

ارزیابی تناسب اراضی جهت استقرار مزارع باد با استفاده از تکنیک‌های

تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS (مطالعه موردی: آذربایجان شرقی)

حسین سلیمانی: کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران*

منوچهر فرج زاده‌اصل: دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

جلال کریمی: استادیار سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۳/۷ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۲، صص ۴۲-۲۱

چکیده

به واسطه تأثیرات منفی استفاده از سوخت‌های فسیلی و همچنین محدود بودن این منابع، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و به خصوص انرژی حاصله از باد برای تولید انرژی پاک در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. به طوری که بیشترین ظرفیت تولید الکتریسیته در انرژی‌های نو در اروپا در سال ۲۰۰۸ متعلق به انرژی بادی (۴۳٪) بوده است. به منظور بهره‌برداری مناسب و مطلوب از انرژی بادی، اولین گام مطالعه و معرفی مناطق مناسب برای انجام پروژه است. در این پژوهش با بهره‌گیری از نظر کارشناسان خبره و مطالعه طرح‌ها و پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، از ۱۲ پارامتر پتانسیل باد، فاصله از شهرها، روستاها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، جاده‌ها، خطوط ریلی، فرودگاه، گسل و همچنین کاربری اراضی، شیب و ارتفاع برای ارزیابی تناسب اراضی جهت ایجاد مزارع باد در استان آذربایجان شرقی استفاده شده است. این پارامترها ابتدا از سه دیدگاه اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی و زیست‌محیطی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته و سپس برای وزن دادن و همپوشانی لایه‌ها و معیارها از مدل AHP و منطق فازی در محیط سیستم اطلاعات مکانی (GIS) استفاده گردید. در نقشه حاصله، از کل مساحت منطقه در مدل AHP و منطق فازی به ترتیب، در حدود ۰/۰۲۵ و ۳ درصد برای انجام چنین پروژه‌ای مناسب تشخیص داده شد. ضریب همبستگی روش فازی و AHP با لایه پتانسیل باد، به عنوان مهم‌ترین لایه مورد استفاده به ترتیب ۵۵ و ۴۳ درصد بدست آمد، که حاکی از برتری نسبی روش فازی نسبت به روش AHP در مسئله مورد تحقیق است. همچنین بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر مهم‌ترین فاکتورهای موثر در مکانیابی مزارع باد لایه‌های پتانسیل باد، ارتفاع، فاصله از دریاچه‌ها، کاربری اراضی، شهرها و روستا هستند.

واژه‌های کلیدی: مزارع باد، تناسب اراضی، آذربایجان شرقی، منطق فازی، AHP، GIS.

مقدمه

محیط زیست در میان عوامل انسان ساخت، تولید، تبدیل و مصرف انواع انرژی‌های فسیلی است. آلودگی هوا، آلودگی آب، تغییرات دمایی، گرم شدن کره زمین، ذوب یخچال‌ها و بالا آمدن آب دریاها، نازک شدن

انرژی یکی از مهم‌ترین عوامل در پیشرفت و توسعه جوامع بشری است؛ و از سوی دیگر شواهد، گویای این واقعیت است که بزرگ‌ترین عامل انهدام و آلودگی

برق بادی در اروپا، برای ۱۵ الی ۱۹ نفر شغل ایجاد می‌شود، که این رقم در کشورهای در حال توسعه تا دو برابر می‌رسد (اسماعیل‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹). در آخر می‌توان به نقش مؤثر انرژی‌های نو در پدافند غیر عامل (کاهش اتکا به منابع وارداتی) که اثرات مهمی در تأمین زیر ساخت مناسب در بخش انرژی کشور و امنیت سیستم انرژی کشور را دارد، اشاره کرد.

یکی از این رویکردها، که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه بوده است، نیروی بادی است، به طوری که بیشترین ظرفیت تولید الکتریسیته در انرژی‌های نو در اروپا در سال ۲۰۰۸ متعلق به انرژی بادی (۴۳٪) بوده است (WWEA^۲, 2011). در ایران با وجود مناطق بادخیز و استقرار در مسیر جریان‌های عمده هوایی، میزان تولید برق بادی در مقایسه با سایر منابع انرژی بسیار نا چیز است. به طوری که این میزان در سال ۱۳۸۴ در حدود ۷۰ گیگاوات ساعت، یعنی ۰/۰۴ درصد کل برق تولید شده در کشور بوده است (شعربافیان، ۱۳۸۷). اما در مقابل، کشورهای صنعتی توجه بسیاری به این منابع کرده‌اند (Carrio et.al, 2008)، به طوری که ۸۶٪ از کل ظرفیت نیروگاه‌های بادی جهان تنها در اختیار ۱۰ کشور قرار دارد. چنانچه کل پتانسیل بادی کشور به بهره‌برداری برسد (۳/۶ تا ۶/۵ مگاوات)، سبب صرفه جویی بین ۴۷ تا ۸۴ میلیون بشکه معادل نفت خام در هر سال می‌شود (شعربافیان، ۱۳۸۷).

در ایران محققین بسیاری با در نظر گرفتن تنها عامل پتانسیل باد، مطالعات زیادی در زمینه تعیین مناطق

لایه ازن و پراکنده شدن ضایعات جامد از جمله مشکلات زیست‌محیطی هستند که به طور مستقیم به تولید، انتقال و مصرف انرژی مربوط می‌شوند (قربانی، ۱۳۸۸).

از راهکارهایی که برای جلوگیری از چنین مشکلاتی در سال‌هایی اخیر مطرح شده، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر است. توسعه انرژی‌های نو منافع اجتماعی و اقتصادی زیادی به همراه دارد، که از جمله آن‌ها می‌توان به محدود بودن سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی اشاره کرد. طبق برآوردهای صورت گرفته توسط EIA^۱، در صورت وجود ذخیره ۱۳۱۷۰۰۰ میلیون بشکه نفت خام و ۱۱۶۱۰۰۰ میلیون بشکه معادل نفت خام، گاز طبیعی و ۴۴۱۶۰۰۰ میلیون بشکه معادل نفت خام، زغال سنگ این منابع به ترتیب ظرف مدت ۴۳، ۱۶۷ و ۴۱۷ سال به پایان خواهند رسید (پیام سانا، ۱۳۸۷، ش ۸). از دیگر ابعادی که می‌توان بدان اشاره کرد، هزینه‌های پایین زیست‌محیطی و اجتماعی آن است. طبق آمار موجود با تولید هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی از منابع تجدید پذیر و نیروی بادی به ترتیب از انتشار حدود ۰/۷ و یک کیلو گرم CO₂ در مقایسه با نیروگاه‌های سوخت فسیلی حرارتی جلوگیری می‌شود. همچنین قابلیت تولید غیرمتمرکز برق از انرژی‌های نو، فرصت پیشرفت و توسعه را برای نقاط دور افتاده و روستایی فراهم ساخته، و موجب تقویت ساختار اجتماعی و اقتصادی مناطق روستایی و جلوگیری از مهاجرت آنها به شهرها می‌شود. در این زمینه می‌توان به بحث اشتغال‌زایی این سیستم‌ها اشاره کرد. به طوری که با نصب یک مگاوات

² World Wind Energy Association

¹ Energy Information Administration

با تلفیق GIS، MCDM^۱ و منطق فازی تعیین کرده‌اند. آ دول بنیو و همکاران (۲۰۰۷) با تلفیق AHP^۲ و GIS و با در نظر گرفتن ۱۱ معیار تعیین کننده اقدام به شناسایی مناطق مستعد برای نصب توربین‌هایی بزرگ بادی در کشور تایلند کرده‌اند. بهشتی فر و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله‌ای ضمن شناسایی عوامل مهم در تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه‌های گازی، نقش و میزان تأثیرگذاری موقعیت مکانی نیروگاه‌ها بر میزان و هزینه تولید، انتقال انرژی و محیط زیست را بررسی کردند. تقی لو (۱۳۸۸) جهت ارزیابی پتانسیل نیروی باد برای احداث توربین‌هایی بادی در استان زنجان، از ۱۱ پارامتر استفاده کرده در انتها مدل TOPSIS را برای این منظور مناسب معرفی می‌نماید.

با توجه به اهمیت مطالعات ارزیابی تناسب اراضی برای مکانیابی مزارع باد و از طرف دیگر کمبود چنین مطالعاتی در منطقه مورد مطالعه، هدف از این پژوهش ارزیابی تناسب اراضی در استان آذربایجان شرقی، جهت شناسایی مناطق مستعد احداث مزارع باد و عوامل مؤثر در مناسب یا نا مناسب بودن یک مکان، با استفاده از قابلیت‌های ترکیبی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، GIS و منطق فازی است.

داده و روش انجام تحقیق

منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی در گوشه شمال غرب ایران به مرکزیت شهر تبریز با مساحتی در حدود ۴۵،۴۸۱ کیلومتر مربع، حدود ۲/۸ درصد مساحت کل کشور را داراست. از نظر مختصات جغرافیایی، مدارهای ۲۶ و

مستعد احداث نیروگاه‌های برق بادی انجام داده‌اند (کیانی فر، ۱۳۷۸؛ عزتیان و بهیار، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲؛ عبدلی و همکاران، ۱۳۸۸؛ گندمکار، ۱۳۸۸؛ امانی و حسینی شمعچی، ۱۳۸۹؛ پروین، ۱۳۸۹)، لیکن باید توجه داشت که مسائل محیطی اغلب به صورت پیچیده و چندبعدی بوده و در آن گروه‌های ذینفع زیادی با اهداف و اولویت‌های گوناگون وجود دارند. همچنین ارزیابی تناسب اراضی دارای رویکردی میان رشته‌ای بوده و در آن اطلاعات زیادی از رشته‌های گوناگون (علوم خاک، مسائل اجتماعی، علوم جغرافیایی، مدیریت، هواشناسی، کشاورزی و ...) باید جمع‌آوری گردد. هر کدام از این منابع دارای معیارهای گوناگونی بوده که این معیارها، دارای وزن و اهمیت برابر نیستند. بنابراین توسعه سیستمی که بتواند نیازهای تمام گروه‌ها را با در نظر گرفتن تمام معیارها برآورده سازد، امری ضروری است. با توجه به اینکه سیستم اطلاعات جغرافیایی در ترکیب با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از قابلیت‌های زیادی در این زمینه برخوردار است، محققین بسیاری برای تحلیل تناسب اراضی از آن بهره گرفته‌اند، منجمله: بیتا اسلیز و همکاران (۲۰۱۱) در لهستان اقدام به ارزیابی پراکنش پتانسیل باد با استفاده از رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی کرده، سپس با در نظر گرفتن ۳ معیار اقتصادی، اکولوژیکی و تکنیکی اقدام به معرفی مناطق و پهنه‌های مناسب برای سرمایه‌گذاری در زمینه احداث نیروگاه‌های بادی کرده‌اند. آیدین و همکاران (۲۰۱۰) سایت‌های مناسب را با استفاده از ۱۱ معیار و

¹ Multi criteria decision making

² Analytical hierarchy Process

مشخصات ایستگاهها و میانگین سرعت باد در منطقه مورد مطالعه ذکر گردیده است.

۲.۲ منابع داده

لایه پتانسیل باد: برای تهیه این لایه از آمار و اطلاعات ۱۱ ایستگاه سینوپتیک موجود در منطقه بشرح جدول شماره ۱ استفاده گردید (بدو تأسیس تا ۲۰۰۵). با توجه به اینکه سرعت باد در ایستگاههای سینوپتیک در ارتفاع ۱۰ متری و به نات اندازه گیری می‌گردد، و ارتفاع اغلب توربین‌های بادی ۵۰ متر است، با استفاده از فرمول زیر سرعت باد در ارتفاع مورد نظر محاسبه، و به مقیاس متر در ثانیه تبدیل گردید (علیزاده، ۱۳۸۴).

جدول ۱: میانگین سرعت باد در ایستگاه‌های مورد

مطالعه (نات)

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سرعت باد
۱	اهر	۴۷ ۴	۲۶ ۳۸	۵/۷
۲	بناب	۴۶ ۴	۲۰ ۳۷	۴/۲۳
۳	جلفا	۴۵ ۴۰	۴۵ ۳۸	۴/۷
۴	کلیدر	۴۷ ۱	۵۲ ۳۸	۴/۹
۵	مراغه	۴۶ ۱۶	۲۴ ۳۷	۴/۵
۶	میانه	۴۷ ۴۲	۲۷ ۳۷	۳/۴۵
۷	سهند	۴۶ ۷	۵۶ ۳۷	۹/۸
۸	سراب	۴۷ ۳۲	۵۶ ۳۷	۴/۳۵
۹	تبریز	۴۶ ۱۷	۵ ۳۸	۵/۶
۱۰	مرند	۴۵ ۴۶	۲۸ ۳۸	۳/۶
۱۱	بستان آباد	۴۶ ۵۰	۵۰ ۳۷	۸/۸

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{0.15}$$

که در آن U سرعت باد در ارتفاع Z مورد نظر و U_0 سرعت باد در ارتفاع Z_0 مبنا است.

39° و 45° و 36° شمالی، منتهی‌الیه شمالی و جنوبی، و نصف‌النهارات 5° و 45° و 22° و 48° منتهی‌الیه غربی و شرقی استان را می‌پوشاند. توپوگرافی منطقه، یکی از عوامل مهم آفرینش ویژگی‌های اقلیمی استان و عامل اصلی تنوع در آن است. قله سهند با 3722 متر بلندترین نقطه و سرزمین‌های ساحلی شهرستان کلیدر با ارتفاع 160 متر پست‌ترین نقطه آن هستند. با وجود شدت سرما و ثبت برودت‌های کمتر از -30 درجه سانتی‌گراد در ایستگاه‌های هواشناسی مرتفع، درجه حرارت‌های بالای 40 درجه سانتی‌گراد در فصل تابستان در ایستگاه‌هایی مانند جلفا و میانه قابل رویت هستند. دامنه نوسان بین معدل حداقل و حداکثر درجه حرارت سردترین و گرم‌ترین ماه سال در حدود 40 درجه سانتی‌گراد بوده که این رقم در بین ارقام مطلق تا 55 درجه افزایش می‌یابد. میانگین دمای روزانه نیز در بین ایستگاه‌های استان $6/5$ تا 15 درجه سانتی‌گراد است. میزان نزولات جوی استان بطور متوسط 250 الی 600 میلی‌متر بوده که اغلب در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق می‌افتد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۵).

اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک استان دارای بیشترین درصد هوای بادی (بیش از 50%) بوده، که در بین آن‌ها ایستگاه‌های سهند و تبریز با $85/6$ و $84/2$ درصد بیشتر از سایر ایستگاه‌ها دارای هوای بادی هستند. حداکثر سرعت باد ثبت شده در بین ایستگاه‌های استان متعلق به ایستگاه سهند با 36 متر در ثانیه بوده و ایستگاه‌های اهر و میانه بترتیب دارای بیشترین و کمترین ضریب تداوم باد در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه هستند (عبدلی و همکاران، ۱۳۸۸). در جدول ۱

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$$

$$X'_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$$

که در آن X'_{ij} معرف نمره استاندارد شده در رابطه با گزینه i -ام و صفت j -ام است. X_{ij} معرف نمره خام، X_j^{\max} بیانگر نمره حداکثر و X_j^{\min} بیانگر نمره حداقل برای صفت j -ام و $X_j^{\max} - X_j^{\min}$ معرف دامنه معیار مورد نظر است. سپس با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، وزن‌ها و اولویت‌های تصمیم‌گیران نسبت به شاخص‌های مورد استفاده استخراج، و در آن‌ها ضرب گردید. مرحله بعدی شامل استفاده از قواعد تصمیم‌گیری برای تجمیع، رتبه‌بندی و انتخاب بهترین گزینه، از میان گزینه‌های موجود است. در واقع با استفاده از قواعد تجمیع، تمام داده‌ها و اطلاعات مترتب بر گزینه‌ها و اولویت‌های تصمیم‌گیران با یکدیگر ترکیب، و در قالب برآورد کلی از گزینه‌ها مطرح می‌گردند (پرهیزگار و گیلاننده، ۱۳۸۵).

در این پژوهش از دو تکنیک، منطق فازی و AHP به عنوان قاعده تجمیع در محیط GIS استفاده شد. در مرحله آخر نتیجه هر دو روش به چهار کلاس کاملاً مناسب (۰/۸ - ۱)، نسبتاً مناسب (۰/۶ - ۰/۸)، نسبتاً نامناسب (۰/۴ - ۰/۶) و نامناسب (۰ - ۰/۴) طبقه بندی، و نقشه تناسب اراضی نهایی منطقه جهت استقرار مزارع باد بدست آمد (شکل ۱).

برای تهیه لایه‌های فاصله از شهرها، روستاها، خطوط ارتباطی، فرودگاه، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و شیب، ارتفاع از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده گردید.

برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه از تصاویر سنجنده Aster (2010) و همچنین خطوط گسلی اصلی منطقه از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۵۰۰۰۰ تهیه گردیده توسط سازمان زمین شناسی کشور استخراج گردید.

۳.۲ روش مورد استفاده

بعد از جمع‌آوری داده‌ها ابتدا اقدام به رقومی سازی لایه‌ها و تهیه پایگاه داده در GIS گردید. برای بدست آوردن نقاط مجهول در لایه پتانسیل باد، از روش درون‌یابی spline که در اکثر پژوهش‌های پیشین به عنوان بهترین روش درون‌یابی پارامترهای اقلیمی ذکر شده است، استفاده گردید (Hutchinson, 1995; Hartkamp et.al, 1999; Yang et.al, 2006; مهدی زاده و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین برای ساخت لایه‌های فاصله از شهرها، روستاها، خطوط ارتباطی، فرودگاه، پهنه‌های آبی و خطوط گسلی از تابع Distance در محیط GIS استفاده؛ و در مرحله بعدی با توجه به اینکه چه مقادیری برای ویژگی مورد نظر دارای مطلوبیت بیشتری میباشند، از توابع ذیل برای نرمال سازی تمام لایه‌ها استفاده گردید.

در ساختار سلسله مراتبی سطح یک نشان دهنده هدف، به معنی ارزیابی تناسب اراضی جهت استقرار نیروگاه‌های بادی است. سطح دو نشان دهنده معیارهایی است که در انتخاب بهترین مکان مورد استفاده قرار می‌گیرد (اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی_فرهنگی). گزینه‌های گوناگون برای این امر در سطح سوم قرار می‌گیرند.

تعیین ماتریس مقایسه زوجی، محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها

در این پژوهش، برای بدست آوردن وزن معیارها (جدول ۲) و گزینه‌ها (جدول ۳، ۴ و ۵) در مرحله اول از مقالات و پژوهش‌های پیشین (تقی لو،

Baban et.al, 2000; Aras et.al, 2004; ۱۳۸۸ Hansen, 2005; Yuanchang et.al, 2008; Lee et.al, 2009; Moiloa, 2009; Aydin et.al, 2010; Talinli et.al, 2011; Cathcart, 2011; Griffiths et.al, 2011; Badran et.al, 2011; Men, 2011; و در مرحله

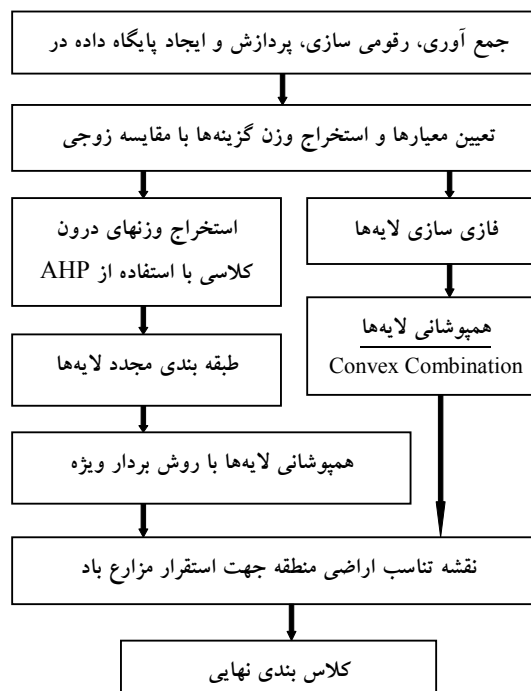
بعدی از نظرات گروهی از کارشناسان سازمان انرژی‌های نو، با در نظر گرفتن شرایط محلی منطقه مورد تحقیق، در نرم افزار Expert choice استفاده گردیده است.

جدول ۲: مقایسه زوجی معیارهای مورد استفاده

	اقتصادی	زیست محیطی	اجتماعی فرهنگی	وزن نهایی
اقتصادی	۱	۲	۴	۰/۵۷۱
زیست محیطی		۱	۲	۰/۲۸۶
اجتماعی فرهنگی			۱	۰/۱۴۳
Inconsistency = 0.0				

۱.۳.۲ مدل AHP (فرایند تحلیل سلسله مراتبی)

روش مبتنی بر AHP برای بدست آوردن حد مطلوب



شکل ۱: فلوچارت فرایند انجام تحقیق

مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش که توسط ساعتی (۱۹۸۰) ارائه گردیده، یکی از بهترین روش‌های تحلیل چند متغیری گسسته بوده و به عنوان روش و ابزار تجزیه و تحلیلی در شاخه‌های گوناگون تکنولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل به صورت سیستماتیک قابلیت در نظر گرفتن معیارهای گوناگون کمی و کیفی را در مسئله تصمیم‌گیری فراهم می‌سازد. مدلسازی با استفاده از این روش شامل مراحل زیر است:

ساختن یک ساختار سلسله مراتبی برای مسأله

جدول ۳: جدول مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار اقتصادی

ردیف	باد	ارتفاع	شیب	فاصله از خطوط ارتباطی	فاصله از گسل	وزن
۱	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۱۳
۲		۱	۳	۵	۷	۰/۲۶۱
۳			۱	۳	۵	۰/۱۲۹
۴				۱	۳	۰/۰۶۳
۵					۱	۰/۰۳۳
Inconsistency=0.05						

جدول ۴: جدول مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار زیست محیطی

ردیف	فاصله از دریاچه‌ها	کاربری اراضی	فاصله از رودخانه‌ها	وزن
۱	۱	۲	۴	۰/۵۷۱
۲		۱	۲	۰/۲۸۶
۳			۱	۰/۱۴۳
Inconsistency=0.0				

بررسی سازگاری سیستم یکی از مزیت‌های روش AHP قابلیت آن برای محاسبه سازگاری معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری است. برای هر ماتریس خارج قسمت شاخص سازگاری به شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی به عنوان معیاری برای قضاوت در مورد ناسازگاری سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواردی که این مقدار از ۰/۱ کمتر باشد، سیستم دارای سازگاری قابل قبول بوده در غیر این صورت قضاوت‌ها و مقادیر باید تجدید نظر گردند. در این پژوهش شاخص ناسازگاری کل ۰/۰۲۸۵ بدست آمد، که بیانگر یک سطح منطقی از پایداری در مقایسه‌های صورت گرفته است.

جدول ۵: جدول مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار اجتماعی_فرهنگی

ردیف	فاصله از نقاط شهری	فاصله از روستاها	فاصله از فرودگاه	وزن
۱	۱	۲	۴	۰/۵۷۱
۲		۱	۲	۰/۲۸۶
۳			۱	۰/۱۴۳
Inconsistency=0.0				

۲.۳.۲ منطق فازی مجموعه‌های فازی برای طبقه بندی اشیاء و پدیده‌هایی که دارای مرز دقیقی نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zadeh, 1965). بر خلاف مجموعه‌های کلاسیک، مرز مجموعه فازی به صورت صریح و دقیق نبوده بلکه به صورت یک باند است (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۷). اگر Z معرف فضای پدیده‌ها یا اشیاء

کلاسیک، مرز مجموعه فازی به صورت صریح و دقیق نبوده بلکه به صورت یک باند است (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۷). اگر Z معرف فضای پدیده‌ها یا اشیاء

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + (\frac{x}{F_2})^{F_1}}$$

که $\mu(x)$ تابع عضویت فازی، F_1 پارامتری که تعیین کننده سرعت کاهش درجه عضویت از 1 به 0 بوده و با افزایش آن شیب تابع در نقطه میانی (F_2) افزایش پیدا می‌کند ($F_1 \in [0 - 10]$). F_2 پارامتری که در آن نقطه مقادیر کلاسیک به درجه عضویت برابر 0/5 در تابع فازی تبدیل خواهند گشت. انتخاب مقدار مناسب برای F_1 به دامنه مقادیر کلاسیک بستگی داشته، و با توجه به اینکه مقدار عدد 5 در اکثر مطالعات گذشته برای F_1 مناسب‌ترین مقدار ذکر شده بود، در توابع مذکور از آن مقدار برای تمام لایه‌ها استفاده گردید (Tsoukalas et.al, 1997; Kemp et.al, 2001).

انتخاب مقدار F_2 با توجه به وزنهای درون کلاسی در نظر گرفته شده در مطالعات گذشته (تقی لو، ۱۳۸۸؛ Moilao, 2009; Aydin et.al, 2010; Talinli et.al, 2011)، نوع داده‌ها و اینکه چه مقداری از ارزش‌های کلاسیک می‌تواند دارای درجه عضویتی برابر 0/5 باشد صورت گرفته است. در جدول 6 مقادیر در نظر گرفته شده برای تمام گزینه‌ها ذکر گردیده است.

جدول 6: مقادیر در نظر گرفته شده برای گزینه‌ها در

توابع عضویت فازی

ردیف	گزینه	تابع	F_1	F_2
۱	سرعت باد (m/s)	large	۵	۴/۵
۲	فاصله از شهر (m)	large	۵	۳۵۰۰
۳	فاصله از روستا (m)	large	۵	۸۰۰
۴	فاصله از غسل (m)	large	۵	۲۷۵۰
۵	فاصله از فرودگاه (m)	large	۵	۴۵۰۰
۶	فاصله از دریاچه (m)	large	۵	۳۵۰۰
۷	فاصله از رودخانه (m)	large	۵	۸۰۰
۸	شیب (%)	small	۵	۱۰
۹	ارتفاع (m)	small	۵	۱۵۰۰

باشد، آنگاه مجموعه فازی A ، مجموعه ای از جفت‌های مرتب شده به صورت زیر خواهد بود.

$$A = \{z, \mu_A(z)\}, \forall z \in Z$$

که $\mu_A(Z)$ تابع عضویت تمام $z \in Z$ به A است. این تابع، درجه عضویت Z به مجموعه A را با مقادیر بین $[0,1]$ بیان می‌کند. که 0 بیانگر عدم عضویت، و 1 بیانگر عضویت کامل به مجموعه است. مقادیر میانی ($0 < \mu_A < 1$) بیانگر نزدیکی یک پدیده یا عنصر به کلاس تعریف شده است.

در مسائل مربوط به محیط زیست و تناسب اراضی، منطق فازی نسبت به منطق کلاسیک دارای ارجحیت است، زیرا منطق فازی مسائل را در یک مقیاس پیوسته مورد بررسی قرار داده و در مرحله بعدی منطق فازی امکان سروکار داشتن با ابهامات موجود در منبع داده‌ها و دانش فرد خبره را فراهم می‌سازد. ارزیابی تناسب اراضی بر پایه منطق فازی شامل سه مرحله تعریف توابع عضویت فازی، محاسبه وزن هر یک از لایه‌ها و در مرحله آخر ترکیب تمام لایه‌ها با یکدیگر است.

برای تعریف توابع عضویت فازی بسته به اینکه، چه مقادیری برای ویژگی مورد نظر مناسب است، از سه نوع تابع عضویت استفاده شد. برای گزینه‌هایی که مقادیر بالا ارزش زیادی برای ویژگی مورد نظر داشتند، از تابع عضویت large استفاده گردید:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + (\frac{x}{F_2})^{F_1}}$$

برای گزینه‌هایی که مقادیر پایین ارزش زیادی برای ویژگی مورد نظر داشتند، از تابع عضویت small استفاده گردید:

مطرح گردید. به صورتی که رشد شتابان شهرنشینی و گسترش فعالیت‌های صنعتی، ظرفیت زیر ساخت‌های شهری را کاهش و ضایعات زیست‌محیطی را افزایش داد (سرور و موسوی، ۱۳۹۰).

افراد با دیدگاه‌های گوناگون و نگرش‌های متفاوت به تعریف مفهوم توسعه پایدار پرداخته‌اند. گروهی آن را عرصه پیوند اندیشه حفاظت زیست‌محیطی و توسعه دانسته‌اند و گروهی، توسعه‌ای را پایدار دانسته‌اند که در آن رشد و توسعه اقتصادی، محیط و جامعه انسانی رابطه‌ای مکمل و نه رقابت‌آمیز با یکدیگر داشته باشند (علیزاده، ۱۳۸۲). برانت لند در سال ۱۹۸۷ هدف از توسعه پایدار را رفع نیازهای نسل حاضر بدون تضییع توانایی نسل‌های آینده برای رفع نیازهایشان تعریف کرده است (زیاری، ۱۳۸۷). تقریباً وجه مشترک تمامی تعاریف، حفظ محیط زیست به عنوان بستر توسعه است، که این امر در قبال ارتباط متقابل میان سه رکن اساسی توسعه پایدار یعنی اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی و زیست‌محیطی جامه عمل خواهد پوشید. هر کدام از این ارکان دارای شاخص‌ها و گزینه‌های زیادی بوده که در این پژوهش با مطالعه پژوهش‌های پیشین (تقی لو، ۱۳۸۸، Baban et.al, 2000; Aras et.al, 2004; Hansen, 2005; Rodman et.al, 2006; Bennui et.al, 2007; Yuanchang et.al, 2008; Lee et.al, 2009; Moiloa, 2009; Aydin et.al, 2010; Talinli et.al, 2011; Cathcart, 2011; Griffiths et.al, 2011; Badran et.al, 2011; Men, 2011; Zhao et.al, 2011) و در نظر گرفتن نظرات کارشناسان مربوطه، شاخص‌های زیر برای اهداف مذکور در نظر گرفته شدند.

۱.۳ معیارهای اقتصادی

با توجه به اینکه مقادیر متوسط، برای فاصله از خطوط ارتباطی دارای تناسب بیشتری بودند، بنابراین از تابع عضویت ذوزنقه‌ای برای فازی سازی این لایه استفاده گردید. که در آن نقطه شروع، ۵۰۰ متر، نقطه ایده آل اول، ۲۰،۰۰۰ متر، نقطه ایده آل دوم، ۱۰،۰۰۰ متر و نقطه انتهایی برای لایه جاده ۲۸،۰۰۰، و برای لایه خطوط ریلی ۱۶۷،۰۰۰ در نظر گرفته شد. برای فازی سازی لایه کاربری اراضی، با در نظر گرفتن موارد ذکر گردیده در لایه محدودیت‌ها، برای اراضی شور ارزش یک، برای مراتع مقدار ۰/۹۹۶۵، برای مناطق با کشاورزی دیم پراکنده مقدار ۰/۹۱، کشاورزی دیم فشرده مقدار ۰/۴۶۷۱ و برای مناطق دارای کشاورزی آبی مقدار ۰/۰۸۹۹ در نظر گرفته شد.

برای ترکیب لایه‌های فازی در محیط GIS از تکنیک Convex Combination که به نوعی ترکیب خطی وزن دار است، استفاده گردید (Braumoh, 2004):

$$I = \sum_{i=1}^N w_i \mu_{A_i}$$

که در آن I شاخص تناسب، W_i وزن لایه و μ_{A_i} درجه عضویت پیکسل مربوطه است. مقدار W_i با استفاده از وزن‌های بدست آمده از طریق مقایسه زوجی تعیین گردید.

۳. معیارهای مورد استفاده برای تحلیل تناسب

اراضی جهت احداث مزارع باد

در دهه‌های اخیر که بر دانش و شناخت بشری از سیستم‌های طبیعی و اکولوژیکی افزوده شده، ابعاد توسعه و تداوم بلند مدت آن (توسعه پایدار) بیشتر مورد توجه متخصصان قرار گرفته است. مفهوم توسعه پایدار در سال ۱۹۷۰ توسط بارباراوارد در واکنشی منطقی نسبت به مسائل جهانی محیط زیست و توسعه

گسل‌ها نشانه‌ای از زلزله‌های قبلی اتفاق افتاده در محل هستند. زلزله‌ها در کانون خود بیشترین اثر تخریب را داشته و با دور شدن از محل شکستگی اثر آن‌ها کاهش پیدا می‌کند. بنابراین داشتن فاصله از خطوط گسلی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (شکل ۳).

• توپوگرافی (شیب و ارتفاع)

سرعت و سمت باد، بسته به توپوگرافی منطقه تغییرات بسیاری پیدا می‌کند (Talinli, 2011). مزارع باد اغلب به مناطق مسطح، بزرگ و کم شیب نیاز دارند، بنابراین توپوگرافی خشن و شیب زیاد عاملی محدود کننده در این زمینه هستند. همچنین در انتخاب سایت مناسب برای نیروگاه بادی مجبور به اجتناب از مناطق مرتفع می‌باشیم، زیرا افزایش ارتفاع، هزینه‌های سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد (Bennui et.al, 2007) (شکل ۴ و ۵).

• فاصله از خطوط ارتباطی

تأثیر شبکه حمل‌ونقل در احداث توربین‌هایی بادی از دو جنبه حائز اهمیت است: الف- نزدیکی توربین‌های بادی به راه‌ها موجب می‌شود تا آلودگی صوتی و سایه ناشی از توربین‌های بادی، حمل‌ونقل جاده‌ای را تحت تأثیر قرار دهد. ب- به دلیل وزن بسیار زیاد تجهیزات احداث توربین‌های بادی قرار گرفتن مزارع باد در نزدیکی جاده‌ها از اهمیت زیادی در کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل برخوردار است (تقی لو، ۱۳۸۸) (شکل ۶).

۲.۳ معیارهای اجتماعی_فرهنگی

• فاصله از شهرها و روستاها

فاصله از نواحی مسکونی از چندین نظر قابل بررسی است: الف- تأثیر صدای توربین‌هایی بادی. حرکت توربین‌ها (نویز مکانیکی) و عبور باد از داخل پره‌ها

معیارهایی هستند، که از دو دیدگاه افزایش بهره‌وری و سود (پتانسیل باد، نزدیکی به خطوط ارتباطی و ...) و کاهش هزینه‌های مالی (شیب کمتر، فاصله از گسل و ...) دارای اهمیت هستند. گزینه‌هایی که در این معیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، به شرح زیر هستند:

• سرعت باد

پتانسیل باد منطقه مهم‌ترین فاکتور در انتخاب مکان توربین‌هایی بادی است؛ و هرگونه طرح‌ریزی برای اجرای پروژه، باید بر اساس میانگین سرعت باد منطقه باشد. برای برآورد پتانسیل بادی منطقه، به حداقل یک سال آمار نیاز است (Talinli, 2011). از لحاظ بین‌المللی سرعت مطلوب باد برای اجرای پروژه‌های مزارع باد بالای ۶/۵ متر در ثانیه است. اما پیشرفت فن‌آوری فرصت بهره‌برداری از سرعت‌های پایین‌تر را امکان‌پذیر ساخته است (Moiloa, 2009). از نظر سازمان انرژی‌های نو (سانا) استفاده فنی از انرژی باد وقتی ممکن است که متوسط سرعت باد در محدوده ۵-۲۵ متر در ثانیه باشد (پیام سانا، ۱۳۸۶، ش ۱)، اما در بسیاری از مقالات حداقل میانگین سرعت مناسب، چهار تا پنج متر در ثانیه ذکر گردیده است (شعربافیان، ۱۳۸۷؛ گندمکار، ۱۳۸۸؛ امانی و حسینی شمعچی، ۱۳۸۹). به نظر می‌رسد دلیل وجود عدم توافق کلی در حداقل سرعت را باید در سرعت راه‌اندازی مختلف توربین‌های بادی دانست. در این زمینه قابل ذکر است که توربین‌های بادی مختلف برای شرایط بادی مختلف طراحی شده‌اند، و برای رسیدن به انرژی خروجی ماکزیمم در یک مزرعه بادی، انتخاب نوع توربین بسیار مهم است (شکل ۲).

• فاصله از گسل

• فاصله از فرودگاه

توربین‌هایی بادی می‌تواند باعث اختلال در عملکرد رادارهای کنترل ترافیک هوایی گردند. در سیستم رادار، هواپیماها به واسطه تغییر فرکانس سیگنال برگشتی (اثر داپلر) شناخته و ردیابی می‌شوند. اگرچه موقعیت توربین‌های بادی، به سبب عدم تغییر اثر داپلر را به دنبال ندارد، لیکن دوران و چرخش پره‌های توربین‌ها باعث ایجاد اثر داپلر می‌شود، که این مسئله باعث مداخله در ردیابی و ایجاد اختلال در شناسایی هواپیما می‌گردد. این نگرانی‌ها در بریتانیا باعث شده که از احداث حدود ۴۰ مزرعه بادی امتناع شود (Economist, 2011) (شکل ۹).

۳.۳ معیارهای زیست محیطی

• فاصله از دریاچه‌ها و رودخانه‌ها

این گزینه از دو جنبه قابل بررسی است: الف- تأثیر مزارع باد بر پهناهای آبی. دریاچه و مناطق اطراف رودخانه‌ها دارای اکوسیستمی حساس و زیستگاه انواع پرندگان بومی و مهاجر بوده و خطر تصادف آن‌ها با توربین‌ها در حین پرواز وجود دارد. هر توربین به طور متوسط هر سال ۰/۰۳ پرنده یا به عبارتی ۱ پرنده در طول ۳۰ سال می‌کشد (farfan et.al, 2009). برای مثال در ایالات متحده توربین‌ها هر سال در حدود ۴۰،۰۰۰-۱۰،۰۰۰ پرنده را می‌کشند (ABC¹, 2011).

ب- تأثیر پهناهای آبی بر مزارع باد. با توجه به اینکه مسیر رودخانه‌ها به صورت دینامیکی همیشه در حال تغییر بوده (تقی لو، ۱۳۸۸)، و همچنین به دلیل وقوع

(نویز آیرودینامیکی)، باعث آلودگی صوتی می‌گردد. بر اساس استاندارد کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای ایران میزان استاندارد مجاز برای مواجهه با صوت ۸۵ دسی‌بل بوده، در حالی که صدای ایجاد شده توسط توربین‌ها در ارتفاع ۱۰ متری ۱۰۱ دسی‌بل است (عزتیان و بهیار، ۱۳۸۱). این صداها در مدت زمان طولانی می‌توانند باعث افزایش فشار خون، بروز مشکلات قلبی و عروقی، زخم معده و تحریک اعصاب، اضطراب، تأثیر در خواب، افسردگی و همچنین کاهش شنوایی گردند. ب- کاهش سرعت باد محیط مصنوعی باعث تغییر اقلیم در مقیاس خرد شده و به طور کلی در مناطق دارای ساخت‌وساز سرعت باد ۲۵ درصد کمتر از سایر مناطق است. ج- توسعه آبی نواحی مسکونی. شهر، فرآیندی پویا و مداوم است که طی آن محدوده شهر و فضای کالبدی آن در جهات عمودی و افقی از حیث کمی و کیفی افزایش می‌یابد؛ بنابراین، زمین‌های اطراف نواحی ساخته شده باید برای توسعه آبی در نظر گرفته شوند (غفاری و همکاران، ۱۳۸۹). ح- هزینه‌های مالی. با کاهش فاصله از نواحی مسکونی قیمت زمین‌ها افزایش پیدا می‌کند. ی- تأثیر بصری. میزان تأثیر بصری توربین‌های بادی به اندازه، مساحت و رنگ توربین‌ها بستگی دارد. اهمیت این موضوع در مناطق ساحلی، توریستی و مسطح افزایش پیدا می‌کند. ه- عدم پذیرش اجتماعی. به دلیل مسائل و مشکلات مذکور و همچنین بوجود آمدن اختلال در زندگی ساکنان منطقه به واسطه وجود ماشین‌های حفاری و حمل‌کننده در مدت اجرای پروژه ممکن است، ساکنان چنین مناطقی در مقابل اجرای چنین پروژه‌هایی واکنش منفی نشان بدهند (شکل ۷ و ۸).

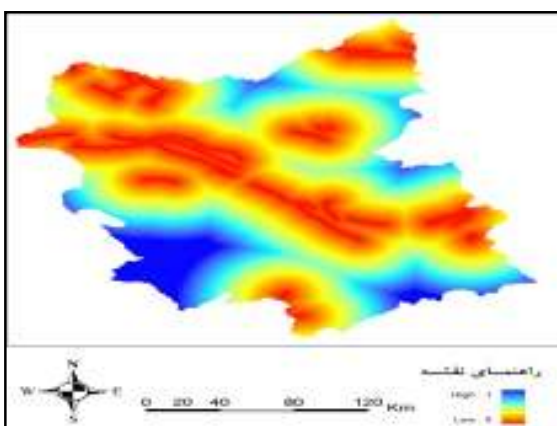
¹ American Bird Conservancy

زیست آسیمی وارد نشود؛ همچنین کاربری اراضی از نظر معیار اقتصادی نیز حائز اهمیت فراوانی است. زیرا اجاره یا خرید زمین‌ها، می‌تواند انجام پروژه را از نظر مالی تحت تأثیر قرار داده و زیر سؤال ببرد. به طور مثال در ایالات متحده کشاورزان حدود ۲ تا ۵ هزار دلار به ازای هر توربین در سال دریافت کرده (Wikipedia, 2011)، و هر توربین به طور متوسط دو کیلومتر مربع زمین به خود اختصاص می‌دهد (شعرافیان، ۱۳۸۷) (شکل ۱۱).

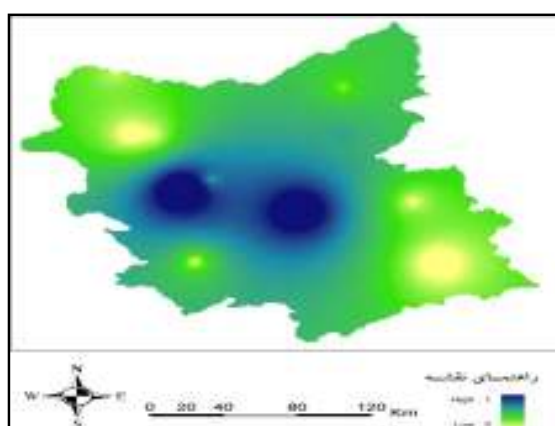
سیل، دور بودن مزارع باد از بستر رودخانه‌ها باعث افزایش امنیت تأسیسات خواهد شد (شکل ۱۰).

• کاربری اراضی

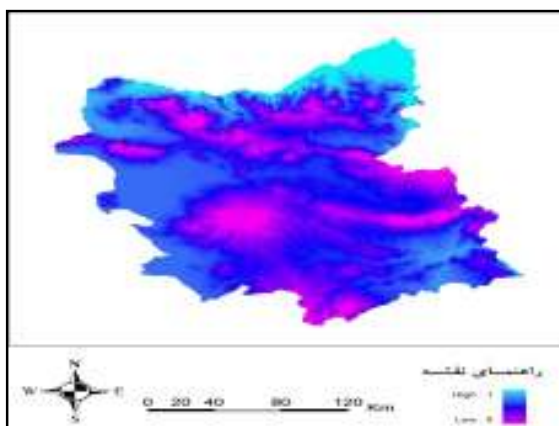
تأثیر کاربری در این زمینه به دو صورت است. مورد اول به کاربری‌هایی هستند، که نمی‌توان در آنها مزرعه بادی احداث کرد. این مناطق شامل جنگل‌ها، برکه‌ها، زمین‌های دارای کشاورزی صنعتی، مناطق حفاظت شده، مناطق نظامی و ... می‌شوند. مورد دوم مناطقی هستند، که قابلیت ساخت مزارع باد را دارا هستند، ولی انتخاب آن‌ها نیز باید به صورتی باشد، که به محیط



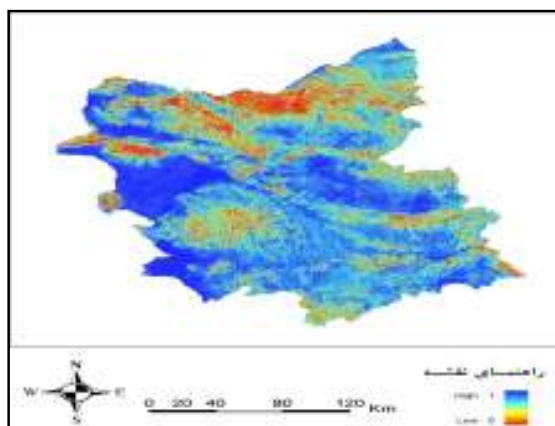
شکل ۳: لایه فاصله از خطوط گسلی



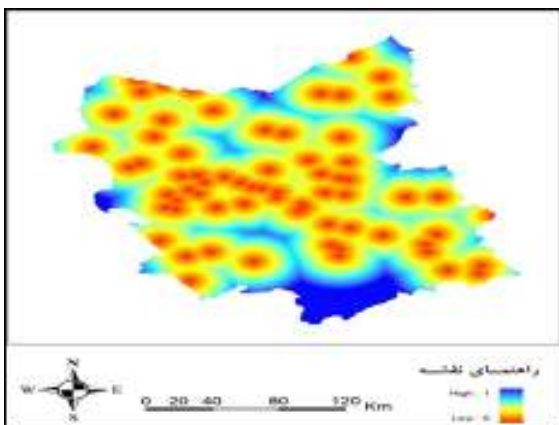
شکل ۲: لایه پتانسیل باد منطقه



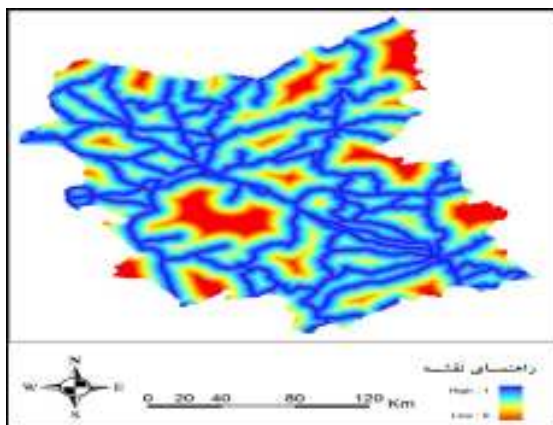
شکل ۵: لایه ارتفاع



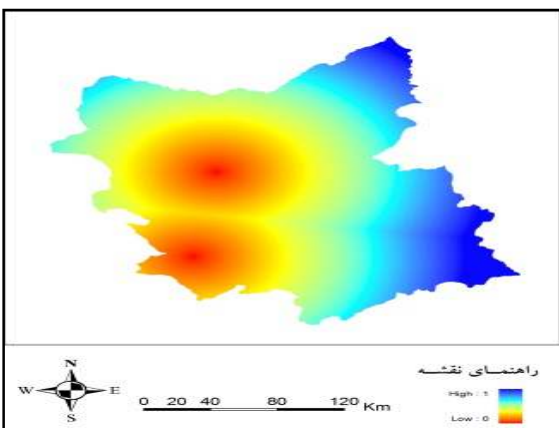
شکل ۴: لایه شیب منطقه



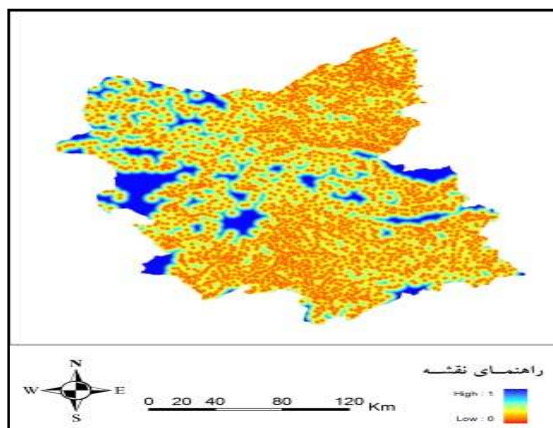
شکل ۷: لایه فاصله از مراکز شهری



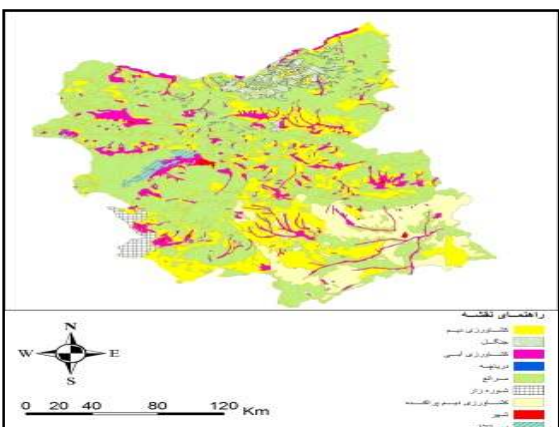
شکل ۶: لایه فاصله از خطوط ارتباطی



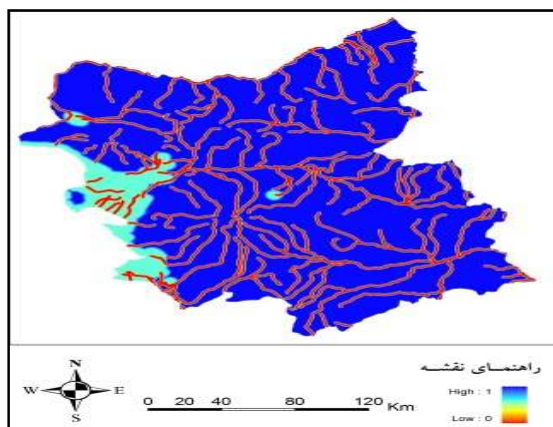
شکل ۹: لایه فاصله از فرودگاه



شکل ۸: لایه فاصله از نقاط روستایی



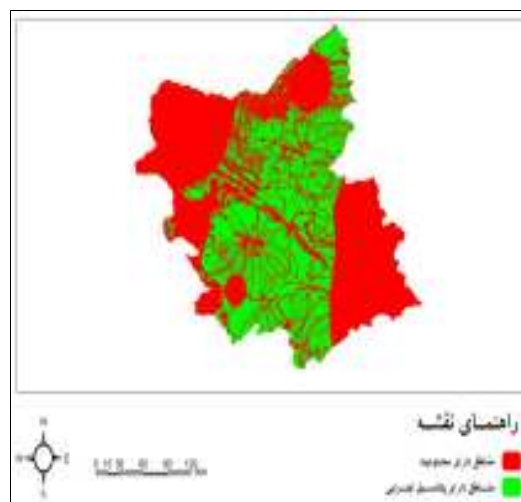
شکل ۱۱: لایه کاربری اراضی منطقه



شکل ۱۰: لایه فاصله از دریاچه‌ها و رودخانه‌ها

لایه محدودیت‌ها

مناسب بودن موقعیتی خاص برای کاربری معین، بر اساس یکسری استاندارد و معیارهایی مشخص می‌شود. محدودیت‌ها موانعی هستند که توسط انسان و یا طبیعت اعمال، و باعث می‌شوند که گزینه‌هایی قابلیت اجرایی نداشته باشند. در پژوهش حاضر بعد از بررسی و آنالیز منطقه و مطالعه منابع و استانداردها، در لایه‌های، باد (4m/s)، شیب ($>30\%$)، فاصله از روستا (400m)، فاصله از خطوط ارتباطی (500m)، فاصله از رودخانه‌ها (400m)، فاصله از دریاچه (2500m)، فاصله از گسل (1500m)، ارتفاع (3000m)، فاصله از شهر (2000m)، فاصله از فرودگاه (3000m) و در لایه کاربری اراضی (اراضی شهری، جنگلی، دریاچه‌ها، تالاب‌ها)، به عنوان مناطق دارای محدودیت در نظر گرفته شده و در انتها از نقشه خروجی حذف گردیدند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: لایه محدودیت‌ها

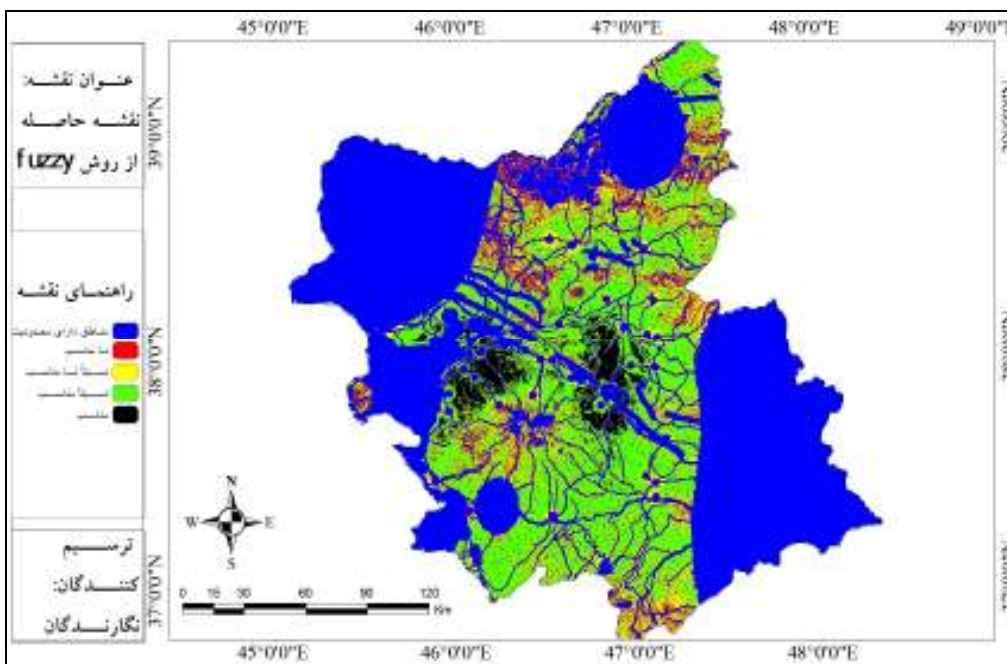
نتایج و بحث

در سالیان اخیر برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست به واسطه مصرف بیش از حد سوخت‌های

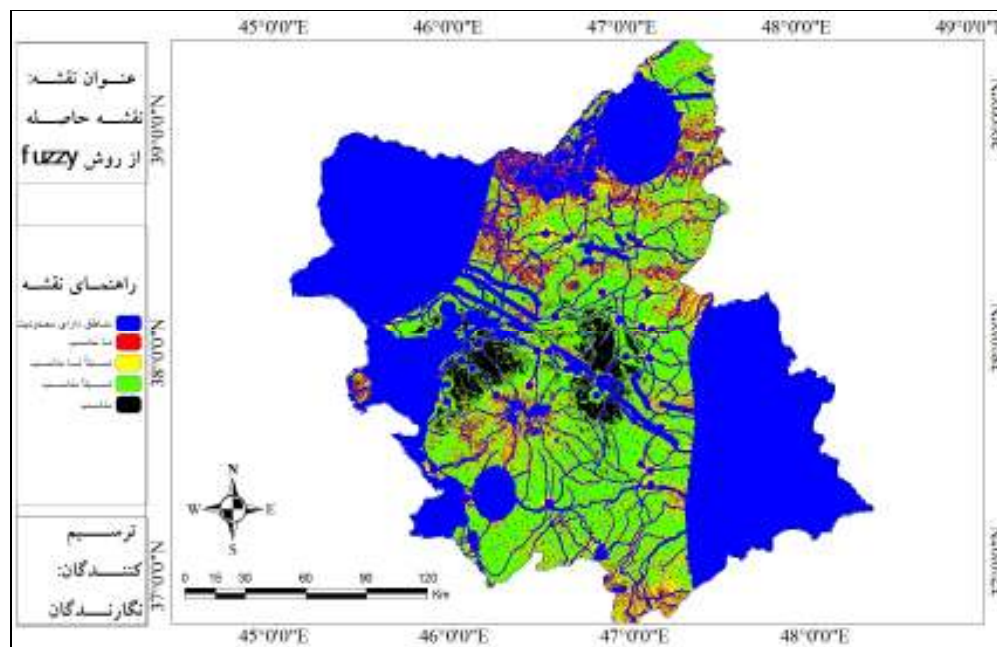
فسیلی و نیز پایان پذیر بودن این انرژی گران قیمت و لزوم تأمین انرژی مورد نیاز جوامع بشری نگاه‌ها و توجهات به سمت و سوی انرژی‌های نو و تجدید پذیر مانند انرژی باد متمرکز شده است. به واسطه اینکه توربین‌های بادی مگاواتی دارای نویز زیادی بوده و همچنین دارای آسیب‌های اجتماعی و زیست‌محیطی هستند، مکانیابی آن‌ها باید بر اساس اصول و استاندارد خاصی صورت بگیرد، تا علاوه بر جبران این مشکلات، باعث افزایش سود و کاهش هزینه‌های سرمایه ای شود.

با توجه به گسترش روزافزون کاربردهای GIS لزوم افزودن توابع مختلف برای حل مسائل پیچیده محیطی روز بروز بیشتر می‌شود. یکی از قوی‌ترین و مهم‌ترین سیستم‌هایی که در چند دهه اخیر مطرح گردیده، تکنیک‌های MCDM هستند. ترکیب GIS و MCDM، ابزاری قوی برای ترکیب لایه‌ها با توجه به اهمیت آن‌ها و بر مبنای اهداف تصمیم‌گیری برای بهینه کردن فرایند تناسب اراضی فراهم می‌سازد.

در این پژوهش با مطالعه تحقیقات صورت گرفته در این زمینه از ۱۲ پارامتر قید شده که، مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار در زمینه تعیین مناطق مناسب برای نیروگاه‌های بادی هستند، استفاده گردید. نتیجه اعمال دو روش شناسایی مناطق مناسب و نامناسب با تشابه‌ها و تناقض‌های فراوان به صورت نقشه‌های کیفی است. شکل‌های شماره ۱۳ و ۱۴ ترتیب اولویت بندی مربوط به هر مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نقشه اولویت بندی مناطق با استفاده از روش fuzzy



شکل ۱۳: نقشه اولویت بندی مناطق با استفاده از روش fuzzy

لایه‌ها بیش از ۷۷٪ کل وزن شاخص‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. در معیار زیست‌محیطی لایه‌های فاصله از دریاچه و کاربری اراضی و در معیار

ارتفاع دارای وزن و اهمیت بیشتری بوده، در واقع این (جدول ۳)، در معیار اقتصادی لایه‌های سرعت باد و توجه به وزن‌های بدست آمده از مقایسه زوجی

موازنه ای-جایگشتی بین معیارهای گزینش نشان می‌دهد.

نکته قابل ذکر در این بین عدم قرارگیری ایستگاه اهر در طبقه کاملاً مناسب است. با وجود اینکه ایستگاه مزبور دارای سرعت باد بیشتری از ایستگاه تبریز بوده، و همچنین حدود ۸۸٪ از کل مساحت منطقه از لحاظ کاربری اراضی برای انجام پروژه مناسب است، اما به واسطه اینکه در سایر پارامترها، به خصوص پارامترهایی که از دیدگاه اقتصادی (شیب با میانگین ۱۸/۳۴٪، ارتفاع با میانگین ۱۸۹۶ متر و خطوط ریلی) و اجتماعی-فرهنگی (تراکم روستاها) اهمیت دارند، شرایط مناسبی نداشته و در طبقه نسبتاً مناسب قرار گرفته است. از دلایل دیگر می‌توان به وجود ناهمواری‌ها در شرق ایستگاه اهر اشاره کرد. ایستگاه‌های سراب، میانه، جلفا، بناب و مرند به علت داشتن سرعت باد کمتر از حد آستانه کاملاً در منطقه محدودیت قرار داشته و به هیچ عنوان برای احداث مزارع باد مناسب نیستند. ایستگاه کلیر دارای سرعت باد کمتر از آستانه بوده، اما با افزایش فاصله به سمت شمال شرق و افزایش میانگین سرعت باد و نیز بهبود مشخصات منطقه در لایه‌های شیب و ارتفاع، شرایط برای احداث مزارع باد بهتر گردیده و در هر دو مدل در طبقه نسبتاً مناسب قرار می‌گیرد. مرکز شهرستان مراغه به دلایل دارا بودن میانگین سرعت باد کمتر از حد آستانه، وجود فرودگاه مراغه و ارتفاع نسبتاً بالا در منطقه محدودیت قرار دارد. اما با افزایش فاصله از مرکز شهرستان و بهبود شرایط در قسمت‌های شرقی و جنوبی در طبقه نسبتاً مناسب قرار می‌گیرد.

اجتماعی-فرهنگی لایه‌های فاصله از شهرها و روستا حدود ۸۶٪ از کل وزن معیارها را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مناطق مناسب در نقشه حاصله از روش فازی در اطراف ایستگاه‌های سهند، جنوب غرب ایستگاه تبریز و بستان آباد و در روش AHP در اطراف ایستگاه سهند قرار دارند. مهم‌ترین علت مناسب بودن سه ایستگاه مزبور داشتن شرایط مناسب از بعد معیار اقتصادی و به خصوص لایه سرعت باد است.

قرار داشتن مناطق اطراف ارتفاعات سهند در طبقه مناسب در هر دو مدل نشان دهنده پتانسیل مناسب منطقه برای ایجاد و تشدید بادهای محلی و منطقه ای است. همچنین این مناطق دارای کاربری مرتعی بوده، و از مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی فاصله مناسبی دارند. این نتایج با یافته‌های عبدلی و همکاران (۱۳۸۸) هم خوانی دارد. مناطق جنوب غرب ایستگاه تبریز با اینکه دارای سرعت میانگین کمتر از ۴ متر در ثانیه است، اما به واسطه اینکه دارای فاصله مناسبی از خطوط ارتباطی بوده و اغلب معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی-فرهنگی را برآورده ساخته، در نقشه حاصله از روش فازی به عنوان منطقه مناسب تشخیص داده شده است. ایستگاه بستان آباد از نظر ارتفاعی، فاصله از گسل‌ها و خطوط ریلی دارای موقعیت مناسبی ناست، همچنین این ناحیه دارای تراکم زیاد روستا بوده، اما با توجه به داشتن میانگین سرعت باد بیشتر از حد آستانه، به عنوان منطقه مناسب تشخیص داده شده است. این موضوع قابلیت تکنیک‌های MCDM را در جبران یک معیار با در نظر گرفتن رابطه

جدول ۸: ضریب همبستگی روش fuzzy و AHP با مهم‌ترین لایه‌ها

ردیف	لایه	Fuzzy (%)	AHP (%)
۱	پتانسیل باد	۵۵/۳	۴۳/۱۳۳
۲	ارتفاع	-۱۲/۱۲۷	-۱۲/۳۷۷
۳	فاصله از شهر	۷/۷۳۳	۸/۰۴۴
۴	فاصله از روستا	۸/۴۴۲	۸/۴۳۸
۵	فاصله از دریاچه	۱۷/۳۳۷	۱۷/۵۶۷
۶	شیب	۲۳/۳۵۸	۲۱/۹۶۹
۷	فاصله از فرودگاه	۳/۵۱۸	۳/۷۰۲
۸	فاصله از رودخانه	۱۷/۹۵۹	۱۸/۳۴۶
۹	فاصله از گسل	۱۴/۷۳۳	۱۵/۲۹۱
۱۰	خطوط ریلی	-۰/۵۸۱	-۱/۳۶۸
۱۱	فاصله از جاده	۹/۵۷۹	۹/۷۲۶

جدول شماره ۷ نتایج مربوط به هر دو روش را نشان می‌دهد. از کل مساحت استان در دو مدل AHP و فازی به ترتیب در حدود ۱۱/۲۶ و ۱۳۷۵/۲ کیلومتر مربع در کلاس کاملاً مناسب قرار دارند. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد در تعیین طبقه مناسب روش فازی و در تعیین طبقه نامناسب روش AHP دارای بیشترین مساحت بوده و همچنین بیشترین اختلاف دو مدل در تعیین طبقه نسبتاً نامناسب بوده است.

جدول ۷: مساحت کلاس‌های تحت طبقه بندی در دو مدل

کلاس	مدل AHP		منطق فازی	
	مساحت Km ²	مساحت (%)	مساحت Km ²	مساحت (%)
کاملاً مناسب	۱۱/۲۶	۰/۰۲۴۸	۱۳۷۵/۲	۳/۰۲
نسبتاً مناسب	۸۲۵۸/۲۳	۱۸/۱۸۸۵	۱۱۷۳۸/۲۷	۲۵/۸۵
نسبتاً نامناسب	۷۸۶۸/۵	۱۷/۳۳	۳۰۳۹/۳	۶/۶۹
نامناسب	۳۶/۱۲	۰/۰۷۹۵۵	۲۱/۳۵	۰/۰۴۷
مناطق دارای محدودیت	۲۹۲۲۹/۴۲	۶۴/۳۷۶	۲۹۲۲۹/۴۲	۶۴/۳۷۶

- نتیجه گیری

فاکتورها و معیارهای گوناگونی برای مکان‌گزینی مزارع باد مورد استفاده قرار می‌گیرند. اغلب این معیارها دارای اهمیت و وزن برابر نبوده، توسط عبارات زبانی در مقیاس‌های گوناگون بیان گردیده، و همچنین دارای تناقض‌های فراوانی با یکدیگر هستند. در این پژوهش از قابلیت تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS برای ارزیابی تناسب اراضی جهت مکان‌گزینی مزارع باد استفاده شده است. نتیجه حاصل از دو مدل شناسایی مناطق مستعد و نامستعد با در نظر

برای مقایسه مدل‌ها و نتیجه‌گیری مناسب، ماتریس همبستگی لایه‌های مورد استفاده و روش‌های fuzzy و AHP در محیط GIS محاسبه گردید (جدول ۸).

همان‌طوری که مشاهده می‌گردد، نتایج دو روش در اکثر لایه‌ها مشابه بوده (همبستگی میان دو روش ۹۸/۹۵۲٪ بدست آمد)، و فقط اختلاف لایه‌های پتانسیل باد و شیب محسوس است. که در این لایه‌ها میزان ضریب همبستگی روش فازی به مراتب بیشتر از روش AHP است. علت این امر مدلسازی دقیق‌تر ابهامات موجود در داده و دانش فرد خبره (تعریف مرزهای کلاس‌ها) توسط منطق فازی است.

معیار اقتصادی و لایه‌های پتانسیل باد، ارتفاع، فاصله از دریاچه‌ها، کاربری اراضی، شهرها و روستاها هستند.

- پیشنهادها

با توجه به اهمیت لایه سرعت باد، برای اندازه‌گیری آن از تعداد ایستگاه‌های بیشتری استفاده، و همچنین علاوه بر لایه مذکور، لایه‌های جهت و ضریب تداوم باد منطقه تهیه و در محاسبات مورد استفاده قرار گیرد.

در مطالعات آینده، برای منطقه مورد پژوهش ماتریس مطلوبیت (ارزیابی میزان سازگاری در سطوح گوناگون بین کاربری و مکان) تهیه و به عنوان شناسنامه مناطق در امر مربوطه استفاده شود.

لازم است که برای جلوگیری از آسیب به محیط زیست و کاهش هزینه‌ها، به ترتیب لایه‌های مسیرهای مهاجرت پرندگان و خطوط انتقال نیرو تهیه، و مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله بر خود لازم میدانند که از زحمات آقای علی عزیزی دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست دانشگاه تهران تقدیر و تشکر به عمل آوردند.

منابع

اسماعیل‌نیا، علی اصغر؛ سادات سجادیان، فائزه، (۱۳۸۹)، ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه بادی با ملاحظات مکانیسم توسعه پاک (CDM)، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، س ۷، ش ۲۵، صص ۱۴۳-۱۷۲.

گرفتن معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی_فرهنگی بود. این مسئله باعث کاهش هزینه‌ها، تسریع و بهبود کیفیت برنامه‌ریزی می‌گردد. همچنین برنامه‌ریزان بخش انرژی کشور از این تجزیه و تحلیل‌ها می‌توانند برای برآورد میزان انرژی تولیدی، مساحت مورد نیاز برای انجام پروژه و اجتناب از مناطق نامناسب با تأثیرات منفی استفاده کنند.

از مزیت‌های روش AHP می‌توان به، استفاده مستقیم از نظرات کارشناسان، بررسی انواع پارامترها در یک ساختار سلسله مراتبی و سهولت وزن دهی به پارامترها در آن اشاره کرد. اما چنانچه گزینه‌های زیادی برای تصمیم‌گیری وجود داشته باشند، اندازه مسئله و مقایسه دو به دو به سرعت افزایش پیدا می‌کند. در این پژوهش برای اولین بار از توابع عضویت *large* و *small* برای تعریف توابع عضویت فازی در مسئله مورد تحقیق استفاده گردید. نتایج بدست آمده قابلیت روش فازی را برای تلفیق حجم زیاد داده به مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم‌گیری قابل کنترل نشان داد.

با توجه به نتایج بدست آمده که بیانگر همبستگی بیشتر منطق فازی با لایه‌های مورد استفاده است، می‌توان نتیجه گرفت که، در مسئله مورد تحقیق، منطق فازی نسبت به روش AHP دارای برتری نسبی بوده و نتایج خوش‌بینانه‌تری را بدست می‌دهد. همچنین بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر مهم‌ترین معیار و فاکتورهای موثر در مکانیابی نیروگاه‌های بادی بترتیب،

- امانی، ابوالفضل؛ حسینی شمعچی، عباس، (۱۳۸۹)، بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی، فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، س ۱۰، ش ۲۹، صص ۱-۲۶.
- بهشتی فر، سارا؛ مسگری، محمد سعدی؛ ولدان زوج، محمد جواد؛ کریمی، محمد، (۱۳۸۹)، استفاده از منطق فازی در محیط GIS به منظور مکان‌یابی نیروگاه‌های گازی، مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دوره ۴۴، ش ۴، صص ۵۸۳-۵۹۵.
- پروین، نادر، (۱۳۸۹)، بررسی انرژی‌های نو در ایران با تأکید بر ارزیابی پتانسیل انرژی باد در استان قم، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۱۳۶-۱۴۹.
- پرهیزگار، اکبر؛ گیلاننده، عطا غفاری، (۱۳۸۵)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، سمت، تهران.
- پیام سانا، (۱۳۸۶)، سازمان انرژی‌های نو ایران، س ۱، ش ۱، صص ۵-۷.
- پیام سانا، (۱۳۸۷)، سازمان انرژی‌های نو ایران، س ۲، ش ۸، صص ۷-۱۰.
- تقی لو، علی، (۱۳۸۸)، ارزیابی پتانسیل‌های نیروی بادی برای احداث توربین‌هایی بادی، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS.
- دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، استاد راهنما: فرج زاده، منوچهر.
- زیاری، کرامت الله، (۱۳۸۷)، برنامه ریزی شهرهای جدید، سمت، تهران.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، آمارنامه استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۵.
- سرور، رحیم؛ موسوی، میر نجف، (۱۳۹۰)، ارزیابی توسعه پایدار شهرهای استان آذربایجان غربی، جغرافیا، س ۹، ش ۲۸، صص ۷-۲۸.
- شعربافیان، نیلوفر، (۱۳۸۷)، برآورد پتانسیل برق بادی و اثر بهره‌گیری از آن در صرفه‌جویی سوخت فسیلی در ایران، مطالعات اقتصاد انرژی، س ۵، ش ۱۷، صص ۱۱۳-۱۴۰.
- عبدلی، حبیب؛ ساری صراف، بهروز؛ حسینی شمعچی، عباس، (۱۳۸۸)، امکان‌سنجی پتانسیل انرژی باد و کاربرد آن در طرح‌های توسعه صنعتی (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، س ۹، ش ۲۸، صص ۵۷-۷۴.
- عزتیان، ویکتوریا؛ بهیار، محمد باقر، (۱۳۸۱)، طراحی حامل‌های انرژی در پهنه‌های اقلیمی ایران، دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، صص ۱-۱۲.
- عزتیان، ویکتوریا؛ بهیار، محمد باقر، (۱۳۸۲)، برآورد انرژی بالقوه باد در پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران جهت طراحی و بکارگیری منابع انرژی پاک،

مهدی زاده، مهیار؛ مهدیان، محمدحسین؛ حجام، سهراب، (۱۳۸۵). کارایی روش‌های زمین آماری در پهنه بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، ش ۱، صص ۱۰۳-۱۱۶.

ABC. (2011). October 29. Birds and Wind Farms, Retrieved from www.howstuffworks.com.

Aras, H., S. Erdogmus, and E. Koc. (2004). Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process, Renewable Energy. Vol 29:1383-1392.

Aydin, N.Y., E. Kentel, and S. Duzgun. (2010). GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol 14: 364-373.

Baban, S.M.J., T. Parry. (2000). Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK, Renewable Energy. Vol 24: 59-71.

Badran, O., E. Abdulhadi, and Y. El-Tous. (2011). Fuzzy Logic Controller for Predicting Wind Turbine Power Generation, International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME). Vol 6(1): 51-66.

Bennui, A., P. Rattanamanee., U Puetpaiboon., P. Phukpattaranont, and K. Chetpattananondh. (2007). Site Selection for large wind turbine using GIS, PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment, ICEE. pp 561-566.

Braimoh, A k., P.L.G. VLEK. (2004). Land evaluation for Maize Based on Fuzzy Set and Interpolation, Environmental Management. Vol.33 (2): 226-238.

چهارمین همایش ملی انرژی، تهران، صص ۱۲۹۱-۱۳۰۴.

علیزاده، امین، (۱۳۸۴)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ هیجدهم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

علیزاده، کتابون، (۱۳۸۲)، اثرات حضور گردشگران بر منابع زیست محیطی، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۴۴، صص ۵۵-۷۰.

غفاری، رامین؛ شفقی، سیروس؛ صالحی، نگین، (۱۳۸۹)، ارزیابی سازگاری کاربری اراضی شهری با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، مطالعات و پژوهش‌هایی شهری و منطقه‌ای، س ۱، ش ۴، صص ۵۹-۷۶.

قربانی، رضا، (۱۳۸۸)، اکولوژی عمومی، جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

کوره‌پزان دزفولی، امین، (۱۳۸۷)، اصول تئوری مجموعه‌های فازی: و کاربرد آن در مدلسازی مسایل مهندسی آب، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر، تهران.

کیانی فر، علی، (۱۳۷۸)، مکانیابی و بررسی اقتصادی نیروگاه‌های بادی جهت تأمین الکتریسیته مورد نیاز کشاورزی دشت دیزباد خراسان، دومین همایش ملی انرژی، تهران، صص ۱۱۸-۱۲۷.

گندمکار، امیر، (۱۳۸۸)، ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ش ۳۶، صص ۸۵-۱۰۰.

- strategic selection of wind farms, *Renewable Energy*. Vol 19: 120-126.
- Men, S. S. (2011). Location Theory Based Wind Energy System Planning. Master's Thesis. University Tun Hussein Onn Malaysia.
- Moiloa, B.H.E. (2009). Geographical Information Systems for Strategic Wind Site Selection, Faculty of Earth and Life Sciences. Master's Thesis. Vrije Universities Amsterdam.
- Rodman, L.C., R.K. Meentemeyer. (2006). A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California, *Energy Policy*. Vol 34: 2137–2149.
- Saaty, T.L. (1980). The analytic hierarchy process, McGraw-Hill. New York.
- Sliz Szkliniarza, B., J. Vogta. (2011). GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 15: 1696–1707.
- Talinli, I., E. Topuz., E. Aydin., and S.B. Kabakci. (2011). A Holistic Approach for Wind Farm Site Selection by Using FAHP, Wind Farm-Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment. pp 213-234.
- Tsoukalas, L.H., R.E. Uhrig. (1997). Fuzzy and neural approaches in engineering: New York, John Wiley and Sons, Inc.
- Wikipedia, (2011), October 25. Fossil fuel, retrieved from en.wikipedia.org.
- WWEA, (2011), October 29. World Wind Energy Report 2009, Retrieved from www.wwindea.org.
- Yang K., T. Koike, and B. Ye. (2006). Improving estimation of hourly, daily, and monthly solar radiation by importing global data sets, *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol 137: 43–55.
- Yuanchang, D., W. Tieqiang, and N. Hongtao. (2008). Methodology and System Development of Wind Farm Siting Based on GIS. Research Center of Wind
- Carrio Na J, A., A.E. Estrella., F.A. Dolsa., and M.Z. Torob. (2008). Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 12: 2358–2380.
- Cathcart, S. (2011). A Group-Based Spatial Decision Support System for Wind Farm Site Selection in Northwest Ohio. Master's Thesis. Bowling Green State University.
- Economist, (2011), November 5. Wind farms and renewable energy, Retrieved from www.economist.com
- Farfan, M. A., J. M. Vargas., J. Duarte, and R. Real. (2009). What is the impact of wind farms on birds? A case study in southern Spain. *Biodiversity and Conservation*. Vol 18: 3743–3758.
- Griffiths, J.C., W.T. Dushenko. (2011). Effectiveness of GIS Suitability Mapping in Predicting Ecological Impacts of Proposed Wind Farm Development on Aristazabal Island, BC. *Environ. Dev. Sustain*. Vol 13: 957–991.
- Hansen, H. S. (2005). GIS-Based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development. *ScanGIS*: 75-87.
- Hartkamp A. D., K. De Beurs., A. Stein, and J.W. White. (1999). Interpolation Techniques for Climate Variables NRG-GIS Series 99-01. Mexico, DF: CIMMYT.
- Hutchinson, M.F. (1995). Interpolation mean rainfall using thin plate smoothing splines, *Int. J. Geographical Information Systems*. Vol 9(4): 385-403.
- Kemp, L., G.F. Bonham Carter., G.L.Aines, and C.G. Looney. (2001). ArcSDM and DataXplore—spatial data modeler for Arcview and Spatial Analyst: <http://ntserv.gis.nrcan.gc.ca/sdm/>.
- Lee, A.H.I., H. Hung Chen, and H. Kang. (2009). Multi-criteria decision making on

Based on AHP Method, International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring. 242-245.

Resource, School of Engineering, Sun Yat-sen University.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets, Information and Control. Vol 8: 338–353.

Zhao, Z., W. Huang. (2011). Multi-objective Decision-making on Wind Power Projects

