مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه و GIS (مطالعه موردی شهر تهران)

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۰۸/۱۳ تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۲/۰۸/۰۴

محمد عرب امیری* (کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی)
مهرداد رفیع‌پور (کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی)
محمد سعدی مسگری (هیأت علمی گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی)

چکیده

موقعیت ایستگاه های آتش نشانی نقش مهمی در کارآیی این مراکز در حین حوادث آتش‌سوزی دارد. بنابراین، مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی به منظور پوشش‌دهی بیشینه این ایستگاه ها به مراکز جمعیتی، ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی و تخصیص جمعیت به آن‌ها، یک مسأله‌ی بهینه‌یابی ترکیبی محسوب می‌شود. بنابراین، هدف این تحقیق ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و یک الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچه برای مکان یابی بهینه‌ی ایستگاه های آتش نشانی می‌باشد. برای این منظور، مطالعه‌ای موردی در پنج منطقه‌ی شهر تهران انجام شد. در این تحقیق، در ابتدا مناطق مناسب با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی که یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره متداول می‌باشد، شناخته شدند. برای این منظور، دسترسی به معابر اصلی، مجاورت به کاربری‌های سازگار، و دوری از کاربری‌های ناسازگار به عنوان معیارها در نظر گرفته شدند. علاوه بر این، محدوده‌ی پوشش ایستگاه های موجود نیز در نقشه نهایی در نظر گرفته شد. سپس توسط الگوریتم کلونی مورچه‌ی پیشنهادی ایستگاه های مناسب از میان گزینه‌های مستعد انتخاب شدند. به منظور انتخاب این ایستگاه ها، پارامترهایی شامل تلفیق فاصله‌ی مناسب میان ایستگاه های آتش نشانی و بیشینه کردن جمعیتی که توسط این ایستگاه های آتش نشانی در زمان استاندارد سرویس‌دهی می‌شوند، در نظر گرفته شدند. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه شده می‌تواند جواب‌های با کیفیتی را برای این‌گونه مسائل در زمانی کوتاه به دست آورد. نتایج این تحقیق همچنین کارایی این روش در مکان یابی بهینه‌ی ایستگاه های آتش نشانی را نشان داد.

واژه‌های کلیدی:
مکان یابی، الگوریتم کلونی مورچه، GIS، ایستگاه های آتش نشانی

* نویسنده رابط: mohamadamiri89@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

مسأله‌ی مکان یابی و تخصیص مسأله جدیدی نیست، لیکن در زمان کنونی نیز کاربردهای زیادی دارد. از آغاز پیدایش بشر، یکی از الویت‌های اصلی، یافتن یک راه‌حل خوب برای مسائل مکان یابی و تخصیص بوده است. به طور مثال در سال‌های اولیه آغاز حیات، برای پیدا کردن مکانی مناسب برای اسکان در نزدیکی منابعی مانند چوب، غذا و آب تا مسائل امروزی مانند قرار دادن ترانزیستورها در تراشه‌های پردازنده، به گونه‌ای که سرعت حداکثر شده و حرارت حداقل شود، مسأله مکان یابی و تخصیص مورد استفاده قرار می‌گیرد. با وجود سابقه طولانی و مزایای زیاد حل بهینه این گونه مسائل، حل تعداد زیادی از این مسائل اگر غیر ممکن نباشد، اما دشوار است (Kuenne and Solland, 1972: 193).

مکان یابی و تخصیص مراکز خدماتی یک مسأله تصمیم‌گیری است. بهترین مکان به معیارهایی مانند فاصله مطلوب، ظرفیت مراکز خدماتی، تراکم جمعیت، هزینه‌ی بهینه و غیره بستگی دارد. تخصیص می‌تواند فقط بر مبنای یک معیار مانند فاصله بهینه بررسی شود، یا بر اساس ترکیبی از معیارهای متفاوت مانند فاصله‌ی بهینه و یا ظرفیت مراکز خدماتی و هزینه‌ی بهینه و غیره بررسی شود. مکان یابی ضمن جلوگیری از هدر رفتن هزینه‌ها، باعث تضمین کارآیی بهینه مراکز خدماتی در تقابل با سیستم شهری می‌شود. وجود همپوشانی‌های مکانی بالا در بین مراکز خدماتی در برابر خلأهای خدمات‌رسانی در بخش‌های دیگری از شهر، می‌تواند مؤید مکان‌گزینی ناعادلانه فضایی خدمات‌رسانی ایمنی شهر باشد (عادلی، ۱۳۸۶: ۱). مکان یابی نادرست مراکز خدماتی بر ارائه‌ی خدمات به ذینفعان اثر منفی می‌گذارد. اگر محل این مراکز خدماتی دور از محل تقاضا باشد ذینفعان ممکن است نتوانند یا علاقه نداشته باشند که از آن مراکز خدماتی، خدمات دریافت کنند؛ بنابراین فاصله‌ی مناطق عرضه و تقاضا باید بهینه باشد. علاوه بر این حل مسائل مکان یابی برای تصمیم‌گیران نیز مهم است. تصمیم‌گیران به ابزار حامی تصمیم‌گیری که مکان مراکز خدماتی را بر اساس معیارهای مختلف مشخص می‌کنند، نیاز دارند. بنابراین، مکان یابی ایستگاه‌های خدمات‌رسانی و تعیین تعداد و موقعیت ایستگاه‌ها جهت پوشش مناسب شهر و خدمات‌دهی به شهروندان با توجه به خصوصیات و ویژگی‌های شهر و توان مالی و تدارکاتی موجود و پیش‌بینی توسعه امکانات آتی از اقدامات حیاتی و لازم در این زمینه می‌باشد (پرهیزکار، ۱۳۸۳: ۱۲۵).

www.SID.ir

Archive of SID

مسائل مکان یابی و تخصیص از مسائل بهینه‌سازی ترکیبی می‌باشد؛ که در آن‌ها باید چند پارامتر با هم بهینه شود. این مسائل از نوع مسائل ان پی-سخت[1] می‌باشند. مسائل ان پی-سخت مسائلی می‌باشند که مدت زمان حل این مسائل با افزایش ابعاد مسأله به صورت نمایی افزایش می‌یابد. لذا اغلب اوقات رویکردهای تقریبی تنها راه ممکن برای رسیدن به جواب‌های نزدیک بهینه این مسایل با هزینه و زمان معقول می‌باشند. رویکردهای تقریبی الگوریتم‌هایی می‌باشند که جهت یافتن جواب‌های مناسب (نزدیک جواب بهینه و قابل دسترسی در زمان منطقی) یک مسأله‌ی بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر چند که استفاده از این الگوریتم‌ها ما را به جواب بهینه رهنمون نمی‌سازند، ولی بهترین ابزارهای موجود برای یافتن جواب‌های قابل قبول بسیاری از مسائل بهینه‌سازی مشکل می‌باشند (Dorigo and Stutzle, 2003: 251).

در حل مسائل مکان یابی و تخصیص، می‌توان از روش های ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و الگوریتم‌های کلونی مورچه، الگوریتم کلونی زنبور عسل و الگوریتم بهینه‌سازی حرکت گروهی ذرات استفاده کرد. یکی از الگوریتم‌هایی که می‌تواند به همراه GIS برای حل مسائل مکان یابی و تخصیص استفاده شود، الگوریتم کلونی مورچه است. الگوریتم کلونی مورچه از طبیعت الهام گرفته است و بر مبنای توانایی مورچه‌ها در پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر از لانه تا منبع غذا در حین جستجوی غذا می‌باشد. الگوریتم مورچه‌ی اولیه (سیستم مورچه[2])، در ابتدا توسط دوریگو[3] (۱۹۹۲) مطرح شد، وسپس تنوع زیادی روی الگوریتم اولیه ایجاد شد (Taillard and Gambardella, 1997: 1).

یکی از انواع ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری، روش های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشند؛ این روش‌ها برای اهداف گوناگونی شامل تحلیل مسائل تصمیم‌گیری، تولید گزینه‌های راه‌حل، و ارزیابی گزینه‌ها بر اساس نظرات تصمیم‌گیرندگان به کار می‌روند (Eldrandaly : 162 et al., 2005). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[4] (AHP) نیز یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری بسیار رایج می‌باشد، که در کاربردهای متنوعی در تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌شود (Malczewski, 1997;Eldrandaly et al., 2005). در این مطالعه، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تولید گزینه‌های راه‌حل تحت معیارهای انتخاب ایستگاه های آتش نشانی و

[1] NP-hard
[2] Ant System
[3] Dorigo
[4] Analytical hierarchical process

www.SID.ir

Archive of SID

اولویت‌های گوناگون معیارها استفاده می‌شود. بنابراین، پس از تولید گزینه‌ها توسط روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتخاب ایستگاه های مناسب و تخصیص بلوک‌های جمعیتی به این ایستگاه ها توسط الگوریتم کلونی مورچه انجام می‌شود. در نتیجه، هدف اصلی این تحقیق استفاده از ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و الگوریتم کلونی مورچه برای حل مسأله‌ی مکان یابی ایستگاه های خدمات‌رسانی و تخصیص بلوک‌های جمعیتی به این ایستگاه ها می‌باشد.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

مکان یابی بهینه‌ی ایستگاه های خدمات‌رسانی به طور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است و مدل های بسیاری در این زمینه توسعه داده شده است. تعدادی از مطالعات انجام شده به بهینه نمودن یک یا چند تابع هدف با توجه به معیارهای مختلف پرداخته‌اند. داکسن[۱] و اوارتمن[۲] (۱۹۷۶) یک مدل حمل ونقل عمومی را برای به دست آوردن مکان بهینه‌ی ایستگاه های آتش نشانی در سیستم خدمات‌رسانی روستایی، به کار بردند؛ آن‌ها برای به دست آوردن مکان بهینه‌ی ایستگاه ها اهداف زیادی شامل کمینه نمودن زمان پاسخگویی ایستگاه ها، کمینه نمودن مسافت پیموده شده برای رسیدن به محل آتش‌سوزی، و بیشینه نمودن حفاظت از سرمایه‌های قابل احتراق را به‌کار بردند. پلن[۳] و هندریک[۴] (۱۹۹۷) مفهوم فاصله‌ی پوششی بهینه را جهت ساخت یک تابع هدف سلسله مراتبی برای فرموله‌سازی مسأله‌ی مکان یابی چند هدفه به کار گرفتند. هوگ[۵] (۱۹۶۸) تکنیکی را به کار برد که زمان سفر ایستگاه های آتش نشانی را به محل آتش سوزی کمینه می‌کرد و آن را برای شهر بریستول[۶] به کار برد. بدری[۷] و همکاران (۱۹۹۸) یک مدل چند هدفه را برای به دست آوردن موقعیت ایستگاه ها به کار بردند؛ همچنین یک روش مدلسازی چند هدفه را برای ارزیابی پتانسیل مکان‌ها در ایالت دبی به کار گرفتند. مدل آن ها موقعیت مراکز خدمات‌رسانی و موقعیت های پیشنهادی را ارائه می‌کرد.

[1] Doeksen
[2] Oehrtman
[3] Plane
[4] Hendrick
[5] Hogg
[6] Bristol
[7] Badri

www.SID.ir

Archive of SID

در بسیاری از تحقیقات انجام شده از تکنیک‌های هوش مصنوعی و یا ترکیب هوش مصنوعی و سیستم اطلاعات مکانی استفاده شده است. شارما[1] و همکاران (۲۰۰۶) در مقاله ای تحت عنوان الگوریتمی برای مکان یابی در سیستم اطلاعات مکانی با استفاده از هوش تجمعی، به حل مسأله مکان یابی با استفاده از الگوریتمی بر پایه هوش تجمعی موریانه در ساخت لانه، پرداختند. لیو[2] و همکاران (۲۰۰۶) مقاله ای با عنوان مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی با استفاده از الگوریتم مورچه و سیستم اطلاعات مکانی ارائه کرده‌اند؛ و در آن به مکان یابی و تخصیص ایستگاه های آتش نشانی با توجه به ایستگاه های موجود و مکان‌های مناسب برای ایجاد ایستگاه های جدید پرداخته‌اند. نیروی دفاعی عمران سنگاپور[3] (SCDF) مسیرهای معینی را برای انتقال مواد خطرناک و محصولات نفتی دیگر در سنگاپور ایجاد کرده‌اند. آن‌ها موقعیت ایستگاه های آتش نشانی مورد نیاز را با توجه به سه هدف شامل بیشینه کردن پوشش مسیرهای SCDF که توسط ایستگاه های موجود پوشش داده نشده‌اند، رسیدن به فاصله‌هایی مناسب بین ایستگاه های آتش نشانی و بیشینه کردن نواحی خدمات‌رسانی ایستگاه های آتش نشانی در ۶ دقیقه، تعیین نمودند. در نتیجه از بهینه‌سازی چند هدفه برای حل این مسأله استفاده نمودند؛که این موضوع باعث پیچیدگی این راه حل می‌باشد. همچنین نشان داده‌اند که این الگوریتم بهتر از الگوریتم ژنتیک در حل اینگونه مسائل عمل می‌کند. لی[4] و همکاران (۲۰۰۹) مقاله ای تحت عنوان سیستم اطلاعات مکانی هوشمند برای حل مسائل مکان یابی پیچیده با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه ارائه داده‌اند؛ و در آن به انتخاب n مکان بهینه برای ایجاد تاسیسات مورد نظر به‌طوری‌که مزیت‌ها بیشینه و هزینه‌ها کمینه شوند، پرداختند. نوآوری این الگوریتم در پذیرش استراتژی‌های انتشار فرمون در همسایگی و بهینه‌سازی چند مقیاسی است. این روش برای تخصیص تأسیسات فرضی در شهری در چین به‌کار گرفته شد؛ نتایج این مطالعه، اشاره به این نکته داشت که روش پیشنهادی بهتر از جستجوی یگانه و الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل مکان یابی عمل می‌کند.

در مطالعات گذشته، از سیستم اطلاعات مکانی یا الگوریتم‌های هوش مصنوعی به صورت مستقل یا ترکیبی برای مکان یابی استفاده شده است. تفاوت مدل پیشنهادی این تحقیق با مدل های قبلی، استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب گزینه‌های مستعد یا

[1] Sharma
[2] Liu
[3] Singapore Civil Defence Force
[4] Li

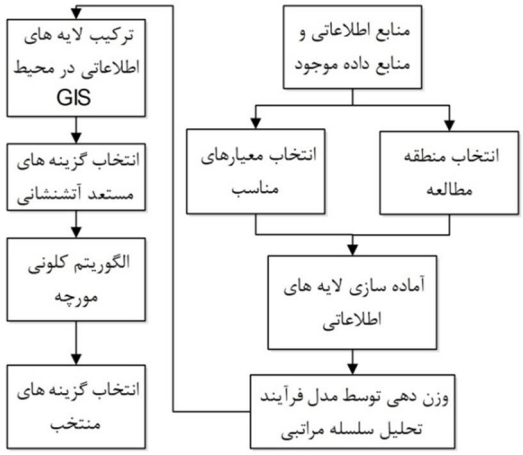
www.SID.ir

Archive of SID

مناسب می‌باشد. علاوه بر این، تابع ابتکاری و اهداف در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی توسط الگوریتم کلونی مورچه با تحقیقات پیشین متفاوت می‌باشند. به طور کلی، در این مقاله ترکیب یک الگوریتم ابتکاری با سیستم اطلاعات مکانی، برای بهینه‌سازی مکانی موقعیت ایستگاه های خدمات‌رسانی ارائه می‌شود. این روش یک روش جدید برای حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد و در نهایت منجر به تغییر الگوی حل مسائل تحلیل مکانی خواهد شد.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق، پس از شناسایی معیارهای مؤثر در مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی، مکان‌های مناسب برای ساخت ایستگاه های آتش نشانی جدید به کمک روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شناسایی شده، و سپس گزینه‌های مستعد انتخاب می‌شوند؛ در مرحله‌ی بعد، گزینه‌های منتخب از میان گزینه‌های مستعد توسط الگوریتم کلونی مورچه انتخاب می‌شوند. مراحل پیاده سازی این تحقیق به اختصار در شکل نشان داده شده‌اند.



شکل ۱) فلوچارت کلی مراحل انجام تحقیق
مأخذ: نگارندگان

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یک روش رایج در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که توسط ساعتی[1] (۱۹۷۷) معرفی شد. این روش در کاربردهای متنوعی در تصمیم‌گیری چند معیاره GIS مبنا برای تصمیم‌گیری در یک فضای چند بعدی استفاده شده است. اولین گام در AHP، تجزیه مسأله تصمیم‌گیری به سلسله مراتبی است که شامل مهم ترین المان‌های مسأله تصمیم‌گیری می‌باشد. در این گام مسأله پیچیده به ساختار سلسله مراتبی هدف، ویژگی‌ها یعنی نقشه‌های معیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود. AHP بر اساس سه قانون تجزیه هدف کلی که در این جا مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی است، مقایسه زوجی معیارها، و ترکیب اولویت‌ها بنا شده است (Bunruamkaew et al., 2011: 270). این روش از مقیاس اعداد مطلق بین ۱ تا ۹ که توسط ساعتی (۱۹۸۰) ارائه شده است، برای بیان برتری یا مقایسه استفاده می‌نماید. برای هر المان ساختار سلسله مراتبی، تمامی المان‌های تشکیل‌شده در پایین هرم به صورت یک ماتریس زوجی متقابل مقایسه می‌شوند (Ying et al. 2007: 102).

پس از نرمال سازی ماتریس مقایسه زوجی توسط روش های نظیر روش مقادیر ویژه، وزن‌های نسبی المان‌ها (W) از معادله زیر به دست می‌آیند (Ying et al. 2007: 102):

$$AW = \lambda_{max} W \quad (۱)$$

که λ_{max} بزرگ ترین مقدار ویژه ماتریس A می‌باشد. در مرحله بعد ویژگی سازگاری ماتریس برای اطمینان از این که مقایسه زوجی سازگار می‌باشند، بررسی می‌شود. شاخص سازگاری توسط معادله زیر محاسبه می‌شود (Ying et al. 2007: 102):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۲)$$

که RI یک ثابت است که متناظر با مقدار شاخص سازگاری تصادفی متوسط طبق n می‌باشد؛ جدول شاخص‌های تصادفی ماتریس‌های با درجه ۱-۱۵ توسط ساعتی (۱۹۸۰) ارائه شده است. سپس نسبت سازگاری (CR) توسط معادله زیر محاسبه می‌شود (Ying et al. 2007: 102):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۳)$$

[1] Saaty

www.SID.ir

Archive of SID

به طور کلی، اگر شاخص سازگاری کم تر از ۰.۱ باشد، مقایسه زوجی سازگاری قابل قبولی دارد، و بنابراین وزن‌های حاصل می‌توانند استفاده شوند. در غیر این صورت، مقایسه زوجی سازگار نیست و ماتریس باید تغییر داده شود.

۳-۲- الگوریتم کلونی مورچه

۳-۲-۱- تئوری

الگوریتم بهینه‌یابی مورچگان یک روش فراابتکاری از نوع سازنده است، که با الهام از رفتار مورچه‌های طبیعی برای حل مسائل بهینه‌یابی ترکیبی استفاده می‌شود. الگوریتم کلونی مورچه به عنوان یکی از الگوریتم‌های هوش تجمعی جمعیت‌مبنا می‌باشد، و برای یافتن جواب یک مسأله پیچیده از رفتار مورچه‌های واقعی الهام می‌گیرد. برطبق مطالعاتی که بر روی مورچه‌ها صورت گرفته است، مورچه‌ها موجوداتی اجتماعی هستند که رفتار آن ها بیش تر در جهت بقای کلونی است. رفتار مورچه‌ها برای یافتن کوتاهترین مسیر برای رسیدن به غذا بسیار جالب می‌باشد. آن‌ها هنگام حرکت از خود ردی از ماده شیمیایی فرومون به جای می‌گذارند البته این ماده به زودی تبخیر می‌شود، ولی در کوتاه مدت به عنوان رد مورچه بر سطح زمین باقی می‌ماند. آنها هنگام انتخاب بین دو مسیر به صورت احتمالاتی مسیری را انتخاب می‌کنند که فرومون بیشتری داشته باشد یا به عبارت دیگر مورچه‌های بیشتری قبلا از آن عبور کرده باشند. هر چند احتمال انتخاب مسیر پر فرومون‌تر توسط مورچه‌ها بیشتر است ولی این کماکان احتمال است و قطعیت نیست. مسأله‌ی دیگر تبخیر شدن فرومون بر جای گذاشته شده است؛ تبخیر شدن فرومون و احتمال به مورچه‌ها امکان پیدا کردن مسیر کوتاهتر جدید را می‌دهند. رفتار مورچه‌ها دارای نوعی هوشمندی توده‌ای است. در هوشمندی توده‌ای عناصر رفتاری تصادفی دارند و بین آن‌ها هیچ نوع ارتباط مستقیمی وجود ندارد، و آن ها تنها به صورت غیر مستقیم و با استفاده از نشانه‌ها با یکدیگر در تماس هستند(Dorigo and Stutzle, 2003: 255).

بین مورچه‌های واقعی و مورچه‌های مصنوعی شباهت‌های زیادی وجود دارد. هردوی آن‌ها از اجزاء ساده و مستقل (مورچه‌ها) تشکیل شده‌اند، که برای رسیدن به راه‌حل تلاش می‌کنند؛ این راه‌حل در مورد مورچه‌های واقعی یافتن کوتاه‌ترین مسیر برای رسیدن به غذا و در مورد مورچه‌های مصنوعی رسیدن به راه‌حل بهینه است. هر مورچه به تنهایی قادر به پیدا کردن راه‌حل می‌باشد، ولی نیاز به مجموعه مورچه‌ها برای پیدا کردن راه‌حل بهینه می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

علی‌رغم شباهت‌های مورچه‌های واقعی و مورچه‌های مصنوعی، آن‌ها تفاوت‌هایی نیز با هم دارند. مورچه‌های مصنوعی در فضای گسسته هستند؛ و فرومون توسط بعضی از مورچه‌ها و اغلب بعد از ایجاد راه‌حل جدید، به روز رسانی می‌شود.

در الگوریتم بهینه‌یابی مورچگان از مورچه‌های مصنوعی استفاده می‌شود. تعدادی مورچه در یک گراف که متناظر با مسأله بهینه‌یابی ترکیبی می‌باشد قرار می‌گیرند. هر مورچه به صورت احتمالی در این گراف حرکت کرده و بر اساس مقدار فرومون و اطلاعات هیورستیک[1] اقدام به تولید جواب می‌نماید؛ سپس مقدار فرومون مسیر استفاده شده را بر اساس کیفیت جواب تولید شده به‌هنگام می‌کند؛ و به این وسیله بین مورچه‌ها ارتباط برقرار می‌گردد. هر مورچه مصنوعی علاوه بر ویژگی‌های مورچه‌های طبیعی، از اطلاعات هیورستیک و حافظه‌ای برای ثبت حرکت‌های قبلی خود بهره می‌برد. اطلاعات هیورستیک بر اساس تابع هدف مسأله تعریف می‌گردد، به این‌صورت که میزان بهبود در این تابع در اثر حرکت یک مورچه از یک گره به گره دیگری می‌باشد. همچنین هر حرکتی که یک مورچه مصنوعی انجام می‌دهد در حافظه ای ذخیره می‌گردد تا برگشت به عقب و اصلاح مقادیر فرومون به سادگی قابل انجام باشد. لازم به ذکر است که تاکنون نسخه‌های مختلف بهینه‌یابی مورچگان برای حل انواع مسائل بهینه‌یابی ترکیبی به طور مؤثر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، و می‌توان گفت که عمده‌ترین تفاوت این روش‌ها در چگونگی بهنگام‌سازی مقادیر فرومون می‌باشد (Dorigo and Stutzle, 2003: 256).

۳-۲-۲- فرموله‌سازی

در مسائل بهینه‌سازی مهم ترین جزء انتخاب تابع هدف است. در مسأله مطرح شده در این مقاله، باید ایستگاه های آتش نشانی بیش ترین جمعیت از بلوک‌های شهری را پوشش داده، و همچنین باید فاصله‌ی منطقی میان ایستگاه های آتش نشانی انتخاب شده وجود داشته باشد. بنابراین باید تابع هدفی متناظر با اهداف ذکر شده در نظر گرفته شود. تابع هدف مرتبط با این مسأله می‌تواند به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$\mu(l) = min\left(\frac{\sum_{k=1}^{n} |X_1^{ab}(l) - X_1^{+}|_k}{\frac{X_2(l)}{X_2^{+}}}, \forall l \in L\right) \quad (۴)$$

[1] Heuristic

www.SID.ir

Archive of SID

در تابع هدف تعریف شده، L بیانگر مجموعه‌ی راه‌حل‌ها و l بیانگر هر راه‌حل که به طور تصادفی انتخاب می‌شود، است؛ لازم به ذکر است که هر راه‌حل در این مسأله، انتخاب تعدادی ایستگاه آتش نشانی مطابق با تعداد تقاضای موجود می‌باشد. n برابر ترکیب ۲ از تعداد ایستگاه های مد نظر جهت انتخاب می‌باشد. X_1^+ برابر میانگین فاصله‌ی کل ایستگاه های آتش نشانی از همدیگر، $X_1^{ab}(l)$ برابر فاصله‌ی ایستگاه aام از ایستگاه bام، $X_2(l)$ جمعیت بلوک‌های غیر تکراری که هر راه‌حل آنها را پوشش می‌دهد و X_2^+ جمعیت کل بلوک‌ها می‌باشد. راه‌حلی که بتواند تابع بالا را کمینه کند، به عنوان راه‌حل بهینه شناخته می‌شود.

جهت به دست آوردن $X_2(l)$، با توجه به رابطه‌ی $X = V \times T$، و در نظر گرفتن سرعت طرح و زمان استاندارد سرویس‌دهی هر ایستگاه آتش نشانی که در بخش‌های قبل ذکر شدند، و در نهایت محاسبه‌ی شعاع سرویس‌دهی هر ایستگاه و با توجه به فاصله‌ی شبکه‌ی محاسبه شده‌ی بلوک‌ها از ایستگاه ها، می‌توان بلوک‌هایی را که هر مرکز پوشش می‌دهد را مشخص، و جمعیت آن‌ها را جمع نمود؛ همچنین، در هر راه‌حل مراکز بلوک‌های سرویس داده شده‌ی تکراری حذف می‌شوند، که حاصل این محاسبات $X_2(l)$، یعنی جمعیت بلوک‌های تحت پوشش برای هر راه‌حل می‌باشد.

در مرحله‌ی بعد باید فرمون‌گذاری توسط مورچه‌ها صورت بگیرد. فرمون‌گذاری بر روی هر کدام از ایستگاه ها صورت می‌گیرد. در این تحقیق به تعداد ایستگاه های مورد نیاز در منطقه مطالعه (s ایستگاه)، مورچه مصنوعی در نظر گرفته می‌شود؛ که به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند. بنابراین، هر راه‌حل در این مطالعه شامل s ایستگاه آتش نشانی انتخاب شده و بلوک‌های تخصیص داده شده به هر ایستگاه می‌باشد؛ پس برای هر راه‌حل اگر آن راه‌حل بهترین راه‌حل تاکنون باشد، روی ایستگاه های انتخاب شده در آن راه‌حل فرومون‌گذاری انجام می‌شود (Liu et al., 2006: 365).

$$\zeta_i(t+1) = \zeta_i(t) + \Delta\zeta_i . y_l \qquad (۵)$$

$$y_l = \begin{cases} 1 & \text{اگر راه‌حل } l \text{ بهترین راه‌حل تا کنون باشد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

در فرمول بالا $\zeta_i(t+1)$ میزان فرومون ایستگاه iام در تکرار t+1 و $\zeta_i(t)$ میزان فرومون آن ایستگاه در تکرار t است. همچنین اندیس l در y_l به معنی راه‌حل می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

همان طور که گفته شد، در حل مسأله به روش کلونی مورچه باید انتخاب راه‌حل براساس احتمال باشد؛ هر چند احتمال انتخاب مسیر پر فرومون‌تر توسط مورچه‌ها بیش‌تر است، ولی این کماکان احتمال است و قطعیت نیست. یعنی راه‌حل بهتر احتمال انتخاب بیش‌تری دارد، ولی ممکن است راه‌حل بدتر انتخاب شود. احتمال انتخاب یک راه‌حل با استفاده از فرمول زیر می‌تواند محاسبه شود (Dorigo and Stutzle, 2004: 13).

$$P_i(t) = \frac{\zeta_i(t)}{\sum_{i=1}^{m} \zeta_i(t)} \quad (۶)$$

در فرمول بالا $P_i(t)$ احتمال انتخاب ایستگاه iام در زمان t، $\zeta_i(t)$ میزان فرمون موجود در ایستگاه iام، و $\sum_{i=1}^{m} \zeta_i(t)$ مجموع فرمون در کل ایستگاه های موجود می‌باشد. در این مطالعه احتمالات محاسبه شده تبدیل به چرخ رولت برای انتخاب تصادفی s گزینه از گزینه‌های موجود، می‌شود. چرخ رولت دایره‌ای است با قطاع‌های مختلف که هر قطاع نشان دهنده احتمال انتخاب یک گزینه می‌باشد.

برای جلوگیری از گیر کردن برنامه در بهینه محلی، و وادار کردن مورچه‌ها برای فراموش کردن اطلاعات بد جمع آوری شده، و همچنین ایجاد شانس برای جواب‌های جدیدتر و بهتر، باید تبخیر فرومون صورت بگیرد (Dorigo, 1992: 106). تبخیر فرومون در هر مرحله‌ی تکرار انجام می‌پذیرد؛ و با استفاده از یک پارامتر که نسبت تبخیر نامیده می‌شود، کنترل می‌گردد. این امر باعث کاهش فرومون هر کدام از گزینه‌ها می‌شود. اگر نسبت تبخیر ۱۰ درصد گرفته شود، آنگاه مقدار فرومون هر گزینه برابر با ۹۰ درصد مقدار اولیه‌ی آن می‌شود. تبخیر فرمون نیز می‌تواند با استفاده از فرمول زیر انجام پذیرد (Dorigo and Stutzle, 2004: 15):

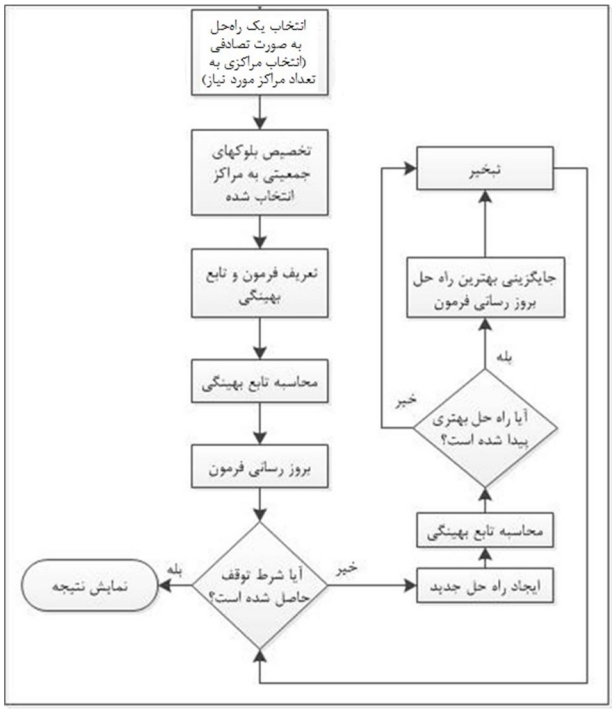
$$\zeta_i(t+1) = (1-\rho).\zeta_i(t) \quad (۷)$$

در فرمول بالا $\zeta_i(t+1)$ میزان فرومون در تکرار t+1، $\zeta_i(t)$ میزان فرومون در تکرار t، و ρ نسبت تبخیر می‌باشد؛ که میزان آن ثابت و برابر با ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است.

پس از محاسبات بالا و برآورده شدن شرط توقف که در این جا تعداد تکرار لحاظ می‌شود، و انتخاب ترکیب ایستگاه های برتر، در نهایت بلوک‌های جمعیتی بدین صورت به ایستگاه های منتخب تخصیص داده می‌شوند که با توجه به فاصله‌ی شبکه‌ی موجود محاسبه شده در مراحل قبل، هر بلوک به نزدیک ترین ایستگاه منتخب تخصیص داده می‌شود. فلوچارت الگوریتم به کار رفته در این تحقیق در شکل نمایش داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

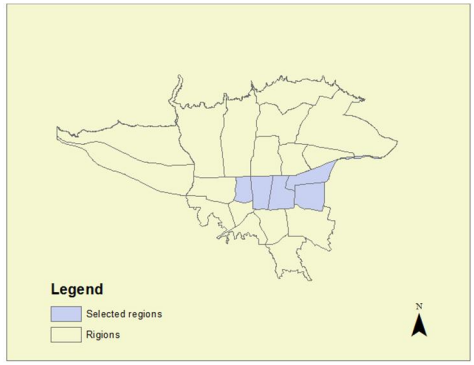


شکل ۲) فلوچارت الگوریتم مورچه

مأخذ: نگارندگان

۴- منطقه مطالعه

منطقه مطالعه در این مقاله شامل مناطق ۹، ۱۰ ، ۱۱ ، ۱۲و ۱۳ شهرداری تهران می‌باشد. این نواحی در نقشه شهر تهران در شکل نشان داده شده است.



شکل ۳) مناطق انتخاب شده از نواحی شهر تهران

مأخذ: نگارندگان

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه‌ی مطالعه دارای ۱۷ ایستگاه آتش نشانی می‌باشد؛ همچنین شامل ۶۹۱ بلوک شهری است. در این مطالعه هدف انتخاب ۴ ایستگاه آتش نشانی از ۱۰ ایستگاه گزینه است، تا بتوانند همراه با ایستگاه های موجود بهترین پوشش‌دهی را به بلوک‌های جمعیتی داشته و فاصله‌ی منطقی با یکدیگر داشته باشند.

۵- شناسایی معیارهای مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی

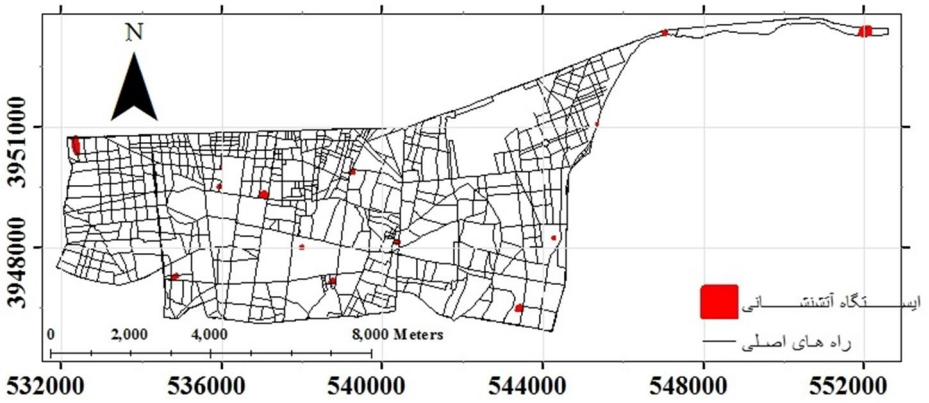
معیارهای مؤثر در مکان یابی بهینه ایستگاه های آتش نشانی، بر اساس مطالعات گذشته در این مورد انتخاب شدند (علوی و همکاران، ۱۳۹۱؛ نظریان و کریمی، ۱۳۸۸). در این تحقیق معیارهای استفاده شده اصلی برای ورود به مدل تصمیم‌گیری چند معیاره شامل دسترسی به معابر اصلی، مجاورت به کاربری‌های سازگار، دوری از کاربری‌های ناسازگار و همچنین قید عدم قرارگیری در محدوده‌ی سرویس‌دهی ایستگاه های موجود می‌باشند. به منظور محاسبه‌ی وزن هر یک از معیارها، پرسشنامه‌ای طراحی و توسط ۳ تن از متخصصان شهرداری تهران تکمیل شد؛ یکی از روش های رایج برای ترکیب نظرات مختصصان، این است که هر سه عضو دور یکدیگر جمع شوند، و در جلسه‌ای به یک نظر واحد (اجماع) در خصوص هر مؤلفه از جداول مقایسه‌ای زوجی برسند. بنابراین، برای تولید جداول مقایسه‌ی زوجی حاصل از نظر اجماع متخصصان از روش ذکر شده استفاده شد. البته روش ذکر شده معایبی از قبیل بی‌خاصیت‌سازی جداول مقایسه‌ای هر عضو را دارا می‌باشد، همچنین استفاده از میانگین هندسی برای ترکیب جداول مقایسه‌ای اعضاء، بهترین روش می‌باشد (Aczel and Saaty, 1983)؛ اما از آنجا که هدف اصلی این مقاله بررسی روش های تصمیم‌گیری گروهی نمی‌باشد، لذا به علت سهولت و سرعت بیش تر این مرحله از تحقیق، از روش ذکر شده (روش اول) استفاده شد. بنابراین، پس از تکمیل پرسشنامه‌های ذکر شده توسط متخصصان، وزن‌های مربوطه توسط نرم افزار EXPERT CHOICE محاسبه شدند؛ سپس پس از بررسی نسبت سازگاری، وزن‌های مربوطه به عنوان وزن‌های نهایی استفاده شدند. لازم به ذکر است که دو معیار جمعیت، و فاصله‌ی منطقی میان ایستگاه های جدید نیز در الگوریتم مورچه‌ی پیشنهادی برای انتخاب گزینه‌های برتر استفاده شدند. در ادامه هر یک از این معیارها به اختصار توضیح داده می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۱- دسترسی به معابر اصلی

دسترسی به معابر اصلی از مهم ترین معیارهای هر مسأله‌ی مکان یابی برای مراکز خدماتی شهری می‌باشد. این معیار به طرق گوناگون قابل بررسی می‌باشد. به عنوان مثال، می‌توان تنها مجاورت به این معابر را در مدل دخیل نمود، یا عواملی نظیر میزان ترافیک، عرض خیابان، یا یک طرفه بودن خیابان را نیز مد نظر قرار داد (علوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۱). در این تحقیق، در مرحله‌ی اول، تنها مجاورت به معابر اصلی منطقه مطالعه به عنوان یک معیار در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در مدل تصمیم‌گیری چند معیاره این تحقیق، مجاورت به معابر اصلی به عنوان یک معیار سود در نظر گرفته شد. در نتیجه، پس از محاسبه‌ی فاصله از معابر اصلی توسط توابع موجود در نرم‌افزار ARC GIS 10، و طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری طبقات نقشه‌ی حاصل، این نقشه به عنوان یک نقشه معیار برای ترکیب با سایر معیارها در نظر گرفته شد. معابر اصلی منطقه در شکل نشان داده شده‌اند.



شکل ۴) معابر اصلی به همراه ایستگاه های آتش نشانی موجود

مأخذ: نگارندگان

۵-۲- مجاورت به کاربری‌های سازگار

در مکان یابی بهینه‌ی مراکز خدماتی درون شهری، مجاورت به تعدادی از کاربری‌های شهری باعث افزایش کیفیت و کارایی این مراکز می‌شود (علوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۲). در این تحقیق، چهار کاربری پمپ بنزین، محل ذخیره گاز، صنعتی و تجاری به دلیل وجود مواد قابل احتراق و ریسک بالاتر آتش‌سوزی، به عنوان کاربری‌های سازگار در نظر گرفته شدند (شکل). پس از محاسبه‌ی فاصله از هر یک از انواع کاربری‌های سازگار توسط توابع موجود در نرم‌افزار

www.SID.ir

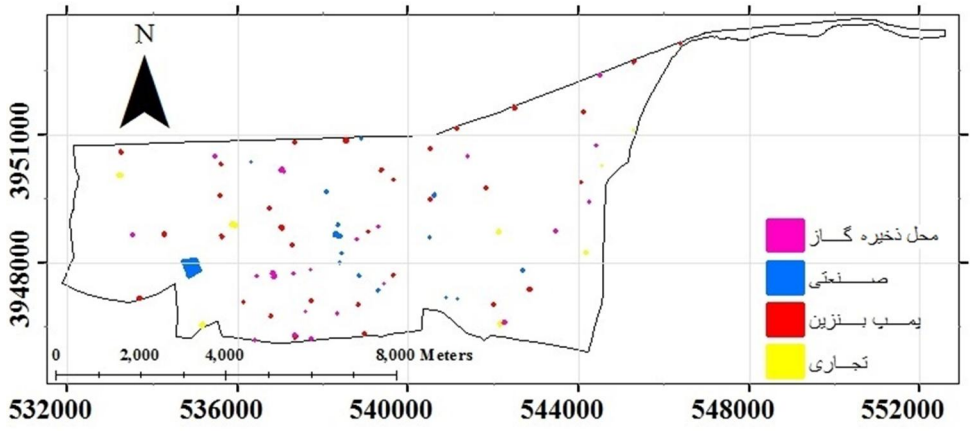
Archive of SID

ARC GIS 10، و طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری طبقات فاصله‌ی نقشه‌های حاصل، این نقشه‌ها به عنوان نقشه‌های زیرمعیار برای معیار کاربری سازگار در نظر گرفته شدند. در مرحله‌ی بعد، پس از مقایسه زوجی هر یک از کاربری‌های سازگار با یکدیگر و به دست آوردن وزن هر یک توسط نرم‌افزار EXPERT CHOICE که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند، نقشه‌های زیرمعیار با یکدیگر ترکیب شده و نقشه معیار کاربری‌های سازگار تولید شد. لازم به ذکر است که شاخص سازگاری ماتریس مقایسه‌ی زوجی زیر برابر با ۰.۰۱۰۳۲۷۸، و از آنجا که میزان RI برای چهار معیار برابر ۰.۹ می‌باشد (Saaty, 1980)، نسبت سازگاری برابر ۰.۰۱۱۴۷۵۳ محاسبه شد؛ که کم تر از ۰.۱ می‌باشد.

جدول ۱) ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌های نهایی کاربری‌های سازگار

کاربری سازگار	صنعتی	تجاری	محل ذخیره گاز	پمپ بنزین	وزن نهایی
صنعتی	۱	۲	۱/۲	۱/۳	۰.۱۶۰۱
تجاری	۱/۲	۱	۱/۳	۱/۴	۰.۰۹۵۴
محل ذخیره گاز	۲	۳	۱	۱/۲	۰.۲۷۷۲
پمپ بنزین	۳	۴	۲	۱	۰.۴۶۷۳

مأخذ: محاسبات آماری نویسندگان



شکل ۵) کاربری‌های سازگار

مأخذ: نگارندگان

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۳- دوری از کاربری‌های ناسازگار

با توجه به تأثیر وجود ایستگاهای آتش نشانی بر کیفیت زندگی مردم، این ایستگاه ها بهتر است در مجاورت برخی کاربری‌ها که در این جا به آن‌ها کاربری‌های ناسازگار می‌گویند، قرار نگیرند (علوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۲). در این تحقیق، کاربری‌های اداری، مذهبی، آموزشی، درمانی و بیمارستان‌ها به عنوان کاربری‌های ناسازگار در نظر گرفته شدند (شکل ۱). بنابراین، پس از محاسبه‌ی فاصله از هر یک از انواع کاربری‌های ناسازگار توسط توابع نرم‌افزار ARC GIS 10، و طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری طبقات موجود در نقشه‌های حاصل، این نقشه‌ها به عنوان نقشه‌های زیرمعیار برای معیار کاربری ناسازگار در نظر گرفته شدند. در نهایت، پس از مقایسه‌ی زوجی این معیارها و به دست آوردن وزن‌های هر یک توسط نرم‌افزار EXPERT CHOICE (جدول)، این معیارها با یکدیگر ترکیب شده و نقشه کاربری‌های ناسازگار تهیه شد. لازم به ذکر است که شاخص سازگاری ماتریس مقایسه‌ی زوجی زیر برابر با ۰.۰۴۳۱۸۷۳، و از آنجا که میزان RI برای پنج معیار برابر ۱.۱۲ می‌باشد (Saaty, 1980)، نسبت سازگاری برابر ۰.۰۳۸۵۶ محاسبه شد؛ که کم تر از ۰.۱ می‌باشد.

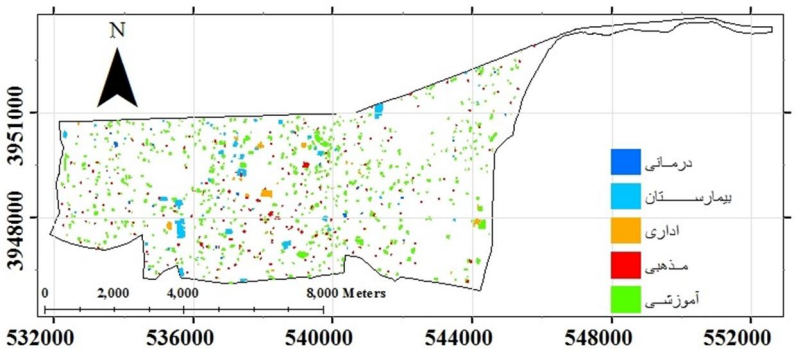
جدول ۲) ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌های نهایی کاربری‌های ناسازگار

کاربری ناسازگار	اداری	آموزشی	مذهبی	درمانی	بیمارستان	وزن نهایی
اداری	۱	۱/۲	۲	۱/۳	۱/۴	۰.۰۸۹۴
آموزشی	۲	۱	۳	۱/۴	۱/۵	۰.۱۱۹۳
مذهبی	۱/۲	۱/۳	۱	۱/۵	۱/۶	۰.۰۵۲۱
درمانی	۳	۴	۵	۱	۱/۲	۰.۲۹۴۴
بیمارستان	۴	۵	۶	۲	۱	۰.۴۴۴۷

مأخذ: محاسبات آماری نویسندگان

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱) کاربری‌های ناسازگار

مأخذ: نگارندگان

۶- ترکیب نقشه‌های معیارها

پس از استاندارد نمودن نقشه‌ی معیارها و ترکیب نقشه‌ی معیارهای نهایی با توجه به وزن‌های به دست آمده توسط روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار EXPERT CHOICE که در جدول نشان داده شده‌اند، نقشه تناسب احداث ایستگاه های جدید آتش نشانی تولید شد. نقشه حاصل پس از طبقه‌بندی در شکل نشان داده شده است. لازم به ذکر است که شاخص سازگاری ماتریس مقایسه‌ی زوجی زیر برابر با ۰.۰۰۴۶، و از آنجا که میزان RI برای سه معیار برابر ۰.۵۸ می‌باشد (Saaty, 1980)، نسبت سازگاری برابر ۰.۰۰۷۹۳ محاسبه شد؛ که کم تر از ۰.۱ می‌باشد.

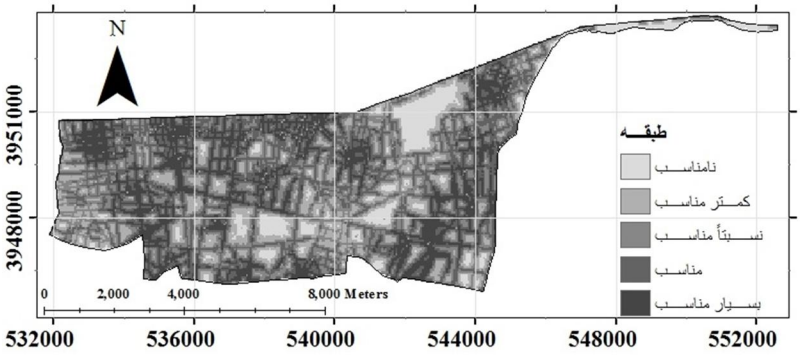
جدول ۳) ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌های نهایی معیارهای اصلی

معیار	دسترسی به معابر اصلی	مجاورت به کاربری‌های سازگار	دوری از کاربری‌های ناسازگار	وزن نهایی
دسترسی به معابر اصلی	۱	۲	۳	۰.۵۳۹۶
مجاورت به کاربری‌های سازگار	۱/۲	۱	۲	۰.۲۹۷۰
دوری از کاربری‌های ناسازگار	۱/۳	۱/۲	۱	۰.۱۶۳۴

مأخذ: محاسبات آماری نویسندگان

www.SID.ir

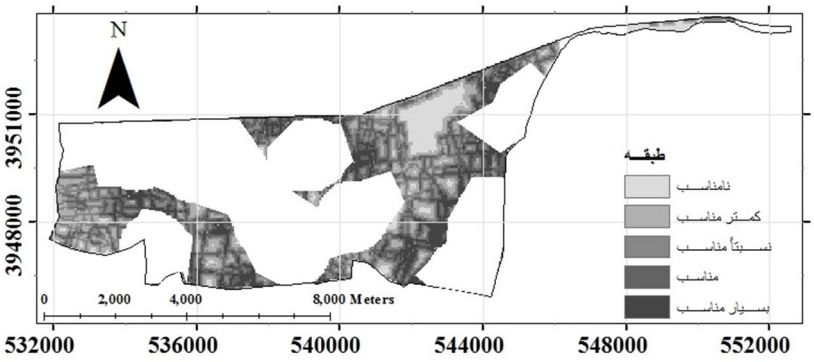
Archive of SID



شکل ۷) نقشه تناسب احداث ایستگاه آتش نشانی

مأخذ: نگارندگان

استانداردهای جهانی زمان رسیدن به محل حادثه را ۳-۵ دقیقه (در این جا ۵ دقیقه) در نظر گرفته‌اند؛ همچنین سرعت خودروهای امدادی را بین ۳۰-۴۰ کیلومتر در ساعت (در این جا ۳۰ کیلومتر بر ساعت) در نظر گرفته‌اند (پرهیزکار، ۱۳۸۳). با توجه به زمان استاندارد و سرعت متوسط ماشین‌های آتش نشانی، ناحیه‌ی سرویس‌دهی هر کدام از ایستگاه های موجود توسط ابزار تحلیل شبکه موجود در نرم‌افزار ARC GIS 10 به دست آمد (۲.۵ کیلومتر فاصله‌ی شبکه)؛ و سپس با ابزار Erase موجود در این نرم‌افزار از نقشه‌ی مکان‌های مناسب برای ایستگاه های آتش نشانی تهیه شده توسط روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی حذف شد (شکل). بدین معنی که ایستگاه های جدید نباید در محدوده‌ی سرویس‌دهی ایستگاه های موجود انتخاب شوند.



شکل ۸) نقشه تناسب احداث ایستگاه های آتش نشانی به همراه محدوده‌ی پوشش ایستگاه های موجود

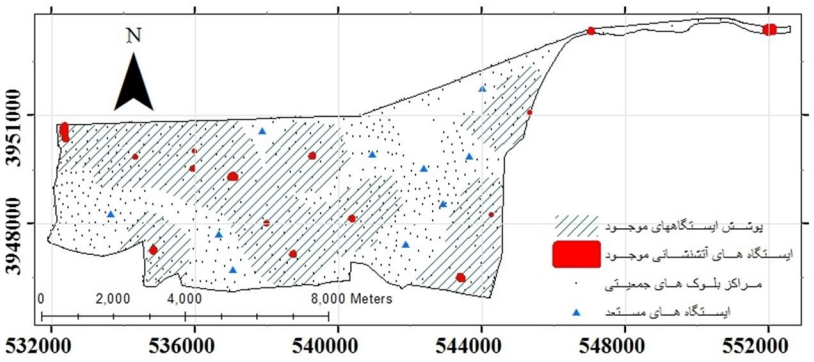
مأخذ: نگارندگان

www.SID.ir

Archive of SID

۷- انتخاب ایستگاهای مستعد

با توجه به نقشه تهیه شده در شکل ، ۱۰ ایستگاه مستعد در مکان‌هایی با تناسب بالا انتخاب شدند؛ همچنین به منظور بهینه‌سازی پوشش‌دهی ایستگاه ها، ایستگاه های مستعد تا حد امکان دور از شعاع پوشش‌دهی ایستگاه های موجود انتخاب شدند. ایستگاه های مستعد در شکل نشان داده شده‌اند.



شکل ۹) ایستگاه های منتخب به همراه ایستگاه های موجود و محدوده‌ی پوشش آن‌ها

مأخذ: نگارندگان

۸- انتخاب و تخصیص بلوک‌ها توسط الگوریتم کلونی مورچه

در این تحقیق، پیاده‌سازی الگوریتم کلونی مورچه در نرم‌افزار MATLAB 2011 انجام شد. پس از آماده‌سازی داده‌هایی شامل مراکز بلوک‌های جمعیتی تحت پوشش قرار نگرفته توسط ایستگاه های موجود، و ایستگاه های گزینه که توسط روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار ARC GIS 10 انتخاب شدند؛ فاصله‌ی شبکه هر یک از مراکز بلوک‌های جمعیتی از ایستگاه های گزینه و فاصله‌ی شبکه ایستگاه های گزینه از یکدیگر توسط توابع تحلیل شبکه موجود در نرم‌افزار ARC GIS 10 محاسبه شدند. در مرحله‌ی بعد این فواصل در جداولی با شناسه‌های مشخص ذخیره شدند؛ جمعیت هر یک از بلوک‌های جمعیتی نیز در جدولی با شناسه‌های مشخص ذخیره شد. پس از انجام اعتبارسنجی الگوریتم که در بخش بعد بیان می‌شود، اطلاعات تهیه شده وارد نرم‌افزار MATLAB شده، و محاسبات مربوط به الگوریتم کلونی مورچه برای انتخاب ایستگاه های مناسب انجام شد. لازم به ذکر است که با توجه به شرایط منطقه که در شکل نشان داده شده، وجود ۴ ایستگاه جدید در منطقه ضروری و بهینه به نظر می‌رسد.

www.SID.ir

Archive of SID

در این تحقیق، هر راه‌حل برابر انتخاب ۴ ایستگاه آتش نشانی می‌باشد. در این مرحله، ابتدا ۴ ایستگاه به صورت تصادفی به عنوان راه‌حل اولیه انتخاب شدند؛ سپس بر اساس فواصل شبکه‌ی محاسبه شده میان هر ایستگاه و مراکز بلوک‌های جمعیتی، و بر اساس مدت زمان محاسبه شده‌ی استاندارد برای ایستگاه های آتش نشانی، بلوک‌های جمعیتی به نزدیک ترین بلوک‌ها تخصیص می‌یابند؛ و جمعیت مجموع بلوک‌های تحت پوشش در هر راه‌حل محاسبه می‌شود. سپس تابع هدف تعریف شده در بخش‌های قبل محاسبه می‌شود. در تابع هدف ذکر شده نیز n برابر با ترکیب ۲ از ۱۰ (یعنی ۴۵)؛ X_1^+ برابر با میانگین فواصل کل ایستگاه های مستعد آتش نشانی از یکدیگر (یعنی ۳۳۷۸.۷ متر)؛ X_2^+ نیز نشان‌دهنده‌ی جمعیت کل بلوک‌ها (یعنی ۱۴۷۷۵۱۸ نفر) می‌باشد. سایر پارامترها شامل $X_1^{ab}(l)$ و $X_2(l)$ که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی فاصله‌ی ایستگاه aام از ایستگاه bام (بر اساس فواصل شبکه محاسبه شده)، و جمعیت بلوک‌های غیر تکراری که هر راه‌حل آن ها را پوشش می‌دهد (این بلوک‌ها بر اساس فاصله‌ی شبکه از ایستگاه ها که کم تر از ۲.۵ کیلومتر باشند، مشخص شده، و جمعیت آن‌ها جمع می‌شود)، هستند نیز در هر راه‌حل متغیر می‌باشند؛ که جزئیات مربوط به محاسبه‌ی آن‌ها در بخش فرموله‌سازی بیان شده‌اند.

در مرحله‌ی بعد به منظور فرومون‌گذاری، ۴ مورچه مصنوعی (یعنی به تعداد ایستگاه های مورد نیاز در منطقه مطالعه) در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق میزان فرومون اولیه بر روی تمامی ایستگاه های مستعد (یعنی $\zeta_i(t=0)$) برابر ۱؛ و $\Delta\zeta_i$ برابر با ۰.۱ در نظر گرفته شد. پس از بررسی میزان بهینگی تابع هدف محاسبه شده (یعنی کم تر بودن مقدار تابع هدف محاسبه شده در آن مرحله نسبت به مراحل قبل) به روز رسانی فرومون انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که در مرحله‌ی اول، چون هیچ مرحله‌ی دیگری پیش از آن انجام نشده است، به روز رسانی بدون بررسی میزان بهینگی صورت می‌پذیرد؛ اما در مراحل بعد، با مقایسه‌ی مقدار تابع هدف با مراحل قبلی، و کمینه بودن آن اقدام به به روز رسانی فرومون می‌شود.

احتمال انتخاب هر ایستگاه در هر مرحله از طریق رابطه‌ی ۶ (یعنی نسبت فرومون هر ایستگاه در هر مرحله به مجموع فرومون‌های تمامی ایستگاه ها در همان مرحله) محاسبه می‌شود. سپس با ضرب ۳۶۰ در هر احتمال محاسبه شده (چون هر دایره ۳۶۰ درجه می‌باشد)، چرخ رولت تشکیل می‌شود؛ یعنی هر ایستگاه دارای قعاطی متناسب با میزان فرومونش نسبت به سایر ایستگاه ها می‌شود. به عنوان نمونه اگر عدد محاسبه شده برای ایستگاه اول ۶۲.۸۸ و برای ایستگاه دوم ۲۳.۳۴ باشد، آن‌گاه از ۰ تا ۶۲.۸۸ بازه‌ی متعلق به ایستگاه اول و از ۶۲.۸۹ تا

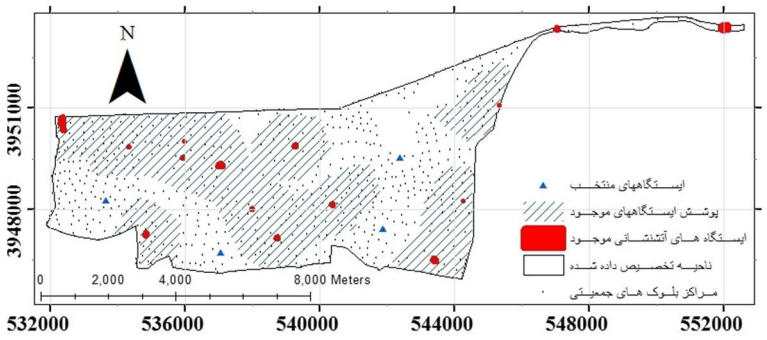
www.SID.ir

Archive of SID

۸۶.۲۲ بازه‌ی متعلق به ایستگاه دوم می‌باشد؛ برای سایر ایستگاه ها نیز این اعداد به همین صورت تجمعی تا ۳۶۰ محاسبه می‌شوند. سپس با انتخاب یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱، و ضرب ۳۶۰ در آن، یک عدد (یا احتمال) محاسبه می‌شود؛ و پس از بررسی این که عدد محاسبه شده در بازه‌ی متعلق به کدام ایستگاه است، آن ایستگاه انتخاب می‌شود؛ بنابراین هر چه مقدار فرومون یک ایستگاه بیش تر باشد، بازه‌ی آن و متعاقباً احتمال انتخاب آن بیش تر است. این روند سه مرتبه‌ی دیگر (زیرا در هر مرحله ۴ ایستگاه باید انتخاب شود) تکرار می‌شود، با این تفاوت که در مرحل دوم تا چهارم این موضوع که ایستگاه انتخاب شده تکراری نباشد نیز بررسی می‌شود، و در صورت تکراری بودن یک عدد تصادفی جدید تولید می‌شود. در نهایت پس از انتخاب ۴ ایستگاه، انتخاب ایستگاه های یک مرحله کامل می‌شود.

در این تحقیق، تبخیر فرومون در هر مرحله‌ی تکرار نیز فارغ از این که راه‌حل انتخاب شده بهترین است یا خیر، انجام می‌پذیرد؛ و با استفاده از پارامتر نسبت تبخیر (که مقدار آن ۱۰ درصد مقدار فرومون موجود در هر ایستگاه در نظر گرفته شد) کنترل می‌گردد. بنابراین میزان فرومون هر ایستگاه در تکرار $t+1$ برابر میزان فرومون آن ایستگاه در تکرار t منهای ۱۰ درصد میزان فرومون آن ایستگاه در تکرار t می‌شود.

در نهایت پس از اجرای الگوریتم (که به صورت شماتیک در شکل ۲ ارائه شده است) و بررسی میزان بهینگی هر راه‌حل (بر اساس تابع هدف محاسبه شده)، اگر آن راه‌حل بهتر از بهترین راه‌حل قبلی بود (یعنی تابع هدف آن کم تر از تابع هدف بهترین راه‌حل قبلی بود)، آن راه‌حل جایگزین بهترین راه‌حل قبلی می‌شود، و میزان فرومون ایستگاه های موجود در راه‌حل جدید به روز می‌شود. پس از تکرار این فرآیند و اجرای مکرر الگوریتم و برقراری شرط توقف (که در این مطالعه ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شد)، بهترین راه‌حل (۴ ایستگاه به عنوان ایستگاه های منتخب) انتخاب می‌شود (شکل).



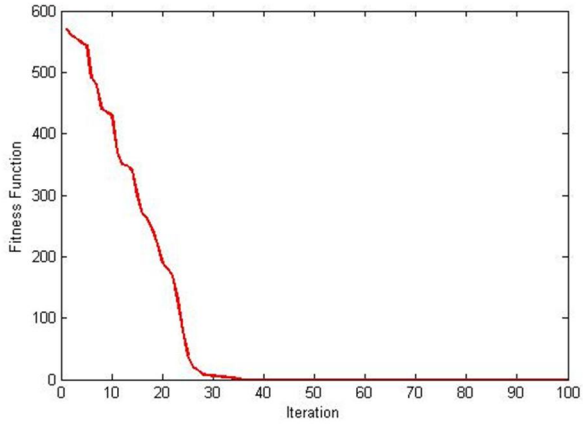
شکل ۱۰) ایستگاه های منتخب که با رنگ آبی نشان داده شده‌اندمأخذ: نگارندگان

www.SID.ir

Archive of SID

همان طور که در شکل دیده می‌شود، ایستگاه های انتخاب شده از یکدیگر فاصله مناسبی داشته و بهترین پوشش را به مراکز جمعیتی دارند؛ پس همان طور که مشخص است، این چهار ایستگاه به بهترین وجه ممکن شرایط مسأله را برآورده کرده و تابع هدف را کمینه نموده‌اند.

نمودار همگرایی برای الگوریتم، نشان‌دهنده‌ی میزان تکرارهای لازم برای رسیدن به جواب بهینه می‌باشد. در نمودار همگرایی، محور افقی نمایانگر تعداد تکرارها و محور عمودی نشان‌دهنده‌ی مقدار تابع بهینگی می‌باشد. شکل نمودار همگرایی مسأله را نشان می‌دهد؛ که به سرعت و پس از ۲۷ تکرار، حدوداً همگرا شده است.



شکل ۱۱) نمودار همگرایی الگوریتم

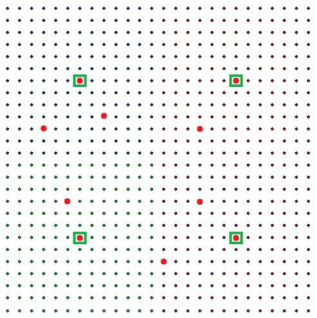
مأخذ: نگارندگان

۹- اعتبار سنجی الگوریتم

برای حصول اطمینان از کارکرد صحیح الگوریتم ارائه شده، و این که الگوریتم توانایی حل مسائل را به درستی دارد، باید اعتبارسنجی انجام بگیرد. جهت انجام اعتبارسنجی الگوریتم نوشته شده، یک منطقه‌ی ساختگی با ۶۶۶ بلوک ایجاد شد و به ۴ بخش تقسیم گردید. سپس ۱۰ مرکز خدماتی نیز در محل هایی به طور تصادفی قرار داده شدند؛ به طوریکه ۴ مرکز از مراکز در وسط هر چهار منطقه قرار داده شد؛ با فرض انتخاب ۴ مرکز از مراکز، در صورتی که الگوریتم نوشته شده صحیح باشد، باید ۴ مرکزی که در وسط ۴ بخش گذاشته شده‌اند، انتخاب شوند، و بلوک‌های جمعیتی حول هر مرکز به آن مرکز تخصیص داده شوند. نتایج این مرحله در شکل نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲) اعتبار سنجی الگوریتم در منطقه آزمایشی: نقاط سبز ایستگاه هایی می‌باشند،که به درستی مکان یابی شده‌اند. مأخذ: نگارندگان

۱۰- نتیجه گیری

موقعیت استقرار ایستگاه های امدادی، نقش بسیار مهمی در تأمین امنیت شهر و توسعه‌ی آن ایفا می‌کنند. علاوه بر این، استقرار مناسب ایستگاه های امدادی مانند ایستگاه های آتش نشانی، موجب کاهش خسارات مالی و جانی ناشی از حوادث غیر مترقبه می‌شود. همچنین، شهرهایی با زیرساخت‌های نامناسب و در حال توسعه مانند تهران، با کمبود کاربری‌های خدماتی مانند ایستگاه های آتش نشانی مواجه می‌باشند. بنابراین، ضرورت توجه به روش های مکان‌گزینی بهینه و احداث ایستگاه های آتش نشانی جدید برای پوشش منطقه توجیه می‌شود.

یکی از شاخه‌های اصلی برنامه‌ریزی کاربری، مکان یابی می‌باشد. علاوه بر این، مکان یابی مراکز خدماتی از جمله ایستگاه های آتش نشانی از جمله مهم ترین کاربردهای GIS می‌باشد. مسائل مکان یابی-تخصیص نیز از جمله مسائل بسیار پیچیده و جالب در GIS می‌باشد؛ به طوری‌که در مکان یابی به دنبال یک مکان مناسب برای یک کاربری به خصوص می‌گردیم، و در تخصیص به دنبال بهینه‌سازی زمان رسیدن و یا ظرفیت می‌باشیم. از سوی دیگر، اگر بهینه‌سازی شرایط خاصی نداشته باشد، می‌توان از روش های بهینه‌سازی ریاضی استفاده نمود. اما در روش های بهینه‌سازی ریاضی باید کل فضای جستجو، مورد جستجو قرار گیرد. بنابراین، از آنجا که بهینه‌سازی مدت زمان حل مسأله، از اهداف بسیار مهم می‌باشد، پس روش های ابتکاری و فراابتکاری مثل الگوریتم‌های هوش مصنوعی استفاده می‌شوند. الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه نیز از جمله الگوریتم‌های رایج روش های فراابتکاری می‌باشد. بنابراین لزوم استفاده از GIS و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه در این مسأله تبیین می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

در این مقاله یک روش برای مکان یابی بهینه‌ی ایستگاه های آتش نشانی توسط ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و الگوریتم کلونی مورچه معرفی شد. مناطق مستعد احداث ایستگاه آتش نشانی توسط روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی که یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره بسیار متداول و رایج می‌باشد، شناسایی شدند. معیارهای اصلی در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل دسترسی به معابر اصلی، مجاورت به کاربری‌های سازگار و دوری از کاربری‌های ناسازگار بودند. سپس توسط نقشه‌ی تناسب احداث ایستگاه های آتش نشانی حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، گزینه‌های مستعد شناسایی شدند. در مرحله‌ی بعد با تعیین تعداد ایستگاه های مورد نیاز، یک الگوریتم کلونی مورچه با در نظر گرفتن دو هدف شامل فاصله مناسب میان ایستگاه ها، و پوشش‌دهی بیشینه‌ی جمعیت ارائه شد. در نهایت این الگوریتم در زمان کوتاهی ایستگاه های مناسب‌تر را از میان ایستگاه های مستعد، با در نظر گرفتن اهداف ذکر شده انتخاب نمود.

الگوریتم کلونی مورچه پیشنهاد شده در این تحقیق برای حل مسائل مکان یابی تسهیلات شهری در مقیاس بزرگ می‌تواند استفاده شود. این الگوریتم شامل چهار جزء اساسی می‌باشد؛ این اجزاء شامل تعریف فرومون اولیه و روش به‌روزرسانی آن، تعریف تابع ابتکاری، شیوه‌ی ساخت راه‌حل و قوانین آن، و مکانیزم تبخیر می‌باشند.

با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها می‌توان مسائل با سایز بزرگ و پیچیده مانند مسائل بلادرنگ[1] و مسائل با قیود زیاد را حل نمود. در آینده می‌توان برای تعیین پوشش مراکز خدماتی، حتی داده‌های ترافیکی را نیز به مسأله‌ی موجود اضافه کرد و با استفاده از آن اقدام به تعیین پوشش مراکز خدماتی نمود.

استفاده از ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و یک الگوریتم فرا ابتکاری می‌تواند قدرت تحلیل مکانی در سیستم اطلاعات مکانی را بالا برد. داده‌های اولیه ابتدا در سیستم اطلاعات مکانی آماده می‌شود و به الگوریتم فرا ابتکاری داده می‌شود و سپس الگوریتم فرا ابتکاری راه‌حل بهینه را ایجاد می‌کند. این فرآیند می‌تواند پیش درآمدی برای توسعه‌ی یک سامانه‌ی حامی تصمیم‌گیری مکانی با استفاده از ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و یک الگوریتم ابتکاری باشد. چنین سامانه‌ای می‌تواند برای مکان یابی تجهیزات اورژانسی و یا دیگر مسائل بهینه‌سازی مکانی در زندگی واقعی بسیار با ارزش باشد.

[1] Real Time

www.SID.ir

Archive of SID

منابع و مآخذ:

۱. پرهیزکار، ا. ۱۳۸۳. ارائه مدل و ضوابط مکان‌گزینی ایستگاه‌های آتش نشانی. پایان‌نامه دکتری دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲. عادلی، م.، متکان، ا.ع.، ضیائیان، پ.، پورعلی، ح. ۱۳۸۶. مکان گزینی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر گرگان با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی. اولین همایش GIS شهری، دانشگاه شمال، ۵-۴ شهریور. ۱۲-۱.

۳. علوی، س.ع.، سالاروند، ا.، احمد آبادی، ع.، فرخی سیس، س.، بسحاق، م.ر. ۱۳۹۱. تحلیل فضا- مکانی عملکرد ایستگاه های آتش نشانی بر پایه ی مدیریت بحران با استفاده از روش تلفیقی MCDM و تحلیل شبکه. دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۱(۲): ۶۵-۵۷.

۴. نظریان، ا.، کریمی، ب. ۱۳۸۸. ارزیابی توزیع فضایی و مکان یابی ایستگاه های آتش نشانی شهر شیراز با استفاده از GIS . فصل نامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس، ۱(۲): ۱۹-۵.

5. Aczel, J., Saaty, T.L., 1983. Procedures for Synthesizing Ratio Judgments. Journal of Mathematical Psychology 27: 93-102.

6. Bullnheimer, B., Hartl, R.F., Strauss, C. 1997. A new rank based version of the ant system—A computational study. Technical Rep. Prepared for Institute of Management Science, Univ. of Vienna, Austria.

7. Bunruamkaew, K., Murayam, Y. 2011. Site suitability evaluation for ecotourism using GIS & AHP: A case study of Surat Thani province, Thailand. Procedia-Social and Behavioral Sciences 21: 269-278.

8. Doeksen, G., and Oehrtman, R. 1976. Optimum locations for a rural fire system: A study of a major county in Oklahoma. Southern Journal of Agricultural Economics 12: 121-127.

9. Dorigo, M. 1992. Optimization, learning and natural algorithms. Ph. D. Thesis, Politecnico di Milano, Italy.

10. Dorigo, M., Stützle, T. 2003. The ant colony optimization metaheuristic: Algorithms, applications, and advances. In Handbook of metaheuristics. Springer. pp. 250-285.

11. Dorigo, M., Stützle, T. 2004. Ant Colony Optimization. First Edition. The MIT Press. 305P.

12. Eldrandaly, K.A., Eldin, N., Sui, D.Z., Shouman, M.A., Nawara, G. 2005. Integrating GIS and MCDM Using COM Technology. Int. Arab J. Inf. Technol. 2(2): 162-167.

13. Gambardella, L., Taillard, E., Dorigo, M. 1997. Ant colonies for the QAP. Technical Report 4-97, IDSIA, Lugano, Switzerland, 1997. Accepted for publication in the Journal of the Operational Research Society (JORS).

www.SID.ir

Archive of SID

14. Hamacher, H.W., Drezner, Z. 2002. Facility location: Applications and theory. Springer.
15. Hertz, A., Widmer, M. 2003. Guidelines for the use of meta-heuristics in combinatorial optimization. European Journal of Operational Research 151(2): 247-252.
16. Hogg, J.M. 1968. The siting of fire stations. OR: 275-287.
17. Kuenne, R.E., Soland, R.M. 1972. Exact and approximate solutions to the multisource Weber problem. Mathematical Programming 3(1): 193-209.
18. Li, X., He, J., Liu, X. 2009. Intelligent GIS for solving high dimensional site selection problems using ant colony optimization techniques. International Journal of Geographical Information Science 23(4): 399-416.
19. Liu, N., Huang, B., Chandramouli, M. 2006. Optimal siting of fire stations using GIS and ANT algorithm. Journal of Computing in Civil Engineering 20(5): 361-369.
20. Malczewski, J., Moreno-Sanchez, R., Bojorquez-Tapia, L., Ongay-Delhumeau, E. 1997. Multicriteria group decision-making model for environmental conflict analysis in the Cape Region, Mexico. Journal of Environmental Planning and management 40(3): 349-374.
21. Mirchandani, P.B., Francis, R.L. 1990. Discrete location theory, Wiley, New York.
22. Plane, D.R., Hendrick, T.E. 1977. Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. Operations Research 25(4): 563-578.
23. Saaty, T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology 15(3): 234-281.
24. Saaty, T.L. 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. M cGraw-H ill, 437p.
25. Saaty, T.L. 1988. What is the analytic hierarchy process?, Springer.
26. Sharma, A., Vyas, V., Deodhare, D. 2006. An algorithm for site selection in gis based on swarm intelligence. In Evolutionary Computation, 2006. CEC 2006. IEEE Congress on. IEEE. pp. 1020-1027.
27. Taillard, E., Gambardella, L.M. 1997. Adaptive memories for the quadratic assignment problem. Istituto Dalle Molle Di Studi Sull Intelligenza Artificiale.
28. 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(1): 37-55.
29. Ying, X., Zeng, G.-M., Chen, G.-Q., Tang, L., Wang, K.-L., Huang, D.-Y. 2007. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—A case study of Hunan Province, China. Ecological Modelling 209(2): 97-109.

www.SID.ir