

شناسایی مناطق مستعد احداث نیروگاه بادی مطالعه موردی: استان فارس

غلامعباس فلاح قاله‌ری*^۱، فهیمه شاکری^۲، مهدی اسدی^۳، حسن رضایی^۴

۱ دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

۲ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

۳ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

۴ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۹؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۴/۲۶)

چکیده

باد به عنوان یکی از مظاهر انرژی‌های نو، برای جایگزین شدن سوخت‌های فسیلی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. استان فارس با توجه به وضعیت توپوگرافی و موقعیت نسبی خود یکی از مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث نیروگاه بادی می‌باشد. بنابراین، در این پژوهش جهت پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی در استان فارس، معیارها و زیرمعیارهای 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 الی یک در نرم‌افزار ادیسی مشخص شد. سپس با توجه به اهمیت تلفیق اطلاعات، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی به لایه‌ها انتخاب و به کمک نرم‌افزار Expert Choice پیاده‌سازی شد. سپس از نرم‌افزار ArcGIS، به منظور تحلیل فضایی و هم‌پوشانی لایه‌ها استفاده و بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات، استان فارس، از نظر قابلیت احداث نیروگاه بادی به چهار سطح عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم شد. در نهایت، نتایج حاصله نشانگر آن است که مناطق عالی جهت احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد بررسی، در محدوده شمال، جنوب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه در ایستگاه اقلید و لامرد با مساحتی بالغ بر ۸۹۳۷۲۲/۶۹ هکتار یا ۷/۲۹ درصد قرار دارد. علاوه بر این، مناطق خوب با مساحتی بالغ بر ۳۶۶۲۸۴۷/۷۶ هکتار یا ۲۹/۸۸ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، شامل ایستگاه‌های لار، غرب فیروزآباد، ممسنی، آباده، اقلید و جنوب داراب می‌باشد. همچنین در آینده می‌توان با احداث نیروگاه بادی در این مکان‌ها از انرژی تجدیدپذیر باد که عاری از هرگونه آلودگی محیط‌زیست می‌باشد، نهایت استفاده را برد.

کلید واژه‌ها: پتانسیل‌سنجی، نیروگاه بادی، روش فازی-ای اچ پی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، استان فارس

سرآغاز

گسترده‌گی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از مسایل مهم و اساسی محسوب می‌شود. تلاش برای دستیابی به یک منبع انرژی پایان‌ناپذیر از آرزوهای دیرینه انسان بوده است (امانی و حسینی شمعی، ۱۳۸۹). کلیه منابع انرژی فسیلی روزی به اتمام خواهند رسید (عبدلی و همکاران، ۱۳۸۸) 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 (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹). از طرف دیگر، مصرف منابع با انرژی فسیلی، مشکلات و هزینه‌های مادی و محیط‌زیستی خاص خود را در پی دارد (برزوئی، ۱۳۹۱). استفاده از انرژی اتمی نیز صرف‌نظر از پیامدهای شدید محیط‌زیستی مانند زباله‌های اتمی و غیره، هزینه بالا و تکنولوژی پیشرفته‌ای می‌طلبد (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹). 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 باشند، بلکه مصرف آنها آلودگی چندانیه به بار نیاورد (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۴). 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 (Bamroong et al., 2009)، 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 به کار بردن محدودیت‌های انتخاب شده، درصد کل مساحت محتمل برای نصب نیروگاه بادی با توجه به کل مساحت در هر منطقه محاسبه شد.

(Yasmina, 2012)، 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. (برزوئی، 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. (اسدی و همکاران، ۱۳۹۲) در

پایان‌نامه خود تحت عنوان شناسایی مزارع و مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در شمال شرق کشور با استفاده از روش AHP و سامانه اطلاعات جغرافیایی، به بررسی مکان‌های مستعد برای احداث نیروگاه بادی پرداختند. در این پژوهش، 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 شدند که این مناطق به ترتیب، تربت‌جام، گل‌مکان، نیشابور، سبزوار، بجنورد و فردوس می‌باشند. در این تحقیق، سعی بر این است که در استان فارس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش Fuzzy-AHP به مکان‌یابی و شناسایی مناطق مستعد برای احداث نیروگاه‌های بادی پرداخته شود و توان منطقه در تولید انرژی الکتریسیته مورد ارزیابی قرار گیرد.

روش پژوهش

در پتانسیل‌یابی نیروگاه بادی، به عنوان یک مساله تصمیم‌گیری به مواد و ابزار خاص این موضوع نیاز می‌باشد. در این تحقیق، از آمار ۲۶ ساله اقلیمی استان فارس در بازه آماری ۲۰۱۳-۱۹۸۷ استفاده و برای تجزیه و تحلیل فضایی و تهیه نقشه‌های (به جز نقشه کاربری اراضی، مقیاس مابقی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ می‌باشد) زیرمعیارهای اقلیمی (سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار، دما)، جغرافیایی (ارتفاع، شیب)، اقتصادی- اجتماعی (راه‌های ارتباطی، شهرها، روستا)، محیط‌زیستی (مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی، رودخانه) و زمین‌شناسی (کانون‌های زلزله، گسل) از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 استفاده شد. به منظور بررسی کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ ماهواره لندست^(۱) مربوط به سال ۲۰۰۸ استفاده شد و برای تحلیل و تفسیر اطلاعات آن از نرم‌افزار ENVI 4.8 بهره گرفته شد. سپس برای فازی‌سازی معیارها و زیرمعیارها از نرم‌افزار Edrisi و به منظور انجام تحلیل سلسله مراتبی و وزن‌دهی به لایه‌ها از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. در نهایت برای تولید نقشه نهایی داده‌ها از قابلیت‌های هم‌پوشانی در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 بهره گرفته شد. جدول (۱) لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در مقاله و جدول (۲) عوامل موثر در مکان‌یابی نیروگاه بادی و آثار آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۱): لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در مقاله (منبع: نگارندگان)

| ردیف | لایه | منبع | مقیاس |
|------|--------------------------|------------------------------------|----------|
| ۱ | رقومی توپوگرافی | سازمان زمین شناسی | ۱:۲۵۰۰۰۰ |
| ۲ | مدل رقومی ارتفاع | تولید شده توسط محقق | - |
| ۳ | گسل‌ها | سازمان زمین شناسی | ۱:۲۵۰۰۰۰ |
| ۴ | کانون‌های زلزله | مرکز لرزه نگاری کشوری | ۱:۲۵۰۰۰۰ |
| ۵ | رقومی زمین شناسی | سازمان زمین شناسی | 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 |

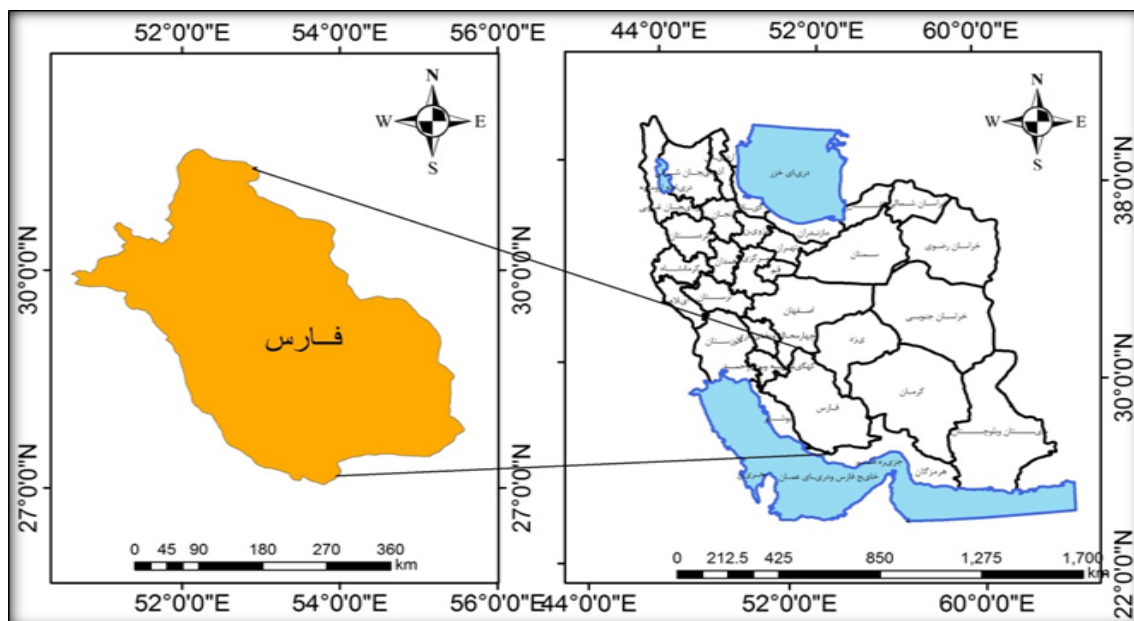
جدول (۲): عوامل موثر در مکان‌یابی نیروگاه بادی و آثار آن‌ها (بهشتی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹)

| ردیف | کلاس عوامل | عوارض مورد بررسی | اهمیت در مکان‌یابی | نوع اثر |
|------|-------------------|--------------------|--|--|
| ۱ | اقلیمی | سرعت باد | هر چه سرعت باد بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین‌های بادی افزایش می‌یابد | تأثیر بر میزان انرژی تولیدی |
| | | سرعت باد غالب | | تأثیر بر میزان توان قابل استحصال توربین |
| ۲ | جغرافیایی | فشار دما | افزایش ارتفاع، منجر به کاهش فشار و دمای هوا می‌شود | |
| | | ارتفاع از سطح دریا | | افزایش راندمان سهولت ساخت سازه‌های نیروگاهی |
| ۳ | اقتصادی - اجتماعی | شیب | سهولت ساخت سازه‌های نیروگاهی و جاده‌های دسترسی | اقتصادی، محیط زیست |
| | | راه‌های ارتباطی | | دسترسی به محل و حمل تجهیزات |
| ۴ | محیط‌زیست | شهرها | تامین برق و نیروی انسانی | اقتصادی، محیط زیست |
| | | روستاها | | تامین برق و نیروی انسانی |
| ۵ | زمین‌شناسی | مناطق حفاظت شده | کاهش خسارت‌های محیط‌زیست ناشی از احداث نیروگاه | محیط‌زیست (حفاظت از گونه‌های نادر و در حال انقراض) |
| | | کاربری اراضی | | اقتصادی، محیط زیست |
| | | رودخانه‌ها | | اقتصادی، محیط زیست |
| ۵ | زمین‌شناسی | کانون‌های زلزله | تامین امنیت سازه‌های نیروگاه | اقتصادی |
| | | فاصله از گسل‌ها | تامین امنیت سازه‌های نیروگاه | اقتصادی |

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (۲)

در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند (جدول ۳). 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 به شمار 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،

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای چندگانه باشد (Taylor, 2004) زیرا تحلیل گران یا تصمیم‌گیرندگان را جهت سازماندهی مسایل حساس و حیاتی یاری می‌نماید. فرایند تحلیل سلسله مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود (Bevilacqua & Polonara, 2004) این عناصر شامل اهداف، معیارها و گزینه‌های احتمالی هستند که



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

اعضای گروه یا اولویت‌های جدول‌های ترکیبی اعتماد کرد. تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری (C.R) کمتر از ۰/۱ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت؛ در غیر این صورت باید مقایسه‌ها مجدداً انجام گیرند (Maria et al., 2005; Bertolini & Braglia, 2006). نرخ سازگاری به روش ذیل (معادله ۱ و ۲) قابل محاسبه می‌باشد (Kordi, 2008)

$$C.R. = C.I. / R.I. \quad (1)$$

$$C.I. = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} \max(n - i, 1) \quad (2)$$

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

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 بسیار کارآمد و مفیدی به‌شمار می‌روند (Lootsma, 2005). این نظریه نخستین بار توسط پروفیسور لطفی‌زاده دانشمند ایرانی دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ مطرح شد (امینی فسخودی، ۱۳۸۴). تئوری مجموعه فازی، روشی است که قضاوت‌های فردی و مبهم در مورد یک پدیده منحصر به فرد را وارد مدل‌های احتمالی یا ریاضی می‌نماید (قائدرحمتی، ۱۳۹۰).

محاسبه نهایی گزینه‌ها، و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌هاست (Saaty, 1980; Saaty, 1990; Saaty, 1996).

• تعیین اهمیت ضریب معیارها و زیرمعیارها

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، برتری بین گزینه‌ها به‌وسیله 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 به‌وسیله آن ارجحیت یا اهمیت دو گزینه را نسبت به هم می‌سنجند (Taha, 2003). در این فرایند 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 ۳). 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 نسبت به معیار دیگر و ارزش عددی ۱ نیز نشان‌دهنده اهمیت‌های برابر می‌باشد (Sarkis & Talluri, 2004; Kunz, 2010).

• نرخ سازگاری

یکی از مزیت‌های فرایند 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

جدول (۳): مقیاس ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه جفتی
(Bowen, 1990; Dey & Ramcharan, 2008; Kholil, 2013)

| 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 |
| ۲،۴،۶،۸ | مقادیر متوسط بین دو قضاوت مجاور | هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد |

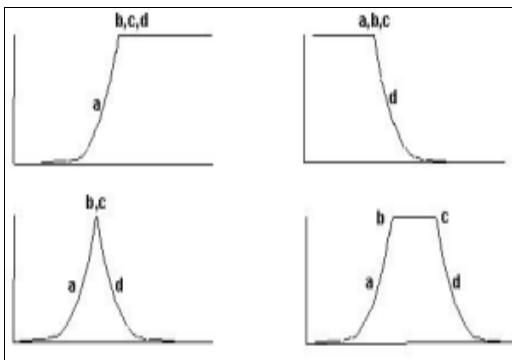
• فازی‌سازی زیرمعیارها

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). 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. در روش استاندارد سازی فازی، برای ارزش‌گذاری مقادیر معمولاً از توابع عضویت مختلفی چون توابع Linear، J-Shape و Sigmoidal استفاده می‌شود (متکان و همکاران، ۱۳۸۷). علاوه بر این توابع، کاربر می‌تواند با توجه به نیاز خود، تابع نیز تعریف نماید (شکل‌های ۲ تا ۴). یکی دیگر از عوامل موثر در استانداردسازی نقشه‌های فازی تعیین حد آستانه است که به آنها نقاط کنترل می‌گویند. اما نکته‌ای که باید در انتخاب تابع به آن توجه نمود، نوع کاهشی یا افزایشی بودن معیار موردنظر می‌باشد. در اینجا منظور از کاهش، حداقل‌شونده یا صعودی بودن تابع است (سالاری و همکاران، ۱۳۹۱).

تابع عضویت Sigmoidal از رابطه (۳) به دست می‌آید (متکان و همکاران، ۱۳۸۷).

$$(۳) a = (x-a) / (b-a) * p_i / 2$$

$$\text{if } x > b \rightarrow \mu = 1$$

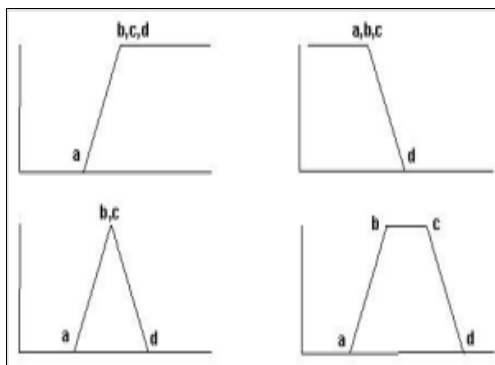


شکل (۳): تابع عضویت J-shape

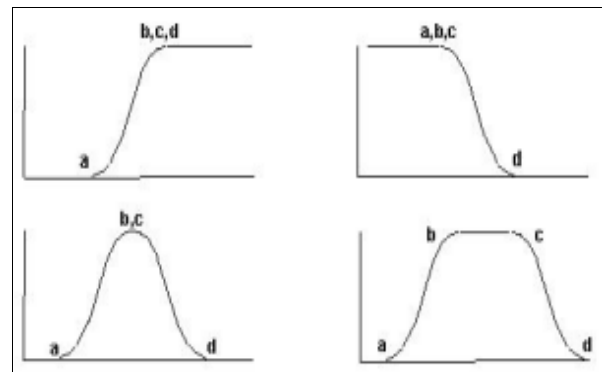
تابع عضویت J-shape از رابطه (۴) به دست می‌آید (ساسان‌پور و موسی‌وند، ۱۳۸۸؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۰).

$$\mu = 1 / (1 + ((x-a) / (b-a))^2) \quad (۴)$$

$$\text{If } z > b \rightarrow \mu = 1$$



شکل (۴): تابع عضویت Linear



شکل (۲): تابع عضویت Sigmoidal

منطقه مورد مطالعه

استان فارس با مساحتی در حدود ۱۳۳ هزار کیلومتر مربع در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان از شمال با استان اصفهان و یزد، از غرب با استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و بوشهر، از جنوب با استان هرمزگان و از شرق با استان کرمان همسایه است (شکل ۱).

یافته‌ها

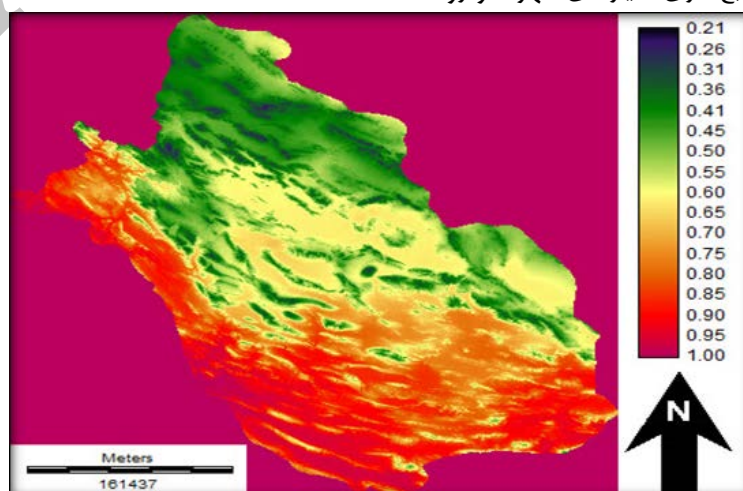
نتایج حاصل از استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی

در این تحقیق، زیرمعیارهای موثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی براساس جدول (۴)، 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. اما در سایر موارد مانند سرعت باد و سرعت باد غالب نوع تابع فازی براساس نظرات کارشناسی افزایشی تعریف شد. چرا که با افزایش سرعت باد، توان قابل استحصال از توربین بادی بیشتر خواهد شد و در نتیجه صرفه اقتصادی بیشتری خواهد داشت. همچنین در خصوص افزایشی بودن نوع تابع فازی معیارهای شهرها و روستا

باید به این نکته اشاره کرد که در شهرها، ساختمان‌ها نوعی مانع در مقابل باد محسوب می‌شوند که خود سبب کاهش توان قابل استحصال از توربین می‌شود. همچنین توربین‌ها نیز با توجه به چرخش موتور و پره‌ها، صدای آیرودینامیکی خاصی ایجاد می‌کنند که سبب برهم زدن آسایش اطراف خود است، بنابراین نوع تابع باید افزایشی باشد تا بتوان از حداکثر توان باد و توربین بادی برای تولید الکتریسیته استفاده نمود. در مورد مناطق حفاظت شده، رودخانه‌ها و گسل‌ها هر چه فاصله از این معیارها بیشتر باشد یعنی نوع تابع فازی افزایشی باشد، به ترتیب آسیب کمتری به محیط‌زیست و نیروگاه بادی خواهد رسید، چرا که امکان دارد مناطق حفاظت شده، محل زندگی گونه‌های نادر جانوری باشد که احداث نیروگاه سبب به خطر افتادن حیات جانوری شود. از طرفی، رودخانه‌ها اکثراً محل زندگی پرندگان مهاجر است که اگر یک فاصله استاندارد از رودخانه‌ها در نظر گرفته نشود، سبب برخورد پرندگان با پره‌های توربین شده و حیات پرندگان با خطر مواجه می‌شود. در مورد گسل‌ها، با فعالیت گسل صدمات جبران‌ناپذیری به نیروگاه از نظر مالی وارد می‌شود. شکل (۵) نشان‌دهنده نقشه‌های فازی شده ارتفاع در نرم‌افزار ادریسی است که با توجه به نظرهای کارشناسان امر، نوع تابع آن به صورت کاهش می‌باشد.

نتایج حاصل از اختصاص وزن به معیارها و زیرمعیارها

در این تحقیق، وزن‌ها با توجه به اهمیت معیارها و زیرمعیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف «توان‌سنجی احداث نیروگاه بادی» تعیین شده است.



شکل (۵): نقشه فازی‌سازی شده ارتفاع

جدول (۴): حد آستانه و نوع تابع فازی جهت استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی (Bennui et al., 2007)

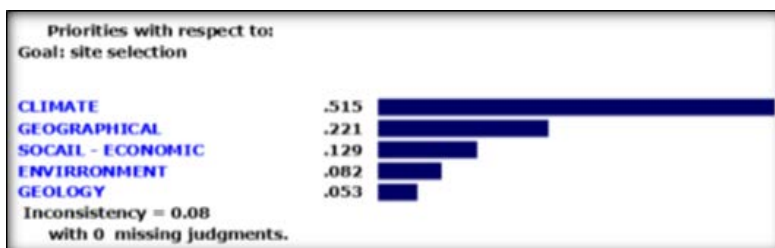
| ردیف | نام معیار | نقاط کنترل A یا D C یا B | | نوع تابع فازی | نام تابع فازی |
|------|-----------------------|-----------------------------|--------|---------------|---------------|
| | | A یا D | C یا B | | |
| ۱ | سرعت باد (نات) | ۲ | ۷ | افزایشی | Linear |
| ۲ | سرعت باد غالب (نات) | ۶ | ۱۴ | افزایشی | Linear |
| ۳ | فشار (هکتوپاسکال) | ۷۷۳ | ۹۶۴ | افزایشی | Linear |
| ۴ | دما (سانتی‌گراد) | ۱۲ | ۲۶ | 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 | Linear |
| 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 زلزله خیز (متر) | ۲۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | افزایشی | Linear |

احداث نیروگاه بادی را نشان می‌دهد و شکل‌های (۶ الی ۱۱)، وزن‌های محاسبه شده معیارها و زیرمعیارها را در نرم‌افزار Expert Choice نشان می‌دهد. در جدول (۵) از بین معیارهای موثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی، معیار اقلیمی و زمین‌شناسی به ترتیب با بیشترین و کمترین تاثیر 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 (۶) 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.

ابتدا معیارهای لایه‌های اصلی با یکدیگر مقایسه می‌شوند که این مقایسه‌ها بر اساس جدول مقیاس ۹ کمیته ساعتی انجام شده است (جدول ۳). ارجحیت یک گزینه یا عامل نسبت به خودش مساوی با یک است. بنابراین، اصل معکوس بودن یک عامل نسبت به دیگری و ارجحیت یک برای یک عامل دیگر یا گزینه نسبت به خودش، دو خاصیت اصلی ماتریس مقایسه‌ای دو به دوی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی هستند. این دو خاصیت سبب می‌شود که برای مقایسه n معیار یا گزینه، تصمیم‌گیرنده تنها به $\frac{n(n-1)}{2}$ سوال پاسخ دهد. جدول‌های (۵ الی ۱۰) مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارهای موثر در پتانسیل‌سنجی

جدول (۵): مقایسه زوجی معیارهای اصلی در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی

| معیارهای موثر در پتانسیل‌سنجی | اقلیمی | جغرافیایی | اقتصادی-اجتماعی | محیط زیست | زمین‌شناسی | وزن |
|-------------------------------|--------|-----------|-----------------|-----------|------------|-------|
| اقلیمی | ۱ | ۳ | ۶ | ۶ | ۶ | ۰/۵۱۵ |
| جغرافیایی | - | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۰/۲۲۱ |
| اقتصادی-اجتماعی | - | - | ۱ | ۳ | ۳ | ۰/۱۲۹ |
| محیط زیست | - | - | - | ۱ | ۳ | ۰/۰۸۲ |
| زمین‌شناسی | - | - | - | - | ۱ | ۰/۰۵۳ |



شکل (۶): وزن‌های محاسبه شده معیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice

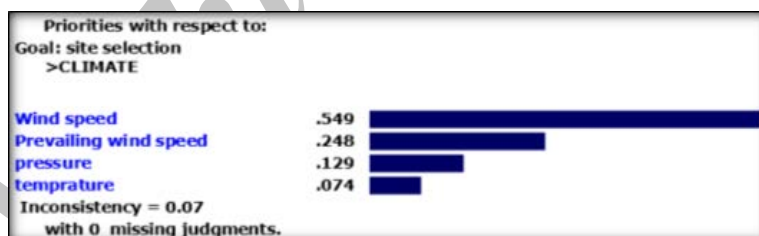
• زیرمعیار اقلیمی

نیروگاه بادی می‌باشد، وزن بیشتری به خود اختصاص داده است و شکل (۷) نمودار وزن‌های محاسبه شده در نرم‌افزار Expert Choice را نشان می‌دهد که در آن نیز میزان نرخ سازگاری مقایسه زوجی بین معیارها ۰/۰۷ می‌باشد که بیان‌کننده دقت وزن‌دهی معیارها می‌باشد.

سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما جز زیرمعیارهای، معیار اقلیمی می‌باشند. در بررسی جدول (۶) 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 این که سرعت باد اصلی‌ترین عامل در پتانسیل‌سنجی

جدول (۶): مقایسه زوجی زیر معیارهای، معیار اقلیمی در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی

| وزن | دما | فشار | سرعت باد غالب | سرعت باد | زیرمعیارهای 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 |



شکل (۷): وزن محاسبه شده زیرمعیارهای اقلیمی

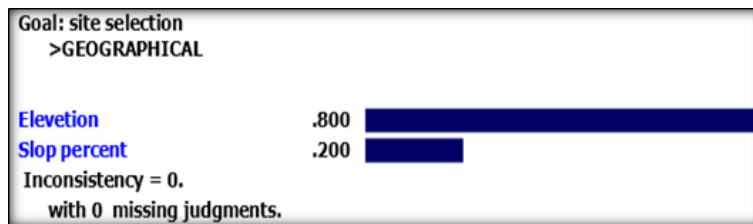
• زیرمعیارهای جغرافیایی

زیرمعیار ارتفاع از سطح دریا، با توجه به این که ارتفاع هر چه کمتر باشد در نتیجه حمل تجهیزات توربین به منطقه آسان‌تر خواهد شد و بنابراین، از لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر خواهد بود، وزن (۰/۸۰۰) بیشتری نسبت به شیب (۰/۲۰۰) به خود اختصاص داده است.

زیرمعیارهای جغرافیایی شامل ارتفاع از سطح دریا و شیب می‌باشد. شکل (۸) نمودار وزن‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد که ضریب یا نرخ سازگاری در آن صفر است، بنابراین وزن‌دهی این عامل نیز با دقت انجام یافته است. در جدول (۷) که نشان‌دهنده مقایسه زوجی زیرمعیارهای جغرافیایی می‌باشد،

جدول (۷): مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار جغرافیایی در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی

| وزن | شیب | ارتفاع از سطح دریا | زیرمعیارهای جغرافیایی |
|-------|-----|--------------------|-----------------------|
| ۰/۸۰۰ | ۴ | ۱ | ارتفاع از سطح دریا |
| ۰/۲۰۰ | ۱ | - | شیب |



شکل (۸): وزن محاسبه شده زیرمعیارهای جغرافیایی

راه‌های ارتباطی جدید نخواهد بود و هم از لحاظ زیبایی‌شناسی جلوه خاصی به منطقه قرارگیری نیروگاه خواهد بخشید و از طرف دیگر سبب کاهش خطرهای ناشی از کنده شدن پره‌ها در کناره جاده‌ها خواهد شد که می‌تواند صدمات شدیدی را به وسایل نقلیه وارد نماید. شکل (۹) نشان‌دهنده مقایسه زوجی زیرمعیار اجتماعی-اقتصادی است که ضریب سازگاری ۰/۰۲ در آن به معنای دقت بالای مقایسه‌های انجام یافته در بین زیرمعیارهای معیار اجتماعی-اقتصادی می‌باشد.

• زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی

زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی شامل فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از شهرها و فاصله از روستاها می‌باشد. جدول (۸) مقایسه زوجی معیار، اجتماعی-اقتصادی را نشان می‌دهد. در این جدول براساس 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

جدول (۸): مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار اقتصادی-اجتماعی در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی

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



شکل (۹): وزن محاسبه شده زیرمعیارهای، معیار اقتصادی-اجتماعی

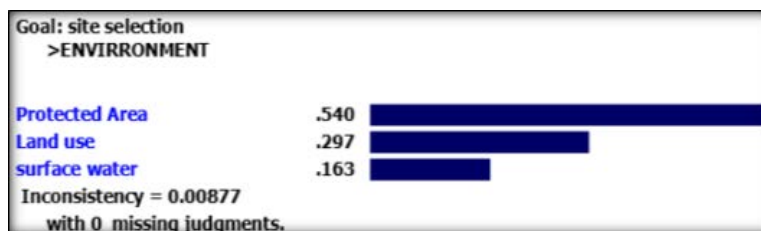
بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری نادر خواهد شد. بنابراین، براساس نظرهای کارشناسان فاصله از مناطق حفاظت شده وزن (۰/۵۴۰) بیشتری را به خود اختصاص داد. در شکل (۱۰) وزن‌های محاسبه شده زیرمعیارهای محیط‌زیستی با ضریب سازگاری ۰/۰۰۸۷۷ ارایه شده است و نشانگر دقت بسیار بالای مقایسه‌های زوجی انجام یافته می‌باشد.

• زیرمعیارهای محیط‌زیستی

زیرمعیارهای محیط‌زیستی نیز شامل فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌ها می‌باشد که در جدول (۹) مقایسه زوجی زیرمعیارهای معیار محیط‌زیستی انجام گرفت. مناطق حفاظت شده با توجه به این که اکثراً محل زندگی گونه‌های نادر گیاهی و جانوری است بنابراین، با احداث نیروگاه در این مکان سبب وارد آمدن لطمات شدید به محیط‌زیست و از

جدول (۹): مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار محیط زیستی

| وزن | فاصله از رودخانه‌ها | کاربری اراضی | فاصله از مناطق حفاظت شده | زیرمعیارهای محیط زیستی |
|-------|---------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| ۰/۵۴۰ | ۳ | ۲ | ۱ | فاصله از مناطق حفاظت شده |
| ۰/۳۹۷ | ۲ | ۱ | - | کاربری اراضی |
| ۰/۱۶۳ | ۱ | - | - | فاصله از رودخانه‌ها |



شکل (۱۰): وزن‌های محاسبه شده زیرمعیارهای، معیار محیط‌زیستی

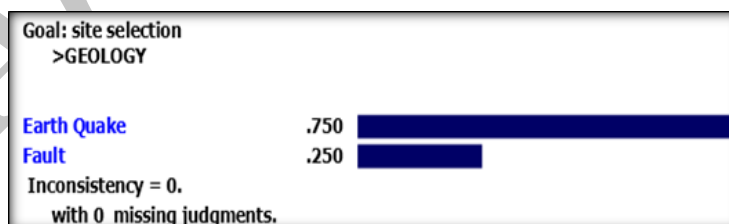
• زیرمعیار زمین‌شناسی

(۰/۷۵۰) نسبت به معیار فاصله از گسل‌ها اختصاص یافته است، چرا که احداث نیروگاه بادی در مناطق زلزله‌خیز سبب آسیب دیدن توربین‌های بادی و کاهش توان استحصال از توربین‌ها خواهد شد. شکل (۱۱) وزن محاسبه شده زیرمعیارهای زمین‌شناسی را نشان می‌دهد که در این مورد نیز ضریب سازگاری صفر شد و مقایسه زوجی معیارها با دقت بالا انجام گرفت.

در تعیین زیرمعیارهای زمین‌شناسی، فاصله از کانون‌های زلزله و فاصله از گسل‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که در جدول (۱۰) مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار زمین‌شناسی در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی ارائه شده است که در آن به فاصله از کانون‌های زلزله براساس نظرات کارشناسان وزن بیشتری

جدول (۱۰): مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار زمین‌شناسی در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی

| وزن | فاصله از گسل‌ها | فاصله از کانون‌های زلزله | زیرمعیارهای زمین‌شناسی |
|-------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| ۰/۷۵۰ | ۳ | ۱ | فاصله از کانون‌های زلزله |
| ۰/۲۵۰ | ۱ | - | فاصله از گسل‌ها |



شکل (۱۱): وزن محاسبه شده زیرمعیارهای زمین‌شناسی در نرم‌افزار Expert Choice

سلسله مراتبی (AHP)، از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به منظور تلفیق و هم‌پوشانی نقشه‌ها استفاده و نقشه مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های بادی تهیه شد. نقشه حاصله در ۴ کلاس (عالی، خوب، متوسط و ضعیف) طبقه‌بندی شد. مناطق عالی جهت احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد بررسی، در محدوده شمال و جنوب‌غرب منطقه مورد مطالعه حدود ۷/۲۹ درصد از سطح منطقه را به خود اختصاص داده است.

با توجه به این که نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ به دست آمد، ماتریس تلفیق شده گروهی مقایسه‌های زوجی انواع معیارهای پتانسیل‌سنجی نیروگاه بادی از سازگاری برخوردار است.

نتایج حاصل از تلفیق لایه‌ها

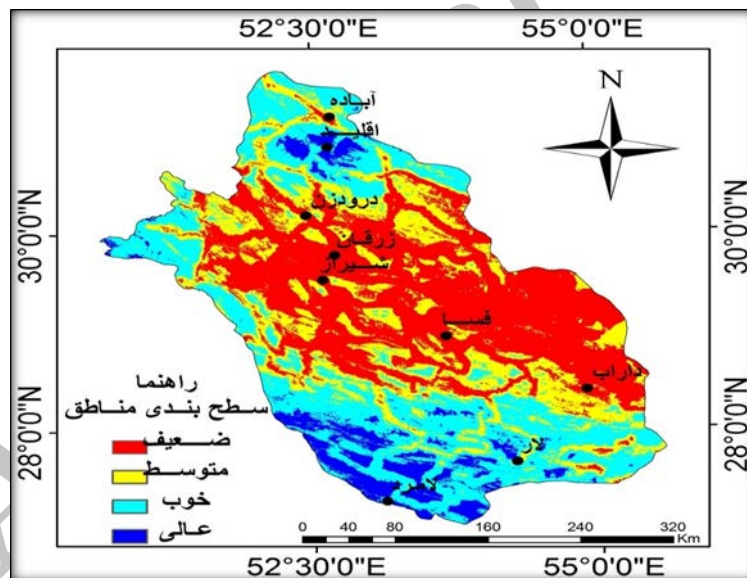
پس از عملیات فازی‌سازی و وزن‌دهی لایه‌های موثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی بر اساس فرایند تحلیل

درصد از سطح منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده و سطح وسیعی از مناطق مرکزی و شرق منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. در شکل (۱۲) نقشه پتانسیل سنجی مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه بادی مشخص شده است. جدول (۱۱) مشخصات نقشه پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی، در استان فارس را بیان می‌کند.

منطقه عالی با مساحتی بالغ بر ۸۹۳۷۲۲/۶۹ هکتار در شهرستان‌های اقلید و لامرد قرار دارد. این در حالی است که بقیه شهرهای استان فارس با توجه به محدودیت بیشتر (گسل، ارتفاع، شیب، کانون زلزله و ...) دارای منطقه عالی نمی‌باشند. مناطق خوب با دارا بودن ۲۹/۸۸ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، شامل ایستگاه‌های لار، غرب فیروزآباد، ممسنی، آباده، اقلید و جنوب داراب است. در حالی که کلاس ضعیف ۳۷/۶۸

جدول (۱۱): مشخصات نقشه پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی

| محدوده | ردیف | کلاس | مساحت (هکتار) | درصد از سطح استان |
|----------|------|-------|---------------|-------------------|
| کل منطقه | ۱ | ضعیف | ۴۶۱۹۲۳۸/۲۰ | ۳۷/۶۸ |
| | ۲ | متوسط | ۳۰۸۲۵۳۵/۲۰ | ۲۵/۱۴ |
| | ۳ | خوب | ۳۶۶۲۸۴۷/۷۶ | ۲۹/۸۸ |
| | ۴ | عالی | ۸۹۳۷۲۲/۶۹ | ۷/۲۹ |
| مساحت کل | - | - | ۱۲۲۵۸۳۴۳/۸۶ | ۰/۱۰۰ |



شکل (۱۲): نقشه پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی در استان فارس

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 فارس شناسایی شدند. نتایج به‌دست آمده نشانگر پتانسیل بالای شهرهای اقلید، لامرد، لار، غرب فیروزآباد، ممسنی، آباده، اقلید و جنوب داراب برای احداث نیروگاه بادی می‌باشند (شکل ۱۲). این مناطق با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل سرعت باد، سرعت باد غالب، وسعت و

بحث و 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 باید 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

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. 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.

یادداشت‌ها

1. Landsat
2. Analytic Hierarchy Process

محدودیت‌ها تعیین شده‌اند. در این تحقیق، از بین معیارهای اقلیمی، جغرافیایی، محیط‌زیستی، 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 در کل استان فارس، تنها شهرستان‌های اقلید و لامرد با توجه به محدودیت کم و دارا بودن بادهایی با سرعت و تداوم مناسب، در حدود ۷/۲۹ درصد نسبت به کل منطقه، دارای مناطق عالی می‌باشد. در حالی که سایر قسمت‌های استان فاقد مناطق عالی برای احداث نیروگاه بادی می‌باشد و تنها حدود ۲۹/۸۸ درصد دارای مناطقی با سطح خوب برای احداث نیروگاه بادی هستند (جدول ۱۱).

فهرست منابع

- اسدی، م.؛ انتظاری، ع. و اکبری، ا. ۱۳۹۲. شناسایی مزارع و مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در شمال شرق کشور با استفاده از روش AHP و سامانه اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری. ۲۳۰ص.
- امانی، ا. و حسینی شمعی، ع. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی. مجله فضای جغرافیایی. ۱۰ (۲۹): ۱-۲۶.
- امینی فسخودی، ع. ۱۳۸۴. کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای. مجله دانش و توسعه، شماره ۱۷. ۳۹-۶۱.
- برزویی، ا. ۱۳۹۱. امکان‌سنجی انرژی باد در منطقه سبزوار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری. ۶۴ص.
- بهشتی‌فر، س.؛ سعدی مسگری، م.؛ ولدان زوج، م. و کریمی، م. ۱۳۸۹. استفاده از منطق فازی در محیط GIS به منظور مکان‌یابی نیروگاه‌های گازی. نشریه مهندس عمران و نقشه برداری. دانشکده فنی. ۴۴ (۴): ۵۸۳-۵۹۵.
- زاهدی، م.؛ صلاحی، ب. و جمیل، م. ۱۳۸۴. محاسبه چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل. پژوهش‌های جغرافیایی. ۳۷ (۵۳): ۴۱-۵۵.
- ساسان‌پور، ف. و موسی‌وند، جعفر. ۱۳۸۸. تأثیر عوامل انسان ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان شهری با کاربرد منطق فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳ (۱۶): ۲۹-۵۰.
- سالاری، م.؛ معاضد، ه. و رادمنش، ف. ۱۳۹۱. مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری با استفاده از مدل AHP-FUZZY در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر شیراز). فصلنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد. ۱۱ (۱): ۹۶-۱۰۹.
- سلطانی، ب.؛ غلامیان، ا. و دستجانی فراهانی، ک. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل انرژی باد در بند امیرآباد به منظور امکان‌سنجی تأسیس نیروگاه بادی. نشریه انرژی ایران. ۱۳ (۳): ۱-۱۶.
- صفاری، ا.؛ ساسان‌پور، ف. و موسی‌وند، ع. ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۷ (۲۰): ۱۲۹-۱۵۰.

- عبدلی، ح.؛ ساری صراف، ب. و حسینی شمعی، ع. ۱۳۸۸. امکان سنجی پتانسیل انرژی باد و کاربرد آن در طرح‌های توسعه صنعتی (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی). مجله فضای جغرافیایی. ۹(۲۸): ۵۷-۷۴.
- قائدرحمتی، ص.؛ باستانی‌فر، ا. و سلطانی، ل. ۱۳۹۰. بررسی تأثیرات تراکم بر آسیب پذیری ناشی از زلزله در شهر اصفهان (با رویکرد فازی). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲۲(۱): ۱۰۷-۱۲۲.
- کرمی، آ. و عبدشاهی، ع. ۱۳۹۰. رتبه‌بندی توسعه یافتگی مناطق روستایی استان کهگیلویه و بویراحمد به روش فازی. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۳(۱۱): ۱۱۷-۱۳۶.
- متکان، ع.؛ شکبیا، ع.؛ پورعلی، ح. و نظم‌فر، ح. ۱۳۸۷. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت دفن پسماند با استفاده از GIS (ناحیه مورد مطالعه: شهر تبریز). علوم محیطی. ۶(۲): ۱۲۱-۱۳۱.
- Bennui, A.; Rattanamane, 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 pp.
- 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: 422-430.
- 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.
- Bowen, W.M. 1990. Subjective Judgments & Data Environment Analysis in Site Selection, Computer, Environment and Urban Systems. 14: 133-144.
- Dey, P.K. & Ramcharan, E. K. 2008. Analytic Hierarchy Process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados, Journal of Environmental Management, 88(4): 1384 -1395.
- Kholil, R. 2013. Application of AHP Method for selecting the best strategy to reduce environmental damage caused by nonmetallic mining Case study in Gunungkidul Regency, Yogyakarta, Indonesia, International Journal of Environmental Engineering Science and Technology Research. Vol.1, No. 7: 98-109.
- Kordi, M. 2008. Comparison of Fuzzy and crisp Analytic Hierarchy Process (AHP) methods for spatial multi criteria decision analysis in GIS. Thesis (MSc). University of Gavle Department of Technology and Built Environment.
- Kunz, J. 2010. The Analytic Hierarchy Process (AHP), Eagle City Hall Location Options Task Force. February/March. 1-25pp.
- Lootsma, F.A. 2005. Fuzzy Logic for Planning and Decision Making. Dordrecht, kluwer Academic Publisher.
- Maria, J.; Jimenez, M.; Joven, J.A.; Pirla, A.R. & Lanuza, A.T. 2005. A spreadsheet Module for Consistent Consensus Building in AHP-group Decision Making, Group Decision and Negotiation .14: 89–108.
- Bamroong, A.; Kasemsan, M.; Wanvisa, Ch. & Nuttee, a. 2009. Development of a Gis Decision Support System for Wind Farm Installations in Thailand: Current State and Results. World Renewable Energy Congress 2009 – Asia. 690-695.
- Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T.L. 1990. Decision Making for Leaders. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T.L. 1996. The Analytic Network Process. Pittsburgh: RWS Publications.
- 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.

Serwan, M. J. & Baban, T. P. 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, Issue 5: 3312- 3319.

Archive of SID