نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۸۷ – ۷۵

ارزیابی قابلیت‌های انرژی باد در شهر یزد

[۱] سبحان فارسی ، [۲] محمدرضا نظری*

چکیده

با افزایش روزافزون جمعیت و پیشرفت جوامع بشری و نیاز حیاتی انسان به منابع انرژی و همچنین آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی، امروزه کشورها به دنبال استفاده از منابع انرژی پاک هستند. در این مقاله به ارزیابی قابلیت‌های انرژی باد در شهر یزد پرداخته شده‌است. سرعت باد برای شهر یزد در طول دوره پنج ساله از سال ۲۰۱۵-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفته‌است. اطلاعات اندازه‌گیری‌شده در ارتفاع ۱۰متری از سایت سازمان هواشناسی دریافت شده‌است. با استفاده از نرم افزار ویندوگرافر سرعت باد در ارتفاع ۵۰ متر محاسبه شده‌است. پس از بررسی و آنالیز داده‌های توسط نرم‌افزار ویندوگرافر، میانگین سرعت سالیانه باد در ارتفاع ۵۰ متر، ۳/۱۷۴ متربرثانیه و چگالی توان باد ۵۴ وات برمترمربع به‌دست آمد که نشان می‌دهد که شهر یزد پتانسیل خوبی برای بهره‌برداری از انرژی باد ندارد.

تاریخ دریافت:
۱۳۹۷/۹/۱۷

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۸/۵/۱

کلمات کلیدی:
انرژی باد،
انرژی تجدیدپذیر،
پتانسیل‌سنجی باد،
تابع ویبول

۱. کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد ، ایران. farsi@stu.yazd.ac.ir
۲. استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، ایران. (نویسنده مسئول) mnazari@yazd.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

۱. مقدمه

نیاز انسان به انرژی همواره از مسائل مهم در طول تاریخ بشریت بوده و بشر همواره به دنبال یافتن منابع انرژی به روش‌های گوناگون بوده‌است. توسعه و پیشرفت جوامع انسانی و نیاز حیاتی به انرژی، موجب شده‌است تا کشورهای مختلف به‌دنبال یافتن منابع انرژی باشند. در دهه‌های گذشته سوخت‌های فسیلی منبع اصلی تأمین انرژی به‌شمار می‌رفتند. با توجه به روند افزایشی مصرف و پایان‌پذیری این منابع و همچنین ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف آن‌ها، کشورهای پیشرفته و در حال توسعه به‌دنبال استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک هستند. انرژی‌های نو نظیر خورشید، باد، زیست توده، زمین‌گرمایی، امواج دریا و ... جایگزین‌های مناسبی برای سوخت‌های فسیلی به‌شمار می‌روند. باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر است که مزایای استفاده از آن در تولید انرژی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر باعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و به تبع آن ارتقا فناوری و رشد چشم‌گیر مطالعه کاربردی این فراسنج اقلیمی در میان جوامع پیشرفته جهان گردیده‌است. نیروی حاصل از انرژی باد ازسه هزار سال پیش مورد استفاده قرارگرفته‌است. تا اوایل قرن بیستم، انرژی باد برای فراهم‌آوردن نیروی مکانیکی لازم برای پمپاژ آب یا آسیاب نمودن غلات استفاده شده است. همزمان با اولین شوک قیمتی نفت در اواخر دهه۱۹۷۰، تمایل شدیدی به استفاده از انرژی باد ایجاد شد [۳]. ظرفیت نصب شده توربین بادی جهان در ژوئن ۲۰۱۶ به ۴۵۶،۴۸۶ مگاوات رسیده‌است که در طی شش‌ماه اول سال ۲۰۱۶، ۲۱،۷۱۴ مگاوات به ظرفیت استفاده از انرژی بادی جهان اضافه شده‌است. این افزایش ظرفیت شبیه شش ماهه اول سال ۲۰۱۵ بوده که ۲۱/۶ گیگاوات اضافه شد. کل ظرفیت بادی نصب شده در جهان تا نیمه سال ۲۰۱۶ حدود ۴/۷ درصد از تقاضای برق جهان را برآورده می‌کند [۱۵]. کشورهای چین، آمریکا، آلمان، اسپانیا و هند ۶۷ درصد ظرفیت جهانی نصب شده باد را در اختیار دارند. کشور چین تا ژوئن ۲۰۱۶، ۱۵۸ گیگاوات ظرفیت بادی نصب شده دارد. درمجموع چهار کشور در نیمه اول سال ۲۰۱۶ بیش از یک گیگاوات به تولید خود افزوده‌اند: چین با ۱۰ گیگاوات ظرفیت جدید؛ هند با ۲/۴ گیگاوات ظرفیت جدید؛ آلمان با ۲/۴ گیگاوات ظرفیت جدید و برزیل با ۱/۱ گیگاوات ظرفیت جدید. انتظار می‌رود تا پایان سال ۲۰۱۶ ظرفیت نصب شده به ۵۰۰ گیگاوات برسد. در مجموع آسیا با داشتن ۴۲ درصد، اروپا با ۳۳ درصد و آمریکا با ۲۰ درصد از کل ظرفیت نصب شده

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

بادی در جهان را دارند [۱۶]. استفاده از انرژی باد در هر مکان نیاز به پتانسیل‌سنجی بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. در طول سال‌های گذشته در این زمینه بررسی‌های زیادی در کشورهای مختلف از جمله کشور ایران انجام شده‌است. از جمله مواردی که در این زمینه در ایران انجام شده می‌توان به کار سید باقر سلطانی و همکاران [۲] اشاره کرد. آنها پتانسیل انرژی باد را در بند امیر آباد مورد بررسی قرار دادند. همچنین محسن مزیدی و محمد مزیدی [۵] از پتانسیل انرژی باد در تحلیل عددی عملکرد بادگیرها در مناطق گرم و خشک استفاده کرده‌اند.

۲. پیشینه تحقیق

وی ژو[1] و همکاران [۱۲] با جمع آوری اطلاعات چهارجزیره در جنوب کشورچین، به بررسی و آنالیز پتانسیل انرژی باد در این مناطق پرداختند. آن‌ها با استفاده از تابع توزیع ویبول و محاسبه پارامترهای آن به محاسبه توان تولیدی در ماه‌ها و ساعات مختلف در این مناطق پرداخته و مناطق مستعد را انتخاب کردند. بنات الله وچیگار[2] [۷] به بررسی مقدماتی در مورد پتانسیل باد در دو منطقه جنوبی کشور الجزایر پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده ۱۸ ساله درارتفاع ۱۰متری از ایستگاه‌های هواشناسی این دو منطقه، پتانسیل انرژی باد را بررسی کردند. میانگین سرعت برای دو منطقه بین۳ تا۴ متربرثانیه به‌دست آمد. همچنین تعداد روزهایی که چگالی توان تولیدی از میانگین سالیانه بیشتر است ۳۱,۴٪ می‌باشد. الناصر[3] و همکاران [۶] به بررسی داده‌های هواشناسی در شش منطقه از کویت پرداختند. نتایج به‌دست آمده سرعت میانگین بین ۳/۷ تا ۵/۵ متربرثانیه و میانگین چگالی توان بین ۸۰ تا ۱۶۷ وات بر مترمربع را نشان می‌دهد. بیلیر[4] و همکاران [۸] اطلاعات باد را در ارتفاع ۲۰ و ۳۰ متر از ایستگاه نصب‌شده در محوطه دانشگاه آتیلیم[5] جمع‌آوری کرده و به صورت ساعتی از ژوئن ۲۰۱۲ تا ژوئن ۲۰۱۳ ثبت کردند. بیشترین چگالی توان در ماه مارس (۹۸ وات برمترمربع) می‌باشد که این مقدار مناسب نصب توربین بادی در مقیاس بزرگ نیست اما جهت نصب توربین در مقیاس کوچک قابل

1. Wei Zho
2. Benatallah and Chegaar
3. Al-Nassar
4. Levent Bilir
5. Atilim university

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

بررسی است. کیهانی و همکاران [۹] با استفاده از اطلاعات هواشناسی مربوط بـه سـال‌هـای ۱۹۹۵ تـا ۲۰۰۵ فرودگاه مهرآباد، به بررسی و پتانسیل‌سنجی توان تولید انرژی باد بـرای شـهر تهـران پرداختنـد. آن‌ها با کمک تابع ویبول آنالیز میانگین سرعت باد برای ماه‌های مختلـف رابـرای ده سـال محاسـبه و نتایج را مشخص کردند. میانگین سرعت باد برای تولید برق بایستی بین ۵ تا ۶ متربرثانیه باشـد. نتـایج نشان داد که میانگین سرعت باد در طول سال کمتر از ۳ متربرثانیه است و میـانگین تـوان تولیـدی در شهر تهران در طول سال از ۷۴ تا ۱۲ وات بر مترمربع تغییر می‌کند. میرحسـینی و همکـاران [۱۰] بـا استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده سرعت و سمت باد به صورت سه‌ساعته در طول سال‌هـای ۲۰۰۳ تـا ۲۰۰۷ در ارتفاع ۱۰ متری در استان سمنان، به بررسی آماری داده‌ها و پتانسیل‌سنجی منطقه پرداخته‌اند و با استفاده از قانون توان یک‌هفتم مقدار سرعت در ارتفـاع ۳۰ و ۴۰ متـری را محاسـبه کـرده‌انـد. در نتیجه شهرستان دامغان با چگالی توان ۲۵۷ تا ۲۷۷ وات بر مترمربـع، دارای پتانسـیل مناسـبی جهـت بهره‌برداری از انرژی باد می‌باشد.

۳. توصیف مکان مورد مطالعه

اولین مرحله در استفاده از انرژی باد پتانسیل‌سنجی منطقه موردنظر می‌باشد. درواقع نخستین گام برآورد سرعت و جهت باد غالب در منطقه موردنظر می‌باشد. یزد مرکز استان و شهرستان یزد در مرکز ایـران است. شهرستان یزد در دره‌ای خشک و پهناور در ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۰ دقیقه شـرقی و ۳۱ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی واقع شده‌است. این شهرستان از سوی شمال به شهرستان‌های میبد و اردکان از شرق به شهرستان‌های اردکان و بافق، از غرب به استان اصـفهان و از جنوب به شهرستان تفت، ابرکوه و مهریز محدود می‌شود. میانگین بلندی شهرستان یزد از سـطح دریـا ۱۲۴۰ متراست [۱۷].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]



شکل ۱. موقعیت استان یزد

۴. روش آنالیز و بررسی

۴-۱. تابع توزیع ویبول

تابع توزیع ویبول حالت خاصی از توزیع گاماست. این تابع نسبت به توابع دیگر نظیر رایلی از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است. تابع توزیع احتمال به منظور توصیف سرعت باد و محاسبه پتانسیل انرژی باد در یک منطقه به‌کاربرده می‌شود. توزیع ویبول سرعت باد به صورت تابع توزیع احتمال $f(v)$ و تابع توزیع تجمعی $F(v)$ به صورت زیر تعریف می‌شوند [۱]:

$$f(v)=\left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1}\exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right] \quad (۱)$$

$$F(v)=1-\exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right] \quad (۲)$$

در این روابط، v سرعت باد، k یک فراسنج بدون بعد، معروف به "فاکتور شکل" و c فراسنجی موسوم به "فاکتور مقیاس" است که با واحد متربرثانیه محاسبه می‌شود. اساسا پارامتر c میزان "بادی بودن" منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد. از سوی دیگر پارامتر k بیشترین مقدار توزیع باد را نشان می‌دهد [۹].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

۴-۲. پتانسیل انرژی باد

توان بادی که با سرعت v به پره‌های توربین با مساحت A برخورد می‌کند با مکعب سرعت باد و مساحت به صورت زیر افزایش می‌یابد [۵،۸]:

$$p(v)=\frac{1}{2}\rho v^3 A \qquad (۳)$$

که در آن v سرعت باد و ρ چگالی باد می‌باشد. از طرفی می‌توان چگالی توان باد[1] را بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده و با استفاده از آنالیز تابع توزیع ویبول به شکل زیر استفاده کرد [۵،۸]:

$$\frac{p}{A}=\int_0^\infty \frac{1}{2}\rho v^3 f(v)dv=\frac{1}{2}\rho c^3\Gamma\left(1+\frac{3}{k}\right) \qquad (۴)$$

۴-۳. سرعت باد در ارتفاعات دیگر

سرعت باد با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد. روند این افزایش بسته به زبری سطح زمین متفاوت است، به‌طوری که این روند بر روی سطوح زبر بیشتر و بر روی سطوح صاف کمتر است. برای محاسبه سرعت باد در ارتفاعات بالاتر از ۱۰ متری از سطح زمین از رابطه زیر استفاده می‌شود [۴]:

$$v=\left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \times v_0 \qquad (۵)$$

که در آن v سرعت باد در ارتفاع جدید بر حسب متربرثانیه، Hارتفاع جدید و H_0 ارتفاع اصلی بر حسب متر، α عامل معرف سرعت باد[2] و v_0 سرعت باد در ارتفاع اصلی بر حسب متربرثانیه است. مقدار α با توجه به پوشش سطح زمین با استفاده از جداول مخصوص تعیین می‌شود. با توجه به موقعیت منطقه مورد نظر مقدار آن ۰/۱۴ در نظرگرفته شده‌است [۱۱]. معمولاً ارتفاع محور بیشتر توربین‌های بادی تجاری در حدود ۳۰ الی ۸۰ متری و اغلب ۵۰ متری از سطح زمین است [۴].

1. Wind Power Density
2. Wind shear exponent

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

۴-۳. طبقه‌بندی باد

قدرت باد در یک مکان براساس چگالی توان در ارتفاع ۵۰ متری بالای سطح زمین محاسبه می‌شود. در جدول (۱) طبقه‌بندی باد بر حسب دو ارتفاع ۱۰ و ۵۰ متری نشان داده شده‌است [۱۱]:

جدول ۱. طبقه‌بندی باد براساس میانگین سرعت و چگالی توان در ارتفاع ۵۰ متر

کلاس توان باد	وضعیت	۵۰ متر	
		چگالی توان(W/m^2)	میانگین سرعت باد(m/s)
۱	ضعیف	۲۰۰-۰	۵/۶-۰
۲	متوسط	۳۰۰-۲۰۰	۶/۴-۵/۶
۳	نسبتاخوب	۴۰۰-۳۰۰	۷/۰-۶/۴
۴	خوب	۵۰۰-۴۰۰	۷/۵-۷/۰
۵	خیلی‌خوب	۶۰۰-۵۰۰	۸/۰-۷/۵
۶	عالی	۸۰۰-۶۰۰	۸/۸-۸/۰
۷	بسیارعالی	۲۰۰۰-۸۰۰	۱۱/۹-۸/۸

مأخذ: نتایج تحقیق

۵. آنالیز نتایج

در این مقاله، سرعت باد برای شهر یزد در طول دوره پنج ساله از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفته‌است. اطلاعات اندازه‌گیری‌شده در ارتفاع ۱۰متری از سایت سازمان هواشناسی [۱۴] دریافت شده‌است. با استفاده از نرم افزار ویندوگرافر[1] [۱۳]، سرعت باد در ارتفاع ۵۰ متر محاسبه شده‌است. که در این حالت نرم افزار ضریب α در معادله (۵) را برابر ۰/۱۴ در نظر گرفته‌است. سپس میانگین سرعت باد و چگالی توان و انرژی با استفاده از سرعت‌های به‌دست آمده در ارتفاع ۵۰ متری، محاسبه شده‌است که نتایج به‌دست آمده به شرح زیر است:

1. windographer

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

۵-۱. میانگین ماهیانه سرعت باد

میانگین ماهیانه سرعت باد v در جدول (۲) نشان داده شده‌است. بیشتر مقادیر میانگین سرعت ماهیانه باد بین ۳ و ۴ متربرثانیه می‌باشد. در حالی که تعداد کمی زیر ۳ متربرثانیه هستند. در طول دوره مورد مطالعه بیشترین میانگین سرعت مربوط به ماه می‌با ۳/۸۰۴ متربرثانیه و کمترین مقدار میانگین سرعت مربوط به ماه نوامبر با ۲/۳۸۹ متربرثانیه می‌باشد.

جدول ۲. میانگین سرعت ماهیانه باد شهر یزد (ارتفاع ۵۰ متر)

ماه	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	کل
ژانویه	۲/۰۶۱	۲/۷۸۳	۲/۹۵۵	۲/۷۵۳	۲/۹۳۷	۲/۶۹۸
فوریه	۳/۰۱۴	۳/۲۸۸	۲/۹۸۱	۳/۰۷۳	۳/۷۳۰	۳/۲۱۸
مارس	۳/۵۵۶	۴/۰۴۱	۳/۲۱۳	۳/۳۴۶	۳/۶۷۲	۳/۵۶۶
آوریل	۳/۴۷۶	۳/۳۷۲	۳/۵۲۳	۳/۵۵۵	۳/۷۰۶	۳/۵۲۶
می	۴/۰۰۶	۳/۸۵۹	۳/۶۰۲	۳/۸۴۴	۳/۷۰۸	۳/۸۰۴
ژوئن	۳/۶۸۵	۳/۷۵۸	۳/۶۶۴	۳/۵۳۷	۳/۷۱۱	۳/۶۷۱
جولای	۴/۰۰۱	۳/۵۶۱	۳/۲۶۸	۳/۶۶۷	۳/۸۶۴	۳/۶۷۲
آگوست	۳/۶۲۷	۳/۱۲۷	۳/۸۲۴	۳/۶۲۲	۳/۵۹۷	۳/۵۵۹
سپتامبر	۲/۸۶۶	۲/۸۹۷	۲/۸۷۱	۲/۵۲۶	۳/۲۵۷	۲/۸۸۳
اکتبر	۲/۷۰۲	۲/۳۱۴	۲/۶۹۲	۲/۸۰۵	۲/۶۳۲	۲/۶۲۹
نوامبر	۲/۵۷۳	۱/۸۵۸	۲/۲۰۳	۲/۲۷۱	۳/۰۳۸	۲/۳۸۹
دسامبر	۱/۹۶۵	۲/۳۱۳	۲/۵۹۴	۲/۴۷۴	۲/۹۱۱	۲/۴۵۱
کل	۳/۱۳۱	۳/۱۰۰	۳/۱۱۹	۳/۱۲۶	۳/۳۹۵	۳/۱۷۴

مأخذ: نتایج تحقیق

۵-۲. میانگین سالیانه سرعت باد

میانگین سالیانه سرعت باد در طول سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ در جدول (۳) نشان داده شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین کل سرعت باد ۳/۱۷۴ متربرثانیه و تغییرات سالیانه از ۳/۱ تا ۳/۳۹۵ متربرثانیه می‌باشد. بیشترین مقدار در سال۲۰۱۵ با ۳/۳۹۵ متربرثانیه و کمترین آن در سال ۲۰۱۲ با

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

۳/۱ متربرثانیه می‌باشد. لذا براساس جدول (۱)، با این میانگین سرعت، شهر یزد جهت تولید برق با استفاده از توربین‌های بزرگ مناسب نیست.

توزیع ویبول برای هر مکان براساس داده‌ها، متفاوت می‌باشد. دو پارامتر شکل (k) و پارامتر مقیاس (c) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شوند. مقادیر سالانه k و c در جدول (۳) نشان داده شده‌است.

جدول ۳. پارامترهای ویبول شهر یزد (ارتفاع ۵۰ متر)

سال	K	C(m/s)	V(m/s)
۲۰۱۱	۱/۱۷۲	۱/۸۶۲	۳/۱۳۱
۲۰۱۲	۰/۶۹۶	۰/۷۲۸	۳/۱۰۰
۲۰۱۳	۰/۸۴۰	۱/۰۱۷	۳/۱۱۹
۲۰۱۴	۰/۸۵۱	۱/۲۲۳	۳/۱۲۶
۲۰۱۵	۱/۱۵۷	۲/۵۵۱	۳/۳۹۵
کل	۰/۸۱۸	۱/۰۶۳	۳/۱۷۴

مأخذ: نتایج تحقیق

پارامتر k بدون بعد و پارامتر c بر حسب متربرثانیه است. مقادیر سالیانه k از ۰/۶۹۶ تا ۱/۱۷۲ با میانگین ۰/۸۱۸ تغییر می‌کند. مقدار مینیمم k در سال ۲۰۱۲ و بیشترین مقدار آن مربوط به سال ۲۰۱۱ می‌باشد. کمترین مقدار c، ۰/۷۲۸ متربرثانیه است که مربوط به سال ۲۰۱۲ می‌باشد در حالی که بیشترین مقدار آن ۲/۵۵۱ متربرثانیه است که در سال ۲۰۱۵ می‌باشد. پارامترهای تابع ویبول به صورت ماهیانه در جدول (۴) محاسبه شده‌اند. مقادیر ماهیانه c بین ۰/۸۷۹ تا ۱/۵۹۴ متربرثانیه تغییر می‌کند که کمترین آن مربوط به ماه ژانویه و بیشترین مقدار آن مربوط به ماه ژوئن می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

جدول ۴. پارامترهای ویبول و چگالی توان و انرژی هرماه برای شهر یزد (ارتفاع ۵۰ متر)

ماه	K	C(m/s)	P/A(w/m^2)	E/A(kwh/m^2/month)
ژانویه	۰/۸۴۴	۰/۸۷۹	۴۱	۲۹/۵
فوریه	۰/۸۳۷	۱/۰۴۸	۶۱/۱	۴۴
مارس	۰/۸۰۲	۱/۱۵۲	۸۵/۲	۶۱/۳
آوریل	۰/۸۳۴	۱/۲۵۳	۷۷/۹	۵۶
می	۰/۸۵۴	۱/۵۰۳	۸۹/۱	۶۴/۱
ژوئن	۰/۹۰۸	۱/۵۹۴	۵۹/۴	۴۲/۸
جولای	۰/۹۰۴	۱/۵۹۴	۵۹/۴	۴۲/۸
آگوست	۰/۹۱۸	۱/۵۲۸	۵۱/۴	۳۷
سپتامبر	۰/۸۳۹	۱/۰۳۳	۳۵/۸	۲۵/۸
اکتبر	۰/۹۹۸	۱/۰۷۶	۲۶/۵	۱۹/۱
نوامبر	۰/۸۴۶	۰/۹۰۴	۳۱/۲	۲۲/۵
دسامبر	۰/۹۸۶	۱/۰۸۹	۲۹/۷	۲۱/۴
کل	۰/۸۱۸	۱/۰۶۳	۵۴	۳۸/۹

مأخذ: نتایج تحقیق

۵-۳. محاسبات چگالی توان و چگالی انرژی باد

چگالی توان با استفاده از رابطه (۴) محاسبه و در جدول ۵ نشان داده شده‌است. برای شهر یزد بیشترین مقدار چگالی توان باد در سال ۲۰۱۲ با ۶۲ وات بر مترمربع می‌باشد. کمترین مقدار هم مربوط به سال ۲۰۱۴ با ۴۶/۵ وات بر متر مربع است. چگالی انرژی باد نیز از ۴۰۷/۳ تا ۵۴۳/۱ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تغییر می‌کند. میانگین چگالی توان در دوره پنج ساله ۵۴ وات بر مترمربع است.

جدول ۵. چگالی توان و انرژی باد برای شهر یزد (ارتفاع ۵۰ متر)

سال	P/A(w/m^2)	E/A(kwh/m^2/year)
۲۰۱۱	۵۳/۵	۴۶۸/۶
۲۰۱۲	۶۲	۵۴۳/۱
۲۰۱۳	۴۸/۷	۴۲۶/۶

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

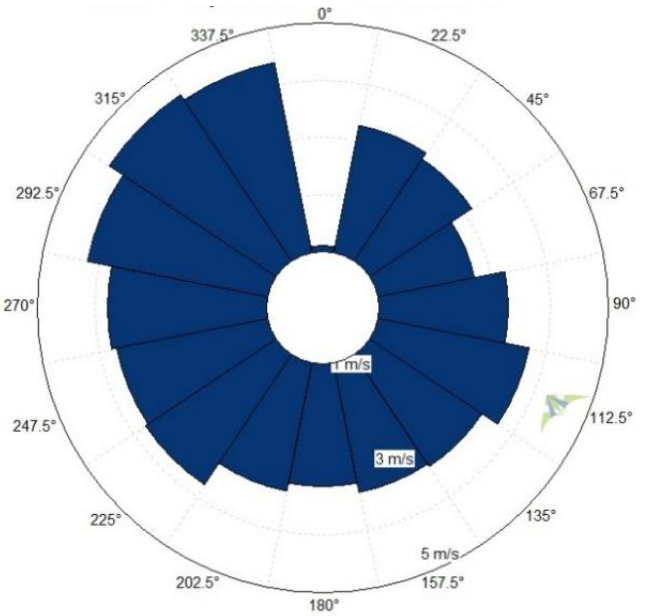
سال	$P/A(w/m^2)$	$E/A(kwh/m^2/year)$
۲۰۱۴	۴۶/۵	۴۰۷/۳
۲۰۱۵	۵۹/۱	۵۱۷/۷
کل	۵۴	۴۷۳

مأخذ: نتایج تحقیق

با توجه به مقادیر به دست آمده و جدول (۱) مشخص می‌شود که شهر یزد در کلاس ۱ (ضعیف) قرار می‌گیرد که جهت نصب توربین‌های بادی در مقیاس بزرگ، مناسب نیست.

۶. جهت باد

جهت باد به صورت دیاگرام قطبی و در جهت عقربه‌های ساعت نمایش داده می‌شود. در دیاگرام زیر جهت غالب برحسب میانگین سرعت نشان داده شده‌است. با توجه به شکل (۲) جهت غالب بیشینه میانگین سرعت در جهت شمال‌غرب می‌باشد.



شکل ۲. جهت غالب میانگین سرعت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

۷. نتیجه گیری

کشورهای در حال توسعه به دلیل محدودیت‌های مختلف بهره‌برداری از منابع سوخت فسیلی، در آینده چاره‌ای جز استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر ندارند. تعداد نیروگاه‌های بادی در کشور با توجه به قابلیت‌های مناسب نقاط مختلف، کافی نیست و نیاز به توسعه این سایت‌ها در سایر نقاط احساس می‌شود. از این جهت این مطالعه با هدف پتانسیل‌سنجی بهره‌برداری از انرژی باد در شهر یزد به انجام رسیده‌است. برای انجام این کار از اطلاعات ثبت‌شده سرعت و سمت باد در ارتفاع ۱۰ متری استفاده شده‌است. جهت محاسبه میانگین سرعت و چگالی توان باد در ارتفاع ۵۰ متری از قانون توان یک‌هفتم استفاده شده‌است که نتایج آن به صورت زیر می‌باشد:

- در طول دوره مورد مطالعه بیشترین میانگین سرعت مربوط به ماه می‌با ۳/۸۰۴ متربرثانیه و کمترین مقدار میانگین سرعت مربوط به ماه نوامبر با ۲/۳۸۹ متربرثانیه می‌باشد.
- نتایج نشان می‌دهد که میانگین کل سرعت باد در طول دوره پنج ساله، ۳/۱۷۴ متربرثانیه است که این مقدار جهت نصب توربین بادی در مقیاس بزرگ نیست، اما این میانگین سرعت جهت تولید برق غیرمتصل به شبکه و استفاده از میکروتوربین‌ها مناسب می‌باشد.
- مقادیر سالیانه k از ۰/۶۹۶ تا ۱/۱۷۲ با میانگین ۰/۸۱۸ تغییر می‌کند. کمترین مقدار c، ۰/۷۲۸ متربرثانیه و بیشترین مقدار آن ۲/۵۵۱ متربرثانیه است.
- بیشترین مقدار چگالی توان باد در سال ۲۰۱۲ با ۶۲ وات برمترمربع می‌باشد. کمترین مقدار هم مربوط به سال ۲۰۱۴ با ۴۶/۵ وات برمترمربع است چگالی انرژی باد نیز از ۴۰۷/۳ تا ۵۴۳/۱ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تغییر می‌کند. میانگین دوره پنج ساله ۵۴ وات بر مترمربع است که با توجه بازده توربین‌های موجود این مقدار کمتر از این هم خواهد شد لذا این مقدار جهت تولید برق در مقیاس بزرگ نیست.

منابع

[۱] امیدوار، کمال و مهدی دهقان طزرجانی (۱۳۹۱). "پتانسیل‌سنجی و برآوردمشخصه‌های نیروی باد برای تولید انرژی در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد". *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره۱۰۵، صص۱۸۲۱۷-۱۸۱۹۷.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

[۲]سلطانی، سید باقر؛ غلامیان، سید اصغر و کسری دستجانی فراهانی (۱۳۸۹)، "بررسی پتانسیل انرژی باد در بند امیرآباد به منظور امکان سنجی تأسیس نیروگاه بادی". *نشریهٔ انرژی ایران*، سال‌سوم، شماره ۱۳، صص۱۶۱-۱.

[۳]گندمکار، امیر (۱۳۸۸). " ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران". *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، شماره ۴، صص۱۰۰-۸۵.

[۴]مجرد، فیروز و شهرام همتی (۱۳۹۲). "ارزیابی قابلیت‌های انرژی باد در استان‌های کرمانشاه و کردستان". *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره۲۹، صص۱۵۷-۱۳۷.

[۵]مزیدی، محسن و محمد مزیدی (۱۳۸۷) "تحلیل عددی عملکرد بادگیرها به عنوان سیستم‌های سرمایش انفعالی در مناطق گرم و خشک"، *نشریهٔ انرژی ایران*، (۱۱)۲۸ ، صص۴۶-۳۹.

[6]Al-Nassar W., Alhajraf S., Al-Enizi A. and L. Al-Awadhi (2005), "Potential wind power generation in the state of kuwait", *Renew Energ*, No.30, pp. 2149–61.

[7] Benatallah M.F. and M. Chegaar (2013), "Investigation of Wind Characteristics in the Southern Region of Algeria", *Energy Procedia*, No.36, pp.707-713.

[8] Bilir, Levent, İmir, Mehmet, Devrim, Yılser, Albostan, Ayhan (2015), "An Investigation on Wind Energy Potential and Small Scale wind Turbine Performance in Ankara,Turkey". *Energy Conversion and Management, No.*103, pp. 910-923.

[9] Keyhani A., Ghasemi-Varnamkhasti M., Khanali M. and R. Abbaszadeh (2010), "An Assessment of Wind Energy Potential as a Power Generation Source in the Capital of Iran, Tehran". *Energy*, No. 35, pp. 188-201.

[10] Mirhosseini M., Sharifi F. and A. Sedaghat (2011), Assessing the Wind Energy Potential Locations in Province of Semnan in Iran", *J. Renew Sustain Energy Rev*, No.15, pp. 449–59.

[11] Pramod J. (2010), *Wind Energy Engineering*. Mc Graw Hill, New York City.

[12] Wei Zhou et al. (2005), Wind Power Potential and Characteristic Analysis of the Pearl River Delta region, China: Renewable Energy, July, vol 31.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]