ارائه مدلی ترکیبی در GIS برمبنای روش PROMETHEE و الگوریتم PSO برای تعیین اماکن مناسب جهت احداث بیمارستان

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۰۹/۰۵

ندا کفاش چرندابی* (دانشجوی دکتری GIS، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

علی اصغر آل شیخ (دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

چکیده

احداث تأسیسات زیربنایی به ویژه تأسیسات بهداشتی-درمانی در تمامی کشورها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. ساخت بیمارستان جدید در یک منطقه نیازمند انجام مطالعات گسترده‌ای می‌باشد تا بهترین مکان به لحاظ ویژگی‌های مکانی، زمانی، محیطی، اجتماعی و اقتصادی انتخاب گردد. برای دستیابی به یک انتخاب دقیق و علمی، تحقیق حاضر بر آن است تا در قالب یک فرآیند ترکیبی متشکل از سه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و PROMETHEE به تعیین بهترین مکان برای احداث بیمارستان جدید در منطقهٔ سه شهر تهران بپردازد. بدین صورت که پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز (شامل فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از گسل، تراکم جمعیت، آلودگی و زمان سفر) در GIS، وزن هریک از این لایه‌ها توسط روش AHP و بر مبنای نظر کارشناس مشخص می‌شود. سپس به کمک معیارهای انتخابی، وزن‌های برآورد شده و الگوریتم PSO یک مجموعه‌ی ۳۰ عضوی از اماکن مناسب برای احداث بیمارستان تعیین می‌شود. در گام نهایی مکان بهینه برای احداث بیمارستان به کمک روش PROMETHEE از میان نقاط پیشنهادی انتخاب می‌شود. با اجرای روند ترکیبی پیشنهادی بهترین محل برای احداث بیمارستان جدید انتخاب شد. با احداث بیمارستان جدید درصد پوشش ایجاد شده توسط بیمارستان‌ها در منطقه نسبت به حالت قبل به میزان ۵.۷ درصد افزایش خواهد یافت.

واژه های کلیدی:

GIS، روش های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مکانیابی، PROMETHEE، AHP ، PSO

*نویسنده رابط: n_kaffash@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

در سال های اخیر با گسترش مناطق شهری و افزایش جمعیت، نرخ تقاضا برای ساخت تأسیسات خدماتی و زیربنایی به ویژه بیمارستان، آتش‌نشانی، پارکینگ و مواردی از این دست افزایش چشمگیری پیدا کرده است. انتخاب مکان بهینه برای ساخت بیمارستان جدید متأثر از عوامل مکانی، زمانی، محیطی، اجتماعی و اقتصادی زیادی می‌باشد که در مطالعات گوناگونی در حالات قطعی (Murad., 2007 ; Sadoun, Al- Bayari., 2007) و غیر قطعی (فازی) (Vahidnia, et al., 2009) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به وجود معیارهای مختلف و متعارض در فرآیند انتخاب محل جدید برای احداث بیمارستان، این فرآیند یک فرآیند نیمه ساختاریافته است که روش های تصمیم‌گیری چند شاخصه[1] (MADM) یک راه‌حل مناسب برای ارزیابی گزینه‌های موجود در آن می‌باشد (Vahidnia, et al., 2009).

در تحلیل‌های مبتنی بر MADM، هدف تعیین اولویت‌دارترین گزینه (یا مجموعه‌ای از گزینه‌ها) یا رتبه‌بندی گزینه‌ها است، بنابراین تصمیم‌گیری‌های چند شاخصه انتخاب‌گر می‌باشند. روش های گوناگونی برای بررسی مسائل MADM ارائه شده است که اجرای هر کدام از آن ها در یک مسأله واحد، منجر به دستیابی به نتایج متفاوتی می‌شود (اصغرپور، ۱۳۸۸). در سال های اولیه گسترش مدلهای تصمیم‌گیری، به انتخاب این روش ها توجه خاصی نمی‌شد، اما امروزه واضح است که یک انتخاب نادرست می‌تواند نتایجی مانند احتمال دستیابی به پاسخ غیر بهینه، صرف زمان و منابع مالی بیش از اندازه و منصرف شدن کاربران بالقوه از روش های تصمیم‌گیری چند شاخصه را در برداشته باشد (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶).

در سال های اخیر روش PROMETHEE[2] به عنوان یکی از کارآمدترین روش های MADM مورد توجه محققان قرار گرفته است. این روش بر پایه مقایسات زوجی شکل گرفته است که به کمک مفهوم روابط فرارتبه‌ای[3] به رتبه‌بندی گزینه‌های مطرح در مسائل تصمیم‌گیری می‌پردازد (Figueira, et al., 2005).

روش های فرارتبه‌ای و به‌طور اخص روش PROMETHEE در مسائل بهینه‌سازی و مکانیابی به صورت کاملاً توانمند و کارامد مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Balasubramaniam, et al., 2007؛ Banias, et al., 2010؛ Huang, et al.,2010). لیکن در اکثر مطالعات صورت گرفته، بررسی مسأله در حالت گسسته (با تعداد گزینه‌های محدود) انجام شده است. چنین

[1] . Multi Attribute Decision Making
[2] . Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations
[3] . Outranking

Archive of SID

www.SID.ir

فرضی به دلیل نیازمندی این روش ها به مقایسات زوجی تک تک گزینه‌ها است. چراکه با افزایش تعداد گزینه‌ها انجام مقایسات زوجی نیازمند حافظه و قدرت پردازش بالا در کامپیوتر و صرف زمان بسیار زیادی می‌شود که در برخی مواقع نیز به دلیل افزایش بسیار زیاد تعداد گزینه‌ها، حل مسأله ناممکن می‌شود (Marinoni., 2006).

به دلیل توانمندی روش های فرارتبه‌ای و ضرورت بهره‌گیری از آنها در GIS، بهتر است که این مشکل با کاهش تعداد گزینه‌ها حل شود. این چالش با تحقیقات گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه Joerin و همکاران برای کاهش تعداد گزینه‌ها به ادغام گزینه‌ها برمبنای ویژگی‌های توپولوژیکی و مکانی پرداختند (Joerin, et al., 2001) و یا Marinoni با تکرار آنالیزهای فرا رتبه‌ای در چندین مرحله به کمک تیسن‌پلی‌گون‌ها[1] تعداد گزینه‌ها را کاهش داد (Marinoni., 2006). علی رغم مزایای ویژه هریک از مطالعات صورت گرفته، یکی دیگر از راهکارهای مؤثر برای کاهش تعداد گزینه‌ها استفاده از فرآیندهای ترکیبی می‌باشد که کم تر مورد توجه محققین قرار گرفته است. یکی از الگوریتم‌های پیشنهادی برای ترکیب با روش PROMETHEE الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات[2] (PSO) می‌باشد.

PSO یکی از الگوریتم‌های هوش جمعی است که در زمینه بهینه‌سازی ایستا و پویا بسیار پرکاربرد دارد. این الگوریتم یک روش سراسری کمینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان مسائلی را که جواب آن ها یک نقطه یا سطح در فضای n بعدی می‌باشد، بررسی نمود (Kennedy, Eberhart., 1995).

الگوریتم‌های فرا ابتکاری و به طور اخص الگوریتم PSO به صورت کاملاً موفقیت آمیز در مسائل مکانیابی پیاده‌سازی شده و مورد مقایسه قرار گرفتند. تحقیقات (Reche-López, et al., 2009; Vera, et al., 2010; Reche-López, et al., 2008; Gómez, et al., 2010) در زمینه مکانیابی تسهیلات مولد انرژی با مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری مختلف، (Tzeng, Chen., 1999) در تعیین عدد بهینه و مناطق مناسب برای ایستگاه‌های آتش‌نشانی در فرودگاه بین‌المللی Taipei و (Huang, et al., 2006) در استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها در محیط GIS برای حل مسأله پوشش عوارض خطی نمونه‌هایی از مطالعات صورت گرفته می‌باشند. تمامی تحقیقات صورت گرفته در این زمینه مؤید توانمندی الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای تحلیل بسیار سریع مسائل در حالت گسسته و پیوسته می‌باشد.

---

[1] . Thiessen polygons
[2]. Particle Swarm Optimization

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین با توجه به قابلیت‌های فراوان این الگوریتم‌ها برای تحلیل مسائل با داده‌هایی در ابعاد بزرگ، تحقیق حاضر در قالب یک فرآیند ترکیبی به بررسی مکان های مناسب برای احداث بیمارستان می‌پردازد. بدین صورت که ابتدا لایه‌های اطلاعاتی پراهمیت در احداث بیمارستان شامل فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از گسل، تراکم جمعیت، آلودگی و زمان سفر در محیط ArcGIS®™ آماده شده و سپس به دلیل ماهیت غیر دقیق این عوامل و نامشخص بودن مرز دقیق نواحی، فازی‌سازی انجام گردید. در گام بعدی وزن معیارهای انتخابی برمبنای روش AHP محاسبه شد. در ادامه و برای بررسی دقیق تمامی منطقه مطالعاتی و انتخاب مجموعه نقاط مطلوب برای ساخت بیمارستان الگوریتم PSO اجرا گردید. به عبارت ساده‌تر در این مرحله بهینه‌های محلی (نه سراسری) و اشتباهات زدوده می‌شود و تعداد گزینه‌ها کاهش می‌یابد. سپس مجموعه اماکن بهینه به دست آمده از این مرحله برای بررسی های دقیق‌تر وارد روش PROMETHEE شد. در نهایت نیز جواب به دست آمده از فرآیند پیشنهادی تحقیق بر مبنای شاخص دسترسی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۱- مواد و روش ها

۲-۱- روش AHP

مسائل MCDM با معیارهایی سر و کار دارند که از اهمیت متفاوتی برای تصمیم‌گیران برخوردارند. لذا لزوم برآورد اوزان معیارهای مطرح در مسأله تصمیم‌گیری کاملاً مشهود می‌باشد (مالچفسکی، ۱۳۸۵). وزن معیارها توسط تصمیم‌گیران برآورد می‌شود و یا به کمک روش هایی نظیر روش های رتبه‌بندی، روش های درجه‌بندی، روش مبتنی بر مقایسه دو به دو، روش آنتروپی، روش LINMAP و روش کم ترین مجذورات وزین شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (مالچفسکی، ۱۳۸۵؛ اصغرپور، ۱۳۸۸). در این تحقیق روش مبتنی بر مقایسه‌ی دو به دو به دلیل سادگی و کاربردهای فراوان آن، برای وزندهی انتخاب شده است.

روش مبتنی بر مقایسه دو به دو توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ در قالب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[1] (AHP) پیشنهاد گردید (Saaty., 1980). در این روش برای ایجاد یک ماتریس نسبت، به مقایسه دو به دو پرداخته می‌شود. مقایسات دو به دو به عنوان ورودی و وزن‌های نسبی به عنوان خروجی این روش محسوب می‌شوند (مالچفسکی، ۱۳۸۵).

[1] . Analytic hierarchy process (AHP)

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۲- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO):

بهینه‌سازی انبوه ذرات، یک تکنیک فرا ابتکاری[1] می‌باشد که از رفتار پرندگان در هنگام جستجوی غذا الهام گرفته شده است. PSO به عنوان یکی از مدرن ترین الگوریتم‌های فرا ابتکاری، برای نخستین بار توسط Kennedy و Eberhart (۱۹۹۵) ارائه گردید. روش PSO حاصل شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های اجتماعی ساده می‌باشد و برای حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی پیوسته بسیار مناسب است (Clerc, Kennedy., 2002). نتایج حاصل از اجرای الگوریتم PSO در مقایسه با سایر روش های بهینه‌سازی، بسیار پایدار و بهینه بوده و به لحاظ زمان محاسباتی بسیار کارامد می‌باشند. همچنین PSO امکان جستجوی محلی، سراسری و همگرایی سریع به بهینه سراسری را با تنظیم پارامترهای ساده فراهم می‌کند. مزیت اصلی این روش بر استراتژی‌های کمینه‌سازی دیگر این است که تعداد فراوان ذرات ازدحام کننده، باعث پایداری روش در برابر مشکل پاسخ کمینه محلی می‌گردد (Shi, Eberhart., 1999; El-Zonkoly., 2006).

در این الگوریتم ابتدا یک مجموعه جواب اولیه تولید می‌شود. به عبارت ساده‌تر، در ابتدا هر ذره به عنوان یک راه‌حل ممکن فرض می‌گردد. سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای پاسخ‌های ممکن، با به هنگام کردن نسل ها، جستجوی پاسخ انجام می‌گیرد. هر ذره به صورت چندبعدی با دو مقدار موقعیت و سرعت تعریف می‌شود و در هر مرحله از حرکت ذره، با دو شاخص سرعت و موقعیت، بهترین پاسخ ها از لحاظ شایستگی برای تمامی ذرات تعیین می‌شوند. به عبارت بهتر به بهینه به دست آمده در هر مرحله pbest و در پایان تمامی مراحل، gbest گفته می‌شود و تمامی ذرات برمبنای pbest و gbest به دست آمده مکان خود را به‌روز می‌کنند تا راه‌حل بهینه سراسری حاصل شود (Kennedy, Eberhart., 1995). برای حل مسائل مکانیابی نیاز به تعریف دو بعد وجود دارد. با فرض اینکه مختصات x و y ذره i ام (از یک مجموعه N عضوی ذرات) را با x_i و y_i و سرعت آن در راستای محور x و y را با v_{xi} و v_{yi} نشان دهند، مطابق روابط (۱) و (۲) سرعت و موقعیت هر ذره در هر تکرار به هنگام می‌شود (Shifa, et al., 2011).

$$\begin{cases} v_{xi}(t+1) = w(t).v_{xi}(t) + c_1.rand().(pbest_x(t) - x_i(t)) + c_2.rand().(gbest_x(t) - x_i(t)) \\ v_{yi}(t+1) = w(t).v_{yi}(t) + c_1.rand().(pbest_y(t) - y_i(t)) + c_2.rand().(gbest_y(t) - y_i(t)) \end{cases} \quad (۱)$$

$$\begin{cases} x_i(t+1) = x_i(t) + v_{xi}(t+1) + \sigma_1 \\ y_i(t+1) = y_i(t) + v_{yi}(t+1) + \sigma_2 \end{cases} \quad (۲)$$

[1] . Metaheuristic

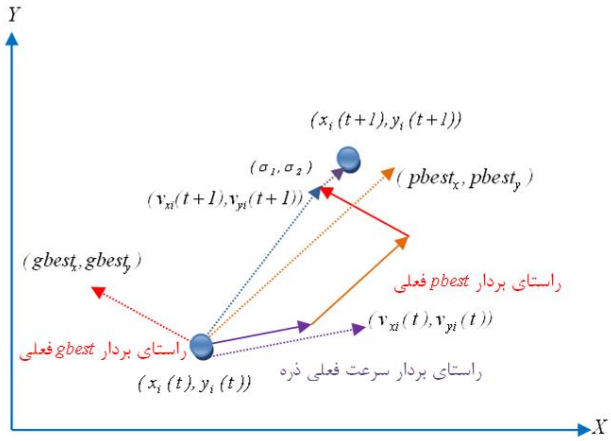
Archive of SID

www.SID.ir

در روابط فوق، $i=1,2,\ldots,N$، $t=1,2,\ldots,I_{max}-1$، t بیانگر شماره تکرار، I_{max} برابر بیشینه تکرار، rand() برابر یک مقدار تصادفی در بازه [0,1]، c_1 و c_2 دو مقدار ثابت مثبت تحت عنوان نرخ یادگیری شناختی و نرخ یادگیری اجتماعی، $pbest_x(t)$ و $pbest_y(t)$ بهترین جواب به دست آمده در تکرار t ام در راستای محور x و y، $gbest_x(t)$ و $gbest_y(t)$ بهترین جواب به دست آمده تا تکرار t ام در راستای محور x و y می‌باشند. همچنین σ_1 و σ_2 پارامترهای اعمالی به موقعیت x و y ذرات می‌باشند تا دقیقا در مراکز نزدیک ترین پیکسل ها قرار گیرند (Shifa, et al., 2011). w(t) نیز وزن اینرسی می‌باشد که در هر تکرار از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود.

$$w(t) = w_{max} - \frac{(w_{max} - w_{min}) \times t}{I_{max}} \qquad (۳)$$

که در آن w_{min} و w_{max} کمینه و بیشینه وزن اینرسی می‌باشد. همچنین نحوه‌ی اعمال بردار سرعت و تعیین موقعیت هر ذره در هر تکرار در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱، نحوه‌ی بهنگام‌سازی سرعت و موقعیت ذرات در هر تکرار از الگوریتم PSO (Shifa, et al., 2011)

مطابق شکل ۱، موقعیت هر ذره برمبنای بردار سرعت، pbest و gbest به‌هنگام می‌شود. در این مطالعه، به دلیل ماهیت رستری و گسسته فضای جستجو، پس از تعیین موقعیت هر ذره در هر تکرار، باید پارامترهای تصحیح موقعیت (σ_1, σ_2) اعمال گردند تا ذره بر روی مرکز نزدیک ترین پیکسل قرار گیرد.

www.SID.ir

تابع هزینه در هر مرحله پس از محاسبه x، y، v_x و v_y، برآورد می‌شود و جابجایی ذرات برمبنای بهینه‌سازی این تابع صورت می‌گیرد. سه مرحله‌ی بهنگام‌سازی سرعت، بهنگام‌سازی موقعیت و محاسبه تابع هزینه تا رسیدن به بیشینه تکرار ادامه می‌یابد.

۲-۳-روش PROMETHEE II:

روش های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] (MCDM) ابزارهایی توانمند در تحلیل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای مختلف و متعارض می‌باشند. روش های فرارتبه‌ای به عنوان شاخه‌ای از مدل های MCDM به کمک تعریف روابط فرارتبه‌ای و برمبنای انجام مقایسات زوجی میان گزینه‌ها به مدل سازی دقیق‌تر و واقعی‌تر مسائل تصمیم‌گیری می‌پردازند. روابط فرارتبه‌ای خود شامل روابط برتری[2] اکید، برتری ضعیف، اختلافات جزئی[3] و غیر قابل مقایسگی[4] می‌باشند که با تعیین حد آستانه‌های برتری (p)، اختلاف جزئی (q) و وتو[5] (v) تعریف می‌شوند (Figueira, et al., 2005).

از میان روش های مختلفی که در قالب روش های فرارتبه‌ای ارائه شده‌اند، روش PROMETHEE در سال‌های اخیر کاربردهای فراوانی پیدا کرده است(Balasubramaniam, et al., 2007؛ Banias, et al., 2010؛ Huang, et al.,2010). این روش به عنوان یکی از روش های پشتیبان تصمیم‌گیری (Brans, et al., 1984)، بدون نیاز به اطلاعات بیش از اندازه و گیج کننده، با کاربردی آسان، نتایجی پایدار و قابل فهم ایجاد می‌کند (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶). مدل های گوناگونی از این روش برای بررسی مسائل تصمیم‌گیری ارائه شده است که از آن جمله می‌توان PROMETHEE I (برای رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها)، PROMETHEE II (برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها)، PROMETHEE III (برای رتبه‌بندی بر مبنای بازه‌ها)، PROMETHEE IV (برای حالات پیوسته)، PROMETHEE V (برای حل مسائل تصمیم‌گیری به همراه محدودیت‌ها) و PROMETHEE VI (با توسعه ابزار آنالیز حساسیت) اشاره کرد (Figueira, et al., 2005).

---

[1] . Multiple Criteria Decision Making
[2] . Preference
[3] . Indifference
[4] . Incomparable
[5] . Veto

Archive of SID

www.SID.ir

مهم ترین نقاط قوت این روش نسبت به سایر روش های تصمیم‌گیری، سهولت استفاده برای کاربر، امکان تفسیر پارامترها[1] (دسته‌بندی شاخص ها و گزینه‌ها)، پایداری نتایج در مقایسه با اغلب روش های دیگر، امکان تحلیل حساسیت به صورت ساده و سریع، امکان استفاده از طرح گرافیکی مدل سازی و امکان در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف در بهینه‌سازی تصمیم می‌باشد (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶).

به دلیل مزایای فراوان بهره‌گیری از روش PROMETHEE II در حل مسائل تصمیم‌گیری، روش مذکور از میان مدل های گوناگون این روش در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه تشریح خواهد شد.

مراحل اجرایی روش PROMETHEE II به اختصار عبارت است از (Figueira, et al., 2005):

الف: ساخت ماتریس تصمیم‌گیری؛ که از ارزیابی هریک از گزینه‌ها نسبت به تمامی معیارها در قالب یک ماتریس مطابق با رابطه (۴) تعیین می‌شود.

$$\begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \begin{bmatrix} g_1(a_1) & g_2(a_1) & \dots & g_k(a_1) \\ . & . & & . \\ . & . & & . \\ . & . & & . \\ g_1(a_n) & \dots & \dots & g_k(a_n) \end{bmatrix} \\ \begin{array}{cccc} g_1(.) & g_2(.) & \dots & g_k(.) \end{array} \end{array} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) $A=\{a_1,a_2,...,a_n\}$ مجموعه متناهی از گزینه‌ها و $\{g_1(.),g_2(.),...,g_j(.),...,g_k(.)\}$ مجموعه معیارهای ارزیابی برای گزینه‌های مجموعه A می‌باشد.

ب : انتخاب تابع مطلوبیت (F_j) از جدول ۱ بر مبنای مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری و نظرات کارشناسان و محاسبه مقدار $(P(a,b))$ برای تمامی زوج گزینه‌ها در قیاس با تمامی معیارها از روابط (۵) و (۶).

$$P_j(a,b)=F_j[d_j(a,b)] \quad ;\forall a,b\in A \qquad (۵)$$

$$\begin{cases} d_j(a,b)=g_j(a)-g_j(b) \\ 0\le P_j(a,b)\le 1 \end{cases} \qquad (۶)$$

[1] . Interpretation of parameters

Archive of SID

www.SID.ir

شایان ذکر است که روابط فوق برای معیارهای سود، که نیاز به بیشینه نمودن آنها وجود دارد، می‌باشد. برای معیارهای هزینه که بایستی کمینه گردند، مقدار $d_j(a,b)$ در روابط فوق قرینه می‌شود.

پ: تعیین وزن معیارها ($\{w_j;\ j=1,2,...,k\}$) با شرط $\sum_{j=1}^{k} w_j = 1$

ت: محاسبه درجه غلبگی ($\pi(a,b)$) برای تمامی زوج گزینه‌ها مطابق رابطه (۷)

$$\pi(a,b)=\sum_{j=1}^{k} P_j(a,b)w_j \qquad (۷)$$

ث: محاسبه جریان فرارتبه‌ای مثبت ($\phi^+(a)$) و منفی ($\phi^-(a)$) مطابق روابط (۸) و (۹)

$$\phi^+(a)=\frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(a,x) \qquad (۸)$$

$$\phi^-(a)=\frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(x,a) \qquad (۹)$$

ج: محاسبه جریان فرارتبه‌ای مطابق رابطه (۱۰)

$$\phi(a)=\phi^+(a)-\phi^-(a) \qquad (۱۰)$$

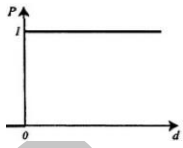
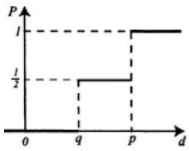
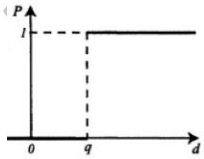
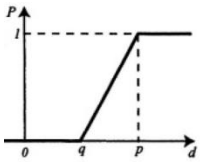
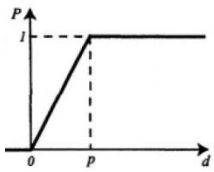
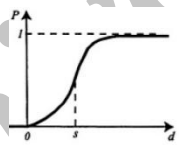
چ: رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها مطابق رابطه‌ی (۱۱) و تعیین روابط برتری (P) و اختلافات جزئی (I)

$$\begin{cases} aP^{II}b & iff \quad \phi(a)>\phi(b) \\ aI^{II}b & iff \quad \phi(a)=\phi(b) \end{cases} \qquad (۱۱)$$

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: انواع معیارهای تعمیم یافته

نام و شکل	رابطه	نام و شکل	رابطه
نوع اول: معیار عادی 	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ 1 & d>0\end{cases}$	نوع چهارم: معیار  پله‌ای	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{1}{2} & q\le d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$
نوع دوم: معیار بخشی (شکل u) 	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ 1 & d>q\end{cases}$	نوع پنجم: معیار v شکل با ناحیه  بی‌تفاوتی	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{d-q}{p-q} & q\le d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$
نوع سوم: معیار v  شکل	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ \frac{d}{p} & 0\le d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$	نوع ششم: معیار  گاوسی	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ 1-e^{\frac{-d^2}{2s^2}} & d>0\end{cases}$

مأخذ: (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶).

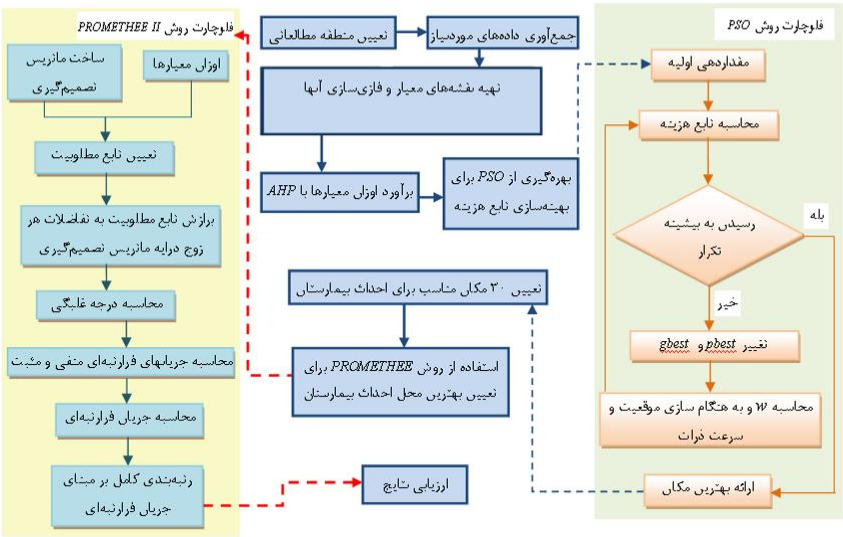
باید توجه داشت که تابع مطلوبیت برای مقادیر منفی d صفر می‌باشد. همچنین در هر یک از توابع پیشنهادی صفر، یک یا دو پارامتر بایستی تعریف شوند که در آن q حدآستانه بی‌تفاوتی، p حد آستانه برتری اکید و s یک مقدار ما بین p و q است که باید تعیین شود. حدآستانه اختلافات جزئی، بزرگ ترین اختلافی است که برای تصمیم‌گیر بی‌اهمیت است و حد آستانه برتری، کوچک ترین اختلافی است که برای تخصیص برتری کامل بین دو گزینه کافی می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

۲- پیاده‌سازی

روند اجرایی تحقیق حاضر در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲، روند اجرایی تحقیق(مأخذ: نگارندگان)

۳-۱- تعیین منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق منطقه سه شهر تهران می‌باشد که به همراه بیمارستان های موجود، بزرگ راه‌ها و خیابان های این منطقه در شکل ۳-الف نشان داده شده است. تعداد سلول‌های رستر در این نقشه ۵۲۶×۳۹۷ و اندازه هر سلول آن ۱۵×۱۵ متر می‌باشد. از سوی دیگر، برای احداث بیمارستان جدید در این منطقه، معیارهای پراهمیتی نظیر تراکم جمعیت، فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از گسل، زمان سفر و میزان آلودگی هوا لحاظ گردید که در بخش بعد نحوه آماده‌سازی این لایه‌های اطلاعاتی تشریح می‌شود.

۳-۲- تهیه نقشه‌های معیار و فازی‌سازی آنها

برای تهیه نقشه‌های معیار نرم‌افزار ArcGIS®™ مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله‌ی آماده‌سازی نقشه‌های معیار، با توجه به نامشخص بودن مرز دقیق داده‌ها و نواحی در لایه‌های مورد نیاز برای مکانیابی بیمارستان‌ها و ماهیت غیرقطعی آن ها، نقشه‌های معیار تولید شده، فازی شدند. در این تحقیق فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی به کمک نرم افزار Idrisi انجام پذیرفت. همچنین درجه عضویت سلول‌ها برمبنای تابع رابطه (۱۲) محاسبه گشت.

Archive of SID

www.SID.ir

$$\mu = COS^2\alpha \qquad (۱۲)$$

که مقدار α در رابطه فوق برای لایه‌های تراکم جمعیت و فاصله از گسل (معیارهای سود) از رابطه (۱۳) و برای لایه‌های میزان آلودگی، زمان دسترسی و فاصله از راه‌های اصلی (معیارهای هزینه) از رابطه (۱۴) به دست می‌آید.

$$\alpha = (x - point\ c)/(point\ d - point\ c) * \pi/2 \qquad (۱۳)$$

$$\alpha = (1 - (x - point\ a)/(point\ b - point\ a)) * \pi/2 \qquad (۱۴)$$

در روابط (۱۳) و (۱۴) مقادیر a، b، c و d برابر نقاط شروع، میانی و انتهایی از نمودار توابع عضویت است.

مطابق مطالب بیان شده، در ابتدا لایه آلودگی هوا از طریق درونیابی داده‌های به‌دست آمده از وب سایت شرکت کنترل کیفیت هوا تولید و سپس برمبنای روابط (۱۲) و (۱۳) از طریق نرم‌افزار Idrisi فازی‌سازی شد. شکل ۳-ب نشانگر لایه آلودگی هوای به دست آمده می‌باشد، به‌طوری که مناطق حاوی ارزش نزدیک به عدد صفر برای احداث بیمارستان جدید مناسب نمی‌باشند.

برای دسترسی بیمارستان‌ها به شاه‌راه‌های ارتباطی، لایه فاصله از راه‌های اصلی مطابق شکل ۳-پ، برمبنای روابط (۱۲) و (۱۴) تولید شد. مطابق شکل ۳-پ، بیمارستان هایی که در نزدیکی راه‌های اصلی و دور از حریم این راه‌ها باشند، دارای ارزش یک خواهند بود.

گسل‌ها جزء اطلاعات ضروری در برآورد میزان آسیب پذیری عوارض و مناطق مختلف می‌باشند. لذا باید بیمارستان‌ها در محلی دور از حریم گسل‌ها واقع شوند. شکل ۳-ت درجات فازی حریم گسل را نمایش می‌دهد که بر مبنای روابط (۱۲) و (۱۳) طراحی شده‌اند. محل های دور از گسل دارای ارزش بالاتر (درجه عضویت فازی یک) می‌باشند.

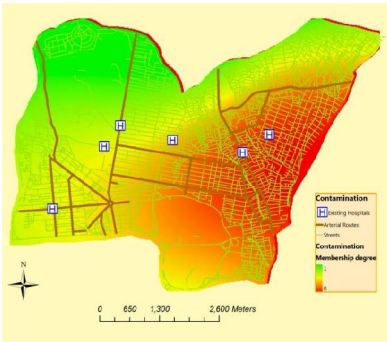
زمان سفر در تعیین محل جدید برای احداث بیمارستان بسیار حائز اهمیت می‌باشد. چراکه به طور دقیق پاسخ سوال "زمان مورد نیاز برای افراد جهت رسیدن به نزدیک ترین بیمارستان چقدر می‌باشد؟" را بیان می‌کند. بدیهی است محل های پیشنهادی واقع در زمان سفر ۵ تا ۱۰ دقیقه دارای ارزش بالاتری خواهد بود. شکل ۳-ج، درجات فازی زمان سفر برای بیمارستان های موجود در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. این لایه، به کمک خیابان های موجود در این منطقه از طریق برنامه الحاقی Network Analysis موجود در محیط ArcGIS®™ به وجود آمد و به کمک نرم‌افزار Idrisi و روابط (۱۲) و (۱۴) فازی شد.

Archive of SID

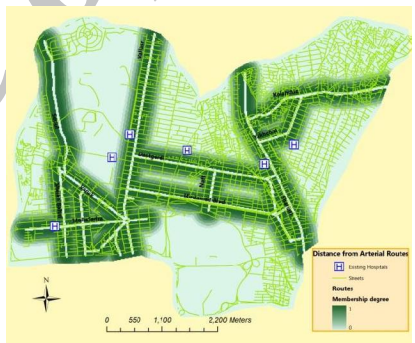
www.SID.ir

آخرین معیار دخی درتعیین محل جدید برای احداث بیمارستان، تراکم جمعیت می‌باشد که بسیار حائز اهمیت است. این لایه بر مبنای داده جمعیت موجود در سطح قطعات شبکه خیابان ها در منطقه مطالعاتی به وجود آمد و برمبنای روابط (۱۲) و (۱۴) فازی شد (مطابق شکل ۳-د). بدیهی است محل های پیشنهادی واقع در مناطق با تراکم جمعیت بالا، دارای درجه عضویتی نزدیک به عدد یک هستند.

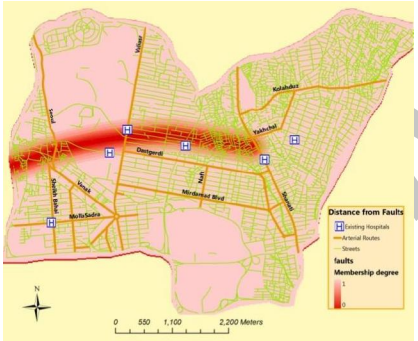
الف، منطقه مطالعاتی



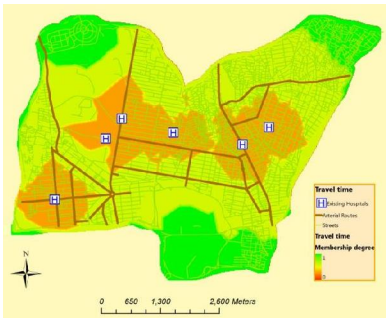
ب، لایه آلودگی هوا



ج، زمان سفر



پ، فاصله از راه‌های اصلی



د، تراکم جمعیت

ت، فاصله از گسل

شکل ۳، نقشه‌های شماتیک منطقه مطالعات(ماخذ: نگارندگان)

www.SID.ir

۳-۳- برآورد اوزان معیارها با AHP

پس از آماده‌سازی نقشه‌های معیار، برای ترکیب آنها و تعیین مناطق بهینه برای احداث بیمارستان، باید وزن معیارها تعیین گردد. برای تعیین اوزان معیارها در این تحقیق از روش AHP استفاده شد. مطابق مطالب بیان شده در بخش ۲-۱ و بر مبنای نظرات کارشناس در زمینه‌ی مقایسات زوجی معیارها، وزن معیارها محاسبه و نتایج در جدول ۲ ارائه گردید.

جدول ۲، جدول مقایسات زوجی و اوزان به دست آمده برای معیارها بر مبنای نظر کارشناس و روش AHP

رتبه	وزن	آلودگی	فاصله از راه‌های اصلی	فاصله از گسل	تراکم جمعیت	زمان سفر	معیارها
۱	۰/۳۶۹	۵	۳	۲	۲	۱	زمان سفر
۲	۰/۲۹۵	۴	۳	۳	۱	۱/۲	تراکم جمعیت
۳	۰/۱۶۸	۳	۲	۱	۱/۳	۱/۲	فاصله از گسل
۴	۰/۱۰۶	۲	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۳	فاصله از راه‌های اصلی
۵	۰/۰۶۲	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۵	آلودگی

(مأخذ: نگارندگان)

۳-۴- اجرای الگوریتم PSO

در این مرحله از تحقیق، اماکن مناسب جهت احداث بیمارستان جدید، تعیین می‌شوند. به عبارت بهتر در این مرحله به کمک الگوریتم PSO تمامی منطقه مطالعاتی بررسی می‌شود تا مجموعه‌ای از مناطق مطلوب برای احداث بیمارستان تعیین شود. برای نیل به این هدف، در ابتدا مطابق جدول ۳، پارامترهای ورودی الگوریتم مقداردهی می‌گردد.

جدول ۳، پارمترهای ورودی الگوریتم PSO

مقادیر اولیه الگوریتم PSO
npop=30;
$w_{\max}$ =0.9;
$w_{\min}$ =0.4;
c1=2;
c2=2;
xmin=1;
xmax=526;
ymin=1;
ymax=397;
vxmax=0.1*(xmax-xmin);
vymax=0.1*(ymax-ymin);
$I_{\max}$ =100;

Archive of SID

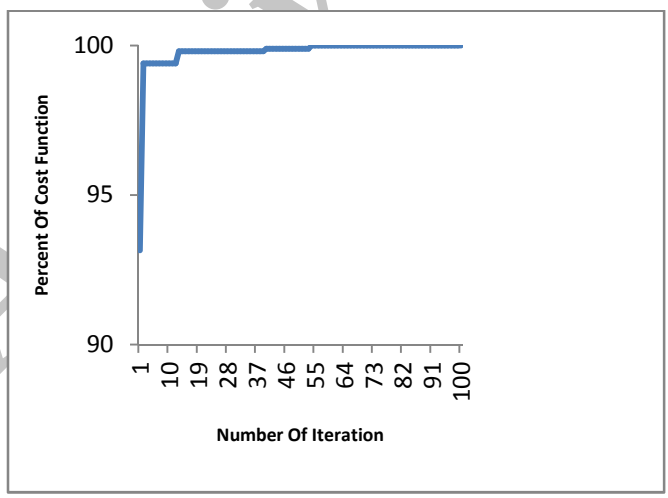
www.SID.ir

شایان ذکر است که در این تحقیق، با تغییر پارامترهای ورودی، جوابهای به‌دست آمده تغییر چندانی پیدا نمی‌کنند. لذا این پارامترها مطابق جدول ۳، تعیین و تثبیت شدند. سپس الگوریتم PSO برمبنای مفاهیم بیان شده در فصل ۲-۲ (مطابق فلوچارت شکل ۲) با استفاده از زبان برنامه‌نویسی MATLAB پیاده‌سازی شد. تابع هزینه مطرح در الگوریتم PSO این تحقیق مطابق رابطه (۱۵) تعریف گردید.

$$F_1 \in \begin{cases} \text{Minimize} & f_1 = W_1 \cdot DAR_i \\ Minimize & f_2 = W_2 \cdot TT_i \\ Minimize & f_3 = W_3 \cdot C_i \\ Maximize & f_4 = W_4 \cdot DF_i \\ Maximize & f_5 = W_5 \cdot PD_i \end{cases} \qquad (۱۵)$$

که در آن DAR فاصله از راه‌های اصلی، TT زمان سفر، C میزان آلودگی، DF فاصله از گسل و PD تراکم جمعیت است و W_1 تا W_2 اوزان مربوط به این لایه‌ها می‌باشد. همچنین i بیانگر شماره سلولی است که ذره در هر تکرار در آن قرار می‌گیرد.

نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم PSO برای داده‌های ورودی این تحقیق در ۱۰۰ تکرار مطابق نمودار شکل ۴ است که بیانگر همگرایی با مطلوبیت ۹۹.۹۹ درصد از تابع هزینه می‌باشد.



شکل ۴، نتایج اجرای الگوریتم PSO در ۱۰۰ تکرار(مأخذ: نگارندگان)

Archive of SID

www.SID.ir

به عبارت بهتر مطابق شکل ۴، با اجرای الگوریتم PSO با سرعت همگرایی بالایی، تابع هزینه به بهترین نحو برآورد می‌شود. پس از به‌دست آمدن نقطه بهینه، این نقطه از داده‌های ورودی خارج شده و الگوریتم دوباره تکرار می‌شود تا مجموعه‌ای از نقاط مطلوب برای احداث بیمارستان تعیین شود. علت این امر کاستن ابعاد فضای مطالعه، بررسی دقیق‌تر مجموعه نقاط بهینه، زدودن اشتباهات و بهینه‌های محلی می‌باشد.

در نهایت در این مرحله، ۳۰ نقطه مطلوب برای ساخت بیمارستان جدید برای بررسی‌های دقیق‌تر مشخص می‌شود. محل این نقاط در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۵، مکان ۳۰ نقطه‌ی پیشنهادی از الگوریتم PSO(مأخذ: نگارندگان)

۳-۵- اجرای روش PROMETHEE II

در این گام از تحقیق، روش PROMETHEE II برای ۳۰ گزینه پیشنهادی از الگوریتم PSO در قیاس با ۵ معیار مذکور اجرا شد. پس از ساخت ماتریس تصمیم‌گیری، با اجرای این روش برمبنای روابط (۵) تا (۱۱) و با تابع گوسین (s=0.2) (مطابق قلوچارت شکل ۲) نتایج جدول ۴ به‌دست آمد.

www.SID.ir

جدول ۴، نتایج اجرای روش PROMETHEE II

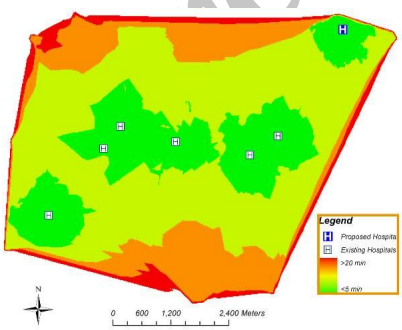
شماره گزینه	$\phi(.)$	اولویت احداث	شماره گزینه	$\phi(.)$	اولویت احداث
۱	۰.۲۹۶۱	۳	۱۶	۰.۱۵۲۹	۷
۲	-۰.۱۲۴۴	۲۳	۱۷	۰.۰۰۴۷	۱۴
۳	۰.۰۵۰۱	۱۱	۱۸	۰.۰۸۶۴	۸
۴	-۰.۳۴۰۷	۳۰	۱۹	-۰.۰۲۱۳	۱۶
۵	-۰.۲۸۸۸	۲۸	۲۰	-۰.۰۵۸۸	۱۸
۶	-۰.۰۴۸۲	۱۷	۲۱	۰.۲۸۵۲	۴
۷	۰.۳۳۰۴	۱	۲۲	-۰.۱۰۵۲	۲۲
۸	۰.۲۸۴۸	۵	۲۳	-۰.۲۸۹۹	۲۹
۹	-۰.۰۷۸۷	۲۰	۲۴	-۰.۰۰۵۲	۱۵
۱۰	-۰.۱۵۷۴	۲۵	۲۵	۰.۲۷۴۲	۶
۱۱	۰.۰۴۸۹	۱۲	۲۶	۰.۳۱۵۰	۲
۱۲	۰.۰۶۱	۹	۲۷	-۰.۰۸۱۹	۲۱
۱۳	۰.۰۰۷۶	۱۳	۲۸	-۰.۲۸۲۹	۲۷
۱۴	-۰.۱۴۴۴	۲۴	۲۹	۰.۰۵۰۷	۱۰
۱۵	-۰.۱۵۷۶	۲۶	۳۰	-۰.۰۶۲۸	۱۹

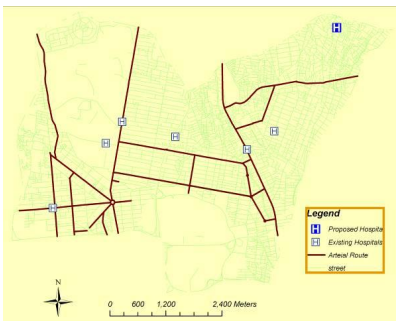
(مأخذ: نگارندگان)

نتایج حاصل از اجرای این روش حاکی از برتری گزینه‌های ۷، ۲۶ و ۱ نسبت به سایر گزینه‌ها می‌باشد.

۳-۶- ارزیابی نتایج

پس از اجرای روش PROMEYHEE II مطلوب‌ترین مکان به لحاظ معیارهای زمان سفر، تراکم جمعیت، فاصله از گسل، فاصله از راه‌های اصلی و میزان آلودگی برای احداث بیمارستان، نقطه ۷ معرفی شد که در شکل ۶-الف نشان داده شده است.





الف، مکان پیشنهادی برای احداث بیمارستان ب، زمان سفر برای ایستگاه پیشنهادی و ایستگاه های موجود

شکل ۶، نتایج تحقیق(مأخذ: نگارندگان)

www.SID.ir

با توجه به این که یکی از اهداف مهم برای احداث تسهیلات جدید، کاهش زمان سفر برای جمعیت بیش تر می‌باشد (Vahidnia, et al., 2009)، باید برای ارزیابی بهینگی نتیجه به دست آمده از شاخصی نظیر رابطه‌ی (۱۶) استفاده کرد تا مکان پیشنهادی هم به لحاظ مکانی در نقطه‌ای واقع شود که از نظر آن ۶ معیار بهینه باشد و هم شاخص دسترسی را بیشینه نماید.

$$Maximize \quad F_2 = \frac{PD}{TT} \qquad (۱۶)$$

با اضافه شدن بیمارستانی جدید در نقطه ۷ به بیمارستان های موجود در این منطقه، شاخص رابطه‌ی (۱۶) به میزان ۵.۷ درصد نسبت به حالت قبل افزایش می‌یابد (مطابق شکل ۶-ب). با توجه به این که هدف اصلی این تحقیق یافتن مکان بهینه به لحاظ معیارهای مذکور می‌باشد که به بهترین نحو برآورد شده است و شاخص دسترسی هم به میزان قابل توجهی افزایش یافته است؛ لذا نتایج به دست آمده مطلوب و بهینه برآورد می‌گردد.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

این تحقیق در یک روند ترکیبی به بهینه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری برای احداث بیمارستان جدید در منطقه سه شهر تهران پرداخت. برای آماده‌سازی داده‌ها از GIS استفاده شد و با توجه به ماهیت غیر دقیق این داده‌ها، استانداردسازی بر مبنای منطق فازی صورت گرفت. سپس برمبنای نظر کارشناس و به کمک روش AHP میزان اهمیت هر لایه (زمان سفر، تراکم جمعیت، فاصله از گسل، فاصله از راه‌های اصلی و میزان آلودگی) در برآورد محل جدید بیمارستان محاسبه گردید.

جهت بررسی کل منطقه مطالعاتی و زدودن اشتباهات و بهینه‌های محلی الگوریتم PSO مورد استفاده قرار گرفت. علت این انتخاب سرعت و دقت بالای این روش در داده‌های حجیم می‌باشد. در ادامه برای تعیین دقیق محل احداث بیمارستان جدید بر مبنای معیارهای مذکور، ۳۰ نقطه مناسب برای احداث بیمارستان به کمک الگوریتم PSO تعیین و وارد روش PROMETHEE II گردید.

نتایج اجرای این فرآیند ترکیبی بر لزوم ساخت بیمارستان جدید در شمال شرق منطقه مطالعاتی صحه می‌گذارد تا ضمن برآورد معیارهای مفروض، شاخص دسترسی به بیمارستان ها در منطقه را به میزان ۵.۷ درصد افزایش دهد. انتخاب یک بیمارستان جدید در این منطقه

Archive of SID

www.SID.ir

توزیع بیمارستان ها را در این منطقه همگن می‌سازد، زمان دسترسی مردم منطقه را بهبود بخشیده و به لحاظ اقتصادی صرفه بسیاری دارد.

گام‌های بعدی برای ادامه کار در این زمینه می‌تواند به مقایسه روش های تصمیم‌گیری یا الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای دستیابی به روش های موثرتر اختصاص یابد. همچنین به دلیل اهمیت فراوان گزینش معیارهای ارزیابی در مسائل مکانیابی، انتخاب دقیق‌تر معیارهای ارزیابی و اوزان مربوطه به محققان علاقه‌مند تحقیق در این زمینه پیشنهاد می‌گردد. ارائه شاخص دقیق‌تری جهت ارزیابی جامع نتایج نیز یکی دیگر از پیشنهادات نویسندگان تحقیق حاضر برای ادامه کار در این زمینه می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع و مآخذ:

۱-اصغرپور، م. ج. ۱۳۸۸. تصمیم‌گیری چندمعیاره. چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۹۹ صفحه.

۲-اصغری‌زاده، ع.، نصراللهی، م. ۱۳۸۶. رتبه‌بندی شرکت ها براساس معیارهای مدل سرآمدی- روش PROMETHEE. فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، ۱۱(۳): ۸۴-۵۹.

۳- مالچفسکی، ی. ۱۳۸۵. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری. پرهیزگار، ا. و غفاری گیلانده، ع. چاپ اول. انتشارات سمت. ۵۹۷ صفحه.

4- Balasubramaniam, A., Boyle, A. R., Voulvoulis, N. 2007. Improving petroleum contaminated land remediation decision-making through the MCA weighting process. Chemosphere, 66: 791–798.

5- Banias, G., Achillas, Ch., Vlachokostas, Ch., Moussiopoulos, N., Tarsenis, S. 2010. Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility. Building and Environment, 45: 2317-2326.

6- Brans, J. P., Mareschal, B., and Vincke, P. 1984. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multi criteria analysis. In Proceedings of Operational Research 84 (Amsterdam: Elsevier Science Publishers): 408–421.

7- Clerc, M., Kennedy, J. 2002. The particle swarm-explosion, stability and convergence in a multidimensional complex space. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(1): 58-73.

8- EL-Zonkoly, A. M. 2006. Optimal tuning of power systems stabilizers and AVR gains using particle swarm optimization. International Journal of Expert Systems with Applications, 31(939): 551-557.

9- Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. 2005. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys, Springer eBook, ISBN: 0-387-23081-5. 1045 p.

10- Gómez, M., López, A., Jurado, F. 2010. Optimal placement and sizing from standpoint of the investor of Photovoltaics Grid-Connected Systems using Binary Particle Swarm Optimization. Applied Energy, 87: 1911–1918.

11- Huang, B., Liu, N., Chandramouli, M. 2006. A GIS supported Ant algorithm for the linear feature covering problem with distance constraints. Decision Support Systems, 42: 1063–1075.

12- Huang, P., Tsai, J., Lin, W. 2010. Using multiple-criteria decision-making techniques for eco-environmental vulnerability assessment: a case study on the Chi-Jia-Wan Stream watershed, Taiwan, Environment Monitoring Assess, 168: 141–158.

Archive of SID

www.SID.ir

13- Joerin, F., Thériault, M., Musy, A. 2001. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. International Journal of Geographical Information Science, 15: 153–174.
14- Kennedy, J., Eberhart, R. 1995. Particle swarm optimization, IEEE Int. Conf. Neural Networks, 4:1942–1948.
15- Marinoni, O. 2006. A discussion on the computational limitations of outranking methods for land-use suitability assessment. International Journal of Geographical Information Science, 20 (1): 69–87.
16- Murad, A. 2007. Creating a GIS application for health services at Jeddah city. Computers in Biology and Medicine, 37: 879–889.
17- RecheLópez, P., Jurado, F., RuizReyes, N., García Galán, S., Gómez, M. 2008. Particle swarm optimization for biomass-fuelled systems with technical Constraints. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21:1389–1396.
18- Reche-López, P., Ruiz-Reyes, N., García Galán, S., Jurado, F. 2009. Comparison of metaheuristic techniques to determine optimal placement of biomass power plants. Energy Conversion and Management, 50:2020–2028.
19- Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY.
20- Sadoun, B., Al-Bayari, O. 2007. Location based services using geographical information systems. Computer Communications, 30:3154–3160.
21- Shi, Y., Eberhart, R. C. 1999. Empirical study of particle swarm optimization. Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, Piscataway, NJ: IEEE Service Center:1945–1950.
22- Shifa, MA., Jianhua, He., Feng, Liu., Yan, Yu. 2011. Land-use spatial optimization based on PSO algorithm. Geo-Spatial Information Science, 14(1): 54-61.
23- Tzeng, G.H., Chen, Y.W. 1999. The optimal location of airport fire stations: a fuzzy multi-objective programming and revised genetic algorithm approach. Transportation Planning and Technology, 23: 37–55.
24- Vahidnia, M., Alesheikh, A., Alimohammadi, A. 2009. Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. Journal of Environmental Management, 90:3048–3056.
25- Vera, D., Carabias,J., Jurado ,F., Ruiz-Reyes, N. 2010. A Honey Bee Foraging approach for optimal location of a biomass power plant. Applied Energy, 87: 2119-2127.

Archive of SID

www.SID.ir