

ارزیابی الگوی پراکنش فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهری و سنجش اثرات آن بر مطلوبیت خدمات‌دهی شبکه‌ی حمل‌ونقل

عمومی

(مقاله پژوهشی)

محمدحسن یزدانی^۱، ابراهیم فیروزی مجنده^۲، الهام شکرزاده فرد^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۸

چکیده

طی سال‌ها و دهه‌های اخیر، رشد روزافزون شهرها و افزایش جمعیت شهری موجب افزایش تقاضا برای حمل‌ونقل عمومی شده است. اگر این افزایش، متناسب با تخصیص خدمات و تسهیلات صورت نگیرد، مشکلات عدیده‌ای برای شهر و شهروندان ایجاد خواهد شد. در تحقیق حاضر، با استفاده از روش توصیفی و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، آماره فضایی، نرم‌افزار GeoDa، مدل تحلیل سلسه مراتبی داده‌ها و مدل ترکیب خطی وزین به ارزیابی وضعیت سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل به لحاظ مطلوبیت خدمات‌دهی (کارایی) و سنجش ارتباط فضایی تراکم ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی و فاصله از این عناصر با میزان کارایی حمل‌ونقل عمومی این شهر، پرداخته شده است. برای گردآوری داده‌ها، از روش‌های میدانی و اسنادی استفاده شده است. نتایج تحقیق حاضر، وجود الگوی خوشه‌ای در نظام توزیع فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهر اردبیل را تایید می‌کند. این الگو باعث بروز نابرابری در مطلوبیت خدمات‌دهی در محلات مختلف شهر اردبیل شده است به طوری که میزان کارایی سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل در هسته‌ی مرکزی، محلات بخش شمالی، بخش‌هایی از محلات شرقی و جنوب‌غربی شهر بیشتر از سایر محلات بوده است. به نظر می‌رسد بخشی از این وضعیت، متأثر از عدم وجود توازن و تعادل در توزیع فضایی تسهیلات حمل‌ونقل عمومی بوده است؛ به طوری که در مناطق با تراکم بیشتر ایستگاه‌ها و مرکز ثقل جغرافیایی سیستم اتوبوس‌رانی شهر و همچنین فواصل کمتر از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی، میزان مطلوبیت خدمات‌دهی و میزان کارایی سیستم، بالاتر از سایر نواحی و محلات بوده است.

کلیدواژه‌ها: سیستم حمل‌ونقل عمومی، ایستگاه اتوبوس، کارایی، الگوی فضایی، شهر اردبیل.

۱. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشگاه محقق اردبیلی، yazdani.m51@gmail.com

۲. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، نویسنده مسئول: ebrahim.firouzi@yahoo.com

۳. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، elham.shokrzadeh@gmail.com

حمل و نقل درون شهری، یکی از عناصر اصلی و مهم سیستم شهری است که زمینه تحرک و پویایی شهر را فراهم کرده و دسترسی مردم و شهروندان را به نقاط مختلف شهر ممکن می‌سازد. در این بین، افزایش سریع تعداد وسایل حمل و نقل موتوری به ویژه اتومبیل و استفاده زیاد از آن در شهرهای کشور، به خصوص کلان شهرها، همراه با رشد جمعیت همراه بوده است (فرهاد ملاشاهی و همکاران، ۱۳۹۶: ۸۸)؛ توسعه‌ی روزافزون شهرنشینی، جابه‌جایی انسان و کالا را به صورت مسئله‌ای درآورده که پیچیدگی آن دائم در حال افزایش است. رشد شهری باعث افزایش تقاضای سفر بر روی تسهیلات ناکافی موجود حمل و نقل شهری شده است و به دنبال آن شهرهای بزرگ دست به گریبان مشکلات زیادی در زمینه‌های تراکم ترافیکی، آلودگی هوا، اتلاف وقت‌های طولانی در مسیرهای سفر روزانه افراد، افزایش مصرف سوخت و استهلاک وسایل نقلیه و غیره هستند (خاکپور و فاریابی، ۱۳۹۱: ۷۷). این مسئله دست‌یابی به توسعه پایدار حمل و نقل شهری را تحت تأثیر خود قرار داده است. این در حالی است که یکی از ویژگی‌ها و شاخصه‌های حمل و نقل شهری پایدار، دسترسی آسان، سریع و مطمئن شهروندان به نقاط مختلف شهر و بهره‌مندی از کاربری‌های گوناگون موجود در سطح شهر است (فرهاد ملاشاهی و همکاران، ۱۳۹۶: ۸۸).

طی دهه‌های اخیر، گسترش روزافزون شهرها و افزایش جمعیت شهری موجب افزایش تقاضا برای حمل و نقل درون شهری و استفاده از خدمات شهری شده است (قوامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶۲). این مسئله باعث توجه ویژه‌ی برنامه‌ریزان حمل و نقل و ترافیک به طراحی، ایجاد و گسترش حمل و نقل همگانی در انواع مختلف سیستم‌های حمل و نقل شده است. گسترش حمل و نقل همگانی با کارایی زیاد و سرویس‌دهی مناسب، با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی و محیط زیستی، نه تنها از مشکلات ترافیکی می‌کاهد، بلکه گامی به سوی توسعه پایدار و بهبود محیط شهری خواهد بود. برای این منظور طراحی شبکه و یافتن مسیرهای بهینه حمل و نقل همگانی امری ضروری به نظر می‌رسد. (سیدابریشمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۴۴)

منظور از سیستم حمل‌ونقل عمومی مجموعه‌ای از افراد، امکانات و تجهیزات و زیرساخت‌هایی است که هدف آن جابه‌جایی مسافر به‌صورت انبوه در سطح شهر است. در یک سیستم حمل‌ونقل عمومی از انواع مختلف وسایل حمل‌ونقل استفاده می‌شود، از قبیل اتوبوس، مینی‌بوس، مترو و انواع قطارهای درون‌شهری. به‌طور کلی وظیفه اصلی هر سیستم حمل‌ونقل عمومی، انتقال و جابه‌جایی سالم، سریع و راحت مسافران در مقیاس وسیع و برحسب نیاز است (کردنائیچ و مختاری موعاری، ۱۳۹۰: ۶۳). حمل‌ونقل عمومی در شهرها یکی از مهم‌ترین بخش‌های خدمات‌رسانی به‌شمار می‌آید. سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی نظیر حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی و قطار شهری، به‌دلیل هزینه‌های کم راه‌اندازی، انعطاف‌پذیری مطلوب در عمل، توان قابل ملاحظه در جابه‌جایی مسافران و هزینه‌های ناچیز سفر، نقش ویژه‌ای در جابه‌جایی ساکنان شهرها و حل مشکلات شهرهای بزرگ دارند (امین ناصری و برادران، ۱۳۸۸: ۲۱۹). از این‌رو، وجود یک سیستم حمل‌ونقل عمومی اتوبوس‌رانی درون‌شهری (بالاخص برای شهرهای متوسطی چون اردبیل) مطلوب و کارا، با توجه به انعطاف‌پذیری این سیستم و ارزان بودن آن برای استفاده‌کنندگان، ضرورتی انکارناپذیر است. هرگونه فعالیتی که سبب بالاتر رفتن کارایی این سیستم شود، از لحاظ خدمات‌رسانی به استفاده‌کنندگان و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی مثمر ثمر خواهد بود. بنابراین بهینه‌کردن خطوط اتوبوس‌رانی باعث کاهش تردد در سطح شهر شده و سطح پوشش تقاضا افزایش پیدا خواهد کرد. هم‌چنین با بهینه‌سازی خطوط اتوبوس‌رانی می‌توان خطوط موازی را نیز حذف کرد که در نهایت به صرفه‌جویی در هزینه‌ها ختم می‌شود. (اعمی ازغدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸)

ایستگاه‌ها و خطوط شبکه‌ی اتوبوس‌رانی یکی از اجزای مهم سیستم حمل‌ونقل عمومی به‌شمار می‌آید و لازم است ایستگاه‌ها و خطوط در محل‌هایی تعبیه شوند که باعث افزایش پوشش سرویس‌دهی این سیستم در مناطق مختلف شهر شوند. در کنار این مسئله، احداث بی‌رویه ایستگاه‌های اتوبوس موجب بالا رفتن دفعات توقف وسیله نقلیه و در نتیجه باعث افزایش زمان سفر و کاهش سرعت این سیستم در معابر شهری می‌شود. از این‌رو لازم

است ایستگاه‌های سیستم اتوبوس‌رانی براساس چگونگی توزیع جمعیت و تنوع کاربری‌ها در مناطق مختلف شهری، طوری مکان‌یابی و مستقر شوند که علاوه بر افزایش دسترسی کاربران به این سیستم، زمان سفر را کاهش دهند (وارثی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۶ به نقل از حاجی‌زاده، ۱۳۹۶: ۳). ارزیابی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل شهری یکی از مهم‌ترین فعالیت‌ها در مبحث برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است تا بتوان نقاط ضعف و قوت سیستم موجود را شناخت و برنامه‌ریزی بهتری را برای بهبود سیستم موجود ارائه کرد. (قوامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶۲)

با توجه به این‌که شهر اردبیل طی دهه‌های اخیر رشد فیزیکی گسترده‌ای را تجربه کرده و به تبع آن با افزایش جمعیتی فزاینده‌ای مواجه بوده، دچار نوسانات و کاستی‌هایی در سیستم عرضه و تقاضای خدمات عمومی شده است. از جمله‌ی این کاستی‌ها در سیستم حمل‌ونقل عمومی بوده که در حال حاضر و بعد از گذشت دو دهه از تاسیس شبکه‌ی اتوبوس‌رانی این شهر، دیگر قادر به پاسخ‌گویی به نیازهای فزاینده شهروندان نیست. به‌طوری‌که عدم کارآیی مطلوب در این سیستم، باعث گرایش بیشتر مردم به استفاده از سیستم حمل‌ونقل شخصی شده است. این مسئله به‌دنبال خود مشکلاتی چون ازدحام ترافیکی در تقاطع‌های اصلی شهر، افزایش آلودگی‌های صدا و هوا و سایر مشکلات را به شهر و شهروندان اردبیل تحمیل کرده است. از این‌رو در پژوهش حاضر سعی بر آن خواهد شد تا با بررسی الگوی توزیع فضایی ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل، میزان ارتباط فضایی نحوه پراکنش فضایی ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس با میزان مطلوبیت خدمات‌دهی این سیستم مورد ارزیابی قرار گرفته و در صورت امکان پیشنهادهایی در راستای بهبود شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل ارائه شود. از این‌رو می‌توان گفت که هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر، سنجش میزان ارتباط فضایی و هم‌بستگی فضایی بین الگوی پراکنش فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهر اردبیل و فاصله از شبکه اتوبوس‌رانی این شهر با میزان کارآیی این سامانه‌ی حمل‌ونقلی بوده است. بنابراین در راستای دستیابی به این اهداف، سوالاتی به قرار زیر طراحی شده است؛

ایستگاه‌های اتوبوس شهر اردبیل از چه الگوی فضایی تبعیت می‌کنند؟
آیا بین الگوی پراکنش فضایی ایستگاه‌های اتوبوس و میزان کارآیی این سامانه‌ی حمل‌ونقلی هم‌بستگی و ارتباط فضایی معناداری وجود دارد؟
آیا بین فاصله از ایستگاه‌های اتوبوس و شبکه اتوبوس‌رانی شهر اردبیل و میزان کارآیی این سامانه‌ی حمل‌ونقلی ارتباط و هم‌بستگی فضایی وجود دارد؟

پیشینه‌ی تحقیق و مبانی نظری

جوامع به میزان قابل توجهی به سیستم‌های حمل‌ونقل خود وابسته‌اند به طوری که سلامت اقتصادی و اجتماعی یک جامعه بستگی بسیار زیادی به کیفیت عملکرد شبکه‌های ارتباطی آن دارد. به‌علاوه زیرساخت‌های حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های توسعه است که نقش مهمی در رشد اقتصادی و شکل‌گیری فعالیت‌های اجتماعی یک کشور دارند. در کشور ما هر ساله مبالغ زیادی طی قانون بودجه سنواتی به طرح‌های عمرانی و ملی تعلق می‌گیرد. با استناد به اسناد مرکز آمار ایران تقریباً حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از سهم بودجه مربوط به زیرساخت‌های عمرانی، صرف مدیریت و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌شود. با توجه به مبالغ بالایی که هر ساله در این بخش هزینه می‌شود، بهینه‌سازی این هزینه‌ها می‌تواند موجب رشد بودجه و ترقی در سایر زیرساخت‌ها شود. یکی از موارد مهم در بهینه‌سازی هزینه‌ها اخذ تصمیمات مناسب و درست با در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های موثر در تصمیم است، به گونه‌ای که منافع کلیه ذینفعان را لحاظ کنند و بیشترین رضایت را در پی داشته باشند (تیموریان، ۱۳۹۲: ۱۵). معمولاً اتخاذ تصمیمات درست در این حوزه، نیازمند داشتن اطلاعات دقیق و پایش مکرر میزان کارآیی و عملکرد سیستم حمل‌ونقل عمومی است. از این‌رو در تحقیق حاضر به بررسی میزان کارآیی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل و سنجش ارتباط فضایی میزان کارآیی آن به الگوی پراکنش فضایی ایستگاه‌های اتوبوس و خطوط اتوبوس‌رانی، پرداخته شده است. در این بخش با توجه به این که سیستم

حمل و نقل مبتنی بر شبکه‌ی اتوبوس‌رانی یکی از مهم‌ترین شقوق حمل و نقل عمومی است، به معرفی مختصری از این سامانه‌ی حمل و نقل عمومی پرداخته می‌شود؛

اتوبوس (Autobus) از ریشه فرانسوی و به مفهوم نوعی از اتومبیل با اطاق دراز و صندلی‌های متعدد است که معمولاً در شهر و بیرون از شهر برای رفت و آمد افراد به کار می‌رود. اتوبوس، وسیله ترابری جمعی شهری است که به سرمایه‌گذاری کمی احتیاج دارد و به سرعت قابل توسعه است. اتوبوس یکی از اقتصادی‌ترین سیستم‌های رفت و آمد شهری به‌خصوص برای مناطقی با حجم ترافیک کم و یا متوسط است. این سیستم در همه شرایط آب‌وهوایی عمل می‌کند (میرزا علیان، ۱۳۷۷: ۲۵). امروزه سیستم اتوبوس‌رانی مهم‌ترین مدل حمل و نقل عمومی در اکثر شهرهای کشورمان و هم‌چنین بیشتر کشورهای در حال توسعه به‌شمار می‌آید. برای راه‌اندازی اتوبوس به سرمایه‌گذاری کمی نیاز است و وابستگی به مسیر خاصی در مقایسه با دیگر سیستم‌های حمل و نقل جمعی مانند مترو و تراموا نداشته و انعطاف‌پذیری بالایی دارد؛ از این‌رو قابل توسعه و تغییر است. علاوه بر این، اتوبوس با توجه به متوسط تعداد سرنشینی که دارد، در مقایسه با اتومبیل سطح بسیار کمتری از خیابان‌ها و فضاهای شهری را اشغال می‌کند. مثلاً یک اتومبیل در موقع توقف سطحی معادل چهارده مترمربع را اشغال می‌کند که اگر تعداد متوسط سرنشینان آن را $1/5$ نفر فرض کنیم، سطح مورد نیاز برای هر سرنشین در حدود ده مترمربع است، در حالی که برای یک اتوبوس یک طبقه این رقم به حدود یک مترمربع برای هر سرنشین و برای یک اتوبوس دو طبقه به حدود نصف این مقدار (نیم مترمربع) می‌رسد. (فرج‌الهی، ۱۳۹۰: ۵۰-۵۱)

فائزی و ساسانی (۱۳۹۸)، تحقیقی را با هدف ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوس BRT کلان‌شهر کرج انجام داده‌اند. نگارندگان به‌منظور تهیه اطلاعات و داده‌های مورد نیاز تحقیق از ابزارهایی چون مصاحبه و پرسش‌نامه استفاده کرده‌اند و از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی AHP نیز به‌منظور اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در بهبود عملکرد سیستم BRT استفاده کرده‌اند. هم‌چنین برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده از برداشت میدانی نیز از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است. نتایج تحقیق ذکر شده بیان‌گر اثرگذاری بالای

از دحام جمعیت در عملکرد سیستم BRT شهر کرج بوده است. معیارهای سرفاصله زمانی و زمان سفر نیز در اولویت بعدی اثرگذاری بر عملکرد سیستم قرار داشته‌اند. مرتضوی و اکبرزاده (۱۳۹۷)، پژوهشی را به منظور توسعه روش محاسبه میزان برقراری عدالت در توزیع خدمات حمل و نقل همگانی در عرصه شهری (شهر اصفهان) انجام داده‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن بوده است که اگرچه در وضعیت موجود، شرایط بهتر از سال پایه است اما وضعیت با عدالت فاصله معناداری دارد. تکمیل خطوط اتوبوس تندرو و خط یک مترو می‌تواند باعث بهبود معنادار شرایط فعلی از منظر توازن عرضه و تقاضا شود، اما ضریب جینی را بهبود نخواهد داد. رحیمی و حسینی (۱۳۹۷)، پژوهشی را با هدف بررسی وضعیت ناوگان حمل و نقل عمومی شهر کرمان انجام داده‌اند. ایشان به منظور انجام پژوهش خود از روش توصیفی-تحلیلی و به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش نیز از مدل سوات و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کرده‌اند. طبق نتایج به دست آمده از پژوهش ذکر شده، میزان استفاده از حمل و نقل عمومی کرمان در سطح بسیار پایینی قرار داشته و بیشترین تعداد مسافران سامانه اتوبوس‌رانی این شهر به ترتیب به گروه‌های شغلی دانشجو با ۳۲ درصد، خانه‌دار با ۲۳ درصد و دانش‌آموز به ۱۹ درصد سهم مربوط بوده است. در نهایت، در پژوهش ذکر شده، به منظور افزایش کارایی سیستم حمل و نقل عمومی شهر کرمان، پیشنهاد شده است که امکانات موجود توزیع متوازی داشته باشند تا به استفاده بهینه از امکانات منجر شود. دلایلی میلان و خیرالدین (۱۳۹۶) با استفاده از تحلیل شبکه در محیط نرم‌افزاری ARCGIS به بررسی سیستم حمل و نقل عمومی در چهار منطقه شهر تهران (مناطق ۲، ۳، ۴ و ۵) با استناد به استانداردهای دسترسی به ایستگاه‌ها پرداخته است. نتایج پژوهش مذکور نشان می‌دهد که شبکه حمل و نقل عمومی موجود (مترو و اتوبوس تندرو) سطح بسیار محدودی از مناطق چهارگانه مورد بررسی را تحت پوشش خدمات‌رسانی قرار داده است. به نحوی که از کل سطح مناطق چهارگانه مذکور به ترتیب ۱۴/۵ درصد، ۴۸ درصد، ۳۶ درصد و ۳۳/۵ درصد تحت پوشش خدمات شبکه‌ی حمل و نقل عمومی است. لذا دسترسی ساکنان سایر محله‌ها به ایستگاه‌ها در بازه‌های زمانی طولانی‌تری ممکن می‌شود

که ناشی از عدم گسترش و توزیع فضایی نامتناسب شبکه حمل‌ونقل عمومی در سطح شهر تهران بوده است. رهنما و صباغی آبکوه (۱۳۹۴)، در تحقیقی به ارزیابی قابلیت دسترسی فضایی سامانه اتوبوس‌های تندرو در کلان‌شهر مشهد پرداخته‌اند. نگارندگان در تحقیق خود دسترسی فضایی را برحسب دسترسی به خود سیستم حمل‌ونقل و دسترسی سه‌فعالیت مجزا (بیمارستان، پارک و کتابخانه) از طریق شبکه‌ی اتوبوس‌رانی برای طبقات اجتماعی-اقتصادی مختلف شهر مشهد، مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج تحقیق بیان‌گر مطلوبیت دسترسی طبقه ثروتمند به سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو مشهد بوده و بالعکس طبقات کم‌درآمد در پایین‌ترین سطح مطلوبیت دسترسی پیاده به این سیستم قرار داشتند. هم‌چنین سطح دسترسی به فعالیت‌های سه‌گانه مورد بررسی توسط سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو مشهد، تابعی از توزیع فضایی و کشش مقصد بوده است. قهری و همکاران (۱۳۹۳)؛ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی به ارزیابی موقعیت ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی در منطقه ۴ شهرداری تهران پرداخته و نسبت به بررسی مکان‌های مساعد استقرار ایستگاه‌های حمل‌ونقل شهری، اقدام کرده‌اند. نتایج تحقیق بیان‌گر مطلوبیت مناطق جنوبی و مرکزی منطقه ۴ شهر تهران جهت ایجاد ایستگاه اتوبوس بوده است. هم‌چنین از نظر پژوهش‌گران ایستگاه‌های اتوبوس کلیه معابر شهری را به نحوی مطلوب پوشش‌دهی خدماتی نمی‌کند. از این‌رو بایستی جهت خدمات‌دهی بهتر معابر شهری، ایجاد ایستگاه‌های جدید مدنظر قرار گیرد. عبداللهی و همکاران (۱۳۹۲)، تحقیقی را با هدف ارزیابی مؤلفه‌های کارایی سیستم BRT شهر تبریز انجام داده‌اند. نتایج تحقیق بیان‌گر انطباق پایین مسیر BRT با کاربری‌های موجود، محدود بودن قابلیت دسترسی به طیف خاصی از شهروندان در فضاهای پیرامونی مسیر و عدم امکان استفاده از سیستم BRT در محورهای شمال‌غربی و جنوب‌غربی تبریز و کاهش سرعت سیستم حمل‌ونقل بر اثر محدودیت‌های مسیر بوده است. سلطانی و طالبی (۱۳۹۲)، با انتخاب شهر شیراز به‌عنوان مطالعه موردی، پژوهشی را به‌منظور ارزیابی نظام توزیع فضایی پایانه‌های حمل‌ونقل و انتخاب سایت مناسب برای ایجاد پایانه‌های جدید اتوبوس‌رانی درون‌شهری انجام داده‌اند.

نتایج بررسی‌های نگارندگان بیان‌گر مطلوبیت محور خروجی شیراز به سمت بوشهر (محور بلوار امیرکبیر) به‌عنوان مناسب‌ترین سایت ایجاد پایانه‌ی حمل‌ونقل درون‌شهری جدید بوده است. فلیپ آر. کارلتون و جی دیوید پورتر^۱ (۲۰۱۸)؛ در تحقیقی به بررسی برابری در برخورداری از حمل‌ونقل عمومی شهر کورولیس، اورگان (ایالات متحده آمریکا) با استفاده از تکنیک منحنی لورنز و تجزیه و تحلیل شکاف بین نیاز و میزان برخورداری پرداخته‌اند. در تحقیق ذکرشده محققان با روشن کردن مزایا و محدودیت‌های روش‌های مورد استفاده به‌منظور تجزیه و تحلیل عدالت در برخورداری از حمل‌ونقل عمومی سعی کرده‌اند روشی بهینه را به‌منظور تجزیه و تحلیل عدالت در برخورداری از حمل‌ونقل عمومی ارائه دهند. نگارندگان درنهایت به این نتیجه رسیده‌اند که ترکیب روش‌های منحنی لورنز و تجزیه و تحلیل شکاف می‌تواند مدلی بهینه‌تر به‌منظور بررسی عدالت در برخورداری از حمل‌ونقل عمومی ارائه دهد. نصرالدین و اسکندری^۲ (۲۰۱۷) تحقیقی را به‌منظور بررسی سطح رضایت‌مندی مسافران از حمل‌ونقل عمومی شهر تهران انجام داده‌اند. نتایج به‌دست آمده از تحقیق ذکرشده حاکی از آن بوده است که سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی تهران از نظر جلب رضایت‌مندی مسافران به‌ترتیب عبارت بودند از: مترو، تاکسی، BRT، اتوبوس و ون. بنابراین پیشنهاد شده است تا شهرداری تهران و سیاست‌گذاران باید سیستم‌های حمل‌ونقل مذکور را پشتیبانی و حمایت کنند تا میزان رضایت‌مندی بیشتری را به‌دست دهند.

با بررسی تحقیقات انجام‌شده در حوزه موضوعی تحقیق حاضر، می‌توان دریافت که تحقیقات انگشت‌شماری در ارتباط با سنجش کارایی حمل‌ونقل عمومی با استفاده از آمار فضایی انجام شده است. از این‌رو در تحقیق حاضر با توجه به قابلیت‌های بالای تحلیل‌های فضایی و آمار فضایی در پژوهش‌های مکان‌محور، از این تکنیک‌ها در راستای ارزیابی الگوی پراکنش فضایی ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی و تاثیر آن در کارایی سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل استفاده شده است.

1. Phillip R. Carleton & J. David Porter
2. M. Nassereddine & H. Eskandari

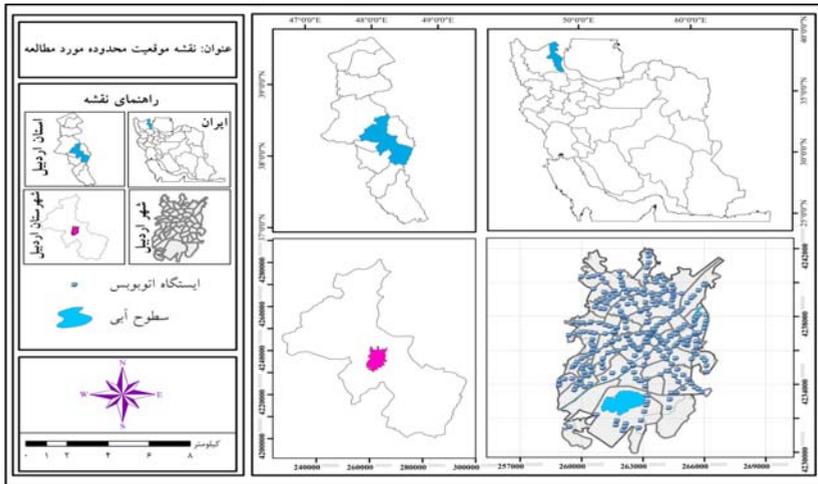
روش تحقیق

روش تحقیق نوشتار حاضر، توصیفی-تحلیلی است و به منظور گردآوری داده‌های مورد نیاز پژوهش، هم‌زمان و به فراخور نیاز پژوهش از روش‌های اسنادی و میدانی استفاده شده است. در پژوهش پیش‌رو، در مواردی که داده‌های دست اول و مورد اعتماد در دسترس نبوده است، با استفاده از روش میدانی و سیستم موقعیت‌یاب جهانی اقدام به تهیه داده‌های مورد نیاز تحقیق شده است. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات و تحلیل یافته‌های تحقیق نیز از نرم‌افزارهای ARCGIS و GeoDa و مدل‌های موران محلی، مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل ترکیب خطی وزین¹ استفاده شده است. در فرایند تحقیق، ابتدا با توجه به شاخص‌های تحقیق، نقشه‌های معیار تهیه شده و در مرحله‌ی بعدی با استفاده از افزونه‌های موجود نقشه‌های تراکم، فاصله و درون‌یابی ایجاد شده است. بعد از تهیه نقشه‌های معیار، اقدام به استانداردسازی نقشه‌های اولیه شده و در مرحله‌ی بعدی با استفاده از ضریب اهمیت هر یک از معیارها که از طریق مقایسه‌ی زوجی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به دست آمده بود و در قالب مدل ترکیب خطی وزین اقدام به هم‌پوشانی نقشه‌های استاندارد شده موزون شد. نقشه‌ی نهایی به دست آمده از این فرایند، بیان‌گر میزان کارایی و مطلوبیت خدمات‌دهی سیستم حمل‌ونقل عمومی در شهر اردبیل خواهد بود. بعد از این مرحله، اقدام به تهیه نقشه‌های تراکم ایستگاه‌های اتوبوس و فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل شده است و در نهایت اطلاعات مربوط به متغیرهای مذکور و متغیر کارایی شبکه حمل‌ونقل عمومی به جدول اطلاعات توصیفی پلیگون‌های شش‌ضلعی اضافه شده و در قالب مدل دومتغیره موران و در محیط نرم‌افزار GeoDa به منظور سنجش خودهمبستگی فضایی الگوی توزیع فضایی ایستگاه‌های اتوبوس و میزان فاصله از آن با میزان کارایی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر، مورد استفاده قرار گرفته است.

از آن‌جا که در تلفیق و تعمیم داده‌ها، انتخاب واحدهای پایه مناسب یکی از موضوعات اساسی محسوب می‌شود؛ بهترین روش برای ارزیابی نوع توزیع فضایی، استفاده از شبکه

1. Weighted Linear Combination

شش ضلعی است، زیرا فاصله در همه قسمت‌ها تقریباً برابر است و اثر گوشه‌های زاویه شش ضلعی احتمال خطا را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر عامل بسیار عمده برای انتخاب این واحد پایه، اجتناب از بروز انحراف در داده، هنگام ترکیب آنها در واحدهای فضایی بزرگ‌تر است. تعیین مقیاس تحلیل فضایی یا ابعاد سلول‌های شبکه شش ضلعی نیز از بخش‌های مهم این تحقیق است، زیرا اگر ابعاد این شش ضلعی‌ها بسیار کوچک باشد، سبب می‌شود الگوهای فضایی ناصحیحی در سطح فضا تشکیل شود و مشکل مغالطه (قیاس) زیست محیطی^۱ به وجود آید؛ در حالی که اگر ابعاد آن را بزرگ‌تر از حد متعارف در نظر بگیریم، سبب از بین رفتن اطلاعات موجود در بافت فضایی شهر می‌شود و مسئله واحدهای فضایی متغیر^۲ به وجود می‌آید (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۴: ۶ و ۷). لذا بایستی در تعریف ابعاد و مقیاس واحدهای فضایی در تحلیل‌های صورت گرفته، دقت کافی اعمال شود. شایان ذکر است در تحقیق حاضر، شهر اردبیل را به ۲۵۷ شش ضلعی هم‌مقیاس به واحدهای همسایگی تقسیم شده و داده‌های مربوط به متغیرهای مستقل و وابسته را برای آن محاسبه شده است. محدوده مورد مطالعه: شهر اردبیل به‌عنوان محدوده‌ی مطالعاتی تحقیق حاضر و به‌عنوان مرکز استان و شهرستان اردبیل، در دشتی هم‌نام خود و در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه واقع شده است. بر اساس مصوبات شورای شهر و شهرداری اردبیل (۱۳۹۶) و تأیید استانداری و وزارت کشور، این شهر به ۵ منطقه‌ی شهرداری و ۱۵ ناحیه‌ی شهری و ۵۱ محله اصلی تقسیم شده است. شهر اردبیل در حال حاضر (سال ۱۳۹۸) در محدوده‌ای با مساحتی بیش از ۶۲۰۰ هکتار گسترده شده و بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، دارای جمعیتی بالغ بر ۵۲۹۳۷۴ نفر بوده است. موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل در قالب شکل ۱ نمایش یافته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

سیستم اتوبوس‌رانی شهر اردبیل و حومه از ۲۳ مسیر تشکیل شده است که ۱۷ مسیر آن مربوط به درون شهر و ۶ مسیر آن مربوط به حومه شهر است. از آن جایی که پایانه‌ای در این شهر وجود ندارد، سازمان اتوبوس‌رانی شهر اردبیل برای مرتفع کردن مشکلات ناشی از عدم وجود پایانه، خطوط اتوبوس را به صورت قطری در نظر گرفته است که این امر باعث روان‌سازی ترافیک و افزایش سرعت جابه‌جایی مسافر و غیره می‌شود. هم‌چنین شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل دارای ۱۷۷ دستگاه اتوبوس است که به صورت روزانه (و به‌طور متوسط) تعداد ۱۲۶۴۰۰ نفر مسافر را از مبادی مختلف به مقاصد مشخص جابه‌جا می‌کنند (عطایی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۲۱). طول خطوط تحت پوشش سیستم اتوبوس‌رانی اردبیل حدود ۳۳۰ کیلومتر است که اکثر خطوط آن از مرکز اصلی شهر عبور می‌کند. با توجه به عدم وجود پایانه‌ی اتوبوس‌رانی در شهر اردبیل و به دلیل این که خیابان‌های موجود کم‌عرض هستند و هم‌چنین در اکثر خیابان‌ها پهلوگاه مناسبی وجود ندارد و از طرفی ایجاد پایانه در درون شهر بسیار پرهزینه است؛ به جای پایانه، ایستگاه‌های مرکزی در نظر گرفته شده است. شهر اردبیل دارای پنج ایستگاه مرکزی به نام‌های میدان مبارزان، میدان امام حسین، بازار (میدان فجر)، میدان سرچشمه و میدان شریعتی است که در مراکز اصلی شهر قرار دارند و

بیشتر مسیرهای درون شهری از این پنج ایستگاه مرکزی عبور می کنند (عطایی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۲۲). بایستی این مسئله را مدنظر قرار داد که تمرکز بیشتر خطوط در مناطق خاصی از شهر می تواند باعث افزایش ترافیک و عدم کارآیی مورد انتظار سیستم حمل و نقل شود. از طرف دیگر در حال حاضر (سال ۱۳۹۸) متوسط سرعت جابه جایی مسافر در شبکه ی اتوبوس رانی شهر اردبیل حدود ۱۴ کیلومتر بر ساعت بوده و متوسط زمان مورد نیاز برای طی کردن مسیر (فقط مسیر رفت) خطوط نیز ۴۲ دقیقه است. مجموعه ی این عوامل باعث عدم محبوبیت و کارآیی مناسب سیستم حمل و نقل عمومی شهر اردبیل شده و منجر به استفاده بیشتر شهروندان از خودروهای شخصی می شود. با توجه به شرایط ذکر شده، ضرورت توجه به مطالعات مربوط به سیستم حمل و نقل عمومی شهر اردبیل و سنجش کارآیی آن در راستای ارائه ی پیشنهادهایی به منظور افزایش مطلوبیت آن، آشکار می شود. از این رو در تحقیق حاضر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی وضعیت شبکه ی حمل و نقل عمومی شهر اردبیل اقدام شده است. اطلاعات مربوط به شبکه ی اتوبوس رانی شهر اردبیل در جدول ۱ درج شده است.

جدول شماره ۱- اطلاعات مربوط به خطوط اتوبوس رانی شهر اردبیل

ردیف	نام مسیر	طول مسیر رفت و برگشت (کیلومتر)	تعداد مسافر جابجا شده در هر مسیر	تعداد اتوبوس در هر مسیر	متوسط سرعت (کیلومتر بر ساعت)
۱	آبی بیگلو - اردبیل	۵۲	۳۲۰۰	۴	۲۶
۲	کشتارگاه - میدان قیام	۱۸	۶۴۰۰	۹	۱۱.۲۵
۳	باکری - بازار	۱۷.۲	۶۴۰۰	۸	۱۲.۹
۴	شهرک کارشناسان - جام جم	۲۷.۵	۹۶۰۰	۱۲	۱۵
۵	بهشت زهرا - بازار	۱۵	۳۲۰۰	۴	۱۶.۶۷
۶	رسالت - خاتم النبیین	۳۰.۲	۱۲۰۰۰	۱۵	۱۶.۱۸
۷	آزادی - زرنس	۲۲	۵۶۰۰	۷	۱۱
۸	شهرک سینا - بازار	۲۰	۸۰۰۰	۱۰	۱۵
۹	شهریار - بازار	۱۰	۳۲۰۰	۴	۱۰
۱۰	شهرک سیلان - میدان سرچشمه	۱۵.۴	۶۴۰۰	۸	۱۱.۵
۱۱	کلخوران - کاشانی	۲۰.۵	۱۱۲۰۰	۱۴	۱۱.۸۳
۱۲	شهرک کوثر - میدان شریعتی	۱۷.۵	۶۴۰۰	۸	۱۴.۵۸
۱۳	گلنگان - میدان عالی قاپو	۱۶	۴۸۰۰	۶	۲۰
۱۴	ملاشایی - بازار	۱۰.۵	۳۲۰۰	۴	۱۳.۱۲
۱۵	نیار - نیستان	۲۱	۶۴۰۰	۸	۱۲.۱۱
۱۶	هنرستان رازی - پیرعبدالملک	۱۰	۴۸۰۰	۶	۱۰
۱۷	میدان وحدت - بازار	۱۰.۱	۴۸۰۰	۶	۱۰

مآخذ: پایگاه اطلاعاتی سازمان حمل و نقل بار و مسافر شهرداری اردبیل

ارزیابی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل شهری یکی از مهم‌ترین فعالیت‌ها در مبحث برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است تا بتوان نقاط ضعف و قوت سیستم موجود را شناخته و برنامه‌ریزی بهتری برای بهبود سیستم موجود ارائه کرد. یکی از بهترین روش‌های ارزیابی خطوط اتوبوس‌رانی، محاسبه کارایی آنها است. کارایی به عبارت ساده، به نسبت بین خروجی‌ها به ورودی‌های یک واحد گفته می‌شود. بنابراین هرچه یک واحد تصمیم‌گیری با مصرف ورودی کمتر، خروجی بیشتری تولید کند، کارایی و عملکرد آن بیشتر و بهتر خواهد شد (قوامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶۲). با توجه به این که همه‌ی فعالیت‌های بشری در بستری از مکان اتفاق می‌افتد و سیستم حمل‌ونقل و فعالیت‌های مرتبط با آن نیز یکی از این فعالیت‌ها است که می‌توان با مطالعات میدانی، وضعیت آن را به لحاظ مطلوبیت و کارایی مورد سنجش و ارزیابی قرار داد و از آن‌جا که سیستم اطلاعات جغرافیایی یکی از سامانه‌های توانمند در مطالعات مکان‌محور است، در تحقیق حاضر با استفاده از قابلیت‌های این سامانه و تلفیقی از تکنیک‌های مختلف به سنجش کارایی شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی اقدام شده است. به منظور جامه‌ی عمل پوشاندن به هدف موردنظر، تحقیق پیش‌رو با مطالعه ادبیات نظری تحقیق معیارهایی جهت سنجش کارایی شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل انتخاب و مورد استفاده قرار گرفته است که در جدول ۲ درج شده است.

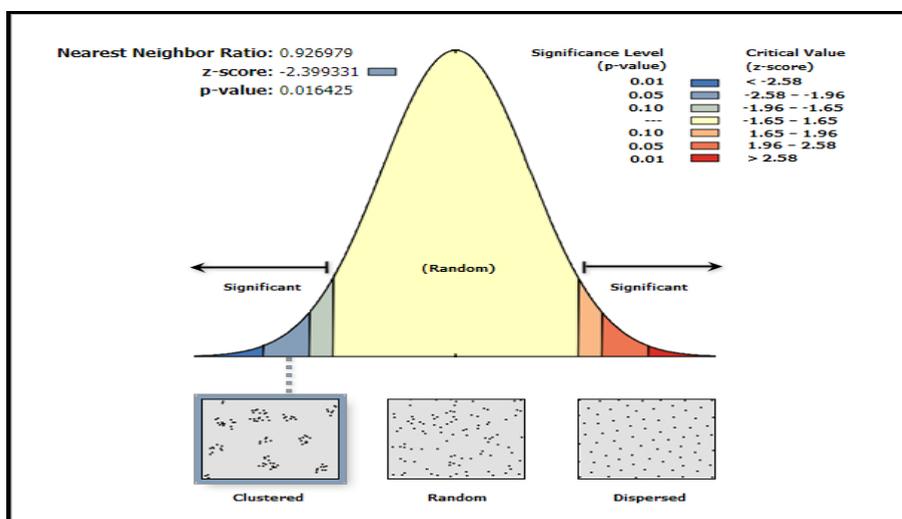
جدول شماره ۲- متغیرهای تحقیق

متغیرهای مورد بررسی تحقیق
متوسط تعداد مسافر جابه‌جا شده در هر یک از خطوط اتوبوس‌رانی شهر
میزان جمعیت ساکن در سطح سرویس‌دهی ۵ دقیقه پیاده‌روی تا ایستگاه‌های اتوبوس
تعداد ناوگان اتوبوس فعال در هر مسیر
تعداد ایستگاه‌های اتوبوس در هر مسیر
متوسط سرعت جابه‌جایی در مسیرها
متوسط زمان پیمون مسافت بین مبدأ و مقصد در هر مسیر
مطلوبیت شعاع عملکردی ایستگاه‌های اتوبوس
فاصله محلات از خطوط و ایستگاه‌های اتوبوس

(قوامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶۵؛ کردنائیچ و مختاری موغاری، ۱۳۹۰: ۶۳ و تحقیقات نگارندگان)

یافته‌ها

الف) الگوی پراکنش فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهری: در این مرحله با استفاده از شاخص نزدیک‌ترین همسایگی به بررسی الگوی پراکنش فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهری اقدام شده است. شاخص نزدیک‌ترین همسایگی، از جمله آزمون‌های خوشه‌بندی است که برای تعیین الگوی پراکنندگی پدیده‌ها از آن استفاده می‌شود. در نتیجه به‌کارگیری این روش، شاخصی به نام R_n (میزان مجاورت) به‌دست می‌آید که دامنه آن بین عدد صفر تا $2/15$ متغیر است. این شاخص پراکنندگی سکونت‌گاه‌ها و عناصر را در سطح ناحیه (شهر یا هر سطح جغرافیایی دیگر) جدا از عوامل موثر در شکل‌گیری آن بیان می‌کند و در نتیجه هرچه مقدار R_n به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌گر الگوی توزیع متراکم و خوشه‌ای و هرچه به $2/15$ نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر الگوی پراکنده و عدد یک نیز بیان‌کننده الگوی تصادفی توزیع پدیده‌ها است (فاضل و بیک‌محمدی، ۱۳۹۱: ۱۵۷). شکل ۲ نمایش‌گر الگوی توزیع فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهر اردبیل است.



شکل ۲- ضریب نزدیک‌ترین همسایگی در توزیع فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهری اردبیل

شناسایی الگوهای فضایی پدیده‌های جغرافیایی به محققان این امکان را می‌دهد تا بفهمند که پدیده‌های مورد بررسی از چه الگویی تبعیت می‌کنند؟ آیا این پدیده‌ها در سطوح (منطقه‌ای، شهری و محلی) مورد بررسی، به‌صورت همگن توزیع یافته‌اند یا این‌که در منطقه‌ای خاصی از شهر یا هر سطح مورد بررسی دیگری، به‌صورت خوشه‌ای تمرکز پیدا کرده‌اند؟ با محاسبه شاخص نزدیک‌ترین همسایگی برای ایستگاه‌های اتوبوس شهری اردبیل (شکل ۲) مشخص شد که این تسهیلات در سطح شهر اردبیل با الگوی خوشه‌ای مکان‌یابی و جانمایی شده‌اند. از این‌رو می‌توان انتظار داشت که این تسهیلات در سطح شهر اردبیل به‌صورت نامتوازن توزیع پیدا کرده است. این عدم توازن در توزیع فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهری می‌تواند موجب دسترسی نامطلوب برخی از شهروندان به این تسهیلات شده و به نابرابری در دریافت خدمات حمل‌ونقل عمومی منجر شود. شاخص نزدیک‌ترین همسایگی محاسبه شده برای ایستگاه‌های اتوبوس شهری برابر $0/93$ بوده است که در سطح اطمینان بالای ۹۵ درصد محاسبه شده است.

ب) سنجش ارتباط فضایی مطلوبیت شبکه‌ی اتوبوس‌رانی با الگوی توزیع فضایی ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس: در این مرحله ابتدا با استفاده از شاخص‌های مختلف، اقدام به پهنه‌بندی شهر اردبیل از نظر میزان کارایی شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی شده است تا در مراحل بعدی به سنجش ارتباط فضایی مطلوبیت شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی شهر و پراکنش فضایی ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس شهر اردبیل اقدام شود. به‌منظور سنجش کارایی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل و ارزیابی وضعیت آن در سطح محلات شهر، معیارهایی چون: میزان جمعیت ساکن در سطح سرویس‌دهی ۵ دقیقه پیاده‌روی تا ایستگاه‌های اتوبوس، مطلوبیت شعاع عملکردی ایستگاه‌های اتوبوس، متوسط تعداد مسافر جابه‌جا شده در هر یک از خطوط اتوبوس‌رانی شهر، تعداد ناوگان اتوبوس‌رانی فعال در هر مسیر، متوسط سرعت جابه‌جایی در مسیرها، متوسط زمان پیمودن مسافت بین مبدأ و مقصد در هر مسیر، فاصله محلات از خطوط و ایستگاه‌های اتوبوس‌رانی و تعداد ایستگاه‌های اتوبوس در هر مسیر مورد استفاده قرار گرفته است. فرایند عملی تحلیل‌ها در این مرحله به این صورت بوده است که

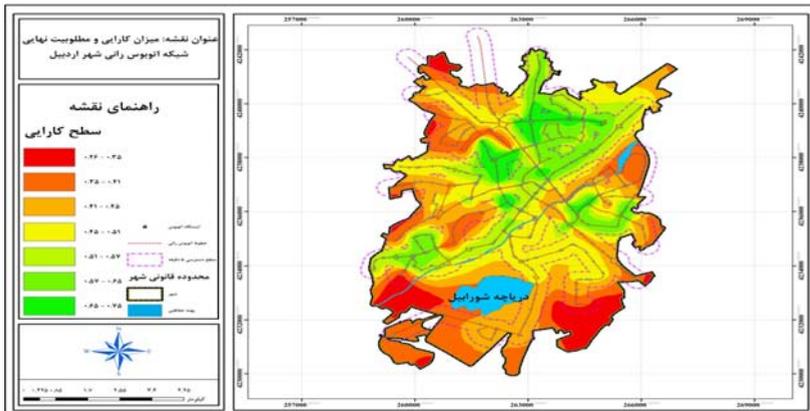
ابتدا نقشه‌های رستری مربوط به هر یک از معیارها تهیه شده و با استفاده توابع عضویت فازی تمامی نقشه‌های معیار استانداردسازی و در نهایت متناسب با میزان اهمیت‌شان به نقشه‌های استاندارد موزون تبدیل شدند. در تحقیق پیش‌رو میزان اهمیت نسبی هر یک از معیارهای تحقیق، با استفاده از نظر کارشناسان متخصص در امر و تکنیک مقایسه‌ی زوجی مدل تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه شده است. میزان اهمیت نسبی (وزن) هر یک از معیارهای تحقیق در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول شماره ۰- وزن نهایی شاخص‌های مؤثر در تحلیل کارآیی سیستم حمل‌ونقل عمومی

(شبکه‌ی اتوبوس‌رانی) شهر اردبیل

میزان اهمیت نسبی (وزن)	شاخص‌ها و مؤلفه‌های مؤثر در تحلیل
۰/۲۵۷	متوسط تعداد مسافر جابه‌جا شده در هر یک از خطوط اتوبوس‌رانی شهر
۰/۱۱۳	میزان جمعیت ساکن در سطح سرویس‌دهی ۵ دقیقه پیاده‌روی تا ایستگاه‌های اتوبوس
۰/۱۴۹	تعداد ناوگان اتوبوس فعال در هر مسیر
۰/۰۵۵	تعداد ایستگاه‌های اتوبوس در هر مسیر
۰/۱۴۹	متوسط سرعت جابه‌جایی در مسیرها
۰/۱۲۸	متوسط زمان پیمودن مسافت بین مبدأ و مقصد در هر مسیر
۰/۰۸۵	مطلوبیت شعاع عملکردی ایستگاه‌های اتوبوس
۰/۰۶۴	فاصله محلات از خطوط و ایستگاه‌های اتوبوس
۱	جمع کل

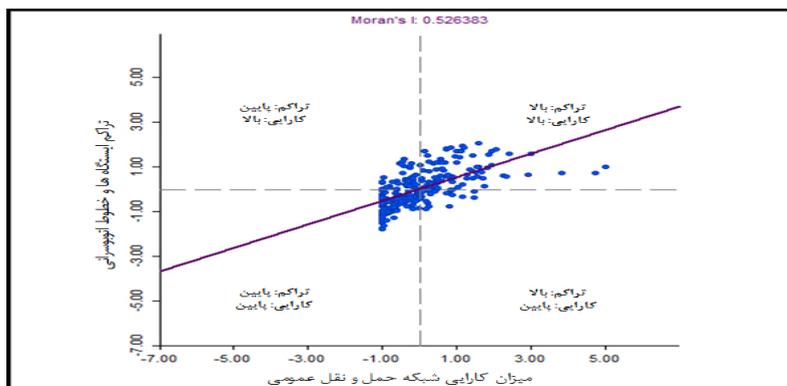
در این مرحله با استفاده از ابزار Raster Calculator و متناسب با میزان اهمیت معیارهای تحقیق مندرج در جدول ۳ اقدام به تلفیق کلیه‌ی نقشه‌های معیار شده است. نقشه‌ی نهایی به‌دست آمده از این مرحله که در قالب مدل WLC محاسبه و تهیه شده است، نشان‌گر میزان کارآیی سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل در محلات مختلف این شهر است. نقشه‌ی نهایی به‌دست‌آمده از مدل WLC در قالب شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل شماره ۳- میزان کارایی شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل

در نقشه‌ی نهایی به‌دست آمده از مدل WLC مناطقی که به رنگ سبز نمایش داده شده‌اند، بیان‌گر محلات با کارایی بالای سیستم حمل‌ونقل عمومی بوده و مناطقی که به رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند، نشان‌گر محلات با کارایی پایین سیستم حمل‌ونقل عمومی است. با توجه به خروجی مدل که در بازه‌ی عددی ۰/۲۶ تا ۰/۷۵ به‌دست آمده است (اعداد بالاتر نشانگر وضعیت مطلوب‌تر است)؛ می‌توان گفت که میزان کارایی سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل در محلات هسته‌ی مرکزی، محلات بخش شمالی، بخش‌هایی از محلات شرقی و جنوب‌غربی شهر بیشتر بوده و بالعکس وضعیت محلات جنوبی و بخش‌هایی از محلات شمال غربی شهر، از نظر میزان کارایی شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی در شرایط نامطلوبی قرار دارد.

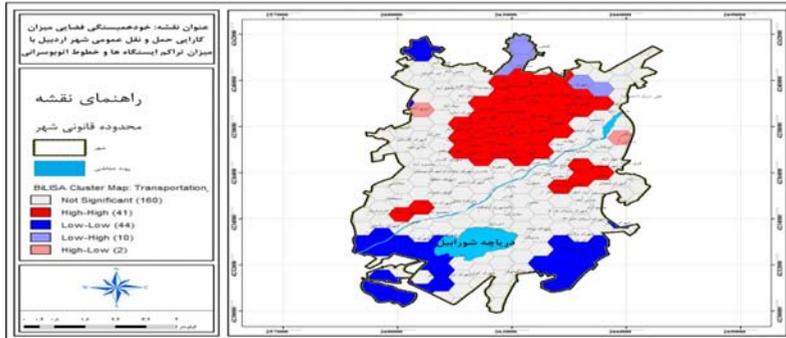
در این بخش از تحلیل‌ها به سنجش ارتباط الگوی توزیع فضایی ایستگاه‌های اتوبوس و خطوط اتوبوس‌رانی با میزان کارایی سیستم اتوبوس‌رانی شهر اردبیل پرداخته می‌شود. بدین منظور از نرم‌افزار GeoDa و آماره موران دومتغیره استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا نقشه‌ی تراکم ایستگاه‌های اتوبوس شهر اردبیل تهیه شده و اطلاعات مربوط به این نقشه به پلی‌گون‌های شش‌ضلعی اضافه شده است. در این تحلیل میزان تراکم ایستگاه‌های اتوبوس بر روی محور Xها و میزان کارایی سیستم حمل‌ونقل بر محور Yها قرار گرفته است. نتایج تحلیل در قالب شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل شماره ۴- خودهمبستگی فضایی میزان کارایی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل با میزان تراکم ایستگاه‌های اتوبوس در سطح محلات شهری

با بررسی نتایج به‌دست آمده از محاسبه موران محلی دومتغیره می‌توان دریافت که بین محلات مختلف شهر اردبیل از نظر میزان وجود مقادیر متغیرهای مورد بررسی، خودهمبستگی فضایی مثبت و قوی وجود دارد. در واقع این‌طور می‌توان گفت که در محلات با میزان تراکم بالای ایستگاه‌های اتوبوس شهری، متغیر کارایی و مطلوبیت خدمات‌دهی سامانه اتوبوس‌رانی نیز مقادیر بالاتر از میانگین را به‌خود اختصاص داده و این محلات نیز به‌صورت خوشه‌ای در مجاورت و همسایگی یکدیگر قرار گرفته‌اند. آماره موران محلی محاسبه شده برای متغیرهای مذکور برابر $0/526$ بوده است که در سطح معناداری 5% محاسبه شده است. این مسئله بیان‌گر آن است که محلات با تعداد و تراکم بیشتر ایستگاه‌های اتوبوس و مطلوبیت خدمات‌دهی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی بالا، به‌صورت خوشه‌ای در مجاورت هم متمرکز شده‌اند و بالعکس محلات با تراکم پایین ایستگاه‌های اتوبوس و خدمات حمل‌ونقل همگانی نامطلوب نیز به‌صورت خوشه‌ای در مناطق خاصی از شهر متمرکز شده‌اند.

در مدل موران محلی قابلیت تولید نقشه‌های خوشه‌بندی نیز وجود دارد که با توجه به نقشه ذکر شده می‌توان دید بصری بر محلات با خوشه‌بندی مقادیر بالا و محلات با خوشه‌بندی مقادیر پایین به دست آورد. نقشه‌ی خوشه‌بندی محلات شهر اردبیل از نظر خوشه‌بندی مقادیر بالا و پایین متغیرهای مورد بررسی در شکل ۵ نمایش یافته است.

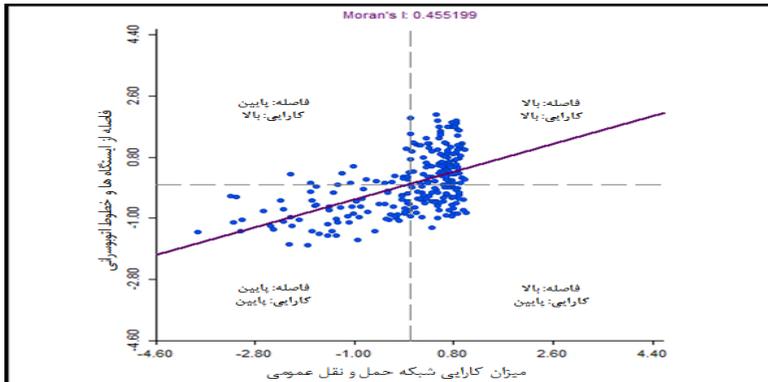


شکل شماره ۵- نقشه‌ی خوشه‌بندی فضایی میزان کارآیی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل با میزان تراکم ایستگاه‌های اتوبوس در سطح محلات شهری

با توجه به شکل فوق می‌توان گفت که بیشترین تعداد محلات (۸۵ شش‌ضلعی) در خوشه‌های بالا- بالا و پایین- پایین قرار گرفته‌اند. این امر بیان‌گر وجود خودهمبستگی فضایی مثبت بین متغیرهای کارآیی شبکه حمل‌ونقل عمومی و میزان تراکم ایستگاه‌های اتوبوس شهری است. در تحلیل صورت‌گرفته، تعداد ۴۱ شش‌ضلعی در خوشه‌ی بالا- بالا طبقه‌بندی شده است. این مسئله بیان‌گر وجود مقادیر بالاتر از میانگین هر دو متغیر کارآیی و تراکم ایستگاه‌های اتوبوس در سطح محلات شهر اردبیل است که به‌صورت خوشه‌های بالا- بالا و به رنگ قرمز مشخص شده و با الگوی خوشه‌ای در مجاورت و همسایگی یکدیگر قرار گرفته‌اند. این خوشه‌ها اکثراً مناطق مرکزی متمایل به قسمت شمالی شهر اردبیل را شامل می‌شود. هم‌چنین تعداد ۴۴ شش‌ضلعی نیز در خوشه‌ی پایین- پایین قرار گرفته‌اند که نشان‌گر مجاورت و همسایگی خوشه‌ای محلات با مقادیر پایین‌تر از میانگین هر دو متغیر مورد بررسی است. بدین مفهوم که محلات با میزان مطلوبیت پایین سیستم حمل‌ونقل عمومی و تراکم پایین ایستگاه‌های اتوبوس در مجاورت و همسایگی یکدیگر، خوشه‌های پایین- پایین را تشکیل داده‌اند. مطابق شکل ۵ تعداد ۱۰ محله در سطح پایین- بالا و ۲ محله نیز در سطح بالا- پایین قرار گرفته‌اند. قرارگیری در طبقات پایین- بالا بیان‌گر وجود مقادیر پایین‌تر از میانگین تراکم ایستگاه‌های اتوبوس و وجود مقادیر بالاتر از میانگین کارآیی سیستم حمل‌ونقل عمومی است. در مورد طبقات بالا- پایین نیز برعکس این قضیه صادق

است. در نهایت با توجه به نتایج تحلیل‌های صورت گرفته می‌توان گفت که عدم توجه به توزیع متعادل تسهیلات می‌تواند به عدم مطلوبیت کارآیی این تسهیلات منجر شود. آن‌چنان‌که در مورد مطلوبیت خدمات‌دهی سیستم اتوبوس‌رانی شهر اردبیل اتفاق افتاده است. در واقع در شهر اردبیل که سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی متمرکزی دارد، تمرکز خوشه‌ای خطوط و ایستگاه‌های اتوبوس شهر اردبیل در بخش مرکزی شهر، باعث مطلوبیت کارآیی این سیستم در بخش مرکزی و شمالی شهر و عدم مطلوبیت آن در بخش‌های پیرامونی و بالاخص نواحی جنوب‌شرقی، جنوب‌غربی و شمال‌غربی شهر شده است.

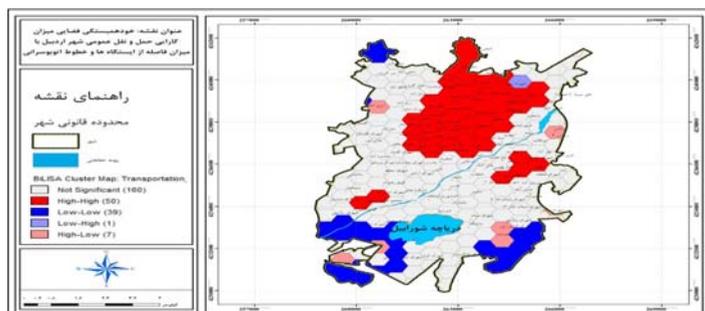
مسئله‌ی بعدی که در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است، به سنجش همبستگی فضایی دسترسی به خطوط و ایستگاه‌های اتوبوس شهری و میزان مطلوبیت و کارآیی سیستم اتوبوس‌رانی شهر اردبیل مربوط می‌شود. شایان ذکر است در این مرحله ابتدا نقشه‌ی فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل تهیه شده و در گام بعدی با استانداردسازی هر دو نقشه، نقشه‌های فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی، با یکدیگر ادغام شدند. از این‌رو در نقشه‌های به کار بسته شده جهت سنجش همبستگی فضایی دو متغیر مورد بحث، نواحی نزدیک به خطوط و ایستگاه‌های اتوبوس، از ارزش عضویت بالایی برخوردار بوده و به میزان افزایش فاصله از این تسهیلات، از ارزش فازی اختصاص داده شده به محلات مختلف شهر، کاسته می‌شود. با محاسبه شاخص موران دومتغیره محلی برای متغیرهای مذکور در سطح محلات شهر اردبیل، مشخص شد که در سطح محلات این شهر از نظر وجود مقادیر متغیرهای مورد بررسی، خودهمبستگی فضایی مثبت و قوی وجود دارد. بدین مفهوم که محلات با مقادیر بالاتر از میانگین مقادیر متغیرهای مورد بررسی به‌صورت خوشه‌ای در مجاورت و همسایگی همدیگر استقرار یافته‌اند. آماره موران محاسبه شده برای متغیرهای کارآیی و فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی، برابر $0/455$ بوده است که در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شده است. نتایج مربوط به تحلیل موران دومتغیره در قالب شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶- خودهمبستگی فضایی میزان کارآیی شبکه حمل و نقل عمومی شهر اردبیل با فاصله از ایستگاهها و خطوط اتوبوسرانی شهر

طبق روال قبلی تحلیل‌ها، نقشه‌ی خوشه‌بندی برای متغیرهای مطلوبیت خدمات‌دهی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل و فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی شهر نیز تهیه شده است (شکل ۷). با توجه به شکل مذکور و نتایج به‌دست آمده از مدل موران دومتغیره می‌توان دریافت که بین ارزش فازی فاصله از ایستگاه‌های اتوبوس و کارآیی شبکه حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل ارتباط فضایی مستقیم و قوی وجود دارد. به شکلی که هر چقدر فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی بیشتر می‌شود، از میزان کارآیی شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی شهر نیز کاسته می‌شود و بالعکس با کاهش فاصله از این تسهیلات بر میزان کارآیی آن افزوده می‌شود. به‌طوری‌که در محلات مرکزی و شمالی شهر اردبیل شاهد شکل‌گیری خوشه‌های بالا-بالا (به تعداد ۵۰ شش‌ضلعی) بوده‌ایم. این مسئله بدین مفهوم است که محلات با مقادیر بالاتر از میانگین هر دو متغیر به‌صورت خوشه‌ای در مجاورت و همسایگی یکدیگر قرار گرفته‌اند. یعنی هر جا که ارزش استاندارد شده فازی فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی (هر چقدر فاصله کمتر، میزان عضویت فازی بیشتر) بیشتر باشد، میزان کارآیی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی نیز مطلوب‌تر و بیشتر است. برعکس این قضیه در محلات جنوب‌شرقی، جنوب‌غربی و شمال‌غربی شهر اردبیل قابل مشاهده است. یعنی مناطقی که در سطح پایین-پایین طبقه‌بندی شده‌اند. بدین معنی که مقادیر هر دو متغیر مورد بررسی در نواحی مورد

بحث کمتر از میانگین بوده و در این منطقه خوشه‌های پایین- پایین در مجاورت و همسایگی یکدیگر استقرار پیدا کرده‌اند. با توجه به شکل ۷ می‌توان به صحت گفته‌های فوق پی برد.



شکل شماره ۷- نقشه‌ی خوشه‌بندی فضایی میزان کارآیی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل با میزان فاصله از ایستگاه‌های اتوبوس در سطح محلات شهری

بحث و نتیجه‌گیری

طی سال‌ها و دهه‌های اخیر گسترش روزافزون شهرها و افزایش جمعیت شهری موجب افزایش تقاضا برای حمل‌ونقل عمومی و استفاده از خدمات شهری شده است. اگر این افزایش تقاضا متناسب با تخصیص خدمات و تسهیلات صورت نگیرد، مشکلات عدیده‌ای برای شهر و شهروندان ایجاد خواهد شد. آن‌چنان‌که در ارتباط با سیستم حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری نیز اگر تعداد ناوگان، برنامه‌ی زمانی حرکت، سرعت حرکت، مسیر و محدوده پوشش‌دهی خدماتی و سایر موارد، متناسب با نیاز و خواسته‌های شهروندان برنامه‌ریزی نشود و مهیا نشود، مشکلاتی چون عدم مطلوبیت کارآیی ناوگان حمل‌ونقل عمومی، عدم استقبال شهروندان از سیستم حمل‌ونقل عمومی و میل به استفاده از سیستم حمل‌ونقل شخصی و در نتیجه ایجاد ازدحام ترافیکی، آلودگی هوا و صدا، اتلاف زمان، انرژی و هزینه‌گریبان‌گیر شهر و شهروندان خواهد شد. از این‌رو همواره ضرورت دارد که مطالعات و پژوهش‌های به‌روز در راستای پایش کارآیی و مطلوبیت خدمات‌دهی سیستم حمل‌ونقل عمومی صورت گیرد تا نقاط قوت و ضعف سیستم

آشکار شده و در برنامه‌ریزی‌های آتی مد نظر قرار گرفته شود. بنابراین در تحقیق حاضر سعی بر آن شده است تا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های آمار فضایی، الگوی توزیع فضایی ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفته و ارتباط و همبستگی فضایی بین الگوی توزیع فضایی این عناصر و مطلوبیت خدمات‌دهی شبکه اتوبوس‌رانی مورد سنجش قرار گیرد.

نتایج تحقیق مبین وجود الگوی خوشه‌ای در پراکنش فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهر اردبیل می‌باشد. این الگو باعث بروز نابرابری در مطلوبیت خدمات‌دهی در محلات مختلف شهر اردبیل شده است؛ به طوری که بعد از پهنه‌بندی میزان کارایی سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل براساس معیارهای تحقیق، مشخص شد که میزان کارایی سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل در هسته‌ی مرکزی، محلات بخش شمالی، بخش‌هایی از محلات شرقی و جنوب‌غربی شهر بیشتر از سایر محلات بوده و بالعکس وضعیت محلات جنوبی و بخش‌هایی از محلات شمال‌غربی شهر، از نظر میزان کارایی شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی در شرایط نامطلوبی قرار دارد. به نظر می‌رسد بخشی از این وضعیت متأثر از عدم وجود توازن و تعادل در توزیع فضایی تسهیلات حمل‌ونقل عمومی بوده است. به طوری که با محاسبه آماره موران دومتغیره در محیط نرم‌افزاری GeoDa برای متغیرهای تراکم ایستگاه‌های اتوبوس و میزان کارایی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی شهر اردبیل، مشخص شد که در محلات با میزان تراکم بالای ایستگاه‌های اتوبوس شهری، کارایی و مطلوبیت خدمات‌دهی سامانه اتوبوس‌رانی نیز مطلوب‌تر بوده است. آماره موران محلی محاسبه شده برای متغیرهای مذکور برابر $0/526$ بوده است که در سطح معناداری ۵ درصد محاسبه شده است. این مسئله بیان‌گر آن است که محلات با تعداد و تراکم بیشتر ایستگاه‌های اتوبوس و مطلوبیت خدمات‌دهی شبکه‌ی اتوبوس‌رانی بالا، در مجاورت و همسایگی همدیگر و به صورت خوشه‌ای تمرکز پیدا کرده‌اند و بالعکس محلات با تراکم پایین ایستگاه‌های اتوبوس و خدمات حمل‌ونقل همگانی نامطلوب، به صورت خوشه‌ای در مناطق خاصی از شهر متمرکز شده‌اند. در واقع

می‌توان گفت که عدم توجه به توزیع متعادل تسهیلات می‌تواند به عدم مطلوبیت کارآیی این تسهیلات منجر شود. آن‌چنان‌که در مورد مطلوبیت خدمات‌دهی سیستم اتوبوس‌رانی شهر اردبیل اتفاق افتاده است. در واقع در شهر اردبیل که سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی متمرکزی دارد، تمرکز خوشه‌ای خطوط و ایستگاه‌های اتوبوس، در بخش مرکزی شهر باعث مطلوبیت کارآیی این سیستم در بخش مرکزی و عدم مطلوبیت آن در بخش‌های پیرامونی و بالاخص نواحی جنوب‌شرقی، جنوب‌غربی و شمال‌غربی شهر شده است. هم‌چنین دیگر عاملی که با میزان کارآیی سیستم حمل‌ونقل عمومی همبستگی فضایی داشته است، می‌توان به عامل فاصله اشاره کرد. با بررسی ارتباط و همبستگی فضایی فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس و میزان کارآیی و مطلوبیت خدمات‌دهی سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل، مشخص شد که بین ارزش فازی فاصله از ایستگاه‌های اتوبوس و کارآیی شبکه حمل‌ونقل عمومی شهر اردبیل ارتباط فضایی قوی و معنی‌داری وجود دارد. به شکلی که هر چقدر فاصله از ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی بیشتر می‌شود، از میزان کارآیی شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی شهر نیز کاسته می‌شود و بالعکس با کاهش فاصله از این تسهیلات بر میزان کارآیی و مطلوبیت خدمات‌دهی آن افزوده می‌شود.

در پایان می‌توان اذعان کرد که توزیع نامتوازن ایستگاه‌ها و خطوط حمل‌ونقل عمومی، عدم توجه به مکان‌یابی و جانمایی متناسب تسهیلات و خدمات شهری (در پژوهش حاضر، ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی) و عدم توجه به رعایت اصول و ضوابط مربوط به برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری در توزیع تسهیلات شهری، باعث ایجاد نابرابری و ناعدالتی در برخورداری از تسهیلات و خدمات شهری می‌شود. به‌طوری‌که در شهر اردبیل محلات نزدیک به خطوط اتوبوس و محلات واقع در مرکز ثقل خطوط و ایستگاه‌ها، از مطلوبیت بیشتر حمل‌ونقل و دسترسی برخوردار بوده‌اند، ولی در محلات حاشیه‌ای و پیرامونی شهر نه تنها خدمات‌دهی سیستم حمل‌ونقل عمومی نامطلوب بود بلکه این محلات گاهی از دسترسی مطلوب به این تسهیلات نیز محروم بوده‌اند. بالاخص

محلات واقع در نواحی جنوب شرقی، جنوب غربی و شمال غربی شهر اردبیل. این مسئله خود گویای نابرابری در بین محلات مرکز (دارا) و پیرامون (ندار) بوده و نشان گر تبعیض در برخورداری از خدمات شهری است و می تواند به دوقطبی شدن جامعه منجر شود. از این رو انتظار می رود در سال های آتی برنامه ریزی هایی در راستای کاهش این نابرابری و ارائه خدمات مطلوب تر در حوزه حمل و نقل عمومی درون شهری، برای شهروندان ساکن در محلات پیرامونی شهر اردبیل، اندیشیده شده و مورد اجرا قرار گیرد. چرا که شبکه ی حمل و نقل عمومی پیشرفته و کارا می تواند از شکل گیری راهبندان ها و ازدحام ترافیکی شدید و در نتیجه آلودگی هوا و صدا که نتیجه ی عدم کارآیی مطلوب سیستم حمل و نقل عمومی و افزایش میل شهروندان به استفاده از اتومبیل های شخصی و تک سرنشین بوده است؛ جلوگیری به عمل آورد.

با مقایسه نتایج به دست آمده از تحقیق پیش رو با مطالعات انجام شده در حوزه موضوعی تحقیق حاضر، مشخص شد که نتایج حاصله از تحلیل های صورت گرفته در نوشتار حاضر با نتایج تحقیقات دلایی میلان و خیرالدین (۱۳۹۶)، رهنما و صباغی آبکوه (۱۳۹۴) و عبداللهی و همکاران (۱۳۹۲) هم راستا بوده و نتایج این تحقیقات را تأیید می کند. چرا که در پژوهش انجام شده از سوی دلایی میلان و همکارش (۱۳۹۶)، عدم توزیع فضایی مناسب شبکه ی حمل و نقل عمومی را دلیلی بر عدم دسترسی مطلوب شهروندان (شهروندان ساکن مناطق ۲، ۳، ۴ و ۵ شهر تهران) قلمداد شده و دلیلی بر نابرابری در دریافت خدمات بوده است. در پژوهش رهنما و صباغی آبکوه (۱۳۹۴)، دسترسی مطلوب به خدمات عمومی تابعی از توزیع فضایی ایستگاه های اتوبوس تندرو شهر مشهد بوده است. در نهایت در تحقیق عبداللهی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به دسترسی نابرابر شهروندان به سامانه ی BRT شهر تبریز اشاره شده است. به طوری که بررسی این موضوع بیان گر محدود بودن دسترسی شهروندان ساکن در محلات حاشیه ای شهر تبریز به سیستم اتوبوس های تندروی شهری بوده است.

اعمی ازغدی، علی؛ رنگزن، کاظم؛ وطن‌خواه، محسن؛ آبشیرینی، احسان. (۱۳۸۹). بهینه‌سازی مسیر خطوط حمل‌ونقل عمومی با استفاده از GIS و روش AHP نمونه موردی: منطقه گلستان شهر اهواز؛ مجله کاربرد GIS.RS در برنامه‌ریزی؛ سال اول؛ شماره ۱؛ ۷-۱۴.

http://gisrs.semnaniau.ac.ir/article_510136.html

امین ناصری، محمدرضا؛ برادران، وحید. (۱۳۸۸). بررسی عوامل مؤثر بر زمان سفر در سیستم حمل‌ونقل عمومی و پیش‌بینی زمان سفر موردکاوی: سیستم اتوبوس‌رانی شهر تهران؛ پژوهش‌نامه حمل‌ونقل؛ سال ششم؛ شماره سوم؛ ۲۱۹-۲۳۲.

http://www.trijournal.ir/article_11458.html

تیموریان، فریده. (۱۳۹۲). طراحی و توسعه یک سیستم مشارکتی برای حمل‌ونقل عمومی شهری (مطالعه موردی سیستم اتوبوس‌رانی شهری)؛ تهران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

حاجی‌زاده، محمدجواد. (۱۳۹۶). تعیین مسیر بهینه اتوبوس شهری و مکان‌یابی ایستگاه‌های توقف شهری با استفاده از GIS؛ مطالعه موردی: شهر اردبیل؛ اردبیل: پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه محقق اردبیلی.

خاکپور، براتعلی؛ فاریابی، زینب. (۱۳۹۱). بررسی وضعیت سیستم حمل‌ونقل عمومی در محدوده‌ی ترافیکی مرکز شهر مشهد از دیدگاه توسعه‌ی پایدار شهری؛ مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی شهری؛ سال اول؛ شماره اول؛ ۷۵-۹۷.

<https://jgusd.um.ac.ir/article/view/19947>

دلایی میلان، ابراهیم؛ خیرالدین، رضا. (۱۳۹۶). سنجش عدالت فضایی در بستر نظام حمل و نقل عمومی با مدل تحلیل شبکه‌ای (مورد پژوهی: مناطق ۲، ۳، ۴ و ۵ شهر تهران)؛ فصلنامه علمی- پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی؛ سال نهم؛ شماره سوم؛ ۱۹-۳۹.

http://geography.journals.iau-garmsar.ac.ir/article_536480.html

رحیمی، محمد؛ حسینی، سیده شهلا. (۱۳۹۷). برنامه‌ریزی راهبردی توزیع فضایی ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی؛ فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک؛ شماره ۴۸؛ ۱-۲۶.

http://tms.jrl.police.ir/article_19067.html

رهنما، محمدرحیم؛ صباغی آب‌کوه، شیرین. (۱۳۹۴). ارزیابی قابلیت دسترسی فضایی سامانه اتوبوس‌های تندرو (مطالعه موردی: کلان‌شهر مشهد)؛ مهندسی حمل‌ونقل؛ سال ششم؛ شماره چهارم؛ ۷۳۱-۷۴۲. http://jte.sinaweb.net/article_12038.html

سلطانی، علی؛ طالبی، طیبه. (۱۳۹۲). بررسی نظام توزیع فضایی و تحلیل مکان‌گزینی پایانه‌های حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی درون‌شهری شیراز با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)؛ مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای؛ سال پنجم؛ شماره هجدهم؛ ۱۰۷-۱۲۲. http://journals.ui.ac.ir/article_20059.html

سیدابریشمی، سیداحسان؛ خانزاد، ایران؛ زرین‌مهر، امیرعلی؛ ممدوحی، امیررضا. (۱۳۹۶). ارائه یک روش ابتکاری برای طراحی خطوط شبکه حمل‌ونقل همگانی با استفاده از الگوریتم تولید مسیر؛ مهندسی حمل‌ونقل؛ سال هشتم؛ شماره چهارم؛ ۶۴۳-۶۵۶. http://jte.sinaweb.net/article_48711.html

عبداللهی، مهدی؛ سالک قهفرخی، رقیه؛ قاسم‌زاده، بهنام؛ فتح‌بقالی، عاطفه. (۱۳۹۲). ارزیابی کارایی عملکردی سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌های تندرو شهر تبریز؛ مجله جغرافیا و توسعه شهری؛ سال دوم؛ شماره سوم؛ ۶۵-۸۰. <https://jgusd.um.ac.ir/index.php/gud/article/view/15523>

عطائی، اسفندیار؛ توکلی مقدم، رضا؛ عزیزی، زینب. (۱۳۹۷). بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل عمومی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات با بردار ارزیابی - مطالعه موردی در سازمان اتوبوس‌رانی؛ مهندسی حمل‌ونقل؛ سال نهم؛ شماره سوم؛ ۴۱۳-۴۲۹. http://jte.sinaweb.net/article_39449.html

فائزی، سیدفرزین؛ ساسانی، مصطفی. (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوس تندرو (بی آر تی)؛ فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک؛ شماره ۵۳؛ ۸۱-۱۰۰. http://tms.jrl.police.ir/article_93140.html

فاضل، سوگل؛ بیک‌محمدی، حسن. (۱۳۹۱). تحلیلی بر ساختار فضایی جمعیت در نظام شهری استان اصفهان طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۳۵؛ فصلنامه آمایش محیط؛ دوره ۵؛ شماره ۱۹؛ ۱۴۳-۱۶۳. <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=189465>

فرج‌الهی، عاطفه. (۱۳۹۰). ارزیابی و تحلیل عملکرد حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱ اتوبوس‌رانی تبریز)؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ تبریز: پردیس بین‌المللی ارس؛ گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری.

فرهادملاشاهی، حمید؛ بذرافشان مقدم، بهادر؛ محتشمی، نکتہ. (۱۳۹۶). بررسی شاخص‌های کمی و کیفی مؤثر در ارزیابی عملکرد سامانه اتوبوس‌های تندرو (BRT) با رویکرد توسعه پایدار مطالعه موردی: کلانشهر مشهد؛ فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات شهری؛ شماره بیست و سوم؛ ۸۷-۹۷. http://urbstudies.uok.ac.ir/article_50555.html

قوامی، سیدمرسل؛ کریمی، علی؛ مسگری، محمدسعیدی. (۱۳۹۰). ارزیابی خطوط اتوبوس‌رانی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و تحلیل پوششی داده‌ها، مطالعه موردی: خطوط اتوبوس‌رانی تهران؛ مهندسی حمل‌ونقل؛ سال دوم؛ شماره سوم؛ ۲۷۱-۲۶۱. http://jte.sinaweb.net/article_1586.html

قهری، مهنوش؛ لحمیان، رضا؛ آزاده‌دل، یعقوب. (۱۳۹۳). ارزیابی موقعیت ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی بر اساس مدل AHP با استفاده از GIS (مطالعه موردی منطقه ۴ شهرداری تهران)؛ فصلنامه مطالعات برنامه‌ریزی شهری؛ سال دوم؛ شماره هفتم؛ ۱۲۷-۱۴۶. http://shahr.journals.umz.ac.ir/article_1011.html

کردنائیچ، اسدالله؛ مختاری موغاری، علی. (۱۳۹۰). استقرار، بهبود و توسعه اتوبوس‌های تندرو (B.R.T) راه‌حلی برای کاهش ترافیک کلان‌شهرها؛ فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک؛ شماره ۲۰؛ ۵۹-۸۲. <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=144867>

کریمیان، تقی؛ فرجی سبکبار، حسنعلی؛ پوراحمد، احمد. (۱۳۹۴). بررسی ارتباط میان جاذبه‌های گردش‌گری و کاربری اراضی با استفاده از مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (مطالعه موردی شهر اصفهان)؛ گردشگری شهری؛ دوره ۲؛ شماره ۱؛ ۱-۱۶. https://journals.ut.ac.ir/article_54062.html

مرتضوی، سیدامیرحسن؛ اکبرزاده، میثم. (۱۳۹۷). توسعه روشی برای اندازه‌گیری عدالت در سامانه حمل‌ونقل همگانی شهری؛ مهندسی حمل‌ونقل؛ سال نهم؛ شماره سوم؛ ۳۱۳-۳۲۶. http://jte.sinaweb.net/article_47032.html

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). گزیده نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن، تهران، ایران.

وارثی، حمیدرضا؛ شیران، غلامرضا؛ عزیزی حسنون، حدیث. (۱۳۹۴). مکان‌یابی ایستگاه‌های اتوبوس با مدل ANP و منطق فازی در GIS (نمونه موردی: شهر خرم‌آباد)، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۶؛ شماره ۲۳؛ ۵۵-۷۶.

http://jupm.miau.ac.ir/article_1763.html

Carleton, R. Phillip; Porter, J. David. (2018). A comparative analysis of the challenges in measuring transit equity: definitions, interpretations, and limitations, *Journal of Transport Geography* 72 (2018) 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.08.012>

Nassereddine, M.; Eskandari, H. (2017). An integrated MCDM approach to evaluate public transportation systems in Tehran, *Transportation Research Part a* 106 (2017) 427–439. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2017.10.013>