

وزش باد در جنوب شرق ایران

تحلیل پراکنش فضایی

چکیده

با رشد جمعیت

و بهره‌برداری از منابع

سوخت‌های فسیلی، جهان

با مسائل زیست‌محیطی فراوانی

مواجه شده است. از سویی دیگر،

تغییرات اقلیمی و افزایش مصرف انرژی

برق موجب تأکید بر استفاده از انرژی‌های

تجدیدپذیر شده است. انرژی باد به‌عنوان یکی

از انرژی‌های تجدیدپذیر دارای مزایای فراوانی است

که در مکان‌های بادخیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا در

پژوهش حاضر، پتانسیل انرژی باد با روش تحلیل فضایی و با کاربرد

داده‌های سرعت باد برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۲ برای جنوب شرق ایران

(استان‌های کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان) ارزیابی شده است.

نقشه‌های آماره موران محلی، G^* و بیضی استاندارد برای هر فصل در محیط

نرم افزار Gis ترسیم و براساس آن‌ها پتانسیل‌های بالا، متوسط و پایین استفاده

از این انرژی مورد ارزیابی و راهکارهای لازم برای استفاده بهینه از انرژی باد

در جهت باد در جهت توسعه پایدار این مناطق ارائه شده است. نتایج حاکی

از این است که در محدوده مورد مطالعه، فصل بهار میزان سرعت باد در $21/3$

درصد از مساحت محدوده، فصل پاییز $25/5$ درصد مساحت، فصل تابستان

$18/8$ درصد از کل مساحت و فصل زمستان $22/2$ درصد مساحت منطقه دارای

پتانسیل بالایی برای استفاده از انرژی باد است.

کلیدواژه‌ها: پراکنش فضایی، آماره موران محلی، آماره G^* ، جنوب‌شرق

ایران، وزش باد، انرژی باد

دکتر مسعود جلالی

استاد گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان

لیلا حسینی‌جانی

دانشجوی دکتری تغییر اقلیم، دانشگاه زنجان

دبیر جغرافیا

علی شاهیانی

دانشجوی دکتری تغییر اقلیم،

دانشگاه زنجان

مقدمه

جهان امروز با رشد روزافزون جمعیت و بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع سوخت‌های فسیلی مواجه است. این امر موجب شده است که پیامدهای منفی استفاده از این منابع انرژی، مانند آلودگی‌های زیست‌محیطی، آلودگی هوا و ... چشمگیرتر از گذشته باشد. از طرفی وقوع تغییرات اقلیمی بر اثر انباشت گازهای گلخانه‌ای و افزایش تقاضای مصرف انرژی برق در سراسر جهان در سال‌های اخیر، موجب تأکید بیشتر بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر شده است که دارای صرفه اقتصادی بیشتر با آلودگی کمتر هستند. از این جهت منابع انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی، باد، امواج زمین گرمایی، بیوماس (هیدروژن زیست‌توده) و انرژی هیدرولیک مورد توجه جهانیان قرار گرفته است و بر کاربرد و توسعه استفاده از این انرژی‌ها و افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی با توجه به شرایط زمانی و مکانی کشورها تأکید شده است. انرژی باد به‌عنوان یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر از مزایای زیادی همچون رایگان بودن، عدم انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی، عدم نیاز به استفاده از سایر سوخت‌های فسیلی برای تبدیل انرژی، وزش تقریباً دائمی، عدم نیاز به سطح وسیع برای نصب تجهیزات مورد نیاز و ... برخوردار است. استفاده از این انرژی در زمان‌های گذشته برای حرکت قایق و کشتی‌های بادبانی و آسیاب‌های بادی صورت می‌گرفته است و به تدریج با گسترش فناوری از این انرژی برای تولید الکتریسیته استفاده شده است به طوری که براساس آخرین آمار منتشر شده از سوی شورای جهانی، انرژی باد کشورهای صنعتی بیشترین سهم را در نصب تجهیزات برای استفاده از باد در سال ۲۰۱۳ دارند (ولدی، ۱۳۹۳: ۲).

با توجه به نقش انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در حفاظت محیط زیست شایسته است توان‌های محیطی مناطق برای استفاده از این منابع انرژی شناسایی شود و تلاش‌ها در جهت بهره‌برداری از آن‌ها افزایش یابد. با هدف شناسایی مناطق مستعد بهره‌برداری از انرژی باد، پژوهش‌های متفاوتی در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است. سلیمورا^۱ و همکاران (۲۰۰۸) از روش کریجینگ و شبکه عصبی برای برآورد سرعت باد در جزیره سیسیل ایتالیا استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ از دقت بالایی در درون‌یابی برخوردار است. همچنین روش‌های آماری توزیع ویبول و ریلی از روش‌هایی هستند که بسیاری از پژوهشگران برای محاسبه احتمالاتی سرعت و چگالی باد به منظور پتانسیل‌سنجی انرژی باد یک منطقه از آن‌ها استفاده کرده‌اند. با این روش‌ها می‌توان مناطق مناسب یا نامناسب برای استفاده از انرژی باد را تشخیص داد. از جمله

پژوهش‌هایی که براساس این روش‌ها صورت گرفته است می‌توان به فری پیس و همکاران^۲ (۲۰۱۰)، کیهانی و همکاران (۲۰۱۰)، میرحسینی و همکاران (۲۰۱۱)، علمداری و همکاران (۲۰۱۲)، حسین و یاسمین (۲۰۱۲)، احمد شاتا (۲۰۱۲)، آکپینار^۳ (۲۰۱۳)، مصطفی پور و همکاران (۲۰۱۳)، یانیک تیه^۴ و همکاران (۲۰۱۳)، آکوره^۵ و همکاران (۲۰۱۳)، مصطفی پور و همکاران (۲۰۱۴)، خاهرو^۶ و همکاران (۲۰۱۴) و محمدی و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد که نتایج کار این محققان وجود شرایط مناسب یا نامناسب برای استفاده از انرژی بادی در مکان‌های تحت بررسی را نشان داده است. همچنین برخی از پژوهشگران از توزیع ویبول و برخی روش‌های آماری دیگر چون لوگ نرمال، گشتاوری، بیشینه درست‌نمایی و تابع لجستیک روش تجربی، بیشینه درست‌نمایی اصلاح‌شده برای پتانسیل‌سنجی انرژی باد استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به کارهای وئو^۷ و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد.

در مقالات منتشر شده داخلی روش توزیع ویبول برای محاسبه پتانسیل‌سنجی انرژی باد بیشترین کاربرد را دارد و در مقالاتی نظیر زاهدی و همکاران (۱۳۸۴)، حق پرست کاشانی و همکاران (۱۳۸۴)، گندمکار (۱۳۸۸)، رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، علمداری و همکاران (۱۳۹۰)، سعیدی و همکاران (۱۳۹۰)، نعمت‌الهی و همکاران (۱۳۹۰)، حسینی و همکاران (۱۳۹۰)، امیدوار و دهقان (۱۳۹۱)، مینائیان و همکاران (۱۳۹۲) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳) به‌منظور برآورد انرژی باد از توابع پیوندی، توزیع‌های ویبول و معکوس، پارامتری‌های توزیع ویبول از قبیل گرافیکی، تجربی، گشتاورها، عامل الگوی انرژی، بیشینه درست‌نمایی و گشتاورهای وزنی احتمالاتی انرژی باد را مورد ارزیابی قرار دادند که در مناطق تحت بررسی، برخی نواحی برای استفاده از انرژی باد مناسب تشخیص داده شده است.

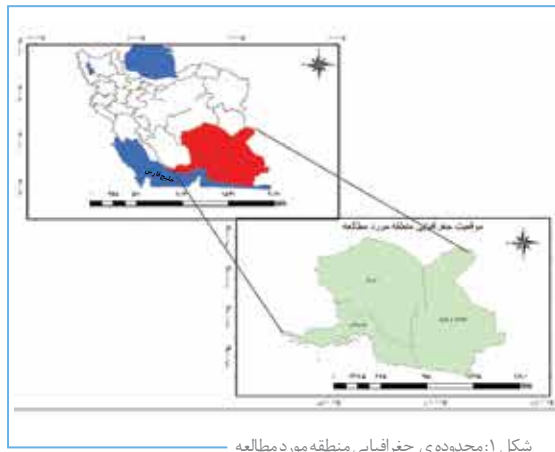
ولدی (۱۳۹۳) با روشی متفاوت با استفاده از عملیات میان‌یابی به روش کریجینگ و سپس انجام تحلیل خوشه‌ای نواحی همگن از نظر سرعت و ضریب تغییرپذیری باد ایران را شناسایی کرد و پتانسیل انرژی باد در هر ناحیه را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش با انتخاب ایستگاه‌های نمونه و با استفاده از نرم‌افزار Windographer پتانسیل انرژی باد در هر یک از پهنه‌ها را محاسبه کرد. نتایج حاکی از وجود میزان بالای انرژی باد در ایستگاه‌های خوشه اول و ششم شامل سواحل جنوبی کشور و ایستگاه منجیل و پتانسیل ضعیف در خوشه‌های دوم، سوم و چهارم شامل بخش‌های مرکزی، شمال شرق و غرب ایران و پتانسیل متوسط در خوشه‌های پنجم و هفتم شامل سواحل دریای عمان، نواحی شرقی و غربی ایران است.

براساس توضیحات بیان‌شده، در پژوهش حاضر تلاش شده است با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی، پتانسیل استفاده از انرژی باد در استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان ارزیابی شود تا براساس آن بتوان مناطق مستعد برای بهره‌برداری بهینه و حداکثری از این انرژی را مشخص کرد.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی در این پژوهش در برگیرنده قسمت‌های جنوب شرقی ایران، شامل استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان است (شکل ۱). مساحت این

محدوده دارای وسعت تقریبی ۴۳۳ هزار کیلومتر مربع بوده و در مختصات ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. به صورت کلی، آب و هوای بخش‌های شمالی و مرکزی این محدوده گرم و خشک است و شرایط بیابانی در آن استیلا دارد. در قسمت‌های جنوبی منطقه، نزدیکی به خلیج فارس و دریای عمان موجب شده است شرایط اقلیمی تا حدودی تعدیل شود و آب و هوای این نواحی نسبت به بخش‌های شمالی و مرکزی، قدری معتدل و مرطوب‌تر است.



شکل ۱: محدوده‌ی جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر به منظور بررسی رفتار فضایی سرعت وزش باد از داده‌های روزانه این فرانسج استفاده شده که برای بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۲ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. سپس به منظور تحلیل فضایی سرعت باد در کل ناحیه مورد بررسی در نخستین گام با استفاده از روش کریجینگ اقدام به میان‌یابی داده‌های ایستگاهی باد و تولید داده‌های یاخته‌ای شده است. در گام بعدی، با تولید داده‌های یاخته‌ای، از داده‌های سه ماهه هر فصل میانگین گرفته شده و داده‌های مربوط به میانگین هر فصل به دست آمده است. سپس به منظور تحلیل رفتار فضایی داده‌های جغرافیایی (سرعت وزش باد) با توجه به ویژگی‌های آن‌ها با توزیع آماری از شاخص بیضی استاندارد، آماره موران محلی و G^* استفاده شده است تا الگوی بهینه برای نمایش توزیع آماری داده‌های باد در فضای به دست آید. بیضی استاندارد به ما امکان می‌دهد که اگر توزیع عوارض و پدیده‌ها در فضا از الگوی جهت‌دار برخوردار باشد آن را شناسایی کنیم. اگر چه می‌توان تا حدودی جهت داده‌ها را با نمایش اولیه آن‌ها دریافت، اما بیضی استاندارد این جهت‌گیری را به‌طور دقیق و آماری محاسبه می‌کند و به نمایش درمی‌آورد. این آماره از طریق روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود (بلیانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۵۴).

رابطه ۲

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{f=1}^k (\hat{o}_f - \bar{o})^2}{k}}$$

در روابط بالا X_i و Y_i مختصات i بوده و \bar{o} ، \bar{u} ، \bar{v} به ترتیب میانگین مرکزی عوارض و n برابر با تعداد کل عوارض در لایه مورد مطالعه است. آماره موران محلی خوشه‌بندی کلی متغیرها را نشان می‌دهد و برای آشکارسازی الگوی فضایی تفاوت‌های محلی از آماره خودهمبستگی موران محلی استفاده می‌شود. این شاخص تفاوت فضایی ارزش‌های هر یاخته و یاخته‌های مجاورش را اندازه‌گیری و معناداری آن‌ها را نیز ارزیابی می‌کند. این آماره شکل تجزیه شده آماره موران جهانی است و بر اساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود (بلیانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۶۳).

رابطه ۳

$$G^* = \frac{\sum_{f=1}^k z_f \cdot \sum_{f=1}^k z_f}{\sum_{f=1}^k z_f^2}$$

در رابطه ۳، N تعداد یاخته‌ها (مشاهدات فضایی)، X_i و Y_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده استاندارد یاخته i ام و Z ام هستند، W_{ij} مقدار وزن فضایی استاندارد شده و مجموع وزن‌ها برابر ۱ است. شاخص دیگری که به منظور ارزیابی خودهمبستگی فضایی مورد استفاده قرار گرفته، شاخص G^* است. این شاخص نقاط توزیع داده‌های مکان‌محور را با توجه به نوع داده و تحلیل‌های همبستگی فضایی به صورت عدد نمره استاندارد نمایش می‌دهد. رابطه اصلی این آماره به صورت رابطه ۴ است (بلیانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۶۵).

رابطه ۴

$$G^* = \frac{\sum_{f=1}^k z_f \cdot \sum_{f=1}^k z_f - \frac{(\sum_{f=1}^k z_f)^2}{k}}{\sqrt{\frac{(\sum_{f=1}^k z_f)^2 - \frac{(\sum_{f=1}^k z_f)^2}{k}}{k-1}}}$$

در این رابطه X_i مقدار خصیصه برای عارضه i و W_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j برابر با تعداد کل عارضه‌هاست. مقادیر \bar{X} و \bar{S} نیز از روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند.

رابطه ۵

$$\bar{X} = \frac{\sum_{f=1}^k x_f}{k}$$

رابطه ۶

$$z = \sqrt{\frac{\sum_{f=1}^k x_f^2}{k} - (\bar{x})^2}$$

رابطه ۱

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{f=1}^k (\hat{o}_f - \bar{o})^2}{k}}$$

طبقات نمره استاندارد برای این آماره به شرح جدول ۱ است (بلیانی و حکیم‌دوست، ۱۳۹۳: ۱۶۶).

جدول ۱: طبقات نمره استاندارد آمارة G*

ردیف	نمره استاندارد	سطح معناداری	الگوی پراکنش فضایی
۱	□ ۲/۵۸	۰/۰۱	خوشه‌ای قوی - سرد - سرد
۲	- ۱/۹۶ - ۲/۵۸	۰/۰۵	خوشه‌ای متوسط - سرد - سرد
۳	- ۱/۶۵ - ۱/۹۶	۰/۱۰	خوشه‌ای ضعیف - سرد - سرد
۴	- ۱/۶۵ - ۱/۶۵	-	تصادفی - توزیع ناموزون
۵	۱/۶۵ - ۱/۹۶	۰/۱۰	خوشه‌ای ضعیف - داغ - داغ
۶	۱/۹۶ - ۲/۵۸	۰/۰۵	خوشه‌ای متوسط - داغ - داغ
۷	□ ۲/۵۸	۰/۰۱	خوشه‌ای قوی - داغ - داغ

نظر آماری، هرچه امتیاز Z کوچک‌تر باشد به معنای خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر اندک خواهد بود و نشان‌دهنده لکه‌های سرد (فلاح قالهری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰) و معناداری در سطوح اطمینان ۰/۹۹، ۰/۹۵ و ۰/۹۰ است. دامنه رنگی روی نقشه نشان می‌دهد که هر قدر از دامنه رنگ‌های قرمز و آبی کاسته شود، از نظر آماری دارای معناداری کمتری است تا جایی که خودهمبستگی فضایی بین داده‌ها وجود نداشته باشد. جدول ۲ درصد پوشش هر یک از طبقات همبستگی (بالا، پایین، بدون همبستگی) مکانی یاخته‌ها در فصول مختلف (شاخص موران محلی) را نمایش می‌دهد.

جدول ۲: همبستگی مکانی فرانسج سرعت باد جنوب شرق ایران

فصل	همبستگی بالا	عدم همبستگی	همبستگی پایین
بهار	۲۱/۳	۲۵/۶	۵۳/۱
تابستان	۱۸/۸	۳۱/۱	۵۰/۱
پاییز	۲۰/۹	۲۵/۵	۵۳/۶
زمستان	۲۲/۲	۲۲/۶	۵۵/۲

بر اساس توضیحات بالا و با توجه به اطلاعات جدول ۲ و همچنین نقشه‌های شکل ۲، مشخص می‌شود که در فصل بهار میزان سرعت باد در ۲۱/۳ درصد از مساحت محدوده شامل بخش‌های شمالی سیستان و بلوچستان و شمال شرق کرمان به اندازه‌ای بوده که این مناطق جزو بخش‌هایی با پتانسیل بالا برای استفاده از انرژی باد طبقه‌بندی شوند. بر اساس شرایط موجود در نقشه شاخص G*، مناطق مذکور دارای همبستگی مثبت و معنادار در سطح ۹۹ درصد هستند که حاکی از پتانسیل بالای این نواحی برای بهره‌برداری از انرژی باد است. با بررسی شرایط نقشه‌ها و در نظر گرفتن موقعیت و شرایط محیطی منطقه می‌توان گفت شرایط تغییر فصل که در بهار وجود دارد، در کنار اختلاف فشاری که به دلیل توزیع ناهموازی‌ها در قسمت‌های شرقی محدوده مورد مطالعه ایجاد شده بر افزایش پتانسیل استفاده از انرژی باد تأثیرگذار است. در این فصل ۲۵/۶ درصد از مساحت منطقه شامل بخش‌هایی از شمال، مرکز و شرق کرمان و همچنین قسمت‌های مرکزی سیستان و بلوچستان دارای پتانسیل متوسط برای بهره‌برداری از انرژی باد است. نواحی مذکور از نظر معناداری یا معنادار نیستند یا معناداری ضعیف دارند. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از انرژی باد در این مناطق باید با برنامه‌ریزی و احتیاط بیشتری همراه باشد، چون ممکن است در برخی نواحی سرعت یا جهت وزش باد از قدرت و پایداری مناسب در جهت بهره‌برداری از انرژی آن برخوردار نباشد. در مساحتی حدود ۵۳/۱ از محدوده نیز پتانسیل ضعیفی برای بهره‌برداری از انرژی باد وجود دارد. این نواحی بخش‌های وسیعی از نیمه غربی کرمان، تمام هرمزگان و نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان را دربرمی‌گیرند که دارای معناداری قوی در سطح ۹۹ درصد هستند. نواحی مذکور به دلیل سرعت پایین و پراکندگی زیاد باد در آن‌ها مستعد بهره‌برداری گسترده از انرژی باد نیستند. بررسی موقعیت و جهت انحراف بیضی استاندارد در این فصل حاکی از تراکم بادهای پرسرعت در بخش‌های شمال شرقی محدوده است که در جهت شمال غربی - جنوب شرقی می‌وزند. موقعیت این

با توجه به توضیحات بالا و با در نظر گرفتن ضرورت شناخت پتانسیل‌های محیطی مناطق مختلف کشور به منظور استفاده از انرژی باد در جهت تولید برق، در پژوهش حاضر تلاش شده است با استفاده از روش‌های ذکرشده، نقشه‌های آمارة موران محلی، G* و بیضی استاندارد برای هر فصل در محیط نرم‌افزار GIS ترسیم و براساس آن‌ها پتانسیل‌های بالا، متوسط و پایین استفاده از این انرژی در استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان ارزیابی و راهکارهای لازم برای استفاده بهینه از انرژی باد در جهت توسعه پایدار این مناطق ارائه شود.

یافته‌های پژوهش

با هدف شناسایی و ارزیابی پتانسیل استفاده از انرژی باد در مناطق مختلف استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان، در این بخش الگوی فضایی حاکم بر پراکنش سرعت باد در این مناطق محاسبه شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. به دلیل اینکه در آمار فضایی شناخت الگوها و کشف روندهای موجود در داده‌های فضایی اهمیت بسیار دارد، پیش از هر گونه تحلیل و تهیه نقشه در آمار فضایی باید درک کرد که داده‌ها چگونه در فضا توزیع شده‌اند و توزیع آن‌ها در فضا از چه الگو و قاعده‌ای پیروی می‌کند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در این پژوهش از شاخص‌های موران محلی و بیضی استاندارد (برای ارزیابی پتانسیل استفاده از انرژی باد در نواحی گوناگون و نمایش جهت توزیع داده‌های باد) و شاخص G* (به منظور سنجش میزان معناداری یاخته‌های هم‌سرعت) در فصول مختلف استفاده شده است. در نقشه‌های شاخص موران محلی، هر یک از رنگ‌های نشان‌دهنده میزان پتانسیل استفاده از انرژی بادها در بخش‌های گوناگون محدوده مورد مطالعه است. نقشه‌های G* مربوط به میانگین سرعت وزش باد در فصول چهارگانه به‌منظور دستیابی به اطمینان رفتار فضایی داده‌ها از نظر خوشه‌های داغ و سرد، مقادیر ارزش بالا و پایین و خودهمبستگی فضایی را به لحاظ معناداری آماری نشان می‌دهد. مقادیر G* که برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه شده، نوعی امتیاز Z است. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از نظر آماری هرچه میزان Z بزرگ‌تر باشد مقادیر فراوان به مقدار زیادی خوشه‌بندی می‌شوند و لکه داغ تشکیل می‌شود و برای امتیاز Z منفی و معنادار از

دایره و سایر شرایط نشان می‌دهد که در فصل بهار، بهترین ناحیه برای بهره‌برداری از انرژی باد، شمال شرق منطقه شمال سیستان و بلوچستان و شمال شرق کرمان است.

با توجه با اطلاعات جدول ۲ و شکل ۳، می‌توان گفت در فصل تابستان ۱۸/۸ درصد از کل مساحت پهنه مورد مطالعه دارای پتانسیل بالایی برای استفاده از انرژی باد است. این مناطق در بخش‌هایی از شمال شرق سیستان و بلوچستان و شمال شرق کرمان قرار گرفته‌اند و نسبت به فصل بهار اندکی از وسعت نواحی با پتانسیل بالا کاسته شده است. در فصل تابستان مناطق دارای بادهای پر قدرت نسبت به بهار متمرکزتر شده‌اند که علت آن را می‌توان تشدید اختلاف فشار در شرق منطقه و کاهش اثرگذاری سامانه‌های همدید عبوری از منطقه در نظر گرفت. این شرایط نشان می‌دهد که در نبود سایر عوامل تأثیرگذار، اختلاف فشار و بادهای شدید متعاقب آن تنها در بخش‌های شرقی منطقه عمل می‌کنند. آماره G^* نیز نقاط داغ و همبسته دارای معناداری قوی را در این نواحی نشان می‌دهد که تأکیدی بر نتایج آماره موران محلی است.

در این فصل ۳۱/۱ درصد از منطقه دارای پتانسیل متوسط بهره‌برداری از انرژی باد هستند که نسبت به فصل بهار، افزایش قابل توجهی (۵/۵ درصد) یافته است. مناطق دارای این شرایط در شمال، مرکز و جنوب شرق کرمان، بخش‌های مرکزی سیستان و بلوچستان و نوار ساحلی جنوب منطقه قرار گرفته‌اند. در فصل تابستان، با توجه به کاهش اثرگذاری عوامل گوناگون و سکون نسبی جو در سطح منطقه، سرعت بادهای این نواحی دستخوش تغییر شده و به صورتی ناپایدار و مقطعی درآمده است. با توجه به عدم معناداری روند سرعت بادهای

در این نواحی، استفاده از آن‌ها برای استخراج انرژی برق بادی در اولویت دوم قرار می‌گیرد.

در این دوره ۵۰/۱ درصد از مساحت منطقه دارای پتانسیل کم برای بهره‌برداری از انرژی باد است. این میزان نسبت به فصل بهار، کاهش سه درصدی را نشان می‌دهد. محدوده‌های دارای پتانسیل پایین در فصل تابستان شامل بخش‌های غربی کرمان، اغلب مناطق هرمزگان و بخشی از جنوب سیستان و بلوچستان است. از نظر موقعیت قرارگیری در فصل تابستان تفاوت خاصی نسبت به بهار دیده نمی‌شود و مناطق کم‌پتانسیل، مشابه فصل بهار توزیع شده‌اند و معناداری آن‌ها نیز مشابه است.

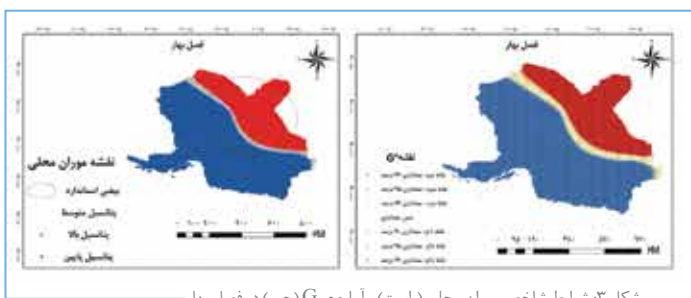
در فصل پاییز، مساحت مناطق دارای پتانسیل بالا برای استفاده از انرژی باد نسبت به فصل تابستان در حدود دو درصد افزایش یافته و

۲۰/۹ درصد از کل مساحت محدوده را دربر گرفته است. مناطقی که پتانسیل بالا از خود نشان داده‌اند مانند فصل‌های پیشین در بخش‌های شمال شرقی محدوده قرار گرفته‌اند. در فصل پاییز با توجه به سرمای‌ش تدریجی هوا و نفوذ تدریجی سامانه‌های ناپایدار جوی به منطقه، مساحت مناطق با پتانسیل بالا در شرق ناحیه مورد مطالعه افزایش یافته است. با مشاهده نقشه آماره G^* مشخص می‌شود که خودهمبستگی سرعت‌های بالای باد در مناطق دارای پتانسیل بالا در این فصل نیز به‌طور محسوس معنادار است. در این فصل ۲۵/۵ درصد محدوده مورد مطالعه دارای پتانسیل متوسط برای استفاده از انرژی باد است. این میزان که در مقایسه با فصل تابستان کاهش قابل توجه داشته، تقریباً با مساحت محدوده‌های دارای پتانسیل متوسط فصل بهار برابر است. این موضوع نشان می‌دهد که شرایط ناپایدار تغییر فصل بر تغییرات سرعت باد و وسعت منطقه مؤثر بوده است. نواحی با پتانسیل متوسط در این فصل به صورت نواری با انحنای شمال غربی جنوب شرقی در سطح استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان امتداد یافته است. این محدوده با سطوح غیرمعنادار در نقشه آماره G^*

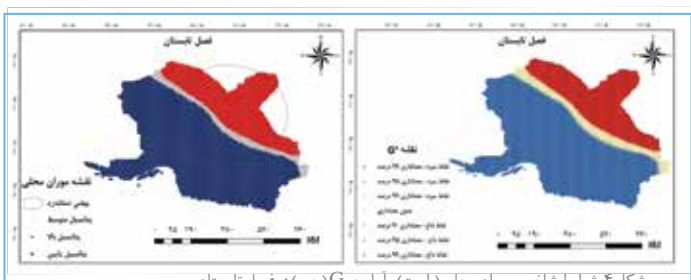
همانگی دارد. همچنین ۵۳/۶ درصد از نواحی مورد مطالعه برای بهره‌برداری از انرژی باد شرایط نامناسب دارند. در این نواحی که در غرب منطقه قرار دارند، با اطمینان ۹۹ درصد، سرعت باد پایین است و شرایط بهره‌برداری از انرژی جریانات هوا فراهم نیست.

در فصل زمستان ۲۲/۲ درصد مساحت منطقه دارای پتانسیل بالا برای استفاده از انرژی باد است. در این فصل شاهد بزرگ‌ترین مساحت مناطق مستعد استفاده از انرژی باد هستیم که در نقشه شاخص موران محلی نیز به خوبی مشخص است. بر اساس این نقشه، مناطق مناسب استفاده

از انرژی بادی نیمی از استان سیستان و بلوچستان و نوار شرقی کرمان را در بر گرفته و به‌صورت معنادار در این نواحی استقرار یافته‌اند. این افزایش محسوس در درصد پوشش نواحی پتانسیل بالا را می‌توان ناشی از تشدید اختلاف فشار هوا در بخش‌های شرقی منطقه (به دلیل اثرگذاری توده‌های کوهستانی اطراف) و همچنین به اوج رسیدن عبور سامانه‌های ناپایدار از منطقه دانست. مناطق دارای پتانسیل متوسط در این فصل ۲۲/۶ درصد از مساحت کل را به خود اختصاص داده‌اند. این نواحی که در بخش کوچکی از دو استان کرمان و سیستان و بلوچستان قرار دارند، در صورت مطالعات بیشتر و دقیق‌تر می‌توانند به صورت محدود در زمینه کسب انرژی از باد مورد استفاده قرار گیرند. مساحتی بالغ بر ۵۵/۲ درصد از کل محدوده نیز از پتانسیل کمی برای استفاده از انرژی بادی برخوردارند. این میزان پوشش، بیشترین مقدار در بین سایر

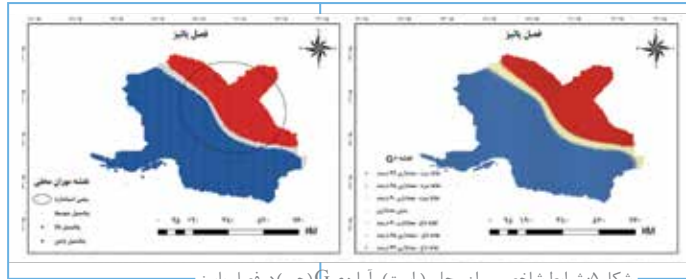


شکل ۳: شرایط شاخص موران محلی (راست) و آماره G^* (چپ) در فصل بهار

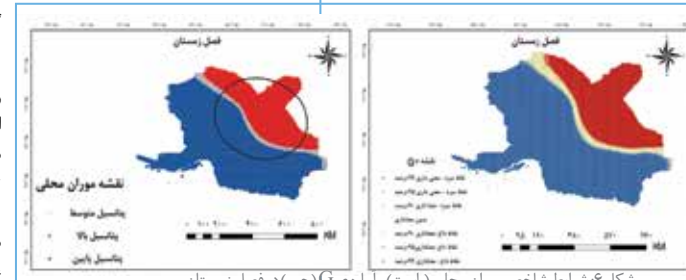


شکل ۴: شرایط شاخص موران محلی (راست) و آماره G^* (چپ) در فصل تابستان

فصول بوده و حاکی از آن است که تفاوت‌های سطح و سامانه‌های جوی در این نواحی، کمترین تأثیر را بر جریان‌های هوا دارند و سرعت باد در این مناطق به حدی نرسیده است که برای بهره‌برداری از انرژی آن مناسب باشد.



شکل ۵: شرایط شاخص موران محلی (راست) و آماره‌ی (چپ) در فصل پاییز



شکل ۶: شرایط شاخص موران محلی (راست) و آماره‌ی (چپ) در فصل زمستان

نتیجه‌گیری

در جهان امروز با افزایش جمعیت و استفاده از سوخت‌های فسیلی و مسائل زیست‌محیطی که استفاده از این سوخت‌ها

به همراه دارد، لزوم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به مزایای فراوانی که دارند احساس می‌شود، بالاخص انرژی باد در مکان‌هایی که شرایط وزش باد در زمان‌های خاصی از سال یا در طول سال داشته باشند که می‌توان از پتانسیل بالای این مکان‌ها برای تولید برق استفاده کرد. پتانسیل تولید برق بادی در پژوهش‌های مختلف در مکان‌های مختلف ایران مورد توجه قرار گرفته است و هر یک از این پژوهش‌ها با استفاده از تکنیک‌های خاصی پتانسیل استفاده از باد را مورد بررسی قرار داده‌اند، از آن جمله می‌توان به مطالعات امیدوار و همکاران (۱۳۹۱)، حق پرست و همکاران (۱۳۸۴)، جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳) و ولدی (۱۳۹۳) اشاره کرد. در این راستا، این پژوهش پراکنش باد را در جنوب شرقی ایران (کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان) بررسی کرده و نتایج حاکی از این است که در محدوده مورد مطالعه در فصل بهار میزان سرعت باد در ۲۱/۳ درصد از مساحت محدوده، در فصل پاییز ۲۵/۵ درصد مساحت، در فصل تابستان ۱۸/۸ درصد از کل مساحت و در فصل زمستان ۲۲/۲ درصد مساحت منطقه دارای پتانسیل بالا برای استفاده از انرژی باد است.

منابع

۱. امیدوار، کمال و دهقان طرزجانی، مهدی (۱۳۹۱). «پتانسیل سنجی و برآورد مشخصه‌های نیروی باد برای تولید انرژی در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد». شماره ۲، صص ۱۶۸-۱۴۹.
۲. بلیانی، بدالله و حکیم‌دوست، سید یاسر (۱۳۹۳). اصول و مبانی پردازش داده‌های مکانی با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی، چاپ اول. تهران: انتشارات آزادپیم.
۳. جهانبخش، سعید؛ رضایی بنفشه، مجید و دین‌پژوه، یعقوب (۱۳۹۳). «امکان‌سنجی استفاده از انرژی باد در استان‌های اردبیل و زنجان». پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۳، صص ۲۷۴-۲۶۱.
۴. حق پرست کاشانی، آرش، فؤاد کعبی‌نژادبان، ناصر؛ غفوری و لاری، حمیدرضا (۱۳۸۴). «تحلیل پتانسیل انرژی باد در شمال غرب کشور». بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو.
۵. حسینی، عباس؛ احمدی، حامد؛ تقوی، فرحناز و رسولی، وحید (۱۳۹۰). «ارزیابی پتانسیل انرژی باد با استفاده از تابع چگالی احتمال و بیول: مطالعه موردی: دیواندره» هفتمین کنفرانس

دانشجویی مهندسی مکانیک، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۶. رحیم‌زاده، فاطمه؛ پدرام، مزده؛ صداقت‌کردار، عبدالله و کمالی، غلامعلی (۱۳۸۸). «برآورد انرژی باد در ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان». پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۳، صص ۱۷۲-۱۵۵.

۷. زاهدی، مجید؛ صلاحی، برومند و جمیل، مجید (۱۳۸۴). «محاسبه چگالی و توان باد به‌منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل». پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۴۱-۵۵.

۸. سعیدی، داوود؛ نعمت‌اللهی، امید و عالم رجبی، علی‌اکبر (۱۳۹۰). «بررسی پتانسیل انرژی باد در استان خراسان شمالی ایران». مهندسی و مدیریت انرژی، شماره ۱، صص ۴۹-۵۶.

۹. علمداری، پوریا؛ نعمت‌اللهی، امید؛ میرحسینی، سید مجتبی و عالم‌رجبی، علی‌اکبر (۱۳۹۰). «بررسی پتانسیل انرژی باد در استان اردبیل جهت احداث نیروگاه برق بادی». اولین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای

نوین در نگهداشت انرژی، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱۰. کندمکار، امیر (۱۳۸۸). «ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران». مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، صص ۸۵-۱۰۰.

۱۱. مینانیان، علی؛ صداقت، احمد و عالم‌رجبی، علی‌اکبر (۱۳۹۲). «پتانسیل سنجی انرژی بادی استان سیستان و بلوچستان برای احداث نیروگاه بادی». نشریه مهندسی و مدیریت انرژی، شماره ۳، صص ۴۱-۳۴.

۱۲. نعمت‌اللهی، امید؛ علمداری، پوریا و عالم‌رجبی، علی‌اکبر (۱۳۹۰). «تحلیل آماری استفاده از انرژی باد در استان آذربایجان شرقی، مطالعه موردی: اهر». پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران: دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

۱۳. ولدی، فرزاد (۱۳۹۳). «ارزیابی توان اقلیمی انرژی باد به‌منظور تولید برق در ایران». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر حسین عساکره، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان.

پی‌نوشت‌ها

1. Cellura
2. Fyrippis
3. Akpinar
4. Yaniktepe
5. Akorede
6. Khahro
7. Wu

