DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.1.2.2

سال ششم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۸، ص۶ ص۱۳

فصل نامه علمی-ترویجی انرژی های تجدید پذیر و نو

Jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱۵

امکان سنجی توان انرژی باد در مناطق مختلف ایران بر مبنای داده های سینوپتیک هواشناسی جهت تولید الکتریسیته

صهیب ایوب زاده [۱]، حسین بیکی [۲*]

۱.دانشجوی کارشناسی، مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان

۲. استادیار، مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان

*. قوچان، ۹۴۷۷۱-۶۷۳۳۵، hbeiki@qiet.ac.ir

چکیده

توان باد یک پارامتر مهم برای برآورد پتانسیل یک مزرعه باد است و از آن برای مقایسه سایت های مختلف استفاده می‌شود. در این پژوهش برآورد توان انرژی باد در چهار منطقه مختلف ایران بررسی شده است. برای این منظور از اطلاعات باد شهرهای مایان، بردسیر ، مورچه خورت و خاش که با فرکانس زمانی ۱۰ دقیقه‌ای در مدت یک سال ثبت شده‌اند استفاده شده است. از روش‌های جبری و گرافیکی برای تخمین ثوابت وایبول استفاده شد که از آن‌های در تعیین توان باد در مناطق انتخاب شده، استفاده شده است. تابع وایبول استفاده شده در این پژوهش تابع دو متغیره است. پس از تعیین ثوابت وایبول به تعیین توان انرژی باد در این مناطق پرداخته شد. برای تخمین توان تولیدی از شش نوع توربین با توان و ارتفاع هاب متفاوت استفاده شد. نتایج نشان داد که در مناطق بررسی شده با نسب توربین‌های بادی با توان‌های متغییر که نیاز به سرعت پایین باد برای راه اندازی دارند می‌توان به تولید توان پرداخت که از بین مناطق انتخابی ایستگاه مایان مستعدترین نقطه برای نصب و راه اندازی مزرعه بادی است.

کلید واژگان: توان انرژی باد، تولید الکتریسیته، توربین، مزرعه بادی

Feasibility study of wind power in different regions of Iran Based on synoptic meteorological data for electricity generation

Sohaib ayobzadeh[1], Hossein Beiki[1*]

۱- Department of Chemical Engineering, Quchan University of Technology, Quchan, Iran.

* P.O.B. 94771-67335, Quchan, Iran, hbeiki@qiet.ac.ir

Received: May 2018 Accepted: November 2018

Abstract:

Wind power is an important parameter for estimating the potential of a wind farm; it is used to compare different sites. In this study, wind power estimation under four different regions of Iran was investigated. For this purpose, the wind data of the Mayan, Bardsir, Morche Khort and Khash have been recorded at a time interval of 10 minutes per year. The algebraic and graphical methods were used to estimate the constants of the Weibull function, which were used to determine the wind power in the selected regions. The Weibull function used in this study is a two-variable function. After determining the Weibull constants, the wind power was determined. Six types of turbines

www.SID.ir

with different powers and heights were used to estimate the power output. The results showed that in the selected cities, using wind turbines with variable power, which were required low wind speeds to start, could be producing electricity. The Mayan station is the most desirable space to install the wind farm.

Keywords: Wind power, Electricity production, Turbine, Wind farm

۱- مقدمه

بسیاری از فعالیت‌های جامعه وابسته به انرژی است و درجوامع پیشرفته امروزی انرژی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. افزایش گازهای گلخانه-ای و تغییرات شدید در شرایط آب و هوایی کره زمین، در نتیجه استفاده روز افزون بشر از سوخت‌های آلاینده فسیلی است. علاوه بر بحث آلاینده بودن سوخت‌های فسیلی، محدودیت استفاده و پایانپذیر بودن آن‌ها، دولت‌ها را به فکر پیدا کردن منابع جایگزین برای تولید انرژی واداشته است. به همین دلیل بستر مناسبی برای بهره برداری از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر فراهم شده است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل پایان ناپذیر بودن و همچنین داشتن آلودگی محیطی در حد صفر بهترین راه برای کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی است. امروزه در زمینه بهره برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر کشورهای زیادی در حال فعالیت‌اند که کشور آلمان در رتبه نخست استفاده از این نوع انرژی‌ها قرار دارد [۱]. یکی از منابع انرژی‌های جدیدپذیر، انرژی باد است که از دیرباز مورد توجه بوده است. از انرژی باد بطور مستقیم برای خشک کردن مواد غذایی و تهویه مطبوع در بادگیرهای شهر یزد استفاده شده است. همچنین از انرژی باد به طور غیرمستقیم جهت تبدیل انرژی جریان باد به انواع مختلف انرژی جهت آرد کردن غلات، پمپاژ آب به مزارع و تبدیل به انرژی الکتریکی و استفاده از آن در شبکه سراسری برق استفاده شده است.

پژوهش‌های متعددی در رابطه با امکان استفاده از پتانسیل انرژی باد در مناطق مختلف جغرافیایی براساس آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی انجام و نتایج ارزشمندی بدست آمده است. صلاحی [۲]، پتانسیل سنجی انرژی باد و برازش احتمالات واقعی باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه‌های استان اردبیل را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش از داده‌های بلند مدت سه ساعته سمت و تندی باد استفاده شده است. نتایج نشان داد که چگالی توان باد در ایستگاه‌های اردبیل، خلخال، پارس آباد و مشکین شهر به ترتیب ۳۴۲/۰۲۶، ۶۰/۶۶۸، ۷۲/۳۶۳ و۴۳۰/۳۸۳ وات در متر مربع است. بنابراین ایستگاه همدید اردبیل می‌تواند به عنوان مکانی مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی باد به حساب آید. گندمکار [۳]، با استفاده از آمار ۱۰ ساله وزش باد در ایستگاه‌های همدید کشور نشان داد که بسیاری از نواحی ایران از جمله سواحل دریای عمان و جزایر خلیج فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور و چند نقطه پراکنده از بالاترین توان تولید انرژی بادی بویژه در فصل تابستان برخوردار هستند. رحیم زاده و همکاران [۴]، انرژی باد در ایستگاه‌های همدید استان اصفهان را با استفاده از برازش نوع پیوندی توزیع‌های ویبول و معکوس نرمال و همچنین روش مستقیم برآورد کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تندی وزش باد در طول ماه‌های سرد سال نسبت به سایر ماه‌ها کمتر است. چگالی توان باد در ایستگاه‌های همدید استان اصفهان در ماه‌هایی که وزش باد ضعیف است به کمتر از ۲۵ وات بر متر مربع می‌رسد. به طور کلی ایستگاه‌های منطقه خور و بیابانک، داران و نطنز با تندی چگالی و توان باد کم مواجه هستند. محمدی و همکاران [۵]، توان باد در استان کرمانشاه را بر پایه داده‌های سه ساعته ارزیابی کردند. براساس این پژوهش سه ایستگاه روانسر، سرپل ذهاب و کنگاور به ترتیب بهترین شرایط را برای تولید انرژی بادی دارند. در این میان ایستگاه کرمانشاه از کمترین توان تولید انرژی بادی در سطح استان برخوردار است.

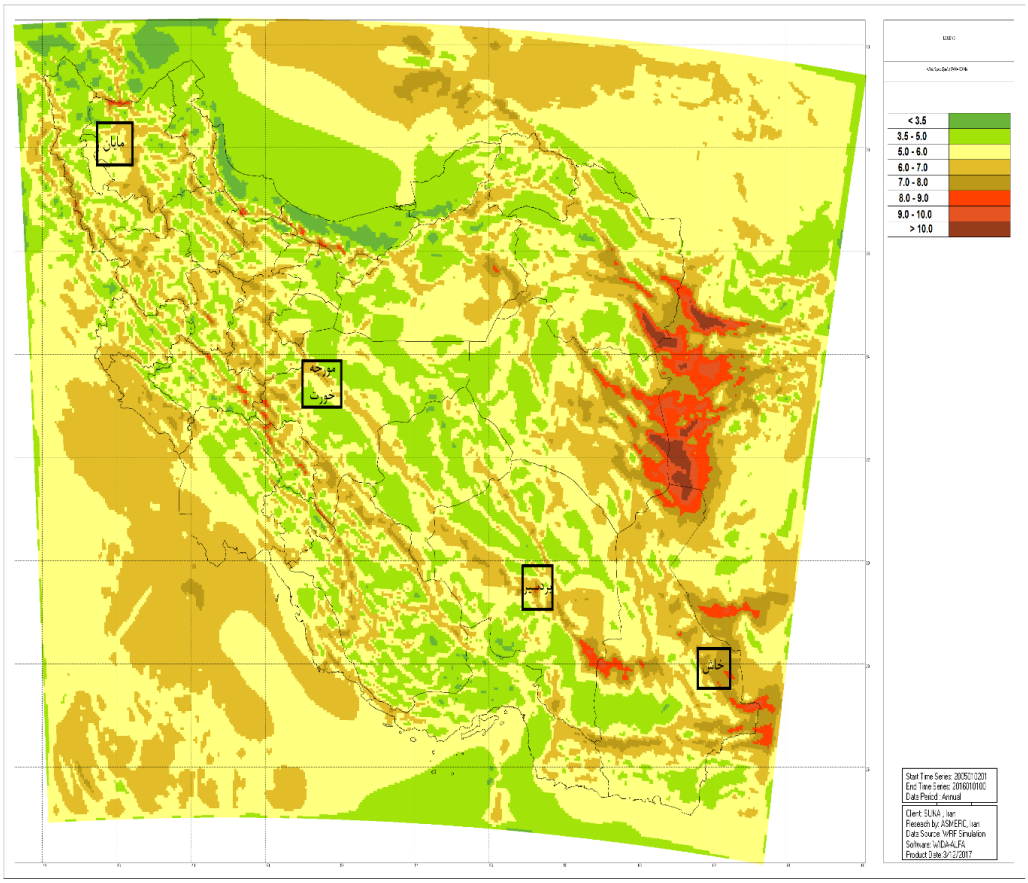
ایران با آب و هوایی متنوع، در مسیر جریان های مهم هوایی به خصوص جریان های غربی و شمال غربی قرار دارد. این مسئله به همراه وجود تنوع توپوگرافی و به تبع آن ایجاد مراکز فشار حرارتی محلی سبب شده است که در برخی نقاط کشور در طول سال، بادهایی با شدت‌های مختلف بوزد. بدیهی است در صورت وجود آستانه‌های سرعت و دوام باد، می‌توان از انرژی حاصله از نیروی آن استفاده نمود. برای

www.SID.ir

تخمین توان انرژی باد بر اساس سرعت وزش باد از تابع توزیع احتمالی باد که تابع توزیع وایبول است، استفاده می‌شود. تعیین مقدار دقیق پارامترهای توزیع وایبول سرعت باد، کار دشوار و پیچیده‌ای است. به علاوه مقدار این پارامترها از یک منطقه به منطقه دیگر متغیر است. در این پژوهش قبل از تعیین مقدار این پارامترها، ابتدا براساس اطلس باد ایران چهار منطقه از بین مناطق مختلف ایران انتخاب شده است. ضرورت دست یابی به منابع انرژی جایگزین برای سوخت‌های فسیلی بر اهمیت موضوع بررسی و پتانسیل سنجی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌افزاید. در این پژوهش با استفاده از داده‌های سرعت باد ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و بر اساس روش آماری وایبول به بررسی تولید توان پرداخته شده است.

۲- انتخاب مناطق

در این پژوهش مقدار انرژی، سمت و سرعت باد در ماه‌های مختلف به کمک روش‌های آماری، روابط ریاضی و محاسباتی مشخص و برآورد شده است. به این منظور از آمار روزانه و ساعتی سمت و سرعت باد در طی دوره‌ی آماری یک ساله (اندازه گیری با فاصله زمانی ده دقیقه‌ای) ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک واقع در مناطق انتخابی استفاده گردید. شکل (۱) موقعیت مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱ اطلس باد ایران [۶]

۲-۱- برآورد سرعت باد در ارتفاع بالاتر

در لایه‌های پایین تروپوسفر، با کاهش نیروی اصطکاک در اثر افزایش ارتفاع سرعت باد افزایش می‌یابد. اگر چه اندازه گیری سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی طبق استاندارد سازمان هواشناسی جهانی در ارتفاع ۱۰ متر صورت می‌گیرد. اما در پژوهش‌های آماری برای امکان سنجی جهت نصب توربین‌های بادی سرعت باد در ارتفاع‌های بالاتر مورد نیاز است. به موجب این امر تحقیقات مختلفی براساس تئوری‌های سیالاتی و روش‌های آماری برای محاسبه سرعت باد در ارتفاع‌های

www.SID.ir

بالاتر، صورت گرفته است. در این پژوهش از معادله زیر برای تعیین سرعت باد در ارتفاع دلخواه استفاده شده است [۷].

$$U(z) = U_{ref}\left[\left(\ln\left(z/z_0\right)/\ln\left(z_{ref}/z_0\right)\right)\right] \quad (۱)$$

که در آن U_{ref} سرعت باد در ارتفاع معلوم، z ارتفاعی است که سرعت در آن ارتفاع تخمین زده می‌شود، z_{ref} ارتفاعی است که سرعت باد در آن معلوم است و z_0 پارامتر زبری سطح می‌باشد که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ مقادیر مربوط به پارامتر زبری سطح

شرایط سطح	مقدار z_0 (mm)
سطح صاف و یخ زده	۰/۰۱
سطح دریا	۰/۰۲
علفزار	۸
تراکم کم درختان	۱۰۰
جنگل	۵۰۰
حومه شهر	۱۵۰۰
مرکز شهر	۳۰۰۰

توان باد به کمک معادله ۲ محاسبه می‌شود که در آن k و C ثوابت معادله، مقادیر P_f فراوانی‌ها و مقادیر V_w سرعت باد در آن فراوانی‌ها می‌باشند.

$$P_{f(V_w)} = ۱ - exp\left[-\left(\frac{V_w}{C}\right)^k\right] \quad (۲)$$

جهت تعیین ثوابت k و C، معادله ۲ به صورت زیر ساده می‌شود.

$$ln\left[ln\left(1/(1-p_f)\right)\right] = k\ lnV_w - k\ lnC \quad (۳)$$

با در نظر گرفتن $x=lnVw$ و $y = ln\left[ln\left(1/(1-p_f)\right)\right]$، معادله ۴ حاصل می‌شود:

$$y = k\,x - k\ lnC \quad (۴)$$

رابطه ۴ معادله خط است و به کمک بخش *curve fitting* نرم افزار *MATLAB* شیب (k) و عرض از مبدا ($-k\ lnC$) آن تعیین می‌شود. برای این منظور مقادیر x و y به عنوان ورودی به نرم افزار داده می‌شود.

مقادیر ثوابت k و C، برای شهرهای انتخاب شده در جدول ۲ ارائه شده است[۸].

جدول ۲ مقادیر ثوابت k و C، برای شهرهای انتخاب شده

شهر	$-k\ lnC$	C	k	*R-square*
بردسیر	-۱/۷۷۸	۵/۰۲۰	۱/۱۰۲	۰/۷۷
خاش	-۱/۳۱۴	۳/۶۱۷	۱/۰۲۲	۰/۷۰
مایان	-۱/۷۶۹	۴/۷۸۵	۱/۱۳۰	۰/۷۴
مورچه خورت	-۱/۹۵۱	۴/۱۷۵	۱/۳۶۵	۰/۹۱

۲-۲- محاسبه انرژی سالیانه

میزان بازدهی و درآمد خالص استفاده از توربین‌های بادی تجاری با محاسبه‌ی انرژی سالیانه‌ی آن‌ها امکان پذیر است. جهت محاسبه انرژی سالیانه توربین نیاز به اطلاعاتی از قبیل: توزیع وایبول باد در ارتفاع هاب مورد نظر، منحنی توان توربین مورد نظر، ضریب در دسترس پذیری (A) می‌باشد.

مراحل محاسبه انرژی سالیانه به صورت زیر می‌باشد:

۱- محاسبه‌ی تعداد ساعات در یک سال و ساعت‌های در دسترس پذیری، با استفاده از معادلات ۵ و ۶:

$$T_t^H = ۳۶۵.۲۵ * ۲۴ \quad (۵)$$

$$T^H = T_t^H * A \quad (۶)$$

۲- انتخاب تعداد بازه سرعت دلخواه باد: بازه‌های انتخابی از سرعت صفر تا سرعت ۲۰ متر بر ثانیه با فاصله‌ی ۲ متر بر ثانیه از هم دیگر انتخاب می‌شود.

۳- محاسبه‌ی درصد رخداد باد در بازه‌های انتخابی: برای این منظور ابتدا مقدار فراوانی وزش باد در هر کدام از بازه‌ها بدست می‌آید و سپس با استفاده از معادله ۲ (که در بخش انتخاب مناطق طریقه تعیین ثوابت آن، شرح داده شده است) مقدار درصد رخداد باد برای بازه‌های سرعت مشخص شده، محاسبه می‌شود.

www.SID.ir

۴- محاسبه‌ی تعداد ساعات رخداد باد در آن بازه: از ضرب کل ساعت‌های رخداد باد در درصد رخداد باد در بازه‌های مورد نظر این مقدار به دست می‌آید.

$$T_{i(V_w)} = T^H * P_{f(V_w)} \quad (۷)$$

۵- محاسبه‌ی توان تولیدی توربین در بازه‌های سرعت انتخابی: با استفاده از منحنی توان توربین و ساعت-های رخداد باد در بازه‌های مورد نظر از معادله ۸ مقدار توان تولیدی توربین در هر بازه بدست می‌آید.

$$Power = T_{i(V_w)} * P_{(V_w)} \quad (۸)$$

۶- محاسبه‌ی ارزش ریالی تولید: جهت محاسبه ارزش ریالی تولید توربین‌ها، توان بدست آمده برای هر کدام از توربین‌ها که بر حسب kWh است، در مقدار تعرفه-ای که وزارت نیرو تعیین کرده ضرب می‌شود.

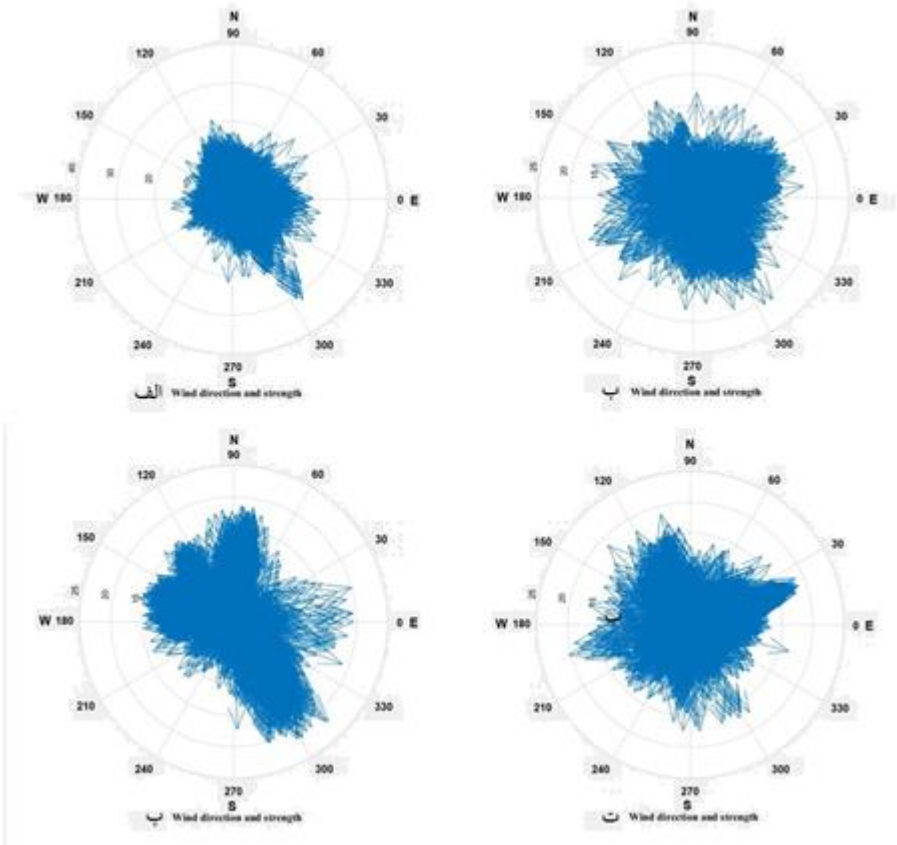
$$S = Power * ۳۵۰ \quad (۹)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- گلباد

گلباد نموداری است که سرعت، جهت و تواتر بادهای یک مکان معین را با استفاده از یک دستگاه مختصات مرکزی نشان می‌دهد این نمودار کاربردهای فراوانی از قبیل: ۱- امکان سنجی (مکان یابی، چگالی و توان باد، ایستایی باد و ...) برای استفاده از انرژی باد، ۲- طراحی باند فرودگاه‌ها، زمین‌های ورزشی و ...، ۳- طراحی‌های شهری (نحوه‌ی استقرار پنجره‌ها، بازشوها و ...)، ۴- مکان یابی جهت گسترش فضای سبز، ۵- عدم استقرار صنایع آلاینده در جهت باد غالب منطقه، دارد.

در شکل ۲ گلباد مناطق انتخاب شده، نشان داده شده است. گلبادها برحسب سرعت و زاویه‌ی جهت وزش رسم شده اند. در گلبادها، شعاع معرف سرعت (m/s) است و تراکم نشانگرها در یک سمت، نشان دهنده وزش بیشتر در آن جهت می‌باشد. نمودارهای مربوط به گلباد مناطق انتخاب شده، شاخص مهمی در نصب و آرایش توربین‌های بادی و احداث مزارع باد است.



شکل ۲ گلباد مناطق الف) بردسیر، ب) خاش، پ) مایان، ت) مورچه خورت

www.SID.ir

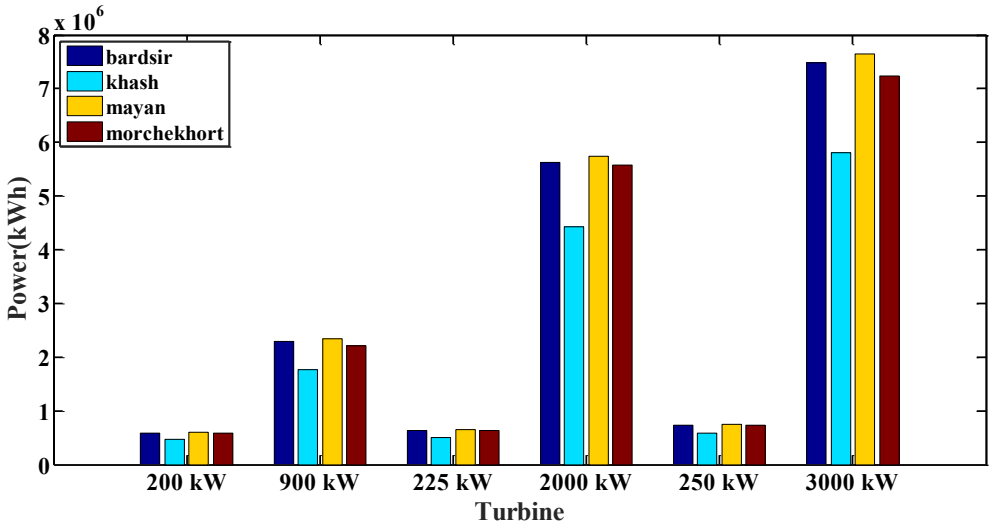
برای برآورد اولیه انرژی قابل حصول از جریان باد در منطقه محاسبات لازم بر روی اطلاعات سمت و سرعت باد در یک بازه زمانی یک ساله انجام شد. در ایستگاه بردسیر (شکل ۲ الف) باد غالب جهت مشخصی ندارد و در جهت شمال غربی و جنوب شرقی و شرق باد با نسبت‌های نزدیک به هم وزیده است. جهت باد غالب و ماکزیمم انرژی قابل استحصال در منطقه خاش (شکل ۲ ب) جهت مشخصی ندارد ، همچنین در این ایستگاه وزش باد به طور مداوم و با شدت و ضعف در تمام طول سال در جهات متفاوتی می‌باشد. در ایستگاه مایان (شکل ۲ پ) جهت باد غالب و ماکزیمم انرژی قابل استحصال در جهت جنوب شرقی(۲۷۰ تا ۳۳۰ درجه) بوده و بعد از آن نیز باد شمال غربی (۹۰ تا ۱۸۰ درجه) قرار دارد، همچنین از ویژگیهای مهم این ایستگاه وزش باد با شدت در جهت جنوب شرقی است. شکل ۲ ت نشان می‌دهد که جهت باد غالب و ماکزیمم انرژی قابل استحصال در منطقه مورچه خورت جهت مشخصی نبوده و باد در همه جهات و با شدت و ضعف در تمام طول سال وزیده است.

۲-۳- توربین‌هایی مورد استفاده

توربین‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، از سه شرکت NTK ژاپن، شرکت انرکورن آلمان و شرکت وستاس دانمارک انتخاب شده است. مقادیر توان توربین‌های انتخاب شده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ مقدار توان توربین‌های انتخاب شده در سطوح مختلف

سطح توان توربین	مقدار (kW)
توان پایین	۲۵۰-۲۰۰
توربین توان متوسط	۹۰۰
توربین‌های توان بالا	۳۰۰۰-۲۰۰۰

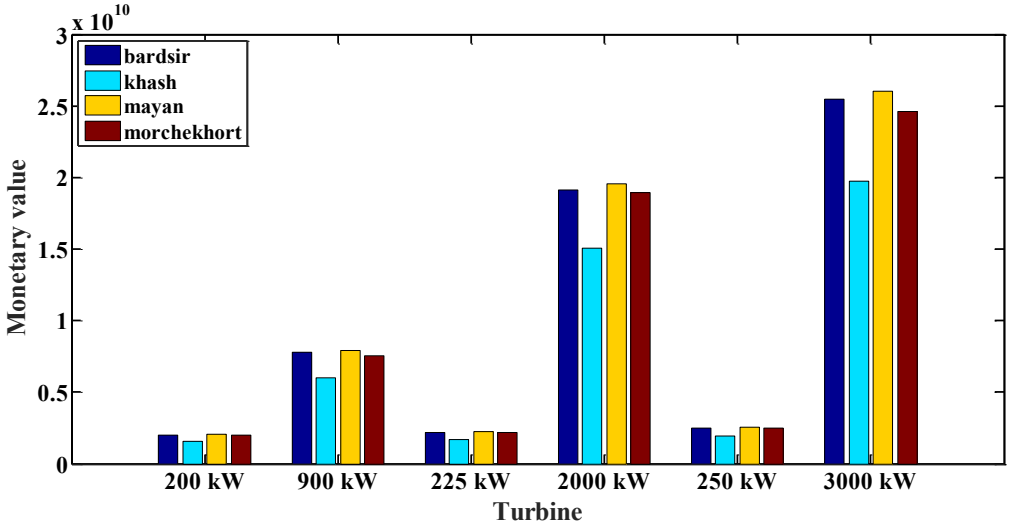


شکل ۳ نمودار توان تولیدی

۳-۳- توان تولید

همانطور که از شکل ۳ نشان داده شده است، می‌توان گفت که توربین-های ۳۰۰۰ kW و ۲۰۰۰ kW بیشترین توان تولیدی و توربین‌های kW ۲۰۰، ۲۲۵ kW و ۲۵۰ kW کمترین توان و توربین ۹۰۰ kW توان متوسطی تولید کرده‌اند. از لحاظ تولید توان، شهر مایان بیشترین تولید و پس از آن بردسیر کرمان و مورچه خورت با اختلاف کمی در تولید توان قرار دارند. تولید توان در منطقه خاش سیستان به نسبت دیگر مناطق کمتر است.

www.SID.ir



شکل ۴ نمودار ارزش پول تولیدی

۴-۳- ارزش پول تولیدی

شکل ۴ مقدار هزینه‌ای که از فروش برق توربین‌ها حاصل می‌شود را نشان می‌دهند. شکل ۴ بر اساس تعرفه ۳۵۰۰ ریالی [۶] که وزارت نیرو مایل به خرید برق تولیدی است، به دست آمده است. توربین ۳۰۰۰ kW (شرکت انرکورن آلمان) بیشترین تولید را دارد و بیشترین سود را حاصل می‌کند. البته با توجه به منحنی توان توربین‌ها که در چه سرعتی توان تولید می‌کنند باید ارزیابی کرد که چه توربین و با چه توانی برای منطقه انتخاب کرد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش ضمن شناسایی پارامترهای مهم در مکانیابی نیروگاه-های بادی، محاسبه جهت و تواتر وزش باد، پتانسیل نیروی باد با استفاده از تابع توزیع آماری وایبول و ارزش اقتصادی تولیدی در مناطق مورد نظر بررسی و باهم مقایسه شد.

بر اساس نتایجی که از این پژوهش به دست آمد، پیشنهاد می‌شود که تعداد ایستگاه‌های ثبت اطلاعات در کشور افزایش یابد و دیتاهای ثبت شده در اختیار پژوهشگران قرار گیرد به طوری که بتوان در خصوص وضعیت باد، به تفکیک برای قسمت‌های مختلف کشور قضاوت نمود. این امر موجب می‌شود که مطالعات مکان یابی به منظور شناسایی بهترین نقاط برای نصب توربین‌های بادی به ساده‌ترین شکل انجام شود و مقایسه‌ای بین مناطق مختلف در کشور صورت پذیرد.

با توجه به سرعت، جهات، فراوانی بادهای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری یک ساله این نتایج به دست آمد که منطقه مایان به نسب دیگر مناطق از پتانسیل بالایی برای تولید توان الکتریکی برخوردار است و نتایجی که گلباد این منطقه به دست می‌دهد این امر را تایید می‌کند که این منطقه مناسب برای ساخت سایت بادی است. سه منطقه دیگر مورد بررسی در این پژوهش که توان به نسبت کمتری از منطقه مایان تولید می‌کنند طبق گلباد بدست آمده نقاط مناسبی برای احداث سایت بادی نیستند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فرهاد حسینی بواسطه نظرات سودمندشان در تکمیل این پژوهش، قدردانی می‌کنند.

مراجع:

۱. *نشریه سازمان انرژی‌های نو ایران*، سال پنجم، شماره بیست و چهارم، آبان ماه ۱۳۹۰.

۲. ب. صلاحی، پتانسیل سنجی انرژی باد و برازش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در

www.SID.ir

ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی* شماره ۷۲، ۱۳۸۳.

۳. الف. گندمکار ، ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، سال ۲۰، شماره پیاپی ۳۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۸.

۴. ف. رحیم زاده ، م. پدرام، ع. صداقت کردار ، غ. کمالی ، برآورد انرژی باد در ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، *مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان*، پاییز ۱۳۸۸، دوره ۲۰، شماره ۳، از صفحه ۱۵۵ تا صفحه ۱۷۲، ۱۳۸۷.

۵. ح. محمدی، ش. رستمی جلیلیان، ف. تقوی، ع. شمسی پور، پتانسیل سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، تابستان ۱۳۹۱ ، دوره ۴۴ ، شماره ۲، از صفحه ۱۹ تا صفحه ۳۲، ۱۳۸۹.

۶. سایت سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق، http://www.satba.gov.ir

۷. ع. انتظاری، الف. امیراحمدی، ع. عرفانی، الف. برزویی ا، ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، سال سوم، شماره نهم و دهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، از صفحه ۳۳ تا ۴۶، ۱۳۹۱.

۸. J. F. Manwell, J. G. McGowan, A. L. Rogers, *Wind Energy Explained Theory, Design and Application*, New York: John Wiley & Sons, 2002.

www.SID.ir