نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ۴۹، پاییز ۱۳۹۳، صفحات ۱۳۷-۱۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۱۱/۱۱

بررسی میزان اثربخشی سیستم اتوبوس‌های تندرو در شهر مشهد

محمدحسین سرایی[۱]
زهرا محمدزاده[۲]

چکیده

فعالان عرصه حمل و نقل و ترافیک و کارشناسان یکی از راه‌های برقراری عدالت اجتماعی و سرعت دادن به ظرفیت‌های حمل و نقل عـمومی در کلان‌شهرها را توسـعه مسیرهای ویژه اتوبوس‌رانی می‌دانند، اتوبوس‌های تندرو یکی از راهکارهای موقتی، کوتاه‌مدت و کم‌هزینه برای حل مشکلات ترافیک کلان‌شهرهای جهان سوم می‌باشد. کلانشهر مشهد سالیانه پذیرای حدود ۱۵ میلیون زائر و گردشگر خارجی است و در این صورت فشار بر زیرساخت‌ها و به ویژه سیستم حمل و نقل و ترافیک چندین برابر می‌شود بنابراین به‌کارگیری سیستم بی‌آرتی از سال ۱۳۸۷ برای حل مشکل ترافیک شهر مشهد مطرح شده است. این پژوهش به لحاظ نوع، کاربردی می‌باشد و هدف از آن ارزیابی میزان اثربخشی سیستم بی.آر.تی در شهر مشهد می‌باشد. روش جمع‌آوری داده‌ها به صورت میدانی بوده و ابتدا عوامل مؤثر در میزان اثربخشی اتوبوس‌های تندرو جمع‌آوری گردید و سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی میزان کارایی هر یک از مسیرهای بی‌آرتی در شهر مشهد مشخص گردید. نتایج پژوهش نشان‌دهنده اثربخشی بالای مسیر ۱۰۱۳ که شرق به غرب کلانشهر مشهد را پوشش می‌دهد می‌باشد.

واژگان کلیدی: سامانه اتوبوس‌های تندرو، شهر مشهد، روش تحلیل سلسله‌مراتبی، اثربخشی.

۱ـ دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه یزد. Email:msaraei@yazd.ac.ir

۲ـ کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری از دانشگاه یزد.

مقدمه

منظور از اثربخشی[3] در واقع بررسی میزان مؤثر بودن اقدامات انجام شده برای دست‌یابی به اهداف از پیش تعیین شده است، به‌عبارتی ساده‌تر در یک مطالعه اثربخشی، میزان تحقق اهداف اندازه‌گیری می‌شود. امروزه در شهرها حمل و نقل عمومی و در این میان سامانه اتوبوسرانی شهری از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. بحث سامانه‌های حمل و نقل عمومی در شهرها مدت‌هاست که از حدود فنی و مهندسی فراتر رفته و به یک بحث اجتماعی، بهداشتی و اقتصادی تبدیل شده است؛ از سوی دیگر کاربری حمل و نقل یا کاربری ارتباطی اولین کاربری در یک سکونتگاه اعم از شهر یا روستاست (تقوایی و وفایی، ۱۳۸۷: ۲۳). امروزه اکثر کارشناسان معتقدند حمل و نقل در محیط‌های شهری ایفاگر نقش اجتماعی می‌باشد (dube, 2011: 46) و سیستم‌های حمل و نقل عمومی به‌عنوان استراتژی اصلی در کاهش استفاده از اتومبیل‌های شخصی مطرح بوده و به عنوان یک سرویس عمومی که جابجایی همه شهروندان را تضمین می‌کنند مطرح هستند (Estrada, 2011: 935).

امروزه تمایل سیاستگذاران در به‌کارگیری BRT به‌منظور مهار کردن تراکم و پیامدهای جانبی حمل و نقل که خارج از رویه طبیعی روی می‌دهد به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است و این سامانه به‌طور روزافزونی پیرو روش‌های مقرون به صرفه و قابل انعطاف به منظور بهبود بخشیدن و افزایش جذابیت‌های حمل و نقل عمومی در نواحی شهری پرتراکم (از طریق کاهش زمان سفر و تنوع بخشیدن به حمل و نقل) می‌باشد (Donnell, 2011: 825).

استراتژی اصلی تصمیم‌گیری در سیاست حمل و نقل شهری، انتخاب تکنولوژی مناسب برای سیستم حمل و نقل بویژه انتخاب از میان سیستم‌های بر پایه اتوبوس، قطار سبک یا سنگین شهری است (Tiranchini, 2010: 1) . در حال حاضر در اکثر کشورهای دنیا سیستم اتوبوسرانی با توجه به امتیازات ویژه‌ای که از آن برخوردار است همچون انعطاف‌پذیری در انتخاب مسیر، ایمنی نسبی و ارزانی به‌عنوان راهکار برتر در جابه‌جایی‌های شهری برگزیده شده است.

3- Effectiveness

بیان مسأله

مترو اقتصادی‌ترین، بهترین و ایمن‌ترین وسیله حمل و نقل عمومی است و توسعه خطوط ویژه اتوبوس نیز می‌تواند یکی از راهکارهای اصلی، کوتاه‌مدت، کم‌هزینه و مؤثر در بهبود وضعیت ترافیک کلانشهرهایی همچون مشهد باشد. طبق مصوبه مجلس اولویت حمل و نقل عمومی در کلانشهرها به خصوص در تهران بر مبنای توسعه مترو گذاشته شده است. اما از آنجا که BRT[۴] توانسته حجم جابه جایی مسافر را در مدت ثابت بیش از دو برابر کند، مورد استقبال همگان قرار گرفته است. با یک دستگاه اتوبوس در یک خط به‌طور متوسط ۲۰۰ نفر جابه‌جا می‌شوند (سازمان اتوبوسرانی مشهد) و ابعادی که اتوبوس اشغال می‌کند معادل ۳ یا ۴ خودروسواری است که اگر ظرفیت این خودروها هم به‌طور کامل پر شده باشد، در مجموع ۱۵ نفر را جابه‌جا خواهد کرد، لذا اولویت دادن به حمل و نقل همگانی به‌ویژه حرکت اتوبوس‌ها به نفع شهروندان و جامعه است. کاهش مصرف سوخت، کاهش ترافیک و کاهش اتلاف وقت اولین پیامدهای بهره‌گیری از سیستم حمل و نقل اتوبوسی است و اگر برای این حرکت اتوبوس‌ها خط ویژه و بدون مانعی در نظر بگیریم ضمن کاهش زمان سفرها و تأمین امنیت سفر شاهد سرعت و افزایش جابه‌جایی مسافران خواهیم بود.

مشهد دومین کلانشهر ایران دارای حدود شش میلیون نفر جمعیت است (طبق سرشماری سال ۱۳۹۰) و همچنین وسعت این شهر ۲۷۵ کیلومترمربع است و به برکت وجود مرقد هشتمین امام شیعیان، مشهد سالیانه پذیرای حدود ۱۵ میلیون زائر و گردشگر خارجی است و در این صورت فشار بر زیرساخت‌ها و به‌ویژه سیستم حمل و نقل و ترافیک چندین برابر می‌شود (رهنما و فرقانی، ۱۳۸۶: ۳). تقاضای سفر در شهرها رو به افزایش است و در کلانشهر مشهد نیز علاوه بر ۶۵۳ هزار خودرو شخصی و دیگر وسایل حمل و نقل (آمارنامه حمل و نقل مشهد، ۱۳۸۷: ۱۶)، صدها خودرو مسافران و زائران حرم رضوی، تردد می‌کند و همچنین روزانه تعداد قابل ملاحظه‌ای سفر با خودرو شخصی انجام می‌شود که عرصه خیابان‌ها را مملو از ترافیک کرده و کندی حرکت ناوگان حمل و نقل عمومی را نیز سبب شده است.

4- Bus Rapid Transit

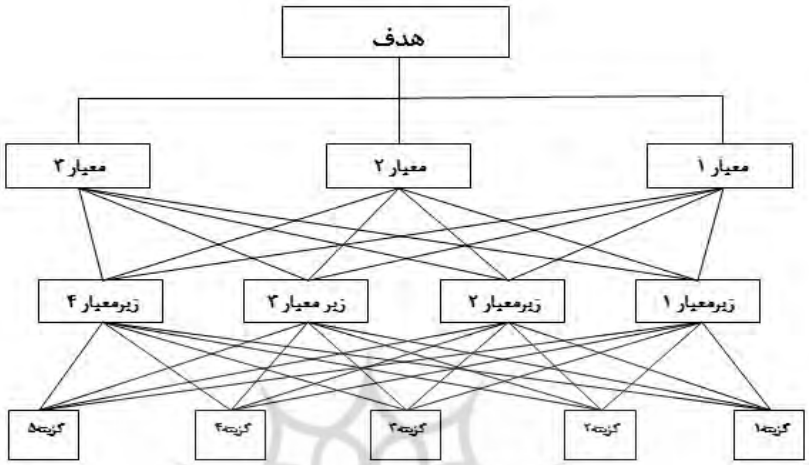
در این راستا از سال ۱۳۸۷ سیستم اتوبوس‌های تندرو به‌عنوان راهکاری اقتصادی و کوتاه‌مدت برای حل مشکلات ترافیکی شهر مشهد مطرح گردید اما با توجه به اجرای این سیستم در شهر تهران و مشکلاتی که به همراه داشته است این سئوال مطرح می‌شود که آیا این سیستم با توجه به ویژگی‌های شهر مشهد و زیرساخت‌هایی که می‌طلبد می‌تواند پاسخگوی مشکلات حمل و نقل شهری این کلانشهر باشد؟

مواد و روش‌ها

در ارزیابی کارایی اتوبوس‌های تندرو معیارهای کمی و کیفی متعددی دخالت دارند؛ بنابراین باید روشی برای تجزیه و تحلیل و قضاوت در مورد آن‌ها به‌کار گرفته شود که توانایی ارزیابی این معیارها در کنار هم و با یک مقیاس واحد را داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از روش کتابخانه‌ای– اسنادی و مراجعه به سازمان ترافیک و حمل و نقل و بهره‌مندی از نظر کارشناسان بـرخی معیارهای مؤثر در کارایی سامانه BTR به‌دست آمد و سپس با به‌کار بردن مدل AHP به تجزیه و تحلیل معیارها و ارزیابی آن‌ها پرداخته شده است.

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی از یک مبنای تئوری قوی برخوردار بوده و براساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است، مدل AHP با تجزیه و تحلیل مسائل مشکل و پیچیده آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن‌ها می‌پردازد (عطایی، ۱۳۸۹: ۱۲). روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از تکنیک‌های قدرتمند تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ساعتی[5] استاد دانشگاه پیتسبورگ ارائه شد، این روش تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد که تعامل بین معیارهای مختلف را در موقعیت‌های پیچیده و غیرساختاری ارائه دهد، مدل AHP یکی از جامع‌ترین فرآیندهای طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا با این روش امکان فرموله کردن مسأله به‌صورت سلسله‌مراتبی فراهم مـی‌شود. در این روش مسأله تصمیم‌گیری بـه سطوح مختلف هـدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود. در شکل ۱ ساختمان سلسله‌مراتبی با وجود زیرمعیارها نشان داده شده است.

5- Thomas L. Saaty



شکل (۱) نمایش ساختار سلسله‌مراتبی

کاربرد عملی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل چهار مرحله اساسی است (شکل ۲) چنانچه این مراحل در دوفاز کلی طراحی سلسله‌مراتب و ارزیابی طبقه‌بندی شوند، مرحله اول در فاز طراحی و مراحل بعدی در فاز دوم یعنی ارزیابی قرار می‌گیرند.

شکل (۲) فازهای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (عطایی، ۱۳۸۹: ۱۸۶)

در مرحله تنظیم ماتریس مقایسه‌های زوجی، تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت دو گزینه یا دو شاخص بر اساس جدول شماره ۱ صورت می‌گیرد:

جدول (۱) طبقه‌بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها

مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)	امتیاز عددی
اهمیت مطلق	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت قوی	۵
اهمیت ضعیف	۳
اهمیت یکسان	۱
ترجیحات بین فاصله‌های بالا	۲ و ۴ و ۶ و ۸

هدف پژوهش

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی میزان اثربخشی خطوط اتوبوسرانی تندرو در شهر مشهد و بررسی مشکلات آن می‌باشد.

پیشینه تحقیق

موضوع BRT و سامانه اتوبوس‌های تندرو مبحث نسبتاً جدیدی است و سابقه زیادی در کشور ما ندارد؛ بنابراین پژوهش‌ها و تحقیقات داخلی در این زمینه نوپا هستند اما این موضوع در دنیا سابقه تقریباً پنجاه ساله دارد و بر این اساس اکثر کارهای پژوهشی با این موضوع تحقیقات خارجی هستند که به چند نمونه در زیر اشاره می‌شود:

تیرانچی[6] و همکاران (۲۰۱۰) هزینه‌های عرضه و تقاضا را در سه نوع سیستم حمل و نقل عمومی یعنی ,BRT, [7]LRT و HRT[8] با هم مقایسه کردند ، مطالعات آن‌ها که در یک شبکه حمل و نقل شعاعی در شهرهای استرالیا انجام شده است نشان می‌دهد که اتوبوس‌های

6- Tiranchini
7- Light rail transit
8- High rail transit

تندرو در تمام زمینه‌ها (هزینه پایین خدمات، زمان دسترسی، زمان انتظار و غیره) از کارایی استاندارد و بالایی برخوردارند.

داگانزو[9] (۲۰۱۰) به بررسی ساختار رقابتی شبکه‌های حمل و نقل پرداخته است؛ نتایج تحقیقات وی نشان می‌دهد که اتوبوس‌های تندرو در شهرهای بزرگ به‌طور مؤثر و کارآمدی با اتومبیل رقابت می‌کنند و اگر شهر خیابان‌هایی با شرایط مناسب داشته باشد، سیستم‌های بی.آر.تی بر سایر اشکال حمل و نقل همانند مترو ارجحیت دارد.

در زمینه بکارگیری مدل AHP تحقیقات زیادی در کشور ما در زمینه‌های مختلف انجام گرفته است. فرجی سبکبار (۱۳۸۳) در پژوهشی با استفاده از روش AHP به مکان‌یابی واحدهای خدمات بازرگانی در بخش طرقبه شهرستان مشهد پرداخته و مناطق مختلف بخش طرقبه را از نظر قابلیت استقرار واحدهای خدمات بازرگانی الویت‌بندی می‌نماید. عظیم‌پور و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی حوضه آبریز اهرچای را پهنه‌بندی نموده و نقش عوامل مختلف را در پدیدهٔ لغزش مشخص نموده‌اند. هادیانی و کاظمی‌راد (۱۳۸۹) در پژوهشی از روش AHP به همراه مدل تحلیل شبکه در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی بهره برده و با در نظرگرفتن معیارهای مؤثر در مکان‌یابی این ایستگاه‌ها مناسب‌ترین مکان‌ها را برای این کاربری در شهر قم معین نموده‌اند. عمران‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) معتقدند ضمن وجود برخی مشکلات کارکردی و شکلی این سامانه در کلانشهر تهران، تأثیرات مثبت این سامانه بر حمل و نقل عمومی و تأثیرات مطلوب زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی آن در این شهر نباید قافل شد، به‌طوری که رضایت مردم را به میزان زیادی تامین کرده است.

سامانه اتوبوس‌های تندرو و پیدایش آن

BRT مخفف Bus Rapid Transit است. یعنی سامانه اتوبوس‌های تندرو BRT نوعی سیستم حمل و نقل شهری مجهز به فن‌آوری‌های نوین ITS است که دقت و سرعت سیستم حمل ون قل ریلی و انعطاف‌پذیری حمل و نقل با اتوبوس را همزمان دارا می‌باشد.

9- Daganzo

سال‌های زیادی است که در کشورهای مختلف از روش‌های متفاوتی برای افزایش کیفیت و سرعت خدمات اتوبوس‌ها استفاده می‌شود. روش‌هایی چون اختصاص خطوط ویژه به اتوبوس‌ها و دادن اولویت به اتوبوس. BRT تلفیقی از همه روش‌هایی است که تاکنون برای افزایش سرعت اتوبوس‌ها استفاده مـی‌شد. شاید به همین دلیـل است که اغلب مردم دنیا ترجیح می‌دهند از همان واژه اتوبوس برای اشاره به اتوبوس‌های سیستم BRT استفاده کنند و تنها این آمریکای شمالی است که از واژه BRT استفاده می‌کنند. از جمله مزایای بی‌آرتی که باعث افزایش تمایل شهرها برای بهره‌گیری از آن می‌شود عبارتند از: کاهش تراکم ترافیک، کاهش آلودگی، امکان استفاده برای تمامی گروه‌های درآمدی، انعطاف‌پذیری، مقرون به صرفه‌بودن و سرعت بالا (Servero, 2011: 102).

کشور برزیل و شهر کوریتیبا در زمینه راه‌اندازی سیستم BRT نقش هدایت‌کننده دارد (Landau & etal, 2008: 1) و به‌طور کلی، مبدأ پیدایش سیستم اتوبوسرانی تندرو را می‌توان در آمریکای لاتین جستجو کرد، در جایی‌که طراحان حمل و نقل به دنبال راهکار مناسبی از نظر هزینه برای مقابله با وضع دشوار حمل و نقل شهری بوده‌اند. افزایش سریع مراکز شهری در آمریکای لاتین در اواسط دهه ۱۹۷۰ مشکلات زیادی را برای مسئولان حمل و نقل شهری ایجاد نمود و به‌دنبال آن راهکاری که در نهایت مورد تأیید مسئولان امر قرار گرفت ایجاد سیستم اتوبوس تندرو بود، سیستمی که به‌عنوان متروی زمینی شناخته می‌شد (طیبانی، ۱۳۷۵: ۲۳) و نسبت به اتوبوس‌های معمولی از مزایای زیادی همچون ساختار ریل مانند، مسیرهای مجزا، سکوها، سازگاری و کیفیت بالا، سیستم هوشمند (Currie, 2011: 1) برخوردارند. تا سال ۲۰۰۹ ، دوازده شهر در امریکای لاتین، سه شهر در استرالیا، هفت شهر در ایالات متحده، هشت شهر در استرالیا و هجده شهر در اروپا از سیستم بی.آر.تی بهره می‌برند. (Rodriguez, 2009: 560)

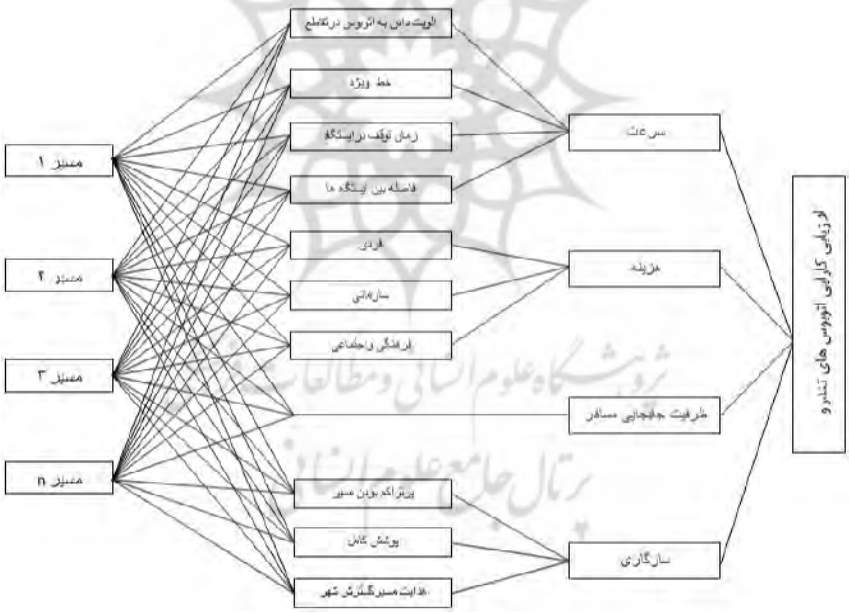
بررسی کارایی اتوبوس‌های موجود در شهر مشهد

شهر مشهد با جمعیتی بالغ برشش میلیون نفر (طبق سرشماری سال ۱۳۹۰) و پذیرایی سالیانه از میلیون‌ها زائر، دومین کلانشهر مذهبی جهان است، مساحت مناطق ترافیکی شهر ۲۷۵ کیلومترمربع می‌باشد (دفتر مطالعات حمل و نقل، ۱۳۸۹: ۹) و سیستم اتوبوسرانی در این شهر

به‌طور روزانه یک میلیون و دویست هزار نفر را در سطح شهر جابه‌جا می‌کند. موقعیت مذهبی شهر مشهد جمعیت این کلانشهر را سالیانه به حدود پانزده میلیون نفر افزایش می‌دهد و با توجه به اینکه اتوبوس پس از اتومبیل شخصی عمده‌ترین وسیله جابجایی مسافر می‌باشد با این وجود شاهد مشکلاتی از قبیل: ایستگاه‌های مملو از مسافر، اتوبوس‌های پرازدحام، حرکت کند اتوبوس‌ها در مسیرهای پرترافیک، بی‌نظمی در حرکت اتوبوس‌ها و غیره هستیم.

ارزیابی مسیرها با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

مرحله اول: برای حل مسائل با روش AHP در آغاز باید نمودار ساختار سلسله‌مراتبی را رسم نمود، سلسله‌مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسأله پیچیده واقعی می‌باشد که در رأس آن هدف کلی مسأله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند.



شکل (۳) ساختار سلسله‌مراتبی مسیر BRT

سطح یک، در ساختار سلسله‌مراتبی هدف را نشان می‌دهد که بررسی میزان اثربخشی اتوبوس‌های تندرو در شهر مشهد می‌باشد.

در سطح دوم، معیارها قرار می‌گیرند، برای ارزیابی کارایی اتوبوس‌های تندرو معیارهای متعددی مطرح هستند که پس از بررسی بیشتر این شاخص‌ها و غربال‌سازی آن‌ها، چهار شاخص سرعت، هزینه، ظرفیت جابه‌جایی مسافر و سازگاری انتخاب شدند.

سرعت: سرعت یکی از شاخص‌های مؤثر در بالا بردن کارایی اتوبوس‌های تندرو می‌باشد و از اصلی‌ترین اهداف به‌کارگیری اتوبوس‌های تندرو، کاهش زمان سفر و کاهش ترافیک در نقاط پرتراکم با توجه به قابلیت‌های ویژه‌ای است که این سامانه از آن برخوردار است.

ظرفیت جابه‌جایی مسافر: از عوامل مؤثر در اثـربـخشی سامانه BRT قابلیت آن در جابه‌جایی تعداد زیاد مسافران است؛ نتایج به‌دست آمده از مطالعات انجام شده در هشت مورد از کشورهای در حال توسعه بیانگر آنست که با استفاده از چنین سامانه‌ای می‌توان متجاوز از ۲۰۰۰۰ نفر در ساعت (و حتی بیشتر) را سرویس داد (پرنیان، ۱۳۷۶: ۵۶).

هزینه: از آنجا که این سیستم بیشتر در کشورهای در حال توسعه به‌کار گرفته می‌شود، برای بررسی میزان اثربخشی سامانه بی.آر.تی موضوع هزینه‌ها یکی از مباحث اساسی به‌شمار می‌رود.

سازگاری: یکی از مباحث مهم در کاربری اراضی، سازگاری کاربری‌ها با یکدیگر و با شرایط حال و آینده شهر است، سازگاری سیستم BRT با ویژگی‌های ترافیکی حال و آینده شهر، در بالا بردن کارایی آن مؤثر خواهد بود.

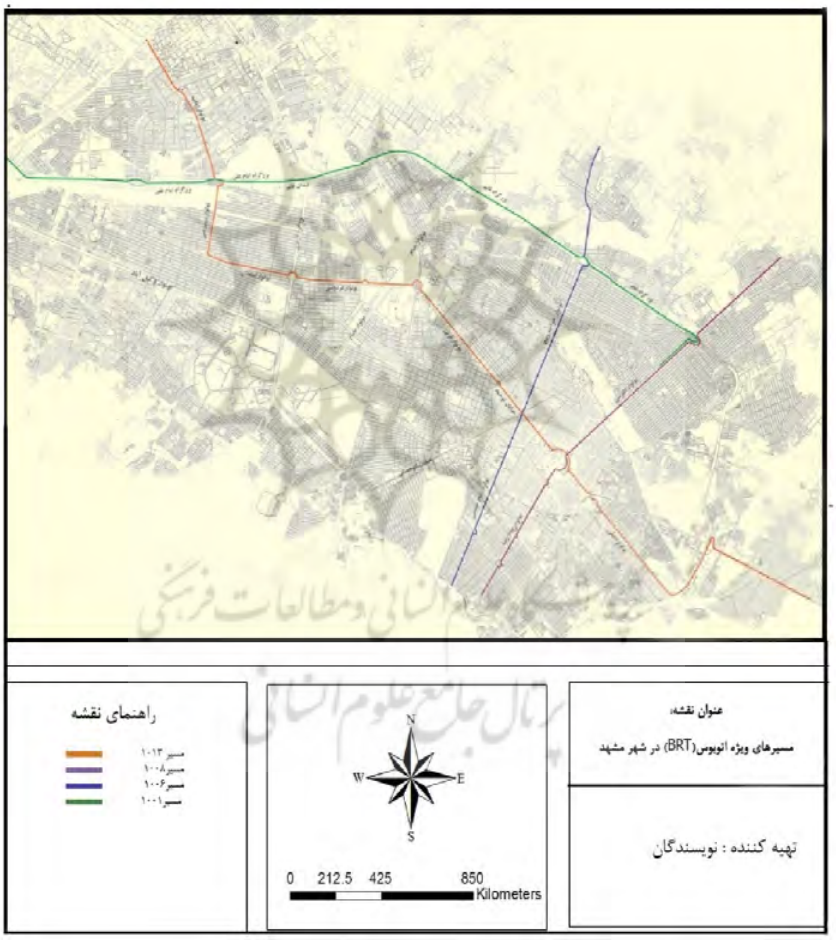
سطح سوم: این سطح شامل زیرمعیارهاست، جدول شماره ۲ شرح کاملی از زیرمعیارها را نشان می‌دهد:

جدول (۲) شرح زیرمعیارها

معیار	زیرمعیار	شرح
سرعت	الویت دادن به اتوبوس در تقاطع‌ها	مجهز بودن به: ITS، احداث زیرو روگذر
	خط ویژه	اختصاص مسیر کاملاً مجزا برای اتوبوس
	زمان توقف اتوبوس در ایستگاه	
	فاصله بین ایستگاه	۶۰۰-۳۰۰ متر (۹)
هزینه	فردی	میزان کرایه
	سازمان	هزینه‌های نگهداری، آمادهن کردن مسیرها، تعمیرات
	فرهنگی و اجتماعی	اطلاع‌رسانی به شهروندان

سازگاری	پرتراکم بودن مسیر	از لحاظ ترافیکی و جمعیتی
	پوشش کامل	استفاده از تمام خیابان‌های شهر علاوه بر مسیر ویژه
	هدایت مسیر گسترش شهر در آینده	

سطح چهارم: در این سطح گزینه‌ها قرار دارند که شامل چهار مسیر ویژه اتوبوس‌های تندرو می‌باشد.



شکل (۴) مسیرهای اتوبوسرانی تندرو

مرحله دوم: در این مرحله اهمیت نسبی شاخص‌ها (وزن‌دهی) نسبت به هم از طریق مقایسات زوجی انجام می‌شود. برای پر کردن ماتریس مقایسات زوجی برای معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها، طبق جدول شماره ۱ مقیاس ۱ تا ۹ به‌کار برده می‌شود. هنگامی که عنصر I با j مقایسه می‌شود. یکی از اعداد جدول مذکور به آن واگذار می‌شود؛ همچنین در مقایسه عنصر j با i مقدار معکوس آن عدد واگذار می‌شود ($= \frac{1}{x_{ij}} x_{ji}$).

به‌دلیل وجود چهار شاخص، تعداد مقایسات زوجی برای شاخص‌ها، شش تا خواهد بود:

$$\text{تعدادمقایسات زوجی} - \binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!} = \frac{n(n-1)}{2}$$

$$\text{ماتریس مقایسه زوجی معیارها} - \binom{۴}{۲} == \frac{۴(۴-۱)}{۲} = ۶$$

جدول (۳) مقایسه زوجی شاخص‌ها

معیارها	ظرفیت	سازگاری	سرعت	هزینه
ظریفت	۱	۲	۲	۷
سازگاری	۰/۵	۱	۳	۷
سرعت	۰/۵	۰/۳۳۳	۱	۵
هزینه	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۲	۱
جمع ستون	۲/۱۴۲	۳/۴۷۵	۶/۲	۲۰

مرحله سوم: پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی برای شاخص‌ها، مقادیر آن را به هنجار (نرمال) می‌نماییم. در این مرحله، هر مقدار ماتریس را بر جمع ستون آن تقسیم و برای محاسبه وزن نسبی هر شاخص میانگین حسابی هر سطر را محاسبه می‌کنیم.

جدول (۴) محاسبه وزن نسبی شاخص‌ها

معیارها	ظرفیت	سازگاری	سرعت	هزینه	وزن نسبی
ظریفت	۰/۴۶۶	۰/۵۷۵	۰/۳۲۲	۰/۳۵	۰/۴۲۸
سازگاری	۰/۲۳۳	۰/۲۸۷	۰/۴۸۳	۰/۳۵	۰/۳۳۸
سرعت	۰/۲۳۳	۰/۰۹۵	۰/۱۶۱	۰/۲۵	۰/۱۸۴
هزینه	۰/۰۶۶	۰/۰۴	۰/۰۳۲	۰/۰۵	۰/۰۴۷۲

برطبق جدول ظرفیت جابه‌جایی مسافر با وزن نسبی ۰/۴۲۸ مهم‌ترین نقش را در تعیین کارایی اتوبوس‌های تندرو دارد و معیارهای سازگاری با وضعیت ترافیکی (در شرایط حال و آینده شهر) با امتیاز ۰/۳۳۸، سرعت با وزن ۰/۱۸۴ و هزینه ۰/۰۴۷۲ از لحاظ نقشی که در تعیین کارایی اتوبوس‌های BRT در مشهد دارند در رتبه‌های پایین‌تر قرار می‌گیرند.

مرحله چهارم: در این مرحله به مقایسه زوجی زیرمعیارهای هر شاخص پرداخته می‌شود.

جدول (۵) مقایسه زوجی زیرمعیارها

زیرمعیارها	الویت در تقاطع‌ها	خط ویژه	زمان توقف	فاصله ایستگاه	هزینه‌های فردی	هزینه‌های سازمان	هزینه‌های فرهنگی و...	پرتراکم بودن	هدایت مسیر گسترش شهر	پوشش کامل
الویت در تقاطع‌ها	۱	۴	۶	۵	–	–	–	–	–	–
خط ویژه	۰/۲۵	۱	۵	۴	–	–	–	–	–	–
زمان توقف	۰/۱۶۶	۰/۲	۱	۲	–	–	–	–	–	–
فاصله ایستگاه	۰/۲	۰/۲۵	۱	–	–	–	–	–	–	–
هزینه‌های فردی	–	–	–	–	۱	۵	۶	–	–	–
هزینه‌های سازمان	–	–	–	–	۰/۲	۱	۳	–	–	–
هزینه‌های فرهنگی و...	–	–	–	–	۰/۱۶۶	۰/۳۳۳	۱	–	–	–
پرتراکم‌بودن	–	–	–	–	–	–	–	۱	۴	۵
هدایت مسیر گسترش شهر	–	–	–	–	–	–	–	۰/۲۵	۱	۲
پوشش کامل	–	–	–	–	–	–	–	۰/۲	۰/۵	۱
جمع ستون	۱/۶۱۶	۵/۴۵	۱۲/۵	۱۲	۱/۳۳۶	۶/۳۳۳	۱۰	۱/۴۵	۵/۵	۸

جدول (۶) محاسبه وزن نسبی زیرمعیارها

زیرمعیارها	الویت در تقاطع‌ها	خط ویژه	زمان توقف	فاصله ایستگاه	هزینه های فردی	هزینه های سازمان	هزینه‌های فرهنگی و...	پرتراکم بودن	هدایت مسیر گسترش شهر	پوشش کامل	وزن نسبی
الویت در تقاطع‌ها	۰/۶۱۸	۰/۷۳۳	۰/۴۸	۰/۴۱۶	–	–	–	–	–	–	۰/۵۶۱
خط ویژه	۰/۱۵۴	۰/۱۸۳	۰/۴	۰/۳۳۳	–	–	–	–	–	–	۰/۲۶۷
زمان توقف	۰/۱۰۲	۰/۰۳۶	۰/۰۸	۰/۱۶۶	–	–	–	–	–	–	۰/۰۹۶
فاصله ایستگاه	۰/۱۲۳	۰/۰۴۵	۰/۰۴	۰/۰۸۳	–	–	–	–	–	–	۰/۰۷۲
هزینه‌های فردی	–	–	–	–	۰/۷۳۲	۰/۷۸۹	۰/۶	–	–	–	۰/۷۰۷
هزینه‌های سازمان	–	–	–	–	۰/۱۴۶	۰/۱۵۹	۰/۳	–	–	–	۰/۲۰۱
هزینه‌های فرهنگی و...	–	–	–	–	۰/۱۲۱	۰/۰۵۲	۰/۱	–	–	–	۰/۰۹۱
پرتراکم بودن	–	–	–	–	–	–	–	۰/۶۸۹	۰/۷۲۷	۰/۶۲۹	۰/۶۸۰
هدایت‌مسیر گسترش شهر	–	–	–	–	–	–	–	۰/۱۷۲	۰/۱۸۱	۰/۲۵	۰/۲۰۱
پوشش‌کامل	–	–	–	–	–	–	–	۰/۱۳۷	۰/۰۹۰	۰/۱۲۵	۰/۱۱۷

بعد از مقایسه زوجی زیرمعیارها، مسیرهای مورد نظر، از دید معیارهای فرعی مقایسه می‌شوند؛ در اینجا به علت طولانی‌شدن محاسبات از آوردن آن‌ها صرف نظر شده است.

مرحله پنجم: در این مرحله شاخص‌های فرعی مربوط به هر معیار را با هم ترکیب می‌نماییم؛ بدین منظور وزن نسبی حاصل از مقایسه گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار مورد نظر را در وزن نسبی زیرمعیار مربوط، ضرب نموده و سپس باهم جمع می‌کنیم و در نهایت با داشتن وزن نسبی شاخص‌ها و همچنین وزن نسبی هر گزینه از نظر هر شاخص می‌توان آن‌ها را با هم ترکیب نموده و وزن نهایی هر گزینه را به دست آورد.

جدول (۷) ترکیب اهمیت نسبی هر گزینه

	ظرفیت جابه‌جایی مسافر	سازگاری	سرعت	هزینه	ترکیب	رتبه
وزن نسب شاخص‌ها	۰/۴۲۸	۰/۳۳۸	۰/۱۸۴	۰/۴۷۲	–	–
مسیر ۱۰۱۳	۰/۳۴۹	۰/۶۷۵	۰/۲۶۱	۰/۲۴۸	۰/۴۳۶	۱
مسیر ۱۰۰۸	۰/۳۲۶	۰/۱۵۳	۰/۲۴۰	۰/۲۴۸	۰/۲۴۶	۲
مسیر ۱۰۰۶	۰/۲۰۴	۰/۱۲۴	۰/۲۴۶	۰/۲۴۸	۰/۱۸۵	۳
مسیر ۱۰۰۱	۰/۱۱۹	۰/۱۱۷	۰/۲۴۱	۰/۲۴۸	۰/۱۴۶	۴

همان‌گونه که نتایج محاسبات نشان می‌دهد مسیر ۱۰۱۳ با وزن ۰/۴۳۶ بیشترین اثربخشی را از نظر شاخص‌های انتخاب شده دارد و می‌تواند به‌طور محسوسی در کاهش بار ترافیکی و افزایش سرعت جابه‌جایی در شهر مشهد مؤثر باشد.

مرحله ششم: اکنون باید نرخ ناسازگاری محاسبه شود تا مشخص شود که آیا بین مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد یا خیر. در زیر نرخ ناسازگاری برای مقایسات زوجی شاخص‌ها محاسبه شده است. چنین مراحلی برای گزینه‌ها از نظر هر شاخص باید انجام شود، به‌منظور جلوگیری از تکرار فقط نتایج محاسبات ناسازگاری برای سایر مقایسات آورده می‌شود.

در گام اول ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها در بردار وزن‌های نسبی به‌دست آمده از آن ضرب می‌شود:

WSV=D*W

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۲	۲	۷
C_2	۰/۵	۱	۳	۷
C_3	۰/۵	۰/۳۳۳	۱	۵
C_4	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۲	۱

$$\times \begin{Bmatrix} ۰/۴۲۸ \\ ۰/۳۳۸ \\ ۰/۱۸۴ \\ ۰/۰۴۷۲ \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} ۱/۸۰۲ \\ ۱/۴۳۴ \\ ۰/۷۴۶ \\ ۰/۱۹۲ \end{Bmatrix}$$

در گام دوم جواب حاصل WSV را بر بردار وزن‌های نسبی شاخص‌ها تقسیم می‌کنیم تا بردار سازگاری CV به‌دست آید:

$$\begin{Bmatrix} ۱/۸۰۲ \\ ۱/۴۳۴ \\ ۰/۷۴۶ \\ ۰/۱۹۲ \end{Bmatrix} \div \begin{Bmatrix} ۰/۴۲۸ \\ ۰/۳۳۸ \\ ۰/۱۸۴ \\ ۰/۰۴۷۲ \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} ۴/۲۱ \\ ۴/۲۴ \\ ۴/۰۵۴ \\ ۴/۰۶۷ \end{Bmatrix}$$

در گام سوم، میانگین حسابی عناصر این بردار محاسبه می‌شود:

$$\lambda_{max}=(۴/۲۱+۴/۲۴+۴/۰۵۴+۴/۰۶۷)\div ۴=۴/۱۴۲$$

در گام چهارم شاخص ناسازگاری را به‌دست می‌آوریم:

$$\frac{\lambda_{max-n}}{n-1}=\frac{۴/۱۴۲-۴}{۴-۱}=۰/۰۴۷$$

و در نهایت نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود، n (تعداد شاخص‌ها) ۴تاست؛ بنابراین مقدار IRI برپایه جدول زیر ۰/۹۰ می‌باشد:

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IRI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

بنابراین نرخ ناسازگاری $IR=\frac{II}{IRI}=\frac{0.047}{0.90}=0.052$ می‌باشد که کوچک‌تر از ۰/۱۰ است، پس سازگاری در مقایسات زوجی پذیرفتنی است.

جدول (۸) نرخ ناسازگاری زیرمعیارها

زیرمعیار	نرخ ناسازگاری قضاوت‌ها
سازگاری	۰/۰۱۸
فرهنگی و اجتماعی	۰/۰۷۱
هزینه	۰/۰۹۲

با توجه به جدول شماره ۸ قضاوت‌ها منطقی است و می‌توان به نتایج به‌دست آمده اعتماد نمود.

نتیجه‌گیری

کاربرد مدل AHP در ارزیابی اثربخشی سامانه اتوبوس‌های تندرو برای شهر مشهد نشان داد که این سیستم نقش مؤثری در کاهش زمان سفر در کلان‌شهر مشهد دارد. چهار مسیر طراحی شده از پرتراکم ترین نقاط شهر عبور می‌کنند و احداث خطوط ویژه BRT در تمام این مسیرها علاوه بر افزایش سرعت، امنیت و نظم را به همراه دارند؛ در این میان مسیر ۱۰۱۳ با وزن ۰/۴۳۶ بالاترین میزان اثربخشی را خواهد داشت، این مسیر طولانی‌ترین مسیر بوده و از چندین نقطه پرترافیک سطح شهر عبور می‌کند و علاوه بر این امتیاز انتخاب مسیرهای فرعی بیشتری برای آن وجود دارد. مسیرهای ۱۰۰۸ با وزن ۰/۲۴۶، ۱۰۰۶ با وزن ۰/۱۸۵ و ۱۰۰۱ با وزن ۰/۱۴۶ به ترتیب در رتبه‌های بعدی از نظر میزان اثربخشی قرار دارند .یکی از مشکلاتی که در مقایسه مسیرهای بی.آر.تی شهر مشهد با سایر کشورها می‌توان استنتاج نمود این است که برخی مسیرهای طراحی شده برای شهر مشهد بسیار طولانی بوده و این مسأله در کاهش سرعت آن‌ها تأثیرگذار خواهد بود. تعداد افرادی که در واحد زمان در سطح شهر با این سیستم جابه‌جا می‌شوند از الویت بالایی در تعیین کارایی این اتوبوس‌ها در سطح کلانشهر مشهد برخوردار می‌باشند در حالی‌که فلسفه وجودی و یکی از علل پیدایش این سیستم‌ها در سطح دنیا سرعت بخشیدن به ترافیک شهری می‌باشد که یکی از پیامدهای آن افزایش جابه‌جایی مسافر می‌باشد، بنابراین استفاده از مسیرهای مجزا که سازگاری کامل با کاربری‌های شهری را داشته باشد بهترین راه برای کاهش مشکل تراکم ترافیک در شهرهای جهان سوم می‌باشد.

پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱ـ دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۸۶)، «طراحی شبکه ویژه اتوبوس سریع، شبکه خیابانی و سیستم اتوبوسرانی شهر مشهد»، تهیه شده برای شهرداری مشهد سازمان ترافیک، گزارش شماره ۰۱-۸۶ ممتحن.

۲ـ دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۸۷)، «اتوبوسرانی تندرو پیشنهادی برای شهر مشهد»، تهیه شده برای شهر مشهد سازمان ترافیک، گزارش شماره ۰۲-۸۷ ممتحن.

۳ـ دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۸۷)، «سیستم اتوبوسرانی تندرو شهر مشهد، جزییات طراحی در سطح برنامه‌ریزی»، تهیه شده برای شهر مشهد سازمان ترافیک، گزارش شماره ۰۳-۸۷ ممتحن.

۴ـ تقوایی، مسعود و ابوذر وفایی (۱۳۸۷)، ***«برنامه‌ریزی و مدیریت سامانه اتوبوسرانی شهری»***، چاپ اول، انتشارات کنکاش.

۵ـ رهنما، محمدرحیم و حجت فرقانی (۱۳۸۶)، «برنامه‌ریزی دسترسی به اتوبوس در اسران: شهر مشهد»، ***فصلنامه مدرس علوم انسانی***، شماره ۲.

۶ـ طیبانی، مهدی (۱۳۷۵)، «مطالعه خطوط ویژه اتوبوسرانی با طرفیت بالا در شهرهای در حال توسعه»، ***تازه‌های ترافیک***، شماره ۷.

۷ـ عطایی، محمد (۱۳۸۹)، ***«تصمیم‌گیری چندمعیاره»***، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

۸ـ عظیم‌پور، علیرضا و همکاران (۱۳۸۸)، «ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه (مطالعه موردی حوضه آبریز اهرچای)»، ***فصلنامه فضای جغرافیایی***، سال نهم، شماره۲۶، دانشگاه آزاد اسلامی اهر.

۹ـ فرجی سبکبار، حسنعلی (۱۳۸۴)، «مکانیابی واحدهای خدمات بازرگانی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ***فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی***، شماره ۵۱، تهران.

۱۰ـ قدسی‌پور، سیدحسن (۱۳۸۵)، ***«فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP»***، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱۱ـ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی (۱۳۸۱)، ***«آیین کار ضوابط مکان‌یابی ایستگاه‌های اتوبوس شهری»***، چاپ اول.

۱۲ـ مؤمنی، منصور و علیرضا شریفی سلیم (۱۳۹۰)، «***مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چندشاخصه***»، چاپ اول، انتشارات مؤلفان.

۱۳ـ هادیانی، زهره و شمس‌الدین کاظمی (۱۳۸۹)، «مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از روش تحلیل شبکه و مدل AHP در محیط GIS: (مطالعه موردی شهرقم)»، ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۷.

14- Cervero Robert & Chang Deokkang (2011), "Bus Rapid Transit Impacts on Land Uses & Land Values in Seoulkorea", ***Transport Policy***, 18pp 102-116.

15- Currie, Graham & Alexdelbosc (2011), "Understanding Bus Rapid Transit Route Ridership Drivers: An Empirical Study of Australian BRT Systems", ***Transport Policy***, 18 pp, 755-764.

16- Daganzo, Fcarlos (2010), "Structure of Competitive Transit Networks", ***Transportation Research***, Part, B44, pp 434-446.

17-Donnel Mc Simon & Moirazellner (2011), "Exploring the Effectiveness of Bus Rapid Transit a Prototype Agent-based Model of Commuting Behavior", ***Transportat Policy***, 18, pp 825-835.

18- Dube Jean et al (2011), "Economic Impact of a Supply Vhange in Mass Transit in Urban Areas: A Canadian Example", ***Transportation Research***, Part, A45, pp 46-62.

19- Estrda M &etal (2011), "Design & Implementation of Efficient Transit Networks Procedure, Case Study & Validity Test", ***Transportation Research***, Part A45, pp 935-950.

20- Lindau, Luis Antonio, LuizAfonsodossantossenna & Orlando Strambi (2008), "Alternative Financing for Bus Rapid Transit (BRT) "***Reserch Transportation Economics***, 22 pp 54-60.

21- Rodriguez A. Daniel & Carlos H. Mojica (2009), "Capitalization of BRT Network Expansions Effects Into Prices of Non-expansion Areas", ***Transportation Research,*** Part A 43, pp 560-571.

22- Tiranchini, Alejandro, David A: Hensher & Sergio R.jaradiaz (2010), "Comparing Operator & Users Costs of Light Rail, Heavy Rail & BRT over a Radical Public Transport Network, ***Reserch in Transportation Economics***, 29 pp231-242.