



نخستین زور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منبع طبیعی (سال ششم / شماره چهارم) زمستان ۱۳۹۴
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت: <http://girs.iaubushehr.ac.ir>



شناسایی مکان‌های مناسب احداث نیروگاه بادی در استان آذربایجان شرقی با روش فازی - سلسله مراتبی (FAHP)

مهدی اسدی^{۱*}، سعید جهانبخش اصل^۲

۱. کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری
۲. استاد دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ۴ بهمن ۱۳۹۳
پذیرش: ۱ شهریور ۱۳۹۴
دسترسی اینترنتی: ۲۶ دی ۱۳۹۴

واژه‌های کلیدی:

مکان‌یابی
منطق فازی
تحلیل سلسله مراتبی
نیروگاه بادی

چکیده

در این پژوهش برای تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه بادی در استان آذربایجان شرقی، معیارهای مختلفی (سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار، دما، ارتفاع، شیب، فاصله از شهر، روستا، جاده، رودخانه، کاربری اراضی، مناطق حفاظت شده، گسل و کانون زلزله) مدنظر قرار گرفت و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی به لایه‌ها انتخاب و به کمک نرم‌افزار EC2000 پیاده‌سازی گردید. برای فازی‌سازی معیارها به صورت ۰ و ۱، داده‌ها وارد نرم‌افزار ادریسی (IDRISI) گردیده و براساس نظرات کارشناسی، نقاط کنترل و نوع تابع فازی (افزایشی و کاهش) برای هر یک از لایه‌ها مشخص گردید. سپس از نرم‌افزار ArcGIS[®] 9.3، به منظور هم‌پوشانی لایه‌ها استفاده شد و در نهایت، استان آذربایجان شرقی از نظر قابلیت احداث نیروگاه بادی به چهار سطح عالی (۲۱۷۲۹۴/۳۶ هکتار)، خوب (۹۷۲۸۸۷/۶۴ هکتار)، متوسط (۱۶۵۰۹۳۲/۳۵ هکتار) و ضعیف (۱۷۰۹۰۳۸/۴۰ هکتار) تقسیم گردید.

* asadimehdi11@yahoo.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

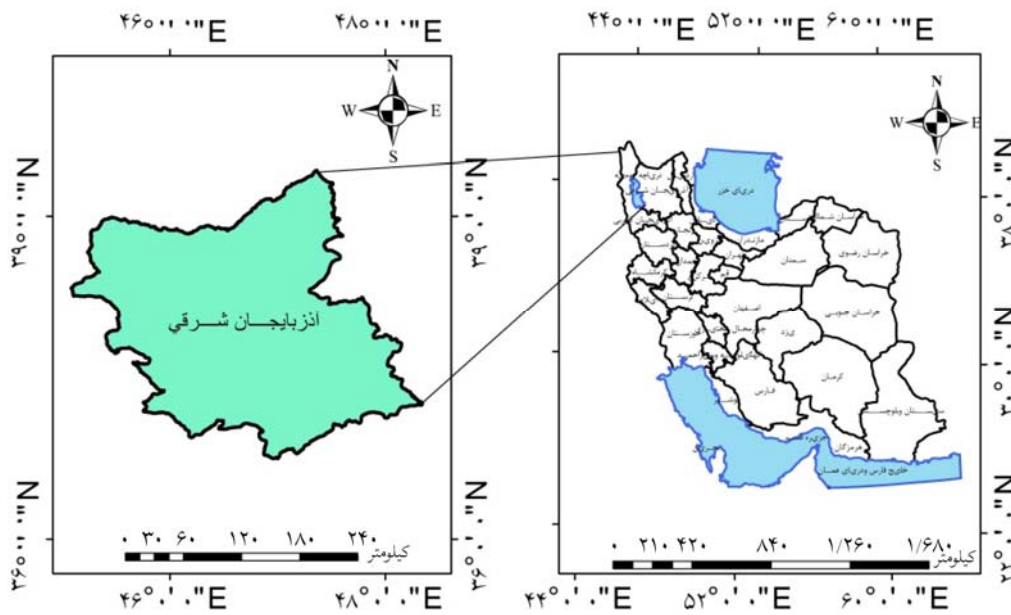
گسترده‌گی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از مسائل مهم و اساسی محسوب می‌شود. تلاش برای دستیابی به یک منبع انرژی پایان‌ناپذیر از آرزوهای دیرینه انسان بوده است (۱). کلیه منابع انرژی فسیلی روزی به اتمام خواهند رسید (۹) و با اتمام انرژی‌های فسیلی غیر قابل تجدید، تمدن بشری که به انرژی وابسته است، مختل خواهد شد و نیاز به انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش خواهد یافت (۷). از طرف دیگر، مصرف منابع با انرژی فسیلی، مشکلات و هزینه‌های مادی و زیست‌محیطی خاص خود را در پی دارد (۲). استفاده از انرژی اتمی نیز صرف نظر از پیامدهای شدید زیست‌محیطی نظیر زباله‌های اتمی و غیره، هزینه بالا و تکنولوژی پیشرفته‌ای می‌طلبد (۷). این مسئله 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 آنها آلودگی چندانی ببار نیاورد (۳). با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان به پتانسیل‌سنجی مناطق مختلف برای احداث نیروگاه بادی و استفاده از این انرژی تجدیدپذیر پرداخت. در این راستا پرابام‌رونگ و همکاران (۲۶) توسعه نصب مزارع بادی در تایلند را به وسیله سیستم حمایتی تصمیم‌گیری GIS بررسی کرده و وضعیت فعلی و نتایج آن را مورد ارزیابی قرار دادند. از تحلیل حاضر، پس از بکار بردن محدودیت‌های انتخاب شده، درصد کل مساحت محتمل برای نصب نیروگاه بادی با توجه به کل مساحت در هر منطقه محاسبه گردید. همودا (۲۱) امکان‌سنجی اقتصادی انرژی باد را در قاهره مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش، برای این منظور از داده‌های نیم ساعته سرعت باد در سراسر سال ۲۰۰۹ استفاده شده است و محاسبات آشکار کرد که هر چند، منابع انرژی باد در قاهره ضعیف است، اما در صورت مهار انرژی آن می‌تواند به تأمین برق مورد نیاز صنعت‌گران کمک کند. ماسران و همکاران (۲۵) ارزیابی از چگالی برق بادی به دست آمده از چندین تابع چگالی سرعت باد را در مالزی انجام دادند. ایشان بر اساس نقشه متوسط تراکم توان برق در مالزی چندین منطقه مانند شمال شرق، شمال غرب، منطقه جنوب از سواحل مالزی

و منطقه جنوب صباح را به عنوان مناطقی مشخص کرده‌اند که نشان می‌دهد بهترین مناطق برای توسعه انرژی بادی است. علاوه بر این، امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی مراوه تپه توسط عبدی و همکاران (۱۰) صورت پذیرفته است. در این پژوهش بر اساس اطلاعات هواشناسی و با استفاده از نرم‌افزار comfor، امکان‌سنجی فنی و اقتصادی احداث یک نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی بررسی شده است. برزویی (۲) امکان‌سنجی انرژی باد در منطقه سبزوار را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، بعد از انجام محاسبات بر روی داده‌های سه ساعته سرعت و جهت باد مشخص شد که انرژی حاصل از تولید یک توربین بادی در منطقه سبزوار ۴۴۳ مگاوات است. پژوهش دیگری در این زمینه، پتانسیل‌سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه است که توسط محمدی و همکاران (۱۳) انجام گرفته است. نتایج این پژوهش 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 بهره‌برداری از انرژی باد مناسب است و کرمانشاه برای استفاده از انرژی باد، پتانسیل مناسبی ندارد. در این تحقیق، سعی بر این است در استان آذربایجان شرقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش فازی-سلسله مراتبی (Fuzzy-AHP) به مکان‌یابی و شناسایی مناطق مستعد برای احداث نیروگاه‌های بادی پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی با مساحت ۴۵۴۹۱ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی، بین مدارهای ۳۶° ۵۴' تا ۳۹° ۲۶' عرض شمالی و طول جغرافیایی ۴۵° ۰۷' تا ۴۸° ۲۰' طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این استان همواره تحت تأثیر بادهای سرد شمالی و سیبری و بادهای مرطوب دریای سیاه و مدیترانه و اقیانوس اطلس قرار گرفته است. همچنین بادهای محلی نیز تحت تأثیر شرایط طبیعی استان از سوی کوهستان‌های بلند و دریاچه‌های ارومیه و خزر به سوی دشت‌ها و جلگه‌ها می‌وزند (۴).

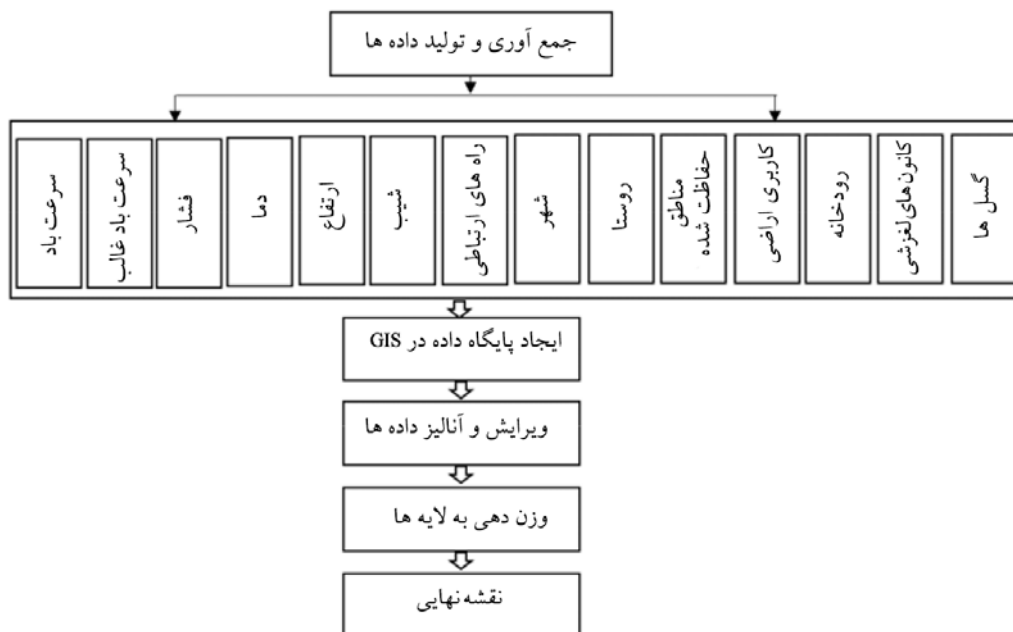


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

روش تحقیق

معیارهای زیست‌محیطی (مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی، رودخانه) و معیارهای زمین‌شناسی (کانون‌های زلزله، گسل) از نرم‌افزار ArcGIS[®]9.3 استفاده گردید. برای تهیه نقشه لایه‌ها از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد (جدول ۱).

در این تحقیق، از آمار ۱۵ ساله اقلیمی استان آذربایجان شرقی استفاده و برای تجزیه و تحلیل فضایی و تهیه نقشه‌های معیارهای اقلیمی (سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار، دما)، معیارهای جغرافیایی (ارتفاع، شیب)، معیارهای اقتصادی- اجتماعی (راه‌های ارتباطی، شهرها، روستا)،



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

و به منظور انجام تحلیل سلسله مراتبی و وزن دهی به لایه‌ها از نرم‌افزار EC2000 استفاده گردید. در نهایت برای تولید نقشه نهایی از همپوشانی در نرم‌افزار ArcGIS[®]9.3 استفاده شد.

نقشه کاربری اراضی از تصویر سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست مربوط به سال ۲۰۱۲ تهیه گردید و برای تحلیل و تفسیر اطلاعات آن از نرم‌افزار ENVI[®]4.8 استفاده گردید. سپس برای فازی‌سازی معیارها و گزینه‌ها از نرم‌افزار IDRISI

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده

ردیف	لایه	منبع	مقیاس
۱	رقومی توپوگرافی	سازمان زمین‌شناسی	۱:۲۵۰۰۰۰
۲	مدل رقومی ارتفاع	تهیه شده از شیت‌های رقومی	۱:۲۵۰۰۰
۳	گسل‌ها	سازمان زمین‌شناسی	۱:۲۵۰۰۰۰
۴	کانون‌های لغزشی	سازمان زمین‌شناسی	۱:۲۵۰۰۰۰
۵	رقومی زمین‌شناسی	سازمان زمین‌شناسی	۱:۲۵۰۰۰۰
۶	رودخانه‌ها و شبکه آبراهه	سازمان آب منطقه‌ای	۱:۲۵۰۰۰۰
۷	کاربری اراضی	تولید شده توسط محقق	-
۸	مناطق حفاظت شده	سازمان محیط زیست	۱:۲۵۰۰۰۰
۹	راه‌های ارتباطی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی	۱:۲۵۰۰۰۰
۱۰	شهرها و روستاها	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی	۱:۲۵۰۰۰۰

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای چندگانه باشد (۳۲). زیرا تحلیل‌گران یا تصمیم‌گیرندگان را جهت سازماندهی مسائل حساس و حیاتی یاری می‌نماید (۱۷). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل اهداف، معیارها و گزینه‌های احتمالی است که در اولویت‌بندی بکار گرفته می‌شوند. در این فرآیند، شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود (۲۷). دلیل سلسله مراتبی بودن، به دلیل ساختار خلاصه‌سازی عناصر تصمیم‌گیری همچون زنجیری در سطوح مختلف است. پس، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی، نخستین گام در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به شمار می‌رود و اهداف، معیارها و گزینه‌ها و نیز ارتباط آن‌ها در همین ساختار نشان داده می‌شود. مراحل بعد در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شامل محاسبه وزن (ضرایب اهمیت) معیارها و

گزینه‌ها، محاسبه ضریب اهمیت (وزن) معیارها و گزینه‌ها و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌ها است (۲۸ و ۲۹).

تعیین اهمیت ضریب معیارها و گزینه‌ها

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، برتری بین گزینه‌ها به وسیله مقایسه زوجی بین آن‌ها تعیین می‌شود. در مقایسه زوجی 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 (۳۱). در این فرآیند از اعداد ۱ تا ۹ به عنوان یک مقیاس استاندارد، برای مشخص کردن اهمیت گزینه‌ها (از اهمیت مساوی تا اهمیت فوق‌العاده زیاد) نسبت به هم استفاده می‌شود (جدول ۲). در ماتریس مقایسه زوجی، عدد ۹ نشان‌دهنده اهمیت فوق‌العاده زیاد یک معیار نسبت به دیگری است و عدد ۱/۹ نشان‌دهنده ارزش فوق‌العاده پایین یک معیار نسبت به معیار دیگر و ارزش عددی ۱ نیز نشان‌دهنده اهمیت‌ها برابر می‌باشد (۲۳ و ۳۰).

جدول ۲. مقیاس ۹ کمیته ساعتی برای مقایسه زوجی (۱۸ و ۱۹)

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

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. اگر نرخ سازگاری (Capability ratio) کمتر از ۰/۱۰ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت، در غیر اینصورت باید مقایسه‌ها مجدداً انجام گیرد (۱۶ و ۲۴). نرخ سازگاری از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه گردید (۲۲).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad [1]$$

در این رابطه؛ CI شاخص ناسازگاری، λ بیشترین مقدار وزنی ماتریس مقایسه‌ای دو به دو می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار این ضریب صفر است. بنابراین، برای اینکه نتایج حاصل از AHP قابل قبول باشد باید مقدار این ضریب کمتر از ۰/۱ باشد (۲۲). در نهایت نرخ ناسازگاری (CR) را می‌توان از رابطه ۲ محاسبه کرد.

$$CR = \frac{CI}{IIR} \quad [2]$$

مقدار شاخص توافق برای ماتریس‌هایی با ابعاد مختلف و با مقادیر کاملاً تصادفی، محاسبه شده و آن را شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (Inconsistency Index of Random; IIR) می‌نامند.

مدل فازی

فازی‌سازی گزینه‌ها

برای فازی‌سازی گزینه‌ها ابتدا هر کدام از لایه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS[®]9.3 به فرمت قابل تشخیص نرم‌افزار IDRISI تبدیل شده و سپس در آن بر اساس کاربرد و اثرات آن‌ها در مکان‌یابی نوع، نام تابع فازی و نقاط کنترل برای تک تک لایه‌ها تعریف گردید. برای تعیین هر یک از موارد بالا از نظرات کارشناسان استفاده گردید.

در این تحقیق، گزینه‌های مؤثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی بر اساس جدول ۳، با در نظر گرفتن توابع فازی و انواع آن و نیز نقاط کنترل معرفی شده از سوی کارشناسان مختلف و تحقیقات پیشین، فازی‌سازی و استاندارد شدند. در رابطه با گزینه شیب، هر چه شیب زمین کم‌تر باشد برای احداث نیروگاه بادی مناسب‌تر خواهد بود. در رابطه با ارتفاع، هر چه ارتفاع کمتر باشد حمل تجهیزات به محل نیروگاه آسان‌تر شده و شرایط برای احداث نیروگاه از لحاظ اقتصادی با صرفه‌تر خواهد بود، در نتیجه در این موارد تابع کاهش استفاده می‌شود، اما در سایر موارد نوع تابع فازی بر اساس نظرات کارشناسی افزایشی تعریف شد.

معیار سرعت باد و سرعت باد غالب به صورت تابع افزایشی انتخاب شده‌اند، چرا که با افزایش سرعت باد توان استحصال از توربین بیشتر خواهد شد، معیار ارتفاع و شیب به صورت تابع کاهش‌ی مورد وزندهی قرار گرفتند، چرا که با افزایش ارتفاع هزینه حمل نقل افزایش می‌یابد یا هر چه شیب

زمین کمتر باشد برای احداث نیروگاه بادی مناسب می‌باشد. رودخانه، مناطق حفاظت شده، جاده‌ها، شهرها و گسل‌ها به صورت تابع افزایشی استفاده گردیدند چرا که با دوری از گسل‌ها نیروگاه از آسیب زلزله در امان خواهد ماند، یا با افزایش فاصله از شهرها توان استحصال از توربین بیشتر خواهد شد، چرا که ساختمان‌ها در مقابل وزش باد، مانند مانع عمل می‌کنند و با فاصله از رودخانه و مناطق حفاظت شده حیات زیستی و حیات وحش کمتر دچار تخریب خواهد شد. این نظریه قادر است به بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های فازی و مبهم، صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (۱۱). بر خلاف منطق کلاسیک که دارای دو ارزش

صفر و یک است، منطق فازی ارزش‌های خود را به صورت درصد عضویت در بازه ۰ و ۱ نشان می‌دهد. عدد یک نشان‌دهنده درجه عضویت کامل است (۳۳). در روش استانداردسازی فازی، برای ارزش‌گذاری مقادیر معمولاً از توابع عضویت مختلفی چون توابع J-Shape، Linear و Sigmoidal استفاده می‌شود (۱۲ و ۲۰). یکی دیگر از عوامل مؤثر در استانداردسازی نقشه‌های فازی، تعیین حد آستانه می‌باشد که به آن‌ها نقاط کنترل می‌گویند. اما نکته‌ای که بایستی در انتخاب تابع به آن توجه نمود، نوع کاهشی یا افزایشی بودن معیار مورد نظر می‌باشد. در اینجا منظور از کاهش، حداقل شونده یا نزولی بودن تابع می‌باشد (۶ و ۸).

جدول ۳. حد آستانه و نوع تابع فازی، جهت استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی (۵، ۱۴ و ۱۵)

ردیف	نام معیار	نقاط کنترل		نوع تابع فازی	نام تابع فازی
		A یا C	B یا D		
۱	سرعت باد (نات)	۳	۱۰	افزایشی	Linear
۲	سرعت باد غالب (نات)	۷	۱۴	افزایشی	Linear
۳	فشار (هکتوپاسکال)	۸۳۱	۹۳۱	افزایشی	Linear
۴	دما (سانتیگراد)	۹	۱۶	افزایشی	Linear
۵	ارتفاع (متر)	۰	۲۰۰۰	کاهشی	J-Shape
۶	شیب (درصد)	۰	۱۵	کاهشی	J-Shape
۷	راه ارتباطی (متر)	۱۰۰۰	۶۰۰۰	افزایشی-کاهشی	Near
۸	شهر (متر)	۲۰۰۰	۶۰۰۰	افزایشی	Linear
۹	روستا (متر)	۱۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	Linear
۱۰	مناطق حفاظت شده (متر)	۲۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	J-Shape
۱۱	کاربری اراضی (متر)	۲۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	Linear
۱۲	رودخانه (متر)	۱۰۰۰	۲۰۰۰	افزایشی	Linear
۱۳	گسل (متر)	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	افزایشی	Linear
۱۴	نقاط لغزشی (متر)	۵۰۰	۱۵۰۰	افزایشی	Linear

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اختصاص وزن به معیارها و گزینه‌ها

در این تحقیق، وزن‌ها با توجه به اهمیت معیارها و گزینه‌ها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف تحقیق که مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی است، تعیین گردید. در این روش ابتدا معیارهای لایه‌های اصلی با یکدیگر بر اساس جدول ۹ کمیته ساعتی مقایسه گردید (جدول ۲).

ارجحیت یک گزینه یا عامل نسبت به خودش مساوی با یک است، لذا اصل معکوس بودن یک عامل نسبت به دیگری و ارجحیت یک عامل برای یک عامل دیگر یا گزینه نسبت به خودش، دو خاصیت اصلی ماتریس مقایسه‌ای دو به دویی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی هستند. این دو خاصیت باعث می‌شود که برای مقایسه n معیار یا گزینه، تصمیم‌گیرنده بر

اساس رابطه ۳ به سوالات پاسخ می‌دهد.

$$[3] \quad \frac{n(n-1)}{2} = \text{تعداد سؤالاتی که تصمیم‌گیرنده پاسخ می‌دهد}$$

جدول‌های ۴ الی ۹ مقایسه زوجی معیارها و گزینه‌های مؤثر در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی را نشان می‌دهد. در جدول ۴ از بین معیارهای مؤثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی، معیار اقلیمی و زمین‌شناسی با بیشترین و کمترین تأثیر به ترتیب اثرگذار است. این در حالی است که از بین معیارهای تأثیرگذار عامل جغرافیایی در رده دوم اهمیت و با وزن ۰/۲۲۱ می‌باشد. همچنین ضریب سازگاری کمتر از ۰/۱ است که نشان از دقت بالای وزن‌دهی معیارها می‌باشد.

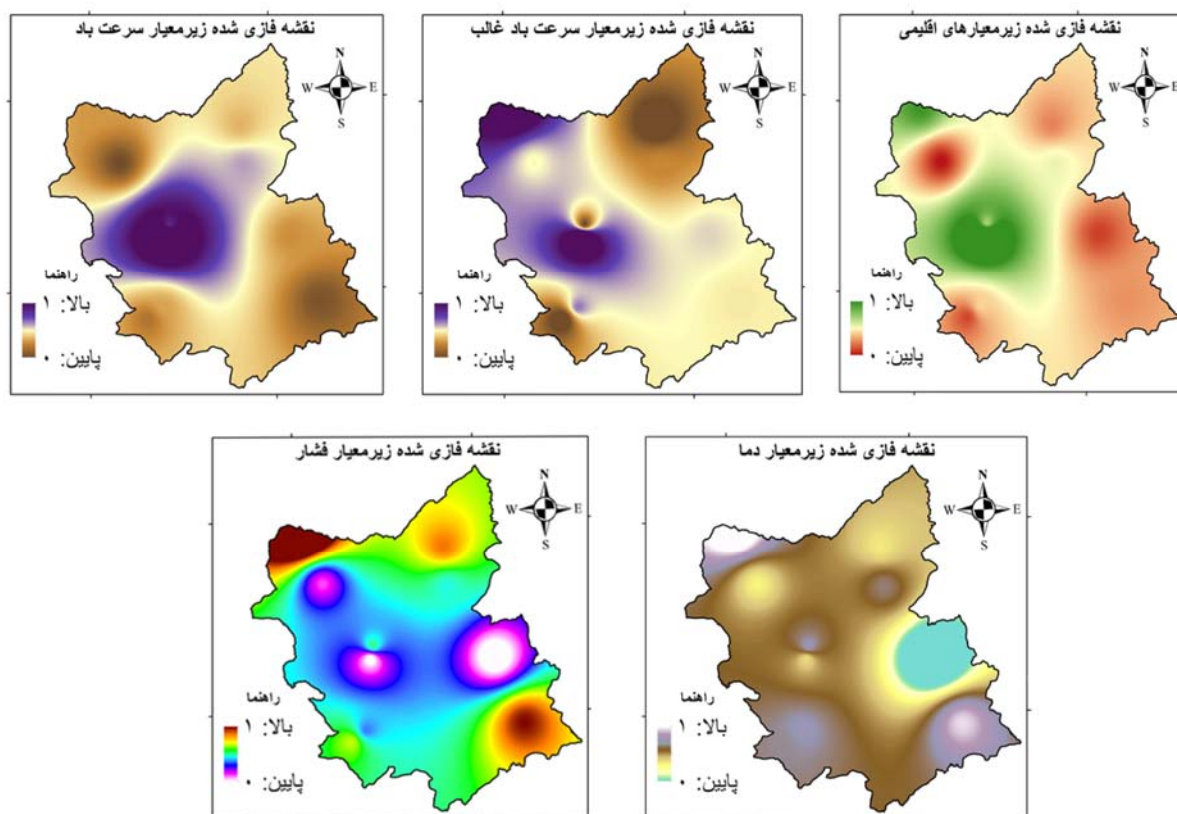
جدول ۴. مقایسه زوجی معیارهای اصلی در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی

وزن	زمین‌شناسی	زیست‌محیطی	اقتصادی - اجتماعی	جغرافیایی	اقلیمی	پتانسیل‌سنجی	معیارهای مؤثر در پتانسیل‌سنجی
۰/۵۱۵	۶	۶	۶	۳	۱		اقلیمی
۰/۲۲۱	۳	۳	۳	۱	-		جغرافیایی
۰/۱۲۹	۳	۳	۱	-	-		اقتصادی - اجتماعی
۰/۰۸۲	۳	۱	-	-	-		زیست‌محیطی
۰/۰۵۳	۱	-	-	-	-		زمین‌شناسی
۰/۰۸							ضریب سازگاری

معیار اقلیمی

سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما جزء گزینه‌های معیار اقلیمی می‌باشند. در بررسی جدول ۵ که مقایسه زوجی معیار اقلیمی در آن انجام گرفته سرعت باد بیشترین وزن (۰/۵۴۹) و دما کمترین وزن (۰/۰۷۴) را به خود اختصاص داده است. در اینجا با توجه به اینکه سرعت باد اصلی‌ترین عامل در

مکان‌یابی نیروگاه بادی می‌باشد، وزن بیشتری به خود اختصاص داده است و میزان نرخ سازگاری مقایسه زوجی گزینه‌های معیار اقلیمی ۰/۰۷ می‌باشد. از نظر معیار اقلیمی مناطق مرکزی و غربی استان به همراه گوشه شمال غرب آن از نظر احداث نیروگاه بادی مناسب می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه فازی شده معیار و گزینه‌های اقلیمی

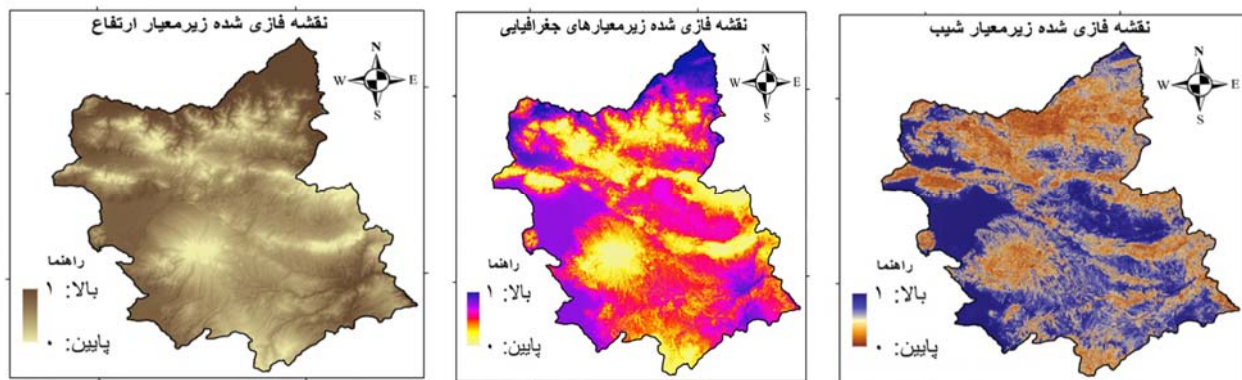
جدول ۵. مقایسه زوجی گزینه‌های در نظر گرفته شده در معیار اقلیمی

وزن	دما	فشار	سرعت باد غالب	سرعت باد	گزینه‌های اقلیمی
۰/۵۴۹	۵	۵	۳	۱	سرعت باد
۰/۲۴۸	۳	۳	۱	-	سرعت باد غالب
۰/۱۲۹	۳	۱	-	-	فشار
۰/۰۷۴	۱	-	-	-	دما
۰/۰۷	ضریب سازگاری				

معیار جغرافیایی

گزینه‌های جغرافیایی شامل ارتفاع از سطح دریا و شیب می‌باشد (شکل ۴). در جدول ۶ که نشان‌دهنده مقایسه زوجی گزینه‌های جغرافیایی می‌باشد، معیار ارتفاع از سطح دریا، با توجه به اینکه ارتفاع هر چه کمتر باشد در نتیجه حمل

تجهیزات توربین به منطقه آسانتر خواهد شد و لذا از لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر خواهد بود، وزن (۰/۸۰۰) بیشتری نسبت به شیب (۰/۲۰۰) به خود اختصاص داده و ضریب یا نرخ سازگاری در آن نیز صفر می‌باشد.



شکل ۴. نقشه معیار و گزینه‌های جغرافیایی

۰/۰۲ است (جدول ۷). بر اساس نظرات کارشناسی راه‌های ارتباطی وزن (۰/۰۶۵۵) بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند، چرا که نیروگاه بادی با قرار گرفتن در فاصله مناسب از راه‌های ارتباطی هم از لحاظ اقتصادی به صرفه خواهد بود، چون دیگر نیازی به احداث راه‌های ارتباطی جدید نخواهد بود و هم از لحاظ زیبایی‌شناسی جلوه خاصی به منطقه قرارگیری نیروگاه خواهد بخشید و از طرف دیگر باعث کاهش خطرات ناشی از کنده شدن پرها در کناره جاده‌ها خواهد شد که می‌تواند صدمات شدیدی را به وسایل نقلیه وارد نماید.

جدول ۶. مقایسه زوجی گزینه‌های معیار جغرافیایی

گزینه‌های جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	شیب	وزن
ارتفاع از سطح دریا	۱	۴	۰/۸۰۰
شیب	-	۱	۰/۲۰۰
ضریب سازگاری			۰

معیار اقتصادی - اجتماعی

گزینه‌های اقتصادی - اجتماعی شامل فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از شهرها و فاصله از روستاها می‌باشد (شکل ۵). نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی معیار اجتماعی - اقتصادی،

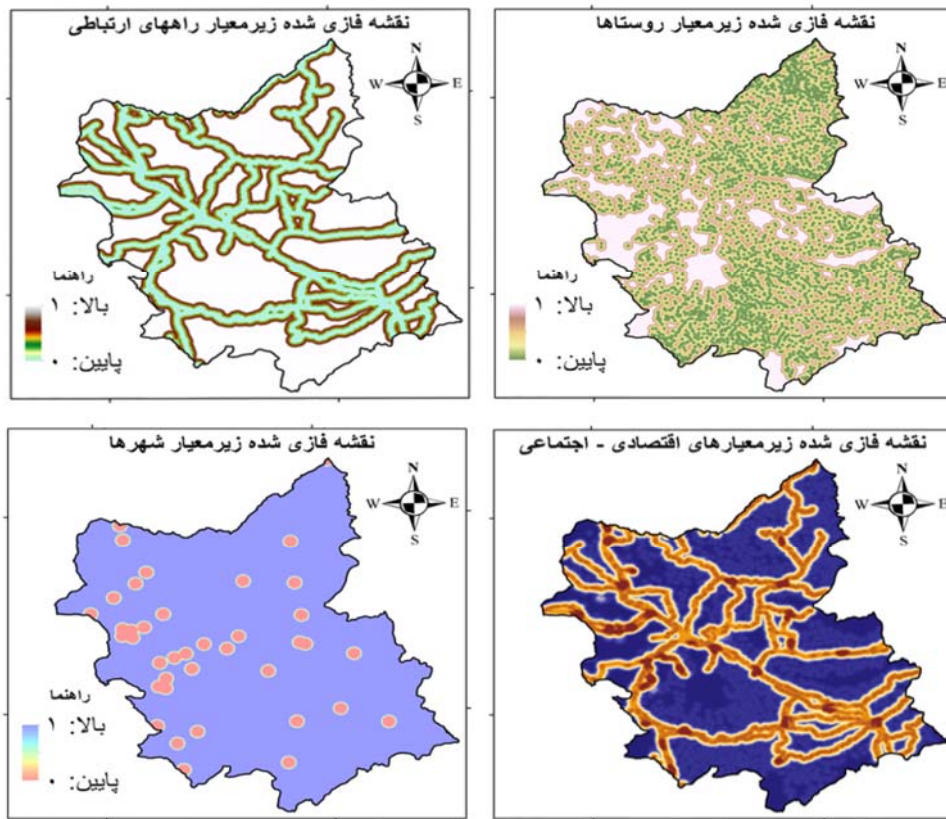
جدول ۷. مقایسه زوجی گزینه‌های در نظر گرفته شده در معیار اقتصادی - اجتماعی

گزینه‌های 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
ضریب سازگاری				۰/۰۲

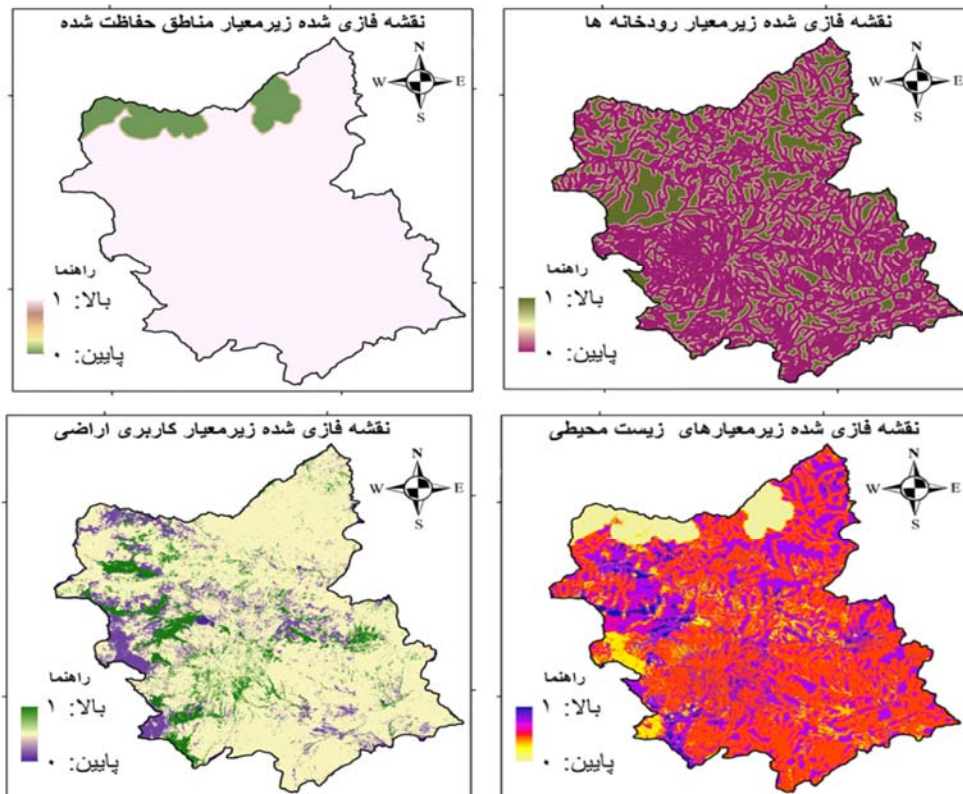
اکثراً محل زندگی گونه‌های نادر گیاهی و جانوری می‌باشد، لذا با احداث نیروگاه در این مکان باعث وارد آمدن لطمات شدید به محیط زیست و از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری نادر خواهد شد. لذا بر اساس نظرات کارشناسان فاصله از مناطق حفاظت شده وزن (۰/۵۴۰) بیشتری را به خود اختصاص داد.

معیار زیست‌محیطی

گزینه‌های مربوط به معیار زیست‌محیطی شامل فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌ها می‌باشد (شکل ۶). در جدول ۸ مقایسه زوجی گزینه‌های معیار زیست‌محیطی آورده شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۸ نشان می‌دهد که فاصله مناطق حفاظت شده با توجه به اینکه



شکل ۵. نقشه معیار و گزینه‌های اقتصادی - اجتماعی



شکل ۶. نقشه معیار و گزینه‌های زیست محیطی

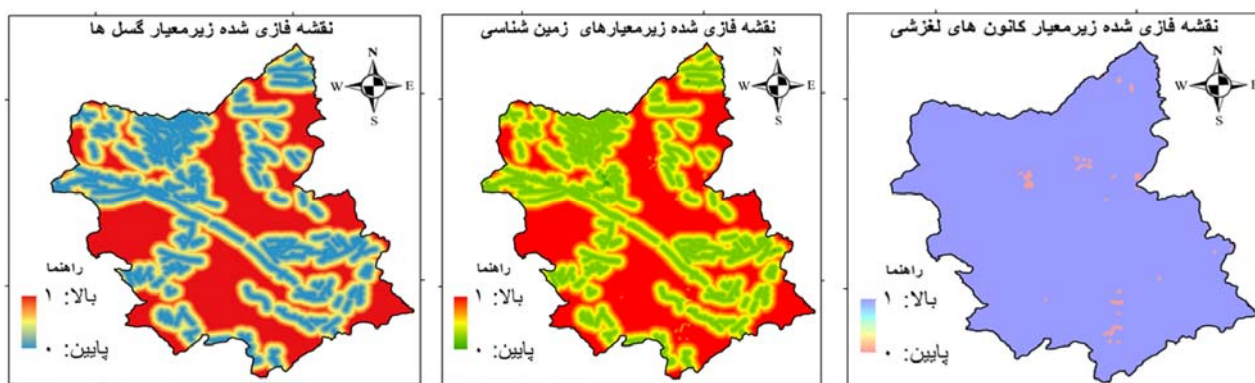
جدول ۸. مقایسه زوجی گزینه‌های معیار زیست‌محیطی

گزینه‌های زیست‌محیطی	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 رودخانه	-	-	۱	۰/۱۶۳
ضریب سازگاری				۰/۰۰۸۷۷

معیار زمین‌شناسی

در تعیین گزینه‌های معیار زمین‌شناسی، فاصله از کانون‌های لغزشی و فاصله از گسل‌ها مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۷). در جدول ۹ مقایسه زوجی گزینه‌های معیار زمین‌شناسی در مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی ارائه گردیده

است. نتایج نشان می‌دهد که فاصله از کانون‌های زلزله بر اساس نظرت کارشناسان وزن ۰/۷۵۰ نسبت به معیار فاصله از گسل‌ها داد، چرا که احداث نیروگاه بادی در مناطق زلزله‌خیز باعث آسیب دیدن توربین‌های بادی و کاهش توان استحصال از توربین‌ها خواهد شد.



شکل ۷. نقشه معیار و گزینه‌های زمین‌شناسی

جدول ۹. مقایسه زوجی گزینه‌های معیار زمین‌شناسی

گزینه‌های زمین‌شناسی	فاصله از کانون‌های لغزش	فاصله از گسل	وزن
فاصله از کانون‌های لغزش	۱	۳	۰/۷۵۰
فاصله از گسل	-	۱	۰/۲۵۰
ضریب سازگاری			۰

طبیعت منطقه در واقع، بهترین راهنمای انتخاب سایت توربین‌های بادی است. بنابراین، در مکان‌یابی سایت توربین‌های بادی بایستی از وجود بادهای غالب و همیشگی مطمئن بوده و در طول مسیر جهت این بادهای کم‌ترین مانع وجود داشته باشد. به علاوه جهت، سرعت باد غالب و تداوم

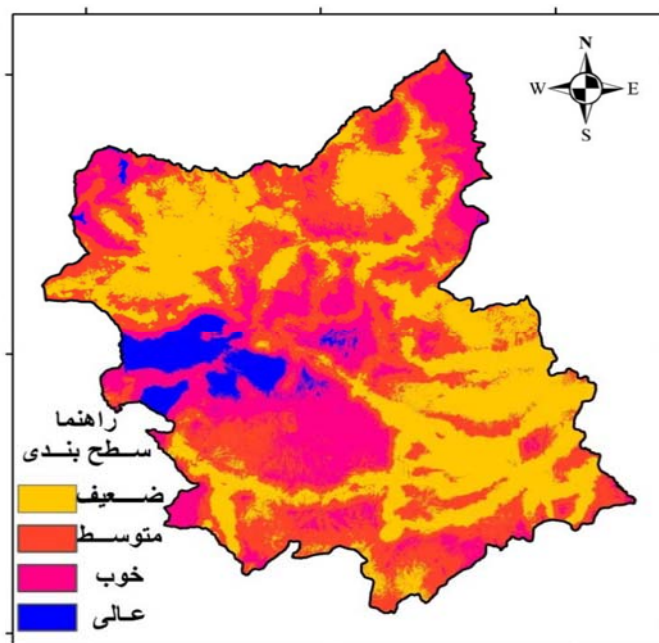
آن نیز از فاکتورهای بسیار مهم تلقی می‌شوند. با وجود این‌ها، تپه‌های وسیع، مسطح و تقریباً گرد، مناسب‌ترین محل نصب توربین‌های بادی هستند. با استفاده از مدل AHP و منطق فازی و با توجه به نقشه نهایی، مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه بادی در سطح استان آذربایجان شرقی شناسایی شدند. نتایج به

آن است که استان آذربایجان شرقی حدود ۰/۲۶٪ دارای مناطق خوب و عالی می‌باشد که مساحتی بالغ بر ۱۱۹۰۱۸۲ هکتار می‌باشد (جدول ۱۰). یافته‌های این تحقیق توانایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی 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.

دست آمده نشانگر پتانسیل بالای شهرهای تبریز، سهند، اسکو، آذرشهر، بستان‌آباد، شبستر، جلفا، هریس، میانه، بناب، مراغه، سراب، اهر، چاراویماق، مرند و هشتروند برای احداث مزارع بادی می‌باشند (شکل ۸). 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. همچنین یافته‌ها حاکی از

جدول ۱۰. مشخصات نقشه مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی

محدوده	ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد از سطح استان
آذربایجان شرقی	۱	ضعیف	۱۷۰۹۰۳۸/۴۰	۰/۳۷
	۲	متوسط	۱۶۵۰۹۳۲/۳۵	۰/۳۶
	۳	خوب	۹۷۲۸۸۷/۶۴	۰/۲۱
	۴	عالی	۲۱۷۲۹۴/۳۶	۰/۰۵۰



شکل ۸. نقشه مکان‌یابی نیروگاه بادی در استان آذربایجان شرقی

منابع مورد استفاده

۱. امانی، ا. و ع. حسینی شمعی. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی. فضای جغرافیایی، ۱۰(۲۹): ۱-۲۶.
۲. برزویی، ا. ۱۳۹۱. امکان‌سنجی انرژی باد در منطقه سبزوار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری. ۱۱۰ صفحه.
۳. زاهدی، م.، ب. صالحی و م. جمیل. ۱۳۸۴. محاسبه چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۷(۵۳): ۴۱-۵۵.
۴. زنده‌دل، ح. ۱۳۷۷. مجموعه راهنمای جامع ایران‌گردی، استان آذربایجان شرقی. تهران، نشر ایران گردان. ۲۰۳ صفحه.
۵. ساسان‌پور، ف. و ج. موسی‌وند. ۱۳۸۹. اثر عوامل انسان ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان شهری با کاربرد منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳(۱۶): ۲۹-۵۰.
۶. سالاری، م.، ه. معاضد و ف. رادمش. ۱۳۹۱. مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری با استفاده از مدل AHP_FUZZY در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر شیراز). طلوع بهداشت، ۱۱(۱): ۹۶-۱۰۱.
۷. سلطانی، ب.، ا. غلامیان و ک. دستجانی فراهانی. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل انرژی باد در بند امیرآباد به منظور امکان‌سنجی تاسیس نیروگاه بادی. نشریه انرژی ایران، ۱۳(۳): ۱۰۰-۱۱۵.
۸. صفاری، ا.، ف. ساسان‌پور و ج. موسی‌وند. ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷(۲۰): ۱۲۹-۱۵۰.
۹. عبدلی، ح.، ب. ساری صراف و ع. حسینی شمعی. ۱۳۸۸. امکان‌سنجی پتانسیل انرژی باد و کاربرد آن در طرح‌های توسعه صنعتی «مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی». فضای جغرافیایی، ۹(۲۸): ۵۷-۷۴.
۱۰. عبدی، ح.، ت. حسین‌زاده خنکداری، ر. ذاکری‌فر، ح. عباسیه‌کهن و ا. هاشمی پنه‌چوله. ۱۳۹۰. امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی مراوه تپه. نشریه انرژی، ۱۴(۳۷): ۵۵-۷۷.
۱۱. کرمی، آ. و ع. عبدشاهی. ۱۳۹۰. رتبه‌بندی توسعه یافتگی مناطق روستایی استان کهگیلویه و بویراحمد به روش فازی. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۳(۳): ۱۱۷-۱۳۶.
۱۲. متکان، ع.، ع. شکیبا، ح. پورعلی و ح. نظم‌فر. ۱۳۸۷. مکانیابی مناطق مناسب جهت دفن پسماند با استفاده از GIS (ناحیه مورد مطالعه: شهر تبریز). علوم محیطی، ۶(۲): ۱۲۱-۱۳۱.
۱۳. محمدی، ح.، ش. رستمی جلیلیان، ف. تقوی و ع. ا. شمسی‌پور. ۱۳۹۱. پتانسیل‌سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۲): ۱۹-۳۲.
14. Baban SM, Parry T. 2001. Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable Energy*, 24(1): 59-71.
15. Bennui A, Rattanamanee P, Puetpaiboon U, Phukpattaranont P, Chetpattananondh K. 2007. Site selection for large wind turbine using GIS. In: PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment, Thailand. pp 561-566.
16. Bertolini M, Braglia M, Carmignani G. 2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. *International Journal of Project Management*, 24(5): 422-430.
17. 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(3): 253-263.
18. Bowen WM. 1990. Subjective judgements and data envelopment analysis in site selection. *Computers, Environment and Urban Systems*, 14(2): 133-144.
19. Dey PK, Ramcharan EK. 2008. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. *Journal of Environmental Management*, 88(4): 1384-1395.
20. Gemelli A, Mancini A, Diamantini C, Longhi S. 2013. GIS-Supported Decision Making. In: *GIS to Support Cost-effective Decisions on Renewable Sources*. Springer, pp 19-32.
21. Hamouda YA. 2012. Wind energy in Egypt: Economic feasibility for Cairo. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5): 3312-3319.
22. Kordi M. 2008. Comparison of fuzzy and crisp analytic hierarchy process (AHP) methods for spatial multicriteria decision analysis in GIS. Independent thesis Advanced

- Energy and Environment (SEE 2009). pp 690-695.
27. Saaty TL. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Pittsburgh: McGraw-Hill, New York.
 28. Saaty TL. 1990. Decision Making for Leaders. Pittsburgh: RWS Publications.
 29. Saaty TL. 1996 the Analytic Network Process. Pittsburgh: RWS Publications.
 30. Sarkis J, Talluri S. 2004. Evaluating and selecting e-commerce software and communication systems for a supply chain. *European journal of operational research*, 159(2): 318-329.
 31. Taha HA. 2003. Operations Research. Pearson Education Inc. Fayetteville. 838 pp.
 32. Taylor BW. 2004. Introduction to Management Science. Pearson Education Inc. New Jersey. 841 pp.
 33. Zadeh LA. 1974. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 8: 199-249.
 - level (degree of Magister). University of Gävle, Department of Technology and Built Environment. 54 pp.
 23. Kunz J. 2010. The Analytic Hierarchy Process (AHP). Eagle City Hall Location Options Task Force. 25 pp.
 24. María J, Jiménez M, Joven JA, Pirla AR, Lanuza AT. 2005. A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making. *Group Decision and Negotiation*, 14(2): 89-108.
 25. Masseran N, Razali A, Ibrahim K. 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(8): 6476-6487.
 26. Prabamroong A, Manomaiphiboon K, Chanaprasert W, Rajpreeda N. 2009. Development of a GIS decision support system for wind farm installations in Thailand: current state and results. In: The 3rd international conference on Sustainable



Suitable sites for wind power plants constructed in East Azerbaijan using fuzzy-analytical hierarchy process (FAHP) method

M. Asadi ^{1*}, S. Jahanbakhsh Asl ²

1. MSc. of Climatology, Hakim Sabzevari University

2. Prof. College of Geography & Planning, University of Tabriz

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 January 2015

Accepted 23 August 2015

Available online 16 January 2016

Keywords:

Site selection

Fuzzy logic

Analytical hierarchy process (AHP)

Power plant

ABSTRACT

In this study, to determine appropriate locations for the construction of wind power plants in the East Azerbaijan, several criteria, including wind speed, prevailing wind speed, pressure, temperature, elevation, slope, road, city, village, protected areas, land use, river, fault and earthquakes were considered. All criteria were implemented by using an analytical hierarchy process (AHP) weight of layers in EC2000 software. For fuzzification the parameters were coded by 0, 1 into the IDRISI software and based on the expert opinions, the control points and fuzzy function of each layer was determined. Then the software Arc[®]GIS9.3 was used to overlay layers, and finally, the East Azerbaijan potential wind power plant was constructed in four levels: excellent (217294.36 ha), good (972887.64 ha), fair (1650932.35 ha) and poor (1709038.40 ha).

* Corresponding author e-mail address: asadimehdi11@yahoo.com