علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره دوازده، اسفند ماه ۹۹

مکان یابی نیروگاه‌های بادی در استان سمنان با استفاده از روش AHP

حسن رضایی [۱]
Rezaei_hasan63@yahoo.com
مختار کرمی [۲]
فهیمه شاکری [۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۸**

چکیده

زمینه و هدف: محدودیت ذخایر انرژی فسیلی در جهان و افزایش سطح مصرف انرژی، همواره بشر را برای جایگزین کردن منابع انرژی جدید به چالش کشیده است. در این بین، باد به عنوان یکی از مظاهر انرژی‌های نو از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. استان سمنان با توجه به وضعیت توپوگرافی و موقعیت نسبی خود یکی از مناسب‌ترین مکان ها برای احداث نیروگاه بادی می‌باشد.

روش بررسی: در این پژوهش برای تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه بادی در این استان، معیارها و زیر معیارهای مختلفی مد نظر قرار گرفت و با توجه به اهمیت تلفیق اطلاعات، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی به لایه‌ها انتخاب و به کمک نرم‌افزار Expert choice پیاده‌سازی گردید. از نرم‌افزار Arc GIS، به منظور تحلیل فضایی و همپوشانی لایه‌ها استفاده شد و بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات، استان سمنان از نظر قابلیت احداث نیروگاه بادی به چهار سطح عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم گردید.

یافته ها: در نهایت نتایج حاصل نشان گر آن است که سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک سیستم حمایتی تصمیم‌گیری، می‌تواند هم در آماده‌سازی داده‌ها و هم در مدل کردن اولویت‌ها و نظرات کارشناسان در رابطه با عوامل مختلف بسیار کارامد باشد و طراحان را در انتخاب مکان مناسب جهت احداث نیروگاه بادی یاری کند.

بحث و نتیجه گیری: در این تحقیق، ۳ منطقه، با در نظر گرفتن همپوشانی و انطباق نقشه‌های محدودیت، شرایط اقلیمی و نیز بازدید میدانی تعیین گردیدند که این مناطق به ترتیب دامغان، شمال غرب گرمسار و به صورت رگه‌هایی در شرق شاهرود می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، نیروگاه بادی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، سمنان.

۱- دکتری اقلیم کشاورزی، مدرس دانشگاه افسری امام علی(ع). *(مسول مکاتبات)
۲- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.
۳- دانشجوی دکتری اقلیم شهری، دانشگاه حکیم سبزواری.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.12, March, 2021

Site selection of wind farms in Semnan province by using AHP method

Hasan Rezaei[1]*

Rezaei_hasan63@yahoo.com

Mokhtar Karami[2]

Fahimeh Shakeri[3]

Admission Date:November 9, 2015 Date Received: October 21, 2014

Abstract

Background and Objective: Limited fossil energy source and increase of energy demand is always pushed man to search for new energy sources as replacement. In this case the winds always have a special place in the new generation of energy sources. Semnan province with favourable topographical and relativity suitable situation is one of the best places for building a wind farm.

Method: Therefore, in this research different criteria and sub criteria have been used to identify the suitable location for building wind farms in Semnan province, As the importance of information fusion, Analytic Hierarchy Process (AHP) method were employed for weighting the layers and the Expert Choice software implemented for this purpose. The Arc GIS program has been used for special analyses and overlapping of layers. After the analysis of information, according to the capacity of building wind farms, province of Semnan has been divided to four parts of great, good, normal and weak.

Findings: At last, it is indicated that Geographic Information System as a Supportive Decision making system can be practical both in preparing of data and designing the priorities and giving expert's ideas dealing with different factors and also help the designers to select the proper location for the wind farms.

Discussion and Conclusion: In this research, three regions have been determined, considering priority of overlaying and limitation of land and places, survey of priority area also considering the climate condition and personal observation have been determined that this places are Damghan, Nothwestern of Garmsar and and some part of eastern Shahroud.

Keywords: Site Selection, Geographic Information System, Wind Farm, Analytic Hierarchy Process, Semnan.

1 - PhD in Agricultural Climatology, Lecturer in Geography, Imam Ali Officer University. *(*Corresponding Author)*

2- Assistant professor, Department of Geography and Environmental Sciences, Hakim sabzevari university.

3- PhD student climatology Urban, Hakim sabzevari university.

مقدمه

گستردگی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از مسایل مهم و اساسی محسوب می‌شود (۱). تلاش برای دستیابی به یک منبع انرژی پایان‌ناپذیر از آرزوهای دیرینه انسان بوده است. منابع انرژی فسیلی نظیر نفت، گاز، زغال سنگ، اورانیوم و غیره روزی به اتمام خواهند رسید (۲). با اتمام انرژی‌های فسیلی غیر قابل تجدید، تمدن بشری که به انرژی وابسته است، مختل خواهد شد(۳). از طرف دیگر، مصرف منابع تولید انرژی فسیلی مشکلات و هزینه‌های مادی و زیست محیطی خاص خود را در پی دارد. استفاده از انرژی اتمی نیز صرف نظر از پیامدهای شدید زیست‌محیطی نظیر زباله‌های اتمی و غیره، هزینه بالا و تکنولوژی پیشرفته‌ای می‌طلبد. این مساله سبب شده است که بشر همواره در پی منابع انرژی نو جهت جایگزینی دو منبع انرژی مذکور باشد؛ منابعی که نه تنها ارزان قیمت و قابل دسترس باشد، بلکه مصرف آن ها آلودگی چندانی به بار نیاورد (۴). با در نظر گرفتن پارامترهای جغرافیایی، اقتصادی، زیست-محیطی و زمین‌شناسی می‌توان به پتانسیل‌یابی مناطق برای نیروگاه بادی از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی دست یافت. تاکنون پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج در رابطه با امکان استفاده از پتانسیل انرژی باد برای مناطق مختلف جغرافیایی انجام شده است. یکی از پژوهش‌ها در این زمینه، کار بابان و پاری[1](۵) است که توسعه و اعمال یک رویکرد به کمک GIS[2] به منظور مکان‌یابی نیروگاه باد در انگلستان را مورد بررسی قرار دادند. آن ها با استفاده از GIS از ۲ روش مختلف برای ترکیب لایه‌های اطلاعاتی ایستگاه لنکشایر[3] استفاده کردند. اول همه لایه‌ها به یک اندازه مهم در نظر گرفته شدند و به آن ها وزن برابر داده شد. دوم، لایه‌های اطلاعاتی گروه بندی شده و با توجه به درجه اهمیت شان رتبه‌بندی شدند و نشان دادند که از این نقشه‌ها می‌توان برای کمک به فرآیند تصمیم‌گیری و یافتن محل مناسب نیروگاه بادی استفاده کرد. در پژوهشی دیگر، بنیوی[4] و همکاران (۶) مکان مناسب برای توربین‌های بادی بزرگ با استفاده از GIS را انتخاب نمودند. این تحقیق که بر روی ۵ استان کشور تایلند انجام شده است، با هدف به کار بردن جامع سیستم اطلاعات جغرافیایی با ترکیب سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) برای انتخاب بهتر و موثرتر مکان توربین‌های بادی بزرگ در تایلند است. برای دستیابی به این منظور از پارامترهایی هم چون: اطلاعات سرعت باد، ارتفاع، شیب، بزرگ راه ها، راه‌آهن‌ها، مناطق ساخته شده، مناطق جنگلی و مناطق خوش منظره استفاده شده است که در نهایت بهترین مکان برای نصب توربین بادی در سواحل شرقی تایلند از استان ناخن سی تام‌مارت[5] تا استان ناراتی‌واس[6] انتخاب شدند. تحقیقات انجام یافته در گذشته نشان‌گر توانایی بالای سیستم اطلاعات جغرافیایی در مشخص کردن مکان‌های مستعد برای استفاده از انژی بادی می‌باشد. از دیگر پژوهش‌ها در این زمینه، می‌توان به کار پرابام‌رونگ[7] و همکاران (۷)، مصطفایی پور، و همکاران[8] (۸)، شاتا احمد[9] (۹)، ماسّران[10] و همکارانش (۱۰)، هموداً[11] (۱۱) و .... اشاره کرد. می‌توان از پژوهش‌های انجام یافته در داخل به پتانسیل‌سنجی انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسط نوراللهی و همکاران(۱۲) در سال ۱۳۹۰ نام برد. در روش محاسبه پتانسیل باد در این مقاله معیارهای مورد نظر با اهمیتی یکسان مورد بررسی قرار گرفته‌اند و این معیارها شامل معیارهای فنی، زیست محیطی، اقتصادی و جغرافیایی می‌باشند. این مطالعات نشان داده است که با فرض استفاده از توربین Gamesa G58 می‌توان حداکثر ۱۸۹۷ مگاوات برق بادی در منطقه مورد مطالعه تولید کرد که این مقدار تامین کننده‌ی ۲۶٪ برق منطقه در افق ۱۴۰۴ می‌باشد. هم چنین به

1- Baban and Tim Parry
2- Geographic Information system
3- Lancashire

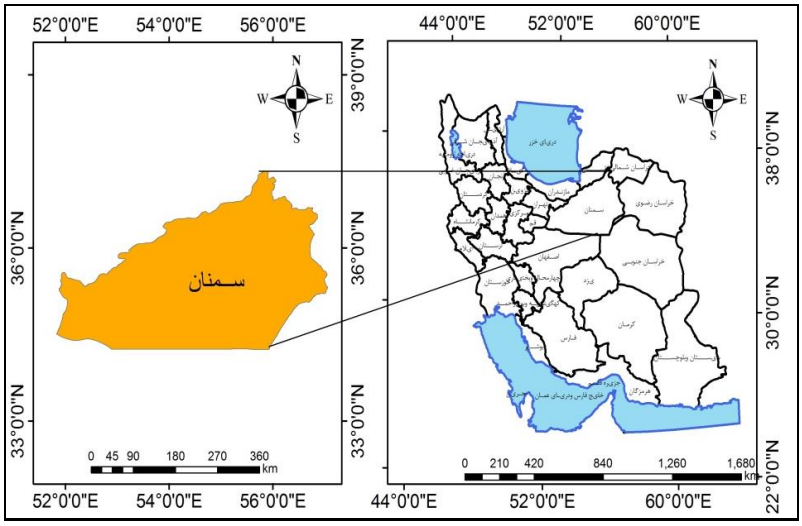
4- Bennui
5- Nakhon Si Thammarat
6- Narathiwas
7- Prabamroong
8- mostafaeipour
9- shata ahmed
10- Masseran
11- hamouda

پتانسیل سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه اشاره نمود که در سال ۱۳۹۱ توسط محمدی و همکاران(۱۳) بر پایه داده‌های جهت و سرعت سه ساعته باد ایستگاه‌های همدید کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، روانسر، کنگاور و سرپل ذهاب، در طول سال-های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶ انجام شده است. نتایج این پژوهش گویای آن است که سه ایستگاه روانسر، سرپل ذهاب و کنگاور، پتانسیل مناسبی برای تولید انرژی باد دارند. منطقه اسلام آباد غرب در صورت استفاده از توربین‌های بادی مرتفع، برای بهره برداری از انرژی باد مناسب است و کرمانشاه برای استفاده از انرژی باد، پتانسیل مناسبی ندارد. به همین منظور سعی بر این است که در استان سمنان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی و شناسایی نیروگاه‌های بادی پرداخته و توان منطقه در تولید انرژی الکتریسیته مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، با وسعتی حدود ۹۶۸۱۵ کیلومتر مربع، در محدوده‌ی جغرافیایی، بین مدارهای ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۰ ددقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان از جانب شمال به استان‌های خراسان شمالی، گلستان و مازندران، از جنوب به استان‌های یزد واصفهان، از مشرق به استان خراسان رضوی و از مغرب به استان‌های تهران و قم محدود می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور(منبع :نویسنده مقاله).

Figure 1. Location of the study area in the country. (Source: Authors)

در مکان‌یابی نیروگاه بادی، به عنوان یک مساله تصیم‌گیری به مواد و ابزار خاص این موضوع نیاز می‌باشد. در این تحقیق، از آمار ۲۵ ساله (۲۰۱۲-۱۹۸۷) اقلیمی استان سمنان استفاده شد و برای تجزیه و تحلیل فضایی و تهیه نقشه‌های معیارهای اقلیمی، جغرافیایی، اقتصادی-اجتماعی، زیست‌محیطی و زمین شناسی از نرم‌افزار ARC GIS9.3 بهره برداری گردید. به منظور بررسی کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ ماهواره لندست مربوط به سال ۲۰۰۸ و برای تحلیل و تفسیر اطلاعات آن از نرم‌افزار ENVI+8 و از تابع الحاقی Spatial Analyst استفاده شد. هم چنین برای وزن‌دهی به لایه‌ها از نرم‌افزار Expert choice بهره برداری گردید.

روش پردازش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) و تعیین اهمیت ضریب معیارها:

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین روش‌های تصمیم-گیری برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای

1. Analytic Hierarchy Process

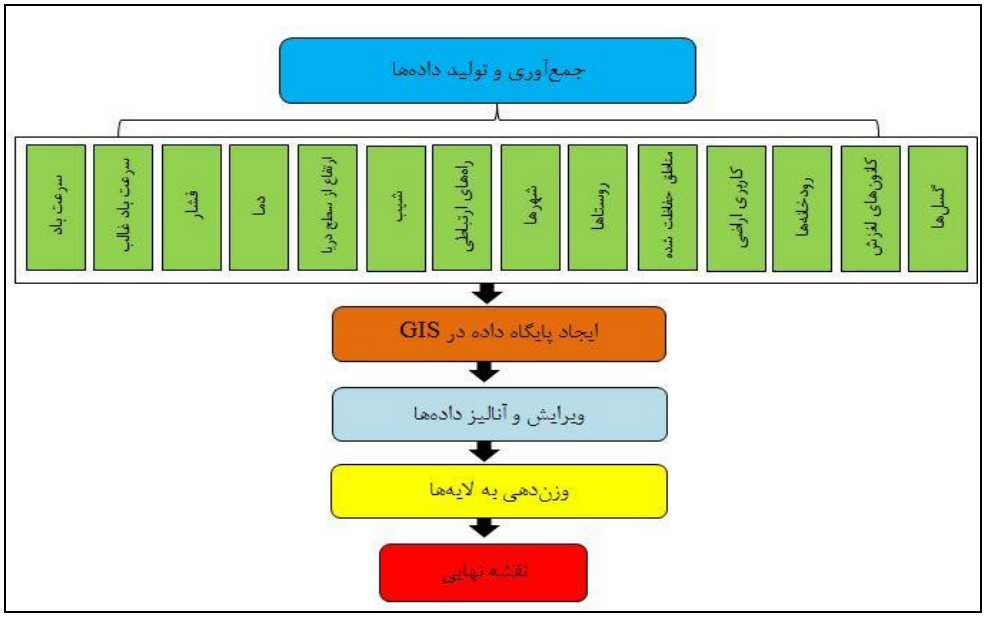
چندگانه باشد (۱۴)، زیرا تحلیل‌گران یا تصمیم‌گیرندگان را جهت سازماندهی مسایل حساس و حیاتی یاری می‌نماید (۱۵). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل اهداف، معیارها و گزینه‌های احتمالی است که در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند. در این فرآیند ، شناسایی عناصر و ارتباط بین آن ها منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود. دلیل سلسله مراتبی بودن، ساختار خلاصه‌سازی عناصر تصمیم‌گیری هم چون زنجیری در سطوح مختلف است. پس، ایجاد یک ساختار سلسه مراتبی از موضوع مورد بررسی، نخستین گام در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به شمار می‌رود و اهداف، معیارها و گزینه‌ها و نیز ارتباط آن ها در همین ساختار نشان داده می‌شود. مراحل بعد در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شامل محاسبه وزن (ضرایب اهمیت) معیارها و زیر معیارها، محاسبه‌ی ضریب اهمیت (وزن) گزینه‌ها محاسبه‌ی نهایی گزینه‌ها، و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌هاست (۱۷-۱۶).

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، برتری بین گزینه‌ها به وسیله‌ی مقایسه جفتی بین آن ها تعیین می‌شود. در مقایسه جفتی روال کار چنین است که برای بررسی دو گزینه یکی از آن ها را در نظر گرفته و به وسیله‌ی آن ارجحیت یا اهمیت دو گزینه را نسبت به هم می‌سنجند (۱۸). در این فرآیند از اعداد ۱ تا ۹ به عنوان یک مقیاس استاندارد، برای مشخص کردن اهمیت گزینه‌ها (از اهمیت مساوی تا اهمیت فوق العاده زیاد) نسبت به هم استفاده می‌شود. در ماتریس مقایسه جفتی، عدد ۹ نشان دهنده اهمیت فوق العاده زیاد یک معیار نسبت به دیگری است و عدد ۱/۹ نشان دهنده‌ی ارزش فوق العاده پایین یک معیار نسبت به معیار دیگر و ارزش عددی ۱ نیز نشان دهنده‌ی اهمیت‌های برابر می‌باشد (۱۹). شکل (۲) مراحل مختلف تحقیق را به شکل شماتیک نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقیاس ۹ ساعتی برای مقایسه جفتی (۲۰-۲۱).

Table 1. 9-hour scale for pair comparison (20-21).

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف، دو معیار اهمیت مساوی دارند
۳	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت i بیشتر از j است.
۵	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که اهمیت i خیلی بیشتر از j است.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد 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
۲،۴،۶،۸	مقادیر متوسط بین دو قضاوت مجاور	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد



شکل ۲- مراحل مختلف تحقیق.

Figure 2. Different stages of research.

تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها و میزان سازگاری

تا این مرحله، ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها در ارتباط با هدف مطالعه و نیز ضرایب اهمیت (امتیاز) گزینه‌ها در ارتباط با هریک از زیر معیارها تعیین شده است. در این مرحله، از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین خواهد شد. برای این کار از «اصل ترکیب سلسله مراتبی» ساعتی که منجر به بردار اولویت، با در نظر گرفتن همه قضاوت-ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده خواهد شد (۲۲).

یکی از مزیت‌های فرآیند سلسله مراتبی این است که میزان سازگاری مقایسه‌های انجام شده را مشخص می‌کند. این میزان نشان می‌دهد که تا چه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضای گروه یا اولویت‌های جدول‌های ترکیبی اعتماد کرد. تجربه نشان داده است که اگر میزان سازگاری (C.R) کمتر از ۰/۱۰ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت، در غیر این صورت باید مقایسه‌ها مجددا انجام گیرد (۲۳). میزان سازگاری به روش ذیل قابل محاسبه می‌باشد.

$$C.R. = C.I./ R.I. \quad (۱)$$

$$C.I. = \lambda Max - n / n \quad (۲)$$

در روابط فوق n تعداد گزینه‌های رقیب و R.I. شاخص سازگاری تصادفی است. با توجه به این که مقدار سازگاری کمتر از ۰/۱به دست آمد، ماتریس تلفیق شده گروهی مقایسات زوجی انواع معیارهای مکان‌یابی نیروگاه بادی از سازگاری برخوردار است.

حداقل محدودیت‌های اعمال شده بر روی لایه‌ها

در هر عملیات یا پژوهش مکان‌یابی نیاز است تا برای جلوگیری از تلف شدن وقت و هزینه، از بین رفتن محیط زیست و حیات جانوری و نیز برای دوری کردن از بلایایی طبیعی مانند زلزله، سیل، ..... حداقل محدودیت‌هایی در نظر گرفته شود. این کار در محیط نرم‌افزار Arc GIS به صورت باینری یا همان ۰ و ۱ انجام گرفت و به مناطقی که در کم‌تر از حداقل فاصله‌های در نظر گرفته شده قرار داشتند عدد ۰ و به مناطقی که در محدوده مناسب قرار داشتند عدد ۱ اختصاص داده شد. جدول (۲) نشان گر عوامل محدود کننده، حداقل و حداکثر فاصله از معیارهای مورد بررسی می‌باشد.

جدول ۲- عوامل محدود کننده، حداقل و حداکثر فاصله از معیارهای مورد بررسی (۵).

Table 2. Limiting factors, minimum and maximum distance from the studied criteria (5).

ردیف	کلاس عوامل	جزییات عامل	حداقل فاصله (M)	حداکثر فاصله (M)
۱	فاصله از مناطق حفاظت شده	پناهگاه حیات وحش منطقه حفاظت شده منطقه شکار ممنوع	۲۰۰۰	۴۰۰۰
۲	فاصله از کانون‌های لغزش	-	۵۰۰	۱۵۰۰
۳	فاصله از گسل‌ها	-	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰
۴	فاصله از رودخانه‌ها	-	۱۰۰۰	-
۵	فاصله از راه های ارتباطی	-	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰
۶	فاصله از شهرها	-	۲۰۰۰	۶۰۰۰
۷	فاصله از روستاها	-	۱۰۰۰	-

نتایج و بحث

وزن معیارها

در اولین اقدام، وزن معیارها تعیین می‌شود. این وزن‌ها، با توجه به اهمیت معیارها در مقابل یک دیگر، نسبت به هدف "مکان-یابی احداث نیروگاه بادی" تعیین می گردد. ابتدا معیارهای لایه‌های اصلی با یک دیگر مقایسه می‌شوند. در شکل (۳) مقایسه زوجی معیارهای لایه‌های اصلی در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی نشان داده شده که در آن معیار اقلیمی با وزن ۰/۵۱۵ و معیار زمین‌شناسی با وزن ۰/۰۵۳ به ترتیب بیشترین (زیرا عوامل اقلیمی که شامل گزینه‌های سرعت باد، سرعت باد غالب ، فشار و دما می‌باشد از اصلی‌ترین عوامل مکان‌یابی نیروگاه بادی می‌باشد به همین دلیل وزن بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند) و کمترین تاثیر را در احداث نیروگاه بادی دارد و شکل (۳) وزن‌های محاسبه شده معیارها در نرم افزار Expert Choiceرا نشان داده

که میزان سازگاری در آن ۰/۰۸ می‌باشد این مقدار کمتر از مقدار استاندارد آن یعنی ۰/۱ بوده و این نشان دهنده‌ی دقت وزن‌دهی‌های انجام شده است.

معیارهای اقلیمی

معیارهای اقلیمی یکی از مهم‌ترین معیارها جهت احداث نیروگاه‌های بادی می‌باشند. در این تحقیق، عناصر اقلیمی، در مقایسه با معیارهای دیگر دارای اهمیت بالاتری بوده و در نتیجه وزن بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. در این خصوص پارامترهای اقلیمی سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما از زیر معیارهای اقلیمی بوده که برای مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی انتخاب شده‌اند.

معیارهای جغرافیایی

یکی از عوامل اصلی که باید در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی مورد توجه قرار گیرد، معیارهای جغرافیایی است. زیر معیارهای جغرافیایی مورد بررسی، ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین می-باشند که هر چه ارتفاع و شیب (در شیب‌های منفی یا چاله‌ها نباید اقدام به احداث نیروگاه بادی نمود، زیرا که این گودی‌ها به صورت مانع در برابر باد عمل می کنند) کم باشد بنابر، این حمل تجهیزات آسان تر شده و لذا از لحاظ اقتصادی باصرفه خواهد بود. این معیارها پس از وزن‌دهی، در محیط نرم‌افزار ArcGIS مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

معیارهای اقتصادی –اجتماعی

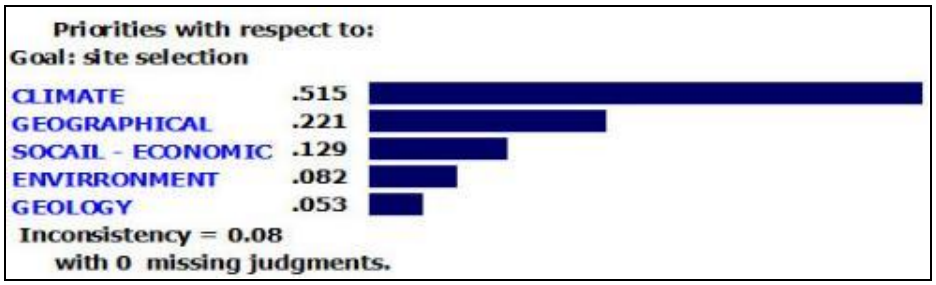
از دیگر معیارهای مهمی که در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی باید به آن توجه داشت، معیارهای اقتصادی –اجتماعی می-باشد. معیارهای اقتصادی – اجتماعی شامل زیر معیارهای فاصله از راه های ارتباطی (جاده‌های فرعی، جاده‌های اصلی، خطوط راه آهن)، فاصله از شهرها و روستاها (مراکز جمعیتی) می‌باشند. فاصله استاندارد از راه های ارتباطی دستیابی به شبکه‌های برق سراسری را راحت‌تر خواهد نمود و نیازی به احداث جاده‌های جدیدتر نخواهد بود هم چنین ساختمان‌ها در شهرها و روستا به دلیل این که نوعی مانع در برابر عملکرد باد محسوب می‌شوند، باعث پایین آمدن توان قابل استحصال از توربین بادی خواهد شد. لذا در احداث نیروگاه بادی باید فاصله-های استاندارد از این مناطق حفظ شود.

معیارهای زیست‌محیطی

توجه به مسایل زیست‌محیطی در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی در حال حاضر یکی از مهم‌ترین اهداف پژوهشی در ایران و جهان می‌باشد. معیارهای زیست محیطی شامل زیر معیارهای فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌ها می‌باشد، زیرا که این مناطق همواره محل زندگی گونه‌های نادر گیاهی و جانوری هستند مخصوصا ساحل دریاها که محل زندگی پرندگان مهاجر است و احداث نیروگاه بادی در مناطق باعث برخورد پرندگان به پره‌های توربین بادی و تلف شدن آن ها خواهد شد.

معیارهای زمین‌شناسی

بررسی معیارهای زمین‌شناسی جهت احداث نیروگاه بادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا که عدم توجه به معیارهای زمین‌شناسی برای احداث نیروگاه بادی باعث آسیب دیدن شدید نیروگاه و اتلاف سرمایه‌ها در احداث نیروگاه خواهد شد. زیر معیارهای زمین‌شناسی عبارتند از فاصله از کانون‌های لغزشی و فاصله از گسل‌ها که برای تعیین مکان مناسب جهت احداث نیروگاه بادی مورد توجه قرار می‌گیرند.



شکل ۳- وزن‌های محاسبه شده معیارها در نرم‌افزار Expert Choice.

Figure 3. Calculated weights of criteria in Expert Choice software.

وزن زیر معیارها

با توجه به این که برای هر معیار، زیر معیارهایی تعریف شده است، در این مرحله، برای وزن‌دهی به زیر معیارها، دو به دو آن‌ها با هم مقایسه می‌شوند. بدین صورت برای هر کدام از زیر معیارها، به طور جداگانه مقایسه زوجی انجام می‌گیرد. در ادامه به طور جداگانه به بررسی و ارزیابی هر یک از زیر معیارها پرداخته شده است.

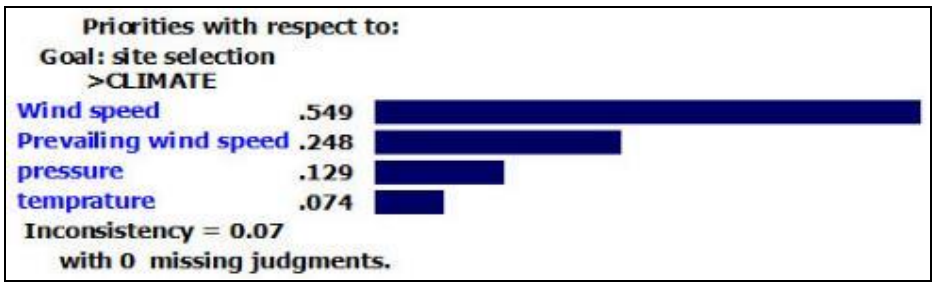
زیر معیار اقلیمی

سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما جزء زیر معیارهای معیار اقلیمی می‌باشند که بعد از وزن‌دهی مورد آنالیز قرار گرفتند. در بررسی شکل (۴) که مقایسه زوجی معیار اقلیمی در آن انجام گرفته و میزان سازگاری مقایسه زوجی بین معیارها در آن ۰/۰۷ می‌باشد، سرعت باد بیشترین وزن (۰/۵۴۹) و دما کمترین وزن (۰/۰۷۴) را بخود اختصاص داده است در این جا با توجه به این که سرعت باد اصلی‌ترین عامل در مکان‌یابی نیروگاه بادی می‌باشد، وزن بیشتری به خود اختصاص داده

است. دلیل پیشی گرفتن وزن سرعت باد به سرعت باد غالب این است که امروزه با پیشرفت تکنولوژی توربین‌هایی تولید می‌شوند که توانایی چرخش را در همه جهات باد دارا می‌باشند، بنابراین وزن کمتری به سرعت باد غالب نسبت به سرعت باد اختصاص داده شد.

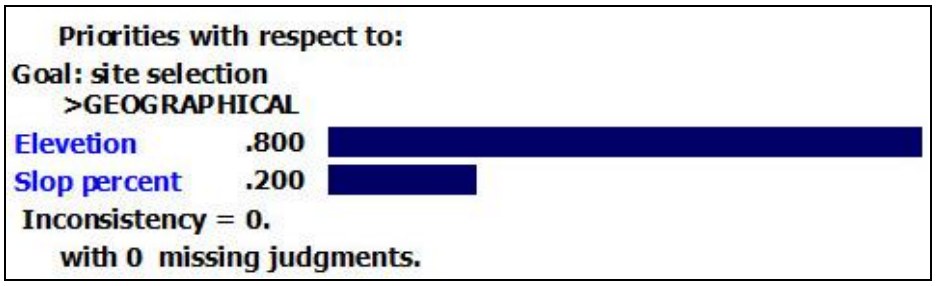
زیر معیارهای جغرافیایی

زیرمعیارهای جغرافیایی شامل ارتفاع از سطح دریا و شیب می‌باشد. این لایه‌ها بعد از وزن‌دهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. شکل (۵) نمودار وزن‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد که ضریب یا میزان سازگاری در آن صفر می‌باشد همچنین با توجه به این که ارتفاع هر چه کمتر باشد در نتیجه حمل تجهیزات توربین به منطقه آسان‌تر خواهد شد و لذا از لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر خواهد بود، بنابراین معیار ارتفاع از سطح دریا، وزن (۰/۸۰۰) بیشتری نسبت به شیب (۰/۲۰۰) به خود اختصاص داده است.



شکل ۴- نمودار وزن محاسبه شده در نرم‌افزار Expert choice.

Figure 4. Weight chart calculated in Expert choice software.



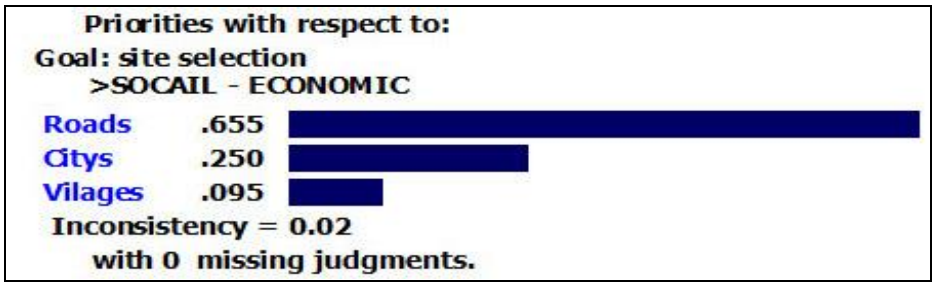
شکل۵- نمودار وزن‌های محاسبه شده در نرم‌افزار Expert choice.

Figure 5. Graphs of weights calculated in Expert choice software.

زیر معیارهای اقتصادی-اجتماعی

زیر معیارهای اقتصادی_اجتماعی شامل فاصله از راه های ارتباطی، فاصله از شهرها و فاصله از روستاها می‌باشد. پس از تولید رسترهای فاصله از تک‌تک این زیر معیارها، اوزان محاسباتی به طبقات مختلف هر زیر معیار اعمال گردیده است. شکل (۶) مقایسه زوجی معیار اجتماعی-اقتصادی را نشان می‌دهد و ضریب سازگاری ۰/۰۲ می‌باشد. در این شکل براساس نظرات کارشناسی راه های ارتباطی وزن (۰/۰۶۵۵) بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند چرا که نیروگاه بادی با قرار گرفتن در فاصله مناسب از راه های ارتباطی از لحاظ اقتصادی به صرفه خواهد بود چون دیگر نیازی به احداث راه های ارتباطی جدید نخواهد بود و هم از لحاظ زیبایی شناسی جلوه‌ی خاصی به منطقه قرارگیری نیروگاه خواهد بخشید و از طرف دیگر باعث کاهش خطرات ناشی از کنده شدن پره‌ها در کناره جاده‌ها خواهد شد که می‌تواند صدمات شدیدی را به وسایل نقلیه وارد

نماید. همچنین نزدیکی به روستا نیز باعث می‌شود تا بتوان از منابع انسانی و مادی روستا به صورت ارزان تر استفاده کرد، یا دوری از شهرها باعث خواهد که در آینده با گسترش شهرها ساختمان‌های بلند به مانند مانع در برابر باد عمل نکنند و توان استحصالی توربین را کاهش ندهند.

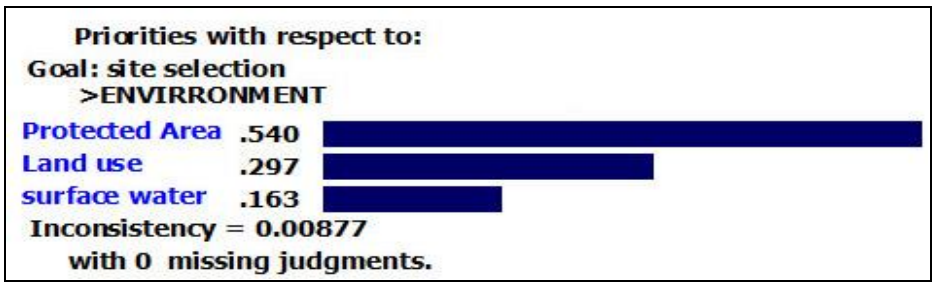


شکل ۶- مقایسه زوجی زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی.

Figure 6. Paired comparison of socio-economic sub-criteria.

زیر معیارهای زیست محیطی

زیر معیارهای معیار زیست محیطی نیز شامل فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌ها می‌باشد. در شکل (۷) مقایسه زوجی زیرمعیارهای معیار زیست‌محیطی انجام گرفت و ضریب سازگاری ۰/۰۰۸۷۷ می‌باشد که نزدیک به صفر است فاصله از مناطق حفاظت شده با توجه به این که اکثرا محل زندگی گونه‌های نادر گیاهی و جانوری می‌باشد، با احداث نیروگاه در این مکان باعث وارد آمدن لطمات شدید به محیط زیست و از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری نادر خواهد شد، همچنین فاصله از رودخانه‌ها نیز به نوبه‌ی خود می‌تواند مانع از صدمه دیدن به پرندگانی باشد که در اطراف رودخانه زندگی می کنند، زیرا با حضور نیروگاه در کنار رودخانه امکان برخورد پرندگان به توربین‌ها و از بین رفتن آن ها افزایش خواهد یافت. لذا براساس نظرات کارشناسان فاصله از مناطق حفاظت شده وزن (۰/۵۴۰) بیشتری را به خود اختصاص داد.

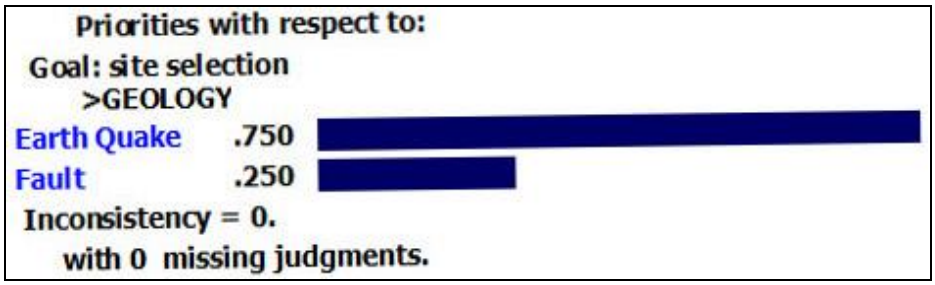


شکل ۷- وزن‌های محاسبه شده زیرمعیارهای، معیار زیست‌محیطی در نرم‌افزار Expert Choice.

Figure 7. Calculated weights of sub-criteria, environmental criteria in Expert Choice software.

زیرمعیار زمین‌شناسی

در تعیین زیر معیارهای زمین‌شناسی، فاصله از کانون‌های لرزش و فاصله از گسل‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که در تعیین مکان نیروگاه بادی باید به نقش عوامل فوق توجه نمود. در شکل (۸) مقایسه زوجی زیر معیارهای معیار زمین‌شناسی در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی ارایه گردیده است که در آن فاصله از کانون‌های لرزشی براساس نظرت کارشناسان به معیار فاصله از گسل‌ها وزن ۰/۷۵۰ تعلق گرفت چرا که احداث نیروگاه بادی در مناطق لرزشی باعث آسیب دیدن توربین‌های بادی و کاهش توان استحصال از توربین‌ها خواهد شد. در این مورد نیز ضریب سازگاری صفر شد.

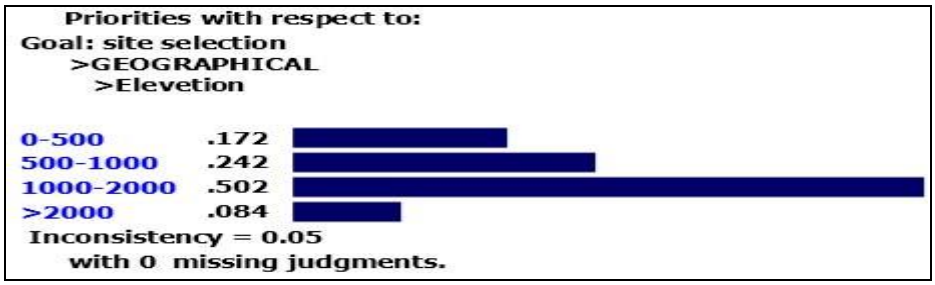


شکل ۸- وزن محاسبه شده زیر معیارهای زمین شناسی در نرم‌افزار Expert Choice.

Figure 8. Weight calculated under geological criteria in Expert Choice software.

وزن گزینه‌ها

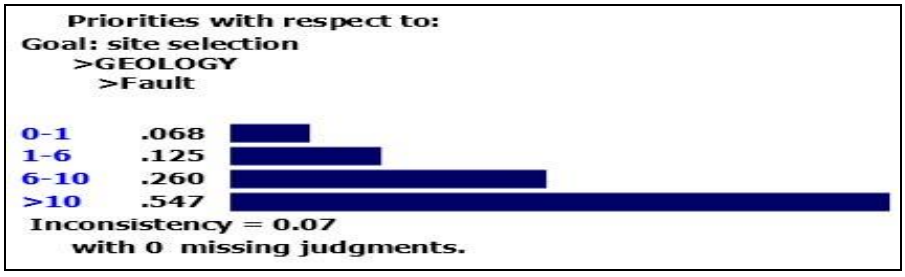
بعد از تعیین وزن زیر معیارها نوبت به تعیین وزن گزینه‌ها می‌شود و اهمیت هر گزینه نسبت به گزینه‌ی دیگر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این جا به دلیل تعدد مقایسه‌ها فقط به ۲ مورد از آن ها (ارتفاع و گسل) اشاره شده است (جدول ۹ و ۱۰) (شکل ۹ و ۱۰). در جدول (۹) که مقایسه‌های زوجی گزینه‌های ارتفاع در آن انجام گرفته، سرعت ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر وزن (۰/۵۰۲) بیشتری را به خود اختصاص داده چرا که بر اساس نظرات کارشناسان امر، ارتفاع مذکور هم از لحاظ سرعت باد و هم از لحاظ حمل تجهیزات حالت متوسط داشته و این امر توان قابل استحصال از توربین بادی را افزایش خواهد داد.



شکل ۹- وزن محاسبه شده گزینه‌های ارتفاع در نرم‌افزار Expert Choice .

Figure 9. Calculated weight of height options in Expert Choice software.

براساس نظرات کارشناسان فعالیت گسل‌ها می‌توانند باعث وارد شدن آسیب‌های جبران ناپذیری به نیروگاه بادی بشوند. بنابراین هرچه در احداث نیروگاه بادی از گسل‌ها فاصله بگیریم، نیروگاه بادی همان‌قدر از آسیب‌های ناشی از فعالیت گسل در امان خواهد بود. بنابراین فاصله بیشتر از ۱۰ کیلومتر وزن (۰/۵۴۷) را در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی به خود اختصاص داد.



شکل ۱۰- وزن محاسبه شده گزینه‌های گسل در نرم‌افزار Expert Choice.

Figure 10. Calculated weight of fault options in Expert Choice software.

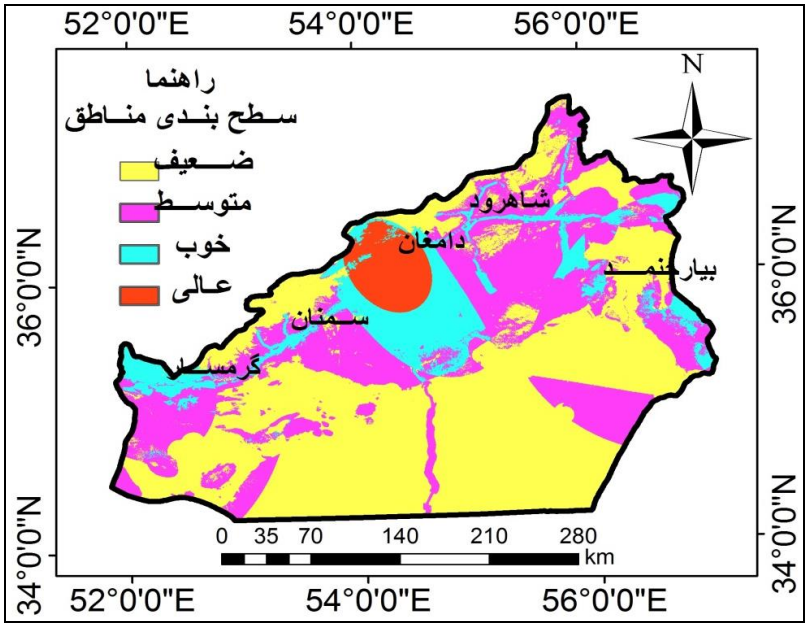
تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از تهیه تمام لایه‌های اطلاعاتی و تعیین عوامل موثر در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی و نقش آن ها در مکان‌یابی، و با انجام مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی به کمک GIS، به تهیه نقشه‌های عوامل موثر در مکان‌یابی نیروگاه بادی پرداخته شد. پس از وزن‌دهی لایه‌های موثر در مکان‌یابی نیروگاه بادی بر اساس فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP)، از قابلیت- های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور تلفیق و هم پوشانی نقشه‌ها استفاده شد و نقشه مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی تهیه گردید. نقشه حاصله در ۴ کلاس (عالی، خوب، متوسط و ضعیف) طبقه‌بندی گردید. منطقه عالی جهت احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد بررسی، در محدوده شمال منطقه مورد مطالعه در ایستگاه دامغان با مساحتی بالغ بر ۳۶۳۱۷۸/۲۵ هکتار قرار دارد و مناطق خوب با مساحتی بالغ بر ۱۱۶۲۱۱۰/۶۰ هکتار شامل ایستگاه های دامغان، گرمسار و رگه هایی در شرق شاهرود واقع می باشند. این در حالی است که کلاس ضعیف با مساحت بالغ بر ۹۷۲۳۴۷۵/۴۶ هکتار، سطح وسیعی از مناطق جنوب، جنوب غرب، جنوب شرق، شرق، مرکز و به صورت نواری شمال منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. در شکل (۱۱) نقشه مکان‌یابی مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه بادی مشخص گردیده است. جدول ۳ مشخصات نقشه مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مشخصات نقشه مکان‌یابی.

Table 3. View map locating.

محدوده	ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد از سطح استان
سمنان	۱	ضعیف	۵۱۸۷۰۵۵	۵۳/۳۵
	۲	متوسط	۳۰۱۱۱۳۱/۶۰	۳۰/۹۷
	۳	خوب	۱۱۶۲۱۱۰/۶۰	۱۱/۹۵
	۴	عالی	۳۶۳۱۷۸/۲۵	۳/۷۳



شکل ۱۱- نقشه مکان‌یابی مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه بادی.

Figure 11. Location map of areas prone to wind power plant construction.

نتیجه‌گیری

در مکان‌یابی سایت توربین‌های بادی باید از وجود بادهای غالب و همیشگی مطمئن بود و از طرفی در طول مسیر جهت این بادها کم‌ترین مانع وجود داشته باشد. به علاوه جهت، سرعت و تداوم باد غالب آن نیز از عوامل بسیار مهم تلقی می‌شوند. با وجود این‌ها، تپه‌های وسیع، مسطح و تقریبا گرد، مناسب‌ترین محل نصب توربین‌های بادی هستند.

با استفاده از مدل AHP و براساس معیارهای مورد نظر و با توجه به نقشه نهایی، مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه بادی در سطح استان سمنان شناسایی شدند. نتایج به دست آمده نشان گر پتانسیل بالای شهرهای دامغان، شمال غرب گرمسار و به صورت رگه‌هایی در شرق شاهرود برای احداث نیروگاه بادی می‌باشند. این مناطق با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل سرعت باد، سرعت باد غالب، وسعت، محدودیت و ... تعیین شده‌اند. در این تحقیق، از بین معیارهای اقلیمی، جغرافیایی، زیست‌محیطی، اقتصادی-اجتماعی و زمین‌شناسی، معیارهای اقلیمی و جغرافیایی شامل سرعت باد، سرعت باد غالب، شیب و ارتفاع با اهمیت بیشتر در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی ارزیابی شده‌اند. یافته‌های این تحقیق توانایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی را در مدل‌سازی و کمک به برنامه‌ریزی محیطی و نیز ترکیب معیارهای کمی و کیفی با مقیاس‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به قابلیت‌هایی که این سیستم‌ها در مدل‌سازی فضایی داده‌ها دارند؛ تعمیم اطلاعات، ساخت مدل‌های جدید و آزمون روش‌های مختلف را دارا می‌باشند. مکان‌یابی و تحلیل با روش AHP به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا بتوانند بر اساس داده‌های مکانی بهتر تصمیم بگیرند. قدر مسلم است که هر چه از معیارهای بیشتر و دقیق‌تری استفاده شود نتایج بهتری را می‌توان انتظار داشت. علی‌رغم انتقاداتی که بر این روش وارد می‌شود، این روش دارای مزایای بسیاری می‌باشد و جهت استقرار و مکان‌یابی انواع تاسیسات انسانی و زیست محیطی کاربرد فراوان دارد و کارایی‌های خود را به اثبات رسانیده است.

Reference

1. Amani, A., and Hosseini Shama Chi, A.2010, Investigation of wind energy potential in South Aras river basin stations, Journal of Geographical Space, 10(29),1-26. (In Persian)
2. Abdoli, H., Sari Sarraf, B., Hosseini Shama, Chi., 2009. Feasibility study of wind energy potential and its application in industrial development projects (Case study: East Azerbaijan province), Journal of Geographical Space, 9 (28), 74-57. . (In Persian)
3. Soltani, B., Gholamian, A., Dastjani Farahani, K., 2010, Investigation of wind energy potential in Amirabad port in order to feasibility of establishing a wind power plant ", Iranian Energy Journal, 13 (13), 1-15. (In Persian)
4. Zahedi, M, Salahi, B., Jamil, M, 2003. Calculation of wind density and power in order to use its energy in Ardabil, Geographical Research, 37 (53), 41-55. . (In Persian)
4. Baban, Serwan M, J, Tim P,.2000. Developing and applying a GIS assisted approach to locating wind farms in the UK, Renewable Energy 24(1), Pp. 59-71.
5. Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboo و U., Phukpattaranont, P., Chetpa T, Tanan ondh, K., 2007. Site selection for large wind turbine using GIS. PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment, Thailand,.1-6.
6. Prabamroong, A., Kasemsan, M., Wanvisa, Ch., and Nuttee, A.,2009. Development of a Gis Decision Support System for Wind Farm Installations in Thailand: Current State and Results. World Renewable Energy Congress– Asia, 690-695.

7. Mostafaeipour, A. A., Sedaghat, B., Dehghan-Niri, C., Kalantar, V., 2011. Wind Energy feasibility study for city of Shahrbabak in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews,15, 2545-2556. (In Persian)
8. Ahmed Shata, A.,2012. Potential wind power generation in South Egypt, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 1528–1536.
9. Masseran, N, A.M, Razali, K. Ibrahim., 2012. An analysis of wind power density derived from several wind speed density functions: The regional assessment on wind power in Malaysia, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 6476- 6487.
10. Yasmina, A., Abdullatif, H., 2012.Wind energy in Egypt Economic feasibility for Cairo. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 3312-3319.
11. Noorullahi, Y., Ashraf, M. A., Zamani, M., .2011. West Regional Wind Wind Energy Potential Assessment Using Geographic Information System (GIS), 8th National Energy Conference, Tehran.
12. Mohammadi, H., Rostami Jalilian, Sh. Taghavi, F. Shamsipour, A. A., 2012, Wind energy potential measurement in Kermanshah province, Natural Geography Research, 44 (2), 19-32.
13. Taylor, B.W., 2004. Introduction to Management Science. Pearson Education Inc. New Jersey.
14. Bevilacqua, M. D., 'Amore, A., & Polonara, F., 2004. A Multi-Criteria Decision approach to Choosing the Optimal Blanching–Freezing System. Journal of Food Engineering, 63: 253-263.
15. Saaty, Thomas, L., 1990.Decision Making for Leaders. Pittsburgh: RWS Publications.
16. Saaty, Thomas L., 1996.the Analytic Network Process. Pittsburgh: RWS Publications.
17. Taha, H.A.,2003. Operations Research. Pearson Education Inc. Fayetteville.
18. Kunz, J., 2010.The Analytic Hierarchy Process (AHP), Eagle City Hall Location Options Task Force, pp.1-25.
19. Bowen, William M., 1990.Subjective judgments and data environment analysis in site selection, Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 14, Pp. 133-144.
20. Dey, P.K., Ramcharan, E.K., 2008. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados, Journal of Environmental Management. Pp. 1384-1395.
21. Bertolini, M., Braglia, M., 2006 . Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, International Journal of Project Management 24, pp. 422-430.
22. Moreno-Jimenez, J.M., 2005. A spread sheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making, Group Decision and Negotiation.Vol, 14. pp 89–108.