تعیین مسیر بهینه خطوط شبکه اتوبوسرانی با استفاده از ANP در محیط نرم‌افزار ArcGIS جهت بهبود شاخص‌های مدیریتی و افزایش بهره‌وری سیستم

محسن ابوطالبی‌اصفهانی، استادیار، دانشکده حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
امیرمسعود رحیمی*، دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
سعید نادی، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
میثم عادلی 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 حمل‌ونقل جهان بر روی آن اتفاق‌نظر دارند، دستیابی به الگوی حمل‌ونقل‌پایدار در شهرها است. حمل‌ونقل‌همگانی تاحد زیادی به‌عنوان یک گزینه قابل‌اتکا برای حمل‌ونقل‌پایدار درنظرگرفته می‌شود. جهت افزایش سهم سیستم‌های حمل‌ونقل‌همگانی از سفرهای درون‌شهری، لازم‌است تا اقداماتی جهت برنامه‌ریزی به‌سمت بهبود مدیریت وافزایش بهره‌وری آن انجام‌گیرد. درهمین راستا، مهم‌ترین مرحله درروند برنامه‌ریزی این‌حوزه، اصلاح و یا بازتعریف مسیر خطوط شبکه می‌باشد. این فرایند به‌عنوان مرحله‌استراتژیک جهت مدیریت برنامه‌های بلندمدت شبکه شناخته‌می‌شود. این تحقیق به‌بیان مدلی جهت تعیین مسیربهینه خطوط اتوبوسرانی باهدف افزایش میزان پوشش شبکه در سطح‌شهر و کاهش تعداد خطوط موازی در خیابان‌ها می‌پردازد. بدین‌جهت ابتدا تعداد۹ پارامتر مؤثر که تأثیر آن‌هم در مسئله مسیریابی و هم در شرایط منطقه موردمطالعه دیده‌شده‌است، انتخاب‌گردید. پارامترهای درنظر گرفته‌شده شامل جمعیت‌تحت‌پوشش هرخط، مسافران ایستگاه‌ها، نوع‌معبر و عرض‌عبوری آن، سطح‌سرویس، سرعت ناوگان‌اتوبوسرانی، تسهیلات‌ایستگاه‌ها، چگالی‌دسترسی، کاربری‌اراضی و طول‌هرلینک می‌شوند. سپس پارامترهای مذکور با توجه به میزان تأثیرگذاری بر مسئله، به‌وسیله فرایند تحلیل‌شبکه‌ای و براساس نظر تعدادی از کارشناسان‌خبره، وزن‌دهی شده و پس‌ازآن وزن‌های به‌دست‌آمده جهت انجام عملیات بهترین مسیر وارد برنامه تحلیل شبکه نرم‌افزار ArcGIS می‌شوند. به‌جهت سنجش مدل از داده‌های شهرستان خمینی‌شهر به‌عنوان منطقه موردمطالعه استفاده‌شده‌است. نتیجه، ایجاد شبکه‌جدید با تغییر در مسیر ۲۰خط از خطوط موجود درجهت افزایش ۱۸هزارنفری میزان پوشش شبکه و کاهش ۲۲ کیلومتری طول همپوشانی خطوط می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حمل‌ونقل همگانی، مسیریابی بهینه، شبکه خطوط اتوبوسرانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرایند تحلیل شبکه‌ای

۱- مقدمه

استراتژی‌های نوین حمل‌ونقل شهرها مبتنی بر سیاست حمل‌ونقل پایدار، بر توسعه کمی و کیفی حمل‌ونقل عمومی به‌عنوان یکی از راهکارهای موثر، تأکید دارد. در این میان، برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی اعم از شبکه اتوبوسرانی به جهت افزایش سهم آن از سفرهای درون‌شهری امری ضروری قلمداد می‌شود. مهم‌ترین مرحله درروند برنامه

ریزی این حوزه را می‌توان مسیریابی خطوط شبکه دانست. این فرایند به‌عنوان مرحله استراتژیک در حوزه مطالعات حمل‌ونقل همگانی شناخته می‌شود. طرح‌های استراتژیک، راهبرد یک سازمان را جهت مدیریت برنامه‌های بلندمدت مشخص می‌نماید، به‌عبارت‌دیگر تمامی اقدامات دیگر جهت تنظیم شبکه اعم‌از 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، به‌دلیل انعطاف‌ناپذیر بودن دستگاه‌های بهره‌بردار به‌ندرت 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 موردنظر، 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.(Khitha, 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 درمجموع 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 موردمطالعه با هدف افزایش پوشش خدمات شبکه و نیز کاهش خطوط موازی در خیابان‌ها می‌باشد. تجمیع این دو هدف به‌جهت مدیریت نیازهای ارائه‌دهندگان و استفاده‌کنندگان از خدمات حمل‌ونقل عمومی و ارتقاء بهره‌وری سیستم، انجام پذیرفته است. دسترسی به اهداف منظور، علاوه‌بر بالابردن رضایت استفاده‌کنندگان از سامانه، سودآوری بیشتر آژانس ارائه دهنده خدمات حمل‌ونقل همگانی را نیز درپی 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؟
- ❖ آیا با طراحی شبکه جدید با درنظرگرفتن اهداف فوق، می‌توان 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 موردبررسی قرارگرفته است. این مطالعات را می‌توان باتوجه 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 مسافرین برای استفاده از وسایل حمل‌ونقل همگانی است و همچنین محدودیت هزینه‌های عملیاتی، یک مجموعه از خطوط احتمالی انتخاب می‌شود. از مدل لوجیت آشیانه‌ای هم به‌منظور مدلسازی رفتار مسافرین احتمالی استفاده می‌شود. همچنین عواملی مانند زمان داخل وسیله، زمان انتظار و زمان لازم برای رسیدن به ایستگاه نیز در داخل مدل دیده‌شده است. مدل مذکور بر روی شهر درسلن آلمان تست‌شده است. آزمایش‌های انجام‌شده بر روی مدل نشان از قابل‌اجرا 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 به‌عنوان مجموع هزینه‌های اپراتور و استفاده‌کنندگان تعریف می‌شود. روش به کار گرفته‌شده جهت تحلیل مسئله پیش‌رو، متشکل از مجموعه‌ای از روش‌های ابتکاری است؛ مرحله اول شامل تعریف گره‌ها، راه‌ها و مناطق موردمطالعه 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. به‌منظور مدلسازی

مراحل اول و دوم این مطالعه از برنامه EMME استفاده‌شده است(Ciaffi, Cipriani, Petrelli , 2014) . در سال ۲۰۰۵، بین‌یو 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 انتقال‌ها و همچنین حداکثر سازی جریان جابه‌جایی مسافرین در واحد طول با در نظر گرفتن حداقل نگهداشتن طول کل خطوط و عوامل دیگری در جهت بالا بردن منفعت مسافرین و آژانس‌های حمل‌ونقل همگانی به‌عنوان محدودیت می‌باشد. برای حل این مسئله از الگوریتمی ترکیبی برگرفته‌شده از متد کلونی مورچگان (ACA) که به CPACA مشهور است، استفاده می‌شود. برای اعمال مدل بر روی منطقه موردمطالعه، ابتدا آن را به ۸۰۰ منطقه تقسیم کرده که در هر منطقه، ایستگاه‌های اتوبوسرانی به‌عنوان مراکز نواحی در نظر گرفته می‌شوند، 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. پس‌ازآن به‌منظور تعیین میزان تقاضای استفاده از ناوگان اتوبوسرانی، شبکه اتوبوس برای این شهر به‌وسیله الگوریتم توسعه‌یافته کلونی مورچگان طراحی می‌شود (Yu et al, 2005).

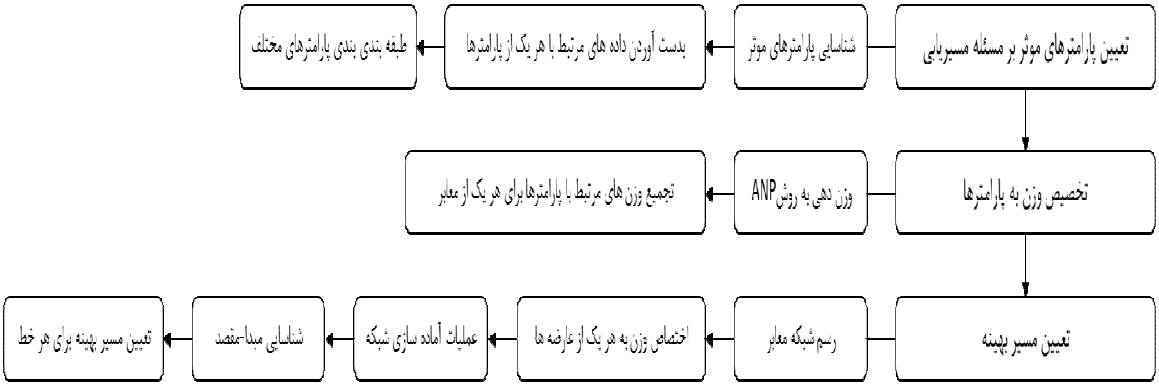
تاکوا و همکاران در مطالعه خود تحت عنوان ادغام سیستم اطلاعات مکانی و روش‌های بهینه‌سازی، به ارائه روشی برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باهدف حداقل سازی هزینه کل برای ناوگان آن پرداختند. آن‌ها معتقد هستند ناتوانی الگوریتم‌های بهینه‌سازی به‌تنهایی در حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه برای ارضای نیازهای مدیران سازمان‌های ارائه‌دهنده خدمات، به خاطر ماهیت فضایی (مکانی) این‌گونه مسائل است. به همین جهت در این پژوهش، متدی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و یک روش بهینه‌سازی فرا ابتکاری توسعه‌یافته است. نیاز به یک برنامه‌ریزی جهت مسیریابی بهینه برای شبکه‌های حمل‌ونقل همگانی با توجه به اثرات طبیعی و همچنین جنبه‌های انسانی که بر قابلیت دسترسی (در دسترس بودن) سیستم تأثیر می‌گذارند، استفاده از نرم‌افزار ArcGIS را در این حوزه توجیه‌پذیر می‌کند. (Takwa, Tlili, Krichen, 2013) . آچوتهان (۲۰۰٤) در پژوهشی به مسئله مسیریابی شبکه خطوط اتوبوسرانی می‌پردازد. در این ارائه نه‌تنها یک مدل GIS با موفقیت توسعه‌یافته است، بلکه استفاده از این مدل در بهبود پروسه مسیریابی حمل‌ونقل همگانی در دنیای واقعی نیز نشان داده‌شده است. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات تقاضای مسافرین، بهترین مسیر برای خطوط اتوبوسرانی طراحی‌شده است (Achuthan, 2003).

نیاتی در پایان‌نامه خود تحت عنوان مسیریابی خطوط اتوبوسرانی مدارس بوسلیه نرم‌افزار ArcGIS، به ارائه متدی برای مسئله مسیریابی در شبکه‌های حمل‌ونقل همگانی پرداخته است. هدف از طرح این پژوهش ایجاد یک سیستم حمل‌ونقل همگانی مدارس برای یکی از شهرهای هند است که به طراحی سریع‌تر و امن‌تر خطوط و طراحی کوتاه‌ترین و سریع‌ترین مسیرهای شبکه خطوط اتوبوسرانی می‌انجامد.

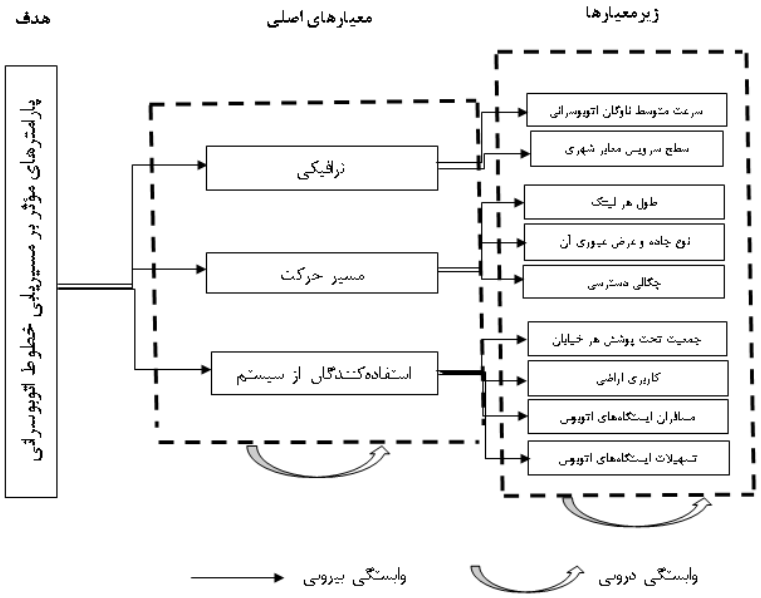
اهداف مدنظر در این تحقیق شامل حداقل سازی هزینه استفاده‌کنندگان و همچنین هزینه عملیاتی سرویس اتوبوسرانی، حداقل سازی زمان سفر و به حداقل رساندن تعداد اتوبوسهای موردنیاز می‌شوند. نتیجه حاصله از برنامه تحلیل‌گر شبکه، منجر به تولید مسیرهای جدید می‌شود که در مقایسه با خطوط موجود در جهت نیل به اهداف پژوهش با بهبود مناسبی همراه است(Nayati, 2008) . سیستم اطلاعات جغرافیایی یک نرم افزار بسیار پیشرفته است که قابلیت کاربرد در بسیاری از زمینه‌ها را دارا می‌باشد. استفاده از این برنامه به‌طور گسترده‌ای در سرتاسر جهان رواج یافته است به‌نحوی‌که بسیاری از سازمان‌ها و مراکز دولتی و خصوصی از آن به جهت تصمیم‌گیری هر چه سریع‌تر و همچنین صرفه‌جویی در هزینه‌هایی زمانی و مالی بهره می‌برند(Thill, 2000) .

۳-روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش از داده‌های شهرستان خمینی‌شهر اصفهان به جهت اعتبار سنجی مدل استفاده‌شده است. با توجه به اینکه این منطقه یک شهر متوسط از لحاظ وسعت و پیچیدگی شهری می‌باشد، امکان بررسی نتایج حاصل از این تحقیق و مقایسه آن با وضع موجود به شکل مطلوبی وجود دارد. جمعیت این شهرستان بالغبر ۲۷۸٤۰۰نفر می‌باشد. سامانه اتوبوسرانی شهرستان در حال حاضر دارای ۲٦ خط فعال است و متوسط مسافر جابجا شده روزانه آن بیش از ٤٦۰۰۰ نفر می‌باشد. جهت انجام عملیات تعیین مسیر بهینه، مراحل زیر بر اساس شکل ۱ انجام می‌گیرد.



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 موردمطالعه از میان بیش از ۱۵ پارامتر انتخاب‌شده‌اند، موردبررسی قرارگرفته و برای هر یک از آن‌ها هم معیارهایی به جهت سنجش اولویت قرار داده می‌شود. در پارامترهای در نظر گرفته‌شده 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 دیده‌شده است. تمامی پارامترهای در

نظر گرفته‌شده را می‌توان در ۳ حوزه پارامترهای ترافیکی، مسیر حرکت و استفاده‌کنندگان تقسیم‌بندی نمود، این تفکیک در شکل۲ 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) مسافرین 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 جابه‌جاشده در ایستگاه‌های مختلف توسط ناوگان اتوبوسرانی می‌تواند تقریب مناسبی از میزان تقاضای استفاده از سیستم باشد.(Loh, 2014)

ج) نوع معبر (بولوار وخیابان) 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 ٦ کلاس از A تا F تغییر می‌کند.

ه) سرعت متوسط ناوگان اتوبوسرانی

در مشخص نمودن سرعت جریان ترافیک، یک مقدار نمایانگر باید مورداستفاده 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 درنتیجه پایین آمدن میزان مطلوبیت آن برای استفاده‌کنندگان شود.(Loh, 2014)

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 مسافرین به‌سمت خطوط و استفاده از ناوگان حمل‌ونقل همگانی و همچنین اثرگذاری هریک 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 مسافرین ایفا نماید چراکه ایجاد بیش‌ترین سادگی عملیاتی (استفاده ساده‌تر مسافرین از شبکه) تأثیر زیادی برجذب مسافر دارد.(Ryus,2013)

ح) کاربری اراضی

سیستم حمل‌ونقل همگانی و کاربری‌های مختلف موجود در یک منطقه اثر متقابل بر یکدیگر دارند، به‌نحوی‌که در طراحی-های 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)

۳-۲- به‌دست آوردن داده‌های مرتبط با پارامترها برای هر یک معابر

در این تحقیق ٦٨٠ لینک به‌جهت انجام تحلیل، با در نظر گرفتن شرایط منطقه تحت مطالعه، موردبررسی 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 (متیسزیو٢٠٠٦).

با تشکیل شبکه معابر پیاده‌رو که شامل تمامی خیابان‌ها، کوچه-ها و معابری است که امکان عبور عابر پیاده از آن‌ها وجود دارد و فایل جمعیتی شهر که به‌صورت محله بندی شده در دسترس است و نیز استفاده از امکانات تحلیل‌گر شبکه نرم‌افزار ArcGIS (تحلیل محدوده خدمات‌رسانی) می‌توان جمعیت تحت پوشش هر یک از ایستگاه‌های موجود در خیابان‌ها که در شعاع ٤٠٠ متری آن ایستگاه ساکن هستند را برآورد نمود. جمعیت تحت نفوذ هر معبر از حدود ١٠٠ نفر تا ١١٢٠٠ نفر متغیر است. جدول ١ وضعیت این پارامتر را برای خطوط مختلف شبکه موجود نشان می‌دهد.

جدول ١. جمعیت تحت پوشش خطوط شبکه موجود

شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت
١١/١	٣٣٣٤٠	١٤/٢	٢٤١٥٧	١٨/١	١١٧١٥	٢١/٢	٣٧٨٣
١١/٢	٣٦٣٥٧	١٥/١	٢٣٠٠٤	١٨/٢	١١٧١٥	٢٢/١	خطوط دانشگاهی
١٢/١	١٢٥٧٥	١٥/٢	٣٢١٩٤	١٩/١	خطوط دانشگاهی*	٢٢/٢	
١٢/٢	١١٣٤١	١٦/١	١٦٢٨١	١٩/٢		٢٣/١	
١٣/١	٢٤٧٣٠	١٦/٢	١٤٨٨٦	٢٠/١	٢٧٦٥٥	٢٣/٢	
١٣/٢	٣٤٧٨٣	١٧/١	٢١١٠٥	٢٠/٢	١٣٠١٨		
١٤/١	٣٢٨٥٢	١٧/٢	٣٢٠١٤	٢١/١	٦٥٤٣		

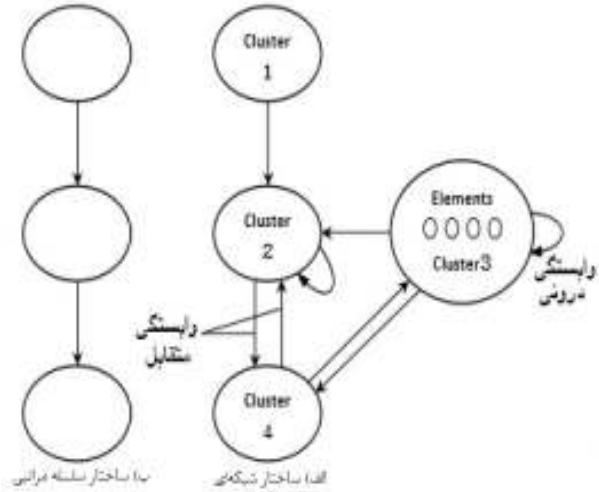
*خطوط دانشگاهی صرفاً به انتقال دانشجویان اختصاص دارد.

اطلاعات مربوط به تعداد مسافرین سوار و پیاده شده در ایستگاه‌های خطوط مختلف به‌صورت برداشت میدانی برای یک اتوبوس در هر خط و در یک نوبت‌کاری توسط محقق بدست آمد. این برداشت در زمان تقریبی ساعت اوج استفاده مسافرین از ناوگان انجام پذیرفت. به‌جهت 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 استفاده‌شده 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 آئین‌نامه محاسبه می‌گردد. برای برداشت اطلاعات زمان سفر و به‌تبع آن محاسبه سرعت و سطح سرویس، از خودرویی که با سرعت معادل سرعت متوسط جریان ترافیک در نوبت ساعت اوج ترافیک عصرگاهی (ساعت ١٩ تا ٢٢) 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) به‌صورت برداشت میدانی توسط محقق به‌دست‌آمده و سپس مجموع این زمان تقسیم‌بر کل مسافت طی شده از ایستگاه مبدأ تا ایستگاه مقصد یک معبر به‌عنوان سرعت متوسط ناوگان اتوبوسرانی در آن معبر در نظر گرفته می‌شود. این اطلاعات نشان می‌دهد متوسط سرعت ناوگان در معابر شهری از ١٠ کیلومتر در ساعت تا حدود ٤٥ 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... به‌صورت

مشـاهده میـدانی انجـام پـذیرفت. بـرای بـه‌دسـت آوردن دسترسی‌های فرعی متصل به معابر مـدنظر اعـم از جـاده‌هـای توزیع‌کننده ناحیه‌ای، جاده‌های توزیع‌کننده محلـی، جـاده‌هـای اتصالی (دسترسی) و کوچه از اطلاعات برگرفته از نقشـه‌هـای اتوکدی، سیستم اطلاعات جغرافیایی شبکه معابر شهر و نیز در برخی موارد مشـاهده میـدانی، اسـتفاده گردیـد. کـاربری‌هـای مختلف در نظر گرفته‌شده شامل مسکونی، تجـاری، فرهنگـی-آموزشـی، بهداشـتی-درمـانی، اداری، تفریحـی-ورزشـی و پارکینگ می‌شوند. اطلاعات مربوط به کاربری اراضی در قالب متراژ هـر کـاربری در شـعاع ۱۰۰ متـری معـابر، از شـهرداری شهرستان اخذ گردید. به‌جهت بدست آوردن اطلاعات مرتبط با پارامتر طول هـر معبـر، از سـامانه اتوکـد و همچنـین سیسـتم اطلاعات مکانی استفاده گردید.

۳-۳-تخصیص وزن به پارامترها

پس از مشخص شدن فاکتورها و کـلاس‌هـای آن و بـه‌دسـت آمدن داده‌های مرتبط با هریک از آن‌ها بـرای معـابر مـوردنظر، نوبت به تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای در نظـر گرفتـه‌شـده و اختصاص وزن مناسب به هریک از آن‌هاست. این کار به روش تحلیل شبکه‌ای و از طریق مصاحبه با صاحب‌نظران بـه جهـت انجام مقایسه‌های دودویـی و یـافتن بردارهـای ویـژه صـورت می‌پذیرد. دلیل اسـتفاده از ایـن تحلیـل، وجـود ارتبـاط مـابین معیارهای مختلف با یکدیگر و امکـان دیـده شـدن آن توسـط تحلیل شبکه‌ای است. این در حالی است که نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل سلسله مراتبی برای ایـن پـژوهش بـه دلیـل در نظـر نگرفتن ایـن ارتبـاط از دقـت خـوبی برخـوردار نبـود. فرآینـد AHP برخلاف تحلیل ANP وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین این عناصر را سلسـله مراتبی و یک‌طرفه فرض می‌کند، درنتیجه تمامی زیرمعیارها بـا یکدیگر مورد مقایسـه قـرار نمـی‌گیرنـد و تنهـا زیرمعیارهـای موجود در یک کلاس باهم مقایسه می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود عناصر تصمیم به شکل مستقل عمل نموده و اثر آن‌هـا بر یکدیگر دیده نشود. تفاوت مابین ساختار شبکه‌ای با ساختار سلسله مراتبی در شکل۳ نشان داده شده است.



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

۳-٤-فرایند تحلیل شبکه‌ای

در فرایند تحلیل شـبکه‌ای ابتـدا مسـئله مـوردنظر بـه یـک ساختار شبکه‌ای تبدیل می‌شـود کـه در آن عناصـر درون یـک خوشه ممکن است وابستگی بیرونی با عناصر خوشه‌های دیگر و یا دارای وابستگی درونی با یکدیگر در داخـل یـک خوشـه، داشته باشند. در مرحلـه بعـد عناصـر تصـمیم در هـر یـک از خوشه‌ها با توجه بـه میـزان اهمیـت آن‌هـا بـر اسـاس مقیـاس

۹کمیتی ساعتی دوبه‌دو مقایسه می‌شوند. خود خوشه‌ها نیز بر اساس نقش و تأثیر آن‌ها در دستیابی به هدف مسئله، دوبه‌دو 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 به‌دست 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 شکل۲ نشان داده‌شده 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؛

$$AW=\lambda_{max} W \qquad (۱)$$

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 کمیتی ساعتی و تشکیل پرسش‌نامه خبره، بدست می‌آیند.

الف) مقایسه دودویی معیارهای اصلی(ماتریس W_{21})

جدول ۲ نشان‌دهنده مقایسه‌های دودویی صورت‌گرفته مابین معیارهای مختلف است. نتایج حاصل از بردارهای ویژه این جدول در ماتریس W_{21} وارد می‌شود.

ب) مقایسه دودویی وابستگی‌های درونی معیارهای اصلی(ماتریس W_{22})

برای درک وابستگی‌های متقابل بین معیارهای اصلی، مقایسه دودویی بین معیارهای اصلی به‌صورت دوبه‌دو باهم با کنترل نمودن یکی از معیارها ارائه‌شده است. دو ماتریس مقایسه دودویی دیگر، شبیه ماتریس ارائه‌شده در جدول ۳ تشکیل می‌شود. پس از تشکیل این سه جدول، بردارهای ویژه در ماتریس W_{22} وارد می‌شوند.

ج) مقایسه دودویی زیرمعیارهای هریک از معیارهای اصلی(ماتریس W_{32})

در این مرحله، ضریب اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیارهای اصلی از طریق مقایسه دودویی آن‌ها به‌دست‌آمده و این ضرایب اهمیت، عناصر ستونی ماتریس W_{32} را تشکیل خواهند داد. نتیجه مقایسه دودویی زیرمعیارهای مرتبط با معیار ترافیکی و بردار ویژه متناظر با آن در جدول ٤ تشکیل‌شده است. برای زیرمعیارهای دو معیار دیگر هم جداول مشابهی تشکیل می‌شود.

د) مقایسه دودویی وابستگی‌های درونی زیرمعیارها (ماتریس W_{33})

در این مرحله ابتدا وابستگی‌های متقابل مابین زیرمعیارهای مختلف از طریق مصاحبه با صاحب‌نظران تشکیل‌شده و سپس مقایسه دودویی زیرمعیارهای دارای وابستگی متقابل با هریک از زیرمعیارهای دیگر انجام می‌شود. در جدول ۵ این مقایسه برای زیرمعیارهای مرتبط با سرعت ناوگان ارایه 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 محاسبه‌شده) در ستون‌های مناسب یک ماتریس (شکل٤) 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.

جدول ۲. مقایسه دودویی معیارهای اصلی

بردار ویژه	استفاده‌کنندگان	مسیر حرکت	ترافیکی	معیارهای مؤثر
۰/۲۲۸	۰/۳۸۵	۳/۸	۱	ترافیکی
۰/٦٥٦	۰/۲۳۳	۱	۰/۲٦۳	مسیر حرکت
۰/۱۱٦	۱	٤/۳	۲/٦	استفاده‌کنندگان

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

بردار ویژه	استفاده‌کنندگان	مسیر حرکت	
۰/۱٥٦	۰/۱۸٥	۱	مسیر حرکت
۰/۸٤٤	۱	٥/٤	استفاده‌کنندگان

جدول ٤. مقایسه دودویی زیرمعیارهای مربوط به پارامتر ترافیکی

بردار ویژه	سرعت متوسط ناوگان	سطح سرویس خیابان‌ها	ترافیکی
۰/۲٥	۰/۳۳۳	۱	سطح سرویس خیابان‌ها
۰/۷٥	۱	۳	سرعت متوسط ناوگان

جدول ٥. مقایسه دودویی زیرمعیارهای دارای وابستگی متقابل با زیر معیار سرعت ناوگان

سرعت ناوگان	سطح سرویس	چگالی	طول لینک	نوع جاده
سطح سرویس	۱	٤	٥	۷
چگالی	۰/۲٥	۱	۳/٥	٥/٥
طول لینک	۰/۲	۰/۲۸٦	۱	۳
نوع جاده	۰/۱٤۳	۰/۱۸۲	۰/۳۳۳	۱

جدول ٦. مقایسه دودویی کلاس‌های مرتبط با پارامتر چگالی دسترسی

کوچه	خ اتصالی (دسترسی)	خ توزیع‌کننده محلی	خ توزیع‌کننده ناحیه‌ای	چگالی دسترسی
۰/۱٦۷	۰/۱٤۳	۰/۳۳۳	۱	خ توزیع‌کننده ناحیه‌ای
۰/۲٥	۰/۲	۱	۳	خ توزیع‌کننده محلی
۳	۱	٥	۷	خ اتصالی (دسترسی)
۱	۰/۳۳۳	٤	٦	کوچه

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

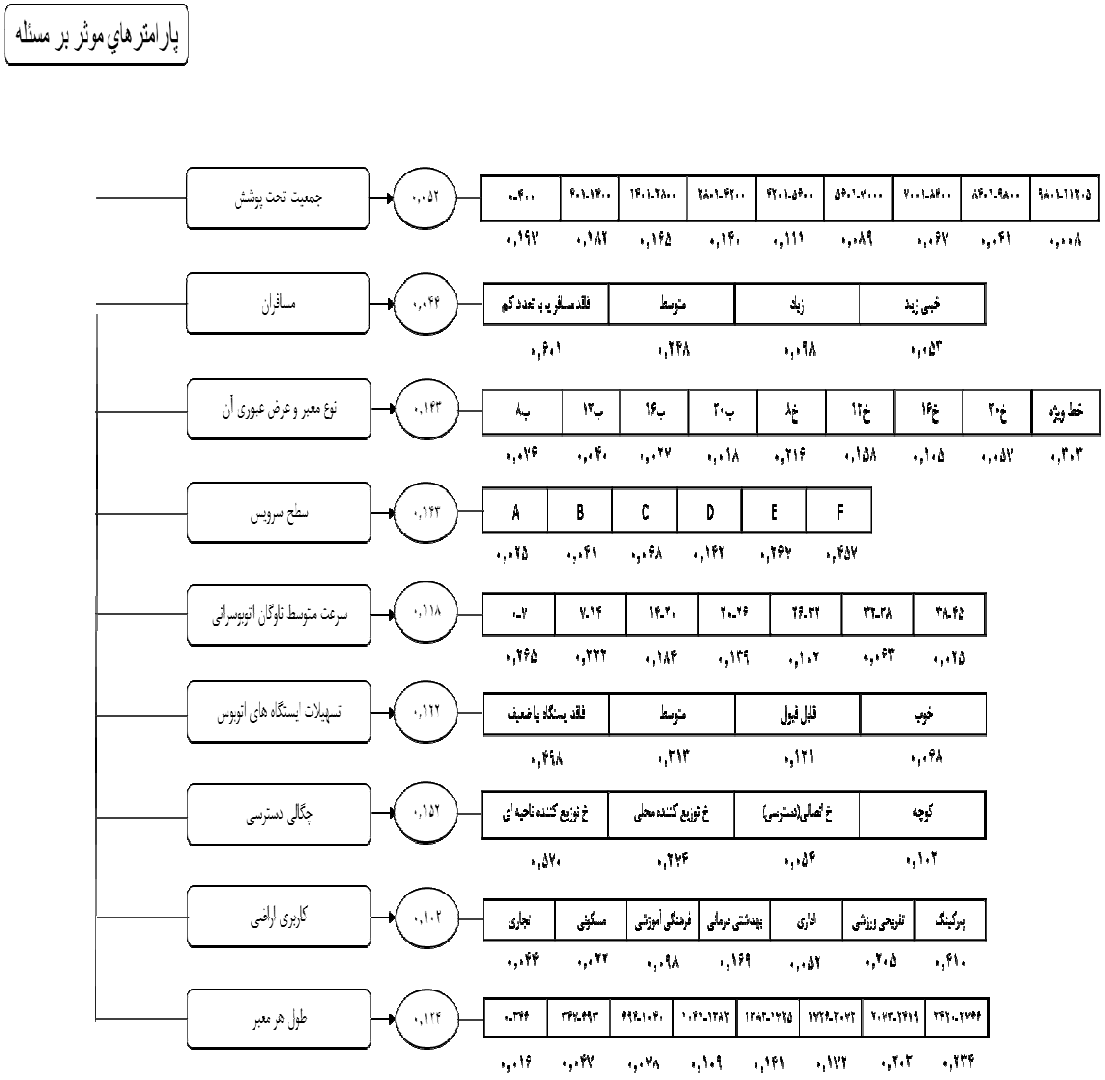
با توجه به این‌که کلیه ماتریس‌های مقایسه‌ای موجود در ساختار سوپر ماتریس ناموزون (w_{33} -w_{32} -w_{22} -w_{21}) محاسبه‌شده، می‌توان با جایگزین کردن این ماتریس‌ها در سوپر ماتریس اولیه W_1 (شکل٤)، سوپر ماتریس ناموزون را بدست آورد. حال سوپر ماتریس ناموزون باید به سوپر ماتریس موزون یعنی ماتریسی که جمع اجزای 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).

$$(\text{Lim } W^K \ k\rightarrow\infty) \qquad (۲)$$

در این مطالعه برای انجام محاسبات مربوط به حدرساندن سوپر ماتریس موزون از نرم‌افزار MATLAB استفاده‌شده 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 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 ٦ 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 تخصیص‌یافته به زیرمعیارها و همچنین کلاس‌های متناظر با آن‌ها در شکل۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، باارزش‌ترین زیرمعیار و کلاس کمترین وزن را دریافت نموده است.



شکل۳. وزن تخصیص‌یافته به زیرمعیارها و کلاس‌های متناظر با آن‌ها

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

۳-۵-تعیین مسیر بهینه

عملیات مسیریابی در برنامه تحلیل‌گر شبکه GIS براساس الگوریتم دایکسترا اجرا می‌شود. در این برنامه پس از اعمال پارامترها و شرایط مسیر بهینه، مسیر نهایی از میان مجموعه جواب الگوریتم استخراج می‌شود. این الگوریتم در هر مرحله، انتخابی بهینه انجام می‌دهد. به‌جهت انجام هرکدام از عملیات تحلیل شبکه در ساختار برنامه Network Analysis نیاز به ترسیم شبکه بر اساس دنیای واقعی وجود دارد. بر همین اساس، برای نشان دادن خیابان‌ها، یک و برای بولوارها دو آکس رسم می‌گردد. عناصر دیگر شبکه همانند پیچ‌ها، دوربرگردان، میدان‌ها و... هم به‌صورت دقیق و بر طبق شبکه معابر موجود ترسیم می‌شوند. داده‌های مرتبط با پارامترهای مختلف برای هر یک از معابر محاسبه می‌شود و نتیجه در

پایگاه داده تشکیل‌شده در نرم‌افزار Excel وارد می‌گردد. بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده برای خیابان‌ها و کلاس‌بندی‌های انجام‌شده برای هر یک از پارامترها، هرکدام از خیابان‌ها وزنی معادل با وزن کلاس‌های موجود دریافت می‌کنند. سپس به‌وسیله رابطه۳ که توسط لین و همکاران ارائه‌شده است، شاخص مطلوبیت خیابان i برای عبور خط اتوبوسرانی به‌دست می‌آید. مقادیر حاصله به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار ArcGIS ارسال می‌شود تا پس از انجام فرآیند تحلیل شبکه، بهترین مسیر برای خطوط اتوبوسرانی بدست آید.

$$D_i = \sum_{j=1}^{J} W_j E_{ij} \qquad (۳)$$

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 به‌عنوان 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 به‌عنوان هسته تحلیل شبکه‌های حمل‌ونقل یاد می‌شود (Otieno, 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. مبدا- مقصد برای خطوط مختلف با توجه به آخرین ماتریس O-D موجود از منطقه، پیشنهادهای مطالعات جامع بخش حمل‌ونقل همگانی شهرستان، مشورت با صاحب‌نظران خبره، در نظرگرفتن حوزه‌های جمعیتی و همچنین وضعیت شبکه موجود تعیین گردید.

٤- 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 ٤ 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 ٪۸۰/۷٦ 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 ٪۷٦/۹۵ در مسیر برگشت، سرویس ارائه می‌کند. نتیجه، افزایش ۱۸هزارنفری دسترسی افراد به شبکه که در شعاع ٤۰۰ متری ایستگاه‌های اتوبوسرانی قرار می‌گیرند. طول همپوشانی در شبکه فعلی در حدود ۳۹۱٥٤ متر می‌باشد که این رقم معادل با ٪۲٦/۹۱ از کل طول شبکه خطوط است، درحالی‌که در شبکه جدید طراحی‌شده، ۱۷۱٦۰ متر از خطوط با یکدیگر مشترک هستند، یعنی در حدود ٪۱٤/۸٥ از طول خطوط شبکه جدید، همزمان توسط دو خط مجزا پوشش داده می‌شود. این مطلب بیانگر کاهش حدود ۲۲کیلومتری همپوشانی خطوط مختلف با یکدیگر است. به‌علاوه، طول کل شبکه نیز از میزان حدود ۱٤٥کیلومتر به ۱۱٥کیلومتر کاهش یافته است. جدول ۷ جمعیت تحت پوشش خطوط شبکه جدید را در دو مسیر رفت‌وبرگشت نمایش می‌دهد.

جدول ۷. جمعیت تحت پوشش خطوط شبکه جدید

شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت	شماره خط	جمعیت
۲۱/۱	۲٤۰۷۵	۲٤/۲	۳۱۸۹٦	۲۸/۱	۲۰۱۳۱	۳۱/۲	خطوط دانشگاهی
۲۱/۲	۱۹۰۲۸	۲۵/۱	۲۹٦۳۹	۲۸/۲	۲۵۱۸۰	۳۲/۱	۲۰۰٦۸
۲۲/۱	۲۰۸۷۲	۲۵/۲	۲۸٦۵۸	۲۹/۱	۱۱۷۱۵	۳۲/۲	۲۲۹۲٦
۲۲/۲	۲۰۸۷۲	۲٦/۱	۲۵۱٦٦	۲۹/۲	۱۱۷۱۵		
۲۳/۱	۱۲۵۷۵	۲٦/۲	۲۹۵۱۷	۳۰/۱	خطوط دانشگاهی		
۲۳/۲	۱۱۳٤۱	۲۷/۱	۲۲٦۲۰	۳۰/۲			
۲٤/۱	۳۰۵۰۷	۲۷/۲	۲۳۷۳۵	۳۱/۱			

۵- نتیجه‌گیری

- ✓ 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 درنتیجه 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 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 مسافرین 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 موردمطالعه بروز گردد و سپس با توجه به مدل ارائه‌شده، مسیریابی شبکه انجام پذیرد.

٦-سپاسگزاری

با توجه به اینکه این طرح مورد حمایت شهرداری خمینی‌شهر قرارگرفته است، لذا از جناب آقای مهندس اصغر حاج حیدری شهردار محترم شهرستان به نمایندگی از مسئولین ایـن سـازمان تشکر به‌عمل می‌آید.

٧- مراجع

-"مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهرستان خمینی‌شهر"، (١٣٨٨)، سامانه حمل‌ونقل همگـانی، مهندسـین مشـاور طـرح 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.

-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

-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.