

ارائه مدلی جهت بودجه بندی حمل و نقل عمومی با استفاده از رگرسیون چند متغیره و پویایی سیستم

مقاله علمی - پژوهشی

محمد همه‌وند، دانشجوی دکترا، گروه مدیریت صنعتی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

ایرج نوری^{*}، استادیار، گروه مدیریت، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

محمد صادق حری، دانشیار، گروه مدیریت، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: i-nouri@iaau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶ - پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

صفحه ۳۰۱-۳۲۲

چکیده

عوامل زیادی در استفاده از خودرو شخصی و یا عدم تمایل شهروندان به استفاده از نوع خاصی از وسایل حمل و نقل عمومی وجود دارد، ولی هدف این مقاله بودجه بندی حمل و نقل عمومی و هدایت شهروندان به استفاده از حمل و نقل عمومی می‌باشد. برای این منظور مقاله یک مدل پویا برای سیستم حمل و نقل همگانی شهر مشهد با استفاده از معادلات رگرسیونی به منظور دستیابی به توسعه پایدار ارائه می‌دهد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های مربوط به حمل و نقل همگانی و نظر خبرگان این حوزه، مدل علی حلقوی حمل و نقل همگانی شهر مشهد طراحی و با استفاده از نرم افزار و نسیم شبیه سازی شد. بعد از بررسی و تعدیل مدل علی حلقوی نمودار جریان مدل ترسیم شد. سپس مدل فرمول نویسی و مورد آزمون قرار گرفت تا اعتبار مدل بررسی شود. طبق نتایج مدل اگر اتوبوس رایگان در نظر گرفته شود، اتوبوس حدود ۱۸/۰۶ درصد از سفرهای درون شهری را به خود تخصیص می‌دهد و اگر سه هزار تومان در نظر گرفته شود، این نسبت به حدود ۱۱/۲۲ کاهش می‌یابد. یعنی به ازای هر ۱۰۰۰ تومان افزایش در نرخ کرایه همزمان به ثابت نگهداشتن کرایه و هزینه‌ی سایر مدها، ۲/۲۸ درصد کاهش در سهم اتوبوس از سفرهای درون شهری را داریم. در نهایت با نظر خبرگان ۴ سناریو ارائه شد که نتایج هر یک را بر توسعه پایداری سیستم حمل و نقل همگانی شهر مشهد کردیم.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون چند متغیره، یکپارچه سازی خدمات حمل و نقل، پویایی شناسی سیستم

۱-مقدمه

شده، همچون محدودیت تردد اتومبیل‌ها و زمان‌بندی تقاضای سفر، مطلوب‌ترین راه‌های از این معضل، توسعه و بهره‌گیری از سیستم حمل و نقل عمومی می‌باشد. (Arnett, and Eren, 2006). راهبرد حمل و نقل یکپارچه یکی از راهبردهای حمل و نقل پایدار است که با هدف کاهش ناهماهنگی و تفرق‌های موجود در نظام مدیریت خدمات حمل و نقلی پیشنهاد شده است. هدف از یکپارچگی دستیابی به سطح کیفیت بالاتر نسبت به زمانی است که هر یک از ابزارها

با گسترش روزافزون شهرها، امروزه حمل و نقل عمومی به عنوان یکی از ضروری‌ترین خدمات شهری و راهگشای بسیاری از مشکلات زندگی در شهرها همچون ترافیک و آلودگی هوا می‌باشد. در حقیقت افزایش تعداد وسایل نقلیه و به دنبال آن افزایش سفرهای درون شهری و نیز عدم امکان توسعه و تعریض معابر، ترافیک‌های خیابانی را به همراه داشته و باعث اتلاف وقت و انرژی و همچنین آلودگی وسیع‌تر شده است. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از راه‌های مختلف اجرا

رگرسیون قیمت می باشد. با استفاده از مدل پویایی سیستم و رویکرد قیمت گذاری می توان بودجه حمل و نقل عمومی را به صورت مناسب به اجزای مختلف حمل و نقل عمومی تخصیص داد. در ادامه ابتدا مدل های موجود در ادبیات تحقیق که برای تحلیل عوامل و قیمت گذاری پرداخته را بررسی می کنیم و در نهایت جمع بندی و مقایسه مدل ها صورت می گیرد.

۲-پیشینه تحقیق

امروزه معضلات ترافیکی به یکی از مهمترین چالش های شهرهای در حال توسعه بدل شده و شرایط ناپایداری را سبب شده است. (اسکاس و همکاران، ۲۰۰۶). آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی های فسیلی، نگرانی های فراوانی را برای ادامه زندگی جوامع انسانی فراهم کرده است (بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸). گرم شدن کره زمین، تخریب لایه ازن، ریزش باران های اسیدی، تغییرات شدید اقلیمی و بسیاری عوارض دیگر از ورود آلودگی ها به اتمسفر نتیجه می شود که حیات موجودات را بیش از پیش مورد تهدید قرار می دهد (خانی و یغمائی، ۱۳۸۳). با توجه به هزینه های بالای حمل و نقل و تاثیر بسیار زیاد آن در اقتصاد کلان هر کشور این مقوله به یکی از مهمترین مباحث مورد مطالعه در مجامع مختلف تبدیل شده است (بهیانی و اسدی کیا، ۱۳۸۹). در ایران هم ترافیک یکی از بزرگترین معضلات کلان شهرهای کشور است (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰). با وجود آنکه هر ساله میلیاردها ریال صرف ایجاد معابر و تأسیسات جدید می شود، تراکم ترافیک در خیابان ها روز به روز افزایش می یابد و امروزه در اغلب شهرهای بزرگ و متوسط، میزان ترافیک به خصوص در ساعات اوج به حد اشباع و غیرقابل قبولی رسیده است (شاهی، ۱۳۶۸).

خلاصه ای از مطالعات انجام شده در زمینه بکارگیری روش های مختلف قیمت گذاری معابر، محدوده، کرایه و پارکینگ و اثرات آنها بر بهبود شرایط ترافیکی شهرها و رفتار انتخاب و سیله افراد در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی مطالعات خلاصه شده در جدول (۱) نشان می دهد که تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با سیاست های قیمت گذاری و اثرات آن در جهان انجام شده اند و این مطالعات نشان داده اند که بکارگیری سیاست های دفعی و جذبی می تواند در کاهش تراکم ترافیک و بهبود شرایط سفر و شرایط زیست محیطی موثر باشند. اما این بررسی حاکی از آن است که مطالعاتی که در آن تاثیر بکارگیری

به تنهایی مورد استفاده قرار می گیرند. اهداف استراتژیک برای دستیابی به یکپارچگی مختلف است ولی معمول ترین آنها شامل کارایی در استفاده از منابع، ارتقای دسترسی، حفاظت از محیط زیست ایمنی، امکان پذیری مالی است. نتایج تحقیقات نشان می دهد که راهبردها و بسته های یکپارچه با ترکیب مناسبی از زیر ساخت مدیریت و اقدامات قیمت گذاری تا حد چشمگیری مقیاس مشکلات حمل و نقل را کاهش داده اند (May and Roberts, 1995). به همین دلیل در حال حاضر حمل و نقل یکپارچه به عنوان یک نقشه راه مهم برای سیاست گذاری های حمل و نقلی و همچنین توسعه ساختاری و نهادی در کشورهای مختلف مطرح است (Potter and Skinner, 2000). سیستم های موجود حمل و نقل همگانی و شبه همگامی در شهر مشهد شامل قطار شهری، اتوبوس و تاکسی رانی می باشد. در رویکرد حمل و نقل یکپارچه باید طوری این سیستم ها با یکدیگر هماهنگ شوند که هر یک با توجه به ایفای نقش خود، کارایی سیستم حمل و نقل را بهبود بخشند. با توجه به اینکه هر یک از این زیر سیستم های حمل و نقل دارای ظرفیت خاص خود بوده و مسیرهای خاصی را نیز پوشش می دهند، استفاده ناهمگون از هر یک از این زیر سیستم های حمل و نقلی توسط شهروندان منجر به ناهمگونی بین سیستم ها می شود. بنابراین در این راستا ابتدا شناسایی عوامل مؤثر بر استفاده شهروندان از سیستم حمل و نقل عمومی و همچنین در مرحله بعد بررسی چگونگی تاثیرگذاری هر یک از عوامل در میزان استفاده از این سیستم از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به محیط پویای امروزه و همچنین با توجه به تغییرات مداوم در خواسته ها و انتظارات شهروندان، برای بررسی عوامل تاثیرگذار به استفاده بیشتر از سیستم نیاز به بهره گیری از مدل هایی است که این تغییرات را مدنظر قرار دهد، و به سازمان جهت فراهم سازی امکانات مؤثر در این محیط پویا، مدد رساند. هدف از انجام این تحقیق، تعیین مدلی برای دست یافتن به بهترین توزیع تقاضای سفر درون شهری با وسایل حمل و نقل عمومی با توجه به ظرفیت موجود در هر یک از حالات سفر در شهر مشهد است برای رسیدن به این هدف از رویکرد پویایی سیستم استفاده شده است. لذا ابتدا مدل علی حلقوی و نمودار انباشت جریان تهیه شده است. چون یکی از کلیدی ترین عوامل در تقاضای سفر وسایل حمل و نقل عمومی قیمت می باشد برای قیمت معادلات رگرسیونی تعریف شده است. نوآوری این تحقیق مدل سازی عوامل تقاضا با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و طراحی معادلات

بر رفتار انتخاب وسیله سفر افراد را با در نظر گرفتن ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی و ویژگیهای سفر آنها و برای اهداف سفر متفاوت مدل سازی شده باشد، مشاهده نشد. قیمت گذاری خاصی که در این تحقیق از آن به عنوان تعیین بهای خدمات به صورت یکپارچه یاد می‌شود.

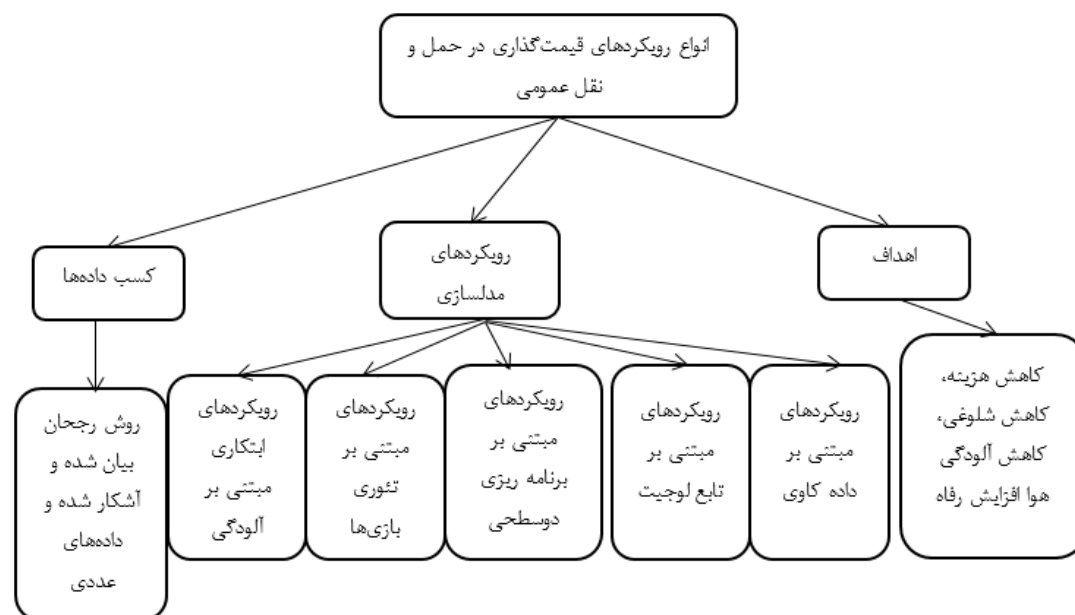
ترکیب سیاست‌های دفعی و جذبی توأمان با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته باشد به ندرت انجام شده است. همچنین مطالعاتی که در آن به طور مشخص و همزمان تاثیر بکارگیری ترکیب سیاستهای دفعی قیمت گذاری مسیره‌ها (معابر) و قیمت گذاری پارکینگ از یک سو و سیاست جذبی قیمت گذاری به صرفه و مناسب ایجاد سامانه اتوبوس و مترو از سوی دیگر

جدول ۱. مطالعات مرتبط با قیمت گذاری سیستم حمل و نقل شهری

موضوع مورد مطالعه	شهر	خلاصه نتایج مورد مطالعه
۱ قیمت گذاری شبکه و تاثیر آن بر استفاده از وسایل حمل و نقل شخصی	کمبریج و نیوکاسل	در این مطالعات کاراترین و پذیراترین روش برای کاهش وسایل نقلیه شخصی در هر دو شهر، ترکیب دریافت هزینه استفاده کنندگان شبکه و بهبود حمل و نقل همگانی شناسائی شده است (Thorpe, Hills and Jaensirisak, 2000).
۲ قیمت گذاری محدوده و ثرات آن	لندن	کاهش تردد ۶۵۰۰۰ وسیله نقلیه در روز، افزایش ۲۰ درصدی استفاده از اتوبوس، افزایش ۱۷ درصدی سرعت وسایل نقلیه و افزایش ۲۰ درصدی قابلیت اعتماد سفر با حمل و نقل عمومی در پی اجرای طرح قیمت گذاری تراکم بود. (Transport for London. Congestion charging: 6 months on,) (2003).
۳ قیمت گذاری محدوده از نوع پویا و اثرات آن	استکهلم	این مطالعات کاهش ۲۲ درصدی خودروها، افزایش ۶ درصدی استفاده از حمل و نقل عمومی و کاهش ۱۴ درصدی آلاینده‌های زیست محیطی در پی قیمت گذاری تراکم در این شهر را نشان داد (Brundell-Freij, no date).
۴ قیمت گذاری مسیر و عوارض ورود به محدوده بر اساس ارزش زمانی کاربران	تهران	در صورت وضع مقدار ارزش زمانی فعلی بدست آمده به عنوان عوارض ورود به محدوده در شرایط کنونی، حدود ۴۰ درصد از استفاده کنندگان، وسیله شخصی را برای رفت و آمد انتخاب می کنند (سیداحسان سیدابریشمی، ۱۳۹۲)
۵ قیمت گذاری مسیر و پارکینگ و ارزیابی عواقب احتمالی برای کاربران جاده با اهداف سفر متفاوت	مشهد	نتایج این مطالعه نشان داد که راننده‌ها به قیمت گذاری معابر حساسیت بیشتری نسبت به قیمت گذاری پارکینگ دارند. همچنین در بین رانندگان تمایل به پرداخت هزینه‌ی پارکینگ نسبت به عوارض قیمت گذاری معابر، بالاتر است. (Azari, Arintono, Hamid and Rahmat, 2013)
۶ قیمت گذاری محدوده و ارزیابی تقاضا برای اهداف مختلف سفر	مشهد	سیاست های هزینه ای مانند قیمت گذاری معابر و پارکینگ، برای سفرهای با هدف غیرکاری موثرتر از سفرهای با هدف کاری است. همچنین افراد با هدف سفرکاری تمایل بیشتری به پرداخت پول برای هزینه پارک و عوارض معابر، نسبت به دیگر اهداف سفر دارند (Azari, Arintono, Hamid and Davoodi, 2013).
۷ قیمت گذاری محدوده و ارزیابی اثرات بر رفتار انتخاب طریقه جابجائی سفرهای کاری	تهران	بر اساس نتایج مدل ها، متغیر هزینه در توابع مطلوبیت تمامی مدها بیشترین مقدار t-test را داشته، موثرترین متغیر در انتخاب وسیله بوده است. استفاده کنندگان از خودروی شخصی در صورت افزایش هزینه سفر، تمایل به تغییر طریقه سفر به سمت تاکسی را دارند (خدادادیان، مسعود آرمان، محمدعلی محمدی، آرش عابدینی، ۱۳۹۳).

۸	قیمت گذاری پارکینگ همراه با دو سیاست افزایش بهای سوخت و قیمت گذاری ورود به محدوده طرح ترافیک	تهران	نتایج نشان داد که ترکیب سیاست قیمت گذاری پارکینگ همراه با دو سیاست افزایش بهای سوخت و قیمت گذاری ورود به محدوده طرح ترافیک، اثر قابل توجهی در کاهش هزینه‌های تحمیل شده بر جامعه دارد (حبیبیان، ۱۳۹۳)
۹	قیمت گذاری محدوده از منظر شلوغی و آلودگی با استفاده از مدل رجحان بیان شده با هدف انتخاب بهترین محدوده برای اجرای سیاست	اصفهان	نتایج نشان داد که قیمت گذاری می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای مدیریت تقاضای وسایل نقلیه شخصی به کار رود همچنین تقاضای ورود به محدوده قیمت گذاری شده را می‌توان تقریباً نسبت به قیمت غیرالاستیک در نظر گرفت. (جوهری فروشانی، منصور و حسین، ۱۳۹۵)
۱۰	قیمت گذاری پارکینگ با استفاده از مدل های انتخاب لوجیت دوگانه	اصفهان	موثر بودن بهبود ۳۰ درصدی زمان سفر بر کاهش استفاده از وسیله نقلیه شخصی نسبت به افزایش قیمت ۲۰۰ تومانی پارکینگ (حسن پور و داداشی، ۱۳۹۵)
۱۱	قیمت گذاری کرایه حمل و نقل شهری با استفاده از نظریه بازی	-	ضریب هزینه های متغیر و ضرایب تابع حمل مسافران به عنوان پارامترهای تأثیرگذار در نرخ کرایه تعادلی اپراتورها (عطار و خوش الحان، ۱۳۹۴)
۱۲	قیمت گذاری محدوده با استفاده از مسئله دو سطحی	سوئد	کمتر بودن میانگین سطح عوارض نهائی به دست آمده در الگوریتم ژنتیک بکار برده شده، می‌تواند مقبولیت بیشتری از نظر استفاده کنندگان از راه داشته باشد (Ekström, 2008, Wang et al., 2022).

در این تحقیق از بعد از طراحی نمودار علی و انباشت و تعیین رابطه عوامل استفاده از حمل و نقل عمومی به طراحی معادلات قیمت گذاری به عنوان یکی از عوامل پرداخته می‌شود. لذا در ادامه رویکردهای مختلف قیمت گذاری مطرح شده است.



شکل ۱. رویکردهای جمع آوری داده و مدلسازی در قیمت گذاری حمل و نقل عمومی

بازی‌ها دانست (عطار و خوش الحان ۱۳۹۴). اما مشکل اصلی این روش این است که تئوری بازی زمانی قابل استفاده است که اجزای بازی با یکدیگر در تقابل هستند در حالی که در قیمت گذاری کرایه وسایل عمومی مختلف حمل و نقل در واقع

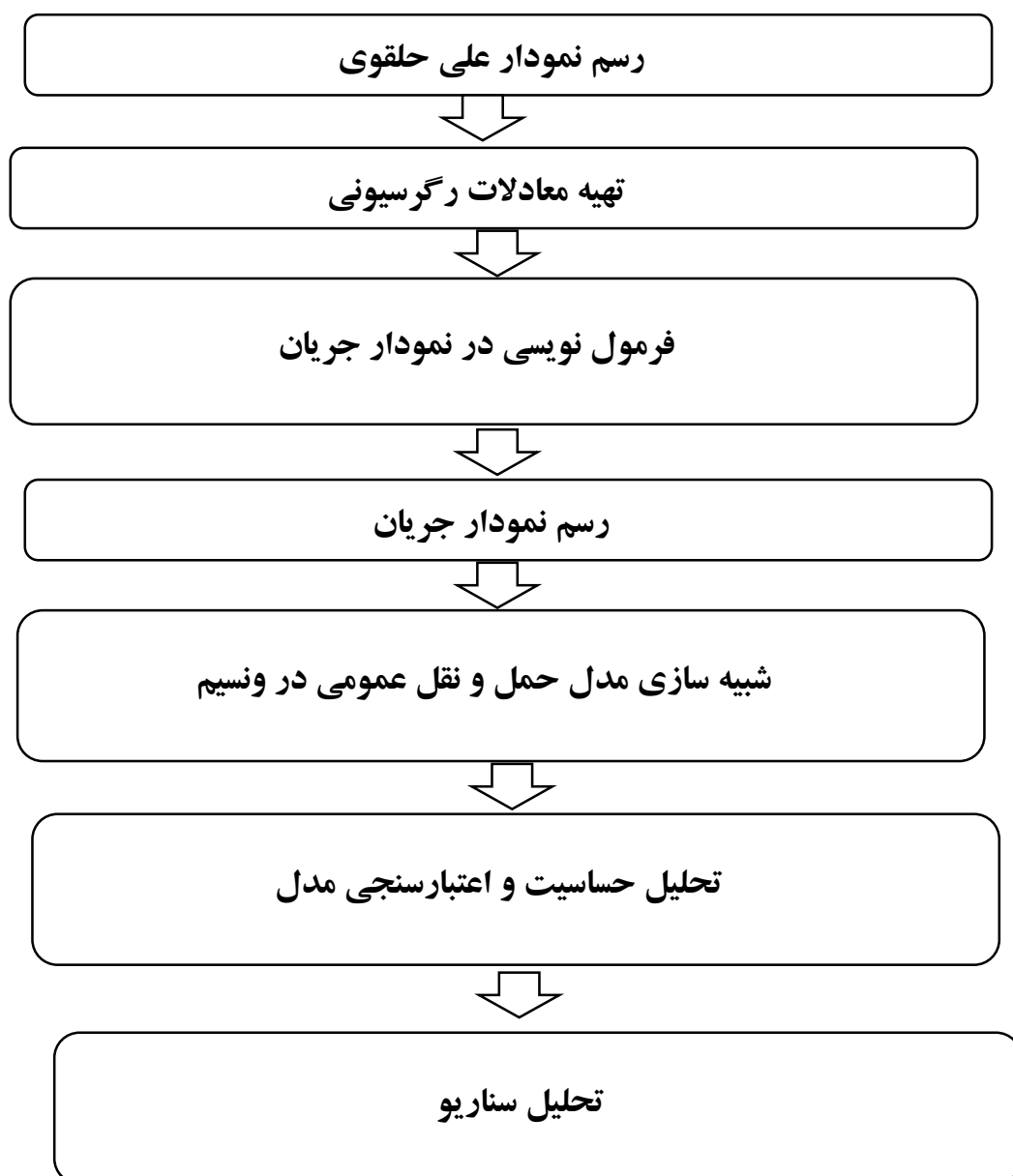
در ادامه رویکردهای مختلف مدلسازی، مقایسه و مزایا و معایب هر یک شرح داده می‌شود. هنگامی که اجزای یک سیستم حمل و نقل یکپارچه برای رسیدن به یک قیمت واحد لحاظ می‌شوند، یکی از راهکارهای موثر را می‌توان نظریه

گفته می‌شود (Ziar et al., 2022, Soydan, and Ahmet Mete 2022). از دیگر مدل‌های تفکیک سفر می‌توان به سری مدل‌های لجیست دوگانه، آشیانه ای و چندگانه اشاره کرد. از مدل لجیست دوگانه، برای مدلسازی رفتار مسافر در انتخاب یا عدم انتخاب وسیله نقلیه شخصی و یا انتخاب یا عدم انتخاب ورود به محدوده طرح ترافیک استفاده می‌شود. از مدل چندگانه به منظور مدلسازی انتخاب مد حمل و نقل با توجه به متغیرهای توضیحی مختلف، استفاده می‌شود. در مدلسازی لجیست آشیانه‌ای گزینه‌ها می‌توانند مستقل در نظر گرفته شوند ولی در مدل لجیست دوگانه این موضوع برقرار نیست (Shen et al., 2022, Quddus et al., 2019, Yaagoubi et al., 2022). داده‌های مدل‌های قیمت‌گذاری در مقالات ارائه شده، داده‌های مبتنی بر رجحان بیان شده، رجحان آشکار شده که در این تحقیق از همین داده‌ها که قبلاً در مطالعات جامع شهر مشهد جمع‌آوری شده استفاده می‌شود.

۳- روش‌شناسی 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 عمومی به طور کلی و میزان اثرگذاری کرایه و یا قیمت حمل و نقل وسایل حمل و نقل عمومی بر تقاضای استفاده از این وسایل می‌باشد. جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز تحقیق از روش مطالعه اسنادی و با استفاده از بانک اطلاعات مطالعات جامع حمل و نقل مشهد که در سال ۱۳۹۴ به‌هنگام سازی گردیده، انجام شده است. با توجه به اینکه روش پویایی سیستم در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، مراحل تحقیق در شکل ۲ نمایش داده شده است. در گام نخست مساله پژوهش تعریف می‌شود، سپس با توجه به پیشینه پژوهش متغیرهای مساله یعنی متغیرهای تاثیرگذار بر میزان استفاده از حمل و نقل عمومی تعیین می‌شوند. در گام بعد ارتباط بین متغیرها در قالب نمودار علی حلقوی رسم می‌شود. سپس نمودار جریان با استفاده از نمودار علی حلقوی ترسیم می‌شود. سپس نحوه تهیه معادلات رگرسیونی که میزان اثرگذاری کرایه حمل و نقل بر میزان استفاده از وسایل حمل و نقل را نشان می‌دهد بیان می‌گردد و معادلات طراحی شده در نمودار جریان پیاده سازی می‌شود. در نهایت بعد از شبیه سازی با استفاده از نرم افزار ونسیم و اعتبارسنجی مدل، سناریوهای مناسب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

بحث تقابل مطرح نیست (Emami et al., 2022, جوهري فروشانی، منصور، ۱۳۹۵). رویکردهای مبتنی بر داده‌کاوی نیز قادر به تفسیر متغیرهای ورودی نبوده و امکان انجام آزمون‌های آماری جهت اعتبارسنجی مدل را ندارد و در واقع این روش‌ها مانند یک جعبه سیاه عمل می‌کند. علاوه بر آن دقت مدل در صورت کمبود داده‌ها پایین می‌آید. از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی نیز مانند برنامه‌ریزی دوسطحی برای قیمت‌گذاری استفاده شده است. مدل قیمت‌گذاری مبتنی بر برنامه‌ریزی دوسطحی برای قیمت‌گذاری محدوده و مسیر استفاده شده‌اند و از این مدل‌ها برای قیمت‌گذاری کرایه و پارکینگ استفاده نشده است. مدل‌های دوسطحی نوعی از بازی استکلبرگ هستند و در آن‌ها سطح اول مدل، رهبر و سطح دوم، پیرو نامیده می‌شود. در سطح بالای مدل دوسطحی معمولاً متولیان شبکه قرار دارند که به تنظیم عوارض برای مجموعه‌ای از یال‌های شبکه و یا محدوده می‌پردازند. در سطح پایین مدل کاربران شبکه قرار دارند که در جستجوی کوتاهترین مسیر بین مبدا و مقصد خود هستند (Ekström, 2008, Wang et al., 2022). با توجه به سخت بودن مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی، بخصوص قیمت‌گذاری در شبکه‌های واقعی با تعداد یال‌ها و گره‌های متعدد، برای حل مدل از روش‌های فراابتکاری استفاده شده است. پر واضح است که با توجه به هدف تحقیق که تعیین کرایه وسایل حمل و نقل و پارکینگ می‌باشد از این گونه مدل‌ها نمی‌توان استفاده کرد. علاوه بر آن مشکل اصلی این نوع قیمت‌گذاری این است که چون به دنبال بهینه‌سازی هستند، عوارض اجتماعی قیمت‌گذاری را در نظر نمی‌گیرند. علاوه بر آن تحقیقات صورت گرفته قیمت‌ها را به صورت یکپارچه در نظر نمی‌گیرند (Wang et al., 2022). در بسیاری از تحقیقات از شاخص‌های مانند آلودگی هوا و یا شلوغی برای بهینه‌سازی قیمت‌گذاری استفاده شده است و در نوع استفاده از این اطلاعات نیز از یک رویکرد ابتکاری استفاده شده است. به عنوان مثال شاخص زمان سفر کل مسافران شبکه برای ارزیابی شلوغی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین برای ریالی کردن این شاخص باید مقادیر ارزش زمان سفر انواع طریقه‌های حمل و نقلی در مقدار ساعات سفر آن طریقه حمل و نقلی ضرب شود. برای شاخص آلودگی نیز گازهای HC، CO، NOX معمولاً در نظر گرفته می‌شود. تاثیر شاخص آلودگی هوا بر استفاده کنندگان شبکه حمل و نقل و سایر ابعاد جامعه منجر به تعریف مفهومی به نام هزینه‌های تخریب می‌شود. در واقع به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده را جبران نماید، هزینه‌های تخریب

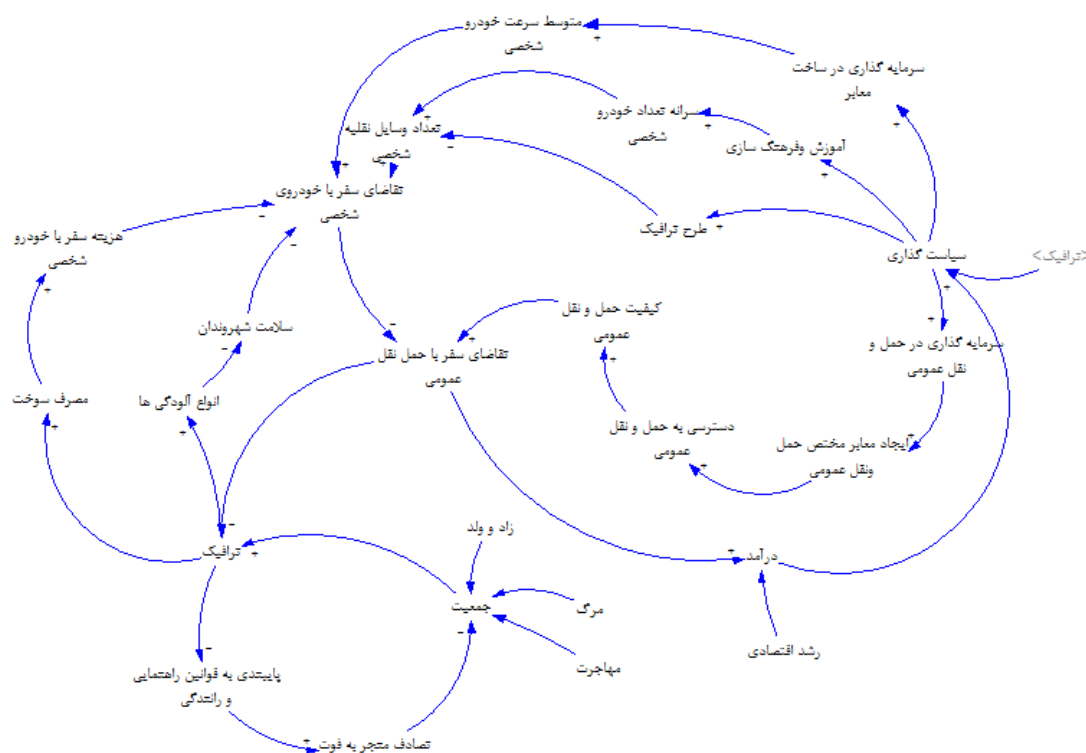


شکل ۲. چارت روش تحقیق

۴- نمودار علی حلقوی

در این مطالعه با استفاده از ادبیات تحقیق مدل مساله طراحی شده است و بر اساس روابط بین متغیرهای مدل، رفتار آن بررسی شده، سپس با شبیه سازی مدل و ارزیابی آن سیاست مناسب با توجه به نظر خبرگان حوزه حمل و نقل ارائه می گردد. در شکل (۲) نمودار علی حلقوی رسم شده است. در این نمودار حلقه های اصلی بازخوردی تعریف شده که در ادامه شرح این حلقه ها می آید. حلقه دسترسی به حمل و نقل عمومی: این حلقه بیانگر تاثیر میزان دسترسی به حمل و نقل عمومی بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که با افزایش تقاضا درآمد بیشتر شده و می توان با

سیاست گذاری جدید اقدام به سرمایه گذاری در ایجاد معابر مختص حمل و نقل عمومی کرد که با توجه به آن دسترسی به حمل و نقل عمومی بیشتر شده و باعث افزایش کیفیت خدمات و به تبع آن افزایش تقاضا می گردد. حلقه آموزش و فرهنگ سازی: این حلقه بیانگر تاثیر آموزش و فرهنگ سازی بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که با افزایش تقاضای حمل و نقل عمومی ترافیک کمتر شده و کاهش سیاست گذاری آموزش و فرهنگ سازی، افزایش سرانه تعداد خودروی شخصی و تقاضای آن را در پی دارد که این باعث کاهش در سفر با حمل و نقل عمومی می گردد.



شکل ۳. نمودار علی حلقوی-مدلسازی حلقه های موجود در سیستم های حمل و نقل عمومی

به قوانین راهنمایی و رانندگی بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که افزایش جمعیت باعث افزایش ترافیک شده و این کاهش پایبندی به قوانین و افزایش تصادفات منجر به فوت را در پی دارد که بر روی جمعیت اثر منفی می گذارد. حلقه مصرف سوخت: این حلقه بیانگر تاثیر مصرف سوخت بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که با افزایش استفاده از حمل و نقل عمومی و کاهش ترافیک، مصرف سوخت کاهش یافته و این منجر به کاهش هزینه خانوار و افزایش استفاده از وسیله شخصی و به تبع آن کاهش سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که افزایش سفر شهروندان: این حلقه بیانگر تاثیر سلامت شهروندان بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که افزایش سفر با حمل و نقل عمومی و کاهش ترافیک باعث کاهش انواع آلودگی ها اعم از آلودگی هوا، صوتی و ... می شود که این خود باعث افزایش سلامت شهروندان شده و اثر آن را در زندگی دیده و به جای استفاده از خودروی شخصی از حمل و نقل عمومی استفاده می کنند.

حلقه سیاست طرح ترافیک: حلقه بازخوری منفی: این حلقه بیانگر تاثیر طرح ترافیک بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که با افزایش سفر با حمل و نقل عمومی و کاهش ترافیک، طرح ترافیک کمتر اجرایی شده و باعث افزایش تعداد وسایل نقلیه می شود که این خود باعث کاهش سفر با حمل و نقل عمومی می باشد. حلقه درآمد سیستم حمل و نقل عمومی: این حلقه بیانگر تاثیر درآمد سیستم بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که افزایش حمل و نقل باعث افزایش درآمد شده که این سیاست گذاری را دستخوش تغییر می کند و در صورت افزایش (کاهش) هزینه سفر تقاضا کاهش (افزایش) می یابد. حلقه سیاست سرمایه گذاری در ساخت معابر: این حلقه بیانگر تاثیر سیاست سرمایه گذاری در ساخت معابر شهری بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی است. بدین صورت که افزایش تقاضای حمل و نقل عمومی کاهش ترافیک و کاهش سرمایه گذاری در ساخت معابر شهری دارد که این باعث کاهش سرعت وسایل نقلیه شخصی و کاهش استفاده از آنها و در نهایت استفاده از حمل و نقل عمومی می شود. حلقه جمعیت و پایبندی به قوانین راهنمایی و رانندگی: این حلقه بیانگر تاثیر جمعیت و پایبندی

۱-۴- ساخت معادلات مدل بودجه‌بندی حمل و نقل عمومی

بعد از ساخت مدل باید معادلات جهت شبیه سازی ایجاد گردد تا بتوان گزینه های بودجه‌بندی مختلف بررسی و مقایسه می‌شوند و گزینه برتر از بین اجراهای مختلف بودجه انتخاب و پیشنهاد گردد. مدل‌های انتخاب از جمله مدل‌های معروف در ادبیات تفکیک وسیله سفر می‌باشند. مدل‌های انتخاب بوسیله انسان در موقعیت‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و چگونگی انتخاب آلترناتیوها مختلف را توضیح داده و توجیه می‌کنند. در این روش‌ها هر آلترناتیو بصورت یک تابع استفاده

(تابع مطلوبیت) بیان می‌گردد. به عبارت دیگر اگر بخواهیم این روش را در مورد تفکیک طرق سفر بکار ببریم باید تابع مطلوبیت هر طریق سفر را بصورت مجموع مشخصه‌ها و یا مؤلفه‌های آن در نظر گرفته و سپس انتخاب هر طریق سفر را به وسیله یک توزیع احتمالی بیان کنیم. یکی از مدل‌های انتخاب رایج که علاوه بر استفاده در برنامه‌ریزی شهری در مطالعات و بازاریابی حمل و نقل عمومی و در تخمین تقاضای سفر نیز کاربرد دارد مدل لوجیت می‌باشد. در این مدل تابع مطلوبیت یا همان تابع استفاده برای هر طریق سفر بصورت زیر تعریف می‌گردد.

$$U_x = \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (1)$$

به عنوان مثال برای طریق سفر حمل و نقل عمومی اگر تعداد مشخصه‌ها برابر با ۳ باشد تابع مطلوبیت این طریق در حالت کلی برابر است با:

$$U_x = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$$

اگر ۴ طریق سفر شامل خودرو شخصی (C)، اتوبوس (B)، قطار شهری (M) و تاکسی (T) در نظر بگیریم، احتمال انتخاب هر طریقه سفر به صورت زیر به دست می‌آید.

$$P(C) = \frac{e^{U_C}}{e^{U_C} + e^{U_B} + e^{U_M} + e^{U_T}} \quad (2)$$

$$P(B) = \frac{e^{U_B}}{e^{U_C} + e^{U_B} + e^{U_M} + e^{U_T}} \quad (3)$$

$$P(M) = \frac{e^{U_M}}{e^{U_C} + e^{U_B} + e^{U_M} + e^{U_T}} \quad (4)$$

$$P(T) = \frac{e^{U_T}}{e^{U_C} + e^{U_B} + e^{U_M} + e^{U_T}} \quad (5)$$

$$P(C) + P(B) + P(M) + P(T) = 1 \quad (6)$$

و سیله های مختلف را محاسبه کرد. در این روش اثر متقاطع کرایه‌ها و هزینه‌های مختلف حمل و نقل از نیز لحاظ می‌شود. بهنگام سازی مطالعات جامع شهر مشهد تابع مطلوبیت طرق مختلف سفر برای انواع مختلف سفر و همچنین اهداف مختلف سفر را طراحی و اعتبار سنجی کرده است که در این تحقیق از همان توابع استفاده خواهد شد. با تغییر میزان بودجه مطلوبیت طرق مختلف سفر محاسبه می‌شود و با محاسبه مطلوبیت میزان تقاضای مدهای مختلف محاسبه می‌شود و در نهایت از این نتایج برای طراحی مدل چندانگانه استفاده می‌شود. در مدل‌سازی

با مصاحبه با مسافران و استفاده کنندگان از خودروی شخصی و وسایل حمل و نقل عمومی در محدوده اصلی شهر مشهد با رویکرد رجحان بیان شده می‌توانیم تابع مطلوبیت را برآورد کنیم. گفتنی است که در بهنگام سازی مطالعات جامع شهر مشهد تابع مطلوبیت طرق مختلف سفر برای انواع مختلف سفر و همچنین اهداف مختلف سفر به دست آمده است که در این تحقیق از همان توابع استفاده خواهد شد. در واقع با استفاده از این توابع می‌توان حساسیت مطلوبیت شهروندان به اعمال بودجه‌های مختلف در نتیجه احتمال و میزان تقاضای سفر

متغیره محقق می‌تواند رابطه خطی موجود بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و مجموعه‌ای از متغیرهای وابسته را مطالعه نماید. در این تحقیق از آنجایی که هدف این است که بدانیم به ازای سهم‌های هر یک از مدهای مختلف حمل و نقل چه بودجه‌ای باید لحاظ شود نسبت‌ها و یا درصد‌های مدهای مختلف را به عنوان متغیرهای وابسته و کرایه‌های حمل و نقل را متغیرهای مستقل در نظر می‌گیریم. در رگرسیون خطی چندگانه، پارامترهای یک مدل خطی به کمک یک تابع هدف و مقادیرهای متغیرها، برآورد می‌شوند. در رگرسیون خطی، مدل در نظر گرفته شده، یک رابطه خطی برحسب پارامترهای مدل است. به این ترتیب اگر n مشاهده از متغیر مستقل p بعدی X داشته باشیم و بخواهیم یک رابطه خطی با متغیر پاسخ Y برقرار کنیم، می‌توانیم از مدل رگرسیون خطی زیر استفاده کنیم.

$$y_i = \beta_0 1 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i \quad i = 1 \dots n$$

حال اگر تعداد متغیرهای پاسخ به m افزایش یابد در حالی که تعداد متغیرهای مستقل فرقی نکند، مدل به صورت زیر در خواهد آمد.

$$y_{i1} = \beta_{01} 1 + \beta_{11} x_{i1} + \dots + \beta_{p1} x_{ip} + \varepsilon_{i1}$$

$$y_{i2} = \beta_{02} 1 + \beta_{12} x_{i1} + \dots + \beta_{p2} x_{ip} + \varepsilon_{i2}$$

$$y_{im} = \beta_{0m} 1 + \beta_{1m} x_{i1} + \dots + \beta_{pm} x_{ip} + \varepsilon_{im}$$

(یعنی آزمون R^2) مبتنی است و قاعده دوم بر آزمون پیش‌بین‌های منفرد موجود در مدل (یعنی آزمون ضرایب رگرسیون b مدل) مبتنی است. گرین فرمول زیر را برای حجم نمونه در رگرسیون را پیشنهاد کرده است.

$$N \geq k + 50$$

ارزیابی ساختار مدل

ارزیابی ساختار مدل آزمونی هست که برای بررسی درستی روابط بین متغیرهای مدل و کفایت آنها طراحی و پیاده سازی می‌شود. با بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی بر روی مدل اشکالات ساختاری ذیل مشاهده گردید.

-متغیر سطح بودجه (و بسیاری از متغیرهای دیگر) در برخی از دوره‌ها دارای مقدار منفی می‌شود، در حالی که این متغیرها نباید مقدار منفی به خود بگیرند.

این پژوهش تقاضای سفر شهر مشهد برای براساس مدل‌های انتخاب و سلیه سفر مبتنی بر رجحان بیان شده و با استفاده از رویکرد لوجیت چندگانه به دست می‌آید. اگر بخواهیم به اصلی‌ترین مرجع استفاده از مدل لوجیت چندگانه مبتنی بر تابع مطلوبیت اشاره کنیم، می‌توانیم به مطالعات جامع شهر مشهد اشاره کنیم که در این مطالعات برای تعیین و سلیه انتخاب سفر با اهداف سفر مختلف از این مدل‌ها استفاده شده است. رگرسیون چندگانه نوعاً به مدل‌های رگرسیون با یک متغیر وابسته و دو متغیر پیشگو یا بیشتر اطلاق می‌شود. در مقابل، در رگرسیون چندمتغیره متغیرهای وابسته چندگانه و هر تعداد متغیر مستقل وجود دارد. در عین حال چنانچه بیش از یک متغیر مستقل در رگرسیون چندمتغیره بیش از یک متغیر پیشگو وجود داشته باشد، گاهی این مدل رگرسیونی، رگرسیون چندگانه چندمتغیره نامیده می‌شود. با استفاده از رگرسیون چند

(۷)

از آنجایی که متغیر مستقل X دارای p بعد است، مقدار آن را در هر بعد با یک متغیر مستقل یک بعدی جایگزین کرده‌ایم. مشخص است که اندیس i نیز شماره مشاهده را نشان می‌دهد. در انتها نیز ε جمله خطای مدل رگرسیونی محسوب می‌شود.

(۸)

(۹)

(۱۰)

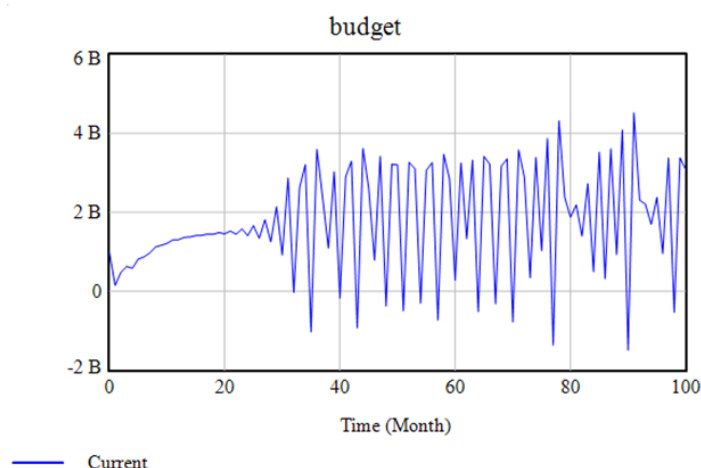
نسبت‌ها و یا درصد‌های مدهای مختلف را به عنوان m متغیر وابسته و کرایه‌های حمل و نقل را به عنوان p متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شود. گرین (۱۹۹۱) دو قاعده سرانگشتی برای حداقل حجم نمونه قابل پذیرش پیشنهاد کرده است. قاعده اول بر آزمون برازش کلی مدل رگرسیون شما

(۱۱)

که k تعداد متغیرهای مستقل است. بنابراین از آنجایی که تعداد متغیرهای مستقل k می‌باشد، حداقل حجم نمونه $82 = 50 + 32$ است.

اعتبارسنجی مدل

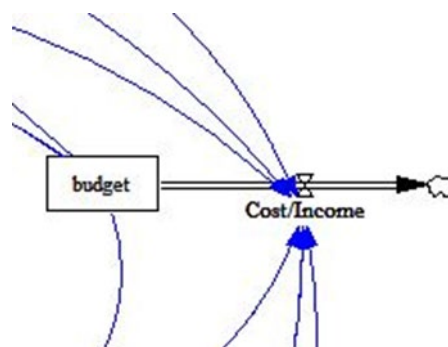
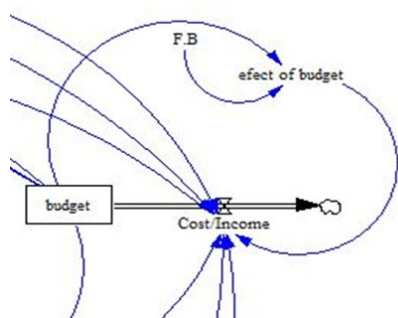
در این مقاله از سه آزمون ارزیابی ساختار مدل، آزمون شرایط حدی و چک ابعادی برای سنجش اعتبار مدل استفاده می‌شود.



شکل ۴. تغییرات بودجه در طول شبیه سازی

نمایانگر تغییر صورت پذیرفته در مدل جهت رفع این اشکال می باشد.

در جهت رفع این مشکل می بایست یک حلقه بازخوردی منفی به مدل اضافه شود تا این ایراد مرتفع گردد شکل شماره ۵



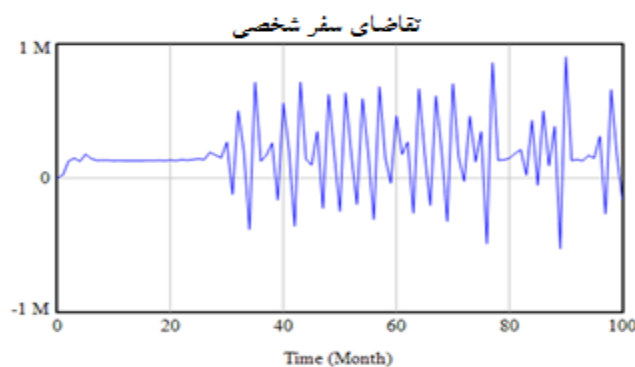
مدل اصلاح شده

مدل اولیه

شکل ۵. اصلاح مدل به منظور جلوگیری از منفی شدن بودجه

-متغیر سطح تقاضا برای سفر با وسیله شخصی (و بسیاری از متغیرها) در برخی از دوره ها مقدار منفی می گیرد.

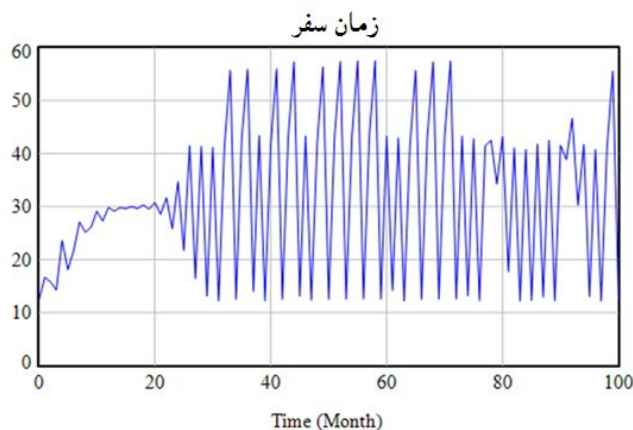
همانگونه که در شکل فوق مشهود است تاثیر متغیر انباشت بودجه بر متغیر نرخ هزینه / درآمد در نظر گرفته شده است به این ترتیب که در صورت صفر شدن مقدار بودجه هزینه کرد نیز صفر خواهد شد.



شکل ۶. تغییرات تقاضای شخصی در طول شبیه سازی

نوسان بیش از حد نرمال (با توجه به نمودارهای پایه) متغیرهای موجود در حلقه‌های بازخوردی اصلی.

این اشکال نیز به مانند حالت قبل می‌باشد. در این مورد نیز با تقویت یک حلقه بازخوردی منفی ایراد مرتفع و مجدداً شبیه سازی صورت پذیرفت تا اثر این متغیر و دیگر متغیرها نیز برطرف گردد.

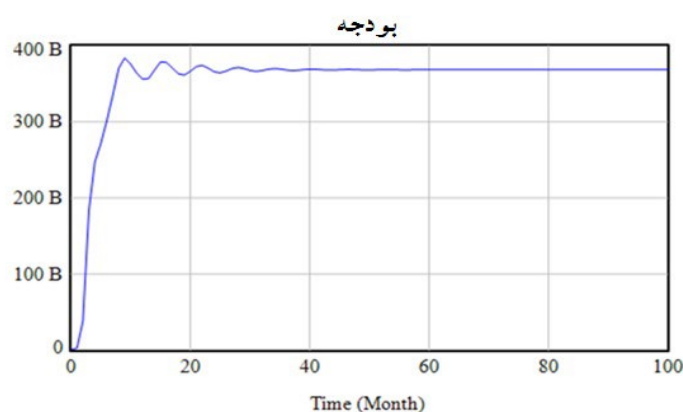


شکل ۷. تغییرات زمان سفر در طول شبیه سازی

حمل و نقل عمومی و تقاضای سفر وسیله شخصی) که در مدل اولیه بصورت تعادلی پیش بینی نشده بود این اشکال نیز مرتفع شد و مجدداً شبیه سازی صورت پذیرفت. نمودارهای نهایی متغیرهای ذکر شده بعد از اصلاحات (نمونه‌ای از متغیرها) صورت پذیرفته در ذیل آمده است.

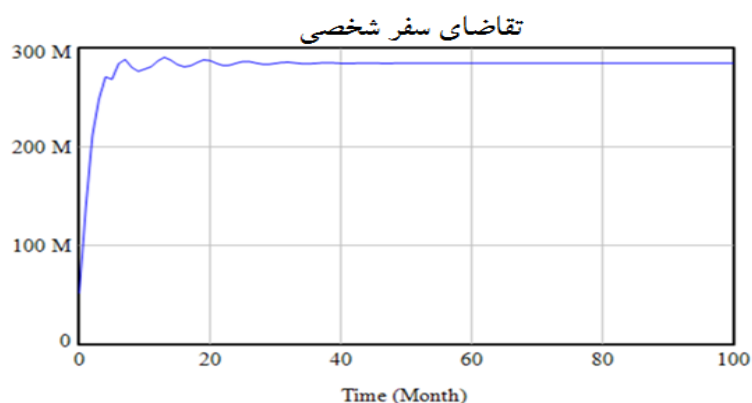
با بررسی‌های صورت پذیرفته بر روی نتایج حاصل از شبیه سازی مشخص گردید این اشکال ناشی از قالب شدن حلقه بازخوردی منفی همراه با تاخیر مربوط به ترافیک می‌باشد و با انجام برخی تغییرات در معادلات و مقدار اولیه پارامترها (مقدار اولیه پارامتر ظرفیت جاده‌ها مقدار اولیه تقاضای سفر با سیستم

الف) نمودار مربوط به متغیر سطح بودجه در ویرایش نهایی مدل



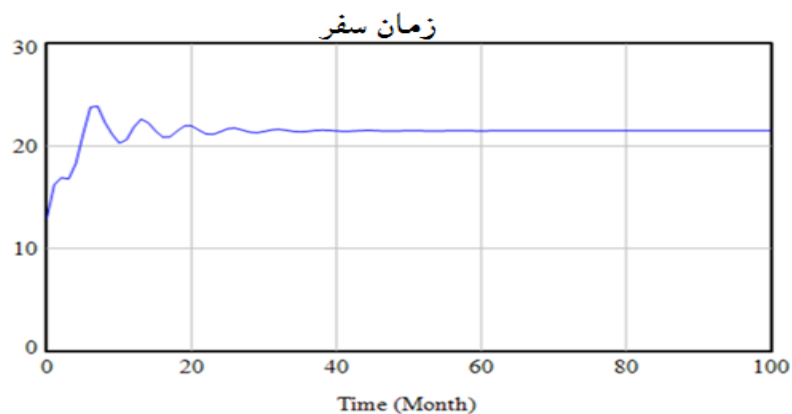
شکل ۸. نمودار اصلاح شده مدل مربوط به متغیر سطح بودجه

ب) نمودار مربوط به متغیر تقاضای سفر با خودرو شخصی در ویرایش نهایی مدل



شکل ۹. نمودار اصلاح شده تغییرات تقاضای شخصی در طول شبیه سازی

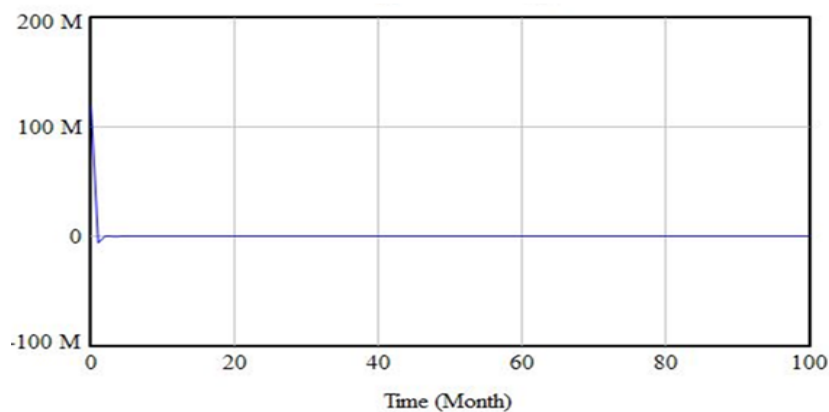
ج) نمودار مربوط به متغیر زمان سفر با خودرو شخصی در ویرایش نهایی مدل



شکل ۱۰. نمودار اصلاح شده زمان سفر در طول شبیه سازی

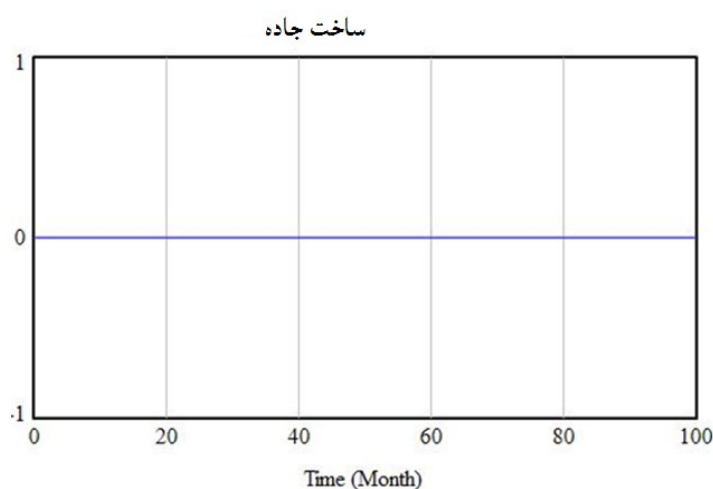
۲-۴-آزمون شرایط حدی

در این قسمت جهت درستی رابطه متغیرها به آزمون ۳ شرط و بررسی تحقق آن در مدل می پردازیم. اگر جمعیت اولیه برابر صفر باشد تقاضا برای سفر نیز برابر صفر خواهد بود. درستی عملکرد سیستم در این آزمون در نمودار ذیل مشهود است.



شکل ۱۱. تغییرات تقاضای سفر بر اساس تغییرات جمعیت

اگر بودجه برابر صفر شود ساخت جاده نیز برابر صفر خواهد شد. درستی عملکرد سیستم در این آزمون در نمودار ۱۲ مشهود است.



شکل ۱۲. تغییرات ساخت جاده بر اساس صفر شدن بودجه

اگر سلامت شهروندان به حداقل خود (یعنی یک) برسد جمعیت صفر خواهد شد.

۳-۴- بررسی ابعادی واحدها

در این قسمت جهت درستی رابطه متغیرها به بررسی واحدهای متغیرهای نرخ در مدل می‌پردازیم.

جدول ۲. چک ابعادی برای متغیرهای نرخ مدل پیشنهادی

سمت راست تساوی	سمت چپ تساوی
درصدی از تعداد ماشین + درصدی از جمعیت متقاضی سفر (تعداد سفر در سال)	نرخ افزایش / کاهش تقاضای سفر (تعداد سفر در سال)
بودجه + میزان استفاده از حمل و نقل عمومی بر اساس هر فرد (میلیارد تومان در سال)	هزینه / درآمد (میلیارد تومان در سال)
تعداد نفقات متقاضی * هزینه سفر * نرخ سفر (تعداد سفر در سال)	تعداد سفر (تعداد سفر در سال)
تعداد تقاضا * هزینه وسیله نقلیه * رشد جمعیت (دستگاه در سال)	تعداد وسایل نقلیه جدید (دستگاه در سال)
سرايه تعداد تولد و مرگ (نفر در سال)	نرخ تولد / مرگ (نفر در سال)

همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد برای متغیرهای نرخ مدل مقدار واحد اندازه‌گیری سمت چپ معادلات با سمت راست معادلات برابر هست و این یعنی اینکه مدل از نظر آزمون چک ابعادی پذیرفته می‌شود.

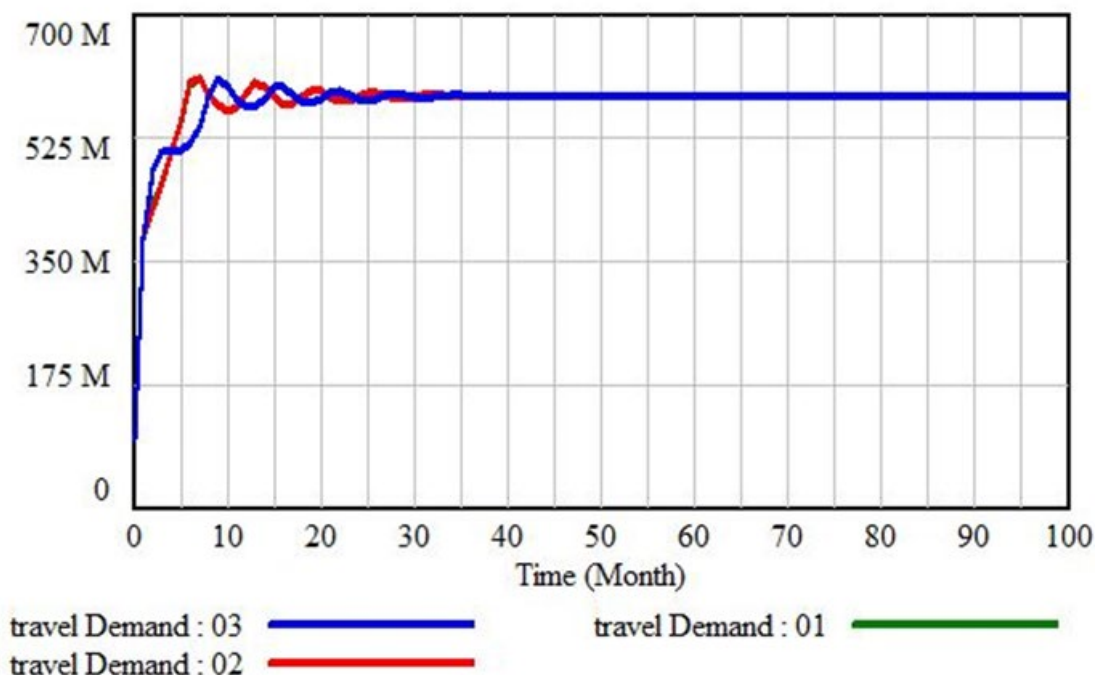
تحلیل حساسیت

بعد از اعتبارسنجی مدل به منظور شناخت قوت مدل نسبت به تغییر پارامترها می‌بایست تحلیل حساسیت صورت گیرد.

تحلیل حساسیت پارامتر رشد اقتصادی

برای پارامتر برونزای رشد اقتصادی سه حالت ذیل در نظر گرفته شده است و بر اساس هر یک از این حالات شبیه سازی صورت پذیرفته است: ۲(۱) ۴(۲) ۱(۳) -

نتایج حاصل بر روی متغیر اساسی افزایش و یا کاهش تقاضای سفر در قالب نمودار ۱۳ مشهود است.



شکل ۱۳. تغییرات تقاضای سفر بر حسب تغییرات در رشد اقتصادی

نمودار دیگر همگرا شد. این امر نشان می‌دهد اولاً سیستم چندان تحت تاثیر نوسانات رشد اقتصادی قرار ندارد و ثانیاً یک حلقه بازخوردی منفی دیگری در سیستم وجود دارد که سیستم را در حول محور هدف ثابت می‌دارد (رفتار هدف جو).

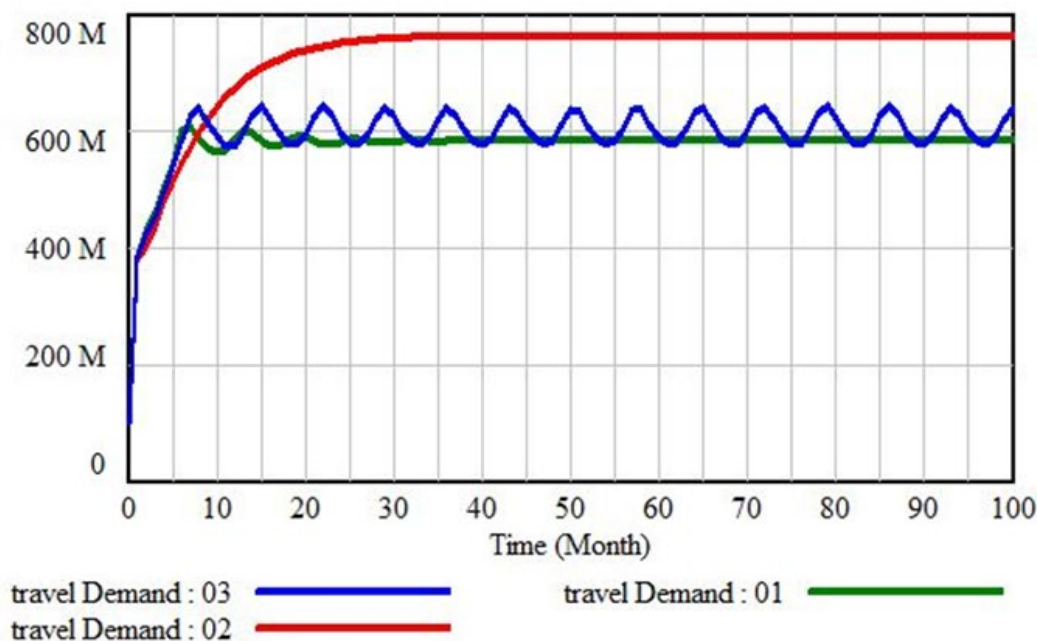
همانگونه که در نمودار فوق مشهود است دو حالت رشد اقتصادی برابر ۲ و رشد اقتصادی برابر ۱- کاملاً برهم منطبق شده‌اند و حالت رشد اقتصادی برابر ۴ در ابتدا با شیب بیشتری شروع به نوسان نمود و لیکن در نهایت از دوره ۲۰ به بعد با دو

تحلیل حساسیت پارامتر ظرفیت بزرگراهها

نتایج حاصل بر روی متغیر اساسی افزایش و یا کاهش تقاضای سفر در قالب نمودار ۱۴ مشهود است.

۱(۱) ۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۲(۲) ۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۳(۳) ۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰

برای پارامتر ظرفیت بزرگ راه‌ها سه حالت ذیل در نظر گرفته شده است و بر اساس هر یک از این حالات شبیه سازی صورت پذیرفته است.



شکل ۱۴. تغییرات تقاضای سفر بر حسب تغییرات در پارامتر ظرفیت بزرگ راه‌ها

فعال شدن حلقه بازخوردی منفی به همراه تاخیر (۳ دوره زمانی) اثر بودجه بر ساخت جاده‌های جدید است که منجر به افزایش ظرفیت جاده‌ها می‌گردد.

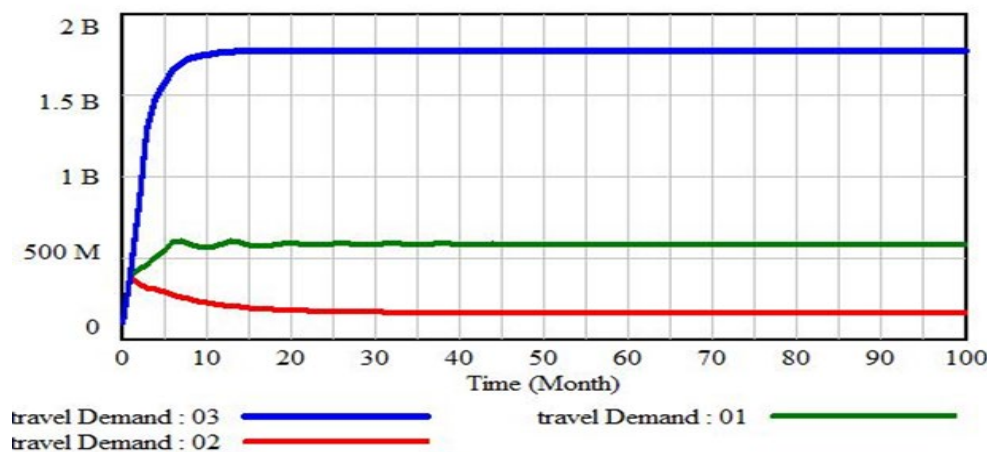
تحلیل حساسیت پارامتر زائر

برای پارامتر برونزای حضور زائر سه حالت ذیل در نظر گرفته شده است و بر اساس هر یک از این حالات شبیه سازی صورت پذیرفته است.

۱) ۱,۰۰۰,۰۰۰ (۲) ۱۰۰,۰۰۰ (۳) ۵,۰۰۰,۰۰۰

نتایج حاصل بر روی متغیر اساسی افزایش و یا کاهش تقاضای سفر در قالب نمودار ۱۵ مشهود است.

همانگونه که در نمودار فوق مشاهده می‌نماییم پارامتر ظرفیت اولیه جاده‌ها (افزایش ظرفیت در قالب حلقه‌های بازخوردی مدل شده است و به عنوان متغیر درونزا فرض شده است) اثر به سزایی بر روی متغیرهای مدل داشته است. با افزایش این متغیر نمودار سایر متغیرها تقریباً هدف جو می‌گردد و با کاهش مقدار ظرفیت جاده‌ها (پایین‌تر از مقدار تعادلی) نیز نمودار به یک نمودار هدف جو محدب تبدیل می‌گردد. (این نمودار در شکل بالا به نمایش در نیامده است). ولیکن در صورتیکه مقدار این پارامتر را تنها اندکی پایین‌تر از مقدار تعادلی فرض گردد (۵ الی ۱۵ درصد) نمودار شروع به نوسان حول محور هدف می‌نماید این نوسان نیز به دلیل



شکل ۱۵. تغییرات تقاضای سفر بر حسب تغییرات در حضور زائر

نخواهیم داشت اما با توجه به افزایش رضایت مشتریان در بلند مدت افزایش تقاضا را به ارمغان خواهد آورد.

سناریو سوم: افزایش قیمت خودرو و یا نرخ بنزین

افزایش قیمت خودرو و یا نرخ بنزین نیز از میزان تعداد خودروهای شخصی و همچنین جذابیت سفر با خودرو شخصی می‌کاهد که موجب افزایش میزان تقاضا حمل و نقل عمومی خواهد شد.

سناریو چهارم: افزایش میزان فرهنگ سازی سفر با وسایل حمل و نقل عمومی

افزایش میزان فرهنگ سازی سفر با وسایل حمل و نقل عمومی از طرق مختلف همچون برنامه‌های صدا و سیما می‌تواند موجب افزایش تقاضای سیستم حمل و نقل عمومی شود چرا که خیلی از افراد بر این باورند که فقط افرادی از این سیستم استفاده می‌کند که توان خرید خودرو شخصی را ندارند.

به منظور تعیین بهینه کرایه حمل و نقل عمومی از خروجی شبیه سازی در نرم افزار VISUM که نتیجه طرح مطالعات جامع شهر مشهد می‌باشد، استفاده شد. جدول (۳) نمونه ای از مشاهدات را نشان می‌دهد. ورودی وارد شده به VISUM شامل کرایه‌های مختلف مدهای حمل و نقل و خروجی شامل نسبت‌های استفاده از وسایل حمل و نقل می‌باشد.

با توجه به نمودار فوق می‌توان اینگونه تحلیل نمود که افزایش و یا کاهش زائران اثر مستقیم بر سایر متغیرها خواهد داشت به این معنی که با افزایش زائران تعداد سفرها نیز افزایش می‌یابد (نمودار آبی) و با کاهش زائران از حد تعادلی در نظر گرفته شده تقاضای سفر نیز کاهش می‌یابد (نمودار قرمز).

اعمال و بررسی سیاست‌های مختلف

سناریو اول: افزایش میزان بودجه توسعه خدمات حمل و نقل عمومی

با توجه به این که کیفیت خدمات و رضایت مشتریان از مهمترین عوامل افزایش تعداد مشتریان و موفقیت و بقای هر سازمان می‌باشد. در این قسمت مشاهده می‌شود که افزایش بودجه، افزایش سرمایه گذاری جهت بهبود در بخش‌های مختلف کیفیت خدمات را منجر خواهد شد، که در نتیجه رضایت مسافران و افزایش تقاضا را به دنبال خواهد داشت.

سناریو دوم: افزایش قیمت بلیط اتوبوس

افزایش قیمت بلیط اتوبوس، در ابتدا موجب افزایش ناراضیاتی خواهد شد. اما با توجه به افزایش میزان درآمد و سرمایه‌گذاری سازمان که می‌تواند آن را در جهت بهبود کیفیت خدمات صرف کند، رضایت مشتریان را به دنبال خواهد داشت و در ابتدا دوره افزایش نرخ بلیط، بهبودی در میزان تقاضا

جدول ۳. نمونه از مشاهدات شامل ورودی و خروجی به نرم افزار VISUM

خروجی مدل (نسبت استفاده از مدها)				ورودی مدل			
درصد خودرو	درصد تاکسی	درصد اتوبوس	درصد مترو	کرایه تاکسی	هزینه پارک	کرایه اتوبوس	کرایه مترو
۰/۳۹۷۳	۰/۱۶۹۵	۰/۱۵۹۰	۰/۰۲۸۲	۸۴۰,۷۴۰ متر	۱۹۰۰	۹۵۰	۱۰۰۰
۰/۴۰۳۸	۰/۱۶۱۴	۰/۱۵۵۱	۰/۰۲۶۸	۱۱۰,۹۶۵ متر	۲۳۰۰	۱۲۰۰	۱۲۵۰
۰/۴۰۸۲	۰/۱۵۳۳	۰/۱۵۰۸	۰/۰۲۵۹	۱۴۰,۱۲۵۰ متر	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۱۵۵۰
۰/۴۱۲۴	۰/۱۴۳۱	۰/۱۴۷۶	۰/۰۲۴۶	۱۸۵۰,۱۶۳۰ متر	۳۷۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰
۰/۴۱۵۹	۰/۱۳۳۴	۰/۱۴۱۷	۰/۰۲۳۵	۲۴۰,۲۱۰۰ متر	۴۶۰۰	۲۳۰۰	۲۵۰۰
۰/۴۱۵۶	۰/۱۲۳۴	۰/۱۳۷۶	۰/۰۲۲۴	۳۱۰,۲۷۵۰ متر	۵۸۰۰	۲۸۰۰	۳۲۰۰
۰/۴۱۵۵	۰/۱۱۳۱	۰/۱۳۱۳	۰/۰۲۱۴	۴۰۵,۳۶۰۰ متر	۷۲۰۰	۳۶۰۰	۴۰۰۰
۰/۴۰۹۶	۰/۱۱۱۹	۰/۱۴۲۱	۰/۰۲۱۲	۴۰۵,۳۶۰۰ متر	۷۲۰۰	۲۸۰۰	۴۰۰۰
۰/۴۱۵۱	۰/۱۱۳۱	۰/۱۳۱۳	۰/۰۲۲۰	۴۰۵,۳۶۰۰ متر	۷۲۰۰	۳۶۰۰	۳۲۰۰
۰/۴۱۵۶	۰/۱۱۳۱	۰/۱۳۱۳	۰/۰۲۱۳	۴۰۵,۳۶۰۰ متر	۷۲۰۰	۳۶۰۰	۴۰۰۰

مدل رگرسیونی چند متغیره از نرم افزار Stata استفاده می شود. در ادامه ابتدا معادلات رگرسیونی برآورد شده توسط نرم افزار، با استفاده از متغیرهای جدید معرفی می شوند و سپس نتایج مربوط به آنها مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

برای ساخت مدل از نتایج شبیه سازی توسط نرم افزار VISUM که نمونه ای از آن در جدول (۳) نشان داده شده است، استفاده می شود. از خروجی این نرم افزار به عنوان مشاهدات مدل رگرسیونی چند متغیره ساخته می شود که برای شبیه سازی در نرم افزار ونسیم استفاده شده است. در ساخت MTP : کرایه بلیط مترو برای یک سفر درون شهری (تومان) BTP : کرایه بلیط اتوبوس برای یک سفر درون شهری (تومان) PC : متوسط هزینه پارکینگ در یک توقف (تومان) TP : کرایه یک کورس تاکسی در یک سفر درون شهری (تومان) با توجه به نتایج بالا معادلات رگرسیونی به صورت جدول (۴) می باشد.

جدول ۴. مدل های رگرسیونی برآوردکننده سهم مدهای مختلف بر حسب کرایه

ضریب R^2	سهم مد بر حسب بهای خدمات				مد حمل و نقل
0.9402	$40.36889 + 0.0012174 \times BTP - 0.0012817 \times PC + 0.0018057 \times TP$				سهم خودروی شخصی
	16.22	-21.71	12.75	284.59	تست t
0.9572	$17.51628 + 0.0000696 \times MTP + 0.0004136 \times BTP + 0.0001675 \times PC - 0.0026399 \times TP$				سهم تاکسی
	106.49	-20.45	2.45	3.73	تست t
0.9611	$17.08911 + 0.0000667 \times MTP - 0.0022851 \times BTP + 0.0002637 \times PC + 0.0005517 \times TP$				سهم اتوبوس
	6.16	5.55	-29.73	0.79	تست t
0.8623	$2.889028 - 0.0002121 \times MTP + 0.0000139 - 06 \times BTP - 0.0000097 \times PC - 0.0000093 \times TP$				سهم مترو
	-0.38	-11.17	100.39		تست t

جدول ۵. نمونه ای از سهم ها و کرایه های هر یک از

مدهای سفر

سهم های مد حمل و نقل

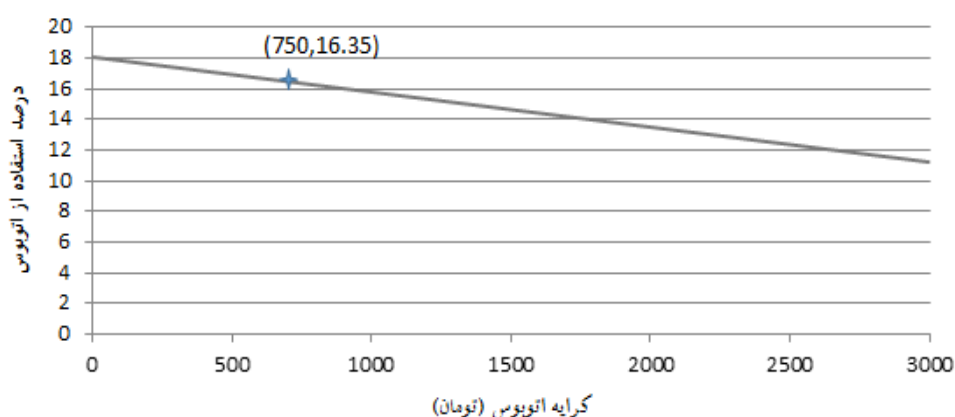
کرایه های مد حمل و نقل

۱	مترو (۱۰۰۰)، اتوبوس (۸۵۰)، تاکسی (۷۴۰) و خودروی شخصی (۱۹۰۰)	مترو (۲/۵۸)، اتوبوس (۱۶/۱۴)، تاکسی (۱۶/۲۲) و خودروی شخصی (۴۰/۷۱)
۲	مترو (۱۲۵۰)، اتوبوس (۱۲۰۰)، تاکسی (۱۱۰۰) و خودروی شخصی (۲۳۰۰)	مترو (۲/۶۶)، اتوبوس (۱۵/۶۴)، تاکسی (۱۵/۵۸) و خودروی شخصی (۴۰/۸۴)
۳	مترو (۱۵۵۰)، اتوبوس (۱۵۰۰)، تاکسی (۱۴۰۰) و خودروی شخصی (۳۰۰۰)	مترو (۲/۵۹)، اتوبوس (۱۵/۳۲)، تاکسی (۱۵/۰۵) و خودروی شخصی (۴۰/۸۴)
۴	مترو (۲۰۰۰)، اتوبوس (۱۸۰۰)، تاکسی (۱۸۵۰) و خودروی شخصی (۳۷۰۰)	مترو (۲/۴۹)، اتوبوس (۱۵/۱۰)، تاکسی (۱۴/۱۳) و خودروی شخصی (۴۱/۱۲)
۵	مترو (۲۵۰۰)، اتوبوس (۲۳۰۰)، تاکسی (۲۴۰۰) و خودروی شخصی (۴۶۰۰)	مترو (۲/۳۸)، اتوبوس (۱۵/۵۳)، تاکسی (۱۳/۰۷) و خودروی شخصی (۴۱/۵۶)
۶	مترو (۳۲۰۰)، اتوبوس (۲۸۰۰)، تاکسی (۳۱۰۰) و خودروی شخصی (۵۸۰۰)	مترو (۲/۲۳)، اتوبوس (۱۴/۱۴)، تاکسی (۱۱/۶۸) و خودروی شخصی (۴۱/۸۸)

تقاضای اتوبوس بر اساس تغییرات کرایه آن و ثابت بودن کرایه بقیه مدها به صورت شکل (۲) می‌باشد. همانطور که نمودار نشان می‌دهد، اگر اتوبوس رایگان در نظر گرفته شود، اتوبوس حدود ۱۸/۰۶ درصد از سفرهای درون شهری را به خود تخصیص می‌دهد و اگر سه هزار تومان در نظر گرفته شود، این نسبت به حدود ۱۱/۲۲ کاهش می‌یابد. یعنی به ازای هر ۱۰۰۰ تومان افزایش در نرخ کرایه همزمان به ثابت نگهداشتن کرایه و هزینه‌ی سایر مدها، ۲/۲۸ درصد کاهش در سهم اتوبوس از سفرهای درون شهری را داریم.

به منظور پیش بینی سهم سفر هر یک از مدهای مختلف حمل و نقل باید مبلغ یا مبالغ پیشنهادی را در معادلات قرار داد تا در صد سهم های مختلف هر یک از مدهای مختلف حمل و نقل استخراج گردد. به عنوان مثال اگر تصمیم بر این باشد که کرایه‌ها به صورت زیر باشد، سهم هر یک از مدهای مختلف حمل و نقل با توجه به معادلات به صورت جدول (۵) برآورد می‌شود. اثر کرایه اتوبوس روی سهم این مد را با فرض ثابت بودن کرایه حمل و نقل مترو، تاکسی و هزینه پارکینگ، و تغییر کرایه حمل و نقل اتوبوس می‌توان بررسی کرد. روند تغییرات

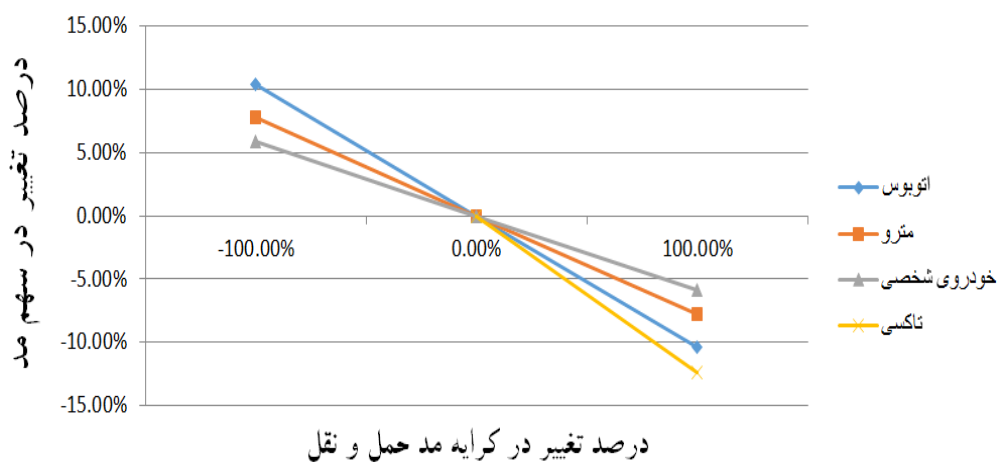
نسبت استفاده از اتوبوس با تغییر قیمت کرایه



شکل ۱۶. رابطه بین کرایه اتوبوس و درصد استفاده از آن

۷/۷۷ درصد کاهش می‌یابد. در اتوبوس نیز با همین افزایش درصد کاهش تقاضا برابر ۱۰/۴۱ درصد خواهد بود. درصد تغییرات قیمتی برای دو مد خودرو و تاکسی از اتوبوس و مترو کمتر است.

شکل (۱۶) حساسیت مدهای مختلف را نسبت به تغییرات قیمتی نشان می‌دهد. همانطور که نمودار نشان می‌دهد، اثر تغییر قیمت بر روی درصد تغییر در سهم مد خودرو و تاکسی تقریباً یکسان می‌باشد. مترو کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات قیمتی دارد و با افزایش صد درصدی در کرایه آن تقاضای آن



شکل ۱۷. مقایسه مدهای مختلف حمل و نقل در رابطه با درصد تغییر در کرایه و درصد تغییر

۵- نتیجه گیری

چندانی بر تصمیم‌گیری افراد ندارد و به عنوان سیاست مکمل در کنار سرمایه‌گذاری در سیستم حمل و نقل عمومی می‌تواند مدنظر باشد. سیاست افزایش بهای بلیط سیستم حمل و نقل عمومی با هدف افزایش درآمد با توجه به ریزش مسافران در کوتاه مدت منجر به شکست خواهد شد ولیکن ترکیب این سیاست با سیاست افزایش بهای سوخت در بازه زمانی بلند مدت متعجبانه افزایش بیش از ۱۰ درصدی در مسافران سیستم حمل و نقل عمومی خواهد شد. در آخر خاطرنشان می‌نماید در این تحقیق صرفاً سیاست‌های مشهور در امر حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفته است و در پژوهش‌های آتی می‌توان برخی سیاست‌های دیگر و همچنین تأثیرچندگانه سیاست‌ها بر یکدیگر رانیز مورد بررسی قرارداد.

در این مقاله با تمرکز بر میانگین تقاضای حمل و نقل، اثرات سیاست‌های مختلف در قالب چهار سناریو مورد بررسی قرارگرفت. همچنین جهت ارزیابی سیاست‌های مختلف از نمودارهای تغییر تقاضای سفر در بازه زمانی تحقیق استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها بیانگر این مطلب است که سرمایه‌گذاری بر روی ساخت جاده‌ها (معابر شهری و همچنین معابر اختصاصی حمل و نقل عمومی) بیشترین تأثیر را بر روی ترافیک خواهد داشت و ترافیک شهری نیز عامل تعیین‌کننده بر تصمیم مردم مبنی بر استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی می‌باشد. از این رو سیاست‌های ترکیبی دخیل در امر سرمایه‌گذاری بر ساخت می‌تواند مدنظر قرار گیرد. همچنین سیاست مربوط به فرهنگ سازی به عنوان یک سیاست مستقل تأثیر

۶- مراجع

و نقل (نمونه موردی کلانشهر تهران). پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم شماره اول. بهار.

-Al-Fawaeer Moayyad, Bany Hamdan Khaled, Al-Zubi Hassan Ali (2012). A Study of Benchmarking Influence on Customer Satisfaction. *International Journal of Business and Management*, Vol. 7, No. 8, 108-114.

-Budiono. O. A., (2009). Customer Satisfaction In Public Bus Transport, A study of travelers' perception in Indonesia. *Karlstad University, Sweden*.

-Coyle, R.G. (1996). System dynamics modeling: A practical approach, London, *Chapman & Hall*.

-El Yaagoubi, Amina, Aicha Ferjani, Yasmina Essaghir, Farrokh Sheikahmadi, Mohamed Nezar Abourraja, Jaouad Boukachour, Marie-Laure Baron, Claude Duvallet, and Ali Khodadad-Saryazdi (2022). A logistic model for a french intermodal rail/road freight transportation system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 164 (2022): 102819.

-Emami, Maryam, Hossein Haghshenas, Ahmadreza Talebian, and Shahab Kermanshahi (2022). A game theoretic approach to study the impact of transportation policies on the competition between transit and private car in the urban context. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 163, 320-337.

-استادی جعفری، مهدی و رصافی امیرعباس (۱۳۹۱). الگوی زیست محیطی برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری با استفاده از مدل‌های پویایی. *مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست*، شماره ۵۴، پاییز.

-انتظاری، ابوالفضل، گلریز ضیایی، زهرا و صادقی حصار، حمید (۱۳۹۱). ارزیابی کیفیت خدمات رسانی شبکه‌های حمل و نقل عمومی مشهد در سال؛ چهارمین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری.

-حمیدی زاده، محمدرضا (۱۳۷۹). پویایی‌های سیستم. انتشارات مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، چاپ اول.

-دلاور، علی (۱۳۸۹). روش تحقیق در روانشناسی و علوم تربیتی. تهران، نشر ویرایش.

-سلطانی، علی و عرب سلغار، لایلا (۱۳۸۹). ارزیابی کیفیت سیستم اتوبوسرانی در شهر شیراز. *سازمان نظام مهندسی*. شماره ۶۲، ۹۶-۱۰۴.

-شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران (۱۳۸۵). حمل و نقل و ترافیک تهران در یک نگاه.

-فرتوک زاده، حمیدرضا و رجبی نهوجی، میثم (۱۳۹۰). مدل‌ساز پویایی ترافیک کلانشهرها به منظور ارائه سیاست‌های بهبود حمل

- Shen, Jinxing, Hongyan Gu, Xuejun Feng, Miao Yu, and Changjiang Zheng (2022). Investigation of factors contributing to bus-crash severity based on extended hierarchical ordered probit model with heteroscedasticity. *Journal of Transportation Safety & Security* 14, No. 9, 1531-1551.
- Quddus, Mohammed, Farzana Rahman, Fredrik Monsuur, Juan de Ona, and Marcus Enoch (2019). Analyzing bus passengers' satisfaction in Dhaka using discrete choice models. *Transportation Research Record* 2673, No. 2 758-768.
- Wang, Xu, Jingni Song, Qunqi Wu, Yifeng Bao, and Yiping Wang (2022). A novel bi-level programming model for structure sustainability optimization of passenger transport corridor. *Plos one* 17, No. 7, e0266013.
- Ziar, Elham, Mehdi Seifbarghy, Mahdi Bashiri, and Benny Tjahjono (2022). An efficient environmentally friendly transportation network design via dry ports: a bi-level programming approach. *Annals of Operations Research*, 1-24.
- FitzRoy F. (1998). Public transport demand in Freiburg: why did patronage double in a decade?. *Transport Policy* 5, 163-173.
- Giaoutzi, M. and Daminides, L. (1990). The Greek transport system and environment. In Button, J.B.a.K. *Transport Policy and the Environment: Six Case Studies*. London, Earthscan.
- Holmgren, J., (2012). The efficiency of public transport operations e An evaluation using stochastic frontier analysis, *Research in Transportation Economics*, 1-8.
- Intikhab Ahmed Qureshi, LU Huapu. (2007). Urban transport and sustainable transport strategies: A case study of Karachi, Pakistan. *TSINGHUA Science and Technology*, Vol. 12, No. 3, 309-317.
- Khurshid Rida, Naeem Hummayoun, Ejaz Sana, Mukhtar Faiza, Batool Taha. (2012). Service Quality and Customer Satisfaction in Public Transport Sector. *International Journal of Economics and Management Sciences*, Vol. 1, No. 9, 24-30.

A Model for Public Transport Budgeting Using Multivariate Regression with System Dynamic Approach

*Mohammad Hamevand, Ph.D. Student, Department of Management, Ar.C.,
Islamic Azad University, Arak, Iran.*

Iraj Nouri, Department of Management, Ar.C., Islamic Azad University, Arak, Iran.

*Mohammad Sadegh Hori, Department of Management, Ar.C., Islamic Azad University,
Arak, Iran.*

E-mail: i-nouri@iau.ac.ir

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT

There are many factors in the use of cars or citizens' reluctance to use a certain type of public transportation, but this paper want to budget public transportation and guide citizens to use public transportation. For this purpose, this research presents a dynamic model for the public transportation system of Mashhad using regression equations in order to achieve sustainable development. In this research, using the data related to public transportation and the opinion of experts in this field, the circular causal model of public transportation in Mashhad city was designed and simulated using Vansim software. After checking and adjusting the circular causal model, the flow diagram of the model was drawn. Then, the validity of model was formulated and tested. According to the results of the model, if the bus be free, the bus allocates about 18.06 percent of the trips, and if three thousand Tomans are considered, this ratio decreases to about 11.22. It means every 1000 Tomans increase in the fare rate, while keeping constant for the fare other modes, we have a 2.28% decrease in the share of bus from intra-city trips. Finally, according to the opinion of experts, 4 scenarios were presented, the results of each of which were analyzed on the development of the sustainability of the public transportation system in Mashhad.

Keywords: Multivariate Regression, Integration of Transport Services, System Dynamics