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 (نویسنده مسئول)
a.asgharipoor۱۳۶۲@yahoo.com

جعفر مرشدی
استادیار، گرو ه 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

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۴/۳۱
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۹/۲۵

کلمات کلیدی:
امکان سنجی
نیروگاه بادی
مناطق ساحلی
استان خوزستان

چکیده

در کشـــور ایران به دلیل بالا بودن میزان رشـــد اقتصـــادی و فعالیت های توســـعه ای، تقاضـــای ســـالیانه برای انرژی های مختلف از جمله انرژی الکتریکی افزایش یافته، در نتیجه احداث نیروگاه های جدید به ضـــرورتی انکارناپذیر تبدیل شده ا ست. با توجه به تحول انرژی در قرن حا ضر و نیاز به انرژی های تجدیدپذیر اســتفاده از انرژی بادی و تأســیس نیروگاه های بادی به طور روزافزون در حال تو سعه می با شد. یکی از مهمترین م سائل در اســتفاده از انرژی بادی تعیین محل اســتفاده از آن می باشــد که تأثیر زیادی در کارایی تجهیزات و وســـایل تولید برق بادی دارد. تعیین مکان مناســـب برای احداث نیروگاه های بادی نیازمند توجه به معیارها و عوامل مختلفی اســـت. هدف از این تحقیق، تعیین نقش عا مل اقلیم، جغرافیا، اقتصـــادی- اجتماعی، زیســـت محیطی و زمین شـــناســـی در تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه های بادی در استان خوزستان است. بر اساس نقش و تأثیر متفاوت این فاکتورها نقشـــه محدودیت و نقشـــه عوامل موثر تهیه گردید. وزن معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها با روش فرآیند تحلیل ســـلســـله مراتبی (AHP) در محیط نرم افزار EC۲۰۰۰ تعیین گردید و از محیط نرم افزار GIS برای مدل سازی و تحلیل فضایی و تلفیق اطلاعات ا ستفاده شد. نتایج ن شان می دهد که مناطق جنوبی، جنوب غربی ا ستان خوزستان بهترین مکان ها جهت احداث نیروگاه های بادی هستند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مقدمه

باد یکی از مظاهر انرژی خورشیدی و همان هوای متحرک است و پیوسته جزء کوچکی از تابش خورشید که از خارج به اتمسفر می رسد، به انرژی باد تبدیل می شود (نصرالهی، ۱۳۸۶). انرژی باد به عنوان یکی از انواع انرژی های تجدیدپذیر از دیرباز ذهن بشر را به خود معطوف نموده و بشر همواره به فکر استفاده از این انرژی بوده است. نیروگاه های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیط زیست از جمله منابع انرژی پرطرفدار بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته است (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹). در کشور ما به دلیل وسعت زیاد، تنوع توپوگرافی و... تعیین پتانسیل انرژی باد کلیه نقاط کشور و تهیه اطلس انرژی باد مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی است. بنابراین لازم است توان انرژی باد مناطق جغرافیایی کشور به طور مستقل یا ناحیه ای مورد بررسی قرار گیرد، تا مکان های مناسب جهت احداث نیروگاه های بادی مشخص گردد (صلاحی، ۱۳۸۳). استان خوزستان به علت دارا بودن شرایط متنوع آب و هوایی یکی از مستعدترین مناطقی است که قابلیت استفاده از انواع انرژی به خصوص انرژی باد را دارا است. یکی از مهمترین مسائل در استفاده از انرژی باد موضوع مکان یابی یا انتخاب بهترین محل برای استقرار توربین های بادی می باشد. مکان یابی یکی از موضوعات فنی در بهره وری از انرژی باد است (شوندی، ۱۳۸۴). از جمله مطالعات انجام شده در زمینه امکان سنجی نیروگاه های بادی می توان به مطالعات زیر اشاره نمود: سلواوینایاگوم[۱] با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به شناسایی مکان های مناسب جهت احداث آسیاب های 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 آسیاب های بادی از شرایط مناسبی برخوردارند. بنویی و همکاران[۲] با بکارگیری GIS به همراه ترکیب تصمیم گیری چند معیاره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مکان یابی توربین های 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 توربین های بادی می باشد. همچنین در مطالعه ای دیگر، بازی[۳] این مطالعه شامل روش تعاملی طراحی مزارع باد برای لبنان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشد. معیارهایی که در این روش مورد توجه قرار می گیرد مانند داده های باد، مناطق شهری، نوع توربین مورد استفاده و فاصله بین توربین های بادی است. در نتیجه با توجه به مطالعات صورت گرفته، مشخص شد که می توان تعدادی توربین بادی در لبنان احداث نمود. آقاابراهیمی و همکاران بر مبنای تحقیقات انجام شده در سال های اخیر و با توجه به تاریخچه استفاده از انرژی باد، از نرم افزار GIS برای امکان سنجی احداث نیروگاه های بادی استفاده گردید. سپس استان خراسان جنوبی به عنوان یک نمونه ی آزمایشی مورد مطالعه قرار گرفته و در مورد نقاطی از این استان که قابلیت نصب نیروگاه بادی در آن ها 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 می پردازند. معیارهای مورد نظر شامل معیارهای فنی، زیست محیطی، اقتصادی و جغرافیایی می باشند. نتایج حاصل از این پروژه، پتانسیل سنجی مناطق مساعد جهت تولید برق از انرژی بادی برای توربین های بزرگ با توجه به استانداردهای بین المللی، در برق منطقه ای باختر می باشد. در مطالعه دیگری، نصرالهی در تحقیقی با استفاده GIS مطالعه ای جامع برای اولویت بندی مناطق مختلف کشور برای استفاده از تجهیزات و نیروگاه های بادی پرداخته است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشانگر پتانسیل بالای شهرهای منجیل، خور، بیرجند، زابل و سبزوار برای احداث نیروگاه های بادی می باشد. هدف از این مطالعه دستیابی به فاکتورهای لازم جهت انتخاب محل های مناسب نیروگاه های بادی در استان خوزستان به منظور ارائه ی معیارهایی بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی، انتخاب مکانی نیروگاه های بادی، استفاده از این معیارها در محدوده مطالعاتی و ارزیابی تأثیر آن ها می باشد.

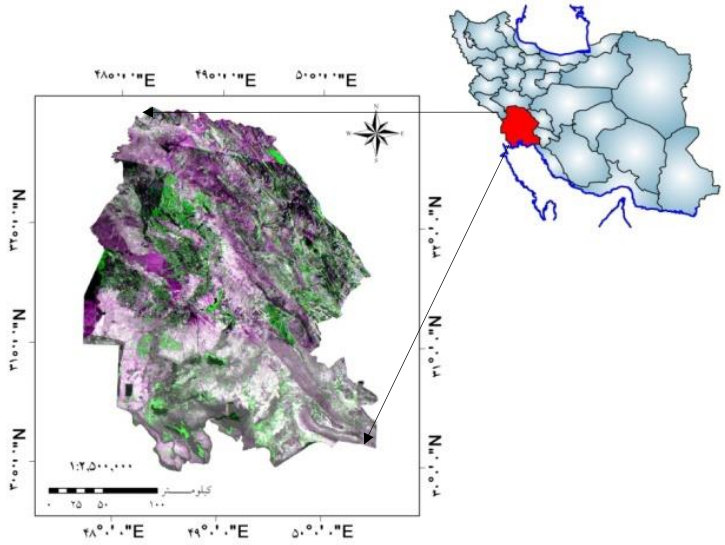
[۱] Selvavinayagam
[۲] Bennui etal
[۳] Bazzi

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی بالغ بر ۶۴۷۴۶ کیلومتر مربع، وسیع ترین استان در جنوب غربی ایران است. این استان در طول جغرافیایی ′۴۲ º۴۷ تا ′۳۹ º۵۰ و عرض جغرافیایی ′۵۸ º۲۹ تا ′۵۸ º۳۲ واقع گردیده است (شکل ۱).

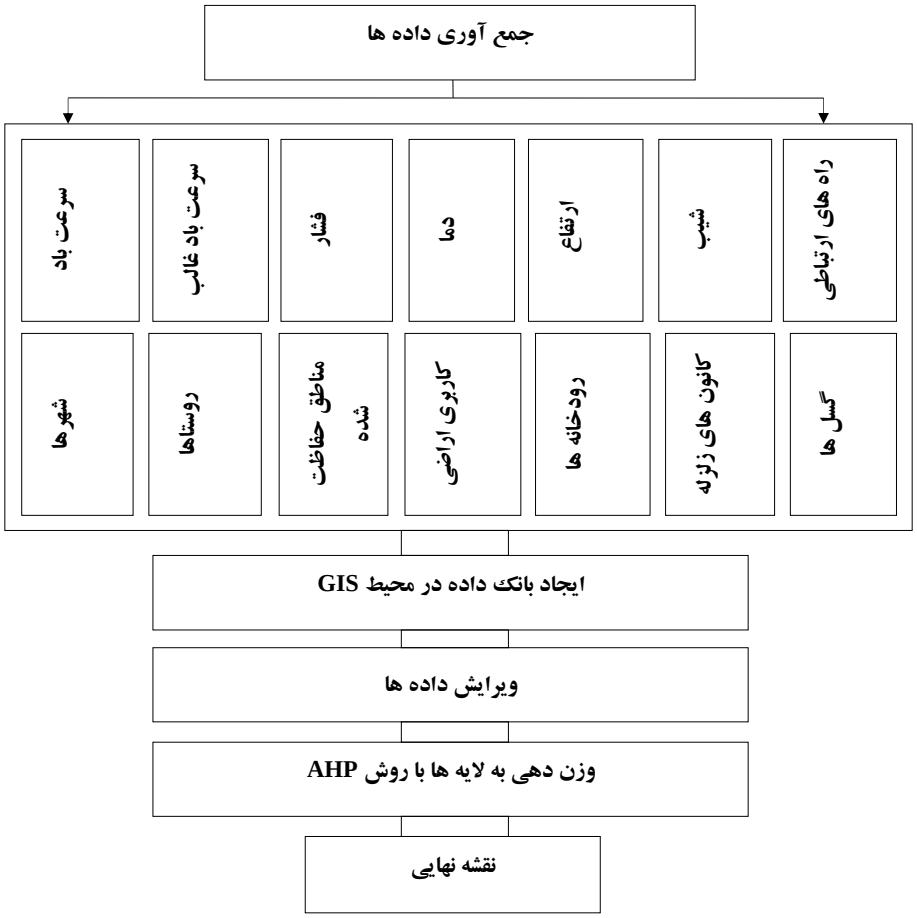


شکل ۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندگان)

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 می باشند، مشخص و سپس زیرمعیارها و گزینه ها برای هر معیار مشخص گردید. پس از تعیین معیارها و فاکتورهای مورد نیاز در مکان یابی نیروگاه و اعمال محدودیت ها، نمودار سلسله مراتبی معیارها ساخته شدند. 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 زیربط از طریق پرسشنامه اعمال شده است. پس از تکمیل ماتریس های مقایسه زوجی، درخت معیارها در نرم افزار EC۲۰۰۰ تشکیل شده، سپس نمرات اعمال شده وارد نرم افزار EC۲۰۰۰ شده و وزن نسبی و همچنین وزن نهایی (Overall Priority) هر معیار که از مجموع حاصلضرب اهمیت معیارها و زیرمعیارها در وزن گزینه ها بدست می آید، بدست آورده شدند. در حین مقایسه زوجی برای هر مجموعه، تجزیه و تحلیل میزان نرخ ناسازگاری به وسیله نرم افزار EC۲۰۰۰ صورت می پذیرد. پس از محاسبه وزن ها بر اساس مدل AHP و تهیه لایه های اطلاعاتی، از قابلیت های نرم افزار GIS به منظور تلفیق و هم پوشانی نقشه ها استفاده شد، و در نهایت نقشه مکان های مناسب جهت احداث نیروگاه های بادی تهیه گردید. در شکل ۲ نمودار مراحل انجام تحقیق آورده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]



شکل ۲) نمودار مراحل تحقیق

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, ۲۰۰٦). 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**)**.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها

بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، اولویت عناصر در هر سطح تعیین می گردد (Saaty, ۱۹۸۰). برای محاسبه ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها، چند روش وجود دارد که شامل: روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش های تفریقی (Saaty, ۲۰۰۰). در این روش، معیارها و زیرمعیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می شوند و درجه ی اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص می شود. برای این کار، می توان از یک روش استاندارد ارائه شده توسط ساعتی استفاده کرد. روش کار به این ترتیب است که، به هر مقایسه ی دودویی، یک عدد از ۱ تا ۹ نسبت داده می شود. در جدول ۱ معنی هر عدد مشخص شده است(Cimren, ۲۰۰۷).

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

شدت اهمیت	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف دو معیار اهمیت مساوی دارند.
۳	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می دهد که برای تحقق هدف اهمیت i بیشتر از j است.
۵	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می دهد که اهمیت i خیلی بیشتر از j است.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می دهد که اهمیت i خیلی بیشتر از j است
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر i نسبت به j به طور قطعی به اثبات رسیده است.
۲و۴و۸	.....	هنگامی که حالت های میانه وجود دارد.

تعیین ضریب اهمیت گزینه ها

بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه ها را باید تعیین کرد. در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها و اگر معیاری، زیرمعیار نداشته باشد مستقیماً با خود آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می گیرد (Bowen, ۱۹۹۰). در این حالت، قضاوت ها بر مبنای مقایسه دودویی و بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی صورت پذیرفته و نتیجه در ماتریس مقایسه دودویی معیارها، یا گزینه ها ثبت می شود و از طریق نرمالیزه کردن میانگین هندسی ردیف های این ماتریس ها، ضرایب اهمیت مورد نظر به دست می آید. با این حال، باید به تفاوتی عمده در این مقایسه ها اشاره شود (Bowen, ۱۹۹۰).مقایسه گزینه های مختلف، نسبت به زیرمعیارها و یا معیارها صورت می پذیرد؛ در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر، نسبت به هدف مطالعه صورت می پذیرفت (Bertolini, ۲۰۰۶).

تعیین امتیاز نهایی گزینه ها

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

$$= \sum_{k=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} w_k w_i (gij)$$

امتیاز نهایی (اولویت) گزینه j . که در آن :

w_k ضریب اهمیت معیار K

w_i ضریب اهمیت زیر معیار i

gij امتیاز گزینه j در ارتباط با زیر معیار i

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

به عبارت ساده تر از ضرب هر یک از پارامترها (معیارها) در زیرمعیار مربوط به آن و از ضرب عدد به د ست آمده در امتیاز گزینه مربوطه، امتیاز نهایی هر یک از گزینه ها بدست می آید (Malczewski, ۲۰۰۰).

بررسی سازگاری در قضاوت ها

یکی از مزیت های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارهاست. مکانیزمی که ساعتی برای بررسی سازگاری در قضاوت ها در نظر گرفته است، محاسبه ی ضریبی به نام ضریب ناسازگاری[۴] است. که از تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I.) به شاخص تصادفی بودن (R.I.) حاصل می شود. چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ با شد. سازگاری در قضاوت ها مورد قبول ا ست وگرنه باید در قضاوت ها تجدید نظر شود (Saaty, ۱۹۸۰). شاخص نا سازگاری (I.I.) به صورت زیر تعریف می گردد:

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \qquad [۱]$$

λmax بزرگترین مقدار ویژه ماتریس، n طول ماتریس و I.I شاخص نا سازگاری ا ست. شاخص تصادفی (I.I.) به صورت زیر تعریف می گردد (Saaty, ۱۹۸۰):

$$I.R = \frac{CI}{RI} \qquad [۲]$$

مقادیر این شاخص برای ماتریس های n بعدی مطابق جدول ۲ است.

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

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

نتایج

معیارهای مکان یابی

معیارهای مکان یابی معمولاً در قالب گروه های مختلفی مانند زیست محیطی، جغرافیایی، بوم شناختی، کاربری زمین، اقتصادی، فنی و... مورد مطالعه قرار می گیرند. اما به دلیل هم پوشانی بعضی از این گروه ها و جامعیت برخی نسبت به سایرین، جهت ترسیم و بررسی معیارها در این مطالعه آن ها را در ۵ گروه زیر دسته بندی گردید: اقلیم، جغرافیایی، اقتصادی- اجتماعی، زیست محیطی و زمین شناسی.

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 داده اند. پارامترهای اقلیمی سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما از زیرمعیارهای اقلیمی می باشند.

سرعت باد: سرعت باد مهمترین فاکتور در نصب نیروگاه های بادی به شمار می رود. هر چه سرعت باد بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین های بادی نیز افزایش خواهد یافت. معمولاً حداقل سرعت باد جهت راه اندازی توربین های 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 بندی های توربین های بادی مطابق با استاندارد بین المللی IEC۶۱۴۰۰-۱ برای توربین های بادی در نظر گرفته شده است. این سرعت مربوط به کلاس IV بوده و برابر ۶ متر بر ثانیه می باشد (IEC۶۱۴۰۰-۱). جدول ۳ میزان حداقل و حداکثر سرعت باد از نظر فنی و اقتصادی را نشان می دهد.

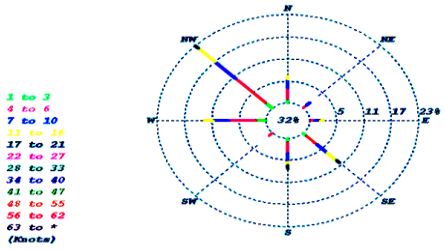
[۴] Incompability Ratio

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

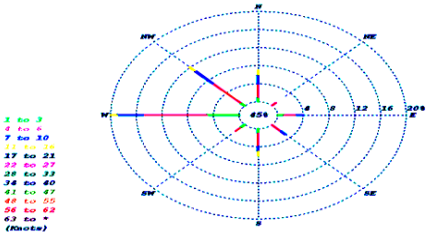
جدول ۳) حداقل و حداکثر سرعت باد از نظر فنی و اقتصادی (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹)

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

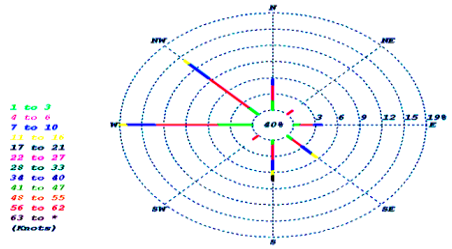
گلباد: برای ارزیابی و شناخت سریع وضعیت باد در یک منطقه، غالباً به ترسیم گلباد آن منطقه می پردازند که تصویری از جهات باد، توأم با متوسط سرعت در آن جهات، به دست می دهد. گلباد هر ایستگاه وضعیت سمت و سرعت باد را در جهات و رده های مختلف به طور کامل نشان می دهد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۹). در استان خوزستان مناطق کوهستانی شمال منطقه سرعت باد به شدت کاهش یافته و جهت آن به سمت شمال شرقی منحرف می گردد و از آرامش نسبی بیشتری برخوردار است. در مناطق مرکزی استان جهت باد کاملاً غربی- شرقی امتداد می یابد. در مناطق جنوبی استان، سرعت وزش باد به شدت افزایش یافته و جهت باد به صورت جنوب شرقی امتداد یافته است. به طور کلی سرعت باد در استان خوزستان از شمال به جنوب افزایش یافته و در طی ماه های سرد از سرعت باد کاسته شده و در ماه های گرم بر سرعت باد افزوده می شود (علیجانی، ۱۳۸۰). در اینجا به علت تعدد گلبادها از آوردن همه آن ها صرف نظر شده است و به عنوان نمونه، گلباد ایستگاه های آبادان، اهواز، بستان، بندرماهشهر، دزفول و ایذه نشان داده شده است (شکل ۹-۴).



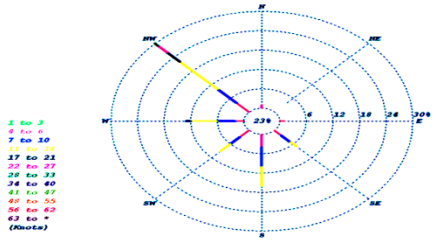
شکل ۳) گلباد سالانه ایستگاه هواشناسی آبادان



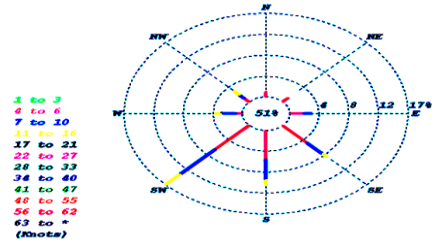
شکل ۴) گلباد سالانه ایستگاه هواشناسی بستان



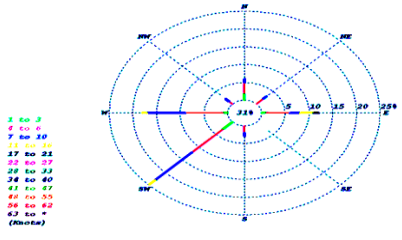
شکل ۵) گلباد سالانه ایستگاه هواشناسی اهواز



شکل ۶) گلباد سالانه ایستگاه هواشناسی بندرماهشهر



شکل ۷) گلباد سالانه ایستگاه هواشناسی دزفول



شکل ۸) گلباد سالانه ایستگاه هواشناسی ایذه

سرعت باد غالب: هر چه سرعت باد غالب بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین های بادی افزایش می یابد. جهت های غالب باد در زمان استفاده از انرژی باد بسیار مهم هستند و توربین های بادی بایستی در مکان هایی نصب شوند که در جهت های باد غالب دارای کم ترین موانع باشند (رحیم زاده و جهانگیری، ۱۳۸۲).

فشار: یکی دیگر از پارامترهای اقلیمی که در مکان یابی احداث نیروگاه های بادی مورد توجه قرار می گیرد، فشار هوا می باشد. فشار هوا در یک محل نیرویی است که ستون قائم هوا از سطح زمین تا مرز جو بر واحد سطح (cm^2) وارد می کند. افزایش ارتفاع، منجر به کاهش فشار هوا می شود. این کاهش فشار در میزان توان قابل استحصال از توربین تأثیر گذار خواهد بود (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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 شیب 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, ۲۰۰٤). با توجه به محدودیت های انتقال تجهیزات و میزان هزینه ی لازم برای انتقال تجهیزات در ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر از سطح دریا، میزان حداکثر ارتفاع مجاز فرض شده در این مقاله، ۲۰۰۰ متر از سطح دریا در نظر گرفته شده است. در جدول ۴ حداکثر ارتفاع مجاز از سطح دریا ارائه شده است.

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

حداکثر ارتفاع از سطح دریا	۲۰۰۰ متر

شیب: شیب منطقه نیز از عوامل مهم در عملکرد مناسب توربین ها و نصب آن ها می باشد. شیب 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 شیب تند تا حد چشمگیری افزایش می یابد. 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. بنابراین حداکثر میزان شیب ۱۰٪ در نظر گرفته می شود (Serwan & Parry, ۲۰۰۱).در جدول ۵ حداکثر شیب مجاز ارائه شده است.

جدول ۵) حداکثر شیب مجاز (نوراللهی و همکاران، ۱۳۸۹)

حداکثر شیب	۱۰٪

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

فاصله از راه‌های 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 جایی افراد از منطقه ای به منطقه دیگر تقسیم بندی هایی دارد، که شامل جاده ها، راه آهن و سایر راه ها مانند راه های دسترسی محلی می باشد. طبیعت مسیرها (مخصوصاً اگر ارزش توریستی 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 ایمنی، سروصدا و منظره، 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 آیرودینامیکی) 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 عمده 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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 باشند (Serwan & Parry, ۲۰۰۱).

فاصله از روستاها: به دلیل ماهیت انرژی باد که به تولید متمرکز و اغلب در نقاط دور افتاده و روستایی می پردازد، توسعه ی 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 روستاها 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 ساخت 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 پرندگان آبی و سایر گونه ها دارای اهمیت می باشد. به همین منظور از مجاورت مزارع بادی با این تالاب ها به دلیل تصادف پرندگان با توربین ها و از بین رفتن آن ها خودداری می گردد. به دلیل این که تالاب ها زیستگاه و محل مهاجرت پرندگان در فصول مختلف می باشد و افزایش تعداد پرندگان 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 پرندگان 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 ی این مناطق خواهند گذاشت. این مناطق همچنین از نظر زیست محیطی، زیستگاه بسیاری از پرندگان 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 ناپذیری 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 سلسله مراتبی معیارها ساخته شدند (شکل ۹). سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده واقعی می باشد که در رأس آن هدف کلی مسأله

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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 زیربط 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

معیارهای مکان یابی	اقلیم	جغرافیایی	اقتصادی- اجتماعی	زیست محیطی	زمین شناسی	وزن
اقلیم	۱	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۵۸۱
جغرافیایی	–	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۱۸۵
اقتصادی- اجتماعی	–	–	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۱۱۴
زیست محیطی	–	–	–	۱	۰/۳	۰/۰۷۳
زمین شناسی	–	–	–	–	۱	۰/۰۴۷

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

جدول ۷) مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار اقلیمی

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

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

جدول ۸) مقایسه زوجی زیرمعیارهای جغرافیایی

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

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

جدول ۹) مقایسه زوجی زیرمعیارهای اقتصادی- اجتماعی

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

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

جدول ۱۰) مقایسه زوجی زیرمعیارهای زیست محیطی

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

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

جدول ۱۱) مقایسه زوجی زیرمعیارهای زمین شناسی

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

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

جدول ۱۲، مقایسه زوجی 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	زیرمعیارها	گزینه ها	وزن نسبی	وزن نهایی
سرعت باد	۳-۱	۰/۰۵۲	۰/۰۱۷	فاصله از شهرها	۲-۰	۰/۰۹۹	۰/۰۰۳
	۴-۳	۰/۱۰۹	۰/۰۳۵		۵-۲	۰/۵۲۱	۰/۰۱۵
	۵-۴	۰/۲۲۰	۰/۰۷۰		۸-۵	۰/۲۵۹	۰/۰۰۷
	۷-۵	۰/۶۱۹	۰/۱۹۷		> ۸	۰/۱۲۱	۰/۰۰۳
سرعت باد غالب	۸-۶	۰/۰۵۲	۰/۰۰۷	فاصله از روستاها	۱-۰	۰/۱۰۱	۰/۰۰۲
	۹-۸	۰/۱۰۹	۰/۰۱۶		۴-۱	۰/۴۸۳	۰/۰۰۹
	۱۰-۹	۰/۲۲۰	۰/۰۳۲		۷-۴	۰/۲۷۶	۰/۰۰۵
	۱۲-۱۰	۰/۶۱۹	۰/۰۸۹		> ۷	۰/۱۴۱	۰/۰۰۳
فشار	۹۵۷-۹۱۸	۰/۰۷۶	۰/۰۰۶	فاصله از مناطق حفاظت شده	۲-۰	۰/۰۸۱	۰/۰۰۴
	۹۸۲-۹۵۷	۰/۱۰۷	۰/۰۰۸		۴-۲	۰/۱۱۵	۰/۰۰۵
	۹۹۶-۹۸۲	۰/۲۰۸	۰/۰۱۶		۶-۴	۰/۲۴۹	۰/۰۱۱
	۱۰۰۹-۹۹۶	۰/۶۰۹	۰/۰۴۶		> ۶	۰/۵۵۶	۰/۰۲۴
دما	۲۴-۲۳	۰/۰۸۲	۰/۰۰۴	کاربری اراضی	اراضی کشاورزی	۰/۵۵۳	۰/۰۱۰
	۲۵-۲۴	۰/۱۴۲	۰/۰۰۵		مراتع و اراضی جنگلی	۰/۲۶۵	۰/۰۰۵
	۲۶-۲۵	۰/۲۵۶	۰/۰۱۱		دریاچه، تالاب، اراضی باتلاقی	۰/۰۸۸	۰/۰۰۲
	۲۷-۲۶	۰/۵۸۳	۰/۰۲۳		اراضی صخره ای، بایر، شن های روان	۰/۰۹۳	۰/۰۰۲
ارتفاع از سطح دریا	۵۰۰-۰	۰/۱۷۶	۰/۰۲۴	فاصله از رودخانه ها	۱-۰	۰/۰۸۱	۰/۰۰۱
	۱۰۰۰-۵۰۰	۰/۲۴۷	۰/۰۳۴		۳-۱	۰/۱۱۵	۰/۰۰۱
	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۰/۴۸۳	۰/۰۶۷		۵-۳	۰/۲۴۹	۰/۰۰۳
	> ۲۰۰۰	۰/۰۹۴	۰/۰۱۳		> ۵	۰/۵۵۶	۰/۰۰۶
شیب	۵-۰	۰/۵۴۴	۰/۰۲۵	فاصله از کانون های زلزله	۲-۰	۰/۰۸۲	۰/۰۰۳
	۱۰-۵	۰/۲۷۱	۰/۰۱۳		۷-۲	۰/۱۲۴	۰/۰۰۴
	۱۵-۱۰	۰/۱۲۲	۰/۰۰۶		۱۰-۷	۰/۲۵۶	۰/۰۰۹
	> ۱۵	۰/۰۶۴	۰/۰۰۳		> ۱۰	۰/۵۳۸	۰/۰۱۹
فاصله از راه های ارتباطی	۱-۰	۰/۵۴۴	۰/۰۳۷	فاصله از گسل ها	۱-۰	۰/۰۶۸	۰/۰۰۱
	۳-۱	۰/۲۷۱	۰/۰۱۸		۶-۱	۰/۱۲۵	۰/۰۰۱
	۵-۳	۰/۱۲۲	۰/۰۰۸		۱۰-۶	۰/۲۶۰	۰/۰۰۳
	> ۵	۰/۰۶۴	۰/۰۰۴		> ۱۰	۰/۵۴۷	۰/۰۰۶

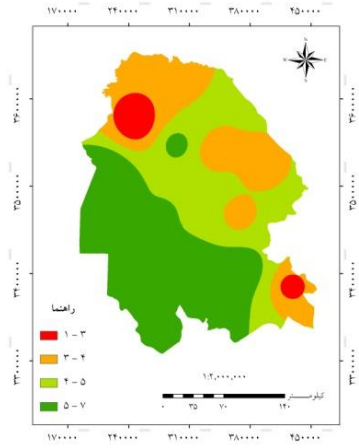
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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.

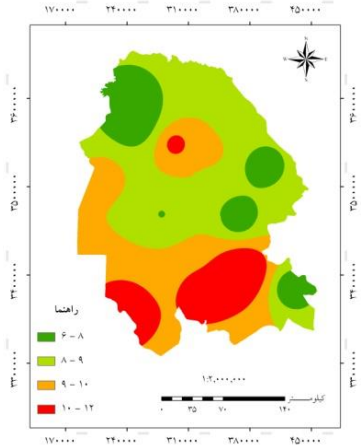
سرعت باد: نقشه سرعت باد به ۴ کلاس طبقه بندی گردید و به هر طبقه وزنی داده شد. کلاس چهارم با سرعت باد ۷-۵ نات بیشترین وزن ۰/۱۹۷ و کلاس اول با سرعت باد ۳-۱ نات کمترین وزن ۰/۰۱۷ را به خود اختصاص داده است.

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

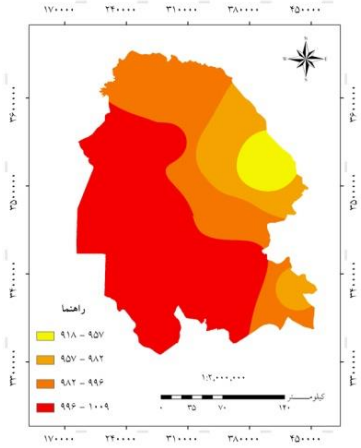
فشار: نقشه فشار در ۴ کلاس طبقه بندی شد. با توجه به جدول ۱۳، کلاس چهارم بیشترین وزن ۰/۰۴۶ را دارد و کلاس اول کمترین وزن ۰/۰۰۶ را به خود اختصاص داده است (شکل ۱۸).



شکل ۱۶) نقشه طبقه بندی سرعت باد



شکل ۱۷) نقشه طبقه بندی سرعت باد غالب

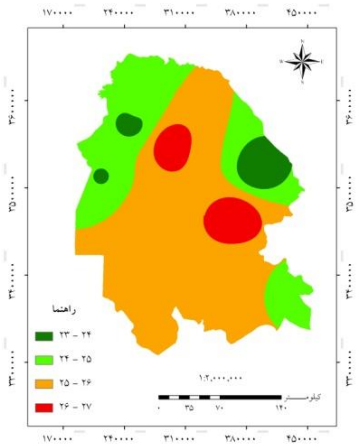


شکل ۱۸) نقشه طبقه بندی فشار

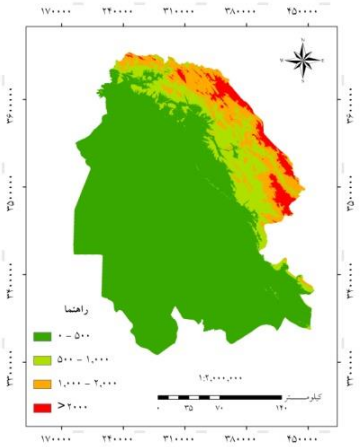
دما: با توجه به شکل ۱۹، کلاس چهارم بیشترین وزن ۰/۰۲۳ را دارد و کلاس اول کمترین وزن ۰/۰۰۴ را به خود اختصاص داده است.

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

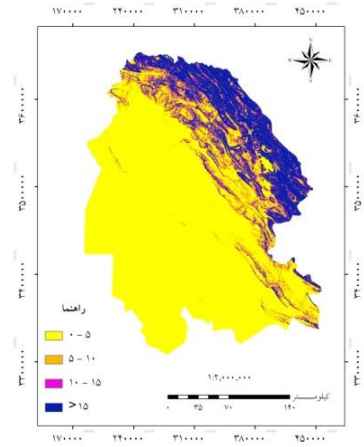
شیب: با توجه به شکل ۲۱ و جدول ۱۲، طبقه اول با شیب ۵-۰ درصد بیشترین وزن ۰/۰۲۵ را به خود اختصاص داده و کمترین وزن در طبقه چهارم با شیب بالای ۱۵ درصد ۰/۰۰۳ قرار گرفته است.



شکل ۱۹) نقشه طبقه بندی دما



شکل ۲۰) نقشه طبقه بندی ارتفاع



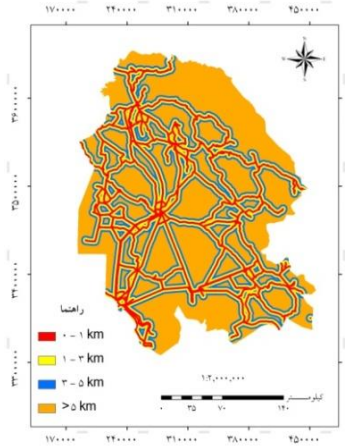
شکل ۲۱) نقشه طبقه بندی شیب

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

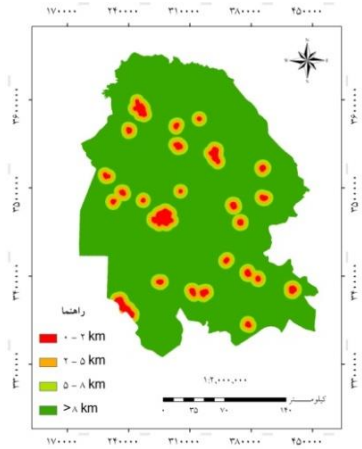
فاصله از راه های ارتباطی: راه ها در فواصل ۱-۰ کیلومتر، ۳-۱ کیلومتر، ۵-۳ کیلومتر و بالای ۵ کیلومتر طبقه بندی شدند. بیشترین وزن به کلاس اول با وزن ۰/۰۳۷ و کمترین وزن به کلاس چهارم با وزن ۰/۰۰۴ اختصاص داده شد (شکل ۲۲).

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

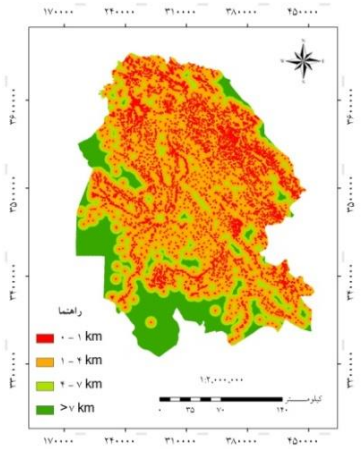
فاصله از روستاها: نقشه فاصله از روستاها به ۴ کلاس طبقه بندی شد. با توجه به جدول ۱۲ و شکل ۲۴ فواصل ۴-۱ کیلومتر به روستاها، وزن بیشتری را گرفته و کمترین وزن در فواصل ۱-۰ می باشد.



شکل ۲۲) نقشه طبقه بندی فاصله از راه های ارتباطی



شکل ۲۳) نقشه طبقه بندی فاصله از شهرها

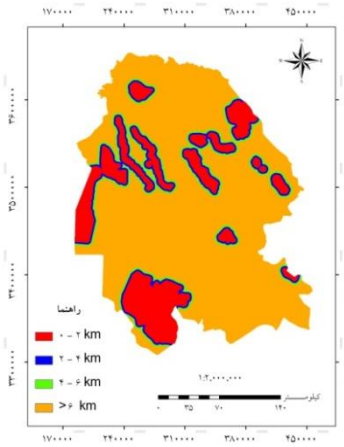


شکل ۲۴) نقشه طبقه بندی فاصله از روستاها

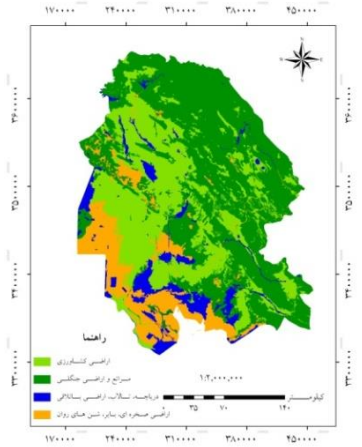
فاصله از مناطق حفاظت شده: با توجه به شکل ۲۵، فواصل نزدیک به مناطق حفاظت شده مکان های محدودیت دار می باشند، و وزن کمتری به این مناطق اختصاص می یابد. فواصل بالای ۶ کیلومتر از مناطق حفاظت شده وزن بیشتری را به خود اختصاص داده اند (جدول ۱۲).

کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی به ۴ کلاس (۱- اراضی کشاورزی، ۲- مراتع 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).

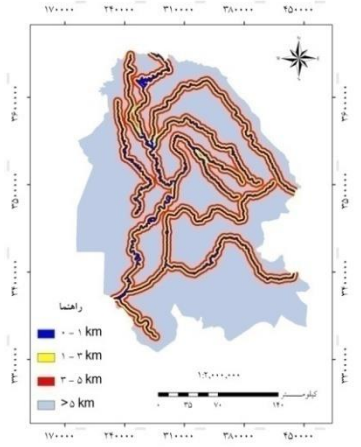
فاصله از رودخانه ها: با توجه به شکل ۲۷، فواصل نزدیک به رودخانه ها مکان های محدودیت دار می باشند، و وزن کمتری به این مناطق اختصاص می یابد. فواصل بالای ۵ کیلومتر از رودخانه ها وزن بیشتری را به خود اختصاص داده اند.



شکل ۲۵) نقشه طبقه بندی فاصله از مناطق حفاظت شده



شکل ۲۶) نقشه طبقه بندی کاربری اراضی

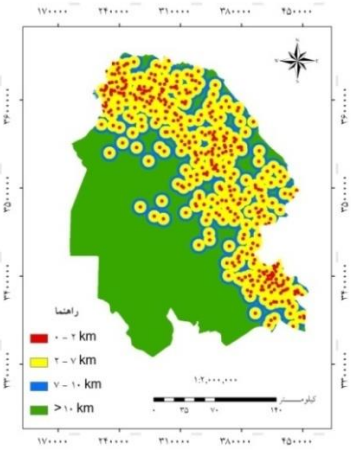


شکل ۲۷) نقشه طبقه بندی فاصله از رودخانه ها

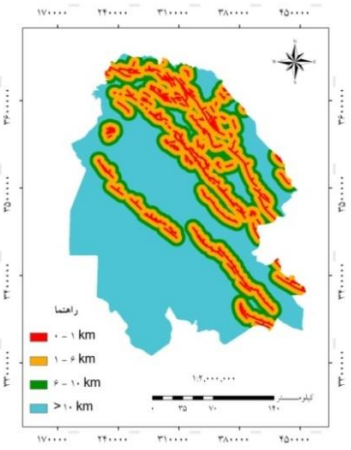
فاصله از کانون های زلزله: با توجه به شکل ۲۸، فواصل نزدیک به کانون های زلزله مکان های محدودیت دار می باشند، و وزن کمتری به این مناطق اختصاص می یابد. فواصل دورتر از کانون های زلزله وزن بیشتری را به خود اختصاص داده اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

فاصله از گسل ها: این نقشه در ۴ کلاس طبقه بندی گردید. طبقه اول با، بافر ۱ کیلومتر از گسل‌ها 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

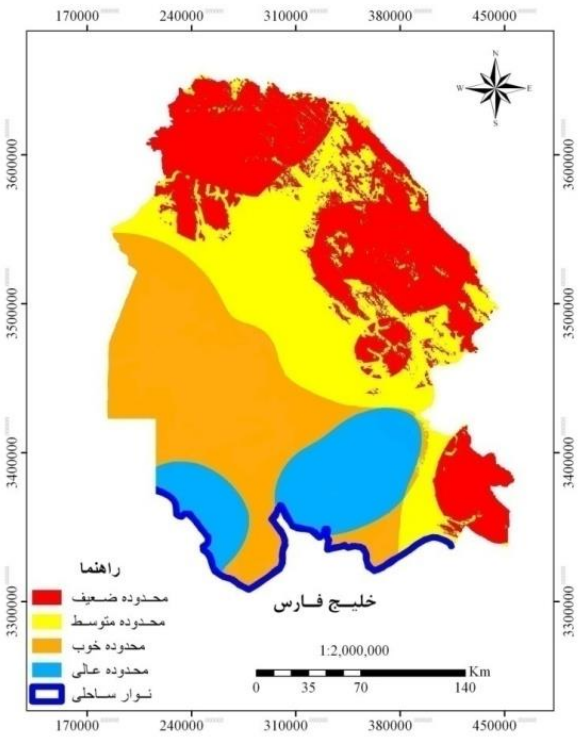


شکل ۲۹) نقشه طبقه بندی فاصله از گسل ها

با تلفیق لایه‌های 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



[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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 شناسایی 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] آقاابراهیمی، م. ر.، ا. امینی و م. کمالی مقدم. (۱۳۸۸). کاربرد GIS در امکان سنجی احداث نیروگاه های بادی مطالعه موردی: خراسان جنوبی. اولین کنفرانس انرژی تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران. دانشگاه بیرجند.

[۲] بهشتی فر، س.، م. ج. ولدان زوج. م. سعدی مسگری و م. کریمی. (۱۳۸۵). مکان یابی نیروگاه های گازی با استفاده ازGIS . 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. ۱۰۰۸ صفحه.

[۵] شوندی، ش، (۱۳۸۴). چیدمانی بهینه توربین های بادی در مزارع باد، چهارمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.

[۶] صلاحی، ب. (۱۳۸۳). پتانسیل سنجی انرژی باد و برازش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه های سینوپتیک استان اردبیل. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۶۰۲.

[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 شاهرود، 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]نصرالهی، 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

[۱۳]نوراللهی،ی.، م. ع. ا شرف، و م. زمانی. (۱۳۸۹). پتانسیل سنجی انرژی باد برق منطقه ای باختر با ا ستفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). شرکت مشاوران انرژی و اقتصاد شایگان.

[۱٤]Bazzi, A., M. (۲۰۰۸). GIS-based wind farm site selection in Lebanon. ICEE xplore.

[۱٥]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.

[۱٦]Bertolini, M. (۲۰۰٦). 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. ۱٤:۱۳۳-۱٤٤.

[۱۸]Cheng, Dar Yue. Shi, Sian., Wang. (۲۰۰٦). GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan, Energy Policy. ۳٤: ۷۳۰–۷٤۲.

[۱۹]Cimren, E., B. Çatay and E. Budak. (۲۰۰۷). Development of a machine tool selection system using AHP, International Journal of Advanced Manufacturing Technology. ۳٥: ۳٦۳–۳۷٦.

[۲۰]Gipe, P. (۲۰۰٤). Wind power: renewable energy for home, farm and business, NewYork: Chelsea Green.

[۲۱]IEC٦۱٤۰۰-۱: cited in Wind Energy Handbook, (Tony Burton,et al,John Wiley & sons UK). (۲۰۰۱). ISBN:۰٤۷۱-٤۸۹۹۷-۲.p ۲۱۰.

[۲۲]Janardhana Raju, N., T. V. K. reddy, P. Munirathnam. (۲۰۰٦). Subsurface dams to harvest rainwater- a case study of the Swarnamukhi River basin. Southern India. Hydrology Journal. ۱٤: ٥۲٦-٥۳۱.

[۲۳]Malczewski. J. (۲۰۰٦). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature.International Journal of Geographical Information Science: ۲۰(۷): ۷۰۳–۷۲٦.

[۲٤]Malczewski, J. (۲۰۰۰). On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. Transactions in GIS. ٤(۱): ٥-۲۲.

[۲٥]Moreno, J. (۲۰۰٥). A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP- group decision making, Group Decision and Negotiation. ۱٤: ۸۹–۱۰۸.

[۲٦]Saaty, T. L., (۱۹۸۰). The Analytical Hierarchy Process. McGraw Hill, New York. pp ۳٥۰.

[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. ۲٤: ٥۹-۷۱.

[۳۰]Ying. X. Zeng, GM. Chen, GQ. Tang, L. Wang, KL and DY. Huang. (۲۰۰۷). "Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of ecoenvironment quality-A case study of Hunan Province, China. Ecol Model. ۲۰۹ (۲–٤):۹۷–۱۰۹.

[۳۱]Yue, C., D. S., S,Wang. (۲۰۰٦). "GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources:a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan".‖ Energy Policy. ۳٤: ۷۳۰–۷٤۲.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]