

## توان سنجی نیروگاه‌های بادی در استان سیستان و بلوچستان با روش فازی-ای.اچ.پی

### چکیده

باد به عنوان یکی از مظاهر انرژی‌های نو، برای جایگزین شدن سوخت‌های فسیلی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. استان سیستان و بلوچستان نیز با توجه به وضعیت توپوگرافی و موقعیت نسبی خود، یکی از مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث نیروگاه بادی است. لذا در این پژوهش برای پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی در استان سیستان و بلوچستان، معیارها و زیرمعیارهای مختلفی مدنظر قرار گرفته است. برای فازی‌سازی معیارها براساس نظرهای کارشناسی و بررسی پژوهش‌های انجام‌شده، نقاط کنترل و نوع تابع فازی برای هر یک از لایه‌ها براساس درجه‌بندی عضویت آنها در محدوده صفر تا یک در نرم‌افزار ادیسی مشخص شد. سپس با توجه به اهمیت تلفیق اطلاعات، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی به لایه‌ها انتخاب و به کمک نرم‌افزار اکسپرت چویس پیاده‌سازی شد. سپس از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی، به منظور تحلیل فضایی و همپوشانی لایه‌ها استفاده شد و بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات، استان سیستان و بلوچستان، از نظر قابلیت احداث نیروگاه بادی به چهار سطح عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم شدند. در نهایت، نتایج حاصل نشان‌دهنده آن است که مناطق عالی برای احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد بررسی، در محدوده شمال و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه در ایستگاه زابل با مساحتی بالغ بر  $1519851/64$  هکتار یا  $0/08$  درصد قرار دارد. علاوه بر این، مناطق خوب با مساحتی بالغ بر  $2983473/12$  هکتار یا  $0/17$  درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، شامل ایستگاه‌های چابهار، غرب و شمال غرب زاهدان و قسمت‌های جنوبی شهرستان زابل است. همچنین، در آینده می‌توان با احداث نیروگاه بادی در این مکان‌ها از انرژی تجدیدپذیر باد که عاری از هرگونه آلودگی زیست-محیطی است، نهایت استفاده را برد.

**واژه‌های کلیدی:** پتانسیل سنجی، نیروگاه بادی، روش فازی-ای.اچ.پی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سیستان و بلوچستان.

### مقدمه

گسترده‌گی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از مسائل مهم و اساسی محسوب می‌شود. تلاش برای دستیابی به یک مأخذ انرژی پایان‌ناپذیر از آرزوهای دیرینه انسان بوده است (امانی و شمعی، ۱۳۸۹: ۲). کلیه منابع انرژی فسیلی، روزی به

اتمام خواهند رسید (عبدلی و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۸) 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 (برزویی، ۱۳۹۱: ۳). استفاده از انرژی اتمی نیز صرف‌نظر از پیامدهای شدید زیست-محیطی 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 برای جایگزینی دو مأخذ انرژی مذکور باشد؛ منابعی که نه تنها ارزان قیمت و قابل دسترس باشد؛ بلکه مصرف آنها آلودگی چندانی به‌بار نیاورد (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۲: ۴۲). با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌توان به پتانسیل‌سنجی مناطق مختلف برای احداث نیروگاه بادی و استفاده از این انرژی تجدیدپذیر پرداخت. در این راستا، پرابامرونگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۹) توسعه نصب مزارع بادی در تایلند را به وسیله سامانه حمایتی تصمیم‌گیری سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی و وضعیت فعلی و نتایج آن را ارزیابی کردند. از تحلیل حاضر، پس از به‌کاربردن محدودیت‌های انتخاب شده، درصد کل مساحت محتمل برای نصب نیروگاه بادی با توجه به کل مساحت در هر منطقه محاسبه شد. یاسمین<sup>۲</sup> (۲۰۱۲) امکان‌سنجی اقتصادی انرژی باد را در قاهره ارزیابی کرد. در این پژوهش، برای این منظور از داده‌های نیم ساعته سرعت باد در سراسر سال ۲۰۰۹ استفاده شد و محاسبات آشکار کرد که هرچند، منابع انرژی باد در قاهره ضعیف است؛ اما در صورت مهار انرژی آن می‌تواند به تامین برق مورد نیاز صنعتگران کمک کند. برزویی (۱۳۹۱) امکان‌سنجی انرژی باد در منطقه سبزوار را در پایان‌نامه خود بررسی کرد. در این پژوهش، بعد از انجام محاسبات 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 در سال ۱۳۹۱ توسط محمدی و همکاران انجام شده است. نتایج این پژوهش، گویای این است که سه ایستگاه روانسر، سرپل ذهاب و کنگاور، پتانسیل مناسبی برای تولید انرژی باد دارند. منطقه اسلام‌آباد 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. اسدی و همکاران (۱۳۹۲) در پایان‌نامه خود با عنوان *شناسایی مزارع و مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در شمال شرق کشور با استفاده از روش ای، اچ، پی و سامانه اطلاعات جغرافیایی*، به بررسی مکان‌های مستعد برای احداث نیروگاه بادی پرداختند. در این پژوهش، هفت 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، تربت جام، گل‌مکان، نیشابور، سبزوار، بجنورد و فردوس هستند. در این پژوهش، سعی بر این است که در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش فازی-ای، اچ، پی به مکان‌یابی و شناسایی مناطق مستعد برای احداث نیروگاه‌های بادی پرداخته و توان منطقه در تولید انرژی الکتریسیته ارزیابی شود.

## داده‌ها و روش پژوهش

در پتانسیل‌یابی نیروگاه بادی، به عنوان یک مساله تصمیم‌گیری به مواد و ابزار خاص این موضوع نیاز است. در این پژوهش، از آمار ۲۵ ساله آب و هوایی استان سیستان و بلوچستان در بازه آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۵ استفاده و برای تجزیه و تحلیل فضایی و تهیه نقشه‌های (بجز نقشه کاربری اراضی، مقایس مابقی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ است) زیرمعیارهای آب و هوایی (سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما)، جغرافیایی (ارتفاع، شیب)، اقتصادی-اجتماعی (راه‌های ارتباطی، شهرها و روستا)، زیست-محیطی (مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و رودخانه) و زمین‌شناسی (کانون‌های زلزله و گسل) از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی نسخه ۹/۳ استفاده شد. به منظور بررسی کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ ماهواره لندست<sup>۱</sup> مربوط به سال ۲۰۰۰ استفاده و برای تحلیل و تفسیر اطلاعات آن از نرم‌افزار ENVI4.8 بهره گرفته شد. سپس برای فازی‌سازی معیارها و زیرمعیارها از نرم‌افزار ادریسی و به منظور انجام تحلیل سلسله‌مراتبی و وزن‌دهی به لایه‌ها از نرم‌افزار اکسپرت چویس استفاده شد. در نهایت، برای تولید نقشه نهایی داده‌ها از قابلیت‌های همپوشانی در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته شد. جدول (۱) لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در مقاله را نشان می‌دهد و جدول (۲) عوامل مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه بادی و اثرهای آن‌ها را نشان می‌دهند.

جدول (۱) لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در مقاله (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲)

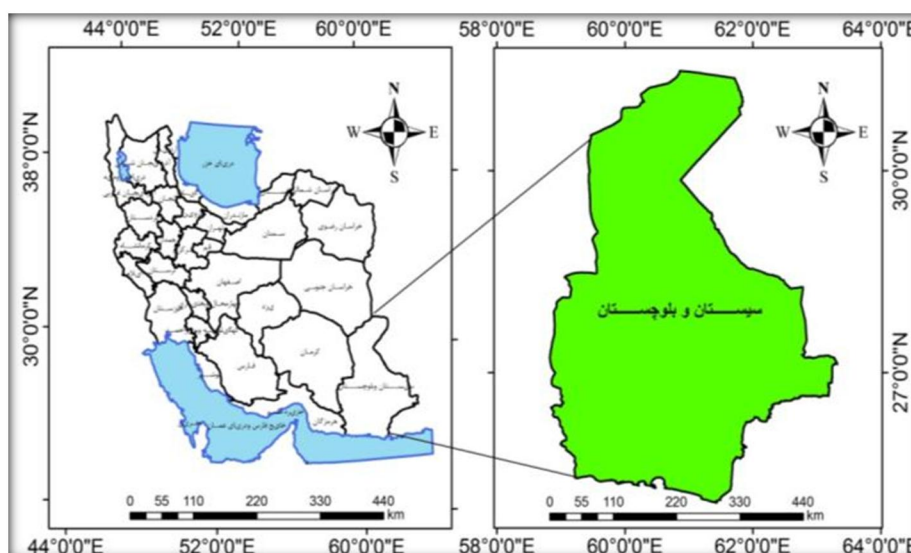
ردیف	لایه	مأخذ	مقیاس
۱	رقومی توپوگرافی	سازمان زمین‌شناسی	۱:۲۵۰۰۰۰
۲	مدل رقومی ارتفاع	تولید شده توسط محقق	-
۳	گسل‌ها	سازمان زمین‌شناسی	۱:۲۵۰۰۰۰
۴	کانون‌های زلزله	مرکز لرزه‌نگاری کشوری	۱:۲۵۰۰۰۰
۵	رقومی زمین‌شناسی	سازمان زمین‌شناسی	۱:۲۵۰۰۰۰
۶	رودخانه‌ها و شبکه آبراهه	سازمان آب منطقه‌ای	۱:۲۵۰۰۰۰
۷	کاربری 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

جدول ۲) فراسنج های مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه بادی و اثرهای آن‌ها (بهشتی فر و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۸۵)

ردیف	کلاس فراسنج ها	عوارض مورد بررسی	اهمیت در مکان‌یابی	نوع اثر
۱	آب و هوایی	سرعت باد	هرچه سرعت باد بیشتر باشد، توان تولیدی توسط توربین‌های بادی افزایش می‌یابد	تأثیر بر میزان انرژی تولیدی
		سرعت باد غالب		
		فشار		
۲	جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	افزایش راندمان سهولت ساخت سازه‌های نیروگاهی	اقتصادی
		شیب		
۳	اقتصادی - اجتماعی	راه‌های ارتباطی	دسترسی به محل و حمل تجهیزات	اقتصادی، اجتماعی، امنیت ترافیک
		شهرها		
		روستاها		
۴	زیست - محیطی	مناطق حفاظت شده	کاهش خسارت‌های زیست - محیطی ناشی از احداث نیروگاه	زیست - محیطی (حفاظت از گونه‌های نادر و در حال انقراض)
		کاربری اراضی		
		رودخانه‌ها		
۵	زمین شناسی	کانون‌های زلزله	تأمین امنیت سازه‌های نیروگاه	اقتصادی
		فاصله از گسل‌ها	تأمین امنیت سازه‌های نیروگاه	اقتصادی

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، با وسعتی حدود ۱۸۷۵۰۲ کیلومتر مربع، یکی از پهناورترین استان‌های کشور ایران است، که با قرار گرفتن در محدوده جغرافیایی، بین مدارهای ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ، از نظر جمعیتی از کم تراکم‌ترین استان‌های کشور است. استان سیستان و بلوچستان از دو منطقه سیستان و بلوچستان تشکیل می‌شود و از شمال به استان خراسان جنوبی و کشور افغانستان، از شرق به کشورهای پاکستان و افغانستان، از جنوب به دریای عمان و از مغرب به استان‌های کرمان و هرمزگان محدود می‌شود.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

### فرایند تحلیل سلسله مراتبی (ای، اچ، پی)<sup>۱</sup>

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای چندگانه باشد (تیلور<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴: ۳۷۴)؛ زیرا تحلیلگران یا تصمیم‌گیرندگان را برای سازماندهی مسائل حساس و حیاتی یاری می‌کند (بویلاکا، آمور و پولونارا<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴: ۲۵۵). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی 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 به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی منجر می‌شود. ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی، نخستین گام در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به شمار می‌رود؛ و اهداف، معیارها و گزینه‌ها و نیز ارتباط آن‌ها در همین ساختار نشان داده می‌شود. مراحل بعد در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل محاسبه وزن (ضرایب اهمیت) معیارها و زیرمعیارها، محاسبه ضریب اهمیت (وزن) گزینه‌ها، محاسبه نهایی گزینه‌ها، و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌هاست (سااتی<sup>۴</sup>، ۱۹۸۰: ۲۲؛ ساعتی، ۱۹۹۰: ۱۲؛ 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<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳: ۵۲۲). 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

1-Analytic Hierarchy Process  
2- Taylor  
3- Bevilacqua, Amore and Polonara  
4-Saaty  
5- Taha

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 اهمیت‌ها برابر است (سارکیس و تایلوری<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴: ۳۲۲؛ کونز<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰: ۸).

جدول (۳) مقیاس ۹ کمیته ساعتی برای مقایسه جفتی (بوئن<sup>۳</sup>، ۱۹۹۰: ۱۳۷؛ دی<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷، ۱۳۹۲؛ خلیل<sup>۵</sup>، 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.
۲،۴،۶،۸	مقادیر متوسط بین دو قضاوت مجاور	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد.

## نرخ سازگاری

یکی از مزیت‌های فرایند سلسله‌مراتبی، 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.) کمتر از ۰/۱ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت؛ در غیر این صورت باید مقایسه‌ها مجدداً انجام گیرد (مرنو و جیمنز<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵: ۱۰۳؛ برتولونی<sup>۸</sup>، ۲۰۰۶: ۴۲۷). نرخ سازگاری به روش ذیل قابل محاسبه است (کوردی<sup>۹</sup>، ۲۰۰۸: ۹).

$$C.R. = C.I. / R.I. \quad (۱)$$

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

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

## مدل فازی

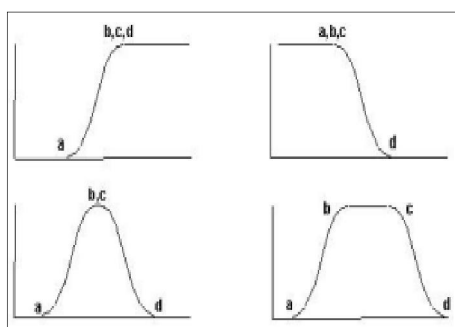
تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم قطعیت موجود در فرایندهای شناختی انسانی، ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی به شمار می‌رود (لوتسما<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۵: ۶۶). این

۱- Ssrkis and Tailuri  
 ۲- Kunz  
 3- Bowen  
 4- Dey  
 5-Kholil  
 6- capability Ratio  
 7-Moreno-Jimenez  
 8- Bertolini  
 9- Kordi  
 10- Lootsma

نظریه نخستین بار توسط پرفسور لطفی‌زاده، دانشمند ایرانی‌الاصول دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ مطرح شد (امینی فسخودی، ۱۳۸۴: ۴۱). تئوری مجموعه فازی، روشی است که قضاوت‌های فردی و مبهم در مورد یک پدیده منحصر به فرد را وارد مدل‌های احتمالی یا ریاضی می‌نماید (قاندرحمتی، ۱۳۹۰: ۱۱۱).

### فازی سازی زیرمعیارها

این نظریه قادر است به بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سامانه‌های 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). بر خلاف 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 خطی، جی-شیپ و سیگموئیدال استفاده می‌شود (متکان، ۱۳۸۷: ۱۲۵ و استمان<sup>۱</sup>، ۱۹۹۳: ۱۱۲). علاوه بر این توابع، کاربر می‌تواند با توجه به نیاز خود، تابع نیز تعریف نماید (شکل ۲ تا ۴). یکی دیگر از عوامل مؤثر 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 مورد نظر است. در اینجا منظور از کاهش، حداقل‌شونده یا صعودی بودن تابع است (سالاری، ۱۳۹۱: ۱۰۱).

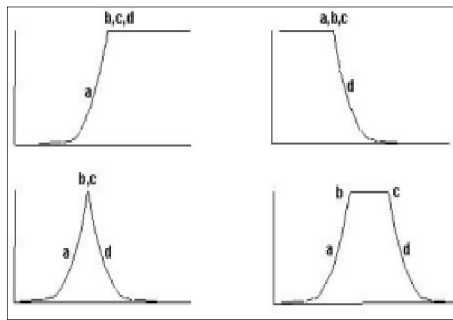


شکل ۲) تابع عضویت سیگموئیدال

تابع عضویت سیگموئیدال از رابطه (۳) زیر به دست می‌آید (متکان، ۱۳۸۷: ۱۲۶).

$$a = (x-a) / (b-a) * p_i / 2 \quad (۳)$$

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

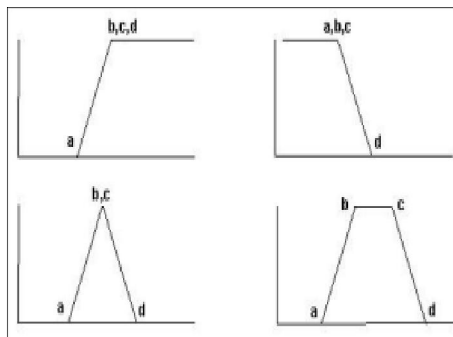


شکل ۳) تابع عضویت جی - شیب

تابع عضویت جی - شیب از رابطه (۴) زیر به دست می آید (ساسان پور و موسی وند، ۱۳۸۹: ۳۸؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳۷).

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

If  $z > b \rightarrow \mu = 1$



شکل ۴) تابع عضویت خطی

### یافته‌های پژوهش

#### نتایج حاصل از استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی

در این پژوهش، زیرمعیارهای مؤثر در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی براساس جدول (۴)، با در نظر گرفتن انواع توابع فازی و نیز نقاط کنترل معرفی شده از سوی کارشناسان مختلف و پژوهش‌های 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 نظرهای کارشناسی افزایشی تعریف شد؛ زیرا 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

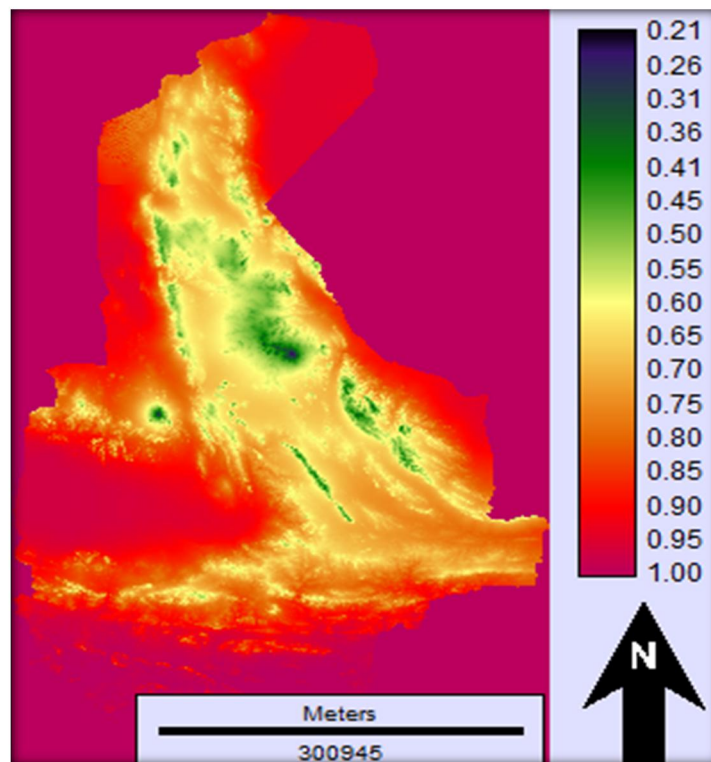


مقابل باد محسوب می‌شوند که خود باعث کاهش توان قابل استحصال از توربین می‌شود. همچنین، توربین‌ها نیز با توجه به چرخش موتور و پره‌ها، صدای آئرو دینامیکی خاصی ایجاد می‌کنند که مخلل آسایش اطراف خود است؛ بنابراین، نوع تابع باید افزایشی باشد تا بتوان از حداکثر توان باد و توربین بادی برای تولید الکتریسیته استفاده نمود. در مورد مناطق حفاظت شده، رودخانه‌ها و گسل‌ها هرچه فاصله از این معیارها بیشتر باشد؛ یعنی نوع تابع فازی افزایشی باشد، به ترتیب آسیب کمتری به محیط زیست و نیروگاه بادی خواهد رسید؛ زیرا امکان دارد مناطق حفاظت شده محل زندگی گونه‌های نادر جانوری باشد که احداث نیروگاه باعث به خطر افتادن حیات جانوری شود. از طرفی، اکثر رودخانه‌ها محل زندگی پرندگان مهاجر است که اگر یک فاصله استاندارد از رودخانه‌ها در نظر گرفته نشود، باعث برخورد پرندگان با پره‌های توربین شده، حیات پرندگان با خطر مواجه می‌شود. در مورد گسل‌ها، با فعالیت گسل صدمات جبران ناپذیری به نیروگاه از نظر مالی وارد می‌شود. شکل (۵) نشان‌دهنده نقشه‌های فازی شده ارتفاع در نرم‌افزار ادریسی هستند که با توجه به نظرهای کارشناسان امر، نوع تابع آن به صورت کاهش‌ی است.

جدول (۴) حد آستانه و نوع تابع فازی برای استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی (سروان<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰:۶۳؛ بنونی، ۲۰۰۷:۳؛

سالاری، ۱۳۹۱:۱۰۲)

ردیف	نام معیار	نقاط کنترل		نوع تابع فازی	نام تابع فازی
		A یا C	B یا D		
۱	سرعت باد (نات)	۶	۱۰	افزایشی	خطی
۲	سرعت باد غالب (نات)	۸	۱۸	افزایشی	خطی
۳	فشار (هکتوپاسکال)	۹۵۰	۱۰۱۰	افزایشی	خطی
۴	دما (سانتیگراد)	۲۰	۲۸	افزایشی	خطی
۵	ارتفاع (متر)	۰	۲۰۰۰	کاهش‌ی	جی - شیب
۶	شیب (درصد)	۰	۱۵	کاهش‌ی	جی - شیب
۷	راه ارتباطی (متر)	۱۰۰۰	۶۰۰۰	افزایشی	خطی
۸	شهر (متر)	۲۰۰۰	۶۰۰۰	افزایشی	خطی
۹	روستا (متر)	۱۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	خطی
۱۰	مناطق حفاظت شده (متر)	۲۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	جی - شیب
۱۱	کاربری اراضی (متر)	۲۰۰۰	۴۰۰۰	افزایشی	خطی
۱۲	رودخانه (متر)	۱۰۰۰	۲۰۰۰	افزایشی	خطی
۱۳	گسل (متر)	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	افزایشی	خطی
۱۴	نقاط زلزله خیز (متر)	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	افزایشی	خطی



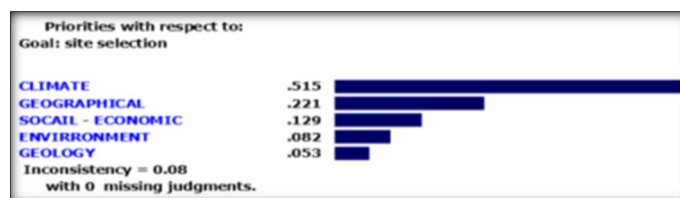
شکل ۵) نقشه فازی سازی شده ارتفاع

### نتایج حاصل از اختصاص وزن به معیارها و زیرمعیارها

در این پژوهش، این وزن‌ها با توجه به اهمیت معیارها و زیرمعیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف "پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی" تعیین شده است. ابتدا معیارهای لایه‌های اصلی با یکدیگر مقایسه می‌شوند که این مقایسه‌ها بر اساس جدول (۹) کمیته‌ای انجام شده است (جدول ۳). 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 دوی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی هستند. این دو خاصیت باعث می‌شود که برای مقایسه  $n$  معیار یا گزینه، تصمیم‌گیرنده تنها به  $\frac{n(n-1)}{2}$  سؤال پاسخ دهد. جدول‌های ۵ الی ۱۰ مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی را نشان می‌دهد و شکل‌های ۶ الی ۱۱، وزن‌های محاسبه شده معیارها و زیرمعیارها را در نرم افزار اکسپرت چویس نشان می‌دهد. در جدول (۵) از بین معیارهای مؤثر در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی، معیار آب و هوایی 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 است. در شکل (۶) مشاهده می‌شود که ضریب سازگاری مقایسه زوجی معیارها در نرم افزار اکسپرت چویس کمتر از ۰/۱ است که نشان‌دهنده دقت بالای وزن‌دهی معیارهاست.

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

وزن	زمین‌شناسی	زیست-محیطی	اقتصادی-اجتماعی	جغرافیایی	آب و هوایی	معیارهای موثر در پتانسیل‌سنجی
۰/۵۱۵	۶	۶	۶	۳	۱	آب و هوایی
۰/۲۲۱	۳	۳	۳	۱	-	جغرافیایی
۰/۱۲۹	۳	۳	۱	-	-	اقتصادی-اجتماعی
۰/۰۸۲	۳	۱	-	-	-	زیست-محیطی
۰/۰۵۳	۱	-	-	-	-	زمین‌شناسی



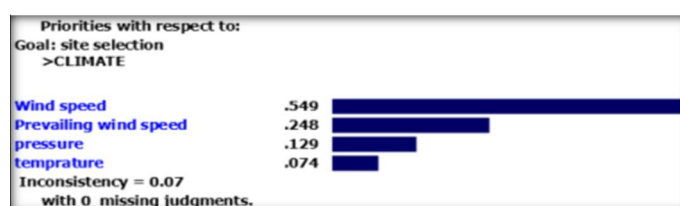
شکل ۶) وزن‌های محاسبه‌شده معیارها در نرم‌افزار اکسپرت چویس

### زیرمعیار آب و هوایی

سرعت باد، سرعت باد غالب، فشار و دما جزو زیرمعیارهای معیار آب و هوایی هستند. در بررسی جدول (۶) که مقایسه زوجی معیار آب و هوایی 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 پتانسیل‌سنجی نیروگاه بادی است، وزن بیشتری به خود اختصاص داده است و شکل (۷) نمودار وزن‌های محاسبه‌شده در نرم‌افزار اکسپرت چویس را نشان می‌دهد که در آن نیز میزان نرخ سازگاری مقایسه زوجی بین معیارها ۰/۰۷ است که بیان‌کننده دقت وزن‌دهی معیارهاست.

جدول ۶) مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار آب و هوایی در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی

وزن	دما	فشار	سرعت باد غالب	سرعت باد	زیرمعیارهای آب و هوایی
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



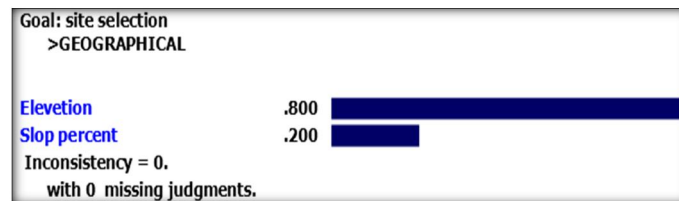
شکل ۷) وزن محاسبه‌شده زیرمعیارهای آب و هوایی در نرم‌افزار اکسپرت چویس

## زیرمعیارهای جغرافیایی

زیرمعیارهای جغرافیایی شامل ارتفاع از سطح دریا و شیب است. شکل (۸) نمودار وزن‌های محاسبه شده در نرم‌افزار اکسپرت چویس 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 است، زیرمعیار 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 صرفه تر خواهد بود، وزن (۰/۸۰۰) بیشتری نسبت به شیب (۰/۲۰۰) به خود اختصاص داده است.

جدول (۷) مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار جغرافیایی در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی

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



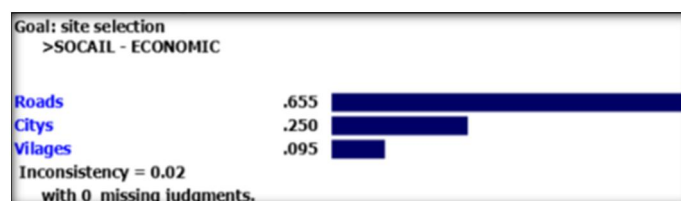
شکل (۸) وزن محاسبه شده زیرمعیارهای جغرافیایی در نرم‌افزار اکسپرت چویس

## زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی

زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی شامل فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از شهرها و فاصله از روستاهاست. جدول (۸) مقایسه زوجی معیار، اجتماعی-اقتصادی را نشان می‌دهد. در این جدول براساس نظرهای کارشناسی، راه‌های ارتباطی وزن (۰/۰۶۵۵) بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند؛ زیرا 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 زیبایی شناسی جلوه خاصی به منطقه قرارگیری نیروگاه خواهد بخشید و از طرف دیگر، باعث کاهش خطرهای ناشی از کنده شدن پره‌ها در کناره جاده‌ها خواهد شد که می‌تواند صدمات شدیدی را به وسایل نقلیه وارد کند. شکل (۹) نشان‌دهنده مقایسه زوجی زیرمعیار اجتماعی-اقتصادی است که ضریب سازگاری ۰/۰۲ در آن به معنای دقت بالای مقایسه‌های انجام‌یافته در بین زیرمعیارهای معیار اجتماعی-اقتصادی است.

جدول ۸) مقایسه زوجی زیرمعیارهای، معیار اقتصادی - اجتماعی در پتانسیل‌سنجی 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



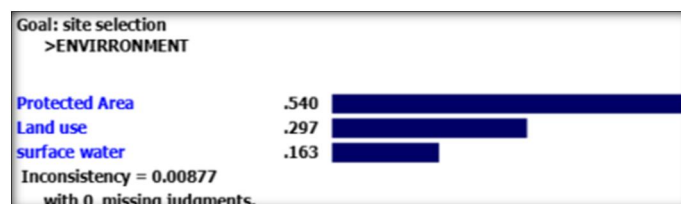
شکل ۹) وزن محاسبه شده زیرمعیارهای، معیار اقتصادی - اجتماعی در نرم‌افزار اکسپرت چویس

### زیرمعیارهای زیست - محیطی

زیرمعیارهای معیار زیست - محیطی نیز شامل فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌هاست که در جدول (۹) مقایسه زوجی زیرمعیارهای معیار زیست - محیطی انجام گرفت. مناطق حفاظت شده با توجه به اینکه بیشتر محل زندگی گونه‌های نادر گیاهی و جانوری است؛ 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 براساس نظرهای کارشناسان فاصله از مناطق حفاظت شده وزن (۰/۵۴۰) بیشتری را به خود اختصاص داد. در شکل (۱۰) وزن‌های محاسبه شده زیرمعیارهای معیار زیست - محیطی در نرم‌افزار اکسپرت چویس با ضریب سازگاری ۰/۰۰۸۷۷ ارائه شده است و نشان‌دهنده دقت بسیار بالای مقایسه‌های زوجی انجام یافته است.

جدول ۹) مقایسه زوجی زیرمعیارهای معیار زیست - محیطی

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



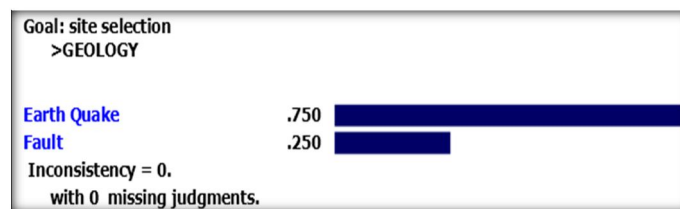
شکل ۱۰) وزن‌های محاسبه شده زیرمعیارهای، معیار زیست - محیطی در نرم‌افزار اکسپرت چویس

## زیرمعیار زمین شناسی

در تعیین زیرمعیارهای زمین شناسی، فاصله از کانون‌های زلزله و فاصله از گسل‌ها بررسی شد که در جدول (۱۰) مقایسه زوجی زیرمعیارهای معیار زمین شناسی در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی ارائه شده است که در آن به فاصله از کانون‌های زلزله براساس نظرهای کارشناسان وزن بیشتری (۰/۷۵۰) نسبت به معیار فاصله از گسل‌ها اختصاص یافته است؛ زیرا احداث نیروگاه بادی در مناطق زلزله خیز باعث آسیب دیدن توربین‌های بادی و کاهش توان استحصال از توربین‌ها خواهد شد. شکل (۱۱) وزن محاسبه شده زیرمعیارهای زمین شناسی را در نرم‌افزار اکسپرت چویس نشان می‌دهد که در این مورد نیز ضریب سازگاری صفر شد و مقایسه زوجی معیارها با دقت بالا انجام گرفت.

جدول (۱۰) مقایسه زوجی زیرمعیارهای معیار زمین شناسی در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی

وزن	فاصله از گسل‌ها	فاصله از کانون‌های زلزله	زیرمعیارهای زمین شناسی
۰/۷۵۰	۳	۱	فاصله از کانون‌های زلزله
۰/۲۵۰	۱	-	فاصله از گسل‌ها



شکل (۱۱) وزن محاسبه شده زیرمعیارهای زمین شناسی در نرم‌افزار اکسپرت چویس

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

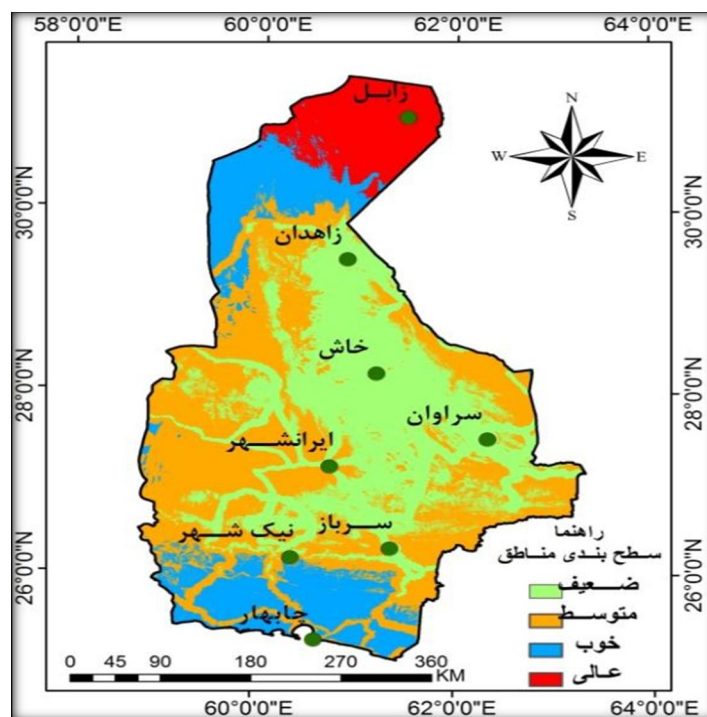
## نتایج حاصل از تلفیق لایه‌ها

پس از عملیات فازی‌سازی و وزن‌دهی لایه‌های مؤثر در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی بر اساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (ای، اچ، پی)، از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (سامانه اطلاعات جغرافیایی)، به منظور تلفیق و همپوشانی نقشه‌ها استفاده شد و نقشه مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های بادی تهیه شد. نقشه حاصله در چهار کلاس (عالی، خوب، متوسط و ضعیف) طبقه‌بندی شد. مناطق عالی برای احداث نیروگاه بادی در منطقه مورد بررسی، در محدوده شمال و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه حدود ۰/۰۸ درصد از سطح منطقه را به خود اختصاص داده است. منطقه عالی با مساحتی بالغ بر ۱۵۱۹۸۵۱/۶۴ هکتار در شهرستان زابل قرار دارد. این در حالی است که بقیه شهرهای استان سیستان و بلوچستان با توجه به محدودیت بیشتر (گسل، ارتفاع، شیب، کانون زلزله و ...) دارای منطقه عالی نیستند و مناطق خوب با دارا بودن ۰/۱۷ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، شامل ایستگاه‌های چابهار، غرب و شمال غرب زاهدان

و قسمت‌های جنوبی شهرستان زابل است؛ در حالی که کلاس ضعیف ۰/۴۰ 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 پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد برای احداث نیروگاه بادی مشخص شده است. جدول (۱۱) مشخصات نقشه پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی در استان سیستان و بلوچستان را بیان می‌کند.

جدول (۱۱) مشخصات نقشه پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی

محدوده	ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد از سطح استان
کل منطقه	۱	ضعیف	۶۲۱۷۱۰۴/۶۹	۰/۳۵
	۲	متوسط	۷۰۶۹۹۴۳/۹۸	۰/۴۰
	۳	خوب	۲۹۸۳۴۷۳/۱۲	۰/۱۷
	۴	عالی	۱۵۱۹۸۵۱/۶۴	۰/۰۸
مساحت کل	-	-	۱۷۷۹۰۳۷۳/۴۵	۰/۱۰۰



شکل (۱۲) نقشه پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه بادی در استان سیستان و بلوچستان

## 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 است. 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 این‌ها، تپه‌های وسیع، مسطح و تقریباً گرد، مناسب‌ترین محل نصب توربین‌های بادی هستند.

با استفاده از مدل ای، اچ، پی و منطق فازی و با توجه به نقشه نهایی، مناطق مستعد برای احداث نیروگاه بادی در سطح استان سیستان و بلوچستان شناسایی شد. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده پتانسیل بالای شهرهای زابل، چابهار و قسمت‌های غرب و شمال غربی شهرستان زاهدان برای احداث نیروگاه بادی است (شکل ۱۲). این مناطق با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل سرعت باد، سرعت باد غالب، وسعت و محدودیت‌ها تعیین شده‌اند. در این پژوهش، از بین معیارهای آب و هوایی، جغرافیایی، زیست-محیطی، اقتصادی-اجتماعی و زمین‌شناسی، معیارهای آب و هوایی 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 سیستان و بلوچستان، تنها شهرستان زابل با توجه به محدودیت کم و دارا بودن بادهایی با سرعت و تداوم مناسب، در حدود ۰/۰۸ درصد نسبت به کل منطقه، دارای مناطق عالی است؛ در حالی که سایر قسمت‌های استان فاقد مناطق عالی برای احداث نیروگاه بادی است و تنها حدود ۰/۱۷ درصد دارای مناطقی با سطح خوب برای احداث نیروگاه بادی است (جدول ۱۱).

یافته‌های این پژوهش، توانایی سامانه‌های 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 سامانه‌ها در مدل‌سازی فضایی داده‌ها دارند، تعمیم اطلاعات، ساخت مدل‌های جدید و آزمون روش‌های مختلف را دارا هستند. 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

- ۱- اسدی، مهدی؛ انتظاری، علیرضا و اکبری، الهه. (۱۳۹۲). شناسایی مزارع و مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در شمال-شرق کشور با استفاده از روش ای، اچ، پی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما علیرضا انتظاری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.
- ۲- امانی، ابوالفضل و حسینی شمعی، عباس. (۱۳۸۸). بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی، مجله فضای جغرافیایی، سال دهم، ش ۲۹، صص ۱-۲۶.
- ۳- امینی فسخودی عباس. (۱۳۸۴). کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای، مجله دانش و توسعه، ش ۱۷، صص ۳۹-۶۱.
- ۴- برزوئی، اکرم. (۱۳۹۱). امکان‌سنجی انرژی باد در منطقه سبزوار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما علیرضا انتظاری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.
- ۵- بهشتی‌فر، سارا؛ سعدی مسگری، محمد؛ ولدان زوج، محمدجواد و کریمی، محمد. (۱۳۸۹). استفاده از منطق فازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به منظور مکان‌یابی نیروگاه‌های گازی، نشریه فنی مهندس عمران و نقشه برداری، دانشکده فنی، دوره چهل و چهار، ش ۴، صص ۵۸۳-۵۹۵.



- ۶- زاهدی، مجید؛ صالحی، برومند و جمیل، مجید. (۱۳۸۴). محاسبه چگالی و توان باد به منظور استفاده از انرژی آن در اردبیل، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۵۳، صص ۴۱-۵۵.
- ۷- ساسان‌پور، فرزانه و موس‌وند، جعفر. (۱۳۸۹). تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان‌شهری با کاربرد منطق فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ج ۱۳، ش ۱۶، صص ۲۹-۵۰.
- ۸- سالاری، مرجان؛ معاضد، هادی و رادمنش، فریدون. (۱۳۹۱). مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری با استفاده از مدل ای، اچ، پی-فازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر شیراز)، فصلنامه علمی - پژوهشی دانشکده بهداشت یزد، سال یازدهم، شماره اول، صص ۹۶-۱۰۹.
- ۹- سلطانی، سیدباقر؛ غلامیان، سیداصغر و دستجانی فراهانی، کسری. (۱۳۸۹). بررسی پتانسیل انرژی باد در بند امیرآباد به منظور امکان‌سنجی تاسیس نیروگاه بادی، نشریه انرژی ایران، دوره سیزدهم، ش ۱۳، صص ۱-۱۶.
- ۱۰- صفاری، امیر؛ ساسان‌پور، فرزانه و موس‌وند، جعفر. (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، ج ۱۷، ش ۲۰، صص ۱۲۹-۱۵۰.
- ۱۱- عبدلی، حبیب؛ ساری صراف، بهروز و شمعچی، عباس. (۱۳۸۸). امکان‌سنجی پتانسیل انرژی باد و کاربرد آن در طرح‌های توسعه صنعتی (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، مجله فضای جغرافیایی، سال نهم، ش ۲۸، صص ۷۴-۵۷.
- ۱۲- قائدرحمتی، صفر؛ باستانی‌فر، ایمان و سلطانی، لایلا. (۱۳۹۰). بررسی تاثیرات تراکم بر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر اصفهان (با رویکرد فازی)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۴۲، شماره پیاپی ۴۱، ش ۱، صص ۱۰۷-۱۲۲.
- ۱۳- کرمی، آیت اله و عبدشاهی، عباس. (۱۳۹۰). رتبه‌بندی توسعه‌یافتگی مناطق روستایی استان کهگیلویه و بویراحمد به روش فازی، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ج ۳، ش ۳، صص ۱۱۷-۱۳۶.
- ۱۴- متکان، علی اکبر؛ شکیب، علیرضا؛ پورعلی، سید حسین و حسین، نظم فر. (۱۳۸۷). مکان‌یابی مناطق مناسب جهت دفن پسماند با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (ناحیه مورد مطالعه: شهر تبریز)، علوم محیطی، سال ششم، شماره دوم، صص ۱۲۱-۱۳۲.
- ۱۵- محمدی، حسین؛ رستمی جلیلیان، نیما؛ تقوی، فرناز و شمسی‌پور علی اکبر. (۱۳۹۱). پتانسیل انرژی باد در استان کرمانشاه، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال چهارم و چهارم، ش ۲، صص ۱۹-۲۳.
- 16- 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.
- 17- Bertolini, M. M, Braglia., (2006), Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, International Journal of Project Management 24, 422-430.
- 18- 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.

- 19- Bowen, Wiilliam M., (1990), Subjective judgments and data environment analysis in site selection, Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 14, 133-144.
- 20- 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.
- 21- Eastman, J.R. Kyem, P.A, K. Toledano, J. Jin, W. (1993). GIS and Decision Making, m 1st ed., UNITAR,PP: 108-112.
- 22- 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,PP: 98-109.
- 23- 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 TECHNOLOGY AND BUILT ENVIRONMENT.
- 24- Kunz, J.(2010). the Analytic Hierarchy Process (AHP), Eagle City Hall Location Options Task Force,PP: 1-25.
- 25- Lootsma, F, A. (2005). Fuzzy Logic for Planning and Decision Making. Dordrecht, kluwer Academic Publisher.
- 26- Moreno-Jimenez, J.M., ET al. (2005) a spreadsheet module for consistent consensus building in group decision making, Group Decision and Negotiation 14, 89-108.
- 27- bamroong, A. Kasemsan, M. Wanvisa, Ch. and Nuttee, a. (2009). Development of a GIS Decision Support System for Wind Farm Installations in Thailand: Current State and Results. World Renewable Energy Congress 2009 – Asia,PP: 690-695.
- 28- Saaty, T, L., (1980), the Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Pittsburgh: RWS Publications.
- 29- Saaty, T, L. (1990). Decision Making for Leaders. Pittsburgh: RWS Publications.
- 30- Saaty, T, L. (1996). the Analytic Network Process. Pittsburgh: RWS Publications.
- 31- Sarkis, J. & Talluri, S. (2004). Evaluating and Selecting E-Commerce Software and Communication Systems for A Supply Chain. European Journal of Operational Research, 159,PP: 318-329.
- 32- 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.
- 33- Taha, H.A. (2003). Operations Research. Pearson Education Inc. Fayetteville.
- 34- Taylor, B.W. (2004). Introduction to Management Science. Pearson Education Inc. New Jersey.
- 35- Yasmina, A, H. (2012). Wind energy in Egypt Economic feasibility for Cairo. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16,PP 3312- 3319.
- 36- Zadeh, L, A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I, Information Sciences, 8,PP: 199-249.