فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

ساختار ارزیابی مسیر اتوبوس با استفاده از یک مدل ترکیبی دو مرحله ای فازیAHP و TOPSIS

مهرداد نیازی شش نرمی ، مسعود ربانی
۱- کارشناس ارشد، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران
۲- استاد، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران

چکیده
استفاده کنندگان حمل و نقل عمومی به طور مداوم در جستجوی خدمات منظم، هزینه ی کم، ایمنی بالا و راحتی می باشند. ایجاد یک سیستم برای ارزیابی مسیر اتوبوس (BRE) یکی از نیازهای پایه ای برای مدیریت حمل و نقل عمومی در شهرستانها می باشد. نیاز به یک ابزار منطقی و علمی برای حمایت از تصمیمات اتخاذ شده توسط سیاست گذاران حمل و نقل عمومی به منظور بالا بردن کیفیت خدمات، نشان دهنده ی اهمیت چنین سیستمی می باشد. در این مطالعه، ابتدا شش مسیر از میان ۹۵ مسیر اتوبوس شهری کرج انتخاب شدند. پس از آن، ۱۶ معیار بر اساس ادبیات تولید شد. سپس با استفاده از یک مدل تصمیم گیری چند معیار (MCDM) دو مرحله ای شامل روش AHP فازی و TOPSIS داده ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و وضعیت موجود مسیرهای اتوبوس انتخاب شده مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه و چارچوب ارزیابی ارائه شده برای تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی مسیرها، همراه با مقایسه مسیرهای اتوبوس می تواند به مدیران و سیاستگذاران حمل و نقل اتوبوسی برای بهبود خدمات، توسعه مسیرها، ادغام مسیرها و ایجاد مسیرهای جدید کمک کند.

واژگان کلیدی: ارزیابی، مسیر اتوبوس، AHP فازی، TOPSIS

۱- مقدمه
این مقاله به دنبال ارائه ی یک ابزار منطقی و علمی به مدیران و برنامه ریزان صنعت اتوبوس برای حمایت از تصمیمات اتخاذ شده برای دستیابی به کیفیت بالاتر خدمات می باشد. یکی از مهمترین وظایف مدیران و سیاستگذاران در هر زمینه ای، موضوع ارزیابی وضعیت فعلی است. ارزیابی مناسب می تواند به طور همزمان شرایط را با توجه به شرایط عملیاتی، مشکلات فعلی و پتانسیل های موجود برای توسعه روشن سازد و همچنین به عنوان دستورالعمل های موجود برای اقدامات آینده و بهبود مورد بررسی قرار گیرد. امروزه، خدمات حمل و نقل عمومی به عنوان یکی از راه های اصلی سفر برای شهروندان در نظر گرفته می شود. برنامه ریزی و مدیریت مسیرهای اتوبوس از مسائل مهم برای مقامات حمل و نقل شهری است.مسافران حمل و نقل عمومی به طور مداوم در جستجوی خدمات منظم، هزینه ی کم، ایمنی بالا و راحتی می باشند (۱) و این منجر به یک تلاش مداوم برای بهبود کیفیت حمل و نقل اتوبوسی به منظور تشویق مردم به استفاده از این نحوه ی حمل و نقل می شو همچنین بهینه سازی هزینه های عملیاتی برای ارائه دهندگان خدمات اتوبوسی از اهداف برنامه ریزان حمل و نقل عمومی می باشد. می توان گفت که هدف به حداقل رساندن هزینه های کل شامل زمان دسترسی، زمان انتظار، زمان سپری شده در اتوبوس، هزینه برای مسافران و هزینه های عملیاتی برای اتوبوس، همراه با هزینه های پرداخت شده برای کیفیت سفر و آسایش مسافران می باشد (۲) به این ترتیب، فراهم کردن یک چارچوب مناسب به منظور ارزیابی مسیرهای اتوبوس برای برنامه ریزان و مدیران یک ضرورت است. یکی از مشکلات اساسی که سیاست گذاران و مدیران اجرایی با آن روبه رو هستند، دریافت اطلاعات بیش از حد از منابع جداگانه می باشد (۳). بنابراین، در بسیاری از موارد، برنامه ریزی مسیر اتوبوس بر اساس تجربه عملی می باشد که می تواند به مشکلاتی از قبیل هزینه های اضافی، سرعت عملیاتی پایین، پوشش ناکافی و حمل و نقل نامناسب منجر شود (۴). مطالعاتی در زمینه ی ارزیابی شبکه حمل و نقل عمومی (PNTE) در چند

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال نوزدهم / پاییز ۱۳۹۸ / شماره ۷۸

سال گذشته در سراسر جهان انجام شده است، با این حال، تعداد مطالعات انجام شده بر روی ارزیابی مسیر اتوبوس اندک می باشد. یکی از مطالعات اولیه در این زمینه، پروژه تدوین استانداردهای مسیرهای اتوبوس می باشد که در ایالات متحده آمریکا انجام شده است. این پروژه ۴۴ معیار را در پنج دسته ی اصلی طراحی مسیر، برنامه ی زمانی، اقتصاد و بهره وری، خدمات و ایمنی و رفاه را ارائه داد (۵). در میان مطالعات علمی انجام شده در این زمینه، می توان به مواردی که توسط (۴)،(۶) و (۷) انجام شده است اشاره کرد. با توجه به این واقعیت است که ارزیابی مسیر اتوبوس یک مسئله ی بسیار پیچیده است و بستگی به تعداد بالایی از معیارها، یکی از بهترین روش های تحلیل برای این موضوع، استفاده از مدل های تجزیه و تحلیل چند معیاره می باشد.

با توجه به ادبیات موجود، در این مقاله یک ابزار منطقی و علمی به مدیران و برنامه ریزان صنعت اتوبوس برای حمایت از تصمیمات اتخاذ شده برای دستیابی به کیفیت بالاتر خدمات ارائه می شود. مدل های شناخته شده ی TOPSIS و AHP فازی به ندرت برای ارزیابی مسیرهای اتوبوس اعمال شده اند و عمدتا برای مکانیابی-تخصیص خدمات عمومی مورد استفاده قرار گرفته اند. تعداد محدودی از مطالعات را می توان یافت که در آن چنین مدل ترکیبی استفاده شده است (۲) و (۸). در مقایسه با ادبیات موجود، تعداد متغیرها بالاتر است و علاوه بر این، سیستم وزن دهی تنها بر اساس نظرات کارشناسان نمی باشد بلکه از مجموعه ای از معیارهای عینی اعمال شده بر روی داده های واقعی است نیز استفاده می کند.

۲- معیار برای ارزیابی مسیر اتوبوس (BRE)

نه تنها ارتباط بین مسیرها، موضوع روند BRE می باشد، بلکه "BRE باید به صورت عینی ویژگی های عملیاتی و اثرات مسیرهای انفرادی را نیز ارزیابی کند" (۴). برای این نوع ارزیابی، معیارهای اساسی باید در برخی از دسته ها طراحی شوند و سپس زیر معیارهای مورد نیاز و شاخص ها با توجه به اهداف ارزیابی قرار داده شوند. در این مقاله، معیارها در چهار دسته ی طراحی مسیر (RD)، طراحی زمانبندی (SD)، اقتصاد و بهره وری (EP) و ایمنی و راحتی مسافر (PC) قرار می گیرند.

۲- ۱- معیار طراحی مسیر اتوبوس

جهت این معیار نشان دهنده ی مناسب بودن ارائه ی خدمات به مسافران می باشد و شامل پنج زیر معیار می باشد. در واقع، زیر معیارهای مربوط به طراحی مسیر در رابطه با فرم اولیه و طراحی شبکه حمل و نقل می باشد و عواملی مانند محل خدمات، نوع شناسی مسیرها و دسترسی کاربران به خدمات حمل و نقل را شامل می شود (۵).

۲-۱-۱- تراکم جمعیت

این زیر معیار، پتانسیل یک ایستگاه اتوبوس در جذب مسافران را نشان می دهد. هرچه تراکم جمعیت بالاتر باشد، پتانسیل جذب حجم مسافران، بالاتر می باشد]۳[. فاصله ی مناسب برای تعیین منطقه برای تراکم جمعیت ۴۰۰ متر است که می تواند به عنوان فاصله ی مناسب برای دسترسی به مسیر اتوبوس با پای پیاده در نظر گرفته شود (۹).

۲-۱-۲- تراکم اشتغال

این زیر معیار به عنوان یک عامل برای جذب سفر در مناطق مجاور مسیرهای اتوبوس در نظر گرفته می شود و یکی از سنجه هایی است که اغلب برای ارزیابی طراحی مسیر اتوبوس استفاده می شود (۵).روش اندازه گیری این زیر معیار نیز مشابه تراکم جمعیت است و هر دو دارای یک اثر بالقوه مثبت در ارزیابی می باشند (هرچه بالاتر بهتر).

۲-۱-۳- مستقیم بودن مسیر

این پارامتر، که در برخی مقالات به عنوان عامل غیر خطی مسیر نیز شناخته می شود (۴) نشان دهنده ی درجه ای است که مسیر اتوبوس از کوتاه ترین مسیر آغاز تا پایان مسیر منحرف می شود. در مواردی که استفاده از تجزیه و تحلیل شبکه برای خیابان ها امکان پذیر نمی باشد، فاصله ی مستقیم بین آغاز و پایان می تواند به عنوان کوتاه ترین مسیر استفاده شود.

$$RDF = \frac{L}{L_s}$$

در اینجا،L طول فعلی مسیر است و Ls طول کوتاهترین مسیر که از تجزیه و تحلیل شبکه به دست می آید. هرچه این شاخص به ۱ نزدیکتر باشد بهتر است.

۲-۱-۴- همپوشانی مسیر

این معیار به منظور بررسی همپوشانی غیر ضروری مسیرها استفاده می شود و هرچه کمتر باشد بهتر است. منطقه برای همپوشانی ۲۰ متر در نظر گرفته می شود. شاخص اندازه گیری این معیار به صورت زیر محاسبه می شود (۴):

$$RO = \frac{\sum L_i}{L}$$

که در آن Li میزان کیلومتری است که در آن مسیر i با مسیر تحت ارزیابی موازی است یا همپوشانی دارد.

۲-۱-۵- اتصال شبکه

این زیر معیار درجه ی آزادی بیشتری به مسافران برای تغییر مسیر و یا تغییر حالت سفر می دهد و بنابراین میزان رضایت آنها را تحت تاثیر قرار می دهد (۳). در برخی مقاله ها (۴) این معیار به عنوان درجه همبستگی در نظر گرفته شده است و هرچه فاصله ی ایستگاه های مسیر تحت ارزیابی از دیگر ایستگاه های اتوبوس (از مسیرهای دیگر) یا ایستگاه های دیگر وسایل نقلیه حمل و نقل عمومی مانند قطار شهری کنتر باشد، این همبستگی بهتر و قوی تر است. معیارهای دیگر مانند فاصله ی ایستگاه های اتوبوس، عدالت در خدمات، طراحی مناسب ایستگاه ها و مجاورت با مناطق غیر مسکونی نیز می تواند استفاده شود اما با توجه به شباهت مسیرها و یا اطلاعات ناکافی، آنها در نظر گرفته نمی شوند.

۲- ۲- معیار زمان بندی

این معیار در رابطه با برنامه ی زمانی منظم و مناسب بودن زمان بندی با میزان شلوغی اتوبوس ها در مسیر می باشد(۵).

۲-۲-۱- یکنواختی حرکت

این معیار میزان تاخیر ورود اتوبوس در ایستگاه های مسیر را نشان می دهد. در اصل، اتوبوس ها نباید زودتر از یک دقیقه و دیرتر از دو دقیقه از برنامه ی زمانی، به ایستگاه برسند (۴). شاخص اندازه گیری این معیار انحراف استاندارد از زمان برای حرکت بین ایستگاه ها می باشد. انحراف استاندارد بالا به عنوان یک عامل منفی در نظر گرفته می شود (۶).

۲-۲-۴- ایستادن در مقابل نشتن

این معیار، نسبت متوسط افراد ایستاده به افراد نشسته در تمام طول مسیر را نشان می دهد. مانند معیار های قبلی، مقدار بالاتر این معیار نامطلوب است.

۲-۲-۵- عامل عدم تعادل

این معیار نشان دهنده ی تعادل در حفظ ثبات جریان مسافر در یک مسیر در طول ساعات ارائه ی خدمات می باشد. شاخص این معیار نیز انحراف استاندارد جریان مسافر در ساعات ارائه ی خدمات می باشد.

۲- ۳- معیار اقتصاد و بهره وری

این معیارها سطح بهره وری و عملکرد مطلوب مسیرهای اتوبوس را از نقطه نظر اقتصادی نشان می دهد.

۲-۳-۱- نرخ استفاده از کیلومترها (مسیر)

این معیار نشان دهنده ی نسبت فاصله از مسیری که در آن مسافران جابجا می شوند به کل فاصله می باشد حمل و نقل (۴) و در واقع، نشان دهنده ی بهره وری کاربردی و طراحی بهینه یک مسیر اتوبوس می باشد.

۲-۳-۱- معیار مسافر در هر کیلومتر

این معیار نشان دهنده ی نسبت مسافران جابجا شده به کل کیلومتر پوشش داده شده است. هرچه مقدار آن بالاتر باشد، نشان دهنده ی بهره وری بالاتر می باشد.

با توجه به این که قیمت بلیط برای تمام مسیرهای اتوبوس در کرج ثابت هستند، درآمد در هر کیلومتر برای هر مسیر کاملا وابسته به این معیار است و هیچ معیار مستقل دیگر برای درآمد در نظر گرفته نشده است.

عوامل دیگر مانند هزینه های مسیر، هزینه های انرژی برای اتوبوس، هزینه های نگهداری و غیره نیز می تواند استفاده شود. لازم به ذکر است که در بسیاری از کشورها، استفاده از خدمات اتوبوس و موفقیت های اقتصادی آن به دلیل سیاست تحمیل هزینه ی پارکینگ است که توسط مقامات محلی اجرا می شود.

۲- ۴- معیار ایمنی و راحتی مسافران

اگرچه عوامل ذکر شده در بالا برای معیارهای زمان بندی اهمیت قابل توجهی در به دست آوردن رضایت مسافران دارند و زمان سپری شده در ایستگاه های اتوبوس گاهی اوقات برای مسافران دو برابر از زمان سپری شده در اتوبوس مهم می باشد(۱۰) اما معیار ایمنی و راحتی مسافر نیز از نقش مهمی در بالا بردن یک روند عمومی برای استفاده از اتوبوس و ایجاد عدالت اجتماعی دارد.

۲-۴-۱- سرعت عملیاتی

شاخص محاسبه سرعت عملیاتی با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود:

$$V = \frac{L}{T_0}$$

که L طول کل مسیر است و T۰ زمان سپری شده برای پوشش کل مسیر از نقطه ی اولیه تا پایان، از جمله زمان سپری شده در ایستگاه ها می باشد.

برخی معیارهای دیگر برای ارزیابی مسیر اتوبوس که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از:

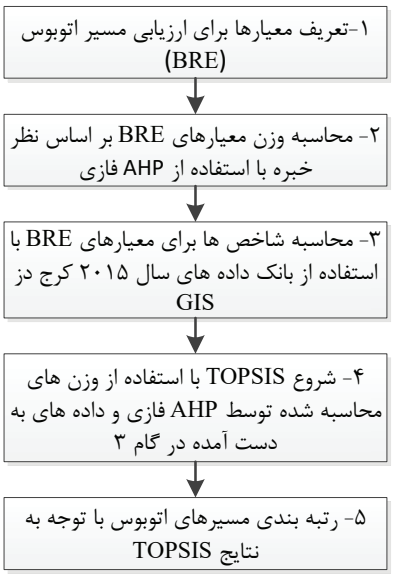
- تعدادی دانش آموزان ساکن در نزدیکی ۴۰۰ متری از ایستگاه (STU)؛
- تعداد افراد دارای ۶۵ سال سن و بیشتر ساکن در نزدیکی ۴۰۰ متری از ایستگاه (OLD)؛
- تعداد افراد معلول ساکن در نزدیکی ۴۰۰ متری از ایستگاه (DSB)؛

دو معیار آخر توسط]۸[استفاده شده است. برای ارزیابی مسیر اتوبوس در کرج، با توجه به این واقعیت که اتوبوس ها دارای ویژگی های مشابه هستند، ارزیابی بر اساس ویژگی های اتوبوس (مانند نوع انرژی مصرفی و ...) از مطالعه حذف شدند.

۳- روش تحقیق

استفاده از مدل های MCDM برای مدیریت شهری و تجزیه و تحلیل برنامه ریزی به دهه ها قبل باز

میگردد. در موقعیت شهری به علت وجود چندید عامل و جایگزین های پیش رو، استفاده از مدل های مناسب MCDM می تواند به تصمیم گیران که با مسائل پیچیده مواجه می شوند کمک کند و همچنین می تواند منجر به تصمیم گیری بهتر بر اساس معیارهای مورد نظر گردد. به منظور بهبود مدل های MCDM می توانند چندین روش را ترکیب نمود تا چارچوبی موقت برای آنالیز مسائل به دست آید و همچنین می توان به محیط های فازی قضاوت های گوناگونی وارد کرد. تحقیق های مختلفی در این زمینه در چندین سال گذشته صورت گرفته است. یکی از این چارچوب های ترکیبی استفاده از فرآیند دو مرحله ای است که AHP و TOPSIS را ترکیب می کند. برای داشتن یک ارزیابی کارآمد در مسئله ی ارزیابی مسیر اتوبوس، تصمیم گیرندگان باید مقدار زیادی اطلاعات را تجزیه و تحلیل کنند و چندید معیار را در نظر بگیرند. اگرچه نمی توان به طور قطعی قضاوت کرد که کدام مدل بهتر یا بدتر است، فقط می توتن گفت که برخی از روش ها در بعضی موارد برای تصمیم گیری مناسب تر هستند. در تحقیق پیش رو به علت وجود اطلاعات و داده های کم برای شاخص های BRE و تعداد زیاد جایگزین ها (به خصوص زمانی که شمار بیشتری از مسیرهای اتوبوس مورد نیاز است) ابتدا یک AHP فازی برای تعیین وزن معیار و همچنین برای تعیین وزن زیر معیار استفاده می شود. سپس در مرحله ی دوم، روش TOPSIS برای ارزیابی جایگزین ها (مسیرهای اتوبوس) اعمال می شود که وزن های به دست آمده در مرحله ی قبلی را در نظر می گیرد. مراحل این مدل ترکیبی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: *ساختار مدل ترکیبی*

۳- ۱- مدل AHP فازی

یکی از مزایای مدل AHP فازی احتمال ترکیب داده های کمی و کیفی در یک ساختار منطقی می باشد. مدل AHP شامل سه مرحله می شود: تعیین هدف، فرمول بندی ساختار سلسله مراتبی و تعیین وزن معیارها و تعیین وزن انتخابها بر اساس موقعیت آنها در رابطه با معیار ذکر شده ی بالا. یک نکته مهم در این باره این است که مدل تصمیم گیری مناسب باید در برابر شرایط عدم اطمینان و ابهام مقاوم باشد.

مدل سنتی AHP بر اساس قضاوت و انتخاب یک مقدار ۹ مقیاسه برای مقایسه ی دوتایی عمل می کند. اگر چه این مقادیر مشخص نمی توانند عدم اطمینان موجود در قضاوت و نظرهای خبرگان را در برگیرند. از این رو با استفاده از مقادیر فازی برای نشان دادن عدم اطمینان که اولین بار توسط زاده مطرح شده است می توان عملکرد AHP را تا حد زیادی بهبود بخشید. در این مقاله از اعداد مثلثی فازی استفاده شده و روش فازی زدایی نیز از ماتریس معکوس و مرکزی به دست می آید. از آنجایی که روش های AHP فازی و TOPSIS روش های شناخته شده می باشد برای جلوگیری از بیان اضافه از تشریح آن خود داری میکنیم زیرا از حوصله ی این مقاله خارج است.

۴- ارزیابی شش مسیر شبکه ی اتوبوسرانی عمومی کرج

شهر کرج به عنوان مرکز استان البرز و با داشتن جمعیتی میلیون نفری یکی از کلان شهرهای ایران به شمار می رود. بر طبق یک تحقیق رسمی، سهم مسافرتهای درون شهری این شهر به صورت زیر است: ۶۰ درصد شامل ماشین های شخصی و تاکسی، ۳۰ درصد اتوبوس و دیگر روش ها مانند پیاده روی و دوچرخه سواری نیز برابر با ۱۰ درصد می باشد. بتابراین اتوبوس عمومی و اصلی ترین حالت حمل و نقل عمومی می باشد. در حال حاضر حمل و نقل عمومی در کرج بیشتر به اتوبوس وابسته است. اطلاعات و داده هایی در مورد تعداد خطوط اتوبوس در کرج از شرکت اتوبوسرانی کرج به دست آمده است که نشان میدهد تعداد ۹۵ مسیر رفت و برگشت وجود دارد و متوسط طول مسیر برابر با ۱۱/۰۴ کیلومتر می باشد و کوتاهترین مسیر برابر با ۴/۱۴ کیلومتر و طولانی ترین مسیر نیز برابر با ۴۱/۴۴ کیلومتر می باشد. تعداد ایستگاه ها برای هر کیلومتر مسیر برابر با ۱/۱۶ می باشد. در این مقاله از میان ۹۵ مسیر موجود تعداد ۶ مسیر انتخاب شدند. این ۶ مسیر شلوغ ترین و پرحجم ترین مسیرها هستند. بعد از مشورت گرفتن از خبرگان، در مرحله ی اول وزن معیارها و شاخص های در نظر گرفته شده برای ارزیابی مسیر اتوبوس در مدل AHP فازی تعیین شدند که در جدول های ۱ تا ۵ نشان داده شده است.

در مرحلـه ی دوم و بـه دنبـال تعییـن وزن هـای شـاخص هـا و معیارهـا بـا اسـتفاده از تجزیـه و تحلیـل هـای آمـاری و مکانـی، وزن نهایـی مسـیرها بـا اسـتفاده از روش TOPSIS محاسـبه شـدند. بعـد از نرمـال سـازی جـدول تصمیـم (جـدول ۷) وزن هـای بـه دسـت آمـده از مرحلـه ی AHP فـازی در ماتریـس نرمـال شـده اعمـال شـدند (جـدول ۸) و بعـد از تعییـن بهتریـن و بدتریـن جـواب هـا (جـدول ۹) و محاسـبه ی فاصلـه، مقـدار نهایـی مسـیرها و رتبـه بنـدی آنهـا بـه دسـت آمـد (جـدول ۱۰). بـا توجـه بـه نتایـج بـه دسـت آمـده، مسـیرهای ۵۱ و ۷۵ بـه لحـاظ عملکـرد در وضعیـت خوبـی قـرار دارنـد و کارآمـد مـی باشـند و مسـیرهای ۵ و ۱۰ بـه بررسـی بیشـتری بـرای بهبـود عملکـرد نیـاز دارنـد.

جدول ۱: *مقیاس های AHP فازی*

مقیاس های زبانی	مقیاس های فازی	مقیاس های معکوس
به یک اندازه ارجح	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
بصورت متوسط ارجح	(۲،۳،۴)	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)
به شدت ارجح	(۴،۵،۶)	(۱/۶ ،۱/۵ ،۱/۴)
بسیار به شدت ارجح	(۶،۷،۸)	(۱/۸ ،۱/۷ ،۱/۶)
کاملا ارجح	(۹،۹،۹)	(۱/۹ ،۱/۹ ،۱/۹)

جدول ۲: *وزن معیارها که توسط AHP فازی به دست آمده است*

زیر معیار طراحی	RD	SD	EP	PC	وزن
RD	(۱،۱،۱)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	۰/۱۴۵۶
SD	(۱،۲،۳)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	(۲،۳،۴)	۰/۱۴۵۶
EP	(۱،۱،۱)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	۰/۴۶۳۲
PC	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱،۱،۱)	۰/۱۴۵۶
		λ_{Max} =۴/۰۱۰۲		RI=۰/۹	
		CI=۰/۰۰۳		CR=۰/۰۰۴	

جدول ۳: *وزن زیرمعیار طراحی مسیر*

زیر معیار طراحی	PD	ED	RD	RO	NC	وزن
PD	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	۰/۱۴۵۶
ED	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	۰/۱۴۵۶
RD	(۲،۳،۴)	(۲،۳،۴)	(۱،۱،۱)	(۲،۳،۴)	(۴،۵،۶)	۰/۴۶۳۲
RO	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	۰/۱۴۵۶
NC	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱/۶ ،۱/۵ ،۱/۴)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱،۱،۱)	۰/۰۹۷۴
		λ_{Max} =۵/۰۰۴			RI=۱/۱۲۰	
		CI=۰/۰۱۰			CR=۰/۰۰۹	

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال نوزدهم / پاییز ۱۳۹۸ / شماره ۷۸

جدول ۴: *وزن زیرمعیار زمانبندی*

زیر معیار زمانبندی	HE	DE	DST	S-vs-NS	NEF	وزن
HE	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	(۲،۳،۴)	(۱،۱،۱)	۰/۲۴۷۸
DE	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	(۲،۳،۴)	(۱،۱،۱)	۰/۲۴۷۸
DST	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	۰/۱۸۴۱
S-vs-NS	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	(۱،۱،۱)	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	۰/۰۷۲۶
NEF	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۳)	(۲،۳،۴)	(۱،۱،۱)	۰/۲۴۷۸
		λ_{Max} =۵/۰۰۴			RI=۱/۱۲۱	
		CI=۰/۰۰۲			CR=۰/۰۰۲	

جدول ۵: *وزن زیر معیار اقتصاد و بهره وری*

زیر معیار	KUR	PPK	وزن
KUR	(۱،۱،۱)	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	۰/۱۷۷
PPK	(۲،۳،۴)	(۱،۱،۱)	۰/۸۲۳

جدول ۶: *وزن زیرمعیار ایمنی و آسایش مسافران*

زیر معیار راحتی و ایمنی مسافر	OS	OLD	DSB	STU	وزن
OS	(۱،۱،۱)	(۴،۵،۶)	(۴،۵،۶)	(۲،۳،۴)	۰/۵۴۱۷
OLD	(۱/۶ ،۱/۵ ،۱/۴)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	۰/۰۸۵۶
DSB	(۱/۶ ،۱/۵ ،۱/۴)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱/۳ ،۱/۲ ،۱)	۰/۰۸۵۶
STU	(۱/۴ ،۱/۳ ،۱/۲)	(۱،۲،۳)	(۱،۲،۳)	(۱،۱،۱)	۰/۲۸۹۱
		λ_{Max} =۴/۰۰۴		RI=۰/۹۰۱	
		CI=۰/۰۰۱		CR=۰/۰۰۱	

جدول ۷: *مرحله ی اول، جدول تصمیم*

معیار	طراحی مسیر					طراحی زمانبندی					اقتصادی		ایمنی و آسایش			
شاخص	PD	ED	RDF	RO	NC	HE	DE	DST	S-vs-Ns	NEF	KUR	PPK	OS	STU	OLD	DSB
وزن	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۱۰۲	۰/۰۳۲	۰/۰۲۱	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۰۸۱	۰/۰۳۲	۰/۱۰۹	۰/۰۳۹	۰/۱۸۱	۰/۰۶۴	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۴
شماره خط																
۳	۱۹۳/۳۰۱	۵۲/۲۴۷	۱/۳۱۲	۴/۱۱۹	۱/۸۸۲	۱/۸۷۱	۵/۴۴۳	۰/۰۵۰	۳/۱۹۱	۱۹/۰۱۹	۰/۹۵۰	۱۰۵/۹۵۸	۱۵/۳۸۷	۳۴/۸۱۴	۹/۶۵۳	۳/۷۸۴
۵	۱۵۴/۴۶۷	۴۴/۷۹۸	۱/۲۱۷	۲/۳۵۸	۱/۵۸۵	۲/۵۶۲	۵/۸۳۰	۰/۰۵۳	۳/۹۸۸	۳۲/۹۹۴	۰/۹۲۳	۸۹/۷۷۳	۱۳/۹۱۱	۲۹/۳۰۵	۷/۳۸۴	۲/۴۹۸
۱۰	۱۳۴/۸۶۶	۴۱/۷۵۴	۱/۱۴۸	۱/۲۳۶	۱/۳۴۱	۱/۰۲۸	۳/۱۴۳	۰/۲۰۹	۱۲/۲۱۷	۲۲/۵۶۷	۰/۹۹۷	۱۳۲/۶۹۴	۱۶/۹۵۸	۲۴/۴۰۷	۵/۷۷۸	۱/۷۵۴
۵۱	۲۱۰/۰۹۴	۵۹/۷۵۵	۱/۳۲۶	۵/۸۶۹	۵/۶۴۷	۱/۲۳۷	۳/۱۴۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۱/۷۳۰	۰/۹۸۹	۲۲۲/۳۵۴	۱۴/۱۹۰	۳۳/۸۷۸	۱۵/۲۹۲	۴/۵۴۰
۷۰	۱۲۴/۷۸۲	۳۶/۴۰۹	۱/۰۰۰	۵/۱۵۷	۵/۱۰۵	۱/۳۶۵	۵/۵۵۳	۰/۱۰۳	۰/۵۰۰	۲۰/۲۱۳	۰/۹۹۷	۲۲۴/۶۲۹	۱۳/۵۶۱	۲۴/۱۹۱	۹/۱۷۶	۱/۹۶۶
۷۵	۱۶۸/۳۴۷	۵۱/۶۸۲	۱/۱۳۷	۳/۸۸۱	۲/۱۳۵	۱/۳۵۵	۲/۹۷۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۷/۲۹۵	۰/۹۰۷	۱۲۴/۸۵۲	۱۸/۳۲۴	۲۹/۱۱۳	۸/۲۷۶	۲/۶۹۲

جدول ۸: *مرحله ی دوم، جدول تصمیم نرمال شده*

معیار	طراحی مسیر					طراحی زمانبندی					اقتصادی		ایمنی و آسایش			
شاخص	PD	ED	RDF	RO	NC	HE	DE	DST	S-vs-Ns	NEF	KUR	PPK	OS	STU	OLD	DSB
وزن	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۱۰۲	۰/۰۳۲	۰/۰۲۱	۰/۱۱۰	۰/۱۱۰	۰/۰۸۱	۰/۰۳۲	۰/۱۱۰	۰/۰۳۹	۰/۱۸۱	۰/۰۶۴	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۴
شماره خط																
۳	۰/۴۷۲	۰/۴۴۱	۰/۴۴۸	۰/۴۱۲	۰/۲۲۴	۰/۴۴۶	۰/۴۹۱	۰/۲۰۳	۰/۲۲۳	۰/۳۷۶	۰/۴۰۴	۰/۲۷۱	۰/۴۰۶	۰/۴۸۱	۰/۴۰۵	۰/۵۰۹
۵	۰/۳۷۸	۰/۳۷۸	۰/۴۱۶	۰/۲۳۶	۰/۱۸۹	۰/۶۳۸	۰/۵۲۶	۰/۲۱۹	۰/۲۷۸	۰/۶۵۲	۰/۳۹۲	۰/۲۳۰	۰/۳۶۷	۰/۴۰۵	۰/۳۱۰	۰/۳۳۶
۱۰	۰/۳۳۰	۰/۳۵۲	۰/۳۹۲	۰/۱۲۴	۰/۱۶۰	۰/۲۵۶	۰/۲۸۳	۰/۸۵۶	۰/۸۵۲	۰/۴۴۶	۰/۴۲۴	۰/۳۴۰	۰/۴۴۷	۰/۳۳۷	۰/۲۴۳	۰/۲۳۶
۵۱	۰/۵۱۳	۰/۵۰۴	۰/۴۵۳	۰/۵۸۶	۰/۶۷۳	۰/۲۸۳	۰/۲۸۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۲	۰/۴۲۰	۰/۵۷۰	۰/۳۷۴	۰/۴۶۸	۰/۶۴۲	۰/۶۱۰
۷۰	۰/۳۰۵	۰/۳۰۷	۰/۳۴۲	۰/۵۱۵	۰/۶۰۹	۰/۳۴۰	۰/۵۰۱	۰/۴۲۳	۰/۳۸۴	۰/۴۰۰	۰/۴۲۳	۰/۵۷۵	۰/۳۵۸	۰/۳۳۴	۰/۳۸۵	۰/۲۶۴
۷۵	۰/۴۱۱	۰/۴۳۶	۰/۳۸۸	۰/۳۸۸	۰/۲۵۵	۰/۳۳۸	۰/۲۶۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴۴	۰/۳۸۵	۰/۳۲۰	۰/۴۸۳	۰/۴۰۲	۰/۳۴۷	۰/۳۶۲

جدول ۹: *مرحله ی سوم، جدول تصمیم وزن دار*

معیار	طراحی مسیر					طراحی زمانبندی					اقتصادی		ایمنی و آسایش			
شاخص	PD	ED	RDF	RO	NC	HE	DE	DST	S-vs-Ns	NEF	KUR	PPK	OS	STU	OLD	DSB
وزن	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۰/۱۰۲	۰/۰۳۲	۰/۰۲۱	۰/۱۱۰	۰/۱۱۰	۰/۰۸۱	۰/۰۳۲	۰/۱۱۰	۰/۰۳۹	۰/۱۸۱	۰/۰۶۴	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۴
شماره خط																
۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۴۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱	۰/۰۵۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۷	۰/۰۴۱	۰/۰۱۶	۰/۰۴۹	۰/۰۲۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸
۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۷۰	۰/۰۵۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۷۲	۰/۰۱۵	۰/۰۴۲	۰/۰۲۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲
۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۴۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱	۰/۰۷۰	۰/۰۲۷	۰/۰۴۹	۰/۰۱۷	۰/۰۶۱	۰/۰۲۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸
۵۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶	۰/۰۴۶	۰/۰۱۹	۰/۰۱۴	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۵	۰/۰۱۶	۰/۱۰۳	۰/۰۲۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۱
۷۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۳۷	۰/۰۵۵	۰/۰۳۴	۰/۰۱۲	۰/۰۴۴	۰/۰۱۷	۰/۱۰۴	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹
۷۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۰/۰۴۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۳۷	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۵۸	۰/۰۳۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲

جدول ۱۰: *مرحله ی چهارم، جواب ایده آل مثبت و منفی*

شاخص	PD	ED	RDF	RO	NC	HE	DE	DST	S-vs-Ns	NEF	KUR	PPK	OS	STU	OLD	DSB
A^+	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۷	۰/۱۰۴	۰/۰۳۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۱
A^-	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۴۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۷۰	۰/۰۵۸	۰/۰۷۰	۰/۰۲۷	۰/۰۷۲	۰/۰۱۵	۰/۰۴۲	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸

جدول ۱۱: *مرحله ی پنجم، محاسبه سنجه ی جدا کننده، محاسبه نمرات نهایی و رتبه بندی*

شماره خط	d_i^+	d_i^-	c_i	امتیاز نرمال شده	رتبه
۳	۰/۰۷۳۸	۰/۰۶۹۱	۰/۴۸۳۴	۰/۱۴۴۲	۴
۵	۰/۱۰۱۵	۰/۰۵۶۶	۰/۳۵۷۹	۰/۱۰۶۸	۶
۱۰	۰/۰۹۴۴	۰/۰۶۰۶	۰/۳۹۱۰	۰/۱۱۶۶	۵
۵۱	۰/۰۲۲۵	۰/۱۱۸۸	۰/۸۴۱۰	۰/۲۵۰۹	۱
۷۰	۰/۰۵۷۶	۰/۰۸۶۳	۰/۵۹۹۹	۰/۱۷۹۰	۳
۷۵	۰/۰۴۹۸	۰/۱۰۵۲	۰/۶۷۸۵	۰/۲۰۲۴	۲

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه، ابتدا شش مسیر از میان ۹۵ مسیر اتوبوس شهری کرج انتخاب شدند. پس از آن، ۱۶ معیار بر اساس ادبیات تولید شد. سپس با استفاده از یک مدل تصمیم گیری چند معیار (MCDM) دو مرحله ای شامل روش AHP فازی و TOPSIS داده ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و وضعیت موجود مسیرهای اتوبوس انتخاب شده مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه و چارچوب ارزیابی ارائه شده برای تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی مسیرها، همراه با مقایسه مسیرهای اتوبوس می تواند به مدیران و سیاستگذاران حمل و نقل اتوبوسی برای بهبود خدمات، توسعه مسیرها، ادغام مسیرها و ایجاد مسیرهای جدید کمک کند. مزایای استفاده از این روش ارزیابی دومرحله ای به صورت زیر است:

۱- محاسبات ساده هستند و مدل ارزیابی مقرون به صرفه است.

۲- با استفاده از ساختار سلسله مراتبی روش AHP فازی برای وزن دهی به معیارها، ضعف روش TOPSIS را برای وزن دهی جبران میکند و در عین حال عدم اطمینان نظرات خبرگان را در نظر میگیرد.

۳- با در نظر گرفتن این واقعیت که تمام معیارهای تحت تجزیه و تحلیل کمی هستند، استفاده از روش TOPSIS شامل به کارگیری قیمت های دقیق بدون از دست دادن داده ها در مدل می شود.

۶- منابع

فهرست مراجع به‌عنوان آخرین بخش مقاله با فونت (12pt Times New Roman) نوشته می‌شوند. ترتیب آن‌ها مطابق با ترتیب طرح آن‌ها در داخل متن می باشد و فقط شامل مقالاتی است که مستقیماً در متن مقاله به آن‌ها ارجاع شده است. در تعریف هر مرجع اطلاعات کامل مقاله مطابق با استانداردهای موجود ذکر می گردد. برای مراجع فارسی، از فونت (B 14pt Nazanin) استفاده گردد. موارد زیر نحوه ارائه این اطلاعات را نشان می دهند:

.Zhou, Y., Thill, J., Huang, Z .1 (2011), Design of a user centric decision support tool for fixed-route bus travel planning, Applied Geography, 31, 1173-1184.

.Wirasinghe, S.C., Vandebona, U .2 (2011), Route Layout analysis for express buses, Transportation Research Part C, 19, 374-385.

.Sheth, C., Triantis, K., Teodorovic, D .3 Performance evaluation of bus routes: (2007), A Provider and Passenger Perspective, Transportation Research Part E, 43,453-478.

.Huang, A., Shen, J. & Guan, W .4 (2007), Study on Bus Route Evaluation System in Beijing bases on AHP, In: Proceedings of the IEEE, Intelligent transportation Systems 2007 Conference, Seattle, WA, USA, 419-424.

.(The Federal Transit Administration (FTA .5 Bus Route Evaluation Standards, A (1995), Synthesis of Transit in Public Transportation, National Academy Press, Washington, D.C.

.Chen, X., Yu, L. Zhang, Y., Guo, J .6 (2009), Analyzing urban bus service reliability at the stop, route and network levels, Transportation Research Part A43, 722-734.

.Eichler, M., Daganzo, C.F .7 Bus (2006), Lanes with intermittent priority: Strategy formulae and an evaluation, Transportation Research Part B40, 731-744.

.Lao, Y., Liu, L .8 Performance (2009), evaluation of bus lines with data envelopment analysis and geographic information systems, Computers, Environment and Urban Systems 33, no. 4, 247-255.

.Tomazinis, A.R .9 Productivity, (1975), Efficiency and Quality in Urban Transportation Systems, Lexington Books, Lexington, MA.

.Oort, N., Nes, R .10 Service (2003), regularity analysis for urban transit network 82nd Annual design, In: Proceedings of the meeting of the transportation Research Board, Washington, D.C.

(۱۴pt B Title of Paper (Times New Roman
(۱۲pt Bold Mehrdad Niyazi Sheshnarmi , Masoud Rabbani (Times New Roman
M.S, Industrial Engineering, University of Tehran-۱
Professor, Industrial Engineering, University of Tehran -۲

Abstract
For Public transportation users are constantly in search of regular service, fair cost, high safety, and physical and psychological comfort. Creating a system for bus route evaluation (BRE) can be considered to be among the basic requirements for public transportation management in cities. The need for a logical and scientific tool to support the decisions made by the policy makers of public transportation for the purpose of a higher quality of the services, specifically in a developing metropolitan such as Karaj, Iran, proves the importance of such a system. In this ,bus routes of metropolitan Karaj were chosen. Subsequently 71 study, firs, six routes among the criteria based on the theoretical literature and the data collected in a survey conducted by the 16 Karaj Public Bus Organization (SPBO) were produced. Then by using a two-stage multiple-criteria decision making (MCDM) model containing hierarchical Fuzzy Analytical Hierarchal Process (Fuzzy AHP) and TOPSIS methods the data was analyzed and the existing situation of the selected bus routes was evaluated. This study and the presented evaluation framework for the analysis of the current situation along with the comparison of the bus routes can help the managers and policy makers of bus transportation on their way to improving the services, .developing the routes, merging the routes, and creating new routes

Keywords: evaluation, bus routes, Fuzzy AHP, TOPSIS