

## ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل سرعت باد در کشور به منظور برنامه‌ریزی جهت تولید برق بادی

علی حنفی<sup>۱</sup>، فخرالدین ایران پور<sup>۲</sup>

۱- استادیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا دانشگاه افسری امام علی (ع)

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه رازی کرمانشاه و کارشناس هواشناسی همدان

تاریخ وصول: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۳۰

### چکیده

پتانسیل باد، برای تولید انرژی پاک، در بسیاری از نقاط ایران قابل توجه است و پدیده‌ای است که سال‌ها در عرصه هواشناسی مورد بررسی قرار گرفته است. در کلیه مراحل کاری سیستم‌های تبدیل انرژی بادی اطلاعات هواشناسی حائز اهمیت است. در طول این مراحل استفاده از داده‌های سمت و سرعت باد، آستانه‌های باد، دما و فشار به اخذ نتایج بهتر می‌انجامد. در این پژوهش به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل سرعت باد در سطح کشور جهت تولید برق بادی، اطلاعات سمت و سرعت باد ۱۴۵ ایستگاه همدیدی کشور در دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰) از سازمان هواشناسی اخذ و مورد مطالعه قرار گرفت. سپس به منظور شناسایی ایستگاه‌های بادخیز کشور از روش تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید. در ادامه با استفاده از مدل تحلیل خوشه‌ای، ایستگاه‌های همدیدی کشور برحسب سرعت وزش باد در پنج خوشه طبقه‌بندی شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که بسیاری از نواحی ایران از جمله ایستگاه‌های زابل، منجیل، رفسنجان، خور بیرجند، کیش، الیگودرز، تربت‌جام، سیری، جاسک، اردبیل، زرینه اوپاتو، چابهار، بندر ماهشهر، اردستان، ابوموسی، بستان، نوژه همدان، زاهدان و کهنوج برای استفاده از انرژی بادی جهت تولید انرژی الکتریکی بسیار مناسب‌اند. همچنین از آنجایی که فراوانی وقوع بادهای با سرعت بین ۵ تا ۱۵ متر بر ثانیه در این مناطق بالاست، استفاده از توربین‌های کوچک با سرعت آستانه پائین در این نقاط نیز میسر می‌باشد. از لحاظ پتانسیل انرژی باد نیز بیشترین پتانسیل انرژی باد در سطح کشور با مقادیر بیشتر از ۱۵۰۰ ژول در مترمربع مربوط به منطقه منجیل و زابل می‌باشد. بعد از این ایستگاه‌ها، منطقه نهبندان با مقادیر بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ ژول در مترمربع رتبه دوم پتانسیل انرژی باد در سطح کشور را در جهت تولید انرژی بادی دارا می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** ایستگاه همدیدی، انرژی باد، توربین، مبدل انرژی، فراوانی باد، همدان.

## مقدمه

این منابع عبارت‌اند از: انرژی خورشید و باد. البته در طراحی ابزارهای تبدیل انرژی به نوع کاربری و نحوه ذخیره آن نیز باید توجه شود. امروزه انرژی از طریق شبکه‌های الکتریکی، موتورهای مولد ساکن (دیزلی، بنزینی و یا ترکیبی) نیروگاه‌های آبی و گازی و فسیلی، ژنراتورها و توربین‌های بادی و دیگر فن‌آوری‌های جدید درحال توسعه تهیه می‌شود. از مجموع انرژی‌های یادشده موسوم به انرژی‌های نو، به نظر می‌رسد که استفاده از انرژی خورشید و باد در کشور ما اقتصادی‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر باشد. لازم به ذکر است که حدود یک تا دو درصد از انرژی رسیده از خورشید به انرژی باد تبدیل می‌شود (Wilsink, 1978). تغییر اقلیم از جمله مسائل و مشکلات جهان امروز است. از زمان انقلاب صنعتی به بعد، فعالیت‌های انسان، به‌ویژه استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تولید الکتریسیته، یکی از علل احتمالی تغییر اقلیم بوده است (کاوایانی، ۱۳۷۸: ۲۷۳). کاوایانی (۱۳۷۴)، در مقاله‌ای با عنوان توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران، ضمن بررسی انواع توربین‌های بادی و میزان انرژی باد و سرعت لازم برای تولید برق بادی، با استفاده از آمار پنج‌ساله باد (۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵) در ایستگاه‌های همدیدی کشور، به ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران پرداخته و نتیجه گرفته است که در کل کشور، ایستگاه زابل (منطقه سیستان) بهترین شرایط را برای احداث مزارع بادی دارد و پس‌از آن سواحل و جزایر جنوبی ایران برای این امر مناسب هستند. زاهدی و همکاران (۱۳۸۴) به محاسبه چگالی و توان باد به‌منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که ایستگاه اردبیل می‌تواند به عنوان یکی از نقاط مناسب به‌منظور بهره‌برداری از انرژی باد در سطح کشور محسوب شود. رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۵) روند تغییرات بلندمدت سرعت باد را در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین در ۸ ایستگاه هواشناسی همدیدی کشور در طول دوره ۲۰۰۰-۱۹۵۱ با آزمون انحرافات تجمعی، آزمون کرامر، تحلیل رگرسیون و آزمون من‌کنندال موردبررسی قرار دادند؛ نتایج نشان داد که میانگین سرعت باد در تهران و اصفهان دارای روند کاهشی معنادار است و این روند در ارومیه افزایشی و معنادار بوده است. خردادی و همکاران (۱۳۸۶) روند

باد به عنوان یکی از قدیمی‌ترین منابع انرژی از دیرباز مورد توجه و کاربرد انسان بوده است. تبدیل انرژی باد و استحصال انرژی از آن از بدو تاریخ وجود داشته و از حدود ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد از انرژی باد جهت حرکت کشتی در رود نیل استفاده می‌شده است. استفاده مستقیم از باد به‌صورت خشک‌کردن و تهویه و استفاده غیرمستقیم از آن به‌صورت تبدیل انرژی جریان باد به انواع مختلف انرژی جهت آرد کردن غلات، پمپاژ آب به مزارع و استفاده از آن در شبکه سراسری برق می‌باشد. طی سالیان دراز ثابت شده است که می‌توان انرژی باد را به‌صورت انرژی مکانیکی و یا الکتریکی مورد استفاده قرارداد. شواهد و منابع تاریخی نشان می‌دهند که در بسیاری از کشورها نظیر ایران، عراق، مصر، چین، ایتالیا، اسپانیا و ... از انرژی باد جهت آسیاب و آبیاری استفاده می‌شده است. در حال حاضر بیش از ۸۳ درصد از توان انرژی باد، فقط در پنج کشور آلمان، آمریکا، دانمارک، هند و اسپانیا استفاده می‌گردد؛ بنابراین، بیشترین دانش انرژی بادی هم در این کشورها وجود دارد، هرچند کاربرد تکنولوژی انرژی بادی، گسترش سریعی به دیگر نواحی دنیا دارد و اطلاعات موردنیاز هم باید در تمام دنیا گسترش یابد (Patel and etal, 1999). در سال ۱۹۸۱ میلادی تولید برق توسط نیروگاه بادی جهان با رقم ناچیز ۱۵ مگاوات آغاز شد و در خلال سال‌های بعد و سال‌های پایانی دهه هشتاد به‌سرعت توسعه‌یافته و در پایان سال ۱۹۹۲ ظرفیت تولید برق از انرژی باد در جهان به رقم ۶۵۲ مگاوات رسید. این رقم نسبت به سال ۱۹۹۱ افزایشی معادل ۲۳۴۷ مگاوات را نشان می‌دهد که بیانگر رشد سالانه معادل سیزده درصد است. همین امر نیروی بادی را به یکی از سریع‌الرشدترین منابع انرژی در جهان تبدیل کرده است. ارقام نشان می‌دهد که به‌طور بالقوه در جهان ظرفیت بسیار عظیمی برای تولید انرژی از باد وجود دارد. محاسبات نظری نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از انرژی برق در اروپا و آسیا می‌تواند از انرژی باد تأمین گردد. بحران انرژی به‌ویژه انرژی نفت و بحران آلودگی هوا از جمله مسائلی هستند که تداوم و تقویت مطالعات هواشناسی و اقلیم‌شناسی را در جستجوی منابع جدید انرژی‌های پاک ایجاب می‌کنند. اهم

انرژی باد در استان ایلام پرداخته و میزان پتانسیل انرژی باد را برای توربین‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ متری برآورد کردند. Kull (2005) روند تغییرات سرعت باد را در سه ایستگاه واقع در استونی در خلال سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۶۶ مورد بررسی قرارداد؛ نتایج نشان داد که روند تغییرات میانگین سالانه سرعت باد کاهش است، همچنین سرعت باد در فصل تابستان کاهش و در فصل زمستان افزایش داشته است. Mc Vivar (2008) روند تغییرات سرعت باد در سطح زمین (ارتفاع ۲ متری) را در ۱۶۳ ایستگاه هواشناسی در استرالیا طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۷۵ با روش رگرسیون خطی مطالعه کردند؛ آن‌ها نشان دادند که سرعت باد ۸۸ درصد ایستگاه‌های واقع در عرض‌های جغرافیایی میانی استرالیا، دارای روند نزولی است. Wan et al (2010) روند سرعت‌های باد نزدیک سطح زمین ۱۱۷ ایستگاه در کانادا را مورد بررسی قراردادند؛ نتایج نشان داد که روند سرعت باد در قسمت‌های غربی کانادا و بیشتر قسمت‌های جنوبی آن در همه فصول کاهش است؛ ولی در قسمت‌های مرکزی و شمالی در همه فصول و در نواحی دریایی در فصول بهار و پاییز دارای روند افزایشی می‌باشد. Bilal (2013) امکان‌سنجی استفاده از انرژی بادی برای تولید برق در ساحل غرب سنگال را مورد بررسی قرار داده و چگالی توان باد در این منطقه را بین ۳۰ تا ۱۲۰ وات بر مترمربع برآورد کردند. در این تحقیق تلاش شد تا با بررسی متغیر باد در سطح کشور، مکان‌های مناسب برای احداث توربین‌های بادی در سطح کشور شناسایی شود؛ بنابراین این پژوهش باهدف شناخت نواحی بادخیز کشور و پتانسیل انرژی باد انجام گردیده است.

### مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی کشور ایران، تنوع ارتفاعات، تنوع جهت چین‌خوردگی‌ها، نزدیکی به کمربند استوا و برخورداری از ساعت‌های آفتابی طولانی، فراوانی وقوع بادها، وجود رودخانه‌های متعدد و مجاورت با دریاها در شمال و جنوب کشور امکان استفاده از انرژی‌های بادی، آبی، آفتابی و جذر و مدی با ضریب کاربری قابل توجه را فراهم می‌سازد. در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی انرژی باد در کشور از آمار سه‌ساعته سمت و سرعت باد در ایستگاه‌های سینوپتیک

تغییرات چهار پارامتر هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، بارندگی و سرعت باد را در سه ایستگاه تبریز، شیراز و مشهد مورد بررسی قراردادند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که سرعت باد در ایستگاه هواشناسی شیراز دارای روند کاهش معنادار بوده ولی در دو ایستگاه دیگر روند معنادار تجربه نشده است. گندمکار (۱۳۸۸) در پژوهشی به ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران طی دوره آماری ده‌ساله پرداخته و نشان داد که بسیاری از نواحی ایران، از جمله نواحی ساحلی دریای عمان و خلیج فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور به همراه مناطقی مانند منجیل بادخیز هستند و در آن‌ها توان تولید برق بادی، به‌ویژه در فصل تابستان وجود دارد. قهرمان و قره خانی (۱۳۸۹)، نیز روند تغییرات زمانی سرعت باد را در ۴۰ ایستگاه سینوپتیک کشور ایران در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۵ با دو روش نا پارامتری من کندال و ضریب اسپیرمن و دو روش پارامتری رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون، در مقیاس‌ها سالانه و فصلی مورد بررسی قراردادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در بیش از نیمی از ایستگاه‌های مورد بررسی سرعت باد دارای روند معنی‌دار است. شدت روند افزایشی سرعت باد در فصل زمستان بیش‌تر از سایر فصول و در فصل تابستان کمتر از بقیه فصول سال تجربه شده است. نورالهی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی به پتانسیل سنجی انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته و به این نتیجه رسید که در صورت راه‌اندازی توربین Gamesa G58 در منطقه می‌توان حداکثر ۱۸۹۷ مگاوات برق بادی تولید کرد. بختیاری و همکاران (۱۳۹۲) پتانسیل انرژی باد بر مبنای داده‌های کوتاه‌مدت ۱۰ دقیقه‌ای در مناطق کرمان، جیرفت و بم را با استفاده از توزیع احتمال و محاسبه تابع چگالی بررسی کردند. روشن و همکاران (۱۳۹۳) پتانسیل انرژی باد را در برخی از ایستگاه‌های منتخب ایران بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ایستگاه‌های زابل، اردبیل و کیش به ترتیب با ۳۰۴۲، ۱۶۷۵ و ۱۰۹۲ وات بر مترمربع بالاترین توان انرژی بادی را در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه دارند. محمدی و محمودی (۱۳۹۵) در پژوهشی به امکان‌سنجی استفاده از

خوشه‌ای پایگانی به روش ادغام وارد برای شناسایی پهنه‌ها و تیپ‌های بادخیز کشور اعمال گردید. به‌منظور محاسبه درجه همانندی از فاصله اقلیدسی و برای ادغام اقلیمی که بالاترین همانندی را نشان می‌دهند از شیوه پیوند وارد بهره گرفته شد. روشن است که برای  $n$  مشاهده  $n(n-1)/2$  فاصله قابل محاسبه است. فرض کنید  $X_r$  بردار مشاهدات بر روی  $r$  و  $X_s$  بردار مشاهدات بر روی  $s$  باشد در این صورت فاصله اقلیدسی در بالا به‌صورت زیر محاسبه می‌شود: رابطه ۱:

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad (1)$$

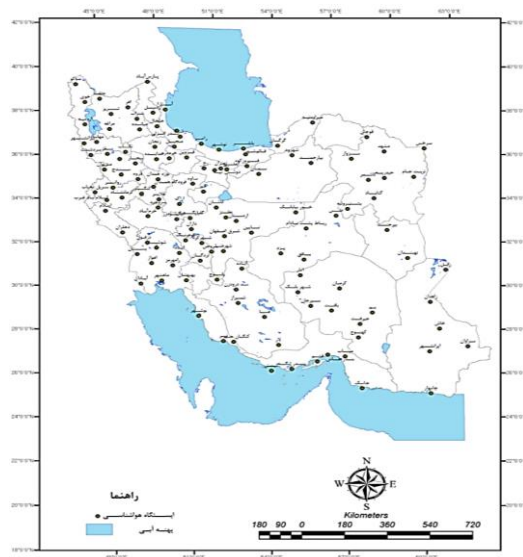
در مطالعات اقلیمی غالباً برای محاسبه درجه ناهمانندی از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود. در روش وارد گروه‌های  $r$  و  $s$  در صورتی ادغام می‌شوند که افزایش پراش ناشی از ادغام آن‌ها نسبت به ادغام هریک از آن‌ها با دیگر گروه‌ها کمینه باشد، یعنی: رابطه ۲:

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)' \quad (2)$$

در اینجا  $d_{rs}^2$  فاصله بین گروه  $r$  و گروه  $s$  است که به روش پیوند مرکزی به‌دست‌آمده باشد. در مطالعات اقلیم‌شناختی عمدتاً از روش وارد استفاده می‌شوند زیرا در این صورت میزان پراش درون‌گروهی به حداقل و همگنی گروه‌های حاصله به حداکثر می‌رسد (مسعودیان، ۱۳۸۵: ۷).

کشور استفاده شد. ابتدا آمار سمت و سرعت باد با فرکانس سه‌ساعته (ساعت‌های ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ بر اساس زمان گرینویچ) برای تعداد ۱۸۳ ایستگاه در سطح کشور بررسی گردید و با توجه به دوره زمانی موردنیاز (بیست‌ساله از اول ژانویه ۱۹۹۱ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۰) تعداد ۱۴۵ ایستگاه که دارای آمار کامل برای تمام دوره بودند، انتخاب شدند و در ادامه میانگین سرعت باد و پتانسیل انرژی باد و احتمال وقوع بادهای با سرعت مناسب برای استفاده از انرژی باد جهت تولید برق بادی (حدود ۸ نات یا ۴ متر بر ثانیه و بیشتر) محاسبه گردید. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق در شکل (۱) نشان داده شده است. در ادامه به‌منظور شناسایی پهنه‌های بادخیز در سطح کشور جهت تولید برق بادی، از روش تحلیل خوشه‌ای در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. در یک تحلیل خوشه‌ای دو گام اساسی وجود دارد. گام اول محاسبه درجه همانندی افراد با یکدیگر است و گام دوم چگونگی ادغام افراد برحسب درجه همانندی آن‌ها با یکدیگر.

درواقع هدف اصلی روش خوشه‌بندی ایجاد گروه‌ها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون‌گروهی آن‌ها کمتر از تفرق و پراکنش بین گروهی باشد (علیچانی، ۱۳۸۱، ۱۷۲). بسته به روشی که برای محاسبه درجه همانندی و چگونگی ادغام انتخاب می‌کنیم، تحلیل خوشه‌ای را می‌توان با شیوه‌های مختلفی اجرا کرد. در این پژوهش یک تحلیل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

### برآورد سرعت باد در ارتفاع بالاتر

در قسمت‌های زیرین تروپوسفر با افزایش ارتفاع به دلیل کاهش نیروی اصطکاک سرعت باد افزایش می‌یابد. طبق استاندارد سازمان هواشناسی جهانی، اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری صورت می‌گیرد؛ اما جهت نصب توربین بادی، میزان سرعت باد در ارتفاعات بالاتر موردنیاز است. در این پژوهش برای تبدیل سرعت باد از ارتفاع ۱۰ به ۴۰ متری از رابطه زیر استفاده گردید:

$$\frac{v}{v_{ref}} = \left( \frac{z}{z_{ref}} \right)^{\alpha} \quad (3)$$

در رابطه بالا  $v$  = سرعت باد در ارتفاع  $z$  بالای سطح زمین (سرعت باد در ارتفاع موردنظر)

$v_{ref}$  = سرعت مرجع یا سرعت بادی که در ارتفاع  $z_{ref}$  اندازه‌گیری شده است (ارتفاع ۱۰ متری)

تابع میزان زبری و ناهمواری سطح زمین است و معمولاً در مناطق دشت و کوهپایه‌ای بین ۰/۲ تا ۱/۳ در نظر گرفته می‌شود.  $\alpha$

### محاسبه انرژی پتانسیل باد

جهت برآورد میزان انرژی باد از رابطه زیر استفاده گردید:

$$W = \frac{1}{2} \rho v^3 AT \quad \text{رابطه ۴}$$

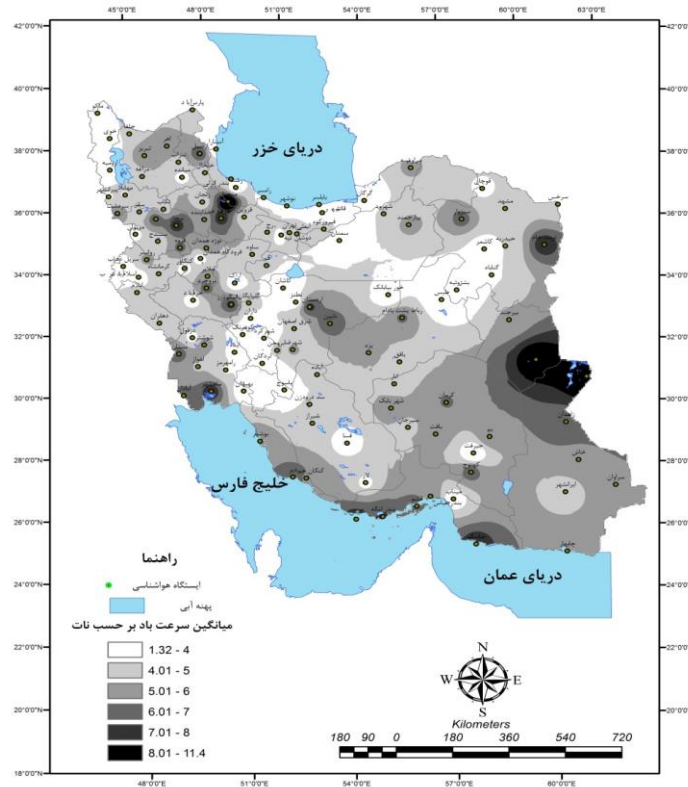
در رابطه بالا  $\rho$  چگالی هوا (برای شرایط استاندارد ۱/۲۲۵ کیلوگرم در مترمکعب)،  $v$  سرعت باد (برحسب متر بر ثانیه)،  $A$  مساحت (مترمربع)،  $T$  زمان (ثانیه) و  $W$  مقدار انرژی برحسب ژول است.

### یافته‌های تحقیق

به‌منظور به دست آوردن شناخت کلی از پهنه‌های بادخیز کشور، میانگین سالانه سرعت باد در سطح کشور مورد ارزیابی قرار گرفته و با استفاده از آمار ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک کشور، نقشه پهنه‌بندی سرعت باد ترسیم گردید (شکل ۲). بالاترین میانگین سالانه سرعت باد در ایران، مربوط به ایستگاه منجیل با سرعتی حدود ۱۱/۵ نات و پس‌از آن ایستگاه زابل با سرعت ۱۰/۵ نات می‌باشد که اختلاف زیادی را با دیگر ایستگاه‌های کشور نشان می‌دهند. در مرحله بعد ایستگاه‌های نهبندان، الیگودرز، اردبیل، اردستان، بندر دیر، بندرلنگه، بند ماهشهر، بیجار، بستان،

بروجرد، قروه، جاسک، قشم، کیش، کهنوج، خرمدره، نائین هم میانگین سالانه سرعت باد بالای ۷ نات دارند. همچنین ایستگاه‌های سیری، زرینه اوباتو، تربت‌جام، بندر چابهار، ابوموسی، تبریز، زاهدان، نوژه همدان، سردشت و کهنوج هم دارای متوسط سالانه سرعت باد بین ۶ تا ۷ نات هستند. پایین‌ترین میانگین سالانه سرعت باد، مربوط به ایستگاه کاشان با حدود ۱/۳ نات است و ایستگاه‌های نیشابور، رشت، بشرویه، شمال تهران، خوی، آستارا، کاشمر، میناب، یاسوج، فسا، زرقان، شاهرود، شهرکرد، گرگان، پارس‌آباد، خور و بیابانک، بهبهان، سرپل ذهاب، طبس، قوچان، قزوین و دزفول دارای میانگین سالانه سرعت باد زیر ۳ نات هستند.

بر اساس میانگین سالانه سرعت باد، نواحی ساحلی دریای عمان و جزایر خلیج فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور به همراه چند نقطه پراکنده مانند منجیل، رفسنجان، اردبیل و بیجار بادخیزترین مناطق کشور و سواحل دریای مازندران، دامنه‌های جنوبی البرز و دامنه‌های شرقی و جنوبی زاگرس آرام‌ترین مناطق کشور هستند. سریع‌ترین باد ثبت‌شده در ایستگاه‌های کشور، مربوط به ایستگاه خور بیرجند با سرعت ۷۸ نات (۳۹ متر بر ثانیه) است. ایستگاه‌های سردشت، سرپل ذهاب، آستارا و منجیل هم بادهایی با سرعت بالای ۶۰ نات ثبت نموده‌اند. از نظر درصد وزش بادها با سرعت بالاتر از ۸ نات در ایستگاه‌های کشور، ایستگاه رفسنجان در حدود ۶۶ درصد از مواقع سال دارای باد با سرعت بالای ۸ نات است و از این نظر دارای رتبه اول است. پس‌از آن، ایستگاه زابل با حدود ۶۴ درصد در رتبه دوم جای دارد، ایستگاه‌های الیگودرز، تربت‌جام، خور بیرجند، سیری، کیش، جاسک، زرینه اوباتو، منجیل و چابهار هم در بیش از ۵۰ درصد زمان‌ها باد با سرعت بالای ۸ نات دارند. ایستگاه کاشان، فقط در حدود ۴ درصد از مواقع سال دارای باد با سرعت بالای ۸ نات است و از این نظر، در رده آخر قرار دارد. ایستگاه‌های رشت، شمال تهران، کاشمر و گرگان هم کمتر از ۱۰ درصد از مواقع سال دارای باد با سرعت بالای ۸ نات هستند.



شکل ۲- میانگین سالیانه سرعت وزش باد بر حسب نات

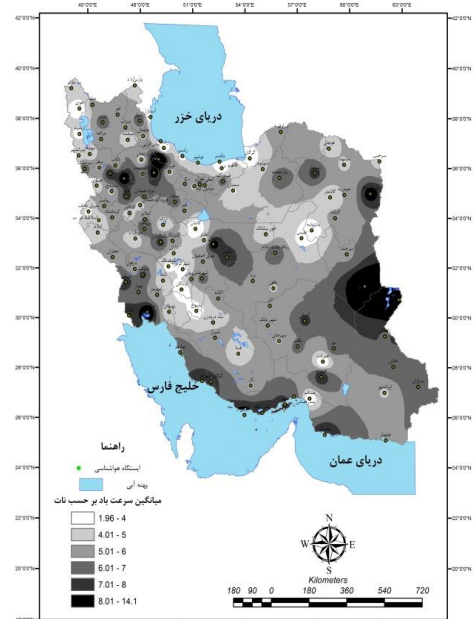
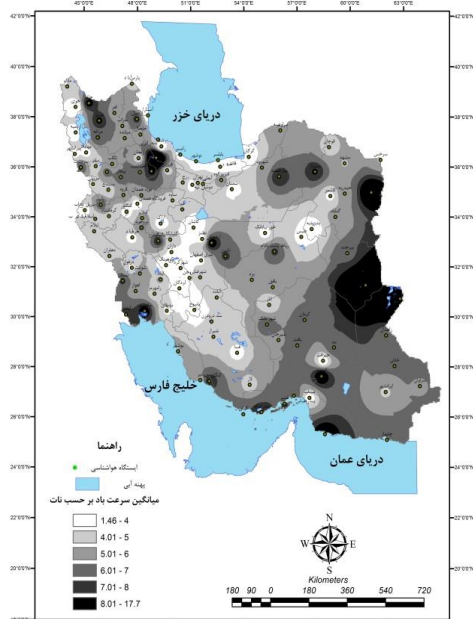
بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخشی از منطقه سیستان و بلوچستان و سواحل جنوبی کشور از شرق جاسک تا قسمتی از تنگه هرمز و جزیره قشم، کیش، لاوان و نوار ساحلی از بندرلنگه تا حوالی خارک از توان بالقوه بادخیزی مناسبی برخوردار است. در ایستگاه‌های حوزه داخلی حداکثر سرعت باد در فصل بهار و تابستان است. مناطقی که محتمل‌ترین باد ناحیه ۲/۲ نات و میانگین سرعت باد ۵ نات است، برای نصب نیروگاه مناسب نیستند.

به‌منظور پیدا کردن شناخت بهتر از وضعیت سرعت باد در سطح کشور، میانگین سرعت باد در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان نیز مورد مطالعه قرار گرفت. بیشترین میانگین سرعت باد در فصل بهار در سطح کشور، مربوط به ایستگاه منجیل با سرعت حدود ۱۳/۵ نات و پس‌از آن ایستگاه زابل با سرعت ۱۲/۴ نات می‌باشد که اختلاف زیادی را با دیگر ایستگاه‌های کشور نشان می‌دهد. در مرحله بعد ایستگاه‌های نهبندان و بندر ماهشهر با میانگین سالانه سرعت باد بالای ۹ نات قرار دارند (شکل ۳). در فصل تابستان میانگین سرعت باد در اکثر نقاط کشور بیشتر از بقیه فصول سال می‌باشد.

به‌طور کلی میانگین سالانه سرعت باد از حدود ۷ نات در سواحل جنوبی دریای خزر، دشت گرگان، ناحیه سرخس و سقز تا ۹/۴ نات در ایستگاه زاهدان متغیر است. میانگین سرعت بادها در سواحل جنوبی کشور تا ۹ نات افزایش می‌یابد. در بخش‌هایی از استان سیستان و بلوچستان، جنوب شرقی استان خراسان، شمال شرقی استان کرمان، دشت واقع بین چاله اصفهان سیرجان و بخش شمال غربی جلگه خوزستان و دشت اردبیل میانگین سرعت باد ۸ نات است. در شهرستان همدان بیشترین فراوانی سرعت وزش باد مربوط به گروه سرعت ۲ تا ۶ نات بوده است اگرچه سرعت وزش باد ماکزیمم در این ایستگاه به ۴۵ متر بر ثانیه نیز رسیده است. بخشی از مناطق جنوبی و شرقی کشور و آذربایجان شرقی، تهران و همدان و سیرجان از ساعات آرام کمتری برخوردارند. در آذربایجان غربی حدود ۹۰ درصد اوقات سال باد آرام است. در شهرهای مختلف استان چهارمحال و بختیاری درصد فراوانی وقوع بادهایی که سرعت آن‌ها بین ۱۲ تا ۳۰ نات است، کم می‌باشد. لذا جزء مناطق مساعد جهت استحصال انرژی از باد نمی‌باشد.

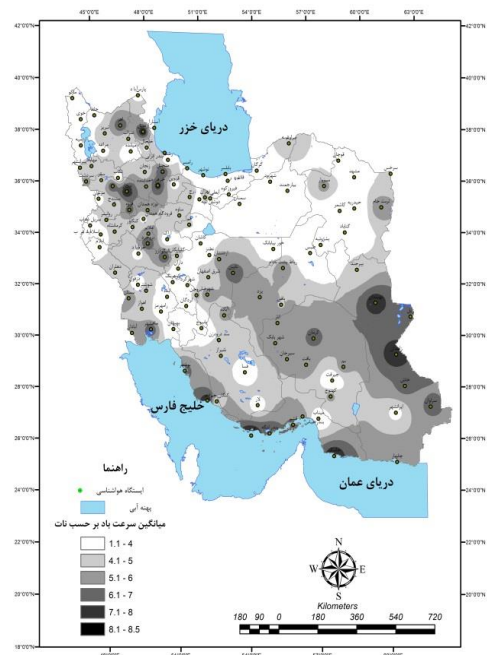
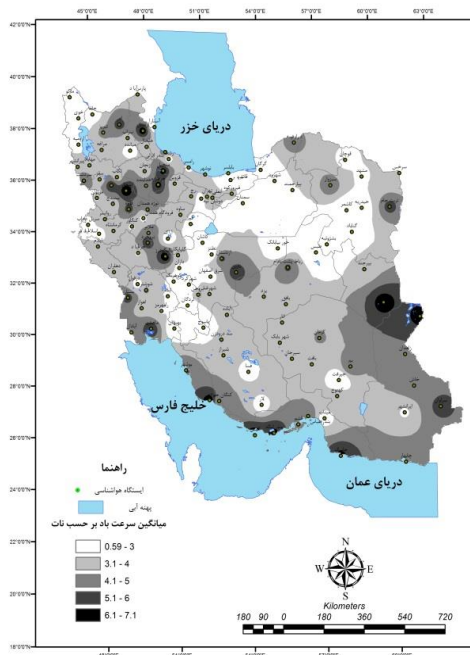
زابل، نهبندان و بیجار می‌باشد (شکل ۵). سرعت وزش باد در فصل زمستان و در سطح کشور نسبت به فصل پاییز بیشتر و نسبت به فصول بهار و تابستان کمتر است. به‌گونه‌ای که سرعت وزش باد در این فصل بین ۱ تا ۸/۵ نات در سطح کشور متغیر است. بیشترین میانگین سرعت وزش باد با حدود ۸ نات در ایستگاه‌های نهبندان، زاهدان، جاسک، بیجار و اردبیل اتفاق می‌افتد (شکل ۶).

بیشترین سرعت وزش باد نیز در فصل تابستان با سرعت بیشتر از ۱۲ نات در ایستگاه‌های زابل، نهبندان و منجیل اتفاق می‌افتد (شکل ۴). در فصل پاییز میانگین سرعت باد در مناطق مختلف کشور نسبت به فصل‌های بهار و تابستان پایین است به‌گونه‌ای که میانگین سرعت وزش باد در هیچ‌یک از نقاط کشور از ۷ نات تجاوز نمی‌کند. بیشترین سرعت وزش باد در این فصل نیز مربوط به ایستگاه‌های



شکل ۳- میانگین سرعت وزش باد در فصل بهار برحسب نات

شکل ۴- میانگین سرعت وزش باد در فصل تابستان برحسب نات



شکل ۵- میانگین سرعت وزش باد در فصل پاییز برحسب نات

شکل ۶- میانگین سرعت وزش باد در فصل زمستان برحسب نات

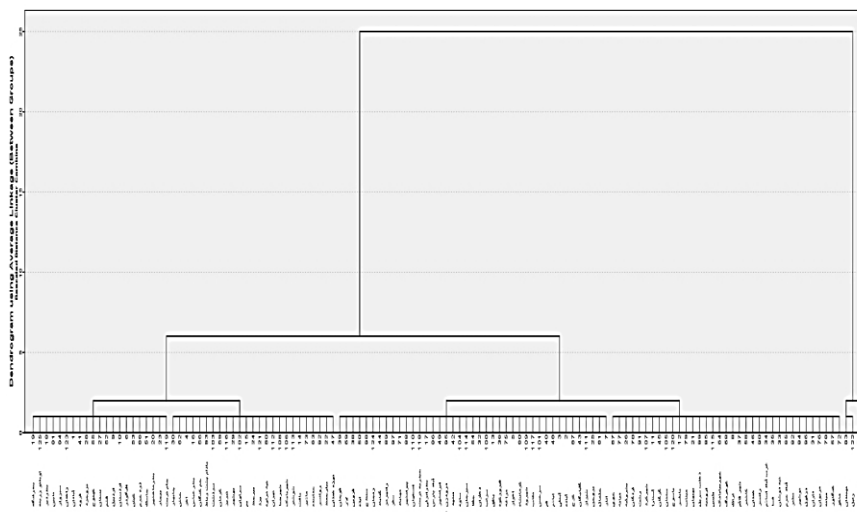
سبزوار، تربت‌جام، زاهدان، زرنه اوباتو است که این ایستگاه‌ها نیز در برخی از ماه‌های سال یا بعضی از زمان‌های شبانه‌روز از پتانسیل مناسب انرژی بادی جهت تولید انرژی الکتریکی برخوردار می‌باشند که در طبقه مناسب قرار می‌گیرند. میانگین سالیانه سرعت باد در این مناطق در حدود ۷/۲ نات است.

**گروه سوم** شامل ایستگاه‌های اهر، بافت، بم، بندرعباس، بیارجمند، بیرجند، بوشهر، چابهار، نوزه همدان، کنگان چم، کرمان، خاش، خدابنده، ملایر، مراوه‌تپه، روانسر، رباط پشت بادام، سراوان، سردشت، شهربابک، شهر رضا، تهران، شوشتر، تبریز و یزد است که از لحاظ پتانسیل بادخیزی در جهت تولید انرژی بادی از شرایط خیلی مناسبی برخوردار نیستند و در زمان‌های محدودی از سال، برای تولید برق بادی در مقادیر کوچک و استفاده از باد برای پمپاژ آب مناسب‌اند. میانگین سالانه سرعت باد در این مناطق حدود ۵/۶ نات می‌باشد.

بعد از پیدا کردن شناخت کلی از میانگین سرعت باد در سطح کشور در فصول مختلف سال، در ادامه به منظور شناسایی و طبقه‌بندی سرعت باد و پهنه‌های بادخیز در سطح کشور، از روش تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید. به منظور محاسبه درجه همانندی از فاصله اقلیدسی و برای ادغام اقلیمی که بالاترین همانندی را نشان می‌دهند از شیوه پیوند وارد بهره گرفته شد و ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک کشور بر اساس میزان سرعت باد در پنج طبقه اصلی قرار گرفتند (شکل ۷).

**گروه اول** شامل سه ایستگاه منجیل، نهبندان و زابل است که برای استفاده از انرژی بادی جهت تولید انرژی الکتریکی در اغلب روزها و ماه‌های سال بسیار مناسب‌اند به گونه‌ای که میانگین سالیانه سرعت باد در این ایستگاه‌ها حدود ۱۰/۵ نات می‌باشد.

**گروه دوم** شامل ایستگاه‌های آبادان، الیگودرز، اردبیل، اردستان، بندر دیر، بندرلنگه، بند ماهشهر، بیجار، بستان، بروجرد، قروه، جاسک، قشم، کیش، کهنوج، خرمدره، نائین،



شکل ۷- نمودار خوشه‌بندی پتانسیل بادخیزی در سطح کشور

ساوه، شهرود، اصفهان، شیراز، سیرجان، تکاب، تربت‌حیدریه و زنجان است که دارای پتانسیل ضعیف انرژی بادی جهت تولید انرژی الکتریکی می‌باشند. میانگین سالانه سرعت باد در این مناطق حدود ۴/۳ نات است.

**گروه چهارم** شامل ایستگاه‌های آباد، آبعلی، اهواز، انار، بافق، بندر انزلی، بروجن، دهلران، فیروزکوه، قزوین، قوچان، قم، مشهد، گلپایگان، گناباد، ایلام، ایرانشهر، ایذه، جلفا، کرمانشاه، خلخال، لار، مهاباد، مراغه، پارس‌آباد، کرج، پیرانشهر، رامهرمز، درود زن، سقز، سنندج، سراب، سرخس،



گروه پنجم شامل ایستگاه‌های اراک، آستارا، بابلسر، بهبهان، بشرویه، داران، دوشان تپه، اسلام‌آباد غرب، فسا، قائمشهر، گرگان، همدان، کنگاور، کاشمر، خور بیابانک، خرم‌آباد، خوی، کوه‌رنگ، لردگان، ماکو، مریوان، میانه، میناب، نطنز، نوشهر، ارومیه، رامسر، رشت، دزفول، سرپل ذهاب، سمنان، شهرکرد، طبرس و یاسوج می‌باشند که دارای متوسط سالانه سرعت باد بسیار پایین هستند و همچنین از نظر درصد

زمان‌های با سرعت باد بالا محدودیت زیادی دارند و در واقع، مناطق بسیار آرامی هستند و برای استفاده از انرژی باد مناسب نیستند. میانگین سالانه سرعت باد در این مناطق حدود ۲/۹ نات است. طبقه‌بندی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور از نظر میانگین سرعت باد در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور از نظر میانگین سرعت باد

خوشه	پتانسیل انرژی بادی	نام ایستگاه
۱	خیلی خوب	منجیل، نهبندان، زابل
۲	خوب	آبادان، الیگودرز، اردبیل، اردستان، بندر دیر، بندرلنگه، بند ماهشهر، بیجار، بستان، بروجرد، قروه، جاسک، قشم، کیش، کهنوج، خرمدره، نائین، سبزواری، تربت‌جام، زاهدان، زرینه اوباتو، رباط پشت بادام
۳	متوسط	اهر، بافت، بم، بندرعباس، بیارجمند، بیرجند، بوشهر، چابهار، نوزه همدان، کنگان چم، کرمان، خاش، خداآبنده، ملایر، مراوه‌تپه، روانسر، سراوان، سردشت، شهربابک، شهر رضا، تهران، شوشتر، تبریز، یزد
۴	ضعیف	آباد، آبدلی، اهواز، انار، بافق، بندر انزلی، بروجن، دهلران، فیروزکوه، قزوین، قوچان، قم، مشهد، گلپایگان، گناباد، ایلام، ایرانشهر، ایذه، جلفا، کرمانشاه، خلخال، لار، مهاباد، مراغه، پارس‌آباد، کرج، پیرانشهر، رامهرمز، درود زن، سقز، سنندج، سراب، سرخس، ساوه، شهرود، اصفهان، شیراز، سیرجان، تکاب، تربت‌حیدریه، زنجان
۵	خیلی ضعیف	اراک، آستارا، بابلسر، بهبهان، بشرویه، داران، دوشان تپه، اسلام‌آباد غرب، فسا، قائمشهر، گرگان، همدان، کنگاور، کاشمر، خور بیابانک، خرم‌آباد، خوی، کوه‌رنگ، لردگان، ماکو، مریوان، میانه، میناب، نطنز، نوشهر، ارومیه، رامسر، رشت، دزفول، سرپل ذهاب، سمنان، شهرکرد، طبرس، یاسوج

می‌رسد. از نظر زمان، به‌جز ایستگاه زابل که در هنگام صبح بادخیزی در سطح کشور (خوشه ۱ و ۲)، جهت وزش باد و ماه‌های بادخیزی این مناطق در طول سال نیز مورد مطالعه قرار گرفت. به‌طور کلی، در کشور ایران ماه‌های آوریل تا اوت (فصل‌های بهار و تابستان) بسیار بادخیز هستند و در دو ماه ژوئن و ژوئیه که گرم‌ترین ماه‌های سال می‌باشند، بیشتر نقاط ایران دارای توان تولید انرژی برق بادی هستند و از آنجاکه در این ماه‌ها میزان مصرف انرژی الکتریکی به علت گرمای هوا افزایش می‌یابد، لذا استفاده از انرژی پاک و رایگان باد برای تولید برق بسیار ضروری به نظر

می‌رسد. از نظر زمان، به‌جز ایستگاه زابل که در هنگام صبح بادخیزی در سطح کشور (خوشه ۱ و ۲)، جهت وزش باد و ماه‌های بادخیزی این مناطق در طول سال نیز مورد مطالعه قرار گرفت. به‌طور کلی، در کشور ایران ماه‌های آوریل تا اوت (فصل‌های بهار و تابستان) بسیار بادخیز هستند و در دو ماه ژوئن و ژوئیه که گرم‌ترین ماه‌های سال می‌باشند، بیشتر نقاط ایران دارای توان تولید انرژی برق بادی هستند و از آنجاکه در این ماه‌ها میزان مصرف انرژی الکتریکی به علت گرمای هوا افزایش می‌یابد، لذا استفاده از انرژی پاک و رایگان باد برای تولید برق بسیار ضروری به نظر

می‌رسد. از نظر زمان، به‌جز ایستگاه زابل که در هنگام صبح بادخیزی در سطح کشور (خوشه ۱ و ۲)، جهت وزش باد و ماه‌های بادخیزی این مناطق در طول سال نیز مورد مطالعه قرار گرفت. به‌طور کلی، در کشور ایران ماه‌های آوریل تا اوت (فصل‌های بهار و تابستان) بسیار بادخیز هستند و در دو ماه ژوئن و ژوئیه که گرم‌ترین ماه‌های سال می‌باشند، بیشتر نقاط ایران دارای توان تولید انرژی برق بادی هستند و از آنجاکه در این ماه‌ها میزان مصرف انرژی الکتریکی به علت گرمای هوا افزایش می‌یابد، لذا استفاده از انرژی پاک و رایگان باد برای تولید برق بسیار ضروری به نظر

## جدول ۲- ویژگی‌های باد در ایستگاه‌های بادخیز کشور

ردیف	ایستگاه	سرعت باد (نات)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	ماه‌های بادخیز	جهت باد غالب
۱	منجیل	۱۱/۴	۵/۹	فوریه تا اکتبر	شمال
۲	زابل	۱۰/۴	۵/۳	فوریه تا نوامبر	شمال غرب
۳	نهبندان	۹/۵	۴/۹	ژوئن تا آگوست	شمال
۴	ماهشهر	۸	۴/۱	آوریل تا آگوست	شمال غرب
۵	بیجار	۸	۴/۱	مارس تا سپتامبر	جنوب
۶	تربت‌جام	۷/۹	۴/۱	می تا آگوست	شمال غرب
۷	جاسک	۷/۸	۴	مارس، جولای تا سپتامبر	شمال غرب و جنوب شرق
۸	کیش	۷/۸	۴	فوریه تا می	شمال غرب
۹	خرمدره	۷/۸	۴	تمام سال	غرب و شرق
۱۰	الیگودرز	۷/۶	۳/۹	تمام سال	جنوب شرق
۱۱	اردستان	۷/۵	۳/۹	می تا آگوست	شمال شرق
۱۲	اردبیل	۷/۴	۳/۸	تمام سال	غرب و شرق
۱۳	بندرلنگه	۷/۱	۳/۶	آوریل	جنوب غرب
۱۴	زرینه اوباتو	۷/۱	۳/۶	تمام سال	جنوب غرب و غرب
۱۵	نائین	۷	۳/۶	مارس، آوریل، ژوئن و جولای	غرب و شمال شرق
۱۶	بندر دیر	۶/۹	۳/۵	فوریه تا سپتامبر	شمال غرب
۱۷	بستان	۶/۷	۳/۴	می تا آگوست	غرب
۱۸	بروجرد	۶/۷	۳/۴	فوریه تا آوریل	جنوب
۱۹	کهنوج	۶/۷	۳/۴	ژوئن تا سپتامبر	جنوب غرب
۲۰	جزیره قشم	۶/۶	۳/۴	نوامبر تا می	غرب
۲۱	سبزواری	۶/۵	۳/۳	ژوئن تا آگوست	شرق
۲۲	زاهدان	۶/۵	۳/۳	فوریه تا سپتامبر	شمال شرق
۲۳	آبادان	۶/۴	۳/۳	می تا سپتامبر	شمال غرب
۲۴	قروه	۶/۴	۳/۳	مارس تا سپتامبر	جنوب غرب
۲۵	پشت بادام	۶/۲	۳/۲	مارس، آوریل، جولای	جنوب غرب و شمال

بادخیز کشور در شکل (۸) نشان داده شده است. بعد از برآورد فراوانی وقوع بادهای با سرعت بیش از ۴ متر بر ثانیه در ایستگاه‌های بادخیز کشور، این ایستگاه‌ها در پنج طبقه رتبه‌بندی گردید. رتبه یک شامل ایستگاه‌هایی است که فراوانی وقوع بادهای با سرعت بیش از ۴ متر بر ثانیه در طول سال بیش از ۴۰ درصد است که تنها شامل ایستگاه منجیل می‌باشد. رتبه دو مربوط به ایستگاه‌هایی است که فراوانی وقوع بادهای با سرعت بیش از ۴ متر بر ثانیه در طول سال بین ۳۰ تا ۴۰ درصد می‌باشد که ایستگاه‌های زابل، تربت‌جام و بندر دیر را شامل می‌گردد. رتبه سوم

## تحلیل درصد فراوانی سرعت باد

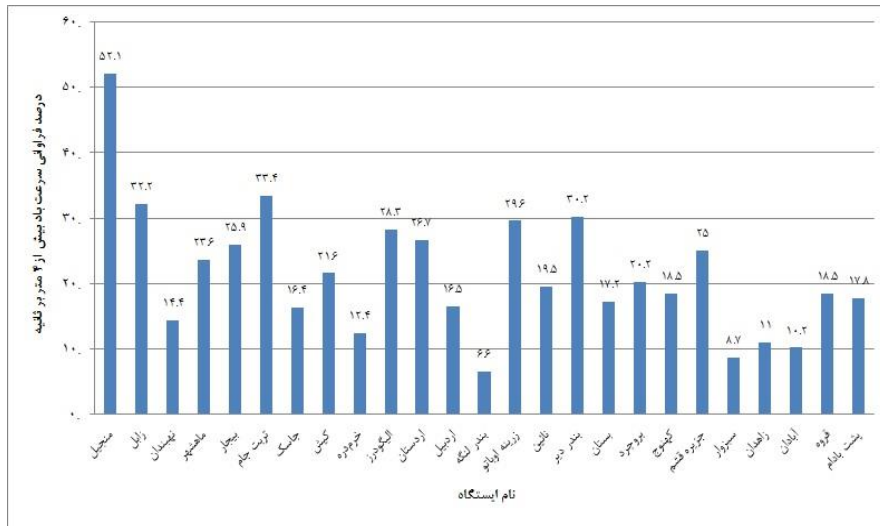
با توجه اهمیت تداوم سرعت باد برای به حرکت درآوردن توربین‌های بادی، در این قسمت درصد فراوانی وقوع سرعت باد در ایستگاه‌های بادخیز کشور در پنج طبقه ۰ تا ۱ متر بر ثانیه، ۱ تا ۲ متر بر ثانیه، ۲ تا ۴ متر بر ثانیه، ۴ تا ۶ متر بر ثانیه و بیشتر از ۶ متر بر ثانیه محاسبه گردید (جدول ۳). سپس درصد فراوانی وقوع بادهای با سرعت مناسب برای استفاده از انرژی باد جهت تولید برق بادی (حدود ۴ متر بر ثانیه و بیشتر) مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد فراوانی سرعت باد بیش از ۴ متر بر ثانیه در ایستگاه‌های

فراوانی سرعت باد، ایستگاه‌های با رتبه‌های یک، دو و سه به ترتیب به عنوان ایستگاه‌های بسیار مناسب، مناسب و متوسط انتخاب و در ادامه انرژی پتانسیل باد در این ایستگاه‌ها برآورد گردید.

ایستگاه‌های با فراوانی وقوع بادهای بیش از ۴ متر بر ثانیه بین ۲۰ تا ۳۰ درصد، رتبه چهارم ایستگاه‌های با فراوانی وقوع بادهای بیش از ۴ متر بر ثانیه بین ۱۰ تا ۲۰ درصد و رتبه پنجم ایستگاه‌های با فراوانی وقوع بادهای بیش از ۴ متر بر ثانیه کمتر از ۱۰ درصد را شامل می‌گردد. بعد از رتبه‌بندی ایستگاه‌های بادخیز کشور بر اساس تداوم و

جدول ۳- درصد فراوانی سرعت باد در ایستگاه‌های بادخیز کشور

رتبه	سرعت باد برحسب متر بر ثانیه						ایستگاه	ردیف
	بیشتر از ۴	بیشتر از ۶	۴ تا ۶	۲ تا ۴	۱ تا ۲	۰ تا ۱		
۱	۵۲/۱	۳۳/۱	۱۹	۱۶/۶	۱۱/۸	۱۹/۵	منجیل	۱
۲	۳۲/۲	۱۴/۷	۱۸	۱۵/۵	۱۵/۴	۳۶/۴	زابل	۲
۴	۱۴/۴	۴/۴	۱۰	۲۳/۶	۳۳/۴	۲۸/۷	نهبندان	۳
۳	۲۳/۶	۶/۸	۱۶/۸	۲۲/۳	۲۹/۴	۲۴/۸	ماهشهر	۴
۳	۲۵/۹	۱۰/۳	۱۵/۶	۱۹/۷	۲۴/۹	۲۹/۶	بیجار	۵
۲	۳۳/۴	۱۵	۱۸/۴	۲۲/۷	۲۲/۶	۲۱/۴	ترت‌جام	۶
۴	۱۶/۴	۴/۷	۱۱/۷	۱۷/۵	۳۶	۳۰/۲	جاسک	۷
۳	۲۱/۶	۸/۱	۱۳/۵	۱۵/۸	۲۵/۸	۳۶/۹	کیش	۸
۴	۱۲/۴	۲/۸	۹/۶	۱۴/۱	۲۷/۱	۴۶/۳	خرمدره	۹
۳	۲۸/۳	۱۰/۸	۱۷/۵	۱۳/۷	۲۰/۱	۳۷/۵	الیگودرز	۱۰
۳	۲۶/۷	۹	۱۷/۷	۲۳/۸	۲۶/۳	۲۳/۲	اردستان	۱۱
۴	۱۶/۵	۶/۶	۹/۹	۱۶/۹	۲۴/۹	۴۱/۱	اردبیل	۱۲
۵	۶/۶	۰/۹	۵/۷	۲۰	۴۳/۷	۲۹/۷	بندرلنگه	۱۳
۳	۲۹/۶	۱۳/۸	۱۵/۸	۱۶/۴	۲۰	۳۴	زرینه اوباتو	۱۴
۴	۱۹/۵	۵/۴	۱۴/۱	۲۰/۶	۳۵/۲	۲۴/۷	نائین	۱۵
۲	۳۰/۲	۱۴/۷	۱۵/۵	۱۵/۷	۲۴/۹	۲۹/۳	بندر دیر	۱۶
۴	۱۷/۲	۶	۱۱/۲	۲۰/۶	۲۸/۲	۳۴	بستان	۱۷
۳	۲۰/۲	۶/۳	۱۳/۹	۲۴/۵	۲۷/۹	۲۷/۴	بروجرد	۱۸
۴	۱۸/۵	۶/۸	۱۱/۷	۱۸/۶	۲۱	۴۲	کهنوج	۱۹
۳	۲۵	۸/۸	۱۶/۲	۲۴/۲	۳۳	۱۷/۸	جزیره قشم	۲۰
۵	۸/۷	۱/۶	۷/۱	۱۶/۵	۲۹/۳	۴۵/۵	سبزوار	۲۱
۴	۱۱	۲/۸	۸/۲	۱۶	۳۲/۵	۴۰/۵	زاهدان	۲۲
۴	۱۰/۲	۲/۸	۷/۴	۱۸/۳	۳۱	۴۰/۶	آبادان	۲۳
۴	۱۸/۵	۶/۸	۱۱/۷	۱۹/۵	۲۴/۱	۳۷/۹	قروه	۲۴
۴	۱۷/۸	۳/۴	۱۴/۴	۲۱/۷	۳۵	۲۵	پشت بادام	۲۵

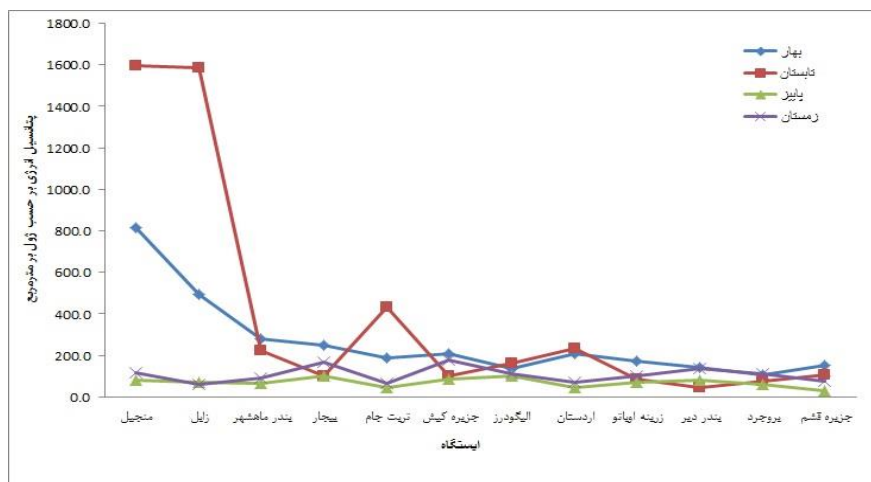


شکل ۸- درصد فراوانی سرعت باد بیش از ۴ متر بر ثانیه در ایستگاه‌های بادخیز کشور

بیشترین میزان انرژی پتانسیل باد به ترتیب با ۸۱۷ و ۴۹۲ ژول بر مترمربع در ایستگاه‌های منجیل و زابل وجود دارد. به‌طور کلی کمترین میزان انرژی پتانسیل باد در سطح کشور مربوط به فصل پاییز می‌باشد که در همه ایستگاه‌های کشور انرژی پتانسیل باد کمتر از ۱۰۰ ژول می‌باشد. بیشترین میزان انرژی پتانسیل باد در پاییز با ۱۰۳ ژول بر مترمربع مربوط به ایستگاه بیجار می‌باشد. میزان انرژی پتانسیل باد در فصل زمستان در سطح کشور نسبت به پاییز بیشتر و نسبت به تابستان و بهار کمتر است. بیشترین میزان انرژی پتانسیل باد در زمستان با ۱۷۷ ژول در مترمربع مربوط به ایستگاه کیش می‌باشد (شکل ۹).

### برآورد انرژی پتانسیل باد

جهت برآورد انرژی باد ابتدا سرعت اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب با استفاده از رابطه (۳) به ارتفاع ۴۰ متری تبدیل و سپس میزان انرژی پتانسیل بر اساس سرعت متوسط باد در فصول مختلف سال با استفاده از رابطه (۴) محاسبه گردید. همان‌طوری که در جدول (۴) مشاهده می‌گردد بیشترین میزان انرژی پتانسیل باد در اکثر ایستگاه‌های بادخیز کشور در فصل تابستان و بهار وجود دارد به‌گونه‌ای که در این دو فصل متوسط انرژی پتانسیل باد در اکثر ایستگاه‌ها بیشتر از ۱۰۰ ژول در هر مترمربع و در ایستگاه‌های منجیل و زابل در فصل تابستان به ترتیب ۱۵۹۷ و ۱۵۸۸ ژول در هر مترمربع می‌باشد. در فصل بهار نیز

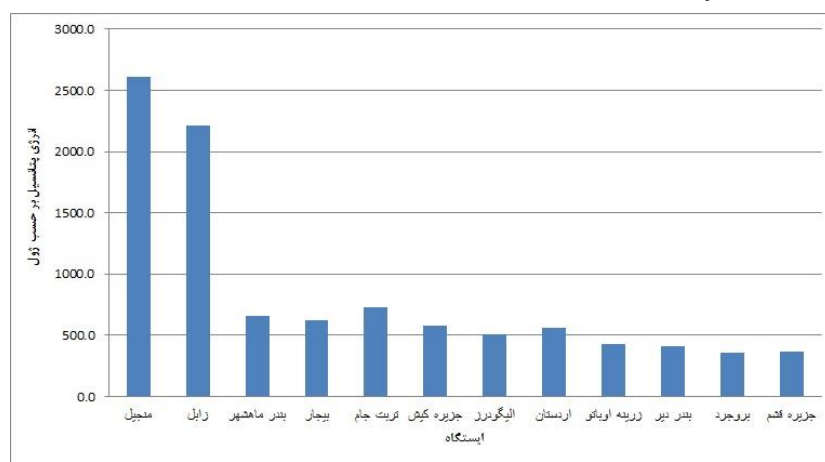


شکل ۹- انرژی پتانسیل باد بر حسب ژول بر مترمربع در فصول مختلف سال در ایستگاه‌های بادخیز کشور

جدول ۴- انرژی پتانسیل باد در ایستگاه‌های بادخیز کشور در ارتفاع ۴۰ متری

ردیف	ایستگاه	بهار		تابستان		پاییز		زمستان		سالانه
		سرعت باد در ارتفاع ۴۰ متری	انرژی پتانسیل باد	سرعت باد در ارتفاع ۴۰ متری	انرژی پتانسیل باد	سرعت باد در ارتفاع ۴۰ متری	انرژی پتانسیل باد	سرعت باد در ارتفاع ۴۰ متری	انرژی پتانسیل باد	
۱	منجیل	۱۱	۸۱۷,۷	۱۳,۸	۱۵۹۷	۵,۱	۸۲,۰	۵,۷	۱۱۵,۸	۱۲۳,۲
۲	زابل	۹,۳	۴۹۲,۲	۱۳,۷	۱۵۸۸	۴,۹	۷۱,۳	۴,۷	۶۲,۶	۹۳,۶
۳	ماهشهر	۷,۷	۲۸۱	۷,۱	۲۲۳,۱	۴,۸	۶۵,۷	۵,۳	۹۱	۴۲,۶
۴	بیجار	۷,۴	۲۵۰,۹	۵,۵	۱۰۲,۲	۵,۵	۱۰۴	۶,۵	۱۶۷,۶	۴۲,۶
۵	ترت‌جام	۶,۸	۱۸۸,۵	۸,۹	۴۳۲,۹	۴,۲	۴۴,۸	۴,۷	۶۴,۷	۴۱
۶	کیش	۷	۲۰۶,۵	۵,۵	۱۰۳,۷	۵,۲	۸۵,۸	۶,۶	۱۷۷,۹	۳۹,۵
۷	الیگودرز	۶,۱	۱۳۵,۷	۶,۴	۱۶۱,۷	۵,۵	۹۹,۳	۵,۷	۱۱۱	۳۶,۵
۸	اردستان	۷	۲۱۱,۱	۷,۳	۲۳۵,۵	۴,۱	۴۳,۱	۴,۸	۶۹	۳۵,۱
۹	زرینه اوباتو	۶,۶	۱۷۳,۷	۵,۲	۸۵,۸	۴,۸	۶۹,۰	۵,۵	۱۰۰,۸	۲۹,۸
۱۰	بندر دیر	۶,۲	۱۴۲,۸	۴,۲	۴۳,۹	۵,۱	۸۰,۸	۶,۱	۱۳۹,۲	۲۷,۳
۱۱	بروجرد	۵,۶	۱۰۸	۴,۹	۷۳,۶	۴,۶	۶۰,۵	۵,۷	۱۱۴	۲۵
۱۲	جزیره قشم	۶,۳	۱۵۲	۵,۶	۱۰۵,۱	۳,۷	۳۰,۱	۵	۷۴,۷	۲۲۳,۹

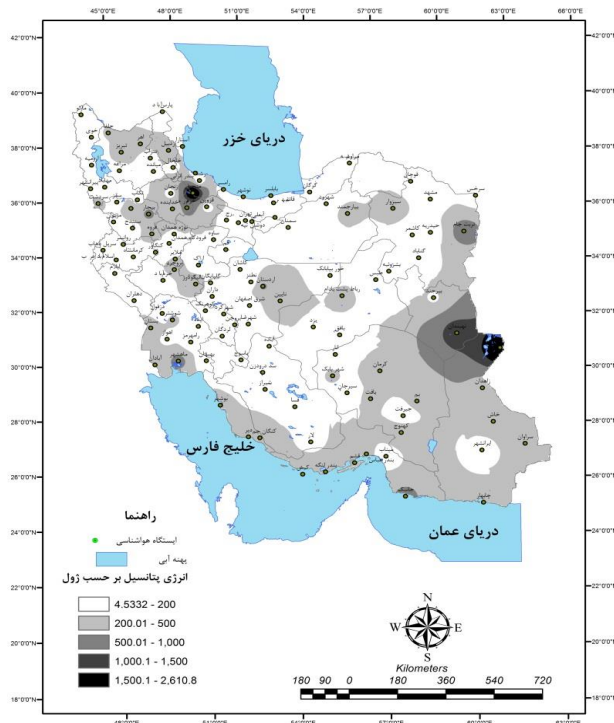
در شکل (۱۰) مجموع انرژی پتانسیل باد در طول سال در ایستگاه‌های بادخیز کشور نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد ایستگاه‌های منجیل و زابل به ترتیب با ۲۶۱۲ و ۲۲۱۴ ژول بر مترمربع بیشترین پتانسیل تولید انرژی بادی در سطح کشور را دارا می‌باشند و بعد از آن‌ها ایستگاه‌های بندر ماهشهر، بیجار، ترت‌جام، کیش، الیگودرز و اردستان با مقادیر بالای ۵۰۰ ژول در مترمربع در رتبه بعدی قرار دارند.



شکل ۱۰- مجموع انرژی پتانسیل سالانه باد بر حسب ژول بر مترمربع در ایستگاه‌های بادخیز کشور

از نظر پتانسیل انرژی بادی در سطح کشور با مقادیر ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ ژول در مترمربع مربوط به ایستگاه‌های بندر ماهشهر، بیجار، تربت‌جام، جاسک، کیش، خرمدره، الیگودرز، اردستان و اردبیل می‌باشد که در این ایستگاه‌ها نیز در پتانسیل مناسبی جهت راه‌اندازی توربین‌های بادی جهت تولید انرژی بادی وجود دارد.

در شکل (۱۱) پهنه‌بندی پتانسیل انرژی بادی در سطح کشور برحسب ژول بر مترمربع نشان داده شده است. بیشترین پتانسیل انرژی بادی در سطح کشور با مقادیر بیشتر از ۱۵۰۰ ژول در مترمربع مربوط به منطقه منجیل و زابل می‌باشد. بعد از این ایستگاه‌ها، منطقه نهبندان با مقادیر بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ ژول در مترمربع رتبه دوم پتانسیل انرژی بادی در سطح کشور را در جهت تولید انرژی بادی دارا می‌باشد. رتبه سوم



شکل ۱۱- پهنه‌بندی پتانسیل انرژی بادی برحسب ژول بر مترمربع در کشور

در بقیه مناطق کشور پتانسیل انرژی بادی در سطح کشور کمتر از ۲۰۰ ژول در مترمربع بوده و بهره‌برداری از انرژی بادی و راه‌اندازی توربین بادی مناسب نبوده و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه نمی‌باشد.

### نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

کشور ایران، سرشار از منابع انرژی تجدید پذیر و تجدید ناپذیر است. موقعیت جغرافیایی کشور ایران موجب شده است که منبع بسیار بزرگی از انرژی‌های خورشیدی و بادی در آن موجود باشد. این دو منبع انرژی تجدید پذیر، رایگان و با محیط‌زیست سازگار هستند و با انرژی بادی می‌توان

در رتبه چهارم از نظر پتانسیل انرژی بادی در سطح کشور با مقادیر بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ ژول در مترمربع ایستگاه‌های جلفا، تبریز، اهر، خداپنده، زرینه اوباتو، قروه، بروجرد، الیگودرز، شوشتر، بستان، آبادان، بوشهر، دیر، کنگان جم، قشم، بندرلنگه، اردستان، نائین، رباط پشت بادام، بیارجمند، سبزوار، شهراباک، کهنوج، بافت، کرمان، بم، چابهار، سراوان، خاش، زاهدان و سردشت قرار دارند در این مناطق در برخی از روزهای سال شرایط وزش باد برای به‌کارگیری توربین‌های بادی مهیا می‌باشد و راه‌اندازی این توربین‌ها تا حدودی می‌تواند از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد.

- 1- Jafarpour, I., 1993, *Climatology*, Tehran University Press.
  - 2- Bakhtiari, B., Bazrafshan, J., Khanjani, M. J., 2013, Estimation of wind potential energy based on short-term 10-minute data in Kerman, *Watershed Researches Journal*, No. 100, pp: 84-76.
  - 3- Khordadi, M.J., Islannan, S.S., Abedi Kupai, J., 2007, "Investigating the Process of Meteorological Parameters in Several Regions of Iran", *Technical Workshop on Climate Change Impacts on Water Resources Management*, Tehran.
  - 4- Rahimzadeh, F., Mohammadian, N., Vakrabinejad, S.J., 2006, Investigating the variations in wind speed at 10 meters above the Earth's surface, *Nivar Journal*, No. 62-63. P. 7-21.
  - 5- Roshan, GH; Ghahkarmaee, A and Shahkouee, I., 2014, Estimation of Wind Energy Potential in Iran's Selected Stations, *Quarterly Journal of Regional Planning*, Fourth Year, No. 14, pp. 30-13.
  - 6- Zahedi, M., Salahi, B., Jamil, M. 2005, Calculating Density and Wind Power for Using Energy in Ardabil, *Geographical Research*, No. 53, pp. 44-41.
  - 7- Kaviani, M.R., 1999, Energy Needs and the Prospect of Climate Change in the 21st Century, *Proceedings of the Second Climate Change Conference*.
  - 8- Kaviani, M.R. 1995. Assessment Wind Turbines and Wind Power Potential in Iran, *Geographical Quarterly*, No. 36.
  - 9- Gandmkar, A. 2009, Estimation of wind potential energy in Iran, *Journal of Geography and Environmental Planning*, Issue 4, pp 100-85.
  - 10- Alijani, B. 2002, *Synoptic Climatology*, Samt Publishing, Tehran.
  - 11- Ghahraman, N and Ghareh Khani, A., 2010, Investigation of Changes in Time of Wind Speed in the Climatic Range of Iran, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1 (4): 31-43.
  - 12- Saqafi, M., 1993. Wind energy and its application in agriculture, University of Tehran.
  - 13- Yarnal, B., 2006, *Climatology and its Application in Environmental Studies*, Translator Seyyed Abolfazl Masoudian, First Edition, Isfahan University Press.
  - 14- Nourollahi, Y; Alisharf, S.M., Zamani, M., 2011, Estimation of wind energy potential using GIS, *Iranian Journal of Energy*, Volume 14, Issue 1.
  - 15- Mohammadi, B and Mahmoudi, H., 2016, The feasibility of wind power usage in
- میزان قابل توجهی انرژی الکتریکی تولید کرد. نواحی شرقی کشور ایران، از جنوب شرق تا شمال شرق، بادخیزترین منطقه کشور است و در بیشتر مواقع سال دارای توان تولید برق بادی است. پس‌از آن، جلگه خوزستان، جزیره‌ها و سواحل خلیج فارس و دریای عمان، نواحی غربی کشور در استان‌های کردستان، کرمانشاه، لرستان و همدان و نواحی کوچک و پراکنده شامل: منجیل، اردبیل، فیروزکوه، رفسنجان و اردستان هم در بسیاری از زمان‌های سال دارای توان تولید برق بادی هستند. بیشتر نواحی بادخیز کشور ایران از مناطق خشک، محروم و کمتر توسعه‌یافته است که میزان تولید انرژی الکتریکی در آن‌ها کم است و همچنین رساندن انرژی الکتریکی به این نواحی هم هزینه‌های زیادی دارد. لذا، ایجاد مزارع تولید برق بادی در این نواحی از ضروریات است. بیشتر مصرف انرژی الکتریکی در ایران، در فصل تابستان و به‌منظور مقابله با گرمای هوا است و بادخیزترین زمان در ایران نیز فصل تابستان می‌باشد. در پایان برای تعیین امکان‌پذیری عملی استفاده از انرژی بادی، پیشنهادهای ذیل توصیه می‌گردد:
- الف- دست‌یابی به منابع ابتدایی باد (برآورد نیازهای انرژی در مصارف مختلف، برآورد میزان تولید انرژی توسط توربین بادی و بررسی نحوه دستیابی به ماشین‌های مبدل انرژی باد)
- ب- تحلیل‌های اقتصادی (تعیین بهای ماشین‌های مولد باد، در نظر گرفتن برگ خریدهای اقلیمی و فرهنگی فرمول‌بندی توازن کاری)
- ج- مکان‌یابی مناسب جهت استقرار نیروگاه (انتخاب مکان موردنظر، تعیین نیروی قابل‌دستیابی در مکان پیشنهادشده)
- د- انتخاب سیستم توربین باد (برآورد کمی نیازهای انرژی برآورد کمی خروجی انرژی انتخاب سیستم ذخیره انرژی و سیستم پشتیبان، برآورد قیمت و مقایسه با روش‌های دیگر)
- ه- برآورد هزینه: آخرین گام برای طراحی ابزار مبدل انرژی بادی برآورد هزینه آن است که شامل این موارد می‌باشد (هزینه خود دستگاه، هزینه نصب دستگاه، نگهداری و بازرسی دستگاه، جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها)

- 20- Mc Vivar, T., Van Niel, T.G., Li, L.T., Roderick, M.L., Rayner, D.P., Ricciardulli, L. and Donohue, R.J., 2008, Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison with near surface reanalysis output. *Geophysical Research Letters*, 35, L20403.
- 21- Patel, M. R., 1999, Wind and solar power systems, library of congress cataloging in publication data, New York USA.
- 22- Wilsink. M.I., 1978, Note on the use of weibull statistics to characterize wind - speed data. *J. App.Meteor*, 17. pp. 556-559.
- 23- Wan, H., Wang, X.L., Swail, V.R., 2010, Homogenization and trend analysis of Canadian near-surface wind speeds, *Journal of Climate*, 23: 1209-1225.
- 24- Yue, S., Wang, C.Y., 2002, Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test, *Water Res. Res.*, 38 (6): 4-1\_4-7.
- Ilam province, *The Geographic research Journal*, 31, No. 2, pp. 167-155.
- 16- Bilal, B. O., Ndongo, M., Kebe, C. M. F., Sambou, V., Ndiaye, P. A., 2013, Feasibility study of wind energy potential for electricity generation in the northwestern coast of Senegal. *Energy Procedia*, 36, pp. 1119-1129.
- 17- Hamed, K.H., and Rao, A.R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data, *Journal of Hydrology*, 204: 182-196.
- 18- Kumar, S., Merwade, V., Kam, J., Thurner, K., 2009, Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains, *Journal of Hydrology*, 374(1-2): 171-183.
- 19- Kull, A., 2005, Relationship between inter-annual variation of wind direction and wind speed, *Publicationes Instituti Geographic Universitatis Tartuensis*, 97: 62-70.