بخش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال ششم / شماره اول) بهار ۱۳۹۴
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی بر اساس ارزیابی چندمعیاره مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعهٔ موردی: استان بوشهر)

طیبه طباطبایی[1*]، فاضل امیری[2]

۱. استادیار گروه مهندسی محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

چکیده

هدف از این تحقیق، تعیین مکان مناسب احداث نیروگاه‌های بادی با توجه به معیارها و گزینه‌های اقلیم (سرعت باد، سرعت باد غالب و دما)، جغرافیا (ارتفاع از سطح دریا، شیب)، اقتصادی- اجتماعی (فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از شهرها و فاصله از روستاها)، زیست محیطی (فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه) و زمین شناسی (فاصله از کانون‌های زلزله و فاصله از گسل‌ها) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در استان بوشهر است. بر اساس نقش و تأثیر متفاوت این فاکتورها، نقشه عوامل مؤثر در محیط ArcGIS®10.1 تهیه گردید. وزن معیارها و گزینه‌ها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط نرم‌افزار EC2000 تعیین گردید. از محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.1 برای مدل‌سازی و تحلیل فضایی و تلفیق لایه‌ها استفاده شد و نقشه مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی در چهار کلاس مختلف (خیلی مناسب، مناسب، متوسط و کم) به دست آمد. نتایج نشان داد پهنه‌هایی که در منطقه با توان کاملاً مناسب شناسایی شده‌اند، ۲٤/۸ درصد از کل منطقه (٥٦٦۲۱۸ هکتار) را به خود اختصاص داده‌اند که مناطق شمال شرقی استان بوشهر بهترین مکان جهت احداث نیروگاه‌های بادی هستند. نتایج همچنین نشان داد که سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم گیری، در ساخت نیروگاه می‌تواند در آماده‌سازی داده‌ها و اولویت مدل‌ها و نظرات کارشناسان در ارتباط با عوامل مختلف در انتخاب محل مناسب نیروگاه بادی مؤثر باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مدل انعطاف‌پذیری در مدل سازی داده‌های مکانی در انتخاب مکان مناسب نیروگاه بادی است.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ٦ اردیبهشت ۱۳۹۳
پذیرش: ۲۱ آبان ۱۳۹۳
دسترسی اینترنتی: ۲۰ خرداد ۱۳۹٤

واژه‌های کلیدی:
مکانیابی
نیروگاه بادی
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)
سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)
استان بوشهر

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: ttabatabaie@iaubushehr.ac.ir

مقدمه

به منظور تحقق مفهوم توسعه پایدار تأمین زمینه‌ای برای برآورد انرژی مورد نیاز از طریق بررسی پتانسیل طبیعی هر منطقه ضروری می‌باشد. یکی از بهترین راه‌های تأمین انرژی مورد نیاز، انرژی بادی است که از طریق نصب توربین‌های بادی استحصال می‌شود. توسعه سریع در فن‌آوری‌های استحصال انرژی باد آن را به جایگزین مطمئنی به جای سیستم‌های انرژی امروزه تبدیل ساخته است (۲٤). بسیاری از کشورها به دلیل نصب راحت و راه‌اندازی سریع توربین‌های بادی و هزینه‌های کم به استحصال این نوع انرژی روی آورده‌اند (۲۲). از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به؛ آقاابراهیمی و همکاران (۱) اشاره کردند که از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای امکان‌سنجی احداث نیروگاه‌های بادی در استان خراسان جنوبی استفاده کردند.

بنویی و همکاران (۱۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تصمیم‌گیری چند معیاره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، به مکان‌یابی توربین‌های بادی در تایلند پرداختند. نتیجه مطالعه نشان داد که ساحل شرقی تایلند از مناطق مستعد برای نصب توربین‌های بادی است. سلطانی و همکاران (۲) پتانسیل انرژی باد در بندر امیرآباد به منظور امکان‌سنجی تأسیس نیروگاه‌های بادی را بررسی نمودند.

نواللهی و همکاران (۱۰) پتانسیل منطقه باختر را جهت احداث نیروگاه بادی را با در نظر گرفتن معیارهای فنی، زیست محیطی، اقتصادی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ارزیابی نمودند.

محمدی و همکاران (۸) بر پایهٔ داده‌های جهت و سرعت سه ساعتهٔ باد ایستگاه‌های همدید کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، روانسر، کنگاور و سرپل ذهاب، در طول ۹ سال (۲۰۰٦–۱۹۹۷)، پتانسیل این مناطق را برای استفاده از انرژی باد را بررسی نمودند.

نتایج این مطالعه نشان داد که سه ایستگاه روانسر، سرپل ذهاب و کنگاور، پتانسیل مناسبی برای تولید انرژی باد دارند. منطقهٔ اسلام آباد غرب در صورت استفاده از توربین‌های بادی مرتفع، برای بهره‌برداری از انرژی باد مناسب است و کرمانشاه پتانسیل مناسبی برای استفاده از انرژی باد را ندارد. نصرالهی (۹) در تحقیقی با استفاده سیستم اطلاعات جغرافیایی به اولویت‌بندی مناطق مختلف کشور برای استفاده از تجهیزات و نیروگاه‌های بادی پرداختند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشانگر پتانسیل بالای شهرهای منجیل، خور، بیرجند، زابل و سبزوار برای احداث نیروگاه‌های بادی می‌باشد.

نگوین (۱۹) ضمن بررسی معیارهای مناسب در احداث مزارع بادی در کشور ویتنام، پتانسل این کشور را در استفاده از انرژی باد مناسب دانست.

پرابامرونگ و همکاران (۲۰) توسعهٔ نصب مزارع بادی در تایلند را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی با در نظر گرفتن ۲۰ معیار ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که حدود ۳۰ درصد از کل مساحت، برای نصب نیروگاه بادی مناسب است که بیشتر مکان‌های مناسب در مناطق روستایی قرار گرفتند. باززی (۱٤) در طراحی مزارع باد در لبنان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی از معیارهای داده‌های باد، مناطق شهری، نوع توربین و فاصله بین توربین‌های بادی استفاده کرد.

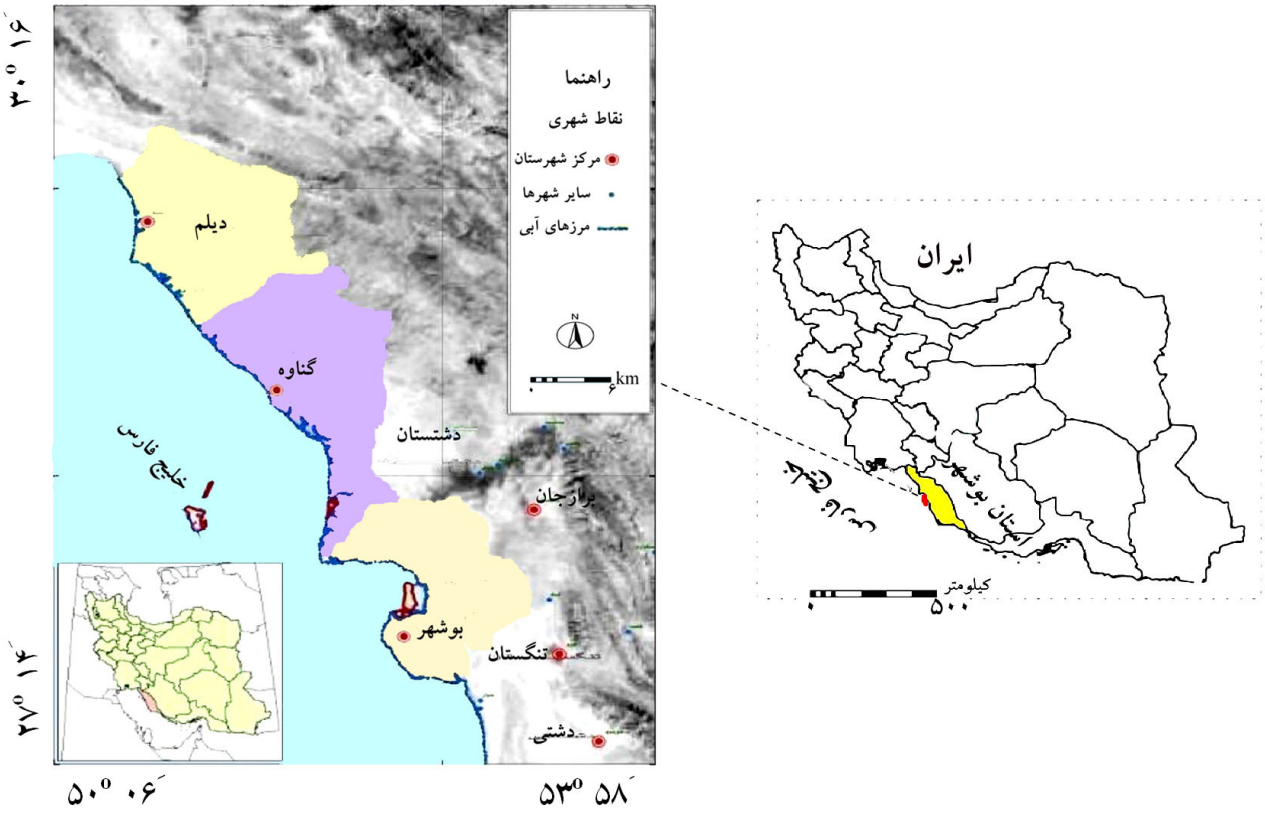
ایاپان و کازیناسا پاندیان (۱۷) با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث آسیاب‌های بادی در جزایر آندامان و نیکوبار پرداختند. نتایج نشان داد که جزایر آندامان و نیکوبار از پتانسیل بالای انرژی باد برخوردارند و برای احداث آسیاب‌های بادی شرایط مناسبی دارند.

با توجه به بادگیر بودن اقلیم استان بوشهر، عدم استفاده از ظرفیت نیروگاه‌های بادی در سطح استان و انجام نشدن مطالعه‌ای در این خصوص، هدف از این مطالعه دستیابی به فاکتورهای لازم جهت انتخاب محل‌های مناسب نیروگاه‌های بادی در استان به منظور ارائهٔ معیارهایی بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی، انتخاب مکانی نیروگاه‌های بادی، استفاده از این معیارها در محدودهٔ مطالعاتی و ارزیابی تأثیر آن‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

بوشهر یکی از استان‌های ساحلی جنوب ایران است که در موقعیت جغرافیائی ´۱٤ ۲۷° تا ´۱٦ ۳۰° طول شرقی و ´۰٦ ۵۰° تا ´۵۸ ۵۳° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت استان بوشهر ۲۷٦۵۳ کیلومتر مربع است که ۹۳۸ کیلومتر مرز آبی با خلیج فارس دارد. میانگین دمای سالیانه منطقه ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت نسبی آن بین ۷۵-۵۸ درصد و میزان متوسط بارندگی سالیانه این استان ۲۲۰ میلی‌متر است. حداقل ارتفاع منطقه همسطح دریا تا ارتفاع ۱۹۵٤ متر می‌باشد. اقلیم منطقه به روش دومارتن، نیمه خشک می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

به منظور مکان‌یابی مناطق مناسب احداث نیروگاه بادی، ابتدا لایه اطلاعاتی ۵ معیار و ۱۳ گزینه؛ ۱) معیار اقلیم (سرعت باد، سرعت باد غالب و دما)، ۲) اقتصادی- اجتماعی (فاصله از شهرها و روستاها و فاصله از راه‌های ارتباطی)، ۳) زیست محیطی (فاصله از آبراهه‌ها، کاربری اراضی و فاصله از مناطق حفاظت شده)، ٤) جغرافیایی (ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین) و ۵) زمین‌شناسی (فاصله از کانون‌های زلزله و فاصله از گسل‌ها) تهیه و از تلفیق نقشه معیارها و گزینه‌ها، نقشه نهایی مکان‌های احداث نیروگاه تهیه گردید (شکل ۲).

جهت تعیین جهت باد غالب ابتدا فرمت داده‌های خام هواشناسی توسط برنامه‌ای که در محیط نرم‌افزار Exel نوشته شد، به فرمت قابل استفادهٔ نرم‌افزار WRPLOT، تبدیل گردید. سپس در محیط این نرم‌افزار فراوانی داده‌های باد برای میانگین سال‌های آماری، ترسیم گردید. نقشه سرعت باد و سرعت باد غالب پس از ایجاد تم نقطه‌ای ۸ ایستگاه سینوپتیک در محیط

ArcGIS®10.1، با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) تهیه و با توجه به طبقات ارجحیت (جدول ۱) تهیه گردید.

نقشه گرادیان دمایی بر اساس معادلهٔ همبستگی یک متغیره ۸ ایستگاه مجاور منطقه، در محیط نرم‌افزار CurveExpert، بر اساس کلاس‌های ارائه شده (جدول ۱) تهیه گردید. نقشه موقعیت شهرها، روستاها، راه‌های ارتباطی و آبراهه‌ها از نقشه شیت‌های رقومی منطقه در محیط میکرواستیشن پس از انجام تصحیحات لازم و انتقال داده‌ها به محیط ArcGIS®10.1 در فرمت وکتور تهیه و نقشه ارجحیت فاصله از شهرها، روستاها، راه‌های ارتباطی و آبراهه‌ها با توجه به طبقات ارائه شده (جدول ۱) تهیه گردید. نقشه کاربری اراضی از تصویر ماهواره لندست ۸ (سنجنده OLI) سال ۲۰۱۳، پس از انجام پیش‌پردازش، با استفاده از شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، رابطهٔ ۱ تهیه گردید.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \qquad [۱]$$

در این رابطه؛ طیف قرمز (R; Red) و باند طیف مادون قرمز نزدیک (NIR; Near Infrared) است. ارزش‌های NDVI بین ۱+ تا ۱- متغیر است. در NDVI پوشش گیاهی سبز دارای ارزش‌های مثبت و بیشتر از صفر است، مقادیر NDVI در مناطق مرطوب و منطقه آب منفی است.

در منطقه خاک لخت نیز ارزش NDVI نزدیک به صفر است. سپس نقشه کاربری اراضی در چهار طبقه کشاورزی، مراتع و اراضی جنگلی، دریاچه، تالاب و اراضی باتلاقی و صخره‌ای، بایر و شن‌روان تهیه و با توجه به جدول ۱ کلاسه‌بندی گردید. نقشه فاصله از مناطق حفاظت شده از نقشه کاربری اراضی با توجه به طبقات ارجحیت فاصله ارائه شده در جدول ۱ تهیه گردید. نقشه مدل رقومی ارتفاعی و شیب از شیت‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری با استفاده از توابع تحلیل مکانی در ArcGIS®10.1 تهیه گردید و در محدوده‌های بسیار مناسب تا نامناسب تقسیم‌بندی گردید (جدول ۱).

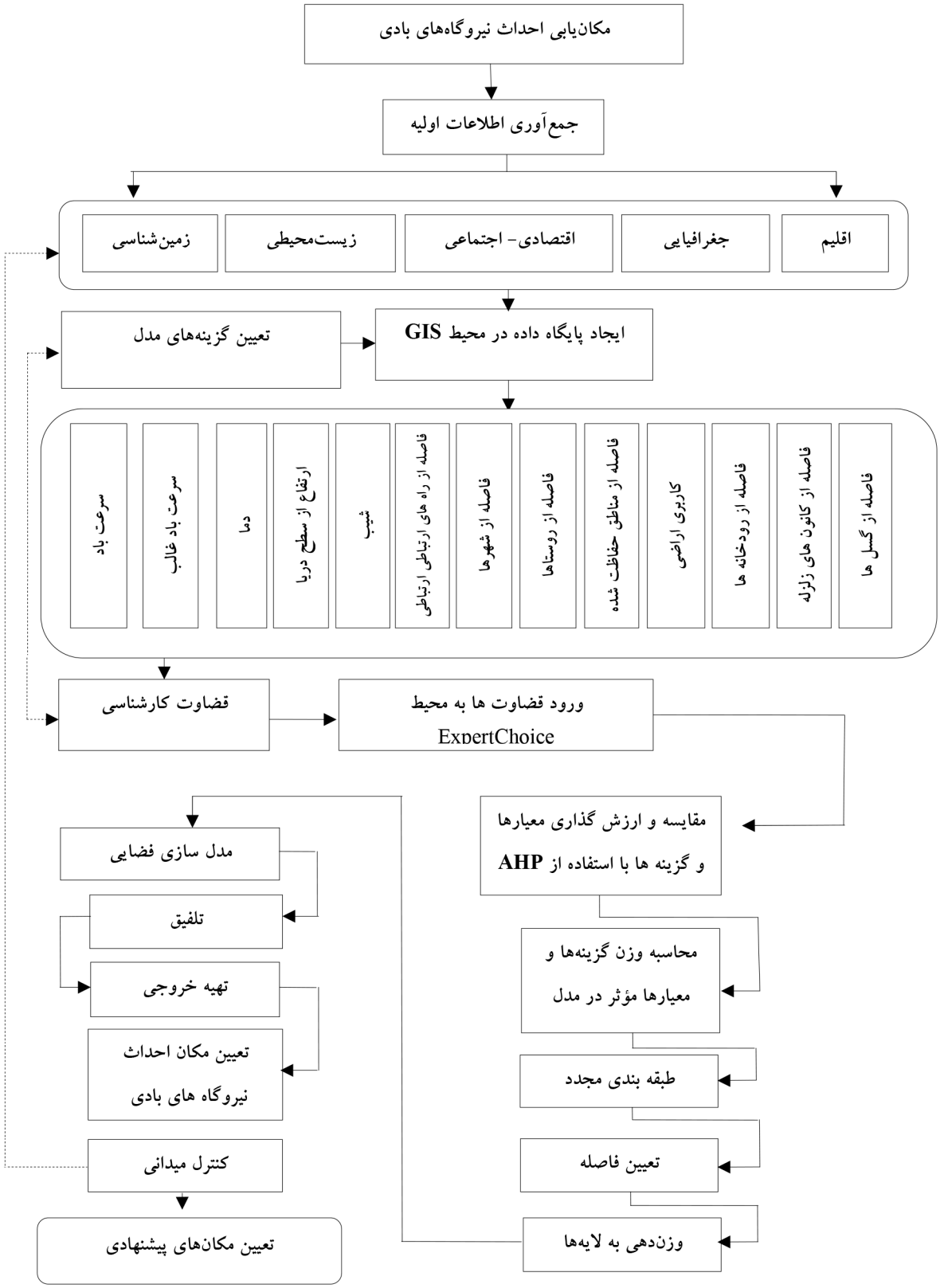
نقشه فاصله از کانون‌های زلزله و فاصله از گسل‌ها، از خطوط تراز شیت‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ در محیط نرم‌افزار میکرواستیشن استخراج و در محیط ArcGIS®10.1 تهیه و بر اساس جدول ۱ در محدوده‌های بسیار مناسب تا نامناسب کلاسه‌بندی گردید.

وزن پارامترها با مقایسه زوجی بین آن‌ها و استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده است (۲۱). مقایسهٔ زوجی بین پارامترها با توجه به قضاوت کارشناسان صورت گرفته و بر اساس آن میزان اهمیت و وزن هر کدام از گزینه‌ها و معیارها تعیین شد. سپس نقشه طبقه‌بندی شده هر گزینه در وزن آن گزینه ضرب و با جمع نقشه‌های وزن‌دهی شده هر گزینه نقشه معیار آن گزینه‌ها تهیه گردید.

در مرحله بعد از حاصلضرب وزن هر معیار در نقشه آن معیار (نقشه حاصل از ضرب وزن هر گزینه در نقشه آن گزینه و مجموع این نقشه‌ها) و جمع نقشه معیارهای وزن‌دهی شده (شکل ۲)، درجه شایستگی اراضی با رابطهٔ ۲ محاسبه گردید.

$$\text{وزن نهایی گزینه } j = \sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} W_k W_i(g_{ij}) \qquad [۲]$$

در این رابطه؛ W_k ضریب اهمیت معیار k، W_i ضریب اهمیت زیر معیار i، g_{ij} امتیاز گزینه j در ارتباط با زیر معیار i (۱۸). نقشه حاصله بر اساس ٤ قسمت مساوی در چهار کلاس اهمیت (نامناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و کاملاً مناسب) طبقه‌بندی شد.



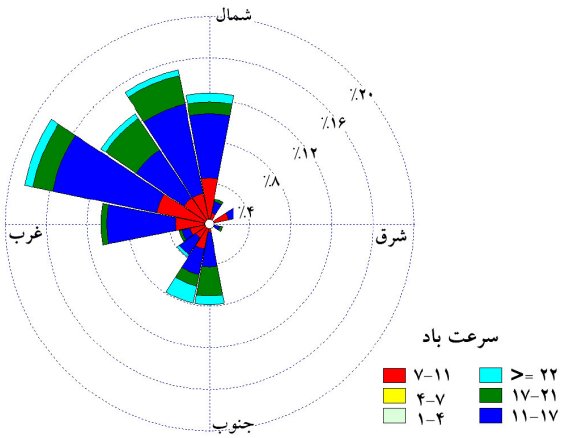
شکل۲. مراحل تهیه و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه نهایی مکان‌های مناسب احداث نیروگاه بادی

جدول۱. طبقات کاربری اراضی احداث نیروگاه بادی و میزان مطلوب آن‌ها

طبقات کاربری اراضی	میزان مطلوبیت و امتیاز			
	نامناسب (۱)	تا حدودی مناسب (۲)	مناسب (۳)	بسیار مناسب (٤)
اقیم				
سرعت باد (متر بر ثانیه)	٦-۷/۵	۷/۵-۹	۹-۱۰/۵	۱۰/۵-۱۲
سرعت باد غالب (متر بر ثانیه)	۱۲-۱۵/۵	۱۵/۵-۱۹	۱۹-۲۲/۵	۲۲/۵-۲٦
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲٤-۲۵	۲۵-۲٦	۲٦-۲۷	۲۷-۲۸
اقتصادی- اجتماعی				
فاصله از شهرها (کیلومتر)	۰-۲	>۸	۵-۸	۲-۵
فاصله از روستاها (کیلومتر)	۰-۱	>۷	٤-۷	۱-٤
فاصله از راه‌های ارتباطی (کیلومتر)	>۵	۳-۵	۱-۳	۰-۱
زیست محیطی				
فاصله از آبراهه‌ها (کیلومتر)	<۱	۱-۲	۲-۳	>۳
کاربری اراضی	کشاورزی	مراتع و اراضی جنگلی	دریاچه، تالاب و اراضی باتلاقی	صخره‌ای، بایر و شن‌روان
فاصله از مناطق حفاظت شده (کیلومتر)	۰-۲	۲-٤	٤-٦	>٦
جغرافیایی				
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۵۰۰-۱۹۵٤	۰-۲۵۰	۲۵۰-۷۵۰	۷۵۰-۱۵۰۰
شیب زمین (درصد)	>۱۰	۵-۱۰	۲-۵	۰-۲
زمین شناسی				
فاصله از کانون‌های زلزله (کیلومتر)	۰-۲	۲-۷	۷-۱۰	>۱۰
فاصله از گسل‌ها (کیلومتر)	۰-۱	۱-٦	٦-۱۰	>۱۰

نتایج

نتایج فراوانی و جهت باد غالب برای میانگین سال‌های آماری نشان می‌دهد که باد غالب سالانه شمال غربی، حداکثر سرعت باد ۲۵ متر بر ثانیه (۹۰ کیلومتر بر ساعت) است (شکل ۳). نتایج طبقات کاربری اراضی نشان داد که تیپ غالب به ترتیب زمین‌های کشاورزی (٤۵۹۰٦۳/۵ هکتار، ۲۰/۱٪)، مراتع و اراضی جنگلی (۱۰٤۸۱۷۳/۸ هکتار، ٤٦٪)، دریاچه، تالاب و اراضی باتلاقی (۷۲۰٦۲٦ هکتار، ۳۱/٦٪)، و مناطق صخره‌ای، بایر و شن‌روان (۵۵۰٦٦/٦ هکتار، ۲/٤٪) از سطح منطقه را در بر می‌گیرد (جدول ۲). مناطقی با شایستگی بسیار مناسب و مناسب به لحاظ معیار اقلیم به ترتیب ۷٦۲۳۲۸/۸ هکتار (۳۳/٤٪) و ۳۱۳٤۲۱/۹ هکتار (۱۳/۷٪) از سطح منطقه را شامل می‌شود و ۵۸۹۲۹۹ هکتار (۲۵/۸٪) در طبقه نامناسب قرار گرفت (جدول ۲).

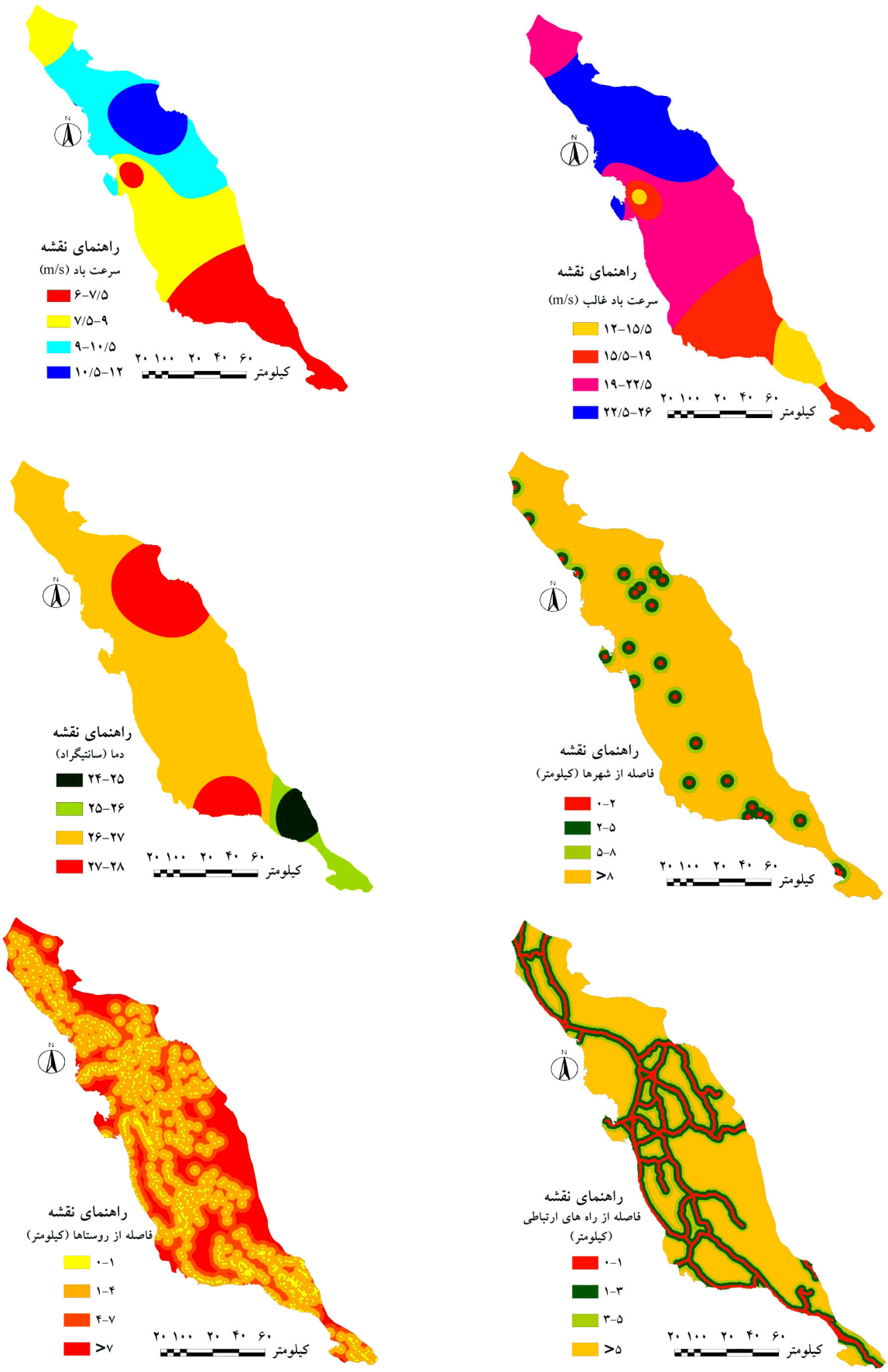


شکل۳. گلباد ایستگاه‌های مورد مطالعه

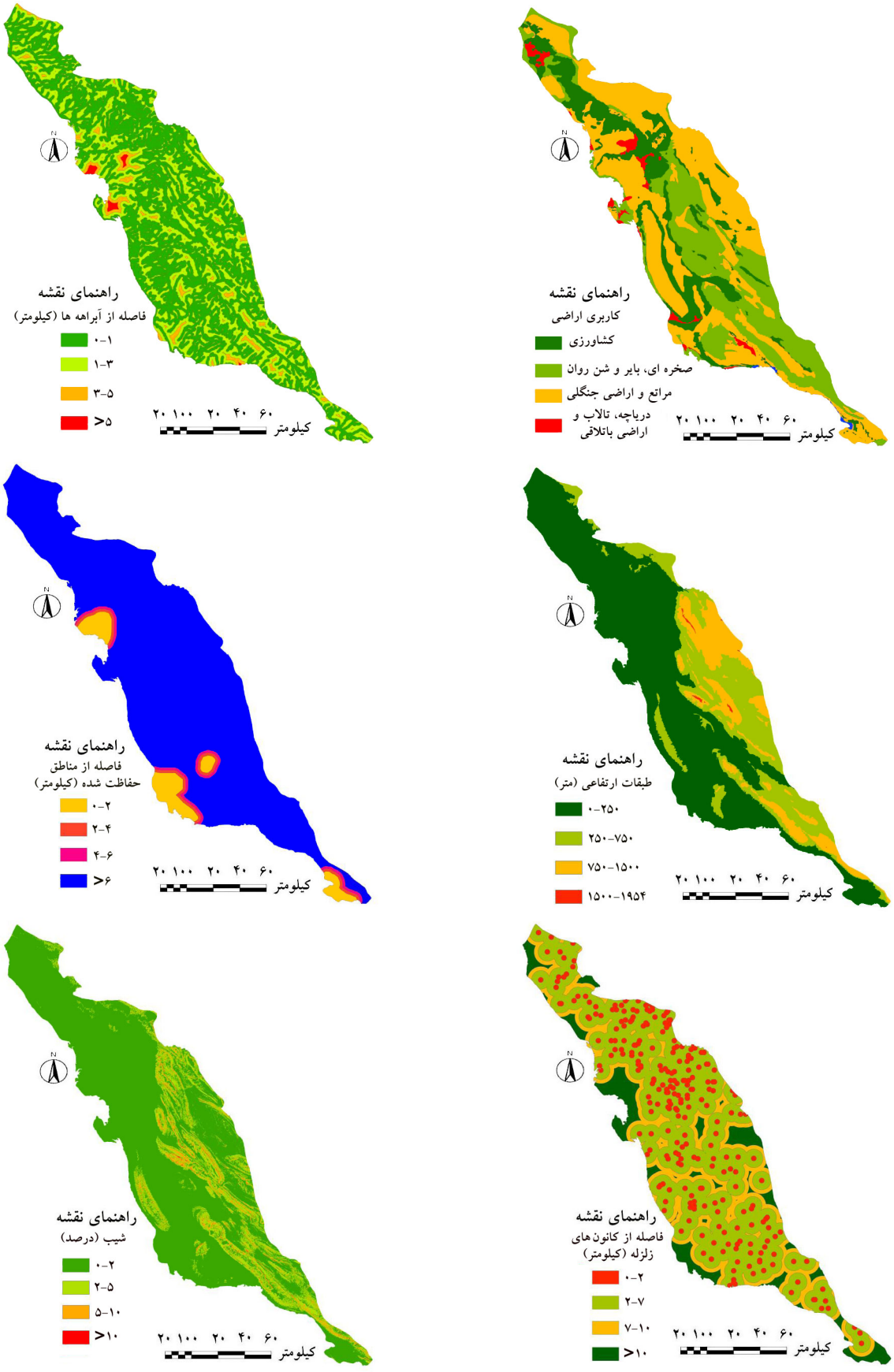
حدود ۵۰/۳٪ از اراضی منطقه از نظر سه گزینه (فاصله از شهرها، روستاها و راه‌های ارتباطی) معیار اقتصادی- اجتماعی در طبقه نامناسب قرار گرفت (جدول ۲). زمین‌های کشاورزی، مراتع و اراضی جنگلی از نظر معیارهای احداث نیروگاه بادی در طبقه شایستگی نسبتاً مناسب و نامناسب قرار گرفتند. از نظر معیار زیست محیطی ۹۱/٦٪ از اراضی منطقه واقع در طبقه شایستگی بسیار مناسب و مناسب قرار گرفت و این معیار محدود کننده شایستگی منطقه جهت احداث نیروگاه بادی در منطقه نیست (جدول ۲). با توجه به اینکه مناطق مسطح مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه بادی هستند عامل ارتفاع محدود کننده در سطح منطقه نیست و ۲٦٪ منطقه به لحاظ شیب (طبقه ۱۰<) نامناسب است. ۱۹/٦٪ از اراضی به دلیل فاصله از کانون‌های زلزله و گسل‌ها، مناسب احداث نیروگاه بادی نیستند (جدول ۲). نقشه طبقات گزینه‌های مؤثر در احداث نیروگاه بادی در شکل ٤ آورده شده است.

جدول۲. مساحت و درصد مساحت طبقات شایستگی کاربری اراضی احداث نیروگاه بادی و میزان مطلوب آن‌ها

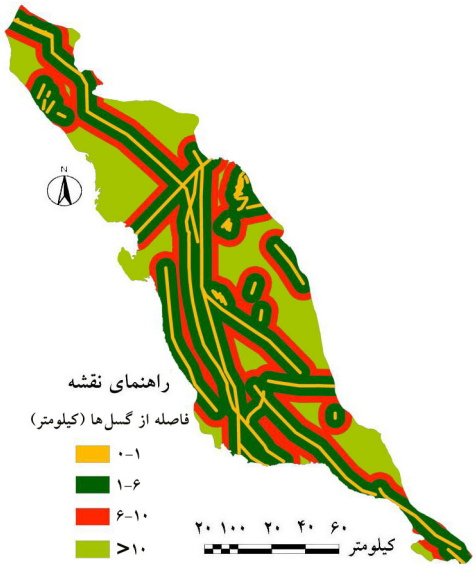
طبقات کاربری اراضی	بسیار مناسب		مناسب		نسبتاً مناسب		نامناسب	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
اقیم								
سرعت باد	٥٥٨٥٥٦/٩	٢٤/٥	٣٩٣٠٣١/٩	١٧/٢	٧٣٩٣٦٨/٨	٣٢/٤	٥٨٩٣٠٩/٤	٢٥/٨
سرعت باد غالب	٨٨٦٥٢٢/١	٣٨/٩	٧٠١٥٨٨/٣	٣٠/٨	٥٤٢٠٤٩	٢٣/٨	١٥٠١٠٨/٥	٦/٦
دما	٤٦٣١٥٧/٣	٢٠/٣	١٦١١٧٧١/٥	٧٠/٧	١١٣٤٦٣/٨	٥	٩١٨٧٤/٤	٤
تلفیق گزینه‌ها	٧٦٢٣٢٨/٨	٣٣/٤	٣١٣٤٢١/٩	١٣/٧	٦١٥١٧٨	٢٧	٥٨٩٢٩٩	٢٥/٨
اقتصادی- اجتماعی								
فاصله از شهرها	١٣٢٠٣٦/٩	٥/٨	٢٠٩١٦١/٨	٩/٢	١٩١٦٢٣٦/٨	٨٤	٣٠٤٦٤/٨	١/٣
فاصله از روستاها	١١٣٠٩٨٨	٤٩/٦	٥٥٦٦٩٥/٥	٢٤/٤	٣٨٤٢٤٤	١٦/٩	٢١٥٩٧٣/٧	٩/٥
فاصله از راه‌های ارتباطی	٢٨٩٩٠٠/٦	١٢/٧	٤٦٠٨٧٧	٢٠/٢	٣٧٥٠٣٥/٣	١٦/٤	١١٥٤٤١٥	٥٠/٦
تلفیق گزینه‌ها	٢٤٩٣٢٣/٣	١٠/٩	٤٦١٥٧٩/٨	٢٠/٢	٤٢٨٧٥٦/٤	١٨/٨	١١٤٧٨١٣	٥٠/٣
زیست محیطی								
فاصله از آبراهه‌ها	١١٧٠٦	٠/٥	٧٠٢٥٦/٨	٣/١	٧٥٧٢٠٠/٨	٣٣/٢	١٤٤١١٠٣/٥	٦٣/٢
کاربری اراضی	٤٥٩٠٦٣/٥	٢٠/١	١٠٤٨١٧٣/٨	٤٦	٧٢٠٦٢٦	٣١/٦	٥٥٠٦٦/٦	٢/٤
فاصله از مناطق حفاظت شده	٢٠٥٣٧٨٤/٢	٩٠/١	٤٧٤٢٢/٣	٢/١	٤١٩٨٨	١/٨	١٤٠٠٤٥/٧	٦/١
تلفیق گزینه‌ها	١٣٥٨٤٥١/٨	٥٩/٦	٧٣٠٥٤٤/٦	٣٢	٧٤٢٨٦/٣	٣/٣	١١١٦٤٤/٣	٤/٩
جغرافیایی								
ارتفاع از سطح دریا	٣١١٢٠٤/٨	١٣/٦	٦٣٨٥٦٥/٩	٢٨	١٣٦١٥٩٨/١	٥٩/٧	٥٠١٤/٥	٠/٢
شیب زمین	١٣٤٧٩٠٥	٥٩/١	٢١١١٩٠/١	٩/٣	١٦٣٤٠٩/٤	٧/٢	٥٩٣٨٨١/٨	٢٦
تلفیق گزینه‌ها	٤٥٩١٣٥/٨	٢٠/١	١٥٩٥٥٥٤/١	٧٠	٢٥٧١٢٥/٣	١١/٣	٤٥٧١/٧	٠/٢
زمین‌شناسی								
فاصله از کانون‌های زلزله	٢٥٦٢٤٩/٧	١١/٢	٣٨٧٩٥٥/٢	١٧	١٣٤٢١١٨/٩	٥٨/٩	٢٩٣٩٠٣	١٢/٩
فاصله از گسل‌ها	٥٧١٦٧٦/٨	٢٥/١	٤٨٧٥٩٩/٤	٢١/٤	٩٧٦٨٥٠/٦	٤٢/٨	٢٤٤٠٨٠/٩	١٠/٧
تلفیق گزینه‌ها	٢٣٨٣٦٥/٥	١٠/٥	٣٧٥٣٠٤/٤	١٦/٥	١٢١٨٥١٠/٦	٥٣/٤	٤٤٧٦٦٨/٩	١٩/٦



شکل۴. نقشه طبقات گزینه‌های مؤثر در احداث نیروگاه بادی



ادامه شکل۴. نقشه طبقات گزینه‌های مؤثر در احداث نیروگاه بادی



ادامه شکل۴. نقشه طبقات گزینه‌های مؤثر در احداث نیروگاه بادی

فاصله از راه‌های ارتباطی با درجه اهمیت ۰/۵۹٤ بیشترین اهمیت را در معیار اقتصادی- اجتماعی، فاصله از مناطق حفاظت شده با درجه اهمیت ۰/۵۹٤ از بین گزینه‌های معیار زیست محیطی، ارتفاع از سطح دریا با درجه اهمیت ۰/۷۵۰ بیشترین اهمیت را در بین گزینه‌های معیار جغرافیایی و فاصله از کانون های زلزله با درجه اهمیت ۰/۷۵۰ بیشترین اهمیت را در بین گزینه‌های معیار زمین‌شناسی در مکان‌یابی را داشتند. مقایسه زوجی معیارها نشان داد که اقلیم و زمین‌شناسی به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را در بین معیارهای مؤثر در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد مطالعه دارد (جدول ۳).

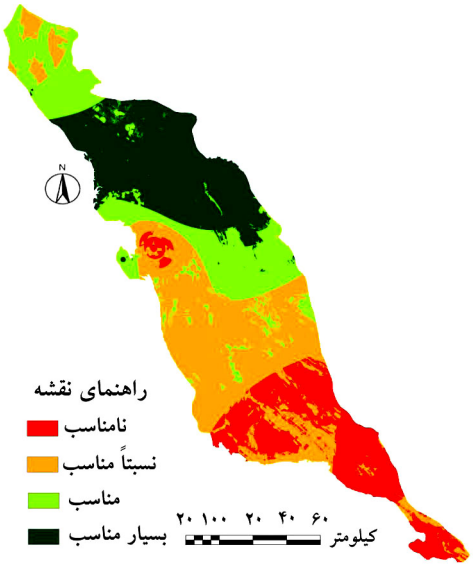
نتایج مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیارها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۳ آورده شده است. به لحاظ معیار اقلیم در نرخ ناسازگاری ۰/۰٤، گزینه سرعت باد با ۰/٦۳۷ و دما با ۰/۱۰۵ به ترتیب بیشترین و کمترین درجه اهمیت را داشتند.

نقشه نهایی تلفیق معیارها

پس از وزن‌دهی لایه‌های مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه‌ها بادی با روش فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP) از محیط ArcGIS®10.1 به منظور تلفیق و همپوشانی نقشه‌ها استفاده شد، و در نهایت نقشه مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌ها بادی تهیه و نقشه‌های حاصله در چهار کلاس اهمیت (نامناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و بسیار مناسب) طبقه‌بندی شد (شکل ۵). مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی در کلاس چهار (طبقه کاملاً مناسب)، در محدوده شمال شرقی با مساحتی بالغ بر ٥٦٦۲۱۸ هکتار و مناطق محدودیت‌دار استان با پتانسیل نامناسب در محدوده جنوب شرقی با مساحتی بالغ بر ٤۱۸۲۷۹ هکتار واقع شده است (جدول ٤).

جدول۳. نتایج ماتریس مقایسه زوجی و وزن گزینه‌ها و معیارهای مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی

گزینه‌های معیار اقلیمی	سرعت باد	سرعت باد غالب	دما	وزن
سرعت باد	۱	۳	۵	۰/۶۳۷
سرعت باد غالب	–	۱	۳	۰/۲۵۸
دما	–	–	۱	۰/۱۰۵
CR =۰/۰٤				
گزینه‌های معیار اقتصادی- اجتماعی	فاصله از راه‌های ارتباطی	فاصله از شهرها	فاصله از روستاها	وزن
فاصله از راه‌های ارتباطی	۱	۳	۳	۰/۵۹٤
فاصله از شهرها	–	۱	۲	۰/۲٤۹
فاصله از روستاها	–	–	۱	۰/۱۵۷
CR =۰/۰۵				
گزینه‌های معیار زیست‌محیطی	فاصله از مناطق حفاظت شده	کاربری اراضی	فاصله از رودخانه‌ها	وزن
فاصله از مناطق حفاظت شده	۱	۳	۳	۰/۵۹٤
کاربری اراضی	–	۱	۲	۰/۲٤۷
فاصله از رودخانه‌ها	–	–	۱	۰/۱۵۷
CR =۰/۰۵				
گزینه‌های معیار جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	شیب	وزن	
ارتفاع از سطح دریا	۱	۳	۰/۷۵۰	
شیب	–	۱	۰/۲۵۰	
CR =۰/۰۰				
گزینه‌های معیار زمین‌شناسی	فاصله از کانون‌های زلزله	فاصله از گسل‌ها	وزن	
فاصله از کانون‌های زلزله	۱	۳	۰/۷۵۰	
فاصله از گسل‌ها (کیلومتر)	–	۱	۰/۲۵۰	
CR =۰/۰۰				
معیارهای مکان‌یابی	اقلیم	جغرافیایی	اقتصادی- اجتماعی	زیست‌حیطی	زمین‌شناسی	وزن
اقلیم	۱	۵	۷	۷	۷	۰/۵۸۱
جغرافیایی	–	۱	۳	۳	۳	۰/۱۸۵
اقتصادی- اجتماعی	–	–	۱	۳	۳	۰/۱۱٤
زیست‌محیطی	–	–	–	۱	۳	۰/۰۷۳
زمین‌شناسی	–	–	–	–	۱	۰/۰٤۷
CR =۰/۰۹						



شکل۵. نقشه مکان‌یابی شایستگی اراضی برای احداث نیروگاه بادی

جدول۴. مساحت و درصد طبقات نقشه مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی

شایستگی	بسیار مناسب	مناسب	نسبتاً مناسب	نامناسب
مساحت (هکتار)	٥٦٦٢١٨	٥١١٨١٤	٧٨٣٩٥٦	٤١٨٢٧٩
درصد (٪)	٢٤/٨	٢٢/٤	٣٤/٤	١٨/٣

بحث

معیارهای مکان‌یابی در این مطالعه در ٥ گروه اقلیم، اقتصادی- اجتماعی، زیست محیطی، جغرافیایی و زمین شناسی دسته‌بندی گردید.

معیار اقلیمی در مدل وزن‌دهی فرآیند تحلیل سلسه مراتبی، در مقایسه با معیارهای دیگر دارای اهمیت بالاتری بوده و در نتیجه وزن بیشتری را به خود اختصاص داده است. پارامترهای اقلیمی سرعت باد، سرعت باد غالب و دما از گزینه‌های اقلیمی می‌باشند. سرعت باد مهم‌ترین فاکتور در نصب نیروگاه‌های بادی به شمار می‌رود. هر چه سرعت باد بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین‌های بادی نیز افزایش خواهد یافت. معمولاً حداقل سرعت باد جهت راه اندازی توربین‌های بادی بین ۳ تا ٤ متر بر ثانیه بسته به نوع و طراحی توربین است (۲۳). رسم گلباد منطقه نشان داد که ۹۵٪ فراوانی بادها دارای سرعتی بیش از ٤ متر بر ثانیه است، که نشان دهنده پتانسیل مناسب منطقه در احداث نیروگاه بادی در منطقه است. هر چه سرعت باد غالب بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین‌های بادی افزایش می‌یابد. جهت‌های غالب باد در زمان استفاده از انرژی باد بسیار مهم هستند و توربین‌های بادی بایستی در مکان‌هایی نصب شوند که در جهت‌های باد غالب دارای کم‌ترین موانع باشند (۵ و ۷). از دیگر پارامتر اقلیمی که در مکان‌یابی نیروگاه بادی نقش دارد، دما می‌باشد. افزایش ارتفاع، باعث کاهش دمای هوا می‌گردد. کاهش دما در میزان توان قابل استحصال از توربین تأثیرگذار خواهد بود (۲).

معیار جغرافیایی گزینه‌های معیار جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین می‌باشند. ارتفاع از سطح دریا میزان ارتفاع باید به مقداری باشد که انتقال تجهیزات را با مشکل همراه نسازد. همچنین، افزایش ارتفاع در میزان سرعت باد تأثیرگذار است و با افزایش ارتفاع، سرعت باد نیز افزایش می‌یابد. افزایش ارتفاع، منجر به کاهش دمای هوا نیز می‌شود که این کاهش دمای هوا در میزان توان قابل استحصال از

توربین تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین نباید میزان ارتفاع به قدری باشد که در میزان این توان تغییرات محسوسی ایجاد نماید (۱۳). شیب منطقه نیز از عوامل مهم در عملکرد مناسب توربین‌ها و نصب آن‌ها می‌باشد. شیب زمین سبب افزایش قیمت نگهداری توربین، کوتاهی عمر و افت انرژی تولیدی خواهد شد. میزان شیب نباید به حدی باشد که مانع از نصب توربین گردد (۱٦).

معیار اقتصادی- اجتماعی شامل گزینه‌های حداقل فاصله از راه‌های ارتباطی، حداقل فاصله از شهرها و روستاها (مراکز جمعیتی) می‌باشد. هر چه فاصله از راه‌های ارتباطی کمتر باشد دسترسی به مکان راحت‌تر می‌شود. وجود جاده‌های دسترسی و همچنین نزدیک بودن به مناطقی که امکان دستیابی به شبکه برق سراسری و مصرف کنندگان برق در آن‌ها موجب افزایش پتانسل منطقه در احداث نیروگاه بادی می‌شود (۲). شهرها و مراکز جمعیتی با جمعیت زیاد، ممکن است به جهات ایمنی، سر و صدا و منظر، تحت تأثیر مزارع بادی قرار گیرند. از طرفی این مراکز جمعیتی جزء مصرف‌کننده‌های عمده برق محسوب می‌گردند و نزدیکی مکان انتخابی به آن‌ها باعث نزدیکی مراکز تولید و مصرف برق به یکدیگر می‌گردد (۱٦). فاصله از روستاها به دلیل ماهیت انرژی باد که به تولید متمرکز و اغلب در نقاط دور افتاده و روستایی می‌پردازد، توسعهٔ این صنعت چه در کشورهای پیشرفته و چه در جهان سوم تحولات و پیشرفت‌های آشکاری را در مناطق روستایی به دنبال خواهد داشت.

معیار زیست محیطی یکی از عوامل مهم در مکان‌یابی احداث نیروگاه‌های بادی، توجه به مسائل زیست محیطی می‌باشد. گزینه‌های معیار زیست محیطی شامل فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌ها است. مناطق حفاظت شده به دلیل دارا بودن جنگل‌ها و یا مراتع پر ارزش و مناظر زیبا و برای جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی و جانوری موجود در آن‌ها مورد حفاظت قرار گرفته‌اند. مزارع بادی به دلیل اضافه کردن یک عامل تکنولوژیکی به منظر طبیعی، بر خاصیت ذاتی طبیعت این مناطق تأثیر منفی می‌گذارند (۱۲). هدف از بررسی کاربری اراضی، تعیین ارزش اراضی برای مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی است. این طبقه‌بندی بر اساس انواع استفاده از اراضی (کشاورزی مراتع و اراضی جنگلی، دریاچه، تالاب و اراضی باتلاقی، ضخره‌ای، بایر و شن روان) می‌باشد. فاصله از رودخانه‌ها، توربین‌های بادی واقع در سواحل و نزدیک به آن‌ها و در مجاورت رودخانه‌ها، تأثیرات نامطلوبی بر جلوهٔ این مناطق خواهند گذاشت. این مناطق همچنین از نظر زیست محیطی، زیستگاه بسیاری از پرندگان خاص هستند، که همواره مراقبت از آن‌ها دارای اهمیت بوده است (۱۲).

معیار زمین‌شناسی گزینه‌های معیار زمین‌شناسی در این مطالعه فاصله از کانون‌های زلزله و فاصله از گسل‌ها است. فاصله از کانون‌های زلزله می‌تواند لطمات شدید و جبران ناپذیری را بر تأسیسات نیروگاه وارد نماید. بنابراین رعایت فاصله معینی از نقاط زلزله‌خیز، در انتخاب مکان نیروگاه ضروری می‌باشد (٤). فاصله از گسل‌ها، فعالیت خفیف گسل‌ها موجب تغییرات عمده در پوسته زمین و پایداری مناطق می‌شود. بنابراین مکان انتخابی برای نیروگاه باید در فاصله مناسبی از مرکز گسل قرار گرفته باشد (۳ و ٦).

با توجه به نتایج به دست آمده، پهنه‌هایی که در منطقه با توان بسیار مناسب و مناسب شناسایی شده‌اند، ٤۷/۲٪ از کل منطقه را با مساحت ۱۰۷۸۰۳۲ هکتار را به خود اختصاص داده‌اند. مناطق دارای توان بالا در مناطقی تعیین شده‌اند که با معیارهای انتخاب شده در این تحقیق برای مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در منطقه تبعیت می‌کند. این مناطق در محدوده شمال شرقی استان بوشهر می‌باشد. بنویی و همکاران (۱۵) به مکان‌یابی توربین‌های بادی بزرگ با استفاده از GIS در تایلند پرداختند. معیارهای مورد بررسی شامل پارامترهای سرعت باد، ارتفاع، شیب، بزرگراه و راه آهن، مناطق مسکونی و مناطق جنگلی بود که با بکارگیری GIS به همراه ترکیب تصمیم‌گیری چند معیاره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به این نتیجه رسیده‌اند که ساحل شرقی تایلند از مناطق امکان‌پذیر برای نصب توربین‌های بادی می‌باشد. آل یحیایی و همکاران (۱۱) به مطالعه تجزیه و تحلیل مکان مناسب برای مزارع بادی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. عوامل

تعیین کننده برای انتخاب مکان مناسب شامل سرعت باد، ارتفاع، شیب، فاصله از خطوط برق، فاصله تا جاده یا راه آهن بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از تعیین فاکتورهای مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی و نقش آن‌ها در مکان‌یابی، لایه‌های اطلاعات مکانی تهیه گردید و با تلفیق این لایه‌ها، مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی تعیین گردید. تصمیم‌گیری در مورد مکان مناسب برای احداث نیروگاه مستلزم توجه همزمان به عوامل متعددی می‌باشد که سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکان تلفیق لایه‌های مکانی را فراهم می‌سازد. مکان‌های انتخابی، کاملاً تحت تأثیر پارامترهای دخالت داده شده در تجزیه و تحلیل و وزن‌های مربوطه قرار دارد. فرآیند تحلیل سلسه مراتبی با تشکیل ساختار سلسله مراتبی، امکان وزن‌دهی مناسب به گزینه‌ها و معیارها را جهت یافتن مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های بادی را فراهم می‌آورد.

منابع مورد استفاده

۱. آقاابراهیمی، م. ر.، ا. امینی و م. کمالی مقدم. ۱۳۸۸. کاربرد GIS در امکان‌سنجی احداث نیروگاه‌های بادی مطالعهٔ موردی: خراسان جنوبی. اولین کنفرانس انرژی تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران. دانشگاه بیرجند. ۷ صفحه.

۲. اصغری پور دشت بزرگ، ا.، ج. مرشدی و ر. برنا. ۱۳۹۰. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی احداث نیروگاه‌های بادی (مطالعهٔ موردی: استان خوزستان). مجلهٔ کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲(۳): ۷۷-۹۵.

۳. بهشتی فر، س.، م. ج. ولدان زوج، م. سعدی مسگری و م. کریمی. ۱۳۸۵. مکان‌یابی نیروگاه‌های گازی با استفاده از GIS. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی. بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق. ۵-۱۲.

٤. سلطانی، ب.، آ. غلامیان و ک. دستجانی فراهانی. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل انرژی باد دربند امیرآباد به منظور امکان‌سنجی تأسیس نیروگاه بادی. نشریهٔ انرژی ایران. ۱۳(۳): ۱۰۰-۱۱٦.

۵. رحیم زاده، ف. و ز. جهانگیری. ۱۳۸۲. مکان‌یابی مناسب برای استفاده از انرژی باد کشور. مجموعه مقالات سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. تهران. ۱۰۸ صفحه.

٦. صادقی، ز.، ز. دلال‌باشی و ح. حری. ۱۳۹۲. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. مجلهٔ پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی. ۱(۲): ۹۳-۱۱۰.

۷. صمدی، ر. و س. تیکا. ۱۳۸٦. تهیه مدل محیط زیستی جهت استقرار نیروگاه‌های حرارتی در کشور. مجله محیط‌شناسی. ۳۳ (٤٤): ۷۳-۸۲.

۸. محمدی، ح.، ش. رستمی جلیلیان، ف. تقوی و ع. ا. شمسی پور. ۱۳۹۱. پتانسیل‌سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۸۰ :۱۹ -۳۲.

۹. نصرالهی، م. ر. ۱۳۸٦. مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی با استفاده از روش‌های تحلیل چندگانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد (مهندسی صنایع، سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی)، دانشگاه تهران. ۱۲۰ صفحه.

۱۰. نوراللهی، ی.، س. اشرف و م. زمانی. ۱۳۹۰. پتانسیل انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). نشریهٔ انرژی ایران، ۱٤(۱): ۱-۲۱.

11. Al-Yahyai S, Charabi Y, Gastli A, Al-Badi A. 2012. Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis. Renewable Energy, 44(0): 80-87.
12. Baban SM, Parry T. 2001. Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. Renewable Energy, 24(1): 59-71.
13. Banos R, Manzano-Agugliaro F, Montoya F, Gil C, Alcayde A, Gómez J. 2011. Optimization methods applied to renewable and sustainable

energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(4): 1753-1766.
14. Bazzi AM. 2008. GIS-based wind farm site selection in Lebanon. Electro/Information Technology. EIT 2008. IEEE International Conference on ICEE xplore. 18-20 May 2008. 201-204. e-ISBN : 978-1-4244-2030-8.
15. Bennui A, Rattanamanee P, Puetpaiboon U, Phukpattaranont P, Chetpattananondh K. 2007. Site selection for large wind turbine using GIS. In: PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment, ICEE-2007, Phuket May 10-11, Thailand. 561-566.
16. García-Melón M, Ferrís-Oñate J, Aznar-Bellver J, Aragonés-Beltrán P, Poveda-Bautista R. 2008. Farmland appraisal based on the analytic network process. Journal of Global Optimization, 42(2): 143-155.
17. Iyappan L, Kasinatha Pandian P. 2012. Identification of potential wind farm locations in Tirumangalam Taluk using geospatial information technology. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 2(3): 1578-1583.
18. Malczewski J. 2000. On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches, Transactions in GIS. 4(1): 5-22.
19. Nguyen KQ. 2007. Wind energy in Vietnam: Resource assessment, development status and future implications. Energy Policy, 35(2): 1405-1413.
20. Prabamroong A, Manomaiphiboon K, Chanaprasert W, Rajpreeja N. 2009. Development of a GIS decision support system for wind farm installations in Thailand: current state and results. In: The 3rd international conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2009). 690-695.
21. Saaty TL. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 48(1): 9-26.
22. Yang YQ, Wang SQ, Dulaimi M, Low SP. 2003. A fuzzy quality function deployment system for buildable design decision-makings. Automation in construction, 12(4): 381-393.
23. Yue C-D, Wang S-S. 2006. GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan. Energy Policy, 34(6): 730-742.
24. Zaim S, Sevkli M, Camgöz-Akdağ H, Demirel OF, Yayla AY, Delen D. 2014. Use of ANP weighted crisp and fuzzy QFD for product development. Expert Systems with Applications, 41(9): 4464-4474.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 6/ Issue 1) spring 2015
Indexed by ISC, SID, Magiran and Noormags
http://girs.iaubushehr.ac.ir

Wind farm site selection based on geospatial multi-criteria and analytical hierarchy process (AHP) (Case study: Bushehr province)

T. Tabatabaei [1*] , F. Amiri [2]

1. Assis. Prof. Department of Environmental Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran
2. Assoc. Prof. Department of Environmental Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

ARTICLE INFO

Article history:
Received 26 April 2014
Accepted 12 November 2014
Available online 10 June 2015

Keywords:
Site selection
Wind power plants
Analytic hierarchy process (AHP)
Geographic information system (GIS)
Bushehr province

ABSTRACT

The aim of this paper is site selection for wind farm based on multi-criteria; climate (wind speed, dominant wind speed and temperature), geography (elevation, slope), socio-economic (distance from roads, distance from cities, distance from the villages), environmental (distance from protected areas, landuse, distance from the river), and geological (distance from the earthquake, distance to faults) in a geographic information systems (GIS) using analytical hierarchy process (AHP) in the Bushehr province. According to the role and influence of these criteria, preferences site map is implemented in ArcGIS®10.1 software. Weight of criteria and alternative are determined using AHP in ExpertChoice2000 software. For modeling, spatial analysis and integration layers ArcGIS®10.1 setting was used and the zoning map was obtained at four different classes (very high, high, moderate and low). The results of the site suitability assessment by AHP showed that site NE located at Bushehr province was the most suitable area for locating the wind farm, with covers area of 566218 ha, 24.8% of the total area. Furthermore, the map provides the foundation for decision makers in develop the wind farm location. Finally, the results indicate that GIS as a decision support system, can also prepare the data and the model priorities and expert opinions in relation to various factors in selecting an appropriate location and design is very efficient will help to build power plants. The results indicate that the AHP than other methods of high flexibility in modeling the geospatial data on site selection of wind farm.

* Corresponding author e-mail address: ttabatabaie@iaubushehr.ac.ir