مطالعات جغرافیایی مناطق خشک
سال چهارم، شماره چهاردهم، زمستان ۱۳۹۲
دریافت مقاله: ۹۲/۷/۱۱ تایید نهایی: ۹۲/۹/۱۶
صص ۲۹-۱۱

مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در شمال‌شرق کشور با استفاده از روش AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی

مهدی اسدی * دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری
علیرضا انتظاری، استادیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری
الهه اکبری، مربی گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

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. منطقه شمال شرق ایران با توجه به وضعیت توپوگرافی و موقعیت نسبی خود یکی از مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث مزارع بادی می‌باشد. لذا، در این پژوهش برای تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث مزارع بادی در استان‌های خراسان رضوی و شمالی، معیارها و زیر معیارهای مختلفی مد نظر قرار گرفت و با توجه به اهمیت تلفیق اطلاعات، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن-دهی به لایه‌ها انتخاب و به کمک نرم‌افزار Expert choice پیاده‌سازی گردید. از نرم‌افزار Arc GIS، به منظور تحلیل فضایی و همپوشانی لایه‌ها استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات، استان‌های خراسان رضوی و شمالی از نظر قابلیت احداث مزارع بادی به چهار سطح عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم گردیدند. در نهایت نتایج حاصل نشانگر 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 کارآمد باشد و طراحان را در انتخاب مکان مناسب جهت احداث مزارع بادی یاری کند. در این تحقیق، ۷ منطقه با اولویت احداث مزارع بادی، با در نظر گرفتن همپوشانی و انطباق نقشه‌های محدودیت و مکان‌یابی، مساحت مناطق دارای اولویت، شرایط اقلیمی و نیز بازدید میدانی تعیین گردیدند که این مناطق به ترتیب، تربت جام، گلمکان، نیشابور، سبزوار، بجنورد و فردوس می‌باشند.

واژگان کلیدی:
مکان‌یابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مزارع بادی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

* نویسنده مسئول
Email: asadimehdi11@yahoo.com

۱- مقدمه

استفاده از انرژی باد دارای سابقهٔ طولانی است؛ ایرانیان نخستین کسانی هستند که حدود ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح برای آرد کردن غلات و کشیدن آب از چاه از آسیاب‌های بادی با محور قائم استفاده کرده‌اند. بادهای جنوب ایران و استفاده از نیروی آن بخصوص بادهای سیستان از قدیم مورد توجه بوده است (ثقفی، ۱۳۷۳، ۴۹-۴۶). گستردگی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از مسائل مهم و اساسی محسوب می‌شود. تلاش برای دستیابی به یک منبع انرژی پایان‌ناپذیر از آرزوهای دیرینه انسان بوده است. کلیه منابع انرژی فسیلی مثل نفت، گاز، زغال سنگ، اورانیوم و غیره روزی به پایان می رسند. با اتمام انرژی‌های فسیلی غیر قابل تجدید، تمدن بشری وابسته به انرژی مختل خواهد شد. از طرف دیگر، مصرف منابع تولید انرژی فسیلی مشکلات و هزینه‌های مادی و زیست محیطی خاص خود را در پی دارد. استفاده از انرژی هسته ای نیز صرف نظر از پیامدهای شدید زیست محیطی مثل زباله‌های اتمی و غیره، هزینه بالا و تکنولوژی پیشرفته‌ای می‌طلبد. این مساله سبب شده، 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 آنها آلودگی چندانی به بار نیاورد. با در نظر گرفتن پارامترهای جغرافیایی، اقتصادی، زیست‌محیطی و زمین‌شناسی می‌توان به پتانسیل‌یابی مناطق برای مزارع بادی از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی دست یافت.

تاکنون پژوهش‌های متعددی در رابطه با امکان استفاده از پتانسیل انرژی باد در مناطق مختلف جغرافیایی انجام شده است ؛ازجمله: پتانسیل سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه (محمدی و همکاران ، ۱۳۹۱) با استفاده از داده های جهت و سرعت سه ساعته باد ایستگاه‌های همدید کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، روانسر، کنگاور و سرپل ذهاب انجام شد. سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶ گویای این 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 بهره‌بردای از انرژی باد مناسب است و کرمانشاه برای استفاده از انرژی باد، پتانسیل مناسبی ندارد.

پتانسیل‌سنجی انرژی باد منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نوراللهی و همکاران،۱۳۸۹) انجام شده است. در این تحقیق جهت محاسبه پتانسیل باد ، معیارهای مورد نظر(فنی، زیست محیطی، اقتصادی و جغرافیایی) با اهمیتی یکسان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. 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 کننده ۲۶٪ برق منطقه در افق ۱۴۰۴ می‌باشد.

انتظاری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از داده های سه ساعته سرعت و تداوم باد ایستگاه همدید سبزوار پتانسیل انرژی باد را بررسی و میزان برق تولیدی توسط توربین های بادی را برآورد نموده اند.

بابان و پاری [1](۲۰۰۰) توسعه و اعمال یک رویکرد به کمک سیستم های اطلاعات جغرافیایی به منظور مکان‌یابی مزارع باد در انگلستان را مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از GIS از دو روش مختلف برای ترکیب لایه‌های اطلاعاتی ایستگاه لنکشایر [2] استفاده کردند. اول همه لایه‌ها به یک اندازه مهم در نظر گرفته شدند و به آنها وزن برابر داده شد. دوم، لایه‌های اطلاعاتی گروه‌بندی شد و با توجه به درجه اهمیت آنها رتبه‌بندی شدند. آنها نشان دادند که از این نقشه‌ها می‌توان برای کمک به فرآیند تصمیم‌گیری و یافتن محل

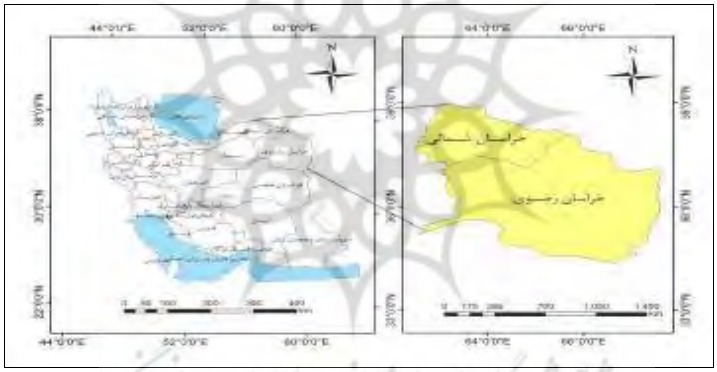
1. Baban and Tim Parry
2 . Lancashire

مناسب مزارع بادی استفاده کرد. در پژوهشی دیگر، بنیوی[1] و همکاران (۲۰۰۷) مکان مناسب برای توربین-های بادی بزرگ با استفاده از GIS را انتخاب نمودند. این تحقیق که بر روی پنج استان کشور تایلند 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 این کشور انجام شده است. در این بررسی از پارامترهای سرعت باد، ارتفاع، شیب، بزرگ‌راه ها، راه‌آهن‌ها، مناطق ساخته شده، مناطق جنگلی و مناطق خوش منظره استفاده شده و در نهایت بهترین مکان برای نصب توربین بادی در سواحل شرقی تایلند از استان ناخن سی تامارت[2] تا استان ناراتی‌واس[3] انتخاب شده‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

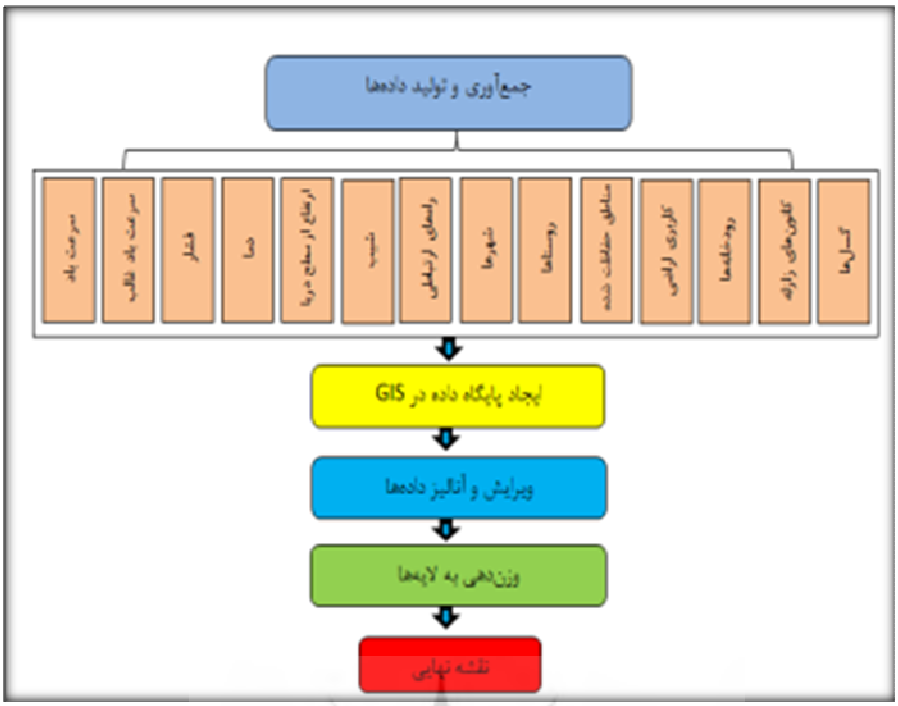
منطقه مورد مطالعه، با مساحتی حدود ۱۴۶۹۵۴ کیلومتر مربع، شامل استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی، در محدوده جغرافیایی مدارهای ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از شمال و شمال شرقی به کشور ترکمنستان، از شرق به کشور افغانستان، از جنوب به استان خراسان جنوبی و از غرب و شمال غربی به استان‌های یزد، سمنان و گلستان محدود می‌باشد (زنده‌دل، ۱۳۷۷، ۲۹).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

در مکان‌یابی مزارع بادی، به عنوان یک مساله تصیم‌گیری به مواد و ابزار خاص این موضوع نیاز می‌باشد. در این تحقیق، از آمار ۲۰ ساله عناصر آب و هوایی ثبت شده در ایستگاه های هواشناسی استان‌های خراسان رضوی و شمالی استفاده و جهت تجزیه و تحلیل فضایی و تهیه نقشه‌های معیارهای اقلیمی، جغرافیایی، اقتصادی- اجتماعی، زیست‌محیطی و زمین شناسی از نرم‌افزار ARC GIS9.3 استفاده گردید. برای بررسی کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای سنجنده +ETM ماهواره لندست[4] مربوط به سال ۲۰۰۰ استفاده گردید و برای تحلیل و تفسیر اطلاعات آن از نرم‌افزار ENVI+8 استفاده شد. همچنین، برای وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی از نرم‌افزار Expert choice استفاده گردید. در شکل ۲ مراحل مختلف تحقیق نشان داده شده است .

1 . Bennui
2 . Nakhon Si Thammarat
3 . Narathiwas
4 . Landsat



شکل (۲): مراحل مختلف تحقیق (منبع: نامبردگان).

۲-۲- روش پردازش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای چندگانه باشد (تیلور[1]، ۲۰۰۴، ۳۷۴). زیرا، تحلیل‌گران یا تصمیم‌گیرندگان را جهت سازماندهی مسائل حساس و حیاتی یاری می‌نماید (بویلاکا، آمور و پولونارا[2]، ۲۰۰۴، ۲۵۵). 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 آنها منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود. دلیل سلسله مراتبی بودن، ساختار خلاصه‌سازی عناصر تصمیم‌گیری همچون زنجیری در سطوح مختلف است. پس، ایجاد یک ساختار سلسه مراتبی از موضوع مورد بررسی، نخستین گام در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به شمار رفته و اهداف، معیارها و گزینه‌ها و نیز ارتباط آنها در همین ساختار نشان داده می‌شود. مراحل بعدی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ، محاسبه وزن (ضرایب اهمیت) معیارها و زیر معیارها، محاسبه ضریب اهمیت (وزن) گزینه‌ها، محاسبه‌ی نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌هاست (ساعتی[3]، ۱۹۸۰، ۲۲؛ ساعتی، ۱۹۹۰، ۱۲؛ ساعتی، ۱۹۹۶، ۱۶).

در تمام فرآیندها، بخصوص فرآیند مکان‌یابی؛ ارزیابی به مثابه یکی از ارکان مهم برنامه‌ریزی مورد تاکید است. بدین ترتیب که بعد از تعیین اهداف کلی و بیان مقاصد و تهیه گزینه‌های مختلف برای رسیدن به مکان بهینه، ارزیابی صورت می‌گیرد؛ تا براساس شایستگی هر یک از گزینه‌ها، گزینه مطلوب و یا بهتر انتخاب شود (رابرت[4]، ۱۹۷۵، ۱۲۵). برای سنجش شایستگی نسبی هر یک از گزینه‌ها، معمولا از معیارها استفاده می‌شود.

2.Taylor
3. Bevilacqua, Amore and Polonara
3 . Saaty
4. Roberts

انتخاب مکان مناسب برای احداث مزارع بادی، یا به عبارتی دیگر مکان‌یابی نیز از این قائده مستثنی نیست. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آنها آغاز می‌شود، این عناصر شامل شیوه‌های مختلف انجام کار و اولویت دادن به ویژگی‌ها است (چانج[1]، ۲۰۰۵، ۳۱۳).

۲-۳- ایجاد ساختار سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تصمیم گیرندگان را قادر می‌سازد تا یک ساختار پیچیده را به صورت یک سلسله مراتب ساده ارائه دهند. همچنین این امکان را برای آنها فراهم می‌سازد که تعدادی زیادی از فاکتورهای کمی و کیفی را در یک شرایط چند معیاره به صورت نظامند مورد ارزیابی قرار دهند (برتولونی، ۲۰۰۶، ۴۲۴).

استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی برای حل مسائل پیچیده معمولا در چهار مرحله صورت می‌پذیرد (چنگ[2]، ۱۹۹۶، ۳۴۳؛ برتولونی[3]، ۲۰۰۶، ۴۲۳):

۱- تجزیه مسئله پیچیده به تعدادی از عناصر جزیی و سپس تشکیل سلسله مراتب برای عناصر؛

۲- انجام مقایسه جفتی در بین عناصر با توجه به مقیاس نسبتی؛

۳- استفاده از روش مقدار ویژه (ماتریس) به منظور برآورد کردن وزن نسبی عناصر؛

۴- استفاده از مجموع وزن‌های نسبی و ترکیب گزینه‌ها برای اندازه‌گیری نهایی.

به عبارتی در هر ساختار سلسله مراتبی مربوط به یک موضوع مشخص، با چهار سطح سلسله مراتبی شامل اهداف، معیارها، زیر معیارها، و گزینه‌ها مواجه هستیم (بوئن[4]، ۱۹۹۳، ۳۳۳؛ نگای[5]، ۲۰۰۳،۲۳۷).

۲-۴- تعیین اهمیت ضریب معیارها و زیر معیارها

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، برتری بین گزینه‌ها به وسیله مقایسه جفتی بین آنها تعیین می‌شود. در مقایسه جفتی روال کار چنین است که برای بررسی دو گزینه یکی از آنها را در نظر گرفته و به وسیله آن ارجحیت یا اهمیت دو گزینه را نسبت به هم می‌سنجند (طاها[6]، ۲۰۰۳، ۵۲۲). 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 دهنده ارزش فوق العاده پایین یک معیار نسبت به معیار دیگر و ارزش عددی ۱ نیز نشان دهنده‌ی اهمیت‌ها برابر می‌باشد (سارکیس و تایلوری[7]، ۲۰۰۴، ۳۲۲؛ کونز[8]، کونز[8]، ۲۰۱۰، ۸). بنابراین، اگر اهمیت فاکتور اول نسبت به فاکتور دوم به دست آورده شود پس در نتیجه اهمیت فاکتور دوم نسبت به فاکتور اول دوسویه خواهد بود.

1. Chang
2. Cheng
3. Bertolini
4. Bowen
5. ngai
6.Taha
7. Ssrkis and Tailuri
8. Kunz

همچنین از مقیاس نسبتی و مقایسه کلامی برای وزن دهی به عناصر قابل سنجش و غیر قابل سنجش استفاده می‌شود (پوهکر و راماچادران[۱]، ۲۰۰۴، ۳۶۹).

جدول (۱): مقیاس ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه جفتی (بوئن، ۱۹۹۰، ۱۳۷؛ دی[۲]، ۲۰۰۷، ۱۳۹۲؛ خلیل[۳]، ۲۰۱۳، ۲۰۱۳، ۱۰۱).

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 نسبت به به طور قطعی به اثبات رسیده است
۶،۸،۲،۴	مقادیر متوسط بین دو قضاوت مجاور	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد

۲-۵- تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها

تا این مرحله، ضریب های اهمیت معیارها و زیر معیارها در ارتباط با هدف مطالعه و نیز ضریب های 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 قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده خواهد شد (برتولونی، ۲۰۰۶، ۴۲۳). رابطه زیر بیانگر نحوه محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\text{تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها} = \sum_{k=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} w_k w_i (gij)$$

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 (زیر دست، ۱۳۸۰، ۱۸).

۱. Poheker and Ramachadran
2.Dey
3. kholil

۲-۶- نرخ سازگاری

یکی از مزیت‌های فرآیند سلسله مراتبی این است که میزان سازگاری مقایسه‌های انجام شده را مشخص می‌کند. این نرخ 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 نرخ سازگاری (C.R[1]) کم تر از ۰/۱۰ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت؛ در غیر این صورت باید مقایسه‌ها دو مرتبه انجام گیرد (مرنو و جیمنز[2]، ۲۰۰۵، ۱۰۳).

۳- نتایج

۳-۱- وزن معیارها

در اولین اقدام، وزن معیارها تعیین می‌شود. این وزن‌ها، با توجه به اهمیت معیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف "مکان‌یابی احداث مزارع بادی" تعیین می‌شود. ابتدا معیارهای لایه‌های اصلی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. جدول ۲ مقایسه زوجی معیارهای لایه‌های اصلی در مکان‌یابی احداث مزارع بادی را نشان می‌دهد و شکل ۳ وزن‌های محاسبه شده معیارها در نرم افزار Expert Choice را نشان می‌دهد.

- معیارهای اقلیمی

معیارهای اقلیمی یکی از مهم‌ترین پارامترها 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 مزارع بادی انتخاب شده‌اند.

- معیارهای جغرافیایی

معیارهای جغرافیایی از عوامل اصلی مکان‌یابی و احداث مزارع بادی است. زیر معیارهای جغرافیایی مورد بررسی، ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین می‌باشند؛ که پس از وزن‌دهی، در محیط نرم‌افزار ArcGIS مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

- معیارهای اقتصادی – اجتماعی

از دیگر مسایل مهم مورد توجه در مکان‌یابی احداث مزارع بادی معیار اقتصادی – اجتماعی است. این معیار شامل زیر معیارهای فاصله از راه‌های ارتباطی (جاده‌های فرعی، جادهای اصلی، خطوط راه آهن)، فاصله از شهرها و روستاها (مراکز جمعیتی) می‌باشند.

- معیارهای زیست‌محیطی

در حال حاضر توجه به مسایل زیست‌محیطی در مکان‌یابی احداث مزارع بادی یکی از مهم‌ترین اهداف پژوهشی در سراسر جهان است. معیارهای زیست محیطی شامل زیر معیارهای فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌ها می‌باشد.

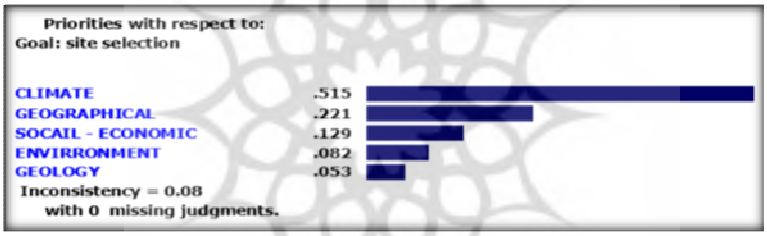
1. capability Ratio
2. Moreno-Jimenez

- معیارهای زمین‌شناسی

زیر معیارهای زمین‌شناسی مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: فاصله از کانون‌های زلزله (لرزه‌خیزی) و فاصله از گسل‌ها.

جدول (۲): مقایسه زوجی معیارهای اصلی در مکان‌یابی احداث مزارع بادی

معیارهای مکان‌یابی	اقلیمی	جغرافیایی	اقتصادی - اجتماعی	زیست محیطی	زمین شناسی	وزن
اقلیمی	۱	۳	۶	۶	۶	۰/۵۱۵
جغرافیایی	-	۱	۳	۳	۳	۰/۲۲۱
اقتصادی - اجتماعی	-	-	۱	۳	۳	۰/۱۲۹
زیست محیطی	-	-	-	۱	۳	۰/۰۸۲
زمین شناسی	-	-	-	-	۱	۰/۰۵۳



شکل (۳): وزن‌های محاسبه شده معیارها ی زمین شناسی

۳-۲- وزن زیر معیارها

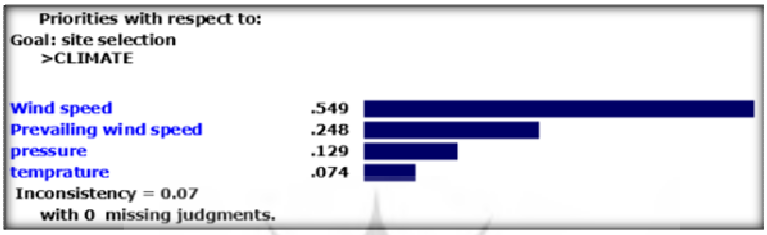
با توجه به این که برای هر معیار، زیر معیارهایی تعریف شده است؛ در این مرحله، برای وزن‌دهی به زیر معیارها، دو به دو آنها با هم مقایسه می‌شوند. بدین صورت برای هر کدام از زیر معیارها، به طور جداگانه مقایسه زوجی انجام می‌گیرد. در ادامه به طور جداگانه به بررسی و ارزیابی هر یک از زیر معیارها پرداخته شده است.

۳-۲-۱- زیر معیار اقلیمی

سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما جزو زیر معیارهای، معیار اقلیمی می‌باشند که بعد از وزن‌دهی در نرم‌افزار Expert choice، در محیط نرم‌افزار ArcGIS، مورد آنالیز و بررسی قرار گرفتند. جدول ۳ مقایسه زوجی معیار اقلیمی را نشان می‌دهد و شکل ۴ نمودار وزن‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد.

جدول (۳): مقایسه زوجی زیر معیارهای اقلیمی

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



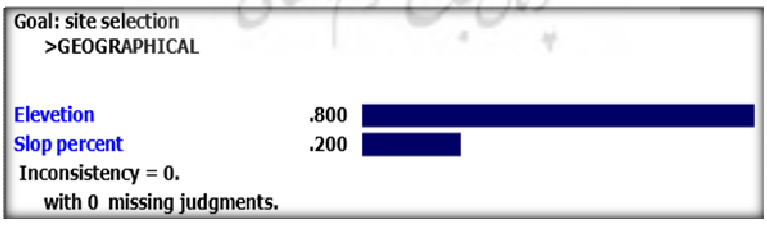
شکل (۴): وزن های محاسبه شده زیرمعیارهای اقلیمی

۳-۲-۲- زیر معیارهای جغرافیایی

زیرمعیارهای جغرافیایی شامل ارتفاع از سطح دریا و شیب می‌باشد. این لایه‌ها بعد از وزن‌دهی در نرم‌افزار Expert Choice، در محیط GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. شکل ۵ وزن‌های محاسبه شده و جدول ۴ مقایسه زوجی زیرمعیارهای جغرافیایی را نشان می دهد.

جدول (۴): مقایسه زوجی زیرمعیارهای جغرافیایی

زیر معیارهای جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	شیب	وزن
ارتفاع از سطح دریا	۱	۴	۰/۸۰۰
شیب	–	۱	۰/۲۰۰



شکل (۵): وزن‌های محاسبه شده زیرمعیارهای جغرافیایی

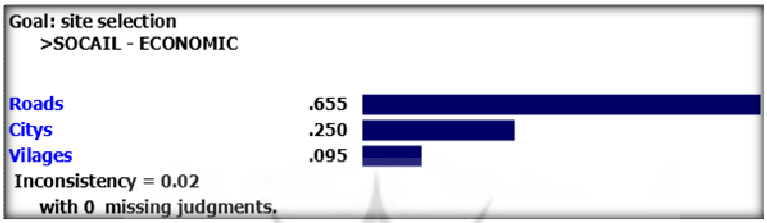
۳-۲-۳- زیر معیارهای اقتصادی - اجتماعی

زیر معیارهای اقتصادی–اجتماعی شامل فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از شهرها و فاصله از روستاها می-باشد. این معیارها پس از وزن‌دهی توسط نرم‌افزار ArcGIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به طوری که

پس از تولید رسترهای فاصله از تک‌تک این زیر معیارها، اوزان محاسباتی به طبقات مختلف هر زیر معیار اعمال گردیده است. جدول ۵ مقایسه زوجی معیار، اجتماعی- اقتصادی را نشان می‌دهد و شکل ۶ نشان دهنده مقایسه زوجی زیرمعیار اجتماعی- اقتصادی را نشان می‌دهد.

جدول (۵): مقایسه زوجی زیر معیارهای اجتماعی- اقتصادی

زیرمعیارهای اقتصادی- اجتماعی	فاصله از راه‌های ارتباطی	فاصله از شهرها	فاصله از روستا	وزن
فاصله از راه‌های ارتباطی	۱	۳	۶	۰/۶۵۵
فاصله از شهرها	-	۱	۳	۰/۲۵۰
فاصله از روستا	-	-	۱	۰/۰۹۵



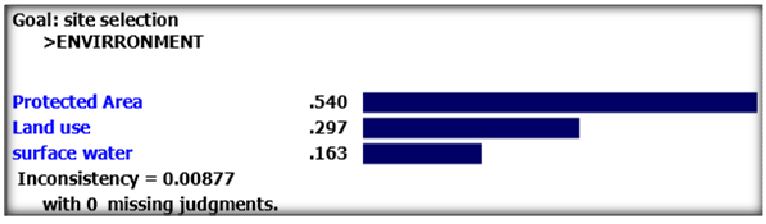
شکل (۶): مقایسه زوجی زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی

۳-۲-۴- زیر معیارهای زیست محیطی

فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌ها به عنوان زیر معیارهای زیست محیطی در نظر گرفته شدند وپس از وزن‌دهی ، وارد نرم‌افزار ArcGIS گردیده و با استفاده از تابع الحاقی Spatial Analyst، تحلیل‌های مربوط بر روی آنها انجام شد. این تحلیل‌ها شامل تولید رسترهای مورد نظر برای هر زیر معیار و اختصاص وزن‌های محاسباتی به آنها می‌باشد. جدول ۶ مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار زیست‌محیطی را نشان می‌دهد.

جدول (۶): مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار زیست‌محیطی

زیر معیارهای زیست محیطی	فاصله از مناطق حفاظت شده	کاربری اراضی	فاصله از رودخانه	وزن
فاصله از مناطق حفاظت شده	۱	۲	۳	۰/۵۴۰
کاربری اراضی	-	۱	۲	۰/۲۹۷
فاصله از رودخانه‌ها	-	-	۱	۰/۱۶۳



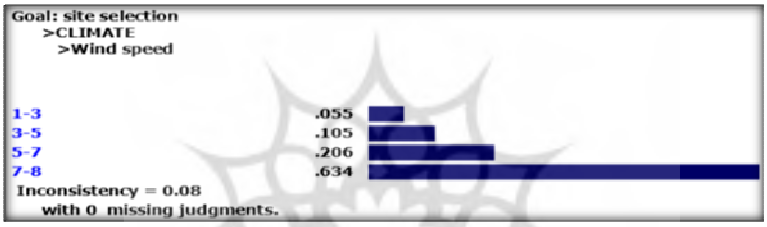
شکل (۷) : وزن‌های محاسبه شده زیر معیارهای، معیار زیست‌محیطی

۳-۳- 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 آنها (سرعت باد و گسل) اشاره شده است (جدول ۷ و ۸) (شکل ۸ و ۹).

جدول (۷): مقایسه زوجی گزینه‌های سرعت باد

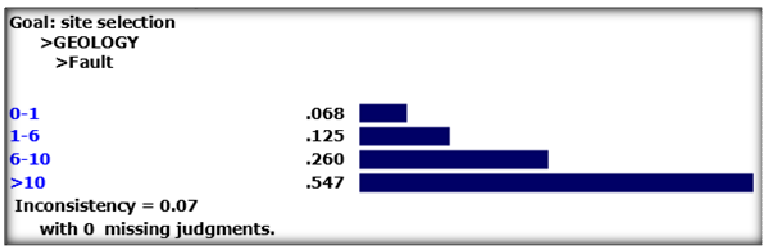
گزینه‌های سرعت باد (نات)	۱-۳	۳-۵	۵-۷	۷-۸	وزن
۱-۳	۱	۳	۴	۷	۰/۰۵۵
۳-۵	–	۱	۳	۶	۰/۱۰۵
۵-۷	–	–	۱	۵	۰/۲۰۶
۷-۸	–	–	–	۱	۰/۶۳۴



شکل (۸) : وزن محاسبه شده باد با سرعت های مختلف

جدول (۸) : مقایسه زوجی گزینه‌های گسل

گزینه‌های فاصله از گسل‌ها (کیلومتر)	۰-۱	۱-۶	۶-۱۰	>۱۰	وزن
۰-۱	۱	۳	۴	۵	۰/۰۶۸
۱-۶	–	۱	۳	۵	۰/۱۲۵
۶-۱۰	–	–	۱	۳	۰/۲۶۰
>۱۰	–	–	–	۱	۰/۵۴۷



شکل(۹) : وزن های محاسبه شده فاصله از گسل

۳-۴- تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها

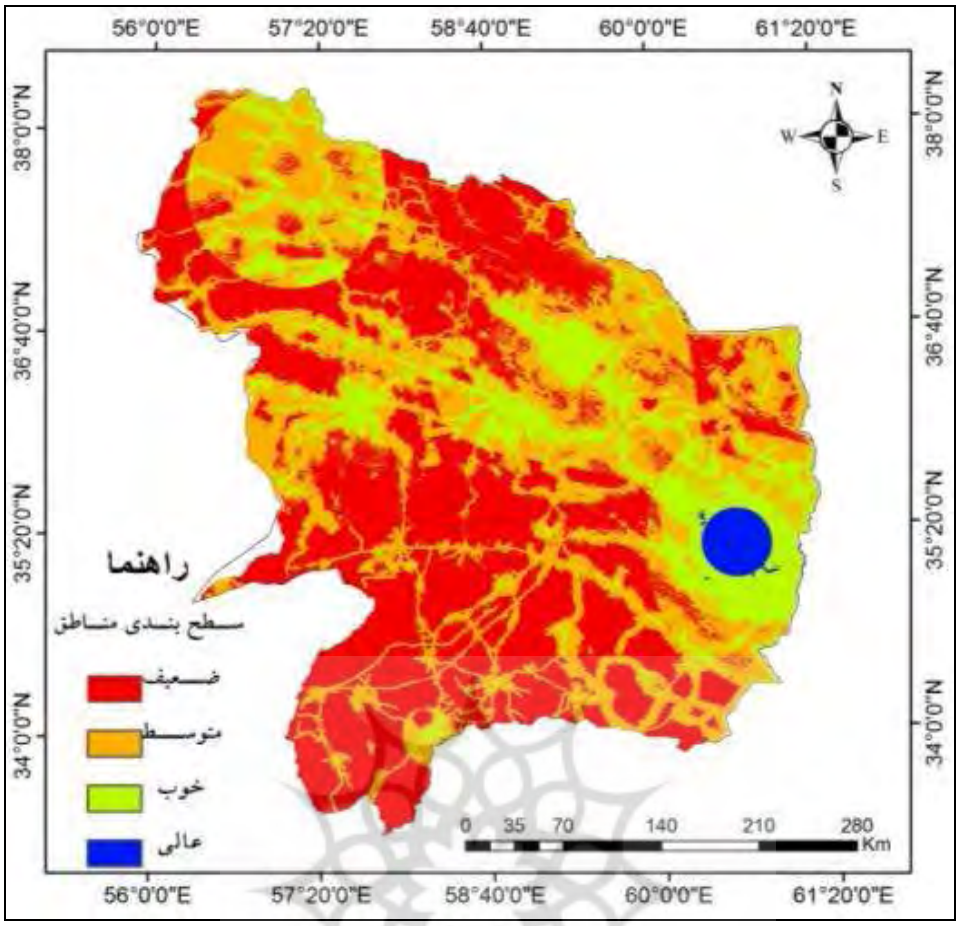
در این مرحله، از تلفیق ضریب های اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین شد. برای این کار از «اصل ترکیب سلسله مراتبی» ساعتی که منجر به بردار اولویت، با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده شده است (برتولونی، ۲۰۰۶، ۴۲۳). به عبارت ساده‌تر از ضرب هر یک از معیارها در زیر معیار مربوط به آن و از ضرب عدد به دست آمده در امتیاز گزینه مربوط، امتیاز نهایی هر یک از گزینه ها به دست می‌آید.

۳-۵- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از تهیه تمام لایه‌های اطلاعاتی و تعیین عوامل موثر در مکان‌یابی احداث مزارع بادی و نقش آنها در مکان‌یابی و با انجام مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی به کمک GIS به تهیه نقشه‌های فاکتورهای موثر در مکان‌یابی مزارع بادی پرداخته شد. پس از وزن‌دهی لایه‌های موثر در مکان‌یابی مزارع بادی بر اساس فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP)، از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تلفیق و هم-پوشانی نقشه‌ها استفاده شد و نقشه مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی تهیه گردید. نقشه حاصل در چهار کلاس (عالی، خوب، متوسط و ضعیف) طبقه‌بندی گردید. مناطق عالی جهت احداث مزارع بادی در محدوده جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه در ایستگاه تربت‌جام با مساحتی بالغ بر ۲۰۶۴۶۲/۵۰ هکتار قرار دارد. مناطق خوب با مساحتی بالغ بر ۶۰۴۸۹۰۲/۱۸ هتکار شامل ایستگاه‌های خواف، گلمکان، نیشابور، سبزوار، بجنورد و فردوس می‌باشد. این در حالی است که کلاس ضعیف با مساحت بالغ بر ۶۷۶۰۹۱۲/۲۰ هکتار سطح وسیعی از مناطق جنوب غرب، جنوب، مرکز و شمال منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. جدول ۹ مساحت و شکل ۱۰ مناطق مستعد جهت احداث مزرعه بادی را نشان می دهد.

جدول (۹): مشخصات نقشه مکان‌یابی

محدوده	ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد از سطح استان
کل منطقه	۱	ضعیف	۶۷۶۰۹۱۲/۲۰	۴۳/۸۵
	۲	متوسط	۶۰۴۸۹۰۲/۱۸	۳۹/۲۳
	۳	خوب	۲۳۹۹۵۹/۱۴	۱۵/۵۶
	۴	عالی	۲۰۶۴۶۲/۵۰	۱/۳۶



شکل (۱۰): نقشه مکان‌یابی مناطق مستعد جهت احداث مزرعه بادی

۳-۶- حداقل محدودیت‌های اعمال شده بر روی لایه‌ها

در عملیات و پژوهش های مکان گزینی جهت جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه، از بین رفتن محیط زیست و حیات جانوری و همچنین در امان ماندن از بلایایی طبیعی (زلزله، سیل، .....)حداقل محدودیت‌هایی در نظر گرفته می شود. این کار در محیط Arc GIS به صورت باینری یا همان ۰ و ۱ انجام گرفت . به مناطقی که در کم‌تر از حداقل فاصله‌های در نظر گرفته شده قرار داشتند عدد ۰ و به مناطقی که در وضعیت مناسب قرار داشتند عدد ۱ اختصاص داده شد. شکل ۱۱ نقشه مناطق محدودیت‌دار را نشان می‌دهد. جدول ۱۱ نشانگر مشخصات مناطق دارای محدودیت و جدول ۱۰ نشانگر عوامل محدود کننده، حداقل و حداکثر فاصله از معیارهای مورد بررسی می‌باشد.

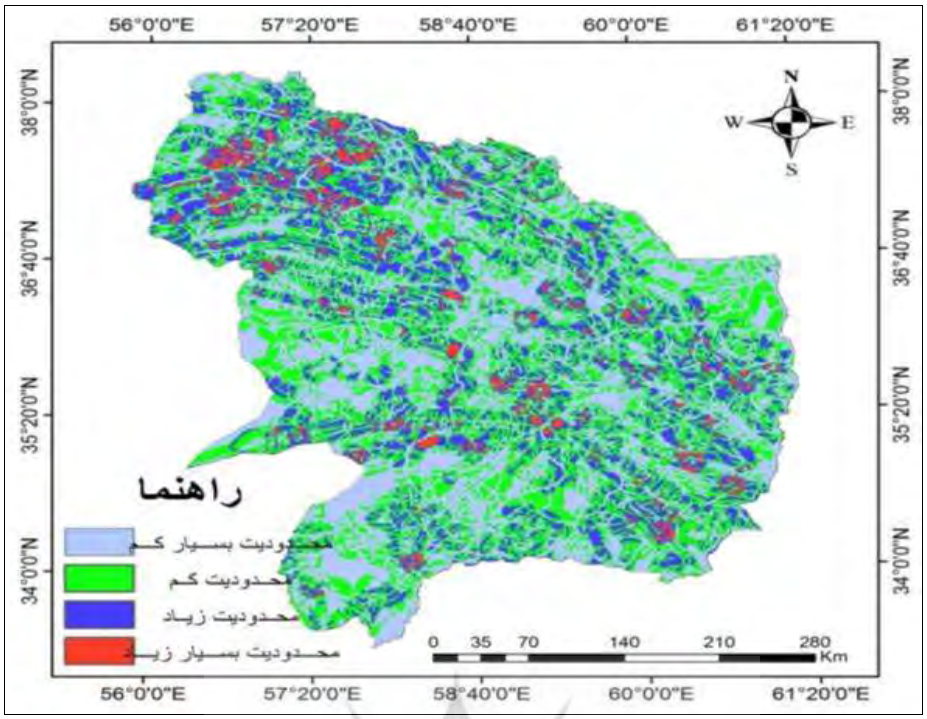
جدول (۱۰): عوامل محدود کننده، حداقل و حداکثر فاصله از معیارهای مورد بررسی (بابان[1]، ۲۰۰۰، ۶۳).

ردیف	کلاس عوامل	جزئیات عامل	حداقل فاصله (M)	حداکثر فاصله (M)
۱	فاصله از مناطق حفاظت شده	پناگاه حیات وحش منطقه حفاظت شده منطقه شکار ممنوع	۲۰۰۰	۴۰۰۰
۲	فاصله از کانون‌های زلزله	–	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰
۳	فاصله از گسل‌ها	–	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰
۴	فاصله از رودخانه‌ها	–	۱۰۰۰	–
۵	فاصله از راه‌های ارتباطی	–	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰
۶	فاصله از شهرها	–	۲۰۰۰	۶۰۰۰
۷	فاصله از روستاها	–	۱۰۰۰	–

جدول (۱۱): مشخصات مناطق دارای محدودیت

	ردیف	محدودیت	مساحت (هکتار)	درصد از سطح استان
کل منطقه	۱	محدودیت بسیار کم	۵۶۲۷۵۸۱/۹۲	۳۶/۹
	۲	محدودیت کم	۶۰۳۴۷۰۱/۱۸	۳۸/۷۰
	۳	محدودیت زیاد	۳۳۹۲۹۳۲/۸۵	۲۱/۷۶
	۴	محدودیت بسیار زیاد	۵۳۵۲۶۳/۳۶	۲/۶۴

1. baban



شکل (۱۱): نقشه مناطق دارای محدودیت

۳-۷- اولویت‌بندی مناطق مناسب جهت احداث مزارع بادی

برای تعیین مناطق با اولویت احداث مزارع بادی دو نقشه مکان‌یابی مزارع بادی و محدودیت های منطقه ای برای احداث مزرعه بادی بر یکدیگر منطبق شده‌اند. با در نظر گرفتن مواردی مثل مناطق با پتانسیل بالا و البته، محدودیت پایین، مساحت آنها، عوامل اقلیمی و بازید میدانی، اولویتهای احداث مزارع بادی تعیین شدند (شکل ۱۲). جدول ۱۲ مشخصات اولویت‌های پیش‌بینی شده برای احداث مزارع بادی را بیان می‌کند. طبق این جدول محدوده اطراف ایستگاه تربت جام با اولویت‌های ۱ و ۲ برای احداث مزارع بادی در نظر گرفته شده‌اند. این در حالی است که این منطقه با بادهای ۱۲۰ روزه همراه است و سرعت و توان این بادها افزایش میزان توان قابل استحصال از توربین‌های بادی را به همراه خواهد داشت. اولویت دوم شامل قسمت‌هایی از منطقه خواف است و اولویت سوم برای احداث مزرعه بادی، منطقه گلمکان در نظر گرفته شد. زیرا که این منطقه با توجه به نقشه ۱۲ دارای محدودیت‌های کم و بسیار کم می‌باشد و از نظر سرعت باد، سرعت باد غالب و همچنین وسعت، نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای میانگین خوبی است .

اولویت چهارم برای احداث مزرعه بادی منطقه نیشابور است. این منطقه حالت دالانی دارد و باعث افزایش سرعت باد و در نتیجه افزایش توان قابل استحصال از توربین بادی می شود؛ اما، در این پژوهش چون معیارهای محدودیت کننده (گسل، رودخانه، روستا، شهر، کاربری اراضی ...) نیز در نظر گرفته شده است؛ لذا این منطقه در گروه چهارم قرار می گیرد. اولویت پنجم منطقه سبزوار تعیین شد. این منطقه با وجود باد غالب با سرعت زیاد و محدودیت‌هایی با سطح کم تا بسیار کم، وسعتی کم تری نسبت به اولویت‌های ۱ تا ۴ دارد. همچنین با توجه به پژوهشی که با عنوان ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در

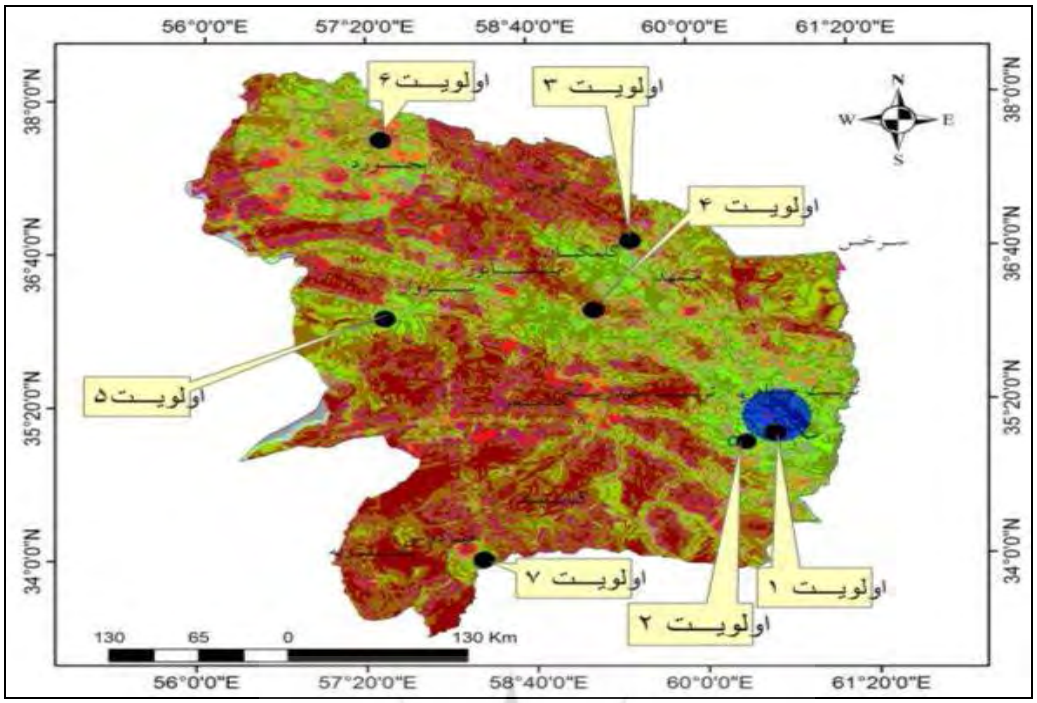
ایستگاه سینوپتیک سبزوار توسط انتظاری و همکاران (۱۳۹۱) انجام گردیده است احداث نیروگاه بادی در این منطقه صرفه اقتصادی بالایی ندارد.

با توجه به این که در پژوهش حاضر، معیارهای اقلیمی وزن بیشتری نسبت به معیارهای دیگر جهت احداث مزارع بادی داشتند، بجنورد با داشتن وسعت کم تر و محدودیت بیشتری نسبت به فردوس ؛ به دلیل داشتن بادهای غالبی با میانگین سرعت ۶/۲ متر برثانیه، مکان مستعدی برای احداث مزرعه بادی است. لذا، اولویت ششم، بجنورد تعیین گردید. اولویت هفتم منطقه فردوس است که دارای پتانسیل بیشتر و محدودیت کم تر برای احداث مزارع بادی نسبت به سایر بخش‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این در حالی است که این منطقه نسبت به اولویت های دیگر تشخیص داده شده، سرعت باد غالب پایین تری را داراست.

جدول (۱۲): مشخصات اولویت‌های پیش‌بینی شده برای احداث مزارع بادی

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سرعت باد (نات)	سرعت باد غالب (نات)	سطح	اولویت
۱	تربت جام	۶۰ ۳۵	۳۴ ۵۶	۷/۶	۱۰/۸	عالی	اولویت ۱
۲	تربت جام	۶۰ ۱۵	۳۵ ۱	۷/۶	۱۰/۸	خوب	اولویت ۲
۳	گلمکان	۵۹ ۲۷	۳۶ ۴۸	۵/۸	۷/۸	خوب	اولویت ۳
۴	نیشابور	۵۹ ۹	۳۶ ۱۲	۲	۸/۴	خوب	اولویت ۴
۵	سبزوار	۵۷ ۲۹	۳۶ ۵	۵/۵	۹/۶	خوب	اولویت ۵
۶	بجنورد	۵۷ ۲۷	۳۷ ۴۲	۴/۴	۱۲/۴	خوب	اولویت ۶
۷	فردوس	۵۸ ۱۸	۳۳ ۵۶	۴/۷	۶/۹	خوب	اولویت ۷

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل (۱۲): نقشه اولویت‌بندی احداث مزارع بادی در منطقه مورد مطالعه

۴- نتیجه‌گیری

در مکان‌یابی سایت توربین‌های بادی باید از وجود بادهای با سرعت و تداوم مناسب و عدم وجود موانع محیطی مطمئن شد. به علاوه جهت، سرعت و تداوم باد غالب آن نیز از فاکتورهای بسیار مهم تلقی می‌شوند. با وجود اینها، تپه‌های وسیع، مسطح و تقریبا گرد، مناسب‌ترین محل نصب توربین‌های بادی هستند.

با استفاده از AHP و براساس معیارهای مورد نظر، بخش‌های مختلف منطقه از نظر قابلیت استقرار مزارع بادی اولویت‌بندی شدند. با توجه به نقشه نهایی، مناطق مستعد جهت احداث مزارع بادی در سطح استان‌های خراسان رضوی و شمالی شناسایی شدند. نتایج بدست آمده نشانگر پتانسیل بالای شهرهای تربت‌جام، گلمکان، نیشابور، سبزوار، بجنورد و فردوس برای احداث مزارع بادی می‌باشند. این مناطق با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل سرعت باد، سرعت باد غالب، وسعت، محدودیت و ... تعیین شده‌اند. در مکان‌یابی مزارع بادی در سطح منطقه مورد مطالعه، استان خراسان رضوی با توجه به وسعت بیشتر و شیب کمتر نسبت به خراسان شمالی، از پتانسیل بالاتر و محدودیت کم تری برای احداث مزارع بادی برخودار است؛ این در حالی است که در جنوب شرق این استان بادهای ۱۲۰ روزه وجود دارند. 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 مزارع 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 را 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 را بگیرند. قدر مسلم هر چه از معیارهای بیشتر و دقیق‌تری استفاده شود، نتایج مطلوب تری حاصل می گردد.

فهرست منابع

۱- انتظاری، علیرضا ، امیراحمدی، ابوالقاسم، برزویی ، اکرم . عرفانی ، عاطفه (۱۳۹۱)، **ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار**، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال سوم، شماره نهم و دهم ص۴۶-۳۳.

۲- تقفی، محمود (۱۳۷۳)، **انرژی باد و کاربرد آن در کشاورزی**، انتشارات دانشگاه تهران.

۳- زبردست، اسفندیار(۱۳۸۰)، **کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای**، مجله علمی پژوهشی دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، شماره ۱۰.

۴- زنده دل، حسن (۱۳۷۷)، **مجموعه راهنمای جامع ایران گردی، استان خراسان**، تهران، نشر ایران گردان.

۵- شمس‌آبادی، علی حسین (۱۳۷۹)، **بررسی امکان استفاده از انرژی باد در شرایط اقلیمی نقاط مختلف ایران**، چابهار، چهارمین کنفرانس سراسری و انرژی.

۶- گندمکار، امیر (۱۳۸۸)، **توسعه پایدار در شهرستان فیروز کوه با استفاده از انرژی باد**، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دوم، شماره ۶،ص ۸۰-۷۲.

۷- محمدی، حسین. رستمی جلیلیان، نیما. تقوی، فرناز و شمسی‌پور علی‌اکبر (۱۳۹۱)، **پتانسیل انرژی باد در استان کرمانشاه**، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، سال چهل و چهار، شماره ۲،ص ۲۳-۱۹.

۸- نوراللهی، یونس. اشرف، سید محمدعلی و زمانی، محسن (۱۳۸۹)، **پتانسیل انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)**، شرکت مشاوران و اقتصاد شایگان.

9- Bennui A, Rattanamanee.P, P, Puetpaiboon U, Phukpattaranont.P P, Chetpattananondh.K, K, (2007). **Site selection for large wind turbine using GIS**. PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment, Thailand.

10- Serwan M, J, Baban, Tim Parry, (2001). **Developing and applying a GIS assisted approach to locating wind farms in the UK**, Renewable Energy 24, Pp. 59-71.

11-Bertolini, M, M, Braglia, (2006). **Application of the AHP methodology in making a proposal for a public** work contract, 17 January.

12-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.

13-Bowen, William M, (1990). **Subjective judgments and data environment analysis in site selection**, Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 14, Pp. 133-144.

14-Bowen, William. (1993), **AHP: Multiple Criteria Evaluation, in Klosterman**, R. et al (Eds), Spreadsheet Models for Urban and Regional Analysis, New Brunswick: Center for Urban Policy Research.

15-Chang, K.F, C.M, Chiang, P.C, Chou, (2005). **Adapting aspects of GB Tool 200- searching for suitability in Taiwan**, Building and Environment 42 Pp. 310-316.

16-Cheng, C.H. (1996). **Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP Based on the Grade Value of Membership Function**. European Journal of Operational Research, 96: 343-350.

17-Dey, P.K, E.K, Ramachadran, (2007). **Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados**, Journal of Environmental Management. Pp. 1384-1395.

18-Kholil, Rahma Octaviani, (2013). **Application of AHP Method for selecting the best strategy to reduce environmental damage caused by non-metallic mining Case study in Gunungkidul Regency**, Yogyakarta, Indonesia, International Journal of Environmental Engineering Science and Technology Research, Vol. 1, No. 7, PP: 98-109.

19-Kunz, J. (2010). **The Analytic Hierarchy Process (AHP),** Eagle City Hall Location Options Task Force, pp.1-25.

-Moreno-Jimenez, J.M., et al. (2005). **A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making,** Group Decision and Negotiation 14 89–108.

20-Ngai, E.W.T, (2003). **Selection of web sites for online advertising using the AHP**, Information & Management 40, Pp. 233-242.

21-Poheker, S.D. & Ramachadran, M. (2004). **Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning**. A Review Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8: 365-381.

22-Roberts, M. (1975), **An Introduction to Town Planning Techniques**. London: Hutchinson.

23-Saaty, Thomas L. (1980), **the Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.** Pittsburgh: RWS Publications.

24-Saaty, Thomas L. (1990), **Decision Making for Leaders**. Pittsburgh: RWS publications.

25-Saaty, Thomas L. (1996), **the Analytic Network Process**. Pittsburgh: RWS Publications.

26-Sarkis, J. & Talluri, S. (2004). **Evaluating and Selecting E-Commerce Software and Communication Systems for a Supply Chain** . European Journal of Operational Research, 159: 318-329.

27-Taha, H.A. (2003). **Operations Research**. Pearson Education Inc. Fayetteville.

28-Taylor, B.W. (2004). **Introduction to Management Science**. Pearson Education Inc. New Jersey.