Original Article
Journal of Natural Environment 75 (Special Issue): 149-166 (2023)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

مقاله کامل
نشریه محیط زیست طبیعی
دوره ۷۵، (ویژه نامه): ۱۴۹-۱۶۶ (۱۴۰۱)

ظرفیت‌سنجی اقلیمی ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان برای توسعهٔ مزارع بادی

محمد برهانی، افشین دانه‌کار، مظاهر معین‌الدینی *

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵**

چکیده

سوخت‌های فسیلی، به‌واسطهٔ محدود بودن منابع، ایجاد آلودگی و گرمایش زمین، سبب شده‌اند، که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌خصوص انرژی باد مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد. به‌همین دلیل برای تعیین معیارهای مکان‌یابی مزارع بادی ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان معیارهای اولیه با بررسی ۳۰ پژوهش مرتبط در بیست سال اخیر شناسایی شد. معیارها و شاخص‌های شناسایی شده به دو گروه اکولوژیک و انسانی تقسیم و فرکانس استفاده از معیارها تعیین شد. براساس نتایج به‌دست آمده، متوسط سرعت باد و فاصله از سکونتگاه‌های انسانی بالاترین فراوانی شاخص‌ها در تجربیات پیشین را به‌خود اختصاص دادند. با این وجود، غربال‌سازی معیارها با استفاده از روش دلفی نشان داد، برای مکان‌یابی مزارع بادی در ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان، میانگین سرعت باد، استمرار باد، فاصله از مناطق لغزشی، فاصله از مناطق عملیات نظامی، فاصله از شبکهٔ نیرو و هزینه‌های توسعه مهمترین شاخص‌های توسعه این کاربری هستند. سنجش اهمیت معیارها بر مبنای روش دلفی نشان داد، ضروری‌ترین شاخص‌های مکان‌یابی مزارع بادی در محدودهٔ مورد مطالعه، میانگین سرعت باد، استمرار باد، فاصله از شبکه نیرو و چگالی‌توان باد است. بنابراین در راستای ظرفیت‌سنجی اقلیمی برای توسعهٔ مزارع بادی در ناحیهٔ ساحلی لازم است، از مشارکت و همپوشانی نقشهٔ متوسط سالانهٔ سرعت باد، متوسط سالانهٔ چگالی توان باد و متوسط سالانهٔ درصد استمرار باد استفاده شود. با استفاده از قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی و توابع درون‌یابی کریجینگ نقشه‌سازی و تجزیه و تحلیل معیارهای اقلیمی انجام شد. در نهایت ناحیهٔ ساحلی به دو پهنه با شرایط مناسب (۹۱ درصد ناحیهٔ ساحلی) و نامناسب (۹ درصد ناحیهٔ ساحلی) تقسیم‌بندی شد.

کلید واژگان: مکان‌یابی، پتانسیل‌سنجی، روش دلفی، انرژی باد، چگالی توان باد

*نویسنده مسئول moeinaddini@ut.ac.ir

مقدمه

امروزه با گسترش صنعت، نیاز روز افزون به انرژی درحال افزایش است، منابع تأمین‌کنندهٔ انرژی درعصر حاضر به سه دستهٔ انرژی فسیلی، انرژی هسته‌ایی و انرژی تجدیدپذیر تقسیم می‌شوند (Kotnai and Barzaman, 2021) تغییرات آب و هوایی بر اثر انباشت گازهای گلخانه‌ای در جو و افزایش تقاضای مصرف انرژی برق در سراسر جهان، سبب ایجاد نقطهٔ عطفی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌خصوص انرژی باد شده است. انجمن انرژی باد آمریکا[1]، کانادا[2]و تعدادی دیگر از کشورها در فاصلهٔ سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، اقدام به پتانسیل‌سنجی انرژی باد و تهیهٔ اطلس انرژی باد در مناطق مختلف نمودند (Jalalvand *et al*., 2014). افزایش استانداردهای زندگی، گرم شدن بیش از حد کرهٔ زمین و مشکلات محیط زیستی و بوم‌شناختی حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی به‌ویژه نفت و مشتقات آن، نگرانی‌هایی را برای کشورهای مختلف ایجاد کرده است، دراین راستا انرژی‌های نو از جمله پتانسیل‌های آبی، انرژی‌های خورشیدی و بادی به‌دلیل عدم آلودگی محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Enteziri *et al*., 2014).

کشور ایران به‌دلیل شرایط خاص جغرافیایی از پتانسیل بسیار مناسبی در زمینهٔ انرژی‌های پاک خصوصاً باد و خورشید برخوردار است. ایران با دارا بودن مناطق بادخیز و دشت‌های پهناور و سواحل طولانی مناسب، به‌عنوان برترین گزینه در کشورهای منطقه تلقی می‌شود (Zarchi and Delavari, 2012). از مجموع انرژی‌های عنوان شده موسوم به انرژی‌های نو، به‌نظر می‌رسد که استفاده از انرژی خورشید و باد در ایران، اقتصادی‌تر و مقرون به صرفه‌تر باشد، اما به‌دلیل هزینه بالای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی، امروزه توجه بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران به انرژی باد معطوف شده است (Janbazghobadi, 2019). در سال‌های اخیر، افزایش سهم مصرف داخلی منابع فسیلی از کل تولید این منابع، کسب ارزش افزودهٔ بیشتر، لزوم حفظ منابع انرژی برای نسل‌های آینده و مسائل محیط زیستی در منظر سیاستگذاران ایران، مورد توجه ویژه قرار گرفته است. به‌طوری که معیار ارزان بودن انرژی تولیدی، به‌عنوان تنها معیار تصمیم‌گیران کشور در انتخاب روش تولید تلقی نمی‌شود. مسائلی مانند پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی، امنیت انرژی و مسائل محیط زیستی نیز در مجموعه ملاحظات ارزیابی سیاستگذاران در نظر گرفته می‌شود (Beheshtinia and Sedadi, 2017). در این خصوص، سیاست‌های کلی نظام در زمینهٔ انرژی (ابلاغی مقام معظم رهبری، ۱۳۷۷/۰۷/۱۱) در ایجاد تنوع بر منابع انرژی کشور و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تلاش برای کسب دانش فنی و فناوری‌های تجدیدپذیر تاکید می‌کند. علاوه بر این، یکی از اهداف ایران در زمینهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر احداث ۵ هزار مگاوات نیروگاه در طول برنامهٔ پنجم توسعه بود، که این امر محقق نشد و در برنامهٔ ششم توسعه این هدف بدون تغییر تکرار شد (Energy Balance of Iran, 2018).

بررسی جامع ویژگی‌های باد برای تمامی جنبه‌های بهره‌برداری انرژی باد امری مهم است، یکی از اصلی‌ترین عوامل برای مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی و بکارگیری توربین‌های بادی، بررسی پتانسیل انرژی باد در منطقه است، که می‌تواند به‌دلیل پراکنش مناطق بادخیز چالش برانگیز باشد. شاخص‌های انرژی باد از نظر سرعت باد، استمرار و توان انرژی باد می‌تواند درجهٔ بالایی از تغییرپذیری زمانی و مکانی را نشان دهد، این تغییرپذیری‌ها می‌تواند به عدم قطعیت احتمالی منجر شود و عملکرد سیستم تجدیدپذیر را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین پیش‌بینی دقیق شاخص‌های اقلیمی در یک مکان برای اندازه‌گیری کمی منابع باد در توسعهٔ مزارع بادی ضروری است (Rafati and Karimi, 2021). Gandomkar (۲۰۰۹)، برای ارزیابی پتانسل انرژی بادی کشور از داده‌های سمت و

[1]American wind energy association (AWEA)

[2]Canada wind energy association (CWEA)

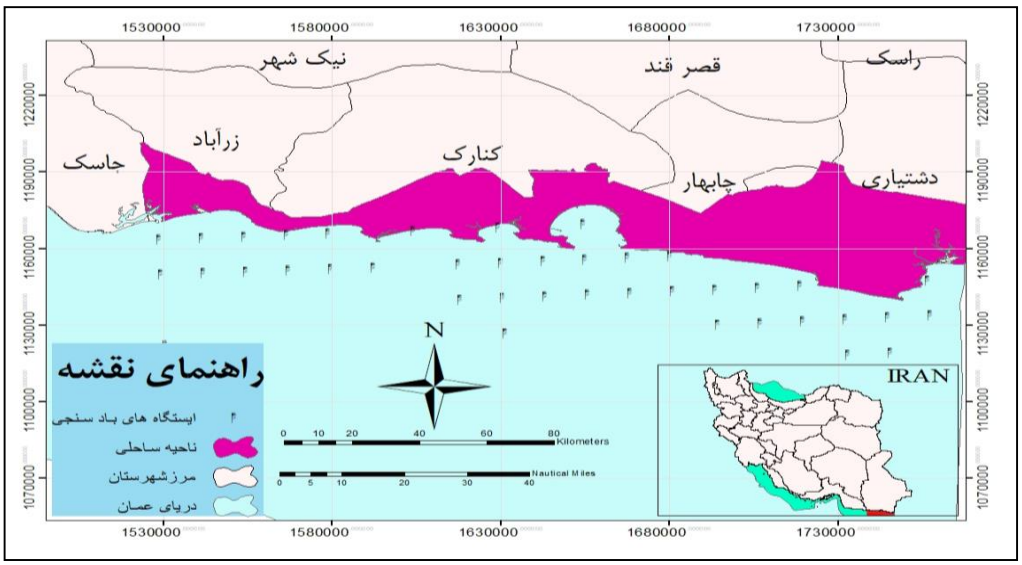
سرعت باد (۲۰۰۳–۱۹۹۴) طول دورهٔ ۱۰ ساله با فراوانی سه ساعته استفاده نمود و مجموع ایستگاه‌های بادسنجی کشور را از نظر پتانسیل انرژی باد به چهارگروه دسته‌بندی کردند (Gandomkar, 2009). Minaeian و همکاران (۲۰۱۳)، برای پتانسیل‌سنجی انرژی بادی استان سیستان و بلوچستان و تحلیل اقتصادی برای احداث نیروگاه بادی، از شاخص‌های متوسط سرعت باد، جهت باد و چگالی توان باد، در ارتفاع ۱۰ و ۲۰ و ۴۰ متر از سطح زمین استفاده نمودند (Minaeian *et al*., 2013). در بررسی دیگر، Enteziri و همکاران (۲۰۱۴)، ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی انرژی باد، از داده‌های روزانه و ساعتی سمت و سرعت باد در ارتفاع ۴۰ متری از سطح زمین، طی یک دورهٔ ۳۰ ساله (۲۰۰۷–۱۹۷۸) و از شاخص‌های متوسط ماهانه سرعت باد، درصد تغییرپذیری باد و چگالی توان باد استفاده شد (Enteziri *et al*., 2014). Tayyabi و Sanyei (۲۰۱۵)، به‌منظور امکان‌سنجی احداث مزارع بادی در سواحل مکران، از داده‌های سال‌های ۲۰۰۳–۱۹۹۲ با طول دورهٔ ۱۲ ساله سرعت باد و از شاخص‌های اقلیمی متوسط سالانهٔ سرعت باد و درصد سالانهٔ استمرار باد استفاده کردند (Tayyabi and Sanyei, 2015). Rafati و Karimi (۲۰۲۱)، برای ارزیابی بادخیزی استان کرمانشاه، از داده‌های پنج ساله (۲۰۱۳–۲۰۰۹)، همچنین از شاخص‌های اقلیمی متوسط سالانهٔ سرعت باد و چگالی توان باد، در ارتفاع ۴۰ متری استفاده کردند (Rafati and Karimi, 2021). Al-Mhairatو همکاران (۲۰۲۲)، در ارزیابی منابع انرژی بادی با استفاده از تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی در اردن، از شاخص‌های اقلیمی متوسط سرعت باد و چگالی توان باد استفاده نمودند (Al-Mhairat *et al*., 2022). Adem و همکاران (۲۰۲۲)، در بررسی پتانسیل انرژی باد برای نصب توربین‌های بادی در تایوان از متوسط ماهانهٔ سرعت باد و چگالی توان باد در ارتفاع ۱۰۰ متری استفاده نمودند (Adem *et al*., 2022). با توجه به موارد ذکر شده، پتانسیل باد منطقه، مهمترین فاکتور در انتخاب مکان توربین‌های بادی است و هرگونه طرح‌ریزی برای اجرای پروژه مزارع بادی، باید بر اساس پتانسل‌سنجی باد منطقه باشد. بر همین اساس، این مطالعه با تکیه بر معیارهای مکانی مزارع بادی و ظرفیت‌سنجی شاخص‌های اقلیمی به‌عنوان هدف اصلی، برای توسعهٔ نیروگاه بادی در ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان به‌اجرا درآمد.

مواد و روش ها

محدودهٔ مورد مطالعه شامل ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان است که حدود آن بر پایهٔ مطالعات مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی استان تعیین شد. براساس طرح تدقیق مدیریت یکپارچهٔ مناطق ساحلی استان سیستان و بلوچستان، منطقهٔ ساحلی مشتمل بر ۳ ناحیهٔ مختلف، شامل ناحیهٔ ساحلی[۳]، ناحیه کرانه‌ای[۴] و آب‌های ساحلی[۵] است. ناحیهٔ ساحلی، محدوده‌ای است که از موقعیت بلندمدت حداکثر مد نجومی، آغاز و تا انتهای منطقهٔ ساحلی در خشکی امتداد می‌یابد، انتهای منطقهٔ ساحلی در خشکی، منطبق با انتهای ناحیهٔ ساحلی در خشکی است که از حدود اولیهٔ آن در طرح ملی مدیریت یکپارچهٔ مناطق ساحلی کشور پیروی می‌کند، که براساس چندین معیار مدیریتی (حدود کوچکترین حوضهٔ بلافصل دریا، موقعیت مرز تقسیمات کشوری در سطح شهرستان و بخش، موقعیت جاده‌های ساحلی موازی خط دریا، محدودهٔ قانونی شهرها و محدودهٔ مناطق تحت حفاظت) تدقیق شده است. این محدوده، دارای مساحتی بالغ بر ۵۳۷۷ کیلومتر مربع است (شکل ۱) در طول ۴۰۴ کیلومتر با آب‌های دریای عمان در تماس است و در چهار شهرستان ساحلی استان شامل دشتیاری، چابهار، کنارک و زرآباد

[3]Coastal Area

[4]Shore Area
[5]Coastal Waters



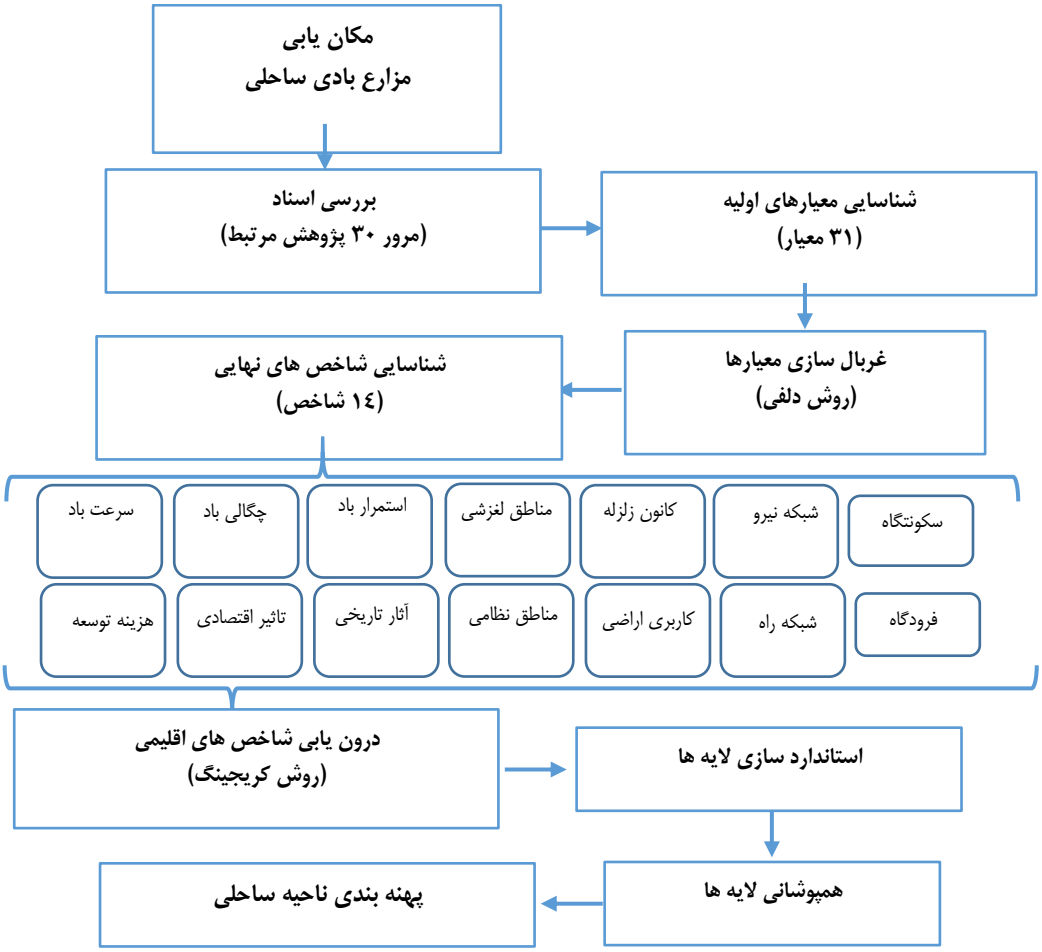
شکل ۱- محدودهٔ مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های بادسنجی

گسترش دارد. متوسط عرض ناحیهٔ ساحلی ۲۱/۵ کیلومتر است که کم‌عرض‌ترین بخش آن در انتهای غربی شهرستان کنارک حدود ۴ کیلومتر و عریض‌ترین بخش ناحیهٔ ساحلی در شهرستان دشتیاری حدود ۴۹ کیلومتر است (Mashhadi Rafiei, 2021).

براساس مطالعات اقلیم‌شناسی، طرح تدقیق مدیریت یکپارچهٔ منطقهٔ ساحلی سیستان و بلوچستان شهرستان‌های ساحلی این استان از شرق به غرب تحت تأثیر نفوذ جریان‌های اقلیمی اقیانوس هند قرار دارند، اما تفاوت‌های اقلیمی چشمگیری بین شهرستان‌های انتهای شرقی (دشتیاری) با انتهای غربی (زرآباد) مشاهده نمی‌شود. با این وجود، به‌طور نسبی میانگین دما و رطوبت نسبی از غرب به شرق منطقهٔ ساحلی به‌طور نسبی افزایش می‌یابد، دمای میانگین این منطقه نسبت به شهرستان چابهار و کنارک بیشتر است. همچنین تأثیر مونسون تابستانی اقیانوس هند در شرق منطقهٔ ساحلی نسبت به مرکز و غرب آن بیشتر و قدرت خنک‌کنندگی باد در آن افزون‌تر است. رژیم بارش در شهرستان‌های ساحلی غرب استان بیشتر تحت تأثیر سیستم‌های کم‌فشار جبهه‌ای بوده و شدت آن در فصل زمستان و بهار می‌باشد. مطابق داده‌های هواشناسی، ایستگاه چابهار که یک ایستگاه ساحلی است، تقریباً در تمام ماه‌های سال جهت باد غالب جنوب غربی تا جنوب شرقی است (Layeghi, 2021).

روش بررسی: انجام این مطالعه برپایهٔ شناسایی معیارهای مکان‌یابی مزارع بادی، غربال معیارها، شناسایی معیارها و شاخص‌های اقلیمی مؤثر، نقشه‌سازی و تلفیق نقشه‌ها جهت شناسایی گستره‌های دارای شایستگی مکانی بود که به‌تفکیک معرفی می‌شود. مدل مفهومی تحقیق نیز در شکل ۲ ارائه شده است.

شناسایی و غربال معیارهای مکان‌یابی مزارع بادی: برای شناسایی معیارها ازمرور منابع و بررسی اسنادی و همچنین ضوابط استقرار و استانداردهای مرتبط استفاده شد. بدین‌منظور، ۳۰ کار مشابه (Morshidi *et al.*, 2010; Sadeghi et al., 2013; Jafari *et al.*, 2014; Soleimani *et al.*, 2014; Karimi Soltani and Tahmasabi, 2014; Tabatabai and Amiri, 2015; Zarei, 2015; Gaharnia, 2017; Reofi, 2017; Falah Qalhari *et al.*, 2017; Asadi and Khurshid Dost, 2019; Razavi Termeh and Pourmadavan, 2019; Al hameedah *et al.*, 2019; Molavi Gonabadi *et al.*, 2019; Porfiaz and Dehghan, 2020; Rezaei *et al.*, 2021; Dashti and Dashti Baban and Parry, 2001; Siyal *et* Bozorgi, 2021; Latinopoulos and Kiriaki, 2015; *al.*, 2015; Sadeghi and Karimi, 2017; Gigovic *et al.*, 2016; Wang *et* Solangi *et al.*, 2018; Ali *et al.*, 2017; Moradi *et al.*, Barzehkar *et al.*, 2020 *a*l., 2018; Rediske *et al.*, 2021; 2020; Arca *et al.*, 2020;



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق

(Saraswat *et al.*, 2021; شناسایی و معیارها و شاخص های مکانی هریک مستخرج و در یک چارچوب جدید بازنمایی شد.

برای غربال‌سازی معیارها از روش دلفی نیمه بستهٔ بومی شده برای کشور (Danekar and Hadadnia, 2010; Sharifi *et al.*, 2011) استفاده شد. کاربرد این روش در غربال معیارهای مکانی در حوزهٔ محیط زیست، با نتایج اثربخشی همراه بوده است که از جمله مطالعات غربال‌سازی معیارها و شاخص‌های مکانی در محیط زیست طبیعی می‌توان به پژوهش‌های Mousavi و همکاران (۲۰۱۵)، Mafi-Gholami و همکاران (۲۰۱۵)، Sepehr و همکاران (۲۰۱۷) و Yaghoubzadeh و همکاران (۲۰۲۲) اشاره نمود. دلفی روش مناسبی برای آنالیز نظرات خبرگان در فرآیند تصمیم‌گیری است، که ساختار یک فرآیند ارتباط جمعی را به‌منظور دستیابی به نتیجهٔ مفید برای اهداف مدیریتی تشخیص می‌دهد (Maher, 2020). اعتبار روش دلفی به دانش و تخصص پرسش‌شوندگان بستگی دارد نه تعداد آن‌ها (Dunham, 1998) و با توجه به اینکه تصمیمات مکانی در ارتباط با مسائل محیط زیستی، تصمیمات خاص محسوب می‌شود، اغلب دامنهٔ انتخاب متخصصان آن بسیار محدود است. با این وجود در مطالعه یاد شده ۱۱ متخصص در فرآیند دلفی مشارکت داشتند که با حداقل تعداد جدول مورگان (Krejcie and Morgan, 1970) هماهنگ است. روایی پرسشنامه‌ها با روش ضریب نسبی روایی محتوا (CVR) براساس رابطهٔ ۱ تعیین شد (Hajizadeh and Asghari, 2011) و پایایی پرسشنامه‌ها با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ با تأکید بر همبستگی درونی در نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۲ محاسبه شد (Kalantari, 2016).

جدول ۱- حداقل مقدار CVR قابل قبول بر اساس تعداد متخصصین (Hajizadeh and Asghari, 2011)

تعداد خبرگان	CVR قابل قبول	تعداد خبرگان	CVR قابل قبول
۵	۰/۹۹	۱۱	۰/۵۹
۶	۰/۹۹	۱۲	۰/۵۶
۷	۰/۹۹	۱۳	۰/۵۴
۸	۰/۷۵	۱۴	۰/۵۱
۹	۰/۷۸	۱۵	۰/۴۹
۱۰	۰/۶۲	۲۰	۰/۴۲

رابطهٔ ۱

$$CVR = \frac{n_E - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$$

در این رابطه، n_E: تعداد متخصصانی است که به گزینهٔ ضروری پاسخ داده‌اند و N: تعداد کل متخصصان است. پرسشنامه‌ها به گونه‌ای تنظیم شدند، که هم برای تعیین روایی و ارزیابی پایایی گویه‌ها و هم برای اجرای دلفی قابل استفاده باشد. اهمیت هر شاخص برای انجام محاسبات دلفی با طیف لیکرت ۵ طبقه‌ایی (بی اهمیت، کم اهمیت، با اهمیت، اهمیت زیاد، اهمیت خیلی زیاد)، مورد پرسش قرار گرفت، و پاسخ‌های کیفی به‌صورت اعداد کمی ۱، ۳، ۵، ۷، ۹ در فرآیند سنجش دلفی وارد شد. درواقع اهمیت‌های تعیین‌شده در دامنه‌ای بین صفر و ۱۰ است (Salehnasab *et al*., 2016; Sepehr *et al*., 2018). محاسبات روش دلفی برای تعیین محاسبهٔ دو شاخص درجه اهمیت و درصد اهمیت گویه به شرح رابطهٔ ۲ است (Hasanzadeh *et al*., 2013, 2015; Petrosian *et al*., 2013; Kabiri Handi *et al*., 2012).

رابطهٔ ۲

$$\text{وزن تعدیل شده } (yi) = \frac{Xi}{\sum Xij}$$

$$\text{امتیاز وزن دار } (Zi) = yi \times n$$

$$\text{درصد اهمیت معیار} = \frac{\sum Zi}{N} \times 100$$

$$\text{درجه اهمیت معیار} = \frac{(\sum Xi \times n)}{N}$$

وزن اولیه=Xi

تعداد افرادی که به هردرجه اهمیت رأی داده‌اند (امتیاز)=n

در این رابطه: N: تعداد پرسش‌شوندگان و xi: وزن اولیه (۱، ۳، ۵، ۷، ۹) است.براساس این رابطه معیارهایی که امتیاز درصد اهمیت و درجه اهمیت از میانگین حسابی پرسش شوندگان بیشتر باشند وارد فرآیند مکان‌یابی می‌شوند.

پهنه‌ندی شایستگی اقلیمی: جهت انجام مراحل مرتبط با ظرفیت‌سنجی اقلیمی ناحیهٔ ساحلی برای توسعهٔ مزارع بادی، ابتدا داده‌های سرعت باد در این محدوده که شامل ۴۲ ایستگاه بادسنجی بود از طریق طرح مدیریت یکپارچه ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان اخذ گردید. در این خصوص سعی شد از داده‌های جدیدترین سال‌هایی که هیچ گونه خلاء آماری ندارند، استفاده شوند، این داده‌ها در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ با طول دورهٔ آماری ۱۷ سال و به فاصلهٔ زمانی یک ساعت و بدون خلاء آماری اخذ شد. برای تهیهٔ نقشهٔ معیارهای اقلیمی از شاخص‌های متوسط سالانهٔ سرعت باد، متوسط سالانه چگالی توان باد و متوسط سالانهٔ درصد استمرار باد (جدول ۲) استفاده شد. دامنهٔ شایستگی شاخص‌ها بر پایهٔ ضوابط و استاندارد ساتبا و دیگر پژوهش‌های مشابه تعیین شد. اندازه‌گیری سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متری صورت می‌پذیرد اما جهت نصب توربین‌های بادی میزان سرعت باد برای ارتفاع ۵۰ متر مورد نظر است که به‌همین منظور از رابطهٔ ۳ استفاده شد (Enteziri *et al*., 2014).

در این مطالعه برای تبدیل سرعت باد از ارتفاع ۱۰ به ۵۰ متر از یک رابطهٔ نمایی (رابطهٔ ۳) استفاده شد (Zahedi *et al*., 2005; Zahedi *et al*., 2022) در این رابطه، v2: سرعت باد در ارتفاع z2 و v1: سرعت باد در ارتفاع z1 است،

جدول ۲- دامنه شایستگی شاخص‌های اقلیمی

شاخص	دامنه شایستگی	مأخذ
متوسط سالانهٔ سرعت باد (m/s)	۵/۶<	www.satba.gov.ir
متوسط سالانهٔ درصد استمرار باد (%)	۶۵< ایام سال	Parvin, 2010
متوسط سالانهٔ چگالی توان باد (w/m2)	۲۰۰<	www.satba.gov.ir

جدول ۳- کلاس‌بندی سایت های بادی به لحاظ انرژی قابل دسترس توسط دپارتمان انرژی امریکا (Department of Energy)

طبقات	ارتفاع ۵۰ متری		ارتفاع ۳۰ متری		ارتفاع ۱۰متری	
	چگالی توان w/m^2	سرعت باد m/s	چگالی توان w/m^2	سرعت باد m/s	چگالی توان w/m^2	سرعت باد m/s
اول	۰-۲۰۰	۰-۵/۶	۰-۱۶۰	۰-۵/۱	۰-۱۰۰	۰-۴/۴
دوم	۲۰۰-۳۰۰	۵/۶-۶/۴	۱۶۰-۲۴۰	۵/۱-۵/۹	۱۰۰-۱۵۰	۴/۴-۵/۱
سوم	۳۰۰-۴۰۰	۶/۴-۷	۲۴۰-۳۲۰	۵/۹-۵/۶	۱۵۰-۲۰۰	۵/۱-۵/۶
چهارم	۴۰۰-۵۰۰	۷-۷/۵	۳۲۰-۴۰۰	۶/۵-۷	۲۰۰-۲۵۰	۵/۶-۶
پنجم	۴۰۰-۶۰۰	۷/۵-۸	۴۰۰-۴۸۰	۷-۷/۴	۲۵۰-۳۰۰	۶-۶/۴
ششم	۶۰۰-۸۰۰	۸-۸/۸	۴۸۰-۶۴۰	۷/۴-۸/۲	۳۰۰-۴۰۰	۶/۴-۷
هفتم	۸۰۰-۲۰۰۰	۸/۸-۱۱/۹	۶۴۰-۱۶۰۰	۸/۲-۱۱	۴۰۰-۱۰۰۰	۷-۹/۴

آلفا (a): میزان زبری یا ناهمواری سطح زمین است که با استفاده از فرمول زیر به‌دست می‌آید (Janbazghobadi, 2019; Zahedi *et al*., 2022)

رابطهٔ ۳

$$\frac{v_Z}{v_{10}} = (\frac{Z_2}{Z_{10}})^a$$

$$a = \frac{[0.37 - 0.088\, lnV10]}{\left[1 - 0.088\, ln\left(\frac{Z_{10}}{10}\right)\right]}$$

رابطهٔ ۴

$$CV = \frac{\sigma}{x} \times 100$$

رابطهٔ ۵

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

محاسبهٔ چگالی توان باد معادل قدرت نظری توربین بادی است. در این راستا ابتدا متوسط ساعتی سرعت باد سپس روزانه، ماهانه، و در نهایت سالانه محاسبه شد. متوسط چگالی توان باد براساس سرعت متوسط باد و چگالی هوا در یک محل قابل محاسبه است (رابطهٔ ۶). در این رابطه، P: انرژی برحسب وات بر متر مربع، ρ: چگالی هوا، A: سطح بر حسب مترمربع و V: سرعت باد است (Zahedi *et al*., 2005; Thaghafi, 2014).

رابطهٔ ۶

$$P_{density} = \frac{1}{2}\rho A V^3$$

رابطهٔ ۷

$$\rho = 1.225 - (1.194 \times 10^{-4}) \times z$$

چگالی هوا از رابطهٔ ۷ محاسبه شد، در این رابطه z ارتفاع از ایستگاه است (Zarei, 2015). همچنین طبقه‌بندی انرژی قابل دسترس در دپارتمان انرژی آمریکا (جدول ۳) برای مقایسه چگالی محاسباتی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج

نتایج شناسایی معیارها: برای شناسایی معیارهای مزارع بادی ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان، از مرور پژوهش‌های مشابه داخلی و خارجی استفاده شد، طبق بررسی انجام شده، ۳۰ مرجع مشابه و مرتبط با هدف مطالعه از سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰ برای پژوهش‌های داخلی و از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ برای پژوهش‌های خارجی شناسایی شد، که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از جمع‌بندی معیارها در مجموع ۳۲ معیار و زیر معیار مطابق جدول ۴ شناسایی شد.

جدول ٤- معیارها وزیر معیارهای شناسایی شده در تجربیات مشابه

گروه معیار	معیار	زیر معیار	شاخص	Morshidi *et al.*,	Sadeghi *et al.*, 2013	Jafari *et al.*, 2013	Soleimani *et al.*, 2014	Karimi Soltani and Tahmasabi,	Zarei, 2015	Tabatabai and Amiri, 2015	Gahamia, 2017	Reofi, 2017	Falah Qalhari *et al.*, 2017	Asadi and Khurshid Dost,	Razavi Termeh and	Al hameedah *et al.*, 2019	Molavi *et al.*, 2019	Porfiaz and Dehghan, 2020	Rezaei *et al.*, 2021	Dashti and Dashti Bozorgi,	Baban and Parry, 2001	Siyal *et al.*, 2015	Latinopoulos and Kiriaki,	Gigovic *et al.*, 2016	Sadeghi and Karimi, 2017	Ali et *al.*, 2017	Solangi *et al.*, 2018	Wang *et al.*, 2018	Barzehkar et al., 2020	Moradi *et al.*, 2020	Arca et al., 2020	Rediske *et al.*, 2021	Saraswat *et al.*, 2021	درصد فراوانی	رتبه
اکولوژیک	اقلیم	باد	متوسط سرعت باد	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۹۷	۱
			چگالی توان باد						*			*			*		*									*					*		۲۳	۸
			فشارهوا	*				*					*	*		*																	۲۳	۸
			استمرار باد												*		*				*													۱۰	۱۰
			مخاطرات جوی					*																						*			*	۱۰	۱۰
			دمای هوا	*				*		*			*	*		*			*														۲۳	۸
	زمین	لرزه خیزی	فاصله از گسل	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								*	*			۵۷	۶
		لغزش	فاصله از لغزش											*					*														۷	۱۱
		ناهمواری	درصد شیب	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	۹۳	۲
			جهت شیب																			*			*						*	*	۱۷	۹
			ارتفاع	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*					*	*	*	۸۰	۴
		سنگ	نوع سنگ						*																						*		۷	۱۱
		پوشش طبیعی زمین	فاصله از منابع آبی	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								*		*	۷۰	۵
			فاصله از گیاهان						*																								۳	۱۲
انسانی	کاربری ها و مناطق مدیریت	کاربری زمین	فاصله از کاربری	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	۸۰	۴
		شهر و روستا	فاصله ازسکونتگاه	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	۹۷	۱
		مناطق حفاظتی	فاصله از مناطق	*				*	*	*		*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	۷۰	۵
		اثار تاریخی	فاصله از اثار								*	*									*	*	*							*		*	۲۳	۸
		معادن	فاصله از معادن								*	*																				*	۱۰	۱۰
		امنیتی	فاصله از مناطق																				*		*							*	۱۰	۱۰
		گردشگری	فاصله از مناطق																						*								۷	۱۱
	زیر ساخت های توسعه	شبکه دسترسی	فاصله از شبکه	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*			*		*	*	*	*	*	*	*	*	۸۷	۳
		فرودگاه	فاصله از فرودگاه				*														*		*							*		*	۱۷	۹
		شبکه نیرو	فاصله از شبکه		*						*	*							*		*	*	*		*	*				*	*	*	۴۷	۷
		شبکه انرژی	فاصله از شبکه																											*			۳	۱۲
		شبکه ارتباطات	فاصله از شبکه																						*								۳	۱۲
	منابع سرمایه	منابع مالی	هزینه های توسعه																		*						*	*					۱۷	۹
		منابع انسانی	نیروی کار																								*						۷	۱۱
	مدیریتی	سیاستی	فاکتور سیاسی																								*	*					۱۰	۱۰
		سازماندهی	تأثیر بر اقتصاد																								*						۷	۱۱
	بهداشت	سلامت جامعه	تأثیر بر بهداشت																								*	*					۷	۱۱
	پیامد	پذیرش اجتماعی	میزان پذیرش																								*						۷	۱۱

معیارهای شناسایی شده در یک ساختار جدید به دو گروه معیار اکولوژیک (شامل ۲ معیار اقلیم و زمین با ۶ زیر معیار) و گروه معیار انسانی (شامل ۶ معیار و ۱۸ زیر معیار) تفکیک شد و هشت معیار که شامل، اقلیم، زمین، کاربری‌ها و مناطق مدیریتی، زیرساخت‌های توسعه، منابع، مدیریتی، بهداشت، پیامد و ۲۴ زیر معیار طبقه‌بندی و شاخص‌های مکانی برای هر کدام تعیین شد، گروه معیارهای اکولوژیک شامل، معیار اقلیم و زمین است. معیار اقلیم دارای یک زیر معیار باد با شش شاخص متوسط سرعت باد، چگالی توان باد، فشار هوا، پیوستگی سرعت باد، مخاطرات جوی (سیل) و دمای هوا است. معیار زمین شامل زیر معیارهای لرزه‌خیزی (با شاخص‌های فاصله از کانون‌های زلزله)، لغزش (با شاخص فاصله از مناطق لغزشی)، ناهمواری (با شاخص‌های شیب غالب زمین، جهت شیب، ارتفاع از سطح زمین)، سنگ (شاخص نوع سنگ)، پوشش طبیعی زمین (با شاخص‌های فاصله از منابع آبی و فاصله از پوشش گیاهی) است. گروه معیار انسانی شناسایی‌شده شامل، شش معیار، کاربری‌ها و مناطق مدیریتی با هفت زیر معیار، کاربری زمین، سکونتگاه‌های شهری و روستایی، مناطق تحت حفاظت، آثار تاریخی، معادن، مناطق نظامی و امنیتی، مناطق گردشگری (با شاخص‌های فاصله‌ای)، و معیار زیر ساخت‌های توسعه، دارای زیر معیارهای شبکه دسترسی، فرودگاه، شبکهٔ نیرو، خطوط انتقال گاز، شبکهٔ مخابرات و ارتباطات، با شاخص‌های فاصله‌ای و معیار منابع سرمایه‌ای دارای زیر معیارهای منابع مالی و منابع انسانی، به‌ترتیب دارای شاخص‌های هزینه‌های توسعه و نیروی کار در دسترس است. معیار مدیریتی شامل دو زیر معیار سیاسی و سازماندهی که به‌ترتیب دارای شاخص‌های فاکتور سیاسی و تأثیر بر اقتصاد منطقه می‌باشد. معیار بهداشت شامل زیر معیار سلامت جامعه و با شاخص، میزان تأثیر بر سلامت جامعه و معیار پیامدداری زیر معیار پذیرش اجتماعی است که شاخص آن، میزان پذیرش اجتماعی است. جدول ۴، فراوانی کاربرد شاخص‌ها و معیارهای یادشده در پژوهش‌های مشابه را نیز نشان می‌دهد.

براساس نتایج، متوسط سرعت باد و فاصله ازسکونتگاه بالاترین فراوانی شاخص‌ها در تجربیات پیشین را به‌خود اختصاص داد. پس از شاخص‌های فوق، درصد شیب زمین و فاصله از شبکهٔ دسترسی، جزء شاخص‌های مکانی مهم برای مکان‌یابی مزارع بادی محسوب می‌شوند. شاخص‌های پرکاربرد بعدی نیز به‌ترتیب ارتفاع زمین، فاصله از کاربری‌ها و فاصله از مناطق تحت حفاظت بودند. شاخص‌های اقلیمی پرکاربرد در تجربیات جهانی، شامل متوسط سرعت باد، چگالی توان باد، فشار هوا و دمای هوا بود.

غربال‌سازی معیارها: پرسشنامه شاخص‌ها با هدف تعیین روایی و سنجش اهمیت شاخص‌ها (درجهٔ اهمیت، درصد اهمیت و ضریب اهمیت) در اختیار متخصصان مربوطه قرار گرفت که نتایج روایی پرسشنامه‌ها مطابق نظر خبرگان در خصوص ضرورت معیارها، زیر معیارها، و شاخص‌ها برای مزارع بادی ناحیهٔ ساحلی مطابق جدول ۵ نشان داد، با توجه به تعداد نظر خبرگان، شاخص‌هایی روایی قابل قبول دارند که، مقدار CVR آن بیش از ۵۹ درصد (جدول ۱) باشد. بنابراین تنها ۱۴ شاخص از روایی قابل قبول برای فرآیند مکان‌یابی مزارع بادی در ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان برخوردار شدند. در این میان میانگین سرعت باد، استمرار باد، فاصله از مناطق لغزشی، فاصله از مناطق عملیات نظامی، فاصله از شبکهٔ نیرو و هزینه‌های توسعه از ضروری‌ترین شاخص‌های مکان‌یابی محسوب می‌شوند. پایایی پرسشنامه‌ها با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ با تأکید بر همبستگی درونی معادل ۷۸ درصد محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ پایایی مطلوب کاربرد شاخص‌های عنوان‌شده در فرآیند مکان‌یابی است.

سنجش اهمیت معیارها بر مبنای روش دلفی بر محاسبهٔ دو شاخص درصد اهمیت و درجهٔ اهمیت تکیه دارد، که از طریق این دو پارامتر ضریب اهمیت نهایی معیار قابل محاسبه خواهد شد، که نتایج محاسبه این دو فاکتور در جدول ۶ ارائه شده است. نمودار اهمیت معیار نیز براساس این دو مؤلفه تنظیم شد (شکل۳). نتایج نشان داد، هر ۱۴

جدول ۵- فراوانی و میزان CVR محاسبه شده برای هر شاخص

ردیف	شاخص	فراوانی	CVR	نتیجه	ردیف	شاخص	فراوانی	CVR	نتیجه
۱	میانگین سرعت باد	۱۱	۱	قابل قبول	۱۷	فاصله از آثار تاریخی	۹	۰/۶۳۶	قابل قبول
۲	استمرار باد	۱۱	۱	قابل قبول	۱۸	فاصله از معادن	۵	-۰/۰۹	منتفی
۳	چگالی توان باد	۱۰	۰/۸۱۸	قابل قبول	۱۹	فاصله از مناطق نظامی	۱۱	۱	قابل قبول
۴	فشارهوا	۸	۰/۴۵	منتفی	۲۰	فاصله از گردشگاه‌ها	۸	۰/۴۵	منتفی
۵	دمای هوا	۵	-۰/۰۹	منتفی	۲۱	فاصله از شبکهٔ راه	۹	۰/۶۳۶	قابل قبول
۶	فاصله از گسل	۱۰	۰/۸۲	قابل قبول	۲۲	فاصله از فرودگاه	۱۰	۰/۸۱۸	قابل قبول
۷	فاصله از مناطق لغزشی	۱۱	۱	قابل قبول	۲۳	فاصله از شبکهٔ نیرو	۱۱	۱	قابل قبول
۸	شیب غالب زمین	۸	۰/۴۵	منتفی	۲۴	فاصله از شبکهٔ گاز	۵	-/۰۹	منتفی
۹	جهت شیب	۶	۰/۰۹	منتفی	۲۵	فاصله از شبکهٔ مخابرات	۷	۰/۲۷	منتفی
۱۰	ارتفاع زمین	۸	۰/۴۵	منتفی	۲۶	هزینه‌های توسعه	۱۱	۱	قابل قبول
۱۱	نوع سنگ	۸	۰/۴۵	منتفی	۲۷	نیروی کار در دسترس	۷	۰/۲۷	منتفی
۱۲	فاصله از منابع آبی	۷	۰/۲۷	منتفی	۲۸	فاکتور سیاسی	۶	۰/۰۹	منتفی
۱۳	فاصله از پوشش گیاهی	۸	۰/۴۵	منتفی	۲۹	تأثیر بر اقتصاد منطقه	۱۰	۰/۸۱۸	قابل قبول
۱۴	فاصله از کاربری ها	۹	۰/۶۳۶	قابل قبول	۳۰	تأثیر بر بهداشت عمومی	۳	-۰/۴۵	منتفی
۱۵	فاصله ازسکونتگاه‌ها	۹	۰/۶۳۶	قابل قبول	۳۱	میزان پذیرش اجتماعی	۸	۰/۴۵	منتفی
۱۶	فاصله از زیستگاه‌ها	۸	۰/۴۵	منتفی					

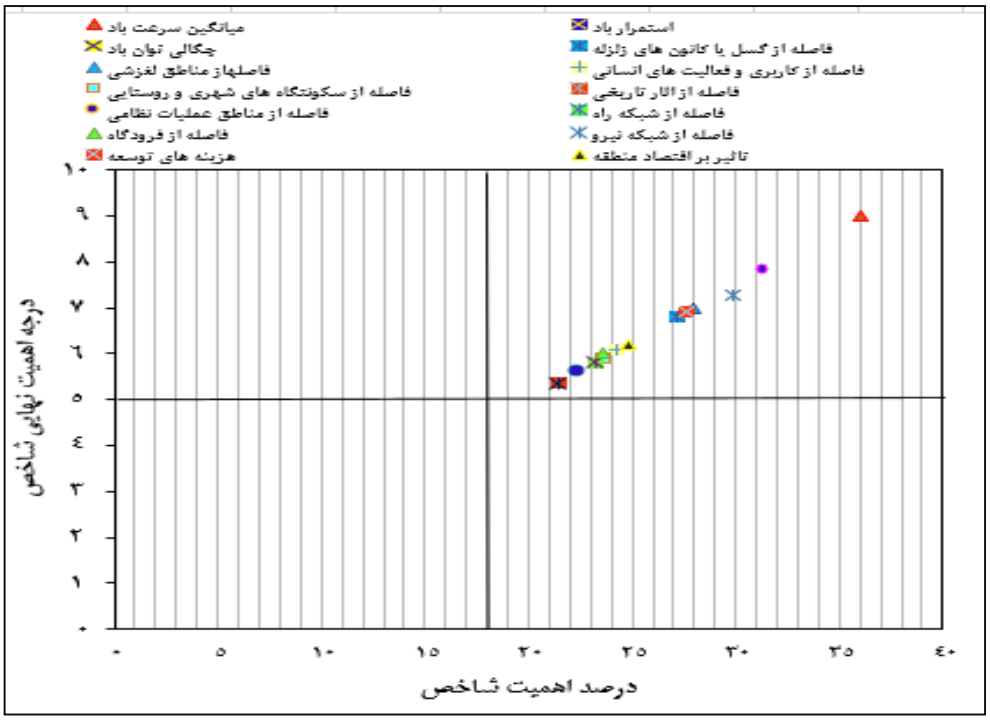
شاخص مکان‌یابی مزارع بادی در ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان، در فرآیند مکان‌یابی مشارکت خواهند داشت. نتایج خبرگان همچنین میانگین سرعت باد، استمرار باد و چگالی توان باد را شاخص‌های الزامی قابلیت (فاکتور) مکان‌یابی و معیارهای فاصله از آثار تاریخی و فاصله از مناطق عملیات نظامی را شاخص‌های الزامی محدودیت مکان‌یابی نشان داد، سایر معیارها در این سنجش ترجیحی قابلیت (فاصله از شبکهٔ نیرو، تأثیر بر اقتصاد منطقه) و ترجیحی محدودیت (فاصله از گسل یا کانون‌های زلزله، فاصله از مناطق لغزشی، فاصله از کاربری و فعالیت‌های انسان، فاصله ازسکونتگاه شهری و روستایی، فاصله ازشبکهٔ راه، فاصله از فرودگاه و هزینه‌های توسعه) تعیین نمود.

مطابق نتایج به‌دست آمده، قابلیت مکانی سه مؤلفه الزامی، وابسته به ویژگی‌های اقلیمی است که براساس آن می‌توان ظرفیت‌سنجی اقلیمی ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان را به پشتوانهٔ آن برای توسعهٔ مزارع بادی پهنه‌بندی نمود. تحقیق حاضر بر اساس نتایج ۴۲ ایستگاه بادسنجی، متوسط سرعت سالانهٔ باد، با طول دورهٔ آماری ۱۷ ساله محاسبه شد. براساس طبقه‌بندی دپارتمان آمریکا (جدول ۳)، منطقهٔ مورد مطالعه در طبقهٔ دوم قرار دارد. مقایسهٔ میانگین سالانهٔ سرعت باد منطقه (شکل ۴) نشان می‌دهد، که جریان‌های هوایی منطقه، نظم مکانی تقریباً مشخصی دارد و تغییرات بلندمدت اندکی بین ۴۲ ایستگاه بادسنجی دیده می‌شود، به‌طوری‌که حداقل و حداکثر متوسط سالانهٔ سرعت باد منطقه بین ۵/۵۸ تا ۶/۱۴ متر بر ثانیه است.

نتایج این پژوهش نشان داد، بیشترین متوسط سالانهٔ سرعت باد در ارتفاع ۵۰ متری ناحیهٔ ساحلی در شهرستان-های دشتیاری و زرآباد و کمترین متوسط سالانهٔ سرعت باد در شهرستان کنارک حدود ۵/۵۸ متر بر ثانیه مشاهده شد .

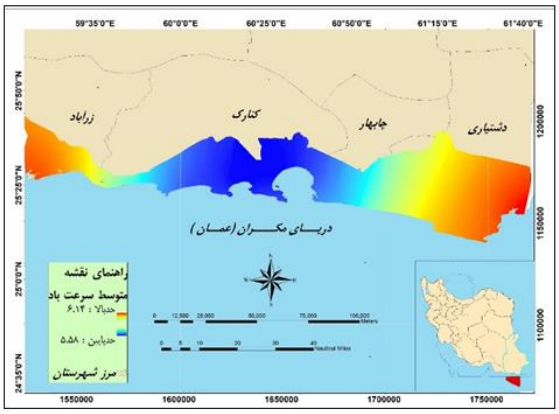
جدول ٦- محاسبات دلفی برای تحلیل اهمیت معیارها

ردیف	شاخص	دامنه اهمیت اعلام شده Xi						تعداد کل پرسش شوندگان (N)	∑Zi	درصد اهمیت معیار	درجه اهمیت نهایی معیار	ضریب اهمیت نرمالایز شده	رتبه معیار	نوع معیار	
		۹	۷	۵	۳	۱								الزامی	ترجیحی
		yi ۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۰۴									
۱	میانگین سرعت باد	۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱	۳/۹۶	۳۶	۹	۰/۰۹۷	۱	+	
۲	استمرار باد	۹	۰	۱	۰	۰	۰	۱۱	۳/۴۴	۳۱/۲۷	۷/۸۱	۰/۰۸۴	۲	+	
۳	چگالی توان باد	۵	۳	۲	۰	۰	۰	۱۱	۳/۰۴	۲۷/۶	۶/۹	۰/۰۷۴	۵	+	
۴	فاصله از گسل یا کانون‌های زلزله	۳	۴	۴	۰	۰	۰	۱۱	۳	۲۷/۲	۶/۸۱	۰/۰۷۳	۶		–
۵	فاصله از مناطق لغزشی	۴	۴	۲	۱	۰	۰	۱۱	۳/۰۸	۲۸	۷	۰/۰۷۵	۴		–
۶	فاصله از کاربری و فعالیت های انسان	۱	۶	۲	۲	۰	۰	۱۱	۲/۶۸	۲۴/۳	۶/۰۹	۰/۰۶۵	۸		–
۷	فاصله ازسکونتگاه شهری و روستایی	۱	۵	۳	۲	۰	۰	۱۱	۲/۶	۲۳/۶۴	۵/۹	۰/۰۶۳	۱۰		–
۸	فاصله از آثار تاریخی	۰	۶	۲	۲	۱	۰	۱۱	۲/۳۶	۲۱/۴۵	۵/۳۶	۰/۰۵۷	۱۳	–	
۹	فاصله از مناطق عملیات نظامی	۳	۳	۱	۳	۰	۰	۱۱	۲/۴۸	۲۲/۵	۵/۶۳	۰/۰۶۰	۱۲	–	
۱۰	فاصله ازشبکه راه	۳	۳	۲	۲	۰	۰	۱۱	۲/۵۶	۲۳/۲۷	۵/۸۱	۰/۰۶۲	۱۱		–
۱۱	فاصله از فرودگاه	۴	۲	۳	۰	۱	۰	۱۱	۲/۶۰	۲۳/۶	۶	۰/۰۶۴	۹		–
۱۲	فاصله از شبکه نیرو	۶	۳	۱	۰	۰	۰	۱۱	۳/۲۰	۲۹/۹	۷/۲۷	۰/۰۷۸	۳		+
۱۳	هزینه های توسعه	۴	۵	۱	۰	۰	۰	۱۱	۳/۰۴	۲۷/۶	۶/۹۰	۰/۰۷۴	۵		–
۱۴	تاثیر بر اقتصاد منطقه	۳	۵	۱	۰	۱	۰	۱۱	۲/۷۲	۲۴/۷۷	۶/۱۸	۰/۰۶۶	۷		+
	جمع	–	–	–	–	–	–	۱۱	–	–	–	۱	-	–	–

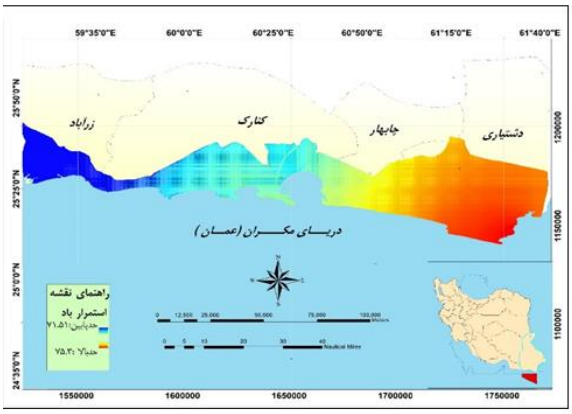


شکل ۳- اهمیت معیارهای مکان‌گزینی نیروگاه بادی در ناحیهٔ ساحلی سیستان و بلوچستان

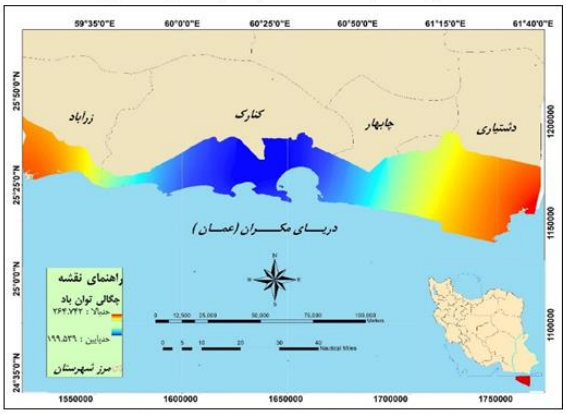
بنابراین از نظر سرعت باد، ناحیهٔ ساحلی سیستان و بلوچستان حداقل‌های لازم برای توسعهٔ مزارع بادی را تأمین می‌کند، و مطابق استاندارد ساتبا با محدودیتی مواجه نیست. بررسی درصد استمرار باد نشان داد، ناحیهٔ ساحلی سیستان و بلوچستان حداقل ۷۱ درصد اوقات سال دارای سرعت باد بیش از ۵/۶ متر بر ثانیه است (شکل ۵) که از حداقل میزان



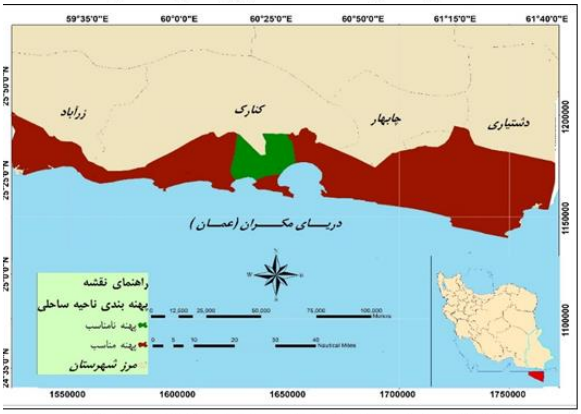
شکل ٤- متوسط سالانهٔ سرعت باد ناحیهٔ ساحلی



شکل ٥- درصد سالانهٔ استمرار باد ناحیهٔ ساحلی



شکل ٦- متوسط سالانهٔ چگالی توان باد ناحیه



شکل ۷- پهنه‌بندی ناحیهٔ ساحلی بر اساس شاخص‌های اقلیمی

استمرار باد برای توسعهٔ مزارع بادی (۶۵ درصد) بیشتر است. در محدودهٔ مورد مطالعه، کمترین درصد متوسط سالانهٔ استمرار باد در شهرستان زرآباد و بیشترین فراوانی آن در شهرستان دشتیاری مشاهده شد. محاسبهٔ چگالی توان باد براساس داده‌های ۱۷ ساله در محدودهٔ مورد مطالعه نشان داد که، حداقل چگالی توان باد برابر با ۱۹۹ وات بر مترمربع در شهرستان کنارک و بیشترین میزان آن معادل ۲۶۴ وات بر مترمربع شهرستان دشتیاری تعیین شد (شکل ۶). در مجموع در میان شهرستان‌های ساحلی سیستان و بلوچستان، دشتیاری و زرآباد دارای بیشترین چگالی توان باد برای توسعهٔ نیروگاه بادی و چابهار و کنارک از کمترین چگالی توان باد برخوردار هستند. مطابق یافته‌های این تحقیق چگالی توان باد در شهرستان کنارک، طبق طبقه‌بندی دپارتمان آمریکا در طبقهٔ اول (نامناسب) و شهرستان‌های دشتیاری، چابهار، زرآباد در طبقهٔ دوم (مناسب) قرار دارند.

برای تلفیق نقشهٔ سه مؤلفهٔ اقلیمی در ناحیهٔ ساحلی سیستان و بلوچستان ابتدا پهنه‌های کمتر از ۵/۶ متربرثانیه متوسط سرعت باد، کمتر از ۶۵ درصد متوسط استمرار باد و کمتر از ۲۰۰ وات بر مترمربع متوسط چگالی توان باد از منطقهٔ مورد مطالعه حذف شدند و با استانداردسازی وتلفیق این سه مؤلفه در سیستم اطلاعات جغرافیایی نتایج نشان داد که، ۴۹۲ کیلومتر مربع معادل نه صدم درصد مساحت ناحیهٔ ساحلی نامناسب برای توسعهٔ مزارع بادی، و نزدیک به ۵ هزار کیلومتر مربع معادل ۹۱ درصد از ناحیهٔ ساحلی این استان برای توسعهٔ مزارع بادی از شایستگی مهمترین مؤلفه‌های اقلیمی برخوردار است. تمام بخش‌های ناحیهٔ ساحلی به‌جز قسمتی از شهرستان کنارک از نظر پتانسیل انرژی بادی دارای حداقل شرایط برای توسعهٔ مزارع بادی است. (شکل ۷).

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر برای یافتن معیارهای مکان‌یابی مزارع بادی ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان از تجربیات موجود و پیشینهٔ مطالعاتی مشابه استفاده نمود و با روش دلفی نیمه

بسته برای محدودهٔ مورد مطالعه مناسب‌سازی شد. در مجموع ۳۲ معیار و زیر معیار شناسایی شد. پنج شاخص الزامی شامل متوسط سرعت باد، استمرار باد چگالی توان، فاصله از مناطق عملیات نظامی و فاصله از آثار تاریخی برای مکان‌یابی مزارع باد شناسایی شد. شاخص‌های یاد شده در مطالعهٔ Rediske و همکاران (۲۰۲۱)، در مکان‌یابی نیروگاه بادی ضروری عنوان شد. همچنین Dashti و Dasht Bozorgi (۲۰۲۱)، در پژوهش خود مهمترین معیارهای مکان‌یابی نیروگاه بادی را متوسط سرعت باد، چگالی توان باد، پیوستگی باد ضروری عنوان کردند، که با یافته‌های این پژوهش مشابه است. برخی از معیارهای ترجیحی شناسایی‌شده در تحقیق حاضر شامل فاصله از شبکهٔ راه‌ها، کاربری اراضی، فاصله از خطوط گسل و فاصله سکونتگاه‌ها با مطالعهٔ Termeh و Pourmadavan (۲۰۱۹)، مطابقت دارد. Gaharnia (۲۰۱۷)، معیارهای فاصله از شبکهٔ نیرو، فاصله از شبکهٔ راه‌ها، کاربری اراضی، فاصله از گسل‌ها، فاصله از فرودگاه و فاصله از سکونتگاه را مورد استفاده قرار دادند که با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. Asadi و Khurshid Dost (۲۰۱۹)، مهمترین شاخص‌های مکانی ترجیحی را فاصله از شبکهٔ راه‌ها، فاصله از سکونتگاه‌ها، کاربری‌ها، فاصله از گسل‌ها و فاصله از مناطق لغزشی گزارش کردند. همچنین Rediske و همکاران، (۲۰۲۱)، معیارهای فاصله از کاربری و فعالیت‌های انسانی، فاصله ازسکونتگاه‌ها، فاصله ازشبکهٔ راه، فاصله از فرودگاه، فاصله از شبکهٔ نیرو، میزان هزینه‌های توسعه و تأثیر بر اقتصاد منطقه را برای توسعهٔ نیروگاه بادی مؤثر بیان کردند، که با معیارهای انتخاب‌شده این تحقیق مطابقت داشت.

مطالعات مختلف معیارهای اقلیمی را ضروری‌ترین مؤلفه‌ها برای مکان‌یابی مزارع بادی عنوان کردند در مطالعهٔ حاضر نیز متوسط سالانهٔ سرعت باد، متوسط سالانهٔ استمرار باد و متوسط سالانهٔ چگالی توان باد مهمترین مؤلفه‌های اقلیمی در مکان‌یابی مزارع بادی شناسایی شد. حداقل و حداکثر متوسط سالانهٔ سرعت باد منطقه بین ۵/۵۸ تا ۶/۱۴ متر برثانیه محاسبه شد که با نتایج مطالعهٔ Tayyabi و Sanyei (۲۰۱۵) در سواحل مکران همخوانی نداشت. در این مطالعه متوسط سالانهٔ سرعت باد ۳/۸۰ متر بر ثانیه تعیین شد، که می‌تواند مربوط به ارتفاع مبنا برای سنجش سرعت باد باشد. در تحقیق حاضر با توجه به توربین‌های مناسب محدودهٔ مورد مطالعه، متوسط سالانهٔ سرعت باد در ارتفاع ۵۰ متری تعیین شد.]Gandomkar (۲۰۰۹)، نیز متوسط سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین در ایستگاه بادسنجی چابهار را برابر با ۴ متر بر ثانیه برآورد نمود، که به‌دلیل تغییر در ارتفاع مبنا با نتایج این تحقیق تفاوت دارد. لازم به ذکر است که سرعت باد در ایستگاه‌های بادسنجی در ارتفاع ۱۰ متری ثبت می‌شود، و با افزایش ارتفاع سرعت باد افزایش می‌یابد. با توجه به ارتفاع توربین لازم است که سرعت برای ارتفاع ۵۰ متری محاسبه شود (Soleimani *et al*., 2014). در بررسی Minaeian و همکاران (۲۰۱۳)، متوسط سالانهٔ سرعت باد در ایستگاه بادسنجی چابهار در ارتفاع ۴۰ متر از سطح زمین ۶/۴۵ متر بر ثانیه تعیین شد که با سرعت برآوردشده در این مطالعه برای ارتفاع ۵۰ متری (۵/۸۰ متر برثانیه) اختلاف جزیی داردکه البته داده‌های تحقیق Minaeian و همکاران (۲۰۱۳)، تنها محدود به دو سال و تحقیق حاضر نتایج بر پایهٔ داده‌های ۱۷ ساله ۴۲ ایستگاه بادسنجی به‌دست آمده است.

در ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان حداقل ۷۱ درصد اوقات سال سرعت باد بیش از ۵/۶ متر بر ثانیه مشاهده شد، که با مطالعه Tayyabi و Sanyei (۲۰۱۵)، متوسط سالانهٔ درصد استمرار باد را حدود ۷۲ درصد به‌دست آوردند، همخوانی داشت. بر اساس استانداردها، تداوم و پیوستگی باد بایستی به اندازه‌ای باشد که حداقل بیشتر از ۶۵ درصد اوقات بتواند توربین را بچرخاند و انرژی تولید کند (Parvin, 2010). بیشترین چگالی توان باد ۲۶۴ وات بر مترمربع شهرستان دشتیاری و کمترین ۱۹۹ وات بر مترمربع شهرستان کنارک مشاهده شد. Minaeian و همکاران (۲۰۱۳)، متوسط سالانهٔ چگالی توان باد در ایستگاه بادسنجی

چابهار را ۱۸۰ وات بر متر مربع به‌دست آوردند که در تحقیق حاضر حدود ۲۱۰ وات بر متربع مشاهده شد. این تفاوت ممکن است به‌دلیل استفاده از داده‌های سرعت باد سال ۲۰۰۷-۲۰۰۶ با طول دورهٔ آماری دوساله متوسط سالانهٔ چگالی توان باد در مطالعهٔ مشابه باشد که در مطالعهٔ حاضر طول دورهٔ آماری ۱۷ ساله برای محاسبهٔ چگالی توان باد استفاده شد. در نهایت با همپوشانی معیارهای اقلیمی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی ناحیهٔ ساحلی استان سیستان و بلوچستان به دو پهنهٔ مناسب (۹۱ درصد از لحاظ توسعهٔ نیروگاه بادی) و نامناسب (۹ درصد از لحاظ توسعهٔ نیروگاه بادی) تقسیم‌بندی شد. لازم به ذکر است که براساس جدول ۲، پهنه‌هایی که بر اساس سه مؤلفهٔ اقلیمی دامنهٔ شایستگی کمتر از این مقدار داشتند، نامناسب در نظر گرفته شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که ظرفیت اقلیمی برای توسعهٔ مزارع بادی در دو شهرستان ساحلی دشتیار و زرآباد وجود دارد، با این وجود صرفاً بر اساس این ظرفیت نمی‌توان نسبت به این کاربری تصمیم‌گیری نمود. بنابراین برای تعیین پهنه‌های دقیق ضروری است که برخی معیارهای محدود کننده (مناطق حساس و تحت حفاظت، عرصه‌های تاریخی و فرهنگی، مناطق نظامی و امنیتی، کاربری‌ها و زیرساخت‌های موجود) از پهنهٔ دارای شایستگی اقلیمی کسر شود، و لکه‌های باقیمانده با کاربرد یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مورد اولویت‌بندی قرار گیرد که چنین فرآیندی به‌عنوان پیشنهادهای مکمل این مطالعه ارائه می‌شود.

References

Adem Çakmakçı, B., Hüner, E., 2022. Evaluation of wind energy potential: a case study. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 44(1), 834-852.

Al Hamidah, A., Shad, R., Ghaemi, M., 2019. Implementing Fuzzy MCDM for designing optimum sites for wind power turbines in GIS, The Second National Research and Development Conference in Civil Engineering, Architecture and Modern Urban Planning. Https://Civilica.Com/Doc/974247 (In Persian)

Ali, Y., Butt, M., Sabir, M., Mumtaz, U., Salman, A., 2017. Selection of suitable site in Pakistan for wind power plant installation using Analytic Hierarchy Process (AHP). Journal of Control and Decision 5(2), 117-128.

Al-Mhairat, B., Al-Quraan, A., 2022. Assessment of wind energy resources in Jordan using different optimization techniques. Processes 10(1), 105.

Arca, D., Keskin C.H., 2020. Geographical information systems-based analysis of site selection for wind power plants in Kozlu district (zonguldak-nw Turkey) by multi-criteria decision analysis method. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 44(4), 10720-10732.

Azari, A., 2015. Site Selection of wind farms using an integrated analytic network process and TOPSIS Model (case study: Khorasan Razavi province. Master's Thesis on Remote Sensing and Geographic Information System (Supervised by Rasool Mahdavi, Hamid Reza Kohbanai and Mohammad Kamangar), Hormozgan University, Faculty of Humanities, Department of Geography, Bandar Abbas, 124 p. (In Persian)

Baban, S.M., Tim P., 2001. Developing and applying a gis-assisted approach to locating wind farms in the UK. Renewable Energy 24(1), 59-71.

Barzehkar, M., Parnell, K., Dinan, N., Brodie, G., 2020. Decision support tools for wind and solar farm site selection in Isfahan province, Iran. Clean Technologies and Environmental Policy 23(4), 1179-1195. (In Persian)

Beheshtinia, M., Sedadi, F., 2017. Prioritizing the construction of renewable power plants using the combination of improved digital logic and fuzzy vicor, https://Civilica.Com/Doc/1555954. (In Persian)

Danehkar, A., Haddadiniam, S., 2010. Weighting and ordering of ecotourism criteria for planning in arid and semiarid ecosystems by Delphi method. Natural Resources Management and Development (2), 21-32. (In Persian)

Dashti, S.S., Bozorgi. F.D., 2021. Determining effective criteria for locating different types of power plants. Journal of Human and Environment 19(1), 1-21. (In Persian)

Dunham, R., 1998. The Delphi technique. University of wilsconsin, School of Business.

Fallah Qalhari, G., Fahima, S., Asadi, M., Rezaee, H., 2017. Identification of potential areas for the construction of wind power plants (Case Study: Fars Province). Environmental Research 8(15), 3-16. (In Persian)

Farzoud, M., Danehkar, A., Zahedi Amiri, Q., 2016. Clarification of criteria and indicators of sustainable tourism management, (Case Study: Mangrove Forests of Khmer and Qeshm areas). Tourism Planning and Development 5(17), 169-194. (In Persian)

Gandomkar, A., 2009. Evaluation of potential wind energy in Iran. Journal of Geography and Environmental Planning. 36(4). (In Persian)

Gigovic, L., Pamucar, D., Bozanic, D., Ljubojevic, S., 2016. Application of the GIS-DANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms (A Case Study of Vojvodina, Serbia). Renewable Energy 103, 501-521.

Goharnia A., 2017. A study on climatic and environmental feasibility of wind farms establishment using geographic information system (A case study in North of Sistan and Baluchestan Province, Iran). Master's Thesis In the Field of Water and Meteorology, Applied Climatology (, University of Sistan and Baluchistan, 86 p. (In Persian)

Goharnia, A., Khosravi, M., Hamidianpour M., 2018. The feasibility of building wind power plants in the north of Sistan and Baluchistan province from the point of view of climatic and environmental conditions. Geographical Explorations of Desert Regions 8(6), 1-20. (In Persian)

Haddaniya, S., Danekar, A., 2012. Prioritizing criteria for nature tourism in desert and semi-desert ecosystems using the Delphi method. Quarterly Journal of Geography and Urban-Regional Studies 2(3), 17-30. (In Persian)

Hajizadeh, E., Asghari, M., 2011. Statistical methods and analyzes with a view to research methods in biological and health sciences. Academic Jihad, First Edition. ???? p. (In Persian)

Hasanzadeh, M., Danehkar, A., Azizi, M., 2013. Application of analytical network process to environmental prioritizing criteria for coastal oil jetties site selection in Persian Gulf coasts (Iran). Ocean & Coastal Management, 73, 136-144. (In Persian)

Inteziri, A., Amirahmadi, A., Erfani A., Barzoui, A., 2014. Evaluation of wind energy potential and the feasibility of building a wind power plant in sabzevar. Quarterly Journal of Geographical Studies of Arid Regions 3(9), 33-46. (In Persian)

Iran's Energy Balance Sheet., 2018. Vice president of electricity and energy affairs, ministry of energy of Iran

Jafari, H., Azizi, A., Nasiri, H., Abdi, S., 2014. Analysis of Land Suitability to Locate Wind Power Plant in Ardabil Province Using AHP and SAW Methods in GIS Environment. Journal of Environmental Science and Technology 15(2), 23-41. (In Persian)

Jalalvand, M., Bakhoda H., Almasi, M., 2013. Potential measurement of the possibility of using wind energy for electric agricultural pumps in Borujerd region (Research Note). Agricultural Machinery 4(2), 377. (In Persian)

Janbazghobadi, G., 2019. Wind energy potential measurement to determine the optimal location for installing wind turbines in Mazandaran province. Journal of Geographical Survey of Space 9(34), 209-224. (In Persian)

Kabiri Hendi, M., Daneka, RA., Khorasan, I.N., 2013. Use of Delphi method in the classification and prioritization of selection criteria for conservation areas with an integrated approach. Amash Sarmeen Quarterly, 4(6), 55-78. (In Persian)

Kalantari, K., 2016. Data processing and analysis in socio-economic research using software, SPSS, Sharif Publishing, 402. (In Persian)

Karimi Soltani, P., Tahmasabi, H., 2013. Location of wind turbine installation fields. The Second National Conference on New and Clean Energies, Shahid Muftah College, Hamedan. 14 Azar. (In Persian)

Karimi Zarchi, M., Delavaripour A., 2012. Application of GIS site selection renewable energies (case study of wind turbines and solar cells), the third national conference on combating desertification and sustainable development of desert wetlands in Iran, Arak, Https://Civilica.Com/Doc/223326. (In Persian)

Kotnai, A., Barzaman, S., 2021. Evaluating the potential of using wind energy in desert and desert regions of Iran with spatial analysis method. Islamic Azad University, Ahar Branch.; 21 (73) :1-17: .http://Geographical-

Space.Iau-Ahar.Ac.Ir/Article-1-2651-Fa.Html (In Persian)

Krejcie, R.V., Morgan, D.W., 1970. Determining sample size for research activities. Educational and Psychological Measurement 30(3), 607-610.

Latinopoulos, D., Kiriaki. K., 2015. A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A Regional Scale Application in Greece. Renewable Energy 78, 550-560.

Layeghi, B., 2021. Weather and climatology in the coastal zone (Report). Sistan & Baluchestan ICZM Project, IMO, Sazehpardazi Consultant. 117 p. (In Persian)

Mafi-Gholami, D., Feghhi, J., Danehkar A., Nabiollah Y., 2015. Classification and priorition of negative factors affecting on mangrove forest using Delphi method (A Case Study: Mangrove Forest of Hormozgan Province, Iran). Advances in Bioresearch 6(3), 78-92

Maher, M., 2020. Wind farm site selection in territorial waters of Hormozgan province, Master's Thesis in Environmental Sciences and Engineering. Department of Environment Evaluation and Survey of the Land, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. 52 P (In Persian)

Mashhadi Rafiei, M., 2021. Sistan and Baluchistan province coastal zone demarcation project. Ports ICZM Project, IMO, Sazehpardazi Consultant. 119 p. (In Persian)

Minaian, A., Sadaqat, A., Alam Rajabi, A., 2013. Wind energy potential assessment of Sistan and Baluchistan province and economic analysis for the construction of wind power plant. Journal of Energy Engineering and Management 3(3), 34-41. (In Persian)

Molavi Gonabadi, M., Talei M., Javadi, Q., 2019. Land suitability evaluationbased on multi-criteria decision making methods for site selection wind farms of in Khorasan Razavi province. Remote Sensing and GIS of Iran 11(3), 59-78. (In Persian)

Moradi, S., Yousefi, H., Noorollahi Y., Diego, R., 2020. Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: case study of Alborz province, Iran. Energy Strategy Reviews 29, 100478.

Morshidi, J., Barna, R., Asgharipour A., Dasht Bozorg, H., Ahmadi Zahari Abdowand, Z., 2010. Location of wind power plants using analytic hierarchy process (AHP) in GIS environment. Journal of Application of Remote Sensing and Geographic Information System in Planning 1(2), 97-111. (In Persian)

Mousavi, S.H., Danehkar, A., R.Shokri, M.B., Poorbagher H., Azhdari, D., 2015. Site selection for artficial reefs using a new combine multi-criteria decision-making (MCDM) tool for coral reefs in the Kish Island-Oersian Gulf. Journal of Ocean and Coastal Management 111, 92-102.

Parvin, N., 2010. Survey of new energies in Iran with emphasis on wind energy potential assessment in Qom province, 4th International Congress of Geographers of The Islamic World, Zahedan, https://Civilica.Com/Doc/82925. (In Persian)

Petrosian, H., Danekar, A., Ashrafi S., Faqhi, J., 2013. Application of the Delphi method in prioritizing criteria for choosing suitable areas for the development of mangrove forests (Case study: Mangrove Forests). Environment and Development Quarterly 4(7), 37-48. (In Persian)

Porfiyaz, F., Dehghan, H., 2020. Locating and evaluating wind energy for the construction of wind farms - a case study in Fars province. Water, Soil and Air Protection, 1(1), 48-57. Quarterly Journal of Geographical Space, 21(73), 1-17(In Persian)

Rafati, S., Karimi, M., 2021. Evaluation of wind potential in Kermanshah province. Geography and Environmental Sustainability 38. (2021) 23-40. (In Persian)

Razavi Terme, V., Pourmadvan, F., 2019. Locating wind power plants using hierarchical analysis and vicor methods in spatial information system (Fars province). Geography and Environmental Studies 8(30), 105-116. (In Persian)

Rediske, G., Burin, H.P., Rigo, P.D., Rosa, C.B., Michels, L., Siluk, J.C.M., 2021. Wind power plant site selection: a systematic review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 148, 111293.

Rezaei, K., Mukhtar Karmi H., Shakri, F., 2019. Locating wind power plants in Semnan province using AHP method. Environmental Science and Technology Quarterly 22(12), 51-64. (In Persian)

Sadeghi Z., Dalal Bashi Esfahani Z., Horri H., 2013. Prioritization of factors affecting the location of renewable energy power plants (solar energy and wind energy) In Kerman province using geographic information system GIS and multi-criteria decision-

making techniques. Journal of Energy Planning and Policy Studies 1(2), 90-110. (In Persian)

Sadeghi, M., Karimi, M., 2017. GIS-based solar and wind turbine site selection using multi-criteria analysis: case study Tehran, Iran. The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W4, 2017 Tehran's Joint ISPRS Conferences of GI Research, SMPR and EOEC 2017, 7-10 October 2017, Tehran, Iran. (In Persian)

Salehnasab, A., Feghi, J., Danehkar A., Soosani, J., Dastranj. A., 2016. Forest park site selection based on a fuzzy analytic hierarchy process framework (Case study: The Galegol Basin, Lorestan province, Iran). Journal of Forest Research 62(6): 253-263. (In Persian)

Saraswat, S., K., Digalwar, A. K., Yadav, S. S., Kumar, G., 2021. MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India. Renewable Energy 169, 865-884.

Sepehr, M., Danehkar. A., Fatemi, M., Maschinchian, A., Jamalzad Falah F., Shabani Kasbakhi R., 2018. Application of the Delphi method in screening criteria and sub-criteria for locating desalination units. The Second National Conference on Climate and Meteorology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, May 19. (In Persian)

Sepehr, M., S. Fatemi, M. R., Danehkar, A., Moradi A.M., 2017. Application of Delphi method in site selection of desalination plants. Global Journal of Environmental Science Management 3(1), 89-102.

Sharifi, N., Sepasi, Y., Danehkar A., Mahmoudi, B., 2012. Delphi method and its application in the environment. Sabzineh Monthly 6(63), 68-72. (In Persian)

Siyal, S. H., Mörtberg, U., Dimitris, M., Welsch, M., Babelon, I., Howells, M., 2015. Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: A GIS-Based Approach. Energy 83, 447-461.

Solangi, Y., Ahmed, T., Qingmei, K., Waris. M., Mirjat A., Ahmed, I., 2018. The selection of wind power project location in the southeastern corridor of Pakistan: A Factor Analysis, AHP, And Fuzzy-TOPSIS Application. Energies 11(8), 1940.

Soleimani, H., Falahzadeh A., Karmi Jalal, M., 2014. Assessment of suitability of land for the establishment of wind farms using multi-criteria decision-making techniques and GIS (Case study: East Azerbaijan). Journal of Geography and Environmental Planning 25(3). (In Persian)

Tabatabai T., Amiri F., 2015. Wind farm site selection based on geospatial multi-criteria and analytical hierarchy process (AHP) (case study: Bushehr Province). 6(1), 139. (In Persian)

Tayebi, R., Sanyei, M., 2015. Feasibility of building wind farms on the coast of Makran, 6th International Conference of Offshore Industries, May 14 And 15 Tehran, https://Civilica.Com/Doc/482686 (In Persian)

Thaghafi, M., 2014. Renewable energies, 4th Edition, Tehran University Press, Third Year, Third Issue/Fall 2014. (In Persian)

Wu, B., Yip, T. L., Xie, L., Wang, Y., 2018. A fuzzy-madm based approach for site selection of offshore wind farm in busy waterways in China. Ocean Engineering 168, 121-132.

www.Satba.gov.ir

Yaghoubzadeh, M., Salmanmahiny, A., Mikaeili Tabrizi, A., Danehkar A., Moslehi, M., 2022. Prioritizing environmental hazards of mangrove forests in Hormozgan province. Journal of Natural Environmental Hazards 10(30), 69-82. (In Persian)

Zahedi M., Salahi, B., Jamil, M., 2005. Calculation of wind density and power in order to use its energy in Ardabil. Geographical Researches 53, 41-55. (In Persian)

Zahedi, R., Ghorbani, M., Daneshgar, S., Gitifar, S., Qezelbigloo, S., 2022. Potential measurement of Iran's western regional wind energy using GIS. Journal of Cleaner Production 330, 129883.

Original Article

Journal of Natural Environment 75(Special Issue): 149-166 (2023)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

Climatic capacity evaluation of coastal area of Sistan and Baluchistan province for the development of wind farms

Mohammad Borhani, Afshin Danehkar, Mazaher Moeinaddini*

Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding author: moeinaddini@ut.ac.ir

Abstract

Fossil fuels, due to limited resources, causing pollution and global warming, have caused the use of renewable energy, especially wind energy, to be considered. For this reason, to determine the criteria for locating wind farms in the coastal area of Sistan and Baluchistan province, from reviewing the sources, studying the plans and research, standards, and reviewing documents from 30 internal sources 20-year ago and external sources was used. Due to a large number of criteria and indicators, summarization was done, they were divided into two ecological and human groups, which include 8 criteria, climate, land, uses and management areas, development infrastructure, capital resources, Itis management, health and consequence, the average wind speed and distance from the residence had the highest frequency of indicators in previous experiences. The Delphi method was used to screen the criteria and the opinions of 11 wind farm experts were used. The results of the content validity evaluation of the questionnaires showed that all the respondents chose the indicators of average wind speed, wind continuity, distance from landslide areas, distance from military operation areas, distance from the power grid, and development costs as the most important spatial indicators. Measuring the importance of the criteria based on the Delphi method is dependent on the calculation of two indicators, the percentage of importance and the degree of importance, which were used to calculate the final importance coefficient of the criteria through these two parameters. Based on Delphi calculations, the most essential site selection wind farm indicators were obtained, respectively, average wind speed, wind continuity, distance from the power grid, and wind power density. In order to evaluate the potential of wind energy for the development of wind farms in the coastal area, climate indicators, annual average wind speed, annual average wind power density, and annual average wind continuity percentage were used. Analysis of climatic criteria was done by using a geographic information system and kriging interpolation functions of mapping. Finally, the coastal area was divided into two zones, 91% suitable for wind power development and 9% unsuitable.

Keywords: Site selection, Evaluation wind energy, Delphi method, Wind energy, Wind power density