Archive of SID

نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره پنجم ، شماره ۴ ، اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از انتگرال ساجنو، نظریه‌ی بازی‌ها و الگوریتم رقابت استعماری برای ارزیابی درجه تناسب اراضی برای تاسیس نیروگاه بادی (مطالعه موردی: استان همدان)

میلاد مرادی*[۱]، محمود رضا دلاور[۲]، اسدالله مرادی[۳]

[۱] کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
milad.moradi@ut.ac.ir

[۲]دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
mdelavar@ut.ac.ir

[۳]استادیار گروه مطالعات اجتماعی - پردیس رسالت زاهدان - دانشگاه فرهنگیان
asad.moradi1343@gmail.com

(تاریخ دریافت خرداد ۱۳۹۴، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۴)

چکیده

با توجه به اینکه کشور ایران در منطقه‌ای قرار گرفته است که از نظر انرژی بادی پتانسیل فراوانی دارد، در سال‌های اخیر توجه فراوانی به تاسیس نیروگاه‌های بادی شده است. با این وجود انتخاب غیر کارشناسانه محل تاسیس نیروگاه بادی می‌تواند از یک طرف پیامدهای مخربی برای محیط زیست به همراه داشته باشد و از طرف دیگر منجر به هزینه‌های فراوانی برای دسترسی و انتقال انرژی به محل مصرف شود. هدف اصلی این تحقیق ارائه یک مدل تحلیل چندمعیاره مکانی برای ارزیابی درجه تناسب اراضی برای تاسیس نیروگاه بادی می‌باشد. در این تحقیق از انتگرال فازی ساجنو که قادر است انواع مختلف تعامل بین معیارها را مدلسازی کند استفاده شده است. به علاوه، از برخی از پارامترهای نظریه بازی‌ها از قبیل شاخص تعامل بین معیارها، شاخص قدرت هر معیار (شاخص شیپلی) و درجه خوش‌بینی برای شفاف‌سازی مدل ریاضی و قابل لمس کردن ترجیحات کارشناسان استفاده شده است. در این تحقیق با توجه به دسترسی محدود به داده‌های به‌هنگام تنها هشت لایه اطلاعاتی مربوط به معیارهای زیست‌محیطی، اقلیمی، اجتماعی-اقتصادی و زمین‌شناختی به مدل وارد شده است. نتایج پیاده‌سازی برای استان همدان نشان می‌دهد تنها حدود ۱۰٪ از اراضی این استان بیشتر از ۷۵٪ مناسب تاسیس نیروگاه بادی هستند که عمدتا در مناطق مرکزی و شمالی این استان واقع شده‌اند. در پایان به‌منظور اعتبارسنجی مدل ارائه شده، داده‌های مدل با داده‌های روش‌های AHP و OWA مقایسه شده است که به ترتیب ۸۹٪ و ۸۳٪ همبستگی بین نتایج موجود است.

واژگان کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، عملگر انتگرال فازی، نظریه بازی‌ها، الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری، نیروگاه بادی، ارزیابی درجه تناسب اراضی

* نویسنده رابط

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

یکی از عوامل مهم و موثر در توسعه و پیشرفت کشورها تامین منابع انرژی مورد نیاز برای رشد کشور می‌باشد. از طرف دیگر، منابع سوخت‌های فسیلی موجود در جهان به سرعت در حال اتمام می‌باشد [۱]. یکی دیگر از معایب تامین انرژی مورد نیاز صنعت از طریق سوخت‌های فسیلی تولید آلودگی زیست‌محیطی فراوان می‌باشد [۲]. کشور ایران از جمله کشورهایی می‌باشد که پتانسیل قابل توجهی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر مانند نیروگاه بادی دارد. بنابراین با حرکت به سمت استفاده از نیروی باد می‌توان هم از منابع پایدار انرژی برای توسعه صنعتی اطمینان حاصل کرد و همچنین از آلودگی بیشتر محیط زیست جلوگیری کرد [۳].

یکی از مهمترین مسایل در زمینه‌ی تاسیس نیروگاه بادی انتخاب محل مناسب می‌باشد. محلی که هم دارای پتانسیل بادی قابل توجهی باشد، هم کمترین آلودگی را برای محیط زیست به همراه داشته باشد و هم برای سکونت‌گاه‌های انسانی کمترین مشکلات را در پی داشته باشد. به عبارت دیگر، برای توسعه‌ی پایدار در بخش انرژی به ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر[۱] می‌بایست دقت لازم در تعیین محل مناسب برای احداث این نیروگاه‌ها به عمل آید.

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه‌ی مکانیابی نیروگاه‌های بادی صورت گرفته است. Baban و Parry معیارهای موثر برای انتخاب مکان بهینه نیروگاه بادی را برای کشور انگلستان بررسی کردند [۴]. آن‌ها معیارهای پتانسیل باد و فاصله از سکونت‌گاه‌ها را به عنوان مهمترین عوامل پیشنهاد کردند این تحقیق هرچند از مدل‌های بسیار ساده استفاده می‌کند اما کارایی سیستم اطلاعات مکانی در مکانیابی نیروگاه بادی را نشان می‌دهد. Ramachandra و Shruthi معیارهای سهولت دسترسی و میزان رطوبت را نیز به مجموعه معیارها افزودند [۵]. Aydin و همکاران تاثیر عوامل زیست‌محیطی را بر درجه تناسب اراضی برای احداث نیروگاه بادی بررسی کردند. در این تحقیق تاثیرات و پیامدهای تاسیس یک نیروگاه بادی به کمک یک مدل تحلیل چند معیاره بررسی شده است که مهمترین مزیت این تحقیق به شمار می‌رود [۶]. نتایج تحقیق [۶] نشان می‌دهد می‌توان با انتخاب آگاهانه محل نیروگاه از بسیاری از آسیب‌های زیست‌محیطی بویژه صدمه به زیستگاه‌های پرندگان جلوگیری کرد. Baban و Parry برای اولین بار از سیستم اطلاعات مکانی برای مکانیابی این نیروگاه‌ها استفاده کردند هرچند در مدل استفاده شده توسط آن‌ها تنها چند تحلیل ساده مثل بافر استفاده شده است [۴]. Al-Yahyai و همکاران برای تعیین درجه تناسب کاربری اراضی برای نیروگاه بادی یک مدل چند معیاره مکان مبنا ارائه کردند نقطه ضعف این تحقیق عدم توجه به معیارهای زیست‌محیطی است [۷].

Azizi و همکاران از یک مدل تصمیم‌گیری شبکه‌ای تحلیلی[۲] برای وزن‌دهی معیارها بر مبنای مقایسات زوجی استفاده کردند نقطه قوت این تحقیق بررسی تاثیر متقابل معیارها بر یکدیگر می‌باشد [۸]. در تحقیقی دیگر با توجه به پتانسیل بالای انرژی باد در بخش فراساحلی، Gao و همکاران یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی برای بهینه‌سازی موقعیت نیروگاه بادی در آب‌های کم عمق هنگ‌کنگ پیشنهاد کردند. آن‌ها به بررسی تاثیر معیارهایی مانند جهت و شدت باد، مسیرهای دائمی کوچ پرندگان، نزدیکی به محل مصرف انرژی و سهولت دسترسی در مکانیابی فراساحلی نیروگاه بادی پرداخته‌اند [۹]. مهمترین نوآوری این تحقیق منتقل کردن نیروگاه‌ها به آب‌های کم عمق می‌باشد که بیشترین مقدار پتانسیل باد را نسبت به خشکی‌ها دارا می‌باشد.

Yeh و Huang برای مدلسازی عدم قطعیت‌های فازی[۳] در مدل، روش سلسله مراتبی را با روش فازی مقایسه کرده‌اند [۱۰]. نتایج این تحقیق نشانگر تاثیر بسزای عدم قطعیت‌ها در مسئله‌ی تعیین درجه تناسب اراضی می‌باشد. به منظور بررسی میزان پایداری مدل‌های چند معیاره در تعیین درجه تناسب اراضی برای انرژی‌های نو، Azadeh و همکاران تاثیر عدم قطعیت در داده‌های ورودی را بر روی مدل بررسی کردند [۱۱]. برخی تحقیقات از قبیل [۱۲] سعی در استفاده از نظر شهروندان در کنار متخصصان (به منظور افزایش مردم‌سالاری) برای مکانیابی بهینه دارند. Mekonnen و Gorsevski با توسعه یک سیستم اطلاعات مکانی تحت وب ترجیحات مردم ایالت اوهایو را وارد فرایند تصمیم‌گیری برای مکان‌گزینی یک نیروگاه بادی جدید در

[۱] Renewable Energy

[۲] Analytic Network Process

[۳] Fuzzy uncertainties

www.SID.ir

Archive of SID

این ایالت کردند [۱۲]. برتری این تحقیق ارائه‌ی یک سیستم اطلاعات مکانی با مشارکت همگانی است.

در تحقیقات قبلی کمتر به تعامل بین معیارها پرداخته شده است، در حالی معیارهای مکانی در تعیین مکان بهینه برای انرژی‌های نو غالبا متعامل بوده و حالت استقلال کامل معیارها از یکدیگر در یک مسئله یک حالت نادر است. مثلا معیار پتانسیل باد در یک منطقه متعامل با معیارهایی چون ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. بنابراین، در تحقیق حاضر از ترکیب روش‌های انتگرال فازی و نظریه بازی‌ها به منظور در نظر گرفتن تاثیر تعامل بین معیارها در فرایند تصمیم‌گیری استفاده شده است. بدین ترتیب مدل ارائه شده سعی در تدقیق نتایج مدل‌های قبلی و ارائه‌ی روشی برای مدلسازی معیارهای متعامل در مسئله‌ی مکانیابی انرژی‌های نو دارد.

۲- مبانی تئوری تحقیق

۲-۱- تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی

در مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره فرض بر این است که یک مجموعه از گزینه‌ها[۱] برای حل مسئله به صورت $A=\{w_1,w_2,...,w_p\}$ وجود دارند و هدف مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره یافتن گزینه‌ی بهینه بر مبنای مجموعه‌ی ترجیحات تصمیم‌گیرنده است [۱۳]. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیرنده می‌خواهد بهترین عضو از مجموعه‌ی A را برای کاربرد خاص خود بیابد. هر عضو از مجموعه‌ی A یا هر گزینه، دارای یک بردار مقادیر توصیفی[۲] است که به صورت $x=\{x_1,x_2,...,x_n\}^T$ نشان داده می‌شود. در یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره با n معیار، هر گزینه دارای یک بردار n عضوی از مقادیر توصیفی است این مقادیر توصیفی نشان دهنده‌ی امتیاز[۳] هر گزینه از دید هر معیار هستند [۱۴].

اگر تنها یک معیار وجود داشته باشد، تمام گزینه ها بر اساس آن معیار مرتب می‌شوند و گزینه‌ای که دارای بهترین امتیاز باشد به عنوان بهترین گزینه و جواب مسئله‌ی تصمیم‌گیری انتخاب می‌شود. اگر x مجموعه‌ی تمام بردارهای مقادیر توصیفی باشد، $\succ$ عملگری است که ترجیح یک بردار مقدار توصیفی بر دیگری را از دید تصمیم‌گیرنده نشان می‌دهد. ایده‌ی اصلی در حل مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره ساختن یک تابع $u:X\to\mathbb{R}$ است به قسمی که شرط زیر برقرار باشد [۱۵]:

$$x\succ y \Leftrightarrow U(x)>\mathrm{U(y)} \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی (۱) y و x دو بردار از مقادیر توصیفی مربوط به دو گزینه‌ی مختلف هستند به قسمی که از دید تصمیم‌گیرنده بردار x دارای ارجحیت بیشتری می‌باشد. u یک نگاشت از فضای n بعدی (فضای مقادیر توصیفی) به فضای یک بعدی (مجموعه ی اعداد حقیقی) است. هدف مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره یافتن بهترین تابع u است که شرط (۱) برای همه‌ی گزینه‌ها صدق کند. در چنین حالتی u یک تابع تجمیع[۴] نامیده می‌شود.

۲-۲- انتگرال ساجنو

برای حل مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره مهمترین بخش پیدا کردن بهترین تابع تجمیع است. بطوریکه بتوان تمام مجموعه‌ی ترجیحات تصمیم‌گیرنده را روی مسئله پیاده کرد. به عبارت دیگر، جهت اعمال روابط ارجحیت که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شوند به دنبال بهترین تابع تجمیع می‌گردیم [۱۶]. توابع تجمیع سنتی مانند میانگین وزندار، میانگین وزندار مرتبه یافته و ... قادر به اعمال تمام ارجحیت‌ها نمی‌باشند. برخی از این توابع مانند بیشینه و کمینه به علت سادگی ساختار (ساده سازی بیش از اندازه‌ی مسئله) و برخی از عملگرهای تجمیع مانند میانگین وزندار و میانگین وزندار مرتبه یافته به علت مدل نکردن تمام ارتباط‌های بین معیارها از توانایی کافی برای مدل کردن تمام روابط ارجحیت برخوردار نیستند [۱۷].

۲-۲-۱- اندازه‌گیری‌های فازی

بنابر تعریفی که توسط ساجنو [۱۹] ارائه شده است، یک اندازه‌گیری فازی[۵] μ روی x یک تابع $\mu:p(x)\to[0,1]$ است بطوریکه همیشه شرایط زیر را ارضا کند:

$$\begin{aligned}&\mu(\varphi)=0\\&A\subset B\subset C\Rightarrow\mu(\mathrm{A})<\mu(\mathrm{B})\end{aligned} \qquad (۲)$$

۱ Alternative
۲ Attribute value
۳ Score
۴ Aggregation function
۵ Fuzzy measure

www.SID.ir

Archive of SID

در روابط بالا x نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ی معیارهای موثر در مسئله و $p(x)$ مجموعه توانی x است. رابطه (۶) نشان می‌دهد که اهمیت مجموعه‌ی تهی برابر صفر است. به عبارت دیگر، ارضا نشدن هیچ یک از معیارها اصلاً مطلوب نیست. رابطه‌ی (۶) همچنین نشان می‌دهد که ارضای هر مجموعه‌ی بزرگتر از معیارها حتماً مطلوب‌تر از ارضای یک مجموعه‌ی کوچکتر است.

در یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از عملگر ساجنو مجهولات مسئله اندازه‌گیری‌های فازی هستند که باید تعیین شوند. یک مجموعه از داده‌های آموزشی نمونه می‌توانند برای استخراج اندازه‌گیری‌های فازی به کار گرفته شوند [۲۰, ۲۱].

۲-۲-۲- تجمیع با انتگرال ساجنو

اگر μ یک اندازه‌گیری فازی روی X باشد، انتگرال ساجنو تابع گسسته‌ی $f : x \to \mathbb{R}^+$ با توجه به μ از رابطه‌ی (۷) بدست می‌آید [۲۰]:

$$S_\mu(\mathrm{f}) = \coprod_{i=1}^{n} (\mathrm{f}(\mathrm{x}_{(i)}) \wedge \mu(\mathrm{A}_{(\mathrm{i})})) \qquad (۳)$$

که در این رابطه (i) نشان‌دهنده‌ی i امین عضو کوچک بردار مقادیر توصیفی است. بنابراین خواهیم داشت:

$0 \le f(\mathrm{x}_{(\mathrm{i})}) \le .... \le \mathrm{f}(\mathrm{x}_{(n)})$ و همچنین

$A_{(i)} = \{\mathrm{x}_{(i)}, ..., \mathrm{x}_n\}$ و $f(\mathrm{x}_{(0)}) = 0$ است.

۲-۲-۳- استخراج اندازه‌گیری‌های فازی از داده‌های نمونه

در برخی از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، داده‌های آموزشی[۱] موجود است. بدین صورت که برای یک مجموعه از گزینه‌ها مقدار تجمیع شده[۲] موجود می‌باشد. با استفاده از این داده‌های آموزشی می‌توان پارامترهای مدل را استخراج کرد و سپس با استفاده از آن، بقیه داده‌ها را مدل کرد. مجهولات مدل انتگرال ساجنو، اندازه‌گیری‌های فازی هستند. Grabisch پیشنهاد کرد برای بدست آوردن اندازه‌گیری‌های فازی در روش استفاده از داده‌ی آموزشی، خطای مربعی کمینه گردد [۱۵]:

$$E^2 = \sum_{k=1}^{l} (\mathrm{C}_\mu(\mathrm{z}_{k1}, ..., \mathrm{z}_{kn}) - \mathrm{y}_k)^2 \qquad (۴)$$

در این رابطه y_k مقدار تجمیع شده برای داده‌های آموزشی و z_k بیانگر امتیاز هر گزینه از دید هر معیار است. E^2 خطای مربعی نامیده می‌شود و اندازه‌گیری فازی باید به گونه‌ای تعیین شود که مقدار E^2 کمینه شود. از سوی دیگر مقدار اندازه‌گیری فازی باید در شرایط مربوط به اندازه‌گیری فازی صدق کند. یافتن اندازه‌گیری فازی مناسب مستلزم حل یک مسئله‌ی بهینه‌سازی مقید است که هدف مسئله کمینه کردن E^2 خواهد بود. روش‌های متعددی بر مبنای بهینه‌سازی برای حل این مسئله ارائه شده است [۲۲].

۲-۳- نظریه‌ی بازی‌ها[۳]

نظریه بازی‌ها شاخه‌ای از علم ریاضی کاربردی است که هدف آن ارائه‌ی مدلی برای پیش‌بینی نتیجه‌ی بازی‌هایی است که در آنها موفقیت یک فرد در یک بازی وابسته به انتخاب دیگران و در تعامل با عملکرد آنهاست [۱۷]. در ابتدا این شاخه از ریاضیات برای پیش‌بینی بازی‌های مبنی بر کارت توسعه یافت اما اکنون این گستره شامل تمام مسائلی است که مجموعه‌ای از حرکت‌ها و راهبردها دارند که هر یک از این حرکت‌ها نتیجه‌ی خاصی در پی خواهد داشت [۲۳, ۲۴]

بسیاری از مفاهیم رایج در نظریه بازی‌ها می‌توانند در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره مورد استفاده قرار گیرند [۲۵, ۲۶]. در این حیطه از تصمیم‌گیری چند معیاره، X یک مجموعه از بازیکن‌ها است. هر زیر مجموعه‌ی $A \subset X$ یک ائتلاف[۴] و μ تابع ویژگی بازی است. این تابع در واقع قدرت هر یک از ائتلاف‌ها را نشان می دهد [۱۷].

۲-۳-۱- تعامل بین معیارها

یکی از مهمترین پارامترهایی که در نظریه بازی‌ها به پیش‌بینی نتیجه‌ی یک بازی کمک می کند، پارامتر تعامل بین بازیکنان است. در واقع وقتی چند بازیکن با هم یک

---

۱ Learning data
۲ Aggregated Value
۳ Game Theory
۴ Coalition

www.SID.ir

Archive of SID

ائتلاف تشکیل می‌دهند، این ائتلاف ممکن است سازنده یا مخرب باشد [۱۶].

در یک تعامل سازنده قدرت یک ائتلاف از جمع قدرت‌های اعضای آن بیشتر است و در یک تعامل مخرب قدرت کل ائتلاف از جمع قدرت‌های تک تک اعضا کمتر است [۱۷, ۲۷]. در مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره گاهی امتیاز بالای یک گزینه در معیارهایی خاص به طور همزمان بسیار با ارزش‌تر از امتیاز بالا در تک‌تک آن معیارها است. مثلاً ممکن است سرعت باد و نزدیکی به خطوط انتقال نیرو باعث افزایش چشمگیر درجه تناسب اراضی برای تاسیس نیروگاه بادی شود در حالی که هر یک از آن‌ها به تنهایی چندان تاثیری روی درجه تناسب کاربری اراضی برای تاسیس نیروگاه بادی نداشته باشند. در این حالت می‌گویند معیارها با هم تعامل مثبت دارند یا مکمل می‌باشند و بالعکس اگر ارضای دو معیار به طور همزمان کم اهمیت‌تر از ارضای تک‌تک آن‌ها باشد، تعامل منفی بین دو معیار وجود دارد و معیارها دارای حالت افزونگی[۱] هستند [۱۴].

ایده‌ی اصلی برای بدست آوردن یک کمیت عددی برای تعامل بین معیارها توسط Murofushi و Soneda داده شد[۲۸]. آن‌ها رابطه‌ی (۹) را بر اساس محاسبه‌ی تفاضل اندازه‌گیری‌های فازی برای هر ائتلاف شامل i,j و همان ائتلاف بدون i,j ارائه کردند:

$$I_{i,j} = \sum_{K \subset X \setminus \{i,j\}} \frac{(n-|K|-2)!|K|!}{(n-1)!} [\mu(K \cup \{i,j\}) - \mu(K \cup \{i\}) - \mu(K \cup j) + \mu(K)] \quad (۵)$$

در این رابطه μ یک اندازه‌گیری فازی روی مجموعه‌ی همه‌ی معیارها (X) است. I_{ij} بیانگر مقدار تعامل بین معیارهای i,j است. مقدار I همواره در بازه‌ی [-1,1] است. هر قدر دو معیار بیشتر نقش مکملی داشته باشند مقدار I به یک نزدیکتر است و هر قدر دو معیار افزونه باشند مقدار I به منفی یک نزدیک خواهد بود برای دو معیار مستقل مقدار I برابر با صفر خواهد بود [۱۸].

[۱] Redundant

Grabisch مفهوم تعامل را برای بیش از دو معیار گسترش داد وی رابطه‌ی (۱۰) را برای بدست آوردن مقدار تعامل بین تمام معیارهای یک ائتلاف پیشنهاد کرد [۲۹]:

$$I(A) = \sum_{B \subset X \setminus A} \frac{(n-|B|-|A|)!|B|!)}{(n-|A|+1)!} \sum_{C \subset A} (-1)^{|A \setminus C|} \mu(C \cup B) \quad (۶)$$

در این رابطه μ یک اندازه‌گیری فازی روی A و X یک ائتلاف از معیارها است. I(A) بیانگر تعامل بین تمام معیارهای موجود در یک ائتلاف است. برای حالت دو معیاری $I(A) = I(\{i,j\})$ خواهد بود [۱۸].

۲-۳-۲- شاخص شیپلی

در نظریه بازی‌ها مقدار قدرت هر یک از بازیکن‌ها به تنهایی برابر با $\mu(\{i\})$ خواهد بود. اما بازیکن i می‌تواند با تمام بازیکن‌های دیگر یک بازی تعامل داشته باشد و می‌تواند به هر ائتلافی اضافه شود. بنابراین مقدار $\mu(\{i\})$ برابر قدرت بازیکن i به تنهایی است نه کل تاثیر بازیکن i در بازی. برای حل این مشکل Shapley سنجه‌ی زیر را معرفی کرد که به سنجه‌ی شیپلی معروف است[۳۰]:

$$v_i = \sum_{K \subset X \setminus i} \frac{(n-|K|-1)!|K|!}{n!} [\mu(K \cup \{i\}) - \mu(K)] \quad (۷)$$

در نظریه‌ی بازی‌ها سنجه‌ی شیپلی قدرت هر بازیکن در تغییر نتیجه‌ی بازی را نشان می‌دهد در حالی که در تصمیم‌گیری چند معیاره مقدار این سنجه بیانگر میزان تاثیر یک معیار خاص روی مقدار امتیاز تجمیع شده برای یک گزینه است [۱۸]. بنابراین، مقدار این سنجه برای هر معیار که بیشتر باشد میزان تاثیر آن معیار در نتیجه‌ی تصمیم‌گیری بیشتر خواهد بود. مقدار V_i عددی بین صفر تا یک است بطوریکه در رابطه‌ی $\sum_{i=1}^{n} v_i = 1$ صدق کند.

برای هر مقدار از μ یک بردار $v(\mu) = [v_1, v_2, ..., v_i]$ وجود دارد که بیانگر ویژگی آن اندازه‌گیری فازی است [۳۱].

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳-۳- وتو

یکی دیگر از پارامترهایی که تعیین کننده‌ی رفتار عملگر ساجنو می‌باشد میزان وتو برای هر معیار است. یک معیار وتوی کامل است اگر امتیاز پایین یک گزینه در این معیار سبب کم شدن مقدار تجمیع شده شود. بنابراین اگر j یک معیار وتو باشد عملگر تجمیع را می‌توان به صورت زیر تجزیه کرد [۳۲]:

$$H(a_1,...,a_j,...,a_n) = a_j \wedge G(a_1,...,a_{j-1},a_{j+1},...,a_n) \quad (۸)$$

در این رابطه a_j معیار وتو کامل نامیده می‌شود. هر معیار حتی اگر به طور کامل وتو نباشد، تا حدی رفتاری شبیه به وتو خواهد داشت. مقدار وتو برای هر معیار توسط Marichal به صورت رابطه‌ی زیر محاسبه شده است [۳۲]:

$$veto(C_\mu,i) = 1 - \sum_{T \subseteq N \setminus i} \frac{1}{(n-1)\binom{n-1}{t}} \mu(T) = 1 - \sum_{T \subseteq N \setminus i} \frac{n}{(n-1)(t+1)} m^\mu(T) \quad (۹)$$

هر قدر مقدار وتو به یک نزدیکتر باشد یعنی خاصیت وتو برای معیار i بیشتر است و هر قدر وتو به صفر نزدیکتر باشد یعنی معیار i دارای خاصیت وتوی کمتری است.

۲-۳-۴- درجه خوش‌بینی

پارامتر Orness میزان نزدیکی رفتار یک عملگر را به رفتار عملگر Or نشان می‌دهد. این پارامتر همچنین میزان خوش‌بینی یا بدبینی تصمیم‌گیرنده را مشخص می‌کند [۱۳]. برای اولین بار Dujmovic این مفهوم را برای عملگرهای تجمیع معرفی کرد [۳۳]. Marichal این مفهوم را برای عملگر انتگرال فازی بررسی کرد و رابطه‌ی (۱۴) را برای آن ارائه کرد [۳۲]:

$$Orness(C_\mu) = \sum_{T \subseteq N} \frac{1}{(n-1)\binom{n}{t}} \mu(T) \quad (۱۰)$$

که در آن μ اندازه‌گیری فازی روی X است. همانطور که از رابطه (۱۴) مشخص است مقدار Orness یک عملگر عددی در بازه‌ی [0,1] است. اعداد نزدیک به یک نشانگر نزدیکی به عملگر Or و میزان ریسک‌پذیری بالاست [۳۴]. این گونه عملگرها رفتار یک تصمیم‌گیرنده‌ی بسیار خوش‌بین را مدل می‌کنند. از طرف دیگر، اعداد نزدیک به صفر بیانگر عملگری با رفتار شبیه And هستند. اینگونه عملگرها که تصمیم‌گیری ریسک گریز را نشان می‌دهند، رفتار بدبینانه را مدل می‌کنند [۱۳].

۳- پیاده‌سازی

۳-۱- منطقه مطالعاتی

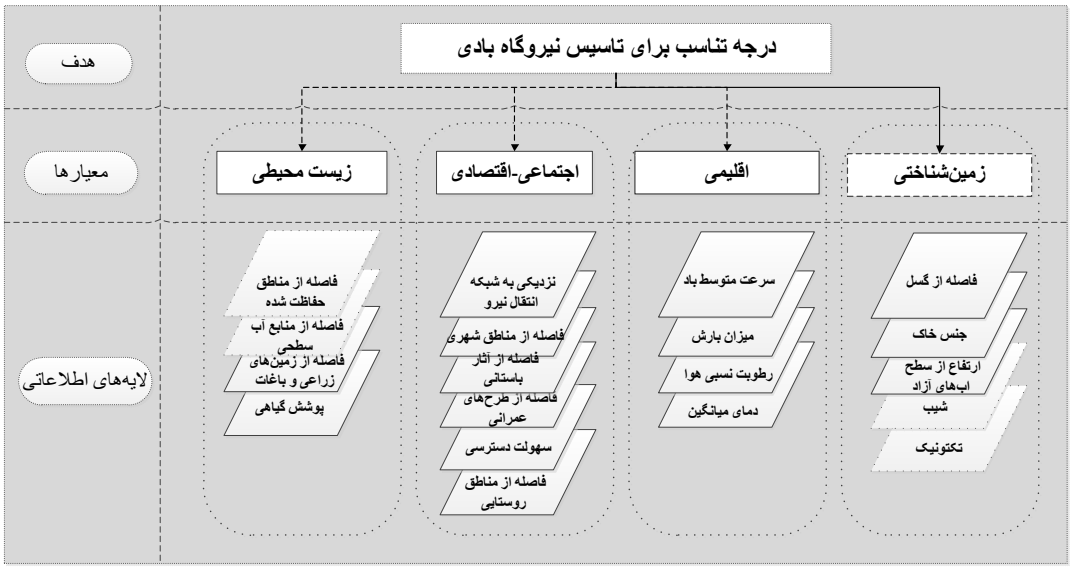
استان همدان به دلیل ویژگی‌های خاص جهت بررسی تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه بادی انتخاب شد. استان همدان دارای حدود ۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت و حدود ۱۸۰۰۰۰۰ نفر جمعیت می‌باشد. این استان بین مدارهای ۳۳ الی ۳۶ درجه شمالی و نصف‌النهار ۴۸ الی ۵۰ درجه شرقی قرار دارد [۳۵].

۳-۲- شناسایی معیارهای موثر

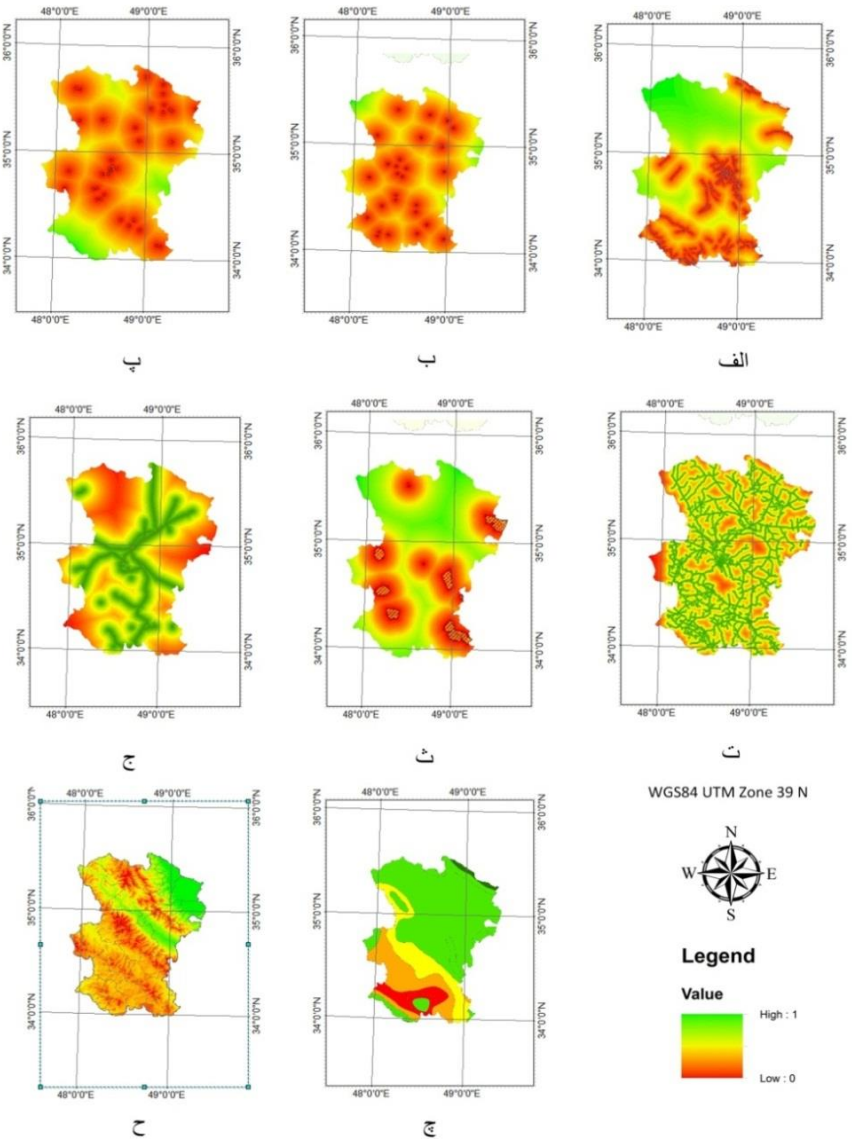
هدف از تاسیس نیروگاه بادی تولید انرژی الکتریکی از نیروی باد می‌باشد. بنابراین، هنگام انتخاب محل مناسب باید دقت لازم در تناسب محل انتخاب شده با هدف مورد نظر به عمل آید. از طرف دیگر، وجود یک نیروگاه در یک منطقه می‌تواند تاثیر به سزایی روی محیط اطراف بگذارد به همین دلیل محققان برای تعیین محل مناسب برای نیروگاه بادی چهار عامل کلی اجتماعی-اقتصادی، زیست محیطی، اقلیمی و زمین‌شناختی را در نظر گرفته‌اند [۵-۷, ۳۶]. شکل ۱ معیارهای به کار گرفته شده در تحقیقات قبلی را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- فاکتورهای موثر در تعیین درجه تناسب کاربری اراضی برای نیروگاه بادی



شکل ۲- لایه‌های اطلاعاتی نرمال شده وارد شده به مدل الف) فاصله از گسل ب) فاصله از شهرها پ) فاصله از آثار باستانی ت) سهولت دسترسی ث) فاصله از مناطق حفاظت شده ج) فاصله تا خطوط انتقال نیرو چ) سرعت متوسط باد ح) شیب

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲ لایه‌های اطلاعاتی نرمال شده مربوط به معیارهای به کارگرفته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. اگرچه معیارهای متعددی تا کنون مورد بررسی قرار گرفته است، در تحقیق حاضر به علت محدودیت در دسترسی به لایه‌های اطلاعاتی تنها معیارهای معرفی شده در جدول ۱ در این تحقیق استفاده شده است.

جدول ۱- لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در مدل

شماره	لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده	نماد
۱	سرعت میانگین باد در هر بخش از استان	W_Spd
۲	فاصله تا خطوط انتقال نیرو	D_Pow
۳	فاصله از مناطق شهری	D_Urb
۴	سهولت دسترسی (فاصله از شبکه‌ی راه‌های اصلی)	E_Acc
۵	شیب	Slp
۶	فاصله از گسل‌های موجود	D_Flt
۷	فاصله از مناطق حفاظت شده	D_prt
۸	فاصله از آثار باستانی	D_Ant

۳-۳- استخراج اندازه‌گیری‌های فازی از داده‌های نمونه

هنگام استفاده از انتگرال فازی مجهولات مسئله (اندازه‌گیری‌های فازی) می‌توانند با استفاده از داده‌های نمونه استخراج شوند. در تحقیق حاضر ابتدا ۱۰۰ پیکسل به صورت تصادفی انتخاب شدند و بر اساس نظر کارشناس یک شاخص بین صفر تا صد به آن‌ها اختصاص داده شد که نشان‌دهنده‌ی درجه تناسب هر پیکسل برای کاربری نیروگاه بادی است.

سپس با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری[۱] مقدار کمینه‌ی خطای مربعی (رابطه‌ی(۸)) محاسبه شده است و مجموعه‌ی اندازه‌گیری‌های فازی معادل به عنوان مجهولات محاسبه شده در نظر گرفته شده‌اند. الگوریتم رقابت استعماری با الهام از رقابت کشورهای استعمارگر در بدست آوردن مستعمرات بیشتر، مقدار بهینه برای تابع هدف را پیدا می‌کند [۳۷]. Rezaei and Boostani روش رقابت استعماری را به دلیل قابلیت بهینه سازی در فضای پیوسته و بهینه‌سازی مقید برای استخراج اندازه‌گیری‌های فازی به کار گرفتند [۳۸]. در تحقیق حاضر مراحل زیر بر پایه‌ی تحقیق [۳۸] جهت بدست آوردن مجهولات انجام گرفته است:

۱) تعداد ۵۰ مجموعه از اندازه‌گیری‌های فازی به صورت تصادفی به عنوان کشورهای حاضر در رقابت استعماری مقدار دهی اولیه می‌شوند:

$$\mu_i = [\mu_{ij}] = [\mu_\varnothing, \mu_1, ..., \mu_N] \quad i = 1, 2, ..., 50 \qquad (۱۱)$$

۲) در این مرحله باید تمام کشورهای حاضر (اندازه‌گیری‌های فازی) با توجه به قدرت هر استعمارگر مستعمره‌ی یکی از آن‌ها بشود برای این منظور ابتدا یک هزینه نرمال شده محاسبه می‌شود:

$$C_n = c_n - \max_i (c_i) \qquad (۱۲)$$

که c_n هزینه n امین استعمارگر و C_n هزینه نرمال شده آن است. تابع هزینه در این مسئله خطای مربعی است و از رابطه‌ی (۸) بدست می‌آید.

۳) حال باید قدرت هر استعمارگر با توجه به هزینه آن (تابع هدف) محاسبه شود:

$$p_n = \frac{|C_n|}{|\sum_{i=1}^{Nimp} C_i|} \qquad (۱۳)$$

۴) در این مرحله تعداد مستعمرات اولیه هر استعمارگر با توجه به قدرت آن تعیین می‌شود:

$$NC_n = round(p_n . N_{col}) \qquad (۱۴)$$

که در این رابطه NC_n تعداد کشورهای تحت استعمارگر n ام و N_{col} تعداد کل مجموعه‌های مستعمرات است.

۵) سیاست جذب:

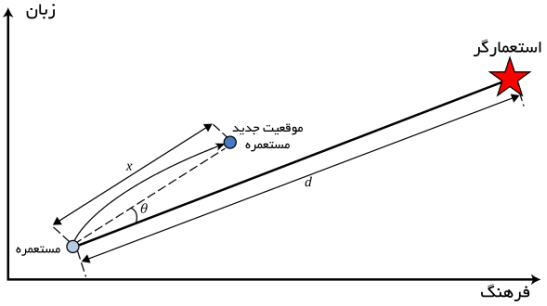
$$Pos_{i+1} = Pos_i + \gamma.\delta.d \qquad (۱۵)$$

[۱] Imperialist Competitive Optimization

www.SID.ir

Archive of SID

که در این رابطه Pos_i موقعیت کشور i ام، γ ضریب جابجایی، δ بردار جهت حرکت به سمت استعمارگر و d فاصله استعمارگر تا مستعمره است.



شکل ۳- حرکت مستعمرات به سمت استعمارگر [۳۸]

۶) محاسبه‌ی هزینه کل برای هر استعمارگر و مستعمراتش:

$$TC_n = \cos t(\text{Imp.}_n) + \%\zeta * \cos t(C\ln._i)\} \qquad (۱۶)$$

که در آن TC_n هزینه کل امپراتوری n ام و ζ یک عدد مثبت بین صفر تا یک است و معمولا برای همگرایی بهتر به صفر نزدیک است.

۷) رقابت استعماری. در این مرحله هر استعمارگر تلاش می‌کند مستعمرات دیگری را تحت سلطه خود درآورد. بنابراین، تحت یک احتمال هر مستعمره ممکن است به یک استعمارگر دیگر انتقال یابد:

$$P_n = \frac{|\text{TC}_n|}{|\sum_{i=1}^{Nimp} TC_n|} \qquad (۱۷)$$

که در آن P_n احتمال این است که مستعمره تحت استعمار استعمارگر n ام برود.

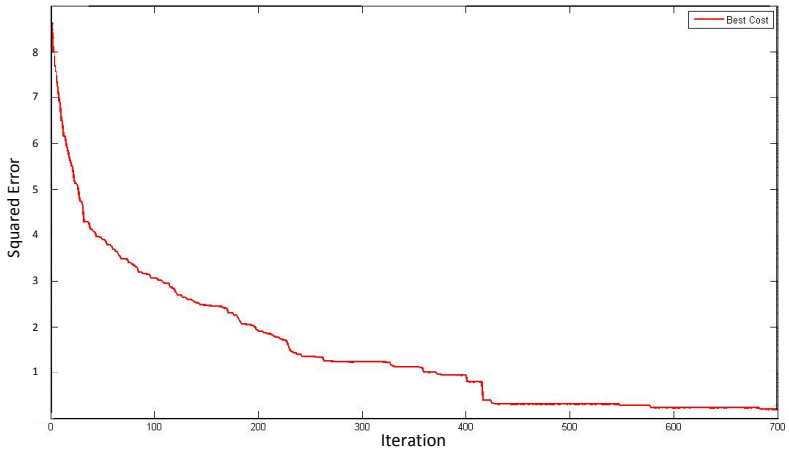
۸) بررسی شرط ختم حلقه که در اینجا از بین رفتن باقی امپراتوری‌ها است.

در این مسئله، اندازه‌گیری‌های فازی با کشورها مدلسازی می‌شوند و بهترین مجموعه از اندازه‌گیری‌های فازی بر اساس رقابت بین استعمارگران استخراج می‌شوند.

جدول ۲ مقادیر پارامترهای مدل را برای مسئله‌ی حاضر نشان می‌دهد. لازم به ذکر است مقادیر بهینه پارامترها برای همگرایی مدل بعد از چند بار تکرار بدست آمده است.

جدول ۲- پارامترهای مدل رقابت استعماری

تعداد امپراطوری	تعداد کشور	ζ	δ	γ
۱۰	۱۰۰	۰,۱	متغیر	۰,۰۵



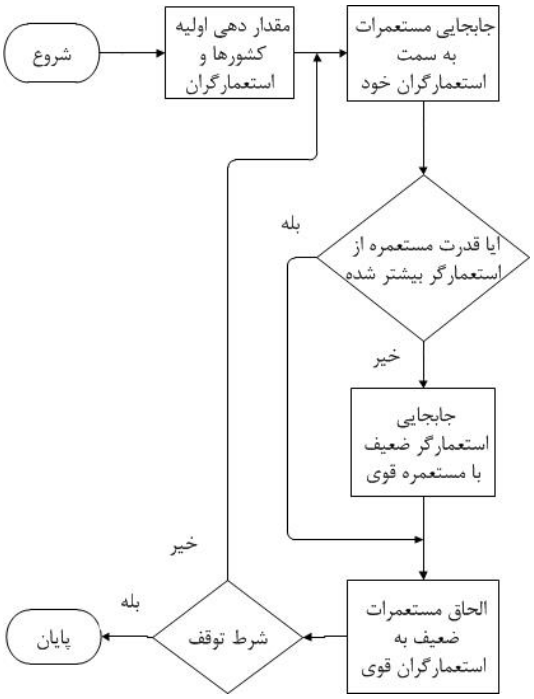
شکل ۴- نمودار همگرایی الگوریتم رقابت استعماری

جدول ۳- تعدادی از اندازه‌گیری‌های فازی استخراج شده

اندازه‌گیری فازی	مقدار	اندازه‌گیری فازی	مقدار
μ_1	0.00017	μ_3	0.00008
μ_{25}	0.00183	μ_{36}	0.00271
μ_{568}	0.00792	μ_{237}	0.00675
μ_{24568}	0.0584	μ_{12457}	0.0814
μ_{135678}	0.195	μ_{123567}	0.289

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری

شکل ۴ نمودار همگرایی الگوریتم را نشان می‌دهد. بعد از حدود ۶۰۰ تکرار مقدار بهینه اندازه‌گیری فازی با توجه به ترجیحات کارشناس بدست آمده است. جدول ۳ نشان دهنده‌ی تعدادی از اندازه‌گیری‌های فازی بدست آمده می‌باشد. جدول ۳ مقادیر تعدادی از اندازه‌گیری‌های فازی بدست آمده را نشان می‌دهد. μ_1 اهمیت ارضای معیار اول را به تنهایی از دید کارشناس نشان می‌دهد در حالی که μ_{36} میزان اهمیت ارضای همزمان دو معیار ۳ و ۶ و عدم ارضای معیارهای دیگر را مشخص می‌کند. واضح است هر قدر تعداد معیارها بیشتر می‌شود، اندازه‌گیری فازی مربوط به آن نیز بیشتر می‌شود.

۳-۴- بررسی دیدگاه کارشناسان با استفاده از نظریه بازی‌ها

در این بخش از پارامترهای نظریه‌ی بازی‌ها که قبلا معرفی شدند استفاده شده است تا ترجیحات ذهنی کارشناس از میان اندازه‌گیری‌های فازی استخراج شود.

۳-۴-۱- تعامل

مفهوم پارامتر تعامل در مسئله‌ی حاضر به این معنی است که هر مقدار تعامل به یک نزدیک باشد ارضای دو معیار به طور همزمان تاثیر به سزایی روی درجه تناسب آن پیکسل برای احداث نیروگاه بادی دارد. اگر تعامل بین دو معیار منفی باشد به این معنی است که از دید کارشناس اگر یک پیکسل دارای امتیاز بالایی در هر رو معیار باشد این حالت ارزش افزوده‌ای برای آن پیکسل ندارد. جدول ۴ مقدار تعامل را بین معیارهای مسئله نشان می‌دهد که با استفاده از رابطه‌ی (۹) و اندازه‌گیری‌های فازی استخراج شده بدست آمده است.

جدول ۴- تعامل بین معیارهای بکار گرفته شده در تحقیق

معیارها	W_Spd	D_Pow	D_Urb	E_Acc	Slp	D_Flt	D_Prt	D_Ant
W_Spd		۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۳۵
D_Pow			۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۳۴	۰/۳۱
D_Urb				۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۲۲
E_Acc					۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۸
Slp						۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۹
D_Flt							۰/۱۴	۰/۲۱
D_prt								۰/۱۱
D_Ant								

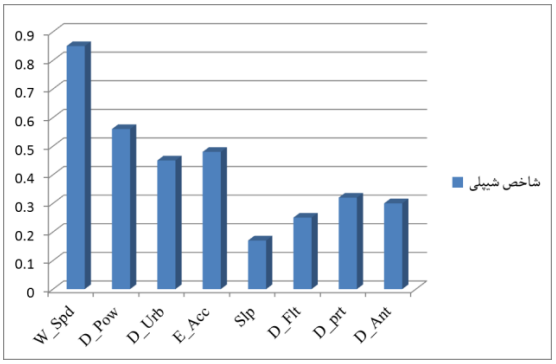
با توجه به مقادیر تعامل در جدول ۴ می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بر مبنای ترجیحات کارشناس دو معیار سرعت باد و نزدیکی به خطوط انتقال نیرو دارای بیشترین تعامل مثبت می‌باشند. به عبارت دیگر، امتیاز بالای یک گزینه در این دو معیار باعث ارجحیت بسیار زیاد آن گزینه خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۴-۲- شاخص شیپلی

در مسئله‌ی حاضر شاخص شیپلی میزان اهمیت یک معیار در فرایند تعیین درجه تناسب اراضی برای نیروگاه بادی را نشان می‌دهد. شکل ۶ مقادیر محاسبه شده‌ی شاخص شیپلی را برای معیارهای مسئله نشان می‌دهد.

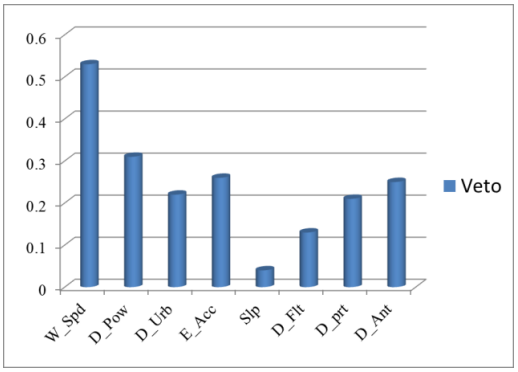


شکل ۶- شاخص شیپلی برای معیارهای بکار گرفته شده

شکل ۶ نشان می‌دهد معیار سرعت متوسط باد بیشترین اهمیت را از دید کارشناس دارد. همچنین پس از آن معیارهای نزدیکی به خطوط انتقال نیرو، سهولت دسترسی و دوری از مناطق شهری دارای اولویت می‌باشند.

۳-۴-۳- وتو

پارامتر وتو مشخص کننده‌ی قدرت هر معیار در وتو کردن نتیجه‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره است. شکل ۷ میزان وتو را برای هر معیار نشان می‌دهد. با توجه به این شکل معیار سرعت متوسط باد در منطقه قوی‌ترین نقش وتو کننده را دارا می‌باشد. به عبارت دیگر، اگر یک گزینه (پیکسل) دارای سرعت باد کم باشد بنابر خاصیت وتوی زیاد این معیار، آن گزینه امتیاز بالایی در مسئله‌ی ارزیابی درجه تناسب اراضی برای نیروگاه بادی نخواهد داشت.



شکل ۷- شاخص وتو برای معیارهای بکار گرفته شده

۳-۴-۴- درجه خوش‌بینی

تحلیل دقیق و علمی جواب‌های حاصل از یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره نیازمند اطلاعاتی در رابطه با نقطه نظر کارشناس است. با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های فازی در تعیین درجه تناسب اراضی نقش بسزایی دارند، و اندازه‌گیری‌های فازی از نظرات کارشناس استخراج می‌شوند بنابراین دیدگاه خوش‌بینانه یا بد بینانه‌ی کارشناس می‌تواند تا حد زیادی نتایج حاصله را تغییر دهد. در مدل ارائه شده راه حلی برای تعیین درجه خوش‌بینی در نظر گرفته شده است که به کمک رابطه‌ی ۸ محاسبه می‌شود. در مسئله‌ی حاضر درجه خوش‌بینی کارشناس مقدار ۰/۶۷ می‌باشد که نشانگر دیدگاه خوش‌بینانه‌ی کارشناس به مسئله است. مقادیر بزرگتر از ۰/۵ نشانگر خوش‌بینی کارشناس و مقادیر کوچکتر از یک آن نشانگر دیدگاه بدبینانه‌ی کارشناس است. با توجه به اینکه کارشناس استفاده شده در این مسئله دیدگاه خوشبینانه دارد می‌توان نتیجه گیری کرد که ممکن است درجات تناسب کاربری که به هر پیکسل از منطقه اختصاص داده شده است کمی بیشتر از مقدار حقیقی آن باشد.

۳-۵- تعیین درجه تناسب اراضی

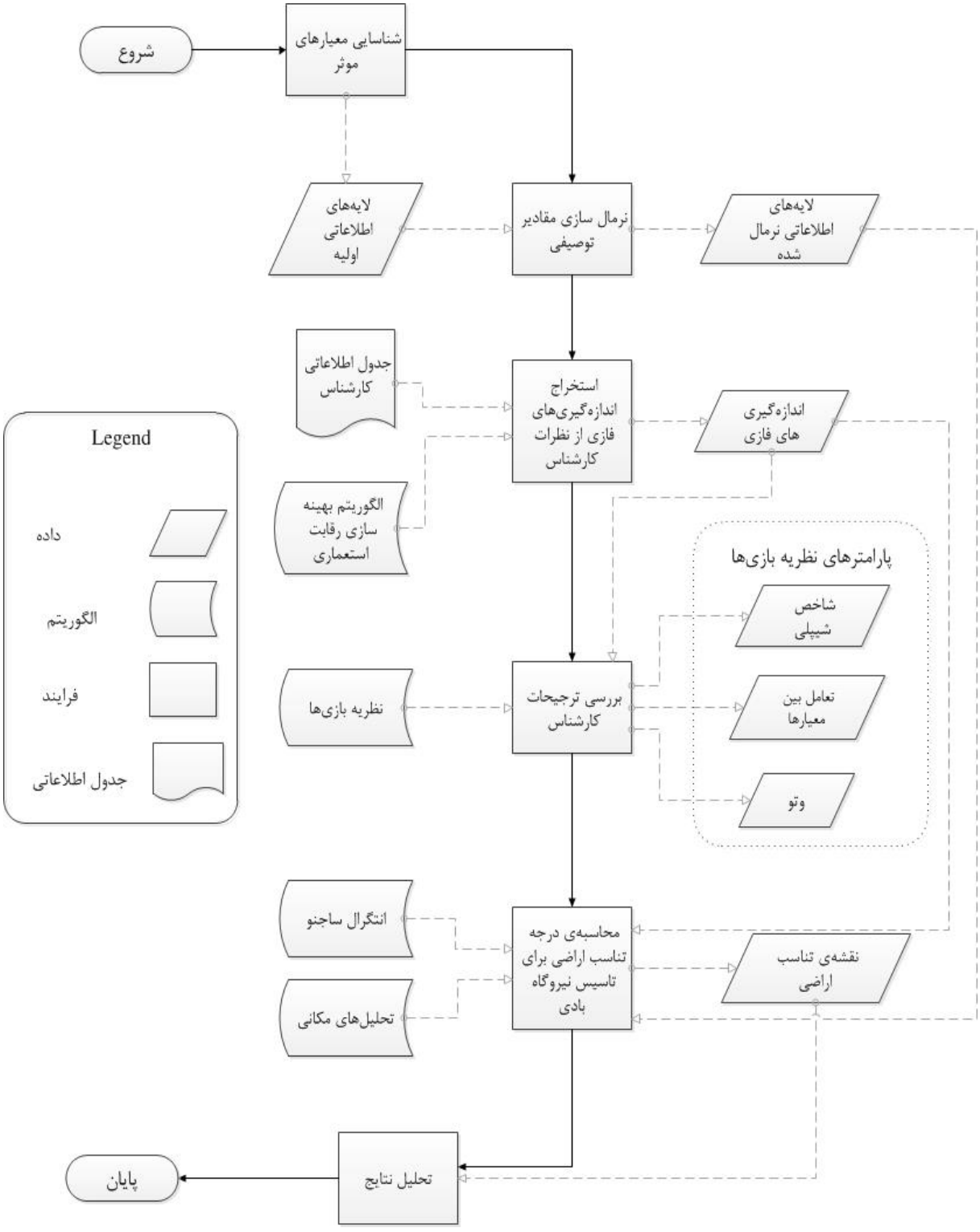
برای پیاده‌سازی مدل تصمیم‌گیری چند معیاره پیشنهاد شده در مسئله‌ی حاضر مراحل نشان داده شده در شکل ۸ انجام شده است. در ابتدا با هدف مدلسازی تعامل بین معیارها روش تصمیم‌گیری چند معیاره بر مبنای انتگرال ساجنو انتخاب شد. از نظریه‌ی بازی‌ها به منظور بررسی و استخراج پارامترهای مربوط به دیدگاه کارشناسان در مدل استفاده شد. در مرحله‌ی اول برای یکصد داده‌ی نمونه درجه تناسب توسط کارشناسان تعیین شد و در غالب جدول اطلاعاتی وارد مسئله شد. در ادامه از روش بهینه‌سازی رقابت استعماری برای استخراج اندازه‌گیری‌های فازی استفاده شده است.

بعد از آن بوسیله‌ی اندازه‌گیری‌های فازی و رابطه‌ی (۷) مقدار درجه تناسب برای هر پیکسل محاسبه شد. نظریه‌ی بازی‌ها در این مرحله به کارگرفته شده است تا میزان تعامل بین معیارها از دید کارشناس، نقش هر معیار در تعیین درجه تناسب، قدرت وتو هر معیار و درجه

www.SID.ir

Archive of SID

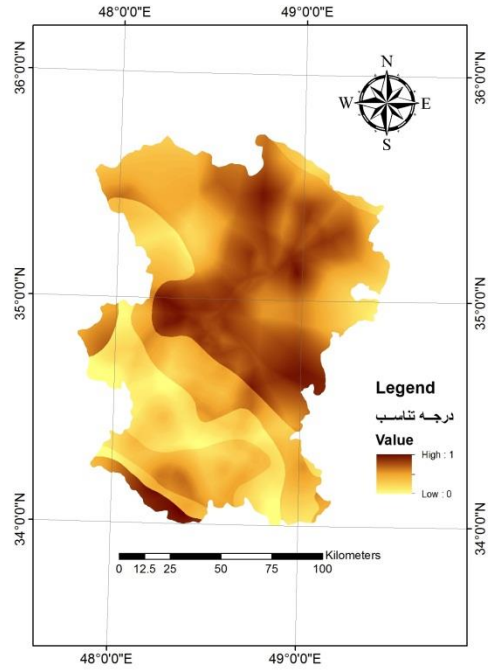
خوش‌بینی کارشناس محاسبه شود. در مرحله آخر نیز از سیستم اطلاعات مکانی برای ذخیره، کلاسه‌بندی و نمایش داده‌ها استفاده شده است. شکل ۹ درجه تناسب اراضی استان همدان برای کاربری نیروگاه بادی را نشان می‌دهد.



شکل ۸- مراحل مدل پیشنهادی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- درجه تناسب اراضی استان همدان برای تاسیس نیروگاه بادی

شکل ۹ نشان می‌دهد درجه تناسب اراضی برای تاسیس نیروگاه بادی در مناطق مختلف به شدت متفاوت است و عدم دقت در تعیین صحیح مکان می‌تواند مشکلاتی را بوجود بیاورد.

۴- اعتبارسنجی

یکی از مهمترین بخش‌های هر تحقیق، سنجش قابلیت اعتماد نتایج است. برای سنجش میزان صحت نتایج هر مدلسازی دو روش کلی موجود است [۳۹]: مقایسه با دنیای واقعی یا مقایسه با نتایج مدلسازی‌های دیگر. Ahmed Chandio و همکاران روشی بر مبنای سنجش شباهت بین دو مدل برای اعتبارسنجی نتایج ارائه کردند [۴۰]. در این روش میزان شباهت بین دو دسته نتایج با کمک ضریب همبستگی اسپیرمن[۱] محاسبه می‌شود [۴۰]:

$$r_s = 1 - \left| \frac{6\sum_{i=1}^{N} D_i^2}{N*(N^2-1)} \right| \qquad (۱۸)$$

[۱] Spearman correlation coefficient

که در آن D_i اختلاف امتیاز گزینه‌ی i ام در دو روش و N تعداد کل گزینه‌های موجود در مسئله است. R_s ضریب همبستگی بین دو سری نتایج است که مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده‌ی همبستگی مثبت، مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده‌ی عدم همبستگی و مقادیر نزدیک به ۱- نشان‌دهنده‌ی همبستگی معکوس بین نتایج است [۴۰]. همچنین مقادیر بالاتر از ۸۰٪ همبستگی بین دو روش، برای تائید یکسانی نتایج قابل قبول است [۴۰]. در این تحقیق برای اعتبارسنجی مدل، نتایج با روش‌های AHP و OWA مقایسه شده است که مقدار ضریب همبستگی به ترتیب ۸۹٪ و ۸۳٪ می‌باشد که بیانگر تائید نتایج روش ارائه شده توسط دو روش دیگر می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

مسئله مکانیابی بهینه برای تاسیس نیروگاه بادی از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا انتخاب محل‌های نامناسب منجر به افزایش هزینه‌های جانبی و ایجاد مشکلات فراوان زیست‌محیطی می‌شود. ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و الگوریتم‌های تحلیل چند معیاره ابزار قدرتمندی برای ارزیابی درجه تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه‌های انرژی‌های نو می‌باشد زیرا سیستم اطلاعات مکانی ذخیره، محاسبه و نمایش داده‌های مکانی را میسر می‌کند در حالی که روش‌های تحلیل چند معیاره بررسی کیفیت گزینه‌های مختلف را برای یک مسئله ممکن می‌سازد.

در این تحقیق یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی بر مبنای انتگرال ساجنو و نظریه بازی‌ها ارائه شده است. مزیت اصلی این روش بهبود روش‌های قبلی به کمک لحاظ کردن تاثیر تعامل بین معیارها در فرایند تصمیم‌گیری می‌باشد. از دیگر قابلیت‌های این مدل می‌توان به ارائه‌ی تعدادی از پارامترهای نظریه بازی‌ها برای بررسی و مشخص کردن ترجیحات ذهنی کارشناس در تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی اشاره کرد.

در قسمت مطالعه موردی، مسئله‌ی ارزیابی درجه تناسب اراضی استان همدان برای احداث نیروگاه بادی به کمک مدل ارائه شده پیاده‌سازی شده است. در این تحلیل، هشت پارامتر شامل سرعت باد، سهولت دسترسی، نزدیکی به خطوط انتقال نیرو، فاصله از مناطق شهری و ...

www.SID.ir

Archive of SID

به مدل وارد شده‌اند. با محاسبه پارامترهای نظریه بازی‌ها برای معیارهای این مسئله مشخص شد معیار سرعت باد مهمترین معیار از دید کارشناس و همچنین قوی‌ترین وتو در بین معیارها می‌باشد و نیز معیار شیب دارای کمترین اهمیت و همچنین کمترین قدرت وتو کنندگی می‌باشد. تعامل بین اکثر معیارها مقداری مثبت بود که نشان‌گر عدم وجود افزونگی یا استقلال بین معیارها می‌باشد.

بیشتر مناطق جنوبی این استان به دلیل پتانسیل باد کم درجه تناسب کمتری نسبت به مناطق شمالی و مرکزی دارند.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مدل ارائه شده برای حالت تصمیم‌گیری گروهی با چند کارشناس گسترش یابد. همچنین از روش‌های مدیریت عدم قطعیت برای افزایش قابلیت اعتماد مدل استفاده شود.

مراجع

[1] Nelson, V. (2013). "Wind Energy: Renewable Eenergy and the Environment" CRC Press.

[2] Armaroli, N. and Balzani, V. (2011). "Energy for a Sustainable World". Wiley-VCH, Weinheim.

[3] Mirhosseini, M., Sharifi, F., and Sedaghat, A. (2011). "Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran". Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 15, pp. 449-459.

[4] Baban, S. M. and Parry, T. (2001). "Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK". Renewable Energy. vol. 24, pp. 59-71.

[5] Ramachandra, T. and Shruthi, B. (2005). "Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS". Energy Conversion and Management. vol. 46, pp. 1561-1578.

[6] Aydin, N. Y., Kentel, E., and Duzgun, S. (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, pp. 364-373.

[7] Al-Yahyai, S., Charabi, Y., Gastli, A., and Al-Badi, A. (2012). "Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis". Renewable Energy. vol. 44, pp. 80-87.

[8] Azizi, A., Malekmohammadi, B., Jafari, H. R., Nasiri, H., and Parsa, V. A. (2014). "Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province, Iran". Environmental Monitoring and Assessment. vol. 186, pp. 6695-6709.

[9] Gao, X., Yang, H., and Lu, L. (2014). "Study on offshore wind power potential and wind farm optimization in Hong Kong". Applied Energy. vol. 130, pp. 519-531.

[10] Yeh, T.-M. and Huang, Y.-L. (2014). "Factors in determining wind farm location: Integrating GQM, fuzzy DEMATEL, and ANP". Renewable Energy. vol. 66, pp. 159-169.

[11] Azadeh, A., Rahimi-Golkhandan, A., and Moghaddam, M. (2014). "Location optimization of wind power generation–transmission systems under uncertainty using hierarchical fuzzy DEA: a case study". Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 30, pp. 877-885.

[12] Mekonnen, A. D. and Gorsevski, P. V. (2015). "A web-based participatory GIS (PGIS) for offshore wind farm suitability within Lake Erie, Ohio". Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 41, pp. 162-177.

[13] Moradi, M., Delavar, M.R. and Moshiri, B. (2016). "A GIS-Based Multi-Criteria Analysis Model for Earthquake Vulnerability Assessment using Choquet Integral and Game Theory: A Case Study of Tehran, Iran". Natural Hazards.

[14] Grabisch, M. (1995). "Fuzzy integral in multicriteria decision making". Fuzzy Sets and Systems. vol. 69, pp. 279-298.

[15] Grabisch, M. (1996). "The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making". European Journal of Operational Research. vol. 89, pp. 445-456.

[16] Marichal, J.-L. (2000). "On Sugeno integral as an aggregation function". Fuzzy Sets and Systems. vol. 114, pp. 347-365.

[17] Grabisch, M. and Labreuche, C. (2008). "A decade of application of the Choquet and Sugeno integrals in multi-criteria decision aid". Operational Research. vol. 6, pp. 1-44.

[18] Grabisch, M. (2003). “The symmetric Sugeno integral". Fuzzy Sets and Systems. vol. 139, pp. 473-490.

[19] Sugeno, M. (1974). "Theory of fuzzy integrals and its applications" Tokyo Institute of Technology.

www.SID.ir

Archive of SID

[20] Asadzadeh, A., Kötter, T. and Zebardast, E. (2015). "An agumented approach for measuring disaster resilience using hybrid factor analysis and analytic network analysis (F'ANP) model". International Journal of Disaster Risk Reduction (IJDRR), vol. 14(4), pp. 504-518.

[21] Sheikhian, H., Delavar, M.R. and Stein, A. (2015). "Predictive Modelling of Seismic Hazard Applying Naïve Bayes and Granular Computing Classifiers". Procedia Environmental Sciences, vol. 26, pp. 49-52.

[22] Wang, X.-Z., He, Y.-L., Dong, L.-C., and Zhao, H.-Y. (2011). "Particle swarm optimization for determining fuzzy measures from data ."Information Sciences. vol. 181, pp. 4230-4252.

[23] Nisan, N., Roughgarden, T., Tardos, E., and Vazirani, V. V. (2007). "Algorithmic game theory" vol. 1: Cambridge University Press Cambridge.

[24] Moradi, M., Delavar, M. R., and Moshiri, B. (2015). "A GIS-based multi-criteria decision-making approach for seismic vulnerability assessment using quantifier-guided OWA operator: a case study of Tehran, Iran". Annals of GIS, 21(3), 209-222.

[25] Moradi, M., Delavar, M. R., and Moradi, A. (2015). "A GIS-Based Model for Post-earthquake Personalized Route Planning using the Integration of Evolutionary Algorithm and OWA". ISSPRS-International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science , XL-1-W5, 509-514.

[26] Grabisch, M. and Labreuche, C. (2010). "A decade of application of the Choquet and Sugeno integrals in multi-criteria decision aid". Annals of Operations Research. vol. 175, pp. 247-286.

[27] Grabisch, M. and Roubens, M. (2000). "Application of the Choquet integral in multicriteria decision making". Fuzzy Measures and Integrals. pp. 348-375.

[28] Murofushi, T. and Soneda, S. (1993). "Techniques for reading fuzzy measures (III): interaction index," in 9th Fuzzy System Symposium, pp. 693-696.

[29] Grabisch, M. (1997). " k-order additive discrete fuzzy measures and their representation". Fuzzy Sets and Systems. vol. 92, pp. 167-189.

[30] Shapley ,L. S. (1952). "A value for n-person games," DTIC Document.

[31] Moradi, M., M. R. Delavar, B. Moshiri, and F. Khamespanah. (2014). "A Novel Approach to Support Majority Voting in Spatial Group Mcdm Using Density Induced Owa Operator for Seismic Vulnerability Assessment." ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 1, 209-214.

[32] Marichal, J.-L. (2007). " k-intolerant capacities and Choquet integrals". European Journal of Operational Research. vol. 177, pp. 1453-1468.

[33] Dujmovic, J. J. (1974). "Weighted conjunctive and disjunctive means and their application in system evaluation". Univ. Beograd. Publ. Elektrotechn .Fak. vol. 483, pp. 147-158.

[34] Malczewski, J. (2006). "GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature". International Journal of Geographical Information Science. vol. 20, pp. 703-726.

[35] Delavar, M. R., Moradi, M. and Moshiri., B. (2015). "Earthquake Vulnerability Assessment for Hospital Buildings Using a Gis-Based Group Multi Criteria Decision Making Approach: a Case Study of Tehran, Iran". ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1-W5, 2015, pp.153-157.

[36] Khamespanah, F., Delavar, M.R., Moradi, M. and Sheikhian, H. (2016). "A Novel GIS-Based MCDM Approach for Uncertainty Reduction in Seismic Vulnerability Assessment using the Integration of Granular Computing and Dempster-Shafer Theory: A Case Study of Tehran, Iran ". Geodesy and Cartography. vol. 42, pp.

[37] Atashpaz-Gargari, E. and Lucas, C. (2007). "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition," in Evolutionary computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on, pp. 4661-4667.

[38] Rezaei, M. and Boostani, R. (2014). "Fuzzy rule weights optimization based on Imperialist Competitive Algorithm," in Intelligent Systems (ICIS), Iranian Conference on, pp. 1-6.

[39] Abedini, A., Lotfian, M., and Moradi, M. (2015). "Land Use Compatibility Assessment using A Modified TOPSIS Model: A Case Study of Elementary Schools in Tehran". ISPRS-International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science., XL-1-W5, 5-10.

[40] Ahmed Chandio, I., Matori, A. N., WanYusof, K., and Hussain Talpur, M. A. (2013). "Validation of Multi-Criteria Decision Analysis Model of Land Suitability Analysis for Sustainable Hillside Development". European Journal of Scientific Research. Vol. 4, pp. 25-37.

www.SID.ir