نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۳، پاییز ۱۳۹٤، صفحات ٦٨-٤٩

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۲/۰۸/۱۸

تحلیلی بر استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهینه‌سازی چندهدفه برای مکان‌یابی جغرافیایی مدارس، مطالعه موردی منطقه ۱۷ تهران

سارا بهشتی‌فر[۱]
عباس علیمحمدی[۲]

چکیده

رشد جمعیت، استقرار مراکز خدماتی جدید مختلف از جمله مراکز آموزشی را ضروری می‌سازد. یکی از گام‌های اساسی در استقرار این مراکز، انتخاب مکان بهینه برای آن‌ها با توجه به اهداف و معیارهای مختلف است؛ به‌گونه‌ای که ضمن برخورداری مراکز از توزیع فضایی مناسب و تخصیص متعادل، ناسازگاری بین کاربری‌ها نیز در سطح منطقه تا حد ممکن کاهش یابد. افزایش تعداد معیارها و عوامل مؤثر، منجر به پیچیده‌تر شدن مسأله می‌شود و استفاده از روش‌های قوی و کارآمد را ضروری می‌سازد. در این پژوهش به‌منظور تعیین مکان‌های مناسب جهت استقرار چندین مدرسه ابتدایی دخترانه در بخشی از منطقه ۱۷ تهران و تخصیص آن‌ها به دانش‌آموزان، از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی[۳]، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[۴] و رویکرد بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه[۵] استفاده شده است. برای انجام بهینه‌سازی، اصل عدالت در دسترسی، تعادل ظرفیت مدارس و نیز تناسب و مطلوبیت مکان‌های انتخابی با توجه به موقعیت کاربری‌های سازگار و ناسازگار مدنظر قرار گرفته است. به‌دلیل استفاده از یک روش تکاملی چندهدفه، نتایج تحقیق به

۱ـ استادیار دانشکده عمران، گروه نقشه‌برداری، دانشگاه تبریز. Email:sara_beheshtifar@yahoo.com

۲ـ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، گروه GIS، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی.

3- Geographic Information System (GIS)
4- Multi-Criteria Decision Making (MCDM)
5- Multi-Objective Evolutionar۳y Optimization

جای یک پاسخ، شامل چندین پاسخ بهینه است. در این تحقیق پنج پاسخ به‌طور نمونه انتخاب و بررسی شدند. در حالتی که مکان‌ها از سازگاری و مطلوبیت بالایی برخوردار بوده‌اند، تابع تعادل ظرفیت وضعیت مناسبی نداشته است. در بهترین پاسخ مربوط به تابع عدالت در دسترسی، مکان‌های پیشنهادی از توزیع فضایی مناسبی برخوردار هستند اما مطلوبیت و سازگاری آن‌ها چندان مناسب نیست. مکان‌های مربوط به بهترین پاسخ تابع تعادل ظرفیت نیز از نظر مطلوبیت و سازگاری ضعیف هستند. در هر صورت تصمیم‌گیرندگان می‌توانند پاسخ‌های بهینه را از دیدگاه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه و پاسخ نهایی را با توجه به اهمیت نسبی هر یک از اهداف از بین آن‌ها برای پیاده‌سازی انتخاب نمایند.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی و تخصیص[۶]؛ تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ بهینه‌سازی چندهدفه؛ سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت، استقرار مراکز خدماتی جدید را در مناطق مختلف شهری ضروری می‌سازد. جستجوی مکان بهینه جهت استقرار یک یا چند مرکز خدماتی از جمله مسائل مهم در برنامه‌ریزی کاربری زمین‌های شهری است (Li, Yeh, 2005: 581). در صورتی که اهداف و معیارهای متعددی در مکان‌یابی مطرح باشند، این مسأله پیچیده‌تر می‌گردد و لازم است با استفاده از روش‌های مناسب به حل مسأله پرداخته شود.

یکی از انواع مراکز مورد نیاز در سطح شهر، مراکز آموزشی است. در تعیین مکان مناسب جهت استقرار مراکز آموزشی لازم است به موارد متعددی نظیر رعایت اصل عدالت در دسترسی به این مراکز، ظرفیت هر مرکز آموزشی، میزان مطلوبیت مکان مورد نظر برای این نوع کاربری، سازگاری آن‌ها با سایرکاربری‌های موجود در منطقه، سلامت و ایمنی جمعیت دانش‌آموزی و هزینه سفر روزانه آن‌ها بین خانه و مدرسه توجه نمود.

6- Location-Allocation (L-A)

اکثر عوامل مرتبط با تعیین مکان مناسب برای مراکز آموزشی ماهیت مکانی دارند. لذا GIS بدلیل قابلیت‌هایی که در مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی دارد، می‌تواند ابزاری سودمند برای حل این مسائل باشد.

از طرفی با توجه به اینکه در اغلب مسائل مکان‌یابی، معیارهای متعددی با اهمیت نسبی متفاوت وجود دارند، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مطالعات مربوط، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

در اکثر مطالعات پیشین که در قسمت بعدی به برخی از آن‌ها اشاره شده، از آنالیز تناسب مکان[۷] برای مکان‌یابی استفاده شده است. زمانی‌که این روش به تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تناسب مکان‌های مختلف موجود در منطقه برای استقرار کاربری مورد نظر تعیین می‌گردد. این روش اغلب برای مواردی مناسب است که تنها برای یک مرکز خدماتی مکان‌یابی شود. در صورتیکه استقرار بیش از یک مرکز خدماتی همسان (مثلاً چندین مدرسه ابتدایی دخترانه) با توزیع مناسب در منطقه مدنظر قرار گیرد، این روش نمی‌تواند به‌طور کامل پاسخگوی نیاز باشد؛ زیرا تأثیر هر یک از مدارس جدید بر روی دیگری و نیز نحوه تخصیص هر یک از مدارس به دانش‌آموزان مورد توجه قرار نمی‌گیرد. علاوه بر این امکان بهینه‌سازی هدفی خاص بطور مستقیم وجود ندارد. به‌عنوان نمونه، هنگام تخصیص نمی‌توان عدالت در دسترسی به منابع را برای کاربران خدمات (مثلاً تعادل در دسترسی دانش‌آموزان به مدارس) بیشینه کرد.

در این پژوهش سعی شده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و بهینه‌سازی چندهدفه، در مکانیابی و تخصیص مدارس ابتدایی دخترانه در بخشی از منطقه ۱۷ تهران استفاده شود و اصول و معیارهای لازم تا حد ممکن مد نظر قرار گیرند.

7- Site Suitability Analysis

برای این منظور در منطقه مورد مطالعه جمعیت دانش‌آموزان دختر مشخص شد که نزدیک به ۴۰۰۰۰ نفر می‌باشد. در این تحقیق تعیین مکان مناسب برای استقرار ۵ مدرسه مد نظر قرار گرفته است.

پیشینه تحقیق

در مطالعات متعددی GIS برای مکانیابی مدارس جدید و یا ارزیابی توزیع فضایی مدارس موجود مورد استفاده قرار گرفته است. بعنوان نمونه، "فرهادی و پرهیزکار (۱۳۸۱)"عوامل مؤثر در مکان‌یابی مدارس ابتدایی را بررسی و اطلاعات مورد نیاز را برای منطقه ۶ تهران تهیه نمودند. سپس اطلاعات مربوط به کاربری‌های مناسب و نامناسب از نظر سازگاری را با یکدیگر ترکیب و میزان تناسب مکان‌های مختلف را تعیین کردند و در نهایت وضعیت مدارس موجود را مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که موقعیت اکثر دبستان‌های دخترانه و پسرانه تطابق چندانی با معیارها و استانداردهای مکان‌یابی مدارس ندارند. "فرجزاده و رستمی (۱۳۸۳)" بمنظور ارزیابی و مکان‌گزینی مراکز آموزشی در شهر کرمانشاه، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به کاربری‌های سازگار و ناسازگار را تهیه نمودند و با وزندهی و ترکیب آن‌ها، امتیاز مکان‌های موجود را برای استقرار مدارس در مقاطع مختلف تعیین کردند. در آن تحقیق کمبود فضاهای آموزشی بر اساس شاخص ها و استانداردهای مورد نظر مشخص گردید. در تحقیق دیگری که توسط "صالحی و رضاعلی (۱۳۸۴)" انجام شده، مشخص گردید که مکان‌های آموزشی در شهر زنجان از توزیع مناسبی برخوردار نیستند. لذا یک الگوی مطلوب برای سامان‌بخشی واحدهای آموزشی مقطع متوسطه پسرانه شهر زنجان ارائه شد. در این تحقیق که از GIS استفاده شده است، راهکاری برای دسترسی جمعیت دانش‌آموزی ساکن در نواحی فاقد دسترسی به مدارس پیشنهاد گردید. در یک تحقیق مشابه دیگر جاوری و همکارانش (۱۳۸۹)، با استفاده از روش حداقل فاصله از شاخص های مورد نظر و امتیازبندی کاربری‌ها بر اساس میزان ارزش اقتصادی و تناسب فیزیکی برای استقرار دانشگاه، درجه تناسب مکان‌های مختلف را برای استقرار دانشگاه پیام نور خرم‌آباد تعیین کردند. "فرجزاده و سرور (۱۳۸۱)" نیز موقعیت مراکز آموزشی مقطع راهنمایی منطقه ۷ تهران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که

فضاهای آموزشی مذکور از توزیع موزونی برخوردار نیستند و لازم است مکان‌های فعلی ساماندهی شوند و ۲۸ مکان آموزشی جدید نیز با توجه به استانداردها احداث گردند. ولی‌زاده (۱۳۸۶) از روش AHP[8] برای وزندهی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مکان‌یابی دبیرستان‌ها استفاده کرد و با ترکیب آن‌ها در محیط GIS، وضعیت این مراکز آموزشی را در شهر تبریز بررسی نمود. بررسی آن‌ها نشان داد که اگرچه مدارس مورد نظر از توزیع منطقی در این شهر برخوردار نیستند، تراکم دانش‌آموزی آن‌ها نسبتاً مناسب است. تجزیه و تحلیل نهایی وضعیت موجود دبیرستان‌های تبریز حاکی از آن است که این مدارس از نظر معیارها و استانداردهای مربوط به مکان‌گزینی در وضع نامناسبی قرار دارند. در پژوهش دیگری که توسط "تقوایی و رخشانی نسب (۱۳۸۹)" انجام شده است، مکان فضاهای آموزشی موجود شهر اصفهان با روش توصیفی-تحلیلی و پیمایشی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور معیارهای مختلف مربوط به سازگاری، همجواری و مطلوبیت تعیین و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که بین معیارهای مکان‌یابی و وضعیت موجود فضاهای آموزشی در این شهر، تفاوت معناداری وجود دارد.

Samad و همکارانش (۲۰۱۲) توزیع مکانی مدارس موجود مالزی را مورد بررسی قرار دادند و مکان مناسب برای مدارس جدید را با استفاده از GIS و AHP تعیین نمودند.

مواد و روش‌ها

یکی از مراحل اصلی در مکان‌یابی مدارس، شناسایی عواملی است که با مباحث سازگاری، مطلوبیت و ظرفیت در ارتباط هستند.

در مورد سازگاری، از یک طرف بهتر است مجاورت کاربری‌های آموزشی با کاربری‌های فرهنگی نظیر کتابخانه‌ها و فرهنگ‌سراها، فضاهای سبز و مراکز ورزشی مد نظر قرار گیرد و از طرف دیگر لازم است به مجاور نبودن آن‌ها با کاربری‌های ناسازگار که معمولاً باعث ایجاد آلودگی صوتی یا آلودگی هوا می‌شوند، توجه شود. از جمله کاربری‌های ناسازگار از نظر همجواری با مدارس ابتدایی می‌توان به مراکز صنعتی، مراکز تجاری، مراکز بهداشتی و

8- Analytic Hierarchy Process

درمانی، محل‌های جمع‌آوری زباله، کشتارگاه، مرغداری، گورستان، پمپ بنزین، خطوط انتقال نیرو و لوله‌های اصلی گاز اشاره کرد (فرهادی و پرهیزکار، ۱۳۸۱:۱۰۰؛ تقوایی و رخشانی نسب، ۱۳۸۹: ۸۳).

در بحث مطلوبیت، ویژگی‌های فیزیکی زمین نظیر شیب، ارتفاع، مقاومت خاک، فاصله از مسیل‌ها و مناطق پست و نیز ویژگی‌هایی همچون دسترسی به انواع شبکه‌ها مطرح می‌گردد (فرهادی و پرهیزکار، ۱۳۸۱:۱۰۱؛ تقوایی و رخشانی نسب، ۱۳۸۹: ۸۳).

در مورد ظرفیت سعی می‌شود مکان مدارس طوری انتخاب گردد که توزیع آن‌ها در سطح منطقه متوازن باشد و فاصله دسترسی کلیه دانش‌آموزان به مدارس مربوط تا حد ممکن مورد توجه قرار گیرد.

روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)[9]

معمولاًروش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین گزینه بکار می‌روند (Zanjirani, 2007: 1846). در این پژوهش برای تعیین میزان تناسب و مطلوبیت هر یک از مکان‌های ممکن برای استقرار مدرسه با توجه به معیارهای قابل جبران از یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده شد. در MADM روش‌های مختلفی نظیر روش وزندهی ساده (SAW)[10]روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)[11] و روش تسلط تقریبی (ELECTRE)[12] وجود دارد. با توجه هدف تحقیق، اطلاعات موجود در مورد شاخص‌ها (عوامل مؤثر) و متفاوت بودن جهت مطلوب در شاخص‌های مختلف (حداقل یا حداکثر)، روش TOPSIS برای تعیین امتیاز هر یک از گزینه‌ها (مکان ممکن برای استقرار) انتخاب شد.در این روش علاوه بر جهت مطلوب، ماتریس تصمیم‌گیری و وزن هر یک از شاخص‌ها مورد نیاز است.

در روش مذکور، گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند؛ به‌طوری که هرچه یک گزینه شبیه‌تر به حل ایده‌آل باشد، رتبه بیش‌تری دارد. حل ایده‌آل آن حلی است که از هر جهت بهترین باشد که البته عموماً در عمل وجود ندارد ولی سعی بر آنست

9- Multi-Attribute Decision Making
10- Simple Additive Weighting
11- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
12- Elimination of Choice Translating Reality

که به آن نزدیک شویم. فاصله هر یک از گزینه‌ها از حل ایده‌آل و ضدایده‌آل اندازه‌گیری می‌شود و سپس گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ضدایده‌آل به مجموع فاصله از حل ایده‌آل و ضدایده‌آل ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. در این روش معیارها باید مستقل از هم بوده و مطلوبیت هر معیار نیز بطور یکنواخت افزاینده و یا کاهنده باشد (عطایی، ۱۳۸۹: ۹۵).اگر n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، مراحل روش TOPSIS به‌شرح زیر خواهد بود (عطایی، ۱۳۸۹ : ۹۸):

ـ تشکیل ماتریس تصمیم

$$D=\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

ـ بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم

هر یک از مؤلفه‌های ماتریس R از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$r_{ij} = X_{ij} \Big/ \sqrt{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}^{2}}$$

ـ تعیین بردار وزن معیارها

در این مرحله با توجه به اهمیت نسبی هر یک از معیارها (عوامل مؤثر) در تصمیم‌گیری، بردار وزن تشکیل می‌شود:

$$W= [w_1\ w_2\ \dots\ w_3]$$

ـ تعیین ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار

این ماتریس از حاصلضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در بردار وزن معیارها به‌دست می‌آید:

$$v_{ij}= w_j r_{ij} \qquad j=1,2, \dots, n$$

ـ یافتن حل ایده‌آل و ضدایده‌آل

اگر حل ایده‌آل با A* و ضد ایده‌آل با A^- نشان داده شود در این صورت:

$$A^* = \{V_1^*, V_2^*, ..., V_j^*, ...V_n^*\}$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, ..., V_j^-, ...V_n^-\}$$

که V_j^* بهترین مقدار معیار j از بین تمام گزینه‌ها و v_j^- بدترین مقدار معیار j از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد.

ـ محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

ـ در این مرحله برای هر گزینه فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضدایده‌آل محاسبه می‌شود:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^*)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

محاسبه شاخص شباهت

در آخرین مرحله شاخص شباهت برای هر گزینه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_i^* = S_i^- / (S_i^* + S_i^-)$$

هرچه گزینه مورد نظر به ایده‌آل مشابه‌تر باشد، مقدار شاخص شباهت آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود.

روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه

روش‌های حل مسائل چندهدفه را می‌توان به سه گروه به‌صورت زیر تقسیم نمود (قدسی پور،۱۳۸۲: ۳۴-۳۵):

روش‌های بدون وزن‌دهی

در این روش‌ها تصمیم‌گیرنده ترجیحی بین اهداف قائل نمی‌شود. بلکه یک حالت ایده‌آل تعریف می‌گردد و معیار انتخاب، نزدیکی به حالت ایده‌آل می‌باشد.

روش‌های وزن‌دهی قبل از حل

در این روش‌ها ترجیحات قبل از حل مسأله از طرف تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شود. به این ترتیب می‌توان با استفاده از یک بردار وزن توابع هدف را باهم ترکیب و همه را تبدیل به یک هدف نمود. هر چند در عمل، انتخاب وزن مناسب برای هر یک از هدف‌ها کار دشواری است (Konak et al., 2006).

روش‌های وزن‌دهی بعد از حل

در این روش‌ها ابتدا مجموعه‌ای از جواب‌های نامغلوب (راه‌حل‌های بهینه پارتو) به‌دست می‌آید. جواب نامغلوب، جوابی است که توسط جواب‌های دیگر مغلوب نشود و اهداف مختلف را در حد قابل قبولی تأمین نماید.

پس از آن با توجه به ترجیحات اعلام شده می‌توان یکی از جواب‌ها را از بین آن‌ها انتخاب نمود.

لازم به توضیح است که یک جواب مانند x بر جواب دیگری نظیر y غالب است، اگر و تنها اگر در هیچ یک از توابع هدف بدتر از y نباشد و حداقل در یکی از توابع بهتر از y باشد.

در این تحقیق از روش NSGA_II که جزو روش‌های وزندهی بعد از حل می‌باشد، برای حل مسأله مکان‌یابی استفاده شده است.این روش، یک روش تکاملی چندهدفه با سرعت محاسباتی بالاست که توسط Deb (2002) ارائه گردید.

حلقه اصلی الگوریتم NSGA-II در شکل ۱ نشان داده شده است. ابتدا جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی تولید (P_0) می‌شود. برای تولید جمعیت فرزندان (Q_0)، به اندازه N از روش انتخاب مسابقه‌ای و عملگرهای ترکیب و جهش استفاده می‌گردد. با ترکیب P و Q، جمعیت R با اندازه 2N تشکیل می‌شودو رتبه‌بندی غیر مغلوب روی آن اعمال و به هر کروموزوم یک مقدار برازندگی بر اساس سطح رتبه اختصاص داده می‌شود (۱ برای بهترین سطح). کروموزوم‌ها از سطح یک تا سطحی که تعداد آن‌ها به N برسد و جمعیت P_{t+1} را تشکیل دهند انتخاب و بقیه حذف می‌شوند. برای تولیدQ_{t+1}، از عملگر ترکیب و جهش استفاده می‌شود.

$R_t = P_t \cup Q_t$ combine parent and offspring population
F = *fast non-dominated-sort* (R_t)
$F = (F_1, F_2, \dots)$, all nondominated fronts of R_t
$P_{t+1} = \emptyset$ and $i = 1$
Until $|P_{t+1}| + |F_i| \leq N$ until the parent population is filled
Crowding distance assignment (F_i) calculate crowding distance in F_i
$P_{t+1} = P_{t+1} \cup F_i$ include *i*th non-dominated front in the parent pop
$i=i+1$ check the next front for inclusion
Sort ($F_i \prec n$)
sort in descending order using $\prec n$
$P_{t+1} = P_{t+1} \cup F_i\ [1:(N - |P_{t+1}|)]$
Q_{t+1}
= *make new pop* (P_{t+1}) use selection, crossover, and mutation to create a new population Q_{t+1}
$t=t+1$
increment the generation counter

شکل (۱) حلقه اصلی الگوریتم NSGA-II (Deb et al. , 2002)

جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها

در این مرحله، داده‌های مورد نیاز در دو مقیاس ۱:۲۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ جمع‌آوری و کلیه آن‌ها به سیستم تصویر UTM تبدیل شدند.

با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، عوامل مؤثر با عوارض موجود در منطقه مطابقت داده شدند. سپس در مورد هر یک از عوامل مفهوم قابل جبران یا غیرقابل جبران بودن مورد بررسی قرارگرفت.

در مورد معیارهای غیرقابل جبران، یک حد معین بیشینه یا کمینه باید در انتخاب مکان رعایت شود. در صورتی که مکان مورد نظر شرط تعریف شده را نداشته باشد، به‌عنوان مکان

ممنوع و غیراستاندارد تلقی شده و از بین مکان‌های ممکن برای انتخاب در فرایند مکان‌یابی حذف می‌گردد. بعنوان مثالفرض می‌کنیم که مکان مدارس حداقل باید ۵۰۰ متر با کارگاه‌های سنگین فاصله داشته باشند. در این‌صورت مکان‌های واقع در ۵۰۰ متری این عوارض حذف می‌شوند. معیارهای قابل جبران برای تعیین میزان تناسب و مطلوبیت مکان مورد نظر تعریف شده‌اند و حفظ حد معینی برای آن‌ها ضروری نیست. به‌عنوان مثال، هرچه مکان انتخابی به فضاهای سبز نزدیک‌تر باشد، بهتر است و امتیاز بالاتری می‌گیرد.

لازم به یادآوری است که در مورد برخی از عوامل ممکن است هر دو حالت قابل جبران و غیرقابل جبران در نظر گرفته شود. بدین صورت که تا فاصله معینی از آن‌ها جزو مناطق غیرمجاز برای استقرار مدرسه باشد. در مناطق باقی‌مانده (مجاز) نیز میزان تناسب و مطلوبیت مکان‌های مختلف با توجه به فاصله‌ای که از عوارض مورد نظر دارند، متفاوت باشد.

حذف مکان‌های نامناسب و تعیین تناسب مکان‌های باقیمانده

در این مرحله، ابتدا ۱۷۰ مکان در قسمت‌های مختلف منطقه در نظر گرفته شد. در ادامه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به عواملی که باعث ایجاد محدودیت شدید (غیرقابل جبران) برای استقرار مدارس ابتدایی می‌شوند، براساس معیار مورد نظر تهیه و با یکدیگر تلفیق شدند. به‌طور مثال تا فاصله ۵۰۰ متری از کاربری‌های صنعتی جزو مناطق ممنوع در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در تهیه کلیه لایه‌های اطلاعاتی، علاوه بر خود منطقه مورد مطالعه، کاربری‌های واقع در ۱۰۰۰متری از محدوده نیز مد نظر قرار گرفته‌اند.

پس از آن مکان‌های واقع در مناطق غیر مجاز حذف شدند. به این ترتیب ۱۱۶ مکان مجاز باقی ماندند و وارد مرحله بعدی شدند.

در این مرحله، برای عواملی نظیر پارک، کتابخانه و مراکز تجاری که مقدار فاصله از آن‌ها در تعیین میزان تناسب و مطلوبیت مکان‌ها جهت استقرار مدارس مؤثرند، لایه‌های اطلاعاتی و نقشه فاصله تهیه شد. سپس مقدار شاخص شباهت در هر یک از مکان‌های مجاز با استفاده از روش TOPSIS محاسبه گردید.

تطبیق مسأله با یک الگوریتم بهینه‌سازی و نحوه اجرای آن

با توجه به این که در این پژوهش مکان مناسب برای ۵ مدرسه به‌طور همزمان تعیین می‌شوند، هر کروموزوم در الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی شامل ۵ ژن می‌باشد. مقدار ژن شماره یکی از مکان‌های مجاز است. اگر n مکان مجاز وجود داشته باشد یک عدد صحیح بین ۱ تا n به‌هر ژن اختصاص داده می‌شود؛ به‌طوری که عدد تکراری در یک کروموزوم وجود نداشته باشد. به همین ترتیب تمامی افراد جمعیت[۱۳] به‌طور تصادفی تولید می‌شوند. سپس هر یک از نقاط تقاضا با توجه به فاصله شبکه‌ای به یکی از ۵ مکان انتخابی مرتبط می‌شوند. فرض می‌شود که جمعیت هر نقطه تقاضا به نزدیک‌ترین مکان انتخابی مراجعه کند. به این ترتیب می‌توان میزان برازندگی[۱۴] هر کروموزوم را به ازای هر یک از توابع هدف تعیین نمود. با تولید مجدد جمعیت با استفاده از عملگرهای ترکیب و جهش، روند بهینه‌سازی تا رسیدن به شرط خاتمه ادامه می‌یابد.

در این مطالعه حل مسأله به گونه‌ای است که اولاً تمام تقاضاها پوشش داده شوند و ثانیاً هر نقطه تقاضا تنها به یک مدرسه اختصاص داده شود. برای این بهینه‌سازی سه هدف به صورت زیر در نظر گرفته شد:

بیشینه کردن تناسب و مطلوبیت مکان‌های انتخابی

شاخص شباهت در هر یک از مکان‌های مجاز بیانگر میزان نزدیکی آن مکان به شرایط ایده‌آل است. به‌عبارتی هر چه این مقدار برای مکان‌های انتخابی بیش‌تر باشد، بهتر است. در این صورت مجموع شاخص شباهت در مکان‌های انتخابی باید بیشینه شود.

اما با توجه به این‌که در بهینه‌سازی چندهدفه طراحی شده هر سه هدف کمینه می‌شوند، این تابع به‌صورت زیر تعریف شد:

$$\text{Minimize OF1} = 5 - \sum_{i=1}^{i=5} cl_i$$

13- Population
14- Fitness

چنان‌که پیش از این اشاره شد در این تحقیق ۵ مکان مناسب تعیین می‌شود. cl_i مقدار شاخص شباهت در مکان i ام است. اگر هر پنج مکان در شرایط کاملاً ایده‌آل و دارای مقدار یک باشند، مجموع شاخص شباهت آن‌ها پنج و مقدار تابع کمینه‌سازی OF_1 صفر خواهد بود.

بیشینه کردن عدالت در دسترسی

مکان استقرار مدارس بهتر است طوری انتخاب شوند که بین فواصل پیموده شده توسط دانش‌آموزان نقاط مختلف منطقه تا مدرسه‌شان (d_{ij})، تعادل برقرار باشد. برای بررسی عدالت در دسترسی از شاخص‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. در این پژوهش، انحراف استاندارد فواصل شبکه‌ای بین محل سکونت تا محل تحصیل دانش‌آموزان مد نظر قرار گرفته و برای کمینه کردن آن تابعی بصورت زیر تعریف شده است:

$$\text{Minimize } OF\ 2 = \sqrt{\frac{\sum (d_{ij} - \bar{d})^2}{n}}$$

در این پژوهش، برای به‌دست آوردن فواصل شبکه‌ای از آنالیز شبکه در نرم‌افزار ARCGIS 8.3 استفاده شده است.

برقراری تعادل بین ظرفیت مدارس

برای تخصیص مدارس به دانش‌آموزان، لازم است بین ظرفیت هر مدرسه و دانش‌آموزان مراجعه‌کننده به آن تعادل برقرار باشد. در این تحقیق فرض شده است که ظرفیت هر ۵ مدرسه یکسان و برابر ۸۰۰ نفر باشد تا تقاضای حدود ۴۰۰۰۰ دانش‌آموز توسط آن‌ها پوشش داده شود.

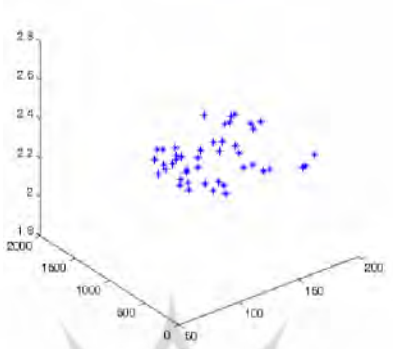
$$\text{Minimize } OF_3 = \sum_j \left| \frac{\sum_i P_{ij}}{800} - 1 \right|$$

P_{ij} جمعیت دانش‌آموزی که از نقطه تقاضای iام به مکان jام مراجعه می‌کنند.

یافته‌ها و نتایج

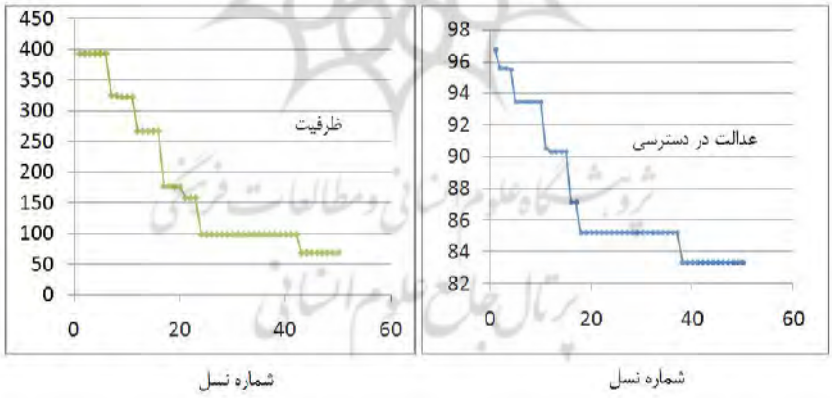
الگوریتم NSGA_II، با در نظر گرفتن مقادیر مختلفی برای تعداد نسل‌ها و جمعیت اولیه اجرا شد. نتـایج اجرا با جمعیت اولیه ۵۰، در ۵۰ تکرار به‌عـنوان نمونه ارائه مـی‌گردد. مقادیر

توابع برای پاسخ‌های بهینه نسل ۵۰ در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل (۲) مقادیر توابع بعد از ۵۰ بار تکرار

شکل ۳، بهترین مقدار توابع مربوط به ظرفیت و عدالت در دسترسی را در نسل‌های مختلف نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌شود در حالت کلی با ادامه روند بهینه‌سازی این مقدار کم‌تر شده است. هر چند در تعدادی از نسل‌ها مقدار توابع بدون تغییر بوده است.



شکل (۳) مقدار بهترین پاسخ برای توابع ۲ و ۳ در نسل‌های مختلف

از بین ۵۰ پاسخ نسل آخر، برخی از آن‌ها انتخاب و در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در جدول مذکور، مقادیر توابع به‌صورت نرمال شده هستند.

جدول (۱) مقادیر توابع هدف نرمال شده برای ۵ پاسخ نمونه

توضیح	مقدار تابع مربوط به تعادل ظرفیت مدارس (سوم)	مقدار تابع مربوط به عدالت در دسترسی (دوم)	مقدار تابع مربوط به مطلوبیت و سازگاری (اول)	شماره
کم‌ترین مقدار تابع اول	۱	۰/۴۷	۰/۰۰۷	۱
کم‌ترین مقدار تابع دوم	۰/۳۷	۰	۰/۹۹	۲
کم‌ترین مقدار تابع سوم	۰	۰/۱۶	۱	۳
بهترین پاسخ با وزن یکسان برای توابع	۰/۲۷	۰/۴۷	۰/۴۵	۴
بهترین پاسخ بازا بردار وزن (۰/۲و ۰/۲و۰/۶)	۰/۷۱	۰/۳۸	۰/۰۷	۵

چنان‌که انتظار می‌رفت مانند اکثر مسائل بهینه‌سازی واقعی، هیچ پاسخی وجود ندارد که به ازاء هر سه هدف، بهینه باشد. پس از انجام بهینه‌سازی می‌توان وضعیت پاسخ‌ها را با دقت بیش‌تری مورد بررسی قرار داد.

به‌عنوان نمونه در پاسخ شماره ۱ (جدول۱)، مکان‌های شماره ۱۹، ۸۶، ۸۷، ۹۵ و ۹۶ به‌عنوان مکان مناسب انتخاب شده‌اند. این ترکیب مکانی در بین پاسخ‌های نسل آخر، از بیش‌ترین تناسب و مطلوبیت برخوردار بوده است (مقدار ۰/۰۰۷). شاخص شباهت به پاسخ ایده‌آل که با استفاده از روش TOPSIS تعیین شده، برای این مکان‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۶۴، ۰/۶۳، ۰/۵۵، ۰/۵۹ و ۰/۶۲ می‌باشد. بررسی موقعیت عوارض مختلف در نقشه‌های مربوط نشان می‌دهد که از بین این مکان‌ها، مکان‌های شماره ۸۶ و ۱۹ به ترتیب در ۷۲ و ۱۰۰ متری پارک واقع شده‌اند. نزدیکی نسبی این مکان‌ها به پارک در بهتر شدن مقدار تابع اول مؤثر بوده است. تخصیص مدارس به دانش‌آموزان با توجه به نزدیک‌ترین مدرسه از بین مکان‌های انتخابی در هر پاسخ برای هر نقطه تقاضا صورت گرفته است. انحراف معیار به دست آمده برای کلیه فواصل شبکه‌ای طی شده در این حالت برابر ۱۳۴/۳۰ متر می‌باشد. مکان‌های شماره ۱۹، ۹۵ و ۹۶ تقریباً در نزدیکی هم واقع شده‌اند. توزیع نامتناسب مکان‌ها در فضا باعث شده که از نظر تعادل ظرفیت مدارس وضعیت نامناسبی در این پاسخ به‌وجود آید. در صورتی که همانند برخی از پژوهش‌های پیشین از آنالیز تناسب برای مکان یابی استفاده شود، نتایج حاصل می‌تواند تا حدی مشابه بهترین پاسخ تابع اول در نظر گرفته شود.

زیرا در آن روش نیز در واقع تناسب و مطلوبیت مکان ها مورد توجه قرار می گیرد. لیکن در آن روش‌ها اثرات استقرار مدارس جدید بر روی همدیگر، در تعیین تناسب مکان‌ها دخالت داده نمی‌شود. در منطقه مورد مطالعه، نحوه قرارگیری کاربری‌های ناسازگار به‌گونه‌ای بوده است که مکان‌های نسبتاً مناسب و مطلوب در قسمت شمال شرقی منطقه متمرکز شده‌اند. به‌همین دلیل مکان‌های مربوط به پاسخ شماره یک تقریباً در نزدیکی یکدیگر و در همین ناحیه واقع گردیده‌اند.

در پاسخ شماره ۲ که از نظر عدالت در دسترسی بهترین پاسخ بوده، انحراف معیار فواصل طی شده برابر ۸۳ متر می‌باشد. در این پاسخ، مکان‌های شماره ۲۱، ۲۲، ۶۴، ۷۳ و ۹۹ انتخاب شده‌اند. این مکان‌ها از نظر توزیع فضایی وضعیت مناسبی دارند. اما در مقایسه با سایر پاسخ‌های نسل آخر، از تناسب و مطلوبیت چندانی برخوردار نیستند. شاخص شباهت به پاسخ ایده‌آل مطابق روش TOPSIS برای این مکان‌ها به ترتیب برابر ۰/۳۳، ۰/۴۹، ۰/۳۵، ۰/۴۲ و ۰/۶۵ به‌دست آمده است. مکان شماره ۲۱ به فاصله ۶۰۰ متری از یک مرکز صنعتی قرار دارد که در کاهش تناسب آن (۰/۳۳) مؤثر بوده است. از نظر تعادل در تعداد دانش‌آموزان مراجعه‌کننده نیز این پاسخ در حد کم‌تر از متوسط قرار دارد که دلیل عمده آن مراجعه دانش‌آموزان کم‌تر به مکان شماره ۷۳ می‌باشد. این پاسخ کم‌ترین انحراف معیار برای فواصل طی شده را در بین پاسخ‌های بهینه دارد و این بدان معناست که فاصله شبکه‌ای طی شده توسط دانش‌آموزان مختلف در مقایسه با سایر پاسخ‌ها به هم شبیه‌تر است.

مکان‌های انتخابی در پاسخ شماره ۳، مکان‌های شماره ۵، ۱۸، ۳۹، ۷۵ و ۱۰۸ می‌باشند. شاخص شباهت به پاسخ ایده‌آل برای آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۴۳، ۰/۴۱، ۰/۴۵، ۰/۳۴ و ۰/۶۱ است که در مقایسه با سایر پاسخ‌ها چندان مناسب نیست. توزیع فضایی مکان‌ها مناسب است. در این پاسخ، انحراف معیار فواصل شبکه‌ای طی شده برابر ۱۰۰/۵۱متر بوده که بهتر از پاسخ شماره ۱ می‌باشد. تعداد دانش‌آموزان مراجعه‌کننده به مکان‌ها به ترتیب برابر ۷۹۲، ۸۰۷، ۷۵۸، ۷۹۴ و ۸۰۶ نفر به‌دست آمده که از تعادل نسبی برخوردار است. زیرا مطابق تعریف تابع می‌بایست حدود هشتصد نفر به هر مدرسه ارجاع داده می‌شدند.

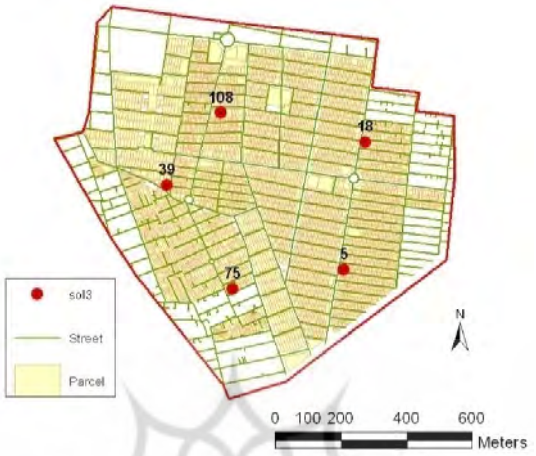
در پاسخ شماره ۴ که از مجموع وزن‌دار مقادیر نرمال شده سه هدف با وزن‌های یکسان به‌دست آمده، مکان‌های شماره ۲۰، ۶۴، ۸۴، ۸۷ و ۱۱۶ انتخاب شده‌اند. در این پاسخ تناسب و مطلوبیت مکان‌های انتخابی در مجموع بهتر از پاسخ‌های ۲و ۳ است. شاخص شباهت به پاسخ ایده‌آل آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۴۳، ۰/۳۵، ۰/۶۲، ۰/۵۵ و ۰/۷۲ به‌دست آمده است. این مکان‌ها از توزیع نسبتاً خوبی در فضای مورد مطالعه برخوردارند. انحراف معیار فواصل شبکه‌ای طی شده برابر ۸۸/۳۱۴ متر می‌باشد و از نظر عدالت در دسترسی از هر دو پاسخ ۱و۳ بهتر است. از نظر تعادل ظرفیت‌ها نیز بهتر از پاسخ‌های ۱و۲ می‌باشد اما پاسخ شماره سه از این نظر بر پاسخ شماره چهار برتری دارد.

علاوه بر این می‌توان بهترین پاسخ به ازای بردارهای وزنی مختلف را تعیین نمود. پاسخ شماره ۵ به‌عنوان نمونه در جدول ۱ ارائه شده است که در آن مکان‌های شماره ۲، ۸۶، ۸۷، ۹۴ و ۱۰۶ انتخاب شده‌اند. به‌دلیل بالابودن وزن نسبی هدف اول، مکان‌ها از نظر تناسب و مطلوبیت از وضعیت خوبی برخوردارند. دو مکان شماره ۸۶ و ۸۷ با پاسخ شماره ۱ مشترک هستند. اما در این پاسخ نیز هم‌چون پاسخ شماره ۱ توزیع فضایی مکان‌های انتخابی چندان مناسب نیست. به‌همین دلیل تابع مربوط به تعادل ظرفیت‌ها تحت تأثیر قرار گرفته و مقدار بالایی (نامناسب) برای آن به‌دست آمده است.

به‌همین ترتیب می‌توان بسته به میزان اهمیت اهداف و معیارهای مختلف، بردارهای وزنی مختلف را تعریف و پاسخ های مناسب دیگری را از بین پاسخ های بهینه انتخاب کرد و مورد ارزیابی قرار داد.

لازم به یادآوری است برای انتخاب نهایی از بین پاسخ‌ها از شاخص‌های دیگری که در فرایند بهینه‌سازی نقش نداشته‌اند نیز می‌توان استفاده کرد.

مکان‌های انتخابی برای پاسخ شماره ۳ به‌عنوان نمونه در شکل ۴ نشان داده شده است. چنان‌که پیش از این اشاره شد این پاسخ، پاسخ برگزیده حاصل از بهینه‌سازی تابع تعادل ظرفیت مدارس می‌باشد که در آن توزیع فضایی مکان‌ها در منطقه نسبتاً مناسب بوده است.



شکل (٤) مکان‌های انتخابی راه‌حل شماره ۳

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از بین ۱۷۰ مکان در بخشی از منطقه ۱۷ تهران، ۱۱۶ مکان از شرایط لازم جهت استقرار مدرسه ابتدایی برخوردار بودند. میزان تناسب و مطلوبیت هر یک از آن‌ها با توجه به موقعیت کاربری‌های سازگار و ناسازگار و با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (TOPSIS) تعیین شد. سپس با تعریف سه هدف، برخورداری مکان‌ها از بیش‌ترین تناسب و مطلوبیت ممکن، رعایت عدالت در دسترسی دانش‌آموزان به مدارس و برقراری تعادل نسبی در ظرفیت مدارس مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور ترکیب‌های ۵ تایی از ۱۱۶ مکان، ایجاد و مقادیر توابع هدف متناظر با برای هر یک از آن‌ها محاسبه شدند. با انجام بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه به‌جای یک پاسخ، پاسخ‌های بهینه متعددی به دست آمدند که هیچ‌یک توسط دیگری مغلوب نمی‌شود. به این ترتیب انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری برای انتخاب پاسخ نهایی افزایش یافته است. در این روش، تصمیم‌گیرنده می‌تواند با استفاده از بردارهای وزنی مختلف و شاخص‌های متعدد پاسخ‌های بهینه را مورد ارزیابی و مقایسه قرار دهد. در این تحقیق ۵ پاسخ به‌عنوان نمونه بررسی شدند. با این روش می‌توان تعداد اهداف و معیارهای بیش‌تری را نیز مدنظر قرار داد. به عنوان نمونه می‌توان به معیار وابستگی و مقیاس‌های عملکردی مدارس ابتدایی اشاره نمود.

منابع

ـ تقوایی، مسعود؛ رخشانی‌نسب، حمیدرضا (۱۳۸۹)، «تحلیل و ارزیابی مکان‌گزینی فضاهای آموزشی شهر اصفهان»، ***برنامه‌ریزی و آمایش فضا*** (مدرس علوم انسانی)، ۱۴(۳ (پیاپی ۶۷)، ۷۳–۹۵.

ـ جاوری، مجید؛ شاهیوندی، احمد؛ الله‌دادی، نورالدین؛ سلطانی، مرضیه (۱۳۸۹)، «استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مکانیابی مراکز آموزش عالی (نمونه موردی: دانشگاه پیام نور خرم‌آباد)»، ***دو فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای***، شماره۱، ۳–۲۲.

ـ صالحی، رحمان؛ رضاعلی، منصور (۱۳۸۴)، «ساماندهی فضایی مکان‌های آموزشی (مقطع متوسطه) شهر زنجان به کمک GIS» ، ***فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی***، شماره ۵۲، ۸۲–۹۴.

ـ عطائی، محمد (۱۳۸۹)، «تصمیم‌گیری چندمعیاره»، چاپ اول، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

ـ فرجزاده، منوچهر، رستمی، مسلم (۱۳۸۳)، «ارزیابی و مکان‌گزینی مراکز آموزش شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرک معلم کرمانشاه)»، ***فصلنامه مدرس علوم انسانی***، دوره ۸، شماره ۱، ۱۳۳–۱۵۲.

ـ فرجزاده، منوچهر؛ سرور، هوشنگ (۱۳۸۱)، «مدیریت و مکانیابی مراکز آموزشی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: فضاهای آموزشی منطقه ۷ تهران)»، ***فصلنامه تحقیقات جغرافیایی***، شماره ۶۷، ۷۹–۹۰.

ـ فرهادی گوکه، رودابه؛ پرهیزکار، اکبر (۱۳۸۱)، «تجزیه و تحلیل توزیع فضایی و مکانیابی مدارس ابتدایی منطقه ۶ شهر تهران با استفاده از GIS» ، ***مدرس***، دوره ۶، شماره۲، ۹۷–۱۱۵.

ـ قدسی‌پور، سیدحسن (۱۳۸۲)، «***مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره، برنامه‌ریزی چندهدفه (روش-های وزندهی بعد از حل)***»، چاپ اول، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

ـ ولی‌زاده، رضا (۱۳۸۶)، «مکان‌یابی مراکز آموزشی دبیرستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز)»، ***نشریه علوم جغرافیایی***، شماره ۱۰، ۵۹–۸۷.

- Deb, Kalyanmoy, Pratap, Amrit, Agarwal, Sameer, Meyarivan, T., (2002), "A Fast and Elitist Multi-objective Genetic Algorithm: NSGA-II, IEEE" ***Transactions on Evolutionary computation***, 6, No. 2.

- Konak, Abdullah, Coit, David W., Smith, Alice E. Multi-objective, (2006), "Optimization Using Genetic Algorithms, Reliability Engineering and System Safety" 91992-1007.

- Li, Xia, Yeh, Anthony Gar-On, (2005), "Integration of Genetic Algorithms and GIS for Optimal Location Search", ***International Journal of Geographical Information Science,*** 19, 581-601.

- Samad, Abd. Manan, Hifni, Nurhanim Ahmad, Ghazali, Rosmadi, Hashim, Khairil Afendy, Disa, Norshafinaz Mohd, Mahmud, Sazal, (2012), "A Study on School Location Suitability Using AHP in GIS Approach, Signal Processing and its Applications (CSPA)", IEEE 8th International Colloquium on Melaka, 393-399.

- Zanjirani Farahani, Reza, Asgari, Nasrin (2007), "Combination of MCDM and Covering Techniques in a Hierarchical Model for Facility Location: A Case Study", ***European Journal of Operational Research***, 176, 1839-1858.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی