نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی نقشه برداری

سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰

Vol.9, No.2, Summer 2021

۲۹ –۴۹

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3

مکانیابی و تخصیص همزمان انواع مراکز خدماتی با استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه

سارا بهشتی فر[1*]

۱- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸

چکیده

انتخاب مکان مناسب برای مراکز خدماتی جدید می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های سفر برای متقاضیان خدمات، استفاده مطلوب از زمین و هماهنگ‌سازی اثرات متقابل کاربری‌های مختلف برهم داشته باشد. زمانی که مکانیابی و تخصیص هر نوع مرکز خدماتی جدید بطور مستقل انجام می‌شود، تنها اثرات کاربری‌های موجود مد نظر قرار می‌گیرد؛ درحالیکه استقرار یک نوع مرکز، به دلیل تأثیر بر فضای پیرامون، ممکن است محدودیت‌هایی را برای استقرار سایر مراکز مورد نیاز به‌وجود آورد. با مکانیابی کلیه مراکز مورد نیاز بطور همزمان می‌توان نتایج بهتری در خصوص چیدمان مراکز مختلف در یک منطقه به‌دست آورد. هدف اصلی این پژوهش، حل مسأله مکانیابی و تخصیص برای چند مرکز خدماتی با خدمات همسان و غیرهمسان به‌صورت همزمان در محیط سیستم اطلاعات مکانی (*GIS*) می‌باشد. برای این منظور از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی برتجزیه(*MOEA/D*) برای بهینه‌سازی سه تابع هدف شامل کمینه‌سازی هزینه سفر، بیشینه‌سازی مطلوبیت و تناسب سایت‌های انتخابی و بیشینه‌سازی سازگاری بین مراکز جدید استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که با به‌کارگیری این روش، پاسخ‌های قابل قبولی برای چیدمان مراکز مختلف با توجه به اهداف تعیین شده، به‌دست آمده است. مقایسه نتایج این روش با الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (*NSGA_II*)، به‌عنوان یکی از رایج‌ترین روش‌های بهینه‌سازی، بر اساس معیارهای مختلف، نشان داد که روش *MOEA/D* در یافتن پاسخ‌های بهینه عملکرد مناسبی داشته است؛ بطوریکه بر اساس معیار پوشش مجموعه، هیچ یک از پاسخ‌های این روش توسط پاسخ‌های روش *NSGA_II* مغلوب نشده‌اند در حالیکه برعکس آن صادق نبوده است. همچنین براساس معیار نزدیکی پاسخها به نقطه ایده‌آل، این روش با مقدار ۰٫۱۶، نتایج بهتری داشته و زمان سپری شده نیز حدود ۰٫۲۵ روش *NSGA_II* بوده است.

کلید واژه‌ها : مکانیابی و تخصیص، سیستم اطلاعات مکانی، بهینه‌سازی چندهدفه، *MOEA/D* ، مدل میانه.

---

* نویسنده مکاتبه کننده: تبریز، بلوار ۲۹ بهمن- خ امام خمینی – دانشگاه تبریز- دانشکده عمران- ساختمان شماره ۶- گروه نقشه برداری.

تلفن: ۰۹۹۰۱۳۰۰۴۱۰

Email: Sara_Beheshtifar@yahoo.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]

[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

۱- مقدمه

با رشد روزافزون جمعیت و توسعه مناطق شهری، میزان نیاز به انواع خدمات شهری نیز افزایش می‌یابد. برآورده ساختن این نیازها مستلزم استقرار مراکز خدماتی جدید می‌باشد. یکی از عوامل اساسی در استقرار مراکز جدید، انتخاب مکان مناسب برای آنهاست؛ زیرا مکان مناسب برای یک مرکز، علاوه بر اینکه نقش مهمی در ارائه خدمات بهتر توسط خود آن مرکز دارد، می‌تواند در بهبود اثرات متقابل مراکز و کاربری‌های مختلف بر روی هم نیز مؤثر باشد. همچنین استقرار مراکز مختلف در مکانی متناسب با شرایط فیزیکی، امکان استفاده مطلوب از زمین را که یکی از اهداف توسعه پایدار است، فراهم می‌آورد [۱].

به این ترتیب، مکانیابی برای یک مرکز خدماتی، مستلزم توجه به عوامل و معیارهای متعددی است. به دلیل ماهیت مکانی اکثر این عوامل، در حل مسائل مکانیابی، معمولاً به‌نحوی از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی (*GIS*[۱]) استفاده می‌شود. تاکنون *GIS* در حالت کلی به دو صورت آنالیز تناسب و مدل‌های مکانی در مسائل مکانیابی به‌کار رفته است[۲]. در مطالعات مربوط به آنالیز تناسب، اغلب مکانیابی صرف مطرح بوده و اغلب از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه نظیر تاپسیس [۲] و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*[۳]) در تعیین تناسب هر یک از مکان‌های کاندید بهره گرفته می‌شود [۳و۴]. در حالیکه در روش مدل مکانی، علاوه بر مکان مراکز، نحوه تخصیص مراکز به متقاضیان نیز مد نظر قرار می‌گیرد. آنالیز تناسب، برای تعیین مکان استقرار یک مرکز منفرد روش مناسبی است، اما اگر لازم باشد بیش از یک مرکز با خدمات همسان در منطقه مستقر شوند، این روش مناسب نیست زیرا گزینه‌های مکانی مختلف در آن مستقل از هم فرض می‌شوند و نمی‌توان در هنگام مکانیابی، تأثیر استقرار مرکز جدید در یک مکان را روی گزینه‌های مکانی دیگر، به لحاظ تخصیص متقاضیان خدمات، مورد بررسی قرار داد. در حالیکه در مدل‌های مکانی، انتخاب مکان اغلب با بهینه‌سازی یک هدف بخصوص مثلاً کمینه‌سازی هزینه سفر انجام می‌شود و تأثیر استقرار یک مرکز در یک مکان بر روی سایر مراکز در حین مکانیابی، بصورت ضمنی، لحاظ می‌شود. لذا تمرکز اصلی تحقیق پیش رو، بر روی مدل‌های مکانی است و علاوه بر تعیین مکان، به مسأله تخصیص نیز پرداخته می‌شود. تاکنون مدل‌های مکانی مختلفی از جمله مدل مرکز، پوشش مجموعه و مدل پراکندگی ارائه شده‌اند. یکی از رایج‌ترین این مدل‌ها برای مکانیابی و تخصیص مراکز خدماتی، مدل میانه[۴] است که جزو مسائل زمان چندجمله‌ای غیرقطعی سخت[۵] دسته‌بندی می‌شود[۵]. از این رو محققان اغلب روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری را برای حل آن به‌کار برده‌اند [۶ و ۷]. به‌عنوان نمونه، بلوری و همکاران (۲۰۲۰) برای حل مسألهٔ تخصیص ایستگاه‌های آتش‌نشانی در منطقهٔ ۲۲ تهران، از روش ترتیبی مدل میانه تخصیص برداری و الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده کردند [۸]. در این میان، نتایج تحقیقات متعددی نشان داده است که الگوریتم‌های تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک قادرند پاسخ‌های مناسبی را برای حل مسأله میانه ارائه نمایند [۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲]. لکن اکثر این تحقیقات با استفاده از الگوریتم‌های تک هدفه به حل مسأله پرداخته‌اند [۱۳، ۱۴و ۱۵]. با اینحال در برخی از مطالعات از الگوریتم‌های چندهدفه از جمله *NSGA_II*[۶] در حل مسائل مربوط به مکان مراکز استفاده شده است. به

---

[۱] *Geo-spatial Information System*

[۲] *TOPSIS :Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

[۳] *AHP: Analytical Hierarchical Process*

[۴] *P-Median*

[۵] *NP-hard: Non-deterministic Polynomial-time hard*

[۶] *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*

عنوان نمونه، ویلگاس[1] و همکاران (۲۰۰۶) از *NSGA_II* برای کمینه‌سازی هزینه و بیشینه‌سازی پوشش در حل مسأله مکانیابی و تخصیص مراکز با ظرفیت نامحدود استفاده کردند[۱۶]. شی[2] و همکاران (۲۰۲۰) نیز روش *NSGA_II* و همچنین یک روش ترکیبی را برای بهینه‌سازی همزمان دو هدف شامل دستیابی به سطح پوشش بیشتر خدمات و صرف هزینه کمتر، برای جمع‌آوری زباله‌ها در ونکوور مورد استفاده قرار دادند[۱۷]. خاویر [3]و همکاران (۲۰۲۰)، در راستای گسترش سیستم آموزش عالی در ایالت آمازوناس کشور برزیل، مکان‌های بهینه برای دانشگاه‌های جدید را با در نظر گرفتن سه هدف مختلف با روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک مشخص نمودند[۱۸]. در مطالعات مذکور، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه برای تعیین مکان بهینه تعیین مکان مناسب برای یک نوع مرکز استفاده شده است.

به دلیل اینکه توسعه مناطق شهری معمولاً بصورت تدریجی انجام می‌شود، در مطالعات پیشین اغلب به مکانیابی مراکز مختلف بصورت متوالی و مستقل از هم پرداخته شده و مکانیابی چندین مرکز مختلف خدمات شهری در یک مدل یکپارچه چندان مورد توجه واقع نشده است. درحالیکه استقرار یک نوع مرکز، تناسب فضای پیرامون را برای استقرار مراکز دیگر تغییر می‌دهد و ممکن است باعث تقویت یا تضعیف شرایط مورد نیاز برای احداث مراکز جدید در آن منطقه شود.

توجه به مطالب فوق، ضرورت مکانیابی مراکز مختلف در یک چارچوب واحد بطور همزمان را آشکار می‌سازد. برهمین اساس در پژوهش حاضر سعی شده که مدل جامعی برای مسأله مکانیابی و تخصیص مراکز مختلف (*MTFLAP*[4]) ارائه شود و اثرات متقابل مراکز مختلف اعم از همسان و غیرهمسان بر روی هم در هنگام مکانیابی مد نظر قرار گیرند. قابلیت الگوریتم ژنتیک در حل مسأله میانه از یک سو و وجود اهداف متعدد در تحقیق حاضر از سوی دیگر موجب شد که نسخه‌ای از الگوریتم ژنتیک چند هدفه مورد استفاده قرار گیرد. وجه تمایز این پژوهش با تحقیقات مشابه پیشین عبارتنداز:

- ارائه چارچوبی واحد برای مکانیابی و تخصیص همزمان مراکز مختلف که این مراکز می توانند اثرات مثبت، خنثی یا منفی بر روی هم داشته باشند.
- حل مسأله *MTFLAP* بصورت چند هدفه با استفاده از مدل میانه تعمیم یافته و الگوریتم *MOEA/D*[5]

ادامه مقاله شامل چهار بخش می‌باشد. در بخش دوم مقاله، روش تحقیق و مفاهیم پایه تحقیق شامل مسأله مکانیابی و تخصیص، بهینه‌سازی چندهدفه و روش *MOEA/D* بیان می‌شود. در بخش سوم به پیاده‌سازی و اجرای مدل برای حل مسأله پرداخته می‌شود. بخش چهارم مربوط به ارائه نتایج اجرای روش *MOEA/D* برای مسأله *MTFLA* و مقایسه آنها با نتایج روش معروف *NSGA_II* بر اساس سنجه‌های مختلف ارزیابی کیفیت پاسخ‌ها می‌باشد و در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری کلی پژوهش ارائه شده‌است.

۲- روش تحقیق و مبانی نظری مربوط

چنانکه ذکر شد، هدف از انجام این تحقیق، مکانیابی و تخصیص همزمان مراکز مختلف با توجه به اهداف متعدد است. برای این منظور، ابتدا از بین نقاطی که امکان استقرار مرکز جدید در آنها وجود دارد، بر اساس شرایط منطقه، تعدادی به‌عنوان سایت کاندید انتخاب می‌شوند و سپس میزان تناسب و مطلوبیت هریک برای هر نوع مرکز مشخص می‌گردد. همچنین مکان نقاط

[1] *Villegas*
[2] *Shi*
[3] *Xavier*
[4] *Multi-Type Facility Location-Allcation Problem*
[5] *Multi objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition*

[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]

تقاضا تعیین و فاصله شبکه‌ای بین آنها و مراکز خدماتی محاسبه می‌شود تا در حل مسأله تخصیص مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر آن، به‌منظور لحاظ نمودن اثرات متقابل مراکز بر روی همدیگر، برای هر زوج از مراکز، میزان سازگاری به‌صورت کمی تعیین می‌گردد. به این ترتیب امکان تولید اطلاعات ورودی مسأله بهینه‌سازی فراهم می‌شود. در ادامه با تعریف توابع هدف مسأله بهینه‌سازی و پارامترهای مربوط، چارچوب بهینه‌سازی چندهدفه مشخص و پیاده‌سازی می‌شود و پاسخ‌های بهینه به‌دست می‌آید. در این پژوهش تأکید بر پیاده‌سازی الگوریتم *MOEA/D* بوده ولی جهت مقایسه نتایج، الگوریتم متداول *NSGA_II* نیز اجرا شد.

شکل(۱) فلوچارت روش پژوهش را نشان می‌دهد.

در ادامه مبانی تئوری تحقیق شامل مسأله مکانیابی و تخصیص، بهینه‌سازی چند هدفه و مفاهیم مربوط به آن و در نهایت *MOEA/D* و روند اجرای آن ارائه می‌گردد.

شکل۱: فلوچارت روش پژوهش

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

۲-۱- مسأله مکانیابی و تخصیص[1]

مسائل مکانی از صدها سال پیش، توجه محققان را بخود معطوف داشته‌اند. با اینحال اساس مسائل مکانیابی کلاسیک را به وبر[2] نسبت می‌دهند و وی را به‌عنوان پدر مسأله *LA* می شناسند[۱۹]. هدف اصلی این مدل، تعیین مکان مناسب برای تعدادی از مراکز خدمات‌رسانی در یک منطقه و مشخص کردن نحوه تخصیص مشتریان به آنهاست. انتخاب مکان‌های مراکز خدماتی، بر اساس معیارهای متنوعی همچون کمینه کردن فاصله بین مراکز خدماتی تا مشتریان و یا بیشینه کردن میزان پوشش مشتریان توسط مراکز صورت می‌گیرد. با توجه به این معیارها، تابعی موسوم به تابع هدف تعریف می‌گردد که در طی حل مسأله، بهینه می‌شود.

۲-۱-۱-اجزاء اصلی مسائل مکانیابی و تخصیص (*L.A.*)

ریول [3]و ایسلت[4] (۲۰۰۵)، چهار جزء برای مسأله مکانیابی در نظر گرفته‌اند که شامل موارد زیر می‌باشند: مراکزخدماتی، مشتریان، فضا و یک متریک برای مشخص کردن فاصله یا زمان[۲۰].

- مراکز خدماتی[5]: مراکزی هستند که کالاها یا خدماتی را به مشتریان ارائه می‌کنند و مکان بهینه آنها به کمک مدل تعیین می‌شود. برای این مراکز می‌توان خصوصیاتی نظیر تعداد، نوع، ظرفیت، سود و هزینه را برای آنها مد نظر قرار داد.
- تقاضا یا مشتری[6]: دومین جزء اصلی در مسائل *LA*، تقاضا است که در برخی از منابع تحت عنوان مشتری تعریف می شود [۲۱]. مشتری کسی است که می‌خواهد کالایی را دریافت نماید و یا به خدمات خاصی دسترسی پیدا کند. جهت تأمین نیاز مشتریان، داشتن اطلاعاتی در مورد نوع تقاضا، توزیع مکانی، مقدار نیاز و رفتار آنها حائز اهمیت است.
- فضا[7] یا مکان: سومین جزء اصلی، فضایی است که مشتریان و مراکز روی آن قرار دارند. فضا می‌تواند با مدل‌های صفحه‌ای و شبکه‌ای مشخص‌شود که هر یک از این مدل‌ها را می‌توان به دو صورت پیوسته و گسسته در نظر گرفت[۲۰]. در مسائل پیوسته نقاط می‌توانند در هر مکانی روی صفحه یا شبکه قرار بگیرند[۲۲]. در مسائل گسسته، مراکز فقط روی تعداد محدودی از نقاط مجاز بر روی صفحه یا شبکه می‌توانند مستقر شوند[۲۳].
- متریک فاصله: فاصله بین نقاط در مسائل مکانی را می‌توان بصورت های مختلف شامل فاصله بلوک شهری، فاصله اقلیدسی، فاصله چبیشف و یا فاصله شبکه‌ای تعریف کرد.

۲-۱-۲-رابطه بین اجزاء اصلی مسأله *LA*

در خصوص ارتباط بین اجزاء، رابطه مرکز-مرکز و رابطه مشتری- مرکز در ادامه بیان شده است. بین دو مرکز خدماتی که یک نوع کالا یا خدمت ارائه می‌کنند، دو نوع رابطه می‌توان در نظرگرفت: رابطه همکاری و رابطه رقابتی. در حالت اول امکان ارسال کالاها یا خدمات از یک مرکز به مرکز دیگر وجود دارد ولی در حالت دوم که متداول‌تر است، مراکز در ارسال کالاها و خدمات با یکدیگر رقابت می‌کنند. رابطه مشتری با مرکز، بیانگر نحوه تأمین نیاز مشتریان توسط مراکز خدماتی است. در برخی از مسائل هر مشتری مجاز است تنها به یک مرکز مراجعه نماید(مسائل چند-منبعی)؛ در حالیکه در برخی دیگر از مسائل نیاز یک مشتری توسط چندین مرکز تأمین می‌گردد (مسائل چند-منبعی).

---

[1] *Location-Allocation (LA)*

[2] *Weber*

[3] *ReVelle*

[4] *Eiselt*

[5] *Facilities*

[6] *Demand or Customer*

[7] *space*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

۲-۱-۳- مسائل پایه در مکانیابی و تخصیص

مسائل کلاسیک مکانیابی و تخصیص منابع بر اساس هدف مسأله به انواع مختلف تقسیم می‌شوند که در ادامه بطور مختصر به آنها اشاره می‌شود.

- مسأله P-میانه

این مسأله یکی از مسائل عمومی، ساده و پرکاربرد مسائل LA است و هدف آن مکانیابی برای P مرکز در P مکان می‌باشد. در حالت ساده یک مرکز خدماتی در نظر گرفته می‌شود و تنها هدف مسأله این است که فاصله اقلیدسی مرکز خدماتی از تعدادی نقطه تقاضا کمینه گردد (همان مسأله وبر). در صورتیکه برای هر نقطه تقاضا وزن بخصوص وجود داشته باشد، مسأله P-میانه موزون نامیده می‌شود[۲۴]. این مسأله اغلب برای خدمات عمومی نظیر مدرسه و بیمارستان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- مسأله P-مرکز[۱]

در مدل میانه روی میانگین (یا مجموع) فواصل وزن‌دار تمرکز می‌شود. در حالیکه در بسیاری از موارد مجموع فواصل نمی‌تواند معیار مناسبی برای سنجش کیفیت یک راه حل باشد؛ مثلاً زمانی که استقرار خدمات اورژانسی نظیر آتشنشانی، آمبولانس و مراکز پلیس مد نظر باشد، از مسأله P-مرکز استفاده می‌گردد که هدف آن بهبود ضعیف‌ترین خدمات به مشتریان می‌باشد[۲۵]. به عبارت ساده‌تر در طی حل مسأله، مکان P مرکز به نحوی تعیین می‌گردد که بیشترین فاصله بین نقطه تقاضا و نزدیکترین مرکز خدماتی کمینه شود [۲۶].

- مسأله پوشش

مسأله تعیین تعداد و مکان مراکز خدماتی می‌باشد بطوریکه بتوان از نقاط تقاضا با طی فاصله یا زمانی معلوم به مرکز خدماتی رسید. مسائل پوششی را می‌توان به دو دسته پوشش مجموعه (پوشش کل) و حداکثر پوشش (پوشش جزئی) تقسیم کرد[۲۷و ۲۸]. مسأله پوشش کلی عبارت از تعیین حداقل تعداد مراکز مورد نیاز برای پوشش دادن به کل مشتریان است. بعبارتی تعداد مراکز از قبل معلوم نیست. در این نوع مسائل، نقطه تقاضای i زمانی می‌تواند توسط مرکز j خدمات‌رسانی شود که فاصله بین آنها (d_{ij}) کمتر از فاصله تعیین شده D_C باشد.

در حالت‌های خاصی ممکن است، بدلیل محدودیت بودجه، نتوان مراکز خدماتی را به تعداد مورد نیاز برای پوشش همه مشتریان فراهم نمود. در چنین وضعیتی مطلوب است که تعداد معینی از مراکز به سایت‌ها تخصیص یابند. از طرفی مدل پوشش کل بین نقاط با تقاضای کم و نقاط با تقاضای زیاد، تفاوتی قایل نشده؛ زمانیکه پوشش کل تقاضاها، در فاصله ای معین و استادندارد برای خدمات رسانی، امکانپذیر نباشد، بهتر است نقاط پر تقاضا در اولویت قرار گیرند. زیرا برای پوشش نقاط دور با تقاضای کم، نسبت هزینه به سود بالا می‌رود. برای فائق آمدن به محدودیت‌های مدل پوشش کل تقاضاها، چرچ[۲] و ریول (۱۹۷۴)، مسأله بیشترین پوشش را مطرح نمودند[۲۹]. هدف این مدل که پوشش جزئی نام دارد، آن است که با تعداد ثابتی از مراکز خدماتی، تقاضاهای پوشش داده شده در فاصله‌ای معین از آنها بیشینه شود.

۲-۲- مسأله بهینه‌سازی چند هدفه

در حالت کلی، منظور از حل یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه، یافتن بردارهایی از متغیرهای تصمیم‌گیری است به‌گونه‌ای k تابع هدف به‌طور همزمان بهینه شوند. در صورتیکه این مسأله بصورت کمینه‌سازی تعریف گردد، بیان ریاضی آن طبق روابط(۱) تا (۳) خواهد بود[۳۰]:

$$\min f(x)=\{f_1(x), f_2(x),\dots,f_k(x)\} \quad x\in R^n$$ رابطه(۱)

$$s.t. \quad g_i(x)\le 0 \quad i=1,\dots,m$$ رابطه(۲)

$$h_j(x)=0 \quad j=1,\dots p$$ رابطه(۳)

در روابط (۱) تا (۳)، x بردار متغیرهای تصمیم و محدود

[۱] P-Center Problem

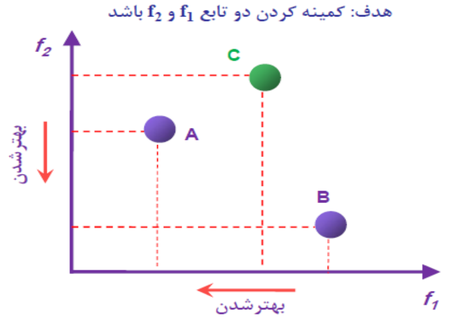
[۲] Church

[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]

به فضای تصمیم‌گیری Ω است؛ بطوریکه $\Omega: x \in R^n$ و f یک مجموعه از اهداف می‌باشد که باید کمینه گردند(رابطه (۱)). توابع g و h (روابط (۲) و (۳)) بیانگر مجموعه‌ای از قیدهای ناتساوی و تساوی‌اند که ناحیه های امکان‌پذیر از فضای جواب n بعدی x را تعریف می‌کنند. اگر مقدار کمینه برای کلیه توابع هدف مطلوب باشد، بردار x^* یک جواب بهینه خواهد بود در صورتیکه بتواند k تابع هدف شامل $f(x^*) = \{f_1(x^*),\ldots,f_k(x^*)\}$، را کمینه نماید. معمولاً بعلت تعارضات موجود در بین اهداف مختلف چنین پاسخی غیرقابل حصول است و به‌جای یک پاسخ، مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه به‌دست می‌آیند[۳۱].

۲-۳- بهینگی پارتو

در یک مسأله کمینه‌سازی یک هدفه، با مرتب کردن پاسخ‌ها به ازای مقدار تابع هدف، می‌توان پاسخی را که کمترین مقدار را دارد به عنوان پاسخ بهینه معرفی نمود. در حالیکه در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه، مقدار هر یک از پاسخ‌ها به ازای توابع هدف، بجای یک اسکالر، یک بردار k بعدی است و مرتب کردن بردارها در فقدان اطلاعات در مورد اهمیت هر یک از اهداف، غیرممکن است. در این مسائل، رتبه بندی پاسخ ها بر اساس غالب بودن پارتو صورت می‌گیرد. مفهوم غلبه را می توان بصورت زیر تعریف کرد. اگر لازم باشد که تمام توابع هدف مسأله حداقل شوند، یک جواب مانند x بر جواب دیگری نظیر y غالب است $(x<y)$، اگر و تنها اگر در هیچ یک از توابع هدف بدتر از y نباشد $(f_i(x) \le f_i(y)$ ،$i = 1, \ldots, K)$ و همچنین حداقل در یکی از توابع بهتر از y باشد $(f_j(x) < f_j(y))$. جوابی که توسط جواب‌های دیگر در فضای جواب مغلوب نشود، جزو جواب‌های بهینه پارتو خواهد بود. شکل (۲)، حالتی را نشان می‌دهد که مسأله بهینه‌سازی شامل دو هدف برای کمینه‌سازی می‌باشد. در شکل (۲)، پاسخ A بر پاسخ C غالب است؛ زیرا به‌ازای هر دو تابع هدف مقدار کمتری به‌دست آورده است. اما در مورد پاسخ های A و B می‌توان گفت که هیچ یک بر دیگری غالب نیست. پاسخ‌های B و C نیز بدون حضور پاسخ A می‌توانند نامغلوب باشند.



شکل۲: نمونه ای از پاسخ های مغلوب و نامغلوب

کلیه پاسخ‌های غیرمغلوب در X، مجموعه بهینه پارتو و مقادیر توابع هدف به ازاء یک مجموعه بهینه پارتو، جبهه پارتو[۱] نامیده می‌شوند. هدف اصلی در حل یک مسأله چندهدفه در واقع، تعیین مجموعه بهینه پارتو می‌باشد[۳۰]. مجموعه جواب بهینه پارتو شامل پاسخ‌هایی است که با توجه به پارامترها و شرایط مسأله، امکان بهبود آنها وجود ندارد.

۲-۴- سنجه‌های ارزیابی کیفیت مجموعه بهینه پارتو

کیفیت مجموعه پاسخ‌های بهینه پارتو به‌دست آمده

۱ *Pareto front*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

توسط الگوریتم‌های مختلف را می‌توان براساس معیارهای زیر مشخص نمود.

- همگرایی، که به معنی نزدیک بودن پاسخ های به‌دست آمده از الگوریتم به پاسخ‌های بهینه واقعی است.
- گستردگی، یعنی اینکه پاسخ های حاصله قسمت وسیعی از پاسخ‌های بهینه واقعی را پوشش دهند.
- نظم، بدین معنی که پاسخ های به‌دست آمده با فاصله منظمی روی جبهه پارتو توزیع شده باشند.

۲-۵- الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی برتجزیه (MOEA/D)

الگوریتم *MOEA/D* در سال ۲۰۰۷ توسط ژانگ و همکارش ارائه گردید [۳۲]. این الگوریتم برنده رقابت‌های محاسبات تکاملی سال ۲۰۰۹ بوده و دارای سرعت همگرایی بالایی می باشد. الگوریتم *MOEA/D* یک مسأله بهینه‌سازی چندهدفه را به تعدادی زیر مسأله بهینه‌سازی تک‌هدفه تبدیل کرده و آنها را بطور همزمان بهینه می‌کند. این الگوریتم نیز همچون سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه، به‌دنبال یافتن تعدادی از بردارهای بهینه پارتو است که بطور مناسبی در جبهه پارتو توزیع شده اند. در واقع، مسأله تخمین جبهه پارتو، به تعدادی زیرمسأله بهینه سازی تک هدفه تجزیه می‌گردد و هر پاسخ بهینه پارتو در مسأله چند هدفه، یک پاسخ بهینه از یک مسأله بهینه‌سازی تک هدفه در نظر گرفته می‌شود که هدف آن شامل مجموعه‌ای از همه f_k ها است. برای ایجاد تابع تجمع روش های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها روش چبی شف است. در این روش، با در نظر گرفتن N زیرمسأله بهینه‌سازی اسکالر، $\lambda^1, \ldots, \lambda^N$ به عنوان مجموعه ای از بردارهای وزن با گستردگی مناسب و z^* به عنوان نقطه مرجع (آرمانی)، تابع هدف j مین زیر مسأله به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$g^t(x|\lambda^j, z^*)= \max\{ \lambda_i^j | f_i(x)- z^*|\} \quad \text{(۴)رابطه}$$

$j=1, \ldots, N$

الگوریتم *MOEA/D* تمام این m تابع هدف را بطور همزمان و در یک بار اجرا بهینه می‌کند. در این الگوریتم، هر زیر مسأله تنها با استفاده از اطلاعات زیر مسأله‌های همسایگی‌اش بهینه می‌گردد. روند اجرای الگوریتم *MOEA/D* بصورت زیر است:

الف- مقداردهی اولیه

- تعیین بردار وزن برای هر یک از اعضای جمعیت، محاسبه فاصله اقلیدسی بین هر دو بردار وزن و استخراج T بردار از نزدیکترین بردارهای وزن به هر بردار (همسایگی). برای هر $i=1,\ldots, N$، قرار دهید: $B(i)=\{i_1, \ldots, i_T\}$؛ بطوریکه $\lambda^{i_1}, \ldots, \lambda^{i_T}$ نزدیکترین T بردار وزن به λ^i هستند.
- تولید جمعیت اولیه $x_1, \ldots, x_N$ بصورت تصادفی یا با روش خاص مسأله و محاسبه $FV_i = F(x_i)$.
- محاسبه مقدار اولیه برای $z^*=(z_1, \ldots, z_m)^T$ به روش خاص هر مسأله.
- جمعیت خارجی (*EP*[۱])، تهی در نظر گرفته می‌شود.

ب- بروزرسانی

برای هر $i= 1, \ldots, N$

- تولید مجدد، محاسبه پاسخ (های) جدید y
- بروزرسانی z^*، برای هر $j=1, \ldots, m$ اگر $f_j(y) < z^*_j$ باشد، در اینصورت قرار دهید $z^*_j=f_j(y)$.
- بروزرسانی پاسخ های همسایگی، برای هر اندیس $j \in B(i)$ اگر $gt(y|\lambda_j, z^*) \leq gt(x_j|\lambda_j, z^*)$ آنگاه $x_j=y$ و $FV_j=F(y)$.
- بروزرسانی جمعیت خارجی (*EP*)، تمام بردارهایی که توسط $F(y)$ مغلوب شده اند، از *EP* خارج گردد. اگر هیچ برداری در *EP* بر $F(y)$ غلبه نمی کند، $F(y)$ به جمعیت خارجی اضافه شود.

ج- معیار توقف

اگر معیار توقف برآورده گردد، در اینصورت اجرا متوقف

[۱] *External Population*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

شده و EP بعنوان خروجی در نظر گرفته می شود. در غیر اینصورت مراحل از مرحله بروزرسانی تکرار می‌گردد.

یک تصمیم گیرنده همواره به تعداد محدودی پاسخ بهینه پارتو با توزیع مناسب نیاز دارد. بنابراین بهینه کردن تعداد محدودی زیرمسأله اسکالر روش مناسبی است که از هدر رفتن تلاش محاسباتی جلوگیری می‌کند. در *MOEA/D* پاسخ های مختلف در جمعیت کنونی وابسته به زیرمسأله های مختلف می باشند. وجود تنوع بین این زیرمسأله ها، منجر به ایجاد تنوع در جمعیت پاسخ ها می‌گردد. اگر روش تجزیه و بردارهای وزن بطور مناسبی انتخاب گردند پاسخ های بهینه بطور مناسبی در طول جبهه پارتو گسترده می‌شوند. در *MOEA/D*، T اندازه همسایگی می‌باشد و تنها پاسخ‌های نزدیکترین T همسایگی زیرمسأله، برای بهینه‌سازی آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع، دو پاسخ تنها زمانی شانس ترکیب شدن دارند که در همسایگی یکدیگر قرار داشته باشند. بنابراین تنظیم T بسیار مهم است. اگر T بسیار کوچک باشد، دو پاسخ انتخاب شده x_j و x_k برای اعمال عملگر ژنتیک، ممکن است بسیار شبیه هم باشند چرا که مربوط به دو زیرمسأله بسیار مشابهند و در نتیجه y' پاسخ تولید شده بسیار نزدیک والدینش خواهد بود و الگوریتم توانایيش را در جستجوی ناحیه های جدید از دست خواهد داد. از طرف دیگر اگر T بسیار بزرگ باشد، ممکن است x_j و x_k برای زیرمسأله مورد نظر نامناسب باشند و حجم محاسبات نیز افزایش خواهد یافت.

پیچیدگی محاسباتی روش *MOEA/D* نسبت به روش *NSGA_II* از مرتبه $O(\frac{T}{N_{pop}})$ است که T اندازه همسایگی در *MOEA/D* و N_{pop} اندازه جمعیت اصلی در *NSGA_II* است.

۳- پیاده‌سازی و اجرا

در این قسمت نحوه اجرا و پیاده‌سازی روش پیشنهادی برای مکانیابی و تخصیص چند مرکز در یک نمونه واقعی ارائه شده است.

۳-۱- مطالعه موردی و آماده‌سازی داده‌ها

در این پژوهش، به عنوان نمونه، به تعیین مکان مناسب برای استقرار سه نوع مرکز شامل دبستان، پارک و درمانگاه پرداخته شده است. بهینه‌سازی مکانی با توجه به معیارهای هزینه کل سفر به انواع مراکز، شرایط فیزیکی زمین، دسترسی، سازگاری مراکز با یکدیگر در منطقه مورد مطالعه و همچنین محدودیت ها و اولویت‌های همجواری مراکز صورت گرفته که این معیارها در قالب پنج تابع هدف مد نظر قرار گرفته‌اند.

منطقه مورد مطالعه، بخشی از منطقه ۱۷ تهران با جمعیت حدود ۴۰۰۰۰ نفر می باشد. در این قسمت از منطقه، در زمان جمع‌آوری داده‌ها، مراکز خدماتی مذکور وجود نداشتند. برای اجتناب از خطای تجمیع در محاسبات مربوط به تخصیص، اطلاعات مکانی متقاضیان خدمات، از نقشه مربوط به قطعات ملکی استخراج و وارد مدل شد. اطلاعات توصیفی هر قطعه شامل نوع کاربری و اطلاعات جمعیتی مورد نیاز مسأله یعنی سن و جنسیت افراد می‌باشد. میزان تقاضا برای دبستان، با توجه به سن و جنسیت مشخص شد. اما در مورد پارک و درمانگاه، میزان تقاضا در هر قطعه ملکی برابر با کل جمعیت آن قطعه در نظر گرفته شد. تعداد مراکز با توجه به مجموع نیاز به هر یک از خدمات در منطقه و اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات پیشین در مورد پوشش تقاضاها توسط هر یک از مراکز تعیین گردید. به‌عنوان نمونه، هر درمانگاه حداکثر ۴۰۰۰ خانوار را پوشش می دهد[۱] که با توجه به سکونت حدود ۸۰۰۰ خانوار در منطقه مورد مطالعه، حداقل دو درمانگاه مورد نیاز است. به این ترتیب تعداد دبستان و پارک به ترتیب برابر شش و دو به‌دست آمدند.

پس از تعیین عوامل مؤثر در تناسب مکانی مراکز انتخابی (دبستان، پارک و درمانگاه) [۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸ و ۳۹]، لایه‌های اطلاعاتی مربوطه تهیه و در محیط نرم‌افزار *ArcGIS* آماده‌سازی شدند. این عوامل شامل مراکز صنعتی، فرهنگی، تجاری، ورزشی، فضاهای سبز و خیابان ها بودند. با توجه به کاربری فعلی قطعات

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

ملکی، سایت‌های اولیه که امکان استقرار مرکز جدید در آنها وجود دارد، مشخص شدند. سپس لایه‌های اطلاعاتی مربوط به عوامل محدودکننده ترکیب و سایت‌های واقع در مناطق دارای محدودیت حذف گردیدند. به این ترتیب با غربالگری اولیه، فضای جستجو کاهش یافت و سایت‌های کاندید مشخص شدند. سپس نقشه‌های فاکتور تهیه و تلفیق گردیدند. به این ترتیب که بر اساس اهمیت نسبی هر یک از عوامل مؤثر در مکانیابی مرکز مورد نظر، وزنی برای هر عامل تعیین شد. سپس نقشه‌های مربوط به این عوامل با دخالت دادن وزنشان با یکدیگر ترکیب شدند. در پایان این مرحله، هر یک از مکان‌های کاندید، دارای یک مقدار تناسب برای استقرار هر یک از انواع مراکز شدند. بعنوان نمونه، برای سایت شماره یک، میزان تناسب برحسب درصد برای استقرار دبستان، پارک و درمانگاه به ترتیب برابر ۰٫۶۲، ۰٫۵۶ و ۰٫۳۳ به‌دست آمد.

۳-۲- تعریف توابع هدف و شروط مسأله

در این قسمت از مقاله، جزئیات تعریف پنج تابع هدف بهینه‌سازی و روابط ریاضی مربوط به آنها و همچنین شروط مسأله ارائه شده‌اند. سه تابع هدف اول برای کمینه‌سازی هزینه سفر به مراکز مورد نظر، تابع چهارم برای بیشینه سازی تناسب سایت‌های انتخابی با توجه به وضع موجود و تابع پنجم برای بیشینه سازی سازگاری و اولویت همجواری مراکز جدید تعریف شده‌اند.

۳-۲-۱- کمینه‌سازی هزینه سفر

با چینش های مختلف برای انواع مراکز خدماتی، هزینه‌های سفر متفاوتی برای کاربران آنها حاصل می‌شود. برای هر یک از انواع مراکز خدماتی (دبستان، پارک و درمانگاه)، یک تابع هدف مجزا جهت کمینه‌سازی هزینه سفر کل تعریف شده است. برای این منظور، مدل میانه مورد استفاده قرار گرفته و مجموع وزن‌دار فواصل بین کاربران و مراکز محاسبه گردیده است. در این پژوهش، فاصله شبکه‌ای جایگزین فاصله اقلیدسی در مدل میانه شده است. تعداد متقاضیان برای هر یک از خدمات در هر نقطه تقاضا بعنوان وزن آن نقطه در مدل مربوط در نظر گرفته شده است. به‌عنوان نمونه، در رابطه (۵)، تعداد دانش آموزان در نقطه i ($pops_i$) نشان‌دهنده وزن آن نقطه در مدل میانه مربوط به دبستان‌ها می‌باشد. تابع هدف اول (OF_1) برای کمینه‌سازی هزینه سفر دانش‌آموزان تا نزدیکترین دبستان در نظر گرفته شده است.

$$Minimize\ \mathrm{OF}_1 = \sum_i \sum_j \mathrm{pops}_i \mathrm{Y}_{ijs} \mathrm{d}_{ij} \quad \text{رابطه(۵)}$$

$$s.t. \quad \forall i \ \sum_j \mathrm{Y}_{ijs} = 1 \quad \text{رابطه(۶)}$$

$$\forall i ; j \quad \mathrm{Y}_{ijs} - \mathrm{X}_{js} \leq 0 \quad \text{رابطه(۷)}$$

$$\mathbf{X}_{js} = \begin{cases} \mathbf{1} & \text{اگر در سایت } j \text{ دبستان مستقر شود} \\ \mathbf{0} & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$Y_{ijs} = \begin{cases} \mathbf{1} & \text{اگر تقاضای نقطه } i \text{ توسط دبستان در سایت } j \text{ تامین شود} \\ \mathbf{0} & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

در کمینه‌سازی تابع هدف (OF_1) لازم است شرایط موجود در روابط (۶) و (۷) رعایت شوند. رابطه (۶) به این معنی است که مجموع خدماتی که توسط مراکز (در اینجا دبستان‌ها) به نقطه تقاضای i ام ارائه می‌شود، باید برابر کل تقاضای این نقطه باشد. رابطه (۷) نشان می‌دهد نقطه تقاضای i زمانی می‌تواند به سایت j مراجعه کند که دبستانی در آن مستقر شده باشد.

توابع هدف دوم (OF_2) و سوم (OF_3) نیز بطور مشابه به ترتیب برای کمینه‌سازی هزینه سفر تا پارک و درمانگاه تعریف شده‌اند که تحت شرایطی مشابه با شرایط رابطه(۶) و (۷) بهینه می‌شوند.

$$Minimize\ \mathrm{OF}_2 = \sum_i \sum_j \mathrm{pop}_i \mathrm{Y}_{ijp} \mathrm{d}_{ij} \quad \text{رابطه(۸)}$$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

اگر در سایت j پارک مستقر شود. $X_{jp}=\begin{cases}1\\0\end{cases}$
در غیر این صورت

رابطه(۹) $$Minimize\ OF_3 = \sum_i \sum_j pop_i Y_{ijc} d_{ij}$$

$\mathbf{pop_i}$: جمعیت ساکن در نقطه i

اگر در سایت j درمانگاه مستقر شود $X_{jc}=\begin{cases}1\\0\end{cases}$
در غیر این صورت

۳-۲-۲- بیشینه‌سازی مطلوبیت و تناسب سایت‌های انتخابی

استقرار هر نوع مرکز در مکانی مناسب برای آن نوع مرکز، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چنانکه پیشتر اشاره شد، میزان تناسب هر سایت کاندید برای هر نوع مرکز با توجه به عوارض موجود و ویژگی‌های زمین در آن سایت تعیین گردیده و بر اساس آن تابع هدف چهارم (OF_4) بمنظور بیشینه کردن مجموع مطلوبیت و تناسب سایت‌های انتخابی در پاسخ مربوطه تعریف شده است. در واقع موارد مربوط به مطلوبیت مکان و نیز سازگاری و اولویت‌های همجواری مراکز موجود با مراکز جدید، در محاسبه تناسب سایت مد نظر قرار گرفته و در قالب این تابع هدف گنجانده شده‌اند.

جهت تسهیل پیاده‌سازی الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه، کلیه اهداف به تابع کمینه‌سازی تبدیل شده‌اند؛ لذا تابع بیشینه‌سازی تناسب به‌صورت رابطه (۱۰) پیشنهاد و تعریف گردید:

رابطه(۱۰)

$$Minimize\ OF_4 = C_1 - \sum X_{js} * S_{js} - \sum X_{jp} * S_{jp} - \sum X_{jc} * S_{jc}$$

در رابطه(۱۰)، S_{js}، S_{jp} و S_{jc} به ترتیب تناسب سایت j را برای استقرار دبستان، پارک و درمانگاه نشان می‌دهند. همچنین n_s، n_p و n_c به ترتیب بیانگر تعداد دبستان‌ها، پارک‌ها و درمانگاه‌های مورد نیاز می‌باشند که $\sum Xj_s=n_s$، $\sum Xj_P=n_P$ و $\sum Xj_C=n_C$ و نیز C_1 مقدار ثابت است. با توجه به اینکه حداکثر تناسب یک سایت برای یک مرکز برابر یک می باشد، مقدار C_1 برابر تعداد سایت‌ها خواهد بود ($C_1= n_S+n_P+n_C$). به این ترتیب مقدار تابع OF_4 همواره مقدار مثبتی به‌دست می‌آید.

۳-۲-۳- بیشینه‌سازی سازگاری بین مراکز جدید

توجه به اثرات متقابل مراکز مختلف بر روی همدیگر، در هنگام تعیین مکان استقرار آنها، می‌تواند به بهبود عملکرد هر یک و نیز کاهش اثرات منفی آنها بر روی هم کمک کند. لذا مراکز باید به گونه‌ای توزیع شوند که بین مراکز مجاور، سازگاری وجود داشته باشد و به‌عبارتی، مراکزی که دارای اولویت همجواری با یکدیگر هستند، در نزدیکی هم مستقر شوند. باید توجه داشت که در حالت کلی، به‌دلیل تعداد و تنوع بالای کاربری‌های شهری، ارزیابی دقیق سازگاری یا ناسازگاری بین آنها کار دشواری است [۴۰]. اغلب میزان سازگاری یا ناسازگاری بین کاربری‌ها به‌صورت کیفی و با استفاده از ماتریس سازگاری مشخص می‌گردد. در حالیکه برای حل مسأله بهینه‌سازی پیش‌رو، نیاز به کمی‌سازی سازگاری وجود دارد. تعیین مقدار دقیق برای پارامترهایی نظیر شعاع تأثیر و یا حریم برای مراکز، کار ساده‌ای نیست. در این پژوهش، برای تعیین مقادیر کمی مورد نظر، تا حد ممکن از منابع موجود استفاده شد. به‌عنوان نمونه، سازمان نوسازی و تجهیز مدارس، در سال ۱۳۸۵، در مکانیابی مدارس، رعایت حریم ۱۵۰ متر را برای مراکز درمانی پیشنهاد نموده است که در پژوهش حاضر نیز، در تعیین مقادیر کمی مربوط به این دو نوع مرکز مورد استفاده قرار گرفت.

در این راستا، تابع هدفی به‌منظور بیشینه‌سازی سازگاری و اولویت همجواری بین مراکز جدید در حال مکان‌یابی، تعریف شده است. به‌منظور کمّی کردن سازگاری و وابستگی بین مراکز و وارد کردن آنها به مسأله بهینه‌سازی، با توجه به فاصله بین هر زوج از مراکز و میزان سازگاری آنها با یکدیگر، یک مقدار کمّی بین صفر و یک تعیین و در محاسبه تابع استفاده شد (com). رابطه پیشنهادی پژوهش حاضر، برای محاسبه این مقدار، در رابطه (۱۱) برای زوج مرکز t و r با

[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29] [DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3] [Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]

com_{tr} نشـــان داده شـــده اســـت. m تعداد انواع مراکز، P تعداد مرکز نوع i و Q تعداد مرکز نوع j می‌باشد.

در رابطه(۱۱)، C_2 یک مقدار ثابت است و طوری تعیین گردیده که مقدار F_5 همواره مثبت باشـد. برای سهولت پیاده‌سازی و مقایسه پاسخ‌ها، این تابع نیز به‌صورت یک تابع کمینه‌سازی تعریف شده است. انواع توابع سازگاری و اولویت همجواری تعریف شـــده برای دوبه‌دوی مراکز جدید در جدول (۱) نشان داده شده که در این پژوهش، زوج پارک - دبســتان کاملاً سازگار و سایر زوج‌ها نسبتاً ناسازگار در نظر گرفته شده‌اند.

به‌عنوان نمونه، برای زوج مرکز دبستان –پارک (Sc-P)، یک تابع پیوســته بصـورت خطی چند تکه تعریف شده، در نتیجه در تمام فواصل می‌توان مقدار مربوط com در رابطه (۲) را به‌صورت کمی به‌دست آورد. (شکل(۳)).

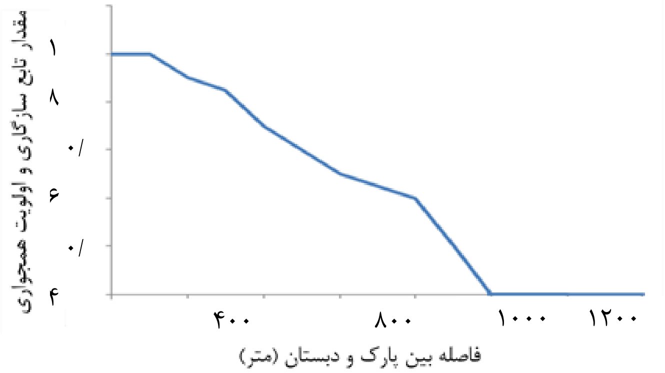
رابطه(۱۱)

$$i=1:m,\ j=i:m \quad Minimize\ F_5=C_2-\sum Cij$$

$$C_{ij}=\begin{cases}\sum_{t=1}^{P-1}\sum_{r=t+1}^{P}Com_{tr} & i=j\\ \sum_{t=1}^{P}\sum_{r=1}^{Q}Com_{tr} & i\neq j\end{cases}$$

جدول۱: حالات مورد بررسی زوج مراکز در تعیین سازگاری

	دبستان(Sc)	پارک(P)	درمانگاه(C)
دبستان(Sc)	Sc-Sc	Sc-P	Sc-C
پارک(P)	Sc-P	P-P	P-C
درمانگاه(C)	Sc-C	P-C	C-C



شکل ۳: مقدار تابع سازگاری و اولویت همجواری بین پارک و دبستان بر حسب فاصله

مجاورت دبســـتان‌ها و پارک‌ها وضـــعیت ایده‌آل برای اســـتقرار این دو نوع مرکز محســـوب می‌شـــود. با فرض اینکه تا فاصله معینی، این دو نوع مرکز اثر کامل برروی هم خواهند داشت، به تابع مورد نظر در این فاصله مقدار یک اختصاص داده شده است. با افزایش فاصله بین این دو نوع مرکز، مقـدار تـابع به‌تدریج کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن شـعاع اثر، زمانیکه فاصله بین دو مرکز مورد نظر از حـد معینی تجاوز می‌کند، اثرشـــان برهم خنثی می‌گردد و مقدار تابع صـفر می‌شـود. کاهش مقدار تابع مذکور در فواصـــل بالاتر به معنی کاهش ســـازگاری و وابســـتگی بین مراکز مورد نظر نیســـت، بلکه فقط اثر مثبـت مربوط بـه نزدیکی آنهـا کـاهش می‌یـابد. به این ترتیب پاســخ‌هایی که در آنها ســایت‌های انتخابی برای پارک و دبســـتان به‌هم نزدیکتر باشـــند، به‌ازای این تابع

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

هدف مقدار مناسبتری به‌دست می‌آورند.

۳-۳- تطبیق و پیاده‌سازی *MOAE/D* برای حل مسأله *MTFLA*

در این قسمت از مقاله نحوه پیاده‌سازی الگوریتم تکاملی مبتنی بر تجزیه برای حل مسأله *MTFLA* ارائه شده است. برای این منظور، کلیه مراحل الگوریتم، با توجه به شرایط خاص مسأله مورد نظر اجرا شده است. پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم در محیط متلب انجام شده و نتایج خروجی در محیط نرم‌افزار *ArcGIS* به صورت نقشه ارائه شده است.

۳-۳-۱- مقداردهی اولیه

- به تعداد اعضای جمعیت، بردارهای وزنی تولید شد و بر اساس فاصله اقلیدسی بین هر جفت از بردارهای وزنی، همسایه‌های هر بردار وزن به تعداد مشخص تعیین شدند.
- در این مرحله، جمعیت اولیه برای الگوریتم تکاملی تولید و مقدار تابع برای هر عضو محاسبه گردید. در این پژوهش، طول کروموزوم برابر تعداد کل مراکز در هر پاسخ در نظر گرفته شده، به این ترتیب هر کروموزوم متشکل از ده ژن می‌باشد که ژن‌های یک تا شش مکان استقرار دبستان‌ها، ژن‌های هفت و هشت مکان پارک‌ها و ژن‌های نه و ده مکان درمانگاه‌ها را مشخص می‌کنند. مقدار هر ژن یک عدد صحیح بین ۱ تا n (تعداد سایت‌های کاندید) انتخاب می‌شود.
- در این پژوهش برای تعیین نقطه آرمانی (ایده‌آل) در محاسبات، بهینه‌سازی برای هر هدف بطور مستقل و مجزا با استفاده از الگوریتم ژنتیک یک هدفه انجام شد. در نهایت، نقطه‌ای که کمترین مقدار را برای هر یک از اهداف داشت، بعنوان نقطه ایده‌آل معرفی شد. برای اجرای الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه، پس از بررسی حالات مختلف، تعداد جمعیت اولیه برابر ۵۰۰ و تعداد تکرار برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شد.
- مجموعه آرشیو پارتو در ابتدای الگوریتم تهی در نظر گرفته شد.

۳-۳-۲- به‌روزرسانی

- بازتولید جمعیت: برای تولید پاسخ‌های جدید، در هر زیرمسأله، دو اندیس k و l بصورت تصادفی از بین مجموعه همسایه‌ها انتخاب و پاسخ جدید y از دو پاسخ x_k و x_l با استفاده از عملگر تقاطع الگوریتم ژنتیک ایجاد شد. در این پژوهش فرض شده در هر سایت که در واقع یک قطعه ملکی می‌باشد، تنها یک مرکز می‌تواند مستقر شود. بنابراین برخلاف حالت معمول، مقادیر ژن‌ها در یک کروموزوم نمی‌توانند تکراری باشند. به همین دلیل عملگر تقاطع به‌گونه‌ای خاص در این مسأله به‌کارگرفته شد. در روش پیشنهادی ابتدا برای هر کروموزوم والد، یک بردار جابجایی ایجاد می‌شود. به این ترتیب که در هر والد اگر ژن مفروض، در والد بعدی وجود نداشته باشد، در بردار جابجایی آن والد قرار می‌گیرد. سپس تعدادی از ژن‌های موجود در بردارهای جابجایی بصورت تصادفی در کروموزوم‌های والد جابه‌جا می‌شوند. در نهایت دو فرزند باهم مقایسه و فرزند بهتر به‌عنوان y در نظر گرفته می‌شود.
- با توجه به روش به‌کار رفته برای تعیین مقدار آرمانی در پژوهش حاضر، احتمال بهبود آن در طول فرایند بسیار کم است با اینحال در صورتیکه پاسخ y به‌ازای هر یک از اهداف، مقدار بهتری از مقدار آرمانی داشته باشد، $f_j(y)$ جایگزین z^*_j می‌شود.
- برای به‌روزرسانی جمعیت خارجی، چنانکه پیشتر اشاره شد، تمام بردارهایی که توسط $f(y)$ مغلوب شده‌اند، از مجموعه حذف می‌گردند و اگر $f(y)$توسط هیچ یک از اعضای مجموعه مغلوب نشود، به این مجموعه اضافه می‌گردد.

۳-۳-۳- بررسی شرط خاتمه

در این مرحله شرط خاتمه الگوریتم بررسی می‌شود. در صورتیکه این شرط محقق شده باشد، پاسخ‌های

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

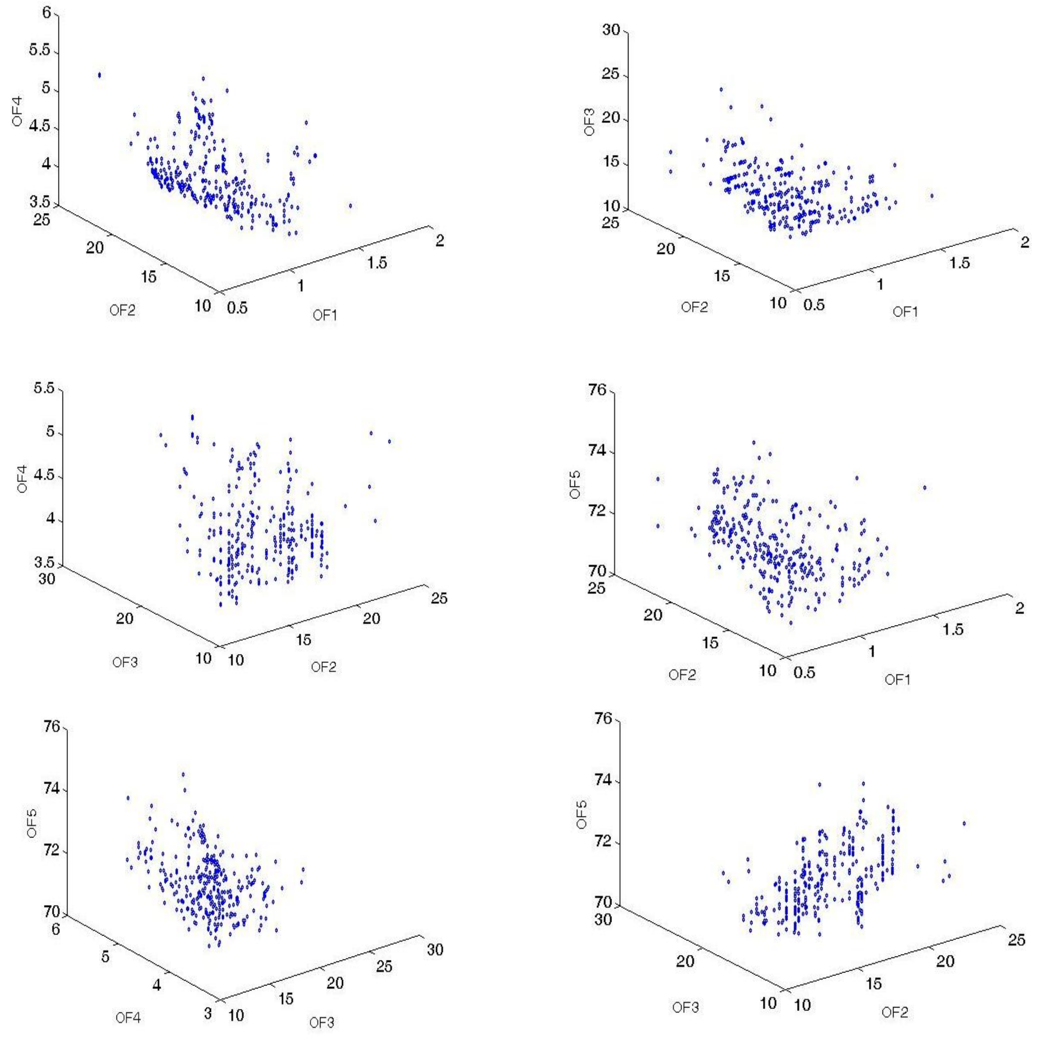
جمعیت خارجی به‌عنوان پاسخ‌های نهایی معرفی می‌گردند و در غیر اینصورت مجدداً به مرحله به‌روزرسانی بر می‌گردد و آن مراحل تکرار می‌شوند.

۴- نتایج

در این قسمت، ابتدا نتایج اجرای روش *MOEA/D* برای حل مسأله *MTFLA* ارائه شده و سپس نتایج حاصل بررسی گردیده و با نتایج روش *NSGA_II* مورد مقایسه قرار گرفته است.

۴-۱- نتایج اجرای روش *MOEA/D* برای مسأله *MTFLA*

در این بخش نتایج اجرای روش *MOEA/D* برای بهینه‌سازی پنج تابع هدف ارائه شده است. برای تعیین پارامترهای جمعیت اولیه و تعداد تکرار، الگوریتم بارها اجرا شد. برای این منظور، برای جمعیت اولیه، مقادیر ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ و برای تعداد نسل‌ها، مقادیر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ مورد آزمایش قرار گرفتند. در نهایت، با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای هر یک از توابع هدف با الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه و ثابت باقی ماندن آن‌ها با ادامه نسل‌ها، تعداد نسل‌ها و جمعیت اولیه برای الگوریتم به‌ترتیب، برابر ۲۰۰ و ۵۰۰ انتخاب گردیدند. پاسخ‌های بهینه پارتو به‌دست با مقادیر مذکور، به‌عنوان پاسخ‌های نهایی در نظر گرفته شدند. مقادیر توابع هدف در نسل ۲۰۰ در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: پاسخ های بهینه پارتو با جمعیت اولیه ۵۰۰ در نسل ۲۰۰ با روش *MOEA/D*

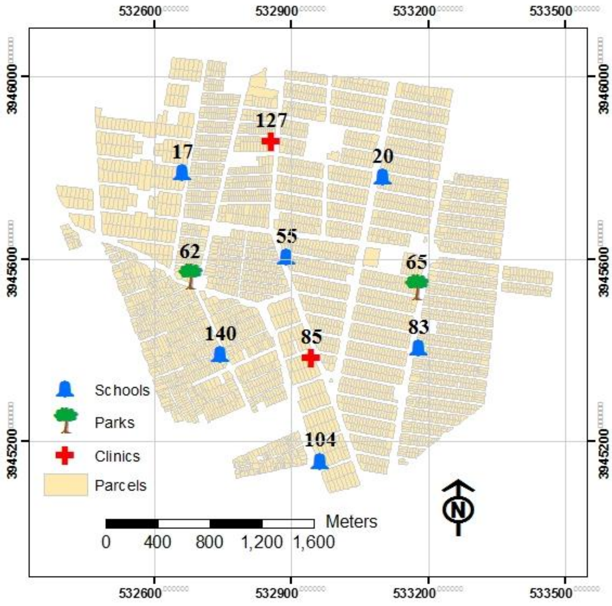
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]

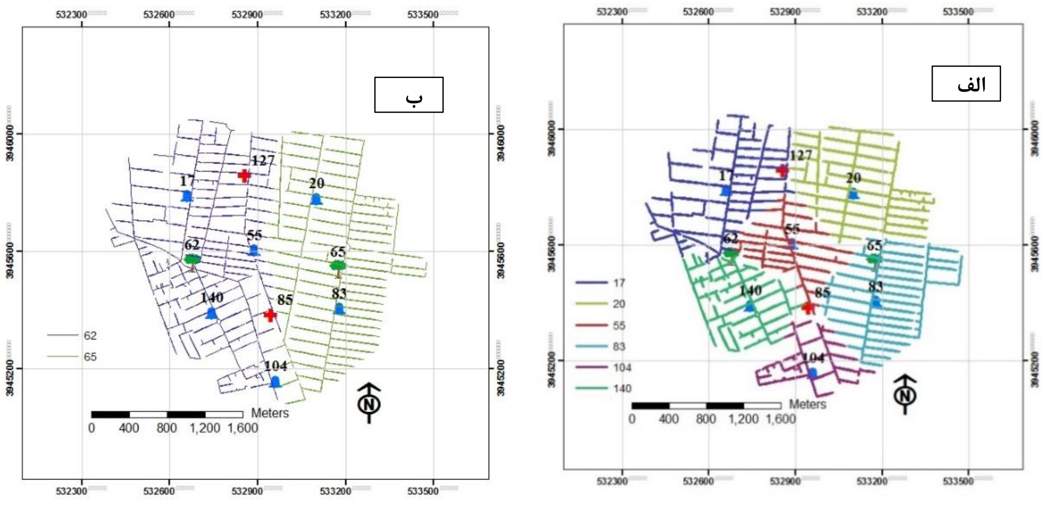
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

نحوه توزیع ســایت‌های انتخابی برای مراکز مختلف در یکی از پاسـخ‌ها، به‌عنوان نمونه، در شکل(۵) نشان داده شـده اسـت. چنانکه در شکل نیز مشاهده می‌شود هیچ دو مراکز همســانی در مجـاورت یکدیگر قرار نگرفته و توزیع مراکز همسان در سطح منطقه به‌گونه‌ای بوده که مجموع وزن‌دار فوصـل شـبکه‌ای سـفر از محل سکونت متقاضــیان خدمات تا نزدیکترین مرکز خدماتی کمینه شـود. از طرفی، مکان هیچ یک از درمانگاه‌ها در نزدیکی دبستان‌ها قرار نگرفته است.

پس از تعیین مکان هر مرکز، تخصــیص متقاضــیان به آنها نیز مشـخص می‌گردد. نحوه تخصیص به دبستان‌ها و پـارک‌هـا در پـاســخ نمونه مربوط به شــکل(۵)، در شکل(۶) نشان داده شده است.



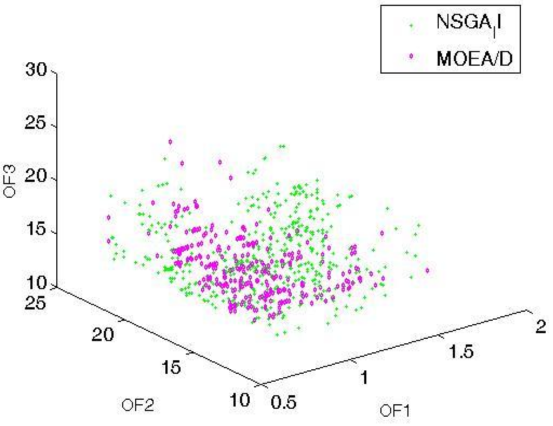
شکل ۵: توزیع سایت‌های انتخابی برای مراکز مختلف در یک پاسخ نمونه پارتو



شکل۶: تخصیص متقاضیان به الف)دبستان‌ها، ب) پارک‌ها

۴-۲- بررســی نتایج و مقایسه آنها با نتایج روش *NSGA_II*

در این قســمت به بررسـی نتایج و ارزیابی آنها بر اساس سـنجه‌های مختلف ارزیابی کیفیت مجموعه بهینه پارتو پرداخته شــده اسـت. همچنین نتایج به‌دسـت آمده با نتایج حاصــل از روش پرکاربرد *NSGA_II* با شــرایط مشــابـه مورد مقایســه قرار گرفته‌اند. به عنوان نمونه، موقعیت پاسـخ‌های حاصل از دو روش، در فضای هدف، برای سـه تابع هدف اول، دوم و سوم در شکل(۷) نشان داده است.



شکل ۷: پاسخ های پارتو در دو روش *NSGA_II* و *MOEA/D*

۴-۲-۱- ارزیابی بر اساس فاصله از نقطه ایده‌آل

برای ارزیابی پاسخ‌های بهینه حاصل از اجرای الگوریتم، فــاصـــلــه هر یـک از نقـاط پارتو از نقطه آرمانی، طبق رابطه(۱۲) محاسـبه گردید که در آن، n تعداد جواب‌ها در مجموعه بهینـه پـارتو و c_i (رابطـه (۱۳)) فـاصـلـه اقلیدسی هر عضو از مجموعه پارتو از نقطه آرمانی است.

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{n} c_i}{n} \qquad \text{(۱۲)رابطه}$$

$$c_i = \sqrt{\sum_{m=1}^{M} (f_{mi} - f_m^*)^2} \qquad \text{(۱۳)رابطه}$$

در رابطـه (۱۳) منظور از f_{mi} مقدار m امین تابع هدف در جواب i ام می باشـد. برای مجموعه های بهینه پارتو مورد مقایســه، هرچه مقدار این معیار کوچکتر باشــد، مطلوبیت آن مجموعه بیشتر خواهد بود. این مقدار برای روش *MOEA/D* برابر ۰٫۱۶ به‌دست آمده که در مقایسه با مقدار ۰٫۲۶در روش *NSGA_II* نتیجه بهتری را نشان می‌دهد.

۴-۲-۲- ارزیابی بر اساس معیار پوشش مجموعه

معیار پوشـش مجموعه *C(A,B)*، نسـبت جواب هایی از مجموعه B که بصـورت ضـعیف توسـط جواب هایی از مجموعـه A مغلوب می‌شــونـد را محـاســبـه می‌نماید (رابطه(۱۴))[۴۱].

$$C(A, B) = \frac{|\{b \in B | \exists\, a \in A:\ a \leq b\}|}{|B|} \qquad \text{(۱۴)رابطه}$$

بر اســاس این معیار ۱۱٫۲ درصــد از پاســخ‌های روش *NSGA_II* توســط پاســخ‌های روش*MOEA/D* مغلوب شــده‌انـد. در حـالیـکـه هیچ یـک از پـاســخ‌هـای روش *MOEA/D* توســط پاســخ‌های روش *NSGA_II* مغلوب نشده‌اند.

۴-۲-۳- ارزیـابی بر اســاس معیــار بیشــترین گسترش

برای ارزیابی نتایج با این معیار، طول قطر مکعب فضایی که توسـط مقادیر انتهایی مجموعه جواب‌های نامغلوب در فضای هدف ساخته می‌شود، طبق رابطه (۱۵) اندازه گیری شـد. هرچه این معیار بزرگتر باشـد، نشـان‌دهنده گسترش بیشتر جواب‌های آرشیو پارتو است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

رابطه(۱۵)

$$D=\sqrt{\sum_{m=1}^{M}(max_{i=1:|Q|}f_m^i - min_{i=1:|Q|}f_m^i)^2}$$

در رابطه (۱۵)، $|Q|$ معرف اندازه آرشیو پارتو می‌باشد[۴۲]. طبق این معیار، بیشترین گسترش برای دو روش *MOEA/D* و *NSGA_II* به ترتیب ۱۰٫۶ و ۲۱٫۴ به دست آمد که نشان می‌دهد روش *NSGA_II* گسترش بیشتری داشته است.

۴-۲-۴- ارزیابی بر اساس معیار فاصله‌گذاری

این معیار که از جمله معیارهای اندازه گیری چگالی است، فاصله نسبی جواب های متوالی را محاسبه می کند (رابطه(۱۶)):

رابطه(۱۶)

$$S=\sqrt{\frac{1}{|Q|}\sum_{i=1}^{|Q|}\left(d_i - \bar{d}\right)^2}$$

در رابطه (۱۶) مقادیر d_i و $\bar{d}$ را می توان از روابط (۱۷) و (۱۸) بدست آورد:

رابطه(۱۷)

$$d_i = min_{k\in Q \,\&\, k\neq i} \sum_{m=1}^{M}\left|f_m^i - f_m^k\right|$$

رابطه(۱۸)

$$\bar{d}=\sum_{i=1}^{|Q|}\frac{d_i}{|Q|}$$

در واقع معیار فاصله گذاری، انحراف معیار مقادیر مختلف d_i را اندازه گیری می‌کند. زمانی که جواب ها بطور یکنواخت در کنار هم قرار گرفته باشند، آنگاه مقدار فاصله گذاری نیز کوچک خواهد بود[۴۳]. الگوریتمی که جواب‌های غیر مغلوب نهایی آن دارای مقدار فاصله‌گذاری کوچکی باشد، مطلوبتر خواهد بود. بر اساس این معیار برای دو روش *MOEA/D* و *NSGA_II* ، مقادیر نزدیک به هم و حدود ۰٫۵ به‌دست آمد.

نتیجه مقایسه پاسخ‌های حاصل از دو روش با سنجه‌های مختلف ارزیابی کیفیت مجموعه بهینه پارتو در جدول (۲) بطور خلاصه ارائه شده است.

شایان ذکر است زمان اجرای الگوریتم دو *MOEA/D* و *NSGA_II* برای حل مسأله مورد بررسی در شرایط مشابه و سیستم یکسان بسیار متفاوت بوده؛ به نحوی که زمان صرف شده در روش *NSGA_II* حدود چهار برابر روش *MOEA/D* می‌باشد.

جدول۲: مقایسه نتایج دو روش *MOEA/D* و *NSGA_II*

شاخص	*MOEA/D*	*NSGA_II*
فاصله از نقطه ایده‌آل	۰٫۱۶	۰٫۲۶
پوشش مجموعه	۰	۱۱٫۲
بیشترین گسترش	۱۰٫۶	۲۱٫۴
فاصله‌گذاری	۰٫۵	۰٫۵

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش روشی برای مکانیابی و تخصیص همزمان مراکز مختلف خدماتی در یک چارچوب واحد ارائه شد. برای این منظور الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی برتجزیه (*MOEA/D*) جهت بهینه‌سازی اهداف و معیارهای مربوط مورد استفاده قرار گرفت. توابع هدف به‌منظور کمینه‌سازی هزینه سفر، بیشینه‌سازی مطلوبیت و تناسب سایت‌های انتخابی و بیشینه‌سازی سازگاری بین مراکز جدید تعریف شدند. از قابلیت‌های سیستم اطلاعات مکانی برای تولید داده‌های ورودی الگوریتم تکاملی چندهدفه و همچنین نمایش خروجی به‌صورت نقشه در حالات مختلف استفاده شد. تعیین میزان مطلوبیت و تناسب سایت‌ها برای انواع مراکز با توجه به معیارهای مختلف به کمک این سیستم صورت

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

گرفت. همچنین از آنالیز شبکه در *GIS* برای تعیین فواصل بین نقاط تقاضا و مراکز خدماتی استفاده گردید. با به‌کارگیری روش پیشنهادی، پاسخ‌های بهینه متعدد جهت چیدمان انواع مراکز جدید اعم از همسان و غیرهمسان در یک منطقه به‌دست آمدند که طبق نظر کارشناسان و تصمیم‌گیران می‌توان پاسخ مناسب را از میان آنها برای پیاده‌سازی انتخاب کرد. بهینه بودن پاسخ‌های حاصل از مدل‌سازی، انتخاب پاسخ نهایی و تصمیم‌گیری صحیح را تسهیل می‌نماید. لازم به ذکر است این امکان وجود دارد که برخی از پاسخ‌های متفاوت در فضای نقشه، از نظر توابع هدف، مقادیر مشابهی داشته باشند و به همین دلیل در فضای هدف، در نزدیکی یکدیگر واقع شوند. لکن در پژوهش حاضر، چنین موردی مشاهده نگردید.

مقایسه نتایج دو روش *MOEA/D* و *NSGA_II* بر اساس سنجه‌های مختلف ارزیابی کیفیت مجموعه بهینه پارتو نشان داد که روش *MOEA/D* در یافتن پاسخ‌های بهینه عملکرد مناسبی داشته است؛ بطوریکه بر اساس معیار پوشش مجموعه، هیچ یک از پاسخ‌های این روش توسط پاسخ‌های روش *NSGA_II* مغلوب نشده‌اند؛ در حالیکه برعکس آن صادق نبوده است. علت این امر می‌تواند استفاده از جمعیت خارجی در روش *MOEA/D* باشد که منجر به حذف پاسخ‌های مغلوب می‌گردد. همچنین براساس معیار نزدیکی پاسخ‌ها به نقطه ایده‌آل نیز روش *MOEA/D* با مقدار ۰/۱۶ نتایج بهتری داشته است. استفاده از نقطه مرجع در روند بهینه‌سازی روش *MOEA/D*، ممکن است به برتری این روش بر اساس معیار نزدیکی به نقطه ایده‌آل کمک کرده باشد. نتایج دو روش بر اساس معیار فاصله‌گذاری مشابه بوده ولی در روش *NSGA_II* گسترش پاسخ‌ها برابر ۲۱/۴ و بیشتر از روش *MOEA/D* بوده است. دلیل گسترش کمتر پاسخ‌ها در روش *MOEA/D* ممکن است به‌دلیل وابستگی کیفیت پاسخ‌های جدید به وزن‌ها در تولید همسایه‌ها باشد. هرچند ماهیت تصادفی و احتمالی هر دو روش نیز بر روی تفاوت نتایج تأثیرگذار است.

نکته قابل توجه در خصوص زمان صرف شده جهت دستیابی به پاسخ‌های بهینه پارتو این است که زمان لازم برای اجرای روش *MOEA/D* در مسأله پیش‌رو، حدود ۰/۲۵ روش *NSGA_II* بوده است.

با توجه به اینکه برخی از مکان‌ها به دلیل وجود دسترسی و شرایط فیزیکی مناسب، برای استقرار کلیه مراکز خدماتی در مقایسه با سایر سایت‌ها در اولویت قرار می‌گیرند و در انتخاب آنها بین مراکز مختلف رقابت به وجود می‌آید، مکانیابی همزمان مراکز مختلف در یک چارچوب واحد می‌تواند زمینه استفاده مطلوب از زمین را که در راستای تأمین اهداف توسعه پایدار قراردارد، فراهم آورد. در پژوهش حاضر، مسأله تعیین مکان مناسب برای استقرار انواع مراکز خدمات اجتماعی، با دیدی کلی‌تر و در راستای تأمین اهداف توسعه پایدار مورد بررسی قرار گرفته که در ادامه کار می‌توان این روش را برای مکانیابی و تخصیص انواع بیشتری از مراکز خدماتی به‌کار برد. مقایسه دو روش *MOEA/D* و *NSGA_II* با سنجه‌های مختلف نشان داد که در حل مسأله مورد بررسی، هیچ یک از روش‌ها بر دیگری برتری ندارد. لذا در ادامه می‌توان یک چارچوب ترکیبی را ایجاد نمود و در هر نسل، جمعیتی متشکل از پاسخ‌های بهینه پارتو حاصل از هر دو روش را مورد استفاده قرار داد و از مزایای هر دو بهره برد.

مراجع

[1] M. R. Pour-Mohammadi, “Urban Land-use Planning” (In Persian), 9 ed.: samt, 2013.

[2] R. L. Church, “Geographical information systems and location science”, Computers and Operations Research, Vol. 29 (6), pp. 541–562, 2002.

[3] J. Malczewski, “GIS-based land-use suitability analysis: a critical Overview”, Progress in Planning, Vol.62, pp. 3–65, 2004.

[4] R. Z. Farahani and M. Hekmatfar, “Facility Location: Concepts, Models,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]

[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

Algorithms and Case Studies VIII", Hardcover ISBN: 978-3-7908-2150-5, 2009.

[5] *O. Kariv and S. L. Hakimi, "An algorithmic Approach to network location problems, Part II: The p-median", Journal of Applied, Mathematics, Vol. 37, pp. 539–560, 1979.*

[6] *X. Li, N. Xiao, C. Claramunt, and H. Lin, "Initialization strategies to enhancing the performance of genetic algorithms for the p-median problem", Computers & Industrial Engineering, Vol. 61, pp. 1024-1034, 2011.*

[7] *B. Jayalakshmi and A. Singh, "A hybrid artificial bee colony algorithm for the p-median problem with positive/negative weights", OPSEARCH, Vol. 54, pp. 67-93, 2017.*

[8] *S. Bolouri, A. Vafeainejad, A. Alesheikh, and H. Aghamohammadi, "Environmental sustainable development optimizing the location of urban facilities using vector assignment ordered median problem-integrated GIS", International Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 17, pp. 3033-3054, 2020.*

[9] *T. Jia, H. Tao, K. Qin, Y. Wang, C. Liu, and Q. Gao, "Selecting the optimal healthcare centers with a modified P-median model: a visual analytic perspective", International Journal of Health Geographics, Vol. 13, p. 42, 2014.*

[10] *J. Shi, X. Zheng, B. Jiao, and R. Wang, "Multi-Scenario Cooperative Evolutionary Algorithm for the β-Robust p-Median Problem with Demand Uncertainty", Applied Sciences, Vol. 9, p. 4174, 2019.*

[11] *M. Herda, "Parallel genetic algorithm for capacitated p-median problem", Procedia engineering, 192, pp. 313-317, 2017.*

[12] *X. Li, N. Xiao, C. Claramunt, and, H. Lin, "Initialization strategies to enhancing the performance of genetic algorithms for the p-median problem", Computers & Industrial Engineering, Vol. 61(4), pp.1024-1034, 2011.*

[13] *C. Cintrano, F. Chicano, and E. Alba, "Using metaheuristics for the location of bicycle stations", Expert Systems with Applications, Vol. 161, p. 113684, 2020.*

[14] *T. Jia, H. Tao, K. Qin, Y. Wang, C. Liu, and Q. Gao, "Selecting the optimal healthcare centers with a modified P-median model: a visual analytic perspective", International journal of health geographics, Vol. 13(1), pp.1-15, 2014.*

[15] *O. M. Araz, J.W. Fowler, and A. R. Nafarrate, "Optimizing service times for a public health emergency using a genetic algorithm: Locating dispensing sites and allocating medical staff", IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering, Vol.4 (4), pp. 178-190, 2014.*

[16] *J. G. Villegas, F. Palacios, and A. L. Medaglia, "Solution methods for the bi-objective (cost-coverage) unconstrained facility location problem with an illustrative example", Annals of Operations Research, Vol. 147, pp. 109-141, 2006.*

[17] *J. Shi, W. Chen, Z. Zhou, and G. Zhang, "A bi-objective multi-period facility location problem for household e-waste collection", International Journal of Production Research, Vol. 58, pp. 526-545, 2020.*

[18] *C. M. Xavier, M. G. Fernandes Costa and C. F. F. C. Filho, "Combining Facility-Location Approaches for Public Schools Expansion", in IEEE Access, Vol. 8, pp. 24229-24241, 2020.*

[19] *R. Z. Farahani, M. SteadieSeifi, and N.*

Asgari, "Multiple criteria facility location problems: A survey", Applied Mathematical Modelling, Vol. 34, pp. 1689-1709, 2010.

[21] J. L. Redondo, J. Fernández, I. García, and P. M. Ortigosa, "Sensitivity analysis of a continuous multifacility competitive location and design problem", TOP, Vol. 17, p. 347, 2008.

[22] Y. Ren, "Meta heuristics for multi objective capacitated location allocation on logistics networks", MSc. thesis, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, 2011.

[23] A. Marín, "The discrete facility location problem with balanced allocation of customers", European Journal of Operational Research, Vol. 210, pp. 27-38, 2011.

[24] P. Mirchandani and R. Francis, "Discrete Location Theory", Wiley-Intersience, 1990.

[25] C. S. ReVelle, H. A. Eiselt, and M. S. Daskin, "A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science", European Journal of Operational Research, Vol. 184, pp. 817-848, 2008.

[26] F. P. Preparata and M. Shamos, "Computational Geometry - An Introduction", Springer-Verlag,1989.

[27] D. S. Hochbaum, "Approximating covering and packing problems: set cover, vertex cover, independent set, and related problems", in Approximation algorithms for NP-hard problems, ed: PWS Publishing Co., pp. 94–143, 1996.

[28] V. Vazirani, "Approximation Algorithms". Springer-Verlag, 2001.

[29] C. S. ReVelle and R. W. Swain, "Central Facilities Location", Geographical Analysis, Vol. 2, pp. 30-42, 1970.

[30] A. Konak, D. W. Coit, and A. E. Smith, "Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial", Reliability Engineering & System Safety, Vol. 91, pp. 992-1007,2006.

[31] M. J. Asgarpour, "Multiple- criteria decision making", 17 ed.: University of Tehran Press (In Persian), 2019.

[32] Q. Zhang and H. Li, "MOEA/D: A Multi-objective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition", in IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 11(6), pp. 712-731, 2007.

[33] B. Khakpour, Z. Khodabakhshi, and M. Ebrahimi Ghouzlu, "Site Selection for Medical Centers, Using GIS and Analytical Hierarchy Process (AHP) in District Two of Neyshabour City", Journal of Geography And Regional Development, Vol.10 (19), pp. 1-20, 2013.

[34] R. Gholamhosseini, M. ahadnejad, and A. zolfi, "The Evaluation of Spatial distribution and allocation of urban medical centers using Network Analyst Model (A case study Zanjan city) ", Vol. 13, pp. 167-180, 2014.

[35] P. Soleimani Moghadam, S. Amanpour, and F. Ghafarzadeh, "The analysis of the spatial distribution of urban land uses in District 3 in Ahwaz with an emphasis on educational uses", Journal of Urban Ecology Researches, Vol. 6(11), pp. 41-58, 2015.

[36] S. Beheshtifar, and A. Alimohammadi, "Survey of Using Multi-Criteria Decision-making Methods and Multi-Objective Optimization for Site Selection of Schools, Case Study: Region 17 of Tehran", Geography and Planning, Vol. 19, pp. 49-68, 2015.

[37] R. Farhady Googueh, and A. Parhizkar, "Primary Schools' Spatial Distribution and Locating Them in the Region 6 of Tehran, Using GIS", The

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

Journal of Spatial Planning, Vol. 6(2), pp. 97-117, 2002.

[38] *M. Ahmadian, J. Mohammadi, and A. Zarrabi, "Assessment the spatial priority of green spaces growth and urban parks using AHP (Case Study: Miandoab city)", Quarterly Journal of Human Geography, Vol. 4(2), pp. 41-62, 2012.*

[39] *T. Parizadi, H. Shaikhi, and M. Ebrahimpoor, "Determine the appropriate location of parks and urban green space by using (GIS) (Case study: 9 district of Mashhad)", Spatial Planning, Vol. 2, pp. 111-134, 2013.*

[40] *M. Taleai ,"Design and development of a GIS-Based Planning Support System for Urban Land Use Externalities Evaluation", PhD Thesis in Geomatics Engineering, K. N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran, 2007.*

[41] *E. Zitzler, K. Deb, and L. Thiele, "Comparison of multi-objective evolutionary algorithms: Empirical results", Evolutionary Computation, Vol. 8(2), pp. 173–195, 2000.*

[42] *K. Deb, "Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithm", New York,John Wiley and Sons, 2001.*

[43] *J. Schott, "Fault Tolerant Design Using single and Multi-Criteria Genetic Algorithm Optimization", Master thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1995.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.9 No.2, Summer 2021

Research Paper

Simultaneous Location-Allocation of multiple Facilities using Multi-objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition

Sara Beheshtifar[1]*

1- Assistant Professor, Surveying and Geomatics Eng. Department, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-12]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.4.3]

[DOI: 10.52547/jgit.9.2.29]

Abstract

Choosing the proper location for service centers can play an important role in reducing travel costs for users, desirable use of the land, and regulation of interactions among different facilities. When Location-Allocation (L.A.) problem of any new service centers is solved for multiple facilities independently, only the effects of existing land uses are taken into consideration , while the establishment of one facility, due to its impact on the surrounding space, may cause limitations for the establishment of other required facilities. By locating all the required centers simultaneously, better results can be obtained for the arrangement of the centers in an area. The main objective of this study is to solve the L.A. problem for several service centers with similar or dissimilar services in GIS environment simultaneously. For this purpose, the Multi-Objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition (MOEA/D) algorithm has been used to optimize the three objective functions including minimizing travel costs, maximizing the suitability of selected sites, and maximizing the compatibility among the new service centers. The results showed that by using this method, acceptable solutions for the arrangement of different service centers in the study area have been obtained according to the defined objectives. The comparison of the results with Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA_II), as one of the most common optimization algorithms, based on various criteria, showed that MOEA/D method has performed well in finding optimized answers so that none of the solutions of this method were dominated by the solutions of the NSGA_II, while the reverse was not true. Besides, from the point of view of the closeness of the answers to the ideal point, MOEA/D has generated better solutions (0.16) and the covered time has been 25% of NSGA_ II method.

Key words: *Location-Allocation, GIS, Multi-objective optimization, MOEA/D, P-median model.*

Correspondence Address: *Tabriz University, Tabriz, Iran.*
Tel : *+98 9901300410*
Email : *sara_beheshtifar@yahoo.com,*