مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال نهم/ شماره مسلسل سی و چهارم/ زمستان ۱۳۹۸ / صفحات: ۲۲۴-۲۰۹

پتانسیل سنجی انرژی باد جهت تعیین مکان بهینه برای احداث توربین‌های بادی در استان مازندران

غلامرضا جانبازقبادی[1*]

[1]استادیار اقلیم شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۲

چکیده

امروزه به‌کارگیری انرژی‌های نو، به‌جهت فراوانی و تجدید پذیری، پاک بودن، قدرت بازدهی بالا و اقتصادی بودن، مورد توجه کشورهای مختلف جهان قرار گرفته است. انرژی باد، به دلیل جایگاه ویژه‌اش در بین انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی و حفظ آن برای نسل آینده خواهد بود. هدف از این پژوهش، تحلیل انرژی باد و برآورد پتانسیل آن و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های سرعت و تولید انرژی، جهت تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه ها در مناطق مستعد و بادخیز استان مازندران است. برای این منظور با جمع‌آوری داده‌های سرعت و جهت وزش باد، ۵ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی استان، در طی سال‌های آماری (۲۰۰۶-۲۰۰۹) میلادی که در فاصله‌های زمانی ۳ ساعته در ارتفاع ۱۰ متری ثبت شده‌اند استفاده گردید. مشخصات سرعت و جهت باد و پارامترهای تابع توزیع احتمال ویبول آن تعیین گردید و سپس پتانسیل و چگالی توان باد ایستگاه های استان محاسبه گردیدند. در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار ویندوگرافر (windographer) به تجزیه و تحلیل انرژی باد و ترسیم گراف و نمودارها پرداخته شد و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار GIS، نقشه‌های رقومی و پهنه‌بندی شاخص های سرعت و انرژی باد ترسیم گردید. نتایج نشان می دهد،ایستگاه بلده نور با دارا بودن سرعت و چگالی قدرت باد تقریبا بالا، از توانی بالغ بر ۳۰۰ وات بر متر مربع برخوردار است، لذا مکان مناسبی برای نصب توربین‌های بادی جهت استحصال انرژی، به‌خصوص در فصول گرم سال در استان به‌شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های نو،پتانسیل انرژی باد، توربین‌های برق بادی، استان مازندران

مقدمه

اهمیت انرژی در زمان اخیر و به‌خصوص در دهه‌های آینده به قدری است که با اتمام انرژی‌های فسیلی غیرقابل تجدید، چرخ عظیم تمدن بشری که به انرژی وابسته است، مختل خواهد شد (سازمان انرژی‌های نو ایران، ۱۹:۱۳۸۶). از مجموع انرژی‌های یادشده موسوم به انرژی‌های نو، به نظر می‌رسد که استفاده از انرژی خورشید و باد در کشور ما اقتصادی‌تر و مقرون به صرفه‌تر باشد،اما به جهت هزینهٔ گزاف تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی امروزه توجهٔ بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران به انرژی باد معطوف گردید (رحیمی و همکاران، ۷۹:۱۳۸۵). با توجه به داده‌های بین‌المللی، کشور ایران از لحاظ شاخص‌های؛ میزان گازهای گلخانه‌ای، میزان اشتغال و انرژی تجدیدپذیر در سطح بین‌المللی وضعیت مطلوبی نداشته است که علت اصلی آن نیز افزایش بی‌رویه جمعیت و اقتصاد نفتی این کشور می‌باشد (محمدی حمیدی و سبحانی، ۹۹:۱۳۹۷).

با توجه به منابع هنگفتی که دولت برای تولید یک کیلووات برق هزینه می‌کند، این پرسش برای همهٔ مطرح است که برای کاهش مصرف و تأمین انرژی ارزان‌تر چه باید کرد (کیانی فر و همکاران،

*نویسنده مسئول: gghobadi@yahoo.com

۴۰۲:۱۳۷۸). در بین انرژی‌های تجدیدپذیر انرژی باد یکی از اقتصادی‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق است که علاوه بر عدم آلودگی محیط‌زیستی و فراوان و دائمی بودن، کمترین نوسانات قیمتی را نیز دارد (شریفی وهمکاران، ۱۳۸۵). حداقل سرعت باد برای راه‌اندازی این توربین‌ها ۳ متر بر ثانیه و حداکثر قدرت آن‌ها در سرعت های ۱۲ الی ۱۵ متر بر ثانیه حاصل می‌شود (جمیل و همکاران، ۵۷:۱۳۸۳). اگر کل مصرف ساکنان کره زمین را ۱۰ تراوات به حساب آوریم، حدود ۰/۶درصد آن می‌تواند جوابگوی ساکنان کره زمین باشد (العابدی و همکاران[1]، ۲۰۰۵: ۱۴۹۱). در مناطقی که بیش از ۵۰ درصداوقات سال هوا آرام است احداث توربین‌های بادی توصیه نمی‌شود (لندبرگ[2]، ۳۶۱:۱۹۹۷). مازندران با آب و هوایی متنوع، همراه وجود تنوع توپوگرافی و به تبع آن ایجاد مراکز فشار حرارتی محلی، سبب شده است که در برخی نقاط استان در طول سال، بادهایی با شدت‌های مختلف بوزد. با توجه به گسترش استفاده از انرژی باد جهت تولید برق، مکان‌یابی مناطق مستعد جهت تأسیس مزارع باد در مناطق شمالی و حفظ محیط زیست منطقه، امری ضروری به نظر می رسد (مصطفایی‌پور[3]، ۹۴:۲۰۰۸).

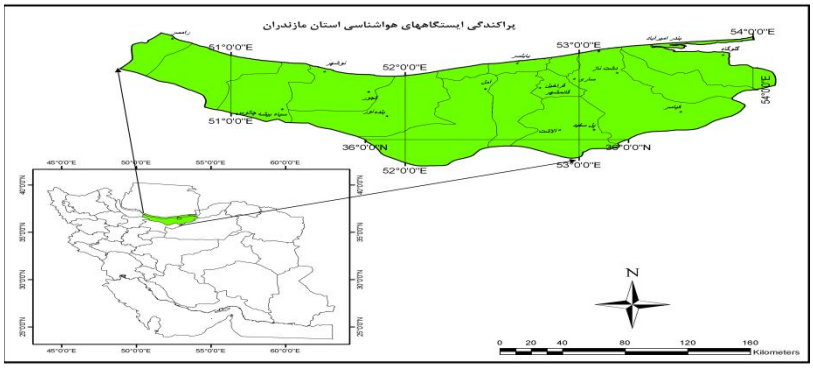
براساس مادۀ ۶۲ قانون برنامۀ سوم، دولت باید برق تولید شده از منابع تجدیدپذیر را به صورت تضمینی خریداری کند. از این‌رو اصلاح قیمت پایه خرید برق از نیروگاههای تجدید پذیر در جلب سرمایه‌گذاران بخش خصوصی بسیار مؤثر است (ثقفی، ۷۹:۱۳۸۲). رضایی‌بنفشه و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی امکان سنجی استفاده از انرژی باد در استان‌های اردبیل و زنجان بابررسی پتانسیل انرژی باد به این نتیجه رسیدند،ایستگاه اردبیل پتانسیل بالایی برای بهره‌برداری از انرژی باد دارد. کیهانی و همکاران[1] (۲۰۱۰) در ارزیابی پتانسیل یابی انرژی باد در شهر تهران، به این نتیجه رسیدند، مکان مورد مطالعه با توجه به داشتن سرعت باد کمتراز ۵ الی ۶ متر برثانیه برای احداث نیروگاههای بادی در مقیاس وسیع مناسب نیستند. مصطفایی‌پور[3] (۲۰۱۰) در مطالعۀ قدرت انرژی باد برای نصب توربین در استان یزد به منظور پتانسیل‌یابی انرژی باد به این نتیجه رسید، که نوسانات باد به دو صورت فصلی و روزانه بوده، به این صورت که در فصل بهار و تابستان به اوج رسیده و در فصل زمستان به حداقل مقدار خود می‌رسد. پروین (۱۳۸۹) در بررسی انرژی‌های نو در ایران با تأکید بر ارزیابی پتانسیل انرژی باد در استان قم ، به این نتیجه رسید که شرایط کمّی و کیفی بادهای حاکم بر پهنه‌های استان قم برای تولید انرژی بادی، نامطلوب است. شریفی و همکاران (۱۳۸۵) در امکان سنجی احداث نیروگاه برق بادی در جرندق تاکستان در پتانسیل‌یابی انرژی باد واقع در استان قزوین نشان داد که سایت مورد نظر برای تولید برق از انرژی باد بسیار مناسب تشخیص داده شده است و از نظر کلاس‌بندی در کلاس ۶ قرار دارد. مجرد (۱۳۹۲) درارزیابی قابلیت‌های انرژی باد در استان‌های کرمانشاه و کردستان به این نتیجه رسید ، ایستگاه‌بیجار از ارتفاع تقریبی ۵۰ متری و ایستگاه زرینۀ اوباتو، از ارتفاع ۱۰۰ متری به بعد برای نصب توربین‌های تجاری به صورت مزرعۀ بادی مناسب تشخیص داده شدند . تکیندا و همکاران (۲۰۰۳) در کشور کامرون مطالعاتی در زمینۀ انرژی باد صورت دادند، فدار (۲۰۱۰) در بررسی انرژی سرعت باد در نیجریه با استفاده از تکنیک شبکه عصبی- مصنوعی، نشان داد پروفیل باد در نیجریه را به خوبی تبیین نموده است. الی اوت (۲۰۰۳) در تهیه نقشۀ اطلس باد ارمنستان و الی اوت (۲۰۰۰) در تهیه نقشۀ اطلس باد فیلیپین نیز مطالعاتی داشته است. که طی آن نقشۀ پتانسیل انرژی باد در ارتفاع ۳۰ و ۵۰ متری به‌دست آمد. شفیوزمان خان (۲۰۰۶) در مطالعۀ انرژی باد منطقۀ کوتابیا ساحلی بنگلادش بااستفاده از آمار سرعت باد به این نتیجه رسید که کناره‌های شرقی و جنوبی برای تولید انرژی الکتریکی با استفاده از توربین‌های بزرگ، جایی که چگالی انرژی باد در

1. Al-Abbadi, et al
2. Landberg
3. Mostafaeipoura

ارتفاع ۵۰ متر یا بالاتر حدود ۲۰۰ وات بر متر مربع است امیدوارکننده باشد.استان مازندران در سالهای اخیر نیاز بیشتری به مصرف انرژی پیدا کرده است .لذا با توجه به قابلیت های این استان در تولید انرژی‌های نوین، شناخت پتانسیل های تولید انرژی پاک و مصرف آن، به‌خصوص انرژی بادی، بایستی در اولویت برنامه‌های مسئولان و محققان قرار گیرد. به‌همین منظور در این تحقیق با هدف شناخت پتانسیل باد استان و تعین مکان بهینه و مستعد و بادخیز جهت نصب توربین‌های بادی و یا احداث مزارع بادی به جمع‌آوری داده‌های سرعت و جهت وزش باد، ۵ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی استان، پرداخته است.

محدوده و قلمرو پژوهش

استان مازندران با وسعتی معادل۲۳۷۵۶/۴ کیلومترمربع حدود ۱/۴۶ درصد از مساحت کشور را در برداشته و از لحاظ مساحت خاکی هیجدهمین استان کشور است. این استان بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و بین ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. کلیه اطلاعات مربوط به داده‌های باد از واحد آمار ۵ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی استان مازندران تهیه شده است. شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت ایستگاههای هواشناسی استان مازندران را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت و پراکندگی ایستگاههای هواشناسی استان مازندران

جدول ۱: موقعیت ایستگاههای هواشناسی استان مازندران

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریای آزاد به متر	حداکثر سرعت باد سالانه دوره آماری متر بر ثانیه
بندرامیرآباد	۳۶،۵۱	۵۳،۲۲	-۲۰	۲۵
بلده	۳۶،۱۲	۵۱،۴۸	۲۱۲۰	۲۸
سیاه بیشه	۳۶،۱۵	۵۱،۱۸	۱۸۵۵.۴	۳۰
بابلسر	۳۶،۴۳	۵۲،۳۹	-۲۱	۲۲
رامسر	۳۶،۵۴	۵۰،۴۰	-۲۰	۲۸

مواد و روش‌ها

به منظور برآورد اولیه انرژی قابل حصول از جریان باد در استان مازندران، محاسبات لازم بر روی اطلاعات سمت و سرعت باد در یک بازهٔ زمانی ۴ ساله انجام شد. با جمع‌آوری داده های سرعت و جهت وزش باد، ۵ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی استان، در طی سال‌های آماری (۲۰۰۶-۲۰۰۹) میلادی که در فاصله‌های زمانی ۳ ساعته در ارتفاع ۱۰ متری ثبت شده‌اند استفاده گردید. مشخصات سرعت و جهت باد و پارامترهای تابع توزیع احتمال ویبول آن تعیین گردید و سپس پتانسیل و چگالی توان باد ایستگاههای استان محاسبه گردیدند. در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار ویندوگرافر (Windographer) به تجزیه و تحلیل انرژی باد و ترسیم گراف و نمودارها پرداخته

شد و درنهایت با استفاده از نرم‌افزار سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص های سرعت و انرژی باد ترسیم گردیده‌اند.

تابع توزیع احتمال ویبول[1]: با توجه به ماهیت تصادفی باد با اندازه‌گیری‌های طولانی در بازهٔ زمانی مختلف از تابع توزیع چگالی احتمال سرعت باد ویبول برای محاسبه انرژی باد استفاده می‌شود.

رابطهٔ (۱)

$$f(v)=\frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1}\exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right),(k\rangle 0,v\rangle 0,c\rangle 1)$$

که در آن V سرعت باد c و k به‌ترتیب پارامترهای مقیاس و شکل هستند. این پارامترها را می توان با استفاده از روش (Maximum likelihood) از معادلات زیر محاسبه نمود (اکپینار و همکاران[2]، ۵۱۷:۲۰۰۵).

رابطهٔ (۲)

$$k=\left(\frac{\delta}{\overline{v}}\right)^{-1.086}\quad(1\le\kappa\le 10)$$

رابطهٔ (۳)

$$c=\frac{\overline{v}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{\kappa}\right)}$$

جایی که سرعت متوسط باد عبارتند از:

رابطهٔ (۴)

$$\overline{v}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}v_i$$

محاسبهٔ پتانسیل انرژی باد: قدرت انرژی باد با مکعب سرعت باد رابطهٔ مستقیم دارد:

رابطه (۵)

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

که درآن ρ چگالی هوای استاندارد در سطح دریا با دمای متوسط ۱۵ درجه سانتیگراد و فشار یک اتمسفر (۱,۲۲۵ $\frac{kg}{m^3}$) و $\overline{v}$ متوسط سرعت باد است (سلیک[3]، ۲۰۰۳: ۵۹۷).

قدرت انرژی باد محاسبه شده در ارتفاع ۱۰ متری از رابطه زیر است.

رابطه (۶)

$$P_{10}=\frac{1}{2}\overline{\rho v^3}\,(W/m^2)$$

برای تخمین سرعت باد در ارتفاعات بالاتر از رابطه

$\frac{v_z}{v_z}=\left(\frac{z}{z_{10}}\right)^a$ که v_z سرعت باد در ارتفاع z و v_z سرعت واقعی باد در ارتفاع ۱۰ متری می باشد. یا رابطه $V=V_0\left(\frac{Z}{Z_0}\right)^a$، مقدار a نیز از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

رابطه (۷)

$$a=\frac{[0.37-0.088\ln V_{10}]}{[1-0.088\ln(z_{10}/10)]}$$

متوسط شدت قدرت باد: در دوره‌ای که باد می‌وزد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۸)

$$WPD=\frac{\sum_{i=1}^{N}1/2\,pv_i^3}{N}$$

جایی که i سرعت باد ۳ ساعته اندازه‌گیری شده، و N کل نمونهٔ داده‌ها برای هر سال، علاوه برآن محاسبهٔ شدت قدرت باد بر مبنای سرعت باد اندازه-گیری شده می‌تواند به وسیله آنالیز توزیع ویبول با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

رابطه (۹)

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

چگالی انرژی باد: میزان چگالی انرژی باد در یک مکان می تواند از این رابطهٔ به‌دست آید:

رابطهٔ (۱۰)

$$\frac{E}{A}=\frac{1}{2}\rho c^3\Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right)\mathrm{T}$$

یافته‌های تحقیق

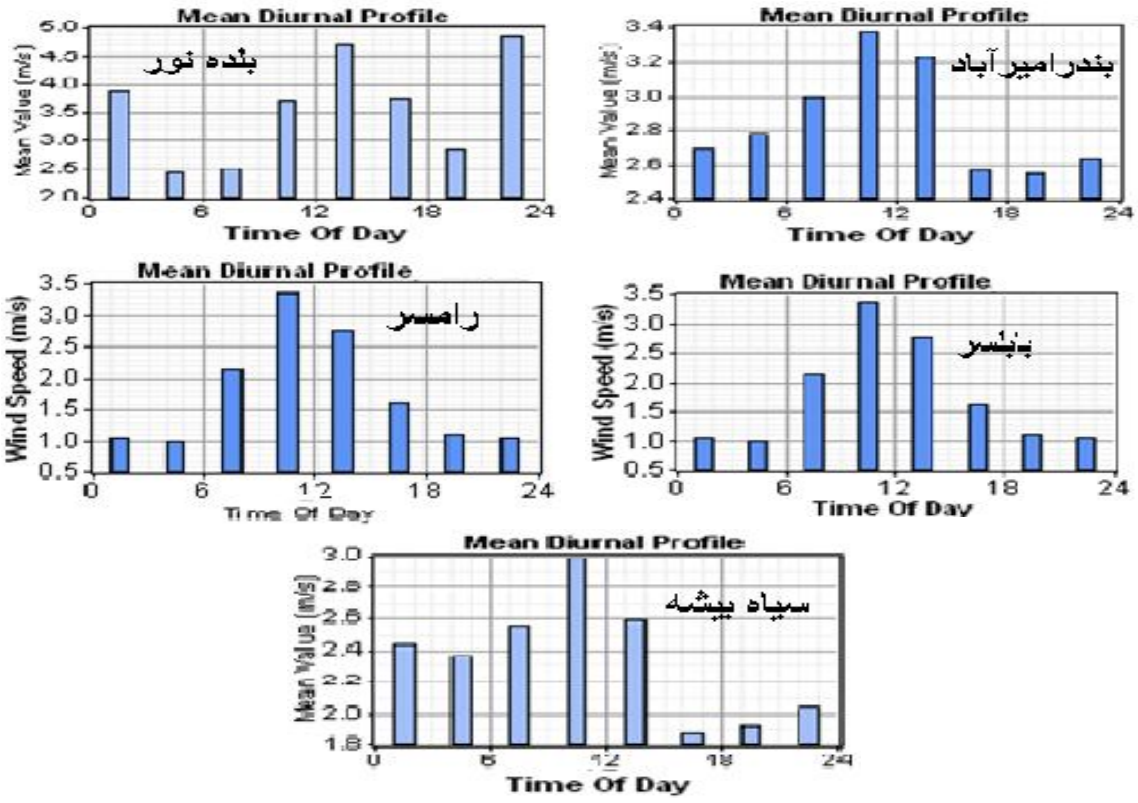
جهت برآورد اولیه انرژی قابل حصول از جریان باد در ایستگاههای استان مازندران با محاسبهٔ لازم بر روی اطلاعات سمت و سرعت باد در یک بازهٔ زمانی ۴ ساله با توجه به جدول شماره (۲) ایستگاه بلده در بین ایستگاههای استان از بیشترین سرعت باد (۴/۶ متر بر ثانیه) در ماههای گرم سال (ماه جولای) و ازحداقل سرعت باد در ماههای سرد (ژانویه) برخوردار است که بیانگر وجود شرایط بادخیزی این منطقه در استحصال انرژی برق است. ایستگاههای امیر آباد(۳,۶ متر بر ثانیه) درماه جولای و سیاه‌بیشه (۳,۶ متر بر ثانیه) در ماه فوریه در مرحلهٔ بعدی قرار می‌گیرند و مابقی ایستگاهها، سرعت باد پایین‌تری دارند.

1. Weibull Probability Density Function
2. Akpinar et al
3. Selic

جدول ۲: متوسط سرعت حداکثر و حداقل باد ایستگاههای استان مازندران (۲۰۰۹-۲۰۰۶)

ایستگاه	متوسط سرعت باد	
	حداقل	حداکثر
امیرآباد	۲/۴	۳/۶
	ژانویه	جولای
بلده	۲/۳	۴/۶
	ژانویه	جولای
بابلسر	۱/۵	۲/۷
	نوامبر	آوریل
رامسر	۱/۵	۲/۱
	ژانویه	مارس
سیاه بیشه	۱/۵	۳/۶
	جولای	فوریه

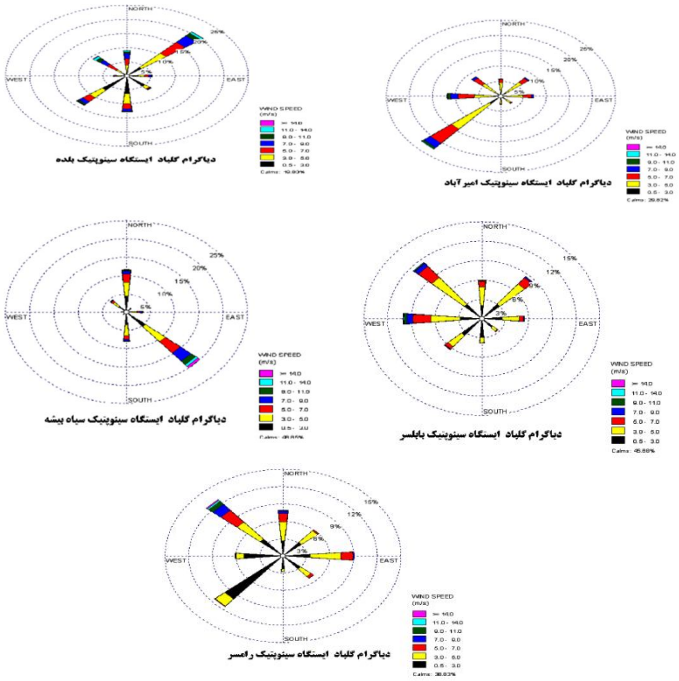
منبع: اداره کل هواشناسی استان مازندران



شکل۲: نمودار روزانهٔ سرعت باد ایستگاههای استان مازندران

بررسی روند روزانهٔ سرعت باد: در تجزیه و تحلیل دادههای روزانهٔ باد، بر اساس شکل۲ نمودار روزانهٔ سرعت باد ایستگاههای استان، ایستگاه بلده در طول شبانهروز از وزش باد برخوردار است. متوسط سرعت باد در ماههای تابستانی بیشتر است. در بندر امیرآباد در اکثر ساعات شبانهروز به طور یکنواخت باد می وزد و بهطور طبیعی در اواسط روز این مقدار بیشتر است. تندبادهایی با سرعت ۲۳ متر بر ثانیه در ماههای نوامبر و آوریل از خصوصیات خاص این منطقهٔ ساحلی مازندران است. درمنطقهٔ سیاهبیشه حداکثر وزش باد در اواسط روز از ساعات ۱۰ صبح تا ۱۶ عصر به وقوع پیوسته است و این امر بیانگر آن است که در

اواسط روز بیشتر می توان از این انرژی بهره‌مند شد؛ همچنین حداکثر سرعت‌های روزانه بالاتر از ۵ متر بر ثانیه نشان‌دهندهٔ غنی بودن منطقه از نظر وزش بادهای نسبتا شدید در اکثر ماههای سال در منطقهٔ سیاه‌بیشه است. ایستگاه رامسر و بابلسر به علت شرایط ساحلی بودن منطقه و نزدیکی به دریا در طول روز میزان باد وزیده از ساعت ۹ الی ۱۶ محلی بیشتر از سایر زمان‌های شبانه روز می‌باشد.

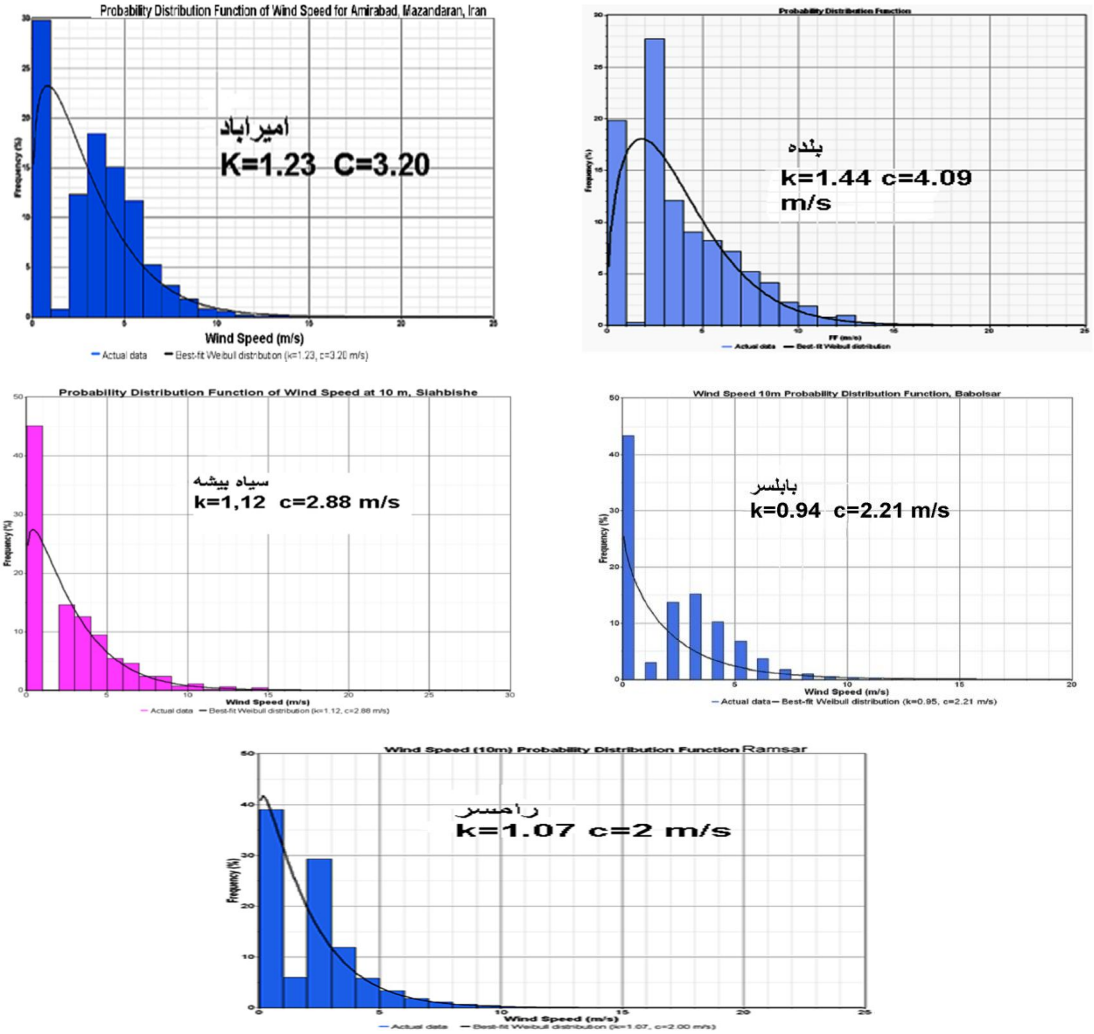


شکل ۳: نمودار مربوط به جهت باد و فراوانی آن (گلباد)

شکل (۳) جهت باد غالب ایستگاههای هواشناسی استان را نشان می‌دهد . در بین این ایستگاهها، ایستگاه بلده با جهت باد غالب شمال شرقی (۹۰-۰) درجه، از لحاظ حداکثر انرژی قابل استحصال که ۲۸ درصد باد وزیده را به خود اختصاص داده است، اهمیت چشمگیری دارد. در این ایستگاه ۱۹/۸۳ درصد از طول سال هوا آرام است و بادی نمی‌وزد و در واقع حدودا ۸۰ درصد از سال وزش باد وجود دارد که از ویژگی‌های مثبت این منطقه به شمار می آید. ایستگاه امیرآباد با جهت باد غالب جنوب‌غربی و با ۲۹.۸ درصد از طول سال با هوای آرام در مرحلهٔ بعدی و ایستگاه سیاه‌بیشه با جهت باد غالب جنوب‌شرقی (۱۸۰-۹۰ درجه) با بیش از ۵۰ درصد از اوقات سال دارای وزش باد است که برای استقرار توربین‌های بادی مناسب هستند. ایستگاه بابلسر و رامسر با قرارگیری در طول سواحل، با جهت باد شمال‌غربی (۳۶۰-۲۷۰ درجه) دارای وزش باد در جهات مختلف هستند.

برآورد فراوانی مقادیر سرعت باد: شکل (۴) هیستوگرام فراوانی و نمودار منحنی توزیع ویبول با مقادیر پارامتر k و c ، ایستگاههای استان مازندران را نشان می دهد. ایستگاه بلده در بین ایستگاههای استان از بیشترین فراوانی مقادیر سرعت باد در محدوده ۳ تا ۵ متر بر ثانیه با مقدار حداکثر پارامترهای k و c برخوردار است که در محدودهٔ سرعت راه‌اندازی توربین‌ها قرار دارد و مکان مناسبی جهت احداث نیروگاه برق بادی است. ایستگاههای امیرآباد و سیاه‌بیشه با فراوانی مقادیر سرعت باد در محدودهٔ ۲ تا ۵ متر بر ثانیه از دیگر مکان‌های مستعد جهت احداث نیروگاههای کوچک بادی برای

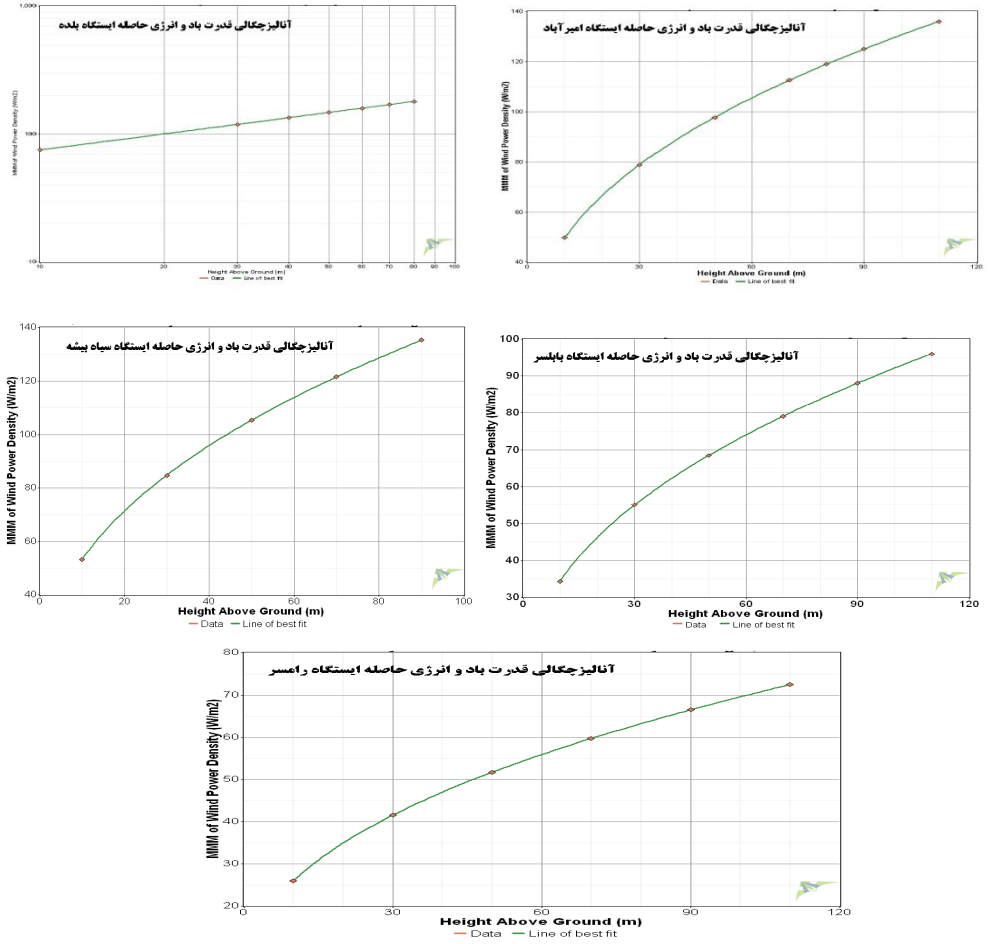
فعالیت‌های بخصوص به شمار می آیند. اما ایستگاههای بابلسر و رامسر به جهت فراوانی مقادیر پایین سرعت باد و عدم شرایط بادخیزی بهینه جهت احداث نیروگاهها در اولویت قرار نمی‌گیرند.



شکل۴: هیستوگرام فراوانی و نمودار منحنی توزیع ویبول ایستگاههای استان مازندران

بررسی روند چگالی قدرت باد: چگالی نیروی باد توسط دو عامل یعنی سرعت باد و ارتفاع تعیین و دسته‌بندی می‌گردد. میزان چگالی انرژی در ارتفاع ۵۰ متری تقریبا دو برابر چگالی انرژی در ارتفاع ۱۰ متری است. باتوجه به این که سرعت باد با تغییرات ارتفاع متناسب است و خروجی انرژی توربین باد با توان سوم سرعت باد متناسب می‌باشد، لذا براساس شکل (۵) و جدول (۴) ایستگاه بلده در بین سایر ایستگاههای استان با توجه به موقعیت منطقه در طی دورهٔ آماری دارای چگالی انرژی باد در ارتفاع ۱۰ متری حدودا ۱۰۰ وات متر مربع و در ارتفاع ۳۰ متری تقریبا ۱۲۰ وات و در ارتفاع ۵۰ متری حدوداً دارای ۱۴۷ وات بر متر مربع بیشترین چگالی قدرت باد را دارد و در کلاس‌بندی توان باد (جدول ۳) در کلاس (۱) قرار می گیرد.بیشترین چگالی قدرت باد آن مربوط به ماههای گرم سال به‌خصوص در ماههای ژوئن و جولای به میزان ۶۶/۹ کیلو وات بوده و حداقل آن در ماههای سرد سال (ماه ژانویه) به مقدار ۱۵ کیلو وات است. بیشترین چگالی قدرت باد در امیرآباد مربوط به ماههای گرم سال به‌خصوص در ماه جولای به میزان ۴۵کیلو وات و حداقل آن در ماه اکتبر به مقدار ۱۹/۵ کیلو وات است.بیشترین چگالی قدرت باد در سیاه-

بیشه مربوط به ماههای سرد سال به‌خصوص در ماه فوریه به میزان ۴۷/۶ کیلو وات بوده و حداقل آن در ماههای گرم سال (ماه جولای) به مقدار۱۰/۱ کیلو وات است. بیشترین چگالی قدرت باد در بابلسر در ماههای گرم سال خصوصا در ماه جولای به میزان ۳۲کیلو وات بوده و حداقل آن در ماه سپتامبر به مقدار ۱۱ کیلو وات است.ایستگاه رامسر کمترین چگالی قدرت باد را نسبت به مابقی ایستگاهها دارد. بیشترین چگالی قدرت باد در رامسر در ماههای گرم سال به‌خصوص در ماه جولای به میزان ۱۷/۲کیلو وات بوده و حداقل آن در ماه سپتامبر به مقدار ۹/۶ کیلو وات است.



شکل ۵: نمودارمنحنی چگالی قدرت باد و انرژی حاصله بر حسب ارتفاع از سطح زمین

جدول ۳: کلاس‌بندی سایت‌های مدنظر جهت احداث نیروگاه برق بادی بر اساس چگالی توان باد (سایتrredc**)**

Wind Power Class01	Height= 50 m	
	Wind Power Density (W/m^2)	Speed (m/s)
۱	۰—۲۰۰	۰—۵/۶
۲	۲۰۰—۳۰۰	۵/۶—۶/۴
۳	۳۰۰—۴۰۰	۶/۴—۷/۰
۴	۴۰۰—۵۰۰	۷/۰—۷/۵
۵	۵۰۰—۶۰۰	۷/۵—۸/۰
۶	۶۰۰—۸۰۰	۸/۰—۸/۸
۷	۸۰۰—۲۰۰۰	۸/۸—۱۱/۹

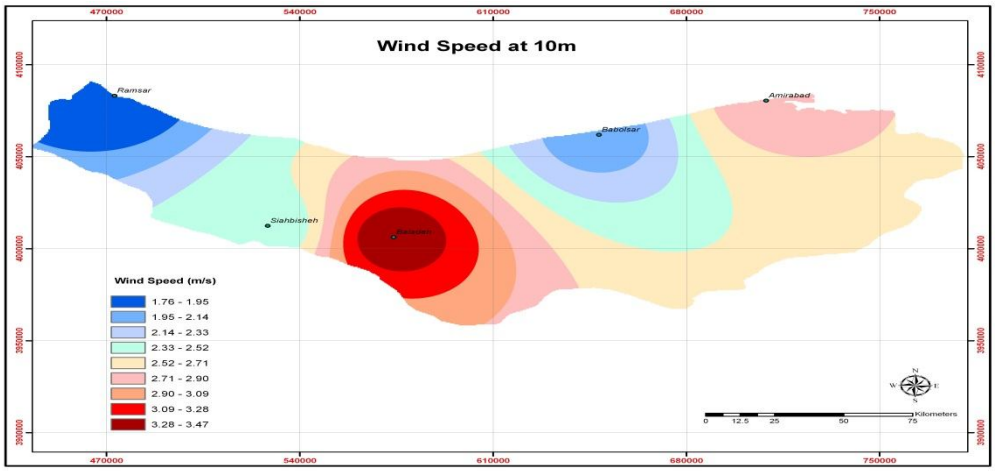
جدول۴: میانگین سرعت و چگالی قدرت باد در ارتفاعات مختلف ایستگاههای استان مازندران (۲۰۰۶ الی ۲۰۰۹)

ایستگاه	ارتفاع ۱۰ متری		ارتفاع ۳۰ متری		ارتفاع ۵۰ متری	
	سرعت متوسط m/s	چگالی قدرت بادw/m2	سرعت متوسط بادm/s	چگالی قدرت بادw/m2	سرعت متوسط باد m/s	چگالی قدرت باد w/m2
امیرآباد	۲,۸۳	۶۵	۳,۳۲	۹۹	۳,۵۷	۱۲۷
بلده	۳,۴۸	۱۰۰	۴,۰۶	۱۲۰	۴,۳۶	۱۴۷
سیاه بیشه	۲,۳۶	۵۳	۲,۷۳	۸۴	۲,۹۴	۱۰۵,۵
رامسر	۱,۷۷	۲۵	۲,۰۶	۴۳	۲,۲۲	۵۳
بابلسر	۲,۰۶	۳۴	۲,۴۲	۵۵	۲,۶۱	۶۸

پهنه‌بندی سرعت باد

پهنه‌بندی سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین: با توجه به شکل (۶) ایستگاه بلده با میانگین سرعت باد (۳,۴۷ متر بر ثانیه) در ارتفاع ۱۰ متری در ماه جولای حداکثر میانگین سرعت باد را(۴,۶ متر بر ثانیه) نسبت به ایستگاههای دیگر استان دارد. به‌طوری‌که حدود ۵ ماه از سال سرعت باد بیش از ۴ متر بر ثانیه را در ارتفاع ۱۰ متری تجربه کرده است و نشانگر محدودهٔ مناسب در نصب توربین‌ها برای استحصال انرژی بادی است. به‌دنبال آن ایستگاههای امیرآباد و سیاه‌بیشه با حداکثر میانگین سرعت باد(۳/۶ متر بر ثانیه) به ترتیب در ماه جولای و ماه فوریه در مرحلهٔ بعدی قرار می گیرند. به‌طوری‌که ایستگاه امیرآباد حدود ۶ ماه از سال با سرعت باد بالای ۳ متر بر ثانیه را داشته است،

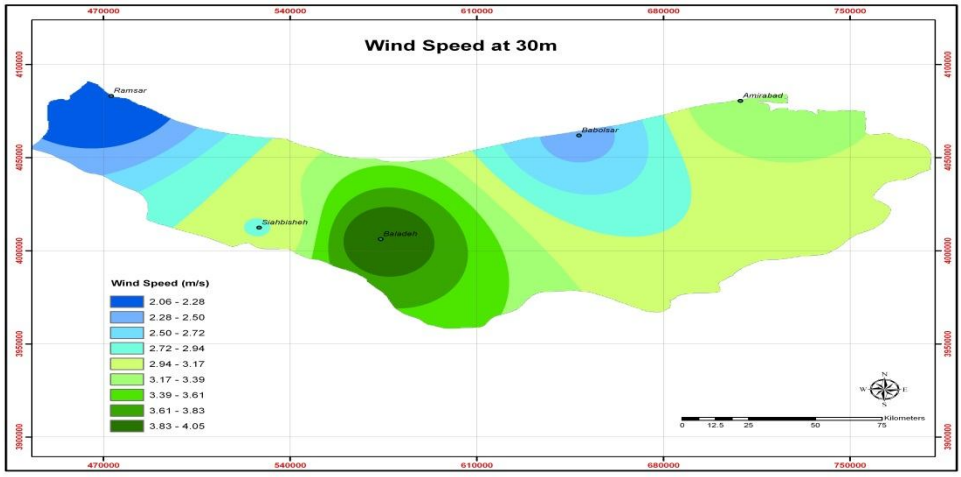
همچنین با توجه به شکل۶: نقشهٔ پهنه بندی سرعت باد در ارتفاع ۱۰متری از سطح زمین استان مازندران این شکل ایستگاه بابلسر(۲,۷ متر بر ثانیه) در ماه آوریل و ایستگاه رامسر(۲,۵ متر بر ثانیه) در ماه مارس، کمترین متوسط سرعت باد ماهانه را در طول سال دارند. به‌طوری‌که ایستگاه بابلسر حدود ۲ ماه از سال سرعت بالای ۲/۵ متر بر ثانیه را تجربه می کند و ایستگاه رامسر حدود یک ماه از سال سرعت بالای ۲ متر بر ثانیه در آن رخ داده است.



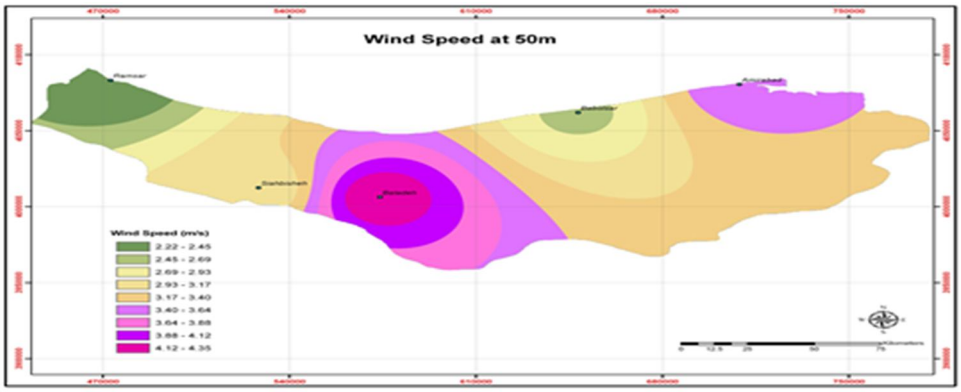
شکل۶ : نقشهٔ پهنه‌بندی سرعت باد در ارتفاع ۱۰متری از سطح زمین استان مازندران

پهنه‌بندی سرعت باد در ارتفاع ۳۰ متری از سطح زمین: با توجه به شکل (۷) ایستگاه بلده با میانگین سرعت باد (۴,۰۶ متر بر ثانیه) در ارتفاع ۳۰ متری دارای حداکثر میانگین سرعت باد (۵,۳ متر برثانیه) در ماه جولای برخوردار است که می‌تواند دلیل خوبی برای بادخیز بودن منطقه و نصب توربین ها باشد. در این ایستگاه حدود ۳ ماه از سال سرعت باد بالای ۵ متر بر ثانیه در ارتفاع ۳۰ متری به‌خصوص در ماههای

گـرم سـال (از ژوئـن تـا جـولای) را تجربـه مـی‌کنـد. ایستگاههای امیرآباد و سیاه‌بیشه بـه ترتیـب حـدود ۸ ماه (از فوریه تـا سـپتامبر) و ۵ مـاه از سـال (ماههـای سپتامبر تا آوریل) با سرعت باد بالای ۳ متر بر ثانیـه را تجربه می‌کنند. متوسط سرعت باد در ایستگاه بابلسر و رامسر در اکثر ماههای سال در محدودهٔ کمتر از ۳ متر بر ثانیه بوده است.



شکل ۷ : نقشهٔ پهنه‌بندی سرعت باد در ارتفاع ۳۰متری از سطح زمین استان مازندران



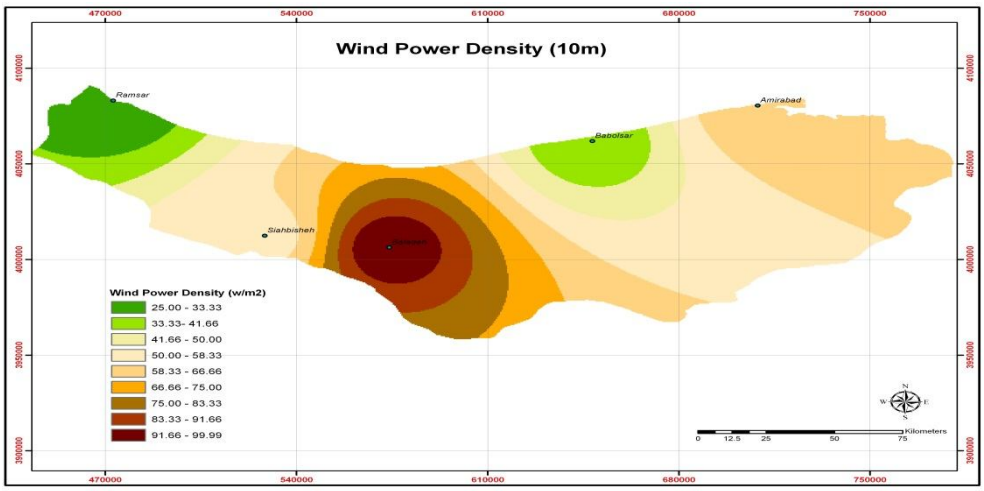
شکل ۸: نقشهٔ پهنه‌بندی سرعت باد در ارتفاع ۵۰متری از سطح زمین استان مازندران

پهنه‌بندی متوسط سرعت باد در ارتفاع ۵۰ متـری از سطح زمین: با توجه به شکل (۸) در بین ایستگاههای مازندران، ایستگاه بلده با میـانگین سـرعت بـاد (۴,۳۶ متر بر ثانیه) در ارتفاع ۵۰ متری از حداکثر سرعت بـاد (۵,۷ متر بر ثانیـه) در مـاه جـولای برخـوردار اسـت. به‌طوریکه حدودا ۵ ماه از سال خصوصـا در مـاه هـای گـرم سـال (از مـاه مـی تـا سـپتامبر) سـرعت بـاد در محدوده بیش از ۵ متر بر ثانیـه را تجربـه کـرده اسـت به‌عبارتی در طول سال بیشترین مقادیر سرعت بـاد در محدودهٔ ۳ تا ۵ متر بر ثانیه در این منطقه رخ می‌دهـد و شـرایط مناسـبی جهـت راه‌انـدازی تـوربین‌هـا و استحصال انرژی را ترغیب می‌کنـد. ایسـتگاه امیرآبـاد با سرعت متوسط باد ۳/۵۷ متـر بـر ثانیـه در ۲ مـاه از سال با سرعتی متوسط بـیش از ۴ متـر بـر ثانیـه را در ماه ژوئن و جولای داشته است. به طوری‌کـه بیشـترین مقادیر سرعت باد در محدودهٔ ۲ تا ۵ متـر بـر ثانیـه در این ایستگاه دیده می شـود، لـذا مـی تـوان بـا تصـب توربین‌های کوچک و بزرگ تولیـد انـرژی بـاد در ایـن ایستگاه امکان‌پذیر خواهد بود. ایستگاه سـیاه‌بیشـه در ارتفاع ۵۰ متری در ماههای فوریـه و مـارس از مـرز ۴

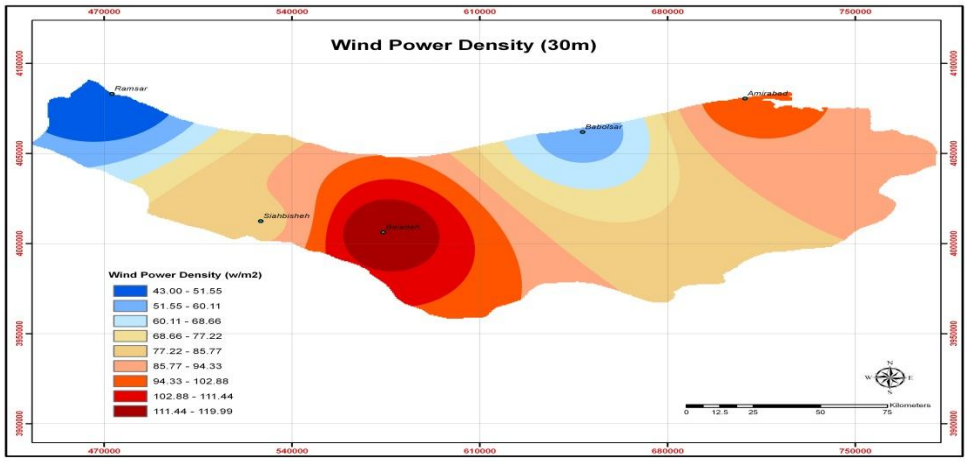
متر بر ثانیه نیز فراتر رفته است. فراوانی سرعت باد بالای ۳ متر بر ثانیه در ۵ ماه از سال (ماه های سرد سال) از مشخصه های خوب یک سایت جهت احداث نیروگاه برق بادی است. ایستگاههای بابلسر و رامسر در ارتفاع ۵۰ متری دارای بیشترین مقادیر سرعت باد در محدودهٔ ۲ تا ۴متر بر ثانیه را تجربه می‌کنند که سهم کمی از میزان باد وزیده در منطقه را شامل می‌شوند و بیانگر عدم شرایط مساعد برای بادخیزی و نصب توربین‌های بادی است.

-پهنه‌بندی چگالی قدرت باد

پهنه‌بندی چگالی قدرت باد در ارتفاع ۱۰ متری: با توجه به شکل (۹) وجدول (۴) در بین ایستگاههای استان مازندران ایستگاه بلده با توجه به موقعیت منطقه و با داشتن سرعت بادی بیش از ۴ متر بر ثانیه در ۵ ماه سال در ماههای گرم سال به‌خصوص در ماههای ژوئن و جولای، حداکثر چگالی انرژی باد را که حدود ۱۰۰ وات بر متر مربع است، دارد. میزان چگالی انرژی باد در ایستگاههای امیرآباد و سیاه‌بیشه در ارتفاع مذکور به ترتیب ۶۵ وات بر مترمربع مربوط به ماههای گرم سال و طی ماههای ژوئن و جولای بوده و ۵۳ وات بر متر مربع مربوط به ماههای سرد سال به‌خصوص در ماه فوریه است. ایستگاههای بابلسر و رامسر به ترتیب با ۳۴ و ۲۵ وات بر متر مربع از حداقل چگالی انرژی باد در ارتفاع ۱۰ متری برخوردارند.



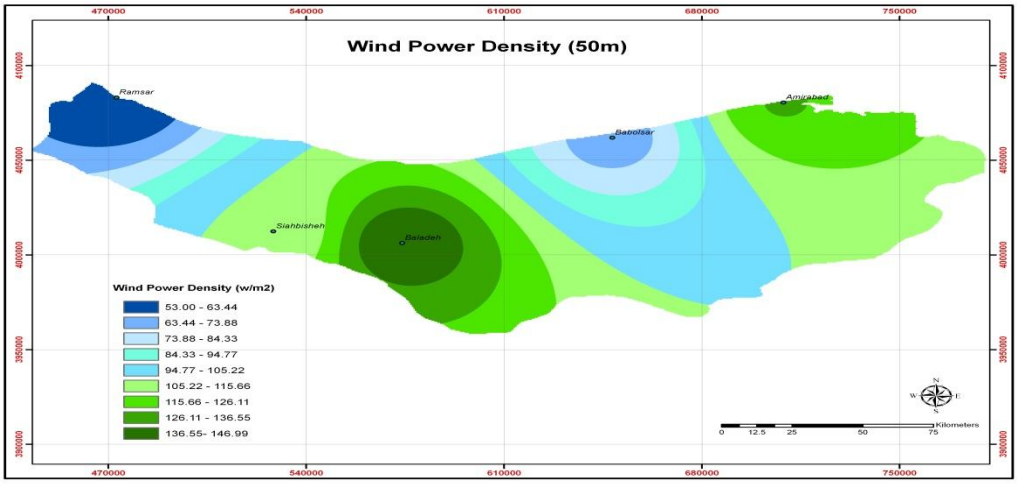
شکل ۹: پهنه‌بندی چگالی قدرت باد در ارتفاع ۱۰ متری



شکل۱۰: پهنه‌بندی چگالی قدرت باد در ارتفاع ۳۰ متری

پهنه‌بندی چگالی قدرت باد در ارتفاع ۳۰ متری: با توجه به شکل(۱۰) و جدول(۴) در بین ایستگاههای استان مازندران ایستگاه بلده با داشتن سرعت بادی بیش از ۵ متر بر ثانیه در طی ۳ ماه از سال تقریبا با۱۲۰ وات بر متر مربع از حداکثر چگالی انرژی باد نسبت به دیگر ایستگاههای استان برخوردار است که در کلاس‌بندی توان باد در کلاس (۱) قرار می گیرد. ایستگاههای امیرآباد و سیاه‌بیشه با سرعت بادی بیش از ۳ متر بر ثانیه به ترتیب ۸ ماه و ۵ ماه از سال دارای چگالی انرژی باد به ترتیب ۹۹ وات و ۸۴ وات بر متر مربع را دارند. ایستگاههای بابلسر و رامسر به جهت این‌که در اکثر ماههای سال سرعت بادی کمتر از ۳ متر بر ثانیه دارند به ترتیب میزان چگالی انرژی باد آن‌ها ۵۵ وات و ۴۳ وات بر متر مربع بوده است که در بین ایستگاههای استان در استحصال انرژی بادی سهم کمتری دارند

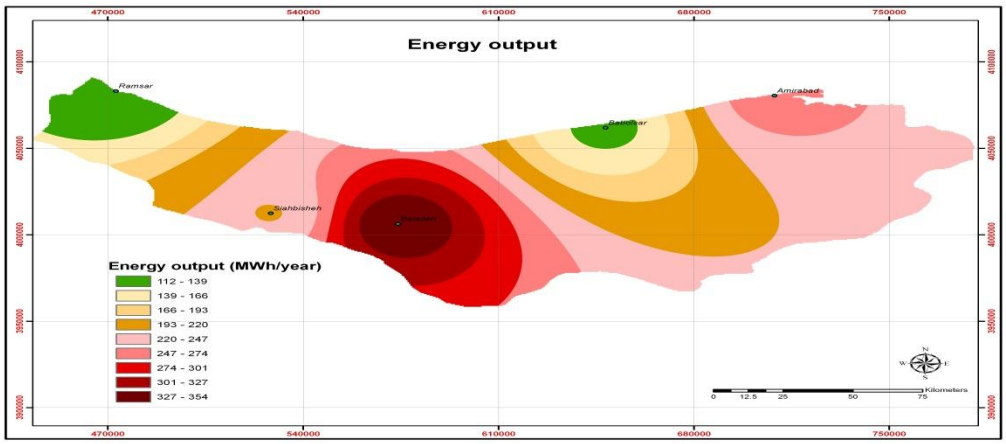
پهنه‌بندی چگالی قدرت باد در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین: با توجه به شکل (۱۱) ایستگاه بلده با سرعت بادی بیش از ۵ متر بر ثانیه و دارا بودن بیشترین فراوانی مقادیر سرعت باد در محدودهٔ ۳ تا ۵ متر بر ثانیه از میزان چگالی قدرت باد حدود ۱۴۷ وات بر متر مربع بوده که با توجه به ارتفاع توربین به‌کار رفته در منطقه و بهره گیری از اطلس باد اتحادیه انرژی آمریکا (جدول ۳) از نظر کلاس‌بندی در کلاس ۲ (متوسط) قرار می گیرد؛ همچنین بیشترین چگالی قدرت باد مربوط به ماههای گرم سال بود که توانی بالغ بر ۳۰۰ وات بر متر مربع داشته است. که شرایط مساعدی برای نصب توربین ها جهت استحصال انرژی است. ایستگاههای امیرآباد و سیاه‌بیشه با سرعت بادی در حدود ۲ تا ۵ متر بر ثانیه به ترتیب دارای چگالی انرژی باد حدود ۱۲۸ و ۱۰۵ وات بر متر مربع می باشند که بیشترین چگالی قدرت باد (وات بر متر مربع) در ایستگاه امیرآباد با توانی بالغ بر ۲۰۰ وات بر مترمربع است.ایستگاه سیاه‌بیشه با با توانی بین ۱۰۰ الی ۱۵۰ وات بر متر مربع در ماههای سرد سال در مرحلهٔ بعدی قرار می‌گیرند. ایستگاههای بابلسر و رامسر به ترتیب با ۶۸ و ۵۳ وات بر متر مربع دارای حداکثر چگالی قدرت باد در فصل زمستان هستند ولی در فصل پاییز، کمترین چگالی قدرت باد را جهت استحصال انرژی دارند.



شکل ۱۱: نقشهٔ پهنه‌بندی چگالی قدرت باد در ارتفاع ۵۰ متری

پهنه‌بندی انرژی الکتریکی خروجی سالانه در ارتفاع ۵۰ متری: با توجه به جدول ۵ و شکل (۱۲) ایستگاه بلده در بین ایستگاههای مختلف استان، با دارابودن میانگین سالانه قدرت شبکه ۴۰/۶ کیلووات و میزان متوسط انرژی الکتریکی تولیدی سالانه حدود ۳۵۵ وات ساعت و ظرفیت شبکه ۱۲/۳ درصد، بالاترین مقدار انرژی الکتریکی خروجی را در استان دارد، لذا این منطقه جهت نصب توربین‌های بادی و احداث مزرعهٔ باد برای تولید انرژی برق مکان مناسبی در استان است؛ همچنین برآورد تولید انرژی خروجی و

حداکثر قدرت باد درارتفاع ۵۰ متری مابقی ایستگاهها بر اساس جدول ۵ آمده است. به‌طوری‌که ایستگاه امیرآباد و ایستگاه سیاه‌بیشه در مرحلهٔ بعدی استحصال انرژی بادی قرار می‌گیرند. ولی ایستگاههای بابلسر و رامسر به جهت سرعت باد کمتر، مکان‌های مناسب جهت استحصال انرژی بادی محسوب نمی‌شوند.



شکل۱۲: نقشهٔ پهنه‌بندی انرژی الکتریکی خروجی سالانه در ارتفاع ۵۰ متری استان مازندران

جدول۵: برآورد تولید انرژی خروجی و حداکثر قدرت باد درارتفاع ۵۰ متری توسط توربین انکرون E33

ایستگاه		سرعت باد(m/s)	چگالی قدرت باد power (kW) output	متوسط انرژی تولیدی (MWh)/yr) Energy output	ظرفیت شبکه (%)
امیرآباد	حداکثر	۴،۵۷ جولای	۴۵	۳۶	۱۳،۷
	حداقل	۰۳،۳ اکتبر	۱۹،۵	۱۵	۵،۹
	سالانه	۳،۵۷	۲۹،۸	۲۶۱	۹
بلده	حداکثر	۵،۷۱ جولای	۶۶،۹	۴۹،۸	۲۰،۳
	حداقل	۲،۸۶ ژانویه	۱۵	۱۱،۳	۴،۵
	سالانه	۴،۳۷	۴۰،۶	۳۵۵،۲	۱۲،۳
سیاه بیشه	حداکثر	۴،۵۲ فوریه	۴۷،۶	۳۲	۱۴،۴
	حداقل	۱،۷۳ جولای	۱۰،۱	۸	۳،۱
	سالانه	۲،۹۴	۲۵	۲۱۹	۷،۶
بابلسر	حداکثر	۲،۶۵ اوریل	۳۲	۱۷	۵،۲
	حداقل	۲،۳۵ اکتبر	۱۱	۱۴	۲،۹
	سالانه	۲،۵۰	۲۳،۹	۱۳۰	۳،۸
رامسر	حداکثر	۲،۶۵ مارس	۱۸،۷	۱۴	۵،۷
	حداقل	۱،۹۲ اکتبر	۹،۹	۷	۳
	سالانه	۲،۲۲	۱۲،۸	۱۱۲	۳،۹

منبع: یافته های تحقیق

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های انجام‌گرفته، با توجه به تنوع مکانی ایستگاههای مورد بررسی و دوری و نزدیکی آن‌ها به دریای خزر و رشته کوههای البرز، جهت جریان هوا در فصول مختلف برای کلیه ایستگاههای ساحلی، جلگه‌ای و کوهپایه‌ای متنوع بوده است و همین عوامل سبب تنوع در جهت باد غالب ایستگاههای استان مازندران گردیده است. بررسی‌ها نشان داد، ایستگاه بلده نور در مجموع در بین دیگر ایستگاههای استان، به دلیل درصد موجودیت باد، میانگین سرعت و چگالی قدرت باد (۱۵۰ وات بر مترمربع) در ماههای گرم سال (ژوئن و جولای) برخوردار بوده است که توانی بالغ بر ۳۰۰ وات بر متر مربع را شامل می شود که این مقدار تا میزان ۲۰۰ وات بر متر مربع در اوایل بهار می‌رسد و در کلاس‌بندی توان باد در کلاس (۲) متوسط قرار می گیرد. به بیانی دیگر منطقهٔ بلده از اوایل بهار تا اوایل پاییز، شرایط متوسط تا نسبتاً خوبی را برای بهره‌وری در تأمین انرژی مجتمع‌های گلخانه‌ای، پمپاژ آب چاهها و تأمین انرژی منازل را از طریق انرژی باد خواهد داشت. انرژی سالانه تولیدی آن به ۳۵۵ مگا وات ساعت می‌رسد، به‌طوری‌که این موارد در مقایسه با نتایج یافته‌های سلطانی وهمکاران (۱۳۸۹) در بررسی پتانسیل انرژی باد ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی بلده مطابقت دارد. ایستگاه ساحلی امیرآباد واقع در شرق مازندران هم با چگالی انرژی (۱۲۷ وات بر مترمربع) در ارتفاع ۵۰ متری در فصل گرم سال که این میزان حتی به بالاتر از ۲۰۰ وات بر متر مربع می‌رسد از نواحی پر باد این استان بعد از ایستگاه بلده قلمداد می‌گردد که با نصب توربین‌های کوچک می‌توان با استحصال انرژی برای بهره‌وری در مصارف کشاورزی نظیر پمپاژ آب چاهها و انرژی منازل استفاده کرد. ایستگاه کوهستانی سیاه‌بیشهٔ چالوس با بیشترین چگالی قدرت باد (۱۰۵ وات بر مترمربع) در ارتفاع ۵۰ متری در اواخر پاییز تا اواسط زمستان (نوامبر تا فوریه) توانی بین ۱۰۰ الی ۱۵۰ وات بر متر مربع دارد. به‌عبارتی ایستگاه سیاه بیشه از اوایل پاییز تا اواسط زمستان دارای حداکثر وزش باد در طول سال است. میزان انرژی سالانهٔ تولیدی این ایستگاه ۲۱۹ مگاوات ساعت است که با نصب توربین‌های کوچک و اخذ انرژی می‌توان در مصارف کشاورزی نظیر پمپاژ آب چاهها استفاده کرد. نتیجهٔ این بررسی با تحقیقات شریفی و همکاران (۱۳۸۵) در امکان‌سنجی احداث نیروگاه برق بادی در جرندق تاکستان وپروین(۱۳۸۹)در ارزیابی پتانسیل انرژی باد در استان قم مطابقت دارد. در نهایت ایستگاههای بابلسر و رامسر به همراه دیگر ایستگاه های موجود در استان به علت پایین بودن درصد وزش و چگالی توان باد برای نصب توربین‌های بادی جهت استحصال برق مناسب نیستند و به‌عبارتی ناحیه نسبتا کم‌باد استان محسوب می‌شوند.

منابع

۱. پروین، نادر. ۱۳۸۹. بررسی انرژی‌های نو در ایران با تأکید بر ارزیابی پتانسیل انرژی باد در استان قم. چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان.

۲. ثقفی، محمود. ۱۳۸۲. انرژی‌های تجدیدپذیر نوین.چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

۳. جمیل، مجید. کمال عباسپورثانی و اسماعیل خراسانی. ۱۳۸۳. فاصلهٔ بهینه بین توربین‌های بادی در یک نیروگاه بادی. نشریه انرژی ایران، سال ۸، شماره:۵۵.

۴. رحیمی، عبدالرحیم.مهدی ثقفی. ۱۳۸۵. ارزیابی فنی و اقتصادی احداث توربین های کوچک برق بادی در بروجرد . علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره هشتم، شماره ۳.

۵. رضایی بنفشه، مجید. سعید جهانبخش.یعقوب دین پژوه ومرضیه اسمعیل پور. ۱۳۹۳. امکان سنجی استفاده از انرژی باد دراستان های اردبیل و زنجان.پژوهش های جغرافیای طبیعی، سال ۴۶، شماره ۳.

۶. سازمان انرژیهای نو ایران (سانا). ۱۳۸۶. انرژی های نـو راه حل حیات بشر در دهه آینده. نشریه اقتصاد انـرژی، شماره ۹۷.
۷. سلطانی، سیدباقر. مسیب رضایی محمودی. منـصـور عزیزخـانی و مجتبـی ذوالجـوادی. ۱۳۸۹. بررسـی پتانسیل انرژی باد به‌منظور امکان‌سنـجی تـأسیـس نیروگـاه بـادی (مطالعـه مـوردی: ایسـتگاه هواشناسـی سینوپتیکی بلده). اولین کنفـرانس بین‌المللی سالانـه انرژی پاک، کرمان، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی.
۸. شـریفی، مهـدی و ابوالفضـل شـیرزاد سـیبنی. ۱۳۸۵. امکان سنجی احـداث نیروگـاه بـرق بـادی در جرنـدق تاکستان باتوجه به پتانسیل جریان باد منطقه. بیست و یکمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانی، پژوهشگاه نیرو.
۹. کیانی‌فر،علی. ۱۳۷۸. بررسی و تحلیل موجودیت انرژی باد در منطقهٔ دیزبـاد خراسـان. دومـین همـایش ملـی انرژی، تهران، کمیتـه ملـی انـرژی جمهـوری اسـلامی ایران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو.
۱۰. مجرد،فیروز.شهرام همتی. ۱۳۹۲. ارزیابی قابلیـت‌هـای انرژی باد در اسـتانهای کرمانشـاه و کردسـتان. نشـریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سـال ۱۳، شـماره ۲۹.
۱۱. محمدی حمیـدی، سـمیه . نوبخـت سـبحانی. ۱۳۹۷. ارزیابی شاخص‌های توسعه پایدار در منطقه خاورمیانـه با تاکید برکشور ایران.مجله آمایش جغرافیایی فضا،دوره ۸، شماره ۲۸.
12. Akpinar, E., and Akpinar, S. 2005. A statistical analysis of wind speed data used in installation of wind energy coversion systems, Energy Conversion and Management. 46: 515- 532.
13. Al-Abbadi, N. 2005. Wind energy resource assessment for five locations in Saudi Arabia, Renewable Energy.30: 1489–1499.
14. Elliott, D. 2000. Philippines Wind Energy Resource Atlas Development, NREL/CP-500-28903.
15. Elliott, D. 2003. Wind Energy Resource Atlas of Armenia, NREL/TP-500-33544. Prepared under Task. WF7C0202.
16. Fadare, D. 2010. The application of artificial neural networks to mapping of wind speed profile for energy application in Nigeria, Applied Energy. 87:934–942.
17. Keyhani, A., Ghasemi, M., Khanali, M., and Abbaszadeh, R. 2010. An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran Energy. 35: 188–201.
18. Landberg, L. 1997. Modelling the wind climate of Ireland, Riso National Laboratory, Wind Energy and Atmospheric Physics Department, Roskilde, Denmark. Boundary-Layer Meteorology. 85: 359–378.
19. Mostafaeipour, A. 2010. Feasibility study of harnessing wind energy for turbine installation in province of Yazd in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14 : 93–111.
20. Mostafaeipoura, A., and Abarghooei, H. 2008. Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 12: 1758–1766.
21. Selic,A. 2003. A statistical analysis of wind power density based on the Wibul and Reyleigh models at the southern region of Turkey, Renewable Energy.29:593_604
22. ShafiuzzamanKhan, K., and Muhtasham, H. 2006. A pre-feasibility study of wind resources in Kutubdia Island, Bangladesh, Renewable Energy. 31: 2329–2341.
23. Tchinda, R., and Kaptouom, E. 2003. Wind energy in Adamou and North Cameroon provinces, Energy Conversion and Management. 44: 845–857.
24. www.mystaya.ca.windographer software available at.
25. www.rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/tables/A-8T.