سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال سوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۰
Vol.3, No.3, Autumn 2011

۷۷-۹۲

# طبقه‌بندی و ارائه راه‌حلی هوشمند برای مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع مرتبط با اشیای متحرک

نازیلا محمدی*[۱]، محمدرضا ملک[۲]، علی‌اصغر آل‌شیخ[۳]

۱. دانشجوی دکتری GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استادیار گروه GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. دانشیار گروه GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۹/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۲/۴

## چکیده

اهمیت مکان‌یابی و تخصیص صحیح منابع در صرفه‌جویی هزینه و بهبود کارایی در ارائه خدمات، موضوعی است که مقالات و تحقیقات فراوانی در خصوص آن انجام شده است. دسته‌بندی‌های مختلفی نیز برای این مسائل پذیرفته است. هر یک از دسته‌بندی‌های موجود، این مسائل را از دیدگاه خاصی مورد بررسی قرار می‌دهند. در چارچوب تحقیق حاضر، مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع مرتبط با اشیای متحرک به عنوان دسته‌ای از مسئله‌های مکان‌یابی و تخصیص منابع، مطرح و به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی شده‌اند. در مقاله حاضر دستهٔ پرکاربردی از مسائل مذکور به‌صورت مسئله بهینه‌سازی ریاضی فرمول‌بندی شده و روش حلی بر اساس الگوریتم ژنتیک برای حل همزمان تخصیص منابع و تعیین ترتیب ارائه خدمات مطرح شده است. به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، مسئله نمونه‌ای مرتبط با اشیای متحرک طرح و با دو روش رایج و پیشنهادی حل شده و در نهایت نتایج به صورت عددی مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل از پیاده‌سازی، نشانگر کارایی روش حل پیشنهادی است.

**کلیدواژه‌ها**: اشیای متحرک، بهینه‌سازی، تخصیص منابع، الگوریتم ژنتیک.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تلفن: ۸۸۷۸۶۲۱۲-۰۲۱
Email: nazila.mohamadi@gmail.com

**۱- مقدمه**

با توجه به اهمیت مکان‌یابی و تخصیص صحیح منابع در صرفه‌جویی هزینه و بهبود کارایی در ارائه خدمات، تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است. مطالعه مکان‌یابی به‌صورت رسمی از سال ۱۹۰۹ با مطالعه Weber بر روی چگونگی تعیین مکان یک منبع برای کمینه‌سازی فاصله بین آن و تعدادی متقاضی، شروع شد (Weber, 1929). حکیمی در سال ۱۹۶۴ مطالعات مذکور را به‌صورت گسترده‌تر با تلاش برای مکان‌یابی مراکز راه‌گزینی در شبکه ارتباطی و ایستگاه‌های پلیس در جاده‌ها ادامه داد (Hakimi, 1964).

در مسئله‌های ساده مکان‌یابی و تخصیص منابع، تعیین مکان مراکز خدماتی از برآورد شرط بهینگی همانند کمینه‌سازی مجموع فواصل آن مکان از مجموعه‌ای از نقاط ـ که با نام نقاط تقاضا شناخته شده است ـ به‌دست می‌آید. در مقابل، مسائل پیچیده‌تری در این زمینه وجود دارند، که به تعیین مکان چندین مرکز خدماتی با توجه به قیود مختلف مسئله و نیز شروط بهینه‌سازی پیچیده‌تر می‌پردازند (Schilling, 1980). گن و چنگ، مسائل مختلف مکان‌یابی و تخصیص منابع را از منظر کاربرد آنها با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار داده‌اند. (Gen and Cheng, 2000).

با توجه به تنوع و گستردگی مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع[1] (LA)، طبقه‌بندی‌های مختلفی بر اساس ویژگی‌های این مسائل صورت پذیرفته است. از بین طبقه‌بندی‌های مذکور می‌توان به تقسیم این مسائل از نظر فضای مورد بررسی مسئله اشاره کرد. هر مسئله مکان‌یابی از این منظر می‌تواند در یکی از سه دسته مسائل مطرح‌شده در فضای پیوسته[2]، گسسته[3] و یا شبکه[4] جای گیرد؛ و متناسب با فضای بررسی مسئله، مدل‌های متفاوتی برای هر یک قابل استفاده است (Daskin, 1995). تقسیم‌بندی دیگر مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع می‌تواند برمبنای تعداد شروط و قیود مسئله، به‌صورت مسائل چندقیدی و ساده باشد (Drezner and Hamacher, 2002).

اصلی‌ترین و رایج‌ترین طبقه‌بندی در حیطه مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع، مربوط به طبقه‌بندی بر اساس نوع تابع هدف مسئله است، که صرف‌نظر از جزئیات مسئله و تنها با در نظر گرفتن هدف کلی مکان‌یابی صورت می‌پذیرد. بر این مسائل مکان‌یابی در سه دسته کلی مسئله میانه، مسئله پوششی و مسئله مرکز، تقسیم و فرمول‌بندی می‌شوند (Tansel et al., 1983). این تقسیم‌بندی به‌عنوان تقسیم‌بندی پایه مسائل مکان‌یابی برمبنای هدف کلی مسئله شناخته می‌شود. همچنین می‌توان مسائل مکان‌یابی را بر اساس تعداد مراکز خدماتی مورد نیاز به منظور احداث، تقسیم‌بندی کرد؛ که در این صورت مسئله مکان‌یابی به یک‌مرکزی[5] و چندمرکزی[6] تقسیم می‌شود (Love et al., 1988).

علاوه بر طبقه‌بندی‌ها و انواع مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع ذکرشده، در مقاله حاضر نوع دیگری از مسائل مرتبط با این موضوع با در نظر گرفتن امکان تغییر مکان مراکز خدماتی و نقاط تقاضا مطرح می‌شود. این مسئله با وجود شباهت‌های بسیار با مسائل LA، دارای ویژگی‌های منحصر به‌فردی نیز هست. اصلی‌ترین وجه تمایز این مسئله، تغییر مکان مراکز خدماتی، نقاط تقاضا و یا هر دوی آنها در طول ارائه خدمات است. به این ترتیب مسئله‌ای مطرح می‌گردد که از لحاظ مکانی ماهیت ایستا ندارد. تمایز دیگر این مسئله با مسئله‌های معمول LA، در نحوه تخصیص منابع است. از آنجا که تغییر مکان در مسئله مورد نظر مطرح است، بنابراین باید در هنگام تخصیص منابع علاوه بر تعیین ارجاع نقاط تقاضا به مراکز خدماتی، ترتیب تخصیص نیز تعیین شود؛ در حالی که برای تخصیص منابع در

1. Location/Allocation
2. Continuous
3. Discrete
4. Network
5. Single Source
6. Multi Source

مسئله‌های معمول LA معمولاً چنین قیدی مطرح نیست. خدمات‌دهی برای اشیای متحرک بخشی از مسائل غیرایستاست و با توجه به دیگر شرایط تعریف‌شده برای مسئله، می‌تواند در هر یک از انواع طبقه‌بندی‌های ذکرشده برای مسائل LA قرار گیرد.

ویژگی اخیر باعث شده است که قسمتی از حل مسئله مذکور، به نوعی منجر به حل مسئله فروشنده دوره‌گرد شود. مسئله فروشنده دوره‌گرد در زمره مسئله‌های NP سخت طبقه‌بندی شده است (Tasgetiren et al., 2010) و با افزایش تعداد متقاضیان، زمان حل آن به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد، مقالات متعدد و روش‌های مختلفی ارائه شده است. اونکان و همکارانش، ۲۴ نوع فرمول‌بندی مختلف را از مسئله فروشنده دوره‌گرد بررسی کرده و روابط بین فرمول‌بندی‌های مختلف را نشان داده‌اند (Oncan et al., 2009). در میان روش‌های مختلف ارائه‌شده برای حل مسئله، الگوریتم ژنتیک نیز به عنوان روشی هوشمند و کارا در این زمینه به چشم می‌خورد. برای نمونه می‌توان به چوئی و همکاران اشاره کرد (2003). چائو و همکارانش، نیز از الگوریتم ژنتیک دو مرحله‌ای برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده کرده‌اند (Chao et al., 2007).

مسئله مکان‌یابی و تخصیص منابع برای اشیای متحرک در زمرهٔ مسائل مکان‌یابی و به‌ویژه تخصیص منابع به شمار می‌آید. که به دلیل پیچیدگی مدل‌های ریاضی و روش حل، کمتر به آن پرداخته شده است. در پژوهش حاضر، این دسته از مسائل LA بررسی و فرمول‌بندی شده و روشی هوشمند برای حل آن پیشنهاد گردیده است. به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، مسئله نمونه‌ای طرح و با روش مذکور مدل‌سازی و حل شده است.

## ۲- مسئله‌های مکان‌یابی و تخصیص منابع برای اشیای متحرک

در این بخش ابتدا دسته‌ای از مسئله‌های مرتبط با مکان‌یابی و تخصیص منابع که در آن نقاط تقاضا، مراکز خدماتی و یا هر دو متحرک‌اند، با عنوان مسئله‌های مکان‌یابی و تخصیص منابع برای اشیای متحرک تعریف و سه حالت متمایز برای این مسئله‌ها دسته‌بندی شده؛ سپس مسئله ایجاد بهترین مسیر همیلتونی به‌عنوان بخشی از فرایند حل مسائل مذکور بررسی و فرمول‌بندی شده است.

### ۲-۱- بررسی و دسته‌بندی مسئله‌های مرتبط با اشیای متحرک

برای مسئله نوع اول اشیای متحرک، که حالت کلی دو مسئله بعدی است، هم مراکز خدماتی و هم نقاط تقاضای متحرک در نظر گرفته می‌شوند. در این حالت بایستی تصمیم‌گیری بر اساس مکان‌های لحظه‌ای مراکز خدماتی و نقاط تقاضا صورت پذیرد.

به‌عنوان نمونه‌ای از این نوع مسئله‌ها می‌توان از مسئله سواری اشتراکی[1] نام برد. در این مسئله مسافران به‌عنوان متقاضیان متحرک قلمداد می‌شوند، و وسایل نقلیه‌ای که در طول مسیرشان با توجه به مسیر و ظرفیت خالی موجودشان به مسافران تا بخشی از مسیرشان خدمات می‌دهند، منابع خدماتی متحرک در نظر گرفته می‌شوند. بدین ترتیب هر متقاضی متحرک در هر نقطه از مسیر خود از یک منبع خدماتی متحرک خدمات دریافت می‌کند. تا به نقطه بعدی برسد.

هگرستند، مفاهیم مکان ـ زمان را تعریف کرد و نشان داد که متقاضیان و منابع خدماتی تنها در شمار متناهی از موقعیت‌ها و محدودیت‌های زمانی در دسترس هستند (Hagerstrand, 1970). از آنجا که قیود مختلفی وجود داردکه محدودکننده مکان‌هایی

1. Shared Ride

است که متقاضی یا منبع خدماتی در هر لحظه می‌تواند در آن حضور یابد، منشورهای مکانی ـ زمانی برای کمک به تصمیم‌گیری در نحوه تخصیص منابع به کار گرفته می‌شوند. منشور مکانی ـ زمانی نشان‌دهنده همهٔ موقعیت‌های ممکنی است که فرد می‌تواند در یک بازه زمانی مشخص به آن برسد. یکی از روش‌های رایج برای حل چنین مسئله‌ای، تقاطع منشورهای مکانی ـ زمانی متقاضیان و منابع خدماتی با یکدیگر است، تا حالت‌های ممکن تخصیص منابع به متقاضیان، تعیین شود. از بین حالت‌های مختلف، بهترین راه‌حل با توجه به شرایط و قیود مسئله انتخاب می‌شود.

نوع دوم، با فرض تحرک نقاط تقاضا برای دریافت خدمات و ثابت بودن مراکز خدماتی از لحاظ مکانی مطرح می‌شود. برای نمونه مسئله‌ای با تعداد n متقاضی و m مرکز خدماتی در نظر گرفته می‌شود. هر مرکز یکی از انواع k نوع خدمات (k<m) را ارائه می‌دهد. نحوه ارجاع هر متقاضی به k مرکز خدماتی به منظور دریافت انواع خدمات به نحوی که در مجموع کمترین هزینه را داشته باشد، در دسته مسئله‌های نوع دوم اشیای متحرک قرار می‌گیرد. در این مسئله متقاضی ابتدا در مکان $(x_0, y_0)$ قرار دارد، و پس از دریافت خدمات از مرکز خدماتی اول به مکان آن مرکز خدماتی با مختصات $(X_1, Y_1)$ منتقل می‌شود و در نهایت پس از دریافت خدمات از مرکز kام به نقطه‌ای با مختصات $(X_k, Y_k)$ که مکان مرکز خدماتی k است منتقل می‌شود. سپس به مکان اولیه بازمی‌گردد. بدین ترتیب مکان نقطه تقاضا متناسب با مراکزی که به آنها ارجاع می‌یابد، تغییر می‌کند و ثابت نیست. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در حل این مسئله علاوه بر ارجاع متقاضیان به مراکز خدماتی، تعیین ترتیب دریافت خدمات نیز ضرورت دارد. تعیین بهترین مسیر حرکت متقاضی از نقطه اول و عبور از k مرکز خدماتی و بازگشت به نقطه شروع، منجر به ایجاد یک مسیر همیلتونی بهینه و حل مسئله فروشنده دوره‌گرد برای هر یک از متقاضیان و مجموعه k مرکز خدماتی ارجاعی می‌شود. در این مسئله نیز مانند سایر مسائل LA، تابع هدف و شرط بهینه‌سازی می‌تواند با توجه به جزئیات و نیاز مسئله تعریف شود.

نوع سوم اشیای متحرک، با فرض ثابت بودن مکان نقاط تقاضا و حرکت مراکز خدماتی به‌منظور ارائه خدمات تعریف می‌شود. در این حالت هر مرکز خدماتی با شروع مسیر از نقطه اولیه خود با مختصات $(X_0, Y_0)$، به مکان نقطه تقاضای اول $(x_1, y_1)$ منتقل می‌شود و پس از ارائه خدمات به مسیر خود تا آخرین نقطه تقاضای ارجاع داده شده به مرکز مذکور به مختصات $(x_p, y_p)$ ادامه می‌دهد و سپس به مکان اولیه‌اش بازمی‌گردد. در این مسئله علاوه بر تخصیص منابع، ترتیب ارائه خدمات برای مراکز خدماتی بایستی تعیین شود. قسمتی از حل این مسئله نیز منجر به ایجاد مسیر همیلتونی بهینه برای هر یک از k منبع خدماتی متحرک و حل مسئله فروشنده دوره‌گرد برای هر یک از منابع خدماتی و مجموعه متقاضیان ارجاعی به آن منبع خدماتی می‌شود. در این حالت نیز تابع هدف، قیود و جزئیات متناسب با شرایط مسئله تعریف می‌شود.

### ۲-۲- ایجاد بهترین مسیر همیلتونی

مسیر همیلتونی در گراف جهت‌دار G=(N,A) که N مجموعه گره‌ها و A مجموعه یال‌های گراف است، به‌صورت مسیری تعریف شده است که از تمامی گره‌ها یک و تنها یک‌بار و بدون تکرار در یال‌ها بگذرد. مسئله فروشنده دوره‌گرد یکی از مسئله‌های ساده مسیریابی گروه و گونه‌ای از مسائل ایجاد بهترین مسیر همیلتونی است. در مسئله مذکور، شخصی باید از یک نقطه شروع و از n-۱ مکان دیگر عبور کند. شرط اصلی این مسئله عبور یک و تنها یک‌بار از هر مکان است. انتخاب مسیر حرکت به گونه‌ای است که هزینه کل کمینه شود (Lawler et al., 1985).

برای فرمول‌بندی این مسئله، متغیر تصمیم‌گیری $x_{ij}$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_{ij} = \begin{cases} ۱ & \text{اگر از مکان i به مکان j عزیمت صورت گرفته باشد} \\ ۰ & \text{اگر چنین نباشد} \end{cases}$$

حال با استفاده از تعریف فوق مسئله یادشده را می‌توان با استفاده از روابط (۱) تا (۴) فرمول‌بندی و به مسئله بهینه‌سازی تبدیل کرد (Laporte, 1992).

$$\min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \qquad \text{رابطه (۲)}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \qquad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = n \qquad \text{رابطه (۴)}$$

$C_{ij}$ در رابطه (۱) نشان‌دهنده هزینه سفر از مکان i به مکان j و n تعداد نقاط گرهی است. از آنجا که در این مسئله برای عزیمت به هر مکان، بایستی تنها از یک مکان دیگر به آن عزیمت کرد، رابطه (۲) کنترل کننده این شرط برای تمامی jها است. با توجه به شرایط مسئله، برای خارج شدن از هر مکان فقط یک مسیر خروجی می‌تواند انتخاب شود. به عبارت دیگر برای خروج از مکان I باید تنها به یک مکان دیگر سفر کرد. این امر با شرط رابطه (۳) برای تمامی iها کنترل می‌شود. رابطه (۴) به‌منظور برقراری شرط عبور از تمامی نقاط گرهی در طول سفر به کار رفته است.

با وجود سادگی منطق فرمول‌بندی مسئله فروشنده دوره‌گرد، مدل‌سازی مسئله‌های واقعی بسیار پیچیده است. این مسئله در زمان چندجمله‌ای به طور دقیق حل نمی‌شود. طی سال‌های اخیر، روش‌های مختلف غیرقطعی و ابتکاری برای حل این مسئله شرح و بسط داده شده‌اند. برای مطالعه بیشتر در مورد مسئله فروشنده دوره‌گرد می‌توان به Oncan et al. (2009) و Laporte, (1992) مراجعه کرد.

## ۳- طرح مسئله

همان‌طور که در بخش دوم بیان شد، از میان سه نوع مسئله مطرح‌شده در زمینه مکان‌یابی و تخصیص منابع برای اشیای متحرک، مسئله اول در قالب مسئله سواری اشتراکی تا حدودی مطالعه و بررسی شده است. از میان دو مسئله دوم و سوم که تقریباً مشابه یکدیگرند، مسئله سوم به‌عنوان مسئله اصلی در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین در بازه زمانی مورد بررسی، تغییرات تقاضا نسبت به زمان وجود ندارد، ولی مکان مراکز خدماتی با زمان تغییر می‌پذیرد. در این حالت مسئله در زمرهٔ مسئله‌های پویا از نوع مکانی و مرتبط با اشیای متحرک است.

هدف مسئله، رسیدن مشخصات و فرضیات مسئله، به بهترین تخصیص نقاط تقاضا به مراکز خدماتی متحرک با توجه به شرایط مسئله است.

مسئله مورد نظر را می‌توان به‌صورت صریح در بندهایی که در ادامه می‌آیند، توصیف کرد.

۱- تعدادی (n) و مکان نقاط تقاضا ثابت است و هر نقطهٔ تقاضا دارای میزان تقاضای مشخصی است.

۲- تعداد k مرکز خدماتی با مختصات اولیه معلوم در منطقه موجود است.

۳- مراکز خدماتی متحرک‌اند و تغییر مکان می‌دهند.

۴- هر یک از مراکز خدماتی دارای ظرفیت خدماتی مشخصی هستند و هر مرکز پاسخگوی تعداد محدودی نقطه تقاضاست.

۵- هر مرکز خدماتی برای ارائه خدمات می‌بایست به محل نقطه تقاضا منتقل شود و آن مکان به‌عنوان مکان جدید مرکز خدماتی برای خدمات بعدی در نظر گرفته می‌شود.

۶- هر نقطه تقاضا یک نوع تقاضا دارد و تنها به یک مرکز خدماتی قابل ارجاع است.

۷- تمامی نقاط تقاضا بایستی خدمات‌دهی شوند.

همان‌گونه که ملاحظه شد در این مسئله تغییر مکان مراکز خدماتی الزامی است. تعداد مراکز خدماتی

ثابت است و نیازی به احداث مرکز جدید وجود ندارد، بلکه تخصیص نقاط تقاضا به مراکز موجود مدنظر است. با توجه به فرض شماره ۴، هر مرکز خدماتی به منظور ارائه خدمات بایستی به محل نقطه تقاضا منتقل شود و خدمات‌رسانی کند. بدین ترتیب مکان مرکز خدماتی تغییر می‌یابد؛ و علاوه بر تخصیص، ترتیب ارائه خدمات نیز در این مسئله بسیار اهمیت دارد.

با هدف کمینه‌سازی مجموع فواصل اقلیدسی بین نقاط تقاضای تخصیص داده‌شده به مراکز خدماتی متحرک، مسئله از لحاظ تعریف و هدف تا حدودی مشابه دسته مسائل میانه است. تفاوت اصلی این دو نوع مسئله با یکدیگر در تغییر مکان مراکز خدماتی در حین خدمات‌رسانی برای مسئله خدمات‌رسانی برای اشیای متحرک، و از سویی عدم نیاز به تعیین مکان مراکز خدماتی است. این مسئله برخلاف مسئله میانه، تنها نیازمند تخصیص منابع با رعایت ترتیب خدمات‌رسانی است، لیکن مدل ریاضی آن مشابه مدل ریاضی به‌کار رفته در مسئله‌های میانه است.

در برخی موارد ممکن است مسئله با هدف کمینه‌سازی بیشترین فاصله اقلیدسی بین مراکز خدماتی متحرک و مجموعه نقاط ارجاعی برای تمامی مراکز تعریف شود. در این صورت نیز با وجود تفاوت‌های ذکرشده، مسئله تا حدودی مشابه مسئله خواهد بود و مدل ریاضی آن مشابه مسئله مرکز است. همچنین این مسئله در صورت نیاز و با توجه به هدف و شرایط آن، می‌تواند مشابه مسئله پوشش مطرح و فرمول‌بندی شود.

## ۴- روش پیشنهادی

با توجه به مطالب بیان‌شده، در این مسئله علاوه بر تخصیص منابع، ترتیب ارائه خدمات برای مراکز و نیز تغییر مکان مرکز خدماتی با توجه به مکان نقطه تقاضای قبلی باید مورد توجه قرار گیرد. همان‌طور که در بخش ۲-۱ اشاره شد، قسمتی از حل این مسئله منجر به ایجاد یک مسیر همیلتونی بهینه برای هر یک از k منبع خدماتی متحرک و حل مسئله فروشنده دوره‌گرد برای هر یک از منابع خدماتی و مجموعه متقاضیان ارجاعی به آن منبع خدماتی، می‌شود. در این‌صورت با دو مسئله ـ به‌صورت هم‌زمان ـ مواجه‌ایم. مسئله نخست، تخصیص منابع خدماتی و تعیین متقاضیانی است که هر منبع خدماتی موظف به ارائه خدمات به آنهاست. مسئله دوم، تعیین اولویت و ترتیب ارائه خدمات میان متقاضیان ارجاع داده‌شده به هر منبع خدماتی است. از آنجا که این دو مسئله مستقل از یکدیگر نیستند، حل هم‌زمان آنها به‌منظور رسیدن به بهترین راه‌حل ضروری است. به دیگر سخن، نحوه تخصیص منابع حاصل از حل مسئله نخست ورودی مسئله دوم است. در عین حال، نتیجه حاصل از حل مسئله دوم برای هر یک از منابع خدماتی، خود معیاری برای سنجش میزان تناسب نتایج حاصل از حل مسئله نخست است.

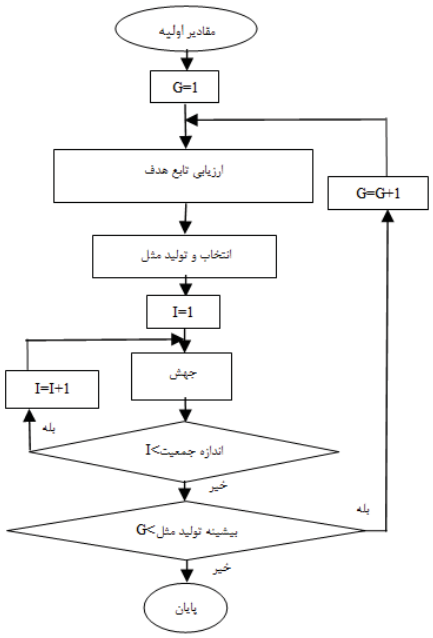
بررسی تمامی حالت‌های ممکن تخصیص منابع و نیز بررسی تمامی حالت‌های ترتیب ارائه خدمات برای هر دسته از متقاضیان و برای هر یک از حالت‌های تخصیص منابع، به منظور رسیدن به حالتی بهینه ، با افزایش نقاط تقاضا و مراکز خدماتی مقدور نیست و یا مستلزم صرف زمان زیادی خواهد بود.

این مسئله در زمرهٔ مسائل NP ـ پیچیده دسته‌بندی شده که در زمان چندجمله‌ای قابل حل‌اند. تمامی روش‌های شناخته‌شده برای حل این دسته از مسائل تا به امروز نیاز به زمانی وابسته به تعداد مقادیر ورودی دارند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی، حل مسئله دشوارتر می‌شود و این پیچیدگی به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد.

برای حل چنین مسائلی می‌بایست روشی به کار گرفته شود که مستقل از تعداد پارامترهای ورودی، نتیجه‌ای بهینه در اختیار بگذارد. بنابراین مدل‌سازی هوشمند و بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای هدایت روند جست‌وجو به منظور رسیدن به جواب مطلوب و

بدون نیاز به بررسی تمامی حالت‌ها می‌تواند کارساز باشد. روش پیشنهادی برای حل این مسئله، بر اساس الگوریتم ژنتیک پایه‌ریزی شده است. این روش برای حل مسئله‌هایی با تعداد زیاد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی نیز کارآمد است.

الگوریتم ژنتیک مبتنی بر هوش مصنوعی است و از چند بخش اصلی تشکیل شده است. در شکل ۱ فلوچارت الگوریتم ژنتیک ملاحظه می‌شود. برای مطالعه بیشتر در این زمینه برای نمونه به Beasley et al. (1993) مراجعه شود.




شکل ۱. فلوچارت الگوریتم ژنتیک

جمعیت اولیه: جمعیت اولیه در واقع مجموعه‌ای از جواب‌های مسئله است که به صورت اولیه وارد الگوریتم می‌شوند و یا می‌توانند به‌صورت تصادفی ایجاد شوند. تعداد جمعیت اولیه بستگی به پیچیدگی و نوع مسئله دارد. تعداد جواب‌هایی که به‌صورت موازی باید در هر نسل ایجاد و مورد بررسی قرار گیرند، بستگی به تعداد جمعیت اولیه دارد.

کروموزوم: کروموزوم‌ها از تعدادی ژن تشکیل شده‌اند. تعداد ژن‌های کروموزوم بستگی به نوع مسئله دارد و در هر مرحله یک‌سری از جواب مسئله را شامل می‌شوند.

روش کدگذاری: روش کدگذاری به نوع ژن‌های کروموزوم بستگی دارد و تابع نوع داده هر ژن تغییر می‌کند. برای مثال می‌توان همه ژن‌های یک کروموزوم را به‌صورت دودویی (صفر و یک)، یا به‌صورت اعداد صحیح و یا متناسب با دامنه تعریف مقادیر ژن کدگذاری کرد.

جابه‌جایی: جابه‌جایی در الگوریتم ژنتیک نقش اصلی را در همگرایی و رسیدن به نقطه بهینه داراست. جابه‌جایی به یکی از روش‌های تک‌نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و چندنقطه‌ای صورت می‌پذیرد.

جهش: تغییر تصادفی مقدار ژن در هر رشته جهش نامیده می‌شود. در الفبای دودویی با اعمال عملگر جهش بر یک بیت، اگر مقدار ژن یک باشد به صفر تبدیل و اگر مقدار ژن صفر باشد به یک تبدیل می‌شود.

تابع هزینه: تابع هزینه در واقع همان معیار بهینه‌سازی است، که بیانگر میزان نزدیکی و بهبودی کروموزوم‌ها است. عمل هدایت الگوریتم بر عهده این تابع است، که البته می‌تواند یک عبارت و یا یک برنامه با یک مقدار خروجی باشد که کروموزوم‌ها را به سمت یافتن بهترین جواب هدایت می‌کند. اصلی‌ترین قسمت برای نیل به جواب مطلوب با الگوریتم ژنتیک، تعریف صحیح تابع هزینه است. اگر هدایت به‌صورت گام به گام در هر مرحله صورت نپذیرد. امکان دست نیافتن به جواب بهینه و یا افزایش تعداد تکرارها وجود دارد.

پس از مروری اجمالی بر مفاهیم مرتبط با الگوریتم ژنتیک، در ادامه روش حل مسئله تشریح می‌شود.

به‌منظور آماده‌سازی داده‌ها، تمامی نقاط تقاضا از ۱ تا n کدگذاری شده‌اند و مراکز خدماتی نیز از شماره ۱ تا k شماره‌گذاری می‌شوند.

با توجه به اینکه در این مسئله علاوه بر تخصیص مراکز، ترتیب خدمات‌رسانی نیز اهمیت دارد، بایستی هم‌زمان با حل مسئله تخصیص، مسئله تعیین بهترین

ترتیب ارائه خدمات برای مجموعه نقاطِ ارجاع داده‌شده به هر یک از مراکز خدماتی نیز حل شود. برای حل این دو مسئله به‌طور هم‌زمان، کروموزوم‌ها به گونه‌ای در نظر گرفته شده‌اند که عدد ژن‌های هر کروموزوم علاوه بر تعیین ارجاع، ترتیب آن را نیز مشخص کنند.

هر کروموزوم به‌صورت ترکیبی از n ژن در نظر گرفته شده است (شکل ۲). ژن‌های هر کروموزوم می‌توانند یک عدد صحیح بین k و $k^2+k-1$ را به خود اختصاص دهند. خارج قسمت تقسیم عدد ژن iام بر k، نشانگر شماره مرکز خدماتی بوده که نقطه تقاضای iام به آن ارجاع داده شده است. از باقی‌مانده تقسیم عدد هر ژن بر k، می‌توان ترتیب ارائه خدمات برای آن نقطه تقاضا را به‌دست آورد. بدین منظور پس از تعیین خارج قسمت تقسیم عدد هر ژن بر k، نقاط تقاضایی که به مراکز خدماتی یکسان ارجاع داده شده‌اند، تعیین شده و در بین هر سری از نقاط مرجوع به یک مرکز واحد، با مرتب کردن صعودی اعداد حاصل از باقی‌مانده تقسیم عدد ژن مربوطه بر k، ترتیب دریافت خدمات برای هر نقطه تقاضا مطابق با ترتیب فهرست مرتب شده است.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $E_1$ | $E_2$ | $E_3$ | …. | $E_n$ |

شکل ۲. ساختار کروموزوم

تابع هدف برای دو حالت پرکابرد این مسئله فرمول‌بندی شده است. اگر مسئله به‌صورت مسائل میانه باشد، کمینه‌سازی مجموع هزینه مراکز خدماتی، هدف مسئله خواهد بود، که با رابطه (۵) بیان می‌شود. چنانچه مسئله از نوع مسائل مرکز در نظر گرفته شود، کمینه‌سازی هزینه مرکز خدماتی دارای بیشترین هزینه، هدف مسئله خواهد بود. تابع هدف برای این مسئله در حالت مرکز مطابق رابطه (۶) است.

رابطه (۵)

$$OF = \sum_i \sum_j \sqrt{(X_{i,j} - X_{i,j-1})^2 + (Y_{i,j} - Y_{i,j-1})^2} + F_j$$

رابطه (۶)

$$OF = \text{Maximum} \left( \sum_j \sqrt{(X_{i,j} - X_{i,j-1})^2 + (Y_{i,j} - Y_{i,j-1})^2} + F_j \quad \forall i \right)$$

در این روابط X ماتریس مختص اول است. عنصر موجود در سطر i و ستون j این ماتریس شامل مختص اول مکان jامین نقطه تقاضای ارجاع داده شده به مرکز خدماتی iاست. مختص اول مرکز خدماتی i در سطر i و ستون صفر این ماتریس جای دارد. ماتریس Y مشابه ماتریس X برای مختص دوم تعریف می‌شود. $F_j$ هزینه ارائه خدمات برای نقطه تقاضای j است، که می‌تواند تابعی از زمان لازم برای ارائه خدمات باشد. در رابطه (۵) برای تمامی مراکز خدماتی مجموع فواصل اقلیدسی بین هر مرکز با نقاط تقاضای ارجاع داده‌شده به آن به ترتیبِ ارجاع و با در نظر گرفتن تغییر مکان مرکز خدماتی برای خدمات‌رسانی به هر متقاضی و با افزودن هزینهٔ ارائه خدمات به هر متقاضی، محاسبه می‌گردد، که این مقدار به‌عنوان تابع هدف کمینه می‌شود. در رابطه (۶) مجموع بیشترین مسافت طی‌شده برای یک مرکز خدماتی به‌منظور خدمات‌رسانی و هزینه‌های ارائه خدمات برای آن مرکز از بین تمامی مراکز تعیین می‌گردد و تابع هدف به‌منظور کمینه‌سازی ارائه می‌شود.

## ۵- پیاده‌سازی و ارزیابی

به‌منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادشده در بخش ۴ برای دسته مسائل مرتبط با اشیای متحرک، در این بخش یک مسئله نمونه طرح شده است و با روش پیشنهادی حل می‌گردد و نتایج آن ارائه می‌شود.

برای تعریف این مسئله تعداد شانزده نقطه تقاضا با پراکندگی مناسب و چهارمنبع خدماتی متحرک برای خدمات‌رسانی به نقاط تقاضای مذکور در نظر گرفته شده است. به‌عنوان مثال می‌توان خودروهای نیازمند خدمات را به عنوان نقاط تقاضا، و خودروهای امدادی مستقر در مکان‌های مختلف منطقهٔ مورد بررسی را

منابع خدماتی متحرک در نظر گرفت. در هر بازه زمانی کوتاه $[t_1, t_2]$، تعدادی خودروی امدادی و تعدادی خودروی نیازمند وجود دارد، که خودروهای نیازمند باید در کمترین زمان از خودروهای امدادی خدمات دریافت کنند. هر خودروی امدادی برای ارائه خدمات به خودروهای نیازمند، به مکان آن خودرو می‌رود و ارائه خدمات می‌کند، و برای ارائه خدمات به خودروی بعدی، از مکان آخرین خودروی در دست تعمیر، به آن محل منتقل می‌شود. هدف مسئله، تعیین چگونگی تخصیص منابع خدماتی (خودروهای امدادرسان) به متقاضیان (خودروهای نیاز به تعمیر) و نیز تعیین بهترین ترتیب خدمات‌رسانی به متقاضیان ارجاعی هر منبع خدماتی است. البته لازم به ذکر است که به‌منظور ساده‌سازی محاسبات و خدشه‌دار نشدن عمومیت راه‌حل پیشنهادی، مسئله در فضای اقلیدسی پیوسته فرض شده است. اطلاعات مربوط به نقاط تقاضا در جدول ۱ و اطلاعات مراکز خدماتی در جدول ۲ آورده شده‌اند.

برای مسئله نمونهٔ مطرح‌شده با توجه به ویژگی و شرایط آن، تخصیص منابع به گونه‌ای انجام می‌گیرد که زمان لازم برای اتمام کار تمامی منابع خدماتی تا حد امکان کوتاه باشد. بدین ترتیب تخصیص خودروهای خدماتی متعادل‌تر خواهد بود. با توجه به ارتباط مستقیم بین زمان حرکت در مسیر و مسافت آن، در حل این مسئله فواصل اقلیدسی به جای زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف این مسئله کمینه‌سازی مجموع زمان لازم خدمات‌رسانی برای مجموع خودروهای امدادی است. در واقع هدف مسئله، تعیین متقاضیان ارجاع داده شده به هر منبع خدماتی و نیز تعیین ترتیب ارائه خدمات هر منبع به متقاضیان مربوط به آن است.

همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد، راه‌حل‌های ممکن مسئله با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی به‌سرعت افزایش می‌یابد، و بررسی تمامی حالت‌های ممکن برای رسیدن به بهترین حالت در بیشتر مواقع وقت‌گیر و حتی غیرممکن است. در مورد مسئله مطرح شده، تعداد کل حالت‌های حل مسئله حتی با وجود تعداد نسبتاً کم منابع خدماتی و متقاضیان برابر با $\binom{16}{4} \times 4! = 43680$ بوده که بررسی تمامی حالت‌ها بسیار وقت‌گیر و غیرعملی است.

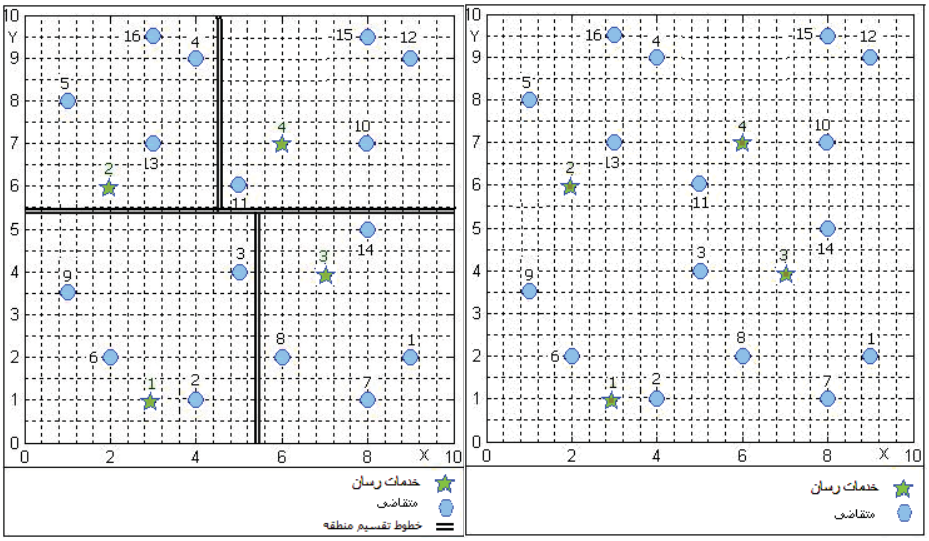
با توجه به مطالب بیان‌شده، روش منطقی برای تعیین نحوه ارجاع متقاضیان به منابع خدماتی، تقسیم منطقه به چند بخش متناسب با تعداد منابع خدماتی و تعداد متقاضیان در هر منطقه و سپس تعیین بهترین ترتیب خدمات‌رسانی برای هر یک از بخش‌ها به‌وسیله منبع خدماتی مرتبط است. بدین ترتیب برای این مسئله (شکل ۳-راست)، منطقه به چهاربخش تقریباً برابر، که هر بخش حاوی چهار متقاضی و یک منبع خدماتی است. مطابق شکل ۳- چپ، تقسیم می‌شود.

جدول ۱. اطلاعات مربوط به نقاط تقاضا

| شماره نقطه تقاضا | مختص x | مختص y | شماره نقطه تقاضا | مختص x | مختص y |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۹ | ۲ | ۹ | ۱ | ۳/۵ |
| ۲ | ۴ | ۱ | ۱۰ | ۸ | ۷ |
| ۳ | ۵ | ۴ | ۱۱ | ۵ | ۶ |
| ۴ | ۴ | ۹ | ۱۲ | ۹ | ۹ |
| ۵ | ۱ | ۸ | ۱۳ | ۳ | ۷ |
| ۶ | ۲ | ۲ | ۱۴ | ۸ | ۵ |
| ۷ | ۸ | ۱ | ۱۵ | ۸ | ۹/۵ |
| ۸ | ۶ | ۲ | ۱۶ | ۳ | ۹/۵ |

جدول۲. اطلاعات مربوط به مراکز خدماتی

| شماره مرکز خدماتی | مختص x | مختص y | شماره مرکز خدماتی | مختص x | مختص y |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۳ | ۱ | ۳ | ۷ | ۴ |
| ۲ | ۲ | ۶ | ۴ | ۶ | ۷ |



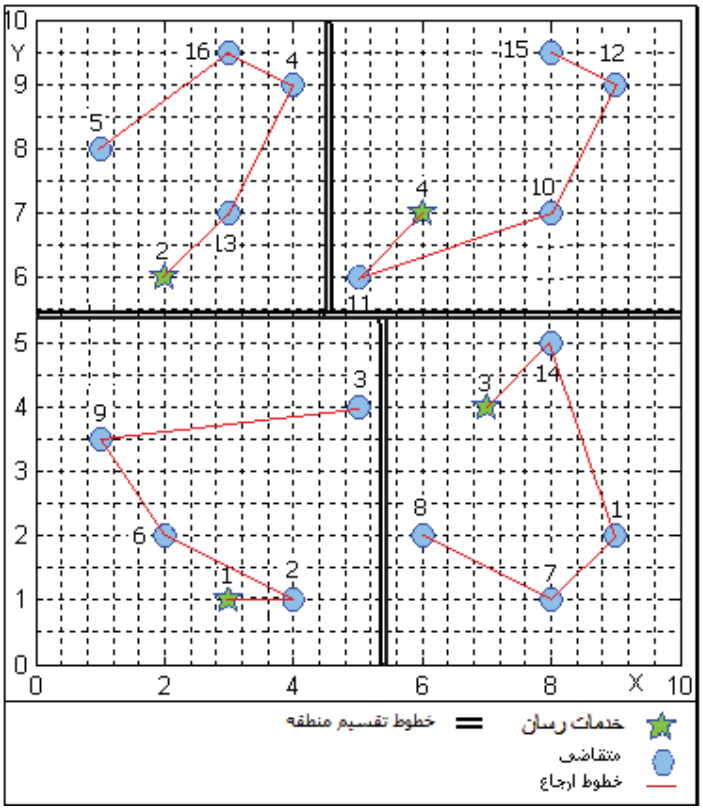

شکل ۳. راست: مکان اولیه منابع خدماتی و متقاضیان؛ چپ: نحوه تقسیم منطقه به چهاربخش

جدول ۳. نتایج حاصل از حل مسئله با روش موجود

| شماره مرکز خدماتی | اولین نقطه تقاضای ارجاعی | دومین نقطه تقاضای ارجاعی | سومین نقطه تقاضای ارجاعی | چهارمین نقطه تقاضای ارجاعی | مجموع هزینه مرکز خدماتی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲ | ۶ | ۹ | ۳ | ۴۹/۰۷ |
| ۲ | ۱۳ | ۴ | ۱۶ | ۵ | ۴۷/۲۶ |
| ۳ | ۱۴ | ۱ | ۷ | ۸ | ۴۸/۲۲ |
| ۴ | ۱۱ | ۱۰ | ۱۲ | ۱۵ | ۴۷/۹۳ |

پس از مشخص شدن بخش‌های مذکور، برای هر یک از بخش‌ها بهترین ترتیب خدمات‌رسانی به‌وسیله منبع خدماتی ذی‌ربط تعیین می‌شود. ابتدا منبع خدماتی به نزدیک‌ترین نقطهٔ تقاضا منتقل می‌شود و به ارائه خدمات می‌پردازد، سپس نزدیک‌ترین متقاضی به موقعیت جدید منبع خدماتی، خدمات دریافت می‌کند. این روند تا اتمام ارائه خدمات به تمامی متقاضیان ادامه می‌یابد. این روش ابتدا به حل مسئله تخصیص منابع می‌پردازد و سپس ترتیب ارائه خدمات برای هر منبع خدماتی با متقاضیان ارجاعی به آن را تعیین می‌کند. شکل ۴ ترتیب ارجاع نقاط تقاضا به هر یک از مراکز خدماتی را نشان می‌دهد (ن.ک. جدول ۳ ).

به منظور ارزیابی کارایی روش حل ارائه‌شده در بخش ۴، این مسئله با روش پیشنهادی نیز حل می‌شود و نتایج حاصل از آن با نتایج روش اول مقایسه می‌گردد. در روش پیشنهادی برای حل این مسئله ـ برخلاف روش تشریح شده ـ مسئله تخصیص منابع و تعیین ترتیب ارجاع به‌صورت هم‌زمان حل می‌شود.




شکل ۴. نتیجه حاصل از تخصیص مراکز متحرک به نقاط تقاضای ثابت با روش موجود

مطابق توضیحات ارائه‌شده در بخش ۴، طول کروموزوم شانزده و عدد هر ژن بین ۴ تا ۱۹ است. با توجه به تعریف ارائه‌شده، این مسئله ترکیبی از انواع مسائل مرکز و میانه بوده و هدف آن علاوه بر کمینه‌سازی هزینهٔ مرکز خدماتی دارای بیشترین هزینه، کمینه‌سازی مجموع هزینه کل مراکز خدماتی است. تابع هدف این مسئله را از ترکیب خطی روابط (۵) و (۶) به‌دست می‌آوریم. هزینه لازم برای ارائه خدمات برای تمامی متقاضیان ثابت و برابر با ده واحد فرض شده است.

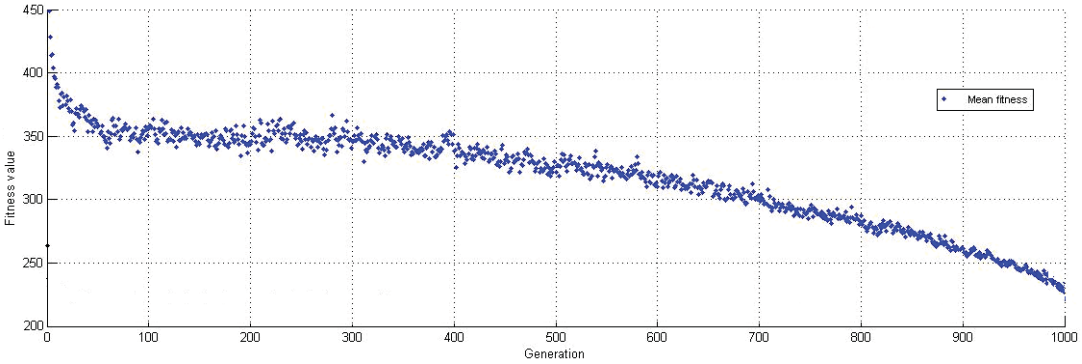
از آنجا که پارامترهایی همچون تعداد جمعیت اولیه و تعداد تکرار، نقش اساسی در همگرایی الگوریتم و جواب نهایی دارند، لازم است تأثیر تغییر این پارامترها بر همگرایی الگوریتم بررسی شود. بدین منظور جمعیت اولیه ۱۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ و نیز تعداد تکرارهای ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ برای حل مسئله مذکور آزمون شدند. تأثیر تغییر تعداد تکرار و جمعیت اولیه بر روی تابع هدف در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. تأثیر تغییر تعداد تکرار و جمعیت اولیه بر روی تابع هدف

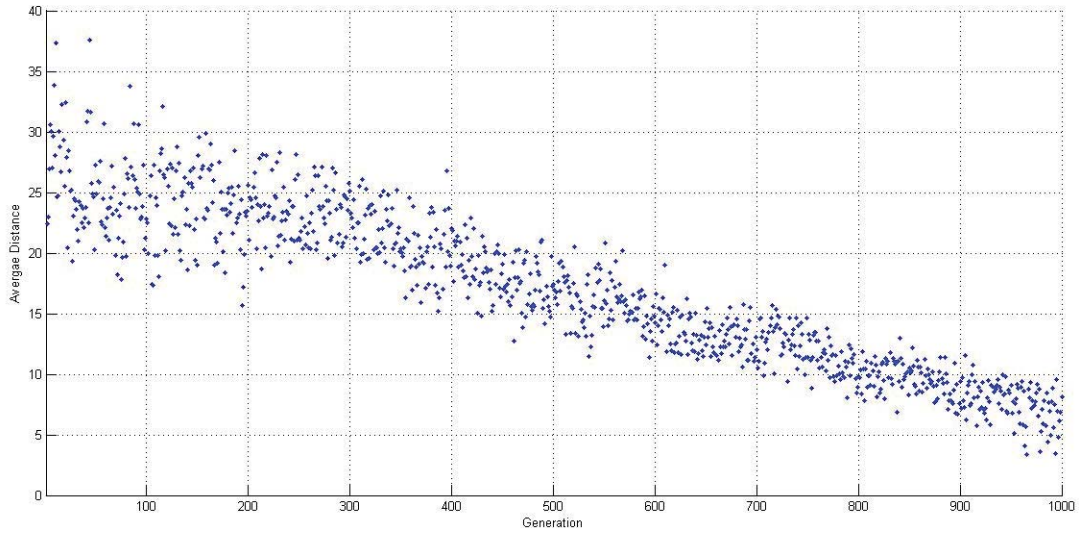
| مقدار تابع هدف | تعداد تکرار | تعداد جمعیت اولیه |
|---|---|---|
| ۴۳۳/۷۶ | ۵۰۰ | ۱۰۰ |
| ۳۴۱/۳۴ | ۱۰۰۰ | ۱۰۰ |
| ۳۰۵/۶۱ | ۱۵۰۰ | ۱۰۰ |
| ۳۳۲/۰۹ | ۵۰۰ | ۳۰۰ |
| ۲۳۸/۵۵ | ۱۰۰۰ | ۳۰۰ |
| ۲۳۸/۵۵ | ۱۵۰۰ | ۳۰۰ |
| ۲۸۷/۵۶ | ۵۰۰ | ۴۰۰ |
| ۲۳۸/۵۵ | ۱۰۰۰ | ۴۰۰ |

با توجه به جدول ۴، ملاحظه می‌شود که با تعداد تکرار ۱۰۰۰ و تعداد جمعیت اولیه ۳۰۰ تابع هدف کمینه شده و با افزایش تعداد تکرار و نیز تعداد جمعیت اولیه، مقدار تابع هدف ثابت مانده است. بنابراین مقادیر مذکور به‌عنوان پارامترهای الگوریتم، مورد استفاده قرار گرفتند. شکل ۵ نمودار تغییرات تابع هدف برای هر یک از نسل‌های الگوریتم ژنتیک و نحوه همگرایی آن به مقدار کمینه را نشان می‌دهد. شکل ۶ نشانگر میانگین فاصله بین کروموزوم‌های هر نسل است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین فاصله کروموزوم‌ها و نیز مقدار تابع هدف در نسل‌های آخر کاهش یافته است و در نهایت الگوریتم در نسل ۱۰۰۰ همگرا می‌شود.

با توجه به تصادفی بودن جمعیت اولیه، ممکن است نتایج در اجراهای مختلف الگوریتم ژنتیک با یکدیگر متفاوت باشد. بنابراین برای تست تکرارپذیری الگوریتم، الگوریتم به دفعات مختلف با پارامترهای یکسان اجرا می‌شود و نتایج مقایسه می‌گردد. در این تحقیق با توجه به انتخاب جمعیت اولیه ۳۰۰ و تعداد تکرار ۱۰۰۰، این الگوریتم با پارامترهای مذکور ۵ بار اجرا شد. نتایج حاصل در جدول ۵ آمده که این نتایج نشان‌دهنده ثبات الگوریتم از نظر تکرارپذیری است.




شکل ۵. نمودار تغییرات تابع هدف برای نسل‌های مختلف الگوریتم ژنتیک




شکل ۶. نمودار تغییرات میانگین فاصله کروموزوم‌ها برای نسل‌های مختلف الگوریتم ژنتیک

در نهایت با طراحی الگوریتم و تعیین کمترین مقدار تابع هدف مسئله، نحوه و ترتیب ارجاع نقاط تقاضا به هر یک از مراکز خدماتی تعیین می‌شود. نتایج حاصل در جدول ۶ آمده است.

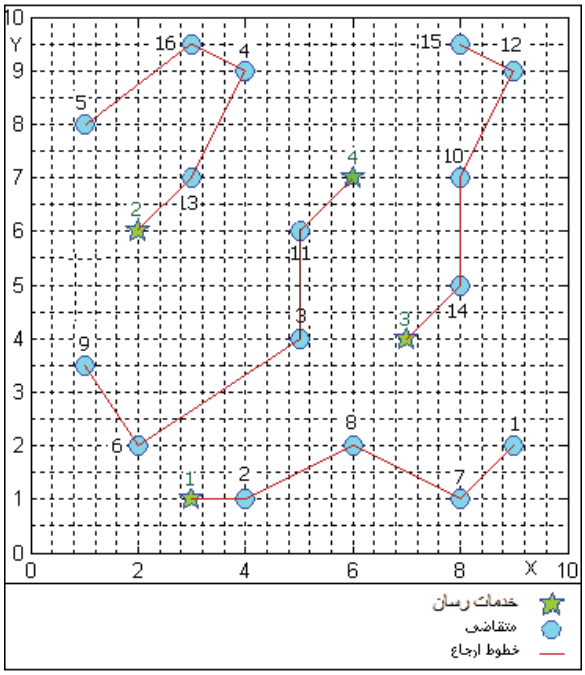
شکل ۷ نحوه و ترتیب تخصیص منابع خدماتی متحرک به نقاط تقاضای ثابت برای روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. نتیجه تست تکرار الگوریتم

| شماره اجرا | تعداد جمعیت اولیه | تعداد تکرار | مقدار تابع هدف |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۳۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲۳۸/۵۵ |
| ۲ | ۳۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲۳۹/۷۳ |
| ۳ | ۳۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲۳۸/۵۵۵ |
| ۴ | ۳۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲۳۸/۵۵ |
| ۵ | ۳۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲۳۸/۵۵ |

جدول ۶. نتایج حاصل از حل مسئله با روش پیشنهادی

| شماره مرکز خدماتی | اولین نقطه تقاضای ارجاعی | دومین نقطه تقاضای ارجاعی | سومین نقطه تقاضای ارجاعی | چهارمین نقطه تقاضای ارجاعی | مجموع هزینه مرکز خدماتی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲ | ۸ | ۷ | ۱ | ۴۶/۸۸ |
| ۲ | ۱۳ | ۴ | ۱۶ | ۵ | ۴۷/۲۶ |
| ۳ | ۱۴ | ۱۰ | ۱۲ | ۱۵ | ۴۶/۷۶ |
| ۴ | ۱۱ | ۳ | ۶ | ۹ | ۴۸/۸۲ |




شکل ۷. نتیجه حاصل از تخصیص مراکز متحرک به نقاط تقاضای ثابت با روش پیشنهادی

مقایسه دو شکل ۴ و ۷، در ظاهر نشان می‌دهد که تخصیص منابع در روش موجود مناسب‌تر بوده است. ولی با توجه به ستون آخر جداول ۳ و ۶ می‌توان پی برد که روش پیشنهادی با در نظر گرفتن هم‌زمان مسئله تخصیص منابع و ترتیب خدمات‌رسانی برای متقاضیان با توجه به اهداف مسئله در مجموع جواب بهتری ارائه کرده است. همان‌طور که در ستون ششم جدول ۶ ملاحظه می‌شود، با کمینه‌سازی بیشترین هزینه، مقدار بیشترین هزینه مربوط به مرکز خدماتی چهارم بوده و برابر با ۴۸/۸۲ است. این مقدار در مقایسه با بیشترین هزینه مندرج در ستون ششم جدول ۳ که مربوط به منبع خدماتی اول و برابر با ۴۹/۰۷ بوده، کمتر است. مجموع کل هزینه تمامی منابع خدماتی برای روش پیشنهادی برابر با ۱۸۹/۷۲ بوده، در حالی‌که همین مقدار برای روش اول ۱۹۲/۴۸ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از روش ارائه‌شده، علاوه بر کمینه شدن بیشترین هزینه منابع خدماتی، مجموع هزینه برای کل منابع نیز کمینه شده است.

## ۶- نتیجه‌گیری

در پژوهش انجام‌شده، روش‌های مختلف مکان‌یابی و تخصیص منابع از منظر تحرک یا عدم تحرک منابع خدماتی و نقاط تقاضا مورد بررسی قرار گرفتند و به سه دسته کلی تقسیم شدند. بر اساس این تقسیم‌بندی هر یک از منابع خدماتی، متقاضیان و یا هر دو می‌توانند برای ارائه یا دریافت خدمات تغییر مکان دهند.

در حل این دسته از مسائل علاوه بر تخصیص منابع، ترتیب ارائه خدمات برای مراکز و نیز تغییر مکان مرکز خدماتی با توجه به مکان نقطه تقاضای قبلی باید مورد توجه قرار گیرد. قسمتی از حل این مسئله منجر به ایجاد مسیر همیلتونی بهینه برای هر یک از منابع خدماتی متحرک و مجموعه متقاضیان ارجاعی به آن منبع خدماتی می‌شود. این مسئله جزو مسائل NP ــ پیچیده قرار می‌گیرد که در یک زمان چند جمله‌ای قابل حل است. در مقاله حاضر، روشی بر پایه الگوریتم ژنتیک برای حل هم‌زمان تخصیص منابع و تعیین ترتیب ارائه خدمات به‌وسیله هر منبع خدماتی به متقاضیان ارجاع داده‌شده، پیشنهاد و طراحی شد. برای ارزیابی روش پیشنهادی، مسئله نمونه‌ای طرح و با روش مذکور حل شد. نتایج حاصل از ارزیابی عددی روش پیشنهادی، نشانگر کارایی و قابلیت استفاده از آن برای حل مسائل مشابه است.

مهم‌ترین دستاورد این تحقیق ارائه روشی مناسب برای مدیریت بهینه منابع خدماتی متحرک به‌منظور ارائه خدمات به متقاضیان است. الگوریتم مورد نظر از جنبهٔ تکرارپذیری، همگرایی و پارامترهای آن آزمون شد، که نتایج حاصل نشانگر ثبات و همگرایی الگوریتم است. در نهایت اضافه کردن قیودی چون ظرفیت منابع خدماتی و تنوع خدمات و نیز حل و ارزیابی مسئله در فضای شبکه، به بهبود و کارایی روش پیشنهادی کمک کرده‌اند، که می‌توانند موضوع پژوهش‌های آتی در این زمینه باشند.

## ۷- منابع


Beasley, D., Bull, D.R., Martin, R.R., 1993, **An Overview of Genetic Algorithms**, in Univ. Computing, 15, 170-181.

Chao, D., Ye, C., Miao, H., 2007, **Two-Level Genetic Algorithm for Clustered Traveling Salesman Problem with Application in Large-Scale TSPs,** Tsinghua Science and Technology, 12(4), 459-465.

Choi, I.C., Kim, S.I., Kim, H.S., 2003, **A Genetic Algorithm with a Mixed Region Search for the Asymmetric Traveling Salesman Problem**, Computers & Operations Research, 30, 773-786.

Daskin, M., 1995, **Network and Discrete Location**, Wiley, NewYork.

Drezner, Z., Hamacher, H., 2002, **Facility Location:Applications and Theory**, Springer, Berlin.

Gen,M., Cheng, R., 2000, **Genetic Algorithms and Engineering Optimization**, Wiley, New York.

Hagerstrand, T., 1970, ***Whatabout People in Regional Science***? Papers of the Regional ScienceAssociation, 24: 7–21.

Hakimi, S.L., 1964, ***Optimum Location of Switching Centers and the Absolue Centers and Medians of a Graph***, Operations Research, 12, 450-459.

Laporte, G., 1992, ***The Traveling-salesman Problem: An overview of Exact and Approximate Algorithms***, European Journal of Operational Research, 59 (2): 231-247.

Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnoy, A.H.G., Shmoys, D.B., 1985, **The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimisation**, John Wiley, NewYork.

Love, R.F., Morris, J.G., Wesolowsky, G.O., 1988, **FacilitiesLocation: Models and Methods**, North Holland, New York.

Oncan, T., Altinel, I.K., Laporte, G., 2009, **A Comparative Analysis of Several Asymmetric Traveling Salesman Problem Formulations**, Computers & operational research, 36, 637-654.

Schilling, D.A., 1980, **Dynamic Location Modeling for Public-sector Facilities: A Multicriteria Approach**, Decision Sciences, 11, 174-724.

Tansel, B.C., Francis, R.L., Lowe, T.J., 1983, **Location on Networks: A Survey. Part I: The P-center and P-median problems**, Management Science, 29(4): 482-497.

Tasgetiren, M.F., Suganthan, P.N., Pan, Q.K., 2010, **An Ensemble of Discrete Differential Evolution Algorithms for Solving the Generalized Traveling Salesman Problem**, Applied mathematics and computation, 215, 3356-3368.

Weber, A., 1929, **Alfred Weber's Theory of the Locaion of Industries**, University of Chicago.