

ارزیابی بهره‌برداری از انرژی باد در شهرستان ایلام

غلامعباس فلاح قاهری^۱، مهناز رستمیان^{۲*}

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

۲- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه زنجان

(دریافت: ۹۴/۰۲/۱۵، پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۶)

چکیده

در پژوهش حاضر، امکان‌سنجی انرژی باد در ایستگاه هواشناسی ایلام که دارای داده‌های باد با دوره آماری ۲۴ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۷) بود، مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. این داده‌ها در فواصل زمانی سه ساعته و در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شده‌اند. ابتدا داده‌ها در نرم‌افزار اکسل مرتب شدند. برای ترسیم گلباد از نرم‌افزار Windrose و برای محاسبه احتمال وقوع داده‌ها از توزیع احتمال ویبول استفاده شد. بدین منظور فراوانی هریک از سرعت‌های باد در ساعات مختلف استخراج شدند. سپس آزمون کای مربع بر روی اطلاعات ایستگاه ایلام انجام شد و ایستگاه‌هایی که داده‌های سرعت باد آن‌ها از توزیع ویبول تبعیت نمی‌کردند، حذف شدند. برای محاسبه فراسنج‌های 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 ارتفاعی توربین‌های بادی است) تبدیل و خصوصیات سرعت و توان باد در این ارتفاع محاسبه شدند. نتایج این تحقیق نشان داد پتانسیل انرژی باد در ارتفاع ۱۰ متری، ۶۴/۸۷ وات بر متر مربع در واحد سطح است. این مقدار در اکثر ارتفاعات در ایستگاه ایلام با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: ایلام، انرژی باد، توزیع ویبول، چگالی توان باد، قانون توان.

مقدمه

سرعت آن و نیز تعیین پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی استفاده از آن در ایستگاه سینوپتیک ایلام است. از دیگر اهداف این پژوهش پیش‌بینی درصد وقوع احتمال هر یک از سرعت‌ها با استفاده از تابع توزیع پیوسته احتمال ویبول است. نیلش و همکاران^۱ با استفاده از توزیع احتمال سرعت باد، پتانسیل انرژی باد را در فرودگاه بهوپال هندوستان برآورد نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد این منطقه از توانایی خوبی در تولید انرژی از باد برخوردار می‌باشد. تچیندا و همکاران^۲ پتانسیل انرژی باد را در منطقه شمالی کامرون برآورد نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد مناطق شمالی کامرون از پتانسیل مناسبی برای تولید الکتریسیته از باد برخوردار نیست و بهتر است از انرژی باد برای پمپاژ آب و استفاده از آن در بخش آبیاری کشاورزی استفاده نمایند. افونگوچی و همکاران^۳ از توزیع ویبول و روش گرافیکی برای ارزیابی توان باد در منطقه شمالی کامرون استفاده نموده‌اند. آنها نیز نتیجه گرفته‌اند

در سال‌های اخیر به علت محدودیت‌ها و مشکلات بهره‌برداری از سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر، مانند انرژی باد را به یکی از استراتژی‌های مهم کشورها تبدیل نموده است. انرژی یک عنصر ضروری در رشد و توسعه اقتصادی - اجتماعی است. غالباً بسیاری از کشورها، برگزاری جلسات و بحث در مورد انرژی را در دستور کار خود دارند. این کشورها هم‌اکنون در حال تعدیل عرضه و تقاضای انرژی می‌باشند. فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر، راه حل‌یست که با استفاده از پدیده‌هایی طبیعی، انرژی‌های مفید تولید می‌نماید. انرژی باد، یک انرژی تجدیدپذیر مطمئن و امیدوارکننده است. این انرژی از زمانی که به عنوان یکی از پاک‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر شناخته شده است، بسیار بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. باد یکی از مظاهر انرژی خورشید و همان هوای متحرک است و پیوسته جزء کوچکی از تابش خورشید که از خارج به اتمسفر می‌رسد، به انرژی باد تبدیل می‌شود. هدف این پژوهش، بررسی اوضاع کلی باد و ویژگی‌های سمت و

1- Nilesh
2- Tchinda
3- Afungchui
4- Al Zohbi

وزش باد و توان باد در ایستگاه سینوپتیک اردبیل بیشتر از سایر ایستگاه‌هاست. سلطانی و همکاران در تحقیقی به بررسی پتانسیل انرژی باد در بندر امیرآباد به منظور امکان‌سنجی تأسیس نیروگاه بادی پرداختند ضریب k و c ویول برای ۵۸ ماه از مارس ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۰۹ محاسبه شده و از روی آن چگالی قدرت باد را بدست آوردند و نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین چگالی مربوط به ماه ژولای و کمترین مربوط به ماه اکتبر می‌باشد. انتظاری و همکاران در تحقیقی به ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار در یک دوره ۳۰ ساله ۲۰۰۷-۱۹۷۸ پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که سرعت متوسط سالانه در این ایستگاه ۲/۵۳ متر بر ثانیه بوده و باد غالب در تمامی ماه‌ها شرقی است.

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 ایستگاه ایلام است. از دیگر اهداف این پژوهش پیش‌بینی درصد وقوع احتمال هریک از سرعت‌ها با استفاده از تابع توزیع پیوسته احتمال ویول است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شهرستان ایلام است که موقعیت آن در کشور در شکل (۱) نشان داده شده است. استان ایلام به لحاظ وجود ارتفاعات کبیرکوه از سلسله جبال زاگرس از دو شرایط خاص آب و هوایی برخوردار است. قسمت جنوبی و غربی این رشته کوه شامل دشت‌های پست با حداقل ارتفاع حدود ۶۰ متر از سطح دریا، دارای شرایط آب و هوایی خشک با دمای بیش از ۵۲ درجه سانتی‌گراد که بطور عمده دارای کمترین پوشش گیاهی و مورفولوژی تپه ماهوری و در ناحیه شمالی استان آب و هوای معتدل حکم فرماست.

پتانسیل باد این منطقه تنها برای پمپاژ آب برای استفاده در بخش کشاورزی و دامداری مناسب است. الزهیمی و همکاران^۱ از توزیع ویول برای برآورد پتانسیل انرژی باد در لبنان استفاده نموده‌اند. آزاد و همکاران^۲ از توزیع ویول برای برآورد انرژی باد برای اهداف کشاورزی استفاده نمودند. پتکویت و همکاران^۳ از روش‌های نرم‌افزاری برای پیش‌بینی توزیع سرعت باد استفاده نمودند. کوستاروچا و همکاران^۴ از هفت روش آماری برای برآورد پارامترهای توزیع ویول و ارزیابی انرژی باد در برزیل استفاده نمودند.

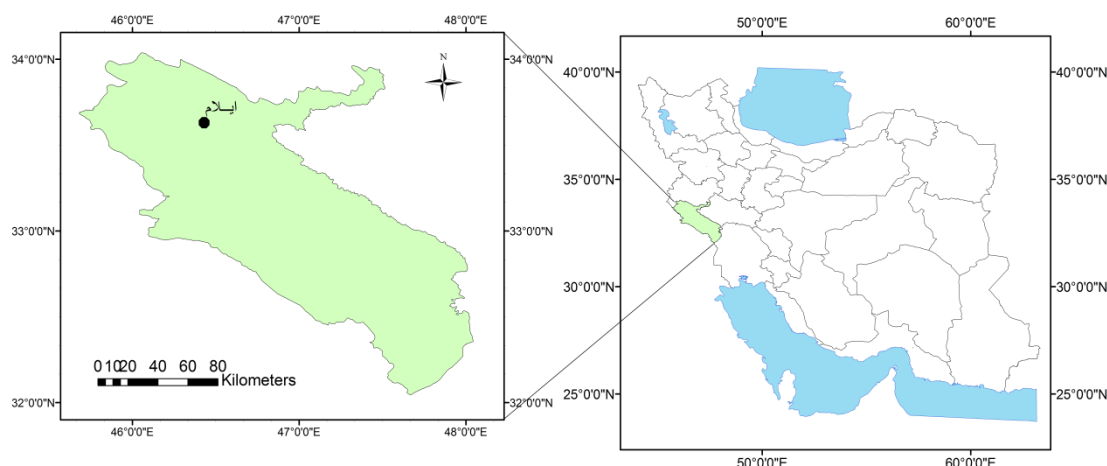
جمیل داده‌های جهت و سرعت باد در یک منطقه جغرافیایی را تابع ارتفاع، فصل و ساعت اندازه‌گیری می‌داند و عموماً اندازه‌گیری سرعت و جهت‌های وزش باد برای یک سال کامل کفایت می‌کند. جهانگیری و همکاران رژیم باد را با استفاده از داده‌های سه ساعته چند ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره زمانی ده ساله و چگالی توان باد با دو روش مستقیم و توزیع فراوانی سرعت ویال مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج آن‌ها نشان داد غیر از دره منجیل مناطق مستعدی نظیر سردشت و ماهشهر از نظر تولید انرژی وجود دارند. رحیم‌زاده و همکاران در پژوهشی به برآورد انرژی باد در ایستگاه‌های همدید استان اصفهان در دوره اقلیمی ۲۰۰۵-۱۹۹۲ پرداختند و میانگین انرژی باد را با استفاده از برازش نوع پیوندی (هیبرید) توزیع‌های ویال و معکوس نرمال به داده‌های ساعتی سرعت باد و همچنین روش مستقیم برآورد کردند بر اساس نتایج این تحقیق چگالی توان باد در ایستگاه‌های استان به کمتر از ۶۰ وات متر مربع می‌رسد چگالی توان باد با شروع ماه فوریه (حدود ماه بهمن) به سبب افزایش سرعت باد در منطقه زیاد می‌شود. امانی و همکاران در پژوهشی به بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی پرداختند و ویژگی‌های با استفاده از فرمول‌های گوناگون از جمله ضریب تغییرات باد، ضریب تداوم باد و تغییرات سرعت باد نسبت به ارتفاعات، مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که درصد

1- Al zahbi

2- Azad,

3- Petkovic

4- Costa



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور

(که بیشینه ارتفاعی توربین‌های بادی است) تبدیل و خصوصیات سرعت، توان و ساعات موجودیت باد محاسبه شدند. برای ترسیم گلباد سالانه ایستگاه ایلام مورد مطالعه نیز از نرم‌افزار Win Rose استفاده شد.

توزیع احتمال ویبول

توابع توزیع چگالی احتمال که برای انرژی باد تأیید شده و کاربرد زیادی دارند، شامل دو توزیع احتمال ویبول و رایله^۱ می‌باشند. تابع ویبول حالت خاصی از توزیع گاما^۲ است. این تابع نسبت به توابع دیگر نظیر رایله از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار بوده و به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$V > 0, K > 0, C > 0 \quad (1)$$

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

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^۳ است که به کمک تابع احتمال تجمعی بدست می‌آید. بدین منظور لازم است با

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. در این پژوهش، آمار سه ساعته سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری مربوط به ایستگاه ایلام از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. سپس داده‌های سرعت و جهت باد در نرم‌افزار اکسل مرتب شد. ویژگی‌های باد از جمله سرعت و فراوانی آن صرف‌نظر از ساعت وقوع به صورت سالانه برای محاسبه به دست آورده شد با توجه به اینکه بهترین توزیع نظری برای داده‌های باد، تابع توزیع ویبول می‌باشد، پارامترهای مربوط به توزیع ویبول در 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 ایستگاه مورد استفاده به دست آمد. در ادامه با استفاده از قانون یک هفتم، اطلاعات باد در ارتفاع ۱۰ متری به ارتفاع ۵۰ متری

1-Rayleigh

2-Gamma distribution

3-Least-square

مقدار چگالی هوا در سطح دریا (ρ_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.

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 به عنوان اولین عامل مهم جهت طراحی توربین بادی معرفی می‌کند. از این رو، سرعت متوسط و توزیع سالانه‌ی باد، تغییرات و تداوم وزش آن حائز اهمیت است ارتفاع ۵۰ متری، ارتفاع محور اکثر توربین‌های بادی است.

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 یکنواخت با ارتفاع تا سقف لایه مرزی جو افزایش نمی‌یابد، نسخه تا اندازه‌ای اصلاح شده معادله فوق بصورت 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

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 در مرحله بعد، با مشخص شدن مقادیر X و Y ، مقادیر K و C توسط روابط زیر قابل محاسبه است:

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

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

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

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.

محاسبه چگالی انرژی باد

با داشتن پارامتر شکل و مقیاس توزیع ویبول (K و C) و استفاده از سرعت‌های موجود باد (V_i)، می‌توان پتانسیل انرژی باد یک منطقه را محاسبه نمود. 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، Γ تابع گاما، K و C پارامترهای شکل و مقیاس توزیع ویبول، S معرف سطح و ρ میانگین چگالی هواست.

یکی از پارامترهای مهم در استفاده از توربین‌های بادی در یک مکان، موجودیت ساعات باد در سال است که می‌توان آن را از رابطه (۱۶) به دست آورد. در این رابطه، W_e موجودیت باد، N تعداد سال‌های مورد بررسی، f_i فراوانی‌های رخداد باد و $\sum_{i=1}^n f_i$ مجموع فراوانی تک‌تک ساعات برای تمام طبقات و t فاصله زمانی بین برداشت‌های باد است که با توجه به داده‌برداری ۳ ساعته سمت و سرعت باد، ۳ در نظر گرفته می‌شود:

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

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

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

در رابطه فوق، χ^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 معنی‌داری مورد نظر از جدول به دست می‌آید، مقایسه می‌شود. اگر کای مربع محاسبه شده بیشتر از مقدار به دست آمده از جدول باشد، فرض صفر رد می‌شود و چنین استنباط می‌شود که داده‌ها از توزیع مورد نظر پیروی نمی‌کنند. در غیر اینصورت فرض صفر تایید می‌شود.

فرض‌های مورد آزمون در برازش داده‌های باد به توزیع ویبول به قرار زیر است:

فرض صفر: داده‌های سرعت باد از توزیع ویبول تبعیت می‌نمایند.

فرض مخالف: داده‌های سرعت باد از توزیع ویبول تبعیت نمی‌نمایند.

یافته‌های تحقیق

برای ارزیابی و شناخت سریع وضعیت باد در یک منطقه، غالباً به ترسیم گلباد آن منطقه می‌پردازند که تصویری از سرعت، جهت و فراوانی وقوع باد در آن جهات را به دست می‌دهد. شکل (۲) گلباد سالانه ایستگاه ایلام را نشان می‌دهد.

پایداری جو بستگی دارد. تحت شرایط نزدیک خشتی، مقادیر m از ۰/۱ برای سطوح صاف یخ، برف و آب تا حدود ۰/۴ برای نواحی شهری توسعه یافته تغییر می‌کند. نمای m همچنین با افزایش پایداری، افزایش می‌یابد و تحت شرایط خیلی پایدار به یک نزدیک می‌شود. در این تحقیق بر اساس پیشنهاد انجمن مهندسين عمران ایالات متحده و مؤسسه 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 باد^۱ 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_{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^۲ یا بیشترین احتمال رخداد سرعت باد با نماد V_{mp} نشان داده می‌شود و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

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

باتوجه 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:

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

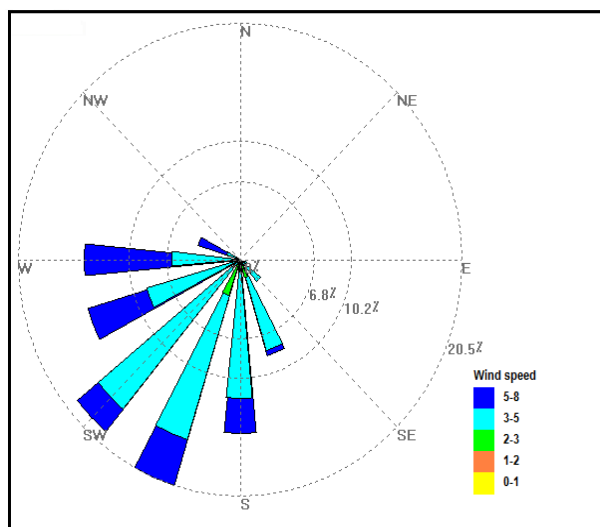
با توجه به اینکه سرعت راه‌اندازی و سرعت توقف اکثر توربین‌های بادی به ترتیب ۴ و ۲۵ متر بر ثانیه است، لذا احتمال وقوع سرعت‌های باد بین مقادیر مذکور را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۴) به دست آورد. لذا چنانچه $V_1 = 4 m.s^{-1}$ و $V_2 = 25 m.s^{-1}$ در نظر گرفته شود، آنگاه این احتمال با رابطه زیر بیان می‌شود:

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

1- Rated Wind

2- Wind Existence

با توجه به گلباد سالانه ایستگاه، باد غالب جنوب و جنوب‌غرب است که بیانگر غلبه‌ی سامانه بادهای غربی در این منطقه کوهستانی می‌باشد.



شکل ۲- میانگین گلباد سالانه ایستگاه ایلام (۲۰۰۱-۲۰۱۰)

از محاسبه پارامتر شکل و مقیاس توزیع ویبول (C و K) با استفاده از مقادیر V_i ها و نیز با استفاده از رابطه (۱)، مقادیر تابع احتمال ویبول (P_i) نیز محاسبه و در ستون آخر همان جدول ارائه گردیده‌اند. لازم به ذکر است مقدار چگالی باد در یک منطقه وابستگی کاملی به پارامترهای ذکر شده دارد. با داشتن پارامترهای C و K ، می‌توان وضعیت ایستگاه‌ها را از نظر پتانسیل انرژی باد بررسی کرد.

نتایج برازش توزیع ویبول بر داده‌های سرعت باد

مقادیر ویبول داده‌های طبقه‌بندی شده سرعت باد در ایستگاه همدید ایلام طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه گردیده است. در جداول (۲ تا ۴) مقادیر پارامترهای A ، B ، C ، K ، ρ برای ایستگاه ایلام ارائه شده است. لازم به ذکر است مقادیر پارامترهای A و B در نرم‌افزار SPSS برای ایستگاه ایلام محاسبه و سپس نمودارهای مربوط به آن در نرم‌افزار اکسل رسم شدند.

جدول ۱- مقادیر فراوانی وقوع و احتمال وقوع داده‌های سالانه سرعت باد ایستگاه همدید ایلام

بر اساس توزیع پیوسته ویبول در دوره آماری سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۷

مقادیر تابع ویبول			ساعت در سال تجمعی	ساعت در سال	درصد فراوانی تجمعی	فراوانی تجمعی	درصد فراوانی	فراوانی	میانة طبقات	طبقات سرعت	ردیف
۴۲۰/۱۷	۶۳۵/۲-	۰۰۰/۰	۱۷۴/۳۴۶	۱۷۴/۳۴۶	۰۶۹/۰	۲۶۵۴	۰۶۹/۰	۲۶۵۴	۱	۰/۵-۱/۵	۱
۰۵۸/۱۹	۷۹۱/۰-	۶۹۳/۰	۰۸۷/۱۸۲۳	۱۴۷۶,۹۱۳	۳۶۴/۰	۱۳۹۷۷	۲۹۵/۰	۱۱۳۲۳	۲	۱/۵-۲/۵	۲
۹۹۲/۱۶	۲۲۵/۰-	۰۹۹/۱	۱۷۴/۲۷۵۲	۰۸۷/۹۲۹	۵۵۰/۰	۲۱۱۰۰	۱۸۶/۰	۷۱۲۳	۳	۲/۵-۳/۵	۳
۵۷۰/۱۳	۱۷۱/۰	۳۸۶/۱	۷۸۳/۳۴۷۴	۶۰۹/۷۲۲	۶۹۵/۰	۲۶۶۴۰	۱۴۴/۰	۵۵۴۰	۴	۳/۵-۴/۵	۴
۰۳۴/۱۰	۰,۵۳۱	۶۰۹/۱	۰۴۳/۴۰۹۰	۲۶۱/۶۱۵	۸۱۸/۰	۳۱۳۵۷	۱۲۳/۰	۴۷۱۷	۵	۴/۵-۵/۵	۵
۹۸۳/۶	۸۱۷/۰	۷۹۲/۱	۲۶۱/۴۴۸۲	۲۱۷/۳۹۲	۸۹۶/۰	۳۴۳۶۴	۰۷۸/۰	۳۰۰۷	۶	۵/۵-۶/۵	۶
۶۱۹/۴	۰۱۴/۱	۹۴۶/۱	۴۷۸/۴۶۸۵	۲۱۷/۲۰۳	۹۳۷/۰	۳۵۹۲۲	۰۴۱/۰	۱۵۵۸	۷	۶/۵-۷/۵	۷

ادامه جدول ۱

ردیف	طبقات سرعت	میانہ طبقات	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی تجمعی	درصد فراوانی تجمعی	ساعت در سال	ساعت در سال تجمعی	مقادیر تابع ویبول
۸	۷/۵-۸/۵	۸	۱۰۸۱	۰۲۸/۰	۳۷۰۰۳	۹۶۵/۰	۰۰۰/۱۴۱	۴۷۸/۴۸۲۶	۲۰۷/۱
۹	۸/۵-۹/۵	۹	۳۳۴	۰۰۹/۰	۳۷۳۳۷	۹۷۳/۰	۵۶۵/۴۳	۰۴۳/۴۸۷۰	۲۸۹/۱
۱۰	۹/۵-۱۰/۵	۱۰	۷۵۰	۰۲۰/۰	۳۸۰۸۷	۹۹۳/۰	۸۲۶/۹۷	۸۷۰/۴۹۶۷	۶۰۱/۱
۱۱	۱۰/۵-۱۱/۵	۱۱	۵۷	۰۰۱/۰	۳۸۱۴۴	۹۹۴/۰	۴۳۵/۷	۳۰۴/۴۹۷۵	۶۴۸/۱
۱۲	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۲	۱۱۱	۰۰۳/۰	۳۸۲۵۵	۹۹۷/۰	۴۷۸/۱۴	۷۸۳/۴۹۸۹	۷۸۲/۱
۱۳	۱۲/۵-۱۳/۵	۱۳	۱۵	۰۰۰/۰	۳۸۲۷۰	۹۹۸/۰	۹۵۷/۱	۷۳۹/۴۹۹۱	۸۰۸/۱
۱۴	۱۳/۵-۱۴/۵	۱۴	۲۲	۰۰۱/۰	۳۸۲۹۲	۹۹۸/۰	۲,۸۷۰	۶۰۹/۴۹۹۴	۸۵۶/۱
۱۵	۱۴/۵-۱۵/۵	۱۵	۳۷	۰۰۱/۰	۳۸۳۲۹	۹۹۹/۰	۴,۸۲۶	۴۳۵/۴۹۹۹	۹۸۲/۱
۱۶	۱۵/۵-۱۶/۵	۱۶	۱۰	۰۰۰/۰	۳۸۳۳۹	۱۰۰۰/۱	۱,۳۰۴	۵۲۲/۳	۰۴۴/۲
۱۷	۱۶/۵-۱۷/۵	۱۷	۵	۰۰۰/۰	۳۸۳۴۴	۱۰۰۰/۱	۰,۶۵۲	۳۹۱/۵۰۰۱	۰۸۸/۲
۱۸	۱۷/۵-۱۸/۵	۱۸	۴	۰۰۰/۰	۳۸۳۴۸	۱۰۰۰/۱	۰,۵۲۲	۵۶۵/۱	۱۳۷/۲
۱۹	۱۸/۵-۱۹/۵	۱۹	-	۰۰۰/۰	۳۸۳۴۸	۱۰۰۰/۱	۰,۰۰۰	۹۱۳/۵۰۰۱	۱۳۷/۲

جدول ۲- مقایر بدست آمده برای تابع ویبول و چگالی باد در ایستگاه همدید ایلام

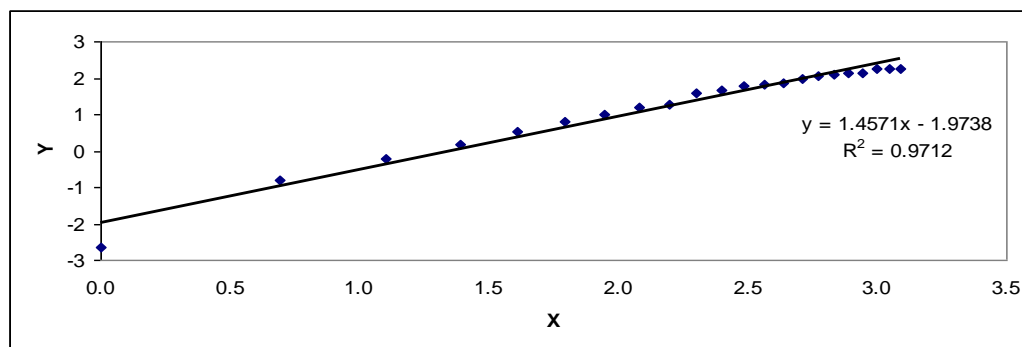
ایلام	
۱/۴۷	A
-۲/۰۰	B
۱/۴۷	K

جدول ۳- چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مربع) در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری

ایستگاه	۲ متر	۱۰ متر	۲۰ متر	۳۰ متر	۴۰ متر	۵۰ متر	۶۰ متر	۷۰ متر
ایلام	۱/۰۴۷	۱/۰۴۶	۱/۰۴۵	۱/۰۴۳	۱/۰۴۲	۱/۰۴۱	۱/۰۴۱	۱/۰۳۹
	۸۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰ متر	۱۱۰ متر	۱۲۰ متر	۱۳۰ متر	۱۴۰ متر	۱۵۰ متر
	۱/۰۳۷	۱/۰۳۶	۱/۰۳۵	۱/۰۳۴	۱/۰۳۳	۱/۰۳۱	۱/۰۳۰	۱/۰۲۹

جدول ۴- مقادیر c در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری

ایستگاه	۲ متر	۱۰ متر	۲۰ متر	۳۰ متر	۴۰ متر	۵۰ متر	۶۰ متر	۷۰ متر
ایلام	۳/۰۹	۳/۸۸	۴/۲۷	۴/۵۲	۴/۷۱	۴/۸۶	۴/۹۸	۵/۰۹
	۸۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰ متر	۱۱۰ متر	۱۲۰ متر	۱۳۰ متر	۱۴۰ متر	۱۵۰ متر
	۵/۱۹	۵/۲۷	۵/۳۵	۵/۴۲	۵/۴۹	۵/۵۵	۵/۶۱	۵/۶۶



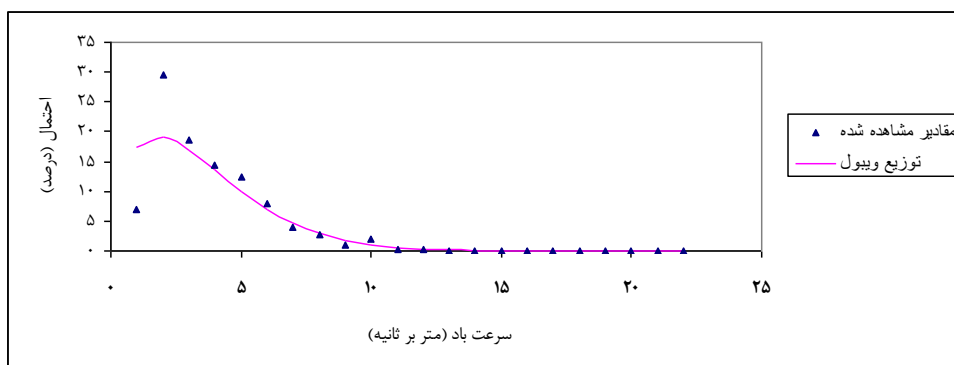
شکل ۳- رابطه خطی بین X و Y برای تعیین مقادیر A و B ایستگاه ایلام

احتمال و بیول تبعیت می‌نماید. شکل ۴ مقادیر مشاهده شده سرعت باد را در مقایسه به مقادیر به دست آمده از توزیع و بیول نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در ایستگاه مورد مطالعه، مقادیر مشاهده شده برآزش خوبی را با توزیع و بیول نشان می‌دهد.

جدول (۵) مقادیر آماره آزمون کای مربع را نشان می‌دهد. چون آماره به دست آمده از آزمون کای مربع در ایستگاه ایلام کمتر از مقدار بحرانی جدول در سطح ۵ درصد است، لذا دلیل کافی برای رد فرض صفر در اختیار نیست و لذا نتیجه می‌گیریم داده‌های سرعت باد در این ایستگاه از توزیع

جدول ۵- مقادیر بحرانی و محاسبه شده آزمون کای مربع در ایستگاه‌های مختلف

پارامتر	ایلام
درجه آزادی	۲۰
آماره آزمون	۱۵/۱۶
مقدار بحرانی در سطح ۵ درصد	۳۱/۴



شکل ۴- مقادیر احتمال تجربی و بیول سرعت باد در ایستگاه ایلام

ارتفاع ۱۰ متری، محتمل‌ترین سرعت باد در ایستگاه ایلام به مقدار (۱/۷۵) است و در ارتفاع ۵۰ متری، محتمل‌ترین سرعت باد در ایستگاه ایلام به مقدار (۲/۱۹) است. با توجه به جدول (۸) در ارتفاع ۵۰ متری سرعت نامی باد در ایستگاه‌های ایلام (۱۰/۹۰) و در ارتفاع ۱۰ متری (۸/۷۰) است. همچنین با توجه به جدول (۹) در ارتفاع‌های ۱۰ و ۵۰ متری مقادیر احتمال وقوع سرعت باد ۲۵-۴ متر بر ثانیه در ایستگاه ایلام به مقدار (۰/۲۲) و (۰/۳۰) است.

محاسبه ساعات موجودیت باد

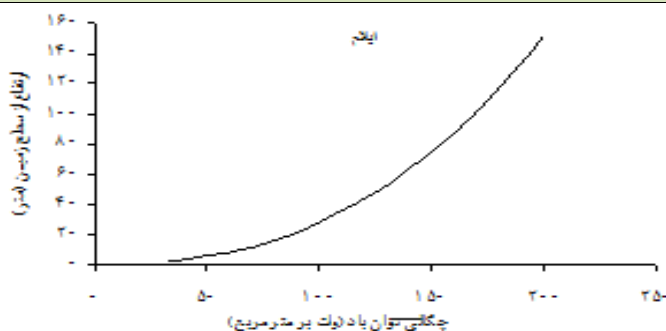
با توجه به رابطه (۱۶)، میانگین کل ساعات موجودیت باد برای ایستگاه ایلام ۵۰۲/۹۵ ساعت در سال برآورد گردید.

سرعت باد در راستای قائم و چگالی توان باد

مقدار چگالی توان باد در مقیاس سالانه در ارتفاع‌های ۲ تا ۱۵۰ متری در جدول (۶) ارائه شده است. با توجه در ارتفاع ۱۰ متری، مقدار چگالی توان باد مربوط به ایستگاه ایلام به مقدار (۶۴/۸۷) وات بر متر مربع است. همچنین با توجه به جدول (۶) در ارتفاع ۵۰ متری، مقدار چگالی توان باد ایستگاه ایلام به مقدار (۱۲۶/۹۴) وات بر متر مربع است. جدول (۷ تا ۹) نتایج حاصل از محاسبه محتمل‌ترین سرعت باد، سرعت نامی باد و احتمال وقوع سرعت‌های باد بین ۲۵-۴ متر بر ثانیه را به ترتیب در ارتفاع‌های ۲ تا ۱۵۰ متری نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود و در

جدول ۶- چگالی توان باد (بر حسب وات بر متر مربع) در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری

ایستگاه	۲ متر	۱۰ متر	۲۰ متر	۳۰ متر	۴۰ متر	۵۰ متر	۶۰ متر	۷۰ متر
ایلام	۳۳/۰۳	۶۴/۸۷	۸۶/۶۹	۱۰۲/۶۷	۱۱۵/۷۲	۱۲۶/۹۴	۱۳۶/۸۸	۱۴۵/۸۷
	۸۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰ متر	۱۱۰ متر	۱۲۰ متر	۱۳۰ متر	۱۴۰ متر	۱۵۰ متر
	۱۵۴/۱۰	۱۶۱/۷۳	۱۶۸/۸۵	۱۷۵/۵۴	۱۸۱/۸۶	۱۸۷/۸۶	۱۹۳/۵۷	۱۹۹/۰۳



شکل ۵- مقادیر چگالی توان باد بر حسب ارتفاع در ایستگاه ایلام

جدول ۷- محتمل ترین سرعت باد در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متر

ایستگاه	۲ متر	۱۰ متر	۲۰ متر	۳۰ متر	۴۰ متر	۵۰ متر	۶۰ متر	۷۰ متر
ایلام	۱/۳۹	۱/۷۵	۱/۹۲	۲/۰۴	۲/۱۲	۲/۱۹	۲/۲۴	۲/۲۹
	۸۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰ متر	۱۱۰ متر	۱۲۰ متر	۱۳۰ متر	۱۴۰ متر	۱۵۰ متر
	۲/۳۴	۲/۳۸	۲/۴۱	۲/۴۴	۲/۴۷	۲/۵۰	۲/۵۳	۲/۵۵

جدول ۸- سرعت نامی باد در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متری

ایستگاه	۲ متر	۱۰ متر	۲۰ متر	۳۰ متر	۴۰ متر	۵۰ متر	۶۰ متر	۷۰ متر
ایلام	۶/۹۴	۸/۷۰	۹/۵۸	۱۰/۱۴	۱۰/۵۶	۱۰/۹۰	۱۱/۱۸	۱۱/۴۲
	۸۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰ متر	۱۱۰ متر	۱۲۰ متر	۱۳۰ متر	۱۴۰ متر	۱۵۰ متر
	۱۱/۶۴	۱۱/۸۳	۱۲/۰۱	۱۲/۱۷	۱۲/۳۲	۱۲/۴۶	۱۲/۵۹	۱۲/۷۱

جدول ۹- احتمال وقوع سرعت‌های بین ۴ و ۲۵ (متر بر ثانیه)

ایستگاه	۲ متر	۱۰ متر	۲۰ متر	۳۰ متر	۴۰ متر	۵۰ متر	۶۰ متر	۷۰ متر
ایلام	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۱
	۸۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰ متر	۱۱۰ متر	۱۲۰ متر	۱۳۰ متر	۱۴۰ متر	۱۵۰ متر
	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۵

نتایج و بحث

هستند، لذا از مصرف کنندگان عمده سوخت‌های فسیلی به شمار می‌آیند. مشکلات ناشی از تهیه و تأمین منابع انرژی‌های فسیلی و مصرف زیاد آن در این شهرستان 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 شهرستان معطوف گردد.

منابع

۱- امانی، ابوالفضل، شمعچی، حسین، بررسی انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه ارس جنوبی، (۱۳۸۹)، مجله علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دهم، شماره ۲۹، بهار ۱۳۸۹، ص ۲۶-۱.

نتایج این پژوهش نشان داد ایستگاه مورد بررسی در این پژوهش، بیشترین سرعت نامی باد که بیشترین انرژی باد در آن سرعت به دست می‌آید، در ارتفاع ۱۰ متری ۸/۷۰ متر بر ثانیه و در ارتفاع ۵۰ متری، ۱۰/۹۰ متر بر ثانیه را به خود اختصاص داده است. از آنجا که سرعت نامی باد سرعتی است که بیشترین انرژی را تولید می‌کند و برای نصب توربین‌های بادی مناسب است، لذا شهرستان ایلام می‌تواند محل مناسبی برای استحصال انرژی باد محسوب گردد. باید به این نکته توجه داشت که احتمال وقوع باد در ارتفاعات ۲ تا ۱۵۰ متر بیشتر می‌شود، لذا به این ارتفاعات برای بهره‌برداری از انرژی باد نیز باید توجه داشت. از آنجا که شهرستان ایلام از شهرستان‌های سردسیر و مرتفع کشور

۱۱- فلاح قاهری، غلامعباس، (۱۳۹۳)، آب و هوای لایه مرزی، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، چاپ اول، ص ۳۸۹.

12- Azad, A.K. Rasul M.G and Yusaf, T., 2014. 'Statistical Diagnosis of the Best Weibull Methods for Wind Power Assessment for Agricultural Applications', *Energies*, 7(5), pp. 3056-3085.

13- Afungchui D. and Aban C.E., 2014. Analysis of Wind Regimes for Energy Estimation in Bamenda of the North West Region of Cameroon Based on the Weibull Distribution 'Revue des Energies Renouvelables', 17(1), pp. 137-147.

14- Al Zohbi, P. Hendrick et P. Bouillard, 2014. 'Evaluation du Potentiel d'Énergie Eolienne au Liban', *Revue des Energies Renouvelables*, 17(1), pp. 83-96.

15- Eskin, N. Artar, H. Tolun, (2008) wind energy potential of Go Kc-eada Island in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol 12, 839-851

16- Costa Rocha, P.A. Coelho de Sousa, R. Freitas de Andrade C. and Vieira da Silva M., 2012. Comparison of Seven Numerical Methods for Determining Weibull Parameters for Wind Energy Generation in the Northeast Region of Brazil', *Applied Energy*, 89(1), pp. 395-400.

17- Nilesh D, Subramanyam G, Siraj A and Sethi V.K. 2010. Prediction of wind power potential by wind speed probability distribution in a hilly terrain near Bhopal, Madhya Pradesh, *International Journal on Emerging Technologies* 1(1), pp. 80-86.

18- Petkovic, D. Shamshirband S., Anuar N.B., Saboohi H., Abdul Wahab A.W., Protic M., Zalnezhad E. and Amin irhashemi S.M., 2014. An appraisal of wind speed distribution prediction by soft computing methodologies: A comparative study', *Energy Conversion and Management*, 84, pp. 133-139.

19- Tchinda R. and Kaptoum, E., 2003. 'Wind Energy in Adamaoua and North Cameroon Provinces' *Energy Conversion and Management*, 44(6), pp. 845-857.

20- Walker J.F. and Jenkins, N., 1997. *Wind Energy Technology*, 1st Ed. Chichester John Wiley and Sons.

21- WWW.ilammet.ir.

22- 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.

۲- انتظاری، علیرضا، امیراحمدی، ابوالقاسم، عرفانی، عاطفه، برزویی، (۱۳۹۱)، ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال سوم، شماره نهم و دهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، ص ۳۳-۴۶.

۳- جهانگیری، زهره، رحیم‌زاده، فاطمه، کمالی، غلامعلی، (۱۳۸۴)، محاسبه انرژی باد با استفاده از توزیع ویبول دو پارامتره، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۷۶.

۴- جمیل، مجید، (۱۳۸۰)، چگالی انرژی باد، مجله نیوار، شماره ۴۲ و ۴۳.

۵- رحیم‌زاده، فاطمه، پدرام، مژده، صداقت‌کردار، عبد...، کمالی، غلامعلی، (۱۳۸۸)، برآورد انرژی باد در ایستگاه‌های همدید استان اصفهان، جغرافیایی و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره پیاپی ۳۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، ص ۱۷۲-۱۵۵.

۶- رضایی، عبدالمجید، (۱۳۸۶)، مفاهیم آمار و اطلاعات، نشر مشهد، چاپ ششم، ص ۴۳۱.

۷- زاهدی، مجید، برومند صلاحی، مجید جمیل، (۱۳۸۴)، محاسبه چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی ص ۵۵-۴۱.

۸- سلطانی، سیدباقر، غلامیان، سیداصغر، دستجانی فراهانی، کسری، (۱۳۸۹)، بررسی پتانسیل انرژی باد بندر امیرآباد به منظور امکان‌سنجی تأسیس نیروگاه بادی، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۳ شماره ۳ پاییز ۱۳۸۹.

۹- صلاحی، برومند (۱۳۸۳)، پتانسیل انرژی باد و برازش احتمالات واقعی وقوع باد استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل، تحقیقات جغرافیایی، ۷۲: ۸۷-۱۰۴.

۱۰- فلاح قاهری، غلامعباس، (۱۳۹۳)، اصول و مبانی هواشناسی، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، چاپ دوم، ص ۹۰۲.