

تعیین مسیر بهینه خطوط شبکه اتوبوسرانی با استفاده از ANP در محیط نرم افزار ArcGIS جهت بهبود شاخص های مدیریتی و افزایش بهره وری سیستم

محسن ابوطالبی اصفهانی، استادیار، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

امیرمسعود رحیمی*، دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

سعید نادی، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

میثم عادل مقدم، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amrahimi@znu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۲ - پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰

صفحه ۱۰۵-۱۱۹

چکیده

آنچه متخصصین حوزه حمل و نقل جهان بر روی آن اتفاق نظر دارند، دستیابی به الگوی حمل و نقل پایدار در شهرها است. حمل و نقل همگانی ناهد زیادی به عنوان یک گزینه قابل اتکا برای حمل و نقل پایدار در نظر گرفته می شود. جهت افزایش سهم سیستم های حمل و نقل همگانی از سفرهای درون شهری، لازم است تا اقداماتی جهت برنامه ریزی به سمت بهبود مدیریت و افزایش بهره وری آن انجام گیرد. در همین راستا، مهم ترین مرحله در روند برنامه ریزی این حوزه، اصلاح و یا بازتعریف مسیر خطوط شبکه می باشد. این فرایند به عنوان مرحله استراتژیک جهت مدیریت برنامه های بلندمدت شبکه شناخته می شود. این تحقیق به بیان مدلی جهت تعیین مسیر بهینه خطوط اتوبوسرانی با هدف افزایش میزان پوشش شبکه در سطح شهر و کاهش تعداد خطوط موازی در خیابان ها می پردازد. بدین جهت ابتدا تعداد ۹ پارامتر مؤثر که تأثیر آن هم در مسئله مسیریابی و هم در شرایط منطقه مورد مطالعه دیده شده است، انتخاب گردید. پارامترهای در نظر گرفته شده شامل جمعیت تحت پوشش هر خط، مسافران ایستگاه ها، نوع معبر و عرض عبوری آن، سطح سرویس، سرعت ناوگان اتوبوسرانی، تسهیلات ایستگاه ها، چکالی دسترسی، کاربری اراضی و طول هر لینک می شوند. سپس پارامترهای مذکور با توجه به میزان تأثیر گذاری بر مسئله، به وسیله فرایند تحلیل شبکه ای و براساس نظر تعدادی از کارشناسان خبره، وزن دهی شده و پس از آن وزن های به دست آمده جهت انجام عملیات بهترین مسیر وارد برنامه تحلیل شبکه نرم افزار ArcGIS می شوند. به جهت سنجش مدل از داده های شهرستان خمینی شهر به عنوان منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. نتیجه، ایجاد شبکه جدید با تغییر در مسیر ۲۰ خط از خطوط موجود در جهت افزایش ۱۸ هزار نفری میزان پوشش شبکه و کاهش ۲۲ کیلومتری طول همپوشانی خطوط می باشد.

واژه های کلیدی: حمل و نقل همگانی، مسیریابی بهینه، شبکه خطوط اتوبوسرانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرایند تحلیل شبکه ای

۱- مقدمه

برنامه ریزی سیستم های حمل و نقل همگانی اعم از شبکه اتوبوسرانی به جهت افزایش سهم آن از سفرهای درون شهری امری ضروری قلمداد می شود. مهم ترین مرحله در روند برنامه

استراتژی های نوین حمل و نقل شهرها مبتنی بر سیاست حمل و نقل پایدار، بر توسعه کمی و کیفی حمل و نقل عمومی به عنوان یکی از راهکارهای موثر، تأکید دارد. در این میان،

❖ آیا با طراحی شبکه جدید با در نظر گرفتن اهداف فوق، می توان طول خطوط اتوبوسرانی را نیز کاهش داد؟

۲- پیشینه تحقیق

هدف از طرح مسئله مسیریابی و طراحی خطوط شبکه اتوبوسرانی، تعریف مجموعه‌ای از مسیرهای حرکت اتوبوس در یک منطقه خاص با توجه به توزیع تقاضای سفر، ویژگی‌های وابسته به مکان‌شناسی منطقه و مجموعه‌ای از اهداف و محدودیت‌هاست. در سال‌های گذشته در چندین تلاش تحقیقاتی، این مسئله مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعات را می‌توان با توجه به روش حل مسئله از طریق روش‌های معمول بهینه‌سازی و یا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی دسته‌بندی نمود. میخائیل کلیر به مدلسازی یک روش بهینه‌سازی شبکه خطوط حمل‌ونقل همگانی پرداخته است. با توجه به هدف مسئله که به حداکثر رساندن تعداد مسافری برای استفاده از وسایل حمل‌ونقل همگانی است و همچنین محدودیت هزینه‌های عملیاتی، یک مجموعه از خطوط احتمالی انتخاب می‌شود. از مدل لوجیت آشیانه‌ای هم به منظور مدلسازی رفتار مسافری استفاده می‌شود. همچنین عواملی مانند زمان داخل وسیله، زمان انتظار و زمان لازم برای رسیدن به ایستگاه نیز در داخل مدل دیده شده است. مدل مذکور بر روی شهر درسلن آلمان تست شده است. آزمایش‌های انجام شده بر روی مدل نشان از قابل اجرا بودن آن در یک شبکه واقعی را می‌دهد (Klier, Haase, 2015).

سیافی و همکاران در پژوهشی به مسئله مسیریابی خطوط اتوبوسرانی با ارائه متد جدید برای طراحی این شبکه پرداخته‌اند. هدف اصلی مسئله بهینه‌سازی، تعادل کاربران در شبکه با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی چون ظرفیت ناوگان اتوبوسرانی، طول مسیر و... می‌باشد. تابع هدف مسئله هم به عنوان مجموع هزینه‌های اپراتور و استفاده‌کنندگان تعریف می‌شود. روش به کار گرفته شده جهت تحلیل مسئله پیش‌رو، متشکل از مجموعه‌ای از روش‌های ابتکاری است؛ مرحله اول شامل تعریف گره‌ها، راه‌ها و مناطق مورد مطالعه می‌شود، سپس بوسیله الگوریتم ابتکاری تولید مسیر (HRGA) مجموعه‌ای بزرگ و منطقی از مسیرهای ممکن با اعمال معیارهای طراحی مختلف و همچنین قوانین علمی حاکم بر این حوزه، تولید می‌شود و در انتها بوسیله الگوریتم ژنتیک زیرمجموعه‌ای از مسیرها بصورت بهینه شناسایی می‌شوند. به منظور مدلسازی

ریزی این حوزه را می‌توان مسیریابی خطوط شبکه دانست. این فرایند به عنوان مرحله استراتژیک در حوزه مطالعات حمل‌ونقل همگانی شناخته می‌شود. طرح‌های استراتژیک، راهبرد یک سازمان را جهت مدیریت برنامه‌های بلندمدت مشخص می‌نماید، به عبارت دیگر تمامی اقدامات دیگر جهت تنظیم شبکه اعم از تنظیمات مرتبط با تواتر شبکه، تعیین تعداد ناوگان، زمان‌بندی حرکت اتوبوس‌ها و بکارگیری کارکنان آن‌ها متأثر از انجام تغییرات در مسیر خطوط شبکه است (Karlaftis, Kepaptsoglou, 2009). پس از طراحی و اجرای اولیه شبکه، به دلیل انعطاف‌ناپذیری بودن دستگاه‌های بهره‌بردار به ندرت می‌توان اقدامات اصلاحی انجام داد و یا در صورت امکان انجام اصلاحات، اجرای آن‌ها مستلزم صرف هزینه و اتلاف وقت خواهد بود. لذا با توجه به محدودیت‌های موجود، برای دستیابی به سطح سرویس مورد نظر، طراحی بهینه شبکه خطوط اتوبوسرانی ضروری می‌باشد. یکی از ترکیبات کلیدی که در روش‌ها و تکنیک‌ها برای فهم بهتر فرآیند حمل‌ونقل پدیدار شده است، سیستم اطلاعات جغرافیایی است. (Govil, 2003) از این تکنولوژی در ارتباط با حمل‌ونقل عمومی می‌توان در اندازه‌گیری میزان دسترسی شهروندان به سامانه، طراحی و ایجاد مسیرهای جدید برای حمل‌ونقل عمومی، نشان دادن بهترین مسیرها، بهترین محل جهت ایجاد ایستگاه‌های جدید و آنالیزهای مربوط به آن و در مجموع مدیریت و ساماندهی بخش حمل‌ونقل همگانی استفاده نمود. (Soomro, T.R., Mahmood, R., Path, 2015) مسئله مدنظر در این تحقیق، ارائه مدلی جهت مسیریابی بهینه خطوط شبکه اتوبوسرانی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای در محیط نرم‌افزار ArcGIS و اجرای مدل در منطقه مورد مطالعه با هدف افزایش پوشش خدمات شبکه و نیز کاهش خطوط موازی در خیابان‌ها می‌باشد. تجمیع این دو هدف به جهت مدیریت نیازهای ارائه‌دهندگان و استفاده‌کنندگان از خدمات حمل‌ونقل عمومی و ارتقاء بهره‌وری سیستم، انجام پذیرفته است. دسترسی به اهداف منظور، علاوه بر بالا بردن رضایت استفاده‌کنندگان از سامانه، سودآوری بیشتر آژانس ارائه دهنده خدمات حمل‌ونقل همگانی را نیز در پی دارد. نتیجه این تحقیق را می‌توان در پاسخ‌گویی به سوالات زیر جستجو نمود؛

❖ با این مدل تا چه میزان می‌توان از همپوشانی مسیر خطوط مختلف کاست و بر سطح پوشش شبکه اضافه نمود؟

توسعه یافته است، بلکه استفاده از این مدل در بهبود پروسه مسیریابی حمل و نقل همگانی در دنیای واقعی نیز نشان داده شده است. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات تقاضای مسافران، بهترین مسیر برای خطوط اتوبوسرانی طراحی شده است (Achuthan, 2003).

نیاتی در پایان نامه خود تحت عنوان مسیریابی خطوط اتوبوسرانی مدارس بوسلیه نرم افزار ArcGIS، به ارائه متدی برای مسئله مسیریابی در شبکه های حمل و نقل همگانی پرداخته است. هدف از طرح این پژوهش ایجاد یک سیستم حمل و نقل همگانی مدارس برای یکی از شهرهای هند است که به طراحی سریع تر و امن تر خطوط و طراحی کوتاه ترین و سریع ترین مسیرهای شبکه خطوط اتوبوسرانی می انجامد.

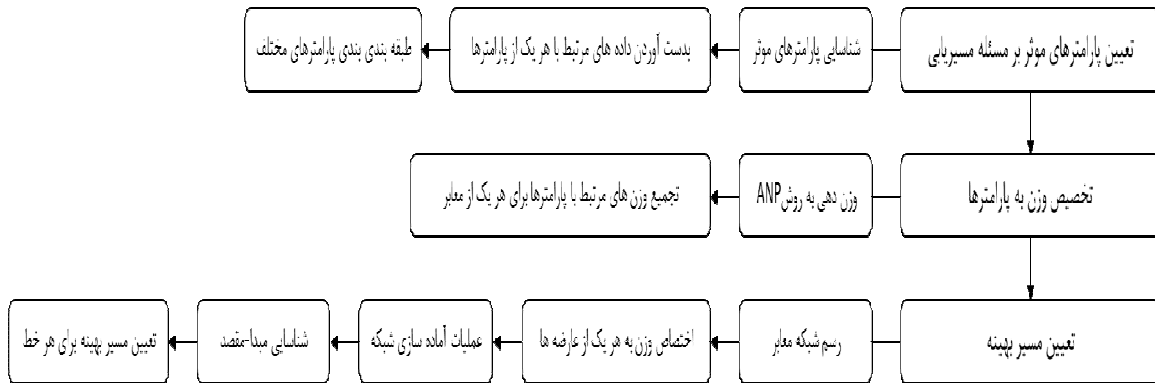
اهداف مدنظر در این تحقیق شامل حداقل سازی هزینه استفاده کنندگان و همچنین هزینه عملیاتی سرویس اتوبوسرانی، حداقل سازی زمان سفر و به حداقل رساندن تعداد اتوبوسهای مورد نیاز می شوند. نتیجه حاصله از برنامه تحلیل گر شبکه، منجر به تولید مسیرهای جدید می شود که در مقایسه با خطوط موجود در جهت نیل به اهداف پژوهش با بهبود مناسبی همراه است (Nayati, 2008). سیستم اطلاعات جغرافیایی یک نرم افزار بسیار پیشرفته است که قابلیت کاربرد در بسیاری از زمینه ها را دارا می باشد. استفاده از این برنامه به طور گسترده ای در سرتاسر جهان رواج یافته است به نحوی که بسیاری از سازمان ها و مراکز دولتی و خصوصی از آن به جهت تصمیم گیری هر چه سریع تر و همچنین صرفه جویی در هزینه هایی زمانی و مالی بهره می برند (Thill, 2000).

۳- روش شناسی تحقیق

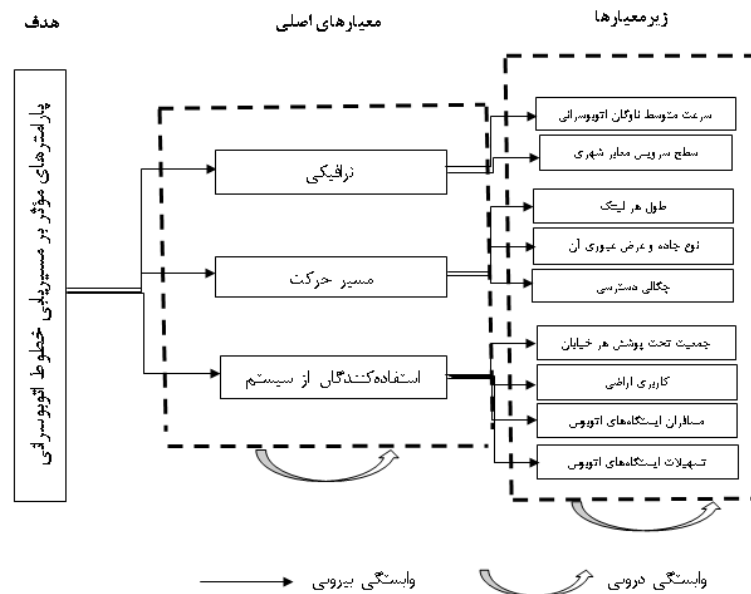
در این پژوهش از داده های شهرستان خمینی شهر اصفهان به جهت اعتبار سنجی مدل استفاده شده است. با توجه به اینکه این منطقه یک شهر متوسط از لحاظ وسعت و پیچیدگی شهری می باشد، امکان بررسی نتایج حاصل از این تحقیق و مقایسه آن با وضع موجود به شکل مطلوبی وجود دارد. جمعیت این شهرستان بالغ بر ۲۷۸۴۰۰ نفر می باشد. سامانه اتوبوسرانی شهرستان در حال حاضر دارای ۲۶ خط فعال است و متوسط مسافر جابجا شده روزانه آن بیش از ۴۶۰۰۰ نفر می باشد. جهت انجام عملیات تعیین مسیر بهینه، مراحل زیر بر اساس شکل ۱ انجام می گیرد.

مراحل اول و دوم این مطالعه از برنامه EMME استفاده شده است (Ciaffi, Cipriani, Petrelli, 2014). در سال ۲۰۰۵، بین یو و همکاران به بررسی مسئله طراحی شبکه خطوط با استفاده از الگوریتم ابتکاری برگرفته از الگوریتم کلونی مورچگان پرداخته است. هدف این مدل، دستیابی به حداقل تعداد انتقال ها و همچنین حداکثر سازی جریان جابه جایی مسافران در واحد طول با در نظر گرفتن حداقل نگهداشتن طول کل خطوط و عوامل دیگری در جهت بالا بردن منفعت مسافران و آژانس های حمل و نقل همگانی به عنوان محدودیت می باشد. برای حل این مسئله از الگوریتمی ترکیبی برگرفته شده از مدل کلونی مورچگان (ACA) که به CPACA مشهور است، استفاده می شود. برای اعمال مدل بر روی منطقه مورد مطالعه، ابتدا آن را به ۸۰۰ منطقه تقسیم کرده که در هر منطقه، ایستگاه های اتوبوسرانی به عنوان مراکز نواحی در نظر گرفته می شوند، سپس ماتریس مبدا-مقصد (O-D) سفر با اتوبوس برای هر یک از مناطق از طریق نظرسنجی در تمامی ۸۹ خط موجود به دست آمد. پس از آن به منظور تعیین میزان تقاضای استفاده از ناوگان اتوبوسرانی، شبکه اتوبوس برای این شهر به وسیله الگوریتم توسعه یافته کلونی مورچگان طراحی می شود (Yu et al, 2005).

تا کوا و همکاران در مطالعه خود تحت عنوان ادغام سیستم اطلاعات مکانی و روش های بهینه سازی، به ارائه روشی برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باهدف حداقل سازی هزینه کل برای ناوگان آن پرداختند. آن ها معتقد هستند ناتوانی الگوریتم های بهینه سازی به تنهایی در حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه برای ارضای نیازهای مدیران سازمان های ارائه دهنده خدمات، به خاطر ماهیت فضایی (مکانی) این گونه مسائل است. به همین جهت در این پژوهش، متدی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و یک روش بهینه سازی فرا ابتکاری توسعه یافته است. نیاز به یک برنامه ریزی جهت مسیریابی بهینه برای شبکه های حمل و نقل همگانی با توجه به اثرات طبیعی و همچنین جنبه های انسانی که بر قابلیت دسترسی (در دسترس بودن) سیستم تأثیر می گذراند، استفاده از نرم افزار ArcGIS را در این حوزه توجیه پذیر می کند. (Takwa, Tlili, Krichen, 2013). آچوتهان (۲۰۰۴) در پژوهشی به مسئله مسیریابی شبکه خطوط اتوبوسرانی می پردازد. در این ارائه نه تنها یک مدل GIS با موفقیت



شکل ۱. الگوریتم انجام تحقیق



شکل ۱. مدل شبکه‌ای برای مسیریابی خطوط اتوبوسرانی

۳-۱- شناسایی پارامترهای مؤثر بر مسئله

تعداد ۹ پارامتر مؤثر در مبحث مسیریابی خطوط اتوبوسرانی که با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه از میان بیش از ۱۵ پارامتر انتخاب شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته و برای هر یک از آن‌ها

هم معیارهایی به جهت سنجش اولویت قرار داده می‌شود. در پارامترهای در نظر گرفته شده علاوه بر تأثیرپذیری از وضعیت ترافیکی و همچنین شرایط عمومی مسیریابی وسیله نقلیه، به‌طور خاص پارامترهای مرتبط با وسیله نقلیه اتوبوسرانی و مسیریابی خطوط آن نیز دیده شده است. تمامی پارامترهای در

و) تسهیلات ایستگاه‌های اتوبوسرانی بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل همگانی به‌منظور ارائه خدمات ایمن، باقابلیت اطمینان بالا، ارزان، سریع و مطلوب برای انجام سفرهای درون‌شهری، یکی از راه‌حل‌های مؤثر و کارا در کوتاه‌مدت جهت کاهش مشکلات ناشی از ترافیک است. رعایت استانداردهای مناسب در طراحی ایستگاه‌ها، مسیرها و پایانه‌های حمل‌ونقل همگانی، یکی از عوامل تأثیرگذار در شبکه حمل‌ونقل همگانی بوده، به‌طوری‌که عدم رعایت این استانداردها در طراحی‌ها موجب خواهد شد که سیستم در سطح خدمت پایینی عمل نماید (Vuchic, Vukan, 2007).

ز) چگالی دسترسی هدف از در نظر گرفتن این پارامتر بدست آوردن تعداد دسترسی‌های منتهی به هر خیابان به جهت نقش آن در هدایت مسافری به‌سمت خطوط و استفاده از ناوگان حمل‌ونقل همگانی و همچنین اثرگذاری هر یک از این دسترسی‌ها بر میزان ترافیک و ایمنی معبر موردنظر می‌باشد. این موضوع کمتر در طراحی شبکه‌ها در نظر گرفته می‌شود، این در حالی است که پارامتر مدنظر می‌تواند نقش مهمی را در راحتی و جذب مسافری ایفا نماید چراکه ایجاد بیش‌ترین سادگی عملیاتی (استفاده ساده‌تر مسافری از شبکه) تأثیر زیادی بر جذب مسافر دارد. (Ryus, 2013)

ح) کاربری اراضی سیستم حمل‌ونقل همگانی و کاربری‌های مختلف موجود در یک منطقه اثر متقابل بر یکدیگر دارند، به‌نحوی‌که در طراحی‌های نوین سیستم حمل‌ونقل همگانی باید سعی شود طراحی شبکه تا حد امکان به‌گونه‌ای صورت گیرد که کاربری‌های جاذب در سفر در اولویت استفاده از ناوگان حمل‌ونقل همگانی قرار گیرند. (White, 2009)

ط) طول هر لینک طول مسیر باید تا حد امکان پائین نگه‌داشته شود که این امر به‌منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی انجام می‌پذیرد. (Current, Schilling, 2006) کمترین طول مسیر و بیشترین پوشش تقاضا را می‌توان از مهم‌ترین اهداف در ارائه خدمات اتوبوسرانی در بسیاری از مطالعات دانست. (Matisziw, Murray, Kim, 2006)

نظر گرفته‌شده را می‌توان در ۳ حوزه پارامترهای ترافیکی، مسیر حرکت و استفاده‌کنندگان تقسیم‌بندی نمود، این تفکیک در شکل ۲ نمایش داده شده است.

الف) جمعیت تحت پوشش هر خیابان تراکم جمعیت دارای تأثیر بسزایی بر تقاضای استفاده از حمل‌ونقل همگانی است، به‌نحوی‌که در مناطق با جمعیت بالا در صورت تأمین سطح بالایی از خدمات می‌توان شاهد افزایش تقاضای استفاده از شبکه اتوبوسرانی بود. (Ceder, 2007)

ب) مسافری ایستگاه‌های اتوبوسرانی در نظر گرفتن سفر افراد و پوشش این سفر توسط هر خط حمل‌ونقل همگانی بسیار مهم‌تر از مدنظر قرار دادن جمعیت تحت پوشش آن خط است، چراکه جمعیت به‌عنوان یک پتانسیل بالقوه جهت انجام سفر با وسیله حمل‌ونقل همگانی است که همیشه این پتانسیل به انجام سفر منجر نمی‌شود (Dufourd, Gendreau, Laporte, 2006). همچنین تعداد مسافران جابه‌جا شده در ایستگاه‌های مختلف توسط ناوگان اتوبوسرانی می‌تواند تقریب مناسبی از میزان تقاضای استفاده از سیستم باشد. (Loh, 2014)

ج) نوع معبر (بولوار و خیابان) و عرض عبوری هر معبر تردد در بولوار به‌دلیل جدایی مسیرهای عبور، دارای ایمنی بیشتر بوده و همچنین توانایی این را دارد که ترافیک را سریع‌تر از خود عبور دهد. عرض خط عبور نیز تأثیر زیادی بر ایمنی و راحتی رانندگان دارد.

د) سطح سرویس معابر شهری سطح سرویس نشان‌دهنده وضعیت ترافیک جاده از منظر کیفی است و از مناسب‌ترین وضع که در آن رانندگان آزادانه و به‌راحتی و با سرعت دلخواه حرکت و مانور می‌دهند تا حالتی که رانندگان متوقف می‌شوند، در ۶ کلاس از A تا F تغییر می‌کند.

ه) سرعت متوسط ناوگان اتوبوسرانی در مشخص نمودن سرعت جریان ترافیک، یک مقدار نمایانگر باید مورد استفاده قرار گیرد زیرا معمولاً طیف وسیعی از سرعت‌های مستقر در جریان ترافیک وجود دارد. در بسیاری از مباحث، معیار متوسط سرعت سفر در نظر گرفته می‌شود. کاهش سرعت می‌تواند منجر به کاهش کارایی و بازدهی سیستم و در نتیجه پایین آمدن میزان مطلوبیت آن برای استفاده‌کنندگان شود. (Loh, 2014)

با تشکیل شبکه معابر پیاده‌رو که شامل تمامی خیابان‌ها، کوچه‌ها و معابری است که امکان عبور عابر پیاده از آن‌ها وجود دارد و فایل جمعیتی شهر که به صورت محله بندی شده در دسترس است و نیز استفاده از امکانات تحلیل گسترش شبکه نرم‌افزار ArcGIS (تحلیل محدوده خدمات‌رسانی) می‌توان جمعیت تحت پوشش هر یک از ایستگاه‌های موجود در خیابان‌ها که در شعاع ۴۰۰ متری آن ایستگاه ساکن هستند را برآورد نمود. جمعیت تحت نفوذ هر معبر از حدود ۱۰۰ نفر تا ۱۱۲۰۰ نفر متغیر است. جدول ۱ وضعیت این پارامتر را برای خطوط مختلف شبکه موجود نشان می‌دهد.

جدول ۱. جمعیت تحت پوشش خطوط شبکه موجود

شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت
۱۱/۱	۳۳۳۴۰	۱۴/۲	۲۴۱۵۷	۱۸/۱	۱۱۷۱۵	۲۱/۲	۳۷۸۳
۱۱/۲	۳۶۳۵۷	۱۵/۱	۲۳۰۰۴	۱۸/۲	۱۱۷۱۵	۲۲/۱	خطوط دانشگاهی
۱۲/۱	۱۲۵۷۵	۱۵/۲	۳۲۱۹۴	۱۹/۱	خطوط	۲۲/۲	
۱۲/۲	۱۱۳۴۱	۱۶/۱	۱۶۲۸۱	۱۹/۲	دانشگاهی*	۲۳/۱	
۱۳/۱	۲۴۷۳۰	۱۶/۲	۱۴۸۸۶	۲۰/۱	۲۷۶۵۵	۲۳/۲	
۱۳/۲	۳۴۷۸۳	۱۷/۱	۲۱۱۰۵	۲۰/۲	۱۳۰۱۸		
۱۴/۱	۳۲۸۵۲	۱۷/۲	۳۲۰۱۴	۲۱/۱	۶۵۴۳		

*خطوط دانشگاهی صرفاً به انتقال دانشجویان اختصاص دارد.

خودرویی که با سرعت معادل سرعت متوسط جریان ترافیک در نوبت ساعت اوج ترافیک عصرگاهی (ساعت ۱۹ تا ۲۲) حرکت می‌کند، استفاده گردید. جهت محاسبه سرعت متوسط ناوگان اتوبوسرانی، زمان سفر اتوبوس بین هر دو ایستگاه متوالی (شامل زمانی می‌شود که اتوبوس بین دو ایستگاه در حال حرکت است) به صورت برداشت میدانی توسط محقق به دست آمده و سپس مجموع این زمان تقسیم بر کل مسافت طی شده از ایستگاه مبدأ تا ایستگاه مقصد یک معبر به عنوان سرعت متوسط ناوگان اتوبوسرانی در آن معبر در نظر گرفته می‌شود. این اطلاعات نشان می‌دهد متوسط سرعت ناوگان در معابر شهری از ۱۰ کیلومتر در ساعت تا حدود ۴۵ کیلومتر در ساعت متغیر است. بررسی وضعیت تسهیلات ایستگاه‌های اتوبوسرانی اعم از وجود نیمکت و سرپناه، عقب‌نشینی ایستگاه نسبت به خیابان، وجود کیوسک فروش بلیت و... به صورت

۳-۲- به دست آوردن داده‌های مرتبط با پارامترها برای

هر یک معابر

در این تحقیق ۶۸۰ لینک به جهت انجام تحلیل، با در نظر گرفتن شرایط منطقه تحت مطالعه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت انجام عملیات مسیریابی، خیابان‌ها و معابری در نظر گرفته می‌شوند که ناوگان اتوبوسرانی توانایی عبور از آن‌ها را به جهت نوع خیابان و همچنین عرض عبوری آن داشته باشد. این کار به دلیل پایین آمدن پیچیدگی‌های محاسباتی صورت می‌پذیرد (متیسزیو ۲۰۰۶).

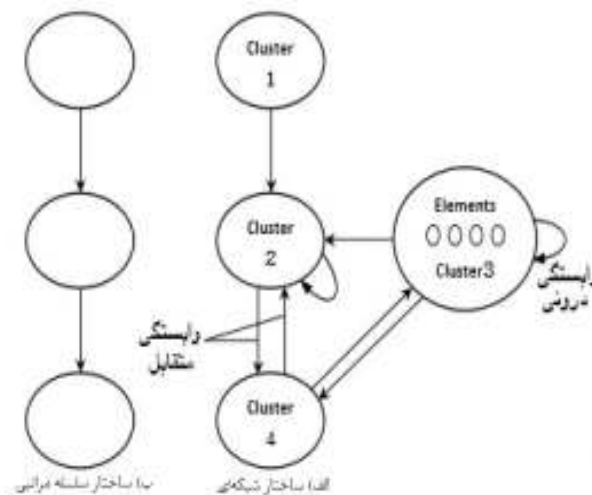
اطلاعات مربوط به تعداد مسافری سوار و پیاده شده در ایستگاه‌های خطوط مختلف به صورت برداشت میدانی برای یک اتوبوس در هر خط و در یک نوبت کاری توسط محقق بدست آمد. این برداشت در زمان تقریبی ساعت اوج استفاده مسافری از ناوگان انجام پذیرفت. به جهت بدست آوردن اطلاعات مرتبط با پارامتر نوع معبر و عرض عبوری هر معبر از سامانه اتوکد و همچنین سیستم اطلاعات مکانی استفاده گردید. برای تعریف سطح سرویس هر یک از معابر شرکت‌کننده در تحلیل، از روش موجود در آیین‌نامه HCM استفاده شده است. در این روش پس از معرفی سطح شهر بر اساس فاکتورهای طراحی و عملیاتی، سطح سرویس هر یک از معابر با توجه به سرعت متوسط وسایل نقلیه در آن معبر از طریق جداول موجود در آیین‌نامه محاسبه می‌گردد. برای برداشت اطلاعات زمان سفر و به تبع آن محاسبه سرعت و سطح سرویس، از

نوبت به تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای در نظر گرفته شده و اختصاص وزن مناسب به هریک از آنهاست. این کار به روش تحلیل شبکه‌ای و از طریق مصاحبه با صاحب‌نظران به جهت انجام مقایسه‌های دودویی و یافتن بردارهای ویژه صورت می‌پذیرد. دلیل استفاده از این تحلیل، وجود ارتباط مابین معیارهای مختلف با یکدیگر و امکان دیده شدن آن توسط تحلیل شبکه‌ای است. این در حالی است که نتایج به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی برای این پژوهش به دلیل در نظر نگرفتن این ارتباط از دقت خوبی برخوردار نبود. فرآیند AHP برخلاف تحلیل ANP وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین این عناصر را سلسله مراتبی و یک‌طرفه فرض می‌کند، در نتیجه تمامی زیرمعیارها با یکدیگر مورد مقایسه قرار نمی‌گیرند و تنها زیرمعیارهای موجود در یک کلاس باهم مقایسه می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود عناصر تصمیم به شکل مستقل عمل نموده و اثر آنها بر یکدیگر دیده نشود. تفاوت مابین ساختار شبکه‌ای با ساختار سلسله مراتبی در شکل ۳ نشان داده شده است.

مشاهده میدانی انجام پذیرفت. برای به دست آوردن دسترسی‌های فرعی متصل به معابر مدنظر اعم از جاده‌های توزیع‌کننده ناحیه‌ای، جاده‌های توزیع‌کننده محلی، جاده‌های اتصالی (دسترسی) و کوچه از اطلاعات برگرفته از نقشه‌های اتوکلدی، سیستم اطلاعات جغرافیایی شبکه معابر شهر و نیز در برخی موارد مشاهده میدانی، استفاده گردید. کاربری‌های مختلف در نظر گرفته شده شامل مسکونی، تجاری، فرهنگی-آموزشی، بهداشتی-درمانی، اداری، تفریحی-ورزشی و پارکینگ می‌شوند. اطلاعات مربوط به کاربری اراضی در قالب مترائ هر کاربری در شعاع ۱۰۰ متری معابر، از شهرداری شهرستان اخذ گردید. به جهت بدست آوردن اطلاعات مرتبط با پارامتر طول هر معبر، از سامانه اتوکلد و همچنین سیستم اطلاعات مکانی استفاده گردید.

۳-۳- تخصیص وزن به پارامترها

پس از مشخص شدن فاکتورها و کلاس‌های آن و به دست آمدن داده‌های مرتبط با هریک از آنها برای معابر موردنظر،



شکل ۲. تفاوت مابین ساختار شبکه‌ای و ساختار سلسله مراتبی (Chung, Lee, Pearn, 2005)

۳-۴- فرایند تحلیل شبکه‌ای

و یا دارای وابستگی درونی با یکدیگر در داخل یک خوشه، داشته باشند. در مرحله بعد عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها با توجه به میزان اهمیت آنها بر اساس مقیاس

در فرایند تحلیل شبکه‌ای ابتدا مسئله موردنظر به یک ساختار شبکه‌ای تبدیل می‌شود که در آن عناصر درون یک خوشه ممکن است وابستگی بیرونی با عناصر خوشه‌های دیگر

الف) مقایسه دودویی معیارهای اصلی (ماتریس W₂₁)
جدول ۲ نشان‌دهنده مقایسه‌های دودویی صورت‌گرفته مابین معیارهای مختلف است. نتایج حاصل از بردارهای ویژه این جدول در ماتریس W₂₁ وارد می‌شود.

ب) مقایسه دودویی وابستگی‌های درونی معیارهای اصلی (ماتریس W₂₂)

برای درک وابستگی‌های متقابل بین معیارهای اصلی، مقایسه دودویی بین معیارهای اصلی به صورت دویه‌دو با هم با کنترل نمودن یکی از معیارها ارائه شده است. دو ماتریس مقایسه دودویی دیگر، شبیه ماتریس ارائه شده در جدول ۳ تشکیل می‌شود. پس از تشکیل این سه جدول، بردارهای ویژه در ماتریس W₂₂ وارد می‌شوند.

ج) مقایسه دودویی زیرمعیارهای هر یک از معیارهای اصلی (ماتریس W₃₂)

در این مرحله، ضریب اهمیت هر یک از زیرمعیارهای مربوط به معیارهای اصلی از طریق مقایسه دودویی آن‌ها به دست آمده و این ضرایب اهمیت، عناصر ستونی ماتریس W₃₂ را تشکیل خواهند داد. نتیجه مقایسه دودویی زیرمعیارهای مرتبط با معیار ترافیکی و بردار ویژه متناظر با آن در جدول ۴ تشکیل شده است. برای زیرمعیارهای دو معیار دیگر هم جداول مشابهی تشکیل می‌شود.

د) مقایسه دودویی وابستگی‌های درونی زیرمعیارها (ماتریس W₃₃)

در این مرحله ابتدا وابستگی‌های متقابل مابین زیرمعیارهای مختلف از طریق مصاحبه با صاحب‌نظران تشکیل شده و سپس مقایسه دودویی زیرمعیارهای دارای وابستگی متقابل با هر یک از زیرمعیارهای دیگر انجام می‌شود. در جدول ۵ این مقایسه برای زیرمعیارهای مرتبط با سرعت ناوگان ارائه شده است. همانند این جدول برای ۸ زیر معیار دیگر نیز جداول مشابهی تشکیل می‌شود. برای دستیابی به اولویت کل در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت داخلی (Wهای محاسبه شده) در ستون‌های مناسب یک ماتریس (شکل ۴) وارد می‌شوند. در نتیجه، یک سوپر ماتریس (ماتریس تقسیم‌بندی شده) که هر بخش از این ماتریس ارتباط میان دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، به دست می‌آید.

۹ کمیته ساعتی دویه‌دو مقایسه می‌شوند. خود خوشه‌ها نیز بر اساس نقش و تأثیر آن‌ها در دستیابی به هدف مسئله، دویه‌دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. نتیجه منجر به تولید بردارهای اهمیت داخلی می‌شود. سپس این بردارها در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد شده و یک سوپر ماتریس که هر بخش از آن ارتباط میان دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، تشکیل می‌شود. پس از تشکیل سوپر ماتریس اولیه، از طریق نرمال‌سازی برخی از داده‌ها سوپر ماتریس موزون به دست می‌آید و در مرحله نهایی، سوپر ماتریس حد با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی که واگرایی حاصل شود، محاسبه می‌گردد. پس از تعیین و مشخص نمودن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در جهت مسیریابی خطوط اتوبوسرانی، لازم است ارتباط بین این عوامل نیز مشخص شود. برای این منظور، از نظرات گروهی از متخصصین خبره استفاده شده است. مدل شبکه‌ای برای تعیین اولویت پارامترهای مؤثر بر مسئله در شکل ۲ نشان داده شده است. از این نمودار پیداست که هم معیارها و هم زیرمعیارها دارای وابستگی درونی هستند. جهت تعیین اهمیت نسبی (ضریب اهمیت) عناصر یا خوشه‌ها نسبت به یکدیگر نیاز به محاسبه بردار اهمیت داخلی (ویژه) می‌باشد. این مقدار از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (1)$$

که در آن؛ A ماتریس مقایسه‌ای دودویی معیارها، W بردار ویژه (ضریب اهمیت) و λ_{\max} بزرگترین مقدار ویژه عددی است. در این تحقیق برای محاسبه بردارهای ویژه W، از نرم‌افزار expert choice استفاده می‌شود.

در مرحله بعد ماتریس‌های مقایسه‌ای معیارهای اصلی و زیرمعیارها، وابستگی معیارهای اصلی به یکدیگر و وابستگی زیرمعیارها به یکدیگر بر اساس مقیاس ۹ کمیته ساعتی و تشکیل پرسش‌نامه خبره، بدست می‌آیند.

جدول ۲. مقایسه دودویی معیارهای اصلی

معیارهای مؤثر	ترافیکی	مسیر حرکت	استفاده‌کنندگان	بردار ویژه
ترافیکی	۱	۳/۸	۰/۳۸۵	۰/۲۲۸
مسیر حرکت	۰/۲۶۳	۱	۰/۲۳۳	۰/۶۵۶
استفاده‌کنندگان	۲/۶	۴/۳	۱	۰/۱۱۶

جدول ۳. مقایسه دودویی معیارهای اصلی با توجه به وابستگی درونی آن‌ها، با کنترل پارامتر ترافیکی

	مسیر حرکت	استفاده‌کنندگان	بردار ویژه
مسیر حرکت	۱	۰/۱۸۵	۰/۱۵۶
استفاده‌کنندگان	۵/۴	۱	۰/۸۴۴

جدول ۴. مقایسه دودویی زیرمعیارهای مربوط به پارامتر ترافیکی

ترافیکی	سطح سرویس خیابان‌ها	سرعت متوسط ناوگان	بردار ویژه
سطح سرویس خیابان‌ها	۱	۰/۳۳۳	۰/۲۵
سرعت متوسط ناوگان	۳	۱	۰/۷۵

جدول ۵. مقایسه دودویی زیرمعیارهای دارای وابستگی متقابل با زیر معیار سرعت ناوگان

نوع جاده	طول لینک	چگالی	سطح سرویس	سرعت ناوگان
۷	۵	۴	۱	سطح سرویس
۵/۵	۳/۵	۱	۰/۲۵	چگالی
۳	۱	۰/۲۸۶	۰/۲	طول لینک
۱	۰/۳۳۳	۰/۱۸۲	۰/۱۴۳	نوع جاده

جدول ۶. مقایسه دودویی کلاس‌های مرتبط با پارامتر چگالی دسترسی

چگالی دسترسی	خ توزیع‌کننده ناحیه‌ای	خ توزیع‌کننده محلی	خ اتصالی (دسترسی)	کوچه
خ توزیع‌کننده ناحیه‌ای	۱	۰/۳۳۳	۰/۱۴۳	۰/۱۶۷
خ توزیع‌کننده محلی	۳	۱	۰/۲	۰/۲۵
خ اتصالی (دسترسی)	۷	۵	۱	۳
کوچه	۶	۴	۰/۳۳۳	۱

می‌شوند) تا به عاملی که دارای کمترین وزن است، بیش‌ترین وزن اختصاص یابد.

ر) مقایسه دودویی ارجحیت گزینه‌ها
در این مرحله ارجحیت گزینه‌های مرتبط با هریک از زیرمعیارها مورد بررسی و قضاوت قرار می‌گیرد و منجر به تشکیل ماتریس E_{ij} می‌شود. مبنای این قضاوت‌ها همان مقیاس ۹ کمیتی ساعتی در مورد پارامترهای کیفی، و نرمال‌سازی داده‌ها در مورد پارامترهای کمی می‌باشد. سپس با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از طریق هر یک از زیرمعیارها برای معابر مختلف، وزن متناظر به آن معبر تعلق می‌گیرد. جدول ۶ مقایسه دودویی کلاس‌های متناظر با زیر معیار چگالی دسترسی را نمایش می‌دهد. ۸ جدول مشابه دیگر برای مابقی زیرمعیارهای موجود تشکیل می‌شود و نتایج بردارهای ویژه حاصل از آن‌ها در ماتریس E_{ij} وارد می‌گردد. وزن تخصیص یافته به زیرمعیارها و همچنین کلاس‌های متناظر با آن‌ها در شکل ۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، بارزترین زیرمعیار و کلاس کمترین وزن را دریافت نموده است.

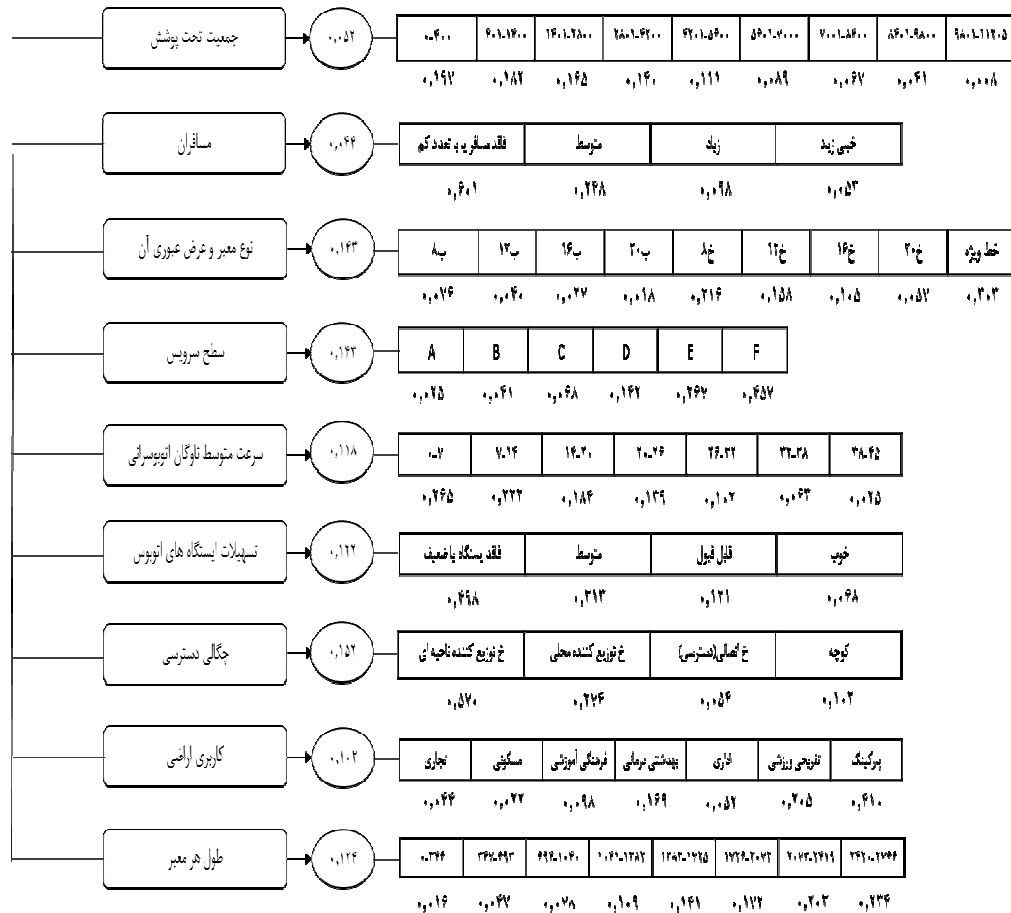
ه) محاسبه سوپر ماتریس حد (ماتریس W_{ANP})

با توجه به این‌که کلیه ماتریس‌های مقایسه‌ای موجود در ساختار سوپر ماتریس ناموزون ($W_{21} - W_{22} - W_{32} - W_{33}$) محاسبه شده، می‌توان با جایگزین کردن این ماتریس‌ها در سوپر ماتریس اولیه W_1 (شکل ۴)، سوپر ماتریس ناموزون را بدست آورد. حال سوپر ماتریس ناموزون باید به سوپر ماتریس موزون یعنی ماتریسی که جمع اجزای ستون آن یک است (ماتریس تصادفی) تبدیل شود. برای این کار لازم است سوپر ماتریس ناموزون را نرمال می‌کنیم. در مرحله نهایی، سوپر ماتریس حد W_{ANP} با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی که واگرایی حاصل شود (از طریق تکرار)، محاسبه می‌گردد (رابطه ۲).

$$(2) \quad (\lim W^k \quad k \rightarrow \infty)$$

در این مطالعه برای انجام محاسبات مربوط به حدرساندن سوپر ماتریس موزون از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. با توجه به این‌که الگوریتم مورد استفاده کمترین وزن را بهترین دانسته و از مسیری عبور می‌کند که دارای کمترین ارزش باشد، بنابراین پس از وزن‌دهی به فاکتورها و کلاس‌ها، وزن خروجی از عدد یک کسر می‌شود (سپس داده‌ها نرمال

پارامترهای موثر بر مسئله



شکل ۳. وزن تخصیص یافته به زیرمعیارها و کلاس های متناظر با آنها

اعداد روبروی زیرمعیارها و زیر هر کلاس وزن متناظر با هر یک از آنها را نشان می دهد.

۳-۵- تعیین مسیر بهینه

به ترسیم شبکه بر اساس دنیای واقعی وجود دارد. بر همین اساس، برای نشان دادن خیابانها، یک و برای بولوارها دو آکس رسم می گردد. عناصر دیگر شبکه همانند پیچها، دوربرگردان، میدانها و... هم به صورت دقیق و بر طبق شبکه معابر موجود ترسیم می شوند. داده های مرتبط با پارامترهای مختلف برای هر یک از معابر محاسبه می شود و نتیجه در

عملیات مسیریابی در برنامه تحلیل گر شبکه GIS براساس الگوریتم دایکسترا اجرا می شود. در این برنامه پس از اعمال پارامترها و شرایط مسیر بهینه، مسیر نهایی از میان مجموعه جواب الگوریتم استخراج می شود. این الگوریتم در هر مرحله، انتخابی بهینه انجام می دهد. به جهت انجام هرکدام از عملیات تحلیل شبکه در ساختار برنامه Network Analysis نیاز

۴- بحث و تحلیل نتایج

پس از اجرای الگوریتم و بدست آمدن مسیرهای جدید برای هر یک از خطوط شبکه، این نتیجه حاصل شد که تعداد ۲۰ خط با تغییر در مسیر خود مواجه شدند، مسیر ۴ خط نیز ثابت باقی ماند و ۲ خط هم به دلیل همپوشانی بالا با سایر خطوط حذف شدند. دو پارامتر جمعیت تحت پوشش خطوط و همچنین میزان همپوشانی خطوط مختلف با یکدیگر برای تعیین میزان موفقیت در دستیابی به اهداف این مطالعه، در دو حالت شبکه فعلی و شبکه جدید مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در طراحی جدید، شبکه اتوبوسرانی در مسیر رفت ۷۸/۰۷٪ و در مسیر برگشت ۸۰/۷۶٪ از تعداد کل جمعیت شهر را می‌تواند خدمات‌رسانی نماید.

این در حالی است که شبکه موجود در حال حاضر به ۷۵/۳۵٪ کل جمعیت شهر در مسیر رفت و ۷۶/۹۵٪ در مسیر برگشت، سرویس ارائه می‌کند. نتیجه، افزایش ۱۸ هزار نفری دسترسی افراد به شبکه که در شعاع ۴۰۰ متری ایستگاه‌های اتوبوسرانی قرار می‌گیرند. طول همپوشانی در شبکه فعلی در حدود ۳۹۱۵۴ متر می‌باشد که این رقم معادل با ۲۶/۹۱٪ از کل طول شبکه خطوط است، درحالی‌که در شبکه جدید طراحی شده، ۱۷۱۶۰ متر از خطوط با یکدیگر مشترک هستند، یعنی در حدود ۱۴/۸۵٪ از طول خطوط شبکه جدید، همزمان توسط دو خط مجزا پوشش داده می‌شود. این مطلب بیانگر کاهش حدود ۲۲ کیلومتری همپوشانی خطوط مختلف با یکدیگر است. به علاوه، طول کل شبکه نیز از میزان حدود ۱۴۵ کیلومتر به ۱۱۵ کیلومتر کاهش یافته است. جدول ۷ جمعیت تحت پوشش خطوط شبکه جدید را در دو مسیر رفت و برگشت نمایش می‌دهد.

پایگاه داده تشکیل شده در نرم‌افزار Excel وارد می‌گردد. بر اساس داده‌های به دست آمده برای خیابان‌ها و کلاس‌بندی‌های انجام شده برای هر یک از پارامترها، هرکدام از خیابان‌ها وزنی معادل با وزن کلاس‌های موجود دریافت می‌کنند. سپس به وسیله رابطه ۳ که توسط لین و همکاران ارائه شده است، شاخص مطلوبیت خیابان i برای عبور خط اتوبوسرانی به دست می‌آید. مقادیر حاصله به عنوان ورودی به نرم‌افزار ArcGIS ارسال می‌شود تا پس از انجام فرآیند تحلیل شبکه، بهترین مسیر برای خطوط اتوبوسرانی بدست آید.

$$D_i = \sum_{j=1}^J W_j E_{ij} \quad (3)$$

که در آن D_i شاخص مطلوبیت خیابان i برای عبور خط اتوبوسرانی، W_j اهمیت نسبی زیرمعیار j (مستخرج از سوپر ماتریس حد W_{ANP}) و E_{ij} امتیاز خیابان i از زیر معیار j است (ماتریس E_{ij}). پس از ورود داده‌های خام به نرم‌افزار و تعریف این اوزان به عنوان هزینه هر عارضه در شبکه و انجام عملیات آماده‌سازی شبکه، نوبت به ساخت پایگاه داده شبکه می‌شود. این مرحله از اصلی‌ترین مراحل تحلیل شبکه است و از آن به عنوان هسته تحلیل شبکه‌های حمل و نقل یاد می‌شود (Otiemo, Ngigi, 2013). سپس با تعیین مبدأ، مقصد و ایستگاه‌های اجباری برای عبور خط جدید، نوبت به انجام تحلیل بهترین مسیر برای یافتن مسیرهای بهینه خطوط شبکه اتوبوسرانی می‌شود. مبدأ- مقصد برای خطوط مختلف با توجه به آخرین ماتریس O-D موجود از منطقه، پیشنهادهای مطالعات جامع بخش حمل و نقل همگانی شهرستان، مشورت با صاحب نظران خبره، در نظر گرفتن حوزه‌های جمعیتی و همچنین وضعیت شبکه موجود تعیین گردید.

جدول ۷. جمعیت تحت پوشش خطوط شبکه جدید

شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت
۲۱/۱	۲۴۰۷۵	۲۴/۲	۳۱۸۹۶	۲۸/۱	۲۰۱۳۱	۳۱/۲	خطوط دانشگاهی
۲۱/۲	۱۹۰۲۸	۲۵/۱	۲۹۶۳۹	۲۸/۲	۲۵۱۸۰	۳۲/۱	۲۰۰۶۸
۲۲/۱	۲۰۸۷۲	۲۵/۲	۲۸۶۵۸	۲۹/۱	۱۱۷۱۵	۳۲/۲	۲۲۹۲۶
۲۲/۲	۲۰۸۷۲	۲۶/۱	۲۵۱۶۶	۲۹/۲	۱۱۷۱۵		
۲۳/۱	۱۲۵۷۵	۲۶/۲	۲۹۵۱۷	۳۰/۱			خطوط دانشگاهی
۲۳/۲	۱۱۳۴۱	۲۷/۱	۲۲۶۲۰	۳۰/۲			
۲۴/۱	۳۰۵۰۷	۲۷/۲	۲۳۷۳۵	۳۱/۱			

۵- نتیجه گیری

۵۰۰ تومان، این جمعیت که به‌عنوان پتانسیل بالقوه برای استفاده از سامانه به شمار می‌رود، می‌تواند روزانه رقمی در حدود ۹۰ میلیون ریال به آژانس ارائه‌دهنده خدمات سودرسانی نماید.

با توجه به کاهش نزدیک به ۳۰ کیلومتری طول شبکه، علاوه بر دستیابی به اهداف مدنظر در این تحقیق، می‌توان شاهد کاهش طول سفر انجام شده توسط ناوگان اتوبوسرانی نیز بود. کاهش طول مسیر که با کاهش زمان سفر انتقال مسافری از مبدأ به مقصد همراه است، منجر به بالا رفتن تعداد استفاده‌کنندگان از سیستم به‌خصوص در خطوط برون‌شهری می‌شود.

پیشنهاد می‌شود از مدل مذکور جهت تعیین مسیر بهینه در شبکه‌های با پیچیدگی بالا استفاده شده و نتایج آن با محاسبه میزان دستیابی به اهداف، اعتبارسنجی شود. همچنین با توجه به تعریف خطوط جدید از طریق مسیریابی بهینه در سطح شهر، پیشنهاد می‌شود جهت تکمیل پروسه طراحی شبکه اتوبوسرانی، پژوهش‌های مرتبط با تنظیمات تواتر شبکه، برنامه‌ریزی جهت تخصیص وسایل نقلیه به خطوط، جدول زمان‌بندی جهت حرکت وسایل نقلیه و ... انجام پذیرد. با استفاده از روش‌های دیگر مسیریابی خطوط اتوبوسرانی، مسیر بهینه برای شبکه موردنظر محاسبه گردد و خروجی آن با نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق مقایسه شود. ماتریس تقاضای سفر برای منطقه مورد مطالعه بروز گردد و سپس با توجه به مدل ارائه‌شده، مسیریابی شبکه انجام پذیرد.

نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با افزایش بهره‌وری سیستم از طریق استفاده بهتر از امکانات موجود و نیز کاهش هزینه‌ها، امکان مدیریت کارآمدتر آن‌را برای سازمان ارائه‌دهنده خدمات حمل‌ونقل همگانی تأمین می‌کند. به‌جهت استفاده از مدل ارائه‌شده در این تحقیق برای مناطق دیگر، لازم است با توجه به شرایط اقلیمی و فرهنگی آن منطقه، پارامترهای تأثیرگذار بر مسئله به شکل اختصاصی تعیین شوند.

خروجی حاصله از تحلیل سلسله مراتبی برای این مطالعه به‌دلیل در نظر نگرفتن وابستگی‌های درونی بین عوامل تصمیم از دقت خوبی برخوردار نبود، لذا با توجه به وجود ارتباط مابین معیارهای مختلف و امکان دیده شدن آن توسط تحلیل شبکه‌ای، این تحلیل نتایج به‌مراتب منطقی‌تری در اختیار ما قرار می‌دهد.

کاهش همپوشانی خطوط به میزان بیش از ۱۲٪ نسبت به شبکه موجود، با پایین آوردن هزینه‌ها، کاهش استهلاک ناوگان و همچنین امکان استفاده مؤثرتر از اتوبوس‌ها ضمن صرفه‌جویی در هزینه‌های سازمان ارائه‌دهنده خدمات حمل‌ونقل همگانی به کاهش آلودگی هوا نیز کمک می‌نماید.

افزایش متوسط ۳/۲۷ درصدی تعداد کل جمعیت شهر جهت استفاده از سیستم، منجر به کاهش حرکت خودروهای شخصی شده و در نتیجه به بهبود ایمنی معابر، کاهش آلودگی هوا، صرفه‌جویی در مصرف سوخت و نیز کاهش تراکم ترافیک در معابر شهری کمک می‌کند. همچنین با توجه به قیمت بلیت

-Dufourd, H., Gendreau, M and Laporte, G., (1996), "Locating a transit line using Tabu search", Location science, 4(1): pp. 1-19.

-Ganorkar, R., Rode, P and Bhambulkar, A.V., (2013), "Application of GIS In Transportation Engineering" International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 3: pp. 540-542.

-Guihaire, V and Hao, J.K., (2008), "Transit network design and scheduling: A global review", Transportation Research Part A, Policy and Practice, 42(10): pp. 1251-1273.

-Karlaftis, M and Kepaptsoglou, K.,(2009), "Transit route network design problem: review", Journal of transportation engineering.

-Khitha, V and Govil, S., (2003), "GIS in public transportation" Proceedings of the 6th Annual International Conference-Map India.

-Klier, M.J and Haase, K., (2015), "Urban public transit network optimization with flexible demand", OR Spectrum, 37(1), pp. 195-215.

-Loh, z.x.k, (2014), "Factors influencing bus network design", Thesis for receiving Master of Science degree in transportation, Massachusetts Institute of Technology, USA.

-Matisziw, T.C., Murray, A.T and Kim, C., (2006), "Strategic route extension in transit networks" European journal of operational research, 171(2), pp. 661.

-Nayati, M.A.K., (2008), "School bus routing and scheduling Using GIS", Thesis For receiving Master of Science degrees in Geometrics.

-Otieno, E.O and Ngigi, M.M., (2013), "GIS Based Public Bus Transport Management

۶-سپاسگزاری

با توجه به اینکه این طرح مورد حمایت شهرداری خمینی شهر قرار گرفته است، لذا از جناب آقای مهندس اصغر حاج حیدری شهردار محترم شهرستان به نمایندگی از مسئولین این سازمان تشکر به عمل می‌آید.

۷-مراجع

- "مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهرستان خمینی شهر"، (۱۳۸۸)، سامانه حمل و نقل همگانی، مهندسين مشاور طرح آفرینان پارس.

-Achuthan, K., A., (2003), "GIS spatial planning model for bus routing", Master's Thesis in department of civil engineering national university of Singapore.

-Adsavakulchai, S., (2014), "Geographical Information Systems Approach for Transportation Planning Management" in Information and Knowledge Management.

-Ceder, A., (2007), "Public transit planning and operation: theory, modeling and practice", 1st edition, USA. Elsevier, Butterworth-Heinemann.

-Chung, S.H., Lee A.H.L and Pearn, W.L., (2005), "Analytic network process (ANP), approach for product mix planning in semiconductor fabricator", International Journal of Production Economics, Vol. 96, pp. 15-36.

-Ciaffi, F., Cipriani, E and Petrelli, M.,(2014), "A new methodology for the public transport network design", The 9th International Conference of Environmental engineering.

-Current, J.R and Schilling, D.A.,(1996), "The median tour and maximal covering tour problems: formulations and heuristics", Location Science, 4(4): pp. 275-276.

Archive of SID

- Thill, J.-C., (2000), “Geographic information systems for transportation in perspective”, *Transportation Research Part C, Emerging Technologies*, 8(1): pp. 3-12.
- Transportation Research Board, (2010), “Highway Capacity Manual”. 5th edition, Washington DC, USA.
- Vuchic and Vukan R., (2007), “Urban transit systems and technology”, John Wiley & Sons, Published simultaneously in Canada.
- White, P.R., (2009), “Public transport: its planning, management and operation” , 5th edition, USA: Routledge.
- Yu, B., Yang, Z., Cheng, C and Liu, C., (2005), “Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm”. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*.
- System for Nairobi City”, Esri Eastern Africa User Conference (EAUC).
- Ryus, P., (2013), “Transit Capacity and Quality of Service Manual”, TCRP Report 165, 3rd edition, Transportation Research Board, Washington DC, USA.
- Shankar, H., Mani, G and Pandey, K., (2014), “GIS based solution of multi-depot capacitated vehicle routing problem with time window using Tabu search algorithm”, *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(2): pp. 83-100.
- Soomro, T.R and Mahmood, R., (2015), “Path Analysis Using ArcGIS Web API: UAE Data” *Perspectives. Journal of Geosciences*, 3(1): pp.24-27.
- Takwa, Tlili, S and Krichen, S., (2013), “Integration of GIS and optimization routines for the vehicle routing problem”, *International Journal of Chaos, Control, Modeling and Simulation (IJCCMS) Vol. 2*, pp. 9-17.