



Assessment of Wind Energy Potential in Playa, Desert, and Coastal Areas of Makran

Seyed Aasad Hossieni¹ | Nabi Mohamadi² | Mahdi Rasooli³ | Abbas Alipoor⁴

1. Ph.D. climatology, University of Mohageg Ardebili, Ardebil
2. Masters Degrii climatology, University of Tabriz, Tabriz
3. Masters Degrii climatology, University of Kharazmi Tehran, Tehran
4. Associate Professor Political geography, University of Emam Hossien ,Tehran

Article Info:

Article type:
Research Article

history:
Received:2022/12/16
Received: 2022/1/18
Accepted: 2022/3/5
Published:2022/6/5

Keywords:

energy
wind
desert
climatic potential

Abstract: This research evaluates the climatic potential for wind energy utilization in the playa, desert, and coastal regions of Makran in southeastern Iran. Daily and hourly wind speed and direction data from 1987 to 2015 were analyzed for this assessment. After data quality control, monthly and hourly averages, variability in wind direction and speed, and spatial changes in wind speed were calculated and discussed based on generated maps. The study identified provinces such as Kerman, Sistan and Baluchistan, Hormozgan, South Khorasan, and parts of Yazd as the most suitable areas for wind turbine installation. Maximum wind speeds were observed in the early hours of the day until the early afternoon, highlighting this period as optimal for energy extraction.

Cite this article: Hossieni, S.A., Mohamadi, N., Rasooli,M., & Alipoor, A. (2022). Assessment of Wind Energy Potential in Playa, Desert, and Coastal Areas of Makran. *Climat Chenge and Climat Disasters*, 1(1), 122-149.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





پتانسیل سنجی اقلیمی مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران به منظور کسب انرژی از باد

سید اسعد حسینی^۱ | نبی محمدی^۲ | مهدی رسولی^۳ | عباس علیپور^۴

۱. دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲. کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، تبریز

۳. کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران

۴. دانشیار جغرافیای سیاسی دانشگاه امام حسین (ع)، تهران

چکیده: در پژوهش حاضر به منظور پتانسیل سنجی اقلیمی استفاده از انرژی باد در مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران، از داده‌های روزانه و ساعتی سمت و سرعت باد در دوره آماري ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ استفاده شد. پس از کنترل کمی و کیفی داده‌ها، متوسط‌های ماهانه و ساعتی سمت و سرعت باد و میزان تغییرپذیری آن‌ها محاسبه شد و نقشه‌های تغییرات مکانی سرعت باد، ترسیم و با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی نقشه پتانسیل استفاده از انرژی باد در منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. نتایج حاصل نشان داد که استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان، هرمزگان، جنوب خراسان جنوبی و بخش‌هایی از شرق و جنوب یزد از جمله مناطق مستعد برای نصب توربین‌های بادی و کسب انرژی از باد است. بر اساس نتایج حاصل، بیشینه سرعت باد در سطح منطقه مورد مطالعه در ساعت‌های ابتدایی روز تا اوایل بعد از ظهر (ساعت‌های ۹ صبح تا ۱۵ بعد از ظهر) رخ می‌دهد، در نتیجه بیشترین میزان انرژی در این فاصله زمانی قابل استحصال می‌باشد. ویژگی‌های خاص اقلیمی و جغرافیایی این مناطق موجب شده تا در تمام ساعات روز شاهد وزش دائمی بادهای نسبتاً قدرتمند بوده و از پتانسیل بالایی برای کسب انرژی از باد برخوردار باشند.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۵

بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

انتشار: ۱۴۰۱/۳/۱۵

واژگان کلیدی:

انرژی باد

بیابان

پتانسیل سنجی اقلیمی

استناد: حسینی، سید اسعد، محمدی، نبی، رسولی، مهدی و علیپور، عباس. (۱۴۰۱). پتانسیل سنجی اقلیمی مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران به منظور کسب انرژی از باد. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، (۱)، ۱۲۲-۱۴۹.

© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان.



مقدمه

یکی از مسائل مهم در برنامه‌ریزی فعالیت‌های بشری، ملاحظات مربوط به تأمین انرژی می‌باشد. امروزه با گسترش روزافزون صنعت، نیاز به استفاده از انرژی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. به صورت کلی استفاده از انرژی در تمام شئون زندگی انسان‌ها وارد شده و با رشد روزافزون جمعیت و پیشرفت صنعت و زندگی ماشینی، نیاز فزاینده‌ای به منابع مختلف انرژی احساس می‌شود (عبدلی و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۸). با توجه به رشد روزافزون تقاضای انرژی، افزایش استانداردهای زندگی، گرمایش بیش از حد کره زمین و در نهایت مشکلات زیست‌محیطی و اکولوژیکی ناشی از منابع انرژی ذکر شده، نگرانی‌هایی در کشورهای مختلف در زمینه ادامه استفاده از آن‌ها ایجاد شده است. در این راستا استفاده از انرژی‌های نو از جمله انرژی پتانسیل آب، انرژی خورشیدی و بادی به دلیل عدم آلودگی محیط‌زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و در سال‌های اخیر توجه دولت‌ها به بهره‌برداری از آن‌ها جلب شده است (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۴). یکی از منابع تجدید پذیر

انرژی که امروزه بهره‌برداری از آن رو به گسترش است، انرژی حاصل از وزش باد است که به صورت حرکت افقی هوا بین کانون‌های پرفشار و کم‌فشار تعریف می‌شود (کاوپانی و علیجانی، ۱۳۸۶: ۱۴۷). باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدید پذیر است که مزایای استفاده از آن در تولید انرژی نسبت به سایر انرژی‌های تجدید پذیر باعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و به تبع آن، ارتقای فناوری و رشد چشمگیر مطالعه کاربردی این فراسنج اقلیمی در میان جوامع پیشرفته جهان گردیده است. بادهای جهان جمعاً حدود ۲۷۰۰ تراوات انرژی در خود نهفته دارند که حدود ۲۵ درصد آن در ۱۰۰ متری سطح زمین قرار دارد. با این حال حتی ۱۰ درصد این مقدار انرژی یعنی ۴ تراوات، از ظرفیت کل انرژی آبی جهان بیشتر است (ثقفی، ۱۳۸۲: ۶۳). هرچند ایران از پیشگامان استفاده از انرژی باد بوده است، اما اکنون استفاده از این انرژی در ایران بسیار محدود است و این در حالی است که این سرزمین از مناطق بادخیز و مستعدی برخوردار است (امیدوار و دهقان، ۱۳۹۱: ۱۵۰). با

همکاران^۱ (۲۰۱۴) پتانسیل انرژی باد در ایستگاه گهوارو در استان سند پاکستان را با استفاده از تابع توزیع ویبول و داده‌های ۵ ساله سرعت باد در ارتفاع ۳۰ متری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه با توان باد بیش از ۲۶۰ وات بر متر مربع از توانایی بالایی برای تولید انرژی برخوردار است. امیدوار و دهقان (۱۳۹۱) با استفاده از تابع ویبول در ایستگاه-های همدید استان یزد، چگالی توان باد را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه ایستگاه مروست با چگالی توان بادی معادل ۴۴۴/۹۳۸ وات بر مترمربع و موجودیت بادی معادل ۴۴۵۷/۱ ساعت در سال از پتانسیل مناسبی در زمینه تولید الکتریسیته از انرژی بادی برخوردار است. انتظاری و همکاران (۱۳۹۱) به امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه سبزوار با استفاده از داده‌های روزانه و ساعتی سمت و سرعت بادی دوره (۱۹۷۸-۲۰۰۷) پرداختند. نتایج حاصل، پتانسیل انرژی باد در طول

پیشرفت علوم و فناوری‌های مربوط به استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر در جهان، نیاز به تحقیق و بررسی‌های فراوان در این زمینه و افزایش سقف منابع انرژی تجدید شونده در سبد انرژی کشور وجود دارد. این بررسی‌ها با توجه به دلایل مختلف لزوم استفاده از این منابع و با توجه به بحث‌های اقتصادی، شامل قیمت برق تولیدی از منابع و سوخت‌های مختلف صورت می‌گیرد. حل مشکلات زیست‌محیطی و محدودیت منابع انرژی فسیلی و ضرورت تنوع در سبد انرژی موجب گردیده است فعالیت‌های گسترده - در سطح جهان به ویژه در کشورهای صنعتی در جهت کاربرد انرژی‌های تجدید پذیر صورت گیرد. حداقل در ۷۳ کشور جهان اهداف راهبردی برای توسعه انرژی‌های تجدید پذیر تدوین و سیاست‌گذاری‌های لازم انجام شده است (عباس پور و غازی، ۱۳۸۸: ۱). از این‌رو مطالعه توان‌های بالقوه محیطی و آب و هوایی می‌تواند اثرات مثبتی در صرفه‌جویی از منابع انرژی و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی داشته باشد. در این راستا خاهرو و

1. Khahro et al

ایستگاه مورد مطالعه برای تولید برق از انرژی بادی را نشان داد. نیروگاه‌های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیط‌زیست از جمله منابع انرژی پرتعداد بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته است. لذا در پژوهش حاضر تلاش شد تا با استفاده از روش‌های آماری و پهنه‌بندی وزش باد در مناطق خشک کشور، امکان استفاده بهینه از این منبع انرژی پاک و بی‌پایان فراهم آید.

۱- داده ها و روشها

۱-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش بخش وسیعی از سرزمین ایران شامل مناطق کویری و بیابانی در شرق، مرکز و جنوب شرق کشور را در بر می‌گیرد که استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان، کرمان، یزد، خراسان جنوبی، قم، نیمه جنوبی استان خراسان رضوی، نیمه شمالی و شرقی استان اصفهان و بیش از ۹۰ درصد استان سمنان را شامل می‌شود.

۱-۲- داده ها

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، داده‌های سرعت و جهت باد در ۳۰

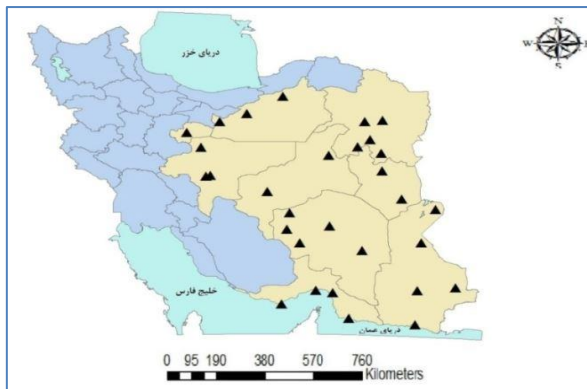
سال را حدود ۳۱۱۵۰ ژول بر مترمربع نشان داد. ندایی (۲۰۱۳) با به‌کارگیری توزیع آماری ویبول نشان داد که پتانسیل استفاده از انرژی باد در شهر آبادان در جنوب استان خوزستان و در ارتفاعات بسیار بالا قابل توجه می‌باشد. مصطفی پور و همکاران (۲۰۱۳) پتانسیل انرژی باد را در بینالود با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول بر اساس دوره آماری ۴ ساله با فاصله زمانی سه ساعته مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌ها حاکی از پتانسیل بالای انرژی باد در منطقه بینالود است. محمدی و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی و بادی در سه منطقه آزاد اقتصادی و صنعتی ایران پرداختند. نتایج نشان داد که ایستگاه چابهار توان تولید انرژی بادی را ندارد اما کیش و سلفچگان ویژگی شرایط مرزی برای توسعه انرژی بادی را دارند. مصطفی پور و همکاران (۲۰۱۴) به پتانسیل سنجی انرژی باد در زاهدان با بهره‌گیری از داده‌های ۳ ساعته در یک دوره ۵ ساله با استفاده از تابع توزیع ویبول پرداختند. نتایج نامناسب بودن

منطقه، ابتدا توسط نرم‌افزار Minitab برخی مشخصات توصیفی داده‌های ساعتی و ماهانه فرانسج های ذکر شده شامل میانگین انحراف معیار و ضریب تغییرات محاسبه شد. سپس با استفاده از برنامه Excel نمودارهای بافت نگار سرعت و جهت باد ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفت و در پایان تلاش شد تا با درون‌یابی داده‌های سرعت باد در نرم‌افزار Surfer داده‌های نقطه‌ای که دارای تراکم پایین بودند به داده‌های پهنه‌ای تبدیل شده و به نوعی پوشش کامل و دارای تراکم بالا ایجاد گردد تا امور مربوط به بخش اصلی پژوهش (پتانسیل سنجی) بر اساس این داده‌ها و با دقت بالاتر انجام شود. با به دست آمدن این داده‌های پهنه‌ای تلاش شد با انجام طبقه‌بندی داده‌ها توسط شاخص خودهمبستگی فضایی موران محلی، پتانسیل استفاده از انرژی باد در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه مشخص گردد.

ایستگاه هواشناسی در سطح منطقه مورد مطالعه برای دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در شکل (۱) آورده شده است.

۱-۳- روش‌ها

با توجه به اینکه توربین‌های بادی باید در مکان مناسبی نصب شوند که باد به اندازه کافی در اکثر فصول وجود داشته باشد (ثقفی، ۱۳۷۲: ۲۴)، لذا در این پژوهش به جای استفاده از آمار ماهانه و روزانه باد، از آمار ساعتی با فواصل زمانی سه ساعته (هشت بار در روز) سمت و سرعت باد استفاده شد. پس از تهیه و آماده‌سازی و تبدیل داده‌ها از نات به متر بر ثانیه و انجام کنترل کیفیت داده‌ها، در ادامه با هدف ایجاد تصویری کلی از ویژگی‌های جهت و سرعت باد در سطح



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

این شاخص به منظور مشخص شدن توزیع فضایی الگوها به صورت نقشه، از تحلیل خوشه و نا خوشه استفاده می‌کند. شاخص مذکور در سال ۱۹۹۵ توسط انسلین پیشنهاد شد و نشان می‌دهد در کجاها مقادیر زیاد یا کم پدیده به صورت خوشه‌ای توزیع شده‌اند و شرایط کدام عوارض نسبت به عوارض پیرامون خود متفاوت می‌باشد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۵). این شاخص به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود:

(۱)

$$I = x_i \sum_{i=1, j \neq 1}^N w_{ij} x_j$$

در رابطه بالا N : تعداد یاخته‌ها، x : مقدار متغیر در موقعیت فضایی i و j (سرعت باد در هر کدام از یاخته‌ها) و w_{ij} : وزن‌های فضایی هستند که به هر یک از موقعیت‌های مشاهداتی اختصاص می‌یابند. این وزن‌ها بر اساس ماتریس وزن دهی به دست می‌آیند که آرایه‌های این ماتریس قطری بر اساس الگویی استفاده می‌شود که برای بررسی روابط فضایی مشاهدات نمونه‌برداری شده است (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰). برای انجام این تحلیل از محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد و

طبقه‌بندی خروجی‌ها به این صورت بوده که مناطقی که دارای بادهایی با سرعت متوسط بیش از ۶ متر بر ثانیه بودند به عنوان مناطقی دارای پتانسیل بالا، مناطق دارای سرعت ۴ تا ۶ متر بر ثانیه به عنوان مناطق دارای پتانسیل متوسط و مناطقی که سرعت باد در آن‌ها کمتر از ۴ متر بر ثانیه بود به عنوان مناطق دارای پتانسیل ضعیف استفاده از انرژی باد طبقه‌بندی شدند و براین اساس نقشه‌های پتانسیل سنجی باد در منطقه مورد مطالعه ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفت.

۲- یافته‌ها و نتایج

با هدف ارائه تصویری کلی از ویژگی‌های باد در منطقه مورد بررسی، برخی مشخصات توصیفی این فراسنج در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل میانگین ساعتی سرعت باد در سطح منطقه طی ماه‌های مختلف در حدود ۲/۲ متر بر ثانیه است. جهت متوسط وزش باد در ساعت‌های مختلف نیز ۹۸ درجه محاسبه شد. بر اساس نتایج میانگین سرعت باد در ساعت‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ به اوج خود رسیده و سرعتی بین ۲/۵ تا ۴ متر بر ثانیه پیدا می‌کند. میزان تغییرپذیری سرعت باد

جهت آن نیز تغییر پیدا می‌کند. بررسی انحراف معیار و ضریب تغییرپذیری سرعت و جهت باد در طول شبانه‌روز این مورد را بیان می‌کند که با وجود الگوی مشخص تغییرات شبانه‌روزی این فراسنج‌ها در سطح منطقه، این تغییرات کاملاً پیوسته و مشخص نبوده و از الگوی یکنواخت، ثابت و مشخصی تبعیت نمی‌کنند (جدول ۱).

متوسط سرعت و جهت باد در سطح منطقه مورد مطالعه طی ماه‌های مختلف نشان می‌دهد که در ماه‌های اکتبر تا ژانویه میانگین سرعت باد در حدود $1/5$ متر بر ثانیه است؛ اما در سایر ماه‌های سال (فوریه تا سپتامبر) بر میزان سرعت این فراسنج افزوده شده و مقدار سرعت طی این ماه‌ها به بیش از ۲ متر بر ثانیه می‌رسد. بیشینه سرعت باد در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست مشاهده می‌شود که تقریباً ۳ متر بر ثانیه است (شکل ۲). تغییرات جهت باد در ماه‌های مختلف به صورت کلی با تغییرات سرعت این فراسنج هماهنگ است به گونه‌ای که جهت وزش باد در ماه‌های اکتبر تا ژانویه در حدود 80° درجه می‌باشد. این شرایط در حالی ایجاد شده است که در سایر ماه‌های سال، جهت وزش باد نسبت به دوره مذکور تغییر یافته است و در زاویه 100° درجه‌ای قرار می‌گیرد (شکل

در این ساعت‌ها بین 16° تا 33° درصد است که نسبتاً قابل توجه می‌باشد. در طول روز با افزایش سرعت وزش باد، جهت وزش آن نسبت به ساعات دیگر تغییر می‌یابد؛ به گونه‌ای که جهت وزش باد در زاویه‌ای بین 115° تا 150° درجه (جنوب شرقی) قرار می‌گیرد. در سایر ساعات شبانه‌روز (00° ، 03° ، 06° ، 18° و 21°) سرعت و جهت باد نسبت به زمان اوج سرعت، به نحو قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌یابد. در این ساعت‌ها سرعت باد بین $1/2$ تا ۲ متر بر ثانیه است و درصد تغییرپذیری آن‌ها نیز بین 14° تا 27° درصد می‌باشد. جهت وزش باد نیز در زاویه 66° تا 87° درجه (شمال شرقی تا شرق) قرار دارد که تفاوت آشکاری نسبت به شرایط این فراسنج در هنگام روز نشان می‌دهد. نکته کاملاً مشخص در بررسی داده‌ها، وجود تغییرات شبانه‌روزی سرعت و جهت باد در سطح منطقه می‌باشد، به گونه‌ای که با طلوع خورشید و نزدیک شدن به میانه روز بر سرعت باد افزوده شده و جهت آن نیز غالباً به سمت جنوب شرقی تغییر می‌کند. با نزدیک شدن به ساعات پایانی روز و همچنین شب هنگام از سرعت باد کاسته شده و

باد می‌گردد. اما در دوره گرم سال (به ویژه در فصل تابستان) نقش ناهمواری‌ها، گرمایش سطح زمین و اختلاف فشار محلی موجب تشدید سرعت باد شده و جهت آن را تغییر می‌دهد

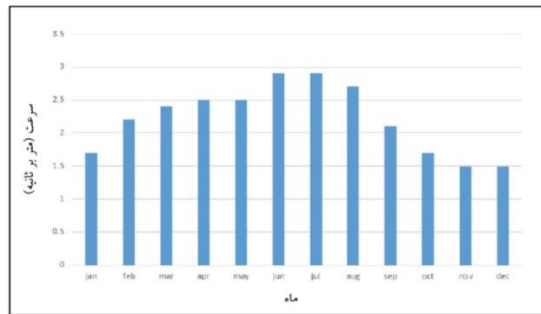
۳. بر اساس نتایج حاصل در دوره سرد سال (به ویژه فصل پاییز و ابتدای زمستان) با تغییر شرایط جوی و اثرگذاری سامانه‌های هم‌دید، نقش عوامل محلی و ثابت در ایجاد و تغییرپذیری بادهای منطقه کاهش یافته و این موضوع موجب تغییر در سرعت و جهت

جدول ۱- آمار توصیفی سرعت (متر بر ثانیه) و جهت باد (درجه) در طول دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۷
س: سرعت باد، ج: جهت باد

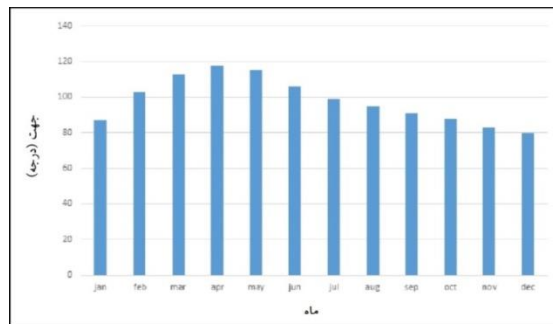
ماه	۰۰		۰۳		۰۶		۰۹		۱۲		۱۵		۱۸		۲۱	
	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج
ژانویه	۱	۴	۱	۱	۱	۱۶	۲	۲	۲	۳	۵	۱	۱۳	۱۸	۱	۷۸
فوریه	۱	۳	۱	۸	۲	۸۷	۳	۶	۳	۹	۲	۱۵	۱۸	۱	۹۲	
مارس	۱	۵	۱	۱	۰	۲	۳	۴	۰	۲	۳	۱۳	۱۷	۲	۱۰	
آوریل	۱	۳	۱	۷	۲	۶	۳	۰	۴	۰	۳	۱۵	۱۸	۱	۱۰	
می	۱	۱	۱	۱	۲	۸	۳	۶	۴	۴	۳	۱۴	۱۷	۲	۱۰	
ژوئن	۱	۸	۱	۶	۲	۳	۳	۰	۴	۳	۳	۱۳	۱۵	۲	۹۳	
جولای	۱	۶	۱	۱۸	۳	۱۰	۴	۰	۴	۷	۴	۱۳	۱۳	۱	۱۱	
آگوست	۱	۲	۱	۱	۷	۲	۳	۹	۴	۹	۴	۱۳	۱۲	۱	۱۹	
سپتامبر	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۲	۱۴	۱۶	۱	۱۵	
اکتبر	۱	۰	۱	۱	۵	۱	۶۷	۲	۶	۳	۶	۱۴	۱۲	۱	۱۵	
نوامبر	۳	۶	۱	۸	۱	۶۴	۲	۴	۱۱	۲	۱۳	۱۳	۱۱	۱	۷۵	

ادامه جدول ۱- آمار توصیفی سرعت (متر بر ثانیه) و جهت باد (درجه) در طول دوره آماری ۲۰۱۵-
 ۱۹۸۷ س: سرعت باد، ج: جهت باد

۶۷	۱/۱	۷۲	۱/۳	۸۱	۱/۵	۱۲	۲.۷	۱۰.۴	۲/۲	۶۳	۱/۴	۶۷	۱/۱	۶۲	۱	دسامبر
						۵									۱	
۷۷	۱/۵	۸۷	۱/۹	۱۱	۲/۷	۱۵	۳/۷	۱۳۲	۳/۲	۸۷	۲	۷	۱/۴	۶۶	۱/۲	میانگین
				۴		۰						۲				
۱/۷	۰/۴	۱/۱	۰/۴	۲/۳	۰/۹	۱/۹	۰/۶	۱۷/۴	۰/۶	۱/۱	۱/۵	۱/۷	۰/۲	۱/۳	۰/۲	انحراف
۸		۱		۴		۷				۷	۰	۵		۵		معیار
۱/۳	۲/۷	۱/۸	۲/۱	۲/۳	۳/۳	۱/۹	۱/۲	۱۳/۲	۱/۸	۱/۷	۲	۱/۹	۱/۳	۸	۱/۷	ضریب
۱۱	۶	۲	۱	۱	۳	۱	۶		۸	۹	۵	۷	۴	۶		تغییرات



شکل ۲- میانگین ماهانه سرعت باد (متر بر ثانیه) در سطح منطقه مورد مطالعه.



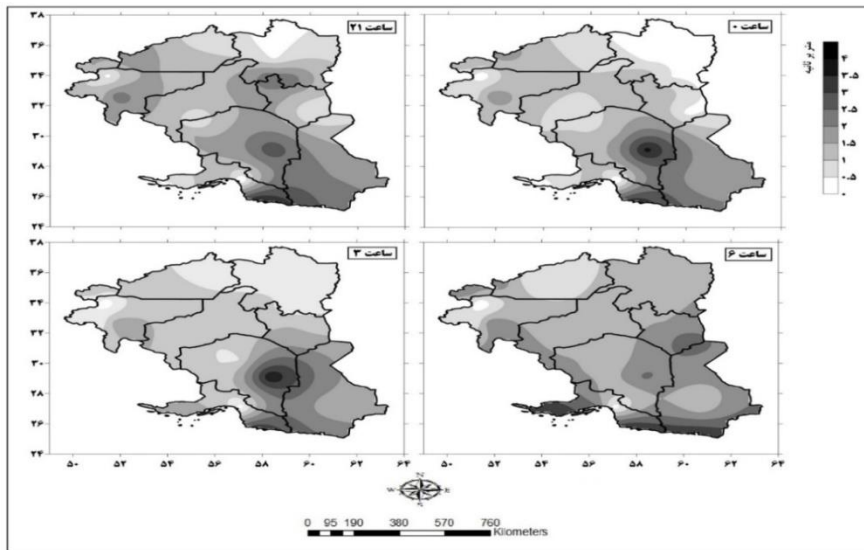
شکل ۳- میانگین ماهانه جهت وزش باد (درجه) در سطح منطقه مورد مطالعه.

تحلیل مکانی تغییرات سرعت باد نشان می‌دهد که به صورت کلی در طول شب سرعت جریانات هوا (باد) در سطح منطقه کمتر است و هوا نسبت به روز آرام‌تر می‌باشد. متوسط سرعت باد در ساعات شب $1/5$ متر بر ثانیه است. توزیع سرعت این فراسنج به دلیل تفاوت در شرایط جغرافیایی، توپوگرافی و آب و هوایی در مناطق مختلف، متفاوت می‌باشد و دامنه سرعت از حدود صفر تا $4/5$ متر بر ثانیه در نوسان است. بر اساس نتایج در ساعت ۲۱ (به عنوان اولین دیده‌بانی شبانه‌گاهی) چند مرکز بیشینه سرعت در قسمت‌های مختلف منطقه مشاهده می‌شود. این مراکز بیشینه در شرق کرمان، جنوب شرق هرمزگان، بخش‌هایی از شرق یزد، شمال خراسان جنوبی و جنوب خراسان رضوی، غرب سمنان و شرق اصفهان و همچنین اکثر نقاط استان سیستان و بلوچستان وجود دارند. سرعت باد در این مناطق بین $1/5$ تا $3/5$ متر بر ثانیه است. کمینه سرعت باد در این ساعت بین 0 تا $0/5$ متر بر ثانیه است که به صورت پراکنده در شمال خراسان رضوی، شمال غرب اصفهان و بخش‌هایی از شمال شرق هرمزگان

مشاهده می‌شود. با توجه به کوچک بودن مساحت نواحی کم سرعت نسبت به سایر نواحی می‌توان نقش عوامل محلی را در کاهش سرعت باد این نواحی در نظر گرفت. در ساعت صفر محدوده وزش بادهایی که دارای سرعت قابل توجه هستند، نسبت به ساعت ۲۱ کوچک‌تر شده است که نشانه آرامش بیشتر جو در این ساعت می‌باشد. بیشترین سرعت باد در این ساعت در شرق کرمان، غرب سیستان و بلوچستان و بخش کوچکی از جنوب شرقی هرمزگان مشاهده می‌شود. در این مناطق سرعت وزش باد بیش از 3 متر بر ثانیه است. در سایر بخش‌ها، این سرعت بین 1 تا 3 متر است که کمترین سرعت در استان خراسان رضوی، شرق خراسان جنوبی و بخش‌های مرکزی هرمزگان مشاهده می‌شود. سرعت 0 تا $0/5$ متر بر ثانیه هوا در این نواحی نشانه سکون آن در این ساعت می‌باشد. شرایط موجود در ساعت 3 افزایش نسبی سرعت باد را در کل ناحیه نشان می‌دهد. میزان این افزایش در حدود $0/5$ متر بر ثانیه است. در واقع طی این ساعت در اکثر بخش‌های منطقه، وزش باد ملایم وجود دارد. بیشینه سرعت باد

موجب ایجاد سرعت‌های قابل توجه باد در طول شب شده است. در ساعت ۶ با نزدیک شدن به روز، به صورت عمومی و در تمام منطقه سرعت باد افزایش یافته است؛ به گونه‌ای که حداقل سرعت باد در اکثر بخش‌های منطقه بیش از ۱ متر بر ثانیه می‌باشد. هسته بیشینه سرعت، بر خلاف ساعت‌های قبل، به سواحل جنوبی منطقه منتقل شده است و در بخش‌های ساحلی متوسط سرعت باد به ۲ تا ۳ متر بر ثانیه می‌رسد (شکل ۴).

در شرق کرمان، غرب سیستان و بلوچستان و جنوب شرق هرمزگان دیده می‌شود که از لحاظ سرعت تغییر چندانی نسبت به ساعت‌های قبل نیافته است و همچنان شاهد سرعت‌هایی بالاتر از ۳ متر بر ثانیه (در برخی نقاط بیش از ۴ متر بر ثانیه) در سطح منطقه هستیم. علت وجودی این هسته شبانه سرعت را می‌توان به موقعیت ناهمواری‌های منطقه و وجود اختلاف فشار محلی نسبت داد که در غیاب عوامل روزانه مؤثر بر تغییرات روزانه باد،



شکل ۴- توزیع مکانی میانگین سرعت باد در ساعات شب در سطح منطقه مورد مطالعه

می‌دهد که متوسط سرعت باد در طول روز ۲/۸ متر بر ثانیه می‌باشد که به طور

توزیع سرعت بادهای منطقه در ساعت‌های مختلف روز نیز نشان

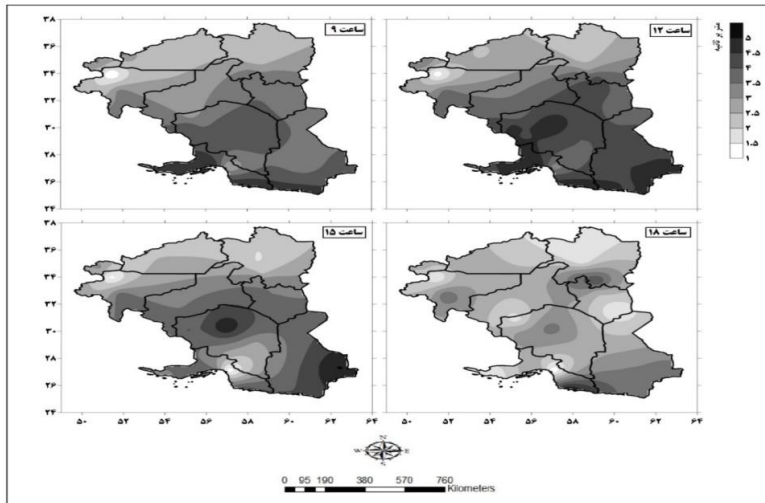
کاملاً مشخصی نسبت به ساعات شب افزایش یافته است. بر اساس نقشه مربوط به ساعت ۹ می توان گفت که با شروع روز، سرعت باد به طور محسوسی در سطح منطقه افزایش می یابد. دامنه سرعت باد در این ساعت بین ۱ تا بیش از ۵ متر بر ثانیه است و بالاترین سرعت های باد در نیمه جنوبی منطقه مشاهده می شود. بیشترین سرعت باد در استان های کرمان، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان و هرمزگان مشاهده می شود که بین ۳ تا ۵ متر بر ثانیه است. همچنین در نواحی ساحلی استان های سیستان و بلوچستان و هرمزگان نیز سرعت باد قابل توجه است و به بیش از ۵ متر بر ثانیه نیز می رسد. علت این افزایش سرعت، برقراری جریانات دریا به خشکی در طول روز است که تا ساعات ابتدایی بعد از ظهر ادامه دارد. در این شرایط به واسطه اختلاف فشار ایجاد شده بین دریا و خشکی، بادهایی با سرعت قابل توجه ایجاد می شوند. کمینه سرعت باد در این ساعت از روز، ۱ متر بر ثانیه است که در بخش های شمال غربی اصفهان مشاهده می شود. نقشه مربوط به ساعت ۱۲ نشان دهنده اوج گسترش بادهای با

سرعت قابل توجه در سطح منطقه می باشد. در این ساعت با گرم شدن سطح زمین بر اثر تابش خورشید، ایجاد گردش های تلاطمی در لایه های تحتانی جو (لایه مرزی) و به اوج رسیدن اختلاف فشار محلی بین نواحی مختلف، در پهنه ای به مساحت دوسوم منطقه، بادهایی با سرعت ۴ متر بر ثانیه و بیشتر می وزد. بیشترین سرعت وزش باد در بخش های مرکزی و غربی کرمان، غرب و جنوب هرمزگان و جنوب شرق سیستان و بلوچستان مشاهده می شود. کمترین سرعت های باد نیز در یک سوم شمالی منطقه و به ویژه در شمال غرب اصفهان ایجاد شده است. نکته مشخص در نقشه مربوط به ساعت ۱۵، کاهش محسوس سرعت باد در سطح منطقه است. هسته بیشینه سرعت در شمال کرمان و شرق سیستان و بلوچستان قرار دارد. سرعت باد در این مناطق در حدود ۴ متر بر ثانیه می باشد. در بخش های شمالی منطقه و قسمت های شمال شرقی هرمزگان و جنوب کرمان، سرعت باد نسبت به ساعت ۱۲ کاهش یافته و به ۱ تا ۳ متر بر ثانیه رسیده است. در نهایت در ساعت ۱۸ تلاطم روزانه جریانات هوا به ضعیف ترین حالت

سیستان و بلوچستان و بخش‌هایی از هرمزگان و جنوب کرمان قرار گرفته‌اند. در این نواحی سرعت باد بین ۱ تا ۲ متر بر ثانیه است (شکل ۵).

به منظور بررسی جزئیات پتانسیل سنجی کسب انرژی از باد در مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران نیز دوره زمانی بررسی‌ها به دو بخش شب و روز تقسیم و به صورت مجزا مورد تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل در ساعت ۲۱، ۲۹ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل بالایی جهت استفاده از انرژی باد می‌باشند.

خود رسیده و الگوی موجود در نقشه‌های ساعت‌های قبل، در این زمان مشاهده نمی‌شود. الگوی وزش باد در این ساعت به صورتی پراکنده در آمده است. بیشینه سرعت باد در جنوب اصفهان، جنوب خراسان رضوی و شمال خراسان جنوبی و به طور ضعیف‌تر در بخش‌هایی از کرمان دیده می‌شود. در این نواحی سرعت متوسط باد به حدود ۱/۵ تا ۳ متر بر ثانیه می‌رسد که افت قابل توجهی نسبت به زمان ظهر نشان می‌دهد. مکان‌های کمینه سرعت نیز مانند بیشینه، در سطح منطقه پراکنده هستند و در بخش‌های شمالی منطقه (شمال خراسان رضوی)، شمال غرب اصفهان، شرق خراسان جنوبی، شمال



شکل ۵- توزیع مکانی میانگین سرعت باد طی ساعات روز در سطح منطقه مورد مطالعه

این مناطق شامل نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان، جنوب شرق کرمان، شرق هرمزگان و چند محدوده کوچکتر در شمال خراسان جنوبی و جنوب اصفهان می‌باشند. طی این ساعت، ۴۰ درصد از مساحت پهنه دارای شرایط متوسطی از لحاظ توان استفاده از انرژی باد می‌باشد. این مساحت گسترده شامل بخش‌هایی از غرب هرمزگان، شمال و غرب کرمان، اغلب بخش‌های استان یزد، نیمه غربی سمنان، شرق اصفهان و شمال قم می‌باشد. در ۳۱ درصد از مناطق نیز سرعت باد به حدی کم بوده که از دیدگاه مدل‌های رایانه‌ای در گروه مناطقی با پتانسیل ضعیف از نظر بهره‌برداری انرژی باد طبقه‌بندی شده است. این مناطق شامل استان خراسان رضوی، شرق سمنان، جنوب شرق استان خراسان جنوبی و شمال سیستان و بلوچستان می‌باشند. همچنین به صورت پراکنده‌تر، در بخش‌هایی از استان یزد، اصفهان و هرمزگان نیز این شرایط مشاهده می‌شود. در ساعت دو صفر (نیمه‌شب) با فروکش کردن میزان حرکت جریانات هوا و سکون نسبی جو، مساحت مناطق با پتانسیل بالا، قدری کاهش یافته و به ۲۶ درصد رسیده

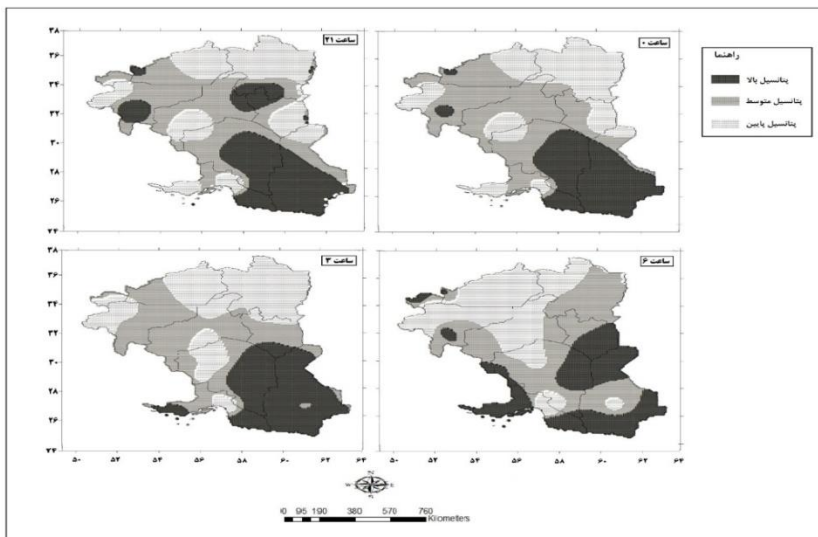
است. با توجه به نقشه مربوط به این ساعت مشخص می‌شود که محدوده این طبقه به نیمه شرقی کرمان و نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان و شرق هرمزگان محدود شده است. در این ساعت بر وسعت مناطقی با پتانسیل متوسط افزوده شده است. وسعت این مناطق نسبت به ساعت قبل با ۳ درصد افزایش به ۴۳ درصد رسیده است. مناطق تحت پوشش این طبقه، تقریباً همان مناطقی می‌باشد که برای ساعت ۲۱ بیان شد؛ با این تفاوت که با کاسته شدن از وسعت مناطق با پتانسیل بالا، بر وسعت مناطق با پتانسیل متوسط افزوده شده است. درصد پوشش مناطقی با پتانسیل پایین، بدون تغییر نسبت به ساعت قبل، در حد ۳۱ درصد حفظ شده است. از لحاظ مناطق تحت پوشش این طبقه در شرق سمنان، خراسان رضوی، شرق خراسان جنوبی و شمال سیستان و بلوچستان دیده می‌شود؛ همچنین به صورت پراکنده و کوچک‌تر در غرب اصفهان، مرز استان‌های یزد و کرمان و بخش‌هایی از استان هرمزگان نیز قابل مشاهده است. بررسی اطلاعات مربوط به ساعت ۳ بامداد افزایش ۲ درصدی را در مساحت

مناطق با پتانسیل بالا نشان می‌دهد. در این زمان مساحت مناطق با این پتانسیل به ۲۸ درصد رسیده است. عمده مناطق تحت پوشش این طبقه در منتهی الیه جنوب شرقی منطقه شامل بخش‌های شرقی کرمان، شرق هرمزگان و اکثر نقاط استان سیستان و بلوچستان مشاهده می‌شود. در این ساعت به طور چشمگیری از پوشش مناطقی با پتانسیل متوسط باد کاسته شده و از ۴۳ درصد در ساعت صفر، به ۳۷ درصد کاهش یافته است؛ همچنین الگوی یکنواخت و پیوسته آن در بخش‌های مختلف منطقه برهم خورده و حالتی پراکنده‌تر به خود گرفته است. وسعت مناطق با پتانسیل ضعیف نسبت به ساعت قبل افزایش یافته و به حدود ۳۵ درصد رسیده که حاکی از کاهش اثرگذاری باد در این مناطق می‌باشد. این محدوده بخش‌های وسیعی از خراسان رضوی، شرق سمنان، شمال شرق یزد، شمال خراسان جنوبی و بخش‌های مرکزی کرمان را در بر گرفته است. در ساعت ۶ صبح الگوی نقشه‌ها تا

مناطق تغییر یافته و مناطقی با حداکثر پتانسیل به سمت بخش‌های شمالی سیستان و بلوچستان، جنوب خراسان جنوبی و شرق کرمان و همچنین سواحل دریای عمان، تنگه هرمز و خلیج فارس منتقل شده‌اند. در این زمان ۲۶ درصد محدوده دارای پتانسیل بالایی برای استفاده از انرژی باد می‌باشد. ۴۰ درصد مساحت محدوده نیز دارای پتانسیل متوسط در زمینه استفاده از این انرژی هستند که شامل نیمه شرقی استان خراسان رضوی، نیمه شمال شرقی استان خراسان جنوبی، بخش‌های مرکزی کرمان و غرب یزد و جنوب اصفهان می‌باشند. همچنین در این ساعت، ۳۴ درصد مساحت محدوده دارای پتانسیل ضعیفی برای استفاده از انرژی باد است که در نیمه شمالی و بخش‌های مرکزی ناحیه قرار گرفته است (جدول ۲ و شکل ۶). همچنین بر اساس محاسبات انجام شده متوسط جهت باد در مناطق با پتانسیل بالا، ۱۸۸ درجه است.

جدول ۲- درصد پوشش پتانسیل استفاده از انرژی باد در طول شب

ساعت	پتانسیل بالا	پتانسیل متوسط	پتانسیل پایین
۲۱	۲۹	۴۰	۳۱
۰۰	۲۶	۴۳	۳۱
۰۳	۲۸	۳۷	۳۵
۰۶	۲۶	۴۰	۳۴



شکل ۶- پتانسیل استفاده از انرژی باد در مناطق کویری و بیابانی کشور طی ساعات شب

میزان انرژی استحصالی از آن نیز کاهش می‌یابد. بر این اساس در حدود ساعت ۹ صبح، ۴۰ درصد از مساحت محدوده مورد بررسی از پتانسیل بالای بهره‌برداری از انرژی بادی برخوردار است. این مناطق در بخش‌های جنوبی منطقه قرار دارند و شامل نیمه غربی خراسان جنوبی، کرمان، سیستان و

با توجه به اطلاعات جدول (۳) و شکل (۷) می‌توان دریافت که بیشترین میزان پتانسیل بهره‌برداری از انرژی باد طی ساعات‌های مختلف، در نیمه جنوبی منطقه مشاهده می‌شود. هرچند بالاترین میزان این پتانسیل در ساعات صبح تا اوایل بعد از ظهر وجود دارد و بعد از آن با فروکش کردن سرعت باد،

از محدوده را پوشش داده‌اند که ۲ درصد نسبت به ساعت ۹ کاهش یافته است. محدوده پوشش این طبقه نسبت به ساعت قبل تغییر چندانی نیافته است و شامل همان مناطق ذکر شده در ساعت قبل می‌باشد. در ساعت ۱۲ همچنین ۳۳ درصد محدوده دارای پتانسیل پایینی برای بهره‌برداری از انرژی باد است که نسبت به ساعت ۹، یک درصد کاهش نشان می‌دهد. در این ساعت نیز کمترین توان باد برای تولید انرژی در قسمت‌های شمالی محدوده مشاهده می‌شود. نقشه ساعت ۱۵ کاهش قابل توجهی را در وسعت مناطق با پتانسیل بالا نشان می‌دهد. در این ساعت وسعت مناطق دارای پتانسیل بالا با ۷ درصد کاهش نسبت به ساعت ۱۲ به ۳۶ درصد رسیده است. تغییر الگوی مناطق دارای پتانسیل بالا برای استفاده از انرژی باد، تغییر شرایط این فراسنج با نزدیک شدن با ساعات پایانی روز را بیان می‌کند. در این ساعت مناطقی از جنوب اصفهان، جنوب و شرق یزد، شمال کرمان، سیستان و بلوچستان و جنوب شرق هرمزگان از پتانسیل بالا برخوردارند. همچنین ۳۰ درصد از قسمت‌های منطقه دارای

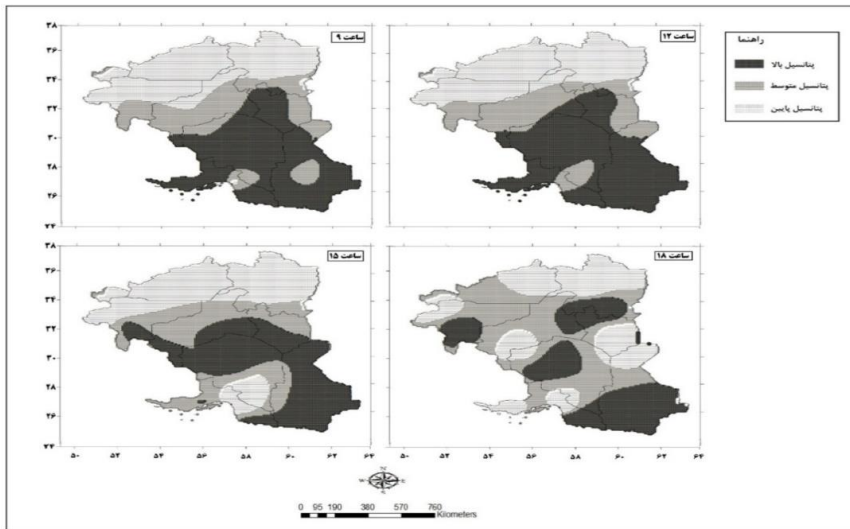
بلوچستان و هرمزگان می‌باشد. پتانسیل متوسط بهره‌برداری از این انرژی نیز در ۲۶ درصد منطقه مشاهده می‌شود که شامل بخش‌هایی از شرق خراسان جنوبی، جنوب خراسان رضوی، اغلب مناطق استان یزد، جنوب کرمان و به صورت پراکنده‌تر در قسمت‌هایی از سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان نیز مشاهده می‌شود. مناطق دارای پتانسیل پایین استفاده از انرژی باد نیز عمدتاً در قسمت‌های شمالی منطقه قرار دارند. این مناطق ۳۴ درصد مساحت محدوده را در برگرفته است و از لحاظ موقعیت جغرافیایی شامل استان خراسان رضوی، سمنان، قم، بخش‌های شمال غربی یزد و شمال اصفهان می‌شود. در ساعت ۱۲ با افزایش سرعت باد در کل منطقه، بهینه‌ترین شرایط جهت استفاده حداکثری از انرژی باد فراهم می‌شود. طی این ساعت، ۴۳ درصد از مساحت محدوده دارای پتانسیل بالا می‌باشند که شامل بخش‌های وسیعی از استان‌های خراسان جنوبی، قسمت‌های شرقی یزد، کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان می‌شود. مناطقی با توان متوسط استفاده از انرژی باد، ۲۴ درصد

پتانسیل متوسط هستند که نسبت به دوره‌ی زمانی قبلی (ساعت ۱۲)، افزایشی ۶ درصدی را نشان می‌دهد. این محدوده در ورای مناطق با پتانسیل بالا قرار می‌گیرد و بخش‌هایی از شمال خراسان جنوبی، شمال یزد، شرق اصفهان، جنوب کرمان و غرب هرمزگان را شامل می‌شود. طی این ساعت ۳۴ درصد از مساحت محدوده دارای پتانسیل پایین ارزیابی شده است. علاوه بر بخش‌های شمالی منطقه که در ساعات قبل نیز دارای پتانسیل پایین ارزیابی شده بودند، در این ساعت، قسمت‌هایی از جنوب کرمان و شمال هرمزگان نیز به این طبقه اضافه شده است. بررسی اطلاعات مربوط به ساعت ۱۸ نیز نشان می‌دهد که در این ساعت، تنها ۲۸ درصد از مساحت محدوده دارای پتانسیل بالا برای استفاده از انرژی باد می‌باشد. این مناطق به صورت بخش‌های پراکنده‌ای در جنوب

اصفهان، مناطق مرکزی کرمان، محدوده مرزی بین استان‌های خراسان رضوی، جنوبی و یزد، شرق هرمزگان و جنوب سیستان و بلوچستان قرار گرفته‌اند. مناطق دارای پتانسیل متوسط نیز با افزایش چشمگیری در حدود ۱۱ درصد، ۴۱ درصد از مساحت محدوده را به خود اختصاص داده‌اند. مناطق دارای پتانسیل ضعیف نیز با کاهش ۳ درصدی، ۳۱ درصد از مساحت محدوده را در بر گرفته‌اند. مناطق تحت پوشش این طبقه نیز به صورت پراکنده، بخش‌هایی از استان‌های سمنان، خراسان رضوی، اصفهان، قم، کرمان، یزد، خراسان جنوبی، شمال سیستان و بلوچستان و شمال و شمال غرب هرمزگان را در بر گرفته‌اند (جدول ۳ و شکل ۷). بر اساس محاسبات انجام شده جهت متوسط باد نیز در مناطق با پتانسیل بالا در ساعات روز ۱۹۰ درجه می‌باشد.

جدول ۳- درصد پوشش پتانسیل استفاده از انرژی باد در طول روز

ساعت	پتانسیل بالا	پتانسیل متوسط	پتانسیل پایین
۰۹	۴۰	۲۶	۳۴
۱۲	۴۳	۲۴	۳۳
۱۵	۳۶	۳۰	۳۴
۱۸	۲۸	۴۱	۳۱



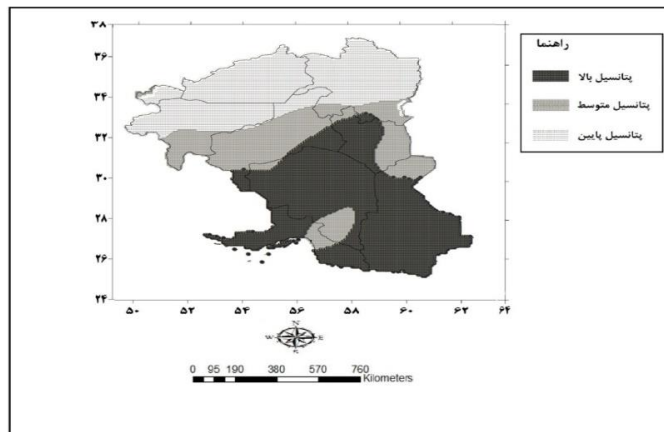
شکل ۷- پتانسیل استفاده از انرژی باد در مناطق کویری و بیابانی کشور طی ساعات روز

پتانسیل بالایی برای نصب توربین‌های بادی و استفاده از انرژی باد می‌باشند. این مناطق در طی روز شاهد وزش بادهای قدرتمندی هستند. در ساعات شب با اینکه محدوده پتانسیل بالا اندکی کوچک‌تر می‌شود. با در نظر گرفتن این موضوع نیز می‌توان محدوده استان‌های سیستان و بلوچستان، شرق و جنوب شرق کرمان و شرق هرمزگان را از مناطق بسیار مستعد برای استفاده از انرژی باد به حساب آورد. پتانسیل بالای این مناطق در تمام ساعات شبانه‌روز حفظ شده و می‌توان با اطمینان بالایی تداوم استحصال انرژی بادی در این مناطق برای تمام طول

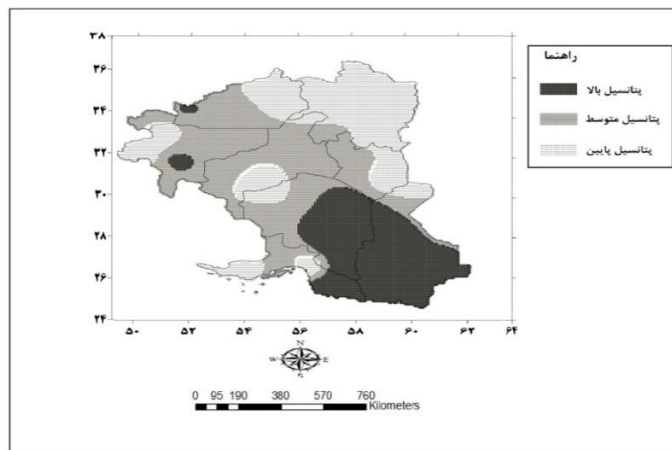
شکل‌های (۸ و ۹) دو نمونه از نقشه‌های پتانسیل سنجی استفاده از انرژی باد در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. این نقشه‌ها برای دو مقطع زمانی ساعت ۱۲ و ساعت ۰۰ به عنوان نماینده ساعات روز و شب تهیه شده‌اند و با استفاده از آن‌ها می‌توان نظر قطعی در مورد پتانسیل مناطق مختلف به منظور استفاده از انرژی باد را بیان نمود. با توجه به الگوی کلی موجود در نقشه‌ها می‌توان گفت که بخش‌های جنوبی محدوده شامل استان‌های خراسان جنوبی، جنوب و شرق یزد، اغلب بخش‌هایی از استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان و هرمزگان دارای

سال را تضمین کرد. این مناطق دارای شرایط کویری و بیابانی مطلق، اختلاف فشار دائمی و شبانه‌روزی و در بخش‌های جنوبی جریانات دریا به خشکی و بالعکس هستند که موجب تداوم وزش باد در آن‌ها می‌گردد. زاویه متوسط وزش باد در این مناطق طی روز

۱۹۰±۱۰ درجه و طی شب ۱۸۸±۱۵ درجه می‌باشد. در نتیجه می‌توان با نصب توربین‌های بادی در مناطق ذکر شده و قرار دادن جهت آن‌ها در زوایای ذکر شده بهینه‌ترین شرایط را جهت استحصال برق از انرژی باد ایجاد نمود.



شکل ۸- پتانسیل بهره‌برداری از انرژی باد در ساعت ۱۲



شکل ۹- پتانسیل بهره‌برداری از انرژی باد در ساعت ۱۰

روش‌ها در نهایت شرایط باد در منطقه و چگونگی تغییرات آن در ساعت‌های ۸ گانه دیده‌بانی (سینوپ) مشخص شد و پتانسیل استفاده از نیروی این فراسنج در ساعات مختلف شبانه‌روز مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه به طور کلی با توجه به تأثیر گرمایش خورشیدی بر سطح زمین در طول روز و افزایش دما و در نتیجه افزایش اختلاف فشار بین ناهمواری‌ها و مناطق کم ارتفاع در طول روز، سرعت وزش باد به صورت مشخص افزایش می‌یابد؛ ضمن اینکه جهت آن نیز تغییر می‌یابد. در واقع در ساعات روز با تشدید اثرگذاری عوامل جغرافیایی، اقلیمی و توپوگرافیکی اختلاف فشار بیشتر شده و در نتیجه‌ی آن جریانات تلاطمی هوا (افقی و عمودی) به صورتی کاملاً مشخص جلوه‌گر می‌شوند. در ساعات شب با از بین رفتن عوامل ایجادکننده اختلاف فشار، تنها عوامل محلی بر حرکت جریانات هوا مؤثر خواهند بود که موجب کاهش چشمگیر سرعت بادها در طول شب و تغییر جهت آن‌ها خواهد شد. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بیشترین سرعت باد در سطح منطقه در ساعت‌های ۹ صبح تا

هر چند باید به این نکته توجه داشت که اعداد ذکر شده تنها زوایای متوسط در کل منطقه را بیان می‌کنند. در این مناطق سرعت متوسط باد بین ۴ تا ۶ متر بر ثانیه است که کاملاً برای راه‌اندازی توربین‌های بادی مناسب است. بنابراین می‌توان به این نواحی نیز به منظور استفاده از انرژی باد توجه نمود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی داده‌های باد و مشخص کردن مناطق مستعد بهره‌برداری از انرژی بادی، یکی از روش‌های تحلیل فضایی، تحت عنوان شاخص موران محلی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این روش می‌توان خودهمبستگی‌های فضایی بین سرعت باد در نقاط مجاور را ارزیابی کرد و از طریق آن نقاطی که دارای سرعت‌های بالای باد (بیش از ۶ متر بر ثانیه) بوده‌اند را به عنوان مناطقی با پتانسیل بالا شناسایی کرد. از سوی دیگر این روش توانایی آن را دارد که نقاطی که در آن‌ها سرعت باد پایین است (کمتر از ۳ متر بر ثانیه) را به عنوان نقاط دارای پتانسیل پایین برای استفاده از انرژی باد تشخیص دهد. با استفاده از این

۱۵ بعد از ظهر مشاهده می‌شود که با نزدیک شدن به ظهر افزایش می‌یابد و بعد از آن روندی نزولی پیدا می‌کند. اوج این شرایط در حوالی ظهر ایجاد می‌گردد که منطبق بر زمان دریافت بیشینه تابش‌های خورشیدی می‌باشد. مطابق انتظار پایین‌ترین سرعت‌های باد در ساعات شب (به ویژه نیمه شب) رخ می‌دهند. چون در این زمان‌ها هوا موتور محرکه اصلی خود (تابش خورشیدی و گرمایش سطح زمین) را از دست داده است. مورد دیگری که بر اساس نتایج حاصل مشاهده شد تغییرات هماهنگ تغییر جهت باد با تغییر سرعت باد طی ساعت‌های مختلف شبانه‌روزی باشد. در واقع جهت بادهای روزانه نسبت به شب، چرخشی ۸۰ درجه‌ایرا نشان می‌دهند و بادهایی که در طول شب جهتی شرقی داشتند طی روز دارای جهت جنوب شرقی تا جنوبی خواهند شد. با توجه به نتایج تحقیق محدوده استان‌های سیستان و بلوچستان، شرق و جنوب شرق کرمان و شرق هرمزگان از مناطق مستعد برای استفاده از انرژی باد در منطقه هستند. پتانسیل بالای این مناطق در تمام ساعات شبانه‌روز حفظ شده و می‌توان با اطمینان بالایی

تداوم استحصال انرژی بادی در این مناطق برای تمام طول سال را تضمین کرد. پژوهش حاضر نتایج مطالعات امیدوار و همکاران (۱۳۹۱)، انتظار و همکاران (۱۳۹۱)، زرین و همکاران (۱۳۹۴)، گرگانی فیروزجاه و همکاران (۱۳۹۴) در زمینه پتانسیل استفاده از انرژی بادی در مناطق خشک و بیابانی را مورد تأیید قرار می‌دهد.

منابع

- استان‌های اردبیل و زنجان، پژوهش-
های جغرافیای طبیعی، شماره ۳،
صص ۲۶۱-۲۷۴.
- دهقان، مهدی (۱۳۹۲)، پتانسیل
سنجی انرژی باد، انتشارات بوستان
علم، چاپ اول، تهران.
- زرین، آذر؛ زنده‌دل رودی، زهره؛
دوستان، رضا (۱۳۹۴)، پتانسیل
سنجی انرژی باد در خراسان رضوی -
مطالعه‌ی موردی: مشهد، نیشابور،
خاف، فصلنامه تحقیقات مکانیک
کاربردی، جلد ۷، شماره ۲، صص ۱-
۱۵.
- عباسپور، مجید؛ غازی، ساناز (۱۳۸۸)
، فرصت‌ها و چالش‌های پیش‌روی
توسعه‌ی به‌کارگیری انرژی‌های نو در
کشور، همایش الگوی تولید و مصرف،
توسعه‌ی پایدار، منابع انرژی و محیط
زیست، تهران.
- عبدلی، حبیب؛ ساری صراف، بهروز؛
حسینی شمعی، عباس (۱۳۸۸)،
امکان سنجی پتانسیل انرژی باد و
کاربرد آن در طرح‌های توسعه‌ی
صنعتی (مطالعه‌ی موردی: استان
آذربایجان شرقی)، فضای جغرافیایی،
سال ۹، شماره ۲۸، صص ۵۷-۷۴.
- امیدوار، کمال؛ دهقان طرزجانی، مهدی
(۱۳۹۱)، پتانسیل سنجی و برآورد
مشخصه‌های نیروی باد برای تولید
انرژی در ایستگاه‌های همید استان
یزد، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال
۲۷، شماره ۲، صص ۱۴۹-۱۶۸.
- انتظاری، علیرضا؛ امیر احمدی،
ابوالقاسم؛ عرفانی، عاطفه؛ برزویی، اکرم
(۱۳۹۱)، ارزیابی پتانسیل انرژی باد و
امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در
سبزوار، مطالعات جغرافیایی مناطق
خشک، سال ۳، شماره ۹ و ۱۰،
صص ۳۳-۴۶.
- بیگلری، مجتبی؛ عصاره، احسان‌اله؛
ندائی، مجتبی؛ پول‌تنگری، ایمان
(۱۳۹۳)، امکان‌سنجی و ارزیابی
اقتصادی انرژی باد در شمال استان
خوزستان مطالعه موردی: شهر
شوشتر، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۷،
شماره ۱، صص ۹۱-۱۱۰.
- ثقفی، محمود (۱۳۷۲)، انرژی باد و
کاربرد آن در کشاورزی، انتشارات
دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران.
- جهانبخش، سعید؛ رضایی بنفشه،
مجید؛ دین‌پژوه، یعقوب (۱۳۹۳)،
امکان‌سنجی استفاده از انرژی باد در

- علمداری، پوریا؛ نعمت الهی، امید؛ میرحسینی، سید مجتبی؛ عالم رجبی، علی اکبر (۱۳۹۰)، بررسی پتانسیل انرژی باد در استان اردبیل جهت احداث نیروگاه برق بادی، اولین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.
- علیجانی، بهلول؛ دوستکامیان، مهدی؛ اشرفی، سعیده؛ شاکری، فهیمه (۱۳۹۴). بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی درون دهه ای بارش ایران طی نیم قرن اخیر، جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، شماره ۱۴، صص ۷۱-۸۸.
- کاویانی، محمد رضا؛ علیجانی، بهلول (۱۳۸۶)، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، تهران.
- گرگانی فیروز جاه، خلیل؛ سالار، مصطفی؛ شاه بهرامی، علی اکبر (۱۳۹۴)، بررسی اقتصادی پتانسیل انرژی خورشید و باد؛ مقایسه شمال کشور با مناطق مرکزی و جنوبی ایران، بیستمین کنفرانس توزیع برق، زاهدان.
- مینائیان، علی؛ صداقت، احمد؛ عالم رجبی، علی اکبر (۱۳۹۲)، پتانسیل سنجی انرژی بادی استان سیستان و بلوچستان برای احداث نیروگاه بادی، نشریه مهندسی و مدیریت انرژی، شماره ۳، صص ۳۴-۴۱.
- نورالهی، یونس؛ اشرف، سید محمدعلی؛ زمانی، محسن (۱۳۹۰)، پتانسیل سنجی انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۲-۲۲.
- ولدی، فرزاد (۱۳۹۳)، ارزیابی توان اقلیمی انرژی باد به منظور تولید برق در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی کاربردی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان.
- هوشمند، محمود؛ حسینی، سید حامد (۱۳۹۳)، ارزیابی اقتصادی تولید برق با استفاده از انرژی باد توسط بخش خصوصی در ایران، دو فصلنامه اقتصاد پولی- مالی (دانش و توسعه سابق)، سال ۲۱، شماره ۸، صص ۸۵-۱۰۶.
- یاراحمدی، داریوش؛ حلیمی، منصور، زارعی چقابلیکی، زهرا (۱۳۹۴)، تحلیل فضایی بارش ماهانه شمال غرب ایران با استفاده از آماره‌ی خودهمبستگی فضایی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، صص ۴۵۱-۴۶۴.
- Ahmed – Shato A.S; Hanitsch R. (2006),

- Renewable Energy, 34: 2246-2251.
- Celik A.N. (2003) , Assessing the Suitability of Wind Speed Probability Distribution Function Based on Wind Power Density , Renewable Energy, 28: 1536-1574.
 - Cellura, M. A; Cirrincione, G; Marvuglia, A; Miraoui, A. (2008), Wind speed spatial estimation for energy planning in Sicily: a neural kriging application. Renewable Energy, 33: 1251-1266.
 - Elamouria M; Ben-Amara F. (2008) , Wind Energy Potential In Tunisia , Renewable Energy, 33: 758-768.
 - Fyrippis, I ;Axaopoulos, P. J; Panayiotou, G. (2010) , Wind energy potential assessment in Naxos Island, Greece. Applied Energy, 87: 577-586.
 - Gupta R; Biswas A. (2010) , Wind Data Analysis of Silchar (Assam , India) by Rayleigh's and Weibull Methods , Journal of Mechanical Engineering Research, 2:10-24.
 - Evaluation of Wind Energy Potential and Electricity Generation on the Coast of Mediterranean Sea in Egypt , Renewable Energy, 31: 1183-1202.
 - Ahmed, A. S. (2012) , Potential wind power generation in South Egypt. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 1528-1536.
 - Alamdari, P; Nematollahi, O; Mirhosseini, M.(2012), Assessment of wind energy in Iran: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 836-860.
 - Al-Nasser W ; Alhajraf S; Al-Enizi A; Al-Awadhi L. (2005), Potential Wind Power Genetation in the State of Kuwait , Renewable Energy, 30: 2149-2161.
 - Bekele G; Palm B (2009), Wind Energy Potential Assessment at Four Typical Locations in Ethiopia , Applied Energy, 86: 388-396.
 - Belu R; Koracin D. (2009) , Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Western Nevada ,

- Mohammadi, K; Mostafaeipour, A; Sabzpooshani, M. (2014), Assessment of solar and wind energy potentials for three free economic and industrial zones of Iran , Energy, 67: 117-128.
- Mostafaeipour A; Abarghoeei H. (2010) , Harnessing Wind Energy at Manjil Area Located in North of Iran , Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14: 93-111.
- Mostafaeipour, A; Jadidi, M; Mohammadi, K; Sedaghat, A. (2013) , An analysis of wind energy potential and economic evaluation in Zahedan, Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30: 641-650.
- Nedaei, M; Assareh, E; Biglari, M. (2014) , An extensive evaluation of wind resource using new methods and strategies for development and utilizing wind power in Mah-shahr station in Iran. Energy Conversion and Management, 81: 475-503.
- Hossain, M. A; Yasmin, S. (2012), Extraction of wind power at different windy locations in Bangladesh. In Electrical Computer Engineering (ICECE), 7th International Conference on IEEE, pp 763-766.
- Keyhani A; Ghasemi-Varnamkhasti M; Khanali M; Abbaszadeh R. (2010), An Assessment of Wind Energy Potential as a Power Generation Source in the Capital of Iran , Tehran , Energy, 35: 188-201.
- Khahro, S. F; Tabbassum, K; Soomro, A. M; Liao, X; Alvi, M. B; Dong, L; Manzoor, M. F. (2014), Techno-economical evaluation of wind energy potential and analysis of power generation from wind at Gharo, Sindh Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 35: 460-474.
- Mirhosseini, M; Sharifi F; Sedaghat A. (2011), Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran , Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1): 449-459.

- Promsen, W;Janjai, S; Tantalechon, T. (2014),An Analysis of Wind Energy Potential of KampotProvince, Southern Cambodia. Energy Procardia, 52: 633-641.
- Yaniktepe, B; Koroglu, T;Savrun, M. M. (2013), Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Osmaniye, Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21: 703-711