

مدل سازی مسایل مکانیابی پویا در فضای اقلیدسی پیوسته

نازیلا محمدی^{۱*}، محمدرضا ملک^۲

^۱دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
nazila.mohamadi@gmail.com

^۲دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
(قطب علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی)
mrmalek@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۲، تاریخ تصویب آبان ۱۳۹۳)

چکیده

روش‌های مکانیابی ماهیت ذاتی تغییرپذیری جهان واقعی را در نظر نمی‌گیرند. در حالیکه در بسیاری از مسائل مکانیابی با پارامترهای متغیر با زمان مواجه می‌شویم. ممکن است در برخی موارد تغییرات این پارامترها قابل پیش‌بینی باشد که در این صورت بایستی به روشی مدلسازی شده و در مکانیابی لحاظ شود. در این مقاله مسأله مکان‌یابی از نوع مسأله p -میان به صورت پویا فرمول‌بندی شده و روشی بر مبنای هوش مصنوعی برای حل مسایل مکانیابی و تخصیص منابع پویا پیشنهاد شده است. جهت ارزیابی کارایی روش پیشنهادی و نیز روشهای مکانیابی پویا، مسأله نمونه‌ای از نوع NP-Complete، طرح و به دو صورت پویا و ایستا و با بهره‌گیری از روش مذکور حل شده است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی نشانگر کارایی روش حل پیشنهادی و نیز روشهای مکانیابی پویا نسبت به روشهای ایستا در حل مسایل مکانیابی با وجود مدل تغییرات تقاضا در زمان می‌باشد.

واژگان کلیدی: هوش مصنوعی، مکانیابی مراکز خدماتی، تخصیص منابع، مدل‌سازی پویا، روش میان

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

مکانیابی عبارت از تعیین مکان مناسب برای انجام یک فعالیت معین با انجام یک روال اجرایی مشخص و با توجه به معیارها و فاکتورهای مؤثر در آن است [۱]. امروزه یافتن مکان یا مکان‌های مناسب برای ایجاد یک فعالیت در حوزه جغرافیایی معین، جزو مراحل مهم پروژه‌های اجرایی بشمار می‌رود. مکان‌های انتخاب شده بایستی حتی الامکان همه شرایط و قیود مورد نیاز را ارضا نمایند. همانطور که می‌دانیم پروژه ایجاد یک مرکز خدماتی جدید معمولاً یک فرآیند زمان‌بر و پرهزینه است. پیش از اینکه یک مرکز خدماتی تأسیس شود، مکانهای مناسب شناسایی می‌شود. قابلیت‌ها و ویژگیهای مرکز مورد بررسی، تعیین شده و هزینه تقریبی طرح برآورد می‌شود.

مسئله مورد بررسی در این مقاله یافتن روشی بهینه برای تعیین مکانهای مناسب برای افزودن تعدادی مرکز خدماتی جدید به مراکز موجود در یک منطقه بوده به‌صورتی که مراکز قبلی نیز بدون تغییر مکان کارایی خود را حفظ کنند.

اکثر روشهای ارائه شده، تأسیس تمامی مراکز را به صورت همزمان در نظر گرفته و مدل ریاضی بر این اساس بیان کرده اند. این روشها با صرف نظر از جزئیات در سه دسته کلی مسائل میانه [۲]، مسائل مرکز [۳] و مسائل پوششی [۴]، قابل تقسیم‌بندی هستند. این روشها معمولاً در مواقعی مناسب هستند که می‌خواهیم برای یک منطقه فاقد مراکز خدماتی تعدادی مرکز خدماتی تأسیس کنیم. چنانچه نیازمند تأسیس مرکزی جدید در منطقه ای حاوی تعدادی مرکز خدماتی باشیم، این روشها کارایی خوبی ندارند زیرا مکان مناسب برای مرکز جدید را با توجه به تخصیص منابع موجود و وابسته به آرایش مراکز قبلی انتخاب می‌کنند. در برخی از مدلها نیز با تأسیس یک مرکز جدید مراکز خدماتی قبلی تغییر مکان داده تا در کل آرایشی مناسب حاصل شود. این روشها می‌توانند به‌صورت ریاضی فرمول‌بندی شده [۵] و یا به‌صورت روشهای اکتشافی ارائه شوند [۶]. در هر دو صورت نیازمند صرف هزینه زیاد جهت تغییر مکان مراکز قبلی هستیم که در اکثر موارد صرف چنین هزینه‌ای امکان‌پذیر نیست و یا مقرون به صرفه نمی‌باشد.

دسته دیگری از روشها نیز وجود دارند که بیشتر در مسایل توسعه شهری مورد توجه قرار می‌گیرند. در این

مسایل مکان احداث هر مرکز جدید طوری تعیین می‌شود که مکان مناسب برای تأسیس مراکز بعدی در زمانهای آتی نیز حفظ شود. بدین منظور از مدل‌هایی که تغییرات محیط را به‌عنوان متغیرهای ورودی لحاظ می‌کنند، استفاده می‌شود [۷] و [۸]. در این نوع مسائل فرض بر این است که تقاضا در هر نقطه می‌تواند وابسته به زمان و با مدلی مشخص و از پیش تعیین شده تغییر پذیرد.

متأسفانه اغلب مدل‌های معمول بکار گرفته شده برای حل چنین مسایلی، به دلیل قرار گرفتن این مسایل در دسته مسائل NP-Hard، به سختی به سمت جواب بهینه همگرا شده لذا نیازمند محاسبات زیاد می‌باشند که با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی این روند محاسباتی به صورت نمایی رشد می‌کند. بدین منظور ما از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک روش کارا جهت حل بهینه این مسائل در یک فضای اقلیدسی پیوسته بهره جستیم.

مقالاتی در زمینه بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل مکانیابی موجود است که به‌عنوان نمونه می‌توان به Hosage و Goodchild [۹] که برای اولین بار از GA برای حل مسئله p-میانه استفاده کردند، اشاره نمود. Densham [۱۰]، Moreno و همکارانش [۱۱] و همچنین Erkut و همکارانش [۱۲] نیز الگوریتم ژنتیک را برای مسائل مکانیابی و تعیین مکان بهترین مراکز خدماتی مورد استفاده قرار دادند. در تمامی موارد یاد شده، الگو ریتیم ژنتیک برای فضای گسسته مورد استفاده قرار گرفته است. در این مسائل تعدادی نقطه به‌عنوان نقاط مستعد ساخت مراکز خدماتی از پیش در نظر گرفته شده و وظیفه GA صرفاً تعیین نقاط مناسب از بین نقاط مفروض بوده است. حال آنکه ما در این مقاله فضای پیوسته را به‌عنوان فضای مسئله در نظر می‌گیریم به‌طوری‌که تمامی نقاط فضای اقلیدسی بدون محدودیت می‌توانند برای احداث مراکز خدماتی انتخاب شوند.

در این مقاله ابتدا روش میانه بررسی و سپس روش میانه توسعه یافته بر اساس آن فرمول‌بندی می‌شود. یک مسئله نمونه ساده در دو حالت ایستا و پویا با روش معمول جستجوی مستقیم فضای جواب، حل و نتایج بررسی می‌شود. سپس روشی کارا برای حل مسایل مکانیابی و تخصیص منابع میانه پویا بر پایه الگوریتم ژنتیک پیشنهاد و ارائه می‌شود. در انتها برای ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، مسئله نمونه دوم در دو حالت مکانیابی ایستا و پویا طرح و با بهره‌گیری از روش پیشنهادی حل شده و نتایج بصورت کمی بررسی می‌شوند.

۲- مکانیابی و تخصیص منابع با روش میانه ایستا

مطابق نظر Church و Revelle [۱۳]، یکی از راه‌های برآورد میزان مناسب بودن مکان یک مرکز خدماتی، اندازه‌گیری میانگین مسافت پیموده شده توسط نقاط تقاضا برای رسیدن به مرکز خدماتی است. هرچه میانگین فاصله سفر افزایش یابد، دسترسی مرکز خدماتی و در نتیجه کارایی مکان تعیین شده برای مرکز خدماتی کاهش می‌یابد. مسأله P-میانه اولین بار توسط Hakimi [۱۴]، با استفاده از این شاخص کارایی معرفی شد. به این ترتیب در این مسأله هدف یافتن مکان مناسب برای تعداد P مرکز جهت اریه خدمات بوده بطوری که مجموع فواصل لازم برای انتقال خدمات به مراکز تقاضا که بصورت وزندار در نظر گرفته شده است، کمینه شود [۱۴].

برای فرمول‌سازی مسأله میانه بصورت ریاضی، ابتدا باید متغیرهای تصمیم‌گیری زیر معرفی شوند.

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{اگر در نقطه } j \text{ مرکز خدماتی وجود داشته باشد} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر نقطه } i \text{ با مرکز خدماتی } j \text{ خدمات‌دهی شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

در این روابط i اندکس نقطه تقاضا و j اندکس مکان مستعد ساخت مرکز خدماتی است.

حال با استفاده از دو تعریف فوق، مسأله P-میانه را می‌توان با استفاده از روابط (۱) تا (۶) فرمول‌بندی کرده، به یک مسأله بهینه‌سازی تبدیل نمود.

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_j X_j = 1 \quad (2)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$X_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \quad (5)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \quad (6)$$

بطوریکه h_i میزان تقاضا در نقطه تقاضای i ، d_{ij} بیانگر فاصله بین نقطه تقاضای i و مکان مرکز خدماتی j و پارامتر P معرف تعداد مراکز خدماتی مورد نیاز جهت تأسیس باشند.

با ملاحظه روابط بیان شده، دیده می‌شود که رابطه (۱) برای کمینه‌سازی فاصله وزن‌دار بین نقاط تقاضا و

مراکز خدماتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه (۲) شرط کنترل‌کننده تأسیس دقیقاً تعداد P مرکز خدماتی است. رابطه (۳) تضمین می‌کند که تمامی تقاضاها به مراکز خدماتی ارجاع داده شده‌اند. رابطه (۴) بیانگر ارجاع نقاط تقاضا به مراکز احداث شده می‌باشد. روابط (۵) و (۶) نشانگر وضعیت دو حالتی و قطعیت بوده و یا به بیان دیگر عدم نسیت ارجاع‌ها و باز و بسته بودن مراکز خدماتی است. با در نظر گرفتن شش رابطه مذکور با هم و بصورت تلفیقی، حل این مسأله منجر به حل یک مسأله بهینه‌سازی شده که بایستی رابطه (۱) طوری کمینه شود که شروط روابط (۲) تا (۶) برقرار بماند.

یک نسخه توسعه یافته از مسأله P-میانه توسط Revelle [۱۵]، برای مکانیابی خرده‌فروشی‌ها ارایه شده است. هدف این مسأله، تعیین مکان مراکز خدماتی بمنظور دستیابی به تعداد بیشینه نقاط تقاضای خدمات-دهی شده است. برای فرمول‌بندی این مسأله، فرض شده است که تمامی مراکز، یک نوع خدمات ارایه کرده و نقاط تقاضا جهت دریافت خدمات به نزدیکترین مرکز خدماتی مراجعه می‌کنند. این مسأله و نحوه حل آن بعنوان نمونه-ای از مسایل تصمیم‌گیری، بیانگر چگونگی استفاده از مسأله P-میانه در یک تصمیم‌گیری مکانی است.

در مسأله میانه اگر مسأله به‌گونه‌ای طرح شود که P مرکز خدماتی بتوانند هر مکانی در فضای پیوسته را شامل شوند، بهینه‌سازی این مسأله سخت بوده و جزو مسایل از کلاس NP-سخت طبقه‌بندی می‌شود [۱۳]. محدود کردن مناطق دارای امکان احداث مراکز خدماتی به نقاط شبکه یا نقاط خاص از پیش تعیین شده که شامل تعداد محدود N نقطه می‌باشد، حالات انتخاب P مرکز را به $\binom{N}{p} = \frac{N!}{p!(N-p)!}$ حالت کاهش داده، تا حدودی حل مسأله را ساده‌تر می‌کند.

۳- مکانیابی و تخصیص منابع با روش میانه پویا

روش میانه پویا برای حل تمامی مسائلی که با میانه استاندارد قابل حل بوده و در آن تقاضا در طول زمان و با روندی قابل پیش‌بینی تغییر می‌پذیرد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در یک منطقه با مراکز خدماتی، تقاضا برای خدمات در هر بازه زمانی تغییر می‌کند. در این نوع مسائل فرض بر این است که تقاضا در هر نقطه می‌تواند وابسته به زمان و با مدلی خاص تغییر پذیرد و نیز تعدادی مراکز

۳-۲- حل مسأله با جستجوی مستقیم

مسأله مورد بررسی، برای حالت $j=1$ تبدیل به یک مسأله ساده ۱-میان به یک مرکز خدماتی می شود. زمانی که $j=2$ شود، مسأله به حالت ۲-میان تبدیل می شود که هر دو این مسائل به سادگی قابل حل اند. اما در حالت پویا یک ارتباط از نوع وابستگی بین آنها وجود دارد که باعث می شود مسأله دوم به صورت مستقل قابل حل نباشد زیرا یکی از مراکز در مسأله ۲-میان. بایستی همان مرکز مورد استفاده مسأله ۱-میان باشد. برای درک بهتر چگونگی استفاده از روش میان پویا برای حل مسأله، در این بخش مسأله میان پویا با دو مرکز خدماتی مورد بررسی قرار می گیرد.

برای حل مسأله فرض کنید هر دو مکان مراکز خدماتی معلوم باشد. هدف مسأله ۲-میان با تقسیم نقاط تقاضا به دو دسته و ارجاع هر سری از نقاط تقاضا به یکی از دو مرکز موجود حاصل می شود. اولین مرکز خدماتی بایستی در طول دوره زمانی اول به کل نقاط تقاضا خدمات دهد اگر n تعداد نقاط تقاضا باشد، تعداد $\frac{n(n-1)}{2}$ انتخاب برای تقسیم نقاط تقاضا به دو دسته I_1 که مربوط به مرکز خدماتی اول و I_2 مربوط به مرکز خدماتی دوم است، وجود دارد. با توجه به مطالب یاد شده، واضح است که تعداد $n(n-1)$ نوع تقسیم بندی قابل اجراست زیرا هر یک از دو سری نقاط می تواند مربوط به مرکز خدماتی اول یا دوم باشد.

پس از انجام تقسیم بندی، برای یافتن بهترین مکان برای مراکز ۱ و ۲، با دو مسأله ۱-میان مواجه هستیم. تابع هدف برای انتخاب بهترین مکان برای مرکز اول به صورت رابطه (۱۱) بیان می شود.

$$F(x, y) = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n w_{ij} \min \{d_{ik}(x, y)\} \quad (11)$$

که \bar{w}_i به صورت زیر تعریف می شود.

$$\bar{w}_i = \begin{cases} w_{i1} + w_{i2} & \text{اگر } i \in I_1 \\ w_{i1} & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

تابع هدف برای بهترین مکان مرکز دوم با رابطه (۱۲) بیان می شود.

$$\sum_{i \in I_2} w_{i2} d_{i2}(x, y) \quad (12)$$

خدماتی موجود بوده و تعدادی دیگر بسته به نیاز محیط در طول زمان اضافه می شود ولی تغییر مکان برای این مراکز خدماتی به دلیل بالا بودن هزینه امکان پذیر نیست. مواردی مانند ساخت مدارس، بیمارستانها و سایر تصمیمات می تواند جزء این دسته مسائل طبقه بندی گردد. در این بخش هدف تعیین بهترین مکان برای احداث این مراکز به منظور بهینه سازی هزینه حمل و نقل در طول زمان است [۱۶] و [۱۷].

۳-۱- فرمول بندی مسأله میان پویا

برای افق زمانی $[0, T]$ ، n تعداد کل نقاط تقاضا است که موقعیت آن برای هر نقطه تقاضای i که $i=1, 2, \dots, n$ است، به صورت زوج مرتب (a_i, b_i) نشان داده می شود. وزن مربوط به هر یک از نقاط تقاضا وابسته به زمان بوده و با نماد $w_i(t)$ برای هر نقطه تقاضای i و $0 \leq t \leq T$ نمایش داده می شود. تعداد p مرکز خدماتی برای احداث در زمان مورد نظر برنامه ریزی شده است. مرکز خدماتی j در زمان t_j احداث می شود. متغیرهای موقعیت مراکز خدماتی به صورت (x_j, y_j) هستند که برای هر $j=1, 2, \dots, p$ باید تعیین شوند. فاصله بین نقطه تقاضای i و مرکز خدماتی j با نماد $d_{ij}(x, y)$ مشخص می شود. برای بازه زمانی $t_j \leq t \leq t_{j+1}$ با یک مسأله j -میان مواجه هستیم به این معنی که تابع $F_j(x, y)$ طبق رابطه (۷) باید کمینه شود.

$$F_j(x, y) = \int_{t_j}^{t_{j+1}} \sum_{i=1}^n w_i(t) \min \{d_{ik}(x, y)\} dt \quad (7)$$

با تعریف w_{ij} به صورت رابطه (۸) و با تعویض انتگرال با حاصل جمع به رابطه (۹) می رسیم.

$$w_{ij} = \int_{t_j}^{t_{j+1}} w_i(t) dt \quad (8)$$

$$F_j(x, y) = \sum_{i=1}^n w_{ij} \min \{d_{ik}(x, y)\} \quad (9)$$

بنابراین حل مسأله مستلزم کمینه سازی تابع $F(x, y)$ است که مجموع تمامی $F_j(x, y)$ ها به ازای $j=1, 2, \dots, p$ است (رابطه ۱۰).

$$F(x, y) = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n w_{ij} \min \{d_{ik}(x, y)\} \quad (10)$$

با توجه به مطالب یاد شده، مقدار تابع هدف برای مرکز خدماتی اول مجموع وزندار فاصله اقلیدسی تمامی نقاط تقاضا از مرکز خدماتی اول برای بازه زمانی [۰،۵]، بعلاوه مجموع وزندار فاصله اقلیدسی آن دسته از نقاط تقاضای ارجاع داده شده به مرکز خدماتی اول برای بازه زمانی [۶،۱۰] است. به همین ترتیب مقدار تابع هدف برای مرکز خدماتی دوم برابر با مجموع وزندار فاصله اقلیدسی آن دسته از نقاط تقاضای ارجاع داده شده به مرکز خدماتی دوم برای بازه زمانی [۶،۱۰] است. در نهایت تابع هدف برای این مسأله، مجموع توابع هدف مرکز خدماتی اول و مرکز خدماتی دوم بوده که با کمینه شدن این تابع، بهترین مکانها برای تأسیس مراکز خدماتی جهت بهترین خدمات رسانی برای بازه زمانی [۰،۱۰] حاصل می شود. مکانهای انتخاب شده ممکن است برای بازه های زمانی کوچک بهترین مکان نبوده ولی برای کل بازه زمانی مورد نظر پروژه بهترین مکانها برای ارائه خدمات هستند.

برای مسأله نمونه طرح شده، به دلیل کم بودن تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی مورد نیاز، می توان تمامی حالت های ممکن تقسیم بندی نقاط تقاضا به دو دسته مجزا جهت ارجاع به مراکز خدماتی برای بازه زمانی [۶،۱۰] را بررسی کرد. تعداد کل حالت های تقسیم چهار نقطه تقاضا به دو دسته، یعنی شش حالت می باشد. با توجه به امکان ارجاع هر حالت به هر یک از مراکز اول یا دوم، تعداد کل حالت های ارجاع ۱۲ حالت خواهد شد. تمامی حالت های ممکن ارجاع، در ستون اول و دوم جدول ۳ آمده اند. حال بایستی برای هر دسته از نقاط تقسیم شده، با استفاده از روابط مربوط به مسأله میانه که در بخش ۱ بررسی شد، بهترین مکان برای مرکز خدماتی مربوطه تعیین شود. از آنجاییکه برای هر دسته از نقاط، یک مرکز خدماتی تعیین مکان می شود، بنابراین برای هر حالت با دو مسأله ۱- میانه مواجه ایم. مختصات محاسبه شده برای مکان مراکز خدماتی با بهره گیری از روش میانه، در ستون سوم و چهارم جدول ۳ دیده می شوند. پس از مشخص شدن مکان دو مرکز خدماتی برای هر یک از حالت های ممکن، توابع هدف مربوط به هر مرکز خدماتی و مجموع آنها با بهره گیری از روابط (۱۱) و (۱۲) قابل محاسبه است. نتایج عددی این محاسبات در ستونهای پنج تا هفت جدول ۳ آمده است.

حال آن تقسیم بندی که منجر به کمترین مقدار مجموع توابع هدف روابط (۱۱) و (۱۲) شود، به عنوان بهترین راه حل معرفی می شود.

برای مثال فرض کنید مسأله بصورت منطقه ای با چهار نقطه تقاضا تعریف شود. هر نقطه تقاضا دارای وزنی متناسب با میزان تقاضایش بوده که تابعی مشخص از زمان است. بازه زمانی [۰، ۱۰] زمان مورد بررسی پروژه برای احداث دو مرکز خدماتی در منطقه در نظر گرفته شده است. هدف مسأله تعیین مکان مناسب جهت احداث مرکز خدماتی اول در زمان $t=0$ و مرکز خدماتی دوم در زمان $t=5$ است. مختصات نقاط تقاضا و تابع تغییرات تقاضا بر حسب زمان برای هر یک از نقاط تقاضا در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات نقاط تقاضا برای مسأله نمونه اول

شماره نقطه تقاضا	مختص x	مختص y	تغییرات تقاضا در زمان
۱	۰	۰	۵۰
۲	۱	۰	$15+5t$
۳	۰	۱	$50-0.3t^2$
۴	۱	۱	$10t$

با استفاده از رابطه (۸) و تابع تغییرات تقاضا بر حسب زمان مندرج در ستون چهارم جدول ۱، برای بازه های زمانی [۰،۵] و [۶،۱۰]، وزن نقاط تقاضا بصورت جدول ۲ محاسبه می شود.

جدول ۲- وزن های محاسبه شده برای هر یک از نقاط تقاضا در دو

پریود زمانی

شماره نقطه تقاضا	W_{i1}	W_{i2}
۱	۲۵۰	۲۵۰
۲	۱۳۷،۵	۲۶۲،۵
۳	۲۳۷،۵	۱۶۲،۵
۴	۱۲۵	۳۷۵

مرکز خدماتی اول در بازه زمانی [۰،۵] بعنوان تنها مرکز خدماتی موجود در منطقه، موظف به ارائه خدمات به تمام نقاط تقاضا است. در زمان $t=5$ با تأسیس مرکز خدماتی دوم، برای بازه زمانی [۶،۱۰]، با دو مرکز خدماتی مواجه بوده که هر یک تعدادی از نقاط تقاضا را خدمات دهی می کنند.

جدول ۳- تقسیم‌بندی‌های ممکن و توابع هدف آنها

نقاط ارجاعی به مرکز اول	نقاط ارجاعی به مرکز دوم	موقعیت مرکز اول	موقعیت مرکز دوم	تابع هدف مرکز اول	تابع هدف مرکز دوم	تابع هدف کل مسأله
۱،۲	۳،۴	(۰،۱۲۴ ۰،۲۰۲)	(۱،۰۰۰ ۱،۰۰۰)	۸۰۳،۲	۱۶۲،۵	۹۶۵،۷
۳،۴	۱،۲	(۰،۸۱۱ ۰،۵۶۷)	(۰،۰۰۰ ۱،۰۰۰)	۸۴۹،۱	۲۵۰	۱۰۹۹،۱
۱،۳	۲،۴	(۰،۱۵۷ ۰،۰۶۷)	(۱،۰۰۰ ۱،۰۰۰)	۷۱۰،۹	۲۶۲،۵	۹۷۳،۴
۲،۴	۱،۳	(۰،۶۱۸ ۰،۷۶۳)	(۰،۰۰۰ ۰،۰۰۰)	۹۳۷،۷	۱۶۲،۵	۱۱۰۰،۲
۱،۳،۴	۲	(۰،۶۳۶ ۰،۳۶۴)	(۰،۰۰۰ ۱،۰۰۰)	۱۰۶۲،۴	۰	۱۰۶۲،۴
۲	۱،۳،۴	(۰،۲۲۳ ۰،۶۴۹)	(۰،۹۴۱ ۰،۸۸۶)	۶۸۴،۹	۵۱۵،۵	۱۲۰۰،۵
۱،۲،۴	۳	(۰،۴۱۷ ۰،۵۸۲)	(۱،۰۰۰ ۰،۰۰۰)	۱۱۴۸،۵	۰	۱۱۴۸،۵
۳	۱،۲،۴	(۰،۹۴۱ ۰،۰۳۷)	(۰،۴۲۶ ۰،۸۱۳)	۵۶۹،۰	۵۷۸	۱۱۴۷،۰
۱،۲،۳	۴	(۰،۲۳۴ ۰،۲۳۴)	(۱،۰۰۰ ۱،۰۰۰)	۹۴۱،۶	۰	۹۴۱،۶
۴	۱،۲،۳	(۰،۹۳۶ ۰،۹۱۸)	(۰،۱۱۸ ۰،۲۲۰)	۷۲۷،۵	۴۱۷۲	۱۱۴۴،۷
۲،۳،۴	۱	(۰،۶۶۴ ۰،۶۶۴)	(۰،۰۰۰ ۰،۰۰۰)	۱۰۶۷،۷	۰	۱۰۶۷،۷
۱	۲،۳،۴	(۰،۰۰۰ ۰،۰۰۰)	(۱،۰۰۰ ۱،۰۰۰)	۵۵۱،۸	۴۲۵	۹۷۶،۸

نتایج عددی حل دو حالت مسأله نمونه جهت مقایسه در جدول ۴ آمده است.

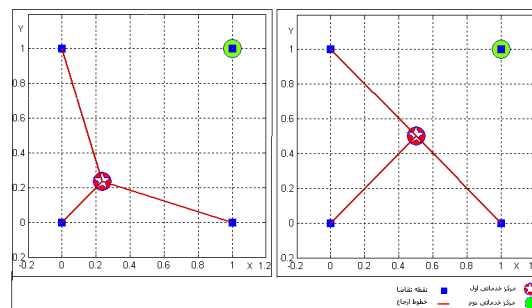
جدول ۴- نتایج عددی حل مسأله نمونه اول در دو حالت امکان و عدم امکان پیش‌بینی مراکز خدماتی بعدی

تابع هدف برای کل مسأله	تابع هدف برای مرکز اول	مختصات مرکز دوم (۱،۰۰۰ ۱،۰۰۰)	مختصات مرکز اول (۰،۲۳۴ ۰،۲۳۴)	تابع هدف برای کل مسأله	تابع هدف برای مرکز اول (۱،۰۰۰ ۱،۰۰۰)
۹۴۱،۶	۱۳۴۷،۵	(۱،۰۰۰ ۱،۰۰۰)	(۰،۲۳۴ ۰،۲۳۴)	۱۰۰۷،۶	۱۲۷۲،۸

با توجه به جدول ۴، تابع هدف مربوط به کل مسأله، برای مسأله اول مقدار کوچکتری از مسأله دوم دارد. حال آنکه تابع هدف مرکز خدماتی اول، در صورت در نظر گرفتن خدمات‌رسانی به تمامی نقاط تقاضا برای کل بازه زمانی پروژه، برای مسأله دوم مقدار کوچکتری از مسأله اول دارد. کوچکی مقدار تابع هدف نشانگر بهتر بودن نحوه خدمات‌رسانی است. به بیان دیگر مرکز خدماتی اول برای خدمات‌دهی به چهار مرکز برای کل بازه زمانی پروژه در مسأله دوم وضعیت بهتری داشته ولی با افزایش مرکز خدماتی دوم، وضعیت آرایش دو مرکز و نحوه خدمات‌دهی در مسأله اول وضعیت بهتری دارد.

در نهایت با تعیین کمترین مقدار تابع هدف مسأله، بهترین مکانها برای مراکز خدماتی اول و دوم و نیز نحوه ارجاع نقاط تقاضا به هر یک از مراکز خدماتی تعیین می‌شود. برای این مسأله با توجه به کمترین مقدار مندرج در ستون آخر جدول ۳، که مربوط به حالت نهم تقسیم‌بندی نقاط تقاضاست، بهترین مکان برای مرکز خدماتی اول، مکان متناظر با مختصات (۰،۲۳۴ ، ۰،۲۳۴) بوده که بایستی در بازه زمانی اول (۰،۵] پاسخگوی نیازهای خدماتی هر چهار نقطه تقاضا باشد. مرکز خدماتی اول در بازه زمانی بعدی (۰،۵]، پس از احداث مرکز خدماتی دوم در مکان متناظر با مختصات (۱ ، ۱)، تنها به مراکز خدماتی ۱، ۲ و ۳ خدمات‌رسانی کرده و آرایه خدمات برای نقطه تقاضای ۴ بر عهده مرکز خدماتی دوم است.

شکل ۱ چگونگی آرایش مراکز خدماتی و نقاط تقاضا را برای دو حالت حل مسأله نمونه اول در شرایط امکان و عدم امکان پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی بعدی نشان می‌دهد.



شکل ۱- راست: حل مسأله نمونه در شرایط عدم امکان پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی دوم، چپ: حل مسأله نمونه با پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی دوم

روش برای حل مسایلی با تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی بیشتر تشریح می‌شود. برای مدلسازی هوشمند از الگوریتم ژنتیک بعنوان یکی از روشهای کارا برای حل مسایل بهینه‌سازی بهره گرفته شده است. از آنجاییکه برای این مسأله تعداد کل مراکز خدماتی مورد نیاز و زمان احداث هر یک مشخص بوده، بنابراین بمنظور حفظ کارایی تمامی مراکز خدماتی در تمامی بازه‌های زمانی، تعیین مکان مناسب احداث مراکز خدماتی بصورت همزمان و با در نظر گرفتن کل زمان پروژه صورت می‌گیرد.

۴-۱- تشریح روش پیشنهادی

عناصر اصلی الگوریتم ژنتیک برای روش پیشنهادی حل این مسأله در این قسمت بیان می‌شود. هر کروموزوم از $2P$ ژن تشکیل شده است. ژنهای کروموزوم معرف مختصات مراکز خدماتی بوده و هر ژن یک مختص از مکان یک مرکز خدماتی را شامل می‌شود (شکل ۳).

X_1	Y_1	X_2	Y_2		...		Y_{p-1}	X_p	Y_p
-------	-------	-------	-------	--	-----	--	-----------	-------	-------

شکل ۲- ساختار کروموزوم الگوریتم ژنتیک برای روش پیشنهادی

کدگذاری با اعداد صحیح انجام شده زیرا هر یک از ژنها نشانگر یک مختص از مرکز خدماتی بوده که هر مقدار دلخواهی در فضای پیوسته اقلیدسی را می‌تواند داشته باشد. در این تحقیق از جابجایی تک نقطه‌ای استفاده شده است.

تابع هدف برای این مسأله مطابق رابطه (۱۳) است.

$$OF = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^l S_{ijk} \sqrt{(x_i - X_k)^2 + (y_i - Y_k)^2} \int_{t_j}^{t_{j+1}} w_i(t) dt \quad (13)$$

در این رابطه X_i و Y_i مختصات نقطه تقاضای i ام و X_k و Y_k مختصات مرکز خدماتی k ام است. S_{ijk} متغیر تصمیم‌گیری بوده که در صورت اختصاص نقطه تقاضای i به مرکز خدماتی k و در زمان j مقدار آن یک و در غیر این صورت مقدارش صفر است. در نهایت با کمینه‌سازی این تابع مجموع فواصل اقلیدسی نقاط تقاضا از مراکز خدماتی ارجاع داده شده برای هر نقطه کمینه می‌شود.

این تابع با در نظر گرفتن نقاط تقاضا و مراکز خدماتی موجود برای هر یک از بازه‌های زمانی مورد بررسی، در هر زمان نزدیکترین مرکز خدماتی موجود را به هر یک از

تفاوت عمده این مسأله با مسأله اول، در این است که در مسأله اخیر بدلیل عدم امکان پیش‌بینی احداث سایر مراکز خدماتی، در تعیین مکان بهینه برای مرکز اول، مسأله ۱-میان با کمینه‌سازی مجموع فواصل اقلیدسی تمام نقاط تقاضا تا مرکز خدماتی برای کل بازه زمانی پروژه، حل می‌شود. مکان تعیین شده برای مرکز اول بهترین مکان برای احداث یک مرکز برای کل بازه مورد نظر پروژه است. در مرحله بعدی هنگامی که در بازه زمانی دوم احداث مرکز خدماتی بعدی مطرح می‌شود، به دلیل عدم در نظر گرفتن این امر در مرحله اول، مکان تعیین شده در مرحله دوم برای مرکز خدماتی دوم چندان مناسب نمی‌باشد. در نهایت، تابع هدف مقدار بیشتری نسبت به تابع هدف مسأله قبلی داشته که نشانگر این مطلب است که در مجموع بازه زمانی مورد نظر پروژه، جواب مسأله اول مناسب‌تر است.

۴- روش پیشنهادی

همانطور که در بخش قبل ملاحظه شد، وقتی مسأله تبدیل به حالت p -میان شود، با افزایش p ، حجم محاسبات و حالات مختلف تقسیم‌بندی به‌صورت نمای افزایش یافته و مسأله پیچیده‌تر می‌شود. این مسأله نیز مانند بسیاری از مسایل مکانیابی در دسته مسایل NP-سخت دسته‌بندی می‌شود. حجم محاسبات برای حل چنین مسأله‌ای حتی با تعداد اندک نقاط تقاضا، نسبتاً زیاد بوده و با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی، تعداد حالت‌های ممکن مسأله و در نتیجه حجم محاسبات به‌شدت افزایش می‌یابد. برای حل این مشکل در روش پیشنهادی، از هوش مصنوعی بهره گرفته شده است. روش ارایه شده با هدایت جستجو به سمت جواب بهینه، بدون نیاز به بررسی تمامی حالت‌های ممکن مسأله بهترین جواب مسأله را پیدا می‌کند. گرچه با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی، حجم محاسبات و زمان جستجو برای این روش نیز افزایش می‌یابد، ولی به دلیل ماهیت روشهای جستجوی هوشمند این افزایش برخلاف آنچه که در روشهای جستجوی مستقیم رخ می‌دهد، شدید و بصورت نمایی نیست.

در این بخش نحوه مدلسازی هوشمند چنین مسایلی بمنظور کاهش حجم محاسبات و توانایی استفاده از این

نقاط تقاضا ارجاع می‌دهد. به این ترتیب الگوریتم پیشنهادی با کمینه‌سازی این تابع بهترین مکانها را برای مراکز خدماتی احداثی در هر زمان تعیین کرده، بطوریکه هر مرکز علاوه بر حفظ کارایی مناسب برای بازه زمانی احداث شده، بهترین کارایی را برای بازه‌های زمانی بعدی با در نظر گرفتن مراکز جدید نیز داشته باشد.

۲-۴- حل مسأله با روش پیشنهادی

به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی در حل مسایلی با پیچیدگی بیشتر، مسأله مطرح شده در بخش ۳-۲، با افزایش تعداد نقاط تقاضا به پانزده نقطه و با ثابت در نظر گرفتن سایر اطلاعات مسأله و بازه زمانی مورد بررسی پروژه، با روش پیشنهادی حل می‌شود.

مختصات پانزده نقطه تقاضا و تابع تغییرات تقاضا بر حسب زمان برای هر یک از نقاط تقاضا در جدول ۵ درج شده است.

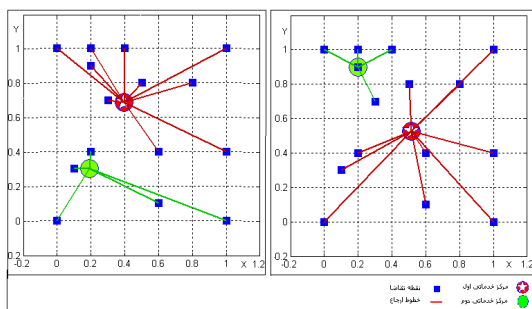
جدول ۵- مشخصات نقاط تقاضا برای مسأله نمونه دوم

شماره نقطه تقاضا	مختص x	مختص y	تغییرات تقاضا در زمان
۱	۰	۰	۵۰
۲	۱	۰	$15+5t$
۳	۰	۱	$50-0,3t^2$
۴	۱	۱	$10t$
۵	۰,۶	۰,۱	$20+4t$
۶	۰,۶	۰,۴	$15+5t+0,1t^2$
۷	۰,۲	۱	$10+4t+0,2t^2$
۸	۱	۰,۴	$20+0,2t+0,3t^2$
۹	۰,۴	۱	$7t$
۱۰	۰,۵	۰,۸	$30+4t$
۱۱	۰,۳	۰,۷	$45+t+0,1t^2$
۱۲	۰,۲	۰,۹	$8+12t+0,3t^2$
۱۳	۰,۲	۰,۴	$2+10t$
۱۴	۰,۱	۰,۳	$20+t+0,5t^2$
۱۵	۰,۸	۰,۸	$60+t$

مسأله نمونه دوم نیز برای دو حالت امکان و همچنین عدم امکان پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی بعدی و زمان احداث آنها، با بهره‌گیری از روش پیشنهادی بر پایه روشهای هوشمند، بدون نیاز به جستجوی تمام فضای جواب، حل شده است.

جهت استفاده از روش مذکور، تعداد جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک ۱۰۰ و شرط توقف الگوریتم کمتر شدن فاصله بین نتایج دو نسل متوالی از ۰,۰۰۱ فرض

شده است. طول کروموزوم به اندازه دو برابر تعداد مراکز خدماتی و برابر با چهار ژن و تابع هدف مطابق رابطه یاد شده در بخش ۴-۲ در نظر گرفته شده است. مکانهای تعیین شده برای مراکز خدماتی و نیز نحوه ارجاع نقاط تقاضا در بازه زمانی دوم برای دو حالت حل مسأله در شرایط امکان و عدم امکان پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی دوم، مطابق شکل ۴ است.



شکل ۳- راست: حل مسأله نمونه دوم با پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی دوم، چپ: حل مسأله نمونه دوم در شرایط عدم امکان پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی دوم

نتایج عددی حاصل از حل این مسأله با روش پیشنهادی برای دو حالت مذکور در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶- نتایج عددی حل مسأله نمونه دوم در دو حالت امکان و عدم امکان پیش‌بینی مراکز خدماتی بعدی

تابع هدف برای کل مسأله	تابع هدف برای مرکز اول	مختصات مرکز دوم	مختصات مرکز اول	
۲۷۳۰,۶	۳۳۴۲,۷	(۰,۹۰۰) (۰,۲۰۰)	(۰,۵۲۶) (۰,۵۱۳)	مسأله اول (امکان پیش‌بینی)
۲۸۰۴,۹	۳۱۶۸,۴	(۰,۳۰۱) (۰,۱۸۹)	(۰,۶۸۴) (۰,۳۹۳)	مسأله دوم (عدم امکان پیش‌بینی)

بررسی جدول ۶ نیز نشانگر بهبود نتایج حاصل از حل مسأله در حالت امکان پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی بعدی نسبت به حالت عدم امکان پیش‌بینی، برای کل بازه زمانی مورد نظر مسأله بوده که با توجه به توضیحات ارائه شده، این امر منطقی است.

با روش پیشنهادی ارائه شده بر پایه الگوریتم ژنتیک، می‌توان مسایل پیچیده‌تری را نیز بدون نیاز به بررسی تمامی حالت‌های ممکن که بصورت نمایی وابسته به تعداد نقاط تقاضای مسأله افزایش می‌یابند، حل کرد.

۵- نتیجه‌گیری

نیاز است که روشی مناسب‌تر جایگزین روش معمول، برای جستجوی سریعتر، شود. بنابراین برای حل مشکل مذکور، روشی پیشنهادی براساس الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله ارائه شد. الگوریتم پیشنهادی با کمینه‌سازی تابع هدف، بهترین مکان‌ها را برای مراکز خدماتی احداثی در هر زمان تعیین کرده، بطوریکه هر مرکز علاوه بر حفظ کارایی مناسب برای بازه زمانی احداث شده، بهترین کارایی را برای بازه‌های زمانی بعدی با در نظر گرفتن مراکز جدید نیز داشته باشد.

برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، یک مسأله نمونه از نوع NP-Complete، که با روشهای معمول به سختی قابل حل بوده، با بهره‌گیری از روش مذکور و به دو صورت ایستا و پویا حل شد. نتایج حاصل از دو حالت پیاده‌سازی بصورت کمی مقایسه شدند. نتایج نشانگر کارایی روش حل پیشنهادی در حل مسایل مکانیابی با وجود مدل تغییرات تقاضا در زمان می‌باشد.

در این مقاله دسته‌ای از مسایل مکان‌یابی از نوع p -میانه بررسی و به صورت پویا فرمول‌بندی شد. در مسایل مکانیابی پویا فرض بر این است که تقاضا در هر نقطه می‌تواند وابسته به زمان و با مدلی خاص تغییر پذیرد و نیز تعدادی مراکز خدماتی موجود بوده و تعدادی دیگر بسته به نیاز محیط در طول زمان اضافه می‌شود. ارزیابی کمی برای دو حالت حل مسأله بصورت ایستا و پویا یا امکان و عدم امکان پیش‌بینی احداث مراکز آتی، صورت پذیرفت. نتایج ارزیابی نشانگر بهبود نتایج حاصل از حل مسأله در حالت امکان پیش‌بینی احداث مراکز خدماتی بعدی نسبت به حالت عدم امکان پیش‌بینی، برای کل بازه زمانی مورد نظر مسأله بوده که با توجه به توضیحات ارائه شده، این امر منطقی است. حل مسأله به روش پویا نشان داد که علی‌رغم کارایی این روش، روند محاسباتی بالایی داشته و

مراجع

- [1] D.A. Schilling (1980) Dynamic location modeling for public-sector facilities: A multicriteria approach, *Decision Sciences* 11, 174-724.
- [2] M. Bischoff and K. Klamroth, (2008) Two branch and bound methods for a generalized class of location-allocation problems, in Technical Report No. 313, Institute of Applied Mathematics, University of Erlangen, Nürnberg.
- [3] J. Current, H. Min, D. Schilling, (1990) Multiobjective analysis of facility location decisions, *European Journal of Operational Research* 49, 295-307.
- [4] A. Weber (1929) Alfred Weber's Theory of the Location of Industries, University of Chicago.
- [5] S.L. Hakimi (1964) Optimum location of switching centers and he absolute centers and medians of a graph, *Operations Research* 12, 450-459.
- [6] S.H. Owen, M.S. (1998) Daskin, Strategic facility location: A review, *European Journal of Operational Research* 111, 423-447.
- [7] D.A. Schilling, V. Jayaraman, R. Barkhi, (1993) A review of covering problem in facility location, *Location Science* 1 (1), 25-55.
- [8] J.A. White, K.E. Case, (1974) On covering problems and he central facilities location problem, *Geographical Analysis* 6, 281-293.
- [9] Hosage, C.M., Goodchild, M.F. (1986) Discrete space location-allocation solution from genetic algorithms. *Annals of operational research*, vol. 6, pp. 35-46.
- [10] Moreno-Perez, J.A., Moreno-Vega, J.M., Mildenovic, N. (1994) Tabu search and simulated annealing in p -median problems. Talk at the Canadian operational research society conference, Montreal.
- [11] Dibble, C., Densham, P.J. (1993) Generating interesting alternatives in GIS and SDSS using genetic algorithms. GIS/LIS symposium, University of Nebraska, Lincoln.

- [12] O. Alp, E. Erkut, , and Z. Drezner, (2003) An effective genetic algorithm for the p-median problem, Annals Of Operations Research, 122(1-4), pp. 21-42.
- [13] R.L. Church, C.S. ReVelle (1976) Theoretical and computational links between the p-median location set-covering and the maximal covering location problem, Geographical Analysis, 8, 406-415.
- [14] S.L. Hakimi (1964) Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, Operations Research, 12, 450-459.
- [15] C. ReVelle (1986) The maximum capture or 'sphere of influence' location problem: Hotelling revisited on a network, Journal of Regional Science, 26 (2), 343-358.
- [16] Z. Drener, (1995) Dynamic facility location: the progressive p-median problem. Location Science 3, 1-7.
- [17] Z. Drenzer, (1995) On the conditional p-median problem, Computer and Operations Research 22, 525-530.
- [18] Beasley, D., Bull, D.R., Martin, R.R., (1993) An overview of genetic algorithms, in Univ. computing, 15, 170-181.