

نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۶، تابستان ۱۳۹۵، صفحات ۷۲-۵۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۳/۰۵

پتانسیل‌سنجی نیروگاه بادی با استفاده از روش Fuzzy-AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: شمال شرق کشور)

سعید جهانبخش اصل^۱

مهدی اسدی^۲

الهه اکبری^۳

چکیده

در این پژوهش جهت پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی در استان‌های خراسان رضوی و شمالی، معیارها و زیر معیارهای مختلفی مدنظر قرار گرفته است. برای فازی‌سازی معیارها براساس نظرات کارشناسی و بررسی تحقیقات صورت گرفته، نقاط کنترل و نوع تابع فازی برای هر یک از لایه‌ها براساس درجه‌بندی عضویت آن‌ها در محدوده صفر و یک در نرم‌افزار IDRISI مشخص گردید. سپس با توجه به اهمیت تلفیق اطلاعات، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی به لایه‌ها انتخاب و به کمک نرم‌افزار Expert choice پیاده‌سازی گردید. سپس از نرم‌افزار ArcGIS، به منظور تحلیل فضایی و همپوشانی لایه‌ها استفاده شد و بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات، استان‌های خراسان رضوی و شمالی از نظر قابلیت احداث نیروگاه بادی به چهار سطح عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم گردیدند. در نهایت نتایج حاصله نشانگر آن است که مناطق عالی جهت احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد بررسی، در محدوده جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه در ایستگاه تربت‌جام با مساحتی معادل ۲۲۲۵۶۵/۹۷ هکتار (۰/۱۸ درصد) قرار دارد. علاوه بر این، مناطق خوب با مساحتی بالغ بر ۱۸۱۷۵۷۳/۸۱ هکتار (۰/۱۷ درصد) شامل ایستگاه‌های

۱- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز

۲- کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری.

۳- عضو هیات علمی گروه اقلیم‌شناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

Email:asadimehdi11@yahoo.com

حوالی تایباد و خواف، گل‌مکان، سرخس، رشتخوار، بردسکن، نیشابور، سبزوار، بجنورد، جاجرم و فردوس می‌باشند. می‌توان در آینده با احداث نیروگاه بادی در این مکان‌ها از انرژی تجدیدپذیر باد که عاری از هرگونه آلودگی می‌باشد، نهایت استفاده را برد.

واژگان کلیدی: پتانسیل‌سنجی، نیروگاه‌بادی، روش فازی-سلسله مراتبی Fuzzy-AHP، سامانه اطلاعات جغرافیایی، خراسان رضوی و شمالی.

مقدمه

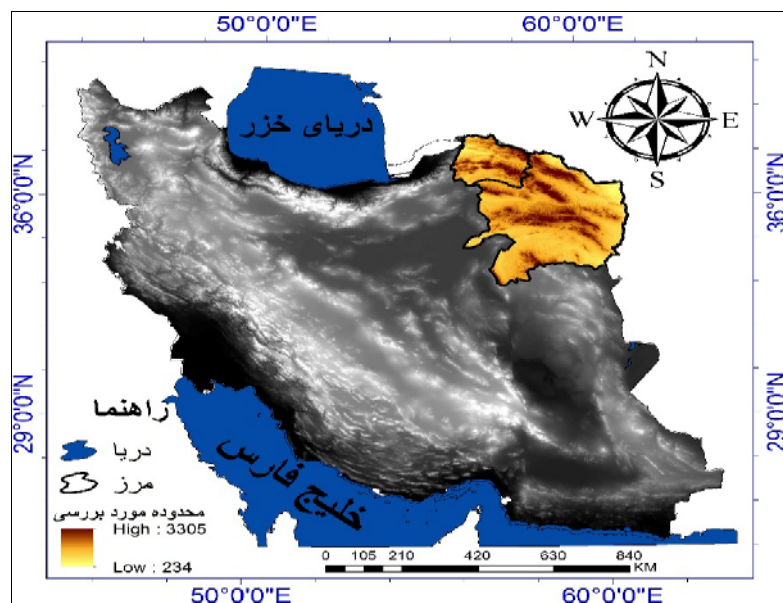
گسترده‌گی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از مسائل مهم و اساسی محسوب می‌شود. تلاش برای دستیابی به یک منبع انرژی پایان‌ناپذیر از آرزوهای دیرینه انسان بوده است (امانی و حسینی شمعچی، ۱۳۸۸: ۲). کلیه منابع انرژی فسیلی روزی به اتمام خواهند رسید و با اتمام انرژی‌های فسیلی غیرقابل تجدید، تمدن بشری که به انرژی وابسته است، مختل خواهد شد و نیاز به انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش خواهد یافت (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳). از طرف دیگر، مصرف منابع با انرژی فسیلی، مشکلات و هزینه‌های مادی و زیست محیطی خاص خود را در پی دارد (برزوئی، ۱۳۹۱: ۳). استفاده از انرژی اتمی نیز صرف نظر از پیامدهای شدید زیست‌محیطی نظیر زباله‌های اتمی و غیره، هزینه بالا و تکنولوژی پیشرفته‌ای می‌طلبد (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳). این مسأله سبب شده است که بشر همواره در پی منابع انرژی نو (انرژی خورشیدی، انرژی امواج دریا و اقیانوس‌ها، سوخت‌های زیستی، انرژی بادی و غیره...) جهت جایگزینی دو منبع انرژی مذکور باشد؛ منابعی که نه تنها ارزان قیمت و قابل دسترس باشد، بلکه مصرف آن‌ها آلودگی چندانی ببار نیاورد (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۴، ۴۲). 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 یاسمین (۲۰۱۲) 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 تامین برق مورد نیاز صنعت‌گران کمک کند. ماستران و همکارانش (۲۰۱۲) ارزیابی از چگالی برق بادی به‌دست آمده از چندین تابع چگالی سرعت باد را در مالزی انجام دادند. ایشان براساس نقشه‌ی متوسط تراکم توان برق در مالزی چندین منطقه مانند شمال‌شرق، شمال‌غرب، منطقه جنوب از سواحل مالزی و منطقه‌ی جنوب صباح را به‌عنوان 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 در سال ۱۳۹۰ صورت پذیرفته است. در این پژوهش براساس اطلاعات هواشناسی شرایط احداث یک نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی بررسی شده است. برزویی (۱۳۹۱) امکان‌سنجی انرژی باد در منطقه سبزوار را در پایان‌نامه خود مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، بعد از انجام محاسبات مشخص شد که انرژی حاصل از تولید یک توربین بادی در منطقه سبزوار ۴۴۳ مگاوات است.

در این تحقیق، سعی بر این است در منطقه‌ی شمال‌شرق (خراسان‌رضوی و شمالی) کشور که از وضعیت توپوگرافی و نسبی و همچنین جغرافیایی (بادهای صد و بیست روزه) خوبی برخوردار است با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش Fuzzy-AHP به مکان‌یابی و شناسایی مناطق مستعد برای احداث نیروگاه‌های بادی پرداخته شود.

منطقه مورد مطالعه

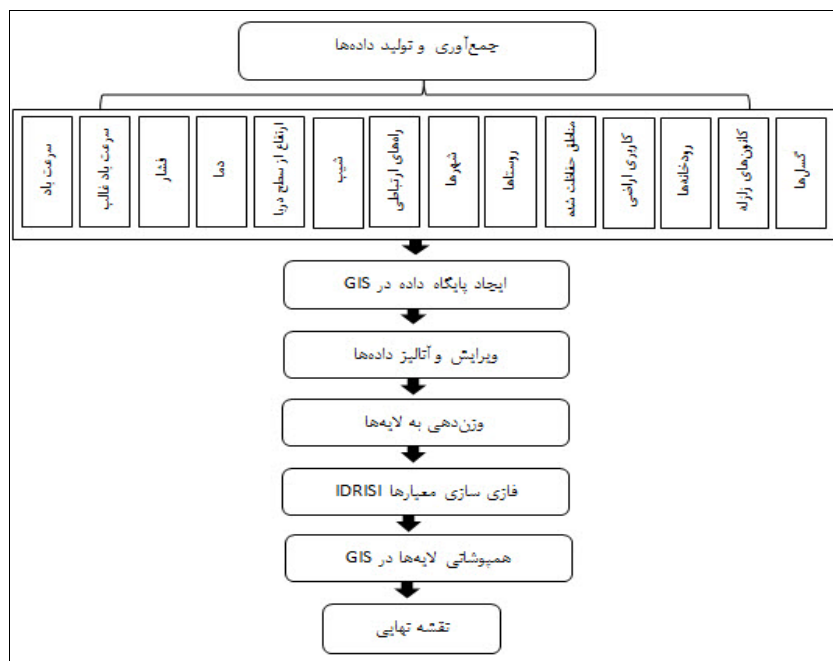
منطقه مورد مطالعه، با مساحتی حدود ۱۴۶۹۵۴ کیلومتر مربع، شامل استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی، در محدوده‌ی جغرافیایی، بین مدارهای ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). این استان‌ها از شمال 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.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

مواد و روش‌ها

در پتانسیل‌یابی نیروگاه بادی، به‌عنوان یک مسأله تصمیم‌گیری به ابزار خاص این موضوع نیاز می‌باشد. در این تحقیق، از آمار ۲۰ ساله اقلیمی استان‌های خراسان رضوی و شمالی استفاده و برای تجزیه و تحلیل فضایی و تهیه نقشه‌های زیر معیارهای اقلیمی (سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار، دما)، جغرافیایی (ارتفاع، شیب)، اقتصادی- اجتماعی (راه‌های ارتباطی، شهرها، روستا)، زیست‌محیطی (مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی، رودخانه) و زمین‌شناسی (کانون‌های زلزله، گسل) از نرم‌افزار ArcGIS9.3 استفاده گردید (شکل ۲).



شکل (۲) مراحل مختلف تحقیق

برای تهیه این نقشه‌ها از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شده است. به منظور بررسی کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ ماهواره لندست^۴ مربوط به سال ۲۰۰۸ استفاده گردید و برای تحلیل و تفسیر اطلاعات آن از نرم‌افزار ENVI4.8 بهره گرفته شد. سپس برای فازی‌سازی معیارها و زیرمعیارها از نرم‌افزار IDRISI و به منظور انجام تحلیل سلسله‌مراتبی و وزن‌دهی به لایه‌ها از نرم‌افزار Expert choice استفاده گردید. در نهایت برای تولید نقشه نهایی داده‌ها از قابلیت‌های همپوشانی در نرم‌افزار Arc GIS9.3 بهره گرفته شد.

4- Landsat

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۵

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای چندگانه باشد (تیلور^۶، ۲۰۰۴: ۳۷۴). زیرا تحلیل‌گران یا تصمیم‌گیرندگان را جهت سازماندهی مسائل حساس و حیاتی یاری می‌نماید (بولاکا، امور و پولونارا^۷، ۲۰۰۴: ۲۵۵). فرایند 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 فرایند، شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود. ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی، نخستین گام در فرایند تحلیل سلسله مراتبی بشمار می‌رود؛ و اهداف، معیارها و گزینه‌ها و نیز ارتباط آن‌ها در همین ساختار نشان داده می‌شود. مراحل بعد در فرایند تحلیل سلسله مراتبی شامل محاسبه وزن (ضرایب اهمیت) معیارها و زیرمعیارها، محاسبه ضریب اهمیت (وزن) گزینه‌ها، محاسبه نهایی گزینه‌ها، و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌هاست (ساعتی، ۱۹۹۶: ۱۶).

تعیین اهمیت ضریب معیارها و زیرمعیارها

در فرایند 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^۸، ۲۰۰۳: ۵۲۲). در ماتریس مقایسه جفتی، عدد ۹ نشان‌دهنده اهمیت فوق‌العاده زیاد یک معیار نسبت به دیگری است و عدد ۱/۹ نشان‌دهنده ارزش فوق‌العاده پایین یک معیار

5- Analytic Hierarchy Process

6- Taylor

7- Bevilacqua, Amore & Polonara

8- Taha

نسبت به معیار دیگر و ارزش عددی ۱ نیز نشان دهنده اهمیت‌ها برابر می‌باشد (جدول ۱) (کونز^۹، ۲۰۱۰: ۸).

جدول (۱) مقیاس ۹ کمیته ساعتی برای مقایسه جفتی (دی و رامچاران^{۱۰}، ۲۰۰۷، ۱۳۹۲)

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف، دو معیار اهمیت مساوی دارند
۳	اهمیت اندکی بیشتر	برای تحقق هدف اهمیت I بیشتر از J است.
۵	اهمیت بیشتر	اهمیت I خیلی بیشتر از J است.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	اهمیت I خیلی بیشتر از J است.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر از I نسبت به J به طور قطعی به اثبات رسیده
۲،۴،۶،۸	مقادیر متوسط بین دو قضاوت مجاور	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد

نرخ سازگاری

یکی از مزیت‌های فرایند سلسله مراتبی این است که میزان سازگاری مقایسه‌های انجام شده را مشخص می‌کند. تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری (C.R.)^{۱۱} کمتر از ۰/۱ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت؛ در غیر این صورت باید مقایسه‌ها مجدداً انجام گیرد (مرنو و جیمenez^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۲۷). نرخ سازگاری به روش ذیل قابل محاسبه می‌باشد (کوردی، ۲۰۰۸: ۹).

$$\text{C.R.} = \text{C.I.} / \text{R.I.} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{C.I.} = \lambda \text{Max-n} / \text{n-1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در روابط فوق n تعداد معیارها و R.I. شاخص سازگاری تصادفی است.

9- Kunz

10- Dey and Ramcharan

11- Capability Ratio

12- Moreno-Jimenez

مدل فازی

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم قطعیت موجود در فرایندهای شناختی انسانی، ابزارهای بسیارکارآمد و مفیدی به شمار می‌رود (لوتسما^{۱۳}، ۲۰۰۵: ۶۶). این نظریه نخستین بار توسط پرفسور لطفی‌زاده دانشمند ایرانی الاصل دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ مطرح شد (امینی فسخودی، ۱۳۸۴: ۴۱).

فازی‌سازی زیرمعیارها

این نظریه قادر است به بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های نادقیق (فازی) و مبهم، صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (کرمی و عبدشاهی، ۱۳۹۰: ۱۱۹). برخلاف منطق کلاسیک که دارای دو ارزش صفر و یک است، منطق فازی ارزش‌های خود را به صورت درصد عضویت در بازه (۰/۱) نشان می‌دهد. عدد یک نشان‌دهنده درجه عضویت کامل است (زاده، ۱۹۷۵: ۲۰۶). در روش استاندارد سازی فازی، برای ارزش‌گذاری مقادیر معمولاً از توابع عضویت مختلفی چون توابع Linear، J-Shape و Sigmoidal استفاده می‌شود (استمان، ۱۹۹۳: ۱۱۲).

یافته‌ها و بحث

نتایج حاصل از استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی

در این تحقیق، زیرمعیارهای موثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی براساس جدول ۲، با در نظر گرفتن انواع توابع فازی و نیز نقاط کنترل معرفی شده از سوی کارشناسان مختلف و تحقیقات پیشین، فازی‌سازی و استاندارد شده‌اند. به طوری که، در رابطه با شیب، هر چه شیب زمین کمتر باشد برای احداث نیروگاه بادی مناسب‌تر خواهد بود یا 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.

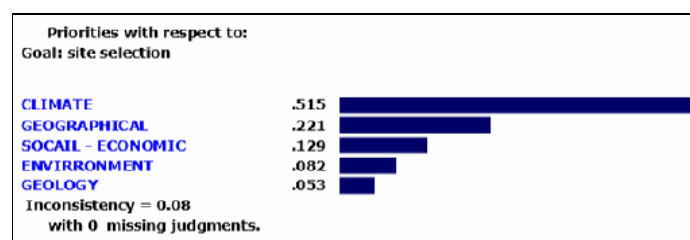
جدول (۲) حد آستانه و نوع تابع فازی جهت استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی (سروان، ۲۰۰۱، ۶۳؛ بنوی و همکاران، ۲۰۰۷، ۳؛ سالاری و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۰۲)

ردیف	نام معیار	نقاط کنترل A یا DC یا B		نوع تابع فازی	نام تابع فازی
		A	B		
۱	سرعت باد (نات)	۲	۸	افزایشی	Linear
۲	سرعت باد غالب (نات)	۶	۱۳	افزایشی	Linear
۳	فشار (هکتوپاسکال)	۱۰۰۰	۱۰۲۰	افزایشی	Linear
۴	دما (سنتی‌گراد)	۱۴	۲۰	افزایشی	Linear
۵	ارتفاع (متر)	۰	۲۰۰۰	کاهشی	J-Shape
۶	شیب (درصد)	۰	۱۵	کاهشی	J-Shape
۷	فاصله از راه ارتباطی (متر)	۱۰۰۰	۶۰۰۰	افزایشی	Linear
۸	فاصله از شهر (متر)	۲۰۰۰	۶۰۰۰	افزایشی	Linear
۹	فاصله از روستا (متر)	۱۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	Linear
۱۰	فاصله از مناطق حفاظت شده (متر)	۲۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	J-Shape
۱۱	کاربری اراضی (متر)	۲۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	Linear
۱۲	فاصله از رودخانه (متر)	۱۰۰۰	۲۰۰۰	افزایشی	Linear
۱۳	فاصله از غسل (متر)	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	افزایشی	Linear
۱۴	فاصله از نقاط زلزله‌خیز (متر)	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	افزایشی	Linear

- نتایج حاصل از اختصاص وزن به معیارها و زیرمعیارها

در این تحقیق، این وزن‌ها با توجه به اهمیت معیارها و زیرمعیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف "پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی" تعیین شده است. ابتدا معیارهای لایه‌های اصلی با یکدیگر مقایسه می‌شوند که این مقایسه‌ها بر اساس جدول ۹ کمیتی ساعتی انجام شده است (جدول ۱). ارجحیت یک گزینه یا عامل نسبت به خودش مساوی با یک است. جدول (۳) مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارهای موثر در پتانسیل‌سنجی احداث

نیروگاه بادی را نشان می‌دهد و شکل (۳) وزن‌های محاسبه شده معیارها و زیرمعیارها را در نرم‌افزار Expert Choice نشان می‌دهد. در جدول (۳) از بین معیارهای موثر در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی، معیار اقلیمی و زمین‌شناسی با بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیر به ترتیب اثرگذار است. این در حالی است که از بین معیارهای تاثیرگذار، عامل جغرافیایی در رده دوم اهمیت و با وزن ۰/۲۲۱ می‌باشد. در شکل ۳ مشاهده می‌شود که ضریب سازگاری مقایسه زوجی معیارها در نرم‌افزار Expert Choice کم‌تر از ۰/۱ می‌باشد که نشان از دقت بالای وزن‌دهی معیارها می‌باشد. لازم به ذکر است که تمامی این مراحل برای تمامی معیارها و زیرمعیارها انجام پذیرفت اما به دلیل کمبود فضا از آوردن آن‌ها صرف‌نظر شد.



شکل (۳) وزن‌های محاسبه شده معیارها

جدول (۳) مقایسه زوجی معیارهای اصلی در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی

وزن	زمین‌شناسی	زیست محیطی	اقتصادی - اجتماعی	جغرافیایی	اقلیمی	معیارهای موثر 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	-	-	-	زیست محیطی
۰/۰۵۳	۱	-	-	-	-	زمین‌شناسی

زیرمعیار اقلیمی

سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما جزو زیرمعیارهای معیار اقلیمی می‌باشند. در مقایسه زوجی معیار اقلیمی، سرعت باد بیش‌ترین وزن (۰/۵۴۹) و دما کم‌ترین وزن

(۰/۰۷۴) را به خود اختصاص داده است. در اینجا با توجه به این که سرعت باد اصلی ترین عامل در پتانسیل سنجی نیروگاه بادی می باشد، وزن بیش تری به خود اختصاص داده است.

زیر معیارهای جغرافیایی

زیر معیارهای جغرافیایی شامل ارتفاع از سطح دریا و شیب می باشد. در بررسی مقایسه زوجی زیر معیارهای جغرافیایی، زیر معیار ارتفاع از سطح دریا (با توجه به این که ارتفاع هر چه کم تر باشد در نتیجه حمل تجهیزات توربین به منطقه آسان تر خواهد شد و لذا از لحاظ اقتصادی به صرفه تر خواهد بود) وزن (۰/۸۰۰) بیش تری نسبت به شیب (۰/۲۰۰) بخود اختصاص داده است.

زیر معیارهای اقتصادی - اجتماعی

زیر معیارهای اقتصادی - اجتماعی شامل فاصله از راه های ارتباطی، فاصله از شهرها و فاصله از روستاها می باشد. در این معیار براساس نظرات کارشناسی، فاصله از راه های ارتباطی وزن (۰/۰۶۵۵) بیش تری را به خود اختصاص داده اند. چرا که نیروگاه بادی با قرار گرفتن در فاصله مناسب از راه های ارتباطی هم از لحاظ اقتصادی به صرفه خواهد بود، چرا که دیگر نیازی به احداث راه های ارتباطی جدید نخواهد بود و هم از لحاظ زیبایی شناسی جلوه خاصی به منطقه قرارگیری نیروگاه خواهد بخشید و از طرف دیگر باعث کاهش خطرات ناشی از کنده شدن پره ها در کناره جاده ها خواهد شد که می تواند صدمات شدیدی را به وسایل نقلیه وارد نماید.

زیر معیارهای زیست محیطی

زیر معیارهای، معیار زیست محیطی، شامل فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه ها می باشد. مناطق حفاظت شده با توجه به این که اکثرا محل زندگی گونه های نادر گیاهی و جانوری می باشد، لذا با احداث نیروگاه در این مکان باعث وارد آمدن لطمات شدیدی به محیط و از بین رفتن گونه های گیاهی و جانوری نادر خواهد شد، لذا براساس نظرات کارشناسان فاصله از مناطق حفاظت شده وزن (۰/۵۴۰) بیش تری را به خود اختصاص داد.

زیرمعیار زمین‌شناسی

در تعیین زیر معیارهای زمین‌شناسی، فاصله از کانون‌های زلزله و فاصله از گسل‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که در آن به فاصله از کانون‌های زلزله براساس نظرات کارشناسان وزن بیش‌تری (۰/۷۵۰) نسبت به معیار فاصله از گسل‌ها اختصاص یافته است، چرا که احداث نیروگاه بادی در مناطق زلزله‌خیز باعث آسیب دیدن توربین‌های بادی و کاهش توان استحصال از توربین‌ها خواهد شد.

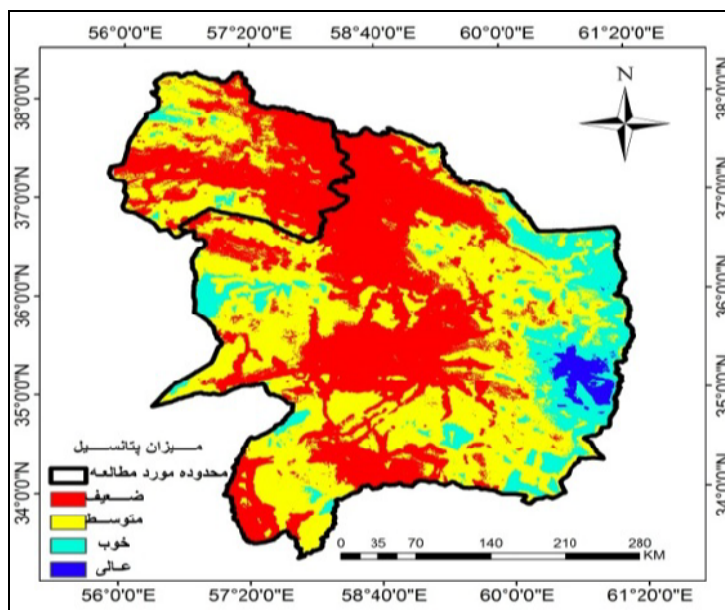
نتایج حاصل از تلفیق لایه‌ها

پس از عملیات فازی‌سازی و وزن‌دهی لایه‌های موثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نظیر روش همپوشانی وزندار^{۱۴} به‌منظور هم‌پوشانی 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. مناطق عالی جهت احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد بررسی، در محدوده جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه حدود ۰/۰۱۴ درصد از سطح منطقه را به‌خود اختصاص داده است. منطقه عالی با مساحتی بالغ بر ۲۲۲۵۶۵/۹۷ هکتار در استان خراسان رضوی قرار دارد. این در حالی است که استان خراسان شمالی با توجه به محدودیت بیش‌تر (گسل، ارتفاع، شیب، کانون زلزله و وسعت کم‌تر نسبت به خراسان رضوی) دارای منطقه عالی نمی‌باشد و مناطق خوب با دارا بودن ۰/۱۲ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، شامل ایستگاه‌های حوالی تایباد و خواف، گل‌مکان، سرخس، بردسکن، نیشابور، سبزوار، بجنورد، جاجرم و فردوس می‌باشد. در حالی که کلاس ضعیف ۰/۴۲ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده و سطح وسیعی از مناطق جنوب غرب، جنوب، مرکز و شمال منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. در شکل (۴) نقشه پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه بادی مشخص گردیده است (جدول ۴).

14- Weighted overlay

جدول (۴) مشخصات نقشه پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی

محدوده	ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد از سطح استان
کل منطقه	۱	ضعیف	۶۶۶۴۶۲۶/۲۵	۰/۴۲
	۲	متوسط	۶۸۶۷۰۵/۱۴	۰/۴۵
	۳	خوب	۱۸۱۷۵۷۳/۸۱	۰/۱۲
	۴	عالی	۲۲۲۵۸۴/۷۲	۰/۰۱۴
خراسان رضوی	۱	ضعیف	۴۹۸۹۳۸۷/۶۰	۰/۳۹
	۲	متوسط	۵۸۱۰۳۸۴/۹۷	۰/۴۵
	۳	خوب	۱۷۳۷۹۳۶/۱۸	۰/۱۴
	۴	عالی	۲۲۲۵۶۵/۹۷	۰/۰۱۸
خراسان شمالی	۱	ضعیف	۱۶۷۴۴۸۶/۶۳	۰/۵۹
	۲	متوسط	۱۰۵۷۴۵۹/۹۰	۰/۳۷
	۳	خوب	۷۹۴۴۴/۲۰	۰/۰۲۸



شکل (۴) نقشه پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی در شمال شرق کشور

نتیجه‌گیری

طبیعت منطقه در واقع بهترین راهنمای انتخاب سایت توربین‌های بادی است. همچنین تهیه گلباد منطقه، راهنمای اولیه مناسبی برای امکان استفاده از انرژی باد می‌باشد. بنابراین، در مکان‌یابی سایت توربین‌های بادی بایستی از وجود بادهای غالب و همیشگی مطمئن بوده و همچنین 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 استان‌های خراسان رضوی و شمالی شناسایی شدند. نتایج به دست آمده نشانگر پتانسیل بالای شهرهای تربت‌جام، سرخس، تایباد، خواف، رشتخوار، گلکمان، نیشابور، سبزوار، بردسکن، فردوس، جاجرم، و بجنورد برای احداث نیروگاه بادی می‌باشند (شکل ۴). این مناطق با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل سرعت باد، سرعت باد غالب، وسعت و محدودیت‌ها تعیین شده‌اند. در پتانسیل‌سنجی مکان‌های مستعد احداث نیروگاه بادی در سطح منطقه مورد مطالعه، استان خراسان رضوی با توجه به وسعت بالاتر و شیب کم‌تر نسبت به استان خراسان شمالی، از پتانسیل بالاتر و محدودیت کم‌تر برای احداث نیروگاه بادی برخوردار است، این در حالی است که در جنوب‌شرق 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 پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی ارزیابی شده‌اند. همچنین یافته‌ها حاکی از آن است که استان خراسان رضوی حدود ۰/۱۵۸ درصد دارای مناطق خوب و عالی می‌باشد. در حالی که خراسان شمالی فاقد مناطق عالی برای احداث نیروگاه بادی می‌باشد و تنها حدود ۰/۰۲۸ درصد دارای مناطقی با سطح خوب برای احداث نیروگاه بادی می‌باشد (جدول ۴).



یافته‌های این تحقیق، توانایی سیستم 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، توان تعمیم اطلاعات، ساخت مدل‌های جدید و آزمون روش‌های مختلف را دارا می‌باشند. بنابراین، با احداث نیروگاه بادی در این مناطق مستعد می‌توان به توان انرژی‌های استحصال‌ی از آن‌ها در منطقه افزود و با کاهش انرژی در آینده نه چندان دور مبارزه نمود.

منابع

- امانی، ابوالفضل و حسینی شمعی، عباس (۱۳۸۸)، «بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی»، *مجله فضای جغرافیایی*، سال دهم، شماره ۲۹، صص ۲۶-۱.
- امینی فسخودی، عباس (۱۳۸۴)، «کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای»، *مجله دانش و توسعه*، شماره ۱۷، صص ۳۹-۶۱.
- برزویی، اکرم (۱۳۹۱)، «امکان‌سنجی انرژی باد در منطقه سبزوار»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.
- زاهدی، مجید؛ صالحی، برومند و جمیل، مجید (۱۳۸۴)، «محاسبه چگالی و توان باد به‌منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۵۳، صص ۴۱-۵۵.
- سالاری، مرجان؛ معاضد، هادی؛ رادمنش، فریدون (۱۳۹۱)، «مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری با استفاده از مدل AHP-FUZZY در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر شیراز)»، *فصلنامه دانشکده بهداشت یزد*، سال یازدهم، شماره اول، صص ۹۶-۱۰۹.
- سلطانی، سیدباقر؛ غلامیان، سیداصغر و دستجانی فراهانی، کسری (۱۳۸۹)، «بررسی پتانسیل انرژی باد در بند امیرآباد به‌منظور امکان‌سنجی تأسیس نیروگاه بادی»، *نشریه انرژی ایران*، دوره سیزدهم، شماره ۱۳، صص ۱-۱۶.
- عبدی، حمدی؛ حسین‌زاده خنکداری، تقی؛ ذاکری‌فر، رزم‌آرا؛ عباسیه‌کهن، سیدحسین و هاشمی پنبه‌چوله، سیدابراهیم (۱۳۹۰)، «امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی مراوه تپه»، *نشریه انرژی*، دوره ۱۴، شماره ۱۵، صص ۱-۲۲.
- کرمی، آیت‌اله و عبدشاهی، عباس (۱۳۹۰)، «رتبه‌بندی توسعه‌یافتگی مناطق روستایی استان کهگیلویه و بویراحمد به روش فازی»، *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، جلد ۳، شماره ۳، صص ۱۱۷-۱۳۶.
- Bennui, A. Rattanamanee, P. Puetpaiboon, U. Phukpattaranont, P. Chetpattananondh, K., (2007), "Site selection for large wind turbine



- using GIS”, PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment, Thailand, 1-6.
- 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.
- Dey, P.K, E.K, Ramcharan. (2007), “Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados”, *Journal of Environmental Management*, 1384-1395.
- Eastman, J.R. Kyem, P.A, K. Toledano, J. Jin, W., (1993), “GIS and Decision Making”, m 1st ed., *UNITAR*, 108-112.
- Kordi, M., (2008), “*Comparison of fuzzy and crisp analytic hierarchy process (AHP) methods for spatial multi criteria decision analysis in GIS*”, University of Gavle Department of Techonology.
- Kunz, J., (2010), “The Analytic Hierarchy Process (AHP)”, Eagle City Hall Location Options Task Force, 1-25.
- Lootsma, F.A., (2005), “*Fuzzy Logic for Planning and Decision Making*”, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher.
- 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.
- 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.
- Saaty, T.L., (1996), “*The Analytic Network Process*”, Pittsburgh: RWS Publications.
- Serwan M.J., Baban, Tim Parry, (2001), “Developing and applying a GIS assisted approach to locating wind farms in the UK”, *Renewable Energy*, 24, 59-71.
- Taha, H.A., (2003), “*Operations Research*”, Pearson Education Inc. Fayetteville.

- Taylor, B.W., (2004), "*Introduction to Management Science*", Pearson Education Inc. New Jersey.
- Yasmina, A.H., (2012), "Wind energy in Egypt Economic feasibility for Cairo", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 3312-3319.
- Zadeh, L.A., (1975), "The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I", *Information Sciences*, 8, 199-249.