



## اولویت‌بندی معیارهای موثر در ارزیابی کارایی سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو (BRT) (مطالعه موردی شهر مشهد)

حمید فرهاد ملاحاهی<sup>۱</sup>، بهادر بذرافشان مقدم<sup>۲</sup>، تکتیم محتشمی<sup>۳</sup>

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه تربت حیدریه، ایران

۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه تربت حیدریه، ایران

۳- استادیار، دانشگاه تربت حیدریه، ایران

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف توسعه‌ی یک چارچوب ارزیابی پس از اجرا (Ex-post) بر پایه‌ی استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری و محاسبه‌ی اوزان پارامترهای موثر در ارزیابی سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو (BRT) در شهر مشهد انجام شده است. در این راستا ضمن تعیین معیارهای موثر در ارزیابی کارایی سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو (BRT) با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به اولویت‌بندی شاخص‌های هر معیار براساس تکمیل پرسشنامه و انجام مصاحبه با کارشناسان خبره در حوزه‌ی حمل و نقل و مدیریت شهری مشهد پرداخته شده است. براساس یافته‌های تحقیق، در بین معیارهای مورد بررسی، معیار "منافع کاربران" با شاخص‌های راحتی، صرفه جویی در هزینه، کاهش زمان سفر، کاهش استهلاک وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی، کاهش محرومیت اجتماعی و تنوع در گزینه‌های حمل و نقلی از بالاترین اولویت در ارزیابی کارایی BRT برخوردار است. معیار "آثار جانبی و زیست محیطی" (با وزن ۰/۳۷۷) در اولویت بعدی قرار گرفت. در میان شاخص‌های این معیار، ایمنی (با وزن ۰/۴۳۷)، و آلودگی هوا (۰/۳۰۵) از عواملی تعیین شد که سبب ارزیابی بهتر از کارایی این سیستم در شهر مشهد خواهد شد.

**کلید واژه:** سامانه‌ی اتوبوس تندرو (BRT)، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، حمل و نقل شهری مشهد.

<sup>۱</sup> عضو هیأت علمی گروه عمران و معماری، دانشگاه تربت حیدریه، تلفن: ۰۵۱۵۲۲۹۹۶۰۲-۴ ایمیل: h.farhad@torbath.ac.ir

<sup>۲</sup> عضو هیأت علمی گروه عمران و معماری، دانشگاه تربت حیدریه، تلفن: ۰۵۱۵۲۲۹۹۶۰۲-۴ ایمیل: bahador.bazrafshan@gmail.com

<sup>۳</sup> عضو هیأت علمی دانشگاه تربت حیدریه، تلفن: ۰۵۱۵۲۲۹۹۶۰۲-۴ ایمیل: t.mohtashami@gmail.com



## ۱- مقدمه

سیستم اتوبوس‌رانی تندرو (BRT) به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های بخش حمل و نقل، نقش عمده‌ای در تسریع عبور و مرور و برآورده کردن تقاضای ترافیک داشته و به لحاظ ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و فرهنگی، از گزینه‌های مناسب در ایجاد این توسعه به‌شمار می‌آید. این سیستم با کاهش در نرخ تصادفات، کاهش هزینه‌ی سفر، افزایش ایمنی و لذا بهبود در کیفیت زندگی، صرفه‌جویی در هزینه‌ی سوخت و زمان سفر در اولویت توسعه قرار دارد. اهمیت این بخش از حمل و نقل شهری باعث شده که در سراسر دنیا مدیران تلاش نمایند تا این سیستم حمل و نقلی را در قالب مدیریتی جامع، سازماندهی و با در اختیار گرفتن ابزارهای ممکن و فراهم آوردن زمینه‌ی همکاری بین متخصصان رشته‌های مختلف، زمینه‌ی رسیدن به یک راه حل پایدار در خصوص مسائل مربوط به BRT را هموار کنند. به‌علاوه متخصصان می‌کوشند تا با شناسایی عواملی که باعث عدم پایداری آن می‌شود، زمینه‌ی بالابردن کارایی و اثر بخشی این سیستم را فراهم آورند.

شهر مشهد با ۲ میلیون و ۸۰۷ هزار نفر جمعیت، بدلیل موقعیت خاص جغرافیایی خود، پذیرای جمعیتی است که در جستجوی کار و زندگی بهتر به این شهر مهاجرت می‌کنند. همچنین این شهر در طول سال پذیرای زائران بسیاری از نقاط مختلف کشور می‌باشد. از این رو حمل و نقل یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیریت کلان این شهر است. در این مدت مدیران و برنامه‌ریزان مدیریت شهری، تلاش کرده‌اند نگاهی همه جانبه به مسایل این بخش داشته و در جهت مدیریت بهتر آن تلاش کنند. در حال حاضر شهر مشهد دارای ۱۲۳ خط و بیش از ۲۰۰۰ ناوگان فعال اتوبوس‌رانی می‌باشد [۱]. با اینحال به دلیل رشد جمعیت این شهر و افزایش تقاضا برای این سیستم، از سال ۱۳۹۱ راه اندازی خطوط BRT در این شهر آغاز شده و در حال حاضر سه خط BRT مشغول ارائه‌ی خدمت در این شهر می‌باشند [۱]. اهمیت و نقش BRT در بهبود مدیریت شهری این نکته را نشان می‌دهد که کارکرد موثر و موفق این سامانه در گرو مدیریت و توسعه شایسته این سامانه به عنوان یکی از مهمترین عناصر سیستم مدیریت شهری مشهد می‌باشد. به عبارت دیگر یکی از اقدامات مهم پس از راه اندازی یک سیستم حمل و نقل نوین، ارزیابی آن جهت اطمینان از عملکرد مناسب سیستم می‌باشد. این در حالی است که به اعتقاد کارشناسان حوزه‌ی حمل و نقل، معیارهای کنونی در ارزیابی عملکرد BRT کافی نبوده و دارای کاستی‌هایی می‌باشند. از اینرو شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای ارزیابی عملکرد این سامانه در شهر مشهد ضرورت دارد.

مطالعه‌ی حاضر با هدف توسعه‌ی یک چارچوب ارزیابی پس از اجرا (Ex-post) بر پایه‌ی استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری و محاسبه‌ی اوزان پارامترهای موثر در ارزیابی این سیستم حمل و نقلی، برای سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو (BRT) در شهر مشهد، انجام شده است. این چارچوب در بردارنده‌ی ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی اجرای این سامانه بوده و لذا در بردارنده‌ی همه‌ی جنبه‌های توسعه‌ی پایدار است که انتظار می‌رود توجه به آن‌ها در توسعه‌ی آینده‌ی این سیستم حمل و نقلی در شهر مشهد در نظر گرفته شود.



## ۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

رشد روز افزون سفرهای درون شهری و نیاز به جابه‌جایی کالا و مسافر، تاثیر شگرفی بر حجم وسایل نقلیه موتوری در کلان شهرها داشته است. این رشد روز افزون، باعث مشکلات اقتصادی، زیست محیطی و ... فراوانی در این شهرها گردیده است. یکی از راهکارهای پیشنهادی، توسعه حمل و نقل همگانی نظیر سامانه‌ی اتوبوس رانی تندرو (BRT) می‌باشد. با توجه به راه اندازی سیستم BRT در کلان شهر مشهد، و توسعه آن در آینده، ارزیابی عملکرد این سیستم‌ها بویژه از بعد توسعه پایدار ضروری به نظر می‌رسد. در این خصوص، عدم شناخت علمی از شاخصهای ارزیابی و رتبه بندی آن‌ها می‌تواند باعث عدم آگاهی مدیران از سطح عملکرد BRT در این شهر و لذا انحراف در برنامه ریزی توسعه این سامانه می‌شود. لذا در این مقاله تلاش میشود که با استفاده از نظر خبرگان در بحث حمل و نقل درون شهری و با محوریت قرار دادن توسعه پایدار این سامانه، به شناسایی و رتبه بندی شاخصهای ارزیابی عملکرد BRT پرداخته و برآن اساس چهارچوبی مناسب و کارآمد جهت برنامه ریزی و توسعه آن را فراهم آورد.

## ۳- بررسی ادبیات موضوع

در زمینه‌ی بررسی عملکرد سیستم حمل و نقل و به طور خاص عملکرد اتوبوس‌های تندرو (BRT) پژوهش‌های فراوانی صورت گرفته است. یازیک و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی توصیفی عملکرد اولین خط اتوبوس تندروی شهر استانبول که در سال ۲۰۰۷ راه اندازی شده است پرداختند. در این مطالعه کاربرد، مشخصات، سود و زیان این خط که تنها خط بین قاره‌ای است شرح داده شده و دلایل و زمینه‌ی ایجاد فرهنگ عمومی استفاده از حمل و نقل سریع توسط کل مسافران حمل و نقل عمومی توضیح داده شده است [۲]. هامگرن (۲۰۱۲) با هدف ارزیابی کارایی عملکرد سامانه‌ی حمل و نقل همگانی در شهرهای سوئد، نشان داد کیفیت عملکرد سیستم حمل و نقل و کارایی هزینه در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ کاهش یافته است. بر این اساس وی پیشنهادهایی را در خصوص تراکم مسیرها با توجه به مسائل ایمنی و زیست محیطی ارائه داده است [۳]. موهان (۲۰۰۵) به بررسی سیستم‌های حمل و نقل عمومی شهری کشورهای هند، آمریکا، چین، اکوادور، برزیل و پرو پرداخته است. براساس یافته‌های وی، در هند، با توجه به وجود شهرهایی با توسعه شعاعی به همراه تراکم طبقات کم درآمد و مالکیت بالای دوچرخه‌ی موتوری، سامانه‌ی BRT می‌تواند کارساز باشد. در شهرهای ژاپن، اروپا و آمریکای شمالی نیز با وجود سطح بالای مالکیت خودرو، توسعه‌ی ناوگان عمومی BRT در افزایش سطح استفاده‌ی عموم موثر بوده است [۴]. کیوری (۲۰۰۵) به ارزیابی و مقایسه‌ی عملکرد سامانه‌های حمل و نقل از دیدگاه مردم و براساس شاخص‌های فاصله از ایستگاه، زمان انتظار، زمان سفر و هزینه پرداخته است. نتیجه‌ی این تحقیق نشان داده است که سامانه‌ی حمل و نقل ریلی و BRT به ترتیب بالاترین ضریب عملکرد را داشته‌اند، اما به لحاظ هزینه‌های کمتر سامانه‌ی BRT، پیشنهاد به توسعه‌ی آن گردیده است [۵]. ویهوا و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از روش ارزیابی فازی چند لایه‌ای



که ترکیبی از روش AHP و روش ارزیابی جامع فازی است، به بررسی عملکرد BRT پرداخته و معیارهایی از قبیل معیارهای اقتصادی-اجتماعی، فاکتورهای تابع ترافیک، تأثیرات زیست محیطی و مصرف منابع، جهت ارزیابی حالت-های مختلف اتوبوس تندرو را معرفی نمودند [۶]. پلزی و بالتز (۲۰۰۲) در پژوهشی با عنوان «آیا اتوبوس‌های تندرو (BRT) گزینه‌ی مناسبی در حمل و نقل است؟» به بررسی و معرفی شاخص‌های مختلف هزینه (سرمایه گذاری، نگهداری و بهره برداری)، انعطاف پذیری، کیفیت، مشتری مداری، دسترسی، پوشش جغرافیایی، زمان اجرا و... برای معرفی سامانه‌ی BRT پرداخته‌اند [۷].

بررسی پیشینه‌ی موضوع در داخل کشور نیز نشان می‌دهد، مطالعات مختلفی در خصوص تحلیل و ارزیابی خطوط BRT در دیگر شهرها به ویژه شهر تهران انجام شده است که هر یک از آن‌ها ابعاد خاصی از عملکرد این سیستم را مورد بررسی قرار داده‌اند: بی‌تی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیق خود به دنبال یافتن آثار متفاوت اجرای سامانه‌ی حمل و نقل اتوبوس‌های تندرو بر بافت مسکونی و تجاری تحت اثر خود در کلان شهر تبریز بوده‌اند. بر این اساس با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و پژوهش‌های میدانی شاخص‌های تأثیرگذار مسیر BRT بر همسایگی‌های مجاور مشخص گردیده است. یافته‌های این مطالعه نشان داده که واکنش حوزه‌های درگیر با کاربری‌های متفاوت مسکونی و تجاری نسبت به این طرح متفاوت می‌باشد و اجرای طرح دارای تأثیرات مثبت و منفی بر بافت پیرامون خود بوده است. این طرح اگرچه توانسته است رضایت نسبی ساکنان اطراف مسیر را تأمین نماید، ولی در رضایت‌مندی کسبه-ی اطراف ناموفق بوده است [۸]. سقایی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به ارزیابی عملکرد سیستم BRT در کلان شهر اصفهان بر اساس شاخص‌های حمل و نقلی از دیدگاه مسافران پرداخته‌اند. نتایج تحقیق حاکی از عملکرد مثبت این خط و رضایت‌مندی مسافری آن بر اساس اهداف حمل و نقلی، در کلان شهر اصفهان است [۹]. نوروزی اورگانی (۱۳۹۳) در تحقیقی پیرامون ارزیابی عملکرد و سنجش میزان رضایت‌مندی از سیستم اتوبوس‌رانی تندرو (BRT) در کلان شهر اصفهان که از نوع مطالعات توصیفی-تحلیلی پیمایشی است، به بررسی نقش سامانه‌ی BRT در حمل و نقل و ترافیک کلان شهر اصفهان و نیز میزان رضایت‌مندی شهروندان و استفاده‌کنندگان از آن پرداخته است. نتایج حاصل از کاربرد آزمون‌های ناپارامتری خی ۲ و کولموگورف-اسمیرنوف یک بعدی نشان داده که سامانه‌ی BRT در حمل و نقل و ترافیک کلان شهر اصفهان نقش مثبت داشته است و به لحاظ رضایت‌مندی استفاده‌کنندگان، در تمامی پارامترها، رضایت وجود داشته با این تفاوت که میزان آن متغیر بوده است [۱۰]. عبدی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای پیرامون سنجش کارایی سامانه‌ی حمل و نقل همگانی در شهر یزد، با استفاده از روشی توصیفی-تحلیلی و با ماهیت کاربردی به ارزیابی کارایی سامانه‌ی اتوبوس‌رانی در یزد در سه مسیر با حجم بالای سفر پرداخته‌اند. و به منظور ارزیابی سامانه، از معیارهای دسترس پذیری، راحتی و آسایش کمک گرفته‌اند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که بالا بودن زمان سفر با اتوبوس در مقایسه با خودروی شخصی در حدود دو برابر است که علی‌رغم بالا بودن سطح سرویس ناحیه‌ی تحت پوشش منجر به ترغیب شهروندان برای استفاده از خودروی شخصی می‌شود [۱۱]. پور احمد و عمران زاده (۱۳۹۱) به ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقل BRT در



کلان شهر تهران و ارائه‌ی راهکارهای توسعه‌ی آن در قالب تکنیک SWOT پرداخته‌اند. در نتیجه‌ی پژوهش، ظرفیت‌ها و محدودیت‌های موجود در خط یک سیستم BRT تهران، مطالعه و مشخص گردیده است و ۹۷ عامل اثرگذار بر خط یک BRT تهران شناسایی شده است [۱۲]. صالحی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی پیرامون تاثیر ایجاد سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو در یکی از مناطق تهران بر مسائل زیست محیطی، فرهنگی و اجتماعی به این نتیجه رسیدند که با اجرای این سیستم آلودگی هوا تا حدودی کاهش یافته و حدود ۵/۶ میلیون لیتر میزان صرفه‌جویی در سوخت صورت پذیرفته است. به‌علاوه هزینه‌های اجتماعی نیز به‌صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است [۱۳]. صدیق باور و حدیقه جوانی (۱۳۸۹) نشان دادند که شاخص‌هایی نظیر کاهش آلاینده‌ها، کاهش زمان سفر، کاهش هزینه‌ی سفر، تواتر، چگالی مسافران، راحتی، مستقیم بودن سفر در BRT نسبت به سایر مدهای موجود در شهرها بیشتر است و کم هزینه‌ترین و سریع‌ترین مد از لحاظ اجرا، سیستم BRT می‌باشد [۱۴].

با توجه به دیدگاه‌های مختلف در خصوص BRT، این سامانه در هر شهر، به نحوی خاص اجرا شده و برخی از شهرها تنها براساس تجربه‌ی موفق دیگر شهرها در پیاده سازی این نوع سامانه اقدام به اجرای آن بدون ملاحظات شهری خود کرده‌اند. این امر ارزیابی عملکرد BRT بر اساس معیارهای توسعه‌ی پایدار شهر مشهد را ضروری می‌سازد. بر همین اساس در این مطالعه سعی شده است به ارزیابی این سامانه در شهر مشهد پرداخته شود. از ویژگی‌های اصلی مطالعه‌ی حاضر، استفاده از ترکیبی از ابعاد مختلف توسعه‌ی پایدار در مطالعات گذشته می‌باشد که با توجه به بستر مطالعه‌ی کنونی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۴- روش تحقیق

روش پژوهش در مطالعه‌ی حاضر از نظر نوع و هدف، کاربردی و از نظر روش و ماهیت، توصیفی-تحلیلی است. ابزار پژوهش شامل پرسش‌نامه محقق ساخته‌ای است که روایی آنها توسط گروهی از متخصصین و اعتبار آن توسط آلفای کرونباخ ( $\alpha = 0.77$ ) تأیید شد. از آنجا که شاخص‌های ارزیابی باید شامل جنبه‌های گوناگون از قبیل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی باشد، در این پژوهش مجموعه‌ای از شاخص‌ها در ابعاد مختلف انتخاب گردیده است. با بررسی مطالعات موجود در بحث اتوبوس‌های تندرو و بر پایه‌ی ابعاد توسعه پایدار، و پس از حذف عناصری که براساس نظر خبرگان تاثیر چندانی در موضوع مورد بررسی نداشتند، معیارهای نهایی مورد استفاده در این تحقیق به صورتی که در جدول ۱ آمده تشکیل شده است. براین اساس شاخص‌های مورد ارزیابی در این مطالعه در چهار گروه عمده‌ی "هزینه"، "منافع کاربران"، "آثار زیست محیطی" و "آثار غیرمستقیم" مورد ارزیابی قرار گرفت.

در پاسخ به این سوال که اولویت و رتبه‌ی هر یک از مولفه‌های موثر بر کارایی سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو و شاخص‌های مرتبط با آن چگونه است، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بهره گرفته شده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که توسط ساعتی در سال ۱۹۷۰ ارائه گردید. این روش با استفاده از یک شبکه سیستمی و ضوابط و معیارهای چندگانه با ساختارهای چند سطحی اولویت‌دار، برای



رتبه‌بندی یا تعیین اهمیت گزینه‌های مختلف یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس روش AHP، آلترناتیوها و معیارهای تصمیم‌گیری است که برای مقایسه دودویی بین معیارها و گزینه‌ها طراحی شده است. جهت ارزیابی اولویت فاکتورها در روش AHP انجام مراحل زیر ضروری است [۱۵]:

- تشکیل ماتریس مقایسه دودویی برای معیارها
- محاسبه اولویت معیارها نسبت به یکدیگر
- محاسبه نرخ سازگاری ماتریس‌ها

در به دست آوردن ماتریس زوجی، معیارها و زیر معیارهای هر گروه به صورت دو به دو با هم مقایسه می‌شوند که این قضاوت‌ها از مقادیر ۱ (اهمیت یکسان) تا ۹ (اهمیت کاملا مهمتر) توزیع شده اند [۱۵]

جدول ۱- معیارهای مورد استفاده در پژوهش

معیار	زیرمعیار	توضیحات تکمیلی
هزینه	هزینه‌ی ساخت	شامل هزینه‌های زیرساختی (مواد، انرژی، کار، خرید زمین و ..)
	هزینه‌های عملکردی	شامل کلیه هزینه‌های مربوط به نگهداری و بازسازی زیرساخت‌ها
	راحتی	شرایط تهویه، راحتی صندلی و ..
منافع کاربران	صرفه‌جویی در هزینه	هزینه‌ی کمتر رفت و آمد
	کاهش زمان سفر	تغییر در زمان سفر از مبدا تا مقصد در نتیجه‌ی استفاده از BRT
	کاهش استهلاک وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی	صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت، تعمیر و نگهداری وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی
	کاهش محرومیت اجتماعی	دسترسی افراد حومه‌ی شهر به امکانات مراکز اصلی شهر
آثار جانبی و زیست محیطی	تنوع در گزینه‌های حمل و نقلی	وجود گزینه‌های مختلف برای حمل و نقل در شرایط اضطراری
	آلودگی هوا	تأثیر بر آلودگی‌های حاصل از وسایل نقلیه که کیفیت هوا را تحت تأثیر قرار داده و برای افراد در معرض آن تهدید ایجاد می‌کند.
	مدیریت ترافیک	تأثیری که سامانه‌ی BRT بواسطه‌ی کاهش تراکم وسایل نقلیه و انتقال به سامانه‌ی حمل و نقل عمومی، بر زمان سفر سایر وسایل نقلیه می‌کند.
	آلودگی صوتی	تأثیر بر آلودگی‌های صوتی حاصل از وسایل نقلیه
آثار غیر مستقیم	ایمنی	کاهش میزان تصادفات در نتیجه‌ی اجرای سامانه BRT
	کاهش احداث پارکینگ	کاهش احداث پارکینگ و ارزش‌های بالاتر کاربری زمین که در نتیجه کاهش استفاده از مصرف وسیله نقلیه شخصی به وجود می‌آید
	افزایش ارزش زمین‌های مجاور	افزایش ارزش زمین و ملک به دلیل نزدیکی به ایستگاه BRT
	اشتغال	شامل اشتغال مستقیم در فرآیند احداث و اشتغال غیر مستقیم در نتیجه‌ی افزایش تقاضا برای فروشگاه‌ها، رستوران‌ها و ...
	اختلال‌های ناشی از ساخت	افزایش ریسک تصادفات در نتیجه‌ی محدود کردن ظرفیت خیابان



در این تحقیق برای معیارهای تعیین شده در مرحله‌ی قبل، درخت سلسله‌مراتبی ترسیم و براساس آن پرسش‌نامه‌ای از مقایسات زوجی تدوین و در اختیار خبرگان جهت اولویت‌بندی و تعیین وزن نهایی هر یک از معیارها قرار گرفت. جامعه‌ی آماری این مطالعه به منظور انتخاب معیارهای نهایی و انجام مقایسه‌های زوجی بین معیارها و گزینه‌ها را خبرگانی که تجربه‌ی مناسب و قابل توجهی در حوزه‌ی حمل و نقل و مدیریت شهری مشهد داشته و با ابعاد مختلف مسئله‌ی مورد بررسی در سطح کلان آشنا بوده‌اند، را تشکیل می‌دهند. نظرات این متخصصین از اهمیت زیادی برخوردار بوده و می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی قرار گیرد. بر این اساس و با به کارگیری جدول مورگان ۱۵ نفر از کارشناسان براساس مدرک تحصیلی و تجربه‌ی کاری به‌عنوان اعضای نمونه انتخاب شدند. از آنجا که شاخص‌های استخراج شده برگرفته از ادبیات موضوعی و تحقیقات گذشته و مورد تأیید خبرگان این حوزه بود، روایی پرسش‌نامه مورد تأیید قرار گرفت. همچنین برای بررسی میزان وابستگی زیر معیارها به یکدیگر، آزمون ضریب پیرسون به کمک نرم افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شد. بدین منظور ضریب پیرسون به وسیله‌ی نرم افزار، برای دو به دوی زیرمعیارها محاسبه شد و عدم همبستگی بین معیارها مورد بررسی قرار گرفت. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها، ابتدا ضرایب مربوط به هر گروه از تصمیم‌گیرندگان اعمال شده و سپس میانگین هندسی هر یک از مقادیر جداول مقایسه‌ای زوجی محاسبه شد.

## ۵- نتایج و بحث

پس از ایجاد درخت تصمیم‌گیری در نرم افزار EXPERT CHOICE و ورود اطلاعات جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه در قالب مقایسه‌های زوجی نرخ‌سازی هر ماتریس برای اطمینان از پایداری پرسش‌نامه محاسبه شد. اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد ماتریس به عنوان سازگار پذیرفته می‌شود یعنی خبرگان در مقایسه‌های زوجی دقت لازم را داشته‌اند. جدول ۲ نرخ‌سازی پرسش‌نامه‌های AHP مورد بررسی را نشان می‌دهد. همچنین در ادامه، نتایج حاصل از اولویت‌بندی معیارهای بررسی شده در ارزیابی کارایی سامانه‌ی BRT به همراه وزن هر اولویت (جدول ۳) و نیز زیر معیارهای استفاده شده در هر معیار (جداول ۴ تا ۷) ارائه می‌شود. وزنی که هر معیار در این جداول به خود اختصاص داده است، نشان دهنده میزان تاثیر آن معیار در شرایط کنونی حمل و نقل شهر مشهد است.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد معیار منافع کاربران با وزن ۰/۴۲۶، دارای بیشترین اهمیت، آثار جانبی و زیست محیطی (وزن ۰/۳۷۷) و آثار غیر مستقیم (وزن ۰/۱۰۸) در سطح میانی و هزینه (وزن ۰/۰۸۹) در اولویت پایین اهمیت در کارایی سامانه‌ی BRT شهر مشهد از نظر خبرگان قرار گرفته است.



جدول ۲- نرخ ناسازگاری معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی کارایی سامانه اتوبوس‌های تندرو (BRT) شهر مشهد

نرخ ناسازگاری (CR)	معیار
۰/۰۵	هزینه
۰/۰۳	منافع کاربران
۰/۰۱	آثار جانبی و زیست محیطی
۰/۰۳	آثار غیر مستقیم

جدول ۳- وزن معیارهای موثر در ارزیابی کارایی سامانه اتوبوس‌های تندرو (BRT) شهر مشهد

وزن	معیار
۰/۴۲۶	منافع کاربران
۰/۳۷۷	آثار جانبی و زیست محیطی
۰/۱۰۸	آثار غیر مستقیم
۰/۰۸۹	هزینه

در بین شاخص‌های مختلف معیارهای "منافع کاربران"، صرفه‌جویی در هزینه، کاهش زمان سفر و راحتی سه اولویت اصلی شناسایی شدند (جدول ۴). اهمیت پرداختن به دو عامل صرفه‌جویی در هزینه و راحتی در مطالعات لیتمن (۲۰۰۷) [۱۶] و بککر (۲۰۰۹) [۱۷] نیز مورد تأکید قرار گرفته است. همچنین کاهش زمان سفر عامل مهمی بوده است که در بسیاری از مطالعات از جمله مطالعات آنما و همکاران (۲۰۱۲) [۱۸]، هیدالگو و همکاران (۲۰۱۳) [۱۹]، کجرکریت (۲۰۰۸) [۲۰]، لیتمن (۲۰۱۳) [۲۱]، اودگارد و همکاران (۲۰۰۵) [۲۲]، سویرانیز (۲۰۱۰) [۲۳]، سامار و همکاران (۲۰۰۳) [۲۴] مورد بررسی و تأکید قرار گرفته است.

جدول ۴- نتایج وزن نسبی زیر معیارهای منافع کاربران در ارزیابی کارایی BRT

وزن نسبی	زیر معیار
۰/۲۶۵	صرفه‌جویی در هزینه
۰/۲۵۵	کاهش زمان سفر
۰/۱۳۴	راحتی
۰/۱۲۶	کاهش محرومیت اجتماعی
۰/۱۱۴	کاهش استهلاک وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی
۰/۱۰۶	تنوع در گزینه‌های حمل و نقلی





جدول ۵- نتایج وزن نسبی زیر معیارهای هزینه در ارزیابی کارایی BRT

وزن نسبی	زیر معیار
۰/۵۹۵	هزینه‌ی ساخت
۰/۴۰۵	هزینه‌های عملکردی

در بین معیارهای "هزینه" (جدول ۵) نیز هزینه‌ی ساخت با وزن نسبی ۰/۵۹۵ از اهمیت بیشتری در مقایسه با هزینه‌های عملکردی (با وزن نسبی ۰/۴۰۵) در کارایی BRT برخوردار است. همچنین بررسی نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد معیار ایمنی با وزن نسبی ۰/۴۳۷ مهمترین نقش را در ارزیابی عملکرد BRT از بعد آثار جانبی و زیست محیطی دارد و پس از آن آلودگی هوا (با وزن نسبی ۰/۳۰۵) دارای اهمیت می‌باشد. مطالعات آنما و همکاران (۲۰۱۲) [۱۸]، بککر (۲۰۰۹) [۱۷]، هیدالگو و همکاران (۲۰۱۳) [۱۹]، ICF (۲۰۰۹) [۲۵]، لیتمن (۲۰۰۷) [۱۶]، نیجلند و همکاران (۲۰۱۰) [۲۶] نیز حاکی از نقش بالای توجه به ایمنی در اجرای یک ارزیابی مبتنی بر توسعه پایدار از سامانه‌ی BRT است. در بحث آلودگی هوا نیز مطالعه کرباسی و همکاران [۲۷] در شهر تهران نشان داد که بارزترین اثر اجتماعی اجرای طرح BRT در این شهر کاهش هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار کم‌آلاینده‌ها بوده است.

جدول ۶- نتایج وزن نسبی زیر معیارهای آثار جانبی و زیست محیطی در ارزیابی کارایی BRT

وزن نسبی	زیر معیار
۰/۴۳۷	ایمنی
۰/۳۰۵	آلودگی هوا
۰/۱۶۲	مدیریت ترافیک
۰/۰۹۶	آلودگی صوتی

عامل اشتغال، که اشتغال مستقیم در فرآیند احداث و اشتغال غیر مستقیم در نتیجه‌ی افزایش تقاضا برای فروشگاه-ها، رستوران‌ها و غیره را در بر می‌گیرد، مهم‌ترین شاخص موثر در ارزیابی BRT از بعد "آثار غیر مستقیم" تشخیص داده شد (جدول ۷). گوسپودینی (۲۰۰۵) [۲۸]، اودگارد (۲۰۰۵) [۲۲] نیز این شاخص را به عنوان یکی از شاخص‌های مهم معرفی کرده‌اند. همچنین کاهش احداث پارکینگ شاخص دیگر دارای اولویت تشخیص داده شد. موضوعی که در مطالعات بککر (۲۰۰۹) [۱۷] و لیتمن (۲۰۰۷) [۱۶] نیز مورد تأکید قرار گرفته است.



جدول ۷- نتایج وزن نسبی زیر معیارهای آثار غیر مستقیم در ارزیابی کارایی BRT

وزن نسبی	زیر معیار
۰/۴۵۴	اشتغال
۰/۲۸۸	کاهش احداث پارکینگ
۰/۱۴۷	اختلال‌های ناشی از ساخت
۰/۱۱۱	افزایش ارزش زمین مجاور

پس از تعیین وزن نسبی معیارهای کلی و زیرمعیارها، وزن نهایی هر یک از شاخص‌های مختلف موثر در ارزیابی BRT محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۸ آورده شده است. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای این مقایسه برابر ۰/۰۷ بدست آمد که حاکی از سازگاری در مقایسه‌ها و اعتبار پاسخ‌ها می‌باشد. براساس نتایج این جدول صرفه جویی در هزینه دارای بیشترین اهمیت و شاخص‌هایی نظیر افزایش ارزش زمین مجاور، اختلال‌های ناشی از ساخت و هزینه‌ی اجرای سیستم در اولویت پایین اهمیت در ارزیابی عملکرد BRT از نظر خبرگان قرار گرفته‌اند.

جدول ۸- نتایج وزن نهایی هر یک از زیر معیارهای موثر در ارزیابی کارایی BRT

وزن نسبی	زیر معیار	ردیف
۰/۱۴۹	صرفه‌جویی در هزینه	۱
۰/۱۴۳	کاهش زمان سفر	۲
۰/۱۳۲	ایمنی	۳
۰/۰۹۲	آلودگی هوا	۴
۰/۰۷۵	راحتی	۵
۰/۰۷۱	کاهش محرومیت اجتماعی	۶
۰/۰۶۴	کاهش استهلاک وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی	۷
۰/۰۶۰	تنوع در گزینه‌های حمل و نقلی	۸
۰/۰۴۹	مدیریت ترافیک	۹
۰/۰۳۸	اشتغال	۱۰
۰/۰۳۱	هزینه‌ی ساخت	۱۱
۰/۰۲۹	آلودگی صوتی	۱۲
۰/۰۲۴	کاهش احداث پارکینگ	۱۳
۰/۰۲۱	هزینه‌ی اجرای سیستم	۱۴
۰/۰۱۲	اختلال‌های ناشی از ساخت	۱۵
۰/۰۰۹	افزایش ارزش زمین‌های مجاور	۱۶



## ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سال‌های اخیر مدیران شهری مشهد راه‌های چندی را برای مقابله با معضلات ترافیکی و حمل‌ونقل شهری این کلان‌شهر ارائه داده‌اند که احداث BRT یکی از آن‌ها می‌باشد. در این مقاله کوشش گردید تا با بهره‌گیری از ادبیات موجود در زمینه‌ی ارزیابی عملکرد این سامانه و دانش کارشناسان و خبرگان این صنعت به این سوال پاسخ داده شود که مهمترین شاخص‌های ارزیابی BRT کدامند و اولویت‌بندی آن‌ها چگونه است؟ تا برآن اساس بتوان مبنایی مستدل برای ارزیابی تصمیم‌سازی در مورد توسعه یا عدم توسعه‌ی این سامانه ارائه داد.

برای دستیابی به این امر ابتدا با استفاده از شاخص‌های استخراج شده از مطالعات مربوط به ارزیابی سامانه‌های حمل و نقل عمومی و نیز سامانه‌ی BRT به‌طور خاص، چهار گروه عمده‌ی شاخص‌های هزینه، منافع کاربران، آثار زیست محیطی و آثار غیرمستقیم انتخاب شد. سپس با بکارگیری روش AHP و بهره‌گیری از نظرات ۱۵ تن از خبرگان حوزه‌ی حمل و نقل مشهد برای ارزیابی ۴ معیار و ۱۶ زیرمعیار معرفی شده، گزینه‌های مورد نظر اولویت‌بندی شدند.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که از میان معیارهای موثر در ارزیابی کارایی سامانه‌ی اتوبوس‌های تندرو، معیارهای صرفه‌جویی در هزینه، کاهش زمان سفر و افزایش ایمنی بیشترین سهم از نظر خبرگان حمل و نقل را داشته است و بایستی این معیارها در شرایط واقعی مورد سنجش قرار گیرد تا ارتباط میان نظرات سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران بخش حمل و نقل درون شهری با مطالبات و خواسته‌های جامعه‌ی شهری بدست آید. همسانی و همسویی دو مقوله‌ی ذکر شده، می‌تواند باعث افزایش خدمت‌رسانی و برآورده شدن نیازها و تقاضای ترافیکی کلان‌شهرها شود. لذا پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات جداگانه و تکمیلی به بررسی و مقایسه‌ی نظرات جامعه و سیاست‌گذاران عرصه‌ی حمل و نقل پرداخته شود.

## ۶- مراجع

- ۱- آمارنامه حمل و نقل شهر مشهد، ۱۳۹۲، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد، معاونت مطالعات و برنامه ریزی.
- 2- Journal of Public Transportation, 2013, A bus rapid transit line case study: Istanbul's Metrobus system, (16),1, 153-177.
- 3- Research in Transportation Economics, 2012, The efficiency of public transport operations: An evaluation using stochastic frontier analysis, (39), 1, 50-57.
- 4- D. Mohan, 2005, Public Transportation Systems for Urban Areas A Brief Review, Transportation Research and Injury Prevention Program Indian Institute of Technology Delhi.
- 5- G. Currie, 2005, The Demand Performance of Bus Rapid Transit, Journal of Public Transportation, (8), 1.
- 6- Z. Weihua, L. Huapu, G. Zhijun and L. Qiang, 2005, Study on Method Evaluation Bus Rapid Transit (BRT) Scheme, Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, (5), 390-403.
- 7- Journal of Public Transportation, 2002, Bus Rapid Transit: A Viable Alternative?, (5),2.
- ۸- نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۳۹۳، تحلیل سامانه حمل و نقل اتوبوس های تندرو شهری (BRT) و سنجش تحولات و تاثیرات اجتماعی و اقتصادی ناشی از آن بر حوزه های پیرامون در کلان شهر تبریز، سال ۱۸، شماره ۴۹، صفحات ۵۲-۱۹.
- ۹- مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۳۹۳، ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوس تندرو (BRT) در کلان شهر اصفهان از دیدگاه شهروندان، سال چهارم، شماره ۱۱، صفحات ۴۰-۲۰.
- ۱۰- مجله علمی پژوهشی برنامه ریزی فضایی (جغرافیا)، ۱۳۹۳، ارزیابی عملکرد و سنجش میزان رضایتمندی از سیستم اتوبوس رانی تندرو (BRT) در کلان شهر اصفهان، سال چهارم، شماره اول، صفحات ۱۶۸-۱۴۳.
- ۱۱- نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳۹۲، سنجش کارایی سامانه حمل و نقل همگانی در شهر یزد، سال سیزدهم- شماره ۳۰، صفحات ۲۵۰-۲۲۹.
- ۱۲- مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۱۳۹۱، ارزیابی و ارائه راهکارهای توسعه سیستم حمل و نقل BRT در کلان شهر تهران با استفاده از مدل SWOT، سال ۳- شماره ۱۱، صفحات ۳۶-۱۷.
- ۱۳- صالحی ف.، کرباسی ع. و خشایی پور م.، اثر بخشی خط ۱۰ اتوبوس های تندرو در کاهش آلودگی های هوا و هزینه های اجتماعی، ۱۳۹۰، یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران.
- ۱۴- صدیق باور م. و حدیقه جوانی م.، ارزیابی و تحلیل عملکرد سیستم حمل و نقل سریع اتوبوس رانی (BRT) در کلان شهرها توسط نرم افزار AIMSUN، ۱۳۸۹، دهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران.



- 15- Saaty, T. 2008. Group decision making: drawing out and reconciling differences. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.
- 16- Transport Policy, 2007, Evaluating rail transit benefits: A comment, (14),1, 94-97.
- 17- P. Bakker and P. Zwaneveld, Het belang van openbaar vervoer. De maatschappelijke effecten op een rij, 2009, Den Haag, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, Centraal Planbureau.
- 18- Tijdschrift Vervoerswetenschap, 2012, Ex-postevaluatie van zes provinciale wegenprojecten, 48(3), 3-15.
- 19- Research in Transportation Economics, 2013, TransMilenio BRT system in Bogota, high performance and positive impact – Main results of an ex-post evaluation, 39(1), 133-138.
- 20- A. Kjekreit, J. Odeck and K.O. Sandvik, Post opening evaluation of road investment projects in Norway: how correct are the estimated future benefits?, 2008, Paper presented at the European Transport Conference, Noordwijkerhout.
- 21- Evaluating Public Transit Benefits and Costs: Best Practices Guidebook, 2013, T. Litman, Victoria Transport Policy Institute, Canada.
- 22- T. Odgaard, C. Kelly and J. Laird, 2005, Current practice in project appraisal in Europe, HEATCO.
- 23- V. R. Soberanis, the practice of cost benefit analysis in the transport sector: a mexican perspective, 2010, Discussion Paper No. 2010-18, Joint Transport Research Centre, Paris.
- 24- G. Sammar, R. Klementsitz and O. Roider, 2003, TRANSECON Urban Transport and local Socio-Economic development, ITS-BOKU, Vienna.
- 25- ICF, Benefit/Cost Analysis Of Converting A Lane For Bus Rapid Transit- Research Results Digest 336, 2009.
- 26- Environmental Health Perspectives, 2010, Do the health benefits of cycling outweigh the risks?, no. 118 (8):1109.
- ۲۷- مهندسی عمران شریف، ۱۳۹۰، نقش اتوبوسهای تندرو (BRT) در کاهش هزینه های اجتماعی آلودگی هوا و مصرف سوخت، دوره ۲۷-۲، شماره ۳
- 28- European Planning Studies, 2005, Urban development, redevelopment and regeneration encouraged by transport infrastructure projects: The case study of 12 European cities, 13(7), 1083-1111.



## Prioritizing the Effective Factors in Performance of Bus Rapid Transit System (BRT): The Case of Mashhad

**Hamid Farhad Mollashahi<sup>1</sup>, Bahador Bazrafshan Moghadam<sup>2</sup>, Toktam Mohtashami<sup>3</sup>**

1- Department of Civil Engineering, University of Torbat Heydarieh, Iran.

2- Department of Civil Engineering, University of Torbat Heydarieh, Iran.

3- Department of Economics, University of Torbat Heydarieh, Iran.

### Abstract

The aim of this study is to develop an ex-post evaluation framework based on decision making methods and evaluating effective factors on Bus Rapid Transit System (BRT) in Mashhad city. To this end, after determining effective factors in evaluating the performance of BRT, Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to prioritize criteria based on questionnaires and interviews with experts in the field of transportation and urban management. Based on the findings, the User Benefits criterion that includes comfort, consumer saving, travel time saving, vehicle operating costs, reduction of social exclusion and transport diversity indicators, has the highest priority of 0.426. The Externalities and Environmental criterion (weighted 0.377) was ranked in the second place. Among several indicators of this criteria, Safety (weighted 0.437) and Air pollution (weighted 0.305) has determined with highest priority in evaluating the performance of BRT in Mashhad city.

**Key words:** *Bus Rapid Transit system, AHP, Mashhad transportation system*