مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های اتوبوس در حمل‌ونقل شهری با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای کاهش تأخیرات ترافیکی

مقاله علمی – پژوهشی

احسان فیروز بخت*، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
محمدامین ابراهیم زاده، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
حدیث کولیوند، دانشجوی کارشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردیس، البرز، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ehsan_fz@yahoo.com

دریافت: ۱٤۰٤/۰۵/۰٤- پذیرش: ۱٤۰٤/۰۸/۲۰
صفحه ۳۵٤-۳۳۹

چکیده

حمل و نقل یکی از عوامل مهم در ساختار شهرها بوده و در یک سده اخیر با گسترش وسایل نقلیه موتوری و افزایش جمعیت به یکی از مشکلات اصلی شهرنشینی تبدیل شده است. طراحی ایستگاه‌های اتوبوس استاندارد می‌تواند به پهلوگیری مناسب اتوبوس‌ها، کاهش زمان سوار و پیاده شدن مسافران و کاهش تاثیر منفی بر سایر وسایل نقلیه کمک کند. در کشورهای در حال توسعه، شبکه اتوبوسرانی بخش عمده‌ای از سیستم حمل و نقل عمومی را تشکیل می‌دهد، لذا زمان‌بندی اتوبوس‌ها برای بهبود شرایط اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی اهمیت دارد. هدف این پژوهش، مکان‌یابی بهینه است تا زمان‌بندی اتوبوس‌ها با خطوط مختلف هماهنگ شود. این کار باعث کاهش زمان انتظار در ایستگاه‌های انتقالی و سایر ایستگاه‌ها می‌شود. همچنین، در این تحقیق از الگوریتم شبکه عصبی برای بررسی تطبیقی میان ناوگان حمل و نقل عمومی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اولویت معیارهای اصلی بر اساس تکنیک AHP به این ترتیب است. معیار تعریض شبکه معابر با وزن ۰/۱۸۵ در اولویت اول، ارتباط ترمینال‌های شبکه اتوبوس‌رانی با پایانه اصلی با وزن ۰/۱۵۱ در اولویت دوم، و تفکیک سفرهای برون‌شهری و درون‌شهری با وزن ۰/۱۳۹ در اولویت سوم قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، ایستگاه‌های اتوبوس، حمل و نقل شهری، کاهش تاخیرات ترافیکی

۱-مقدمه

در تمامی سازمان های اتوبوسرانی، مدیران به دنبال ایجاد شرایطی هستند که با حداقل هزینه بتوانند بیشترین رضایت را برای مسافرین فراهم کنند. رضایت مشتری وقتی فراهم می‌شود که بتواند سریع و ارزان به محل مورد نظر خود برود و این در حالی است که هزینه ایجاد این چنین خدمتی برای سازمان بسیار سنگین خواهد بود. لذا با مسائل بهینه سازی روبه رو هستیم که برای ایجاد شرایط مطلوب و متعادل از دیدگاه مسافرین و سازمان، می‌بایست از مدل‌های ریاضی و آماری استفاده کرد. فاکتورهای زیادی در رضایت مسافرین درون شهری اثرگذار است که به عنوان مثال می‌توان به نوع اتوبوس، مکان ایستگاه، تواتر اتوبوس‌ها، مدت زمان سفر اشاره کرد و همین امر موجب شده تا با حجم زیادی از مسائل در سیستم حمل و نقل درون شهری روبه رو شویم .دسته بندی زیادی در حوزه سازماندهی حمل و نقل درون شهری صورت گرفته است که به طور کلی می‌توان آنها را در شش حوزه ذیل تقسیم بندی کرد.

تعیین عوامل و فاکتورهای اثرگذار در مکان احداث ایستگاه‌ها: قبل از تعیین مکان نهایی ایستگاه‌ها لازم است تا عوامل و فاکتورهایی که در مکان احداث اثرگذار هستند، مشخص شوند تا به وسیله آن‌ها بتوان مکان‌های بالقوه را شناسایی کرد. تعیین مکان‌های بالقوه به دلیل اینکه می‌توانند در مسافت طی شده توسط مسافر و راحتی وی اثرگذار باشند، جز تصمیمات اساسی و مهم است. تعیین مکان بالفعل ایستگاه‌ها: به دنبال تعیین

ایستگاه‌های بالقوه، شرایط برای تعیین مکان بالفعل ایستگاه‌ها فراهم می‌شود. این حوزه ارتباط بسیار نزدیکی با حوزه کاری دارد به طوری که نمی‌توان مرز مشخصی بین این دو حوزه قائل شد. چراکه با طراحی ساختار شبکه اتوبوسرانی، عملاً مکان ایستگاه های بالقوه بدست آمده است. ولیکن جداسازی این دو حوزه از یکدیگر، فضای جستجو و به تبع آن پیچیدگی محاسباتی را به طور قابل توجهی پایین می‌آورد. پس از طراحی و اجرای اولیه شبکه، به دلیل انعطاف ناپذیر بودن دستگاه‌های بهره برداری، به ندرت می‌توان اقدامات اصلاحی انجام داد (باران و آک، ۲۰۱٤). زمان بندی ناوگان حمل و نقل عمومی در این مرحله با تعیین فاصله زمانی دو اتوبوس متوالی میتوان زمان‌بندی حرکت اتوبوس‌ها را مشخص کرد. به منظور تعیین فاصله زمانی، دو نگرش بررسی جداگانه و ادغامی در حرکت خطوط وجود دارد. حرکت عامل اصلی پویایی زندگی شهری و تداوم بخش کلیه فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در سطح شهرها است. همچنین، حمل و نقل و زیر ساخت‌های مرتبط با آن به صورت مستقیم بر توسعه کالبدی شهرها اثرگذر هستند. حمل و نقل شهری به عنوان بخشی از کل سیستم حمل و نقل یکی از اجزای سیستم ارتباطات شهری است که با هدف دسترسی بین کاربری‌های مختلف در محدوده شهر، کار عبور و مرور و جا به جایی انسان و کالا را بین این فضاهای انطباق یافته یا کاربری‌ها را بر عهده دارد. ایستگاه‌های اتوبوس به عنوان یکی از مهمترین اجزای سیستم حمل و نقل شهری، گره‌های سیستم حمل و نقل عمومی شهری به شمار می‌آیند و لازم است در محل‌هایی تعبیه شوند که ضمن افزایش پوشش و دسترسی این سیستم در مناطق مختلف شهر، موجب کاهش زمان سفر بین نقاط مختلف شهر شوند با افزایش جمعیت و تراکم شهری، ترافیک سنگین و همچنین چالش‌های زیست محیطی چند دهه گذشته در شهرها، توسعه حمل و نقل عمومی به منظور توسعه اقتصادی، افزایش دسترسی، امنیت و سلامت روانی و متاثر تغییرات سیاسی، اجتماعی و فناوری، یکی از مسائل مورد توجه برنامه‌ریزان شهری است. قبل از اینکه به عملکرد سیستم حمل ونقل عمومی، سرویس‌دهی و ویژگی‌های آن بپردازیم، بهترین کار تعریف تعدادی از اصطلاحات استفاده شده در حمل ونقل عمومی شهری می‌باشد. همچنین ویژگی‌های سرویس‌دهی حمل ونقل عمومی را شرح می‌دهیم. سالیان گذشته اختلاف نظرهای فراوانی در مورد تعریف و طبقه بندی روش‌های حمل ونقل وجود داشته است. طبقه بندی روش‌ها برای حمل ونقل عمومی بر اساس سه ویژگی قابل انجام است: حریم، فن‌آوری و نوع سرویس دهی. حریم شامل قطعه زمینی است که وسیله نقلیه حمل ونقل عمومی روی آن کار می کند. سه طبقهٔ اصلی حریم که به نسبت میزان جدایی از ترافیک سایر روش‌ها متمایز می شوند عبارتند از:

طبقه A: جدایی عمودی سطح دو مسیر یا مسیر اختصاصی این حریم کاملاً کنترل شده بدون تقاطع هم سطح و بدون ورود وسایل نقلیه دیگر است و شبیه به سیستم آزاد راه است.

طبقه B: شامل انواع حریم است که اساساً به طور طولی از ترافیک سایر روشها جدا می شوند، اما همراه با تقاطع هم سطح برای عبور عرضی وسایل نقلیه و عابران پیاده. سیستم راه آهن سبک که دو یا سه خیابان را در هم سطح قطع می کند در این طبقه قرار می‌گیرد.

طبقه C: خیابان‌های سطح شهر با ترافیک مختلط. بیشتر سیستم‌های اتوبوس و سیستم‌های تراموا در این مقوله قرار می‌گیرند. فن آوری عمومی به ویژگی های مکانیکی وسایل نقلیه و سطح روسازی مورد استفاده مرتبط است. روش‌های حمل ونقل عمومی حداقل چهار ویژگی مهم دارند. اولین ویژگی تکیه گاه بین وسیله نقلیه و سطح سواری است، تایرهای لاستیکی روی جاده‌های آسفالته و چرخ‌های فولادی روی ریل‌های فولادی. ویژگی دوم راندن یا هدایت وسایل نقلیه است. ویژگی سوم نیروی رانش است و بالاخره ویژگی چهارم منظم کردن یا کنترل کردن وسایل نقلیه در طول مسیر است. برای مثال، در مورد خودرو، راننده نیاز به کنترل سرعت و فاصله دادن وسیله نقلیه اش در ارتباط با دیگر وسایل نقلیه در جریان ترافیک برای پیش گیری از تصادفات دارد. سرویس دهی حمل و نقل عمومی براساس انواع مسیرها و مسافرت‌هایی که انجام می‌شود به سه گروه طبقه بندی می‌شوند.

در مسافت کوتاه، سرویس دهی در محدوده مناطق کوچک با تراکم زیاد مسافرت با سرعت پایین انجام می‌شود، مثل بخش‌های تجاری مرکزی شهر.

حمل ونقل درون شهری که معمولی ترین نوع سرویس‌دهی است، نیاز مردم به حمل ونقل را در داخل شهر مرتفع می‌کند. حمل ونقل منطقه‌ای مسافرت‌های طولانی را انجام می‌دهد، کم توقف می‌کند و معمولاً سرعت‌های بالایی دارد.

سیستم‌های ریلی سریع و اتوبوس سریع السیر در این طبقه قرار می‌گیرند.

روش دیگر طبقه‌بندی حمل ونقل عمومی توسط برنامه زمان‌بندی توقف‌ها صورت می‌گیرد، مثل سیستم محلی و سیستم سریع السیر که به سرعت و تراکم جمعیت مرتبط است. نوع دیگر طبقه‌بندی می‌تواند بر اساس زمان عملکرد (مثلاً ساعت اوج یا زمان‌های خاص) انجام پذیرد.

در دهه‌های گذشته با گسترش فیزیکی شهرها، توسعه آنها، افزایش روند شهرنشینی، تراکم سنگین ترافیک، افزایش جمعیت و بروز چالش‌های زیست محیطی شهری، ظرفیت محدود ترافیک شهری، توسعه مناطق مسکونی، و آلودگی مختلف در شهرها که بخش مهمی از آن در نتیجه افزایش تعداد وسایل نقلیه شخصی بوده است، سیستم حمل و نقل شهری در شهرها مورد توجه قرار گرفته است (باران و آک، ۲۰۱٤).

از این‌رو در این پژوهش، با استفاده از روش الگوریتم‌های فرا ابتکاری از جمله الگوریتم فازی به بررسی مکان‌های مساعد ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی پرداخته شده است و از میان روش های مسیریابی حمل و نقل عمومی چهار معیار کاربری، دسترسی، جمعیت ساکن، سیستم حمل و نقل اتوبوس و تاکسی همراه با زیرمعیارهای خود وزن دهی خواهند شد و لایه‌های اطلاعاتی آنها با تکنیک تحلیل الگوریتم مورچگان ساخته می‌شوند. در نهایت اوزان با لایه ترکیب شده و نقشه نهایی ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی تعیین می‌گردد.

در زمینه تحلیل کارایی حمل و نقل همگانی پژوهش‌های فراوانی صورت گرفته که غالب این آثار بر نقش عمده‌ی حمل و نقل همگانی در کاهش تراکم ترافیک در شهرها و افزایش کیفیت زندگی ساکنان تاکید دارند. با توجه به تعدد پژوهش‌های صورت گرفته تنها به مطالعات اخیر در این بحث اکتفا می‌شود تا نتایج حاصل از مطالعه‌ی آن‌ها بتواند حداکثر انطباق با روش‌های نوین ارزیابی و بهبود را در سامانه حمل و نقلی در راستای اهداف پژوهش داشته باشد.

در شهرهائی که از سیستم های حمل و نقل عمومی پیشرفته بهره نمی‌برند، برنامه ریزی و زمان‌بندی سیستم اتوبوسرانی، از پیش تعیین شده و به صورت ثابت اعمال می‌گردد. مبنای محاسباتی روش‌های زمان‌بندی مذکور اغلب مبتنی بر استراتژی بهینه می‌باشد که بر اساس ویژگی‌های خاص و عوامل موثر پروژه مورد نظر نظیر: سرعت جریان ترافیک، طول چرخه سرویس اتوبوسرانی، زمان انتظار، زمان سفر با وسیله نقلیه، تراکم ترافیک و ... استوار است.

در اینگونه روش‌های زمان‌بندی؛ که در این تحقیق به عنوان روش‌های قدیمی معرفی می‌شوند؛ چنانچه بواسطه برخی از حوادث پیش بینی نشده نظیر: تصادفات، خرابی وسایل نقلیه در مسیر و غیره تغییری در سرعت جریان ترافیک، چگالی آن و... رخ دهد، رفتار سیستم قابل پیش بینی نبوده و منجر به بروز تأخیر می گردد. ولیکن در روش‌های جدید ویا همان روش‌های پویای زمان‌بندی حرکت اتوبوس‌ها، تغییرات ایجاد شده در جریان ترافیک در برنامه ریزی بهنگام می‌گردد.

برای نشان دادن اهمیت مطالعه برنامه ریزی و زمان‌بندی حرکت اتوبوس‌ها، از آمار و ارقام سال ۱۳۸۳ در شهر تهران استفاده می‌گردد. به طور موتوسط در هر روز هفته ۲٤۷۷۲۷۰ مسافر توسط سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی در شهر تهران جابجا می‌شود. حال چنانچه با زمان‌بندی و مدیریت صحیح حرکت اتوبوس‌ها، تأخیر هر مسافر را فقط به میزان ۲ دقیقه بتوان کاهش داد. در یک روز به طور متوسط از ۸۲۵۷۵ ساعت، اتلاف وقت مسافران جلوگیری می‌شود و با فرض هر روز کاری ۸ ساعت می‌توان روزانه ۲۸/۳ نفر – سال در وقت شهروندان تهرانی صرفه جویی کرد (آداچر و همکاران، ۲۰۱۳).

نباتی در سال ۱۳۹۱ در مطالعه‌ای با عنوان مطالعه و بررسی سیستم اتوبوس‌های تندرو با استفاده از تحلیل ارزش و شبیه سازی ترافیکی پرداخت و در تحقیق وی، از میان سیستم‌های مختلف حمل و نقلی، سیستم اتوبوس‌های تندرو و از میان خطوط مختلف، خط یک اتوبوس‌های تندرو تهران (آزادی به چهار راه تهرانپارس) مورد بررسی قرار گرفته است. در این خط، وضعیت سرعت، جریان اتوبوس‌ها، هوشمند سازی چراغ‌های راهنمایی تقاطع‌ها و اصلاح برخی از ایستگاه‌ها تحت ده سناریوی مختلف در نرم افزار Aim sun شبیه سازی شده تا در نهایت مشخص گردد که از نقطه نظر اقتصادی اصلاح هر یک از خصوصیات وضعیت موجود چه تأثیری بر روی هزینه‌ها خواهد گذاشت. نتایج نشان داد که میزان کاهش زمان سفر با توجه به ارتقای سرعت اتوبوس‌های تندرو به ۱۸ کیلومتر بر ساعت، در سناریوی دوم به عدد ۵۱۲ ثانیه خواهد رسید، در حالی که اگر بخواهیم این کاهش زمان سفر به ۹۳۲ ثانیه برسد، باید سرعت اتوبوس‌ها را به ۱۸ کیلومتر بر ساعت ارتقا دهیم. همچنین میزان هزینه صرفه جویی شده در وقت مسافرین

به صورت سالانه در سرعت ۲۸ کیلومتر بر ساعت، ۳٤٦ میلیارد تومان خواهد بود در حالی که این رقم برای سرعت ۲۳ کیلومتر بر ساعت ۲٤۹ و برای سرعت ۱۸ کیلومتر بر ساعت ۱۳۷ میلیارد تومان تخمین زده شده است. بنابراین اثر این کاهش هزینه، بیشتر از هزینه صرفه جویی شده در اثر کاهش مصرف سوخت خواهد بود. طبق برآوردهای انجام شده، میزان هزینه صرفه جویی شده در اثر کاهش مصرف سوخت در سناریوی هفتم و هشتم (با حذف ایستگاه‌ها) به ترتیب برابر ۱٤۲ و ۱۲٤ تومان–لیتر در هر صد کیلومتر خواهد بود در حالی که با افزایش تعداد اتوبوس‌ها این هزینه کاهش نیافته بلکه افزایش نیز پیدا می‌کند. شاخص‌های کیفی خط یک نیز بر اساس نظرسنجی رتبه بندی شدند تا مشخص گردد که کدام شاخص‌ها مقبولیت کمتری دارند و برای هر یک از آن‌ها راهکاری مناسب ارائه گردید (نباتی، ۱۳۹۱).

رضایی‌نیا در سال ۱۳۹۳ به پژوهشی با عنوان ارزیابی عوامل موثر بر افزایش تعداد مسافران در مرحله طراحی سامانه اتوبوس تندرو پرداخت و در آن اشاره کرد که در بسیاری از شهرها، به دلیل نبود سیستم حمل و نقل عمومی کارآمد، نیازهای جابجایی مسافران توسط سیستم‌های ناهماهنگ وسایل نقلیه شخصی و حمل و نقل شبه همگانی برطرف می‌گردد. همچنین این شهرها در برابر پیامدهای ناشی از بکارگیری این سیستم‌های بی نظم از قبیل تداخل ترافیکی شدید، آلودگی‌های صوتی و زیست محیطی، تصادفات و مسایل اجتماعی، آمادگی لازم را ندارند. در چنین شرایطی نیاز به شکل‌گیری یک سیستم حمل و نقل عمومی با کیفیت بالا به منظور رفع مشکلات مذبور، احساس می‌شود. سامانه اتوبوس تندرو به عنوان یکی از موثرترین مُدهای حمل و نقلی به منظور ارایه ی سرویس‌های با کیفیت بالا و مقرون به صرفه در شهرهای در حال توسعه و توسعه یافته شناخته می‌شود. سامانه اتوبوس تندرو به عنوان یک راهکار موثر و جذاب به منظور رقابت با وسایل نقلیه شخصی و سایر مُدهای حمل و نقل همگانی مطرح می‌باشد تا دسترسی به نقاط مرکزی شهر، مناطق مسکونی و حومه شهر برای تمامی افراد ساکن در شهرها امکان پذیر شود. ادعاهای بسیاری درمورد افزایش تعداد مسافران به دلیل توسعه سامانه اتوبوس تندرو وجود دارد. اما به هرحال، دقیقا مبهم می‌باشد که کدام جنبه از طراحی سامانه اتوبوس‌های تندرو باعث ایجاد ویژگی مذکور در بالا می‌شود. این تحقیق آشکار می‌سازد که کدام یک از ویژگی‌های طراحی اتوبوس تندرو، باعث افزایش تعداد مسافران به طور چشمگیری خواهد شد. با توجه موارد ذکرشده، در این پایان نامه به ارزیابی عوامل موثر بر افزایش تعداد مسافران در مرحله طراحی سامانه اتوبوس تندرو پرداخته شده است. از دو متغیر وابسته ی تعداد مسافر سوارشده به ازای وسیله‌نقلیه کیلومتر (BVK) و تعداد مسافر سوارشده به ازای مسیر کیلومتر (BRK) به منظور مدل‌سازی رگرسیونی و بررسی تاثیر عوامل مختلف (متغیرهای مستقل) بر جذب حداکثری مسافران استفاده گردید. پس از جمع آوری اطلاعات میدانی و کتابخانه ای و انجام فرایند مدل سازی مشخص گردید که متغیر سرعت (رابطه معکوس) و پس از آن، تعداد ایستگاه و متوسط فاصله بین ایستگاه ها بیشترین تاثیر را بر BVK دارند. در واقع فواصل توقف کوتاه تر مرتبط و سازگار با تعداد ایستگاه‌های بیشتر می باشد. فراوانی و تعداد اتوبوس نیز به عنوان سطح سرویس از عوامل تاثیرگذار بودند. از جمله عوامل تاثیرگذار بر BRK نیز می توان به تعداد سفر وسیله نقلیه در روز، تعداد اتوبوس، چگالی اشتغال، مالکیت سواری، فراوانی و سرعت متوسط اشاره نمود. همچنین مقایسه سامانه اتوبوس تندرو با سیستم اتوبوسرانی معمولی شهر تهران از برتری کامل اتوبوس‌های تندرو حکایت می‌کند که به مقدار قابل توجه ای در جذب تعداد مسافران موفق عمل کرده است. متوسط فاصله بین ایستگاه‌های سامانه اتوبوس تندرو بیشتر از سیستم اتوبوسرانی معمولی است که باعث افزایش سرعت حرکت وسیله نقلیه در مسیر می شود و همین عامل سبب جذب تعداد مسافرِ بیشتر می‌گردد (رضایی‌نیا، ۱۳۹۳).

قوامی و دیگران در سال ۱۳۹۰ با ترکیب مدل تحلیل پوششی داده ها و سامانه اطلاعات جغرافیایی، کارایی خطوط اتوبوسرانی شهر تهران را مورد ارزیابی قرار داده و پس از تعیین شاخص‌های موثر ورودی و خروجی و استفاده در مدل، کارایی خطوط را با درجه‌های بالا، متوسط و ضعیف سنجیده اند (قوامی، و همکاران، ۱۳۹۰).

در مطالعاتی که شیخ الاسلامی و همکاران در مورد ارزیابی استفاده از اتوبوس تندرو در شهر تهران در سال ۱۳۸۸ در کنفرانس حمل و نقل و ترفیک ایران در تهران پرداخته است. معیارهای متعددی جهت ارزیابی سیستم اتوبوس در یک مسیر درون شهری و ارائه خدمات در یک مسیر وجود دا رد. معیارهای کمی که قابل اندازه گیری بر اساس روش‌های گوناگون محاسباتی هستند و معیارهای کمی که شامل پارامترهای توصیفی

می باشند. در متدولوژی پارامترهایی انتخاب گردیدند که در راهنمای TCRP به عنوان شاخص موثر بر ارزیابیBRT معرفی شده است (شیخ‌الاسلامی و فغفوری، ۱۳۸۸).

در مطالعاتی که زمانیان و همکاران در مورد ارزیابی فنی – اقتصادی و زیست محیطی خط دوم BRT تهران سال ۱۳۸۸در کنفرانس حمل و نقل و ترفیک ایران در تهران پرداخته است. در این مقاله یکی از منافع ایجاد سامانه‌های حمل و نقل عمومی بهینه سازی مصرف سوخت در کشور می‌باشد.

اتوبوس تندرو در صورت احداث باعث جذب مسافر و در نهایت صرفه جویی در مصرف سوخت خواهد گردید. به منظور محاسبه میزان صرفه جویی در مصرف سوخت ناشی از راه اندازی تعداد مسافرین طرح معادل با ۲۳۰ هزار نفر در روز گرفته شده است. متوسط طول سفر حدود ۴۰ درصد کل طول مسیر معادل ۶,۵ کیلومتر براورد شده است. متوسط قیمت هر لیتر گازوئیل ۱۰۰۰ تومان لحاظ گردیده است (زمانیان، ۱۳۸۷).

در مطالعاتی که تن زاده و همکاران در مورد مقایسه میزان انتشار آلایندگی اتوبوس گازسوز و دیزل در سیستم حمل ونقل عمومی سال ۱۳۸۷ در کنفرانس حمل و نقل و ترفیک ایران در تهران پرداخته است. با توجه به مقایسه دو نوع سوخت اتوبوس مشاهده می گردد که اگر اتوبوس‌ها گازسوز گردند چه مقدار از آلایندگی را می‌کاهند (تن‌زاده و توسطی خیری، ۱۳۸۸).

در مطالعاتی که زمانیان و همکاران در مورد اعتبار سنجی کاربرد سیستم های نوین در شبکه اتوبوسرانی درون شهری در سال ۱۳۸۷در کنفرانس حمل و نقل و ترفیک ایران در تهران پرداخته است (زمانیان و همکاران، ۱۳۸۸).

شریعت و همکاران مقاله ای با عنوان بررسی و مقایسه معیارهای عملکردی سیستم اتوبوسرانی شهر تهران با بیش از ۳۰ شهر جهان در سال ۱۳۸۷ در کنفرانس حمل و نقل و ترفیک تهران ارائه نمود. در این مقاله ذکر شد که متوسط سرعت اتوبوس یکی از مهمترین شاخص‌هایی است که می‌توان در ارزیابی کارایی سامانه اتوبوس‌رانی مورد توجه قرار گیرد. افزایش سرعت ناوگان اتوبوس رانی به افزایش مطلوبیت این سامانه منجر خواهد شد و در نتیجه جذب مسافرین به این سامانه افزایش خواهد یافت. از طرفی با افزایش سرعت سفر در یک مسیر از تعداد اتوبوس‌های مورد نیاز تحت بهره برداری در آن مسیر کاسته خواهد شد و به تبع آن هزینه‌های عملیاتی کاهش خواهد یافت. طبق معیارهای ارائه شده ازسوی مرکز مطالعات برنامه ریزی شهری، معیار مطلوب برای متوسط سرعت ناوگان اتوبوس رانی حداقل ۱۵ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده است (شریعت مهمینی و همکاران، ۱۳۸۷).

در مطالعاتی که زرآبادی و همکاران در مورد ارائه راهکارهای مدیریتی در راستای افزایش مطلوبیت سیستم اتوبوسرانی در سال ۱۳۹۷در کنفرانس حمل و نقل و ترفیک ایران در تهران پرداخته است. مشاهده شد که اگر شاخص‌های دو مد حمل ونقل را با هم مقایسه نماییم مشاهده می‌شود که چقدر اتوبوس تندرو نسبت به اتوبوس ارجحیت دارد (زرآبادی و محمدی‌پور، ۱۳۸۷).

در مطالعاتی که یوسف رشیدی و همکاران در سال ۱۳۹۷ در مورد تاثیرات اجرای اتوبوس‌های تندرو در کاهش آلودگی هوا از شیوه محاسبات آماری به همراه مدل سازی، قبل و بعد از اجرای پروژه استفاده شده است. ضرایب انتشار منابع متحرک، مبنای انجام محاسبات بوده که بر اساس فرضیات در نظر گرفت شده، منجر به حصول مدل نهایی گردیده است. مدل سازی منطقه مورد نظر توسط نرم افزارAirviro بهره گرفته شده است. برای ارزیابی نتایج طرح و مدل سازی نتایج از دو نوع مدل شامل مدل اولری و مدل Cayon Street استفاده شده است. بر اساس فرضیات موجود ابتدا میزان تغییر در انتشار آلودگی قبل و بعد از اجرای طرح محاسبه شده است، سپس بر مبنای محاسبات، دو نوع مدل سازی انجام گرفته است (رشیدی و همکاران، ۱۳۸۸).

صدیقه عطرکار روشن و همکاران در سال ۱۳۹٤ مقاله ای تحت عنوان تأثیر خصوصی سازی بر کارایی خطوط اتوبوس رانی شهر تهران در فصلنامه علمی -پژوهشی اقتصاد و مدیریت شهری ارائه نمودند. در مقاله ارائه شده تاکید گردید که حمل ونقل اتوبوسی، جایگاه قابل توجهی در جابه جایی‌های درون شهری، به ویژه در کلان شهرها دارد. یکی از اقدامات انجام شده در حوزه اتوبوس رانی شهر تهران طی سال‌های اخیر، واگذاری عرضه خدمات بسیاری از خطوط به بخش خصوصی است. این مطالعه، درصدد بررسی آثار خصوصی سازی بر ارائه خدمات اتوبوس رانی در کلان شهر تهران است. اهمیت خطوط اتوبوس تندرو در میزان جابه جایی و همچنین دسترسی بهتر به اطلاعات این سامانه، موجب شد بررسی تجربی موضوع، در محدوده این خطوط انجام شود. برای بررسی تجربی موضوع، به مقایسه کارایی خطوط ۱ و ۲ خطوط دولتی (با خط) ۷ خط خصوصی،

طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ با استفاده از داده‌های فصلی پرداختیم. روش پرکاربرد در این نوع مطالعات، روش تحلیل پوششی داده‌هاست. نتایج تحقیق، حاکی از ناکارایی نسبی خط ۷در مقایسه با خطوط دولتی هستند که هم از نوع ناکارایی مدیریتی و هم ناکارایی مقیاس بوده که البته ناکارایی مقیاس، شدیدتر است (عطرکار روشن و همکاران، ۱۳۹٤).

آرمان ساجدی نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۸ مقاله‌ای تحت عنوان مدل‌سازی تردد ناوگان اتوبوسرانی شهری بر اساس داده‌های موقعیت مکانی موردکاوی: خطوط اتوبوسرانی شهری تهران را در مجله مدل سازی در مهندسی ارائه نمودند. در این مقاله ذکر شد که حمل و نقل عمومی یکی از شاخص‌های توسعه یافتگی و از جمله مهمترین جوانب در مدیریت کلانشهرهاست. خطوط اتوبوسرانی از جمله پرکاربردترین و شناخته شده‌ترین شیوه‌های حمل و نقل عمومی محسوب می‌شوند. امروزه سامانه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات به منظور ثبت اطلاعات برخط از وضعیت ناوگان و با اهداف متنوعی همچون اطلاع رسانی، پیش‌بینی زمان سفر، برنامه‌ریزی و بهبود عملکرد در خدمت حوزه مدیریت شهری می‌باشند. تحلیل حجم بالای داده‌های ثبت شده از سامانه‌های موقعیت یاب جهانی و موقعیت یاب خودکار نیازمند بکارگیری مدل‌هایی کارا است؛ به نحوی که اطلاعات حاصل بتوانند در مدیریت، برنامه ریزی و بهبود عملکرد خطوط اتوبوسرانی مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق، مدل‌سازی تردد ناوگان اتوبوسرانی شهری با استفاده از داده‌های موقعیت مکانی و به منظور تخمین زمان سفر و ارزیابی شاخص‌های کلیدی عملکردی ارائه شده است. بر اساس مدل پیشنهادی امکان تخصیص مناسب ناوگان در ساعات مختلف شبانه‌روز برای مسیرهای اتوبوسرانی فراهم شده و امکان برنامه‌ریزی جامع به منظور مدیریت ناوگان فراهم شده است. کاربردهای عمده مدل پیشنهادی عبارتند از: تخصیص بهینه اتوبوس‌ها به خطوط، زمانبندی موثر تردد ناوگان در خطوط، اطلاع‌رسانی دقیق به شهروندان و نهایتا مدیریت موثر تردد ناوگان اتوبوسرانی (ساجدی‌نژاد، ۱۳۹۸).

محمدرحیم رهنماء و همکاران در سال ۱۳۹۰ مقاله‌ای تحت عنوان برنامه ریزی دسترسی اتوبوس در ایران، نمونه موردی شهر مشهد در مجله مدرس ارئه نمودند (رهنماء و همکاران، ۱۳۹۰). در این مقاله ذکر شد که برنامه ریزی دسترسی به دلیل ترکیب و پیوند دادن کاربری‌ها و شبکه حمل و نقل جایگاه مهمی در فرآیند برنامه ریزی و طراحی شهری دارد، اهمیت این مساله از دهه ۱۹۵۰ به بعد و به ویژه از دهه ۱۹۷۰ به دنبال جنگ اعراب و اسرائیل و افزایش قیمت نفت و انتقاد از الگوی طراحی شهری مبتنی بر شهر ماشینی بیشتر مطرح شد که همراه با بکارگیری الگوی طرح‌های جامع شهری مبتنی کارآیی کاربریهاو تفکیک آنها بود و باعث شدت بخشیدن به مشکلات شهری به ویژه، گسترش افقی شهرها، آلودگی‌های زیست محیطی، جدایی محل کار و زندگی و افزایش هزینه‌های حمل و نقل ، ضرورت توجه به برنامه ریزی دسترسی اهمیت بیشتری یافت.

برنامه‌ریزی دسترسی به مفهوم –کاهش فاصله بین محل کارو زندگی– یا –آسانی رسیدن به مقصد در مقابل آسانی جابجایی یا افزایش سرعت–(حرکت) است. بهره گیری از توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی در تعیین نقاط کور غیر قابل دسترس مستقیم شهروندان به شبکه حمل و نقل عمومی و تعیین شعاع دسترسی و طراحی بهترین مسیرها برای شبکه حمل ونقل عمومی، ابزار کمکی موثری به برنامه ریزی دسترسی است. هدف این تحقیق سنجش دسترسی برمبنای تحلیل سیستم حمل و نقل عمومی اتوبوس است که پس از ماشین شخصی، عمده‌ترین وسیله جابجایی مسافر در شهر مشهد، دومین شهر کشور به لحاظ جمعیتی است. برای دست یابی به این هدف از مدل جاذبه اصلاح شده هنسن وپولراستفاده شد، که متکی بر متغیرهای جمعیت، اشتغال و محاسبه پتانسیل جاذبه و فاصله بین مناطق مختلف شهرداری (۱۲منطقه) است که با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفت. نتایج حاصل از کاربرد مدل در شهر مشهد، بیانگر این واقعیت است که پس از وسایط نقلیه شخصی (۲۷٫۸٪ کل سفرها)، اتوبوس عمده ترین وسیله حمل و نقل عمومی است.که ۲٤٪ کل سفرهای روزانه توسط آن جابجا می‌شوند، ۸۸٪ وسعت کل سطح شهر و ۸٦٪ جمعیت شهر دسترسی مستقیم به اتوبوس دارند (به ترتیب ۲۵٫٤۹ کیلو مترمربع و ۳٤۲۹۸۷ نفر جمعیت شهری تحت پوش دسترسی مستقیم سیستم اتوبوس رانی نیستند). همچنین ضریب دسترسی تفاوت‌های را در مناطق مختلف شهر نشان می‌دهد. جهت گیری آن از مناطق پرجمعیت وکم درآمد شمال شرقی شهر به سمت مناطق در حال توسعه شمال غربی وغرب شهر است. نهایت اینکه، ایجاد مسیرهای جدید خطوط اتوبوس رانی و تغییر مسیر خطوط موجود، برای تحت پوشش قردادن مناطق فاقد دسترسی مستقیم اتوبوسرانی، گام موثری در راستای تحقق توسعه پایدار

شهری است. شهریار افندی زاده و همکاران مقاله ای تحت عنوان مدل بهینه سازی ناوگان اتوبوسرانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک در سال ۱۳۹۰ در هشتمین کنگره مهندسی عمران ارائه نمودند.

در این مقاله ذکر نمودند که طراحی شبکه اتوبوسرانی شهری مسئله مهمی است که بسیاری از محققان در تدوین روش‌های مختلف آن تلاش نموده‌اند. دلیل این امر، بزرگی مسئله و تعدد پارامترهای موثر در روند طراحی شبکه است. طراحی شبکه اتوبوسرانی یک فرآیند چهار مرحله ایست؛ طراحی خطوط، تنظیم زمانبندی، تخصیص ناوگان و تخصیص خدمه اهداف مدلهای بهینه سازی شبکه های اتوبوس از دیدگاه مسافر، اپراتور شبکه و جامعه قابل بررسی است. هدف در این مقاله، کاهش هزینه‌های سیستم اتوبوس از دید اپراتور شبکه و جامعه است. در این مقاله یک روش جدید برای بهینه سازی ناوگان شبکه اتوبوسرانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌شود و مدل ارائه شده بر روی یک شبکه شهری آزمایش و نتایج آن مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد (افندی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

علیزاده طباطبایی در سال ۱۳۹۱ در مطالعه‌ای با عنوان بررسی روش انتخاب سیستم‌های حمل و نقل عمومی با استفاده از روش AHP به این مورد اشاره کرد که ابتدایی‌ترین سیستم حمل و نقل عمومی که در اکثر شهرها شروع به فعالیت می‌کند سیستم اتوبوسرانی می‌باشد (علیزاده طباطبایی، ۱۳۹۱).

صالحی در سال ۱۳۹۸ به پژوهشی با عنوان طراحی مسیر اتوبوس‌های شهری با استفاده از نرم افزار GIS مطالعه موردی شهر اهواز پرداخت و جهت مسیریابی بهینه، ۸ فاکتور سطح سرویس، متوسط سرعت، کاربری اراضی، وضعیت روسازی، عرض خط عبور، اجزاء مقطع راه، حوزه‌های تراکم جمعیتی و طول هر لبه تعیین و با استفاده از دانش کارشناسی به هرکدام از فاکتورهای فوق به روش رده بندی، وزنی داده شد. این فاکتورها برای هر لبه محاسبه گردید و در پایگاه داده ثبت شدند. سپس با اعمال آنالیز مسیر یابی از طریق الگوریتم دیجسترا، تعداد ۸ مسیر بدون تغییر ماند و ۵ خط از خطوط اتوبوس‌رانی مسیرشان تغییر نمود. در مناطقی که مسیریابی شده بودند جهت احداث ایستگاه اتوبوس ٤ فاکتور (حداقل عرض معبر ۸ متر، میانگین فاصله بین دو ایستگاه متوالی ٤۰۰ تا ٦۰۰ متر، میانگین فاصله تا نقطه ثقل جمعیت ۷۰۰ متر و فاصله تا تقاطع‌های چراغ‌دار حداقل ۷۵ متر) تعیین شد. با ایجاد لایه‌های با ویژگی‌های ذکرشده و تلفیق آن‌ها مناطقی که دارای اهمیت بیشتری جهت احداث ایستگاه‌های اتوبوس بودند شناسایی گردیدندکه پس از اعمال الگوریتم سطح سرویس تعداد ۱۲ ایستگاه مسیریابی شد (صالحی، ۱۳۹٤).

اکرمی در سال ۲۰۱٤ در بررسی خود با عنوان ارزیابی و مکان یابی فضای سبز شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش AHP (مورد مطالعه: منطقه ۷ شهرداری تهران) پرداخت و در آن با روش تحلیلی- توصیفی و تاکید بر جنبه کاربردی آن، به ارزیابی و مکان‌یابی فضای سبز منطقه مورد مطالعه بر اساس معیارهای مکان‌یابی و نیازهای جمعیتی پرداخته است. برای جبران کمبود این سرانه، ارزش‌های زمین‌های منطقه برای ایجاد فضای سبز، با استفاده از معیارهایی مانند نزدیکی به مراکز مسکونی، مراکز آموزشی، فرهنگی، تجاری، بهداشتی، مراکز فرهنگی، تاسیسات شهری و عوامل طبیعی مانند عوامل آب و هوا، زمین شناسی و منابع آبی مورد سنجش قرار گرفته است. سپس داده‌های مکانی در برنامه GIS به لایه‌های اطلاعاتی جدید تبدیل شدند. بعد از آن، به منظور الگوسازی هر کدام از معیارها بر اساس ارزش و اهمیت آنها در مکان‌یابی فضای سبز، در نرم افزار Expert Choice به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده و نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده، زمین‌ها را برای انتخاب مکان مناسب فضای سبز اولویت‌بندی نمود. سپس این زمین‌ها با نقشه کاربری اراضی مقایسه و ارزیابی شد. در نهایت، زمین‌ها در سه نوع پهنه: مناسب، متوسط و نامناسب تعیین و براساس آن، مطلوب‌ترین آنها برای احداث فضاهای سبز جدید پیشنهاد شدند (اکرمی و فنی، ۲۰۱٤).

ابراهیم‌زاده و همکاران با استفاده از داده‌های شرکت واحد اتوبوس‌رانی، پیش‌بینی تعداد مسافر را با روش شبکه عصبی انجام دادند. مدل با تابع تانژانت هیپربولیک و ٦ نورون، دقت پیش‌بینی ٪۹۲ و خطای ٪۵ داشته است. نتایج نشان می‌دهد شبکه عصبی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی رفتار سفر و بهبود کیفیت خدمات حمل‌ونقل عمومی است. این پیش‌بینی می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه سیستم‌های حمل‌ونقل شهری نقش مهمی ایفا کند (ابراهیم زاده وهمکاران،۱٤۰۲).

قهری در سال ۱۳۹۳ به پژوهشی با عنوان ارزیابی موقعیت ایستگاه‌های شبکهٔ حمل و نقل عمومی و تاکسی بر اساس مدل AHP با استفاده از GIS (مطالعهٔ موردی منطقه ۴ شهرداری تهران) پرداخت و بر اساس نتایج وی، بیشتر ایستگاه‌ها باید در قسمت جنوبی و مرکزی ایجاد گردند. همچنین به نظر می‌رسد

ایستگاه‌های شبکهٔ حمل و نقل عمومی معابر شهری را به صورت لازم پوشش نمی‌دهد و در نهایت نتایج نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند روش مناسبی برای ارزیابی حمل و نقل باشد (قهری، ۱۳۹۳).

لوییس در سال ۲۰۱۵ به پژوهشی با عنوان ارزیابی معابر شهری از منظر پوشش ایستگاه‌های اتوبوس، براساس مدل AHP-SA پرداخت و در آن با وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها براساس مدل AHP و تلفیق، تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط سیستم اطلاعات مکانی GIS به دنبال ارائه الگویی جهت ارزیابی معابر شهری از منظر پوشش ایستگاه‌های اتوبوس می‌باشد. دسترسی مناسب به تسهیلات حمل و نقلی، بخصوص ایستگاه‌های اتوبوس از درخواست‌های شهروندان جهت عدم استفاده از خودرو شخصی می‌باشد. لذا در تحقیق وی، جهت ارزیابی معابر و سطح پوششش توسط ایستگاه‌های اتوبوس با استفاده از معیارهای هم‌چون پارامترهای ترافیکی، جمعیتی و کالبدی پس از بدست آمدن وزن اولیه معیارهای اصلی و فرعی، با تلفیق لایه‌های آن‌ها و اعمال ضرایب نهایی معابر دارای ارزش، نیازمند به ایستگاه اتوبوس طبقه‌بندی می‌شوند و در نهایت نیز با هم پوشانی این لایه و ایستگاه‌های اتوبوس می‌توان در خصوص مناسب یا نامناسب بودن موقعیت ایستگاه‌ها و یا نیازمندی معابر به استقرار جدید تصمیم‌گیری نمود (لوییس، ۲۰۱۲).

هانمینگ و داجیان در سال ۲۰۱۲ با هدف ارزیابی کارایی عملکرد ساماندهی حمل و نقل همگانی در شهرستان‌های سوئد، با استفاده از داده‌های آماری سالانه مربوط به بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۹ میلادی به این نتیجه دست یافته که کیفیت عملکرد سیستم حمل و نقل و کارایی هزینه در طول سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹کاهش یافته است. این پژوهش در نهایت پیشنهاد خود را بر روی تراکم مسیرها در کنار توجه به ایمنی و محیط زیست متمرکز می‌کند (هانمینگ و داجیان، ۲۰۱۰).

جی و جائو در سال ۲۰۱۹ بر روی توسعه روشی برای ارزیابی سامانه‌های حمل و نقل همگانی تمرکز می‌کند. در این پژوهش با نمونه پکن فاکتورهای دسترسی پذیری به حمل و نقل همگانی از جنبه‌های خدمات حمل و نقل همگانی، اقتصاد محلی و ساختار جاده‌ای تمیز داده شده و سپس رضایت مردمی از حمل و نقل همگانی در کنار عوامل دسترسی پذیری به آن و ویژگی‌های شخصی افراد با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره تحلیل و فاکتورهای مهم رضایت‌مندی شناسایی شده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه‌های اتوبوس در محدوده ۸۰۰ متری، دسترسی پذیری به مکانهای اصلی شهر با حمل و نقل همگانی و ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی، تاثیر مهمی بر روی رضایت مردم از خدمات حمل و نقل همگانی دارند. بر اساس نتایج حاصله پیشنهاداتی همچون ایجاد ایستگاه‌های جدید اتوبوس در نواحی فاقد ایستگاه، تقویت مسیرهای اتوبوس منتهی به مکان‌های اصلی جهت بهبود ناحیه حمل و نقلی در پکن ارائه شده است (جن و جائو، ۲۰۱۹).

در پژوهشی که توسط یالینیز و دیگران در سال ۲۰۱۹ انجام گرفته، کیفیت سرویس حمل و نقل همگانی به لحاظ معیار دسترسی پذیری مورد ارزیابی قرار گرفته است و در پایان نیز چندین پیشنهاد برای افزایش استفاده ساکنین از این نوع حمل و نقل ارائه می‌شود (یالینیز و همکاران، ۲۰۱۹).

اولدگ در سال ۲۰۱۰ نیز با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی یک زیرمجموعه از شرکت‌های اتوبوسرانی نروژ را بررسی کردند. نتایج مطالعات نشان دادند شرکت‌های اتوبوسرانی دولتی، کاراتر از شرکت‌های خصوصی هستند ؛ یافته ای که با فرضیه محققان در تعارض بود. البته آنها، این تفاوت را کاملاً کوچک و به لحاظ آماری، غیرمعنادار معرفی کردند (اولدگ، ۲۰۱۰).

یو و همکاران در سال ۲۰۱۲ رابطه میان شیوه‌های حکمرانی و کارایی عملکردی در خدمات حمل ونقل اتوبوسی شهری در چند کلان شهر چین را بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ میلادی، ارزیابی نمودند .بدین منظور، آنها اقدام به ترکیب روش‌های DEA توبیت و رگرسیون، توبیت خودران کردند. نتایج تحقیق فوق نشان دادند که اکثر بنگاه‌های خصوصی، دارای کارایی فنی بالاتری هستند اگرچه در بعضی موارد نیز کارایی عرضه کنندگان دولتی، بالاتر بوده است. دومین نتیجه این بود که رقابت بر کارایی، تأثیرگذار می‌باشد (یو و همکاران، ۲۰۱۲).

یانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۹ مقاله ای تحت عنوان الگوریتم ژنتیک در ساماندهی خطوط اتوبوسرانی ارائه نمودند در این مقاله ذکر شد، استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) روشی برای جستجو و بهینه سازی بر پایه انتخاب و ژنتیک طبیعی – در حل مسئله طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی تشریح می‌گردد. طراحی در دو فاز انجام می‌گیرد. ابتدا یک مجموعه از خطوط کاندید برای رقابت در حل بهینه، ایجاد می شوند، سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مجموعه مسیرهای بهینه انتخاب می‌گردند. بنابراین ابتدا یک اندازه برای تعداد خطوط موجود در مجموعه جواب فرض می شود، سپس بوسیله الگوریتم ژنتیک سعی می‌شود که بهترین خطوط از بین مجموعه خطوط کاندید، انتخاب گردد. برای بدست آوردن جواب بهینه، اندازه مجموعه خطوط به طور مکرر تغییر داده می شود و الگوریتم اجرا می‌گردد تا تعداد خطوطی که باید در پیکربندی بهینه قرار گیرد تعیین شود. در خلال یک اجرا از الگوریتم، خطوط به عنوان متغیرها در نظر گرفته شده ولی تعداد آنها ثابت می‌ماند. در انتهای هر اجرا از الگوریتم، خطوطی که در جواب بهینه قرار می‌گیرند تعیین و ارائه می‌شوند (بج و مهماسانی، ۱۹۹۱).

۳-روش پژوهش

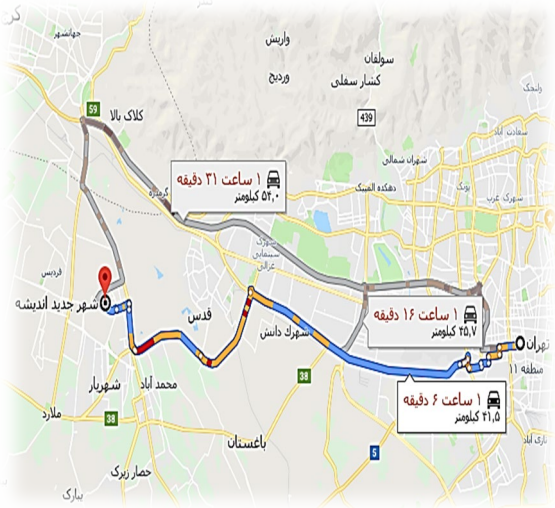
مراحل کلی پژوهش را می توان به صورت زیر تعیین نمود: ابتدا موضوع و مسئله مورد نظر مورد شناسایی قرار گرفته و کاوش گشته و ابعاد آن بررسی می‌گردد. بدین منظور ابتدا ارزیابی کمی و کیفی از ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی شهری در منطقه شهر جدید اندیشه شامل ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی انجام خواهد شد. در این بخش با مطالعات میدانی، مطالعات پیشین و مصاحبه با کارشناسان مرتبط با امور حمل و نقل، شاخص‌ها و معیارهایی که برای تعیین مکان‌های مناسب حمل و نقل مطلوب می‌باشند، شناسایی خواهد شد. ارزیابی معیارها و تعیین وزن معیارها از طریق فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی از تعیین معیارها، بر اساس میزان ارزش معیارها برای حمل و نقل شهری و منطقهٔ اندیشه وزن دهی و اولویت بندی خواهد شد.

۳-۱-معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر اندیشه یکی از شهرهای استان تهران در ایران است. این شهر در بخش مرکزی شهرستان شهریار قرار دارد. این شهر دارای ٦ فاز می‌باشد و در ۲۰ کیلومتری تهران، ۳ کیلومتری شمال غربی شهریار و ۷ کیلومتری جنوب شرقی کرج قرار دارد. فاز دو، سه، چهار و پنج شهر اندیشه براساس قوانین جدید شهرسازی طراحی و ساخته شده‌است. در ابتدا شهر اندیشه به عنوان کنترل کننده سر ریز جمعیت کلانشهر تهران شروع به ساخته شدن کرد و در حال حاضر در جهت تجاری سازی پیش رفته‌است. همچنین از لحاظ فرهنگی، هنری و ورزشی نیز شهری پیشتاز در غرب استان تهران می‌باشد. بازار ایرانی اسلامی اندیشه که به سبک میدان نقش جهان اصفهان ساخته شده‌است، یکی از بزرگترین مکان‌های تجاری و تفریحی آن می‌باشد.

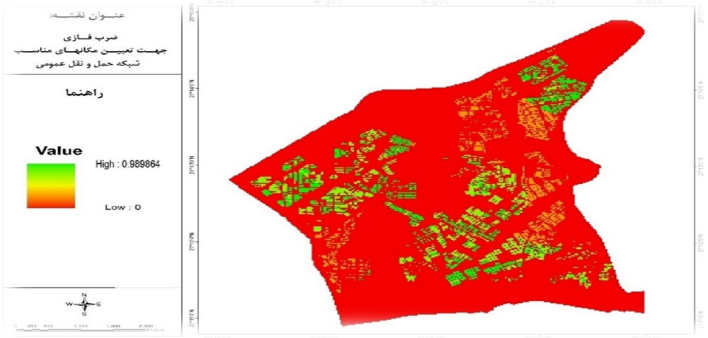
۳-۲-معیارها و شاخص‌های مورد استفاده

انتخاب مناسب بخصوص در امر مسیریابی بهینه برای انواع فعالیت‌ها در پهنه سرزمین به‌منظور سازمان‌دهی به ساختار فضای جغرافیایی، به ما این امکان را می‌دهد که مقایسه و انتخاب صحیحی بین گزینه‌ها به دست آوریم. معیار در برنامه‌ریزی رعایت اصل ضابطه یا قضاوت است. مسلماً بدون داشتن معیارهای اصولی و معین، ارزیابی طرح‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر ممکن نیست. یکی از مراحل مهم در فرایند برنامه‌ریزی، مرحله ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین گزینه است. در این مرحله محاسن و معایب طرح‌ها نسبت به هم سنجیده شده و بهترین آن‌ها ازنظر اقتصادی و اجتماعی برای اجرا انتخاب می‌شوند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

جانمایی ایستگاه‌ها با استفاده از عملگر فازی AND در EXPERT CHOICE



شکل۲. نقشه عملگر ضرب فازی

٤-تحلیل داده‌ها

برای انجام تحلیل سلسله‌مراتبی نخست معیارهای اصلی براساس هدف بصورت زوجی مقایسه شده‌اند. مقایسه زوجی بسیار ساده است و تمامی عناصر هر خوشه باید به صورت دو به دو مقایسه شوند. بنابراین اگر در یک خوشه n عنصر وجود داشته باشد $\frac{n(n-1)}{2}$ مقایسه صورت خواهد گرفت.

بنابراین ۲۸ مقایسه زوجی از دیدگاه گروهی از خبرگان انجام شده است. دیدگاه خبرگان با استفاده از مقیاس فازی کمی شده است. گردآوری دیدگاه خبرگان با طیف نه درجه ساعتی گردآوری شده است. فازی سازی دیدگاه خبرگان براساس جدول صورت گرفته است. بنابراین ده مقایسه زوجی برای معیارهای اصلی براساس دیدگاه خبرگان به صورت فازی صورت گرفته است.

– تجمیع دیدگاه خبرگان: برای تجمیع دیدگاه خبرگان بهتر است از میانگین هندسی هریک از سه عدد فازی مثلثی استفاده شود. ماتریس مقایسه زوجی براساس میانگین هندسی فازی دیدگاه خبرگان تنظیم شده است. این ماتریس که با نماد $\tilde{X}$ نمایش داده می‌شود در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	(۱, ۱, ۱)	(۰.۷۱, ۰.۸۳, ۰.۹۹)	(۰.۵۱, ۰.۶۶, ۰.۹۴)	(۱.۵۷, ۱.۹۱, ۲.۲۵)	(۱.۲, ۱.۳۷, ۱.۵۶)	(۰.۵۴, ۰.۶۴, ۰.۷۷)	(۱.۳۸, ۱.۷۲, ۲.۰۶)	(۱.۲۶, ۱.۵, ۱.۸۱)
C2	(۱.۰۱, ۱.۲, ۱.۴۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱.۲۶, ۱.۵, ۱.۸۱)	(۲.۳۲, ۲.۶۹, ۳.۲۶)	(۱.۰۹, ۱.۱۸, ۱.۳۳)	(۰.۷۲, ۰.۸۳, ۰.۹۹)	(۰.۶, ۰.۷۴, ۰.۹)	(۱.۲۲, ۱.۷۳, ۲.۲۱)
C3	(۱.۰۶, ۱.۵۲, ۱.۹۷)	(۰.۵۵, ۰.۶۷, ۰.۷۹)	(۱, ۱, ۱)	(۳.۲, ۴.۴۱, ۵.۴۲)	(۱.۵۲, ۲.۱۴, ۲.۸۹)	(۰.۷۷, ۰.۸۳, ۰.۹۱)	(۱.۴۳, ۱.۸۲, ۲.۳۶)	(۱.۵۱, ۱.۹۹, ۲.۵۸)
C4	(۰.۴۵, ۰.۵۲, ۰.۶۴)	(۰.۳۱, ۰.۳۷, ۰.۴۳)	(۰.۱۸, ۰.۲۳, ۰.۳۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱.۰۶, ۱.۵۱, ۲.۲۶)	(۰.۵, ۰.۵۶, ۰.۶۵)	(۱.۲۳, ۱.۶۳, ۲.۰۱)	(۲.۱۴, ۲.۸۳, ۳.۴۵)
C5	(۰.۶۴, ۰.۷۳, ۰.۸۳)	(۰.۷۵, ۰.۸۵, ۰.۹۲)	(۰.۳۵, ۰.۴۷, ۰.۶۶)	(۰.۴۴, ۰.۶۶, ۰.۹۴)	(۱, ۱, ۱)	(۰.۶۵, ۰.۷۴, ۰.۹۳)	(۲.۳, ۲.۸۲, ۳.۲۷)	(۲.۱۴, ۲.۶۹, ۳.۱۶)
C6	(۱.۳, ۱.۵۷, ۱.۸۵)	(۱.۰۱, ۱.۲۱, ۱.۴)	(۱.۱, ۱.۲, ۱.۲۹)	(۱.۵۳, ۱.۷۹, ۲.۰۱)	(۱.۰۷, ۱.۳۴, ۱.۵۴)	(۱, ۱, ۱)	(۱.۰۳, ۱.۲۷, ۱.۵۹)	(۱.۸۲, ۲.۵۳, ۳.۲۴)
C7	(۰.۴۹, ۰.۵۸, ۰.۷۲)	(۱.۱۱, ۱.۳۴, ۱.۶۸)	(۰.۴۲, ۰.۵۵, ۰.۷)	(۰.۵, ۰.۶۱, ۰.۸۱)	(۰.۳۱, ۰.۳۶, ۰.۴۴)	(۰.۶۳, ۰.۷۹, ۰.۹۷)	(۱, ۱, ۱)	(۲.۱۷, ۲.۹۹, ۳.۸۱)
C8	(۰.۵۵, ۰.۶۷, ۰.۷۹)	(۰.۴۵, ۰.۵۸, ۰.۸۲)	(۰.۳۹, ۰.۵, ۰.۶۶)	(۰.۲۹, ۰.۳۵, ۰.۴۷)	(۰.۳۲, ۰.۳۷, ۰.۴۷)	(۰.۵۵, ۰.۴, ۰.۵۵)	(۰.۲۶, ۰.۳۳, ۰.۴۶)	(۱, ۱, ۱)

پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی بدست آمده، بردار ویژه محاسبه گردیده است. ابتدا بسط فازی هر سطر محاسبه می‌شود. هر درایه ماتریس مقایسه زوجی $\tilde{X}$ به صورت $\tilde{x}_{ij}$ نمایش داده می‌شود. بسط فازی هر سطر نیز با نماد $\tilde{S}_i$ نمایش داده شده است.

٤-۱-تعیین اولویت گزینه‌ها

۳ گزینه برای انتخاب شبکهٔ حمل و نقل عمومی پیشنهاد شده است که عبارتند از: شبکهٔ حمل و نقل عمومی اتوبوس، تاکسی و ترکیبی تاکسی و اتوبوس می‌باشد در گام دوم از تکنیک FANP گزینه‌ها براساس هریک ازمعیارها بصورت زوجی مقایسه شده‌اند.

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها براساس معیار «کنترل حجم ترافیک در شبکه‌های دسترسی عمومی» در جدول (۲) ارئه شده است.

جدول ۲. ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها براساس معیار کنترل حجم ترافیک در شبکه‌های دسترسی عمومی

	A1	A2	A3
A1	(۱, ۱, ۱)	(۱.۹۴, ۲.۵, ۳.۰۴)	(۱.۳, ۱.۶۵, ۲)
A2	(۰.۳۳, ۰.۴, ۰.۵۱)	(۱, ۱, ۱)	(۰.۴۹, ۰.۵۶, ۰.۶۵)
A3	(۰.۵, ۰.۶۱, ۰.۷۷)	(۱.۵۴, ۱.۷۹, ۲.۰۴)	(۱, ۱, ۱)

نتایج فازی زدائی اوزان محاسبه شده به صورت جدول ۳ است.

جدول ۳. فازی‌زدایی اوزان گزینه‌ها براساس معیار کنترل حجم ترافیک در شبکه‌های دسترسی عمومی

Crisp	X1max	X2max	X3max	Deffuzy	Normal
A1	۰.۲۴۰	۰.۲۳۸	۰.۲۳۵	۰.۲۴۰	۰.۲۲۶
A2	۰.۱۵۰	۰.۱۵۰	۰.۱۵۰	۰.۱۵۰	۰.۱۴۲
A3	۰.۲۵۷	۰.۲۵۵	۰.۲۵۳	۰.۲۵۷	۰.۲۴۲

در معیار کنترل حجم ترافیک در شبکه‌های دسترسی عمومی بررسی‌های به عمل آمده میان گزینه‌ها یا زیرمعیارهای آن، گزینهٔ حمل و نقل ترکیبی اتوبوس و تاکسی طبق نظرات کارشناسان برگزیده می‌شود. در این قسمت به بررسی نتایج و تحلیل آنها در پیاده‌سازی الگوریتم ACO در مسیریابی بهینهٔ اتوبوس و تخصیص جمعیت به مکان‌های انتخاب شده پرداخته شده است. احتمال انتخاب هر معابر عمومی توسط یک عامل، صورت می‌گیرد. این رابطه شامل دو قسمت فرومون و هیوریستیک مسئله می‌باشد. تغییر در مقادیر آلفا و بتا در این رابطه، باعث تغییر در جواب‌های ایجاد شده می‌گردد. با توجه به مطالب مطرح شده در فصل پیش، در این فصل مقادیر پارامترهای آلفا، بتا و همچنین ضریب تبخیر برای استفاده در اجرای نهایی مدل تعیین شده است. پس از اجرای مدل، نتایج حاصل از نحوه تخصیص ارائه شده‌اند. تابع هدف طراحی شده در این تحقیق، هزینه مربوط به جابجایی افراد است و دارای رابطه مستقیم با فاصله می‌باشد. با توجه به اینکه جمعیت حمل مسافر ثابت می‌باشد، بنابراین بایستی فاصله جابجایی هر مسیر را به نحوی کاهش داد که در مجموع هزینه‌های جابجایی مسافر کاهش یابد. بنابراین هدف اصلی این بخش کاهش هزینه‌های انتقال بلوک‌های جمعیتی می‌باشد. با انتقال بلوک‌های با جمعیت بیشتر به معابر عمومی نزدیک‌تر، هزینه‌های تخصیص را می‌توان کاهش داد. بدین منظور بایستی ترکیب معابر عمومی انتخاب شده به گونه‌ای باشد که این هدف را برآورده نماید. در الگوریتم ACO، تغییر در پارامترهای آلفا و بتا به گونه‌ای عمل می‌کند که جواب نهایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین بایستی مناسب‌ترین مقدار این پارامترها را منطبق بر شرایط تحقیق حاضر مورد بررسی قرار داد. همان طور که پیشتر نیز اشاره شد، از آنجایی که مدل طراحی شده در این تحقیق مدت زمان زیادی را برای اجرا شدن نیاز دارد، یافتن تمامی ترکیبات ممکن آلفا و بتا عملا غیر ممکن می‌باشد. در این مدل برای دستیابی به مقادیر بهینه آلفا و بتا به تناوب، یک فرایند دو مرحله‌ای برای تعیین مقدار مناسب این پارامترها برای مسئله پیشنهاد شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در انتخاب بهترین مسیر که از لحاظ ایمنی و اقتصادی برای پایانهٔ شبکهٔ حمل و نقلی عمومی برای جابجایی عموم با توجه به عوامل مؤثر همچون نزدیکی مراکز مختلف و همچنین عوامل دسترسی به این مکان‌ها و عبور و مرور با مطالعات جغرافیایی صورت گرفته ناحیه شمال غربی شهر جدید اندیشه برگزیده می‌شود. همانگونه که از نظر گذشت، با ایجاد تغییرات لازم در اجرای الگوریتم ACO در حل مسئله فروشنده دوره‌گرد، مراحل مربوط به مکانیابی و تخصیص در قالب یک مدل مکانی طراحی شد. این مدل بر اساس یک تابع هدف به منظور کمینه کردن هزینه انتقال جمعیت و سه محدودیت میانگین سرریز/کمریز، حداکثر تعداد مکان‌های انتخاب شده و میانگین تناسب مکانی، به گونه‌ای طراحی شد که قیود مسئله تضمین کننده کیفیت جواب‌های مدل می‌باشد. یکی دیگر از مواردی که در این تحقیق اجرا شد، استفاده از روش ارزیابی چند معیاره در ترکیب با الگوریتم ACO به عنوان تابع ابتکاری می‌باشد.

به منظور بهبود نتایج، حساسیت مدل نسبت به تغییر پارامترهای فرومون و تابع ابتکاری الگوریتم ACO مورد ارزیابی قرار گرفت و مقادیر مناسب و بهینه آنها تعیین شد. با در نظر گرفتن قیود تعیین شده و همچنین نمودار همگرایی تابع هدف، بهترین عملکرد در کاهش نهایی تابع هدف توسط مشخص شد و علاوه بر آن، نتایج حاصل از تست تکرارپذیری نشان دهنده پایداری و ثبات جواب‌های الگوریتم مورد بررسی می‌باشد. نتایج تخصیص جمعیت به معابر عمومی، وابستگی انکارناپذیری به نحوه توزیع مسیرهای امن و ظرفیت آنها و همچنین پراکندگی و جمعیت بلوک‌های جمعیتی دارد. میانگین فاصله طی شده تا نزدیکترین معابر عمومی در مدل نهایی تخصیص برابر با ۱۲۰۰ متر می‌باشد اما به دلیل عدم توزیع مناسب این مکان‌ها با توجه به توزیع

جمعیت در سطح شهر، بیش از ٤۰ درصد جمعیت فاصله‌ایی بیش از ۱۵۰۰ متر را تا نزدیک‌ترین معابر عمومی انتخاب شده باید طی کنند. در نتیجه شناسایی و تاسیس معابر عمومی جدید برای کاهش این فاصله ضرورت دارد. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از الگوریتم ACO، قابلیت‌های زیادی برای ترکیب با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای حل مسئله مکان‌یابی و تخصیص که نیازمند محیط شبیه‌سازی پویا (تغییر معابر عمومی – تغییر ظرفیت) می‌باشند، دارا می‌باشد. شعاع عملکرد استاندارد در ایران برای هر شبکهٔ حمل و نقل عمومی ۲/۹ کیلومتر می‌باشد. ازآنجاکه با توجه به نقشه پوشش عملکردی دو شبکهٔ حمل و نقل عمومی موجود، بخش‌هایی از شمال شرقی، غرب و جنوب غربی منطقه در فاصله بیش از سه کیلومتری ایستگاه‌ها قرار دارند و به عبارتی در خارج از محدوده شعاع عملکردی واقع‌شده‌اند. لذا نیاز به احداث دو ایستگاه جدید در این محدوده‌ها به‌منظور پوشش کل منطقه شهر جدید اندیشه می‌باشد. از طرفی دیگر منطقه شهر جدید اندیشه با دارا بودن جمعیتی حدود ۱٤۱۱٦۰ نفر، با توجه به استاندارد موجود که باید برای هر سی‌هزار نفر یک شبکهٔ حمل و نقل عمومی وجود داشته باشد، نیاز به پنج ایستگاه دارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت تعداد حمل و نقل عمومی موجود در منطقه شهرداری شهر جدید اندیشه کافی نیست و این فرضیه به اثبات می‌رسد.

از میان کاربری‌ها و خدمات موجود در شهر، توزیع و مسیریابی بهینه‌ی حمل و نقل عمومی به دلیل اهمیت و توجه روزافزون به امر جابجایی مسافر در شهرها و ارائه تمهیداتی در زمینه‌ی خدمت رسانی و تأمین ایمنی و پیشگیری از حادثه از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. بدون تردید در میان کلیه روش‌های موجود برای افزایش خدمت‌رسانی و پیشگیری و کاهش تلفات و خسارات ترافیکی در مناطق شهری، برنامه‌ریزی شهری از طریق وضع استانداردها و ضوابط و مقررات مربوطه می‌تواند سهم قابل‌توجهی در افزایش خدمت‌رسانی و کاهش خسارات جانی و مالی و تأمین ایمنی برای شهروندان در بلندمدت داشته باشد، این امر در شهرهای ایران که اکثراً دارای بافتی فشرده و متراکم با شبکه‌های دسترسی نامناسب هستند حساسیت بیشتری را در استانداردها و ضوابط می‌طلبد تا در امور جابجایی و جذب مسافر در این بافت‌ها، عملیات خدمت‌رسانی به‌موقع انجام گیرد. توجه صرف به ساخت و استقرار ایستگاه‌های شبکهٔ حمل و نقل عمومی ازنظر کمّی و عدم توجه به کاربری‌های مجاور و سایر عوامل مهم در مسیریابی آن‌ها موجب کاهش کارایی ایستگاه از نظر خدمت‌رسانی به‌موقع می‌گردد. علاوه بر موضوعات ذکرشده در رابطه با کمبود ایستگاه‌های شبکهٔ حمل و نقل عمومی، مسیریابی نادرست و عدم هماهنگی با بافت و سیمای شهری از مسائل و موضوعات مشترک بسیاری از شهرهای ایران محسوب می‌گردد.

از این‌رو مهم‌ترین مشکل در جهت خدمات‌رسانی ایستگاه‌های شبکهٔ حمل و نقل عمومی و تاکسی منطقه شهر جدید اندیشه، ناکافی بودن تعداد ایستگاه‌ها و محدود بودن شعاع عملکردی ایستگاه‌های شبکهٔ حمل و نقل عمومی موجود می‌باشد؛ بنابراین توزیع کمّی و کیفی ایستگاه‌ها به‌طور علمی و تخصصی، موردبررسی قرار می‌گیرد. استفاده از روش‌های سنتی برنامه‌ریزی ایستگاه‌های شبکهٔ حمل و نقل عمومی برای خدمات‌رسانی، به معنای هدر رفتن کاغذ و زمان می‌باشد؛ اما امروزه، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزاری در جهت ایجاد بانک اطلاعاتی مناسب و کارآمد عمل می‌کند. انتخاب مکان‌های بهینه جهت استقرار حمل و نقل عمومی نیازمند شناسایی و تجزیه‌وتحلیل معیارها و شاخص‌های متعددی است.

شاخص‌های مطرح در تحقیق حاضر شامل پارامترهای کالبدی و اجتماعی که اثر هر یک در ارتباط با مکان گزینی در قالب نقشه در محیط GIS ارائه گردیده است. لایه‌های اطلاعاتی در محیط ArcGIS ایجادشده و نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، بهترین مسیرها را برای ایجاد حمل و نقل عمومی در شهرداری شهر جدید اندیشه معرفی نموده است. لذا در این تحقیق از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت برآورد اهمیت نسبی هر یک از پارامترها استفاده گردید و با تحلیل و همپوشانی لایه‌های فازی وزن‌دار در محیط GIS اقدام به تهیه نقشه نهایی مکان گزینی حمل و نقل عمومی گردید. از عملگر فازی AND جهت اولویت‌بندی مسیرهای مناسب شبکهٔ حمل و نقل عمومی استفاده شد. نقشه خروجی حاصل از این دو عملگر، نتایج مشابهی را ارائه می‌دهند. در بررسی نتایج مشخص شد که ایستگاه‌های موجود نیز در محدوده مناطق با اولویت مکانی جانمایی شده‌اند. مناطق اولویت‌دار جهت استقرار حمل و نقل عمومی عبارت‌اند از: قسمت‌هایی از شرق و شمال شرقی و منطقه غرب منطقه که می‌شود. قسمت‌های جنوبی در حیطه شعاع عملکردی ایستگاه‌های موجود قرار دارند اما مناطق غربی و شمال شرقی منطقه در خارج از عملکرد ایستگاه‌هاست. لذا نیاز به احداث دو

ایستگاه جدید در این محدوده‌ها به‌منظور پوشش عملکردی کل منطقه می‌باشد. مکان‌های معرفی‌شده برای ایجاد حمل و نقل عمومی جدید به‌صورت پراکنده و در ابعاد مختلف در نقشه‌های عملگر فازی، AND و همچنین شاخص همپوشانی ارائه‌شده است. ازآنجاکه زمین اختصاص‌یافته برای ایجاد حمل و نقل عمومی جدید باید از نظر مساحت، قطعه‌ای تفکیکی در حد استاندارد برای ایستگاه‌های کوچک ۷۵ مترمربع و برای ایستگاه‌های متوسط ۵۰ مترمربع باشد، بنابراین با تبدیل نقشه نهایی به وکتور با استفاده از پرسش گیری شرطی مکان‌های با ابعاد کوچک‌تر از ۵۰ مترمربع که کارایی لازم را ندارند، از نقشه حذف‌شده‌اند و مناطق مساعدتر و بهینه‌تر مشخص شدند. با استفاده از محیط Google Earth و بازدیدهای میدانی درنهایت تعدادی مکان در شمال شرقی، غرب و جنوب غربی منطقه به‌عنوان مکان‌های پیشنهادی معرفی‌شده است.

طبق نقشه حاصل از تلفیق لایه‌های فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی که بر اساس اصول استاندارد تهیه شدند، مناطق مناسب جهت استقرار حمل و نقل عمومی عبارتند از: قسمت‌هایی از شمال شرقی منطقه، غرب و جنوب شرقی منطقه هستند. ازآنجاکه ایستگاه‌های موجود در مناطق مستعد واقع گردیده‌اند؛ بنابراین نتایج تحقیق نشان می‌دهد استقرار حمل و نقل عمومی طبق استانداردهای شهری انجام‌گرفته است و این فرضیه رد می‌شود. با توجه به یافته های پژوهش مشخص می‌گردد که، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند در تولید توابع منطق فازی و شبیه‌سازی شبکه حمل‌ونقل شهری به عنوان یک تابع در برنامه‌ریزی‌ها مؤثر باشد؛ که این امر کاهش زمان خدمت‌رسانی حوادث مرتبط با حمل و نقل عمومی را میسر می‌سازد.

٦- مراجع

-اکرمی، اعظم و فنی، زهرا (۲۰۱٤). ارزیابی و مکان یابی فضای سبز شهری با استفاده از GIS و روش AHP (مورد مطالعه: منطقه ۷ شهرداری تهران)، *فصلنامه مطالعات برنامه ریزی شهری*، دانشگاه مازندران، ۲(۵).

-افندی‌زاده، شهریار و همکاران (۱۳۹۰). مدل بهینه‌سازی ناوگان اتوبوسرانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک، *هشتمین کنگره مهندسی عمران*.

-تن زاده، جواد و توسطی خیری، پژوهان (۱۳۸۸). بررسی کیفیت و طرح گازسوز نمودن ناوگان حمل و نقل عمومی، *نهمین کنفرانس حمل و نقل و ترافیک*، تهران.

-رضایی نیا، سینا (۱۳۹۳). ارزیابی عوامل موثر بر افزایش تعداد مسافران در مرحله طراحی سامانه اتوبوس تندرو، *دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی عمران*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد.

-رحیم رهنما، محمد و صباغی آبکوه، شیرین. (۱۳۹٤). ارزیابی قابلیت دسترسی فضایی سامانه اتوبوس‌های تندرو (مطالعه موردی: کلانشهر مشهد). *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، ٦(٤)، ۷۳۱-۷٤۲.

-زر آبادی، شیما و محمدی پور، امیر حسین (۱۳۸۷). ارائه راهکارهای مدیریتی در راستای افزایش مطلوبیت سیستم اتوبوسرانی، *هشتمین کنفرانس حمل و نقل و ترافیک*، تهران.

-زمانیان، علیرضا (۱۳۸۷). اعتبار سنجی کاربرد سیستم‌های نوین در شبکه اتوبوسرانی درون شهری، *هفتمین کنفرانس حمل و نقل و ترافیک*، تهران.

-ساجدی نژاد، آرمان، حسن نایبی، عرفان، حیدری، جعفر و رزمی، جعفر (۱۳۹٤). مدل‌سازی تردد ناوگان اتوبوسرانی شهری بر اساس داده‌های موقعیت مکانی موردکاوی: خطوط اتوبوسرانی شهری تهران، *مدل سازی در مهندسی*، ۱۳(٤۲)، ۱۱۸-۱۰۳.

doi: 10.22075/jme.2017.1719

-شریعت مهیمنی، افشین، خشایی‌پور، مرتضی و رضایی، حجت (۱۳۸۷). بررسی و مقایسه معیارهای عملکردی سیستم اتوبوسرانی شهر تهران با بیش از ۳۰ شهر جهان، *هفتمین کنفرانس حمل و نقل و ترافیک*، تهران.

-شیخ الاسلامی، عبدالرضا، فغفوری، عباس (۱۳۸۸). ارزیابی استفاده از سیستم اتوبوسرانی سریع السیر تهران، *نهمین کنفرانس مهندسی حمل ونقل وترافیک تهران*.

-صالحی، محمد (۱۳۹٤). طراحی مسیر اتوبوس‌های شهری با استفاده از نرم افزار GIS، مطالعه موردی شهر اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، *دانشکده عمران، پایان نامه کارشناسی ارشد*.

-عطرکار روشن، صدیقه و همکاران (۱۳۹٤). تأثیر خصوصی‌سازی بر کارایی خطوط اتوبوسرانی شهر تهران، *فصلنامه علمی-پژوهشی اقتصاد و مدیریت شهری*.

-علیزاده طباطبایی، محمد (۱۳۹۱). بررسی روش انتخاب سیستم‌های حمل و نقل عمومی با استفاده از روش AHP، *دانشگاه سمنان*، پایان نامه کارشناسی ارشد.

- قوامی سیدمرسل، کریمی علی، مسگری محمدسعدی (۲۰۱۱). ارزیابی خطوط اتوبوس رانی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و تحلیل پوششی داده‌ها، مطالعه موردی: خطوط اتوبوس رانی تهران.

- قهری، مهنوش، لحمیان، رضا و آزاده دل، یعقوب (۲۰۱٤). ارزیابی موقعیت ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی بر اساس مدل AHP با استفاده از GIS (مطالعه موردی منطقه ٤ شهرداری تهران). *مطالعات ساختار و کارکرد شهری*، ۲ (۷)، ۱۲۷-۱٤٦.

-نباتی، مهران (۱۳۹۱). مطالعه و بررسی سیستم اتوبوس‌های تندرو (BRT) با استفاده از تحلیل ارزش و شبیه‌سازی ترافیکی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، *دانشکده مهندسی عمران*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

-یوسف رشیدی و همکاران (۱۳۸۸). تاثیرات اجرای BRT در کاهش آلودگی هوا از شیوه محاسبات آماری به همراه مدل سازی قبل و بعد از اجرای، *کنفرانس حمل و نقل و ترفیک ایران*.

-Adacher et al, Oluwafemio & Alaro Jimoh, Yinusa & Akinpelu, Mutiu, (2013). Development of an Advanced Public Transportation System for captive commuters on urban arterials in Ilorin, Nigeria; *Alexandria Engineering Journal,* 52.

-B. Yu, Z. Z. Yang and P. H. Jin, (2012). Transit route network designmaximizing direct and transfer demand density, *Transportation Research Part C,* 22.

-Baran, Joanna & ak, Jacek, (2014). Multiple Criteria Evaluation of transportation performance for selected agribusiness companies; *Procedia Social and Behavioral Sciences.*

-Ebrahimzadeh, M. A., Javanshir, H., & Alikhani, A. (2024). Forecasting the volume of passenger demand using artificial neural network model (case study-line 10 BRT of Tehran). Road.

-Ji, J. and X., GAO, (2019). Analysis of people's satisfaction with public transportation in Beijing, *Habitat International*, 34.

-luis, Holmgren, J., (2012). The efficiency of public transport operations an evaluation using stochastic frontier analysis, *Research in Transportation Economics.*

-M. H. Baaj and H. S. Mahmassani, (1991). An AI-based approach for transit route system planning and design, *Journal of Advanced Transportation,* 25.

-Uludag, N., (2010). Modeling Route Choice Problem in Transportation Networks by Using Fuzzy Logic, Msc. Thesis, *Pamukkale University,* Institute of Science, Denizli.

-Yaliniz.p. s, Bilgic, Y. Vitosoglu, C. Turan, (2019). Evaluation of urban public transportation efficiency in Kutahya, Turkey, *Procedia Social and Behavioral Sciences,* 20.

-Yang Huanming., Zhu, Dajian, (2010). A Research on Relations between Governance Modes and Operation Efficiency in China's Urban Bus Transport Service: A Case Study on China's Main Municipalities, *Public Management Research Conference:* Fudan University.

Optimizing Urban Bus Stop Locations Using the Analytic Hierarchy Process to Reduce Traffic Delays

Ehsan Firozbkhat, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Mohammad Amin Ebrahimzadeh, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Hadis Kolivand, B.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Fardis Branch, Alborz, Iran.

E-mail: ehsan_fz@yahoo.com

Received: April 2025- Accepted: November 2025

ABSTRACT

Transportation has always been one of the most important factors influencing the structure of cities. However, especially in the past century, with the expansion of motor vehicles and increasing population changes, it has become one of the main challenges of urbanization. Considering the volume of intra-city travel, designing bus stations according to standards is crucial. This ensures proper bus docking, reduces boarding and alighting time for passengers, and minimizes the negative impact of the system on the traffic flow of other vehicles. In developing countries, the urban bus network constitutes a significant part of the public transport system, making the bus scheduling process highly important for social, economic, and environmental improvement. This study aims to optimize the location of bus stations, allowing for more coordinated bus schedules across different routes. This coordination not only reduces waiting times at transfer stations but also decreases waiting time at other stations due to predictable arrival times of different routes. This research uses a neural network algorithm to investigate the compatibility of public transportation fleets. Results indicate that based on the AHP technique, the prioritization of the main criteria is as follows: the widening of road networks with a normalized weight of 0.185 is the highest priority, linking bus terminal networks to main terminals with a weight of 0.151 is the second priority, and distinguishing between intercity and intracity travel with a weight of 0.139 ranks third.

Keywords: AHP, Bus Stations, Urban Transportation, Traffic Delay Reduction