

مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی با استفاده از مدل ANP-OWA (مطالعه موردی: استان زنجان)

فخرالدین حاجیلو^۱، محمدرضا جلوخانی نیارکی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
f_hajiloo@ut.ac.ir

^۲ استادیار گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
mrjelokhani@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۴، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۵)

چکیده

استفاده از نیروگاه‌های بادی به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های تولید انرژی برق با استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر قلمداد می‌شود. اثرات مخرب زیست محیطی کم نسبت به سایر روش‌ها و قابلیت بهره برداری در سطح گسترده از جمله مزایای استفاده از انرژی باد در تولید برق است. در همین راستا مطالعه پتانسیل‌های مربوطه و یافتن مکان‌های مناسب به منظور استقرار تجهیزات بهره برداری از انرژی باد امری ضروری است. تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ و روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره^۲ ابزار توانمندی را برای مکان‌یابی فراهم می‌نماید. این مدل‌ها به ما کمک می‌کنند تا بر اساس معیارهای مختلف مکان‌های بهینه را برگزینیم. در این مطالعه سعی شده تا با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل شبکه‌ای^۳ و روش میانگین وزنی مرتب‌شده^۴ مکان‌های مناسب برای نیروگاه‌های بادی بر مبنای معیارهای موثر فنی، زیست محیطی و اقتصادی- اجتماعی در امر مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی اولویت‌بندی شوند. در روش تحلیل شبکه‌ای با برقراری ارتباطات درونی و بیرونی بین معیارها و زیر معیارها و وزن‌دهی با توجه به اهمیت هر کدام، وزن‌های نهایی هر یک از معیارها مشخص می‌شود و همچنین یک عملگر OWA اولویت‌ها و ارزیابی ذهنی تصمیم‌گیر را در نظر گرفته و با توجه به میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر اولویت‌بندی گزینه‌ها را انجام می‌دهد. در واقع اهمیت این مدل، تصمیم‌گیری بر اساس میزان خوشبینی و بدبینی فرد تصمیم‌گیر است. در اینجا با مد نظر قرار دادن معیارهای موثر در فرایند مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی و استفاده از روش تصمیم‌گیری ANP-OWA گزینه‌های مختلف به منظور ایجاد نیروگاه‌های بادی در استان زنجان با توجه به درجات مختلف ریسک‌پذیری اولویت‌بندی گردیده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد به کارگیری مدل ANP نتایج تصمیم‌گیری را دقیق‌تر می‌کند و با استفاده از OWA می‌توان میزان ریسک را کنترل کرد و نتایج کار با توجه به میزان اعتماد به آن متفاوت خواهد بود.

واژگان کلیدی: نیروگاه بادی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA)، تحلیل شبکه‌ای (ANP)، میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA)

* نویسنده رابط

^۱ Geography information system (GIS)
^۲ Multiple-criteria decision analysis (MCDA)
^۳ Analytical network process (ANP)
^۴ Ordered weighted averaging (OWA)

۱- مقدمه

امروزه انرژی‌های نو به رغم ناشناخته ماندن، به سرعت در حال گسترش و نفوذ است و غفلت از آن، غیرقابل جبران خواهد بود. انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زیست توده، زیست‌گاز و انرژی‌های زمین گرمایی از عمده‌ترین منابع انرژی‌های پاک به شمار می‌آید [۶]. انرژی باد از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر است که به علت گستردگی، قدرت بازدهی بالا، اقتصادی بودن و اینکه در مقایسه با دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر در ابعاد وسیع‌تری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، عملاً از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است [۹].

بر اساس اهداف بلندمدت تعیین‌شده در سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه صنعت باد ایران، لازم است سهم نیروگاه‌های بادی حداقل به ۲۴٫۵ گیگاوات تا سال ۱۴۰۴ افزایش یابد. همچنین، بر اساس اهداف کوتاه مدت همین سند باید حداقل ۲۰۰۰ مگاوات توربین باد تولید، بومی شده و نصب گردد. گام اول و اساسی در توسعه انرژی‌های نوین، مطالعه‌ی دقیق پتانسیل‌های مربوطه است. در مرحله دوم یافتن مکان بهینه برای استقرار تجهیزات و تأسیسات بهره‌برداری از پتانسیل‌های موجود و بالقوه ضرورتی اجتناب ناپذیر است. وجود عامل‌های متعدد در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی، لزوم به‌کارگیری سیستمی که علاوه بر دقت بالا از نظر سرعت عمل و سهولت انجام عملیات در حد بالایی قرار داشته باشد را ضروری می‌سازد. امروزه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) به طور گسترده قابلیت به کارگیری در برنامه‌ریزی‌های مکانی و مباحث مربوط به مکان‌یابی را دارا می‌باشند [۱۴]. امروزه استفاده از GIS در تصمیم‌گیری‌های مکانی کاملاً فراگیر شده است. از سویی دیگر به کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور ارزیابی مناسب از عوامل موثر در تصمیم‌گیری‌های مکانی، در اتخاذ تصمیم مناسب بسیار سودمند خواهد بود.

هدف اصلی در این پژوهش گزینش مکان‌های مناسب برای نیروگاه‌های بادی تولید برق با بکارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (ANP-OWA) در استان زنجان است. این استان با شرایط آب هوایی مناسب می‌تواند مکان مناسبی برای تولید برق از انرژی باد باشد. در تحقیق حاضر ابتدا میزان اهمیت معیارهای موثر با استفاده از مدل ANP مورد سنجش قرار می‌گیرد این مدل حالت پیچیده

شده‌ی روش سلسله مراتبی است و به تبع نتایج آن نیز دقیق‌تر خواهد بود. سپس با اجرای مدل ANP-OWA گزینه‌های مکانی مورد نظر در درجات مختلف ریسک‌پذیری اولویت‌بندی می‌شوند.

۱-۱- پیشینه تحقیق

ادل بننویی^۱ و همکاران (۲۰۰۷) به منظور مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در کشور تایلند با ترکیب GIS و مدل تصمیم‌گیری چند معیاره (AHP) با در نظر دادن معیارهای ارتفاع، پتانسیل باد، ناهمواری‌های سطح زمین، فاصله از روستا، نقاط زیستی، فرودگاه، مناظر طبیعی، بزرگراه‌ها، مناطق راهبردی، رودخانه‌ها و کانال‌ها، مناطق مستعد برای نصب توربین‌های بادی بزرگ را شناسایی کردند.

اسلیز اسکلینیارز^۲ و همکاران (۲۰۱۰) در لهستان اقدام به ارزیابی پراکنش پتانسیل باد با استفاده از GIS و با در نظر گرفتن سه معیار اقتصادی، اکولوژیکی و فنی نمودند. آن‌ها با در نظر گرفتن عواملی چون ارتفاع، مناطق شهری، پهنه‌های آبی، مناطق جنگلی، مناطق حفاظت‌شده، شیب، راه‌های ارتباطی، شبکه انتقال نیرو، پهنه‌های مناسب برای سرمایه‌گذاری در زمینه احداث نیروگاه‌های بادی را مشخص نمودند.

از موارد دیگر می‌توان به تحقیق صورت گرفته توسط جعفر مرشدی و همکاران (۱۳۸۹) که در استان خوزستان انجام شده است اشاره نمود. در این تحقیق از مدل AHP و GIS استفاده شده است و مکان‌های مناسب جهت احداث توربین‌های بادی انتخاب گردیده است.

عبدی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود به امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی در مراوه استان گلستان از لحاظ فنی و اقتصادی پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان می‌دهد که در صورتی که روند مطالعات امکان‌سنجی قبل از احداث نیروگاه‌های بادی از طریق میکروسایتینگ به صورت صحیح انجام پذیرد، بیشتر مشکلات کنونی در رابطه با مرحله احداث نیروگاه بادی مرتفع می‌گردد.

علی عزیزی و همکاران (۱۳۹۳) برای مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در استان اردبیل از تلفیق دو مدل ANP و DEMETEL استفاده کرده و نتایج حاصل از این دو روش را با یکدیگر مقایسه کردند.

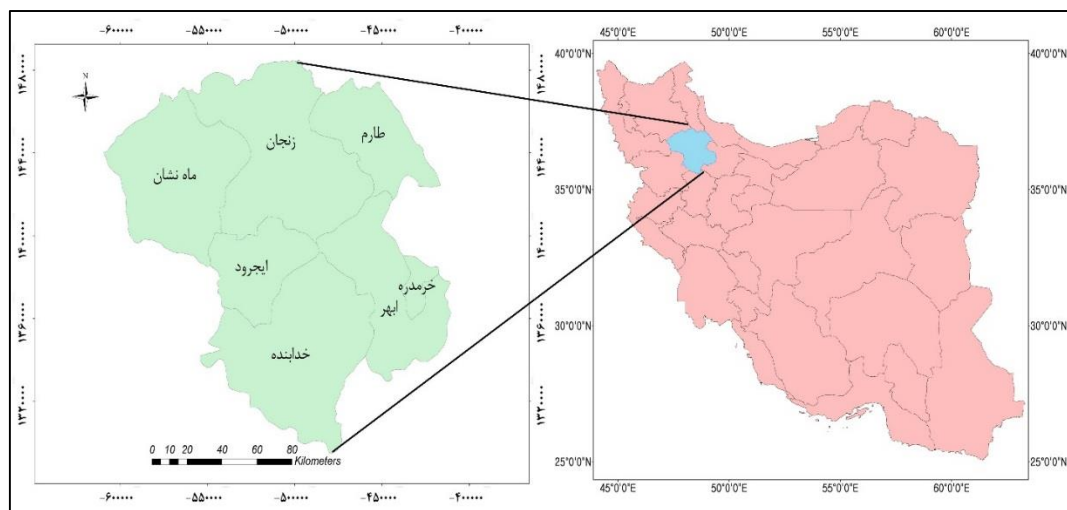
^۱ Adul Bennui
^۲ Sliz Szkliniarza

درصد کل کشور را شامل می‌شود. جمعیت استان بر اساس آخرین آمار ۱,۰۱۵,۷۳۴ نفر است. این استان با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۲۰ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی قرار گرفته است. آب و هوای این استان به‌طور کلی سردسیری است. با توجه به ویژگی‌های آب و هوایی مناسب استان گمان می‌رود مطالعه در مورد استفاده از انرژی باد در این استان سودمند باشد.

در پژوهش‌های پیشین ریسک پذیری در نتایج تصمیم‌گیری در نظر گرفته نشده است. در این مطالعه با در نظر گرفتن میزان ریسک پذیری در نتایج تصمیم‌گیری مکان‌های مناسب به منظور ایجاد نیروگاه‌های بادی اولویت‌بندی می‌گردند.

۱-۲- محدوده و قلمرو تحقیق

استان زنجان در شمال غرب فلات ایران قرار گرفته است. وسعت استان برابر ۲۲۱۶۴ کیلومترمربع و ۱,۴۳



شکل ۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

عوامل مؤثر بر اولویت‌بندی مکانی عینی و قابل محاسبه و برخی ذهنی و جنبه‌ی سلیقه‌ای و شخصی دارند[۴]. یکی از روش‌های متداول اولویت‌بندی گزینه‌ها که در سال‌های اخیر بسط و توسعه زیادی یافته، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. در تصمیم‌گیری چند معیاره، گزینه‌های موردنظر با توجه شاخص‌های مختلف که گاه ممکن است در تعارض با یکدیگر باشند، اولویت‌بندی می‌شوند. این مسائل بسیاری از پدیده‌های جهان واقعی را در برمی‌گیرد، لذا تا کنون تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه به ویژه اولویت‌بندی پدیده‌های جغرافیایی صورت گرفته است. هر تصمیم‌گیری، تابع پاره‌ای از قواعد است تا بر اساس آن، تصمیم گیر به بهترین انتخاب دست یابد. بدین ترتیب شناخت انواع تصمیم‌گیری‌های چند شاخصه، روش‌های انتخاب تکنیک‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری، چگونگی انتخاب شاخص‌ها و مقیاس‌های اندازه‌گیری، از گام‌های اولیه کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در اولویت‌بندی پدیده‌های جغرافیایی محسوب می‌شود[۲].

۲- چارچوب نظری تحقیق

تصمیم‌گیری را طبقه عمل یا حرکت در مسیر خاصی می‌توان تعریف کرد که با تأمل و به صورت آگاهانه برای نیل به یک هدف مطلوب، از بین روش‌های مختلف انتخاب شده است؛ بنابراین تصمیم‌گیری مستلزم انتخاب راهی از میان راه‌هاست. اگر تنها یک راه‌کار وجود داشته باشد، دیگر تصمیم‌گیری معنا ندارد. برای تصمیم‌گیری قبل هر چیز به داده نیاز است. البته در تصمیم‌گیری نه تنها کیفیت داده‌ها و اطلاعات، بلکه مقدار اطلاعاتی که گردآوری و تحلیل می‌شود نیز حائز اهمیت است[۱۱].

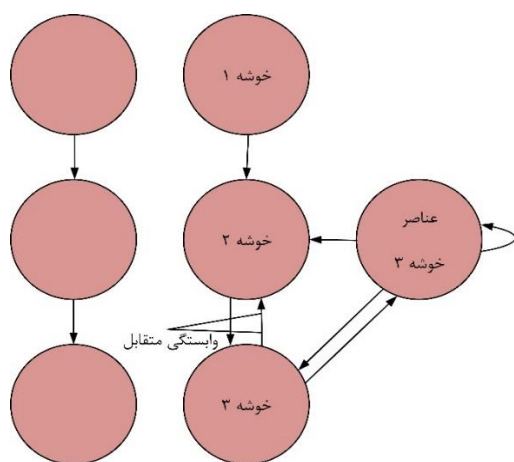
عوامل مؤثر در انتخاب و اولویت‌بندی مکانی بسیار مهم، در همان حال متنوع و متعددند. برخی از این عوامل ثابت و ایستا و برخی پویا و متغیرند، بدین معنا که با گذشت زمان، تغییراتی در آن‌ها ایجاد می‌شود که اهمیت کمتر یا بیشتری پیدا می‌کنند. در عین حال پاره‌ای از

۲-۱- فرایند تحلیل شبکه (ANP)

به دلیل عدم توانایی رویکرد AHP در لحاظ کردن وابستگی‌های بین شاخص‌ها و گزینه‌ها، ساعتی در سال ۱۹۹۶ رویکرد (ANP) را معرفی کرد. مزیت این رویکرد در مقایسه با AHP این است که عناصر مؤثر در تصمیم‌گیری را در نظر می‌گیرد. فرایند AHP اجزای یک سیستم را به صورت سلسله مراتبی سازماندهی می‌کند، به طوری که هر عنصر سلسله مراتبی می‌تواند به عنصر سطح بالای خود وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد؛ به عبارت دیگر در یک سلسله مراتب وابستگی‌ها باید به صورت خطی (از بالا به پایین یا بر عکس) باشد [۱۵]. مدل ANP برای غلبه بر مشکلات ناشی از وابستگی و بازخورد میان معیارها و رهاسازی از محدودیت ساختار سلسله مراتبی طراحی گردید [۱۸ و ۲۳]. بنابراین مهم‌ترین وجه تمایز میان این روش با روش سلسله مراتبی در نحوه تأثیرپذیری و تأثیرگذاری معیارها بر روی یکدیگر است [۳]. روش ANP قادر است همبستگی‌ها و بازخورهای موجود بین عناصر مؤثر در تصمیم‌گیری را مدل‌سازی کرده و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را محاسبه کند. در حقیقت روش ANP می‌تواند به عنوان ابزاری سودمند در مسائلی که تعامل بین عناصر سیستم، تشکیل ساختار شبکه‌ای می‌دهد به کار گرفته شود [۱۲].

مدل تحلیل شبکه‌ای نمایش‌دهنده تصمیم‌سازی بر اساس شبکه‌ای از معیارها و گزینه‌ها به صورت گروه‌بندی در خوشه‌ها است. تمام عناصر در شبکه می‌توانند به هر طریق ممکن با یکدیگر ارتباط داشته باشند که در اینگونه مدل‌سازی دقیق شرایط پیچیده‌ای بوجود می‌آید. بازخورد و وابستگی بین هر دوی عناصر خوشه‌ها و بین خود خوشه‌ها امکان‌پذیر است. ارتباط در شبکه به وسیله ی کمان‌ها انجام می‌شود به این طریق که جهت کمانه نشان‌دهنده‌ی مسیر وابستگی می‌باشد. روابط بیرونی بین خوشه‌ها توسط فلش دو طرفه مشخص می‌شود درحالی‌که روابط درونی بین عناصر یک خوشه توسط کمان بسته نمایش داده می‌شود. یک سلسله مراتب مورد ویژه از شبکه با وابسته یک طرفه می‌باشد [۲۳ و ۲۴]. مدل ANP از دو بخش که بخش اول آن شامل کنترل سلسله مراتبی یا شبکه‌ای از معیارها و زیر معیارها و بخش دوم شامل

شبکه‌ای از تأثیرات متقابل بین عناصر و خوشه‌ها است تشکیل می‌شود [۱۸]. شکل (۲) تفاوت ساختار شبکه‌ای و سلسله مراتب را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تفاوت ساختاری بین یک سلسله مراتب و شبکه [۱۷]

فرایند تحلیل شبکه ای شامل چهار مرحله است:
الف- ایجاد مدل و تبدیل مسئله به یک ساختار شبکه‌ای:
گام اول اجرای این مدل ایجاد ساختار مسئله به صورت شبکه‌ای می‌باشد. مشخص کردن معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها و همچنین ارتباط درونی بین معیارهای یک خوشه و ارتباط بیرونی بین خوشه‌ها در این مرحله انجام می‌گیرد. موضوع بایستی به‌وضوح بیان گردیده و در درون سیستمی منطقی نظیر شبکه، تجزیه و تحلیل شود [۳].

ب- مقایسات زوجی:

اساس روش ANP همانند روش AHP در انجام مقایسات زوجی است. این مقایسات زوجی بر اساس روابط مشخص‌شده در نمودار شبکه‌ای انجام می‌شود. طیف مقایسات زوجی طیف ۹ تایی ساعتی است [۱۵]. در این مرحله همانند مدل سلسله مراتبی مقایسه‌ی دودویی بین معیارها و زیر معیارها انجام می‌گیرد به این صورت که ارجحیت بین معیارها یا زیر معیارها سنجیده می‌شود و در بازه ۱ تا ۹ امتیازدهی می‌شود که عدد ۹ نشان دهنده‌ی بیشترین ارجحیت یک معیار نسبت به معیار مقابل آن است. به این طریق تمام معیارها یا زیر معیارها مقابل هم قرار گرفته و دو به دو مقایسه می‌شوند سپس میزان سازگاری مقایسه‌ها توسط ضریب ناسازگاری مورد سنجش قرار می‌گیرد. اگر ضریب سازگاری کمتر از ۰,۱ باشد مقایسه مورد قبول خواهد بود. این فرایند توسط نرم‌افزار Super Decision از طریق

رابطه‌ی زیر موسوم به رابطه‌ی بردار ویژه (رابطه ۱) صورت می‌گیرد [۵]:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (1)$$

A = ماتریس مقایسه‌ی دودویی

W = بردار ویژه

$\lambda_{\max}$ = بیشترین مقدار عددی ویژه

ج- تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد:

یک سوپر ماتریس در حقیقت یک ماتریس جزءبندی شده است که در آن هر بخش از ماتریس رابطه‌ی بین دو سطح تصمیم‌گیری را در کل مسئله‌ی تصمیم‌گیری نشان می‌دهد [۱۵]. برای دستیابی به اولویت‌های کلی در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردار اولویت‌های داخلی (w) های محاسبه‌شده) در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند در نتیجه یک سوپر ماتریس (در واقع یک ماتریس تقسیم‌بندی شده) که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد بدست می‌آید [۵]. تفاوت سوپر ماتریس در سلسله‌مراتب و شبکه در رابطه (۲) به خوبی مشخص گردیده است.

$$W_h = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix} \quad (2)$$

سور ماتریس سلسله مراتبی

$$W_n = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & W_{22} & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix}$$

سوپر ماترس تحلیل شبکه‌ای

در سوپر ماتریس سلسله مراتبی، W_{21} برداری است که اثرات هدف بر روی معیارها و W_{32} اثرات معیارها بر روی گزینه‌ها را نشان می‌دهد و I ماتریس واحد است. اگر معیارها دارای تأثیرات متقابل باشند فرایند سلسله مراتبی به فرایند شبکه‌ای تبدیل می‌شود. تأثیرات متقابل معیارها بر یکدیگر از طریق وارد کردن ماتریس W_{22} در سوپر ماتریس W_h به شرح فوق انجام می‌گیرد (W_n) [۵].

- سوپر ماتریس وزن دهی نشده: با اجتماع بردارهای ویژه یا ماتریس وزن به‌دست‌آمده از مقایسات زوجی بین خوشه‌ها، عناصر سوپر ماتریس ناموزون (اولیه) بدست می‌آید. سوپر ماتریس ناموزون باید به سوپر ماتریس

موزون، یعنی ماتریسی که جمع اجزای ستونی آن یک است (ماتریس تصادفی) تبدیل شود.

- سوپر ماتریس وزن دار: بعد از اینکه سوپر ماتریس ناموزون بدست آمد، حاصل جمع عناصر برخی از ستون‌ها برابر با ۱ نیست. در این حالت نمی‌توان گفت تأثیر نهایی ملاک کنترلی مورد نظر بر تمامی عناصر به درستی نشان داده شده‌اند. برای بدست آوردن سوپر ماتریس موزون باید وزن هریک از عناصر خوشه‌های ستونی سوپر ماتریس ناموزون را در بردار اهمیت نسبی آن خوشه ضرب کرد. به این ترتیب سوپر ماتریس موزون به دست می‌آید که جمع عناصر ستونی آن برابر با یک است [۱۵]

- سوپر ماتریس حد: پس از محاسبه ابرماتریس وزن دار نوبت به تشکیل ابرماتریس محدود می‌رسد، برای این منظور ابرماتریس وزن دار به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شوند. به عبارتی دیگر مقادیر سطری ماتریس باهم برابر می‌شوند. ماتریسی که در نتیجه به توان رسیدن و ماتریس وزنی به دست می‌آید، ماتریسی حدی است که مقادیر هر سطر آن باهم برابر می‌باشند. اگر ابرماتریس اثر زنجیرواری داشته باشد (بدین مفهوم که فرضاً شاخص‌های معیار "الف" بر روی شاخص‌های معیار "ب" تأثیر داشته و شاخص‌های معیار "ب" بر شاخص‌های معیار "ج" تأثیر بگذارد...) در این صورت لازم است که این تأثیر گذاریها نیز محاسبه گردند [۳]. در این حالت رابطه (۳) در نظر گرفته می‌شود:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (3)$$

در این رابطه W سوپر ماتریس موزون و K عدد اختیاری بزرگ است [۱۵].

۲-۲- فرایند میانگین وزنی مرتب شده (OWA)

در بسیاری از موارد به دلیل عدم پیش‌بینی دقیق اتفاقات آینده، عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و قطعی و عدم ارزیابی دقیق برخی از معیارها به ویژه معیارهای کیفی تصمیم‌گیری در فضای ریسک صورت می‌گیرد. در این محیط جواب نهایی متأثر از میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده است. روش میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA) به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری که قابلیت در نظر گرفتن اولویت‌ها و ارزیابی

$$V_j = \left(\frac{\sum_{i=1}^j u1}{\sum_{i=1}^n u1} \right)^\alpha - \left(\frac{\sum_{i=1}^{j-1} u1}{\sum_{i=1}^n u1} \right)^\alpha \quad (5)$$

که در آن u_i وزن معیار Z_{ij} بر اساس مقدار مشخص شده‌ی معیار Z_{ij} می‌باشد. وزن معیار w_j به معیار Z_{ij} در همه‌ی موقعیت‌ها برای نشان دادن اهمیت نسبی معیار طبق ارنس خروجی (درجه ریسک‌پذیری) تصمیم‌گیرنده ارجاع داده می‌شود. این وزن بازتاب دهنده مقادیر و علائق یک تصمیم است [۱۹].

درجه‌ی orness یا ریسک‌پذیری موقعیت عملگر OWA را در بین روابط and (مینیمم) و or (ماکزیمم) نشان می‌دهد. این درجه بیانگر میزان تاکید تصمیم‌گیر بر روی مقادیر بهتر و یا بدتر یک مجموعه از شاخص‌ها و یا همان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر است. درجه‌ی orness به صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود [۱۳]:

$$ORness = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i) \cdot W1, 0 \leq ORness \leq 1 \quad (6)$$

هر چقدر مقدار orness بیشتر باشد. میزان ریسک‌پذیری یا خوش‌بینی تصمیم‌گیر بیشتر خواهد بود و هر چقدر مقدار orness کمتر باشد، میزان بدبینی و یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر بیشتر خواهد بود. به‌طور کلی یک عملگر OWA با $orness(w) > 0.5$ معرف یک تصمیم ریسک‌پذیر و خوش‌بین و $orness(w) = 0.5$ معرف یک تصمیم‌گیر خنثی و $orness(w) < 0.5$ معرف یک تصمیم‌گیر ریسک‌گریز و بدبین خواهد بود. به بیان دیگر برای یک فرد ریسک‌پذیر $orness(w) > 0.5$ و برای یک فرد ریسک‌گریز $orness(w) < 0.5$ و برای یک فرد خنثی $orness(w) = 0.5$ می‌باشد.

لازم به ذکر است که هر چه رفتار عملگر OWA به عملگر "OR" یا عملگر "MAX" نزدیکتر باشد، مقدار orness به یک نزدیکتر است. در حالیکه هر چه رفتار این عملگر به عملگر "AND" یا عملگر "MIN" نزدیک‌تر باشد مقدار orness به صفر نزدیکتر است. بنابراین با ملاحظه بردارهای $W^* = (0,0,0,...,0,1)^T$ به عنوان بردار وزن عملگر AND و $W^* = (1,0,0,...,0,0)$ به عنوان بردار وزن عملگر OR و $W_A = (\frac{1}{n}; \frac{1}{n}; ...; \frac{1}{n})$ به عنوان بردار وزن عملگر میانگین‌گیری ساده وزنی و رابطه زیر داریم [۱۳].

$$Orness(W^*)=0, orness(W^*)=1, orness(W_A)=0.5$$

ذهنی تصمیم‌گیرنده را داراست معرفی می‌شود. فرایند اتخاذ تصمیم نهایی در این روش بر اساس ریسک‌گریزی و ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده می‌باشد. در یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری، افراد ریسک‌پذیر بر خواص خوب و افراد ریسک‌گریز بر خواص بد یک گزینه تاکید می‌کنند و آن را ملاک انتخاب خود قرار می‌دهند. روش OWA قادر است میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی افراد را محاسبه و آن را در انتخاب گزینه‌ی نهایی در نظر بگیرد [۱۵].

مفهوم عملگر OWA برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ توسط یاگر برای توصیف یک رده از روش‌های MCDA ارائه شد [۲۷]. برای مجموعه معلوم از n معیار یک عملگر OWA می‌تواند با یک تابع که به مجموعه‌ای از وزن‌ها وابسته است، $V = [V_1, V_2, ..., V_n]; V_j \in [0,1]$ برای $j = 1, 2, ..., n$ و $\sum_{j=1}^n V_j = 1$ مشخص شود. مجموع مقادیر معلوم استاندارد شده معیارها $A_i = [a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{in}]$ برای $i = 1, 2, ..., m$ جایی که $a_{ij} \in [0,1]$ مقادیر Z_{ij} معیارها با i گزینه‌ها وابستگی دارد، عملگر OWA از رابطه‌ی (۴) پیروی می‌کند [۱۹]:

$$OWA_i(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, ..., a_{in}) = \sum_{j=1}^n V_j Z_{ij} \quad (4)$$

در اینجا $Z_{i1} \geq Z_{i2} \geq ... \geq Z_{in}$ از مرتب‌سازی متوالی مقادیر معیارهای $a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{in}$ به دست می‌آید. همبستگی یک وزن V_j با یک مجموعه مقادیر مخصوص معیارها $a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{in}$ برای i امین گزینه وارد می‌شود. در شروع وزن‌ها V_1 به بزرگ‌ترین مقدار معیارها برای i امین گزینه‌ها ارجاع داده می‌شود، V_2 به دومین مقدار بزرگ معیارها برای همان گزینه ارجاع داده می‌شود و همین‌طور V_n به کمترین مقدار معیارها بر می‌گردد. آن باید با یک مقدار مخصوص از a_{ij} نوشته شود و نه اینکه با وزن مخصوص V_j مرتبط شود اما وزن‌ها به جایگاه دسته‌بندی شده a_{ij} ها مرتبط می‌شوند.

عملگر تجمیعی OWA بر مجموعه وزن‌ها تمرکز دارد. به خاطر اینکه که اکثر تصمیم‌سازی‌های بر مبنای GIS به مجموعه‌ای از وزن‌ها برای مرتبط‌سازی با معیارها نیاز دارد اما این مسئله نادیده گرفته می‌شود، یاگر (۱۹۹۷) یک رویکرد (رابطه ۵) با عنوان اصلاح وزن معیار جهت ایجاد وزن نسبی برای گنجاندن وزن معیار به عملگر OWA به شرح زیر پیشنهاد داد [۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۶]:

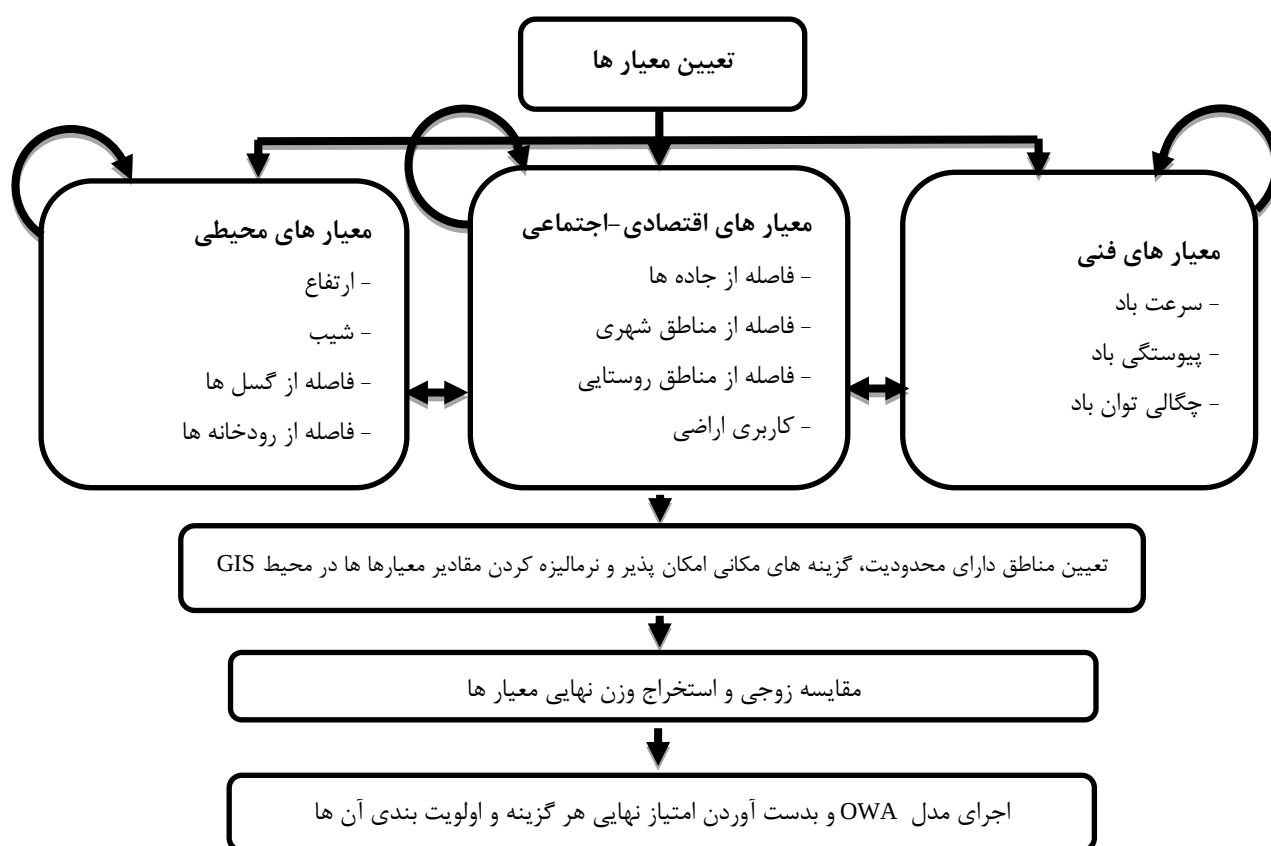
۳-۲- تلفیق ANP-OWA

مدل تحلیل شبکه‌ای مدل عمومی برای تحلیل کامل فرایند تصمیم‌گیری، ایجاد یک شبکه و سپس ارزیابی هریک از گزینه‌ها با این شبکه است. از سوی دیگر عملگر OWA یک چارچوب گسترده برای ساختن نوع اجتماع محلی در ANP فراهم می‌کند. برای ایجاد یک ابزار تصمیم‌سازی عمومی و دقیق به نظر طبیعی می‌آید که دو تکنیک با یکدیگر تلفیق شوند. عملگر OWA یک ابزار محلی می‌باشد و آن می‌تواند در تلفیق با ANP برای برآورد امتیازهای محلی گزینه‌ها بدون استنباط کردن با یک فرایند عمومی تحلیل استفاده شود. در این رویکرد پیشنهاد می‌شود، که اول سه مرحله از فرایند تحلیل شبکه انجام شده باشد که این سه مرحله مشخص کردن شکل و ساختار فرایند تحلیل شبکه،

محاسبه وزن معیارهای مرتبط در شبکه با استفاده از مقایسه زوجی و به دست آوردن سوپر ماتریس است [۱۸].

۳- پیاده‌سازی و نتایج

در مرحله اول پس از تعیین معیارهای مکان‌یابی، لایه‌ی مکانی مربوط به هر یک از معیارها ایجاد شده و هم پوشانی لایه‌ها صورت می‌گیرد و مناطق دارای محدودیت نیز مشخص می‌شود سپس گزینه‌هایی برای نیروگاه‌های بادی تعیین می‌گردد. در مرحله بعد از مدل ANP برای به دست آوردن وزن هر یک از معیارها استفاده می‌شود. در نهایت امتیازات گزینه‌های مکانی با استفاده از مدل OWA بدست می‌آید و گزینه‌ها بر اساس سناریوهای مختلف ریسک‌پذیری اولویت‌بندی می‌شوند. شکل (۳) ساختار کلی پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۳- ساختار پژوهش

۳-۱- معیارهای موردنظر در مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی

و اقتصادی-اجتماعی تقسیم می‌گردد [۸]. معیارهای فنی خود معیار به سه زیر معیار سرعت باد، پیوستگی و چگالی باد تقسیم می‌گردد، سرعت باد به عنوان مهم‌ترین عامل برای تولید انرژی باد توسط توربین‌ها در نظر گرفته می‌شود. برای به دست آوردن سرعت باد در استان از

همان‌طور که اشاره شد معیارهای مکان‌یابی برای احداث توربین‌های بادی به سه دسته فنی، زیست‌محیطی

داده‌های ماهیانه هواشناسی و میانگین سرعت باد در ایستگاه‌های همدید استان و ایستگاه‌های همجوار استفاده شده است. برای تبدیل این مقادیر به دست آمده که در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌گردد به ارتفاع ۵۰ متری که معمولاً توربین‌های بادی در این ارتفاع قرار می‌گیرند از رابطه (۷) زیر استفاده شده است:

$$\frac{V}{V_{ref}} = \left(\frac{Z}{Z_{ref}} \right)^{\alpha} \quad (7)$$

V سرعت باد در ارتفاع Z بالای سطح زمین (سرعت باد در ارتفاع موردنظر)، V_{ref} سرعت باد در ارتفاع Z_{ref} یا ارتفاع که اندازه‌گیری صورت گرفته‌شده (ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین) و α تابع مربوط به زبری یا ناهمواری زمین است [۱]. یکی دیگر از زیر معیارهای فنی پیوستگی و تداوم باد است با توجه به اهمیت این موضوع در میزان تولید انرژی از رابطه (۸) درصد تغییرپذیری باد به دست می‌آید:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100 \quad (8)$$

در این رابطه CV درصد تغییرپذیری، $\bar{X}$ میانگین داده‌ها و σ معیار داده‌ها می‌باشد [۱].

چگالی باد بر روی میزان استحصال انرژی بسیار تأثیرگذار است. چگالی توان باد بر واحد سطح (به دانسیته هوا) در شرایط استاندارد سطح دریا $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ بستگی دارد و از رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$W = 1/2 \rho v^3 AT \quad (9)$$

در این رابطه ρ چگالی هوا (در شرایط استاندارد ۱٫۲۲۵ کیلوگرم در مترمکعب) V سرعت باد A مساحت سطح و T زمان موردنظر است [۱].

معیار محیطی شامل زیر معیار ارتفاع، شیب، فاصله از گسل‌ها، فاصله از رودخانه‌ها و فاصله از مناطق حفاظت‌شده است. ارتفاع و شیب مستقیماً بر روی میزان انرژی تولیدی تأثیرگذار هستند ارتفاع زیاد باعث دسترسی سخت به این مناطق می‌شود و همچنین شیب زیاد در میزان استفاده از باد تأثیرگذار است. فاصله از مناطق حفاظت‌شده و رودخانه‌ها از لحاظ زیست‌محیطی برای

ایجاد نیروگاه بادی حائز اهمیت هستند. فاصله از خطوط گسل و رودخانه‌ها حداقل ۵۰۰ می‌باشد.

معیارهای اقتصادی- اجتماعی شامل زیر معیارهای فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از مناطق روستایی و فاصله از مناطق شهری و همچنین پوشش اراضی می‌باشد. شهرها و مناطق جمعیتی با جمعیت زیاد ممکن است به جهت ایمنی، سروصدا و منظره تحت تأثیر مزارع بادی قرار گیرند. از نظر بین‌المللی سیاست کاهش تأثیرات دبداری توربین‌های بادی بر این مناطق به دلیل تأثیر بر جمعیت بیشتر در شهرها نسبت به مناطق روستایی ارجحیت دارد لذا مطالعات مختلف نشان داده است که مزارع بادی حداقل باید ۲۰۰۰ متر از شهرها و ۵۰۰ متر از مراکز جمعیتی فاصله داشته باشد. همچنین فاصله از راه‌های ارتباطی نیز باید حداقل ۵۰۰ متر باشد.

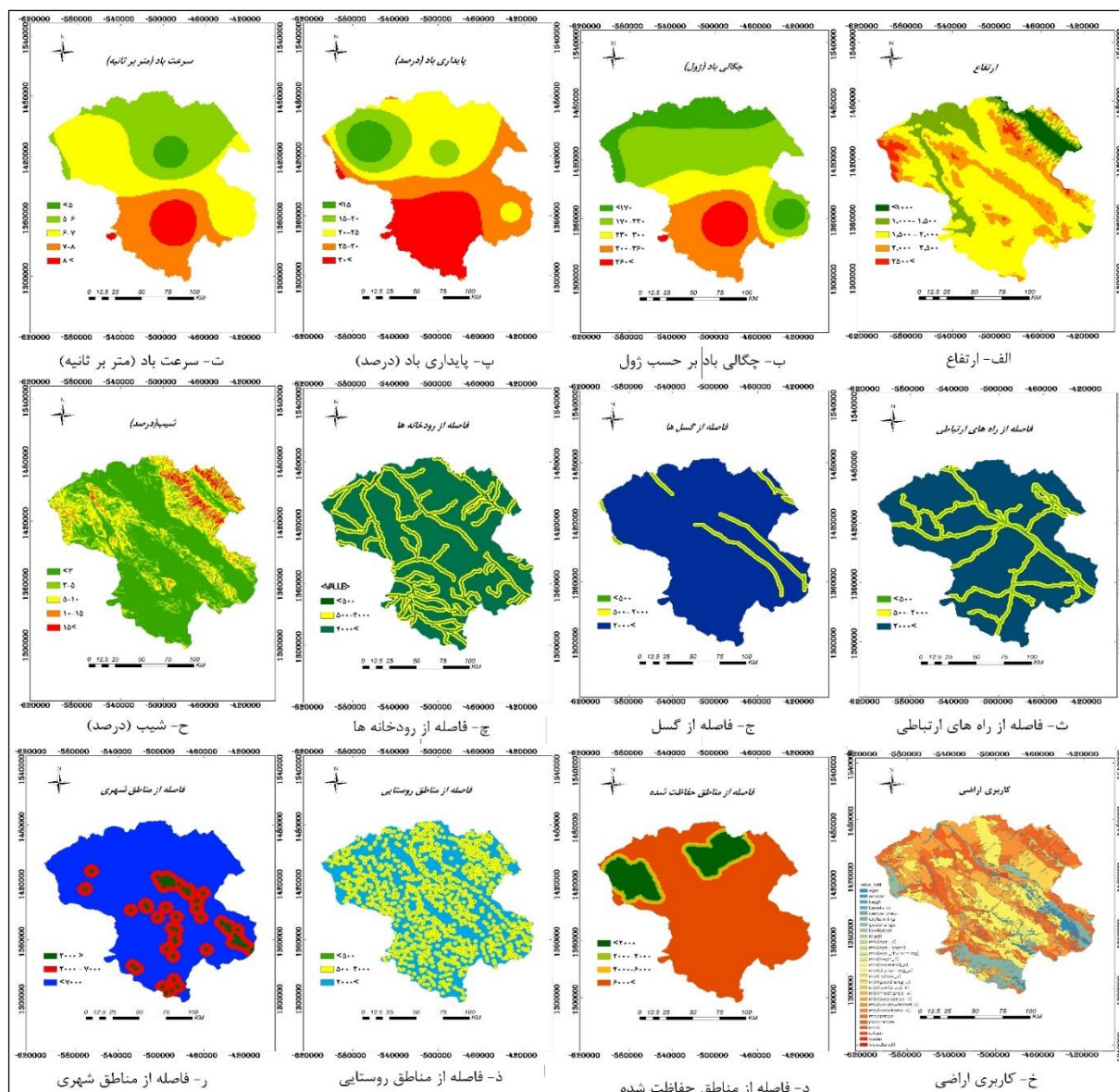
۳-۲- مناطق دارای محدودیت

مناطق که به لحاظ کاربری‌های خاص و سایر محدودیت همانند حداقل سرعت باد و... از منطقه‌ی مورد مطالعه حذف می‌گردند در جدول زیر آمده است:

جدول ۱- مناطق دارای محدودیت

معیارها	حدود دارای محدودیت برای مکانیابی
سرعت باد	کمتر از ۴ متر بر ثانیه
فاصله از راه ای ارتباطی	کمتر از ۵۰۰ متر
فاصله از منطق شهری	کمتر از ۲۰۰۰ متر
فاصله از مناطق روستایی	کمتر از ۵۰۰ متر
فاصله از مناطق حفاظت شده	کمتر از ۲۰۰۰ متر
کاربری اراضی	کمتر از ۵۰۰ متر
فاصله از گسل‌ها	کمتر از ۵۰۰ متر
فاصله از رودخانه‌ها	کمتر از ۵۰۰ متر

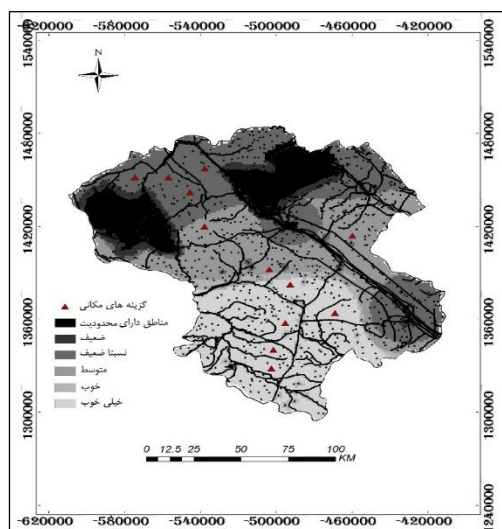
مقادیر مربوط به هریک از معیارها نیز باید تعیین گردد. لایه‌ی مکانی مربوط به مقادیر معیارها مطابق شکل (۴) به دست آمده است.



شکل ۴- مقادیر معیار ها

۳-۳- گزینه های مکانی

پس از تشکیل لایه های فوق و هم پوشانی آن ها در GIS نقشه ای شکل (۵) که طیفی از مکان های مناسب تا نامناسب است به دست می آید همچنین مکان های دارای محدودیت نیز مشخص گردیده است. با استفاده از این نقشه گزینه هایی به عنوان مکان های مناسب برای نیروگاه بادی انتخاب گردیده است.



شکل ۵- نقشه ی پتانسیل تولید انرژی از باد و گزینه های مکانی انتخاب شده

۳-۴- وزن دهی به معیارها با استفاده از تحلیل شبکه

اولین مرحله در اجرای یک مدل تصمیم‌گیری بر اساس ANP مقایسه‌ی زوجی معیارها، زیر معیارها و مقایسه‌ی زوجی با توجه به روابط درونی و بیرونی بین معیارها و زیر معیارها می‌باشد که در بخش مبانی نظری توضیحات آن ارائه شد. با توجه به حجم زیاد مقایسات زوجی در این بخش به ارائه‌ی مقایسه‌ی دودویی در بخش معیارهای اصلی (جدول ۲) زیر معیارهای فنی (جدول ۳) بسنده می‌کنیم. همچنین بر این اساس محاسبه‌ی ضریب اهمیت هر یک از معیارها با توجه به وابستگی متقابل بین آن‌ها، مقایسه دودویی زیر معیارهای فنی با توجه به کنترل زیر معیار سرعت باد ارائه شده است (جدول ۴)، در این مقایسه نحوه سؤال کردن ضریب اهمیت به این ترتیب است: اهمیت نسبی چگالی باد در مقایسه با پیوستگی باد در صورتی که سرعت باد کنترل شود چگونه است.

جدول ۵- اوزان نهایی معیارها در مدل ANP

وزن‌ها	معیارها
۰,۲۶۲۷	سرعت باد
۰,۱۱۹۷	پایداری باد
۰,۱۹۹۱	چگالی باد
۰,۰۴۸۰۶	فاصله از راه ای ارتباطی
۰,۱۰۱۸	فاصله از منطق شهری
۰,۰۶۱۹	فاصله از مناطق روستایی
۰,۰۱۶۶۶	فاصله از مناطق حفاظت‌شده
۰,۰۴۹	کاربری اراضی
۰,۰۵۱۳	فاصله از گسل‌ها
۰,۰۱۳۳۸	ارتفاع
۰,۰۴۶۴۷	شیب
۰,۰۲۹۷۸	فاصله از رودخانه‌ها

۳-۵- اجرای OWA-ANP

در این مرحله اوزان بدست آمده در مدل OWA قرار داده می‌شود. استفاده از OWA مستلزم داشتن مقادیری استاندارد شده می‌باشد. در اینجا ما از روش استانداردسازی که حداقل و حداکثر مقادیر از یک معیار را پیمایش می‌کند استفاده می‌کنیم. بسته به اینکه معیار حداکثر (ارزش خام بیشتر، عملکرد بهتر) (رابطه ۱۰) و یا حداقل (ارزش خام کمتر، عملکرد بهتر) (رابطه ۱۱) باشد از دو معادله‌ی زیر برای تبدیل ارزش خام به مقادیر استاندارد شده استفاده می‌شود:

$$a_{ij} = \frac{S_{ij} - S_j^{\min}}{S_j^{\max} - S_j^{\min}} \quad (10)$$

$$a_{ij} = \frac{S_j^{\max} - S_{ij}}{S_j^{\max} - S_j^{\min}} \quad (11)$$

در اینجا S_{ij} مقدار گزینه i برای معیار j ، $S_j^{\min}$ کمترین مقدار برای معیار j و $S_j^{\max}$ بیشترین مقدار برای معیار j می‌باشد. a_{ij} مقدار نرمال شده برای معیار j گزینه i می‌باشد. مقادیر استاندارد شده برای تمام گزینه‌ها بین صفر و یک است [۲۲]. در مرحله‌ی بعد اوزان بدست آمده برای هر یک از معیارها بر اساس مقادیر نرمال شده مرتب سازی می‌شوند، میزان وزن‌های ترتیبی بر اساس

جدول ۲- ماتریس مقایسه‌ی دودویی معیارهای اصلی

وزن	زیست‌محیطی	اقتصادی-اجتماعی	فنی	
۰,۷۳۰۶	۷	۵	۱	فنی
۰,۱۸۸۳	۳	۱		اقتصادی-اجتماعی
۰,۰۸۰۹	۱			زیست‌محیطی

ضریب ناسازگاری: ۰,۰۶۲

جدول ۳- مقایسه‌ی دودویی زیر معیارهای معیار فنی

وزن	پیوستگی	چگالی	سرعت	
	باد	باد	باد	
۰,۵۹۳۶	۳	۳	۱	سرعت باد
۰,۲۴۹۳	۲	۱		چگالی باد
۰,۱۵۷۰	۱			پیوستگی باد

ضریب ناسازگاری: ۰,۰۵

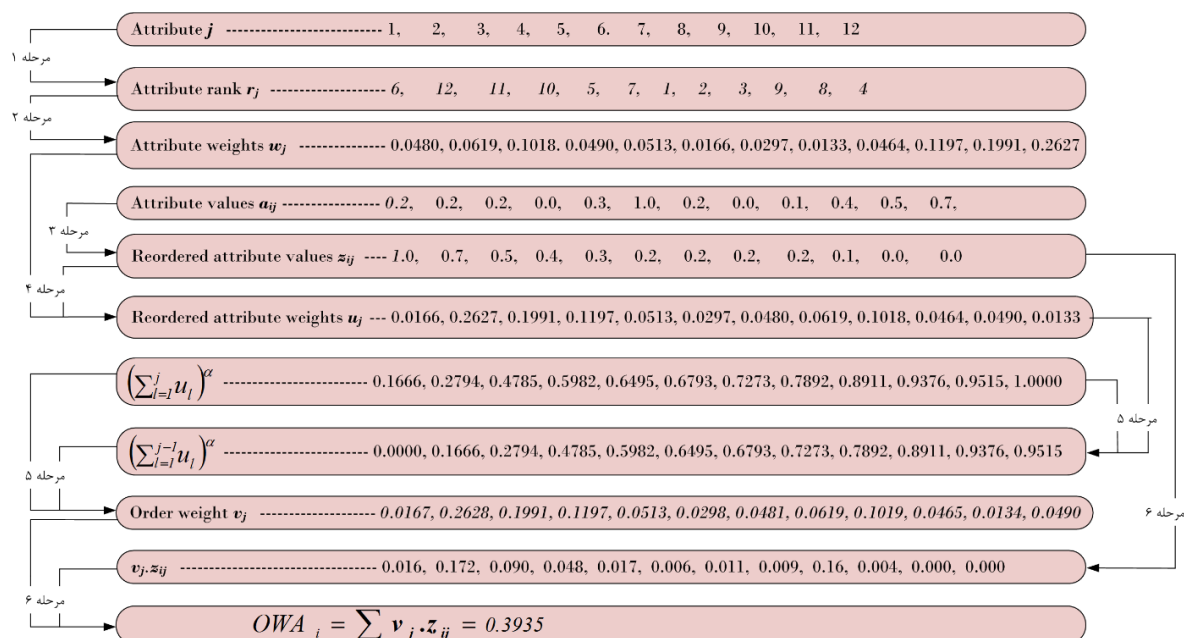
جدول ۴- مقایسه‌ی دودویی زیر معیارهای فنی با توجه به وابستگی درونی آن‌ها با کنترل زیر معیار سرعت باد

وزن	پیوستگی باد	چگالی باد	
۰,۷۵	۳	۱	چگالی باد
۰,۲۵	۱		پیوستگی باد

ضریب ناسازگاری: ۰

میزان ریسک پذیری تغییر خواهد می‌کند میزان α از رابطه‌ی (۶) بدست می‌آید. محاسبه‌ی امتیازهای نهایی هر یک از گزینه‌ها توسط شکل (۶) صورت می‌گیرد (در اینجا درجه ریسک‌پذیری برابر با ۰.۵ و میزان α برابر با ۱ است):

رابطه‌ی (۵) بدست می‌آید. وزن‌های ترتیبی در مقادیر مرتب شده ضرب شده و در نهایت حاصل جمع آنها مقدار گزینه‌ی مورد نظر خواهد بود. به منظور اعمال درجات مختلف ریسک‌پذیری در رابطه‌ی (۵) میزان α با توجه به



شکل ۶- محاسبه‌ی امتیازهای نهایی گزینه‌ها در مدل OWA [۱۹]

اول از ۰ به سمت ۱ افزایش می‌یابد. این روند نشان می‌دهد وزن‌های ترتیبی بزرگتر به مقادیر معیارهای بزرگتر تخصیص یافته و وزن‌های ترتیبی کوچکتر به مقادیر معیارهای کوچکتر اختصاص می‌یابند.

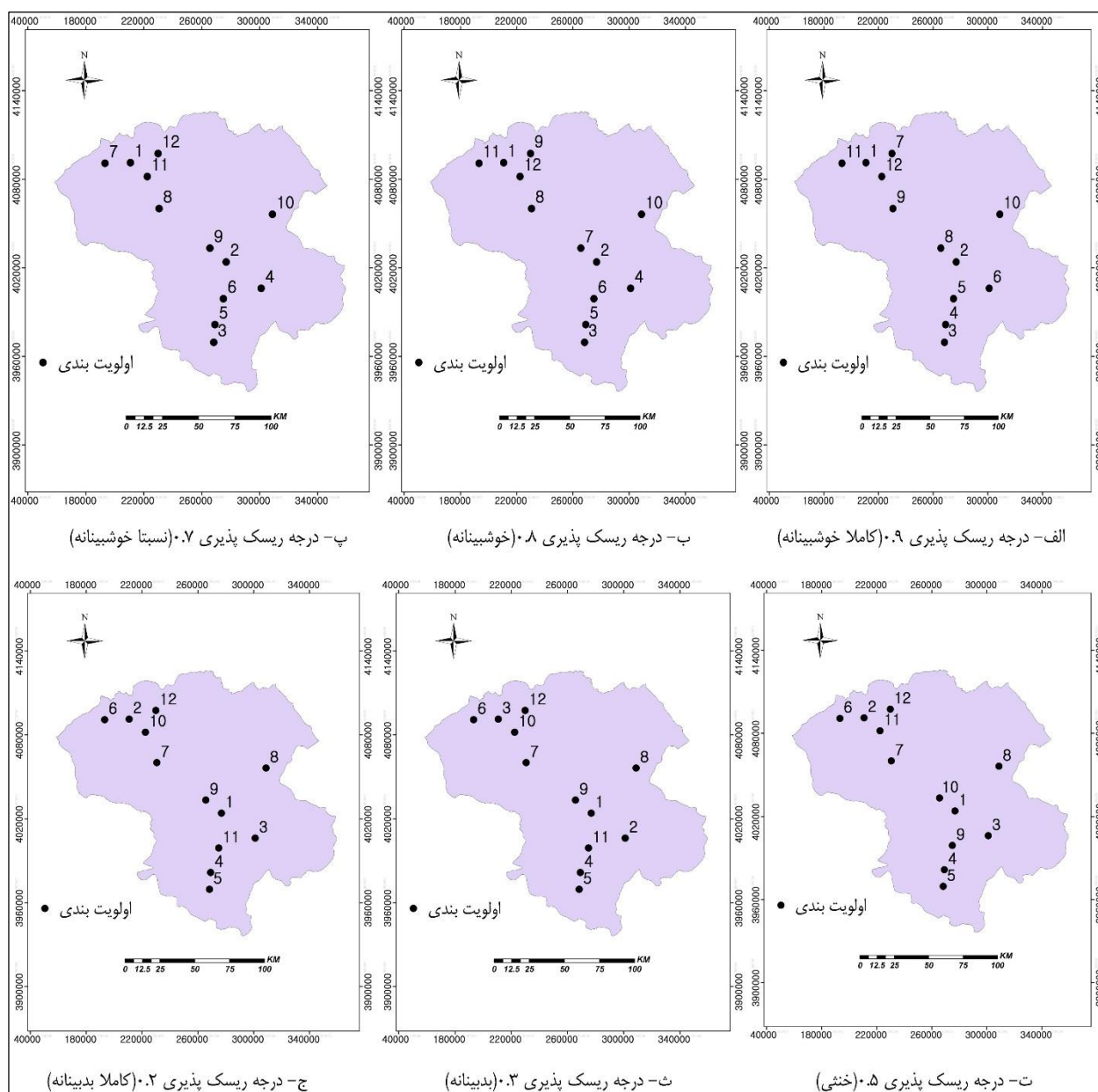
در جدول (۶) وزن‌های ترتیبی با در نظر گرفتن درجات مختلف ریسک‌پذیری برای یکی از گزینه‌ها با درجات ریسک‌پذیری مختلف آورده شده است. با افزایش درجه ریسک‌پذیری از ۰ تا ۱ میزان وزن‌های ترتیبی از وزن

جدول ۶- وزن‌های ترتیبی برای معیارها با توجه به درجات مختلف ریسک‌پذیری

درجه ریسک‌پذیری										اوزان ترتیبی
1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
1.0000	0.6374	0.3593	0.1719	0.0652	0.0167	0.0022	0.0001	0.0000	0.0000	1
0.0000	0.2318	0.3678	0.4060	0.3622	0.2628	0.1455	0.0532	0.0061	0.0000	2
0.0000	0.0530	0.1047	0.1504	0.1844	0.1991	0.1833	0.1303	0.0463	0.0013	3
0.0000	0.0229	0.0477	0.0734	0.0982	0.1197	0.1317	0.1232	0.0756	0.0085	4
0.0000	0.0086	0.0183	0.0289	0.0400	0.0513	0.0608	0.0639	0.0499	0.0108	5
0.0000	0.0047	0.0101	0.0162	0.0228	0.0298	0.0364	0.0403	0.0350	0.0102	6
0.0000	0.0072	0.0156	0.0253	0.0360	0.0481	0.0605	0.0700	0.0670	0.0262	7
0.0000	0.0087	0.0191	0.0312	0.0453	0.0619	0.0809	0.0994	0.1082	0.0619	8
0.0000	0.0131	0.0290	0.0484	0.0720	0.1019	0.1400	0.1869	0.2426	0.2356	9
0.0000	0.0055	0.0124	0.0210	0.0319	0.0465	0.0667	0.0951	0.1422	0.2056	10
0.0000	0.0015	0.0035	0.0059	0.0091	0.0134	0.0195	0.0286	0.0451	0.0762	11
0.0000	0.0055	0.0125	0.0214	0.0329	0.0490	0.0726	0.1091	0.1821	0.3638	12

در نهایت گزینه‌های مکانی بر اساس امتیازهای بدست آمده برای هر یک از گزینه‌ها و بر حسب درجات ریسک پذیری مختلف اولویت بندی می‌گردند. شکل (۷) اولویت

بندی گزینه‌های مکانی با توجه به سناریوهای مختلف ریسک پذیری را نشان می‌دهد.



شکل ۷- اولویت‌بندی مکانی گزینه‌ها بر اساس درجات مختلف ریسک‌پذیری

۴- نتیجه‌گیری

با توسعه نگرش‌های زیست‌محیطی و راهبردهای صرفه جویانه در بهره‌برداری از منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر، استفاده از انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژی مطرح در بسیاری از کشورهای جهان رو به فزونی گذاشته است. به دلیل به‌صرفه بودن استفاده از توربین‌های بادی در

مقایسه با سایر منابع انرژی، استفاده از این منبع طبیعی را می‌توان یک انتخاب مناسب تلقی کرد.

در این مطالعه برای مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS استفاده شده است. در یک فرایند تحلیل شبکه‌ای بر خلاف روش سلسله مراتبی روند کار از حالت خطی خارج می‌شود و روابط بین معیارها و زیر معیارها مطرح می‌شود. با تلفیق این روش با میانگین وزنی مرتب یا OWA

برخوردار است. سمت شمال و شمال شرقی استان به دلیل وجود تأسیسات شهری، جاده‌های اصلی، شیب و ارتفاع زیاد و اثرات زیست‌محیطی از اولویت کمتری برخوردار هستند. سمت جنوب استان شرایط فنی به مراتب بهتری را داراست. با توجه به نتایج کلی منطقه‌ی زنجانرود به دلیل داشتن شرایط بهتر از لحاظ تمام معیارها بیشترین اولویت را داراست.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی از روش تصمیم‌گیری گروهی چند معیاره تحت وب استفاده شود. بدین صورت که متخصصان با مهارت‌ها و دانش‌های مختلف بتوانند مکان‌های بهینه نیروگاه‌های بادی را از طریق یک سامانه چند معیاره مکانی در بستر وب تعیین نمایند.

می‌توان میزان خوشبینی و بدبینی فرد تصمیم گیر را نسبت به نتایج مکانیابی لحاظ نمود. اولویت‌بندی گزینه‌های مورد نظر با توجه به میزان بدبینی و خوش بینی نتایج جالب‌توجهی را به دست می‌دهد. در واقع نتیجه‌گیری با توجه به درجه ریسک‌پذیری مهم‌ترین مشخصه این مدل است. برخلاف مطالعات گذشته که در آن‌ها مکان‌های مناسب تا نامناسب برای نیروگاه‌های بادی اولویت‌بندی می‌شدند، در این پژوهش علاوه بر به دست آوردن مکان‌های مناسب، گزینه‌های مختلف با درجات ریسک‌پذیری گوناگون اولویت‌بندی شدند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سمت جنوب استان از پتانسیل خوبی برای استفاده از انرژی بادی

مراجع

- [1] Entezari, A., et al. (2012). "Assessment of wind energy potential and feasibility of wind power plants in Sabzevar." Journal of Arid regions Geographic Studies 9, 10(3): 33-46 (in Persian).
- [2] Poortaheri, M. (2010). "Using multi-criteria decision-making methods in geography." Samt Publications. Tehran (in Persian).
- [3] Dadashpoor, H., et al. (2012). "Spatial analysis and site selection of temporary accommodation possibilities centers, combining of analytic network process (ANP) and geographic information system (GIS)." Journal of Geography and Environmental Hazards 1: 111- 131 (in Persian).
- [4] Rimound, M. (1991). "Production and Operations Management." translate: Abolhasani, H. Tehran Publications. Tehran (in Persian).
- [5] Zebardast, A. (2010). "Application of analysis network process (ANP) in urban and regional Planning." Journal of Arts, Architecture and Urbanism 41: 79-90 (in Persian).
- [6] Sadeghi, Z. and Dallalbashi-Esfahani, Z. (2013). "Prioritize the effective factors in site selection of Renewable Energy Plants (solar and wind) in Kerman province using geographic information system (GIS) and multi-criteria decision-making techniques." Journal of Planning studies and Energy Policy 1: 93-110 (in Persian).
- [7] Abdi, H., et al. (2011). "Feasibility study for the construction of 10 MW wind power plants in Maravetape." Journal of Iran's Energy 1 (14): 55-77 (in Persian).
- [8] Azizi, A., et al. (2014). "Wind power plants site selection using hierarchical analysis and network analysis models in Ardebil." Journal of Applied Researches in Geographic Sciences 34(14): 174-194 (in Persian).
- [9] Morshedi, J., et al. (2010). "Wind power plants site selection using analytical hierarchical process (AHP) in GIS." Journal of Remote Sensing and Geographic Information Systems Application in Planning 2(1): 97-111 (in Persian).
- [10] Motahhar, S., et al. (2010). "Statistical analysis of wind potential in Boushehr province for the construction of wind turbines." The First Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation. Birjand (in Persian).
- [11] Momeni, M. (2003). "Choose the optimum method of transferring water to sugarcane fields in Khuzestan province." Journal of Modarres 30(7): 123-136 (in Persian).
- [12] Momeni, M. and Atashsooz, A. (2004). "Combination GP-AHP model for the product planning in QFD." Journal of Industrial Management 4: 42-72 (in Persian).
- [13] Miyanabadi, H. and Afsha, A. (2008). "Using ordered weighted average (OWA) method in decision-making and risk management." The First Conference on Strategic Project Management, Sharif University (in Persian).
- [14] Minaei, M. (2009). "Implements agricultural spatial planning models using fuzzy logic and Geographic Information System (GIS) in Fereydon-Shahr." Master thesis, Faculty of Geography, Tehran University (in Persian).

- [15] Mirghafoori, H., et al. (2014). "Multi-criteria decision-making methods." Jahad-daneshgahi Publications, Tehran (in Persian).
- [16] Bennui, A., et al. (2007). "Site selection for large wind turbine using GIS." PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment (ICEE-2007), Phuket.
- [17] Chung, S.H., et al. (2005). "Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator." International Journal of Production Economics 96: 15-36.
- [18] Eldrandly, K. (2013). "Exploring multi-criteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: an extension of the analytical network process using ordered weighted averaging operators." International Journal of Geographical Information Science 27(12): 2455-2482.
- [19] Jelokhani Niaraki, M. R. and Jacek M. (2015). "A group multi-criteria spatial decision support system for parking site selection problem: A case study." Journal of Land Use Policy 42(4): 492-508.
- [20] Jelokhani Niaraki, M. R. and Jacek M. (2014). "The decision task complexity and information acquisition strategies in GIS-MCDA." International Journal of Geographical Information Science 29(2): 327-344.
- [21] Jelokhani Niaraki, M. R. and Jacek M. (2015). "Decision complexity and consensus in Web-based spatial decision making: A case study of site selection problem using GIS and multi-criteria analysis." Journal of Cities 45: 60-70.
- [22] Jelokhani-Niaraki, M. R. (2013). "Web 2.0-based Collaborative Multi-criteria Spatial Decision Support System: A Case Study of Human-Computer Interaction Patterns." University of Western Ontario - Electronic Thesis and Dissertation Repository.
- [23] Saaty, T.L. (1996). "Decision making with dependence and feedback: the analytic network process." Pittsburgh: RWS Publications.
- [24] Saaty, T.L. (2004). "Fundamentals of the analytic network process – dependence and feedback in decision-making with a single network." Journal of Systems Science and Systems Engineering 13(2): 129–157.
- [25] Sliz-Szkliniarza, B. and Vogta, Joachim. (2010). "GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential", Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(3):1696-1707.
- [26] Yager, R. (1997). "On the inclusion of importances in OWA aggregations." Kluwer Academic Publications, Boston 41–59.
- [27] Yager, R.R. (1988). "On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making." Journal of IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 18(1): 183–19.