

# طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن

## از سفرهای شهری با رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها

(مطالعه موردی: شهر مشهد)

علیرضا پویا (مسئول مکاتبات)، استاد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

**E-mail: Alirezapooya@um.ac.ir**

سمیه فدائی، دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

علی سیبویه، پژوهشگر گروه پژوهشی تفکر سیستمی در عمل، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰

### چکیده

سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی یکی از مهم‌ترین سیستم‌های حمل و نقل همگانی شهری به شمار می‌آید و نقش عمده‌ای را در انجام سفرهای درون شهری و روزانه شهروندان ایفا می‌نماید. از آنجایی که سهم خودرو شخصی از سفرهای شهری در حال افزایش است، تعیین راهبرد و سیاست‌گذاری جهت افزایش استفاده از اتوبوس در سفرهای درون شهری اهمیت فراوانی دارد اما نکته‌ای که وجود دارد، آن است که برای رسیدن به این هدف، باید دانست که کدامیک از طرح‌های پیشنهادی می‌تواند به بهترین نحو موجب افزایش استفاده از اتوبوس شود. نوآوری تحقیق حاضر استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها در سیستم‌های حمل و نقل اتوبوس رانی در راستای تحقق این هدف است. عوامل مؤثر بر استفاده از اتوبوس با استفاده از روش تحلیل محتوای پیشینه تحقیق شناسایی شده و متغیرهایی چون فرهنگ سازی، هوشمندسازی، کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس در مدل لحاظ شده که در سایر مطالعات در نظر گرفته نشده است. مدل سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی، به صورت پایلوت برای شهر مشهد اجرا شد. پس از اعتبارسنجی مدل، با توجه به نظر خبرگان دو سناریو و هفت نوع سیاست بودجه‌ای بر روی مدل اجرا شد. نتایج نشان داد در سناریو کرایه اتوبوس رانی، در صورت عدم تغییر کرایه اتوبوس، جذابیت اتوبوس به میزان ناچیزی افزایش می‌یابد. سناریو افزایش بودجه کل بهبود اتوبوس رانی نشان داد، تغییر چندان در استفاده از اتوبوس ایجاد نمی‌کند. نتایج بررسی سیاست‌ها نشان می‌دهد، بهترین سیاست، سیاست کاهش یک درصدی بودجه خرید ناوگان و افزایش بودجه فرهنگ سازی و هوشمندسازی است که منجر به افزایش استفاده از اتوبوس به صورت بلندمدت خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: استفاده از اتوبوس، پویایی شناسی سیستم‌ها، جذابیت خودرو شخصی، سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی

## ۱. مقدمه

روزانه شهروندان و کاهش خسارات ناشی از تردد بیش از پیش خودروهای شخصی در شهر منجر شود [Salehi et al., 2020] و لذا ایمنی در معابر شهری ارتقاء یافته و بسیاری از معضلاتی که پیش تر به آن اشاره شد را رفع نماید [An et al., 2016]. شهر مشهد یکی از کلان‌شهرهای بزرگ ایران است که سالانه میزبان میلیون‌ها زائر می‌باشد. این شهر درگیر مشکلات ترافیکی متعددی در حمل‌ونقل درون‌شهری است [Zibae, 2021]. با مطالعه دقیق سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی این شهر می‌توان به بهبود عملکرد آن کمک نمود و موجب تشویق و ترغیب مردم به استفاده بیشتر از آن شد.

بررسی رفتار متغیر "استفاده از اتوبوس" در ده سال گذشته در شهر مشهد نشان می‌دهد، میزان استفاده از اتوبوس در طول زمان کاهش یافته است (شکل ۱)، لذا مسئله تحقق حاضر بررسی عوامل تأثیرگذار در استفاده از اتوبوس است. سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی یک سیستم پیچیده است که تابع متغیرهای مختلفی مانند دسترسی به مسیر و ایستگاه، هوشمندسازی، شلوغی وسایل حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی، مدت انتظار مسافر در ایستگاه اتوبوس و فرهنگ‌سازی است. این متغیرها اغلب به یکدیگر نیز وابسته‌اند و ارتباطات زیاد بین آن‌ها سیستم پیچیده‌ای را ایجاد کرده است که با رویکردهای معمول نمی‌توان آن را مورد بررسی قرار داد؛ بنابراین در تحقیق حاضر از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده می‌شود. اکثر مطالعاتی که از این رویکرد استفاده نموده‌اند در حوزه سیستم حمل‌ونقل همگانی است و به مشکل کاهش سهم یک نوع خاص از سیستم حمل‌ونقل همگانی توجه نکرده‌اند. همچنین این مطالعات، عمدتاً متغیرهای مهمی چون فرهنگ‌سازی، هوشمندسازی، بودجه خرید ناوگان، بودجه کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی، جذابیت اتوبوس را در نظر نگرفته‌اند، مطالعاتی آماری هم که به بررسی سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی پرداخته‌اند، توانایی بررسی جامع متغیرهای اشاره شده در یک مدل یکپارچه را ندارند. بنابراین می‌توان گفت

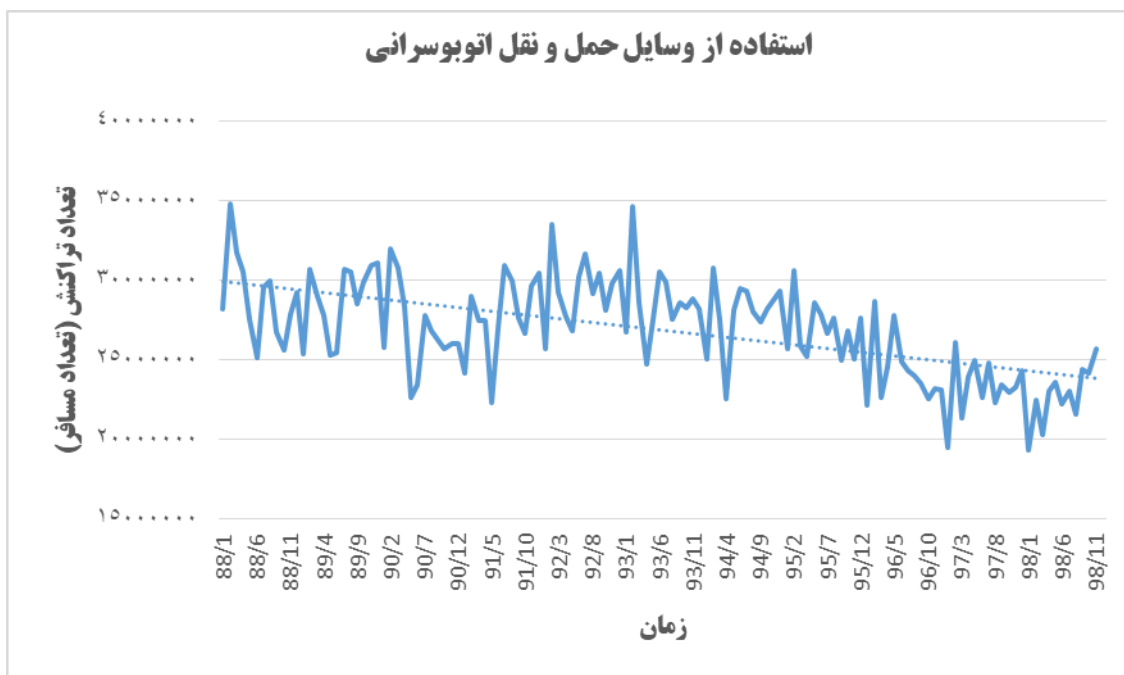
امروزه وسیله نقلیه شخصی به‌عنوان ابزاری برای دستیابی سریع‌تر به کاربری‌ها و فعالیت‌های اجتماعی مطرح است، ضمن آنکه از مشکلات جدی در شهرهای بزرگ نیز به شمار می‌آید [HajiHosseini and Kabiri, 2015]. بررسی دلایل انتخاب خودرو شخصی توسط مسافران و تمایل نداشتن آنان به استفاده از سیستم حمل‌ونقل همگانی، از محورهای عمده پژوهش‌های حمل‌ونقل در سال‌های اخیر بوده و در مطالعات مختلفی از جمله [Redman et al., 2013; Sayyadi and Awasthi, 2017; Şimşekoğlu et al., 2015; Keizer et al., 2019; Abdulrazzaq et al., 2020] اشاره شده است. هرچقدر که سیستم حمل‌ونقل شهری ناکارآمدتر باشد، تمایل افراد به استفاده از وسایل نقلیه شخصی افزایش یافته و در نتیجه مدیریت امور شهری دشوارتر و در برخی موارد مختل می‌شود. لذا تشویق کاربران شبکه در کلان‌شهرهایی همچون مشهد به استفاده از حمل‌ونقل عمومی، همواره یکی از مسائل و دغدغه‌های مدیران این شبکه‌ها بوده است و تا به امروز، تلاش‌های متعددی برای تشویق کاربران شبکه‌های حمل‌ونقلی به استفاده از وسایل عمومی انجام شده است [HajiHosseini and Kabiri, 2015].

با توجه به نتایج حاصل‌شده از پیاده‌سازی راه‌های مختلف، همچون محدودیت تردد اتومبیل‌ها و زمان‌بندی تقاضای سفر، مطلوب‌ترین راه، توسعه و بهره‌گیری از سیستم حمل‌ونقل عمومی است [Qureshi and Lu, 2007]. در کشورهای درحال توسعه از جمله ایران، با توجه به محدودیت‌های فنی، مالی و مدیریتی، ایجاد و توسعه سریع انواع شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی مقدور نمی‌باشد [Ebrahimzadeh and Baharlu, 2012]، درحالی‌که وجود یک سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی کارآمد می‌تواند علاوه بر سرعت دادن به جابجایی مسافران، موجب تشویق و ترغیب مردم به استفاده بیشتر از آن شده و در نتیجه به کاهش استفاده از خودروهای شخصی در سفرهای

طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم-ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

نوآوری تحقیق حاضر توسعه مدل ارائه شده در بررسی مسئله

کاهش سهم حمل و نقل اتوبوس رانی است.



شکل ۱. رفتار مرجع متغیر استفاده از وسایل حمل و نقل اتوبوس رانی مشهد (منبع: آمارنامه سازمان اتوبوس رانی مشهد)

اتوبوس رانی می‌شود، در نتیجه بودجه بهبود اتوبوس رانی افزایش خواهد یافت و به تبع بودجه هوشمندسازی نیز افزایش می‌یابد، اما افزایش جذابیت استفاده از اتوبوس موجب افزایش تقاضای سفر با اتوبوس و افزایش تعداد مسافری خواهد شد و در نتیجه شلوغی ناوگان‌های اتوبوس رانی افزایش می‌یابد که شلوغی نیز منجر به کاهش جذابیت استفاده از اتوبوس می‌شود. در این مثال حلقه‌ی اول، حلقه‌ای خود تقویت‌کننده اما حلقه دوم حلقه‌ای تعادلی است که منجر به رفتاری خلاف انتظار می‌شود. مدیران سازمان اتوبوس رانی با اجرای سیاست هوشمندسازی، انتظار افزایش استفاده از اتوبوس را دارند که این سیاست در کوتاه مدت تحقق می‌یابد اما حلقه دوم با تأخیر<sup>۱</sup> فعال می‌شود. در واقع اجرای سیاست مذکور موجب افزایش استفاده از اتوبوس شده است. در نتیجه افزایش استفاده از اتوبوس موجب شلوغی آن می‌شود و به تبع روند افزایش استفاده از اتوبوس متوقف خواهد شد. لذا در سیاست‌گذاری‌ها باید به عوامل مؤثر در سیستم توجه و سیاست مناسب انتخاب و اجرا شود. با توجه به گستردگی

مسئله دوم تحقیق حاضر تعیین سیاست مناسب جهت افزایش سهم اتوبوس رانی از سفرهای شهری است. در عالم واقعیت سیاست‌های گرفته شده ممکن است عوارض جانبی پیش‌بینی نشده‌ای به دنبال داشته باشد و تلاش در پایدار کردن سیستم می‌تواند به ناپایداری بیشتر آن منجر شود. فارستر چنین پدیده‌ای را رفتار غیرقابل پیش‌بینی سیستم می‌نامد [Sterman, 2000]. در واقع به علت اینکه تمام محدوده‌ی بازخوردهای ممکن در سیستم در نظر گرفته نشده است، رفتار خلاف انتظار سیستم رخ می‌دهد.

در سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی نیز اجرای سیاست‌های افزایش استفاده از اتوبوس بدون در نظر گرفتن یک رویکرد سیستمی و دید کل‌نگر، نه تنها سودمند نبوده بلکه ممکن است منجر به کاهش استفاده از اتوبوس هم شود. برای مثال در این سیستم افزایش هوشمندسازی موجب افزایش جذابیت اتوبوس رانی و به تبع افزایش استفاده از اتوبوس می‌شود. افزایش استفاده از اتوبوس منجر به افزایش درآمد اختصاصی

استراتژیک مدل نموده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند [Fartook zadeh and Rajabi nohouji, 2012]. حبیبیان و کرمانشاه (۱۳۹۲) سیاست‌های کاهش استفاده از خودرو شخصی بر مبنای دلایل استفاده‌کنندگان در سفر به محدوده مرکزی کلان‌شهر تهران را مورد شناسایی قرار دادند [Habibian and Kermanshah., 2013]. احمدوند و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها، مدلی جامع و یکپارچه برای سیستم حمل‌ونقل شهری تهران با توجه به مفهوم سیستم حمل‌ونقل شهری پایدار ارائه دادند و رفتار پویای سیستم را ارزیابی نمودند [Ahmadvand et al., 2015]. باغیانی (۱۳۹۴)، عوامل مؤثر بر استفاده حداکثری از سیستم حمل‌ونقل عمومی را شناسایی و سپس با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها آن‌را شبیه‌سازی و تحلیل نموده است [Baghiani, 2015]. رحمتی و همکاران (۱۳۹۸) با بهره‌گیری از نرم‌افزار سیمولینک و با استفاده از توابع متلب، دو مدل شبیه‌سازی مربوط به سیستم فعلی و سیستم پیشنهادی حمل‌ونقل عمومی برون‌شهری را طراحی و به مدت یک هفته اجرا نمودند [Rahmaty et al., 2019]. فروهید و تقوی (۱۳۹۹) پژوهشی با هدف بررسی گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل عمومی از لحاظ ارکان سه‌گانه توسعه پایدار شهری را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام دادند [Frouhid and Taghavi, 2021]. پویا و همکاران (۱۴۰۰) تعداد وسیله و تعداد حرکت بهینه و وسایل به تفکیک هر خط، هر بازه و هر نوع روز را با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برآورد نمودند [Pooya et al., 2021]. میرانی و همکاران (۱۴۰۰) پژوهشی با هدف بررسی میزان رضایت مسافر از سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی و دستیابی به عوامل مؤثر بر ارتقا کیفیت این سیستم با استفاده از تحلیل واریانس انجام دادند [Mirani et al., 2021].

جی‌فنگ و همکاران (۲۰۰۸) برای بهبود پایداری سیستم حمل‌ونقل و توسعه شهری از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم مبتنی بر تحلیل علت و معلولی و ساختارهای بازخورد استفاده

روابط و پیچیدگی و تأخیر در سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی، روش‌های آماری نمی‌توانند مدل را به‌طور کامل بررسی و تحلیل نمایند؛ در حالیکه رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها، یک تفکر کل‌نگر است که کلیه اجزای یک سیستم و ارتباط بین آن‌ها را در نظر گرفته و منجر به درک رفتار پویای سیستم‌های پیچیده می‌شود، بنابراین در تحقیق حاضر جهت ارائه سیاست‌های افزایش تقاضای استفاده اتوبوس در شهر مشهد از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده شده است.

در ادامه و در بخش دوم، پیشینه مطالعاتی مرتبط با موضوع ارائه می‌گردد. در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق که بر اساس گام‌های استرمن می‌باشد، بیان می‌شود. سپس بر اساس این روش‌شناسی ابتدا مدل علی-حلقوی و سپس مدل انباشت و جریان آن فرموله می‌شود، در بخش اعتبارسنجی، نتایج حاصل از مدل‌سازی، مورد صحت‌سنجی قرار می‌گیرد سپس نتایج حاصل از اجرای سناریوها و سیاست‌ها و تأثیر آن بر متغیر کلیدی عملکرد تشریح می‌شود. در بخش نتیجه‌گیری نیز، ضمن بیان نکات مدیریتی، تحلیل جامعی نسبت به فرآیند مدل‌سازی صورت می‌پذیرد.

## ۲. پیشینه تحقیق

در این بخش سعی شده تا حد امکان با مطالعه آثار مرتبط در حوزه حمل‌ونقل عمومی، عوامل اثرگذار بر جذابیت خودرو شخصی و سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی شناسایی شود. شناسایی منشأ و عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس و نحوه مدیریت تقاضا، شناخت بهتری از ابعاد سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی ایجاد می‌کند. در جدول ۱ خلاصه عوامل شناسایی شده بیان شده است. در این بخش ابتدا مطالعات فارسی و سپس مطالعات لاتین بررسی شده است.

فرتوک‌زاده و رجبی‌نهبوجی (۱۳۹۰) به منظور ارائه سیاست‌های بهبود حمل‌ونقل در کلان‌شهر تهران با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها، مسئله ترافیک را در ابعاد کلان و

طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم-ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

مد حمل و نقل عمومی مسافران در یکی از شهرهای فیلیپین را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی نمودند [Mayo and Taboada, 2020]. کونچینی و همکاران (۲۰۲۱) تحقیقی با هدف شناسایی مهم‌ترین عوامل تقاضا و تأثیر آن‌ها بر تقاضا در ارتباط با گروه‌های مختلف مسافران انجام دادند. آن‌ها برای این منظور از روش تحلیل همبستگی و روش کوواریانس استفاده نمودند [Konečný et al., 2021]. لیو و همکاران (۲۰۲۱) مشکل کنترل ترافیک شهری را در یک چارچوب زمانبندی با در نظر گرفتن ظرفیت بسیار بیشتر اتوبوس از سایر وسایل نقلیه با استفاده از مدل ریاضی بررسی نمودند [Liu et al., 2021].

تاکنون در حوزه حمل و نقل شهری تحقیقات زیادی انجام شده است، مطابق جدول ۱ این پژوهش‌ها مانند [Hrelja et al., 2020; Redman et al., 2013] از روش کیفی-مروری، [Mayo and Taboada, 2020] از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، [Şimşekoğlu et al., 2015] از روش رگرسیون لجستیک، [Donald et al., 2014] از معادلات ساختاری استفاده شده است. همچنین اکثر مطالعات انجام شده در حوزه حمل و نقل اتوبوس رانی هم مانند [Habibian and Kermanshah., 2013; Konečný et al., 2021] از روش‌های آماری استفاده نموده‌اند، اما سیستم‌های حمل و نقل اتوبوس رانی جزء سیستم‌های پیچیده با متغیرهای مختلف و حلقه‌های بازخوردی غیر خطی می‌باشند و استفاده از روش‌های آماری نمی‌تواند به طور کامل ویژگی‌های این سیستم پیچیده را بررسی و تحلیل کند، لذا در این تحقیق از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده شده است.

بررسی پیشینه نشان می‌دهد در مطالعاتی که از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده شده است، همچون [Ostadijafari and Rassafi, 2014; Fartook zadeh and Rajabi nohouji, 2012; Ahmadvand et al., 2015; Noviani et al., 2017; Sayyadi and Awasthi, 2017; Bajracharya, 2016; Jifeng et al.,

2008]. [Jifeng et al., 2008]. دونالد و همکاران (۲۰۱۴) تئوری گسترده‌ای از مدل رفتار برنامه‌ریزی شده را در دامنه انتخاب مد حمل و نقل آزمایش کرده و مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر انتخاب مردم بین حمل و نقل عمومی و خودرو شخصی را شناسایی کردند [Donald et al., 2014]. باجراچاریا (۲۰۱۶) در درک انتخاب حالت بین خودرو شخصی و حمل و نقل عمومی از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده نمودند [Bajracharya, 2016]. صیادی و آواشتی (۲۰۱۶) ارزیابی تأثیر سیاست‌های نظارتی برای برنامه‌ریزی حمل و نقل پایدار را با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها انجام دادند [Sayyadi and Awasthi, 2017]. نوتو (۲۰۱۷) رویکرد برنامه‌ریزی نوآورانه متناسب با سیستم‌های حمل و نقل شهری پیچیده را پیشنهاد داد [Noto, 2017]. ارکان (۲۰۱۹) از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها در ارزیابی پایداری حمل و نقل مسافر شهری ایالات متحده استفاده نمود [Ercaan, 2019]. کایزر و همکاران (۲۰۱۹) مطالعه‌ای با هدف تعیین اینکه از نظر هنجارهای شخصی چه نوع سیاستی منجر به کاهش استفاده از خودرو شخصی می‌شود را انجام دادند [Keizer et al., 2019]. وی (۲۰۱۹) مطالعه‌ای با هدف بررسی استراتژی برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری و پویایی آن با توجه به تجربیات پیشرفته بین‌المللی انجام داد [Wey, 2019]. کنتو و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه‌ای با هدف کاهش مسافت پیموده شده در سفر با استفاده از مدل یادگیری ماشین انجام دادند [Kontou et al., 2020]. عبدالرزاق و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه‌ای با هدف توسعه یک مدل تغییر مد کاربران خودرو، به استفاده از حمل و نقل همگانی و تعیین عواملی که بر عملکرد شیوه حمل و نقل تأثیر می‌گذارد، انجام دادند [Abdulrazzaq et al., 2020]. هرلجا و همکاران (۲۰۲۰) ادبیات را با تمرکز بر توسعه درک چگونگی بهبود شرایط حمل و نقل عمومی و اجرای اقدامات لازم برای افزایش سفر حمل و نقل عمومی تجزیه و تحلیل نمودند [Hrelja et al., 2020]. مایو و تابواداک (۲۰۲۰) عوامل مؤثر بر انتخاب

این تحقیق، ناوگان جدید، بهبود یافته و ناوگان قدیمی لحاظ شده است و حلقه‌های بودجه خرید ناوگان و تأثیر آن بر جذابیت اتوبوس و حلقه بودجه کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی و تأثیر آن بر جذابیت اتوبوس مدنظر قرار گرفته است. در مدل ارائه شده در تحقیق حاضر بخش‌های مختلف اتوبوس‌رانی و تأثیر آن بر جذابیت اتوبوس لحاظ شده است؛ بنابراین انتظار می‌رود پیشنهاد سیاست در این سیستم و ارزیابی سیاست با توجه نتایج رفتار متغیر کلیدی عملکرد «استفاده از اتوبوس» قابل اطمینان باشد.

2008] در حوزه حمل‌ونقل عمومی و شهری و مرتبط با معضل ترافیک بوده است، اما در پژوهش حاضر به دلیل مزایای استفاده از سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی همچون ارزان‌تر بودن کرایه نسبت به تاکسی و هزینه راه‌اندازی کمتر نسبت به احداث قطار شهری، سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی مورد بررسی قرار گرفته است. تفاوت دیگر تحقیق حاضر با مطالعات انجام شده فوق در این است که در مطالعه حاضر سیاست‌های بودجه‌بندی و متغیرهایی همچون فرهنگ‌سازی، هوشمندسازی، کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس در نظر گرفته شده است. علاوه بر این در مطالعه حاضر بین ناوگان‌های اتوبوس‌رانی تفاوت قائل شده است، در

جدول ۱. عوامل مؤثر شناسایی شده بر سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی با استفاده از روش تحلیل محتوا

ردیف	نام نویسنده	روش	عوامل مؤثر
۱	Ostadijafari and [Rassafi, 2014]	رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها	آلودگی، ترافیک، مصرف انرژی، مسافت طی شده وسایل نقلیه
۲	Fartook zadeh and Rajabi [nohouji, 2012]	روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها	متوسط سرعت خودرو، جذابیت خودرو شخصی، زمان سفر خودرو شخصی
۳	Habibian and Kermanshah., [2013]	مدل لجیستیک چندگانه و دوگانه	استفاده از خودرو شخصی، زمان سفر، استفاده از سیستم‌های همگانی
۴	Ahmadvand et [al., 2015]	رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها	تراکم ترافیک، وسایل نقلیه شخصی، سرعت سفر با خودرو شخصی، تقاضای سفر با خودرو شخصی و حمل‌ونقل عمومی، زمان سفر با حمل‌ونقل عمومی، کیفیت حمل‌ونقل عمومی
۵	[Baghiani, 2015]	رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها	تقاضای حمل‌ونقل عمومی، رضایت مسافر
۶	Khatam et al. [2018]	رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها	تراکم ترافیک، متوسط مسافت سفرهای درون شهر، سرانه خودروهای شخصی
۷	Rahmaty et al., [2019]	سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی و الگوریتم دیکسترا	استفاده از اتوبوس، کرایه اتوبوس، ظرفیت اتوبوس‌ها، ترافیک، زمان سفر
۸	Jifeng et al., [2008]	رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها	آلودگی، تقاضای حمل‌ونقل عمومی، تعداد وسیله نقلیه
۹	Redman et al., [2013]	کیفی - مروری	سرعت، دسترسی، کرایه، حمل‌ونقل عمومی

طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی شناسی سیستم-ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

ردیف	نام نویسنده	روش	عوامل مؤثر
۱۰	Donald et al., ] [2014	معادلات ساختاری	حمل و نقل عمومی، خودرو شخصی، استفاده از حمل و نقل عمومی، نگرش
۱۲	Bajracharya, ] [2016	رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها	تقاضای حمل و نقل عمومی، کرایه اتوبوس، ظرفیت اتوبوس، زمان سفر با اتوبوس، ترافیک، ظرفیت معابر
۱۳	Sayyadi and ] [Awasthi, 2017	رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها	تعداد اتوبوس، تقاضای سفر، شبکه راه، زمان سفر، سفرهای وسایل نقلیه، سفرهای حمل و نقل عمومی، ترافیک، دسترسی به مسیر
۱۴	Noviandi et al., ] [2017	رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها	حجم ترافیک، استفاده از خودروهای شخصی، استفاده از حمل و نقل همگانی
۱۵	Keizer et al., ] [2019	رگرسیون خطی	استفاده از خودروی شخصی، هزینه‌های درک شده، بهبود کیفیت حمل و نقل عمومی
۱۶	Abdulrazzaq et ] [al., 2020	لاجیت باینری	تراکم ترافیک، خودروهای شخصی، حمل و نقل، مسافت سفر، نرخ سفر در روز، زمان سفر
۱۷	Kontou et al., ] [2020	مدل یادگیری ماشینی	حمل و نقل شهری، مسافت پیموده شده، تقاضای سفرهای، زمان انتظار
۱۸	پژوهش حاضر	پویایی شناسی سیستم‌ها	جدول ۲

اطلاع‌رسانی شفاف<sup>۳</sup> استفاده شده است. از پرسشنامه و مصاحبه برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به متغیرهایی مانند ضریب تأثیر تاکسی بر جذابیت اتوبوس، ضریب تأثیر قطار شهری بر جذابیت اتوبوس، ضریب تأثیر شلوغی بر جذابیت اتوبوس استفاده شده است.

در این رویکرد در گام نخست مسئله پژوهش تعریف می‌شود، سپس با توجه به پیشینه پژوهش متغیرهای مسئله و مرز سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی مطابق جدول ۲ تعیین می‌شوند.

در تحقیق حاضر به دلیل اینکه هدف مطالعه ارائه سیاست به منظور افزایش سهم حمل و نقل اتوبوس رانی است، مرز سیستم با توجه به هدف فوق تعیین شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از روش تحلیل محتوا پیشینه تحقیق و اسناد سازمان مورد بررسی قرار گرفته و عوامل مؤثر بر سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی استخراج شده است. سپس با توجه به نظر خبرگان متغیرهایی که در درون مدل قرار می‌گیرند متغیرهای درون‌زا و متغیرهای که در بیرون مرز سیستم قرار می‌گیرند متغیرهای

استخراج عوامل مؤثر بر سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی با استفاده از روش تحلیل محتوا است. تحلیل محتوا روشی برای بررسی محتوای اطلاعات اسنادی است و برای گرفتن نتایج معتبر و قابل تکرار از داده‌های استخراج شده از متن به کار می‌رود. از جمله مفروضات مدل، محدود کردن مرز سیستم به سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی است. همچنین فرض شده است در مناطق مختلف شهری تأثیر متغیرها ثابت است.

### ۳. روش شناسی تحقیق

تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی است چرا که با هدف شناسایی و بررسی عوامل مؤثر بر استفاده حداکثری افراد از سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی است. برای شناسایی الگوی تغییرات گذشته متغیر "استفاده از اتوبوس" از آمارنامه سازمان اتوبوس رانی شهر مشهد استفاده شده است. برای گردآوری اطلاعات متغیرهایی مانند جمعیت شهر، سرانه سفر و متغیرهای بودجه؛ از آمارنامه سازمان ترافیک و آمارنامه‌های فضای

برونزا نامیده شده است، متغیرهای برونزا مقدار یا ارزش آن‌ها  
خارج از مدل تعیین می‌شود و از مدل اثر نمی‌پذیرند.  
در گام بعدی ارتباط بین متغیرها در قالب نمودار علی-معلولی  
مشخص می‌شوند و در ادامه برای شبیه‌سازی مدل نمودار جریان

مسئله ترسیم می‌شود. بعد از شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار  
ونسیم و اعتبارسنجی مدل، سیاست‌های مناسب مورد ارزیابی  
قرار می‌گیرد.

## جدول ۲. مرز سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی

برونزا	درونزا
<p>بودجه توسعه معابر، معابر، هوشمندسازی، فرهنگ‌سازی، شبکه اتوبوس‌رانی، ناوگان خریداری‌شده، ناوگان قدیمی، ناوگان بهبودیافته، میانگین هزینه احداث یک کیلومتر معبر، میانگین تعداد مسافر جابجا شد، قطار شهری در فصل، متوسط طول سفر اتوبوس، متوسط طول سفر تاکسی، متوسط طول سفر تاکسی هوشمند، میانگین تعداد مسافر جابجا شده تاکسی هوشمند در فصل، میانگین تعداد مسافر جابجا شده تاکسی در فصل، میانگین تعداد مسافر جابجا شده خودرو شخصی در فصل، متوسط مسافت سفر خودرو شخصی، ضریب آلاینده‌گی ماشین شخصی، ضریب آلاینده‌گی تاکسی و تاکسی هوشمند، ضریب آلاینده‌گی اتوبوس، ضریب تأثیر نسبت کرایه اتوبوس‌رانی به سایر مدهای حمل‌ونقل، نمره کیفیت اتوبوس بهبودیافته، نمره کیفیت اتوبوس قدیمی، نمره کیفیت اتوبوس نو، ضریب تأثیر کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی، متوسط هزینه بهبود یک اتوبوس قدیمی، متوسط عمر اتوبوس تا قبل از تعمیرات، ضریب تأثیر فرهنگ‌سازی، ضریب تأثیر هوشمندسازی، ضریب تأثیر دسترسی به مسیر و ایستگاه، متوسط قیمت ناوگان، ناحیه شهری، بودجه تعریف‌شده توسعه معابر، جمعیت شهر، جمعیت مسافر به لحاظ فصل، سرانه سفر، درآمد خانوار، مخارج استفاده از خودرو شخصی، جذابیت قطار شهری در حمل‌ونقل، جذابیت تاکسی در حمل‌ونقل، جذابیت تاکسی هوشمند در حمل‌ونقل، کرایه اتوبوس‌رانی، افزایش کرایه اتوبوس نسبت به سال قبل، ضریب بودجه سال قبل، افزایش کرایه اتوبوس نسبت به سال قبل، ضریب بودجه کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی، ضریب بودجه خرید ناوگان، بودجه دریافتی بهبود ناوگان، ضریب بودجه هوشمندسازی، ضریب بودجه فرهنگ‌سازی، ضریب بودجه شبکه اتوبوس‌رانی، نواحی ایستگاه‌های اتوبوس‌رانی، زمان سفر</p>	<p>نرخ افزایش هوشمندسازی، نرخ افزایش فرهنگ‌سازی، نرخ خالص افزایش شبکه، نرخ خرید ناوگان، نرخ تبدیل، نرخ بهبود، اسقاط، دریافت بودجه توسعه معابر احداث معابر، ظرفیت هر کیلومتر معبر، ظرفیت معابر، ازدحام ترافیک معابر، کل مسافت طی شده، تعداد خودرو شخصی استفاده‌شده، قطار شهری استفاده‌شده، تقاضای سفر با قطار شهری، تقاضای سفر با تاکسی هوشمند، تقاضای سفر با تاکسی، تعداد تاکسی هوشمند استفاده‌شده، تعداد تاکسی استفاده‌شده، تقاضای سفر با خودرو شخصی، تقاضای سفر با سایر وسایل عمومی، مازاد تقاضای اتوبوس‌رانی، تقاضای سفر با اتوبوس، تقاضای سفر، ضریب استفاده از سایر وسایل حمل‌ونقل عمومی، ضریب استفاده از خودرو شخصی، تقاضای جمعیت مسافر، متوسط طول سفر خودرو شخصی، زمان سفر خودرو شخصی در هر کیلومتر، تأثیر زمان سفر سواره بر خودرو شخصی، تأثیر آلودگی هوا بر خودرو شخصی، تأثیر محدودیت تردد بر جذابیت خودرو شخصی، تأثیر مخارج خودرو بر جذابیت خودرو شخصی، نسبت مخارج به درآمد خانوار، تأثیر تاکسی بر جذابیت خودرو شخصی، جذابیت سفر با خودرو شخصی، تأثیر قطار شهری بر جذابیت خودرو شخصی، تأثیر تاکسی هوشمند بر جذابیت خودرو شخصی، تأثیر اتوبوس بر جذابیت خودرو شخصی، جذابیت سفر با خودرو شخصی، استفاده از اتوبوس، تأثیر انتظار مسافر در ایستگاه اتوبوس بر جذابیت استفاده از اتوبوس، استفاده از اتوبوس در ساعت پیک، مدت انتظار مسافر در ایستگاه اتوبوس، شلوغی یک اتوبوس در یک ساعت پیک، تأثیر شلوغی اتوبوس بر جذابیت استفاده از اتوبوس، تأثیر هوشمندسازی بر جذابیت استفاده از اتوبوس، تأثیر فرهنگ‌سازی بر جذابیت استفاده از اتوبوس، تأثیر کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی بر جذابیت استفاده از اتوبوس، تأثیر دسترسی به مسیر و ایستگاه بر جذابیت استفاده از اتوبوس، جذابیت اتوبوس، ماکزیمم تعداد اتوبوس قابل بهره‌برداری در شبکه، کیفیت فیزیکی و فنی ناوگان اتوبوس‌رانی، ماکزیمم ظرفیت حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی، مینیمم ناوگان و شبکه، درآمد اختصاصی اتوبوس‌رانی، دسترسی به مسیر و ایستگاه، بودجه هوشمندسازی، بودجه فرهنگ‌سازی، بودجه شبکه اتوبوس‌رانی، بودجه خرید ناوگان، بودجه کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی، بودجه کل بهبود اتوبوس‌رانی</p>

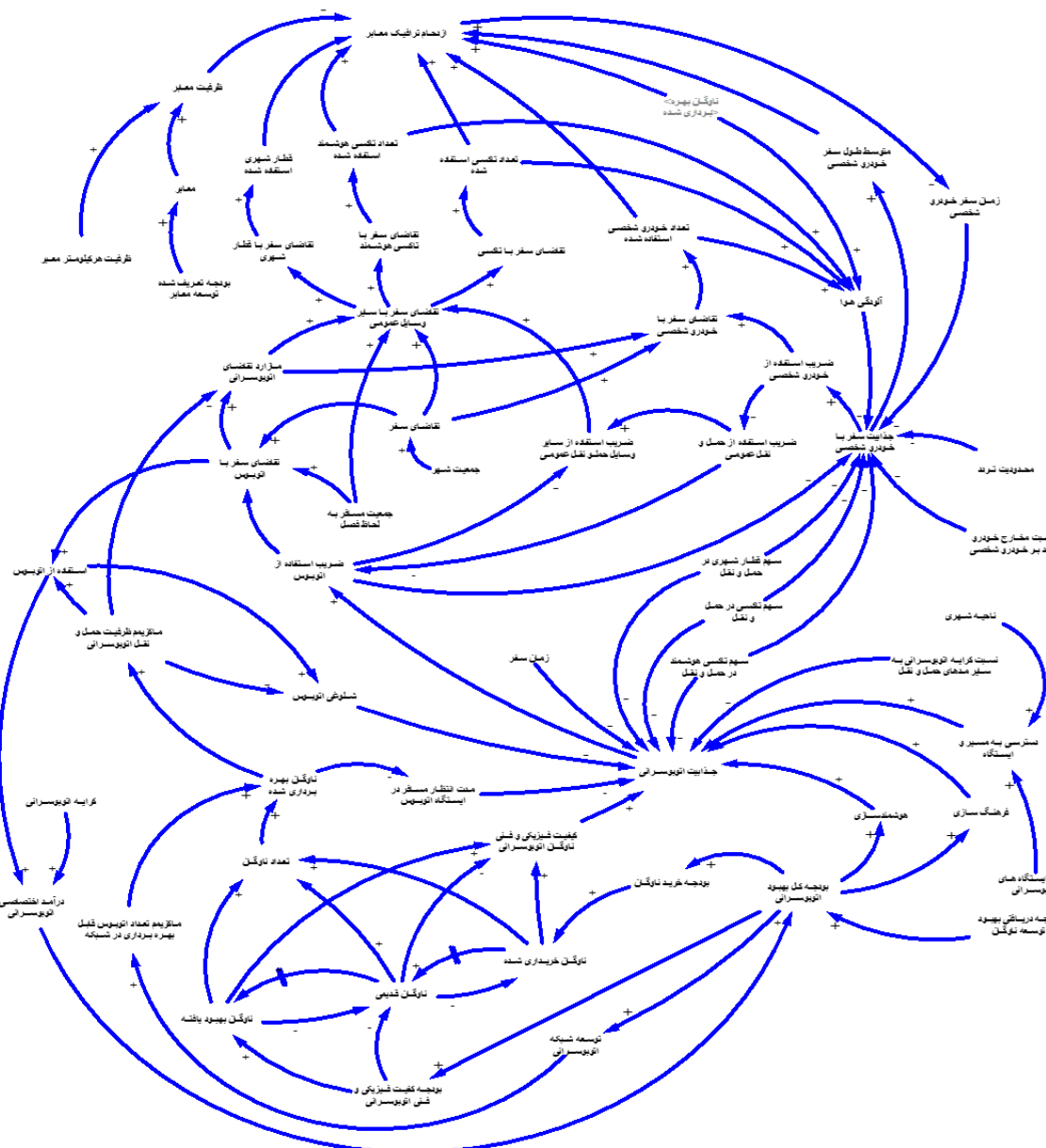


طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی شناسی سیستم-ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

### ۳-۱ فرضیه پویا و نمودار علی-حلقوی

در این پژوهش نمودار علی-حلقوی ارائه شده، طی چندین مرحله بدست آمده است. برای طراحی مدل علی-حلقوی ابتدا به مرور پیشینه ادبیات پرداخته شد سپس متغیرهای کلیدی عملکرد و عوامل مؤثر بر استفاده از سیستم حمل و نقل

اتوبوس رانی با استفاده از تحلیل محتوای پیشینه تحقیق شناسایی شدند. در گام بعد، روابط بین متغیرها و رفتار متغیرهای کلیدی عملکرد شناسایی گردید و از مصاحبه با خبرگان برای تکمیل مدل علی-حلقوی استفاده شد. در شکل ۲ نمودار علی-حلقوی سیستم اتوبوس رانی نشان داده شده است.



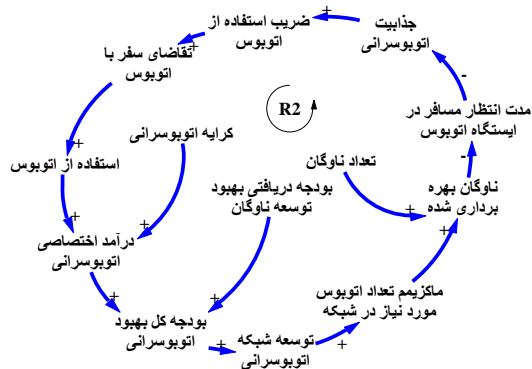
شکل ۲. نمودار علی-حلقوی سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی

### ۳-۲ معرفی برخی از حلقه‌های مدل

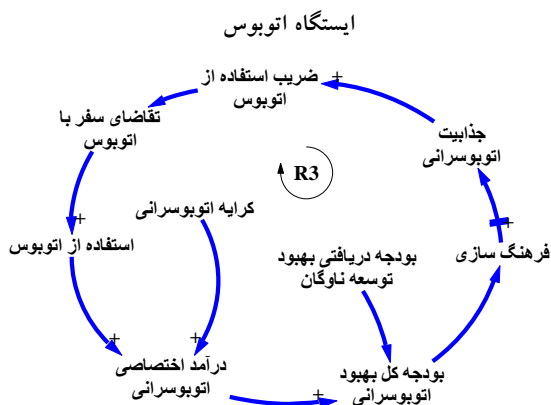
شکل ۳ (الف)، ارتباط بودجه کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس رانی را از طریق تعداد ناوگان بر متغیر شلوغی اتوبوس نشان می‌دهد.

ش

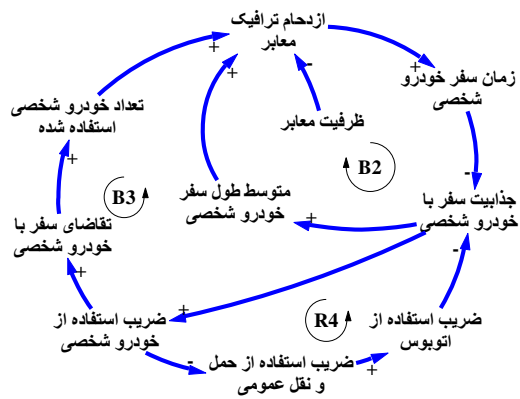
بدین صورت که با افزایش بودجه کیفیت فیزیکی و فنی، طول عمر اتوبوس افزایش یافته و بهبود می‌یابد و دیرتر اسقاط می‌شود. در نتیجه تعداد اتوبوس‌های ناوگان اتوبوس‌رانی افزایش خواهد یافت. با افزایش ناوگان اتوبوس‌رانی، شلوغی کاهش و جذابیت اتوبوس‌رانی و استفاده از آن افزایش می‌یابد، در حالیکه در حلقه تعادلی (B1) با افزایش جذابیت اتوبوس‌رانی، استفاده از اتوبوس نیز افزایش می‌یابد. این افزایش منجر به شلوغی اتوبوس خواهد شد و جذابیت آن را می‌کاهد. شکل ۳ (ب) تأثیر خرید ناوگان در مدت انتظار مسافر در ایستگاه اتوبوس را نشان می‌دهد که منجر به افزایش جذابیت و به تبع استفاده از اتوبوس می‌شود. شکل ۳ (ج)، بیانگر تأثیر سیاست فرهنگ‌سازی در افزایش استفاده از اتوبوس را نشان می‌دهد. بدین صورت که با افزایش فرهنگ‌سازی، جذابیت اتوبوس‌رانی در طول زمان با تأخیر افزایش خواهد یافت. شکل ۳ (د)، تأثیر ساخت معابر در کاهش استفاده از اتوبوس و افزایش استفاده از خودرو شخصی را نشان می‌دهد. در شکل ۳ د، حلقه‌های تعادلی (B2, B3) نشان می‌دهند که با افزایش جذابیت خودرو شخصی و استفاده از آن، تعداد خودرو شخصی در معابر افزایش و در نتیجه ترافیک افزایش می‌یابد. افزایش ترافیک نیز منجر به کاهش سرعت خودرو شخصی شده و جذابیت و استفاده از آن را می‌کاهد.



ب: حلقه بودجه خرید ناوگان و مدت زمان انتظار مسافر در ایستگاه اتوبوس



ج: حلقه فرهنگ‌سازی در افزایش استفاده اتوبوس



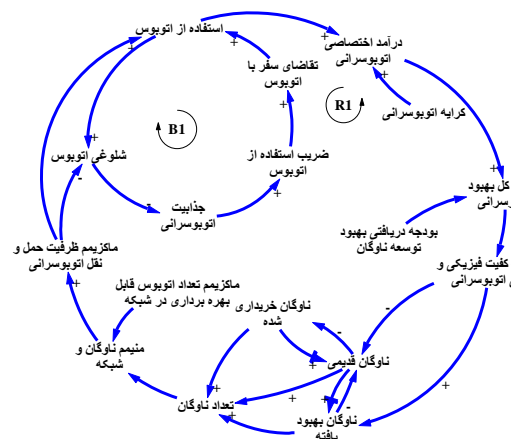
د: حلقه سرمایه‌گذاری در ساخت معابر

شکل ۳. معرفی برخی از حلقه‌های علی-حلقوی سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی

اتوبوس‌رانی

### ۳-۳ نمودار انباشت و جریان

در مدل انباشت و جریان سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی، مطابق شکل ۴ متغیرهای انباشت شامل هوشمندسازی، فرهنگ‌سازی، بودجه توسعه معابر، معابر، شبکه اتوبوس‌رانی، ناوگان خریداری



الف: حلقه بودجه کیفیت فیزیکی و فنی و شلوغی اتوبوس و بازگشت به تعادل

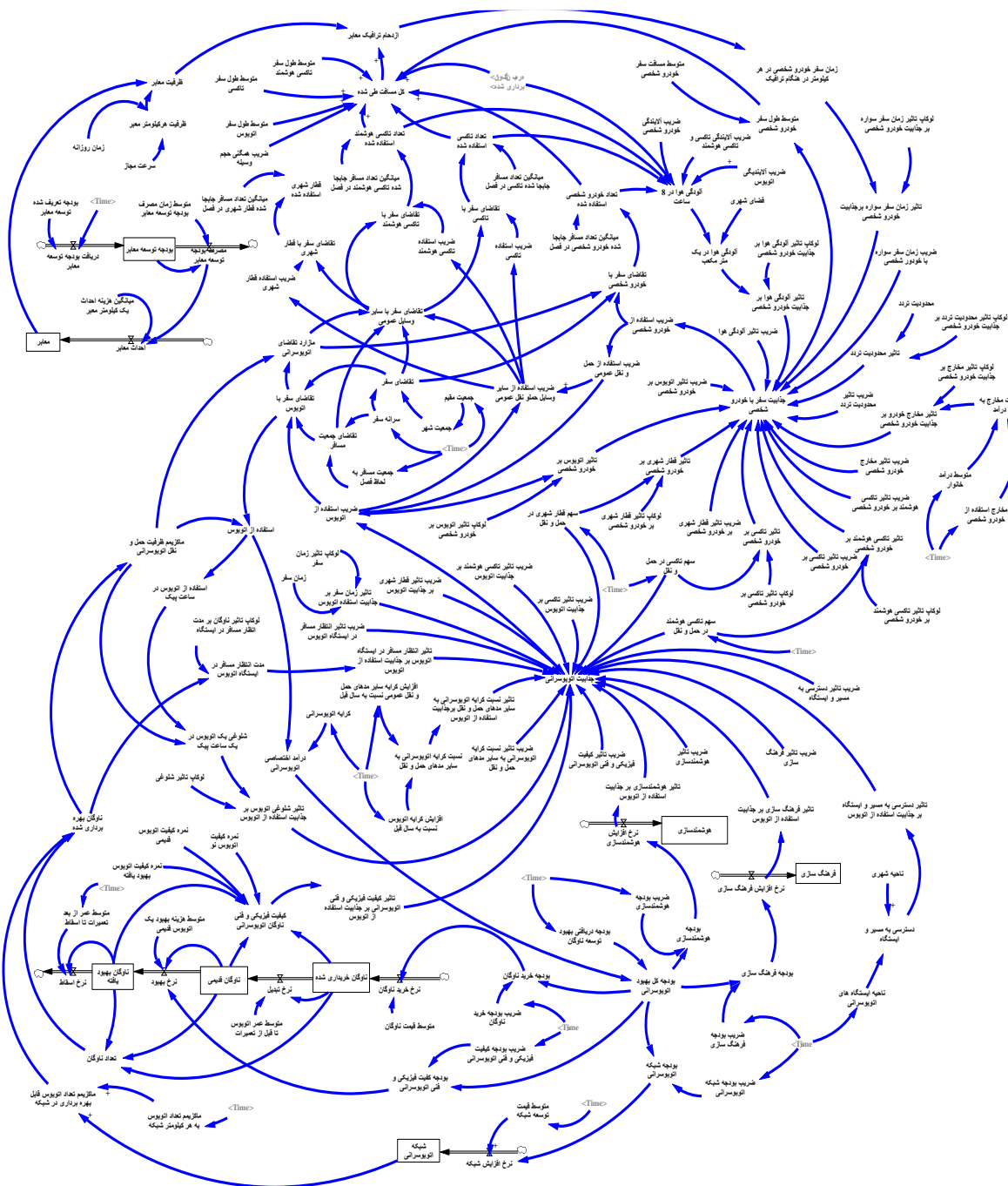
بازگشت به تعادل

طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم -  
ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

سفر در مشهد است. تقاضای سفر یک متغیر درون‌زا است که تعداد کل سفرهای مشهد را نشان می‌دهد. ضریب استفاده از اتوبوس نیز با توجه به جذابیت اتوبوس و ضریب حمل و نقل عمومی مشخص می‌شود. جذابیت اتوبوس رانی هم همان‌طور که اشاره گردید تحت تأثیر متغیرها و عوامل مختلفی است که برخی از این متغیرها تحت تأثیر بودجه تخصیص داده شده به آن‌ها است؛ بنابراین می‌توان گفت تعیین میزان استفاده از اتوبوس می‌تواند تحت تأثیر اقدامات اتوبوس رانی افزایش و یا کاهش یابد. لازم به ذکر است مدل در افق زمانی ده سال از ابتدای سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ برای اعتبارسنجی و از ابتدای ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۸ برای آینده شبیه‌سازی شده است. دوره‌های شبیه‌سازی فصلی است.

شده، ناوگان بهبودیافته و ناوگان قدیمی است. متغیرهای جریان در پژوهش حاضر نرخ افزایش هوشمندسازی، نرخ افزایش فرهنگ‌سازی، نرخ خالص افزایش شبکه، نرخ خرید ناوگان، نرخ تبدیل، نرخ بهبود، نرخ اسقاط، دریافت بودجه توسعه معابر، مصرف بودجه توسعه معابر، احداث معابر است. برخی از مهم‌ترین متغیرهای کمکی شامل تقاضای سفر با سایر وسایل عمومی، تقاضای سفر با اتوبوس و تقاضای سفر است. در سیستم حمل و نقل اتوبوس رانی مهم‌ترین متغیر عملکردی «استفاده از اتوبوس» است. در این مدل، میزان استفاده از اتوبوس با توجه به ظرفیت حمل و نقل اتوبوس رانی و تقاضای سفر با اتوبوس مشخص می‌شود. تقاضای سفر با اتوبوس نیز تحت تأثیر تقاضای

## علیرضا پویا، سمیه فدائی، علی سبویه



شکل ۴. نمودار انباشت و جریان سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی

آزمون اعتبارسنجی، تمامی داده‌های آغازین شبیه‌سازی برای سال ۱۳۹۰ و برای شبیه‌سازی آینده سال ۱۳۹۹ است.

**۵-۳ متغیرهای درون‌زا در مدل**

در جدول ۳ فرمول‌ها و مقادیر متغیرهای مدل حمل و نقل اتوبوسرانی ذکر شده است. مقادیر متغیرهای انباشت مربوط به سال ۱۳۹۰ برای شبیه‌سازی گذشته و سال ۱۳۹۹ برای شبیه‌سازی فصلنامه مهندسی حمل و نقل/ سال پانزدهم/ شماره دوم (۵۹)/ زمستان ۱۴۰۲

**۴-۳ فرموله کردن مدل انباشت و جریان**

در این مرحله، ارتباطات بین اجزای سیستم، با استفاده از معادلات ریاضی مربوطه، از حالت مفهومی (کیفی) به حالت کمی فرموله می‌شوند. در واقع با وارد کردن معادلات، مدل‌های ذهنی به دنیای واقعی پیوند داده می‌شود. لازم به ذکر است در

طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم -  
 ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

آینده است که از اسناد اتوبوس رانی، آمارنامه و ماهنامه سازمان

ترافیک استخراج شده است.

جدول ۳. فرمول برخی از متغیرهای مدل حمل و نقل اتوبوس رانی

ردیف	نام متغیر	نوع متغیر	معادله	واحد	منبع
۱	بودجه توسعه معابر	انباشت	انتگرال (دریافت بودجه توسعه معابر - مصرف بودجه توسعه معابر)	ریال	سامانه شفافیت شهرداری
۲	معابر	انباشت	انتگرال احداث معابر	کیلومتر	آمارنامه سازمان ترافیک
۳	هوشمندسازی	انباشت	انتگرال نرخ افزایش هوشمندسازی	ریال	اسناد بودجه اتوبوس رانی
۴	فرهنگ سازی	انباشت	انتگرال نرخ افزایش فرهنگ سازی	ریال	اسناد بودجه اتوبوس رانی
۵	شبکه اتوبوس رانی	انباشت	انتگرال نرخ خالص افزایش شبکه	کیلومتر	اسناد واحد آمار و اطلاعات اتوبوس رانی
۶	ناوگان خریداری شده	انباشت	انتگرال نرخ خرید ناوگان - نرخ تبدیل	دستگاه	اسناد بودجه اتوبوس رانی
۷	ناوگان قدیمی	انباشت	انتگرال (نرخ تبدیل - نرخ بهبود)	دستگاه	اسناد واحد آمار و اطلاعات اتوبوس رانی
۸	ناوگان بهبود یافته	انباشت	انتگرال نرخ بهبود - نرخ اسقاط	دستگاه	مصاحبه با بخش تعمیرات اتوبوس رانی
۹	نرخ خرید ناوگان	نرخ	عدد صحیح (بودجه خرید ناوگان / متوسط قیمت ناوگان)	دستگاه در فصل	صیادی و آواشتی (۲۰۱۶)
۱۰	نرخ تبدیل	نرخ	عدد صحیح (ناوگان خریداری شده / متوسط عمر قبل از تعمیرات)	دستگاه در فصل	مصاحبه
۱۱	نرخ اسقاط	نرخ	عدد صحیح (ناوگان بهبود یافته / متوسط عمر از تعمیرات)	دستگاه در فصل	مصاحبه
۱۲	نرخ افزایش شبکه	نرخ	بودجه ایجاد شبکه اتوبوس رانی / متوسط قیمت توسعه شبکه	کیلومتر در فصل	مصاحبه
۱۳	دریافت بودجه توسعه معابر	نرخ	(بودجه تعریف شده توسعه معابر (زمان))	ریال در فصل	آمارنامه فاش
۱۴	مصرف بودجه توسعه معابر	نرخ	بودجه توسعه معابر / متوسط زمان مصرف بودجه توسعه معابر	ریال در فصل	مصاحبه
۱۵	احداث معابر	نرخ	تأخیر نوع ۱ (مصرف بودجه توسعه معابر / هزینه احداث یک کیلومتر)	کیلومتر در فصل	صیادی و آواشتی (۲۰۱۶)
۱۷	ظرفیت معابر	کمکی	(معابر * ظرفیت هر کیلومتر) * ۹۰	کیلومتر در فصل	خاتمی (۱۳۹۵) بیرثو و کابرا (۲۰۰۷)

ردیف	نام متغیر	نوع متغیر	معادله	واحد	منبع
۱۸	کل مسافت طی شده	کمکی	(مینیم ناوگان و شبکه*۰,۹۲)*متوسط طول سفر اتوبوس* ضریب همگن سازی وسیله)+ (تعداد تاکسی استفاده شده* متوسط طول سفر تاکسی) + (تعداد تاکسی هوشمند استفاده شده* متوسط طول سفر تاکسی هوشمند) + (تعداد خودرو شخصی استفاده شده* متوسط طول سفر خودرو شخصی)	کیلومتر در وسیله نقلیه	مشابه فرمول صیادی و آواشتی (۲۰۱۶) نصیری جان آقا (۱۳۹۵)
۱۹	ازدحام ترافیک معابر	کمکی	کل مسافت طی شده/ ظرفیت معابر	کیلومتر بر وسیله نقلیه	خاتمی (۱۳۹۵) صیادی و آواشتی (۲۰۱۶) نصیری جان آقا (۱۳۹۵)
۲۰	تقاضای سفر با خودرو شخصی	کمکی	(تقاضای سفر* ضریب استفاده از خودرو شخصی) + اگر (مازاد تقاضای اتوبوس رانی <۰، مازاد تقاضای اتوبوس رانی * ضریب استفاده از خودرو شخصی، در غیر اینصورت مازاد تقاضای اتوبوس رانی=۰)	سفر	مشابه فرمول صیادی و آواشتی (۲۰۱۶)

### ۳-۶ متغیرهای برونزا در مدل

در جدول ۴ مقادیر برخی از متغیرهای برونزا در مدل درج شده است. مقادیر سری های زمانی و مقادیر متغیرهای ثابت از آمارنامه سازمان ترافیک، آمارنامه های فاش و اسناد اتوبوس رانی استخراج شده است. مقادیر توابع لوکاپ از خبرگان پرسیده شده است. برای مثال در جدول ۴ در تابع لوکاپ تأثیر زمان سفر بر جذابیت خودرو شخصی، به ازای زمان سپری شده خودرو شخصی برای طی یک کیلومتر در ترافیک، میزان جذابیت خودرو شخصی به صورت درصد از خبرگان پرسیده شده است. هر چه زمان کمتری صرف پیمایش یک کیلومتر در ترافیک شود جذابیت

بیشتر و هر چه زمان افزایش یابد جذابیت خودرو شخصی کاهش می یابد. سرانه سفر در جدول ۴ یک متغیر تابع زمان است. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، مقادیر سرانه سفر در واحدهای زمانی مدل از آمارنامه سازمان ترافیک استخراج شده است. در جدول ۴ ردیف چهارم ستون دوم مقادیر موجود در پراتز به ترتیب آرگومان اول زمان سپری شده برای طی یک کیلومتر در ترافیک است و آرماگون دوم جذابیت خودرو شخصی با توجه به آرگومان اول است. برای مقادیر موجود در پراتز ستون دوم در ردیف پنجم نیز آرگومان اول واحد زمان (فصل) و آرگومان دوم سرانه سفر در آن فصل است.

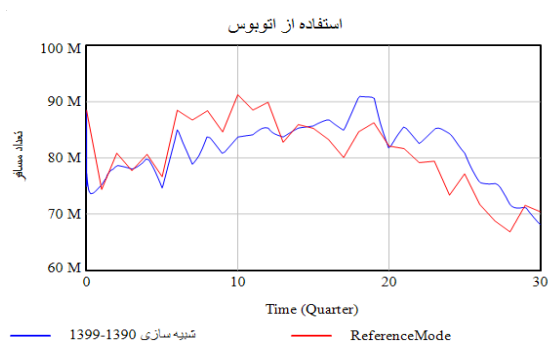
جدول ۴. مقادیر برخی از متغیرهای ثابت و تابع زمان در مدل

نام متغیر	مقدار (واحد)	رفرنس
میانگین هزینه احداث یک کیلومتر معبر	۶۹,۶۴۱ (میلیون ریال)	سامانه شفافیت شهرداری

طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم-ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

نام متغیر	مقدار (واحد)	رفرنس
میانگین تعداد مسافر جابجا شده قطار شهری در فصل	۹.۶ (میلیون مسافر)	آمارنامه سازمان ترافیک
متوسط طول سفر اتوبوس <sup>۴</sup>	۲۷۲*۹۰ (کیلومتر)	اسناد واحد آمار و اطلاعات اتوبوس رانی
لوکاپ تأثیر زمان سفر بر جذابیت خودرو شخصی	(زمان، درصد جذابیت خودرو شخصی) [[۰,۰)(۴,۱)], (۰,۱), (۰,۰.۵), (۰.۹), (۱,۰.۸), (۲,۰.۱), (۳,۰.۰۵), (۳.۵,۰)]	خبره
سرانه سفر	WITH LOOKUP (Time, [(۰,۰) (۳۶,۲۰۰)], (۰,۱۸۰.۳۱۶), (۱,۱۸۰.۳۱۶), (۲,۱۸۰.۳۱۶), (۳,۱۸۰.۳۱۶), (۴,۱۸۰.۳۱۶), (۵,۱۸۰.۳۱۶), (۶,۱۸۰.۳۱۶), (۷,۱۸۰.۳۱۶), (۸,۱۸۰.۳۱۶), (۹,۱۸۰.۳۱۶), (۱۰,۱۸۰.۳۱۶), (۱۱,۱۸۰.۳۱۶), (۱۲,۱۷۹.۳۲۸), (۱۳,۱۷۹.۳۲۸), (۱۴,۱۷۹.۳۲۸), (۱۵,۱۷۹.۳۲۸), (۱۶,۱۷۹.۳), (۱۷,۱۸۳.۹۱۱), (۱۸,۱۸۳.۹۱۱), (۱۹,۱۸۳.۹۱۱), (۲,۰,۱۷۲.۱۵۶), (۲۱,۱۷۲.۱۵۶), (۲۲,۱۷۲.۱۵۶), (۲۳,۱۷۲.۱۵۶), (۲۴,۱۷۶.۹۴۱), (۲۵,۱۷۶.۹۴۱), (۲۶,۱۷۶.۹۴۱), (۲۷,۱۷۶.۹۴۱), (۲۸,۱۷۶.۵۳۷), (۲۹,۱۷۶.۵۳۷), (۳۰,۱۷۶.۵۳۷), (۳۱,۱۷۶.۵۳۷), (۳۲,۱۷۶.۵), (۳۳,۱۸۴.۵۳۷), (۳۴,۱۸۴.۵۳۷), (۳۵,۱۸۴.۵۳۷), (۳۶,۲۰۰)])	آمارنامه سازمان ترافیک

۴. اعتبارسنجی مدل  
یکی از مراحل مهم مدل‌سازی، اعتبارسنجی مدل می‌باشد. اعتبارسنجی، اساساً فرآیندی برای ایجاد اطمینان نسبت به درستی و سودمندی مدل به عنوان یک ابزار سیاست‌گذاری است [Rabieh and Yasoubi, 2017]. در این تحقیق از آزمون سازگاری ابعاد، آزمون بازتولید رفتار و آزمون‌های حدی استفاده می‌شود.



شکل ۵. مقایسه رفتار بازتولید مرجع متغیر استفاده از اتوبوس با رفتار مرجع

۴-۱ آزمون بازتولید رفتار  
مدل‌های شبیه‌سازی شده باید مشابهت‌های نزدیکی با سیستم واقعی داشته باشند. از این رو مدل شبیه‌سازی شده باید به لحاظ شکل ظاهری مدل، نحوه عملکرد و اعتبار نتایج چک شوند. با آزمون بازتولید، رفتار ایجاد شده توسط مدل با رفتار واقعی سیستم (الگوهای مرجع) مقایسه می‌شود؛ در شکل ۵ رفتار مرجع متغیر استفاده از اتوبوس با نمودار بازتولید مرجع مقایسه شده است. رفتار مرجع<sup>۵</sup> بررسی رفتار مسئله و یا متغیر مورد نظر در فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال پانزدهم / شماره دوم (۵۹) / زمستان ۱۴۰۲

آزمون شرایط حدی، بر مقاوم بودن مدل در شرایط حدی تأکید دارد؛ به این معنا که تحت هر شرایطی با تغییر سیاست‌ها و یا مقادیر ورودی‌ها، مدل باید رفتار مورد انتظار را از خود نشان دهد [Saryazdi and Owlia 2014]. در جدول ۵ آزمون-های حدی و نتایج حاصل از اجرای آن بیان شده است. همچنین در شکل ۶ نتایج حاصل از اجرای آزمون حدی تقاضای سفر به صورت نمودار نشان داده شده است. در این آزمون، مقدار تقاضای سفر کاهش داده شده و میزان حساسیت مدل در برابر این تغییر بررسی شده است، به این معنی که به ازای کاهش حدی در تقاضای سفر چه تغییراتی در رفتار متغیرهای کلیدی قابل انتظار است.

می‌توان استدلال نمود که تاکسی‌های هوشمند در مشهد در دوره زمانی ۲۴ (سال ۹۶) شروع به فعالیت نموده‌اند و به‌عنوان رقیب قدرتمند که همه‌جا در دسترس است وارد عرصه رقابت شده‌اند. همچنین می‌توان علت کاهش نامحسوس در دوره زمانی ۱۹ تا ۲۴ (سال ۱۳۹۵) را افتتاح خط دو قطار شهری دانست. همان‌طور که در شکل ۲ و ۴ مشاهده می‌شود عوامل مؤثر بر سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی لحاظ شده است که از جمله می‌توان به تأثیر سایر مدها اشاره نمود. در واقع تأیید آزمون بازتولید رفتار نشان می‌دهد که عوامل و روابط بین آن‌ها به درستی شناسایی شده است.

#### ۴-۲ آزمون حدی و بررسی منطقی بودن نتایج

جدول ۵. معرفی و نتایج آزمون‌های حدی

معلول	متغیرهای واسط		علت		آزمون حدی
	نتیجه	انتظار محقق	اقدام	متغیر	
کاهش	کاهش	استفاده از اتوبوس	کاهش	سرانه سفر	آزمون تقاضای سفر
افزایش	افزایش	اتوبوس	افزایش	ناوگان جدید، ناوگان قدیمی، ناوگان بهبودیافته	آزمون حدی تعداد اتوبوس
کاهش	کاهش	استفاده از اتوبوس	کاهش	بودجه کل بهبود اتوبوس‌رانی، بودجه هوشمندسازی نرخ افزایش هوشمندسازی، تأثیر هوشمندسازی بر جذابیت استفاده از اتوبوس، ضریب استفاده از اتوبوس	آزمون حدی بودجه دریافتی
افزایش	افزایش	اتوبوس	افزایش	بودجه دریافتی بهبود اتوبوس‌رانی	
کاهش	کاهش	استفاده از اتوبوس	کاهش	ناحیه ایستگاه اتوبوس‌رانی	آزمون حدی ناحیه ایستگاه-های اتوبوس‌رانی
افزایش	افزایش	اتوبوس	افزایش	نسبت کرایه اتوبوس‌رانی به سایر مدهای حمل‌ونقل، تأثیر نسبت کرایه اتوبوس‌رانی به سایر مدهای حمل‌ونقل بر جذابیت استفاده از اتوبوس، ضریب استفاده از اتوبوس	
کاهش	کاهش	استفاده از اتوبوس	کاهش	افزایش کرایه اتوبوس نسبت به سال قبل	آزمون حدی کرایه اتوبوس
افزایش	افزایش	اتوبوس	افزایش		



طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

آزمون حدی	علت		متغیرهای واسط	معلول	
	متغیر	اقدام		نتیجه	انتظار محقق
			استفاده از اتوبوس، تقاضای سفر با اتوبوس، استفاده از اتوبوس		
آزمون حدی	افزایش کرایه سایر		نسبت کرایه اتوبوس رانی به سایر مدهای حمل و نقل، تأثیر نسبت کرایه اتوبوس رانی به سایر مدهای حمل و نقل بر	استفاده از اتوبوس	کاهش
کرایه سایر مدها	مدها نسبت به سال قبل	کاهش	جذابیت استفاده از اتوبوس، جذابیت اتوبوس، ضریب استفاده از اتوبوس، تقاضای سفر با اتوبوس، استفاده از اتوبوس	کاهش	کاهش
آزمون حدی			نسبت مخارج به درآمد، تأثیر مخارج خودرو بر جذابیت خودرو شخصی، جذابیت خودرو شخصی، ضریب استفاده از خودرو شخصی، ضریب استفاده از اتوبوس، تقاضای سفر با اتوبوس، استفاده از اتوبوس	افزایش	افزایش
نسبت مخارج خودرو شخصی به درآمد خانوار	درآمد خانوار	کاهش	عمومی، ضریب استفاده از اتوبوس، تقاضای سفر با اتوبوس، استفاده از اتوبوس	افزایش	افزایش
درآمد خانوار					

## ۵. نتایج حاصل از اجرای شبیه‌سازی مدل

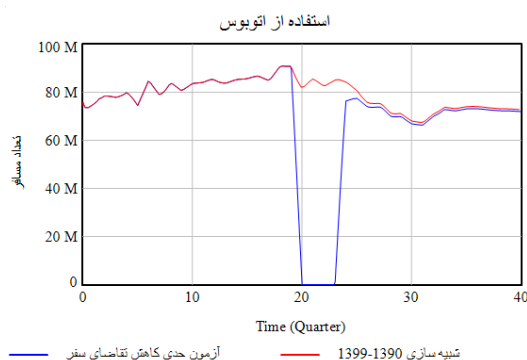
### انباشت و جریان

برای شبیه‌سازی در افق زمانی آینده از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۸، لازم است مقادیر متغیرهای تابع زمان و مقادیر متغیرهای انباشت در مدل مطابق افق زمانی به روزرسانی شوند. به دلیل نبود اطلاعات در بازه زمانی آینده، متغیرهای ثابت برون‌زای تابع زمان پیش‌بینی شده‌اند. هدف تحقیق حاضر، افزایش استفاده از اتوبوس است. جهت مشاهده و تحلیل رفتار مدل، شبیه‌سازی در بازه ۱۰ ساله یعنی از ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۸ انجام شده است. در ادامه، نتایج برخی از متغیرهای سیستم آورده شده است.

جذابیت اتوبوس تحت تأثیر متغیرهای مختلفی همچون جذابیت تاکسی، تاکسی هوشمند، جذابیت قطار، دسترسی به مسیر و ایستگاه، فرهنگ‌سازی، هوشمندسازی اتوبوس‌رانی، نسبت افزایش کرایه اتوبوس به سایر مدها، کیفیت فیزیکی و فنی و شلوغی اتوبوس تعیین می‌شود. در ب: جذابیت اتوبوس شکل ۷ (ب) جذابیت اتوبوس کاهش یافته است لذا می‌توان نتیجه گرفت اکثر متغیرهای تأثیرگذار بر جذابیت اتوبوس موجب کاهش جذابیت اتوبوس شده است.

## ۴-۲-۱ آزمون حدی کاهش تقاضای سفر

در این آزمون، سرانه سفر در دوره ۲۰ تا ۲۴ صفر قرار داده شد. صفر شدن سرانه سفر بدین معنی است که هیچ‌یک از افراد شهر تقاضای سفر ندارد؛ بنابراین انتظار می‌رود تقاضای سفر با اتوبوس و به تبع استفاده از اتوبوس صفر شود. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با صفر شدن سرانه سفر، متغیر استفاده از اتوبوس صفر شده است.

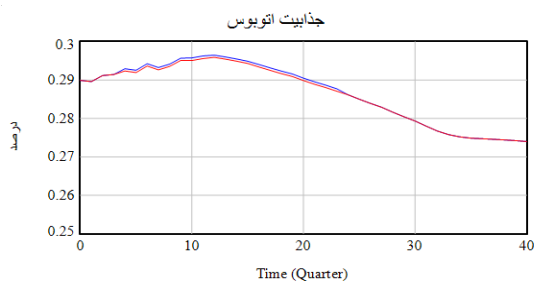


شکل ۶. آزمون حدی کاهش تقاضای سفر بر متغیر استفاده از اتوبوس

سیستم برای کسب آمادگی در برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم اتوبوس‌رانی در نظر گرفته شوند. در این بخش دو سناریو کرایه و افزایش بودجه دریافتی از شهرداری در نظر گرفته شده است.

### ۶-۱-۱ سناریو کرایه

در سال ۱۳۹۹ متوسط کرایه اتوبوس‌رانی ۷۵۰۰ ریال است. در این سناریو فرض می‌شود اگر نسبت افزایش کرایه در سال ۱۴۰۰ صفر درصد باشد. کرایه در سال ۱۴۰۰ نیز همان ۷۵۰۰ است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در صورت عدم‌تغییر کرایه اتوبوس‌رانی در مقایسه با سایر مدهای حمل‌ونقل، جذابیت اتوبوس به میزان خیلی کمی افزایش می‌یابد. در سناریو کرایه ۱ به‌صورت بلندمدت به مدت ۵ سال در دوره‌های ۴ تا ۲۴ مقدار نسبت افزایش کرایه اتوبوس‌رانی به سال قبل صفر است. به عبارتی در تمام این دوره، کرایه اتوبوس‌رانی هیچ تغییر نکرده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در این سناریو با کاهش کرایه، جذابیت اتوبوس نسبت به حالت قبل افزایش یافته و در نتیجه منجر به افزایش استفاده از اتوبوس شده است.

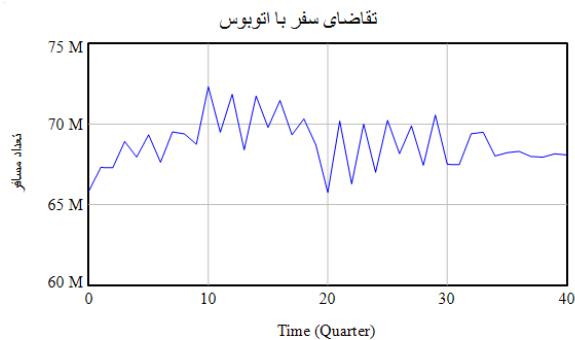


شکل ۸ تأثیر سناریو کرایه بلندمدت ۱ بر جذابیت اتوبوس

### ۶-۱-۲ سناریو بودجه دریافتی بهبود اتوبوس‌رانی

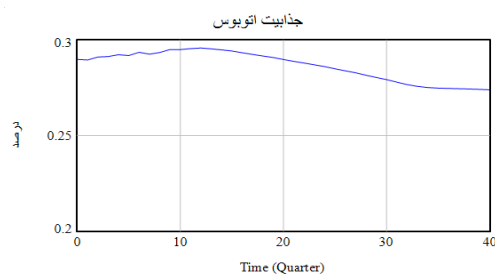
بر اساس نظر خبرگان سازمان اتوبوس‌رانی، بودجه هر سال به‌طور مساوی برای فصل‌های مختلف تقسیم می‌شود. لذا مقدار بودجه در هر فصل ۵۷۶۰۰ میلیون ریال است. در سناریو بودجه دریافتی، فرض می‌شود در سال (۱۴۰۰)، بودجه پنج درصد بیشتر از مبلغ گفته‌شده باشد؛ یعنی حدود مبلغ ۱۰۵۷۷ میلیون ریال بیشتر از ۲۱۱۵۵۸ میلیون ریال باشد. به عبارتی بودجه دریافتی معادل مبلغ (۲۲۲۱۳۵) میلیون ریال در سال (۱۴۰۰) باشد. در

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل/ سال پانزدهم/ شماره دوم (۵۹)/ زمستان ۱۴۰۲



شبهه سازی مدل در افق زمانی 1408-1399

### الف: تقاضای سفر با اتوبوس



شبهه سازی مدل در افق زمانی 1408-1399

### ب: جذابیت اتوبوس

شکل ۷. نتایج حاصل از اجرای شبیه‌سازی مدل انباشت و جریان

### حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی در افق زمانی ۱۳۹۹-۱۴۰۸

استفاده از اتوبوس تحت تأثیر "ضریب استفاده از اتوبوس" و "تقاضای سفر" است. ضریب استفاده از اتوبوس تحت تأثیر "ضریب استفاده از حمل‌ونقل عمومی" و "جذابیت اتوبوس" است. مطابق آمارنامه ترافیک، تقاضای سفر در مشهد در حال افزایش است اما در ب: جذابیت اتوبوس

شکل ۷ (الف) مشاهده می‌شود تقاضای سفر با اتوبوس نسبتاً کاهش یافته است، بنابراین کاهش استفاده از اتوبوس نتیجه کاهش ضریب استفاده از اتوبوس است. علت کاهش ضریب استفاده از اتوبوس نیز کاهش جذابیت اتوبوس است. علت نوسان در تقاضای سفر با اتوبوس، جمعیت مسافر در فصول مختلف است.

## ۶. سناریو پردازی و طراحی سیاست‌ها

### ۶-۱ سناریو پردازی

به دلیل وجود عدم قطعیت در رویدادهای آینده، لازم است تا تعدادی از آینده‌های جایگزین (سناریوها) در محیط بیرونی مرز

طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

شکل ۹. تأثیر سناریو بودجه بر استفاده از اتوبوس

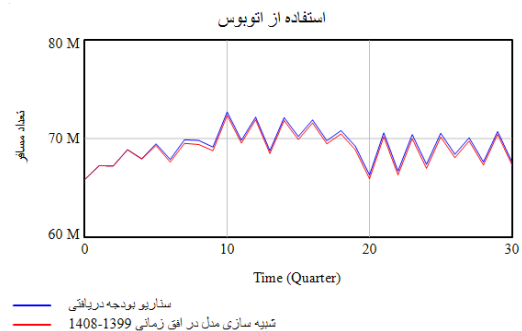
سناریو بلندمدت فرض می‌شود از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۴ (دوره ۴ تا ۲۴) به مدت پنج سال از میزان پیش‌بینی شده پنج درصد بیشتر دریافت شود. این آزمون جهت بررسی این موضوع است که آیا دریافت بلندمدت می‌تواند منجر به تغییر عمده در استفاده از اتوبوس شود. مشاهده می‌شود که تغییر چندانی در متغیر استفاده از اتوبوس حاصل نشده است (شکل ۹). همان‌طور که مشاهده شد تداوم افزایش بودجه هم نمی‌تواند منجر به افزایش چشمگیر استفاده از اتوبوس شود، لذا می‌توان نتیجه گرفت، بدون استفاده از سیاست بودجه‌ای مناسب، حتی اگر شرایط دریافت بودجه به‌طور بلندمدت هم در درصدهای ذکر شده افزایش داشته باشد، نمی‌توان انتظار افزایش چشمگیر استفاده از اتوبوس را داشت. در بخش سیاست‌ها بررسی می‌شود بودجه به چه نحوی بین بخش‌ها تقسیم شود که منجر به افزایش استفاده از اتوبوس گردد.

۶-۲ طراحی سیاست

پس از آن‌که مدل طراحی‌شده مورد اطمینان قرار گرفت، به طراحی و ارزیابی سیاست‌های افزایش استفاده از اتوبوس در سیستم اتوبوس‌رانی پرداخته می‌شود. در سیستم مورد مطالعه مسئله تعیین مناسب بودجه بهبود کیفیت حمل و نقل اتوبوس‌رانی به بخش‌های مختلف در راستای افزایش استفاده از اتوبوس وجود دارد، اینکه تغییر بودجه‌ها در بخش‌های مختلف چه تأثیری در افزایش استفاده از اتوبوس دارد. لذا سیاست‌های ارائه‌شده در این بخش با توجه به معیار بودجه مشخص شده است.

۶-۲-۱ طراحی سیاست‌های بودجه اتوبوس‌رانی

در این بخش، سیاست‌های بودجه‌ای مختلف تعریف می‌شود. در واقع سهم بودجه تعریف‌شده‌ی هر بخش از بودجه کل بهبود اتوبوس‌رانی مشخص و تأثیر آن بر روی متغیر کلیدی عملکرد استفاده از اتوبوس نشان داده می‌شود. در جدول ۶، هفت نوع سیاست بر اساس تغییر در سهم بودجه هر یک از بخش‌های اتوبوس‌رانی مشخص شده است.

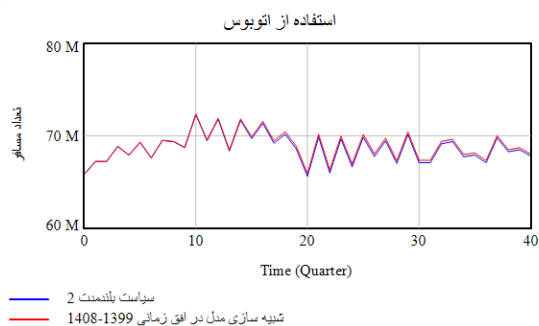


جدول ۶. معرفی سیاست‌های بودجه‌ای

سیاست	ضریب هوشمندسازی	مبلغ حدودی ریالی هوشمند سازی	ضریب خرید ناوگان	مبلغ حدودی ریالی ناوگان	ضریب کیفیت	مبلغ حدودی ریالی کیفیت	ضریب فرهنگ‌سازی	مبلغ حدودی ریالی فرهنگ‌سازی	دوره
۱	افزایش ۰,۰۱	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ افزایش	کاهش ۰,۰۱	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ کاهش	ثابت	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰	ثابت	ثابت	۲۴-۴
۲	ثابت	ثابت	کاهش ۰,۰۱	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ کاهش	افزایش ۰,۰۱	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ افزایش	ثابت	ثابت	۲۴-۴
۳	ثابت	ثابت	کاهش ۰,۰۱	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ کاهش	ثابت	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰	افزایش ۰,۰۱	افزایش	۲۴-۴
۴	افزایش ۰,۰۱	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ افزایش	کاهش ۰,۰۲	۱,۴۴۵,۴۱۶,۰۰ کاهش ۰۰	افزایش ۰,۰۱	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ افزایش	ثابت	ثابت	۲۴-۴

۲۴-۴	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰	افزایش	۰,۰۱	افزایش	ثابت	ثابت	۱,۴۴۵,۴۱۶,۰	کاهش	۰,۰۲	کاهش	۰۰	کاهش	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰	افزایش	۰,۰۱	افزایش	۵
۲۴-۴	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰	افزایش	۰,۰۱	افزایش	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰	۰,۰۱	۱,۴۴۵,۴۱۶,۰	کاهش	۰,۰۲	کاهش	۰۰	کاهش	۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰	ثابت	ثابت	ثابت	۶

است. لازم به ذکر است در محاسبه کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی نمره اتوبوس جدید، بیشتر از اتوبوس بهبودیافته است، لذا با کاهش بودجه خرید ناوگان طبیعتاً نمره کیفیت فیزیکی و فنی کاهش خواهد یافت اما از طرف دیگر بودجه کاهش‌یافته در خرید ناوگان به بودجه کیفیت فیزیکی و فنی اختصاص یافته است بنابراین می‌تواند باعث افزایش کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی شود. لذا اجرای این سیاست از یک طرف با کاهش بودجه خرید ناوگان منجر به کاهش کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی و از طرف دیگر اختصاص بودجه خرید ناوگان به بودجه بهبود کیفیت فیزیکی و فنی منجر به افزایش بهبود کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی شده است؛ بنابراین اجرای بلندمدت سیاست ۲ (پنج سال از ابتدای دوره ۴ تا ابتدای دوره ۲۴) در بلندمدت موجب کاهش نامحسوس استفاده از اتوبوس نیز شده است. دلیل این امر در این است که محاسبه کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی نمره اتوبوس جدید، بیشتر از اتوبوس بهبودیافته است، بنابراین با اجرای بلندمدت این سیاست در سال‌های بعد اثر خود را نشان داده و استفاده از اتوبوس را کاهش می‌دهد.

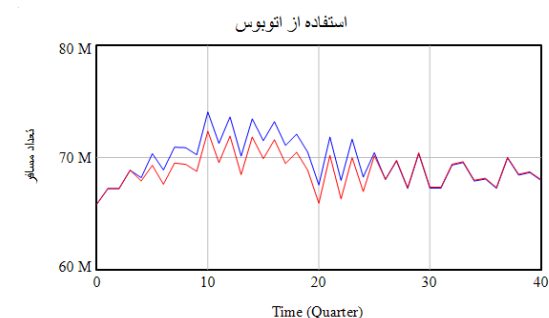


شکل ۱۱. تأثیر سیاست ۲ بر استفاده از اتوبوس

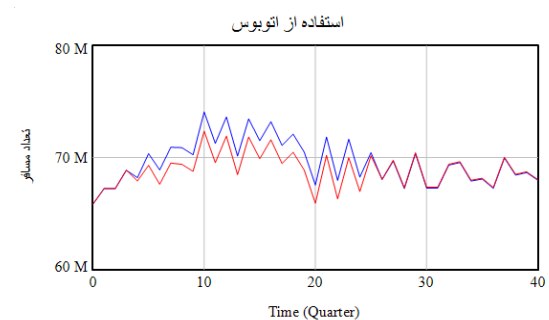
در سیاست سوم (پنج سال از ابتدای دوره ۴ تا ابتدای دوره ۲۴) درصد بودجه ناوگان ۰,۰۱ معادل مبلغ ریالی ۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل/ سال پانزدهم/ شماره دوم (۵۹)/ زمستان ۱۴۰۲

در سیاست اول (پنج سال از ابتدای دوره ۴ تا ابتدای دوره ۲۴) درصد بودجه ناوگان ۰,۰۱ معادل مبلغ ریالی ۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ کاهش داده می‌شود و این مبلغ به بودجه هوشمندسازی اضافه می‌شود. همان‌طور که



شکل ۱۰ مشاهده می‌شود اجرای این سیاست منجر به افزایش استفاده از ناوگان شده است، اما مشاهده می‌شود به علت حضور حلقه‌های تعادلی، این افزایش دوامی نداشته و استفاده از اتوبوس مجدد کاهش یافته است.

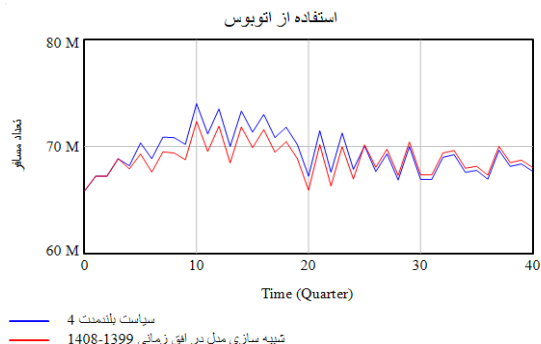


شکل ۱۰. تأثیر سیاست ۱ بر استفاده از اتوبوس

در سیاست دوم (پنج سال از ابتدای دوره ۴ تا ابتدای دوره ۲۴) درصد بودجه ناوگان ۰,۰۱ معادل مبلغ ریالی ۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ کاهش داده می‌شود و این مبلغ به بودجه کیفیت فیزیکی و فنی اضافه می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود اجرای این سیاست منجر به تغییر محسوسی در استفاده از ناوگان نشده

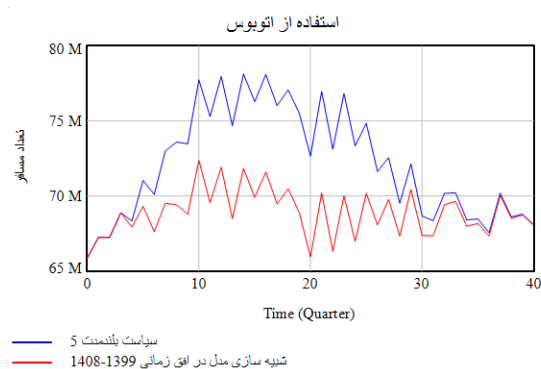
## طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

و فنی در نهایت منجر به کاهش نامحسوس در بلندمدت در استفاده از اتوبوس می‌شود، اما در این سیاست بخشی از بودجه خرید ناوگان به هوشمندسازی اختصاص یافته است در نتیجه نسبت به سیاست دوم افزایش استفاده از اتوبوس رخ داده است.



شکل ۱۳. تأثیر سیاست ۴ بر استفاده از اتوبوس

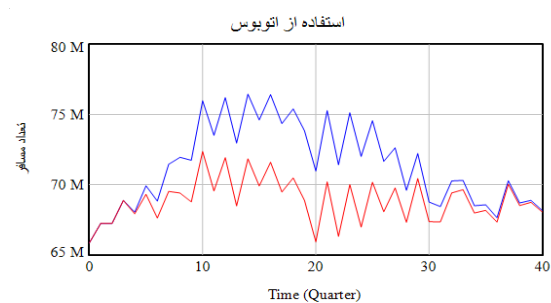
در سیاست پنجم (پنج سال از ابتدای دوره ۴ تا ابتدای دوره ۲۴) درصد بودجه ناوگان ۰,۰۲ معادل مبلغ ریالی ۱,۴۴۵,۴۱۶,۰۰۰ کاهش داده می‌شود و این مبلغ به‌طور مساوی به بودجه فرهنگ‌سازی و هوشمندسازی اضافه می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود اجرای این سیاست منجر به افزایش استفاده از ناوگان شده است. این سیاست، تلفیقی از سیاست اول و سوم است بنابراین طبیعی است که تأثیر بلندمدت در استفاده از اتوبوس داشته است.



شکل ۱۴. تأثیر سیاست ۵ بر استفاده از اتوبوس

در سیاست ششم (پنج سال از ابتدای دوره ۴ تا ابتدای دوره ۲۴)، درصد بودجه ناوگان ۰,۰۲ معادل مبلغ ریالی ۱,۴۴۵,۴۱۶,۰۰۰ کاهش داده می‌شود و این مبلغ به‌طور مساوی به بودجه فرهنگ‌سازی و کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌رانی اضافه

کاهش داده می‌شود و این مبلغ به بودجه فرهنگ‌سازی اضافه می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود اجرای این سیاست منجر به افزایش استفاده از ناوگان شده است و حتی تأثیر بلندمدت در استفاده از اتوبوس داشته است. این تأثیر تا دوره ۲۰ در نمودار قابل مشاهده است اما به مرور زمان اثر این تأثیر کم می‌شود و در دوره‌های بعد به علت بزرگ بودن دامنه اعداد در نمودار قابل مشاهده نیست.



شکل ۱۲. تأثیر سیاست ۳ بر استفاده از اتوبوس

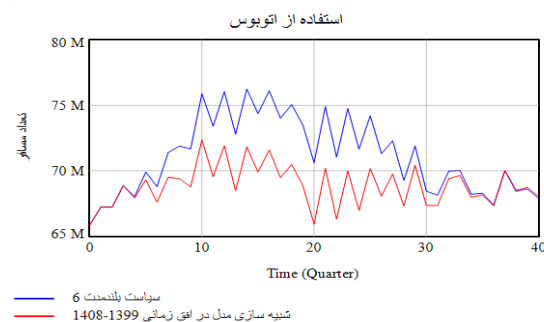
در سیاست چهارم (پنج سال از ابتدای دوره ۴ تا ابتدای دوره ۲۴) درصد بودجه خرید ناوگان ۰,۰۲ معادل مبلغ ریالی ۱,۴۴۵,۴۱۶,۰۰۰ کاهش داده می‌شود. سپس این مبلغ در بودجه هوشمندسازی، کیفیت فیزیکی و فنی ناوگان به‌طور مساوی استفاده می‌شود. به عبارتی به هرکدام از بودجه‌های ذکر شده حدوداً مبلغ ۷۲۲,۷۰۸,۰۰۰ اضافه می‌شود. در شکل ۱۳ تأثیر این سیاست بر متغیر استفاده از اتوبوس نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اجرای این سیاست منجر به افزایش استفاده از اتوبوس در دوره مذکور شده است ولی مانند سیاست سوم تأثیر بلندمدت نداشته است. این امر بدین علت است که در سیاست سوم بودجه فرهنگ نیز افزایش یافته است و فرهنگ دارای اثرات بلندمدت است، در حالیکه در سیاست چهارم ضریب بودجه فرهنگ تغییر نکرده است. البته همان‌طور که مشاهده می‌شود، اجرای این سیاست تقریباً مانند سیاست اول است، دلیل این امر این است که این سیاست تلفیقی از سیاست‌های اول و دوم است. همان‌طور که در سیاست دوم ذکر شد، کاهش بودجه خرید ناوگان و افزایش بودجه کیفیت فیزیکی

## ۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

روند رو به رشد شهرنشینی و افزایش استفاده از خودرو شخصی معضلات فراوانی را به همراه داشته که در بسیاری موارد بسیار پیچیده هستند. یکی از راهکارهای کاهش اثرات نامطلوب استفاده بیش از حد از خودرو شخصی، تشویق کاربران به استفاده از حمل‌ونقل عمومی است. در راستای نیل به این امر، تلاش‌های زیادی انجام شده است. در قالب این تلاش‌ها، طرح‌های گوناگونی به مرحله اجرا رسیده‌اند که از آن میان می‌توان به طرح محدوده‌های ترافیکی، افزایش جریمه‌ها و غیره اشاره نمود؛ اما سؤال آن است که چرا هنوز با آنکه این طرح‌ها به مرحله اجرا درآمده‌اند، در کلان‌شهرهایی مانند شهر مشهد، استفاده از حمل‌ونقل عمومی به‌خصوص استفاده از حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی سهم کمی از تقاضای سفر را به خود اختصاص داده است. مشکلی که به نظر می‌رسد هرروزه نه تنها باری از آن برداشته نمی‌شود، بلکه بدتر نیز می‌شود. بدین جهت، به‌منظور ارائه سیاست‌های بهبودی، ابتدا لازم است سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی و ارتباط آن با سایر بخش‌های حمل‌ونقل مورد بررسی قرار بگیرد. در واقع ارائه سیاست بدون در نظر گرفتن روابط و اثر آن‌ها در دیگر متغیرها ممکن است عوارض جانبی پیش‌بینی نشده‌ای به دنبال داشته باشد و تلاش در پایدار کردن سیستم ممکن است به ناپایداری بیشتر آن منجر شود؛ بنابراین نگاه سیستمی در هنگام بررسی‌ها می‌تواند به ارائه سیاست‌های بهتر کمک نماید. لذا در این تحقیق سیستم اتوبوس‌رانی و ارتباط آن با دیگر بخش‌های حمل‌ونقل مدل‌سازی شد.

در مدل ارائه‌شده، بخش‌های مختلف اتوبوس‌رانی و تأثیر آن بر جذابیت اتوبوس لحاظ شده است. در واقع اقدامات اتوبوس‌رانی می‌تواند موجب افزایش جذابیت اتوبوس شود، این در حالی است که جذابیت سایر مدها بر جذابیت اتوبوس نیز لحاظ شده است. ملاحظه می‌شود تمام عوامل مؤثر بر سهم اتوبوس از تقاضای سفر لحاظ شده است؛ بنابراین انتظار می‌رود پیشنهاد

می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود اجرای این سیاست منجر به افزایش استفاده از ناوگان شده است. این سیاست ترکیبی از سیاست‌های دوم و سوم است؛ بنابراین به دلیل افزایش بودجه فرهنگ، اجرای این سیاست تأثیر بلندمدت دارد. همان‌طور که در سیاست دوم ذکر شد، کاهش بودجه خرید ناوگان و افزایش بودجه کیفیت فیزیکی و فنی در نهایت منجر به کاهش نامحسوس در استفاده از اتوبوس می‌شود اما در این سیاست بخشی از بودجه خرید ناوگان به فرهنگ‌سازی اختصاص یافته است در نتیجه نسبت به سیاست دوم افزایش استفاده از اتوبوس رخ داده است اما استفاده از اتوبوس به مقدار خیلی ناچیزی از سیاست سوم کمتر است.



شکل ۱۵. تأثیر سیاست ۶ بر استفاده از اتوبوس

## ۶-۳ ارزیابی سیاست‌ها

در بخش قبل نتایج سیاست‌های اعمال‌شده در مدل نشان داده شد. در این بخش به مقایسه سیاست‌ها پرداخته می‌شود. انتخاب بهترین سیاست از هفت سیاست بودجه‌ای تعریف‌شده، با توجه به متغیر کلیدی عملکرد «استفاده از اتوبوس» است. در شکل‌های ۱۱ تا ۱۶ میزان افزایش یا کاهش در اثر اجرای سیاست نشان داده شده است. در بین سیاست‌های مذکور، سیاست سوم دارای اثر بلندمدت تا انتهای افق زمانی است. با توجه به اینکه در سیاست پنجم هم تأثیر بلندمدت وجود دارد و هم نسبت به سایر سیاست‌ها منجر به افزایش بیشتری در استفاده از اتوبوس شده است، لذا این سیاست از سایر سیاست‌های بودجه‌ای دیگر ارجحیت دارد.

## طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی

سیستم‌ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

از اتوبوس شود. نتایج هفت سیاست نشان می‌دهد اجرای سیاست دوم موجب بهبود عملکرد متغیر کلیدی عملکرد نمی‌شود و حتی به میزان بسیار کم آن را کاهش داده است. شش سیاست دیگر موجب افزایش استفاده از اتوبوس شده‌اند. از بین سیاست‌های ارائه شده سیاست سوم دارای اثرات بلندمدت بر افزایش استفاده از اتوبوس است و سیاست اول در مقایسه با سیاست سوم منجر به افزایش بیشتری در استفاده از اتوبوس شده است اما اثرات بلندمدت زیادی ندارد؛ بنابراین انتظار می‌رود سیاستی که ترکیبی از سیاست اول و سوم باشد نتایج بهتری ارائه کند. لذا سیاست پنجم پیشنهاد شد و همان‌طور که انتظار می‌رفت موجب افزایش بیشتر در استفاده از اتوبوس شد و همچنین نسبت به سیاست اول اثر طولانی‌تری بر افزایش استفاده از اتوبوس دارد. با توجه به آنچه گفته شد، سیاست کاهش بودجه اتوبوس رانی و تخصیص بودجه کاهش یافته از خرید ناوگان به فرهنگ سازی و هوشمندسازی پیشنهاد می‌شود. این سیاست منجر به افزایش استفاده از اتوبوس می‌شود و همچنین اثر بلندمدت دارد. در این تحقیق صرفاً سیاست‌های بودجه در حمل و نقل اتوبوس رانی مورد بررسی قرار گرفته است، در پژوهش‌های آتی می‌توان برخی سیاست‌های دیگر و همچنین تأثیر چندگانه سیاست‌ها بر یکدیگر را نیز مورد بررسی قرار داد. همچنین جهت ارائه یک مدل تکمیلی، ترکیب مدل تحقیق حاضر و مدل بهینه‌سازی برای طراحی شبکه اتوبوس رانی پیشنهاد می‌شود. با توجه به وقوع بحران بیماری همه‌گیر کووید ۱۹، پیشنهاد می‌شود تأثیر این بحران بر روی سیستم حمل و نقل شهری مورد بررسی قرار گیرد.

### ۸. ملاحظات

این مقاله مستخرج از طرح انجام شده توسط دانشگاه فردوسی مشهد به کارفرمایی شهرداری مشهد به شماره کد ۲۳۸۲۷۵/۹۸/۳۲۶ می‌باشد.

سیاست در این سیستم و ارزیابی سیاست با توجه به نتایج رفتار متغیر کلیدی عملکرد «استفاده از اتوبوس» قابل اطمینان باشد؛ لذا تصمیم‌گیرندگان سازمان اتوبوس رانی از مدل طراحی شده می‌توانند جهت بررسی تغییرات و اجرای سیاست‌های مربوط به افزایش سهم استفاده از اتوبوس استفاده نمایند. ضمن این که مدل شبیه‌سازی شده، این امکان را فراهم می‌آورد که قبل از اجرای هرگونه اقدامی بتوان خروجی‌های حاصل از اجرای آن اقدام را در یک محیط شبیه‌سازی شده با در نظر گرفتن روابط بازخوردی بین متغیرهای کلیدی مشاهده نمود. چنین قابلیت می‌تواند تا حد زیادی از اقدامات اشتباهی که گاهی اوقات ممکن است خسارات جبران‌ناپذیری را نیز به سیستم تحمیل کنند، جلوگیری نماید.

با توجه به مدل شبیه‌سازی برای سیستم اتوبوس رانی، تصمیم‌گیرندگان مربوطه می‌توانند از آن برای مدیریت بهتر بودجه کل بهبود حمل و نقل اتوبوس رانی خود جهت افزایش استفاده از اتوبوس استفاده نمایند. در این راستا، پیشنهادهای با توجه به سیاست‌های ارائه شده به شرح زیر ارائه می‌گردند.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد فرهنگ‌سازی دارای اثر بلندمدت بر افزایش تقاضا از اتوبوس است. هوشمندسازی اثرات میان مدت بر افزایش استفاده از اتوبوس دارد. بین تصمیم به افزایش بودجه خرید ناوگان و یا افزایش بودجه بهبود فیزیکی و فنی اتوبوس رانی پیچیدگی وجود دارد. افزایش بودجه بهبود کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس منجر به بهبود وضعیت فیزیکی و فنی اتوبوس‌ها می‌شود و در نتیجه کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر افزایش خرید ناوگان، به دلیل نبودن اتوبوس موجب افزایش کیفیت فیزیکی و فنی اتوبوس می‌شود. این در حالی است که خرید اتوبوس جدید نیاز به بودجه زیادی دارد، چراکه قیمت خرید ناوگان زیاد است و موجب می‌شود بودجه به بخش‌های دیگر از جمله فرهنگ‌سازی و هوشمندسازی کمتر تعلق بگیرد، لذا لازم است سیاستی تعیین شود که بودجه بین بخش‌های مختلف به‌طور مناسب تخصیص یابد که نتیجه آن موجب بهبود رفتار متغیر کلیدی عملکرد استفاده

## ۹. پی‌نوشت‌ها

۱. تأخیر فرایندی است که در آن خروجی نسبت به ورودی دیرتر رخ می‌دهد.

### 2. Theory of planned behavior (TPB)

۳. فضای اطلاع‌رسانی شفاف (فاش)

۴. متوسط طول سفر برابر است با متوسط کیلومتر طی شده در روز. لذا برای بدست آوردن مقدار آن در فصل ضربدر ۹۰ شده است.

### 5. Reference Mode

## ۱۰. مراجع

- ابراهیم‌زاده، عیسی؛ بهارلو، عباس. (۱۳۹۱). تحلیلی بر کارکرد سیستم اتوبوسرانی و نقش آن در حمل و نقل شهری موردشناسی؛ شهر زاهدان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۳، پیاپی ۱۰۶، ۸۷-۱۱۰.

- احمدوند، علی‌محمد، محمدیانی، زینب و خدادادی ابیازنی، حدیثه (۱۳۹۴). مدل‌سازی پویای سیستم حمل‌ونقل شهری پایدار به منظور اصلاح و بهبود ترافیک. پژوهش‌های مدیریت در ایران، ۱۹(۲)، ۳۱-۵۲

- استادی جعفری، مهدی و رصافی، امیرعباس (۱۳۹۰). ارزیابی سیاست‌های توسعه پایدار در بخش حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی؛ مطالعه موردی: شهر مشهد. مدیریت شهری، ۱۱(۳۱)، ۲۸۱-۲۹۴.

- باغیانی، نجمه (۱۳۹۴). شناسایی شبیه‌سازی و تحلیل عوامل مؤثر بر استفاده حداکثری از سیستم حمل‌ونقل عمومی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، مورد مطالعه سازمان اتوبوس‌رانی یزد، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه یزد.

- پویا، علیرضا، پاکدامن، مرتضی، فدائی، سمیه، چایچی مطلق، مرتضی، صدرایی، سروش. (۱۴۰۰). طراحی مدل بهینه یابی و

سیستم پشتیبان تصمیم تعیین ظرفیت تعداد انواع وسایل حمل و نقل عمومی خطوط اتوبوسرانی شهری. پژوهشنامه حمل و نقل

- تقوی، سیدزهیر. (۱۳۹۹). بررسی گزینه‌های حمل‌ونقل همگانی از لحاظ توسعه پایدار شهری و انتخاب گزینه مناسب‌تر با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی، مطالعات مدیریت ترافیک، شماره ۵۷، ۵۳-۸۲.

- حاجی حسینلو، منصور و کبیری، شهاب (۱۳۹۴). تأثیر پارامترهای انتخاب وسیله سفر در راستای کاهش سهم وسایل نقلیه شخصی، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل‌ونقل ترافیک،

- حبیبیان، میقات، کرمانشاه، محمد (۱۳۹۲). مدل‌سازی دلایل استفاده شهروندان از سواری شخصی در سفرهای کاری به محدوده مرکزی کلان‌شهر تهران، مجله حمل‌ونقل، ۴(۲).

- خاتمی، سیامک. (۱۳۹۶). مدل‌سازی و تحلیل سیستم حمل‌ونقل شهری با رویکرد سیستم دینامیک و با تأکید بر شرایط تحریم‌های اقتصادی مورد مطالعه کلان‌شهر تبریز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش مدل‌سازی سیستم‌های کلان. دانشگاه صنعتی ارومیه.

- ربیعیه، مسعود، یعسوبی، عزیزالله. (۱۳۹۶). تحلیل دینامیکی مسئله نوسان موجودی‌ها در زنجیره تأمین با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها. مدیریت صنعتی، ۹(۳)، ۵۳۹-۵۶۱.

- رحمتی، مریم؛ رادفر، رضا؛ طلوعی اشلقی، عباس؛ پیلهوری، نازنین... ۲۰۱۹. طراحی و شبیه‌سازی ترکیبی سیستم پویای حمل‌ونقل عمومی برون‌شهری با استفاده از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی و الگوریتم دیکسترا. فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی حمل‌ونقل، ۳(۱۰).

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل/ سال پانزدهم/ شماره دوم (۵۹)/ زمستان ۱۴۰۲



## طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی‌شناسی

### سیستم‌ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

- نصیری جان آقا، محمدرضا. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر تغییرات قیمت سوخت بر حجم ترافیک در حمل و نقل جاده‌ای با استفاده از رویکرد سیستم دینامیک پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته: صنایع (سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی). موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی- غیردولتی مهرآستان.

- Abdulrazzaq, L. R, Abdulkareem, M. N, Yazid, M. R. M, Borhan, M. N. & Mahdi, M. S. (2020). Traffic congestion: Shift from private car to public transportation. *Civil Engineering Journal*, 6(8), 1547-1554.

- An, S. Yang, H. Wang, J. Cui, N. Cui, J. (2016), Mining urban recurrent congestion evolution patterns from GPS-equipped vehicle mobility data. *Information Sciences*, Volume 373, pp. 515-526.

- Bajracharya, A. (2016). Public transportation and private car: A system dynamics approach in understanding the mode choice. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, 5(2), 1-18.

- Donald, I. J. Cooper, S. R. & Conchie, S. M. (2014). An extended theory of planned behaviour model of the psychological factors affecting commuters' transport mode use. *Journal of environmental psychology*, 40, 39-48.

- Ercan, T. (2019, Summer). A System Dynamics Approach on Sustainability Assessment of the United States Urban Commuter Transportation. *Electronic Theses and Dissertations, 2004-2019*. 6478.

- Jifeng, W. A. N. G., Huapu, L. U., & Hu, P. E. N. G. (2008). System dynamics model of urban transportation system and its application. *Journal of Transportation Systems engineering and information technology*, 8(3), 83-89.

- زیبایی، سارا، ۱۳۹۹، بررسی و تبیین مشکلات حمل و نقل عمومی شهری؛ مطالعه موردی: شهر مشهد، دهمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، شیروان، <https://civilica.com/doc/1167296>

- سامانه شفافیت شهرداری مشهد: [www.mashhad.ir/](http://www.mashhad.ir/)

- سازمان حمل و نقل ترافیک: [https://traffic.mashhad.ir/web\\_directory/612-35آمارنامه-حمل-ونقل.html](https://traffic.mashhad.ir/web_directory/612-35آمارنامه-حمل-ونقل.html)

- سریزدی، محمد دهقانی؛ اولیاء، محمد صالح. (۱۳۹۳). بکارگیری سیستم‌های دینامیکی برای تحلیل تأثیر مدیریت دانش بر تعالی سازمان. مدیریت تولید و عملیات، دوره پنجم، پیاپی ۸ صفحه ۳۹-۵۲.

- صالحی، مجتبی؛ سلاطین، مهدی؛ محمدیان، وحید؛ محمدیان، محمد. (۱۳۹۸) ارائه مدلی جهت ارزیابی و تحلیل سیاست‌های مختلف روی تقاضای استفاده از حمل و نقل عمومی با رویکرد پویایی سیستم‌ها، مطالعات مدیریت ترافیک، فصلنامه مطالعات ترافیک، شماره ۵۵.

- فرتوک زاده، حمیدرضا و رجبی نهجوی، میثم (۱۳۹۰). مدل‌سازی پویای ترافیک کلان‌شهرها به منظور ارائه سیاست‌های بهبود حمل و نقل (نمونه موردی کلان‌شهر تهران). مجله حمل و نقل، ۹(۱)، ۶۳-۸۱.

- میرانی، کتایون؛ حسینی نصب، سید شهاب؛ زاهدی، محسن. (۱۴۰۰). بررسی و ارزیابی شبکه‌ی اتوبوسرانی از دیدگاه کاربران (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه). فصلنامه علمی جاده، شماره ۱۰۸، دوره سوم، ۱۱۷-۱۲۶.

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال پانزدهم / شماره دوم (۵۹) / زمستان ۱۴۰۲

transportation planning. *International Journal of Modelling and Simulation*, 37(1), 25-35.

- Şimşekoğlu, Ö., Nordfjærn, T., & Rundmo, T. (2015). The role of attitudes, transport priorities, and car use habit for travel mode use and intentions to use public transportation in an urban Norwegian public. *Transport Policy*, 42, 113-120.

- Sterman, J., 2000. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. s.l.:Boston: McGraw-Hill Publishing.

- Wey, W.M. (2019). Constructing urban dynamic transportation planning strategies for improving quality of life and urban sustainability under emerging growth management principles. *Sustainable Cities and Society*, 44, 275-290.

- Hrelja, R., Khan, J., & Pettersson, F. (2020). How to create efficient public transport systems? A systematic review of critical problems and approaches for addressing the problems. *Transport Policy*, 98, 186-196.

- Mayo, F. L., & Taboada, E. B. (2020). Ranking factors affecting public transport mode choice of commuters in an urban city of a developing country using analytic hierarchy process: The case of Metro Cebu, Philippines. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 100078.

- Konečný, V., Brídžiková, M., & Marienka, P. (2021). Research of bus transport demand and its factors using multicriteria regression analysis. *Transportation Research Procedia*, 55.

- Keizer, M., Sargisson, R. J., van Zomeren, M., & Steg, L. (2019). When personal norms predict the acceptability of push and pull car-reduction policies: Testing the ABC model and low-cost hypothesis. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 64, 413-423.

- Kontou, E., Garikapati, V., & Hou, Y. (2020). Reducing ridesourcing empty vehicle travel with future travel demand prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 121, 102826.

- Liu, Z., Wu, N., & Gao, K. (2021). Urban Traffic Light Control Considering Capacity Difference Between Public Bus and Private Vehicles. *IEEE Access*, 9, 142664-142680.

- Noto, G. (2017). Combining system dynamics and performance management to support sustainable Urban transportation planning. *Journal of Urban and Regional Analysis*, 9(1), 51-71.

- Noviandi, N., Pradono, P., Tasrif, M., & Kusumantoro, I. P. (2017). Performing Dynamic Modeling of Transport Modes Utilization Fraction in Urban Areas A Case of Bekasi City, Indonesia. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 12, 814-834.

- Qureshi, I. A., & Lu, H. (2007). Urban transport and sustainable transport strategies: A case study of Karachi, Pakistan. *Tsinghua science and technology*, 12(3), 309-317.

- Redman, L. Friman, M. Garling, T & Hartig, T. (2013). Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy* 25, 119–127.

- Sayyadi, R., & Awasthi, A. (2017). A system dynamics based simulation model to evaluate regulatory policies for sustainable

طراحی مدل دینامیکی حمل و نقل همگانی اتوبوس رانی به منظور افزایش سهم آن از سفرهای شهری با رویکرد پویایی شناسی سیستم -  
ها (مورد مطالعه شهر مشهد)

علیرضا پویا، در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت گرایش تحقیق در عملیات (OR) از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان شبیه سازی سیستم های مدیریتی و صنعتی با رویکرد پویایی شناسی سیستم ها، بهینه سازی در طراحی و مدیریت زنجیره تامین و مدیریت لجستیک و مدل های تدوین استراتژی تولید و عملیات است. در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه فردوسی مشهد است. همچنین مدیر گروه پژوهشی تفکر سیستمی در عمل در دانشگاه فردوسی مشهد می باشد.



سمیه فدائی در حال حاضر دانشجوی دکتری در رشته مدیریت صنعتی گرایش تحقیق در عملیات (OR) در دانشگاه فردوسی مشهد است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تصمیم گیری چندمعیاره، شبیه سازی سیستم های مدیریتی و صنعتی با رویکرد پویایی شناسی سیستم ها است.



علی سبویه در سال ۱۴۰۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت گرایش تحقیق در عملیات (OR) از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان پویایی شناسی سیستم ها، تحقیق در عملیات نرم و شبیه سازی گسسته پیشامد می باشد و در حال حاضر عضو گروه پژوهشی تفکر سیستمی در عمل در دانشگاه فردوسی مشهد می باشد.

