

بررسی پتانسیل انرژی باد در بندر امیرآباد به منظور امکان سنجی تأسیس نیروگاه بادی

سید باقرسلطانی^۱، سید اصغر غلامیان^{۲*}، کسری دستجانی فراهانی^۳

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۸۹/۵/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۸۹/۸/۲۲

چکیده:

قدم اول جهت دست یابی به انرژی باد، مکان یابی نقاطی با چگالی قدرت باد مناسب در کشور است. داده های باد که در یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ثبت می شوند، بهترین گزینه در دسترس برای مطالعه پتانسیل باد یک منطقه به شمار می روند. در این تحقیق دوره سرعت باد ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بندر امیرآباد مورد مطالعه قرار گرفت، زیرا در میان ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان مازندران از سرعت بالاتری برخوردار می باشد (بجز بلده). ضرایب k و C ویبول برای ۵۸ ماه از مارس ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۰۹ محاسبه شد و از روی آن ها چگالی قدرت باد بدست آمد. میانگین کل ضریب k و C در این ایستگاه برای ارتفاع ۵۰ متر به ترتیب برابر با $۱/۲۳$ و $۴/۰۱$ متر بر ثانیه بدست آمدند. با استفاده از این اعداد، میانگین ضرایب چگالی قدرت باد در ارتفاع ۵۰ متر برابر با $۹۷/۹۷$ وات بر متر مربع نتیجه شد که در کلاس باد جزء مناطق با پتانسیل ضعیف می باشد. بیشترین چگالی مربوط به ماه ژولای با $۱۴۲/۱۰$ وات بر مترمربع و کمترین آن متعلق به ماه اکتبر با حدود ۶۲ وات بر متر مربع می باشد.

کلمات کلیدی:

چگالی قدرت باد، سرعت باد، توزیع ویبول، ایستگاه هواشناسی سینوپتیک

(۱) اداره کل هواشناسی استان مازندران، گروه هواشناسی دریایی

(۲) دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

(۳) معاونت مهندسی، سازمان توسعه برق ایران

* نویسنده مسئول، gholamian@nit.ac.ir

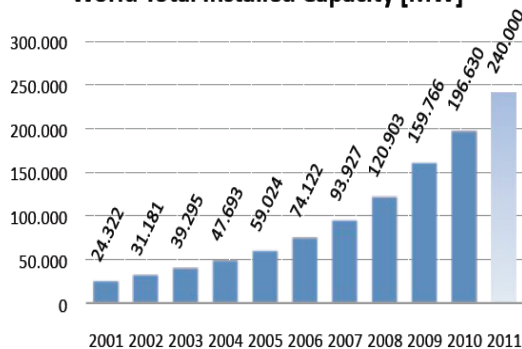
مقدمه

حجم کل ذخایر نفت ایران به ۱۵۰/۳ میلیارد بشکه و حجم کل ذخایر گازی به ۳۳/۱ تریلیون متر مکعب رسیده است. با این مقدار از ذخایر، ایران رتبه سوم از لحاظ ذخایر نفتی و رتبه دوم از نظر ذخایر گازی را داراست. با این وجود خواه نا خواه این ذخایر و سرمایه های آیندگان که چون امانتی در اختیار ماست، در آینده ای نه چندان دور به اتمام خواهد رسید (بر اساس برآوردهای انجام شده حدود ۱۵۰ سال دیگر). با توجه به وابستگی بی چون و چرای حیات بشر به انرژی، نیاز به منابع جدید انرژی مبرهن است. در این میان علاوه بر انرژی هسته ای که پیامدهای زیست محیطی خطرناکی به همراه دارند، انرژی های پاک و تجدید پذیر و بعضاً ارزان تر دیگری که میزان بسیار کمتری گازهای گلخانه ای تولید می کنند، نیز نظرها را به خود جلب کرده اند. از جمله مهمترین این انرژی ها، همانا انرژی باد می باشد. عدم آلاینده گی و کمک به حفظ محیط زیست، استفاده از انرژی رایگان باد، عدم استفاده از سوخت فسیلی برای برق، زمان کم برای نصب و راه اندازی، حفظ ذخایر نفتی برای نسل های آینده، ایجاد اشتغال و توسعه صنعتی جزو مزایای بهره گیری از انرژی باد و انرژیهای نو در کشور است.

در حد فاصل سالهای ۱۸۸۰ تا ۱۹۳۰ حدود ۶/۵ میلیون آسیاب بادی در آمریکا مشغول به کار بودند، که به دلیل اختراع ماشین بخار، موتورهای انفجاری و دیزلی و همچنین بهای اندک نفت، دوران رکود تکنولوژی مبتنی بر باد فرا رسید. پس از بحران جهانی نفت در سال ۱۹۷۳، در چارچوب برنامه استفاده از انرژیهای تجدید شونده (انرژی سبز)، بار دیگر مولدهای بادی با اقبال مواجه شدند. چنانکه طی ۱۳ سال (۱۹۸۶-۱۹۷۳) تقریباً یکصد هزار نیروگاه بادی در کشورهای صنعتی نصب شده اند که بیش از بیست هزار مورد آن به شبکه توزیع برق متصل شدند [۱].

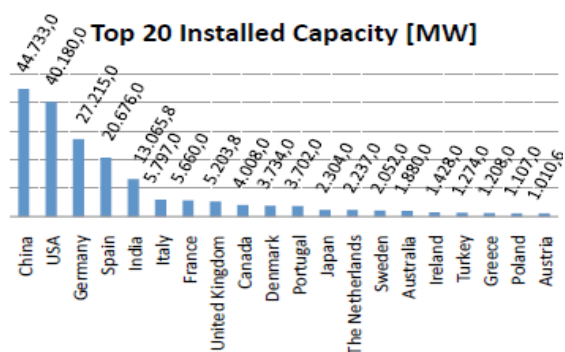
استفاده از انرژی باد در دهه اخیر نیز با استقبال بسیار فراوان و روز افزونی همراه بوده است. نمودار شکل (۱) که در گزارش انجمن جهانی انرژی باد در آوریل سال ۲۰۱۱ آمده، وضعیت ظرفیت نیروگاه های بادی در دهه اخیر را نشان می دهد [۸]. بر اساس این نمودار وضعیت استحصال انرژی الکتریکی از انرژی باد در سال ۲۰۰۱ در کل جهان حدود ۲۴ هزار مگاوات بوده که این عدد در پایان سال ۲۰۱۰ به بیش از ۱۹۶ هزار مگاوات رسیده است. یعنی بیش از ۸ برابر شده است. این انجمن همچنین پیش بینی کرده است که در سال ۲۰۱۱ این ظرفیت به ۲۴۰ هزار مگاوات هم برسد.

World Total Installed Capacity [MW]



شکل ۱: کل ظرفیت نیروگاه های بادی در سطح جهان از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱.

شکل (۲) نیز ۲۰ کشور برتر در نصب نیروگاه های بادی در پایان سال ۲۰۱۰ را نشان می دهد [۸]، که در این میان کشور چین با حدود ۴۴/۷ گیگاوات، با پشت سر گذاشتن آمریکا پیشتاز است.

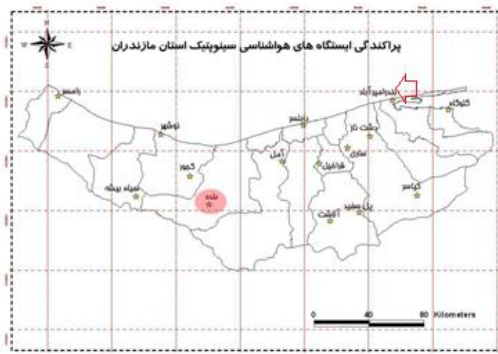


شکل ۲: ۲۰ کشور برتر در نصب نیروگاه های بادی در پایان سال ۲۰۱۰ [۸].

کاوایانی در سال ۱۳۷۴ با استفاده از آمار ۵ ساله باد (۱۹۸۵-۱۹۸۱) مربوط به ۶۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به ارزیابی انرژی باد در سطح کشور پرداخت و منحنی های هم مقدار میانگین ۵ ساله سرعت باد، منحنی های هم مقدار میانگین تعداد ساعات آرام (به درصد)، فراوانی سرعت باد معادل یا بیش از ۴ متر بر ثانیه به درصد (با توجه به بازده قابل توجه توربین ها از سرعت ۴ متر بر ثانیه به بالا)، فراوانی سرعت باد معادل یا بیش از ۴ متر بر ثانیه به درصد و در نهایت منحنی های هم مقدار میانگین سالانه توان انرژی باد (بر حسب کیلووات ساعت) را در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ برای کل کشور رسم کرد. در نتیجه تحقیق مذکور، ایستگاه زابل با توان ۱۸۹۴ کیلووات ساعت به ازای هر متر مربع از سطحی که بوسیله پروانه ها جاروب میشود، از بهترین شرایط احداث توربین های بادی برخوردار است. همچنین ایستگاههای جاسک، بندر لنگه و کیش با مقادیر ۷۵۶، ۶۱۸ و ۵۶۹ کیلو وات ساعت در مقام دوم تا چهارم قرار دارند [۲].

در مطالعات اولیه بیش از ۱۰ هزار مگاوات امکان تولید انرژی الکتریکی از باد به طور قطع مشخص شد. و پیش بینی می شود با ادامه مطالعات ظرفیت به بیش از این رقم برسد این درحالی است که با توجه به اقلیم ایران و سرعت باد و پراکندگی وزش آن می توان توربینهای بادی بسیاری را در سطح وسیع کشور نصب و راه اندازی کرد (گزارش داخلی سازمان انرژی های نو ایران). ظرفیت نصب شده نیروگاه های بادی کشور تا نیمه اول سال ۱۳۸۷ حدود ۱۲۸ مگاوات است (نسبت خبری رییس سازمان انرژی های نو ایران، ۱۳۸۷/۴/۳۰). با استفاده از این ظرفیت، سالانه ۱۸۵ میلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی در کشور تولید می شود که در مقایسه با کل تولید برق در کشور، سهم پایینی است. براساس اهداف برنامه چهارم توسعه کشور، سهم تولید برق از منابع تجدید پذیر نسبت به کل تولید انرژی الکتریکی در کشور باید تا پایان برنامه چهارم توسعه (سال ۸۸) به یک درصد افزایش می یافت که این امر مستلزم نصب نیروگاه های بیشتر و رسیدن به ظرفیت ۵۰۰ مگاوات بود، در حالی که ظرفیت برق بادی در ایران در سال ۲۰۰۹ میلادی فقط ۱۳۰ مگاوات ساعت بوده است، این مطلب خود نشان می دهد که چقدر از برنامه عقب هستیم. هم اکنون ایران یکی از کشورهای خاورمیانه است که توانایی ساخت توربین های بادی به ظرفیت ۶۶۰ کیلووات را در خود نهاده کرده است. این توربین ها توسط بخش خصوصی ساخته میشود. هیئت محترم وزیران بنا به مصوبه شماره ۱۴۲۵۵۱/ت ۴۱۱۱۳ هـ مورخ ۱۳۸۷/۸/۱۵ خرید برق از منابع انرژی های تجدیدپذیر (جایگزین تعرفه های ماده ۶۲ قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت) برابر با ۱۳۰۰ ریال بر کیلووات ساعت در ساعات اوج و میان باری و ۹۰۰ ریال بر کیلووات ساعت در ساعات کم باری را تصویب نمود.

امیرآباد یکی از ۱۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی در استان مازندران می باشد، که در موقعیت عرض جغرافیایی ۵۱° ۳۶' شمالی و طول جغرافیایی ۲۲° ۵۳' شرقی در میان رشته کوه های البرز واقع است. این ایستگاه از ابتدای ماه مارس سال ۲۰۰۵ فعالیت خود را به عنوان یک ایستگاه سینوپتیک آغاز نموده، اطلاعات جوی آن روزانه ۸ بار در ساعت های ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ به وقت UTC ثبت می شود. در این مقاله از کلیه آمار ثبت شده سمت و سرعت باد از بدو تأسیس تا پایان سال ۲۰۰۹، به مدت ۵۸ ماه، که شامل حدود ۱۳۹۲۰ رکورد سمت و سرعت باد می باشد، استفاده می کنیم. مهمترین دلیل انتخاب ایستگاه امیرآباد در میان ۱۵ ایستگاه این است که میانگین سرعت باد در این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه های استان (جز بلده) عدد نسبتاً بالایی است. میانگین سالانه سرعت باد این ایستگاه در این دوره از مارس ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ برابر ۲/۹ متر بر ثانیه می باشد.



شکل ۳: موقعیت ۱۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در استان مازندران

روش تحقیق

معرفی تابع توزیع احتمال ویبول

با توجه به ماهیت تصادفی باد با اندازه گیریهای طولانی در بازه های زمانی مختلف از تابع توزیع چگالی احتمال سرعت باد ویبول^۱ برای محاسبه انرژی باد استفاده میشود [۳ و ۶].

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$

که در آن V سرعت باد، c و k به ترتیب پارامترهای مقیاس و شکل هستند. این پارامترها را می توان با استفاده از روش Maximum likelihood از معادلات زیر محاسبه نمود:

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n V_i^k \ln(V_i) - \sum_{i=1}^n \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^k - n} \right)^{-1} \quad (۱)$$

۹

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \right)^{\frac{1}{k}} \quad (۲)$$

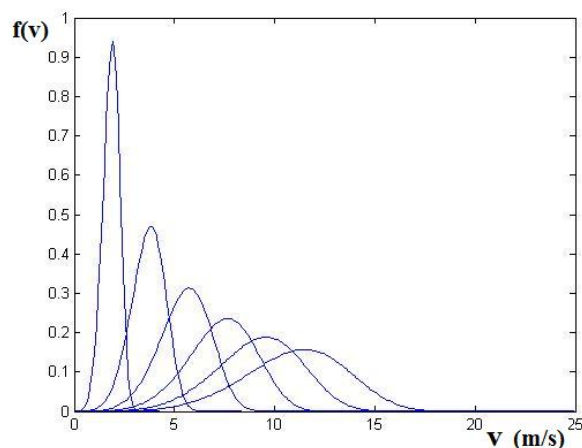
V_i سرعت باد در بازه زمانی i و n تعداد سرعت غیر صفر باد می باشند.

تغییرات تابع توزیع احتمال ویبول بر حسب k و x :

الف) k ثابت ($k=5$) و c متغیر:

شکل (۴) تغییرات تابع توزیع احتمال ویبول بر حسب مقادیر مختلف C به ازای مقدار ثابت k ($k=5$) را نشان می دهد:

^۱. Weibull Probability Density Function

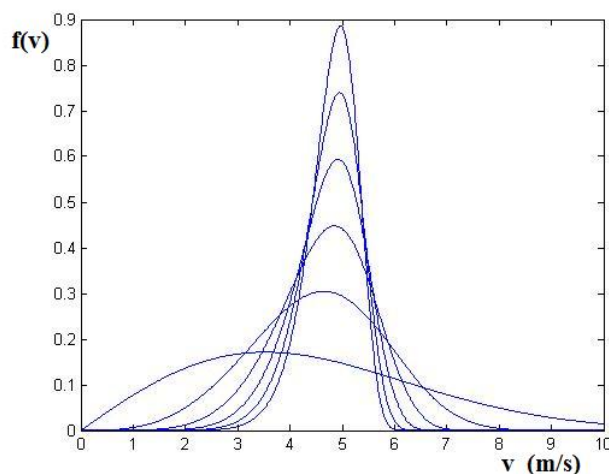


شکل ۴: تغییرات تابع توزیع احتمال ویبول بر حسب مقادیر مختلف c ($c=2,4,6,8,10,12$ m/s) به ازای مقدار ثابت k ($k=5$)

همانگونه که مشاهده می شود با افزایش مقدار c قله منحنی به سمت مقادیر بیشتر سرعت باد متمایل می شود؛ درحالی که مقدار احتمال قله منحنی کاهش می یابد.

ب) c ثابت ($c=5$) و k متغیر

شکل (۵) تغییرات تابع توزیع احتمال ویبول بر حسب مقادیر مختلف k ($k=2,4,6,8,10,12$) به ازای مقدار ثابت c ($c=5$ m/s) را نشان می دهد.



شکل ۵: تغییرات تابع توزیع احتمال ویبول بر حسب مقادیر مختلف k ($k=2,4,6,8,10,12$) به ازای مقدار ثابت c ($c=5$ m/s)

همانگونه که مشاهده می شود با افزایش مقدار k ، علاوه بر اینکه قله منحنی به سمت مقادیر بیشتر سرعت باد متمایل می شود، مقدار احتمال قله منحنی نیز افزایش می یابد. البته باید توجه داشت که سرعت باد ۵ متر بر ثانیه به عنوان یک

مجانِب برای قله منحنی به ازای مقادیر مختلف k و مقدار ثابت ظاهر می شود. به عبارت دیگر با افزایش بیشتر k قله بیشینه تابع توزیع هیچگاه از حوالی سرعت باد ۴ متر بر ثانیه بیشتر نخواهد شد.

محاسبه پتانسیل انرژی باد

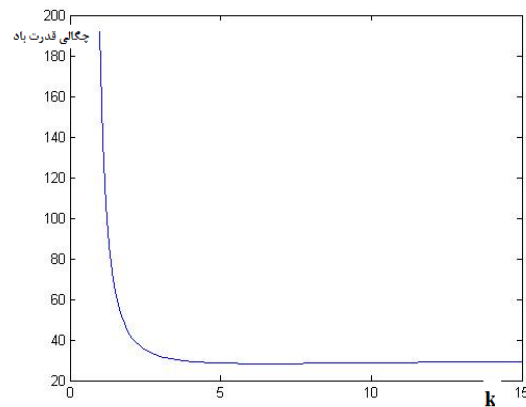
انرژی بادی که از مساحت A که پره توربین می چرخد میگذرد با توان سوم سرعت باد نسبت مستقیم دارد و عبارت است از:

$$P(V) = \frac{1}{3} \rho A V^3 \quad (1)$$

ρ چگالی هوای منطقه است (1.220 Kg/m^3). چگالی توان باد^۲ یک سایت (Wind Power Density) بر اساس توزیع ویبول به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\frac{P}{A} = \int_0^{\infty} P(V) f(V) dV = \frac{1}{3} \rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) \quad (2)$$

همانگونه که از رابطه (۳) به روشنی بر می آید، با افزایش c (در صورت ثابت ماندن k) مقدار چگالی انرژی باد افزایش می یابد. چرا که افزایش c بیانگر میل قله منحنی ویبول به سمت سرعت های بالاتر است. اما با افزایش k (در صورت ثابت ماندن c) چگالی انرژی باد به سمت مقادیر کمتر متمایل می شود (شکل (۶)).



شکل ۶: منحنی تغییرات چگالی قدرت باد با k ، به ازای مقدار $c=4 \text{ m/s}$

^۲. Wind power density

انرژی تولیدی توربین در بازه زمانی T عبارت است از:

$$E_{TW} = T \int_{V_1}^{V_R} P(V) f(V) dV + T \int_{V_R}^{V_0} P_R f(V) dV \quad (1)$$

P_R توان نامی ثابت در سرعت نامی V_R است. در معادله بالا $P(V)$ را از معادله (۴) و $f(V)$ را از معادله (۱) جایگزین می کنیم:

$$E_{TW} = \frac{\rho}{2} TA \left(\int_{V_R}^{V_0} V^3 \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c} \right)^k} dV + V_R^3 \int_{V_R}^{V_0} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c} \right)^k} dV \right) \quad (2)$$

معمول است که برای تعیین وضعیت مطلوبیت پتانسیل باد، چگالی قدرت باد در ارتفاع ۵۰ متری را به دست می آورند. از آن جایی که داده های باد در یک ایستگاه هواشناسی مربوط به ارتفاع ۱۰ متر می باشد، باید آن را به ارتفاع ۵۰ متر تبدیل نماییم. برای این کار از روش قانون توان^۳ LS استفاده می کنیم [۵].

$$V(z) = V_R \left(\frac{z}{z_R} \right)^\alpha \quad (3)$$

که در آن $V(z)$ سرعت باد در ارتفاع $z=10$ و V_R سرعت باد در ارتفاع z_R می باشند. با توجه به مطالب فوق و جدول (۱)، چگالی توان باد در ارتفاع ۵۰ متر و کلاس پتانسیل باد محاسبه می گردد.

جدول ۱: کلاس بندی توان باد [۷].

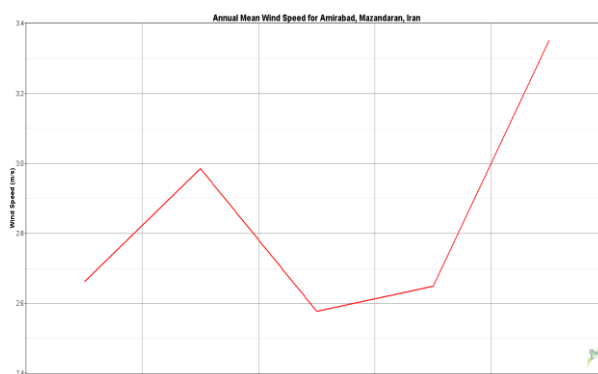
وضعیت	چگالی توان باد ۵۰ متری (W/m^2)	کلاس توان باد
ضعیف	۰-۲۰۰	۱
متوسط	۲۰۰-۳۰۰	۲
نسبتاً خوب	۳۰۰-۴۰۰	۳
خوب	۴۰۰-۵۰۰	۴
خیلی خوب	۵۰۰-۶۰۰	۵
عالی	۶۰۰-۸۰۰	۶
بسیار عالی	۸۰۰-۲۰۰۰	۷

بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه بندر امیرآباد مازندران

ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی بندر امیرآباد در ارتفاع ۱۵- متری از سطح دریای آزاد در حاشیه جنوبی دریای مازندران واقع است. میانگین سرعت باد در این ایستگاه برابر ۲/۹ متر بر ثانیه می باشد. در این تحقیق سری داده های سمت و

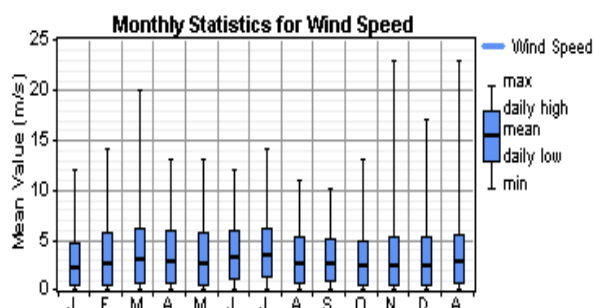
³ . Least Square Power Law

سرعت باد در این ایستگاه را از طریق نرم افزار Windographer مورد تحلیل قرار دادیم. شکل (۷) مقادیر میانگین سرعت باد ۱۰ متری در سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ را نشان می دهد.



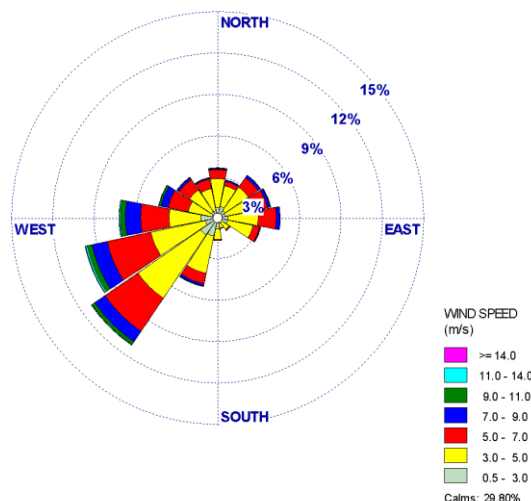
شکل ۷: نمودار تغییرات میانگین سالانه سرعت باد ۱۰ متر در ایستگاه امیرآباد در دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

در شکل (۸) یک نمودار جعبه ای شامل اطلاعاتی در مورد مقادیر میانگین، میانگین حداقل های روزانه، میانگین حداکثرهای روزانه و حداکثرهای مطلق ماهانه آمده است.



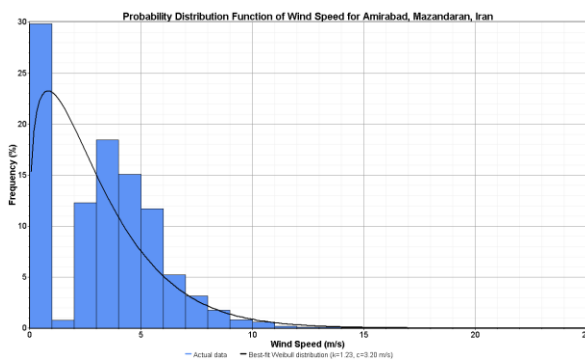
شکل ۸: نمودار جعبه ای تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد ۱۰ متری و پارامترهای دیگر در ایستگاه امیرآباد طی دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، میانگین سرعت باد در ماه های گرم سال یعنی ژوئن، ژولای از ماه های دیگر بیشتر است. در حالی که ماکزیمم مطلق سرعت باد در ماه های مارس و نوامبر بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. در شکل (۹) گلباد مربوط به این ایستگاه آمده است. با توجه به این شکل فراوانی وقوع باد در جهت جنوب غرب، بیشتر می باشد.



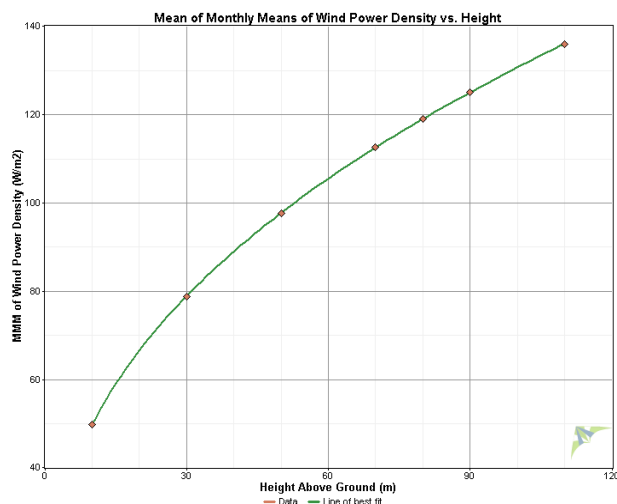
شکل ۹: گلباد ایستگاه هواشناسی امیرآباد طی دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

نمودار شکل (۱۰) منحنی برازش توزیع احتمال ویبول را بر روی داده های ۱۰ متری سرعت باد نشان می دهد. ضرایب k و c با استفاده از روش Maximum Likelihood به ترتیب برابر $۱/۲۳$ و $۳/۲۰$ متر بر ثانیه بدست آمده اند.



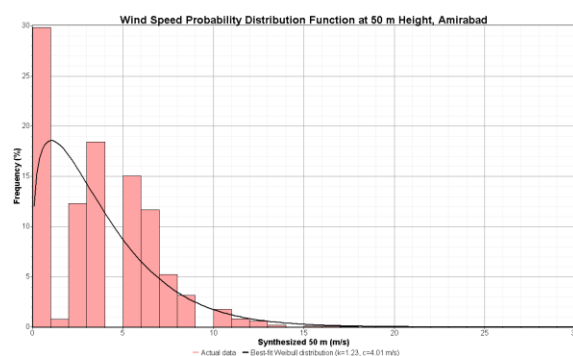
شکل ۱۰: توزیع احتمال سرعت باد ۱۰ متر و منحنی برازش توزیع ویبول و ضرایب k و c ویبول (محاسبه شده به روش Maximum Likelihood)، در ایستگاه هواشناسی امیرآباد طی دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

برای اینکه بتوانیم میانگین سالانه و ماهانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری (W/m^2) را محاسبه کنیم نیازمند دانستن ضرایب k و c ویبول سری باد در این ارتفاع می باشیم. با توجه به رابطه (۷) و انتخاب ضریب ثابت $۰/۱۴$ ، باد ۱۰ متری را تبدیل به باد ۵۰ متری می نماییم. شکل (۱۱) میانگین ماهانه میانگین چگالی قدرت باد بر حسب ارتفاع را که با استفاده از قانون توان و ضریب ثابت $۰/۱۴$ بدست آمده است را نشان می دهد. در شکل (۱۲) نیز منحنی برازش توزیع احتمال ویبول را بر روی داده های ۵۰ متری سرعت باد آورده ایم.



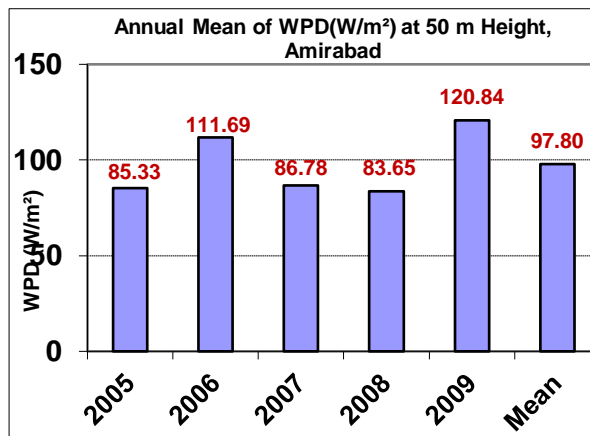
شکل ۱۱: میانگین ماهانه میانگین چگالی قدرت باد بر حسب ارتفاع، محاسبه شده از قانون توان با ضریب ثابت ۰/۱۴، مربوط به ایستگاه هواشناسی بندر امیرآباد طی دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

ضرایب k و c با استفاده از روش Maximum Likelihood به ترتیب برابر ۱/۲۳ و ۴/۰۱ متر بر ثانیه بدست آمده اند. بر اساس محاسبات انجام شده میانگین سالانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری برابر با ۹۷/۸۰ وات بر متر مربع بدست آمد، که با توجه به جدول (۱) جزء کلاس پتانسیل ضعیف می باشد.



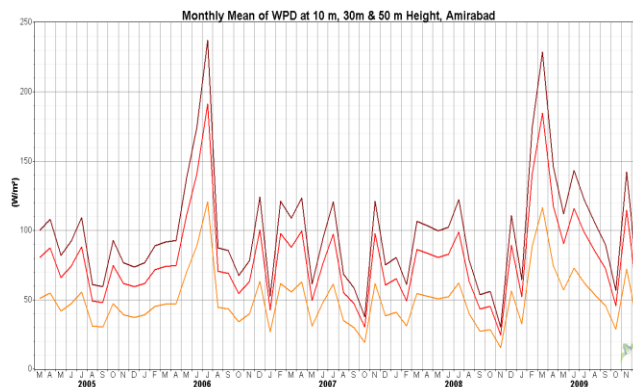
شکل ۱۲: توزیع احتمال سرعت باد ۵۰ متر و منحنی برازش توزیع ویبول و ضرایب k و c ویبول (محاسبه شده به روش Maximum Likelihood)، در ایستگاه هواشناسی امیرآباد طی دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

شکل (۱۳) میانگین سالانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری را نشان می دهند. این مقدار در همه سال ها از مقدار ۲۰۰ وات بر متر مربع کمتر است. بیشترین مقدار مربوط به سال ۲۰۰۹ می باشد.



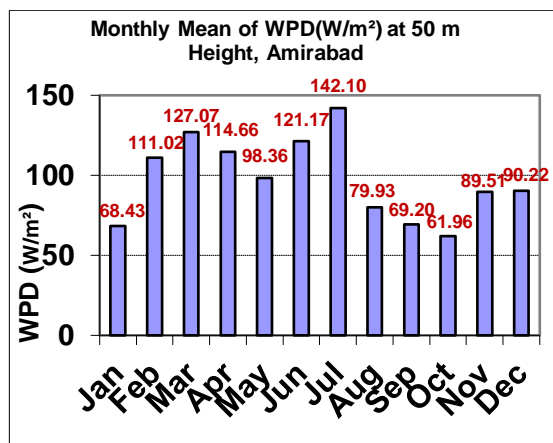
شکل ۱۳: میانگین سالانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری (W/m²) بدست آمده از ضرایب k و c و بیبول (محاسبه شده به روش Maximum Likelihood)، در ایستگاه هواشناسی امیرآباد طی دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

در شکل (۱۴) نیز چگالی انرژی باد ۱۰، ۳۰ و ۵۰ متری (W/m²) در ماه های مختلف از مارس ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۰۹ را آورده ایم. خط نارنجی مربوط به باد ۱۰ متری، خط قرمز مربوط به باد ۳۰ متری و خط قهوه ای مربوط به باد ۵۰ متری می باشند.



شکل ۱۴: چگالی انرژی باد ۱۰، ۳۰ و ۵۰ متری (W/m²) در ماه های مختلف، بدست آمده از ضرایب k و c و بیبول (محاسبه شده به روش Maximum Likelihood)، در ایستگاه هواشناسی بندر امیرآباد طی دوره پنجاه و هشت ماهه مارس ۲۰۰۵ تا پایان ۲۰۰۹

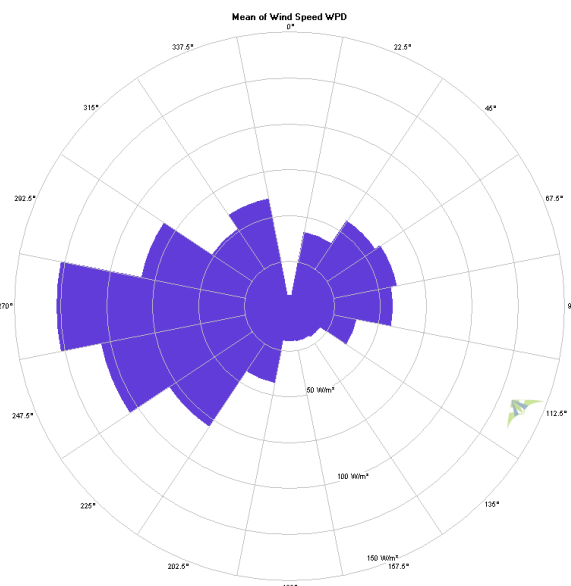
وضعیت میانگین ماهانه چگالی قدرت باد ۵۰ متری را در شکل (۱۵) آورده ایم.



شکل ۱۵: میانگین ماهانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری (W/m^2) بدست آمده از ضرایب k و c ویبول (محاسبه شده به روش Maximum Likelihood)، در ایستگاه هواشناسی بندر امیرآباد، طی دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹.

همانگونه که در شکل (۱۵) ملاحظه می شود، میانگین چگالی قدرت باد ۵۰ متری در همه ماه های سال از مقدار ۲۰۰ وات بر متر مربع کمتر است که این امر از وضعیت **پتانسیل ضعیف** در این ایستگاه حکایت می کند.

در شکل (۱۶) نیز میانگین چگالی انرژی باد ۱۰ متری در جهات مختلف را ملاحظه می نمایید. با توجه به روابط ذکر شده، این نسبت ها در ارتفاع ۵۰ متری نیز برقرار خواهد بود.



شکل ۱۶: میانگین ماهانه چگالی انرژی باد ۱۰ متری (W/m^2) بدست آمده از ضرایب k و c ویبول (محاسبه شده به روش Maximum Likelihood)، در ایستگاه هواشناسی بندر امیرآباد، طی دوره پنج ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

از مقایسه شکل های (۷) و (۱۴) به وضوح پیداست که علی رغم این که فراوانی وقوع باد در جهت جنوب غربی بیشتر است، اما چگالی قدرت باد در جهت غرب بیشتر از سایر جهت ها است. این موضوع نشان می دهد که بادهای شدید بیشتر از جهت غرب می وزند.

نتیجه گیری

میانگین سرعت باد ۱۰ متری در ایستگاه بندر امیرآباد استان مازندران برابر ۲/۹ متر بر ثانیه می باشد. بندر امیرآباد در میان ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان مازندران از سرعت بالاتری برخوردار می باشد (بجز بلده). از روی گلباد رسم شده مشاهده می شود که، فراوانی وقوع باد در جهت های جنوب غرب، بیشتر می باشد. با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول برای سری باد ۱۰ متری این ایستگاه، ضرایب k و C ویبول برای ۵۸ ماه از مارس ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۰۹ محاسبه شد و از روی آن ها چگالی قدرت باد بدست آمد. میانگین کل ضریب k و C در این ایستگاه برای ارتفاع ۵۰ متر به ترتیب برابر با ۱/۲۳ و ۴/۰۱ متر بر ثانیه بدست آمدند. با استفاده از این اعداد، میانگین ضرایب چگالی قدرت باد در ارتفاع ۵۰ متر برابر با ۹۷/۹۷ وات بر متر مربع نتیجه شد که در کلاس باد جزء مناطق با پتانسیل ضعیف می باشد. بیشترین چگالی مربوط به ماه ژولای با ۱۴۲/۱۰ وات بر مترمربع و کمترین آن متعلق به ماه اکتبر با حدود ۶۲ وات بر متر مربع می باشد. شدیدترین باد ثبت شده در این ایستگاه ۲۳ متر بر ثانیه بوده که مربوط به ساعت UTC ۲۱:۰۰ تاریخ ۲۱ دسامبر سال ۲۰۰۹ می باشد. البته بادی با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه نیز در ساعت UTC ۰۳:۰۰ تاریخ ۱۰ مارس ۲۰۰۹ نیز در این ایستگاه ثبت شده است. این اعداد در طراحی پروانه های توربین بسیار مفید است. میانگین سالانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری نیز در سال ۲۰۰۹ بیشتر از سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ بوده است (120 W/m^2). علی رغم این که فراوانی وقوع باد در جهت جنوب غربی بیشتر است، اما چگالی قدرت باد در جهت غرب بیشتر از سایر جهت ها است. این موضوع نشان می دهد که بادهای شدید بیشتر در جهت غرب می وزند، اگرچه فراوانی وقوع باد در این جهت بیشتر از سایر جهت ها نیست.

منابع

- [۱] دولتشاهی، ایرج. اردیبهشت ۱۳۷۳، نیروگاه های بادی منبع بی پایان انرژی آینده، دانشمند، سال ۳۲، شماره ۳۶-۳۷، (ترجمه).
- [۲] کاویانی، محمدرضا. بهار ۱۳۷۴، توربین های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۶.
- [3] Akdag, S. A., Dinlar, A., A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications, *Energy Conversion and Management*, 2009; 50; 1761-1766.
- [4] Ullah, I., Chaudhry, Q. Z. and Chipperfield, A. J., An evaluation of wind energy potential at Kati Bandar, Pakistan, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010; 14; 856-861.
- [5] Archer, C. L., and M. Z. Jacobson, Spatial and temporal distribution of U.S. winds and wind power at 80 m derived from measurements, *J. Geophys. Res.*, 2003; 108(D9), 4289, doi: 10.1029/2002JD002076.
- [6] Akpinar, S., Akpinar, E. K., Estimation of wind energy potential using finite mixture distribution models, *Energy Conversion and Management*, 2009; 50; 877-884.
- [7] National Renewable Energy Laboratory (NREL), "Classes of wind power density at 10 m and 50 m", (2002). <http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/1-1T.html> 10/1/2002.

[8] World Wind Energy Association (WWEA), "World wind energy report 2010", (April 2011)