کاربرد الگوریتم مورچگان در توسعه مدل مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری

عمار ناظریان*، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران،
*ammarn60@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: دی ۹۰ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۹۱

چکیده
عدم مکان‌یابی مناسب پایانه‌ها یکی از مهم‌ترین مسائلی است که برخی از شهرها با آن روبه‌رو هستند. به گونه‌ای که این اشتباه هزینه‌های اضافی فراوانی در زمینه‌های تراکم ترافیکی، آلودگی هوا، اتلاف زمان طولانی در مسیر سفر افراد، افزایش مصرف سوخت و استهلاک وسایل نقلیه و غیره، در بر خواهد داشت. در این مقاله، روش جدیدی ارائه می‌گردد که تلفیقی از روش‌های کمی و کیفی مکان‌یابی است به گونه‌ای که معایب هیچ‌یک از روش‌های مطروحه را نخواهد داشت. روش پیشنهادی از جمله روش‌های مکان‌یابی پی- میانه بوده و با استفاده فراابتکار مورچگان کمینه- بیشینه و جستجوی همسایه، روشی مناسب برای حل مساله ارائه می‌گردد. از آن‌جائی‌که تاکنون مساله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری، توسط الگوریتم‌های مذکور بهینه‌یابی نگردیده است، لذا متناسب با مساله، تغییراتی در ساختار اولیه الگوریتم ایجاد می‌گردد. در نهایت روش ارائه شده بر روی شبکه شهر اصفهان پیاده سازی گردیده و نتایج مطلوبی به‌دست آمد این نتایج نشان داد که با مکان‌یابی مناسب در زمان احداث پایانه‌ها مجموع زمان دسترسی مسافران تا ۳۷% قابلیت بهبود داشته است.

واژه های کلیدی : مکان‌یابی، پی- میانه، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، الگوریتم مورچگان کمینه- بیشینه، جستجوی محلی

۱- مقدمه

رشد جمعیت و توسعه شهرها نیاز به جابه‌جایی را در شهرها ایجاد می نماید. در نتیجه این افزایش تقاضا و کمبود تسهیلات، می‌بایست کارایی سیستم حمل و نقل افزایش یابد. سیستم حمل و نقل از یک دیدگاه کلی به دو بخش تقسیم می گردد: عمومی و خصوصی. برای افزایش کارایی سیستم حمل و نقل، می‌بایست سیستم حمل و نقل همگانی را بهبود بخشید. یک طراحی صحیح و مناسب سیستم حمل و نقل همگانی می تواند سبب افزایش سطح خدمات و کاهش مشکلات مطروحه گردد[۱]. اصولا طراحی سیستم حمل و نقل همگانی دارای دو بخش است:

- تعیین ساختار شبکه
  (تعیین نقاط ابتدایی و انتهایی و نیز مسیریابی)
- تعیین برنامه عملکردی
  (تخصیص ناوگان به مسیر و زمان‌بندی و برنامه حرکت)

در مورد سفرهای بین شهری که مسیرها عمدتا ثابت بوده و بر اساس کوتاه‌ترین زمان و کمترین هزینه سفر انتخاب می‌شوند، تعیین نقاط ابتدایی و انتهایی اهمیت بیشتری می‌یابد هدف این مقاله یافتن مجموعه‌ای محدود، از میان تمامی نواحی دارای پتانسیل، به‌نحوی است که تعداد پایانه‌ها، کنترل کننده عدم تجاوز حداکثر زمان دسترسی مسافران از مقداری معین باشد و در عین حال مکان بهینه برای پایانه‌ها موقعیت‌هایی باشند که با قرارگیری پایانه‌ها در آن موقعیت‌ها، مجموع زمان دسترسی مسافران به پایانه‌ها در تمامی شبکه به‌علاوه هزینه اولیه احداث پایانه در نواحی انتخاب شده[۱] کمینه گردد.

۲- روش تحقیق

در این مقاله جهت تعیین مکان مناسب برای پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری، در ابتدا تابع هدف جدیدی ارائه می‌گردد که تلفیقی از روش‌های کمی و کیفی است به گونه‌ای که معایب هیچ‌یک از این روش‌ها را نخواهد داشت[۲]. از آن‌جائی‌که مساله مذکور در دسته مسائل چندجمله‌ای نامقید و پیچیده قرار دارد، جهت حل مساله در مدت زمان معقول و مناسب، از الگوریتم تلفیقی فراابتکار مورچگان کمینه- بیشینه[۳] و جستجوی همسایه[۴] استفاده می‌شود و از آن‌جائی‌که تاکنون مساله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری، توسط الگوریتم‌های مذکور بهینه‌یابی نگردیده است، لذا متناسب با مساله، تغییراتی در ساختار اولیه الگوریتم ایجاد می‌گردد.

۱- هزینه اولیه شامل هزینه تملیک زمین، ایجاد راه‌های ارتباطی مورد نیاز و مسائلی از این دست می‌باشد.

۲ - نقص مدل‌های کیفی عدم دقت این مدل‌ها در ارتباط با نحوه و میزان تاثیر فاکتورهای کمی مهمی چون فاصله، زمان و هزینه در یافتن مکان بهینه برای پایانه‌ها می‌باشد. علاوه بر این مدل‌های کیفی تنها قادرند از بین تعداد محدودی ناحیه، نواحی مناسب را انتخاب نمایند و در شهرهای بزرگ، بررسی تمامی نواحی به‌وسیله این مدل‌ها کاری بسیار مشکل، زمانبر و گاه نشدنی می‌باشد. نقص مدل‌های کمی نیز، احتمال به‌روز خطا بدلیل کم بودن تعداد شاخص های دخیل و یا عدم مقایسه توام این شاخص‌ها می باشد.

3- MAX–MIN Ant System

4 - Neighbourhood search

۲-۱- تابع هدف پیشنهادی

فرم عمومی مساله پی میانه به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد که در آن هدف یافتن مکان بهینه برای هر پایانه به گونه‌ای است که زمان یا فاصله دسترسی کل متقاضیان به پایانه‌ها حداقل شود[۴]:

$$Z = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i d_j y_j$$

$$s.t$$

$$\sum_{j \in J} y_j = 1 \qquad \forall i \in I$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \qquad (۱)$$

$$y_j - x_j \le 0 \qquad \forall i \in I, \forall j \in J$$

$$x_j \in \{0.1\} \qquad \forall j \in J$$

$$y_j \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J$$

در رابطه (۱)، i ناحیه دارای تقاضا در شبکه معابر، j ناحیه دارای پتانسیل برای احداث پایانه در شبکه معابر، hi تقاضا در در ناحیهi، dij فاصله زمانی بینi وj وp تعداد پایانه مورد نیاز می‌باشد. اگر ناحیه i به یک پایانه در ناحیه j اختصاص یابد، yij مقداری برابر ۱ و در غیر این صورت برابرصفر خواهد داشت. و xi نیز به این ترتیب که اگر پایانه در ناحیه j قرار گیرد برابر ۱ و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.

جهت مقایسه توام شاخص‌های دخیل در مکان‌یابی، تغییراتی در تابع هدف فوق به‌صورت ذیل اعمال می‌گردد:

از آن‌جائی‌که تمامی پارامترهای کمی دخیل در مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری از جمله هزینه سفر و فاصله دسترسی، ارتباط مستقیم با زمان سفر دارند. لذا از میان پارامترهای کمی، پارامتر زمان سفر، به عنوان عامل اصلی و تعیین کننده در تعیین مکان بهینه برای پایانه‌ها در نظر گرفته شده است. در مورد فاکتورهای کیفی نیز از آن‌جائی‌که این فاکتورها را نمی‌توان با فرمول‌های ریاضی مورد بررسی و ارزیابی قرار داد لذا تنها روش ارزیابی آن‌ها همان روش‌های کمی است.

برای این‌کار در مرحله اول ابتدا مطابق روشAHP[1] ، به کمک مقایسات زوجی ده‌نقطه‌ای، وزن تمامی معیارها اعم از معیار کمی (زمان دسترسی) و کیفی (شامل امکانات زیربنایی و دسترسی، موقعیت جغرافیایی و کاربری ناحیه و قیمت تملیک ناحیه) محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب وزن معیار کمی(α) و مجموع وزن معیارهای کیفی(λ) قابل محاسبه خواهد بود.

در مرحله بعد مساله‌ای جدید تعریف می‌گردد. به‌طوریکه جهت مکان‌یابی پایانه‌ها، تنها متغیرهای کیفی در انتخاب مکان بهینه پایانه موثر باشند. مجددا مطابق روشAHP، وزن معیارها را در این حالت محاسبه نموده و با ادامه روش برای تک‌تک نواحی یک ارزیابی موزون کل در دست خواهد بود. به‌طوریکه مکان‌های با وزن کلی بیشتر، پتانسیل بیشتری برای احداث پایانه خواهند داشت. حال چنانچه مقادیر به‌دست آمده معکوس گردند، می توان از این مقادیر به عنوان هزینه اولیه هر ناحیه (W)، در مدل ریاضی مکان‌یابی استفاده نمود. در نهایت به منظور تلفیق و قابل مقایسه شدن معیارهای با ابعاد مختلف در مساله مینیمم سازی، و یکسان باقی ماندن ترتیب نسبی نتایج از روش بی مقیاس کردن خطی استفاده می‌گردد[۲]:

$$n_i = \frac{r_i}{max r_i} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، n_i مقدار بی‌بعد شده معیار r_i است. بنابراین فرم ریاضی تابع هدف به‌صورت رابطه (۳) پیشنهاد می‌شود. بدین ترتیب در تابع هدف مساله، علاوه بر مجموع زمان دسترسی مسافران، فاکتورهای کیفی دخیل در مکان‌یابی نیز به‌صورت هزینه اولیه احداث پایانه در هر ناحیه، لحاظ شده اند.

$$Z = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i \frac{\alpha d_j}{\max d} y_j + \sum_{j \in J} x_j \frac{\lambda W_j}{\max W}$$

$$s.t$$

$$\sum_{j \in J} y_j = 1 \qquad \forall i \in I$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \qquad (۳)$$

$$y_j - x_j \le 0 \qquad \forall i \in I, \forall j \in J$$

$$x_j \in \{0.1\} \qquad \forall j \in J$$

$$y_j \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J$$

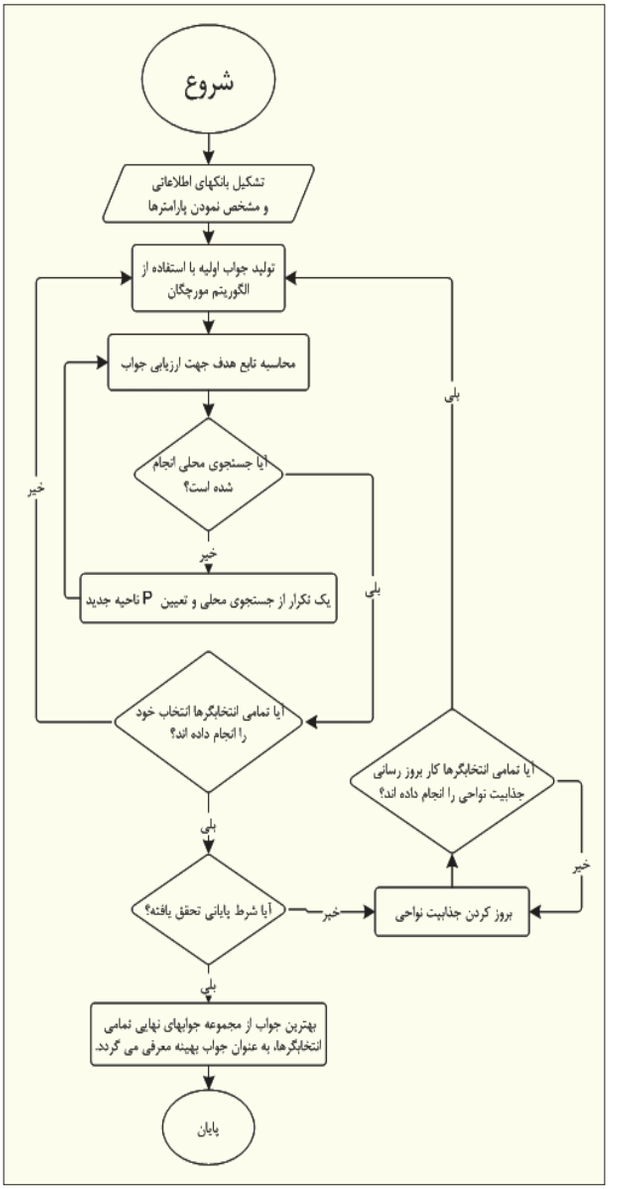
در رابطه (۳)، Wj هزینه ثابت به‌دست آمده از AHP برای ناحیه j ، Max d بیشترین زمان سفر ممکن بین دو ناحیه در شبکه وMax W بیشترین هزینه ثابت از بین تمامی نواحی در شبکه است.

۲-۲- فرآیند تحقیق

در مورد مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری می‌توان با استفاده از الگوریتم مورچگان کمینه – بیشینه در مدت زمانی کوتاه به جواب قابل قبولی دست پیدا کرد. بدین منظور در هر تکرار از الگوریتم، پس از انتخاب احتمالی جواب اولیه (مجموعه نواحی انتخاب شده)، با استفاده از یک جستجوی همسایه بزرگ، جواب انتخابی بهبود خواهد یافت و سپس با استفاده از مکانیزم خاص، احتمال انتخاب نواحی موجود، در جواب بهبود یافته

1- Analytical Hierarchy Proccess

جدید، در تکرارهای بعدی افزایش می‌یابد. این فرایند تا آن‌جا ادامه پیدا می‌کند که شرط پایانی تحقق یافته باشد. سپس بهترین گزینه تولید شده تا آن مرحله به عنوان جواب بهینه محلی معرفی می‌گردد. فرایند کلی حل مساله، در فلوچارت شکل (۱) مشخص گردیده است.



شکل (۱): فلوچارت کلی حل مساله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری با به‌کارگیری الگوریتم مورچگان کمینه- بیشینه

پس از مشخص نمودن زمان سفر بین نواحی ترافیکی و میزان تقاضای سفرهای برن‌شهری هر ناحیه ترافیکی به عنوان اطلاعات ورودی، احتمال انتخاب هر ناحیه محاسبه می‌گردد. تابع احتمالی انتخاب هر ناحیهi ، همانند مساله فروشنده دوره‌گرد و مساله پی- میانه با ظرفیت محدود[1]، صورتی جاذبه‌ای داشته و مطابق رابطه (۴) در نظر گرفته می‌شود[۵] و [۶].

$$p_i^k(t)=\frac{[\tau_i(t)]^\alpha+[\eta_j]^\beta}{\sum_{l\in J^K}[\tau_l(t)]^\alpha+[\eta_l]^\beta} \quad if \quad i\in J^K$$
$$p_i^k(t)=0 \quad if \quad i\notin J^K \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، $p_i^k(t)$، احتمال انتخاب ناحیه i توسط انتخابگر k در تکرار t است. η_i پتانسیل اولیه هر ناحیه i، برای عرضه سرویس و τ_i جذابیت ناحیه i، برای انتخاب شدن به عنوان محل عرضه سرویس و J^K مجموعه نواحی‌ای است که امکان احداث پایانه در آن‌ها وجود دارد. α, β نیز مقادیر ثابتی هستند که به ترتیب کنترل کننده میزان تاثیر پتانسیل اولیه و جذابیت نواحی می‌باشند.

۲-۲-۱ -پتانسیل اولیه[2] هر مرکز جهت پایانه شدن (η)

اطلاعات ابتکاری در مساله فروشنده دوره‌گرد بر مبنای فاصله بین نقطه مورد نظر تا سایر نقاط تعیین می‌شد[۷]. در مساله پی- میانه با ظرفیت محدود، نیز این اطلاعات بر مبنای فاصله بین ناحیه مورد نظر تا سایر نواحی و ظرفیت سرویس‌دهی آن ناحیه تعیین می‌شد [۸] و [۹]. در مساله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری، از آن‌جائی‌که در عمل ظرفیتی برای پایانه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود و مسافران در اغلب موارد تنها با توجه به فاصله دسترسی، پایانه مورد نظرشان را انتخاب می‌نمایند بنابراین می‌توان گفت ناحیه‌ای که به مراکز تقاضا نزدیکتر باشد از پتانسیل بیشتری برخوردار است. در واقع پتانسیل هر ناحیه با میزان تقاضای آن ناحیه نسبت مستقیم و با فاصله آن ناحیه از سایر نواحی نسبت عکس دارد. لذا پتانسیل اولیه ناحیهi (η_i)، به‌صورت نوعی مدل چگالی پایه‌ریزی می‌گردد به گونه‌ای که فرض می‌شود در یک حالت خوش‌بینانه ناحیه مورد نظر به عنوان پایانه‌ای منفرد انتخاب شده است. به این ترتیب پتانسیل اولیه ناحیه i مطابق رابطه زیر برابر است با میزان تقاضای ناحیه i، بخش بر مجموع فاصله وزنی هریک از نواحی تا ناحیه i.

$$\eta_i=\frac{D_i}{\sum_j(TT_{ij}*D_j)} \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، η_i، پتانسیل اولیه ناحیه i و D_i، میزان تقاضای ناحیه i و TT_{ij} ، زمان سفر بین نواحی i و j است.

می‌توان با اتخاذ تدابیری مقدار پتانسیل اولیه (η_i) را برای نواحی‌ای که به هر علتی امکان احداث پایانه در آن‌ها وجود ندارد، صفر در نظر گرفت. به این ترتیب احتمال انتخاب این نواحی مطابق رابطه (۴) از بین خواهد رفت. لازم به ذکر است که اگرچه پتانسیل اولیه هر ناحیه معیار معقولی از قابلیت انتخاب آن ناحیه به عنوان پایانه است ولی این مقدار همیشه و به‌طور قطعی بر مناسب‌ترین بودن این سناریو دلالت نخواهد کرد بلکه تنها بر امکان مناسب بودن، دلالت دارد.

1- Capacitated p-Medians

۲- پتانسیل اولیه در واقع همان اطلاعات ابتکاری (η) در الگوریتم مورچگان است

۲-۲-۲- میزان جذابیت مرکز هر ناحیه[۱] (τ) :

در هر تکرار از الگوریتم، جهت به‌روزرسانی جذابیت انتخاب هر ناحیه، همانند مساله پی- میانه با ظرفیت محدود، در ابتدا τ_{max} و τ_{min}، به ترتیب ۰/۹۹۹ و ۰/۰۰۱، در نظر گرفته می‌شود و میزان جذابیت نواحی در تکرار اول، به منظور یکسان در نظر گرفتن تاثیر نواحی، برای تمام آن‌ها ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود و در تکرارهای بعدی با استفاده از روابط (۶) و (۷) به‌روز رسانی می‌گردد[۹]:

$$\Delta\tau_i = 1 - \frac{l_{best} - g_{best}}{l_{worst} - l_{best}} \qquad i \in \{g_{best}, l_{best}\}$$
$$\Delta\tau_i = 0 \qquad i \notin \{g_{best}, l_{best}\} \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، g_{best} بهترین جواب سراسری است که تا این تکرار در بین تمام انتخابگرها به‌دست آمده، l_{best} بهترین جواب به‌دست آمده پس از جستجوی محلی، در تکرار t برای انتخابگر kو l_{worst} بدترین جواب پس از جستجوی محلی، در تکرار t برای انتخابگر k است.

در رابطه (۶) هرگاه جواب محلی بهتر از جواب سراسری باشد، جذابیت نواحی (نواحی‌ای که در جواب بهینه محلی و سراسری موجود باشند) متناسب با اختلاف بین آن‌ها به‌روزرسانی خواهد شد و در غیر این صورت مقدار متمم آن در نظر گرفته خواهد شد. بنابراین نواحی‌ای که جزء جواب بهینه محلی و سراسری نباشند مطابق رابطه (۷) تنها مشمول کاهش نرخ جذابیت خواهند شد بنابراین $\Delta\tau_i$در رابطه بالا می‌تواند رنجی بین [۲،۰] داشته باشد. به این معنی که هرگاه جواب بهینه جدیدی به‌دست آمد، نواحی با میزان جذابیت (سطح فرمون) پایین در این جواب، مقداری نزدیک یا مساوی با τ_{max}، و نواحی با میزان جذابیت بالا در این جواب، مقداری مساوی با τ_{max} خواهند گرفت. جذابیت مراکز نواحی به‌صورت ذیل برای هر انتخابگر k، به‌روز رسانی می‌شود[۹]:

$$\tau^{k}_{i_{t+1}} = \tau^{k}_{i_t} + \rho(\Delta\tau^{k}_{i_t} - \tau^{k}_{i_t}) \qquad (۷)$$

در رابطه (۷)، $\tau^{k}_{i_t}$ میزان جذابیت مرکز ناحیهi در تکرار t برای انتخابگر و ρ نرخ کاهش جذابیت هر ناحیه (نرخ تبخیر) است.

پس از محاسبه احتمال انتخاب هر ناحیه، هر انتخابگر از طریق چرخه رولت،P ناحیه (به تعداد پایانه‌های مورد نیاز) از بین نواحی، انتخاب می‌کند[۲]. سپس تقاضای سایر نواحی به نواحی انتخاب شده، تخصیص داده می‌شود، بدیهی است هر مسافر نزدیک‌ترین پایانه‌ای که سرویس مورد نظرش را ارائه دهد انتخاب خواهد نمود. سپس با استفاده از رابطه (۳)، تابع هدف محاسبه و مقدار آن ذخیره می‌گردد.

در مرحله بعد با به‌کارگیری روش جستجوی محلی لین-کرنیگهان[۳] جوابی که کمترین میزان تابع هدف را به‌دست دهد به عنوان بهترین جواب محلی هر انتخابگر منظور و جایگزین جواب اولیه می‌گردد[۴]. بدترین جواب به‌دست آمده در این مرحله نیز به عنوان بدترین جواب محلی هر انتخابگر جهت کاربرد در روابط به‌روز رسانی جذابیت نواحی، ذخیره می‌گردد[۵]. روال کار جستجوی محلی مطابق پروسه زیر خواهد بود[۱۰]:

ناحیه‌ای به‌صورت تصادفی (به عنوان ورودی) از بین مجموعه نواحی انتخاب نشده، انتخاب گردیده و جایگزین ناحیه‌ای در مجموعه جواب خواهد شد که تابع هدف کمتری به‌دست دهد. لازم به ذکر است که در تکرارهای بعدی، ناحیه وارد شده و ناحیه بیرون انداخته شده از مجموعه جواب، دیگر در لیست نواحی کاندید برای ورود به جواب قرار نخواهد گرفت.

مجموعه جدید به عنوان جواب در نظر گرفته خواهد شد و از لیست نواحی انتخاب نشده ناحیه دیگری جهت ورود به جواب‌ها انتخاب می‌گردد. پروسه تا ورود تمامی نواحی انتخاب نشده به مجموعه جواب‌ها ادامه خواهد داشت.

از میان جواب‌های به‌دست آمده از مراحل پیشین، جوابی که کمترین میزان تابع هدف را به‌دست دهد به عنوان بهترین جواب محلی هر انتخابگر منظور می‌گردد. بهترین جواب تا این لحظه، از بین تمامی انتخابگرها به عنوان جواب سراسری انتخاب می‌شود و با استفاده از روابط (۶) و (۷)، جذابیت نواحی برای هر انتخابگر به‌صورت مجزا به‌روز رسانی می‌شود. طبیعی است که مجموعه نواحی‌ای که توانسته‌اند مقدار تابع هدف کمتری تولید نمایند از میزان جذابیت بیشتری برخوردار خواهند شد و از میزان جذابیت نواحی انتخاب نشده کاسته خواهد شد.

مجددا هر انتخابگر با در نظر گرفتن میزان جذابیت جدید و پتانسیل اولیه که در تمامی تکرارها و برای تمامی انتخابگرها مقداری ثابت خواهد داشت، احتمال انتخاب هر ناحیه را محاسبه و مجموعه جواب جدید را تولید خواهد نمود. پروسه تا حصول شرط ختم کار تکرار می‌گردد و جواب بهینه در هر تکرار به‌هنگام خواهد شد.

در پایان، نواحی به‌دست آمده به عنوان نواحی پیشنهادی جهت احداث پایانه معرفی می‌گردند. همین عمل را می‌توان برای تعداد مختلفی از پایانه‌های موردنیاز انجام داد. با افزایش تعداد پایانه‌ها علاوه بر این‌که زمان دسترسی کل به پایانه‌ها کاهش می‌یابد، متوسط زمان دسترسی هر یک از نواحی ترافیکی به نزدیک‌ترین پایانه نیز کاهش می‌یابد. بنابراین از پارامتر متوسط زمان دسترسی نواحی ترافیکی به پایانه‌ها می‌توان به عنوان یک محدودیت جدید در حل مدل مکان‌یابی استفاده نموده و تعداد پایانه مورد نیاز را تعیین نمود.

۱- میزان جذابیت، در واقع همان میزان فرمون انباشته شده در مرکز هر ناحیه می‌باشد

۲- لازم به ذکر است که انتخاب هر انتخابگر، جدا از سایر انتخابگرها و به صورت موازی با هم می‌باشد.

3 - Lin-Kernighan neighborhood

۴- مرحله جستجوی محلی نیز برای انتخابگرها بصورت موازی با هم انجام می‌گیرد.

۵- انتخاب اولیه نواحی می‌تواند به‌وسیله یکی از روش‌های فرا ابتکاری تولید کننده، مانند الگوریتم ژنتیک یا الگوریتم مورچگان صورت گرفته باشد.

فرضا چنانچه زمان ۲۵ دقیقه به عنوان متوسط زمان دسترسی مناسب به تسهیلات پایانه برون شهری انتخاب گردد. برای تعیین تعداد پایانه مورد نیاز به نحوی که متوسط زمان دسترسی مناسب به پایانه‌های برون‌شهری برابر۲۵ دقیقه تامین گردد، می‌بایست مدل مکان یابی برای تعداد پایانه جدید از۱ تا ۲۰ پایانه اجرا گردد.

پس ازهر بار اجرای مدل، محاسبات ریاضی جهت تعیین متوسط زمان دسترسی مسافرین به تسهیلات پایانه‌های برون شهری صورت می‌پذیرد بدین ترتیب تعداد مناسب پایانه‌ها تعیین خواهد شد. مکان‌های شناسایی شده و شعاع محدودی از اطراف آن را می‌توان به عنوان نواحی دارای پتانسیل جهت ایجاد پایانه‌های جدید درنظرگرفت. لیکن برای ایجاد پایانه‌های جدید دراین نواحی باید مسایلی همچون وجود زمین با مساحت و کاربری مناسب، لزوم تامین دسترسی مناسب، حفظ سلسله مراتب معابر شهری و پارامترهای دیگری در زمینه‌های شهرسازی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی نیز مدنظر قرار گیرند[۳].

۲-۳- مطالعه موردی و پیاده سازی روش تحقیق روی شبکه شهر اصفهان

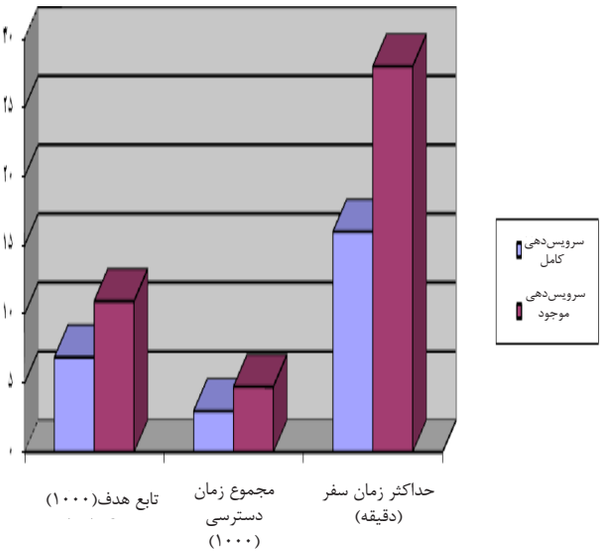
جهت ارزیابی مدل مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری، شهر اصفهان به عنوان شهر نمونه در نظر گرفته شد. در این راستا پس از مشخص نمودن محدوده مورد مطالعه، پرسشنامه‌های مقایسات زوجی نواحی توسط کارشناسان محلی تکمیل و هزینه اولیه هر ناحیه به کمک نرم افزار CHOICE EXPERT، محاسبه گردید. بانک‌های اطلاعاتی تقاضای سفر هر یک از نواحی و همچنین ماتریس زمان سفر بین نواحی، از مطالعات جامع شهر اصفهان استخراج و برنامه‌ای در محیط نرم‌افزار MATLAB ۷.۱ نوشته شد تا الگوریتم معرفی شده را پیاده‌سازی نماید.

۲-۳-۱-ارزیابی پایانه‌های شهر اصفهان در وضعیت کنونی[1]

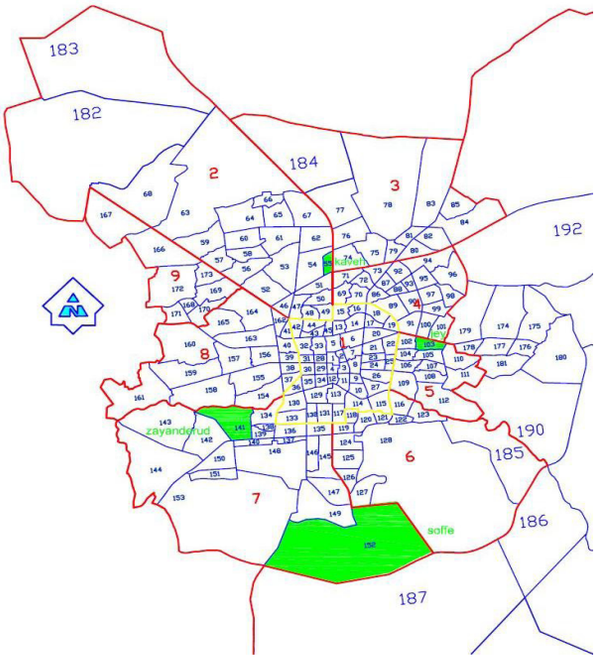
شهر اصفهان در حال حاضر دارای چهار پایانه جی، زاینده‌رود، صفه و کاوه می‌باشد که هر پایانه، تنها به مقاصد خاصی سرویس‌دهی دارد و تنها پایانه‌های کاوه و صفه تقریبا به تمامی مقاصد برون‌شهری سرویس‌دهی دارند. وضعیت کنونی پایانه‌ها در دو حالت مورد ارزیابی قرار گرفت. در حالت اول فرض شد هر چهار پایانه موجود در شهر اصفهان به تمامی مقاصد برون شهری سرویس‌دهی داشته باشند و در حالت دیگر وضعیت واقعی سرویس‌دهی پایانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی در نمودار شکل (۲) مشخص گردیده است.

با این بررسی مشخص گردید که در حالت وضع موجود، چنانچه با توسعه پایانه‌ها به‌توان از آن‌ها برای سرویس‌دهی به تمامی مقاصد استفاده نمود، میزان تابع هدف و مجموع زمان دسترسی، به میزان ۳۷% و حداکثر زمان سفر مسافران، ۴۲% بهبود خواهد داشت. نواحی ترافیکی شامل ترمینال‌های موجود در شکل (۳) نشان داده شده است.

1- Do no thing



شکل (۲): تاثیر نحوه سرویس‌دهی پایانه‌ها در تابع هدف و زمان دسترسی



شکل(۳)- نواحی ترافیکی شامل پایانه‌های موجود

۲-۳-۲- تعیین مکان مناسب پایانه‌ها

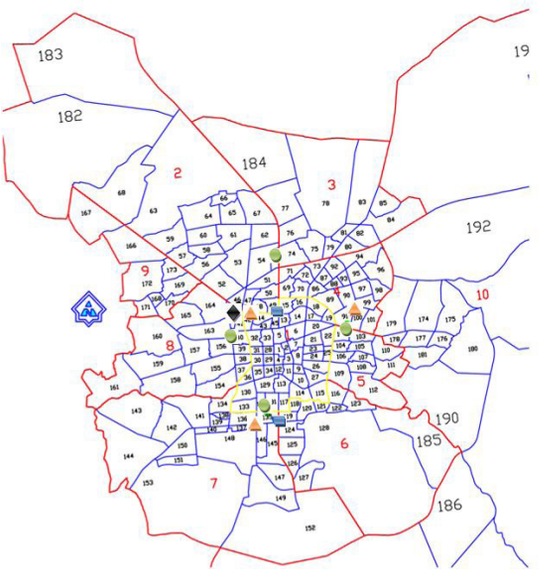
تعداد مناسب پایانه‌ها را می‌توان با اضافه کردن یک محدودیت جدید در حل مدل مکان‌یابی، تعیین نمود. در هر بار اجرای مدل، مکان‌های مناسب برای پایانه‌ها بر اساس تعداد پایانه تعیین شده، به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که زمان دسترسی کل (مسافرین) به پایانه‌ها حداقل گردد. نتایج اجرای مدل با فرض زمان ۱۵ دقیقه به عنوان متوسط زمان دسترسی مناسب به تسهیلات پایانه برون شهری در جدول(۱) و شکل (۴) آورده شده است.

با مقایسه میزان تابع هدف و حداکثر زمان دسترسی مسافران در این حالت با حالت کنونی مشخص می‌گردد که میزان تابع

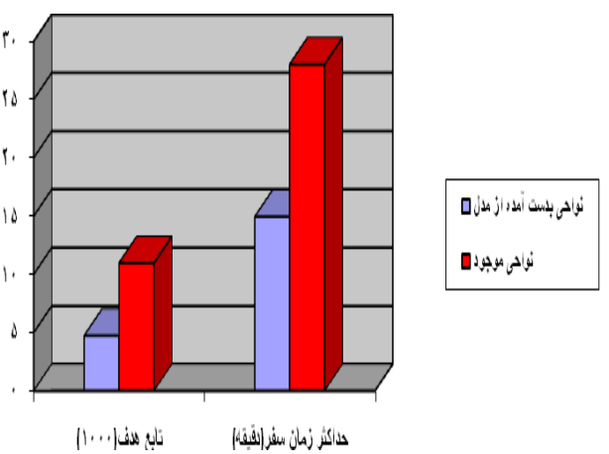
هدف و مجموع زمان دسترسی، به میزان ۴۳% و حداکثر زمان سفر ۵۲% بهبود خواهد داشت. نتایج این بررسی در نمودار شکل (۵) مشخص گردیده است.

جدول (۱): نتایج اجرای مدل با تعداد متفاوت پایانه‌ها

تعداد پایانه	نواحی به‌دست آمده	تابع هدف	حداکثر زمان دسترسی (دقیقه)	نمایه	توضیحات
۱	۴۶	۷۱۳۸,۷	۱۸,۲۸۴۰	◆	غیر قابل قبول
۲	۴۹ ۱۳۵	۵۶۱۳,۴	۱۶,۸۱۶۰	■	غیر قابل قبول
۳	۹۱ ۴۷ ۱۳۵	۵۰۶۲,۵	۱۵,۱۷۱۰	▲	غیر قابل قبول
۴	۹۱ ۴۰ ۱۳۵ ۵۵	۴۷۱۹,۱	۱۴,۹۳۳۰	●	قابل قبول



شکل (۴): موقعیت مکان بهینه پایانه‌ها



شکل (۵): مقایسه پایانه‌های به‌دست آمده از مدل با وضع موجود

۲-۳-۳- تعیین تعداد پایانه مورد نیاز بر اساس رشد تقاضا در افق ۱۳۹۰

شاید اولین چیزی که در مورد پایانه‌ها در افق ۱۳۹۰ به نظر آید، کفایت ظرفیت پایانه‌ها در مقابل تقاضای استفاده از آن‌هاست. با بررسی‌های صورت گرفته مجموع حداکثر ظرفیت پایانه‌های موجود در شهر اصفهان، ۱۰۹۶۰۰ مسافر در روز می‌باشد. با ضرب نرخ رشد جمعیت نواحی، در تقاضای سفرهای برون‌شهری هر یک از نواحی، مجموع تقاضای مسافران در سال ۱۳۹۰، مطابق جدول(۲)، ۶۶۰۳۸ مسافر برآورد گردید. این میزان بسیار کمتر از حداکثر ظرفیت پایانه‌های موجود می‌باشد.

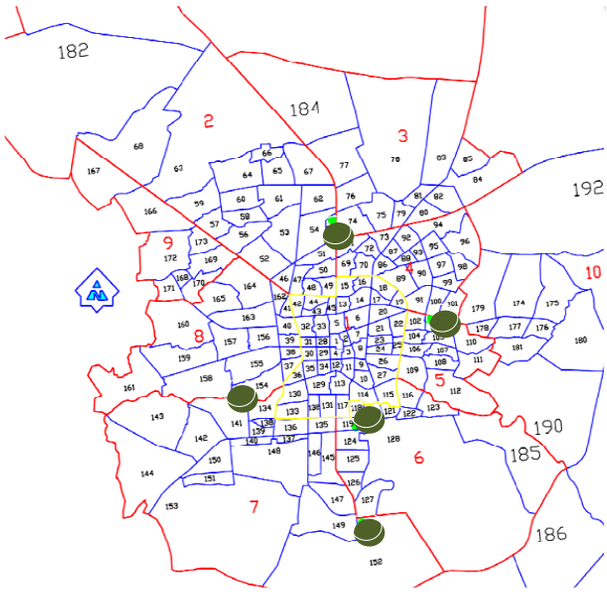
جدول (۲): ظرفیت و تقاضای مربوط به هر پایانه

نام پایانه	حداکثر ظرفیت	مجموع تقاضای سال ۷۹	مجموع تقاضای سال ۹۰
کاوه	۴۲۰۰۰	۱۷۴۲۷	۲۸۶۱۷
صفه	۳۹۲۰۰	۱۰۵۹۸	۱۵۶۶۳
زاینده رود	۱۷۶۰۰	۱۲۳۳۸	۱۶۸۰۰
جی	۱۰۸۰۰	۳۶۳۳	۴۹۵۵
مجموع	۱۰۹۶۰۰	۴۳۹۹۹	۶۶۰۳۸

چنانچه فرض شود ظرفیت پایانه‌ها کافی نبوده و توسعه پایانه‌ها به هر دلیلی امکان‌پذیر نباشد، نیازمند احداث پایانه‌ای جدید خواهیم بود. مکان بهینه پایانه پنجم با فرض عدم تخریب چهار پایانه موجود با ایجاد تغییراتی در الگوریتم برنامه و اجرای مدل مطابق شکل (۶) به‌دست خواهد آمد.

مکان جدید به‌دست آمده در مجاورت دانشگاه اصفهان قرار دارد که خود یکی از بزرگترین تولید کنندگان سفرهای برون‌شهری است.

پس از اجرای مدل با ماتریس زمان سفر و تقاضای جدید، مقدار تابع هدف ۸۸۴۴ به‌دست خواهد آمد. مجموع زمان دسترسی مسافران به پایانه‌ها $۵/۱۹۳۰*۱۰^{۵}$ و حداکثر زمان سفر، بر اساس زمان سفر در شبکه سال ۹۰، حدود ۱۸ دقیقه به‌دست آمده که مربوط به مسافران ناحیه ۱۶۷ تا ترمینال کاوه می‌باشد. این مقدار از تابع هدف مربوط به حالتی است که فرض شود هر پنج پایانه به تمامی مقاصد برون شهری سرویس‌دهی داشته باشند.



شکل(۶): موقعیت نواحی ترافیکی شامل پایانه‌های موجود به همراه پایانه جدید

۳- نتیجه

الزامات اجتماعی، اقتصادی، ترافیکی، آب و هوایی و .. از جمله مواردی هستند که میبایست در تعیین مکان مناسب پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری در نظر گرفته شوند. از آن‌جایی که پس از طراحی و استقرار پایانه‌ها، بدلیل عدم انعطاف‌پذیری این نوع تسهیلات، اقدامات اصلاحی در صورت امکان‌پذیر بودن مستلزم صرف هزینه‌های فراوان خواهد بود لذا با توجه به محدودیت‌های موجود، طراحی مناسب محل استقرار پایانه‌ها ضروری می‌نماید. در این مقاله در ابتدا مدل جدیدی جهت مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوسرانی برون‌شهری ارائه گردید که نقایص مدل‌های پیشین را نداشته، بدین معنی که علاوه بر دارا بودن دقت لازم، مکان‌یابی را بر اساس دخالت توام شاخص‌های مختلف کمی و کیفی به انجام می‌رساند. مدل جدید تلفیقی از روش AHP[1] و پی- میانه[2] می‌باشد.

اعتبار روش مذکور نیز با بررسی و مقایسه نتایج حاصل از این روش با روش شمارش کامل[3]، بر روی شبکه‌ای فرضی و کوچک، اثبات گردیده است. نتایج پیاده‌سازی این روش بر روی شبکه شهر اصفهان نشان داد که با مکان‌یابی مناسب در زمان احداث پایانه‌ها تابع هدف تا ۴۳% قابلیت بهبود داشته است.

سپس جهت حل مدل، از آن‌جائی‌که در مساله پی- میانه با ظرفیت محدود [۴]، طبق تحقیقات فرانکو و زوبن[4]، فراابتکار مورچگان کمینه- بیشینه[5] توانسته بود جواب بهتری نسبت به سایر فراابتکارهای معروف به‌دست دهد لذا با ایجاد تغییراتی در ساختار اولیه الگوریتم مورچگان کمینه- بیشینه و افزودن یک فرآیند جستجوی محلی[6] به آن، الگوریتمی جهت بهینه‌یابی مدل طراحی گردید که توانایی رسیدن به جوابی مناسب و قابل قبول را در مدت زمانی کوتاه داراست.

عمده‌ترین تغییرات ایجاد شده در نحوه تعیین پتانسیل اولیه[7] هر مرکز جهت پایانه شدن (η) و میزان جذابیت مرکز هر ناحیه[8] (τ) بود که مطابق روابط (۵) ، (۶) و (۷) تعیین گردید.

با بررسی و مقایسه نتایج حاصل از روش مذکور با روش شمارش کامل[9]، بر روی شبکه‌ای فرضی و کوچک، اعتبار روش مذکور اثبات گردید. و مدل پیشنهادی بر روی شبکه شهر اصفهان پیاده سازی گردیده و نتایج مطلوبی به‌دست آمد. این نتایج نشان داد که با مکان‌یابی مناسب در زمان احداث پایانه‌ها تابع هدف تا ۴۳% قابلیت بهبود داشته است.

۴- مراجع

۱- افندی‌زاده، شهریار؛ اشراق، سپیده؛ "کاربرد الگوریتم مورچگان در طراحی شبکه اتوبوسرانی"، مجله علمی- پژوهشی امیر کبیر، شماره ج- ۶۴، سال ۱۳۸۵.

۲- اصغرپور، محمد جواد؛ "تصمیم‌گیری‌های چند معیاره"، انتشارات دانشگاه تهران، تابستان ۱۳۸۳.

۳- افندی‌زاده، شهریار؛ "مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس‌رانی جدید با هدف کاهش زمان دسترسی مسافران"، هفتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، اسفند ۱۳۸۵.

4- Bischoff.M & D¨achert.v.," Allocation Search Methods for a Generalized Class of Location-Allocation Problems". Institute of Applied Mathematics , University of Erlangen-Nuremberg, Germany,March 18, 2007.

5- Dorigo ,M & . Stützle , T ." Ant Colony Optimization " MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England, 2004.

6- De Franca , F . O . & Von Zuben , F . J .& De Castro, L. N. "Definition of Capacited p-Medians by a Modified Max Min Ant System with Local Search".In: ICONIP- 11th International Conference on Neural Information Processing, Calcutta. Lecture Notes in Computer Science. v. 3316. pp. 1094 – 1100, 2004.

7-Dorigo. M. & Di Caro, G . " The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic".In D.Corne, M. Dorigo and F. Glover(Eds.),UK. Chapter 2, pp .11-32. 2003.

8- Ahmadi , S . & Osman,I.H ., " Density Based Problem Space Search for the Capacitated Clustering Problem". Annals for Operational Research, 2004.

9- Fabrício Olivetti de França & Fernando J .Von Zuben, "Max Min Ant System & Capacitated p-Medians: Extensions and Improved Solutions" State University of Campinas (Unicamp),Brazil, 2004.

10- Kochetov, Y. & Alekseeva, V.& Levanova, T. & Loresh, M. "Large Neighborhood Local Search for The P-Median Problem" Sobolev Institute of Mathematics, RussiaPresented at XXX Yugoslav Simposium on Operations Research , 2005.

1- Analytical Hierarchy Proccess
2- P-Median
3- Total Enumeration
4- Fabrício Olivetti de França & Fernando J. Von Zuben
5- MAX–MIN Ant System

6- Neighbourhood search

۷- پتانسیل اولیه در واقع همان اطلاعات ابتکاری (η)در الگوریتم مورچگان است

۸- میزان جذابیت، در واقع همان میزان فرمون انباشته شده در مرکز هر ناحیه می‌باشد.

9-Total Enumeration