دومین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق
۱۵و۱۶ آبان ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان)
NCNIEE
NATIONAL CONFERENCE NEW IDEA IN ELECTRICAL ENGINEERING

بررسی پتانسیل انرژی باد در شهرستان نجف آباد به منظور امکان سنجی تأسیس نیروگاه بادی

احمدرضا جمشیدی[۱]، ابراهیم برزآبادی[۲] و مجید دلشاد[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- کنترل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد ، Ahmadreza.Jamshidi@yahoo.com
[۲] دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد ، Eborzu@yahoo.com
[۳] استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان ، Delshad@khuisf.ac.ir

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، داده های ۲ سال سازمان هواشناسی شهرستان نجف آباد جهت پیدا کردن پتانسیل انرژی باد در این شهرستان، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، مشخصه های دیگر باد با کمک تابع توزیع ویبول ارزیابی گردید. داده های بدست آمده توسط نرم افزار Windographer تجزیه و تحلیل شده است. بر اساس این داده ها، مشخص شد که مقدارهای عددی پارامتر شکل ویبول (K) و پارامتر مقیاس ویبول (C) در این ایستگاه برای ارتفاع ۵۰ متر به ترتیب برابر ۱/۳۹ و ۴/۵۲ متربرثانیه است. نتایج داده ها نشان می دهد که بالاترین و پایین ترین میانگین سرعت باد به ترتیب در ماه آوریل و دسامبر هستند. همچنین نتیجه گیری شد که پتانسیل انرژی باد در شهرستان نجف آباد، ضعیف است و سایت مورد مطالعه برای تولید انرژی الکتریکی از باد مناسب نیست. در ارزیابی جهت باد، مشخص شد که محتمل ترین جهت باد برای این ایستگاه باد شمالی می باشد .

کلید واژه: انرژی باد، برق، توربین بادی، شهرستان نجف آباد

۱. مقدمه

نیاز گسترده انسان به منابع انرژی همواره از مسائل اساسی در زندگی بشر بوده و تلاش برای دستیابی به یک منبع تمام نشدنی انرژی از آرزوهای دیرینه انسان محسوب می شود. انسان همواره در تصورات خود نیروی تمام نشدنی را جستجو می کرد که در هر زمان و مکان در دسترس او باشد . با پیشرفت تمدن بشری، گیاهان به ویژه درختان(چوب) و پس ازآن زغال سنگ، نفت و گاز وارد بازار انرژی شد، اما به دلایلی چون: نیاز روز افزون به انرژی، محدودیت منابع فسیلی و آلودگی های زیست محیطی ناشی از سوزاندن و متصاعد شدن گازهای سمی حاصل ازآن (که موجب مشکلات تنفسی، افزایش دمای هوا و تغییرات گسترده آب و هوایی می گردد) صاحبنظران و کارشناسان بر آن شدند که با استفاده از انرژی های پاک نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، هیدروژنی و... به جای انرژی های محدود فسیلی، از خطرات و چالش های ایجاد شده ممانعت کنند. این امر سبب شده است که کشورهای توسعه یافته با جدیت هرچه تمام تر استفاده از سایر انرژی های موجود در طبیعت، به خصوص انرژی های تجدیدپذیر را مورد توجه قرار دهند [۱] .

پس از بحران نفتی جهان در دهه ۷۰ میلادی، کشورهای‌صنعتی به این نتیجه رسیدند که اتکا بیش از حد بر یک منبع‌خاص انرژی یعنی نفت اشتباه بزرگی است. بنابراین آنها تصمیم به ایجاد تنوع در منابع انرژی خود و استفاده از دیگرمنابع، نظیرانرژی اتمی و انرژی های تجدیدپذیر گرفتند. درابتدا استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر چندان به صرفه اقتصادی‌نبود، اما به مرور زمان و با رشد تکنولوژی صنعتی و نیز درنظر گرفتن مزایای جانبی کاربرد این نوع انرژی نظیر کاهش‌آلودگی محیط زیست و خسارات ناشی از آن، استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر به اقتصادی شدن نزدیکتر گردید، که دراین میان انرژی برق بادی در میان انرژیهای نو پیشتاز است. علاقه به استفاده از انرژی های تجدیدپذیر بخصوص انرژی باد در اروپا به نحوی بوده است

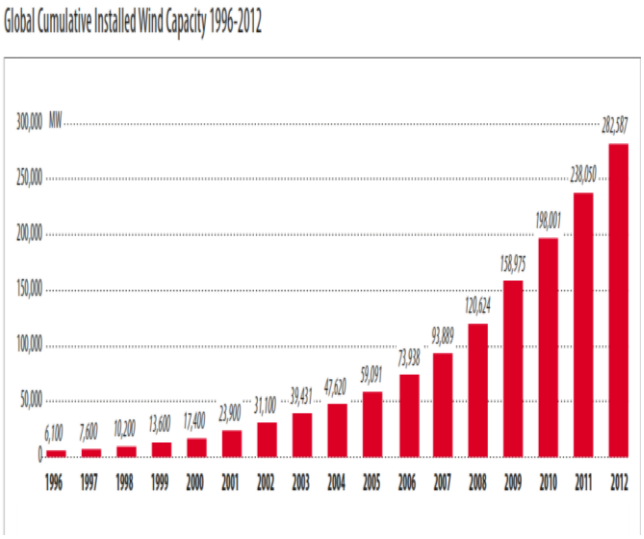
که باعث شده اروپا زودتر به اهداف مدنظر خود در تولید برق بادی دست یابد[۲].

جمهوری اسلامی ایران نیز از سال ۱۳۷۱ با نصب دو واحد توربین بادی به ظرفیت ۵۰۰ کیلووات در منطقه منجیل و رودبار شروع به تولید برق از انرژی تجدیدپذیر باد نمود. در ادامه با توجه به مشخص شدن منافع انرژی برق بادی در ایران، در برنامه پنج ساله چهارم توسعه کشور مقرر گردید ۵۰۰ مگاوات از برق مصرفی کشور از انرژی های تجدیدپذیر تولید گردد.

در حال حاضر، تمایل زیادی در بخش خصوصی ایران برای احداث و بهره برداری نیروگاههای برق تجدیدپذیر، مخصوصاً برق بادی ایجاد شده است، اما تصمیم نهایی به احداث نیروگاه بادی در یک منطقه منوط به اطمینان از برآورد انرژی برق بادی قابل حصول می باشد.

در نیروگاههای بادی برخلاف دیگر نیروگاهها، مقدار منبع اولیه انرژی یعنی سرعت جریان باد متغیر است. از طرفی تخمین و برآورد انرژی برق قابل حصول از جریان باد یک منطقه و در نتیجه صرف هزینه و سرمایه سنگین برای احداث نیروگاه برق بادی از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این راستا پتانسیل سنجی نیروی باد اولین اقدام برای احداث نیروگاه برق بادی در یک منطقه برای تولید برق می باشد.

استفاده از انرژی باد در سال های اخیر نیز با استقبال فراوان و روز افزونی همراه بوده است. نمودار شکل(۱) که در گزارش انجمن جهانی انرژی باد در فوریه سال ۲۰۱۳ آمده، وضعیت ظرفیت نیروگاه های بادی نصب شده از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲ را نشان میدهد. براساس این نمودار وضعیت استحصال انرژی الکتریکی از انرژی باد در سال ۱۹۹۶ در کل جهان حدود ۶۱۰۰ مگاوات بوده که این عدد در پایان سال ۲۰۱۲ به بیش از ۲۸۲۵۸۷ مگاوات رسیده است، یعنی بیش از ۴۶ برابر شده است[۳].



شکل ۱: کل ظرفیت نیروگاههای بادی در سطح جهان از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲

باد به عنوان منبع انرژی پاک و رایگان محسوب می‌گردد، اما از آنجائیکه چگالی هوا کم است، حجم عظیمی‌از هوا جهت تولید انرژی خروجی مورد نیاز احتیاج می‌باشد. لذا شناخت دقیق پارامترهای باد در یک منطقه خاص جغرافیایی (جهت استفاده از انرژی آن در تولید برق) از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. باید توجه داشت که توربین بادی کالای گرانقیمتی است و برای استفاده اقتصادی از این کالا جهت تولید برق و ایجاد مزرعه بادی، پتانسیل‌سنجی اولین و اساسی‌ترین قدم محسوب می‌گردد. برای تخمین پتانسیل انرژی باد در یک سایت بایستی اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد در دسترس باشد.

نجف‌آباد یکی از شهرستان های استان اصفهان است که با پهنه‌ای درحدود ۲۸۵۰ کیلومتر مربع چهارمین شهرستان پرجمعیت استان اصفهان می باشد. نجف آباد در ۲۷ کیلو متری غرب اصفهان در دشت وسیعی با شیب نسبتاً ملایم که از غرب به شرق کاهش می‌یابد و اطراف آن را کوه هایی با ارتفاع متوسط احاطه کرده‌است، قرار دارد. منطقه نجف آباد در اقلیم بندی نیمه بیابانی شدید قرار گرفته که هر چه بطرف غرب پیش برویم به اقلیم نیمه بیابانی ضعیف تغییر می‌یابد. از نظر طول و عرض جغرافیایی در۵۱ درجه و ۲۱دقیقه طول شرقی و ۳۸ دقیقه و ۳۲ درجه عرض از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا در حدود ۱۶۵۵ متر می‌باشد .

شکل ۲: موقعیت شهرستان نجف آباد

۲. روش تحقیق

۲-۱. معرفی تابع توزیع احتمال ویبول

با توجه به ماهیت تصادفی باد با اندازه گیری های طولانی در بازه های زمانی مختلف از تابع توزیع چگالی احتمال سرعت باد ویبول برای محاسبه انرژی باد استفاده می شود.

تابع توزیع ویبول بصورت زیر تعریف می‌گردد: [۴] ، [۵]

$$f_{(V)} = \frac{K}{C}\left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^{K}} \quad (K>0, V>0, C>1) \qquad (۱)$$

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

$$K = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i^K \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^{n} V_i^K} - \frac{\sum_{i=1}^{n} \ln(V_i)}{n}\right]^{-1} \qquad (۲)$$

$$C = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} V_i^K\right)^{\frac{1}{K}} \qquad (۳)$$

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

۲-۲. محاسبه پتانسیل انرژی باد

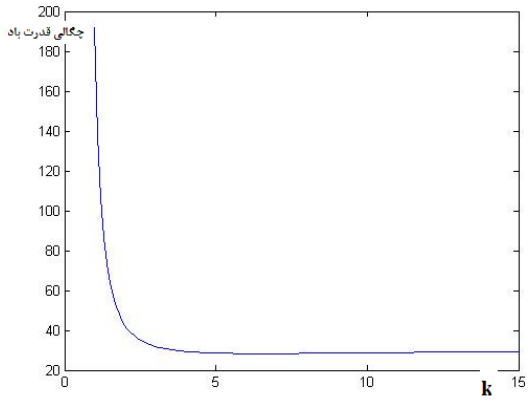
انرژی باد که از مساحت A که پره توربین می چرخد میگذرد با توان سوم سرعت باد نسبت مستقیم دارد و عبارت است از : [۶]، [۷]

$$P(V) = \frac{1}{2}\rho A V^3 \qquad (۴)$$

ρ چگالی هوای منطقه است ($1.225 kg/m^3$). چگالی توان باد یک سایت بر اساس توزیع ویبول به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\frac{P}{A} = \int_0^{\infty} P_{(V)} f_{(V)} d\,v = \tfrac{1}{2}\,\rho\, C^3 \Gamma\left[\frac{K+3}{K}\right] \qquad (۵)$$

در معادله فوق Γ تابع ریاضی گاما می باشد. همانگونه که از رابطه (۵) 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 سرعت به سمت مقادیر کمتر متمایل می شود.(شکل۳)



شکل ۳: منحنی تغییرات چگالی قدرت باد با K، به ازای مقدار C=4m/s

انرژی تولیدی توربین در بازه زمانی T عبارت است از:

$$E_{TW} = T\int_{V_1}^{V_R} P_{(V)} f_{(V)} d\,v + T\int_{V_R}^{V_0} P_R f_{(V)} d\,v \qquad (۶)$$

P_R توان نامی ثابت در سرعت نامی V_R است. در معادله بالا $P_{(V)}$ و $f_{(V)}$ را جایگزین می کنیم:

$$E_{TW} = \frac{\rho}{2} TA\left[\int_{V_R}^{V_0} V^3 \frac{K}{C}\left[\frac{V}{C}\right]^{K-1} e^{-\left[\frac{V}{C}\right]^{K}} dv + V_R^3 \int_{V_R}^{V_0} \frac{K}{C}\left[\frac{V}{C}\right]^{K-1} e^{-\left[\frac{V}{C}\right]^{K}} dv\right] \qquad (۷)$$

معمول است که برای تعیین وضعیت مطلوبیت پتانسیل باد، چگالی 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 استفاده می کنیم.

$$V_{(Z)} = V_R\left[\frac{Z}{Z_R}\right]^{\propto} \qquad (۸)$$

که درآن $\propto$=۰/۱۴ و $V_{(Z)}$ سرعت باد در ارتفاع z و V_R سرعت باد در ارتفاع Z_R می باشند.

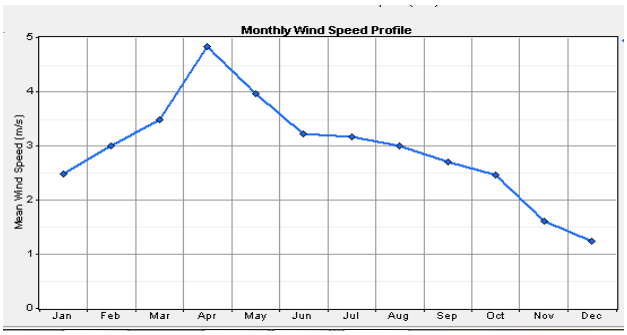
با توجه به مطالب فوق، چگالی توان باد در ارتفاع ۵۰ متر و کلاس پتانسیل باد با توجه به جدول (۱) محاسبه می گردد[۸].

جدول(۱): کلاس بندی توان باد

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

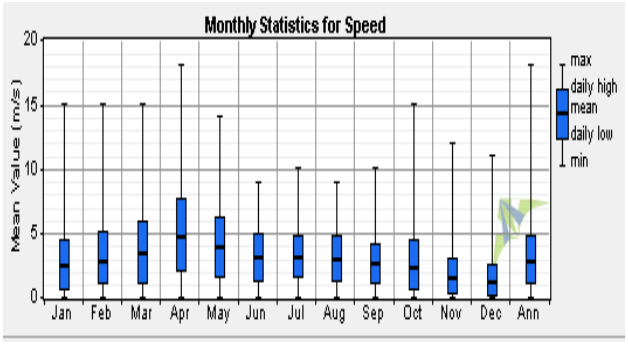
۳. بررسی پتانسیل انرژی باد درشهرستان نجف آباد

شهرستان نجف آباد در ارتفاع ۱۶۵۵ متری از سطح دریای آزاد واقع است. میانگین سرعت باد در این شهرستان برابر ۲/۹۱ متر برثانیه می باشد. در این تحقیق سری داده های سمت و سرعت باد در این ایستگاه از طریق نرم افزار Windographer مورد تحلیل قرار دادیم . شکل (۴) مقادیر میانگین سالانه سرعت باد ۱۰متری در سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ را نشان می دهد.



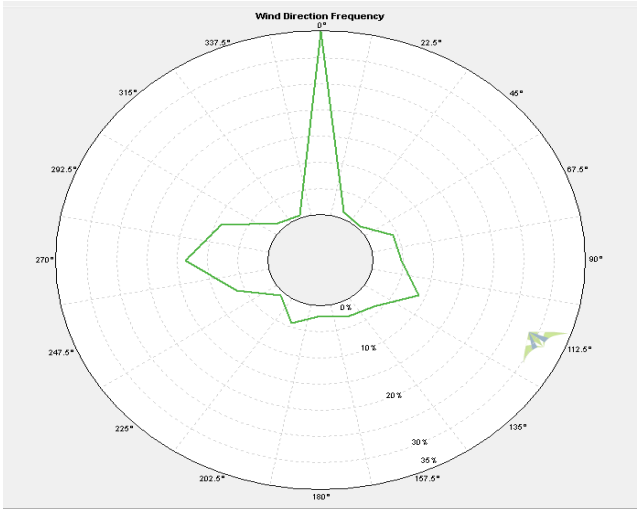
شکل ۴: نمودار تغییرات میانگین سالانه سرعت باد۱۰ متر در شهرستان نجف آباد در دوره دو ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳

در شکل (۵) یک نمودار جعبه ای شامل اطلاعاتی در مورد مقادیر میانگین، میانگین حداقل های روزانه، میانگین حداکثرهای روزانه و حداکثر مطلق ماهانه آمده است.



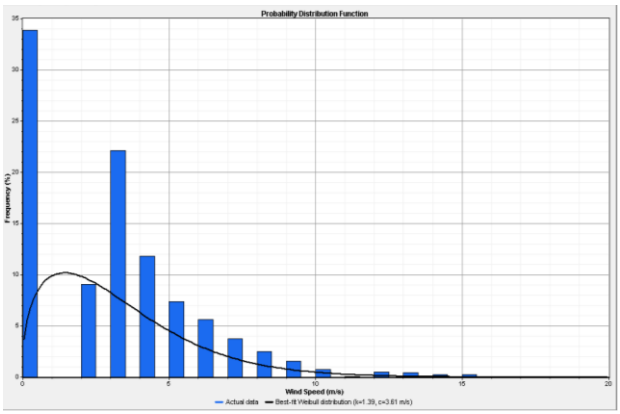
شکل ۵: نمودار جعبه ای تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد ۱۰ متری و پارامترهای دیگر در شهرستان نجف آباد در دوره دو ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می شود، میانگین سرعت باد در ماه آوریل، از ماه های دیگر بیشتر است و همچنین ماکزیمم مطلق سرعت باد در ماه آوریل بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. در شکل (۶) گلباد مربوط به این ایستگاه آمده است، باتوجه به این شکل فراوانی وقوع باد در جهت شمال، بیشتر می باشد.



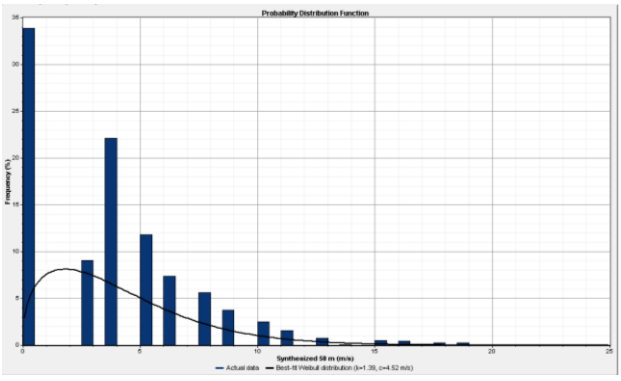
شکل ۶: گلباد ایستگاه هواشناسی نجف آباد طی دوره ۲ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳

نمودار شکل (۷) منحنی برازش توزیع احتمال ویبول را برروی داده های ۱۰متری سرعت باد نشان میدهد و ضرایب K و Cg با استفاده از روش Maximum Likelyhood به ترتیب برابر ۱/۳۹و ۳/۶۱ متر بر ثانیه بدست آمده اند.



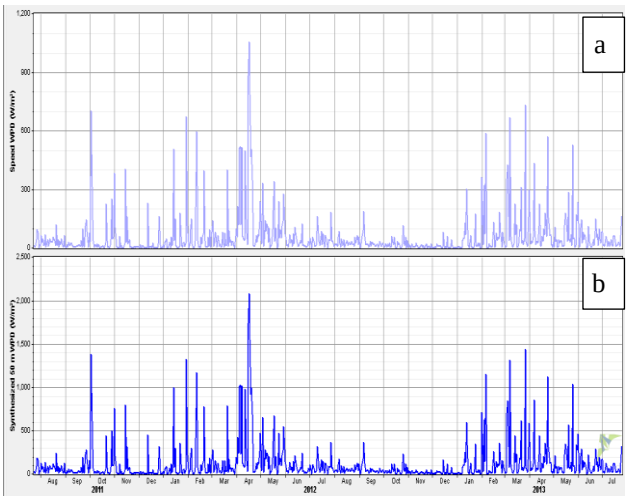
شکل ۷: توزیع احتمال سرعت باد ۱۰ متر و منحنی برازش توزیع ویبول و ضرایب K و C ویبول (محاسبه شده به روش maximum likelihood)، در ایستگاه هواشناسی نجف آباد طی دوره ۲ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳

برای اینکه بتوانیم میانگین سالانه و ماهانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری (w/m^2) را محاسبه کنیم نیازمند دانستن ضرایب K وC ویبول سری باد در این ارتفاع می باشیم. نرم افزار باتوجه به رابطه (۸) و انتخاب ضریب ثابت ۰/۱۴ ، باد ۱۰متری را تبدیل به باد ۵۰ متری می نماید. در شکل (۸) نیز منحنی برازش توزیع احتمال ویبول را برروی داده های ۵۰ متری سرعت باد بدست آورده ایم. ضرایب K وC با استفاده از روش maximum likeyhood به ترتیب برابر ۱/۳۹و ۴/۵۲ متر بر ثانیه بدست آمده اند. براساس محاسبات انجام شده میانگین سالانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری برابر با ۱۱۷ وات بر متر مربع بدست آمد، که با توجه به جدول ۱ جز کلاس پتانسیل ضعیف می باشد.



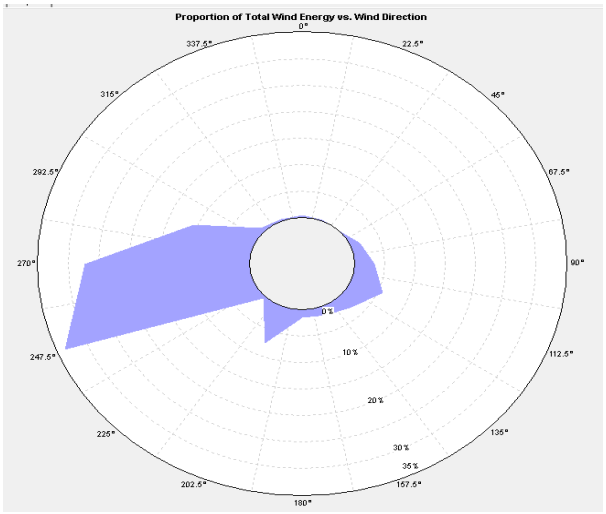
شکل ۸: توزیع احتمال سرعت باد ۵۰ متر و منحنی برازش توزیع ویبول و ضرایب K و C ویبول (محاسبه شده به روش maximum likelyhood)، در ایستگاه هواشناسی نجف آباد طی دوره ۲ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳

در شکل (۹) چگالی انرژی باد۱۰ متری و چگالی انرژی باد۵۰ متری(w/m^2) در روزهای مختلف، از ژوئیه۲۰۱۱ تا ژوئیه ۲۰۱۳ را آورده ایم.



شکل۹ : چگالی انرژی باد a) ۱۰ متری b) ۵۰ متری (w/m^2) در روز های مختلف ،. بدست آمده از ضرایب K و C ویبول (محاسبه شده به روش (maximuim likelyhood)، در ایستگاه هواشناسی نجف آباد طی دوره ۲۴ ماهه ژوئیه ۲۰۱۱ تا ژوئیه ۲۰۱۳

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



شکل ۱۰: میانگین چگالی انرژی باد در جهات مختلف، در ایستگاه هواشناسی نجف آباد طی دوره ۲۴ ماهه ژوئیه۲۰۱۱ تا ژوئیه ۲۰۱۳

از شکل های (۶) و (۱۰) به وضوح پیداست که علی رغم این که فراوانی وقوع باد در جهت شمال بیشتر است، اما چگالی قدرت باد در جهت غرب بیشتر از سایر جهت ها است. این موضوع نشان می دهدکه بادهای شدید بیشتر از جهت غرب می وزند.

۴. نتیجه گیری

میانگین سرعت باد ۱۰متری در ایستگاه هواشناسی نجف آباد ۲/۹۱ متر بر ثانیه می باشد. از روی گلباد رسم شده مشاهده می شود که فراوانی وقوع باد در جهت شمال، بیشتر می باشد. با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول برای سری باد۱۰متری این ایستگاه، ضرایب K و C در این ایستگاه برای ارتفاع ۵۰ متر به ترتیب برابر با ۱/۳۹و۴/۵۲ متر بر ثانیه بدست آمدند. با استفاده از این اعداد، میانگین ضرایب چگالی قدرت باد در ارتفاع ۵۰ متر برابر با ۱۱۷ وات بر متر مربع نتیجه شد، که در کلاس باد جز مناطق با پتانسیل ضعیف می باشد. شدیدترین باد ثبت شده در این ایستگاه ۱۸متر بر ثانیه بوده که مربوط به تاریخ ۱۶ آوریل ۲۰۱۲ می باشد. این اعداد در طراحی پروانه های توربین بسیار مفید است. میانگین سالانه چگالی انرژی باد ۵۰ متری نیز در سال ۲۰۱۳ بیشتر از سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ بوده است($۱۴۸W/m^2$). علی رغم این که فروانی وقوع باد در جهت شمال 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. با توجه به مطالب گفته شده، پتانسیل انرژی باد در شهرستان نجف آباد، کاملا ناامید کننده است و این شهرستان برای کاربرد تولید برق از باد مناسب نیست.

مراجع:

[۱].G.Najafi and B.Ghobadian, LLK1694"Wind energy resources and development in iran Renewable and Sustainable Energy"Reviews15 (2011) 2719–2728

[۲].Record year for wind energy: Global wind power market increased by 43% in 2005, Published BY : GWEC, Brussels, 17 February 2006

[۳].Global wind statistics | 2012 11.02.2013

[۴].S.Akdag and A.Dinlar " A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications", Energy Conversion and Management, 2009; 50;1761-1766.

[۵].S.Akpinar and E.K.Akpinar "Estimation of wind energy potential using finite mixture distribution models" , Energy Conversion and Management, 2009; 50; 877–884.

[۶].J.Peter and R.Schubel "Wind Turbine Blade Design "Energies 2012, 5, 3425-3449; doi:10.3390/en5093425

[۷].J.Hylander and G.Sidén "Vertical Axis Wind Turbines:History, Technology and Applications" Master thesis in Energy Engineering – May 2010

[۸].National Renewable Energy Laboratory (NREL), "Classes of wind power density at 10m and 50 m", (2002). Http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/1-1T.html 10/1/2002.