴/۹	۶۳/۴	۵۲/۹	۵۱/۰	۷۶/۳	۷۷/۶	۷۴/۶	۷۶/۳
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر

جدول ۷- توزیع فصلی و ماهانه چگالی توان باد در ایستگاه بروجن

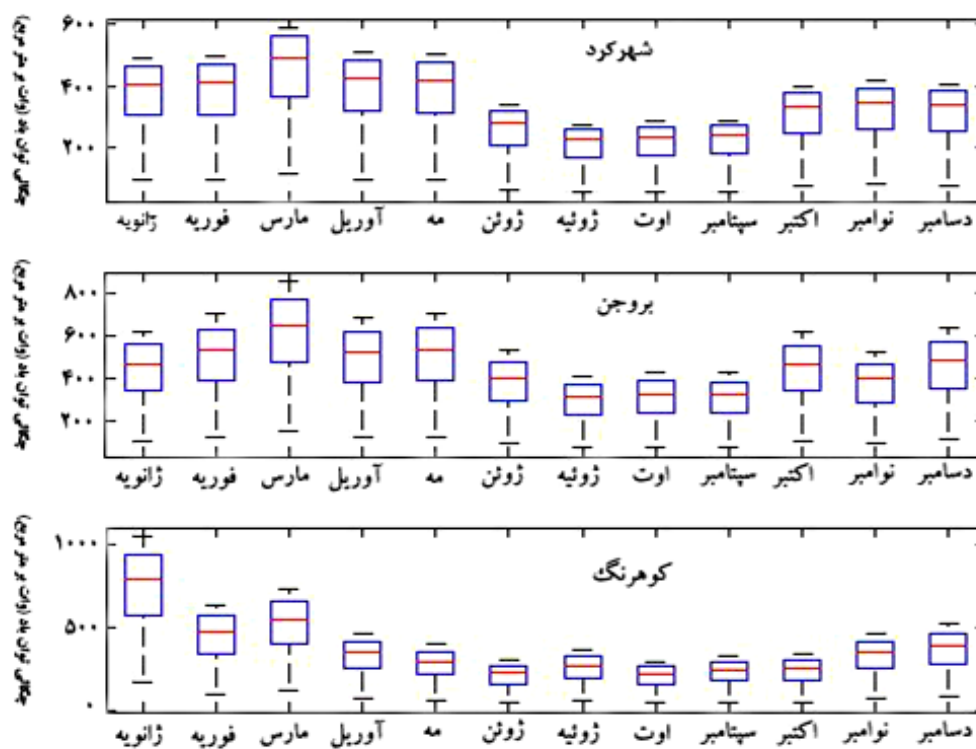
۱۵	۱۴	۱۳۰	۱۲	۱۱	۱۰۰	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۲	
۶۳۷/۹	۵۲۱/۵	۶۱۶/۲	۴۲۵/۰	۴۳۰/۹	۴۰۶/۵	۵۳۱/۰	۷۰۵/۸	۶۹۰/۱	۸۶۱/۵	۷۰۰/۳	۶۲۲/۲	۷۱۶/۱	۵۹۵/۶	۴۵۵/۴	۶۶۴/۷	بهار
۶۲۰/۴	۵۰۷/۲	۵۹۹/۳	۴۱۳/۴	۴۱۹/۱	۳۹۵/۴	۵۱۶/۵	۶۸۵/۴	۶۷۱/۱	۸۳۷/۹	۶۸۱/۱	۶۰۵/۲	۶۹۶/۴	۵۷۹/۲	۴۴۲/۹	۶۴۶/۵	تابستان
۶۰۲/۱	۴۹۲/۴	۵۸۱/۶	۴۰۱/۲	۴۰۶/۷	۳۸۳/۷	۵۰۱/۲	۶۶۶/۲	۶۵۱/۳	۸۱۳/۲	۶۶۱/۰	۵۸۷/۳	۶۷۵/۹	۵۶۲/۱	۴۲۹/۸	۶۲۷/۴	پاییز
۵۸۲/۹	۴۷۶/۵	۵۶۳/۰	۳۸۸/۴	۳۹۳/۷	۳۷۱/۴	۴۸۵/۲	۶۴۴/۹	۶۳۰/۵	۷۸۷/۲	۶۳۹/۹	۵۶۸/۵	۶۵۴/۳	۵۴۴/۲	۴۱۶/۱	۶۰۷/۴	زمستان
۵۶۲/۶	۴۵۹/۹	۵۴۳/۵	۳۷۴/۹	۳۸۰/۰	۳۵۸/۵	۴۶۸/۴	۶۲۲/۵	۶۰۸/۶	۷۵۹/۸	۶۱۷/۷	۵۴۸/۸	۶۳۱/۶	۵۲۵/۳	۴۰۱/۷	۵۸۶/۳	ژانویه
۵۴۱/۲	۴۴۲/۴	۵۲۲/۷	۳۶۰/۶	۳۶۵/۵	۳۴۴/۹	۴۵۰/۵	۵۹۸/۸	۵۸۵/۴	۷۳۰/۹	۵۹۴/۱	۵۲۴/۹	۶۰۷/۵	۵۰۵/۳	۳۸۶/۳	۵۶۳/۹	فوریه
۵۱۸/۴	۴۲۳/۷	۵۰۰/۷	۳۴۵/۴	۳۵۰/۱	۳۳۰/۳	۴۳۱/۵	۵۳۴/۵	۵۶۰/۷	۷۰۰/۱	۵۶۹/۱	۵۰۵/۶	۵۸۱/۹	۴۸۳/۹	۳۷۰/۱	۵۴۰/۲	مارس
۴۹۳/۹	۴۰۳/۷	۴۷۷/۱	۳۲۹/۱	۳۳۳/۶	۳۱۴/۷	۴۱۱/۲	۵۲۶/۵	۵۳۴/۳	۶۶۷/۱	۵۴۲/۲	۴۸۱/۸	۵۵۴/۴	۴۶۱/۱	۳۵۲/۶	۵۱۴/۷	آوریل
۴۶۷/۵	۳۸۲/۲	۴۵۱/۶	۳۱۱/۵	۳۱۵/۸	۲۹۷/۹	۳۸۹/۲	۵۱۷/۳	۵۰۵/۷	۶۳۱/۴	۵۱۳/۳	۴۵۶/۰	۵۲۴/۸	۴۳۶/۵	۳۳۳/۸	۴۸۷/۲	مه
۴۳۸/۷	۳۵۸/۶	۴۲۳/۸	۲۹۲/۳	۲۹۶/۳	۲۷۹/۶	۳۶۵/۲	۴۸۵/۴	۴۷۴/۶	۵۹۲/۵	۴۸۱/۶	۴۲۷/۹	۴۹۲/۵	۴۰۹/۶	۳۱۳/۲	۴۵۷/۲	ژوئن
۴۰۶/۹	۳۳۲/۶	۳۹۳/۰	۲۷۱/۱	۲۷۴/۸	۲۵۹/۳	۳۳۸/۷	۴۵۰/۲	۴۴۰/۱	۵۴۹/۵	۴۴۶/۷	۳۹۶/۹	۴۵۶/۷	۳۷۹/۹	۲۹۰/۵	۴۲۴/۰	ژوئیه
۳۷۰/۹	۳۰۳/۲	۳۵۸/۳	۲۴۷/۱	۲۵۰/۵	۲۳۶/۴	۳۰۸/۸	۴۱۰/۴	۴۰۱/۲	۵۰۰/۹	۴۰۷/۲	۳۶۱/۸	۴۱۶/۳	۳۴۶/۳	۲۶۴/۸	۳۸۶/۵	اوت
۳۴۹/۱	۲۶۹/۰	۳۱۷/۹	۲۱۹/۳	۲۲۲/۳	۲۰۹/۷	۲۷۳/۹	۳۶۴/۱	۳۵۶/۰	۴۴۴/۴	۳۶۱/۳	۳۲۱/۰	۳۶۹/۴	۳۰۷/۲	۲۳۴/۹	۳۴۲/۹	سپتامبر
۲۷۷/۹	۲۲۷/۱	۲۶۸/۴	۱۸۵/۱	۱۸۷/۷	۱۷۷/۱	۲۳۱/۳	۳۰۷/۴	۳۰۰/۶	۳۷۵/۳	۳۰۵/۰	۲۷۱/۰	۳۱۱/۹	۲۵۹/۴	۱۹۸/۴	۲۸۹/۶	اکتبر
۲۰۷/۹	۱۷۰/۰	۲۰۰/۸	۱۳۸/۵	۱۴۰/۴	۱۳۲/۵	۱۷۳/۱	۲۳۰/۱	۲۲۴/۹	۲۸۰/۸	۲۲۸/۳	۲۰۲/۸	۲۳۳/۴	۱۹۴/۱	۱۴۸/۴	۲۱۶/۷	نوامبر
۱۰۵/۹	۸۶/۶	۱۰۲/۳	۷۰/۶	۷۱/۵	۶۷/۵	۸۸/۲	۱۱۷/۲	۱۱۴/۵	۱۴۳/۰	۱۱۶/۲	۱۰۳/۳	۱۱۸/۹	۹۸/۹	۷۵/۶	۱۱۰/۳	دسامبر

جدول ۸- توزیع فصلی و ماهانه چگالی توان باد در ایستگاه کوهرنگ

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	زمستان	پاییز	تابستان	بهار
۸۷/۳	۷۷/۶	۵۷/۴	۵۵/۵	۵۰/۰	۶۰/۶	۵۱/۱	۶۶/۷	۷۷/۴	۱۲۱/۲	۱۰۶/۲	۱۷۴/۸	۱۱۶/۲	۸۳/۱	۶۰/۵	۷۶/۱
۱۷۱/۳	۱۵۲/۴	۱۱۲/۷	۱۰۹/۰	۹۸/۱	۱۱۹/۱	۱۰۰/۳	۱۳۱/۰	۱۵۲/۱	۲۳۷/۹	۲۰۸/۶	۳۴۳/۳	۲۲۸/۳	۱۶۳/۳	۱۱۸/۹	۱۴۹/۳
۲۲۹/۰	۲۰۳/۷	۱۵۰/۷	۱۴۵/۷	۱۳۱/۱	۱۵۹/۱	۱۳۴/۰	۱۷۵/۱	۲۰۳/۲	۳۱۸/۰	۲۷۸/۸	۴۵۸/۸	۳۰۵/۱	۲۱۸/۲	۱۵۸/۹	۱۹۹/۶
۳۰۵/۶	۲۷۱/۹	۲۰۱/۱	۱۹۴/۵	۱۷۵/۰	۲۱۲/۴	۱۷۸/۹	۲۳۳/۷	۲۷۱/۲	۴۲۴/۴	۳۷۲/۱	۶۱۲/۴	۴۰۷/۲	۲۹۱/۲	۲۱۲/۱	۲۶۶/۴
۲۷۱/۲	۲۴۱/۲	۱۷۸/۴	۱۷۶/۵	۱۵۵/۳	۱۸۸/۴	۱۵۸/۷	۲۰۷/۳	۲۴۰/۷	۳۷۶/۶	۳۳۰/۱	۵۴۳/۴	۳۶۱/۳	۲۵۸/۴	۱۸۸/۱	۲۳۶/۳
۳۳۵/۳	۲۹۸/۳	۲۲۰/۶	۲۱۳/۳	۱۹۲/۰	۲۳۳/۰	۱۹۶/۲	۲۵۶/۳	۲۹۷/۵	۴۶۵/۶	۴۰۸/۲	۶۷۱/۸	۴۴۶/۷	۳۱۹/۵	۲۳۲/۶	۲۹۲/۲
۳۶۱/۵	۳۲۱/۶	۲۳۷/۹	۲۳۰/۱	۲۰۷/۰	۲۵۱/۲	۲۱۱/۶	۲۷۶/۴	۳۲۰/۹	۵۰۲/۱	۴۴۰/۱	۷۲۴/۴	۴۸۱/۶	۳۳۴/۵	۲۵۰/۸	۳۱۵/۱
۳۸۵/۲	۳۴۲/۷	۲۵۲/۵	۲۴۵/۲	۲۲۰/۶	۲۶۷/۷	۲۲۵/۵	۲۹۴/۵	۳۴۱/۹	۵۳۵/۰	۴۶۹/۰	۷۷۲/۰	۵۱۳/۳	۳۶۷/۱	۲۶۷/۳	۳۳۵/۸
۴۰۷/۰	۳۶۲/۱	۲۶۷/۸	۲۵۹/۰	۲۳۳/۰	۲۸۲/۸	۲۳۸/۲	۳۱۱/۲	۳۶۱/۲	۵۶۵/۲	۴۹۵/۵	۸۱۵/۵	۵۴۲/۲	۳۸۷/۸	۲۸۲/۴	۳۵۴/۷
۴۲۷/۱	۳۸۰/۰	۲۸۱/۱	۲۷۱/۸	۲۴۴/۶	۲۹۶/۸	۲۵۰/۰	۳۲۶/۶	۳۷۹/۱	۵۹۳/۲	۵۲۰/۰	۸۵۵/۹	۵۶۹/۱	۴۰۷/۰	۲۹۶/۴	۳۷۲/۳
۴۴۵/۹	۳۹۶/۷	۲۹۳/۴	۲۸۳/۸	۲۵۵/۳	۳۰۹/۹	۲۶۱/۰	۳۴۰/۹	۳۹۵/۸	۶۱۹/۳	۵۲۲/۹	۸۹۳/۶	۵۹۴/۱	۴۲۵/۰	۳۰۹/۴	۳۸۸/۷
۴۶۳/۶	۴۱۲/۵	۳۰۵/۱	۲۹۵/۰	۲۶۵/۵	۳۲۲/۱	۲۷۱/۳	۳۵۴/۴	۴۱۱/۵	۶۴۳/۸	۵۶۴/۴	۹۲۹/۰	۶۱۷/۷	۴۴۱/۸	۳۲۱/۷	۴۰۴/۱
۴۸۰/۳	۴۲۷/۳	۳۱۶/۱	۳۰۵/۶	۲۷۵/۰	۳۳۳/۷	۲۸۱/۱	۳۶۷/۲	۴۲۶/۳	۶۶۷/۰	۵۸۴/۷	۹۶۲/۴	۶۳۹/۹	۴۵۷/۷	۳۳۳/۳	۴۱۸/۶
۴۹۶/۱	۴۴۱/۴	۳۲۶/۵	۳۱۵/۷	۲۸۴/۱	۳۴۴/۸	۲۹۰/۴	۳۷۹/۳	۴۴۰/۳	۶۸۹/۰	۶۰۴/۰	۹۹۴/۲	۶۶۱/۰	۴۷۲/۸	۳۴۴/۲	۴۳۲/۴
۵۱۱/۲	۴۵۴/۸	۳۳۶/۴	۳۲۵/۳	۲۹۲/۷	۳۵۵/۲	۲۹۹/۲	۳۹۰/۹	۴۵۳/۷	۷۱۰/۰	۶۲۲/۴	۱۰۲۴/۴	۶۸۱/۱	۴۸۷/۲	۳۵۴/۷	۴۴۵/۶
۵۲۵/۶	۴۶۷/۷	۳۴۵/۹	۳۳۴/۵	۳۰۱/۰	۳۶۵/۳	۳۰۷/۶	۴۰۱/۹	۴۶۶/۵	۷۳۰/۰	۶۴۰/۰	۱۰۵۳/۳	۷۰۰/۳	۵۰۰/۹	۳۶۴/۷	۴۵۸/۲



شکل ۱۱- توزیع فصلی چگالی توان باد در ایستگاه های مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۸



شکل ۱۲-توزیع ماهانه چگالی توان باد در ایستگاه های مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۸

## نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که در بین ایستگاههای مورد بررسی در این پژوهش، بیشترین سرعت نامی باد که بیشترین انرژی باد در آن سرعت به دست می‌آید، در مقیاس سالانه مربوط به ایستگاه بروجن است که در ارتفاع های ۱۰ و ۵۰ متر به ترتیب مقادیر ۹/۸۳ و ۱۲/۳۲ متر بر ثانیه را به خود اختصاص داده است و کمترین آن متعلق به ایستگاه کوهرننگ و در ارتفاع ۱۰ متری برابر ۹/۳۵ متر بر ثانیه می‌باشد. از آنجا که سرعت نامی باد سرعتی است که بیشترین انرژی را تولید می‌کند و برای نصب توربین‌های بادی مناسب است، لذا شهرستان بروجن می‌تواند محل مناسبی برای استحصال انرژی باد محسوب گردد. همچنین بیشترین احتمال سرعت باد در ایستگاه بروجن در ارتفاع‌های ۱۰ و ۵۰ متری به ترتیب ۴/۵۱ و ۵/۶۴ متر بر ثانیه است. باید به این نکته توجه داشت که احتمال وقوع باد در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متر به ترتیب در ایستگاه‌های بروجن و شهرکرد بیشتر است، لذا به این ارتفاعات برای بهره‌برداری از انرژی باد نیز باید توجه داشت. در ارتفاعات ۱۰ متری و ۵۰ متری و در اکثر ارتفاعات دیگر ایستگاه بروجن دارای بیشترین میزان چگالی باد است. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داد هر سه ایستگاه مورد مطالعه در فصل زمستان از بیشترین چگالی توان باد برخوردار هستند. در مقیاس ماهانه نیز در ایستگاه‌های شهرکرد و بروجن، بیشترین چگالی توان باد متعلق به ماه مارس است، در حالیکه در ایستگاه کوهرننگ بیشترین چگالی توان باد در ماه ژانویه به وقوع می‌پیوندد. از آنجا که استان چهارمحال و بختیاری از استان‌های سردسیر و مرتفع کشور است، لذا از مصرف کنندگان عمده سوخت‌های فسیلی به شمار می‌آید. مشکلات ناشی از تهیه و تأمین منابع انرژی‌های فسیلی و مصرف زیاد آن در این استان از یک سو و همچنین به دلیل مزایای فراوانی که انرژی حاصل از باد نسبت به دیگر انرژی‌ها به ویژه انرژی‌های فسیلی دارد از سوی دیگر و نیز پتانسیل مناسب نهفته در بادهای این منطقه ایجاب می‌نماید تا توجه بیشتری به این مقوله در این استان معطوف گردد.

## منابع و مآخذ

- ۱- رضایی مجید، بنفشه، جهانبخش، سعید، دین پژوه، یعقوب، اسمعیل پور، مرضیه (۱۳۹۳). امکان سنجی استفاده از انرژی باد در استان‌های اردبیل و زنجان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳، صص ۲۷۴-۲۶۱.
- ۲- رضایی، عبدالمجید، (۱۳۸۶)، مفاهیم آمار و اطلاعات، نشر مشهد، چاپ ششم.
- ۳- زاهدی، مجید، برومند صلاحی، جمیل، مجید (۱۳۸۴). محاسبه چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، صص ۵۵-۴۱.
- ۴- سازمان انرژی‌های نو ایران (۱۳۹۳).
- ۵- سعیدی، داوود، نعمت‌اللهی، امید، عالم رجبی، علی اکبر (۱۳۹۰). بررسی پتانسیل انرژی باد در استان خراسان شمالی در ایران نشریه علمی پژوهشی مدیریت انرژی، دوره ۱، شماره ۱، صص ۵۶-۴۹.
- ۶- صلاحی، برومند (۱۳۸۳) پتانسیل انرژی باد و برآزش احتمالات واقعی وقوع باد استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل، تحقیقات جغرافیایی، ۷۲، صص ۸۷-۱۰۴.
- ۷- عبدلی، حبیب، ساری صراف، بهروز، حسینی شمعچی، عباس، (۱۳۸۸). امکان سنجی پتانسیل انرژی باد و کاربرد آن در طرح‌های توسعه صنعتی مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی، فضای جغرافیایی، ۲۸، صص ۵۷-۷۴.
- ۸- فلاح قاهره، غلامعباس، (۱۳۹۳) "اصول و مبانی هواشناسی"، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، چاپ دوم.
- ۹- فلاح قاهره، غلامعباس، (۱۳۹۳)، آب و هوای لایه مرزی، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، چاپ اول.
- ۱۰- کاویانی، محمدرضا، (۱۳۷۴)، توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۶: ۱۲۷-۱۴۴
- ۱۱- گندم کار، امیر (۱۳۸۸) ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره پیاپی ۴، زمستان ۱۳۸۸، صص ۱۰۰-۸۵.
- ۱۲- مجرد، فیروز، همتی شهرام، (۱۳۹۲)، ارزیابی قابلیت‌های انرژی باد در استان‌های کرمانشاه و کردستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال سیزدهم، شماره ۲۹، تابستان ۹۲.

۱۳- محمدی، حسین، رستمی جلیلیان شیما، تقوی، فرحناز، شمسی پور، علی اکبر (۱۳۹۱). پتانسیل سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، ۸۰، صص ۱۹-۳۲.

- 14- 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.
- 15- Azad A. K., Rasul M. G., Rubayat I and Imrul R. S., 2015. Analysis of wind energy prospect for power generation by three Weibull distribution methods, Energy Procedia, 75, pp.722 – 727.
- 16- Belu,R.& Koracin, D.,(2009), " Wind characteristics and wind Energy potential in western Nevada , Renewable Energy , Vol,34,pp.2246-2251
- 17- Dorvlo,A., 2003, Estimating wind speed Distribution, Energy Conversion and Management, vol.43,no,17,PP.2311-2318.
- 18-Eskin.N.Artar.H.Toluns.(2008)" wind energy potential of Go Kc-eada Island in Turkey, Renewable and sustainable Energy Reviews" Vol 12,pp. 839-851.
- 19- Lee.k.h.jun.s.o.pak.k.h.Lee.d.h.Lee.k.w.park.j.p.(2010), " numerical optimizathon of sit selection for offshore wind turbine installation usining genetic algoritm current applied physic".vol.10.pp302-306.
- 20- LeventB., Mehmet I., Yilser D., Ayhan A., 2015. Seasonal and yearly wind speed distribution and wind power density analysis based on Weibull distribution function, International Journal of Hydrogen Energy, 40 (44), pp. 15301-15310.
- 21-Segureo, J.V., Lambert, T.W., 2000, Modern Estimation of the Parameters of the welbull wind speed Distribution for wind Energy Analysis, Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 85, No.1, pp.75- 85.
- 22- Ouarda T.B.M.J., Charron C., Shin. J.-Y., Marpu P.R., Al-Mandoos A.H., Tamimi M.H. Al-,Ghedira H., Hosary T.N. Al. 2015. Probability distributions of wind speed in the UAE, Energy Conversion and Management, 93, pp 414-434.
- 23- ValerijsBezrukovsa V.B, Peteris S , Lita L., 2014. Investigation of Wind Energy Distribution in Height in Latvia, Energy Procedia, 57,pp. 3100 – 3109.
- 24-Walker J.F. and Jenkins, N., 1997. "Wind Energy Technology", 1st Ed. Chichester John Wiley.
- 25-WWW.chmet.ir.
- 26- 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.