

بررسی پتانسیل انرژی باد در استان خراسان شمالی در ایران

داوود سعیدی^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد، امید نعمت الهی^۲، دانشجوی کارشناسی ارشد، علی اکبر عالم رجیبی^{۳*}، دانشیار

^۱دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

d.saedi@me.iut.ac.ir

^۲دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

o.nematollahi@me.iut.ac.ir

^۳دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

rajabi@cc.iut.ac.ir

دریافت مقاله: ۸۹/۱۲/۸

پذیرش مقاله: ۹۰/۹/۲۷

چکیده: آثار مثبت انرژی‌های تجدیدپذیر موجب جلب توجه کشورهای زیادی به منابع انرژی پاک از جمله انرژی باد که آثار مخرب زیست‌محیطی ندارد، شده است. اولین گام برای به دست آوردن انرژی باد، شناسایی نواحی با پتانسیل مناسب برای نصب توربین بادی است. استفاده از انرژی باد برای تأمین پیوسته و مطمئن برق، در حال افزایش است. از تابع چگالی احتمال ویبول برای تحلیل داده‌های بادی گردآوری شده بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ برای دو ایستگاه هواشناسی در استان خراسان شمالی که توسط سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) گردآوری شده، استفاده شده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که چگالی توان باد در ارتفاع‌های ۳۰ و ۴۰ متر برای شهر بجنورد به ترتیب ۲۰۰ و ۲۵۰ وات بر متر مربع است. همچنین چگالی توان باد برای شهر اسفراین در دو ارتفاع ۳۰ و ۴۰ متر به ترتیب ۲۰۰ و ۳۰۰ وات بر متر مربع است. این مطالعه نشان می‌دهد که ایجاد مزارع بادی در این دو شهر استان خراسان شمالی امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: استان خراسان شمالی، انرژی باد، توربین باد، توزیع ویبول، چگالی توان.

۱. مقدمه

باد، هوای در حال حرکت است. باد به وسیله گرمای غیر یکنواخت سطح کره زمین که حاصل عملکرد خورشید است، به وجود می‌آید. از آنجا که سطح زمین از خشکی و آب تشکیل شده است، اشعه خورشید را به طور غیریکنواخت جذب می‌کند. وقتی خورشید در طول روز می‌تابد، هوای روی سرزمین‌های خشکی سریع‌تر از هوای روی سرزمین‌های آبی گرم می‌شود. هوای گرم روی خشکی بالا می‌رود و هوای خنک‌تر و سنگین‌تر روی آب جای آن را می‌گیرد که این فرآیند بادهای محلی را می‌سازد. در شب، از آنجا که هوا روی خشکی سریع‌تر از هوای روی آب خنک می‌شود، جهت باد برعکس می‌شود. از آنجا که باد تا زمانی که خورشید به زمین می‌تابد، به طور پیوسته تولید خواهد شد، آن را منبع انرژی تجدید شونده می‌نامند. امروزه، انرژی بادی عمدتاً برای تولید برق به کار برده می‌شود.

انسان‌ها در طول تاریخ، باد را به شیوه‌های مختلف به کار برده‌اند. بیش از پنج هزار سال پیش، مصریان باستان از نیروی باد برای راندن کشتی‌های خود روی رود نیل استفاده می‌کردند. قرن‌ها بعد، مردم هلند طرح آسیاب بادی را بهبود دادند. آن‌ها تیغه‌های پروانه‌مانند جدیدی را به آسیاب بادی اضافه کردند و روشی برای تغییر جهت آن مطابق با جهت باد ابداع نمودند. آسیاب‌های بادی به هلندی‌ها کمک کرد که صنعتی‌ترین کشور جهان در قرن ۱۷ میلادی باشند.

در سال ۱۹۸۷م، در ساحل دریای شمالی آلمان در ایالت اشلسوینگ - هول اشتاین ۳۲ توربین بادی با وزش باد شروع به چرخیدن کردند. به این ترتیب، یکی از اولین مجتمع‌های توربین‌های بادی تولید کننده انرژی وارد شبکه شدند. امروزه توربین‌های بادی بیش از ۲۰۰ برابر توان آن روزها را دارند و دوش به دوش نیروگاه‌های اتمی و حتی بیش از آن‌ها انرژی تولید می‌کنند. همچنین انرژی بادی به یک فعالیت اقتصادی بین‌المللی تبدیل شده است و با نرخ سریع‌تر از دیگر انواع انرژی رشد می‌کند. این در حالی است که پیش‌بینی می‌شود طی ۲۰ سال آینده، تقاضای جهانی انرژی با نرخ خیره کننده‌ای افزایش بیابد و میزان تقاضا در سال ۲۰۳۰، ۵۰٪ بیش از تقاضای فعلی آن باشد.

یکی از دلایل و الزامات توسعه برق بادی، مقابله با تغییرات جهانی آب و هواست که به شدت جهان را تهدید می‌کند. بر اساس پیش‌بینی تغییرات آب و هوا (IPCC) درجه حرارت جهان به‌طور

متوسط در طی صد سال آینده، ۵/۸ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت که این خود می‌تواند پدیده‌هایی مانند وقوع سیل و خشکسالی و نوسان‌های شدید آب و هوایی را به همراه داشته باشد. به همین سبب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان یک ضرورت جهانی شناخته شده است. در حال حاضر، استفاده از انرژی باد با رشد متوسط سالیانه بیش از ۲۶ درصد از سال ۱۹۹۰ به بعد، بالاترین میزان رشد را در بین منابع مختلف انرژی داشته است [۱]. در انتهای سال ۲۰۰۸ میزان ظرفیت نامی تولید برق بادی در سراسر جهان ۱۲۱/۹ گیگاوات بود. گرچه این میزان چیزی در حدود یک و نیم درصد از کل انرژی الکتریکی تولیدی در جهان محسوب می‌شد، اما در طول بازه زمانی سه ساله بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ دو برابر شده است [۲]. هم‌اکنون در ایران، ظرفیت تولید ۱۰ هزار مگاوات برق از نیروگاه‌های بادی پیش‌بینی شده است که در حال حاضر، نیروگاه بادی منجیل با ظرفیت ۷۰ مگاوات و نیروگاه بادی بینالود با ظرفیت ۲۸ مگاوات برق تولید می‌کنند [۳]. طبق گزارش سازمان جهانی انرژی باد [۴]، ایران با ۲۳/۳٪ رشد، در رده سی و پنجم تولید برق بادی جهان در سال ۲۰۰۸ قرار داشته است. آمریکا، آلمان، اسپانیا، چین و هند با تولید ۲۰ هزار تا ۱۰ هزار مگاوات در رده‌های نخست قرار دارند.

لازمه استفاده اقتصادی از انرژی باد، اندازه‌گیری سرعت باد و تغییرات انرژی آن است. از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به پژوهش رحیم‌زاده و جهانگیری [۵]، که با استفاده از روش‌های آماری و اطلاعات هواشناسی، سرعت و چگالی انرژی باد را در چند ایستگاه هواشناسی کشور بررسی نمودند، اشاره کرد. گندمکار و همکاران [۶] تغییرات سالانه و روزانه سرعت باد در منطقه سیستان را به منظور تولید برق بادی مورد مطالعه قرار دادند. عامری و همکاران [۷]، پیشرفت‌های اخیر در توسعه انرژی باد در کشور را با اشاره‌ای به تهیه نقشه صفر اطلس بادی کشور بیان کردند. آن‌ها به کمک نرم‌افزار ECOWIND و با استفاده از داده‌های آماری باد و بررسی منحنی عملکرد توربین بادی و پارامترهای اقتصادی، تخمین مناسبی برای قیمت تمام شده برق پیدا کردند. بررسی‌های آن‌ها حاکی از اقتصادی بودن برق تولیدی در نیروگاه بادی منجیل و بینالود است. همچنین پتانسیل انرژی باد در منطقه منجیل، به عنوان یکی از مناطق بادخیز جهان، توسط مصطفایی‌پور و ابرقویی [۸]، بررسی شده است. همین‌طور مطالعه امکان‌سنجی نصب توربین بادی برای چند شهر استان یزد توسط مصطفایی‌پور [۹]، انجام شده است. کیهانی و همکاران [۱۰]، یک برآورد آماری از توابع توزیع سرعت و جهت باد بر اساس داده‌های ۱۱ ساله باد در تهران، انجام دادند. مطالعه

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{U})^2} \quad (5)$$

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (6)$$

متوسط سالیانه توان به ازای واحد سطح به چگالی هوا (در شرایط استاندارد سطح دریا $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$) و توان سوم سرعت باد بستگی دارد. توان متوسط به صورت زیر تعریف می شود [۱۳]:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{P}}{A} &= \frac{1}{2} \rho \int_c^\infty U^3 p(U) dU \\ &= \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma(1+3/k) \approx \frac{1}{2} \rho \bar{U}^3 \end{aligned} \quad (7)$$

همچنین چگالی انرژی باد در یک بازه زمانی مورد نظر عبارت است از:

$$\frac{\bar{E}}{A} = \left(\frac{\bar{P}}{A}\right)(N\Delta t) \quad (8)$$

آشفته‌گی باد به دلیل هدر رفتن انرژی جنبشی باد و تبدیل آن به انرژی گرمایی بر اثر تشکیل و نابودی گردابه‌های کوچک، حائز اهمیت است. آشفته‌گی باد ممکن است در زمان طولانی ثابت باشد، اما در بازه‌های زمانی کوچک بسیار متغیر است. وجود آشفته‌گی در جریان باد از توان باد می‌کاهد و باعث ایجاد پدیده خستگی در توربین بادی می‌شود. یکی از معیارهای اندازه‌گیری آشفته‌گی، شدت آشفته‌گی است که به صورت انحراف معیار استاندارد سرعت باد به سرعت متوسط تعریف می‌شود:

$$TI = \frac{\sigma_U}{\bar{U}} \quad (9)$$

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم برای هر منطقه، ضریب زبری Z_0 و ضریب توان برش باد α است که توسط رابطه‌های زیر بیان می‌شوند [۱۳]:

$$V = V_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (10)$$

$$V = V_0 \ln\left(\frac{H}{Z_0}\right) / \ln\left(\frac{H_0}{Z_0}\right) \quad (11)$$

برای بجنورد $Z_0 = 0.044 \text{ mm}$ و $\alpha = 0.07721$ و برای ایستگاه اسفراین $Z_0 = 80.68 \text{ mm}$ و $\alpha = 0.1837$ است.

همچنین فاکتور انرژی k_e و ریشه سوم متوسط مکعب سرعت‌ها U_{rated} از رابطه‌های زیر به دست می‌آیند:

$$k_e = \frac{1}{N \bar{U}^3} \sum_{i=1}^N U_i^3 = \frac{\bar{U}^3}{\bar{U}^3} \quad (12)$$

آن‌ها نشان داد که سایت مورد بررسی برای تولید توان در مقیاس بزرگ مناسب نیست. میرحسینی و همکاران [۱۱] پتانسیل انرژی باد را در استان سمنان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش، حاکی از آن است که شهر دامغان برای تولید برق از انرژی باد از پتانسیل بالایی برخوردار است. منسوبی و صداقت [۱۲] نیز پتانسیل انرژی باد در استان همدان را مورد بررسی قرار دادند و ایستگاه قهاوند را به عنوان ایستگاه پراثری این استان معرفی کردند.

در پژوهش حاضر، پتانسیل انرژی باد در استان خراسان شمالی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش، ایستگاه‌های بجنورد و اسفراین در استان خراسان شمالی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این بررسی از داده‌های اندازه‌گیری شده سرعت باد توسط سانا [۳] در ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری در بازه‌های زمانی ۱۰ دقیقه به مدت یکسال استفاده شده است. در ادامه، روابط مربوط به امکان‌سنجی استفاده از انرژی باد و پارامترهای مربوطه توضیح داده می‌شود. سپس نتایج حاصل برای هر ایستگاه بررسی خواهد شد.

۲. روابط حاکم

برای تعیین پتانسیل انرژی باد در یک مکان دلخواه و تخمین انرژی خروجی از آن از روش‌های آماری استفاده می‌شود. دو تابع متداول برای این کار تابع توزیع چگالی احتمال ویبول و تابع رایلی است که انطباق خوبی با داده‌های سرعت باد، به خصوص در محدوده سرعت توربین‌های بادی نشان می‌دهد. تابع توزیع ویبول مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود [۱۳]:

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

برای تعیین k و c از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$k = \left(\frac{\sigma_U}{\bar{U}}\right)^{-1.086} \quad (2)$$

$$P(U) = \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{U}{\bar{U}}\right) \exp\left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{\bar{U}}\right)^2\right) \quad (3)$$

تابع رایلی نیز از رابطه زیر به دست می‌آید [13]:

$$P(U) = \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{U}{\bar{U}}\right) \exp\left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{\bar{U}}\right)^2\right) \quad (4)$$

در روابط بالا σ_U ، انحراف معیار استاندارد و \bar{U} ، مقدار متوسط است که از رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

جدول (۱): نتایج تحلیل آماری ایستگاه بجنورد

ارتفاع	۴۰ متر	۳۰ متر	۱۰ متر
میانگین سرعت باد	۵/۵۶۴۲	۵/۳۶۲۸	۴/۹۶۸۰
ریشه سوم متوسط مکعب سرعت‌ها (V_{Rated})	۷/۲۰۵۶	۶/۹۵۶۲	۶/۴۹۵۴
انحراف استاندارد	۳/۳۲۸۵	۳/۲۳۳۲	۳/۰۶۰۰
پیشینه سرعت	۲۲/۳	۲۱/۴	۲۰/۵
فاکتور الگوی انرژی (K_e)	۲/۱۷۲۴	۲/۱۸۲۴	۲/۲۳۴۸
پارامتر شکل برای تابع ویبول (k) با استفاده از فرمول	۲/۷۴۷۲	۱/۷۳۲۴	۱/۶۹۲۶
پارامتر بزرگی برای تابع ویبول (c) با استفاده از فرمول	۶/۲۵۱۷	۶/۰۲۲۴	۵/۵۷۰۵
پارامتر شکل برای تابع ویبول (k) با استفاده از برازش	۱/۷۵۸	۱/۷۹۱	۱/۶۶
پارامتر بزرگی برای تابع ویبول (c) با استفاده از برازش	۶/۷۱۶	۶/۶۵۶	۶/۰۶۸

$$U_{rated} = \sqrt[3]{u^3} \quad (۱۳)$$

۳. نتایج و بحث

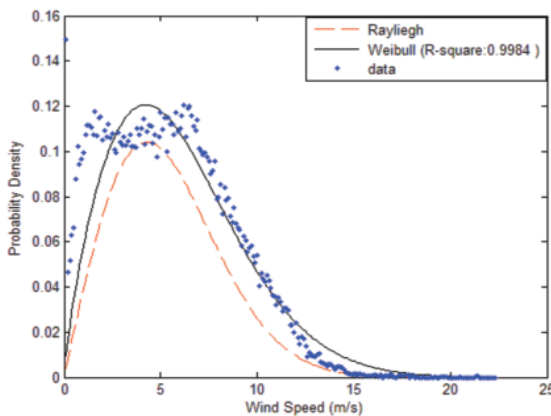
استان خراسان شمالی به مرکزیت شهر بجنورد، یکی از استان‌های ایران است. این استان با مصوبه دولت در سال ۱۳۸۳ و پس از تقسیم استان خراسان به سه استان ایجاد شد. این استان از نظر موقعیت جغرافیایی از شمال با کشور ترکمنستان (با ۲۸۱ کیلومتر مرز مشترک)، از شرق و جنوب با استان خراسان رضوی، از جنوب غربی با استان سمنان و از غرب با استان گلستان هم‌مرز است.

تعداد داده‌های باد که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، برای ایستگاه بجنورد ۴۴۱۰۵ مورد و از تاریخ ۲۰۰۷/۰۵/۲۳ الی ۲۰۰۸/۰۵/۲۳ و برای ایستگاه اسفراین ۵۲۶۶۵ مورد و از تاریخ ۲۰۰۷/۰۲/۱۳ الی ۲۰۰۸/۰۲/۱۳ است.

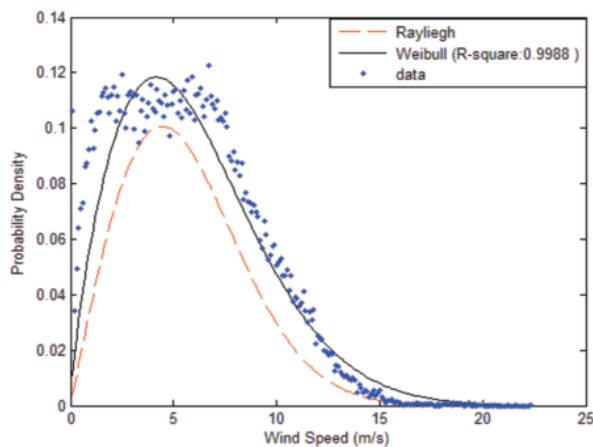
۱.۳. ایستگاه بجنورد

شهرستان بجنورد، مرکز استان خراسان شمالی است. این شهر در طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۷/۳۲۱ و ۳۷/۴۷۹ درجه قرار دارد. ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۰۷۰ متر است. در جدول (۱) پارامترهای مربوط به سرعت و توان باد که از تحلیل آماری برای سه ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری به دست آمده، آورده شده است. در شکل‌های (۱) تا (۳) توزیع ویبول و رایلی و مقایسه آن‌ها برای سه ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری آمده است.

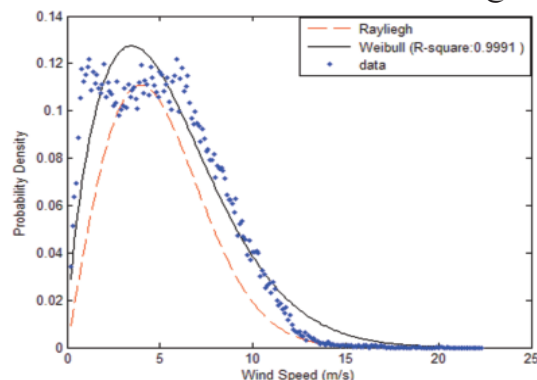
نمودار گلباد (Wind Rose) نموداری است که توزیع جهت باد را نشان می‌دهد. گلباد برحسب سرعت و زاویه جهت وزش باد در شکل‌های (۴) و (۵) رسم شده است. در شکل (۴)، شعاع معرف سرعت (m/s) است و تراکم نقاط در یک سمت نشانگر وزش بیشتر در آن جهت می‌باشد. در نمودار گلباد فرکانس که در شکل (۵) رسم شده، شعاع معرف تکرار هر جهت است.



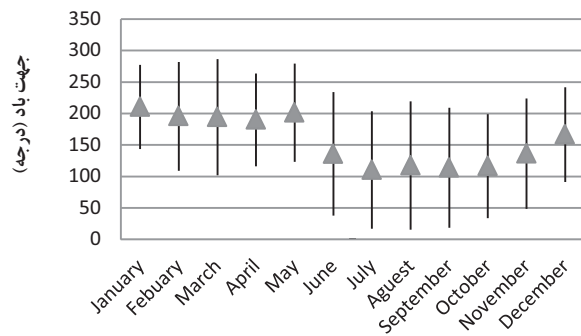
شکل (۲): نمودار توزیع ویبول و رایلی (۳۰ متری)



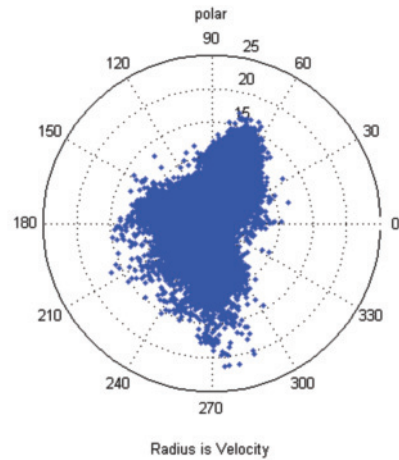
شکل (۳): نمودار توزیع ویبول و رایلی (۴۰ متری)



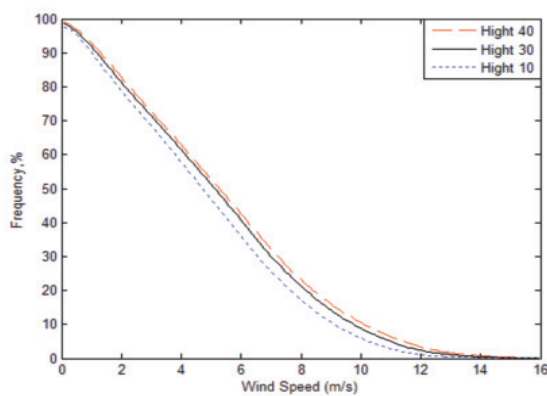
شکل (۱): نمودار توزیع ویبول و رایلی ایستگاه بجنورد (۱۰ متری)



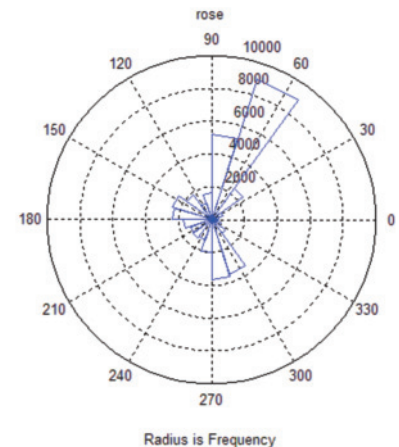
شکل (۶): نمودار میانگین جهت وزش باد و انحراف معیار ماهانه (۳۰ متری)



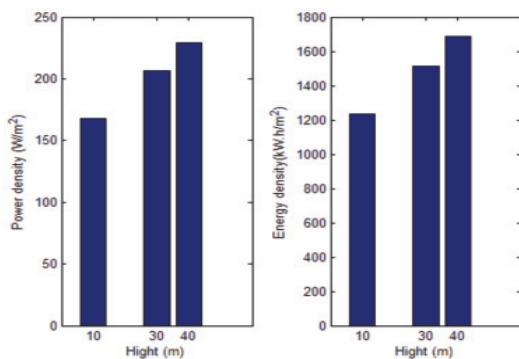
شکل (۴): نمودار گلباد بیشترین جهت وزش باد (۳۰ متری)



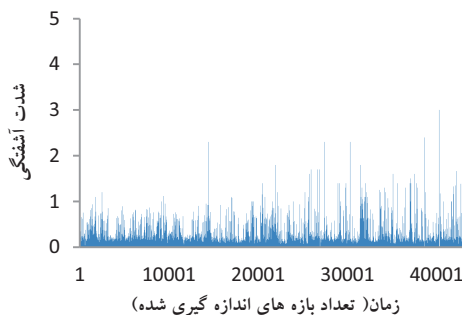
شکل (۷): نمودار تجمعی سرعت باد در سه ارتفاع



شکل (۵): نمودار گلباد تکرار در جهت باد (۳۰ متری)



شکل (۸): چگالی توان و انرژی باد در ارتفاعهای مختلف

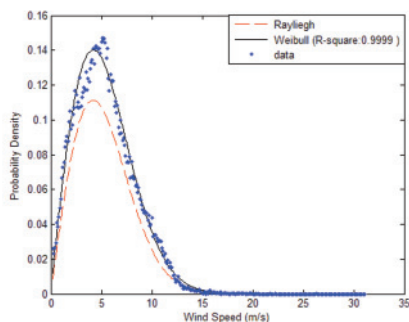


شکل (۹): نمودار شدت آشفنگی (۴۰ متری)

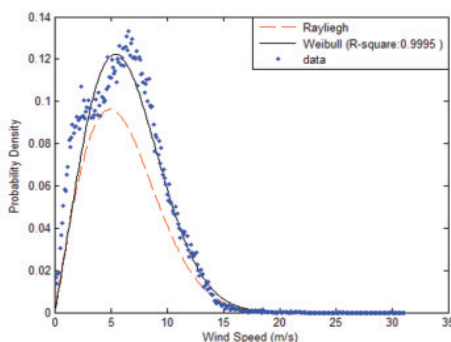
نمودار میانگین جهت وزش باد و میزان انحراف معیار آن نیز در شکل (۶) آمده است. این شکل، نشان دهنده تغییرات جهت وزش باد در ماههای مختلف است. جهت وزش باد، یکی از عوامل مورد توجه در احداث مزارع بادی به شمار می‌رود. شکل (۷) نیز نمودار تجمعی سرعت باد را برای سه ارتفاع مختلف نشان می‌دهد.

در شکل (۸) نمودار چگالی توان متوسط سالانه بر حسب (W/m^2) برای سه ارتفاع مختلف و نیز نمودار چگالی انرژی سالانه بر حسب (kWh/m^2) رسم شده که برای تعداد داده $N=44105$ و $\Delta t=10\text{ min}$ است. شکل (۹) نشان دهنده شدت آشفنگی برای سرعت در ارتفاع ۴۰ متری بر حسب میانگین اندازه‌گیری‌های انجام شده در هر ۱۰ دقیقه است. هرچه میزان آشفنگی بیشتر باشد، نشان دهنده عدم یکنواختی جریان هوا در منطقه است. در صورتی که میزان آشفنگی زیاد باشد، امکان بهره‌وری از انرژی باد پایین خواهد بود.

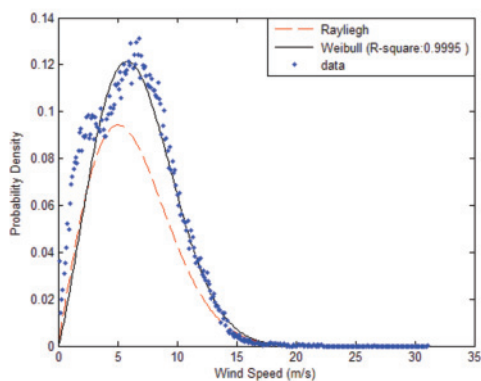
شکل (۱۰) نشان دهنده سرعت متوسط باد در هر ماه است و انحراف معیار آن نیز در شکل مشخص شده است.



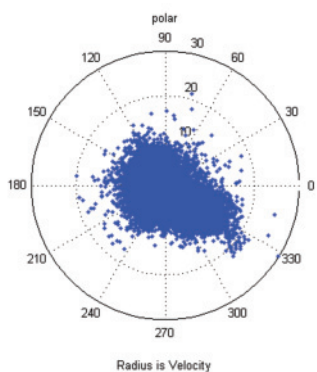
شکل (۱۱): نمودار توزیع ویبول و رایلی (۱۰ متری)



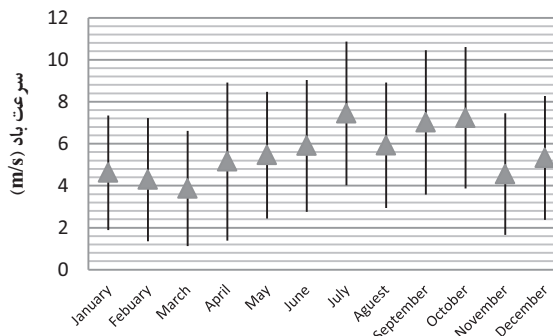
شکل (۱۲): نمودار توزیع ویبول و رایلی (۳۰ متری)



شکل (۱۳): نمودار توزیع ویبول و رایلی (۴۰ متری)



شکل (۱۴): نمودار گلباد بیشترین جهت وزش (۳۰ متری)



شکل (۱۰): نمودار میانگین سرعت باد و انحراف معیار برای هر ماه ایستگاه بجنورد (۴۰ متری)

۲.۳. ایستگاه اسفراین

شهرستان اسفراین از شهرستان‌های استان خراسان شمالی است. مرکز این شهرستان، شهر اسفراین است. طول و عرض جغرافیایی این شهر به ترتیب ۵۷/۵۰۳ و ۳۷/۰۸۳ درجه است. این شهرستان در ارتفاع ۱۲۵۷ متری از سطح دریا قرار دارد. در جدول (۲) پارامترهای مربوط به سرعت و توان باد که از تحلیل آماری در سه ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری به دست آمده، آورده شده است.

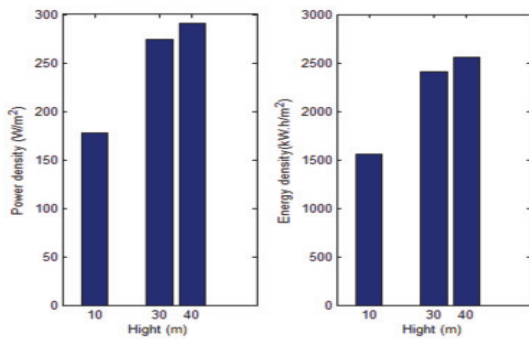
جدول (۲): نتایج تحلیل آماری ایستگاه اسفراین

ارتفاع	۱۰ متر	۳۰ متر	۴۰ متر
میانگین سرعت باد	۵/۲۶۲۱	۶/۱۹۶۰	۶/۳۲۱۲
ریشه سوم متوسط مکعب سرعت‌ها (V_{Rated})	۶/۶۱۵۸	۷/۶۵۱۲	۷/۸۰۳۸
انحراف استاندارد	۲/۸۷۶۱	۳/۲۴۸۴	۳/۳۲۱۳
پیشینه سرعت	۲۶/۳	۲۹/۹	۳۱/۱
فاکتور الگوی انرژی (Ke)	۱/۹۸۱۳	۱/۸۸۳۰	۱/۸۸۱۵
پارامتر شکل برای تابع ویبول (k) با استفاده از فرمول	۱/۹۲۷۱	۲/۰۱۶۳	۲/۰۱۱۵
پارامتر بزرگی برای تابع ویبول (c) با استفاده از فرمول	۵/۹۳۶۳	۶/۹۹۶۴	۷/۱۳۷۴
پارامتر شکل برای تابع ویبول (k) با استفاده از برازش	۱/۹۶۳	۲/۱۲۵	۲۲/۲
پارامتر بزرگی برای تابع ویبول (c) با استفاده از برازش	۶/۰۴۹	۷/۳۰۲	۷/۵۹۹

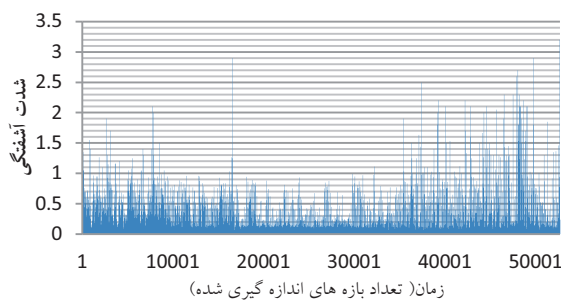
توزیع ویبول و رایلی و مقایسه آن‌ها برای سه ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) آمده است.

نمودار گلباد بر حسب سرعت و زاویه جهت وزش باد در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) رسم شده است. در شکل (۱۴)، شعاع معرف سرعت (m/s) و تراکم نقاط در یک سمت، نشانگر وزش بیشتر در آن جهت است. در نمودار گلباد فرکانس که در شکل (۱۵) رسم شده، شعاع معرف تکرار هر جهت است.

عدم یکنواختی جریان هوا در منطقه است. هر چه میزان آشفته‌گی بیشتر باشد، امکان بهره‌وری از انرژی باد کمتر خواهد بود.

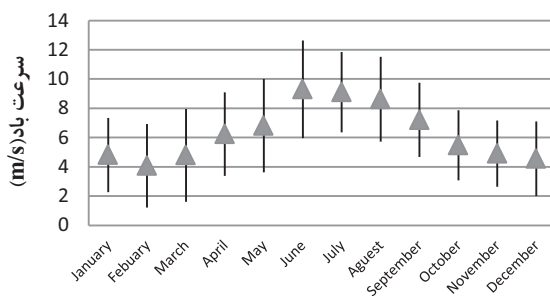


شکل (۱۸): چگالی توان و انرژی باد در ارتفاع‌های مختلف



شکل (۱۹): نمودار شدت آشفته‌گی (۴۰ متری)

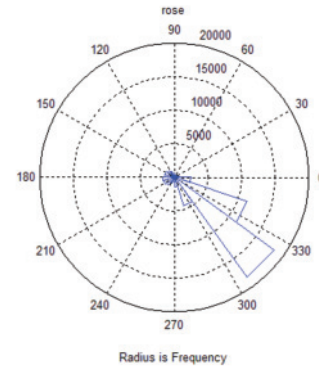
شکل (۲۰) نشان دهنده سرعت متوسط هر ماه است که انحراف معیار آن نیز مشخص شده است.



شکل (۲۰): نمودار میانگین سرعت باد و انحراف معیار ماهانه (۴۰ متری)

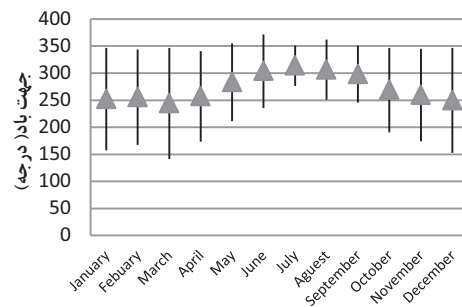
۴. نتیجه‌گیری

طبق نتایج ذکر شده در قسمت قبل برای ایستگاه اسفراین سرعت متوسط در ارتفاع‌های ۳۰ و ۴۰ متری بین ۶ تا ۷ متر بر ثانیه است. چون پتانسیل انرژی باد برای نصب توربین بادی در سرعت متوسط کمتر از ۴.۵ m/s ضعیف، ۴.۵-۵.۴ m/s مرزی، ۵.۴-۶.۷ m/s خوب تا خیلی خوب و برای سرعت‌های بالاتر از ۶.۷ m/s عالی ارزیابی می‌شود [۹]. این ایستگاه از لحاظ سرعت در قسمت عالی قرار می‌گیرد. چگالی توان نیز در این دو ارتفاع بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ وات بر متر

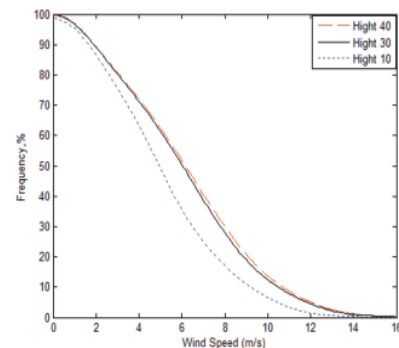


شکل (۱۵): نمودار گلباد تکرار در جهت باد (۳۰ متری)

نمودار میانگین جهت وزش باد و میزان انحراف معیار آن در شکل (۱۶) و نمودار تجمعی سرعت باد برای سه ارتفاع مختلف در شکل (۱۷) آمده است. شکل (۱۶) نشان دهنده تغییرات جهت وزش باد در ماه‌های مختلف است و همان‌طور که پیشتر ذکر شد، جهت وزش باد یکی از عوامل مورد توجه در احداث مزارع بادی به شمار می‌رود.



شکل (۱۶): نمودار میانگین جهت وزش باد و انحراف معیار ماهانه (۳۰ متری)



شکل (۱۷): نمودار تجمعی سرعت باد در سه ارتفاع

در شکل (۱۸)، نمودار چگالی توان متوسط سالیانه بر حسب (W/m^2) برای سه ارتفاع مختلف و نیز نمودار چگالی انرژی سالیانه بر حسب (kWh/m^2) برای تعداد داده $N = 52665$ و $\Delta t = 10 \text{ min}$ رسم شده است. شکل (۱۹) نشان دهنده شدت آشفته‌گی برای سرعت در ارتفاع ۴۰ متری بر حسب میانگین اندازه‌گیری‌های انجام شده در هر ۱۰ دقیقه است. میزان آشفته‌گی بیشتر نشان دهنده

- در منطقه سیستان به منظور تولید برق بادی»، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، جلد ۲۷، شماره ۶، صص ۹۵-۱۰۴، ۱۳۸۶.
- [7] Ameri, M. Ghadiri, M. and Hosseini, M. *Recent Advances in the Implementation of Wind Energy in Iran*. The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006), Bangkok, Thailand, 2006.
- [8] Mostafaeipour, A., Abarghoeei, H., "Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12 (6), 1758-1766, 2008.
- [9] Mostafaeipour, A., "Feasibility study of harnessing wind energy for turbine installation in province of Yazd in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14, 93-111, 2010.
- [10] Keyhani, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Khanalia, M., and Abbaszadeh, R., "An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran" *Energy*, 35(1), 188-201, 2010.
- [11] Mirhosseini, M., Sharifi, F., Sedaghat, A., "Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15, 449-459, 2010.
- [۱۲] منسوبی حسینی، ح. صداقت، ا. «بررسی و تحلیل آماری انرژی باد در استان همدان»، اولین کنفرانس سالانه انرژی پاک، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، کرمان، ۱۳۸۹.
- [13] James, F., Manwell, Jon, G., Mc.Gowan., Anthony, L., Rogers., *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons. p.11, 2002.

مربع است که این مقادیر هم نشان می‌دهند این ایستگاه از پتانسیل بالایی برای تولید انرژی الکتریکی برخوردار است.

در ایستگاه بجنورد، سرعت متوسط در ارتفاع‌های ۳۰ و ۴۰ متری بین ۵ تا ۶ متر بر ثانیه است که با توجه به معیار ذکر شده، جریان باد منطقه از نظر اندازه سرعت و جهت مطلوب است. همچنین چگالی توان در این دو ارتفاع بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ وات بر متر مربع است. با توجه به مقادیر سرعت و چگالی توان باد که در محدوده مطلوبی قرار دارند، می‌توان گفت که این سایت برای نصب توربین‌های بادی برای تولید انرژی الکتریکی مناسب است. در مجموع، ایستگاه اسفراین پتانسیل بالاتری از ایستگاه بجنورد برای نصب توربین‌های بادی دارد. لذا یکی از مکان‌های پیشنهادی برای راه‌اندازی نیروگاه بادی در آینده، منطقه اسفراین است.

مراجع

- [۱] سایت وزارت نیرو <http://www.moe.org.ir>
- [2] "World Wind Energy Report 2008", World Wind Energy Association. February 2009
- [۳] سازمان انرژی‌های نو ایران <http://www.sun.org.ir>
- [4] World Wind Energy Association (WWEA), www.wwindea.org.
- [۵] رحیم‌زاده، ف. و جهانگیری، ز. «مکان‌یابی مناسب برای استفاده از انرژی باد در کشور»، سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، تهران، ۱۳۸۲.
- [۶] گندمکار، ا.، کاویانی، م.ر.، و مسعودیان، س.ا. «بررسی انرژی باد