تحلیل تطبیقی عملکرد و هم‌افزایی سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر شهری با رویکرد مدل‌سازی یکپارچه (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان)

مقاله علمی-پژوهشی

نوید نخعی، دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*علی نادران (نویسنده مسئول)، استادیار، گروه عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
هومن رحیمی، گروه عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر قدس، ایران
شهریار افندی‌زاده، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: naderan@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۵- پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۰۵
صفحه ۱۸۴-۱۶۵

چکیده

رشد سریع شهرنشینی، افزایش تقاضای سفرهای درون‌شهری و ضرورت حفاظت از میراث فرهنگی، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل عمومی را در کلان‌شهرهای تاریخی با چالش‌های جدی مواجه کرده است. کلان‌شهر اصفهان، به دلیل برخورداری از آثار ثبت جهانی، محدودیت‌های کالبدی بافت تاریخی و افزایش تقاضای جابه‌جایی، نیازمند رویکردی یکپارچه در توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر است. هدف این پژوهش، تحلیل تطبیقی عملکرد و هم‌افزایی سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر شهری و ارائه چارچوبی برای انتخاب مناسب‌ترین راهبرد توسعه حمل‌ونقل در اصفهان است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی است. ابتدا نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای سیستم حمل‌ونقل اصفهان با استفاده از تحلیل SWOT شناسایی شد. سپس اهمیت معیارهای ارزیابی شامل عملکرد حمل‌ونقلی، گردشگری، حفاظت از میراث فرهنگی، شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) تعیین گردید. در ادامه، پنج سناریوی توسعه شامل وضعیت موجود، توسعه مترو، تراموای گردشگری، اتوبوس برقی و سیستم یکپارچه هوشمند با استفاده از روش TOPSIS رتبه‌بندی شدند. همچنین، برای بررسی پایداری نتایج، تحلیل حساسیت در سناریوهای مختلف مدیریتی و اقتصادی انجام شد. نتایج نشان داد توسعه یک مد حمل‌ونقل به‌تنهایی پاسخگوی نیازهای آینده اصفهان نیست و راهبرد مبتنی بر یکپارچگی و هم‌افزایی مدهای مختلف، عملکرد مطلوب‌تری دارد. سناریوی سیستم یکپارچه هوشمند شامل مترو، تراموای گردشگری، اتوبوس برقی و سامانه MaaS در تمامی سناریوهای تحلیل حساسیت بالاترین رتبه را کسب کرد. بر این اساس، توسعه حمل‌ونقل پایدار در اصفهان باید بر رویکردی میراث‌محور، گردشگری‌محور و مبتنی بر یکپارچگی شبکه حمل‌ونقل استوار باشد.

واژه‌های کلیدی: حمل‌ونقل انبوه‌بر شهری یکپارچه، توسعه پایدار، تحلیل SWOT، TOPSIS، تحلیل حساسیت

۱- مقدمه

امروزه حمل‌ونقل عمومی به عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار شهری شناخته می‌شود و نقش آن فراتر از جابه‌جایی صرف مسافران است. سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر شهری علاوه بر کاهش زمان سفر، کاهش مصرف انرژی، کنترل آلودگی هوا و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان، به‌عنوان ابزاری مؤثر در توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و گردشگری شهرها مطرح هستند. در دهه‌های اخیر، بسیاری از کلان‌شهرهای جهان از رویکرد توسعه منفرد یک مد حمل‌ونقل فاصله گرفته

و به سمت ایجاد سیستم‌های یکپارچه و چندمدی حرکت کرده‌اند؛ رویکردی که در آن مترو، اتوبوس تندرو(BRT)، اتوبوس‌های شهری، دوچرخه‌های اشتراکی، تراموا و سایر مدهای حمل‌ونقل در قالب یک شبکه هماهنگ فعالیت می‌کنند. هدف از این یکپارچگی، افزایش کارایی شبکه، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و ارتقای دسترسی شهروندان به مراکز فعالیت شهری است (Rodrigue, 2020 ؛Vuchic, 2017).از سوی دیگر، شهرهای تاریخی و گردشگرپذیر با چالش‌های مضاعفی در حوزه حمل‌ونقل مواجه هستند. افزایش تقاضای سفر، تمرکز جاذبه‌های گردشگری در هسته‌های تاریخی، محدودیت‌های کالبدی بافت‌های قدیمی و ضرورت حفاظت از میراث فرهنگی، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را پیچیده‌تر می‌کند. در چنین شرایطی، انتخاب و توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل باید به گونه‌ای انجام شود که ضمن پاسخگویی به نیازهای حمل‌ونقلی شهروندان و گردشگران، کمترین آسیب را به آثار تاریخی و محیط‌زیست شهری وارد نماید (Cervero & Kockelman, 1997؛ Banister, 2008).

کلان شهر اصفهان نمونه‌ای شاخص از این نوع شهرها است. این شهر نه‌تنها یکی از مهم‌ترین مراکز اقتصادی و صنعتی ایران محسوب می‌شود، بلکه به واسطه برخورداری از میراث ارزشمند دوره صفوی، یکی از مهم‌ترین مقاصد گردشگری کشور نیز به شمار می‌رود. وجود بناهای تاریخی متعدد، میدان‌ها، پل‌ها، مساجد و باغ‌های تاریخی باعث شده است که اصفهان جایگاهی ویژه در شبکه گرد شگری ملی و بین‌المللی داشته باشد. در این میان، نحوه تعامل سیستم حمل‌ونقل شهری با این میراث ارزشمند از اهمیت فراوانی برخوردار است (Cervero & Kockelman, 1997؛ Banister, 2008).

بر اساس گزارش مرکز میراث جهانی یونسکو، میدان امام (نقش جهان) اصفهان به عنوان یکی از شاخص‌ترین نمونه‌های شهر سازی و معماری اسلامی جهان در فهرست میراث جهانی ثبت شده است و هرگونه توسعه زیر ساختی و حمل‌ونقلی در محدوده تاریخی شهر باید با ملاحظات حفاظتی همراه باشد. یونسکو در گزارش‌های مختلف خود به اثرات توسعه شهری، افزایش گردشگری، پروژه‌های زیرساختی و حتی زیرساخت‌های حمل‌ونقل زیرزمینی بر پایداری این مجموعه تاریخی اشاره کرده است(UNESCO World Heritage Centre, 2025).

در دهه‌های اخیر، رشد جمعیت، توسعه کالبدی شهر، افزایش مالکیت خودروهای شخصی و گسترش سفرهای درون‌شهری موجب افزایش تراکم ترافیک در اصفهان شده است. این وضعیت علاوه بر افزایش زمان سفر و مصرف سوخت، آثار منفی متعددی بر کیفیت محیط‌زیست و سلامت شهروندان داشته است. در پاسخ به این چالش‌ها، مدیریت شهری اصفهان توسعه سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی را در دستور کار قرار داده و طی سال‌های اخیر اقدام به توسعه مترو، خطوط اتوبوس تندرو، نوسازی ناوگان اتوبوس‌رانی و توسعه سامانه‌های هوشمند حمل‌ونقل کرده است. با وجود این اقدامات، همچنان پرسش‌های مهمی درباره میزان کارایی سیستم‌های موجود، سطح هم‌افزایی میان مدهای مختلف حمل‌ونقل، تأثیر آن‌ها بر گردشگری شهری و نقش آن‌ها در حفاظت از میراث تاریخی اصفهان وجود دارد. همچنین ضرورت بررسی امکان بهره‌گیری از سیستم‌های نوین نظیر تراموا، قطار سبک شهری(LRT)، اتوبوس‌های برقی و سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند بیش از گذشته احساس می‌شود. از این رو، هدف اصلی پژوهش حاضر تحلیل تطبیقی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر موجود در کلان شهر اصفهان و ارائه مدلی یکپارچه برای توسعه آتی آن‌ها است. در این پژوهش علاوه بر شاخص‌های متعارف حمل‌ونقل، متغیرهای مرتبط با گردشگری، حفاظت از میراث فرهنگی، درآمدزایی شهری و هزینه‌های نگهداری زیرساخت‌ها نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. وجه تمایز این پژوهش با مطالعات پیشین در توجه هم‌زمان به ابعاد حمل‌ونقلی، اقتصادی، گردشگری، زیست‌محیطی و میراث فرهنگی است؛ موضوعی که در مطالعات داخلی کمتر مورد بررسی جامع قرار گرفته است.

۲-پیشینه تحقیق

در دهه‌های اخیر، توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر و یکپارچه‌سازی مدهای مختلف حمل‌ونقل به یکی از مهم‌ترین موضوعات پژوهشی در حوزه برنامه‌ریزی شهری و حمل‌ونقل تبدیل شده است. رشد سریع شهرنشینی، افزایش تقاضای سفر، تشدید مشکلات زیست‌محیطی و ضرورت ارتقای کیفیت زندگی شهری موجب شده است که رویکردهای سنتی مبتنی بر توسعه زیرساخت های خودرومحور جای خود را به رویکردهای مبتنی بر حمل‌ونقل پایدار و یکپارچه بدهند. در این راستا، پژوهش‌های متعددی به بررسی نقش مترو،

سامانه‌های اتوبوس تندرو(BRT) ، تراموا، دوچرخه اشتراکی و فناوری‌های هوشمند در بهبود عملکرد شبکه‌های حمل‌ونقل شهری پرداخته‌اند. مطالعات اولیه در حوزه حمل‌ونقل پایدار عمدتاً بر شاخص‌های دسترسی، کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی‌های محیطی متمرکز بودند. در این زمینه، Banister در سال ۲۰۰۸ مفهوم «پارادایم تحرک پایدار» را مطرح کرد و نشان داد که توسعه حمل‌ونقل عمومی و کاهش وابستگی به خودروهای شخصی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کیفیت محیط شهری داشته باشد(Banister, 2008). به‌طور مشابه، Cervero و Kockelman در سال ۱۹۹۷ در پژوهش مشهور خود پیرامون نظریه سه‌گانه تراکم، تنوع کاربری و طراحی شهری سه بعدی نشان دادند که ساختار فضایی شهرها تأثیر مستقیمی بر الگوهای سفر و میزان استفاده از حمل‌ونقل عمومی دارد(Cervero & Kockelman, 1997).

در سال‌های اخیر، مفهوم یکپارچگی حمل‌ونقل به یکی از محورهای اصلی مطالعات تبدیل شده است. Vuchic در سال ۲۰۱۷ در کتاب مرجع خود درباره سیستم‌های حمل‌ونقل شهری بیان می‌کند که کارایی واقعی شبکه زمانی حاصل می‌شود که مدهای مختلف حمل‌ونقل به‌عنوان اجزای یک سیستم واحد عمل کنند(Vuchic, 2017). Rodrigue در سال ۲۰۲۰ نیز با تأکید بر مفهوم شبکه‌های چندلایه حمل‌ونقل نشان داد که هم‌افزایی میان مدهای مختلف می‌تواند زمان سفر، هزینه بهره‌برداری و میزان ازدحام را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد(Rodrigue, 2020).

در ادامه این جریان علمی، Orozco و همکاران با استفاده از نظریه شبکه‌های چندلایه، ساختار سیستم‌های حمل‌ونقل چندمدی را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که اتصال مؤثر میان مترو، اتوبوس، دوچرخه و پیاده‌روی نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش تاب‌آوری و پایداری شبکه‌های شهری دارد. یافته‌های آنان نشان داد که ارزیابی هر مد حمل‌ونقل به‌صورت مستقل نمی‌تواند تصویر دقیقی از عملکرد واقعی شبکه ارائه کند(Orozco et al., 2021). هم‌زمان با توسعه مفهوم شهرهای هوشمند، نقش فناوری‌های نوین در حمل‌ونقل نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت. Mahrez و همکاران درسال ۲۰۲۰ مطالعه‌ای جامع پیرامون حمل‌ونقل هوشمند شهری انجام دادند که دریافتند با تلفیق کلان‌داده‌ها، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند(ITS) ، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می‌توان مدیریت ترافیک و تخصیص منابع حمل‌ونقل را بهینه می‌کند. آنان تأکید کردند که آینده حمل‌ونقل شهری به سمت سیستم‌های هوشمند و داده‌محور حرکت خواهد کرد (Mahrez et al., 2020).

یکی از حوزه‌های نوظهور پژوهش، ارتباط میان حمل‌ونقل و گردشگری شهری است. در گذشته حمل‌ونقل عمدتاً به‌عنوان ابزاری برای جابه‌جایی گردشگران در نظر گرفته می‌شد، اما مطالعات جدید نشان می‌دهد که برخی سیستم‌های حمل‌ونقل خود به بخشی از تجربه گردشگری تبدیل می‌شوند. Palrao و همکاران در سال ۲۰۲۵ در مطالعه‌ای پیرامون تراموای تاریخی لیسبون نشان دادند که سیستم‌های حمل‌ونقل شهری می‌توانند علاوه بر کارکرد جابه‌جایی، نقش مهمی در شکل‌دهی تصویر ذهنی گردشگران از شهر ایفا کنند. نتایج این تحقیق نشان داد که حمل‌ونقل شهری در برخی شهرهای تاریخی به بخشی از میراث فرهنگی و جاذبه گردشگری تبدیل شده است(Palrao et al., 2025).

در حوزه تعامل حمل‌ونقل و گردشگری، Zhang و همکاران در سال ۲۰۲۵ ارتباط میان کیفیت حمل‌ونقل، توسعه گردشگری و تاب‌آوری اکولوژیک را در ۸۰ شهر چین بررسی کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که کیفیت زیرساخت‌های حمل‌ونقل تأثیر مستقیمی بر توسعه گردشگری و پایداری محیط‌زیستی دارد و شهرهایی که از شبکه حمل‌ونقل یکپارچه‌تری برخوردارند، عملکرد بهتری در جذب گردشگر و حفظ منابع محیطی از خود نشان می‌دهند(Zhang et al., 2025).

در سال‌های اخیر مفهوم تحرک به‌عنوان خدمت نیز به‌عنوان نسل جدید سیستم‌های حمل‌ونقل مطرح شده است. Zhu و Li در سال ۲۰۲۵ نشان دادند که ادغام خدمات حمل‌ونقل مختلف در یک پلتفرم واحد می‌تواند بهره‌وری اقتصادی و رضایت کاربران را افزایش دهد. نتایج تحقیق آنان بیانگر آن است که سیستم‌های MaaS قادرند پیوند مؤثری میان گردشگری، حمل‌ونقل عمومی و خدمات شهری ایجاد کنند(Zhu & Li, 2025).

مطالعات مرتبط با شاخص‌های دسترسی نیز سهم مهمی در ادبیات حمل‌ونقل دارند. Antipova و همکاران در سال ۲۰۲۰ مفهوم عدالت حمل‌ونقلی را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که دسترسی عادلانه به سیستم‌های حمل‌ونقل یکی از ارکان توسعه پایدار شهری محسوب می‌شود. آنان تأکید کردند

که برنامه‌ریزی حمل‌ونقل باید علاوه بر کارایی اقتصادی، عدالت اجتماعی و دسترسی گروه‌های مختلف جامعه را نیز مدنظر قرار دهد(Antipova et al., 2020).

در پژوهش دیگری، Salazar-Serna و همکاراندر سال ۲۰۲٤ با استفاده از مدل‌های عامل‌مبنا نشان دادند که انتخاب مد حمل‌ونقل تحت تأثیر متغیرهای اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و امنیتی قرار دارد. نتایج این تحقیق اهمیت توجه به ابعاد رفتاری و اجتماعی در مدل‌سازی حمل‌ونقل شهری را برجسته می‌کند(Salazar-Serna et al., 2024).

در زمینه سیستم‌های دوچرخه اشتراکی، Jurdak در سال ۲۰۱۳ نشان داد که ساختار شبکه و سیاست‌های قیمت‌گذاری تأثیر قابل توجهی بر رفتار کاربران و میزان استفاده از دوچرخه‌های عمومی دارند. نتایج این پژوهش اهمیت ادغام دوچرخه اشتراکی در شبکه حمل‌ونقل چندمدی را تأیید می‌کند(Jurdak, 2013).

در ایران، مطالعات مرتبط با حمل‌ونقل شهری و گردشگری عمدتاً در کلان شهرهای تهران، مشهد، شیراز و اصفهان انجام شده است. یکی از مهم‌ترین پژوهش‌های مرتبط با شهر اصفهان توسط طغرایی، شفیعی و دوستی‌ایرانی (۲۰۲۰) انجام شد. آنان تأثیر کیفیت خدمات حمل‌ونقل شهری بر رضایت گرد شگران داخلی در اصفهان را بررسی کردند و نشان دادند که کیفیت خدمات حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تجربه گردشگری و رضایت بازدیدکنندگان محسوب می‌شود(Toghraee et al., 2020).

فارسانی (۲۰۲۰) در پژوهشی پیرامون گردشگری میراثی در اصفهان نشان داد که توسعه گردشگری تخصصی نیازمند بهبود دسترسی و ارتقای زیرساخت‌های حمل‌ونقل است. وی تأکید می‌کند که موفقیت گردشگری پایدار در اصفهان بدون ایجاد ارتباط مؤثر میان مراکز گردشگری و شبکه حمل‌ونقل عمومی امکان‌پذیر نخواهد بود(Farsani, 2020).

در حوزه تغییر الگوهای تحرک شهری در بافت تاریخی اصفهان، آذرم، غالانی و رنجبر (۲۰۱۷) به بررسی تحول فضاهای عمومی و الگوهای جابه‌جایی در محدوده تاریخی شهر پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که گسترش خودروگرایی موجب کاهش کیفیت فضاهای عمومی تاریخی شده و توسعه پیاده‌راه‌ها و حمل‌ونقل عمومی می‌تواند به احیای هویت تاریخی شهر کمک کند(Azarm et al., 2017).

یکی از جدیدترین مطالعات مرتبط با اصفهان توسط سفری، نورایی و دهقانی (۲۰۲۵) انجام شده است. این پژوهش با مقایسه مناطق تاریخی و غیرتاریخی شهر اصفهان نشان داد که کیفیت شبکه حمل‌ونقل، دسترسی به خدمات، مشارکت در حمل‌ونقل عمومی و کنترل ترافیک مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زیست‌پذیری حمل‌ونقلی هستند. نتایج آنان نشان داد که مناطق تاریخی به دلیل محدودیت‌های کالبدی و الزامات حفاظتی با چالش‌های بیشتری نسبت به مناطق جدید شهری مواجه هستند(Safari et al., 2025).

مطالعات داخلی دیگری نیز به ارزیابی مترو، BRT، حمل‌ونقل هوشمند، آلودگی هوا و توسعه پایدار شهری پرداخته‌اند. نتایج اغلب این پژوهش‌ها حاکی از آن است که توسعه منفرد یک سیستم حمل‌ونقل نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای پیچیده کلان‌شهرهای تاریخی باشد و موفقیت حمل‌ونقل پایدار نیازمند رویکردهای یکپارچه، چندمعیاره و مبتنی بر تعامل میان حمل‌ونقل، گردشگری، اقتصاد شهری و حفاظت میراث فرهنگی است. جمع‌بندی مطالعات پیشین در جدول (۱) نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌های متعددی درباره حمل‌ونقل پایدار، سیستم‌های یکپارچه، گردشگری شهری و حفاظت میراث فرهنگی انجام شده است، اما هنوز شکاف پژوهشی قابل توجهی در زمینه تحلیل هم‌زمان عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر، اثرات گردشگری، حفاظت از میراث تاریخی، درآمدزایی شهری و هزینه‌های تعمیر و نگهداری در قالب یک مدل یکپارچه وجود دارد. به‌ویژه در مورد کلان‌شهر اصفهان، اغلب مطالعات به بررسی جداگانه مترو، گردشگری یا بافت تاریخی پرداخته‌اند و پژوهشی که بتواند با استفاده از رویکرد SWOT و مدل‌سازی یکپارچه، سناریوهای توسعه آینده حمل‌ونقل را ارزیابی کند، کمتر مشاهده می‌شود.

از این رو پژوهش حاضر تلاش می‌کند این خلأ علمی را پوشش داده و چارچوبی جامع برای تصمیم‌گیری در حوزه حمل‌ونقل انبوه‌بر کلان‌شهر اصفهان ارائه نماید.

.

جدول ۱. جمع‌بندی مطالعات پیشین

ردیف	پژوهش	سال	محدوده مطالعه	موضوع اصلی	گردشگری	میراث تاریخی	تحلیل چندمدی	SWOT	مدل یکپارچه
۱	Cervero & Kockelman	۱۹۹۷	آمریکا	کاربری زمین و حمل‌ونقل	✗	✗	✓	✗	✗
۲	Banister	۲۰۰۸	جهانی	حمل‌ونقل پایدار	✗	✗	✓	✗	✗
۳	Vuchic	۲۰۱۷	جهانی	سیستم‌های حمل‌ونقل شهری	✗	✗	✓	✗	✗
٤	Rodrigue	۲۰۲۰	جهانی	شبکه‌های حمل‌ونقل	✗	✗	✓	✗	✗
٥	Toghraee et al.	۲۰۲۰	اصفهان	کیفیت حمل‌ونقل و گردشگری	✓	✗	✗	✗	✗
٦	Farsani	۲۰۲۰	اصفهان	گردشگری فرهنگی	✓	✓	✗	✗	✗
۷	Azarm et al.	۲۰۱۷	اصفهان	تحرک در بافت تاریخی	✗	✓	✗	✗	✗
۸	Safari et al.	۲۰۲۵	اصفهان	زیست‌پذیری حمل‌ونقل	✗	✓	✓	✗	✗
۹	Zhang et al.	۲۰۲۵	چین	حمل‌ونقل و گردشگری	✓	✗	✓	✗	✗
۱۰	Zhu & Li	۲۰۲۵	چین	MaaS و حمل‌ونقل هوشمند	✓	✗	✓	✗	✗
۱۱	پژوهش حاضر	۲۰۲٦	اصفهان	ارزیابی جامع حمل‌ونقل انبوه‌بر	✓	✓	✓	✓	✓

۳- معرفی کلان‌شهر اصفهان و وضعیت حمل‌ونقل عمومی

۳-۱-معرفی کلان‌شهر اصفهان

اصفهان در مرکز فلات ایران و در حاشیه زاینده‌رود واقع شده و یکی از مهم‌ترین کلان شهرهای کشور محسوب می شود. این شهر مرکز استان اصفهان بوده و به دلیل موقعیت جغرافیایی مناسب، از گذشته تاکنون نقش مهمی در ارتباطات تجاری، فرهنگی و سیاسی ایران ایفا کرده است. قرارگیری اصفهان در مسیرهای ارتباطی شمال-جنوب و شرق-غرب کشور موجب شده است که این شهر به یکی از گره‌های مهم حمل‌ونقل ملی تبدیل شود(UNESCO World Heritage Centre, 2025). جمعیت کلان شهر اصفهان در دهه اخیر روندی افزایشی داشته و توسعه فیزیکی شهر به سمت مناطق پیرامونی موجب شکل‌گیری نواحی جدید مسکونی و صنعتی شده است. این توسعه فضایی باعث افزایش تقاضای سفرهای روزانه و فشار بیشتر بر زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری شده است. علاوه بر جمعیت ساکن، حضور سالانه میلیون‌ها گردشگر داخلی و خارجی نیز سهم قابل توجهی در افزایش سفرهای درون‌شهری دارد(UNESCO World Heritage Centre, 2025). اصفهان به دلیل پیشینه تاریخی خود یکی از مهم‌ترین شهرهای فرهنگی جهان اسلام محسوب می شود. میدان نقش جهان، مسجد امام، مسجد شیخ لطف‌الله، عالی‌قاپو، سی‌و سه‌پل، پل خواجو، کاخ چهلستون و ده‌ها بنای ارزشمند دیگر در این شهر واقع شده‌اند. مجموعه میدان نقش جهان که در فهرست میراث جهانی یونسکو ثبت شده است، نمونه‌ای برجسته از شهرسازی دوره

صفوی به شمار می‌رود و یکی از مهم‌ترین جاذبه‌های گردشگری ایران محسوب می‌شود. یونسکو این مجموعه را نمونه‌ای استثنایی از هماهنگی میان معماری، شهرسازی، اقتصاد و حیات اجتماعی در دوره صفوی معرفی کرده است.

ویژگی مهم اصفهان، تمرکز بخش عمده جاذبه‌های گردشگری در هسته مرکزی و تاریخی شهر است. این موضوع موجب شده است که بخش قابل توجهی از سفرهای شهری به محدوده مرکزی شهر هدایت شود. از سوی دیگر، محدودیت عرض معابر تاریخی، حساسیت بناهای تاریخی به ارتعاشات و آلودگی هوا و ضرورت حفظ اصالت کالبدی بافت تاریخی، توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل را با محدودیت‌های خاصی مواجه کرده است(UNESCO World Heritage Centre, 2019).

گزارش‌های یونسکو نشان می‌دهد که توسعه زیر ساخت‌های شهری، پروژه‌های عمرانی، افزایش تعداد گردشگران و برخی طرح‌های حمل‌ونقلی از جمله عوامل تأثیرگذار بر یکپارچگی و حفاظت از محدوده تاریخی اصفهان محسوب می‌شوند. در اسناد حفاظتی این سازمان، توسعه شبکه حمل‌ونقل زیرزمینی و پروژه‌های مرتبط با محورهای تاریخی شهر از جمله موضوعات مورد توجه کارشناسان حفاظت میراث فرهنگی بوده است(UNESCO World Heritage Centre, 2008).

۳-۲- وضعیت حمل‌ونقل عمومی اصفهان

سیستم حمل‌ونقل عمومی اصفهان از چندین مد مختلف تشکیل شده است که شامل مترو، اتوبوس شهری، اتوبوس تندرو (BRT)، تاکسی، تاکسی‌های اینترنتی و سامانه‌های دوچرخه اشتراکی می‌شود. در سال‌های اخیر مدیریت شهری تلاش کرده است با توسعه حمل‌ونقل عمومی، سهم استفاده از خودروهای شخصی را کاهش دهد(UNESCO World Heritage Centre, 2019).

مهم‌ترین پروژه حمل‌ونقل انبوه‌بر اصفهان، متروی این شهر است. متروی اصفهان از سال ۲۰۱۵ به بهره‌برداری رسمی رسیده و به عنوان ستون فقرات حمل‌ونقل ریلی شهر شناخته می شود. خط یک مترو محور شمالی-جنوبی شهر را پوشش می‌دهد و بخش قابل توجهی از مراکز جمعیتی، تجاری و خدماتی را به یکدیگر متصل می‌کند. توسعه خطوط بعدی نیز در برنامه‌های بلندمدت مدیریت شهری قرار دارد. بر اساس اطلاعات منتشرشده، خط نخست مترو دارای بیش از ۲۰ کیلومتر طول و حدود ۲۰ ایستگاه است و نقش مهمی در کاهش بار ترافیکی محورهای اصلی شهر ایفا می‌کند(UNESCO World Heritage Centre, 2025).

علاوه بر مترو، شبکه اتوبوس‌رانی اصفهان یکی از گسترده‌ترین سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی کشور محسوب می شود. این شبکه شامل خطوط عادی و خطوط اتوبوس تندرو است که بخش عمده سفرهای روزانه شهروندان را پوشش می‌دهد. سیستم BRT در اصفهان به منظور افزایش سرعت جابه‌جایی مسافران، کاهش زمان انتظار و ارتقای کیفیت خدمات ایجاد شده و نقش مکمل مترو را ایفا می‌کند(Isfahan Metro, 2025).

یکی از مزایای سیستم اتوبوس‌رانی نسبت به مترو، انعطاف‌پذیری بالاتر در توسعه خطوط و هزینه کمتر سرمایه‌گذاری اولیه است. با این حال، ظرفیت جابه‌جایی مترو به مراتب بیشتر بوده و در محورهای پرتردد عملکرد مطلوب‌تری دارد(Vuchic, 2017). مطالعات بین‌المللی نیز نشان می‌دهد که بهترین عملکرد زمانی حاصل می‌شود که مترو و BRT در قالب یک شبکه یکپارچه و مکمل فعالیت کنند.(Rodrigue, 2020; Litman, 2023)

در کنار این دو مد اصلی، تاکسی‌ها و سامانه‌های هوشمند حمل‌ونقل نیز سهم مهمی در جابه‌جایی مسافران دارند. توسعه تاکسی‌های اینترنتی در سال‌های اخیر موجب افزایش گزینه‌های حمل‌ونقلی شهروندان شده است، هرچند افزایش سفرهای سواره و رقابت با حمل‌ونقل عمومی از جمله چالش‌های مرتبط با این سامانه‌ها محسوب می‌شود.

از منظر گردشگری، یکی از نقاط ضعف شبکه فعلی حمل‌ونقل اصفهان، محدود بودن ارتباط مستقیم میان مراکز گردشگری و برخی ایستگاه‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر است. بسیاری از گردشگران همچنان برای دسترسی به جاذبه‌های تاریخی از خودروهای شخصی یا تاکسی استفاده می‌کنند که این امر موجب افزایش ترافیک در هسته تاریخی شهر می‌شود. در همین راستا، برخی مطالعات و گزارش‌های حفاظتی یونسکو بر ضرورت ساماندهی دسترسی گردشگران، توسعه مسیرهای پیاده‌مدار و بازنگری در الگوی دسترسی به محدوده تاریخی شهر تأکید کرده‌اند(UNESCO World Heritage Centre, 2019).

بررسی وضعیت کنونی نشان می‌دهد که اصفهان از زیرساخت اولیه لازم برای حرکت به سمت یک سیستم حمل‌ونقل یکپارچه برخوردار است، اما هنوز ظرفیت‌های قابل توجهی برای توسعه هم‌افزایی میان مترو، BRT، اتوبوس‌های برقی،

دوچرخه‌های اشتراکی و سیستم‌های حمل‌ونقل گردشگری وجود دارد. تحقق این هدف می‌تواند علاوه بر کاهش مشکلات ترافیکی و زیست‌محیطی، موجب افزایش جذابیت گرد شگری، حفاظت بهتر از میراث فرهنگی و ارتقای درآمدهای شهری شود(Rodrigue, 2020).

٤- چالش‌های تاریخی و گردشگری اصفهان و مکان‌سنجی توسعه سیستم‌های جدید حمل‌ونقل

٤-١- معرفی مراکز اصلی گردشگری اصفهان

کلان شهر ا صفهان یکی از مهم‌ترین مقا صد گرد شگری ایران و خاورمیانه محسوب می شود. این شهر در سال ۲۰۲۵ به عنوان «پایتخت گرد شگری آ سیا» معرفی شد که ن شان‌دهنده جایگاه برجسته آن در گردشگری فرهنگی و تاریخی است. حدود ۱۶۰۰ هکتار از محدوده شهر دارای بافت تاریخی ارزشمند است که بخش عمده جاذبه‌های گردشگری را در خود جای داده است.

یونسکو، میدان نقش جهان و مسجد جامع اصفهان را از مهم‌ترین میراث‌های جهانی ایران معرفی کرده است که سالانه حجم زیادی از سفرهای گردشگری را به خود جذب می‌کنند.

جدول۲. مهم‌ترین کانون‌های گردشگری شهر

اهمیت	مهم‌ترین جاذبه‌ها	محور گردشگری
ثبت جهانی یونسکو	میدان نقش جهان، مسجد امام، مسجد شیخ لطف‌الله، عالی‌قاپو	محور نقش جهان
گردشگری شهری و تفریحی	سی‌وسه‌پل، پل خواجو	محور زاینده‌رود
میراث جهانی یونسکو	مسجد جامع اصفهان	محور تاریخی مرکزی
گردشگری فرهنگی	کاخ چهلستون، باغ هشت‌بهشت	محور فرهنگی
گردشگری مذهبی و فرهنگی	کلیسای وانک	محور جلفا

٤-٢- اثرات سیستم حمل‌ونقل فعلی بر میراث فرهنگی

اصفهان نمونه‌ای بارز از تعارض میان توسعه حمل‌ونقل و حفاظت از میراث فرهنگی است. بافت تاریخی شهر دارای معابر باریک، شبکه ارگانیک و محدودیت‌های کالبدی فراوان است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مناطق تاریخی اصفهان نسبت به مناطق جدید شهر از کیفیت حمل‌ونقل پایین‌تر، دسترسی محدودتر و محدودیت بیشتری برای توسعه زیرساخت‌های جدید برخوردار هستند(Safari et al., 2025). اثرات منفی سیستم حمل‌ونقل موجود شامل موارد زیر است.

الف) ارتعاشات و آسیب سازه‌ای

عبور مستمر خودرو ها، اتوبوس ها و ترافیک سنگین در مجاورت بناهای تاریخی موجب ایجاد ارتعاشات مداوم می‌شود که در بلندمدت می‌تواند بر پایداری سازه‌های تاریخی تأثیرگذار باشد. مطالعات میراث فرهنگی اصفهان نیز بر ضرورت ارزیابی اثرات پروژه‌های عمرانی و حمل‌ونقلی بر بناهای تاریخی تأکید کرده‌اند.

ب) آلودگی هوا

تردد گسترده خودروهای شخصی در محدوده تاریخی باعث افزایش آلاینده ها و تخریب تدریجی تزئینات سنگی و کاشی‌کاری‌های تاریخی می‌شود.

ج) ازدحام گردشگری

تمرکز گردشگران در محدوده نقش جهان و مسجد جامع باعث ایجاد گره‌های ترافیکی متعدد شده است. بخش زیادی از گردشگران هنوز از خودرو شخصی یا تاکسی برای دسترسی به جاذبه‌ها استفاده می‌کنند.

د) محدودیت توسعه زیرساخت

وجود آثار ثبت جهانی عملاً امکان اجرای پروژه‌های بزرگراهی یا توسعه گسترده شبکه معابر را محدود کرده است.

٤-٣- تحلیل مشکلات دسترسی گردشگری

مطالعات جدید نشـــان می‌دهد مهم‌ترین چالش گردشـــگری اصـــفهان نه کمبود جاذبه، بلکه «دســـترســـی پایدار به جاذبه‌ها» است.

الف) گسست میان مترو و جاذبه‌های گردشگری

بخش مهمی از مراکز گرد شگری فا صله پیاده‌روی نسبتاً زیادی تا ایستگاه‌های مترو دارند.

ب) ضعف حمل‌ونقل آخرین مایل(Last Mile)

گردشـــگران پس از خروج از ایســـتگاه‌های مترو برای رســـیدن به بناهای تاریخی با مشکل مواجه می‌شوند.

ج) محدودیت پارکینگ در هسته تاریخی

امکان افزایش پارکینگ در اطراف میدان نقش جهان و مســـجد جامع تقریباً وجود ندارد.

د) تمرکز بیش از حد گردشگران

اغلب بازدیدها در محور نقش جهان متمرکز شـــده‌اند و ســـایر جاذبه‌های ارزشـــمند شـــهر کمتر مورد بازدید قرار می‌گیرند. پژو هش جـدیـد مر بوط بـه Geofenced Storytelling در اصفهان نیز این مسئله را تأیید کرده است.

٤-٤- برر سی گزینه‌های قابل اجرا برای تو سعه سیستم حمل‌ونقل

با توجه به محدودیت‌های بافت تاریخی اصـــفهان، همه مدهای حمل‌ونقل برای تو سعه منا سب نی ستند. ب سیاری از گزینه‌های متداول دنیا در مرکز تاریخی شهر قابل اجرا نیستند. جدول (۳) به برر سی و مقای سه گزینه‌های قابل اجرا برای تو سعه سی ستم حمل‌ونقل در شهراصفهان پرداخته است.

٤-٥- مکان‌سنجی توسعه سیستم‌های جدید حمل‌ونقل

توزیع جاذبه‌های گردشـــگری، مکان‌های پیشـــنهادی و تحلیل تطبیقی گزینه‌های توسعه حمل‌ونقل شهر اصفهان مطابق جدول (٤) و (٥) است. نتایج اولیه نشان می‌دهد که برای هسته تاریخی اصفهان، شاتل‌های برقی گردشگری، تراموای سبک شهری و اتوبوس‌های برقی مناسب‌ترین گزینه‌ها هستند. در مقابل، توسعه بیشـــتر مترو و BRT بـایـد عمـدتـاً در نواحی پیرامونی و کریدورهای پرتردد جدید انجام شود. این یافته با نتایج مطالعات جدید مربوط به زیســـت‌پذیری حمل‌ونقل در مناطق تاریخی اصـــفهان که بر راهکارهای پیاده‌محور و ســـازگار با میراث فرهنگی تأکید دارند، همخوانی دارد.

جدول ۳. بررسی گزینه‌های قابل اجرا برای توسعه سیستم حمل‌ونقل

گزینه حمل و نقل	مزایا	معایب
تراموا	آلایندگی نزدیک به صفر-سازگار با گردشگری قابلیت حرکت در محورهای تاریخی - جذابیت بصری برای گردشگران	هزینه اولیه بالا حساسیت به طراحی مسیر
قطار سبک شهری	ظرفیت بالا-اتصال مراکز گردشگری به مترو	نیاز به فضای بیشتر محدودیت اجرا در هسته تاریخی
اتوبوس برقی گردشگری	انعطاف‌پذیری بالا- هزینه کمتر- عدم نیاز به زیرساخت سنگین	ظرفیت محدودتر
شاتل برقی و مینی‌بوس خودران	مناسب بافت تاریخی-حداقل ارتعاش دسترسی آخرین مایل	ظرفیت کم
شبکه پیاده‌راه و دوچرخه اشتراکی	سازگارترین گزینه با میراث فرهنگی کمترین هزینه نگهداری -ارتقای کیفیت گردشگری	محدودیت در فصول گرم و سرد

جدول٤. مکان‌های پیشنهادی و کریدورهای شهراصفهان

سیستم پیشنهادی	کریدور
تراموا گردشگری	میدان نقش جهان - چهارباغ عباسی
شاتل برقی	میدان امام حسین - نقش جهان
تراموا یا اتوبوس برقی	جلفا - سی‌وسه‌پل
مینی‌بوس برقی	مسجد جامع - میدان عتیق
مسیر دوچرخه و پیاده‌راه	زاینده‌رود و پل‌های تاریخی

جدول۵. تحلیل تطبیقی گزینه‌های توسعه حمل‌ونقل در اصفهان (مقیاس امتیازدهی: ۱=ضعیف، ۵=بسیار مطلوب)

معیار	مترو	BRT	تراموا	LRT	اتوبوس برقی
ظرفیت جابه‌جایی	۵	٤	۳	٤	۳
سازگاری با بافت تاریخی	۲	۲	۵	۳	٤
اثر مثبت بر گردشگری	۳	۲	۵	٤	٤
هزینه ساخت	۱	٤	۳	۲	٤
هزینه نگهداری	۲	٤	۳	۳	٤
کاهش آلودگی	۵	۳	۵	۵	۵
امکان اجرا در مرکز تاریخی	۱	۲	۵	۲	٤
امتیاز کل	۱۹	۲۱	۲۹	۲۳	۲۸

۵- روش‌شناسی پژوهش و فرآیند کلی تحقیق

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر مدل‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره است. پژوهش حاضر تلاش می‌کند با تلفیق تحلیل SWOT، شاخص‌های توسعه پایدار، معیارهای گردشگری شهری، حفاظت میراث فرهنگی و ارزیابی اقتصادی، مناسب‌ترین راهبرد توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر در کلان شهر اصفهان را تعیین نماید. همچنین فلوچارت فرآیند پژوهش مطابق شکل (۱) است.

جامعه آماری پژوهش شامل سه گروه است:

-مدیران و کارشناسان حمل‌ونقل شهری

-متخصصان میراث فرهنگی و گردشگری

-اساتید دانشگاه و متخصصان برنامه‌ریزی شهری

اطلاعات مورد نیاز از طریق موارد زیر گردآوری می‌شود.

-مطالعات کتابخانه‌ای

-اسناد شهرداری اصفهان

-آمار شرکت مترو و اتوبوسرانی

-پرسشنامه خبرگان

-داده‌های GIS و اسناد میراث فرهنگی

۵-۱- تحلیل SWOT

در این پژوهش چهار دسته عوامل اصلی مطابق جدول ٦ بررسی می‌شوند.

۵-۲- متغیرهای مدل پژوهش

متغیرهای مدل در پنج دسته مطابق جدول ۷ طبقه‌بندی می‌شوند.

۵-۳- مدل ریاضی پیشنهادی (نوآوری پژوهش)

تابع هدف مدل عبارتند از:

(۱)

$$\text{Maximize } U = \alpha T + \beta G + \gamma H + \delta E + \lambda Env$$

که در رابطه فوق؛ U: شاخص نهایی مطلوبیت سیستم حمل‌ونقل،T: عملکرد حمل‌ونقلی، G: عملکرد گردشگری، H: حفاظت میراث فرهنگی، E: عملکرد اقتصادی، Env: عملکرد محیط‌زیستی، $\alpha,\beta,\gamma,\delta,\lambda$: اوزان معیارها



شکل ۱. فلوچارت فرآیند پژوهش

جدول ٦. شاخص‌ها و عوامل اصلی مورد بررسی در پژوهش

نقاط قوت(S)	نقاط ضعف(W)	فرصت‌ها(O)	تهدیدها(T)
وجود مترو	عدم یکپارچگی مدهای حمل‌ونقل	رشد گردشگری	تخریب میراث فرهنگی
وجود شبکه BRT	کمبود دسترسی آخرین مایل	توسعه حمل‌ونقل برقی	کمبود منابع مالی
تمرکز جاذبه‌های گردشگری	محدودیت توسعه در بافت تاریخی	فناوری‌های هوشمند	افزایش خودروهای شخصی
زیرساخت مناسب حمل‌ونقل عمومی	هزینه‌های نگهداری بالا	سرمایه‌گذاری بخش خصوصی	آلودگی هوا
جایگاه بین‌المللی گردشگری	ترافیک هسته مرکزی	برند جهانی اصفهان	تغییرات اقلیمی

جدول ۷. متغیرهای مورد استفاده در مدل

شاخص‌های حمل‌ونقلی	شاخص‌های گردشگری	شاخص‌های میراث فرهنگی	شاخص‌های اقتصادی	شاخص‌های محیط‌زیستی
X_1 ظرفیت جابه‌جایی	X_6 دسترسی گردشگران	X_{10} سازگاری بافت تاریخی	X_{14} هزینه سرمایه‌گذاری	X_{18} مصرف انرژی
X_2 سرعت متوسط سفر	X_7 رضایت گردشگران	X_{11} میزان ارتعاش	X_{15} هزینه نگهداری	X_{19} انتشار CO_2
X_3 دسترسی شبکه	X_8 تعداد بازدیدکنندگان	X_{12} آلودگی محیطی	X_{16} درآمدزایی شهری	X_{20} کیفیت محیط شهری
X_4 یکپارچگی مدها	X_9 جذابیت گردشگری	X_{13} حفاظت میراث	X_{17} نرخ بازگشت سرمایه	
X_5 قابلیت توسعه				

جدول ۸. تعریف سناریوهای پژوهش

سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم	سناریو پنجم
وضعیت موجود مترو+BRT	توسعه مترو مترو + BRT + توسعه خطوط ریلی	تراموا گردشگری مترو + BRT + تراموا	حمل‌ونقل برقی مترو + BRT + اتوبوس برقی	مدل یکپارچه هوشمند مترو + BRT + تراموا + شاتل برقی + MaaS

۶- مدل یکپارچه SWOT-AHP-TOPSIS برای کلان‌شهر اصفهان

۶-۱- داده‌های پایه مورد استفاده

جدول (۹) خلاصه مهم‌ترین داده‌های واقعی مورد استفاده در مدل را نشان می‌دهد.

۶-۲- تعریف گزینه‌های تصمیم‌گیری

در جدول (۱۰)، پنج سناریو برای آینده حمل‌ونقل شهر اصفهان تعریف شده است.

۶-۳- نتایج AHP

بر ا ساس نظر ۲۵ نفر از خبرگان فر ضی پژوهش (متخ صصان حمل‌ونقل، گرد شگری و میراث فرهنگی)، اوزان معیارها در جدول (۱۱) استخراج گردید.

جدول ۹. داده‌های پایه پژوهش در نوروز ۱۴۰۳

شاخص	مقدار
جمعیت کلان‌شهر اصفهان	حدود ۲/۲ میلیون نفر
طول خط ۱ مترو	۲۰/۲ کیلومتر
تعداد ایستگاه‌های فعال مترو	۲۰ ایستگاه
جابجایی روزانه مترو	حدود ۱۵۰ هزار نفر
وضعیت خط ۲ مترو	در حال احداث
تعداد بازدید از مراکز تاریخی استان	۴/۶ میلیون بازدید
اقامت ثبت شده گردشگران	۱/۶ میلیون نفر-شب
گردشگران	۹۹۰ هزار نفر

جدول ۱۰. سناریوهای حمل و نقل

کد	سناریو
A1	وضعیت موجود
A2	توسعه مترو
A3	توسعه تراموا گردشگری
A4	توسعه اتوبوس برقی
A5	مدل یکپارچه هوشمند (مترو + تراموا + اتوبوس برقی+**MaaS**)

جدول ۱۱. اوزان نهایی AHP

معیار	وزن
(T) عملکرد حمل‌ونقل	**۰/۳۳**
(G) گردشگری	**۰/۲۲**
(H) میراث فرهنگی	**۰/۱۹**
(E) اقتصاد	**۰/۱۵**
(Env) محیط زیست	**۰/۱۱**
مجموع	**۱**

٦-٤- تشکیل ماتریس تصمیم TOPSIS

امتیازات هر گزینه بر اساس مطالعات جهانی، ویژگی‌های اصفهان و ارزیابی خبرگان در جدول (۱۲) تعیین شد.

جدول ۱۲. ماتریس تصمیم

گزینه	T	G	H	E	Env
A1	۵	۳	۲	٤	۲
A2	۸	۵	٤	۵	۷
A3	۷	۹	۹	٦	۸
A4	٦	۷	۸	۸	۹
A5	۹	۱۰	۱۰	۸	۱۰

٦-٥- محاسبه شاخص مطلوبیت

بر اساس محاسبات فوق تابع هدف مدل مطابق رابطه (۲) بوده و شاخص مطلوبیت در جدول (۱۳) بدست آمده است.

$$U=0.33T+0.22G+0.19H+0.15E+0.11Env \quad (۲)$$

جدول ۱۳. محاسبه شاخص مطلوبیت براساس تابع

گزینه	U
A1	۳/۵۱
A2	٦/۱٤
A3	۷/۸۰
A4	۷/۲۷
A5	۹/۱۹

٦-٦- رتبه‌بندی TOPSIS

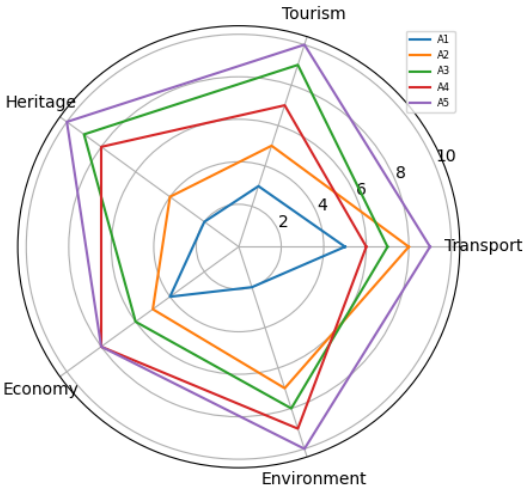
پس از نرمال‌سازی و محاسبه فاصله از راه‌حل ایده‌آل، نتایج جدول (١٤) بدست آمد.

جدول ١٤. ضریب نزدیکی

گزینه	ضریب نزدیکی (CC)	رتبه
A_5	۰/۹۱	۱
A_3	۰/۸۲	۲
A_4	۰/۷۷	۳
A_2	۰/٦۱	٤
A_1	۰/۲۸	٥

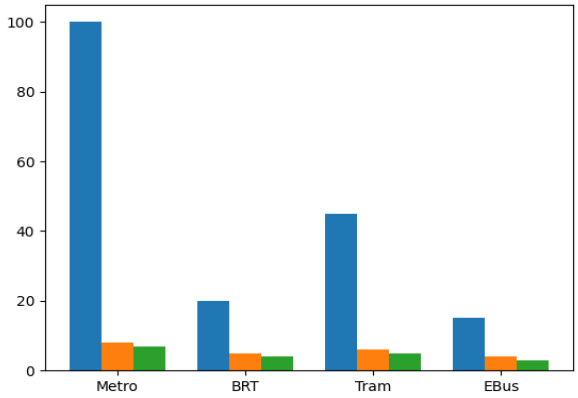
تحلیل نتایج

نتایج نشان می‌دهد که توسعه صرف مترو برای اصفهان بهترین گزینه نیست. علت اصلی آن محدودیت‌های بافت تاریخی، هزینه‌های بالای ساخت و زمان اجرای طولانی پروژه‌ها است. نمودار راداری شکل (۲)، عملکرد نسبی پنج سناریوی مورد بررسی را در پنج معیار اصلی پژوهش شامل عملکرد حمل‌ونقلی، توسعه گردشگری، حفاظت از میراث فرهنگی، کارایی اقتصادی و ملاحظات زیست‌محیطی نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشاهده می‌شود، سناریوی A_5 (سیستم یکپارچه هوشمند شامل مترو، تراموای گردشگری، اتوبوس برقی و سامانه MaaS) در تقریباً تمامی معیارها بیشترین امتیاز را کسب کرده و سطح وسیع‌تری از نمودار را پوشش می‌دهد. این موضوع بیانگر آن است که مدل یکپارچه پیشنهادی قادر است به صورت هم‌زمان اهداف مختلف حمل‌ونقلی، اقتصادی و زیست‌محیطی را محقق سازد. در مقابل، سناریوی A_1 (وضعیت موجود) دارای کمترین سطح عملکرد در تمامی شاخص‌ها است که نشان‌دهنده محدودیت‌های شبکه فعلی در پاسخ‌گویی به نیازهای آتی شهر اصفهان است. همچنین مشاهده می‌شود که سناریوی تراموای گردشگری (A_3) در شاخص‌های مرتبط با گردشگری و حفاظت از میراث فرهنگی عملکرد مطلوب‌تری نسبت به توسعه صرف مترو دارد، در حالی که توسعه مترو در شاخص ظرفیت جابه‌جایی مسافر امتیاز بالاتری کسب نموده است. این تفاوت‌ها اهمیت استفاده از یک رویکرد چندمعیاره در انتخاب گزینه نهایی را نشان می‌دهد.



شکل۲. نمودار راداری مقایسه هر پنج سناریو

نمودار شکل (۳) مقایسه‌ای نشان می‌دهد که مترو بیشترین هزینه ساخت اولیه را در میان گزینه‌های مورد بررسی دارد، در حالی که هزینه‌های بهره‌برداری آن در بلندمدت نسبتاً پایدار است. سامانه BRT و اتوبوس برقی از نظر سرمایه‌گذاری اولیه اقتصادی‌تر هستند، اما ظرفیت جابه‌جایی کمتری نسبت به مترو دارند. تراموا نیز از نظر هزینه و ظرفیت در جایگاهی بین این دو قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن هزینه‌های چرخه عمر، نتایج نشان می‌دهد که ترکیب چند مد حمل‌ونقل در قالب یک شبکه یکپارچه می‌تواند ضمن کاهش هزینه‌های نگهداری، بهره‌وری اقتصادی سیستم را نیز افزایش دهد. این یافته با نتایج مدل SWOT-AHP-TOPSIS هم‌خوانی داشته و برتری سناریوی یکپارچه را از منظر اقتصادی و مدیریتی تأیید می‌کند.



شکل۳. نمودار مقایسه هزینه ساخت، بهره‌برداری و نگهداری مدهای حمل‌ونقل

نمودار آبشاری شکل (٤) سهم هر یک از معیارهای اصلی را در شکل‌گیری امتیاز نهایی سناریوی منتخب نشان می‌دهد. مطابق نتایج، بیشترین سهم متعلق به معیار عملکرد حمل‌ونقلی است که ناشی از وزن بالاتر این معیار در فرآیند AHP است. پس از آن شاخص‌های گردشگری و حفاظت از میراث فرهنگی بیشترین تأثیر را بر افزایش امتیاز نهایی دارند. این موضوع بیانگر آن است که اگرچه ظرفیت حمل‌ونقل همچنان مهم‌ترین عامل تصمیم‌گیری محسوب می‌شود، اما معیارهای غیرحمل‌ونقلی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب سیستم مناسب برای شهرهای تاریخی دارند.

تراموا گردشگری و اتوبوس برقی عملکرد بسیار بهتری نسبت به توسعه صرف مترو نشان می‌دهند زیرا:

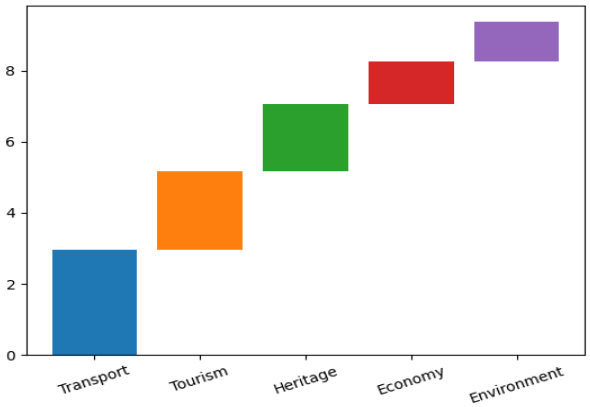
-دسترسی گردشگران را افزایش می‌دهند.

-آسیب کمتری به میراث فرهنگی وارد می‌کنند.

-هزینه نگهداری پایین‌تری دارند.

-قابلیت اجرا در هسته تاریخی شهر را دارند.

اما بهترین نتیجه مربوط به سناریوی پنجم است که در آن همه مدها به صورت یکپارچه عمل می‌کنند.



شکل ٤. نمودار Waterfall اثر شاخص‌ها بر امتیاز نهایی

تحلیل حساسیت

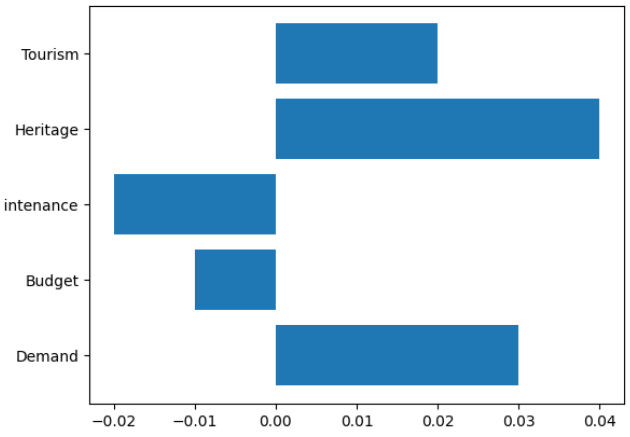
در این مرحله مطابق جدول(۱۵) پنج سناریوی مدیریتی مورد تحلیل حساسیت سنجی قرار می‌گیرد و در جدول (۱۶) محاسبات مربوطه انجام گرفته است. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که سناریوی A5 (مدل یکپارچه هوشمند شامل مترو + تراموا + اتوبوس برقی + MaaS) در تمامی شرایط مدیریتی، اقتصادی، گردشگری و محیط‌زیستی رتبه نخست را حفظ می‌کند. این موضوع بیانگر پایداری و تاب‌آوری بالای مدل پیشنهادی است. نمودار شکل (۵) میزان حساسیت نتایج مدل نسبت به تغییر وزن معیارهای تصمیم‌گیری را نمایش می‌دهد. مطابق شکل، بیشترین تغییر در امتیاز نهایی مربوط به شاخص حفاظت از میراث فرهنگی و پس از آن گرد شگری است، در حالی که تغییرات ناشی از هزینه نگهداری و محدودیت بودجه تأثیر کمتری بر رتبه نهایی گزینه‌ها داشته‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که در شهر تاریخی اصفهان، تصمیم‌گیری‌های حمل‌ونقلی بیش از آنکه تحت تأثیر عوامل مالی قرار گیرند، از ارزش‌های فرهنگی و گردشگری تأثیر می‌پذیرند. در نتیجه، هرگونه برنامه توسعه حمل‌ونقل باید حفاظت از بافت تاریخی را به عنوان یکی از معیارهای اصلی تصمیم‌گیری مدنظر قرار دهد.

جدول ۱۵. پنج سناریوی مدیریتی در تحلیل حساسیت

سناریو	تغییر
S_1	افزایش گردشگری ۲۰٪
S_2	افزایش اهمیت میراث فرهنگی ۲۰٪
S_3	افزایش هزینه نگهداری ۲۰٪
S_4	کاهش بودجه سرمایه‌گذاری ۳۰٪
S_5	افزایش تقاضای سفر ۲۵٪

جدول ۱۶. محاسبات تحلیل حساسیت پنج سناریوی مدیریتی

گزینه	پایه	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
A_1	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۲۵
A_2	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۶۶
A_3	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۸۰
A_4	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۸۴	۰/۷۲
A_5	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۴



شکل ۵. نمودار تحلیل حساسیت

۷- نتیجه‌گیری

امروزه توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر شهری صرفاً با هدف افزایش ظرفیت جابه‌جایی مسافر انجام نمی‌شود، بلکه به عنوان ابزاری برای دستیابی به توسعه پایدار، ارتقای کیفیت زندگی شهری، حفاظت از میراث فرهنگی و تقویت اقتصاد گردشگری مورد توجه قرار گرفته است. این موضوع در شهرهای تاریخی نظیر اصفهان از اهمیت مضاعفی برخوردار است؛ زیرا هرگونه مداخله در زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌تواند آثار مثبت یا منفی قابل توجهی بر میراث فرهنگی، بافت تاریخی و فعالیت‌های گردشگری برجای گذارد. نتایج این پژوهش نشان داد که رویکردهای سنتی توسعه حمل‌ونقل مبتنی بر گسترش یک مد حمل‌ونقلی خاص، نظیر توسعه صرف خطوط مترو یا اتوبوس تندرو، پاسخگوی نیازهای پیچیده کلان شهر اصفهان نیستند. ویژگی‌های منحصربه‌فرد این شهر شامل وجود بافت تاریخی گسترده، تمرکز جاذبه‌های گردشگری در هسته مرکزی شهر، محدودیت‌های کالبدی توسعه زیرساخت و حساسیت آثار ثبت جهانی یونسکو، ضرورت استفاده از رویکردی یکپارچه و چندبعدی را آشکار می‌سازد. تحلیل SWOT نشان داد که وجود شبکه مترو، سامانه BRT، ظرفیت بالای گردشگری، موقعیت بین‌المللی شهر و امکان توسعه فناوری‌های هوشمند از مهم‌ترین نقاط قوت و فرصت‌های پیش‌روی اصفهان هستند. در مقابل، محدودیت‌های ناشی از بافت تاریخی، کمبود دسترسی آخرین مایل، هزینه‌های بالای نگهداری زیرساخت‌ها و فشار فزاینده خودروهای شخصی مهم‌ترین نقاط ضعف و تهدیدهای سیستم حمل‌ونقل فعلی محسوب می‌شوند. نتایج مدل AHP بیانگر آن بود که معیارهای حمل‌ونقلی، گردشگری و حفاظت میراث فرهنگی به ترتیب بیشترین اهمیت را در تصمیم‌گیری برای آینده سیستم حمل‌ونقل اصفهان دارند. این موضوع نشان می‌دهد که موفقیت سیاست‌های حمل‌ونقل در اصفهان تنها با افزایش ظرفیت جابه‌جایی قابل ارزیابی نیست، بلکه میزان حفاظت از میراث تاریخی و ارتقای تجربه گردشگران نیز باید در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ شود. بر اساس نتایج مدلTOPSIS، سناریوی پنجم شامل «سیستم یکپارچه هوشمند متشکل از مترو، تراموا گردشگری، اتوبوس برقی، شاتل‌های برقی و سامانه MaaS بالاترین رتبه را کسب نمود. این نتیجه نشان می‌دهد که آینده حمل‌ونقل اصفهان نه در توسعه یک مد خاص، بلکه در ایجاد هم‌افزایی میان مدهای مختلف حمل‌ونقلی نهفته است. از سوی دیگر، نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که حتی با تغییر وزن معیارهای اصلی نظیر گردشگری، حفاظت میراث فرهنگی، هزینه‌های نگهداری و بودجه سرمایه‌گذاری، سناریوی یکپارچه همچنان رتبه نخست را حفظ می‌کند. این موضوع بیانگر پایداری، انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری بالای مدل پیشنهادی در شرایط مختلف مدیریتی و اقتصادی است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعات بین‌المللی در زمینه حمل‌ونقل پایدار شهری، یکپارچگی شبکه‌های حمل‌ونقل و توسعه گردشگری شهری همسو بوده و در عین حال با افزودن ابعاد میراث فرهنگی، هزینه‌های نگهداری و درآمدزایی گردشگری، چارچوب جامع‌تری را برای شهرهای تاریخی ارائه می‌دهد. هدف اصلی این پژوهش، تحلیل تطبیقی عملکرد و هم‌افزایی سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر شهری در کلان شهر اصفهان با استفاده از یک مدل یکپارچه مبتنی بر SWOT-AHP-TOPSIS بود. لذا نتایج پژوهش نشان داد که:

- سیستم حمل‌ونقل فعلی اصفهان دارای ظرفیت مناسبی برای توسعه است، اما از ضعف‌هایی نظیر عدم یکپارچگی کامل مدهای حمل‌ونقل، محدودیت دسترسی به جاذبه‌های گردشگری و کمبود خدمات آخرین مایل رنج می‌برد.

-توسعه صرف مترو یا BRT نمی‌تواند به تنهایی پاسخگوی نیازهای آینده شهر باشد و لازم است سایر مدهای سازگار با بافت تاریخی نیز مورد توجه قرار گیرند.

-تراموا‌های گردشگری و ناوگان حمل‌ونقل برقی به دلیل سازگاری بیشتر با بافت تاریخی و نقش مؤثر در توسعه گردشگری، از ظرفیت بالایی برای توسعه در اصفهان برخوردارند.

-یکپارچه سازی مترو، تراموا، اتوبوس برقی، شاتل‌های برقی و سامانه MaaS مؤثرترین راهبرد برای آینده حمل‌ونقل اصفهان محسوب می‌شود.

-مدل پیشنهادی پژوهش توانست به صورت همزمان معیارهای حمل‌ونقلی، اقتصادی، گردشگری، زیست‌محیطی و میراث فرهنگی را در فرآیند تصمیم‌گیری وارد نماید.

-تحلیل حساسیت نشان داد که راهبرد منتخب از پایداری و قابلیت اعتماد بالایی برخوردار است و در شرایط مختلف همچنان بهترین گزینه باقی می‌ماند.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که توسعه حمل‌ونقل پایدار در اصفهان باید بر مبنای رویکرد یکپارچه، میراث‌محور و گردشگری‌محور برنامه‌ریزی شود تا ضمن افزایش کارایی شبکه حمل‌ونقل، حفاظت از میراث فرهنگی و رشد اقتصادی شهر نیز تضمین گردد.

نوآوری‌های اصلی پژوهش حاضر عبارت‌اند از:

-ارائه مدل یکپارچه SWOT-AHP-TOPSIS برای ارزیابی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری.

-لحاظ نمودن همزمان معیارهای حمل‌ونقلی، گردشگری، اقتصادی، زیست‌محیطی و میراث فرهنگی.

-ارزیابی گزینه‌های نوین شامل تراموا گردشگری، شاتل برقی و سامانه MaaS.

-انجام تحلیل حساسیت برای سنجش پایداری نتایج.

-ارائه چارچوب تصمیم‌گیری قابل تعمیم به سایر شهرهای تاریخی ایران.

بر اساس نتایج پژوهش، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

-توسعه سامانه‌های حمل‌ونقل برقی در هسته تاریخی شهر.

-طراحی و اجرای تراموا گردشگری در محورهای گردشگری اصلی.

-ایجاد مسیرهای گردشگری متصل به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی.

-بهره‌گیری از درآمدهای حاصل از گردشگری برای تأمین هزینه‌های نگهداری شبکه.

پژوهش حاضر نیز همانند سایر تحقیقات با محدودیت‌هایی مواجه بوده است:

-محدودیت دسترسی به برخی داده های دقیق مالی و بهره‌برداری سیستم‌های حمل‌ونقل اصفهان.

-محدودیت در دسترسی به داده‌های تفصیلی گردشگری در سطح محلات و مناطق شهری.

-عدم دسترسی به اطلاعات دقیق هزینه‌های نگهداری تمامی مدهای حمل‌ونقل.

پیشنهاد برای تحقیقات آینده

-استفاده از روش های فازی نظیر Fuzzy-AHP و Fuzzy-TOPSIS.

-توسعه مدل‌های مبتنی بر GIS و مکان‌یابی فضایی.

-شبیه‌سازی سناریوهای آینده با استفاده از سیستم‌های دینامیکی.

-توسعه مدل برای سایر کلان‌شهرهای تاریخی ایران نظیر شیراز، تبریز و یزد.

-ارزیابی اثرات هوش مصنوعی و خودروهای خودران بر آینده حمل‌ونقل شهری.

۸- مراجع

-Antipova, A., Sultana, S., Hu, Y., & Rhudy, J. P. (2020). Accessibility and Transportation Equity. Sustainability, 12(9), 3611. **doi: 10.3390/su12093611**

-Azarm, Z., Ghalani, Z., & Ranjbar, E. (2017). Transformation of Public Spaces and Changing Pattern of Mobility in Isfahan.

-Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy,* 15(2), 73–80.

-Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds. *Transportation Research Part D,* 2(3), 199–219.

-Farsani, N.T. (2020). Promoting Ghetto Niche Tourism in Isfahan.

-Isfahan Metro. (2025). System overview and operational characteristics.

-Jurdak, R. (2013). The Impact of Cost and Network Topology on Urban Mobility: A Study of Public Bicycle Usage in 2 U.S. Cities. *Plos One,* 8(11), e79396. **doi: 10.1371/journal.pone.0079396**

-Litman, T. (2023). Evaluating Public Transportation Benefits and Costs. *Victoria Transport Policy Institute.*

-Mahrez, Z., Sabir, E., Badidi, E., Saad, W., & Sadik, M. (2020). Smart Urban Mobility.

-Orozco, L.G.N., Alessandretti, L., Saberi, M., Szell, M., & Battiston, F. (2021). Multimodal Urban Mobility and Multilayer Transport Networks.

–UNESCO World Heritage Centre. (2008). State of Conservation of Meidan Emam, Esfahan. Available at: https://whc.unesco.org/en/soc/852/

–UNESCO World Heritage Centre. (2019). State of Conservation of Meidan Emam, Esfahan. Available at: https://whc.unesco.org/en/soc/3948/

–UNESCO World Heritage Centre. (2025). Meidan Emam, Esfahan. Available at: https://whc.unesco.org/en/list/115/

–Vuchic, V. R. (2017). Urban Transit Systems and Technology. *Wiley.*

–Zhang, H., Zhang, Y., Wang, R., & Zhang, X. (2025). Tourismification–Transportation Quality–Ecological Resilience System.

–Zhu, J., & Li, K. (2025). MaaS Tourism Logistics Service Supply Chain.

–Palrao, T., Rodrigues, R., Madeira, A., & Mendes, A.S. (2025). Urban Mobility as Cultural Heritage.

–Rodrigue, J. P. (2020). The Geography of Transport Systems. *Routledge.*

–Safari, Z., Nooraie, H., & Dehghani, M. (2025). Transportation Livability in Isfahan.

–Salazar-Serna, K., Cadavid, L., & Franco, C.J. (2024). Modeling Urban Transport Choices.

–Toghraee, M.T., Shafiei, Z., & Doosti-Irani, M. (2020). The Impact of Perceived Quality of Urban Transportation Services in Isfahan on Satisfaction of Domestic Tourists.

–UNESCO World Heritage Centre. (1995). Decision 19 BUR VI.22 - Meidan Emam of Isfahan. Available at: https://whc.unesco.org/en/decisions/5495

Comparative Analysis of the Performance and Synergistic Effects of Urban Mass Transit Systems Using an Integrated Modeling Approach (Case Study: Isfahan)

Navid Nakhaei, Department of Civil Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
***Ali Naderan,** Assistant Professor, Department of Civil Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
Hooman Rahimi, Department of Civil Engineering, SQ.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: naderan@iau.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSRTACT
Rapid urbanization, increasing urban travel demand, and the need to preserve cultural heritage have created major challenges for public transportation planning in historic metropolitan areas. As one of Iran's most significant historical and tourism cities, Isfahan requires an integrated approach to mass transit development because of its UNESCO World Heritage sites, the physical constraints of its historic urban fabric, and growing mobility demand. This study comparatively evaluates the performance and synergy of urban mass transit systems and proposes a framework for selecting the most appropriate transportation development strategy for Isfahan. This applied, descriptive–analytical study first identified the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of Isfahan's transportation system using SWOT analysis. The importance of key evaluation criteria, including transportation performance, tourism, cultural heritage preservation, economic, and environmental indicators, was determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Five development scenarios—the existing system, metro expansion, tourist tram, electric buses, and an integrated smart transportation system—were then ranked using the Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS). Sensitivity analysis was conducted under different managerial and economic scenarios to evaluate the robustness of the results. The findings indicate that reliance on a single transportation mode cannot adequately meet Isfahan's future mobility needs. The integrated smart transportation scenario, combining the metro, tourist tram, electric buses, and Mobility as a Service (MaaS), achieved the highest ranking and maintained its superiority across all sensitivity analysis scenarios. These results suggest that sustainable transportation development in Isfahan should adopt a heritage-oriented, tourism-oriented, and network-integrated planning approach.

Keywords: Integrated Urban Mass Transit, Sustainable Development, SWOT Analysis, TOPSIS, Sensitivity Analysis