

امکان سنجی احداث نیروگاه های بادی در مناطق ساحلی کشور با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان خوزستان)

اسماء اصغری پور دشت بزرگ

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران (تویینده مسئول)

a.asgharipoor1362@yahoo.com

جعفر مرشدی

استادیار، گروه جغرا فیا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

jafarmorshdi@gmail.com

رضا برنا

دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

bornareza@yahoo.com

چکیده

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۴/۳۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۹/۲۵

كلمات کلیدی:

امکان سنجی

نیروگاه بادی

مناطق ساحلی

استان خوزستان

در کشور ایران به دلیل بالا بودن میزان رشد اقتصادی و فعالیت های توسعه ای، تقاضای سالیانه برای انرژی های مختلف از جمله انرژی الکتریکی افزایش یافته، در نتیجه احداث نیروگاه های جدید به ضرورتی انکارناپذیر تبدیل شده است. با توجه به تحول انرژی در قرن حاضر و نیاز به انرژی های تجدیدپذیر استفاده از انرژی بادی و تأسیس نیروگاه های بادی به طور روزافزون در حال توسعه می باشد. یکی از مهمترین مسائل در استفاده از انرژی بادی تعیین محل استفاده از آن می باشد که تأثیر زیادی در کارایی تجهیزات و وسائل تولید برق بادی دارد. تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه های بادی نیازمند توجه به معیارها و عوامل مختلفی است. هدف از این تحقیق، تعیین نقش عامل اقلیم، جغرافیا، اقتصادی- اجتماعی، زیست محیطی و زمین شناسی در تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه های بادی در استان خوزستان است. بر اساس نقش و تأثیر متفاوت این فاکتورها نقشه محدودیت و نقشه عوامل موثر تهییه گردید. وزن معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط نرم افزار EC^{۲۰۰۰} تعیین گردید و از محیط نرم افزار GIS برای مدل سازی و تحلیل فضایی و تلفیق اطلاعات استفاده شد. نتایج نشان می دهد که مناطق جنوبی، جنوب غربی استان خوزستان بهترین مکان ها جهت احداث نیروگاه های بادی هستند.

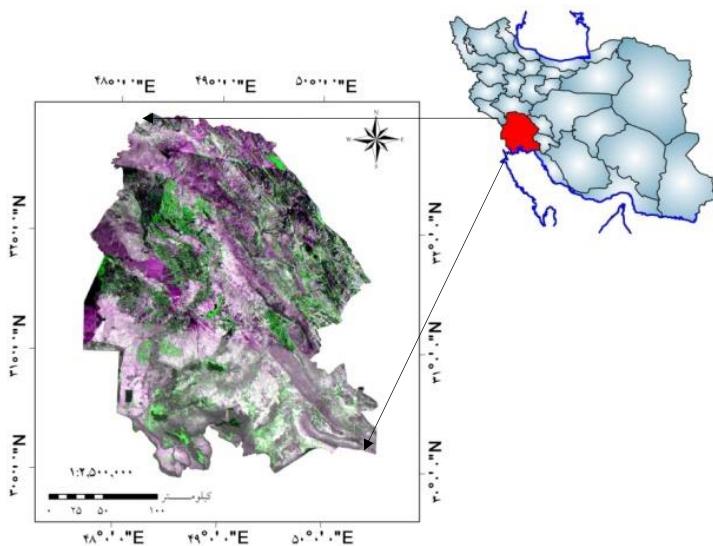
مقدمه

باد یکی از مظاہر انرژی خورشیدی و همان هوای متحرک است و پیوسته جزء کوچکی از تابش خورشید که از خارج به اتمسفر می‌رسد، به انرژی باد تبدیل می‌شود (نصراللهی، ۱۳۸۶). انرژی باد به عنوان یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر از دیرباز ذهن بشر را به خود معطوف نموده و بشر همواره به فکر استفاده از این انرژی بوده است. نیروگاه‌های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیط زیست از جمله منابع انرژی پر طرفدار بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته است (نصراللهی و همکاران، ۱۳۸۹). در کشور ما به دلیل وسعت زیاد، تنوع توپوگرافی و... تعیین پتانسیل انرژی باد کلیه نقاط کشور و تهیه احلال انرژی باد مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی است. بنابراین لازم است توان انرژی باد مناطق جغرافیایی کشور به طور مستقل یا ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گیرد، تا مکان های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی مشخص گردد (صلاحی، ۱۳۸۳). استان خوزستان به علت دارا بودن شرایط منتنوع آب و هوایی یکی از مستعدترین مناطقی است که قابلیت استفاده از انواع انرژی به خصوص انرژی باد را دارد. یکی از مهمترین مسائل در استفاده از انرژی باد موضوع مکان یابی یا انتخاب بهترین محل برای استقرار توربین‌های بادی می‌باشد. مکان یابی یکی از موضوعات فنی در بهره‌وری از انرژی باد است (شوندی، ۱۳۸۴). از جمله مطالعات انجام شده در زمینه امکان سنجی نیروگاه‌های بادی می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود: سلواوینایاگوم^۱ با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث آسیاب‌های بادی در جزایر آندامان و نیکوبار پرداخته شده است. در نتیجه مشخص شد، که جزایر آندامان و نیکوبار از پتانسیل بالای انرژی باد برخوردارند و برای احداث آسیاب‌های بادی از شرایط مناسب برخوردارند. بنویی و همکاران^۲ با بکارگیری GIS به همراه ترکیب تضمین گیری چند معیاره و فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP)، مکان یابی توربین‌های بادی بزرگ در تایلند را مورد بررسی قرار داده اند، و به این نتیجه رسیده اند که ساحل شرقی تایلند از مناطق امکان پذیر برای نصب توربین‌های بادی می‌باشد. همچنین در مطالعه ای دیگر، بازی^۳ این مطالعه شامل روش تعاملی طراحی مزارع باد برای لبنان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. معیارهایی که در این روش مورد توجه قرار می‌گیرد مانند داده‌های باد، مناطق شهری، نوع توربین مورد استفاده و فاصله بین توربین‌های بادی است. در نتیجه با توجه به مطالعات صورت گرفته، مشخص شد که می‌توان تعدادی توربین بادی در لبنان احداث نمود. آقالبراهیمی و همکاران بر مبنای تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر و با توجه به تاریخچه استفاده از انرژی باد، از نرم افزار GIS برای امکان سنجی احداث نیروگاه‌های بادی استفاده گردید. سپس استان خراسان جنوبی به عنوان یک نمونه‌ی آزمایشی مورد مطالعه قرار گرفته و در مورد نقاطی از این استان که قابلیت نصب نیروگاه بادی در آن‌ها وجود دارد بحث شده است. نوراللهی و همکاران به بیان روشی کاربردی برای پتانسیل سنجی منابع بادی، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با در نظر گرفتن معیارهای انتخاب مزارع بادی می‌پردازند. معیارهای مورد نظر شامل معیارهای فنی، زیست محیطی، اقتصادی و جغرافیایی می‌باشند. نتایج حاصل از این پژوهه، پتانسیل سنجی مناطق مساعد جهت تولید برق از انرژی بادی برای توربین‌های بزرگ با توجه به استانداردهای بین‌المللی، در برق منطقه‌ای باخته می‌باشد. در مطالعه دیگری، نصراللهی در تحقیقی با استفاده GIS مطالعه‌ای جامع برای اولویت‌بندی مناطق مختلف کشور برای استفاده از تجهیزات و نیروگاه‌های بادی پرداخته است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشانگر پتانسیل بالای شهرهای منجیل، خور، بیرون‌جند، زابل و سبزوار برای احداث نیروگاه‌های بادی می‌باشد. هدف از این مطالعه دستیابی به فاکتورهای لازم جهت انتخاب محل‌های مناسب نیروگاه‌های بادی در استان خوزستان به منظور ارائه‌ی معیارهایی برای سیستم اطلاعات جغرافیایی، انتخاب مکانی نیروگاه‌های بادی، استفاده از این معیارها در محدوده مطالعاتی و ارزیابی تأثیر آن‌ها می‌باشد.

^۱ Selvavinayagam^۲ Bennui et al^۳ Bazzi

مواد و روش ها منطقه مورد مطالعه

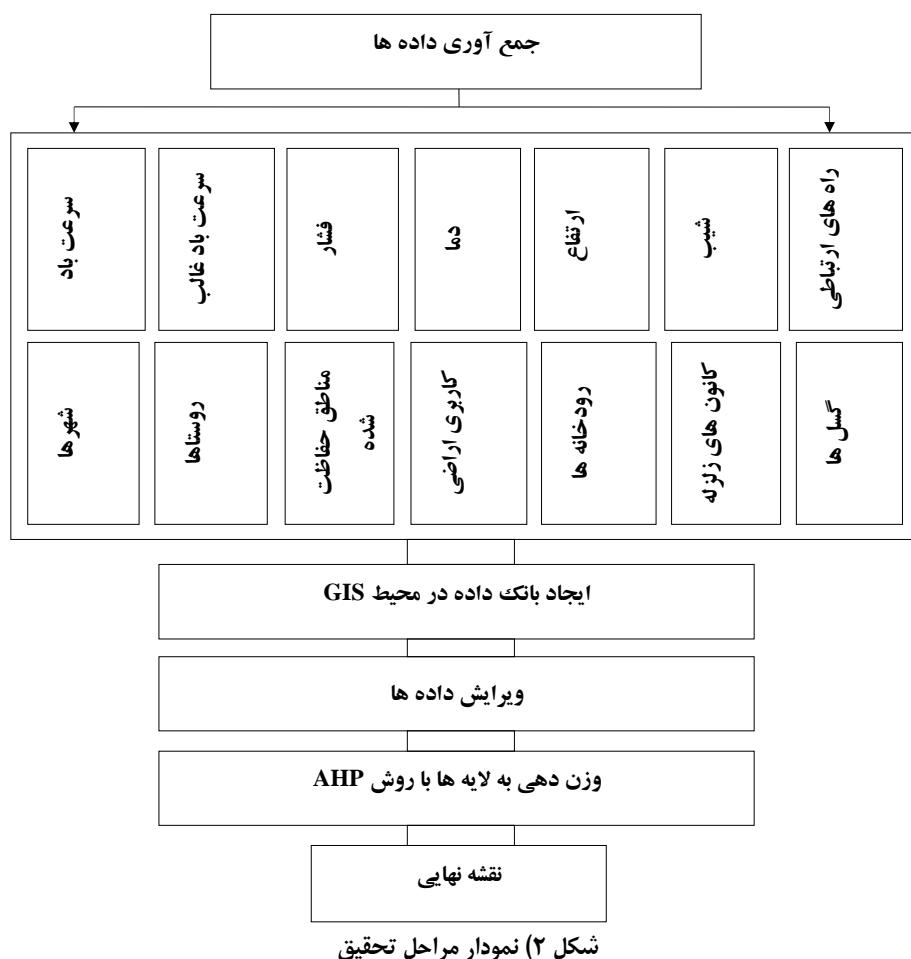
استان خوزستان با مساحتی بالغ بر ۶۴۷۴۶ کیلومتر مربع، وسیع‌ترین استان در جنوب غربی ایران است. این استان در طول جغرافیایی '۴۳° تا '۴۷° و عرض جغرافیایی '۳۹° تا '۵۰° واقع گردیده است (شکل ۱).



شکل ۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندهان)

مواد و روش

در این مقاله ابتدا با توجه به نظر کارشناسان، معیارهای اصلی که شامل معیارهای اقلیمی، جغرافیایی، اقتصادی-اجتماعی، زیست محیطی و زمین شناسی می‌باشند، مشخص و سپس زیرمعیارها و گزینه‌ها برای هر معیار مشخص گردید. پس از تعیین معیارها و فاکتورهای مورد نیاز در مکان یابی نیروگاه و اعمال محدودیت‌ها، نمودار سلسله مراتبی معیارها ساخته شدند. سپس معیارها در ماتریس‌های مقایسه زوجی به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و وزن هر معیار نسبت به معیار دیگر بر حسب میزان اولویت به آن معیار اختصاص داده شده است. نمره دهی بر اساس نظر کارشناسی تو سط کارشناسان زیربسط از طریق پرسشنامه اعمال شده است. پس از تکمیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، درخت معیارها در نرم افزار EC²⁰⁰⁰ تشکیل شده، سپس نمرات اعمال شده وارد نرم افزار EC²⁰⁰⁰ شده و وزن نسبی و همچنین وزن نهایی (Overall Priority) هر معیار که از مجموع حاصلضرب اهمیت معیارها و زیرمعیارها در وزن گزینه‌ها بدست می‌آید، بدست آورده شدند. در حین مقایسه زوجی برای هر مجموعه، تجزیه و تحلیل میزان نرخ ناسازگاری به وسیله نرم افزار EC²⁰⁰⁰ صورت می‌پذیرد. پس از محاسبه وزن‌ها بر اساس مدل AHP و تهیه لایه‌های اطلاعاتی، از قابلیت‌های نرم افزار GIS به منظور تلفیق و هم پوشانی نقشه‌ها استفاده شد، و در نهایت نقشه مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی تهیه گردید. در شکل ۲ نمودار مراحل انجام تحقیق آورده شده است.



فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع ترین سیستم های طراحی شده برای تصمیم گیری های چند معیاره است که برای اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد (Saaty, ۱۹۸۰). این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در حل مسائل دارد. این فرآیند گزینه های مختلف را در تصمیم گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد (Janardhana & Munirathnam, ۲۰۰۶). علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم گیری چند معیاره می باشد (عطایی، ۱۳۸۹) (قدسی پور، ۱۳۸۸).

روش پردازش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

ایجاد ساختار سلسله مراتبی

در اولین اقدام، با ساختار سلسله مراتبی مربوط به یک موضوع مشخص، که در آن سلسله مراتب چهار سطحی شامل هدف ها، معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها مواجه هستیم (Bowen, ۱۹۹۰). تبدیل موضوع یا مسئله مورد بررسی به ساختاری سلسله مراتبی، مهم ترین قسمت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محسوب می شود (Cimren, ۲۰۰۷). هدف استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، شناسایی گزینه های مرجح و همچنین تعیین رتبه گزینه ها با در نظر گرفتن همزمان کلیه معیارهای تصمیم گیری است (Saaty, ۲۰۰۰).

تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها

بعد از ایجاد ساختار سلسه مراتبی، اولویت عناصر در هر سطح تعیین می‌گردد (Saaty, ۱۹۸۰). برای محاسبه ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها، چند روش وجود دارد که شامل: روش حداقل مریعات، روش حداقل مریعات لگاریتمی، روش بردار بیزه و روش های تفریقی (Saaty, ۲۰۰۰). در این روش، معیارها و زیرمعیارها دو به دو یکدیگر مقایسه می‌شوند و درجه‌ی اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص می‌شود. برای این کار، می‌توان از یک روش استاندارد ارائه شده توسط ساعتی استفاده کرد. روش کار به این ترتیب است که، به هر مقایسه‌ی دودویی، یک عدد از ۱ تا ۹ نسبت داده می‌شود. در جدول ۱ معنی هر عدد مشخص شده است (Cimren, ۲۰۰۷).

جدول ۱. مقایسه ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه دودویی معیارها (Bertolini, ۲۰۰۶)

توضیح	تعریف	شدت اهمیت
در تحقق هدف دو معیار اهمیت مساوی دارند.	اهمیت مساوی	۱
تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت ۱ بیشتر از ۱ است.	اهمیت اندکی بیشتر	۳
تجربه نشان می‌دهد که اهمیت ۱ خیلی بیشتر از ۱ است.	اهمیت بیشتر	۵
تجربه نشان می‌دهد که اهمیت ۱ خیلی بیشتر از ۱ است.	اهمیت خیلی بیشتر	۷
اهمیت خیلی بیشتر ۱ نسبت به ۱ به طور قطعی به اثبات رسیده است.	اهمیت مطلق	۹
هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد.	۸ و ۹

تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها

بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها را باید تعیین کرد. در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها و اگر معیاری، زیرمعیار نداشته باشد مستقیماً با خود آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد (Bowen, ۱۹۹۰). در این حالت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه دودویی و بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی صورت پذیرفته و نتیجه در ماتریس مقایسه دودویی معیارها، یا گزینه‌ها ثبت می‌شود و از طریق نرمالیزه کردن میانگین هندسی ردیف‌های این ماتریس‌ها، ضرایب اهمیت مورد نظر به دست می‌آید. با این حال، باید به تفاوتی عمده در این مقایسه‌ها اشاره شود (Bowen, ۱۹۹۰). مقایسه گزینه‌های مختلف، نسبت به زیرمعیارها یا معیارها صورت می‌پذیرد؛ در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر، نسبت به هدف مطالعه صورت می‌پذیرفت (Bertolini, ۲۰۰۶).

تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها

در این مرحله، از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، «امتیاز نهایی» هر یک از گزینه‌ها تعیین خواهد شد. برای این کار از «اصل ترکیب سلسه مراتبی» ساعتی که منجر به یک «بردار اولویت» با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسه مراتبی می‌شود استفاده خواهد شد (Moreno, ۲۰۰۵).

$$\text{امتیاز نهایی (اولویت) گزینه } j = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m w_k w_i (g_{ij})$$

w_k ضریب اهمیت معیار

w_i ضریب اهمیت زیر معیار

g_{ij} امتیاز گزینه j در ارتباط با زیر معیار i

به عبارت ساده‌تر از ضرب هر یک از پارامترها (معیارها) در زیرمعیار مربوط به آن و از ضرب عدد به دست آمده در امتیاز گزینه مربوطه، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها بدست می‌آید (Malczewski, ۲۰۰۰).

بررسی سازگاری در قضاوت‌ها

یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارهاست. مکانیزمی که ساعتی برای بررسی سازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه‌ی ضریبی به نام ضریب ناسازگاری^۴ است. که از تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I.) به شاخص تصادفی بودن (R.I.) حاصل می‌شود. چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد. سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (Saaty, ۱۹۸۰). شاخص ناسازگاری (I.I.) به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad [1]$$

بزرگترین مقدار ویژه ماتریس، n طول ماتریس و I.I. شاخص ناسازگاری است. شاخص تصادفی (I.I.) به صورت زیر تعریف می‌گردد (Saaty, ۱۹۸۰):

$$I.R = \frac{CI}{RI} \quad [2]$$

مقادیر این شاخص برای ماتریس‌های n بعدی مطابق جدول ۲ است.

جدول ۲) شاخص ناسازگاری برای ماتریس‌های تصادفی (R.I.) برای ماتریس مقایسه با ابعاد n (Bowen, ۱۹۹۰)

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	n
۱/۴۹	۱/۴۵	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۴	۱/۱۲	۰/۹	۰/۵۸	۰	۰	R.I.

نتایج

معیارهای مکان‌یابی

معیارهای مکان‌یابی معمولاً در قالب گروه‌های مختلفی مانند زیست محیطی، جغرافیایی، بوم‌شناسی، کاربری زمین، اقتصادی، فنی و... مورد مطالعه قرار می‌گیرند. اما به دلیل هم پوشانی بعضی از این گروه‌ها و جامعیت برخی نسبت به سایرین، جهت ترسیم و بررسی معیارها در این مطالعه آن‌ها را در ۵ گروه زیر دسته بندی گردید: اقلیم، جغرافیایی، اقتصادی-اجتماعی، زیست محیطی و زمین‌شناسی.

۱. معیارهای اقلیمی: معیارهای اقلیمی در مدل وزن دهی AHP، در مقایسه با معیارهای دیگر دارای اهمیت بالاتری بوده و در نتیجه وزن بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. پارامترهای اقلیمی سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما از زیرمعیارهای اقلیمی می‌باشند.

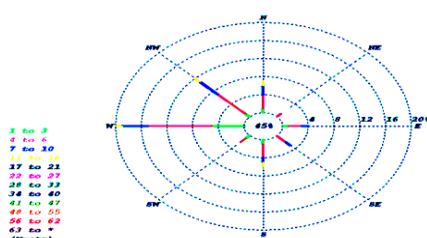
سرعت باد: سرعت باد مهمترین فاکتور در نصب نیروگاه‌های بادی به شمار می‌رود. هر چه سرعت باد بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین‌های بادی نیز افزایش خواهد یافت. معمولاً حداقل سرعت باد جهت راه اندازی توربین‌های بادی به شمار می‌رود. هر چه سرعت باد بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین‌های بادی نیز افزایش خواهد یافت. معمولاً حداقل سرعت باد جهت راه اندازی توربین‌های بادی بین ۳ تا ۴ متر بر ثانیه بسته به نوع و طراحی توربین است (Cheng & Wang, ۲۰۰۶). از دیگر نکاتی که در انتخاب حداقل سرعت باد باید مد نظر قرار گیرد، حداقل سرعتی است که در کلاس بندی‌های توربین‌های بادی مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC ۶۱۴۰۰-۱ برای توربین‌های بادی در نظر گرفته شده است. این سرعت مربوط به کلاس IV بوده و برابر ۶ متر بر ثانیه می‌باشد (IEC ۶۱۴۰۰-۱). جدول ۳ میزان حداقل و حداکثر سرعت باد از نظر فنی و اقتصادی را نشان می‌دهد.

^۴ Incompatibility Ratio

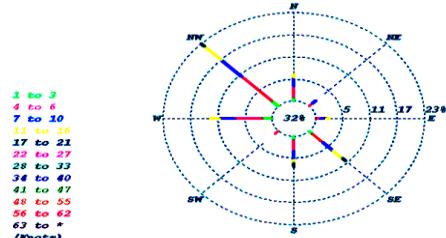
جدول ۳) حداقل و حداکثر سرعت باد از نظر فنی و اقتصادی (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹)

۳(m/s)	حداقل سرعت باد از نظر فنی توربین باد مطابق با استاندارد IEC
۶(m/s)	حداکثر سرعت باد از نظر فنی مطابق با استاندارد IEC

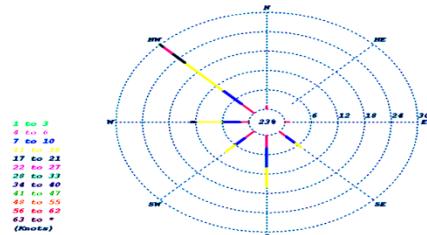
گلbad: برای ارزیابی و شناخت سریع وضعیت باد در یک منطقه، غالباً به ترسیم گلbad آن منطقه می‌پردازند که تصویری از جهات باد، توازن با متوسط سرعت در آن جهات، به دست می‌دهد. گلbad هر ایستگاه وضعیت سمت و سرعت باد را در جهات و رده‌های مختلف به طور کامل نشان می‌دهد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۹). در استان خوزستان مناطق کوهستانی شمال منطقه سرعت باد به شدت کاهش یافته و جهت آن به سمت شمال شرقی منحرف می‌گردد و از آرامش نسبی بیشتری برخودار است. در مناطق مرکزی استان جهت باد کاملاً غربی-شرقی استداد می‌یابد. در مناطق جنوبی استان، سرعت وزش باد به شدت افزایش یافته و جهت باد به صورت جنوب شرقی استداد یافته است. به طور کلی سرعت باد در استان خوزستان از شمال به جنوب افزایش یافته و در طی ماه‌های سرد از سرعت باد کاسته شده و در ماه‌های گرم بر سرعت باد افزوده می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۰). در اینجا به علت تعدد گلbadها از آوردن همه آن‌ها صرف نظر شده است و به عنوان نمونه، گلbad ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بستان، بندرماهشهر، دزفول و ایذه نشان داده شده است (شکل ۴-۹).



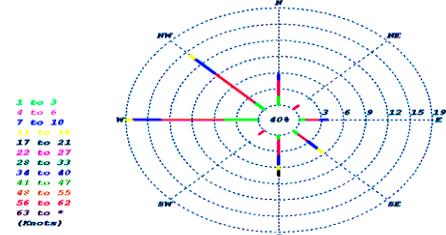
شکل ۴) گلbad سالانه ایستگاه هواشناسی بستان



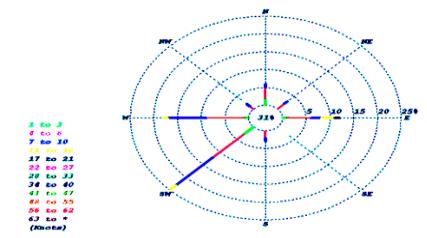
شکل ۳) گلbad سالانه ایستگاه هواشناسی آبادان



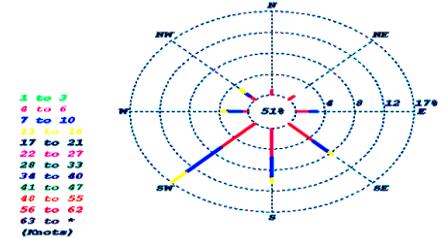
شکل ۶) گلbad سالانه ایستگاه هواشناسی بندرماهشهر



شکل ۵) گلbad سالانه ایستگاه هواشناسی اهواز



شکل ۸) گلbad سالانه ایستگاه هواشناسی ایذه



شکل ۷) گلbad سالانه ایستگاه هواشناسی دزفول

سرعت باد غالب: 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 کم ترین موانع باشند (رحمی زاده و جهانگیری، ۱۳۸۲).

فشار: یکی دیگر از پارامترهای اقلیمی که در مکان یابی احداث نیروگاه‌های بادی مورد توجه قرار می‌گیرد، فشار هوا می‌باشد. فشار هوا در یک محل نیرویی است که ستون قائم هوا از سطح زمین تا مرز جو بر واحد سطح (cm) وارد می‌کند. افزایش ارتفاع، منجر به کاهش فشار هوا می‌شود. این کاهش فشار در میزان توان قابل استحصال از توربین تأثیر گذار خواهد بود (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹).

دما: از پارامترهای اقلیمی که در مکان یابی نیروگاه های بادی نقش دارد، دما می باشد. افزایش ارتفاع، باعث کاهش دمای هوا می گردد. کاهش دما در میزان توان قابل استحصال از توربین تأثیر گذار خواهد بود (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹).

۲. معیارهای جغرافیایی: یکی از عوامل اصلی که باید در مکان یابی احداث نیروگاه های بادی مورد توجه قرار گیرد، معیارهای جغرافیایی می باشد. زیرمعیارهای جغرافیایی مورد بررسی، ارتفاع از سطح دریا و شبیب زمین می باشند.

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 تأثیر گذار است و با افزایش ارتفاع، سرعت باد نیز افزایش می یابد. افزایش ارتفاع، منجر به کاهش فشار و دمای هوا نیز می شود که این کاهش فشار و دمای هوا در میزان توان قابل استحصال از توربین تأثیر گذار خواهد بود و بنابراین نباید میزان ارتفاع به قدری باشد که در میزان این توان تغییرات محسوسی ایجاد نماید (Gipe, ۲۰۰۴). با توجه به محدودیت های انتقال تجهیزات و میزان هزینه ای لازم برای انتقال تجهیزات در ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر از سطح دریا، میزان حداقل ارتفاع مجاز فرض شده در این مقاله، ۲۰۰۰ متر از سطح دریا در نظر گرفته شده است. در جدول ۴ حداقل ارتفاع مجاز از سطح دریا ارائه شده است.

جدول ۴) حداقل ارتفاع مجاز (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹)

۲۰۰۰	حداقل ارتفاع از سطح دریا
------	--------------------------

شبیب: شبیب منطقه نیز از عوامل مهم در عملکرد مناسب توربین ها و نصب آن ها می باشد. شبیب زمین سبب افزایش قیمت نگهداری توربین، کوتاهی عمر و افت انرژی تولیدی خواهد شد. گاهی اتفاق می افتد که تمام یا بخشی از توربین بادی توسط تپه ها و کوه ها پنهان می شود که ممکن است مانع دستیابی به توان مؤثر و مورد نیاز شود. رعایت معیار توپوگرافی می تواند این مشکلات را مرتفع سازد. بنا به گفته کارشناسان هزینه ساخت و ساز در مناطق دارای شبیب تند تا حد چشمگیری افزایش می یابد. شبیب زمین سبب افزایش قیمت نگهداری توربین، کوتاهی عمر و افت انرژی تولیدی خواهد شد.

میزان شبیب نباید به حدی باشد که مانع از نصب توربین گردد. بنابراین حداقل میزان شبیب ۱۰٪ در نظر گرفته می شود & (Parry, ۲۰۰۱) در جدول ۵ حداقل شبیب مجاز ارائه شده است.

جدول ۵) حداقل شبیب مجاز (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹)

۱۰٪	حداقل شبیب
-----	------------

۳. معیارهای اقتصادی- اجتماعی: شامل زیرمعیارهای حداقل فاصله از راه های ارتباطی، حداقل فاصله از شهرها و روستاهای (مراکز جمعیتی) می باشند.

فاصله از راه های ارتباطی: یکی از موارد مهم در انتخاب مکان های مناسب برای احداث نیروگاه های بادی مناسب بودن شرایط دسترسی به مکان است. وجود جاده های دسترسی و همچنین نزدیک بودن به مناطقی که امکان دستیابی به شبکه برق سراسری و مصرف کنندگان برق در آن ها وجود داشته باشد (دفتر انرژی باد و امواج، ۱۳۸۷). مسیرهای جا به جای افراد از منطقه ای به منطقه دیگر تقسیم بندی هایی دارد، که شامل جاده ها، راه آهن و سایر راه های مانند راه های دسترسی محلی می باشد. طبیعت مسیرها (مخصوصاً اگر ارزش توربیستی و منظره ای داشته باشند)، اهمیت نسبی آن ها (ملی، استانی، منطقه ای و محلی)، ظرفیت حمل و نقل و توپوگرافی مسیرها نقش بسزایی در اهمیت تأثیر مزارع بادی بر چشم انداز جاده دارد (Bennui & Puetpaiboon, ۲۰۰۷).

فاصله از شهرها: شهرها و مراکز جمعیتی با جمعیت زیاد، ممکن است به جهات اینمی، سروصدای و منظمه، تحت تأثیر مزارع بادی قرار گیرند. توربین های بادی عموماً در مناطق شهری نصب نمی شوند، چرا که ساختمان ها جلوی وزش باد را سد می کنند و صدای ایجاد شده (صدای آبرودینامیکی) توسط پره های روتور باعث مشکلات بصری شده، از طرفی توربین های بادی برای امواج الکترومغناطیسی در محیط ایجاد مزاحمت می نمایند. آن ها را منعکس، پخش و یا می شکنند و برای ارتباطات مخابراتی راه دور ایجاد تداخل می کنند. قیمت زمین نیز در این مناطق معمولاً زیاد است. از طرفی این مراکز جمعیتی جزء مصرف کننده های عمدۀ برق محسوب می گردند و نزدیکی مکان انتخابی به آن ها باعث نزدیکی مراکز تولید و مصرف برق به یکدیگر می گردد. علاوه بر این نزدیکی به شهرها باعث سهولت تأمین نیروی انسانی مورد نیاز می گردد. از نظر بین المللی، سیاست کاهش تأثیرات دیداری توربین های بادی بر مناطق، به دلیل تأثیر بر جمعیت بیشتر، در شهرها

نسبت به مناطق روستایی ارجحیت دارد، لذا مطالعات مختلف نشان داده است که مزارع بادی حداقل ۲۰۰۰ متر از شهرها و ۵۰۰ متر از مراکز جمعیتی فاصله داشته باشدند (Serwan & Parry, ۲۰۰۱).

فاصله از روستاهای از روستاهای: به دلیل ماهیت انرژی باد که به تولید متتمرکز و اغلب در نقاط دور افتاده و روستایی می پردازد، توسعه‌ی این صنعت چه در کشورهای پیشرفته و چه در جهان سوم تحولات و پیشرفت های آشکاری را در مناطق روستایی به دنبال خواهد داشت. نزدیکی محل نیروگاه به مناطقی که نیاز بیشتری به انرژی الکتریکی دارند باعث کاهش تلفات و صرفه جویی اقتصادی می گردد. علاوه بر این نزدیکی به روستاهای باعث سهولت تأمین نیروی انسانی مورد نیاز می گردد. در مناطق روستایی برای نصب توربین های بادی نیازی به پاک سازی درختان منطقه نیست. کشاورزان می توانند برای این توربین ها زمین های خود را به شرکت های سازنده اجاره بدهند.

۴. معیارهای زیست محیطی: یکی از عوامل مهم در مکان یابی احداث نیروگاه های بادی، توجه به مسائل زیست محیطی می باشد. معیارهای زیست محیطی شامل: زیرمعیارهای فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه ها می باشد.

فاصله از مناطق حفاظت شده: منطقه حفاظت شده به منطقه ای اطلاق می شود که شامل اراضی طبیعی و دارای منابع طبیعی اعم از جنگل، مرتع، حیات وحش و... بوده که از لحاظ ظرفیت تکثیر یا تولید مثل (گیاهی و جانوری) و همچنین حفظ و احیاء رستنی ها و جانوران دارای اهمیت ویژه ای است و به ۴ بخش تقسیم می شوند: آثار طبیعی ملی، پناهگاه حیات وحش، منطقه حفاظت شده، پارک ملی، تالاب ها. این مناطق به دلیل دارا بودن جنگل ها و یا مراتع پر ارزش و مناظر زیبا و برای جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی و جانوری موجود در آن ها مورد حفاظت قرار گرفته اند. مزارع بادی به دلیل اضافه کردن یک عامل تکنولوژیکی به منظره طبیعی، بر خاصیت ذاتی طبیعت این مناطق تأثیر منفی می گذارند. بنابراین حداقل فاصله جهت نصب توربین های بادی از این مناطق ۲۰۰۰ متر در نظر گرفته می شود. تالاب ها از نظر زیبایی منطقه و حفظ منابع طبیعی و نیز به عنوان زیستگاه پرنده‌گان آبی و سایر گونه ها دارای اهمیت می باشد. به همین منظور از مجاورت مزارع بادی با این تالاب ها به دلیل تصادف پرنده‌گان با توربین ها و از بین رفتن آن ها خودداری می گردد. به دلیل این که تالاب ها زیستگاه و محل مهاجرت پرنده‌گان در فضول مختلف می باشد و افزایش تعداد پرنده‌گان مهاجر باعث افزایش تصادفات آن ها با توربین های بادی خواهد بود. لذا باید سعی شود توربین ها از این تالاب ها فاصله داشته و حتی المقدور در مسیر عبور پرنده‌گان قرار نگیرند (Yue & Wang, ۲۰۰۶).

کاربری اراضی: هدف از بررسی کاربری اراضی، تعیین ارزش اراضی برای مکان یابی نیروگاه های بادی است. این طبقه بندی بر اساس انواع اصلی استفاده از زمین (زراعت آبی، دیم، جنگل، مراتع و...) می باشد.

فاصله از رودخانه ها: سواحل و رودخانه ها، به عنوان اقامتگاه ها و تفرجگاه های خاص بوده و از عوامل طبیعی بر روی زمین به شمار می روند. توربین های بادی واقع در سواحل و نزدیک به آن ها و در مجاورت رودخانه ها، تأثیرات نامطلوبی بر جلوه های این مناطق خواهد گذاشت. این مناطق همچنین از نظر زیست محیطی، زیستگاه بسیاری از پرنده‌گان خاص هستند، که همواره مراقبت از آن ها دارای اهمیت بوده است (Yue & Wang, ۲۰۰۶).

۵. معیارهای زمین شناسی: بررسی معیارهای زمین شناسی جهت احداث نیروگاه های بادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. زیرمعیارهای زمین شناسی عبارتند از: فاصله از کانون های زلزله و فاصله از گسل ها.

فاصله از کانون های زلزله: زلزله می تواند لطمات شدید و جبران نایابی را بر تأسیسات نیروگاه وارد نماید. بنابراین رعایت فاصله معینی از نقاط زلزله خیز، یعنی نقاطی که زلزله های شدید در آن ها به وقوع پیوسته است، در انتخاب مکان نیروگاه ضروری می باشد (بهشتی فر و همکاران، ۱۳۸۵).

فاصله از گسل ها: گسل ها نوعی ساختار خطی، همراه با جا به جایی هستند که بر تحولات زمین ساختی و همچنین تکوین حوضه های ساختاری- رسوبی ایران اثر در خور توجه داشته اند. در این میان، اثر گسل های طولی عمده، به مراتب بیشتر است. فعالیت خفیف گسل ها موجب تغییرات عمده در پوسته زمین و پایداری مناطق می شود. بنابراین مکان انتخابی برای نیروگاه باید در فاصله مناسبی از مرکز گسل قرار گرفته باشد (صمدی و تیکا، ۱۳۸۶).

تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها و گزینه ها

پس از تعیین معیارها و فاکتورهای مورد نیاز در مکان یابی احداث نیروگاه های بادی و اعمال محدودیت های موجود در منطقه، نمودار سلسه مراتبی معیارها ساخته شدند (شکل ۹). سلسه مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده واقعی می باشد که در رأس آن هدف کلی مساله

و در سطوح بعدی معیارها و گزینه های تصمیم گیری قرار دارند. سپس معیارها در ماتریس های مقایسه زوجی به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و وزن هر معیار نسبت به معیار دیگر بر حسب میزان اولویت به آن معیار اختصاص داده شده است. نمره دهی بر اساس نظر کارشناسی توسط کارشناسان زیرنویس از طریق پرسشنامه اعمال شده است. جدول ۶ تا ۱۲ مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مکان یابی احداث نیروگاه های بادی را نشان می دهد. در جدول فوق، اعداد نمایش داده شده، بر اساس اهمیت معیار ردیف افقی نسبت به معیار ردیف عمودی اند. مقدار هر عدد نیز با توجه به مقادیر جدول ۱ و بر اساس معیار ساعتی تعیین شده است. شکل ۱۰ تا ۱۵ نمودار وزن محاسبه شده معیارها و زیرمعیارها در نرم افزار Expert Choice را نشان می دهد.



شکل ۹) درخت سلسله مراتب تصمیم گیری

جدول ۶) مقایسه زوجی معیارهای لایه های اصلی در مکان یابی احداث نیروگاه های بادی

وزن	وزن	زمین شناسی	زیست محیطی	اقتصادی- اجتماعی	جغرافیایی	اقلیم	معیارهای مکان یابی
+/۵۸۱	+/۷	+/۷	+/۷	+/۷	+/۵	۱	اقلیم
+/۱۸۵	+/۳	+/۳	+/۳	+/۳	۱	-	جغرافیایی
+/۱۱۴	+/۳	+/۳	۱	-	-	-	اقتصادی - اجتماعی
+/۰۷۳	+/۳	۱	-	-	-	-	زیست محیطی
+/۰۴۷	۱	-	-	-	-	-	زمین شناسی



شکل ۱۰) نمودار وزن محاسبه شده معیارها در نرم افزار Expert Choice

جدول (۷) مقایسه زوچی زیرمعیارهای، معیار اقلیمی

وزن	دما	فشار	سرعت باد غالب	سرعت باد	زیرمعیارهای اقلیمی
۰/۵۴۹	۰/۵	۰/۵	۰/۳	۱	سرعت باد
۰/۲۴۸	۰/۳	۰/۳	۱	-	سرعت باد غالب
۰/۱۲۹	۰/۳	۱	-	-	فشار
۰/۰۷۴	۱	-	-	-	دما



شکل (۱۱) نمودار وزن محاسبه شده زیرمعیارهای اقلیمی در نرم افزار Expert Choice

جدول (۸) مقایسه زوچی زیرمعیارهای جغرافیایی

وزن	شیب	ارتفاع از سطح دریا	زیرمعیارهای جغرافیایی
۰/۷۵۰	۰/۳	۱	ارتفاع از سطح دریا
۰/۲۵۰	۱	-	شیب



شکل (۱۲) نمودار وزن محاسبه شده زیرمعیارهای جغرافیایی در نرم افزار Expert Choice

جدول (۹) مقایسه زوچی زیرمعیارهای اقتصادی- اجتماعی

وزن	فاصله از روستاهای اقتصادی- اجتماعی	فاصله از راه های ارتباطی	فاصله از شهرها	فاصله از روستاهای اقتصادی- اجتماعی
۰/۵۹۴	۰/۳	۰/۳	۱	فاصله از راه های ارتباطی
۰/۲۴۹	۰/۲	۱	-	فاصله از شهرها
۰/۱۵۷	۱	-	-	فاصله از روستاهای اقتصادی- اجتماعی



شکل (۱۳) نمودار وزن محاسبه شده زیرمعیارهای اقتصادی- اجتماعی در نرم افزار Expert Choice

جدول (۱۰) مقایسه زوچی زیرمعیارهای زیست محیطی

وزن	فاصله از رودخانه ها	فاصله از مناطق حفاظت شده	کاربری اراضی	فاصله از مناطق حفاظت شده	زیرمعیارهای زیست محیطی
۰/۵۹۴	۰/۳	۰/۳	۱	۰/۵۹۴	فاصله از مناطق حفاظت شده
۰/۲۴۷	۰/۲	۱	-	-	کاربری اراضی
۰/۱۵۷	۱	-	-	-	فاصله از رودخانه ها



شکل (۱۴) نمودار وزن محاسبه شده زیرمعیارهای زیست محیطی در نرم افزار Expert Choice

جدول ۱۱) مقایسه زوچی زیرمعیارهای زمین شناسی

وزن	فاصله از گسل ها	فاصله از کانون های زلزله	زیرمعیارهای زمین شناسی
۰/۷۵۰	۰/۳	۱	فاصله از کانون های زلزله
۰/۲۵۰	۱	-	فاصله از گسل ها

فاصله از کانون های زلزله
فاصله از گسل ها

۰/۷۵-
۰/۲۵-

۰/۰۰- نزدیک ناسازگاری

شکل ۱۵) نمودار وزن محاسبه شده زیرمعیارهای زمین شناسی در نرم افزار Expert Choice

جدول ۱۲، مقایسه زوچی گزینه ها و وزن نهایی را نشان می دهد. در این مرحله، برای هر زیرمعیار، گزینه های آن با یکدیگر مقایسه می شوند.

جدول ۱۲) محاسبه وزن گزینه ها و وزن نهایی بر اساس مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

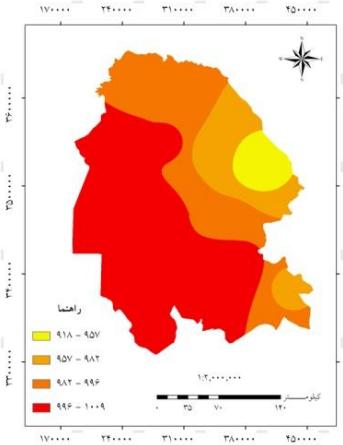
زیرمعیارها	گزینه ها	وزن نسبی	وزن نهایی	گزینه ها	وزن نسبی	وزن نهایی	گزینه ها	وزن نسبی	وزن نهایی	گزینه ها	وزن نسبی
سرعت باد											
سرعت باد غالب											
فشار											
دما											
ارتفاع از سطح دریا											
شیب											
فاصله از راه های ارتباطی											

بعد از محاسبه وزن هر کدام از معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها، نقشه های مورد نیاز برای مکان یابی احداث نیروگاه های بادی در منطقه مورد مطالعه با توجه به زیرمعیارها و گزینه های تصمیم گیری، تهیه گردید. در شکل ۱۶ تا ۲۹ نقشه معیارهای مؤثر در مکان یابی نیروگاه های بادی به تفکیک هر معیار آورده شده است.

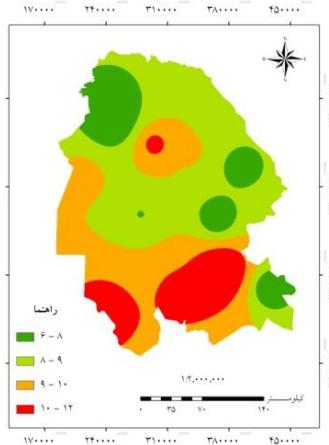
سرعت باد: نقشه سرعت باد به ۴ کلاس طبقه بندی گردید و به هر طبقه وزنی داده شد. کلاس چهارم با سرعت باد ۵-۷ نات بیشترین وزن ۱۹۷/۰ و کلاس اول با سرعت باد ۱-۳ نات کمترین وزن ۰/۰۱۷ را به خود اختصاص داده است.

سرعت باد غالب: با توجه به شکل ۱۷، کلاس اول با سرعت ۸-۶ نات کمترین وزن ۰/۰۰۷ و کلاس چهارم با سرعت ۱۰-۱۲ نات بیشترین وزن ۰/۰۸۹ را به خود اختصاص داده است.

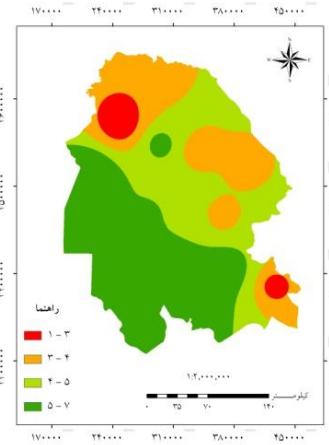
فشار: نقشه فشار در ۴ کلاس طبقه بندی شد. با توجه به جدول ۱۳، کلاس چهارم بیشترین وزن ۰/۰۴۶ را دارد و کلاس اول کمترین وزن ۰/۰۰۶ را به خود اختصاص داده است (شکل ۱۸).



شکل ۱۸) نقشه طبقه بندی فشار



شکل ۱۷) نقشه طبقه بندی سرعت باد غالب

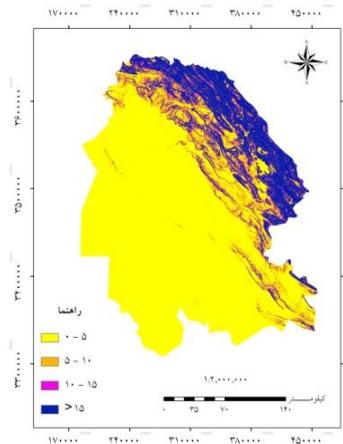


شکل ۱۶) نقشه طبقه بندی سرعت باد غالب

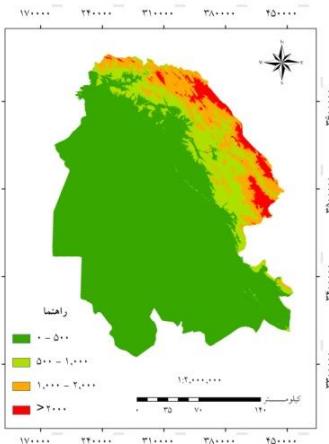
دما: با توجه به شکل ۱۹، کلاس چهارم بیشترین وزن ۰/۰۲۳ را دارد و کلاس اول کمترین وزن ۰/۰۰۴ را به خود اختصاص داده است.

ارتفاع از سطح دریا: نقشه ارتفاع به ۴ طبقه تقسیم شده، بیشترین وزن در طبقه سوم با ارتفاع ۱۰۰۰-۲۰۰۰ متر قرار دارد، و کمترین وزن در طبقه چهارم با ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰ متر قرار گرفته است (جدول ۱۲).

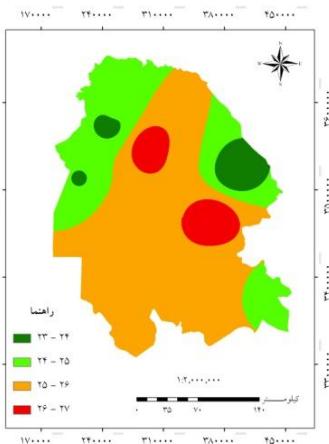
شیب: با توجه به شکل ۲۱ و جدول ۱۲، طبقه اول با شیب ۰-۵ درصد بیشترین وزن ۰/۰۲۵ را به خود اختصاص داده و کمترین وزن در طبقه چهارم با شیب بالای ۱۵ درصد ۰/۰۰۳ قرار گرفته است.



شکل ۲۱) نقشه طبقه بندی شیب



شکل ۲۰) نقشه طبقه بندی ارتفاع

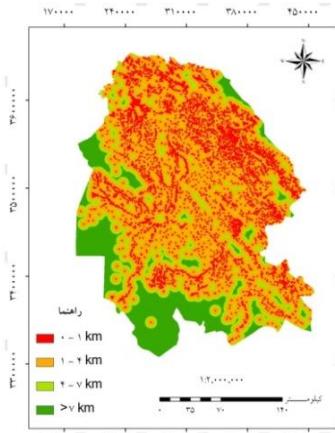


شکل ۱۹) نقشه طبقه بندی دما

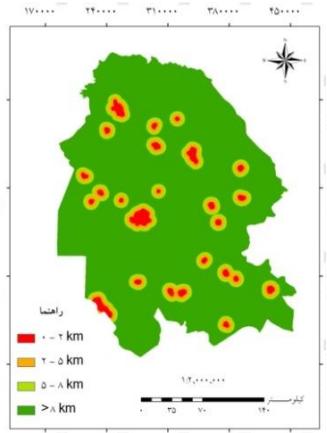
فاصله از راه های ارتباطی: راه ها در فواصل ۰-۱ کیلومتر، ۱-۳ کیلومتر، ۳-۵ کیلومتر و بالای ۵ کیلومتر طبقه بندی شدند. بیشترین وزن به کلاس اول با وزن ۰/۰۳۷ و کمترین وزن به کلاس چهارم با وزن ۰/۰۰۴ اختصاص داده شد (شکل ۲۲).

فاصله از شهرها: نقشه فاصله از شهرها به ۴ کلاس طبقه بندی شد. این فواصل عبارتند از: ۰-۲ کیلومتر، ۲-۵ کیلومتر، ۵-۸ کیلومتر و بالاتر از ۸ کیلومتر. با توجه به شکل ۱۸ فواصل ۰-۲ کیلومتر به شهرها، وزن بیشتری را به خود اختصاص داده اند (شکل ۲۳).

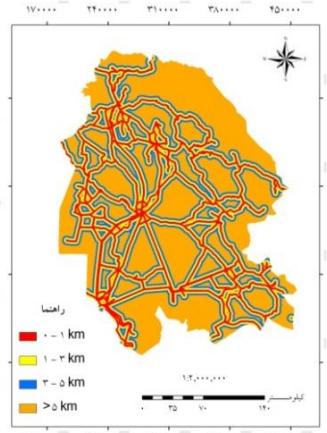
فاصله از روستاهای: نقشه فاصله از روستاهای به ۴ کلاس طبقه بندی شد. با توجه به جدول ۱۲ و شکل ۲۴ فواصل ۱-۴ کیلومتر به روستاهای وزن بیشتری را گرفته و کمترین وزن در فواصل ۰-۰ می باشد.



شکل ۲۴) نقشه طبقه بندی فاصله از روستاهای



شکل ۲۳) نقشه طبقه بندی فاصله از شهرها

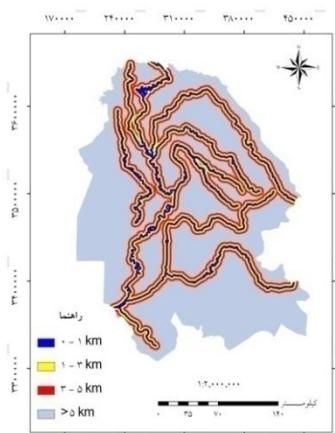


شکل ۲۲) نقشه طبقه بندی فاصله از راه های ارتباطی

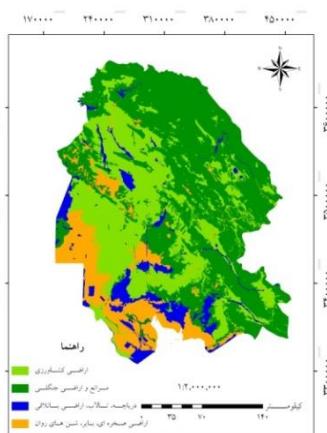
فاصله از مناطق حفاظت شده: با توجه به شکل ۲۵، فواصل نزدیک به مناطق حفاظت شده مکان های محدودیت دار می باشند، و وزن کمتری به این مناطق اختصاص می یابد. فواصل بالای ۶ کیلومتر از مناطق حفاظت شده وزن بیشتری را به خود اختصاص داده اند (جدول ۱۲).

کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی به ۴ کلاس (۱- اراضی کشاورزی، ۲- مراع و اراضی جنگلی، ۳- دریاچه، تالاب، اراضی باتلاقی، ۴- اراضی صخره ای، بایر، شن های روان) طبقه بندی گردید. طبقه چهارم با داشتن کمترین وزن ۰/۰۰۲ و اراضی کشاورزی با داشتن بیشترین وزن ۰/۰۱۰ شناخته شدند (شکل ۲۶).

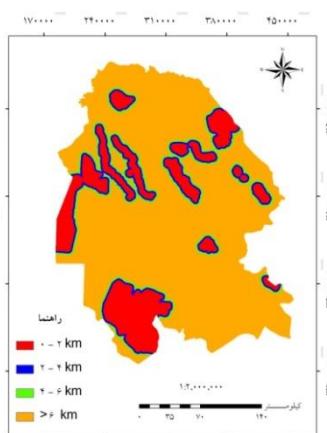
فاصله از رودخانه ها: با توجه به شکل ۲۷، فواصل نزدیک به رودخانه ها مکان های محدودیت دار می باشند، و وزن کمتری به این مناطق اختصاص می یابد. فواصل بالای ۵ کیلومتر از رودخانه ها وزن بیشتری را به خود اختصاص داده اند.



شکل ۲۷) نقشه طبقه بندی فاصله از رودخانه ها



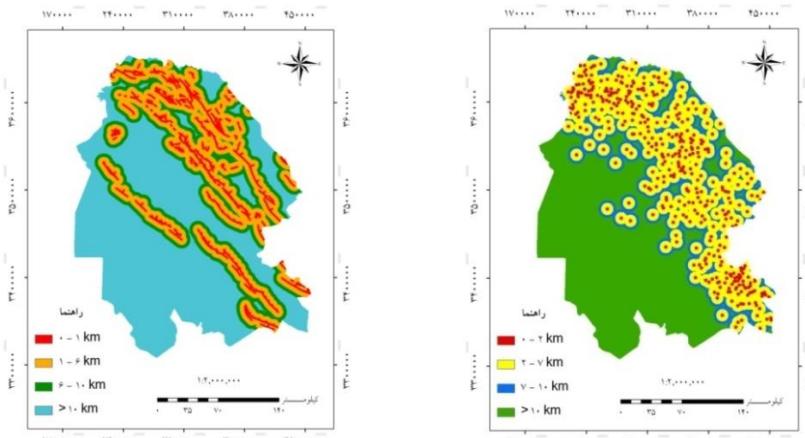
شکل ۲۶) نقشه طبقه بندی کاربری اراضی



شکل ۲۵) نقشه طبقه بندی فاصله از مناطق حفاظت شده

فاصله از کانون های زلزله: با توجه به شکل ۲۸، فواصل نزدیک به کانون های زلزله مکان های محدودیت دار می باشند، و وزن کمتری به این مناطق اختصاص می یابد. فواصل دورتر از کانون های زلزله وزن بیشتری را به خود اختصاص داده اند.

فاصله از گسل ها: این نقشه در ۴ کلاس طبقه بندی گردید. طبقه اول با، بافر ۱ کیلومتر از گسل ها کمترین وزن را به خود اختصاص داده است و فواصل بالای ۱۰ کیلومتر بالاترین وزن را دارد (شکل ۲۹).

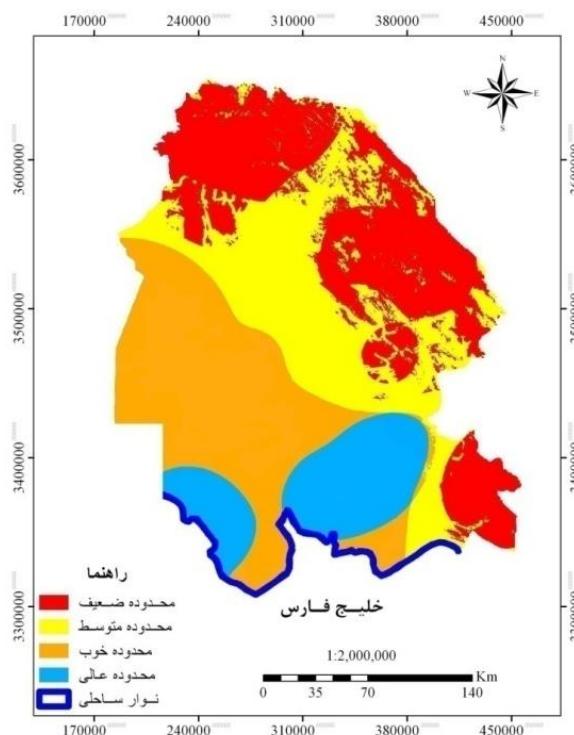


شکل ۲۸) نقشه طبقه بندی فاصله از کانون های زلزله شکل ۲۹) نقشه طبقه بندی فاصله از گسل ها

با تلفیق لایه های اطلاعاتی در محیط GIS، در نهایت نقشه مکان یابی احداث نیروگاه های بادی تهیه گردید. نقشه نهایی در ۴ کلاس اهمیت (ضعیف، متوسط، خوب و عالی) طبقه بندی شد. مناطق مجاز جهت احداث نیروگاه های بادی در کلاس چهار (طبقه عالی)، در محدوده های جنوب، جنوب غربی استان خوزستان، با مساحتی بالغ بر ۱۰۲۰۷۴۷ هکتار و مناطق محدودیت دار استان با پتانسیل ضعیف در محدوده های شمال، شمال شرقی و جنوب شرقی با مساحتی بالغ بر ۱۹۸۷۹۸۵ هکتار را در بر می گیرند. در جدول ۱۳ مشخصات نقشه مکان یابی احداث نیروگاه های بادی ارائه شده است. شکل ۳۰ نقشه مکان یابی احداث نیروگاه های بادی در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

جدول (۱۳) مشخصات نقشه مکان یابی نیروگاه های بادی

ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	ضعیف	۱۹۸۷۹۸۵	۳۱/۱۴
۲	متوسط	۱۷۰۲۳۱۹	۲۶/۶۷
۳	خوب	۱۶۷۲۸۲۲	۲۶/۲۰
۴	عالی	۱۰۲۰۷۴۷	۱۵/۹۹



شکل (۳۰) نقشه مکان یابی احداث نیروگاه های بادی

نتیجه گیری

انرژی باد از جمله انرژی های نو و تجدیدپذیر است که استفاده از آن به منظور تولید برق بادی، سرعت رو به رشد بالایی را نشان می دهد. طی سال های اخیر استفاده از این انرژی در ایران شروع شده است. با توجه به این که در بیشتر کشورهای جهان بیشترین استفاده از انرژی باد از مزارع بادی آبهای ساحلی و سواحل صورت می گیرد و به واقع آب های کم عمق بهترین شرایط را برای استفاده از انرژی باد دارند، لذا توجه به این امر برای حفظ محیط زیست دریایی کشور ایران بسیار قابل توجه است. در این تحقیق پس از تعیین فاکتورهای مؤثر در مکان یابی نیروگاه های بادی و نقش آن ها در مکان یابی، لایه های اطلاعاتی مربوطه تهیه و تجزیه و تحلیل های مورد نیاز صورت گرفت، در نهایت با تلفیق لایه های اطلاعاتی مختلف و اعمال محدودیت ها، محدوده های مناسب جهت احداث نیروگاه های بادی تعیین گردید. با توجه به نتایج بدست آمده، پهنه هایی که در منطقه با توان عالی شنا سایی شده اند ۱۵/۹۹ درصد از کل منطقه را با مساحت ۱۰۲۰۷۴۷ هکتار را به خود اختصاص داده اند. مناطق دارای توان بالا در مناطقی تعیین شده اند که با معیارهای انتخاب شده در این تحقیق برای مکان یابی نیروگاه های بادی در منطقه تبعیت می کند. این مناطق در محدوده های جنوب، جنوب غربی استان خوزستان می باشد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج بدست آمده از مطالعات مشابه مطابقت داشت. تصمیم گیری در مورد مکان مناسب برای احداث نیروگاه مستلزم توجه همزمان به عوامل متعددی می باشد که سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکان تلفیق لایه های اطلاعاتی مربوط به عوامل مذکور را به صورت منسجم فراهم می آورد. مکان های انتخابی، کاملاً تحت تأثیر پارامترهای دخالت داده شده در تجزیه و تحلیل و وزن های مربوطه قرار می گیرند. مدل AHP با تشکیل ساختار سلسله مراتبی، امکان وزن دهی مناسب به معیارهای فاکتور را جهت یافتن مکان های مناسب برای احداث نیروگاه های بادی فراهم می آورد.

منابع

- [۱] آقالابراهیمی، م. ر.، ا. امینی و م. کمالی مقدم. (۱۳۸۸). کاربرد GIS در امکان سنجی احداث نیروگاه های بادی مطالعه موردي: خراسان جنوبی. اولین کنفرانس انرژی تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران. دانشگاه بیرجند.
- [۲] بهشتی فر، س.، م. ج. ولدان زوج. م. سعدی م سگری و م. کریمی. (۱۳۸۵). مکان یابی نیروگاه های گازی با استفاده از GIS. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی. بیست و یکمین کنفرانس بین المللی برق. ۱۶۵۲ صفحه.
- [۳] دفتر انرژی باد و امواج. (۱۳۸۷). گزارش تحلیلی انرژی باد در شهرستان خلخال. سازمان انرژی های نو ایران (سانا). وزارت نیرو. ۴ صفحه.
- [۴] رحیم زاده، ف. و ز. جهانگیری. (۱۳۸۲). مکان یابی مناسب برای استفاده از انرژی باد کشور. مجموعه مقالات سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان. تهران. ۱۰۰.۸ صفحه.
- [۵] شوندی، ش.، چیدمانی بهینه تورین های بادی در مزارع باد، چهارمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.
- [۶] صلاحی، ب. (۱۳۸۳). پتانسیل سنجی انرژی باد و برآش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه های سینوپتیک استان اردبیل. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۶۰۲ صفحه.
- [۷] صمدی، ر. و س. تیکا. (۱۳۸۶). تهیه مدل محیط زیستی جهت استقرار نیروگاه های حرارتی در کشور. مجله محیط شناسی سال سی و سوم. شماره ۴۴. ۷۸ صفحه.
- [۸] عطایی، م. (۱۳۸۹). تصمیم گیری چند معیاره. انتشارات دانشگاه شاهrood، ۳۳۳ صفحه.
- [۹] علیجانی، بهلول، (۱۳۸۰). تیپ های هوا و اثر آن ها بر اقلیم ایران، مجله کاوش نامه، شماره ۱۲.
- [۱۰] قدسی پور، ح. (۱۳۸۸). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP. انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۲۳۶ صفحه.
- [۱۱] کاویانی، محمدرضا و علیجانی، بهلول. (۱۳۷۹). مبانی آب و هواشناسی، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران
- [۱۲] نصراللهی، م.، ر. (۱۳۸۶). مکان یابی نیروگاه های بادی با استفاده از روش های تحلیل چندگانه، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، سیستم های اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه تهران.

[۱۳] نوراللهی، م. ع. اشرف، و م. زمانی. (۱۳۸۹). پتانسیل سنجی انرژی باد بر ق منطقه ای با خطر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). شرکت مشاوران انرژی و اقتصاد شایگان.

- [۱۴] Bazzi, A., M. (۲۰۰۸). GIS-based wind farm site selection in Lebanon. ICEE xplore.
- [۱۵] Bennui, A. Rattanamanee, P. Puetpaiboon, U. Phukpattaranont, P and K, Chetpattananondh. ۲۰۰۷. SITE SELECTION FOR LARGE WIND TURBINE USING GIS, PSU UNS International Conference on Engineering and Environment, Thailand.
- [۱۶] Bertolini, M. (۲۰۰۶). Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, ۱۷ January.
- [۱۷] Bowen, W., M. (۱۹۹۰). Subjective judgments and data environment analysis in site selection, Computer, Environment and Urban Systems. ۱۴: ۱۳۳-۱۴۴.
- [۱۸] Cheng, Dar Yue. Shi, Sian., Wang. (۲۰۰۶). GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan, Energy Policy. ۳۴: ۷۳۰-۷۴۲.
- [۱۹] Cimren, E., B. Çatay and E. Budak. (۲۰۰۷). Development of a machine tool selection system using AHP, International Journal of Advanced Manufacturing Technology. ۳۵: ۲۶۲-۲۷۶.
- [۲۰] Gipe, P. (۲۰۰۴). Wind power: renewable energy for home, farm and business, New York: Chelsea Green.
- [۲۱] IEC ۶۱۴۰۰-۱: cited in Wind Energy Handbook, (Tony Burton, et al, John Wiley & sons UK). (۲۰۰۱). ISBN: ۰-۴۷۱-۴۸۹۹۷-۲. p ۲۱۰.
- [۲۲] Janardhana Raju, N., T. V. K. reddy, P. Munirathnam. (۲۰۰۶). Subsurface dams to harvest rainwater- a case study of the Swarnamukhi River basin. Southern India. Hydrology Journal. ۱۴: ۵۲۱-۵۳۱.
- [۲۳] Malczewski, J. (۲۰۰۶). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science: ۲۰(۷): ۷۰۳-۷۲۶.
- [۲۴] Malczewski, J. (۲۰۰۰). On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. Transactions in GIS. ۴(1): ۵-۲۲.
- [۲۵] Moreno, J. (۲۰۰۰). A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP- group decision making, Group Decision and Negotiation. ۱۴: ۸۹-۱۰۸.
- [۲۶] Saaty, T. L., (۱۹۸۰). The Analytical Hierarchy Process. McGraw Hill, New York. pp ۳۰۰.
- [۲۷] Saaty, T.L. (۲۰۰۰). Fundamentals of decision making and priority theory, ۲nd Ed., PA: RWS Pub., Pittsburgh.
- [۲۸] Selvavina yagam, K. (۲۰۰۸). Windmill site selection using Remote sensing And GIS-A case study In Andaman India .
- [۲۹] Serwan, M., J. Baban and T. Parry, (۲۰۰۱). Developing and applying a GIS assisted approach to locating wind farms in the UK, Renewable Energy. ۲۴: ۵۹-۷۱.
- [۳۰] Ying. X. Zeng, GM. Chen, GQ. Tang, L. Wang, KL and DY. Huang. (۲۰۰۸). "Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of ecoenvironment quality-A case study of Hunan Province, China. Ecol Model. ۲۰۹ (۲-۴): ۹۷-۱۰۹.
- [۳۱] Yue, C., D. S., S. Wang. (۲۰۰۶). "GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources:a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan". Energy Policy. ۳۴: ۷۳۰-۷۴۲.