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

مقاله علمی – پژوهشی

محمد همه وند، دانشجوی دکترا، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد واحد اراک، اراک، ایران
ایرج نوری*، دانشیار، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران
محمد صادق حری، دانشیار، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: i-nouri@iau-arak.ac.ir
دریافت: ۱٤۰۳/۰٤/۰٦- پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۰۱
صفحه ۳۲۲-۳۰۱

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 علّی 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 علّی 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 سه‌هزار 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 ٤ 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

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 وسیع هوا شده است. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از راه‌های مختلف اجرا شده، همچون محدودیت تردد اتومبیل‌ها و زمان‌بندی تقاضای سفر، مطلوب‌ترین راه رهایی از این معضل، توسعه و بهره‌گیری از سیستم حمل و نقل عمومی‌می‌باشد. (Arnott, and Eren Inci. 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

به تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اهداف استراتژیک برای دستیابی به یکپارچگی مختلف است ولی معمول‌ترین آنها شامل کارایی در استفاده از منابع، ارتقای دسترسی، حفاظت از محیط زیست ایمنی، امکان پذیری مالی است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که راهبردها و بسته‌های یکپارچه با ترکیب مناسبی از زیرساخت مدیریت و اقدامات قیمت‌گذاری تا حد چشمگیری مقیاس مشکلات حمل و نقل را کاهش داده‌اند (May and Roberts, 1995). به همین دلیل در حال حاضر حمل و نقل یکپارچه به عنوان یک نقشه راه مهم برای سیاست‌گذاری‌های حمل و نقلی و همچنین توسعه ساختاری و نهادی در کشورهای مختلف مطرح است (Potter and Skinner, 2000). سیستم‌های موجود حمل و نقل همگانی و شبه همگامی در شهر مشهد شامل قطار شهری، اتوبوس و تاکسی‌رانی می‌باشد. در رویکرد حمل و نقل یکپارچه باید طوری این سیستم‌ها 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 سیستم‌های حمل و نقل دارای ظرفیت خاص خود بوده و مسیرهای خاصی را نیز پوشش می‌دهند، استفاده ناهمگون از هر یک از این زیر سیستم‌های حمل و نقلی توسط شهروندان منجر به ناهماهنگی بین سیستم‌ها می‌شود. بنابراین در این راستا ابتدا شناسایی عوامل مؤثر بر استفاده شهروندان از سیستم حمل و نقل عمومی و همچنین در مرحله بعد بررسی چگونگی تأثیرگذاری هر یک از عوامل در میزان استفاده از این سیستم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به محیط پویای امروزه و همچنین با توجه به تغییرات مداوم در خواسته‌ها و انتظارات شهروندان، برای بررسی عوامل تأثیرگذار به استفاده بیشتر از سیستم نیاز به بهره‌گیری از مدل‌هایی است که این تغییرات را مدنظر قرار دهد، و به سازمان جهت فراهم‌سازی 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 کلیدی‌ترین عوامل در تقاضای سفر وسایل حمل و نقل عمومی قیمت می‌باشد برای قیمت معادلات رگرسیونی تعریف شده است. نوآوری این تحقیق مدلسازی عوامل تقاضا با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و طراحی معادلات رگرسیونی 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 مدل‌های موجود در ادبیات تحقیق که برای تحلیل عوامل و قیمت‌گذاری پرداخته را بررسی می‌کنیم و در نهایت جمع‌بندی و مقایسه مدل‌ها صورت می گیرد.

۲-پیشینه تحقیق

امروزه معضلات ترافیکی به یکی از مهمترین چالش‌های شهرهای در حال توسعه بدل شده و شرایط ناپایداری را سبب شده است. (اسکاس و همکاران، ۲۰۰۶). آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی‌های فسیلی، نگرانی‌های فراوانی را برای ادامه زندگی جوامع انسانی فراهم کرده است (بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸). گرم شدن کره زمین، تخریب لایه ازن، ریزش باران‌های اسیدی، تغییرات شدید اقلیمی و بسیاری عوارض دیگر از ورود آلودگی‌ها به اتمسفر نتیجه می‌شود که حیات موجودات را بیش از پیش مورد تهدید قرار می‌دهد (خانی و یغمائیان، ۱۳۸۳). با توجه به هزینه‌های 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 (بهبهانی و اسدی‌کیا، 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 می‌شود، تراکم ترافیک در خیابان‌ها روز به روز افزایش می‌یابد 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).

خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در زمینه بکارگیری روشهای مختلف قیمت‌گذاری معابر، محدوده، کرایه و پارکینگ و اثرات آنها بر بهبود شرایط ترافیکی شهرها و رفتار انتخاب وسیله افراد در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی مطالعات خلاصه شده در جدول (۱) نشان می دهد که تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با سیاست‌های قیمت‌گذاری و اثرات آن در جهان انجام شده‌اند و این مطالعات نشان داده‌اند که بکارگیری سیاست‌های دفعی و جذبی می‌تواند 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

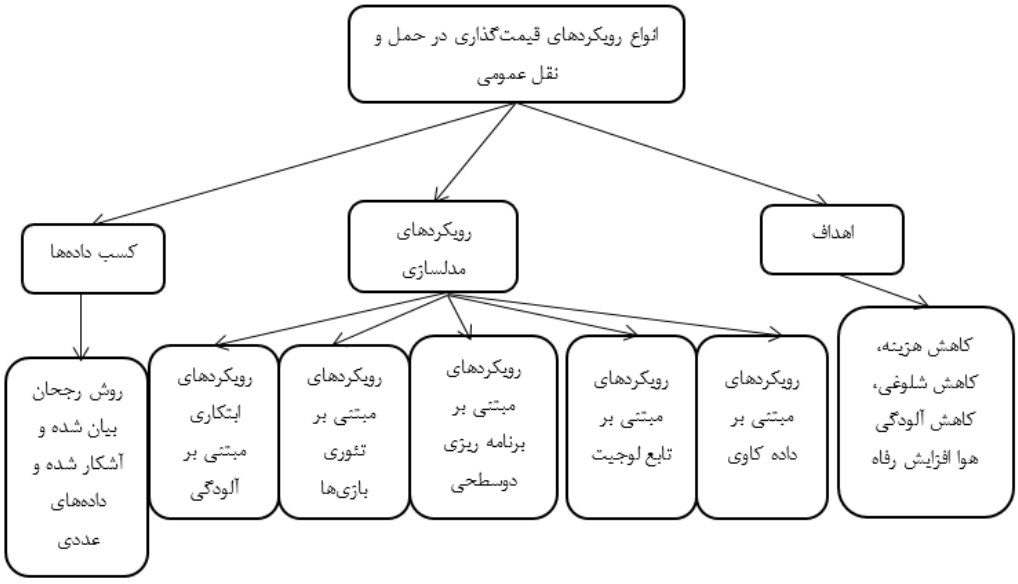
ترکیب سیاست‌های دفعی و جذبی توامان با یکدیگر مورد بررسی قرار رفته باشد به ندرت انجام شده است. همچنین مطالعاتی که در آن به طور مشخص و همزمان تاثیر بکارگیری ترکیب سیاستهای دفعی قیمت گذاری مسیرها (معابر) و قیمت گذاری پارکینگ از یک سو و سیاست جذبی قیمت گذاری به صرفه و مناسب ایجاد سامانه اتوبوس و مترو از سوی دیگر بر رفتار انتخاب وسیله سفر افراد را با درنظر 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.

جدول ۱. مطالعات مرتبط با قیمت‌گذاری سیستم حمل و نقل شهری

	موضوع مورد مطالعه	شهر	خلاصه نتایج مورد مطالعه
۱	قیمت‌گذاری 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 ٦٥۰۰۰ وسیله نقلیه در روز، افزایش ۲۰درصدی استفاده از اتوبوس، افزایش ۱۷درصدی 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 ٦ درصدی استفاده از حمل و نقل عمومی و کاهش ١٤ درصدی آلاینده‌های زیست محیطی در پی قیمت گذاری تراکم در این شهر را نشان داد (Brundell-Freij, no date).
٤	قیمت‌گذاری ممسیر 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 ٤۰ درصد از استفاده کنندگان، وسیله شخصی را برای رفت و آمد انتخاب می کنند (سیداحسان سیدابریشمی, ۱۳۹۲)
٥	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 قیمت‌گذاری 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)
٦	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 تو جهی 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، ۱۳۹٤)
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 قیمت‌گذاری به عنوان یکی از عوامل پرداخته می‌شود. لذا در ادامه رویکردهای مختلف قیمت گذاری مطرح شده است.



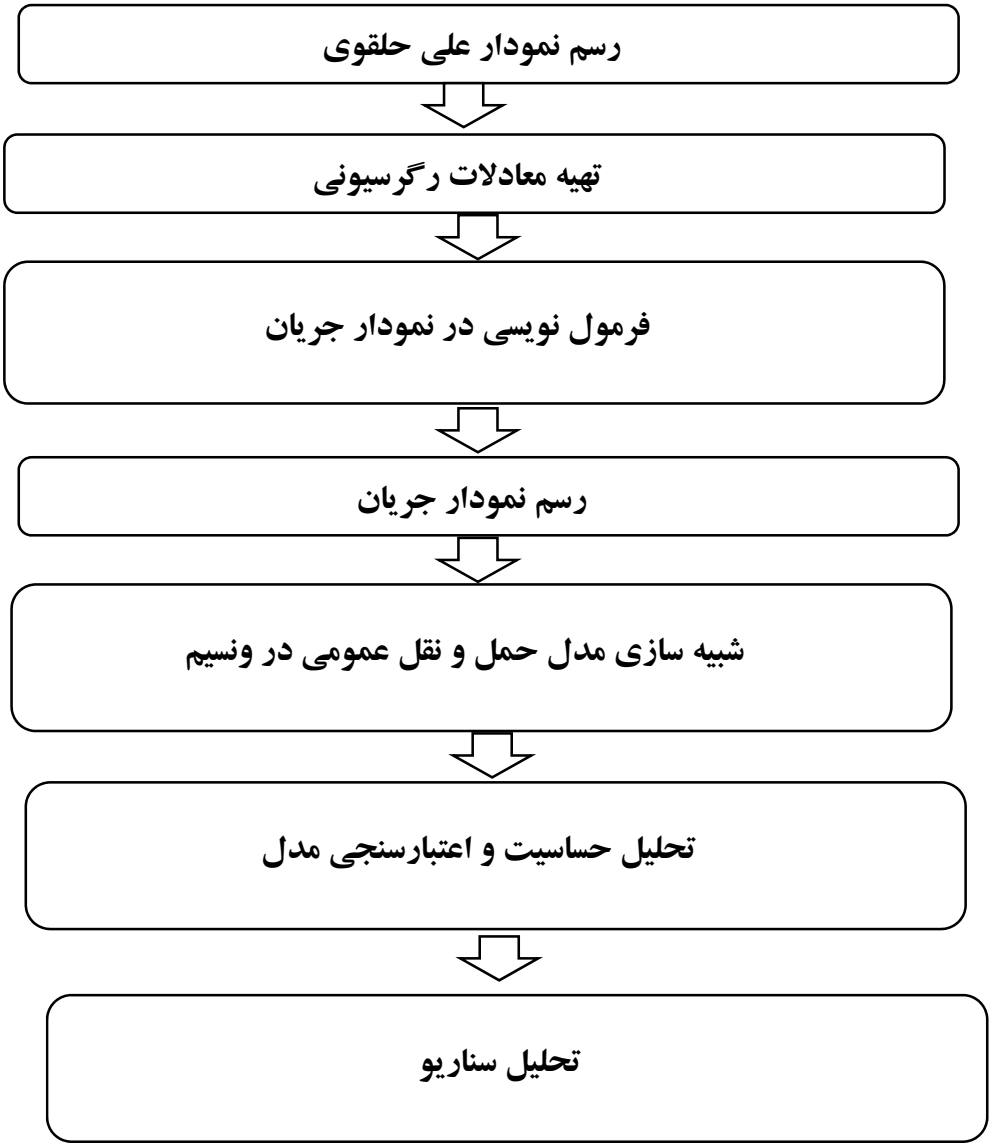
شکل ۱. رویکردهای جمع آوری داده و مدلسازی در قیمت‌گذاری حمل و نقل عمومی

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 بازی‌ها دانست (عطار و خوش الحان ۱۳۹٤). 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 قیمت‌گذاری کرایه وسایل عمومی مختلف حمل و نقل در واقع

بحث تقابل مطرح نیست (Emami et al., 2022، جوهری 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 قیمت‌گذای 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 مجموعه ای از یال‌های شبکه و یا محدوده می پردازند. در سطح پایین مدل کاربران شبکه قرار دارند که در جستجوی کوتاهترین مسیر بین مبداء و مقصد خود هستند (Ekström, 2008, Wang et al., 2022). با توجه به سخت بودن مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی، بخصوص قیمت گذاری 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 بهینه سازی هستند، عوارض اجتماعی قیمت‌گذاری را در نظر نمی‌گیرند. علاوه بر آن تحقیقات صورت گرفته قیمت‌ها را به صورت یکپارچه در نظر نمی گیرند (Wang et al., 2022). در بسیاری از تحقیقات از شاخص‌های مانند آلودگی هوا و یا شلوغی برای بهینه سازی 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 ونقل 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 گفته می‌شود (Ziar et al., 2022, Soydan, and Ahmet Mete 2022). از دیگر مدل‌های تفکیک سفر می‌توان به سری مدل های لوجیت دوگانه، آشیانه ای و چندگانه اشاره کرد. از مدل لوجیت 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 لوجیت آشیانه‌ای گزینه‌ها می‌توانند مستقل در نظر گرفته شوند ولی در مدل لوجیت 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 جمع آوری شده استفاده می‌شود.

۳- روش‌شناسی تحقیق

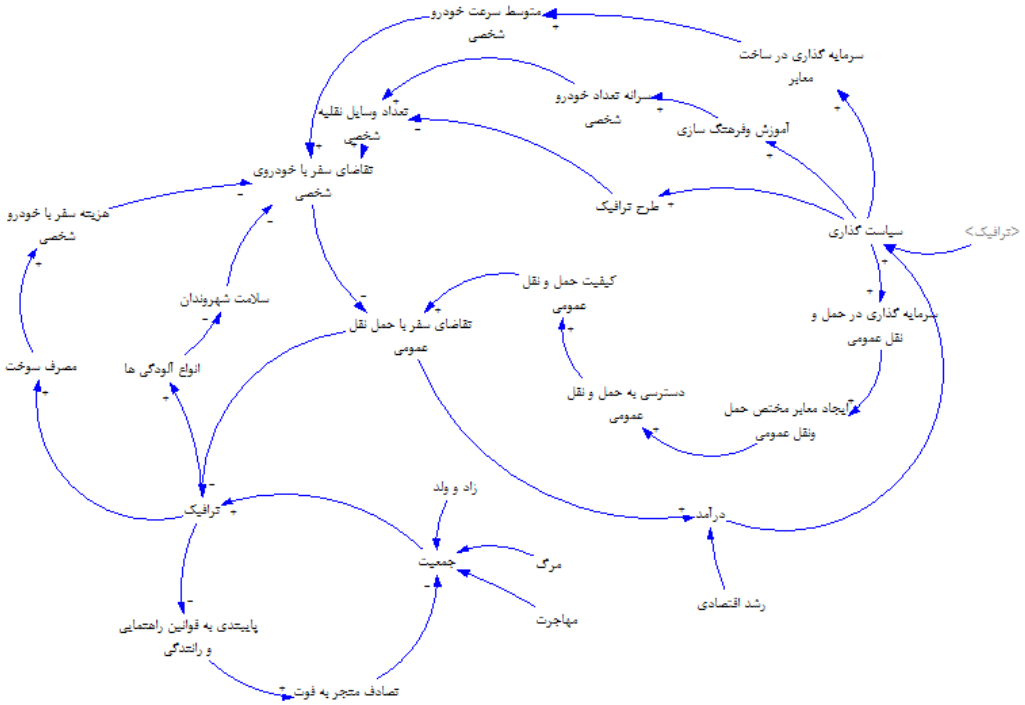
تحقیق حاضر از نظر هدف کاربردی است چرا که با هدف شناسایی و بررسی عوامل مؤثر بر استفاده حداکثری افراد از سیستم حمل و نقل عمومی به طور کلی و میزان اثرگذاری کرایه و یا قیمت حمل و نقل وسایل حمل و نقل عمومی بر تقاضای استفاده از این وسایل می‌باشد. جمع آوری اطلاعات مورد نیاز تحقیق از روش مطالعه اسنادی و با استفاده از بانک اطلاعات مطالعات جامع حمل و نقل مشهد که در سال ۱۳۹٤ 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 استقاده 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 می شود. در نهایت بعد از شبیه سازی با استفاده از نرم افزار ونسیم و اعتبارسنجی مدل، سناریوهای مناسب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.



شکل۲. چارت روش تحقیق

٤- 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 می‌گردد. در شکل (۲) نمودار علی حلقوی رسم شده است. در این نمودار حلقه‌های اصلی بازخوردی تعریف شده که در ادامه شرح این حلقه‌ها می‌آید. 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 می‌توان با سیاست‌گذاری جدید اقدام به سرمایه‌گذاری در ایجاد معابر مختص حمل و نقل عمومی‌کرد که با توجه به آن دسترسی به حمل و نقل عمومی‌بیشتر شده و باعث افزایش کیفیت خدمات و به تبع آن افزایش تقاضا می‌گردد. حلقه آموزش و فرهنگ سازی: این حلقه بیانگر تاثیر آموزش و فرهنگ سازی بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی‌است. بدین صورت که با افزایش تقاضای حمل و نقل عمومی‌ترافیک کمتر شده و کاهش سیاست‌گذاری 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 می‌گردد.



شکل۳. نمودار علی حلقوی–مدلسازی حلقه های موجود در سیستم های حمل و نقل عمومی

حلقه سیاست طرح ترافیک: حلقه بازخوری منفی: این حلقه بیانگر تاثیر طرح ترافیک بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی‌است. بدین صورت که با افزایش سفر با حمل و نقل عمومیو کاهش ترافیک، طرح ترافیک کمتر اجرایی شده و باعث افزایش تعداد وسایل نقلیه می‌شود که این خود باعث کاهش سفر با حمل و نقل عمومی‌می‌باشد. 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 می‌کند و در صورت افزایش (کاهش) هزینه سفر تقاضا کاهش (افزایش) می‌یابد.حلقه سیاست سرمایه گذاری در ساخت معابر: این حلقه بیانگر تاثیر سیاست سرمایه‌گذاری در ساخت معابر شهری بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی‌است. بدین صورت که افزایش تقاضای حمل و نقل عمومی‌کاهش ترافیک و کاهش سرمایه‌گذاری 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 عمومی‌می‌شود. حلقه جمعیت و پایبندی به قوانین راهنمایی و رانندگی: این حلقه بیانگر تاثیر جمعیت و پایبندی به قوانین راهنمایی و رانندگی بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی‌است. 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 می‌گذارد. حلقه مصرف سوخت: این حلقه بیانگر تاثیر مصرف سوخت بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی‌است. بدین صورت که با افزایش استفاده از حمل و نقل عمومیو 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 عمومی‌است. حلقه سلامت شهروندان: این حلقه بیانگر تاثیر سلامت شهروندان بر تقاضای سفر با حمل و نقل عمومی‌است. بدین صورت که افزایش سفر با حمل و نقل عمومیو کاهش ترافیک باعث کاهش انواع آلودگی‌ها اعم از آلودگی هوا، صوتی و ... می‌شود 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 عمومی‌استفاده می‌کنند.

٤-۱-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. مدل های انتخاب بوسیلهٔ 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 بریم 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 وسیلهٔ یک توزیع احتمالی بیان کنید. 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.

$$U_x = \sum_{i=1}^{n} a_i x_i \qquad (۱)$$

که در آن U_x تابع مطلوبیت سفر x، n تعداد مشخصه‌های مورد نظر و a_i ضریب مشخصه i، x_i ارزش مشخصه i می‌باشد. مشخصه هایی مانند زمان سفر، هزینهٔ سفر و غیره. 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 ٤ 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.

$$P(C) = \frac{e^{U_C}}{e^{U_C}+e^{U_B}+e^{U_M}+e^{U_T}} \qquad (۲)$$

$$P(B) = \frac{e^{U_B}}{e^{U_C}+e^{U_B}+e^{U_M}+e^{U_T}} \qquad (۳)$$

$$P(M) = \frac{e^{U_M}}{e^{U_C}+e^{U_B}+e^{U_M}+e^{U_T}} \qquad (٤)$$

$$P(T) = \frac{e^{U_T}}{e^{U_C}+e^{U_B}+e^{U_M}+e^{U_T}} \qquad (٥)$$

$$P(C) + P(B) + P(M) + P(T) = 1 \qquad (٦)$$

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 می توانیم 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 وسیله های مختلف را محاسبه کرد. در این روش اثر متقاطعی 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 اعتبارسنجی کرده است که در این تحقیق از همان توابع استفاده خواهد شد. با تغییر میزان بودجه مطلوبیت طرق مختلف سفر محاسبه می شود و با محاسبه مطلوبیت میزان تقاضای مدهای مختلف محاسبه می شود و در نهایت از این نتایج برای طراحی مدل چندگانه استفاده می شود. در مدل‌سازی

این پژوهش تقاضای سفر شهر مشهد برای بر اساس مدل های انتخاب وسیله 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، می توانیم به مطالعات جامع شهر مشهد اشاره کنیم که در این مطالعات برای تعیین وسلیه انتخاب سفر با اهداف سفر مختلف از این مدل‌ها استفاده شده است. رگرسیون چندگانه نوعا 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، گاها این مدل رگرسیونی، رگرسیون چندگانه چندمتغیره نامیده می شود. 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 می شود. گرین (۱۹۹۱) دو قاعده سرانگشتی برای حداقل حجم نمونه قابل‌پذیرش پیشنهاد کرده است. قاعده اول بر آزمون برازش کلی مدل رگرسیون شما

(۱۱)

که k تعداد متغیرهای مستقل است. بنابراین ازآنجائی که تعداد متغیرهای مستقل ٤ می‌باشد، حداقل حجم نمونه ۵۰+۳۲=۸۲ است.

اعتبارسنجی مدل

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

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 بودجه ای باید لحاظ شود نسبت‌ها و یا درصدهای مدهای مختلف را به عنوان متغیرهای وابسته و کرایه‌های حمل و نقل را متغیرهای مستقل در نظر می گیریم. در رگرسیون خطی چندگانه، پارامترهای یک مدل خطی به کمک یک تابع هدف و مقدارهای 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.

$$y_i = \beta_0 1 + \beta_1 x_{i1} + \cdots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i \;\; i = 1 \ldots n$$

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

$$\mathbf{y}_{i1} = \boldsymbol{\beta}_{01}\mathbf{1} + \boldsymbol{\beta}_{11}\mathbf{x}_{i1} + \cdots + \boldsymbol{\beta}_{p1}\mathbf{x}_{ip} + \boldsymbol{\varepsilon}_{i1}$$

$$\mathbf{y}_{i2} = \boldsymbol{\beta}_{02}\mathbf{1} + \boldsymbol{\beta}_{12}\mathbf{x}_{i1} + \cdots + \boldsymbol{\beta}_{p2}\mathbf{x}_{ip} + \boldsymbol{\varepsilon}_{i2}$$

$$\mathbf{y}_{im} = \boldsymbol{\beta}_{0m}\mathbf{1} + \boldsymbol{\beta}_{1m}\mathbf{x}_{i1} + \cdots + \boldsymbol{\beta}_{pm}\mathbf{x}_{ip} + \boldsymbol{\varepsilon}_{im}$$

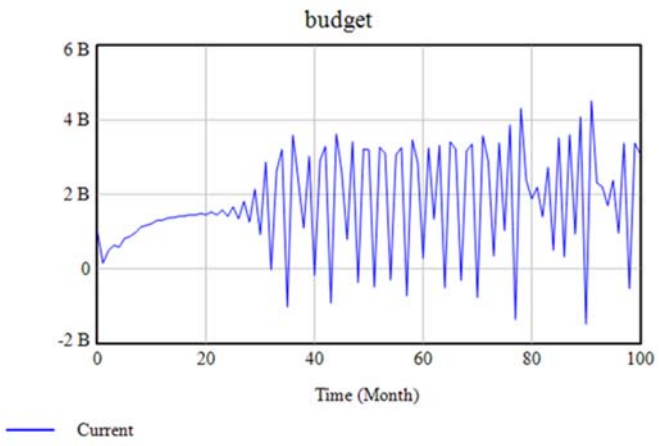
(یعنی آزمون R2) مبتنی است و قاعده دوم بر آزمون پیش‌بین‌های منفرد موجود در مدل (یعنی آزمون ضرایب رگرسیون b مدل) مبتنی است. گرین فرمول زیر را برای حجم نمونه در رگرسیون را پیشنهاد کرده است.

$$N \geq 8k + 50$$

ارزیابی ساختار مدل

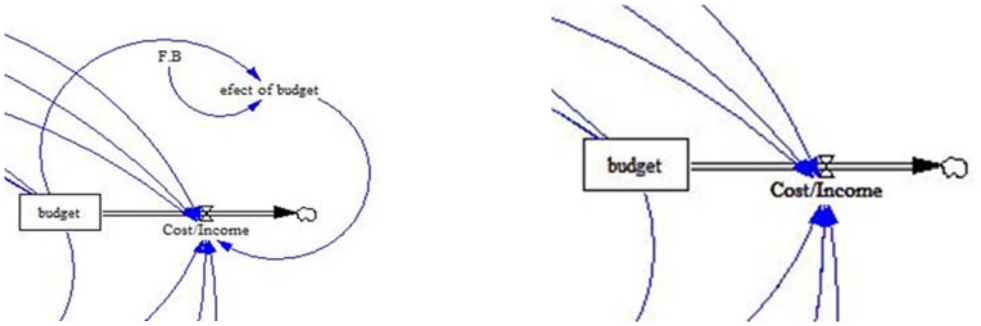
ارزیابی ساختار مدل آزمونی هست که برای بررسی درستی روابط بین متغیرهای مدل و کفایت آنها طراحی و پیاده سازی می‌شود. با بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی بر روی مدل اشکالات ساختاری ذیل مشاهده گردید.

-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.



شکل٤. تغییرات بودجه در طول شبیه سازی

در جهت رفع این مشکل می‌بایست یک حلقه بازخوردی منفی به مدل اضافه شود تا این ایراد مرتفع گردد شکل شماره ۵ نمایانگر تغییر صورت پذیرفته در مدل جهت رفع این اشکال می‌باشد.

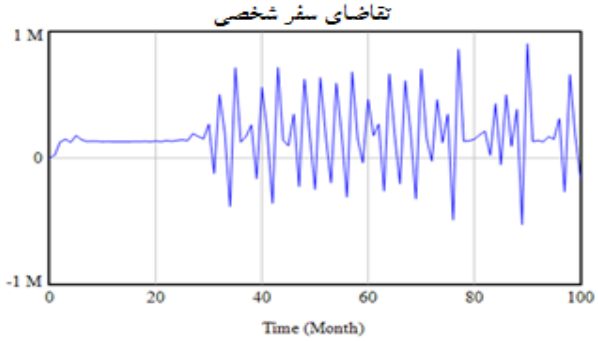


مدل اصلاح شده مدل اولیه

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

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.

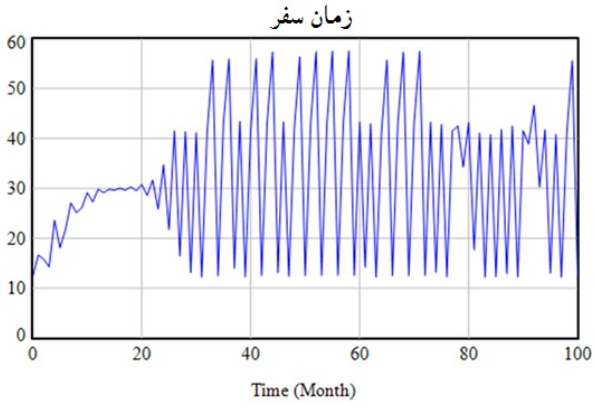
–متغیر سطح تقاضا برای سفر با وسیله شخصی (و بسیاری از متغیرها) در برخی از دوره‌ها مقدار منفی می‌گیرد.



شکل ٦. تغییرات تقاضای شخصی در طول شبیه سازی

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.

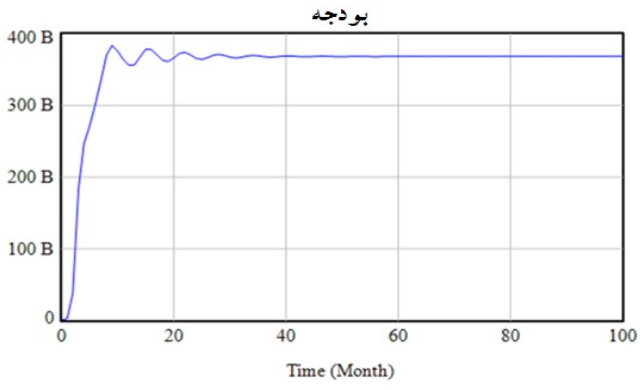
نوسان بیش از حد نرمال (با توجه به نمودارهای پایه) متغیرهای موجود در حلقه‌های بازخوردی اصلی.



شکل۷. تغییرات زمان سفر در طول شبیه سازی

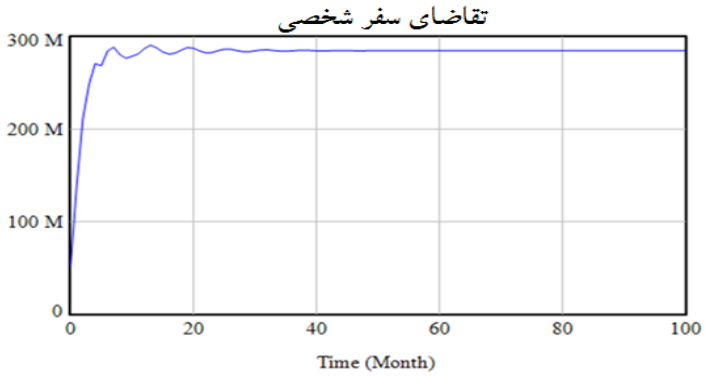
با بررسی‌های صورت پذیرفته بر روی نتایج حاصل از شبیه سازی مشخص گردید این اشکال ناشی از قالب شدن حلقه بازخوردی منفی همراه با تاخیر مربوط به ترافیک می‌باشد و با انجام برخی تغییرات در معادلات و مقدار اولیه پارامترها (مقدار اولیه پارامتر ظرفیت جاده‌ها مقدار اولیه تقاضای سفر با سیستم حمل و نقل عمومی و تقاضای سفر وسیله شخصی) که در مدل اولیه بصورت تعادلی پیش بینی نشده بود این اشکال نیز مرتفع شد و مجددا شبیه سازی صورت پذیرفت. نمودارهای نهایی متغیرهای ذکر شده بعد از اصلاحات (نمونه‌ای از متغیرها) صورت پذیرفته در ذیل آمده است.

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



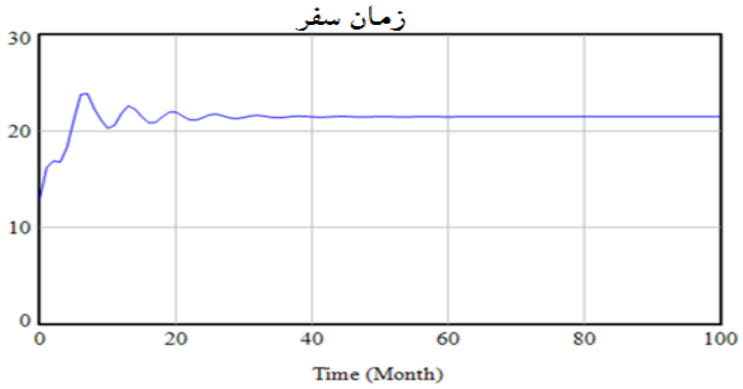
شکل۸. نمودار اصلاح شده مدل مربوط به متغیر سطح بودجه

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



شکل۹. نمودار اصلاح شده تغییرات تقاضای شخصی در طول شبیه‌سازی

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



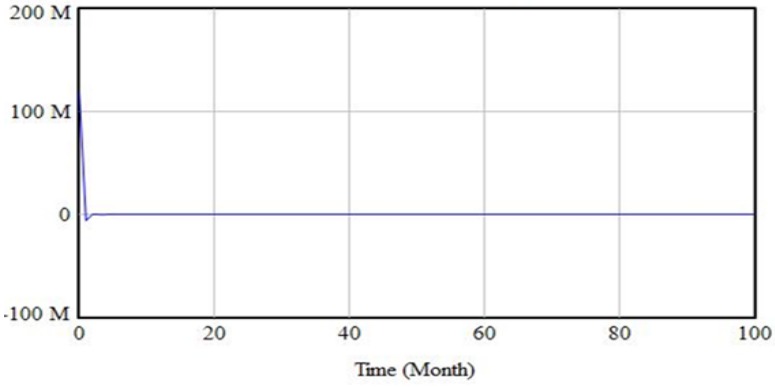
شکل۱۰. نمودار اصلاح شده زمان سفر در طول شبیه سازی

٤-۲-آزمون شرایط حدی

در این قسمت جهت درستی رابطه متغیرها به آزمون ۳ شرط و بررسی تحقق آن در مدل می‌پردازیم.

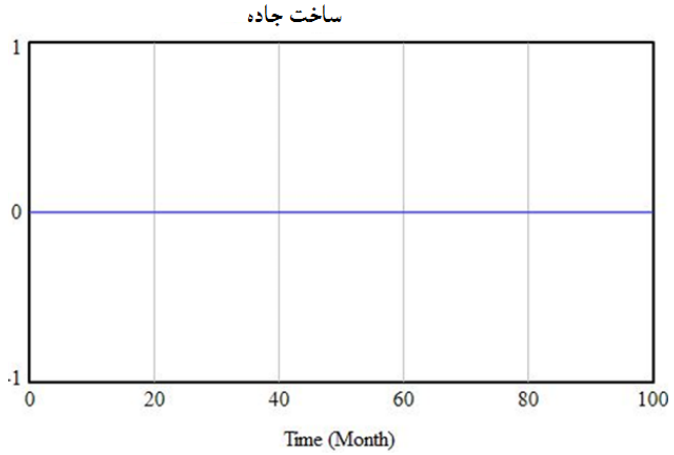
اگر جمعیت اولیه برابر صفر باشد تقاضا برای سفر نیز برابر صفر خواهد بود.

درستی عملکر سیستم در این آزمون در نمودار ذیل مشهود است.



شکل۱۱. تغییرات تقاضای سفر بر اساس تغییرات جمیعت

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



شکل۱۲. تغییرات ساخت جاده بر اساس صفر شدن بودجه

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

٤-۳-بررسی ابعادی واحدها

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

جدول۲. 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 نفرات 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)
سرانه تعداد تولد و مرگ (نفر در سال)	نرخ تولد / مرگ (نفر در سال)

همانطور که جدول ۲ نشـان می دهد برای متغیرهای نرخ مدل مقدار واحد اندازه گیری سمت چپ معادلات با سمت راست معادلات برابر هست و این یعنی اینکه مدل از نظر آزمون چک ابعادی پذیرفته می‌شود.

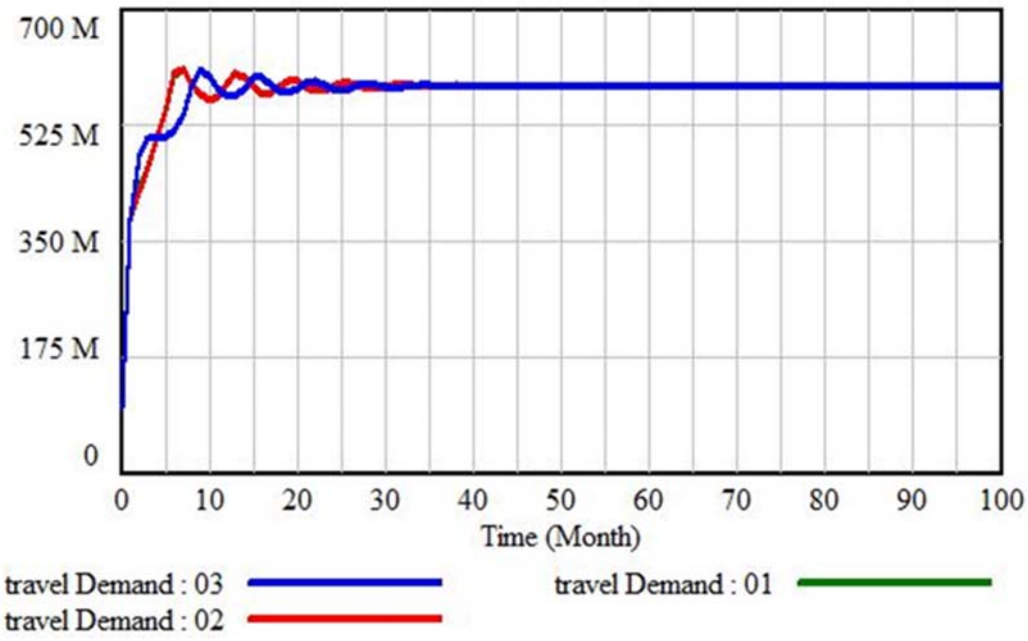
تحلیل حساسیت

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: ۱)۲ ۲)٤ ۳)۱-

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

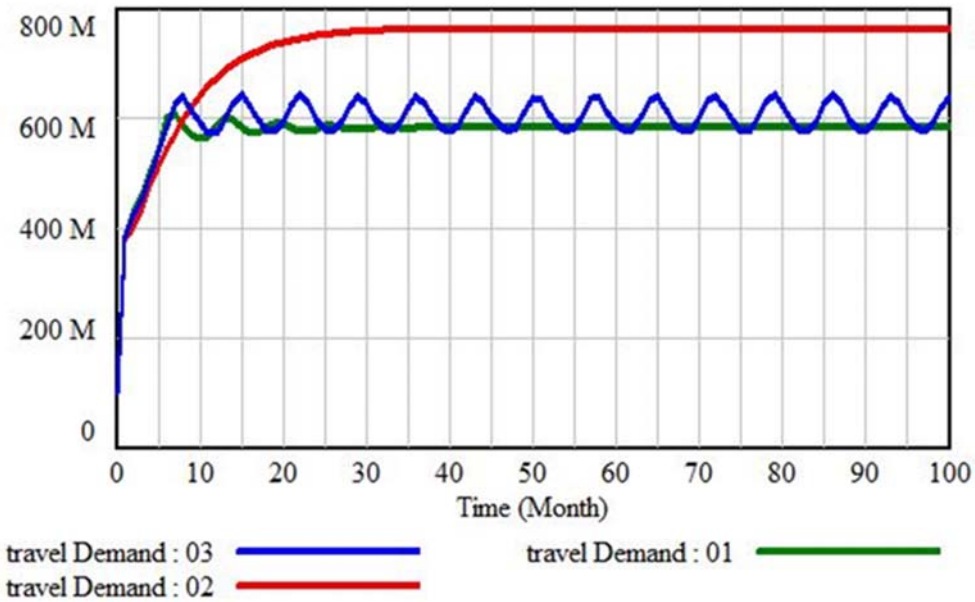
همانگونه که در نمودار فوق مشهود است دو حالت رشد اقتصادی برابر ۲ و رشد اقتصادی برابر ۱- کاملاً برهم منطبق شده‌اند و حالت رشد اقتصادی برابر ٤ در ابتدا با شیب بیشتری شروع به نوسان نمود و لیکن در نهایت از دوره ۲۰ به بعد با دو نمودار دیگر همگرا شد. این امر نشان می‌دهد اولاً سیستم چندان تحت تاثیر نوسانات رشد 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).

تحلیل حساسیت پارامتر ظرفیت بزرگراه‌ها

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.

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

نتایج حاصل بر روی متغیر اساسی افزایش و یا کاهش تقاضای سفر در قالب نمودار ۱٤ مشهود است.



شکل ١٤. تغییرات تقاضای سفر بر حسب تغییرات در پارامتر ظرفیت بزرگ راه‌ها

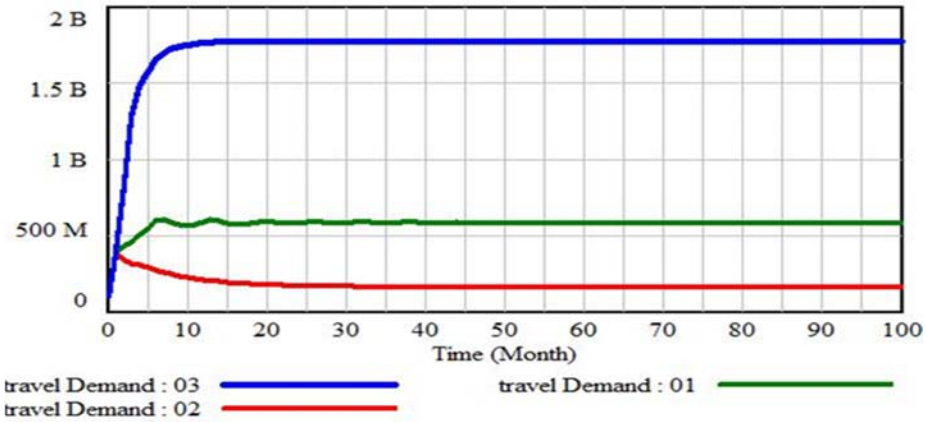
همانگونه که در نمودار فوق مشاهده می‌نماییم پارامتر ظرفیت اولیه جاده‌ها (افزایش ظرفیت در قالب حلقه‌های بازخوردی مدل شده است و به عنوان متغیر درون‌زا فرض شده است) اثر به سزایی بر روی متغییرهای مدل داشته است. با افزایش این متغییر نمودار سایر متغییرها تقریبا هدف جو می‌گردد و با کاهش مقدار ظرفیت جاده‌ها (پایین‌تر 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 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.



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

بـا توجـه بـه نمودار فوق می‌توان اینگونـه تحلیل نمود که افزایش و یا کاهش زائران اثر مسـتقیم بر سـایر متغیرها خواهد داشت به این معنی که با افزایش زائران تعداد سفرها نیز افزایش می‌یـابـد (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

سـناریو اول: افزایش میزان بودجه توسـعه خدمات حمل و نقل عمومی

با توجه به این که کیفیت خدمات و رضـایت مشـتریان از مهمترین عوامـل افزایش تعـداد مشـتریـان و موفقیت و بقای هرسـازمان می‌باشد. در این قسمت مشاهده می‌شود که افزایش بودجـه، افزایش سـرمـایـه‌گـذاری جهت بهبود در بخش‌های مختلف کیفیـت خـدمـات را منجر خواهد شـد، که در نتیجه رضایت مسافران و افزایش تقاضا را به دنبال خواهد داشت.

سناریو دوم: افزایش قیمت بلیط اتوبوس

افزایش قیمـت بلیط اتوبوس، در ابتـدا موجـب افزایش نارضـایتی خواهد شـد. 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 ابتـدا دوره افزایش نرخ بلیط، بهبودی درمیزان تقـاضـا 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 قیمـت خودرو و یـا نرخ بنزین نیز از میزان تعـداد خودروهای شخصی و همچنین جذابیت سفر با خودرو شخصی می‌کاهد که موجب افزایش میزان تقاضـا حمل و نقل عمومی خواهد شد.

سـناریو چهارم: افزایش میزان فرهنگ سـازی سفر با وسایل حمل و نقل عمومی

افزایش میزان فرهنگ سـازی سـفر با وسـایل حمل و نقل عمومی از طرق مختلف همچون برنامه‌های صدا وسیما می‌تواند موجب افزایش تقاضـای سـیستم حمل و نقل عمومی شود چرا که خیلی از افراد بر این باورند که فقط افرادی از این سـیسـتم استفاده می‌کند که توان خرید خودرو شخصی را ندارند.

به منظور تعیین بهینه کرایه حمل و نقل عمومی از خروجی شـبیه سـازی در نرم افزار VISUM که نتیجه طرح مطالعات جامع شـهر مشهد می‌باشد، استفاده شد. جدول (۳) نمونه ای از مشـاهدات را نشـان می‌دهد. ورودی وارد شـده به VISUM شـامل کرایه‌های مختلف مدهای حمل و نقل و خروجی شامل نسبت‌های استفاده از وسایل حمل و نقل می‌باشد.

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

ورودی مدل				خروجی مدل (نسبت استفاده از مدها)			
کرایه مترو	کرایه اتوبوس	هزینه پارک	کرایه تاکسی	درصد مترو	درصد اتوبوس	درصد تاکسی	درصد خودرو
۱۰۰۰	۹۵۰	۱۹۰۰	۸٤۰,۷٤۰ متر	۰/۰۲۸۲	۰/۱۵۹۰	۰/۱٦۹۵	۰/۳۹۷۳
۱۲۵۰	۱۲۰۰	۲۳۰۰	۱۱۰ ,۹٦۵ متر	۰/۰۲٦۸	۰/۱۵۵۱	۰/۱٦۱٤	۰/٤۰۳۸
۱۵۵۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۱٤۰۰,۱۲۵۰ متر	۰/۰۲۵۹	۰/۱۵۰۸	۰/۱۵۳۳	۰/٤۰۸۲
۲۰۰۰	۱۸۰۰	۳۷۰۰	۱۸۵۰,۱٦۳۰ متر	۰/۰۲٤٦	۰/۱٤۷٦	۰/۱٤۳۱	۰/٤۱۲٤
۲۵۰۰	۲۳۰۰	٤٦۰۰	۲٤۰۰,۲۱۰۰ متر	۰/۰۲۳۵	۰/۱٤۱۷	۰/۱۳۳٤	۰/٤۱۵۹
۳۲۰۰	۲۸۰۰	۵۸۰۰	۳۱۰۰,۲۷۵۰ متر	۰/۰۲۲٤	۰/۱۳۷٦	۰/۱۲۳٤	۰/٤۱۵٦
٤۰۰۰	۳٦۰۰	۷۲۰۰	٤۰۵۰,۳٦۰۰ متر	۰/۰۲۱٤	۰/۱۳۱۳	۰/۱۱۳۱	۰/٤۱۵۵
٤۰۰۰	۲۸۰۰	۷۲۰۰	٤۰۵۰,۳٦۰۰ متر	۰/۰۲۱۲	۰/۱٤۲۱	۰/۱۱۱۹	۰/٤۰۹٦
۳۲۰۰	۳٦۰۰	۷۲۰۰	٤۰۵۰,۳٦۰۰ متر	۰/۰۲۲۰	۰/۱۳۱۳	۰/۱۱۳۱	۰/٤۱۵۱
٤۰۰۰	۳٦۰۰	۷۲۰۰	٤۰۵۰,۳٦۰۰ متر	۰/۰۲۱۳	۰/۱۳۱۳	۰/۱۱۳۱	۰/٤۱۵٦

برای ساخت مدل از نتایج شبیه سازی توسط نرم افزار VISUM که نمونه‌ای از آن در جدول (۳) نشان داده شده است، استفاده می‌شود. از خروجی این نرم افزار به عنوان مشاهدات مدل رگرسیونی چند متغیره ساخته می‌شود 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 پاریکنگ 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 (٤) می‌باشد.

جدول ٤. مدل های رگرسیونی برآوردکننده سهم مدهای مختلف بر حسب کرایه

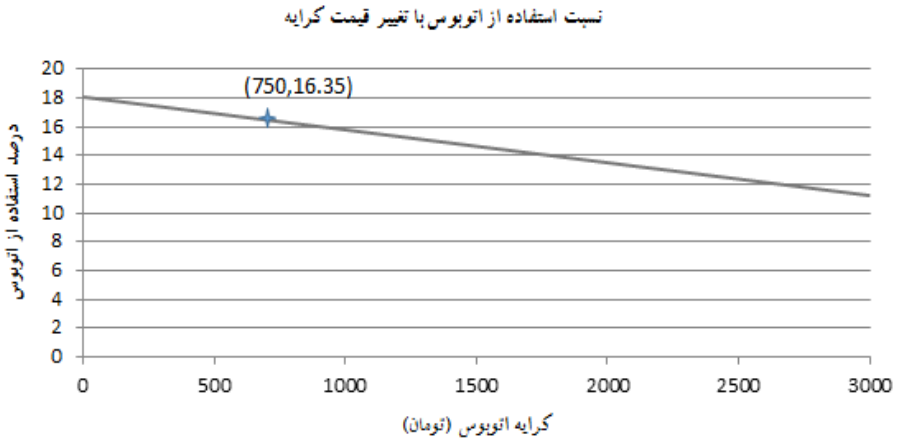
مد حمل و نقل	سهم مد بر حسب بهای خدمات					ضریب R^2
سهم خودروی شخصی	40.36889 +0.0012174×BTP-0.0012817×PC+0.0018057×TP					0.9402
تست t	284.59	12.75	-21.71	16.22		
سهم تاکسی	17.51628+0.0000696×MTP+0.0004136×BTP+0.0001675×PC-0.0026399×TP					0.9572
تست t	0.57	3.73	2.45	-20.45	106.49	
سهم اتوبوس	17.08911+0.0000667×MTP-0.0022851×BTP+0.0002637×PC+0.0005517×TP					0.9611
تست t	149.70	0.79	-29.73	5.55	6.16	
سهم مترو	2.889028-.0002121×MTP+0.0000139-06×BTP-0.0000097×PC-.0000093×TP					0.8623
تست t		100.39	-11.17	-0.38		

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

جدول ۵. نمونه‌ای از سهم‌ها و کرایه‌های هر یک از مدهای سفر

	کرایه‌های مد حمل و نقل	سهم‌های مد حمل و نقل
۱	مترو(۱۰۰۰)، اتوبوس(۸۵۰)، تاکسی(۷٤۰) و خودروی شخصی (۱۹۰۰)	مترو(۲/۵۸)، اتوبوس(۱٦/۱٤)، تاکسی(۱٦/۲۲) و خودروی شخصی (٤۰/۷۱)
۲	مترو(۱۲۵۰)، اتوبوس(۱۲۰۰)، تاکسی(۱۱۰۰) و خودروی شخصی (۲۳۰۰)	مترو(۲/٦٦)، اتوبوس(۱۵/٦٤)، تاکسی(۱۵/۵۸) و خودروی شخصی (٤۰/۸٤)
۳	مترو(۱۵۵۰)، اتوبوس(۱۵۰۰)، تاکسی(۱٤۰۰) و خودروی شخصی (۳۰۰۰)	مترو(۲/۵۹)، اتوبوس(۱۵/۳۲)، تاکسی(۱۵/۰۵) و خودروی شخصی (٤۰/۸٤)
٤	مترو(۲۰۰۰)، اتوبوس(۱۸۰۰)، تاکسی(۱۸۵۰) و خودروی شخصی (۳۷۰۰)	مترو(۲/٤۹)، اتوبوس(۱۵/۱۰)، تاکسی(۱٤/۱۳) و خودروی شخصی (٤۱/۱۲)
۵	مترو(۲۵۰۰)، اتوبوس(۲۳۰۰)، تاکسی(۲٤۰۰) و خودروی شخصی (٤٦۰۰)	مترو(۲/۳۸)، اتوبوس(۱۵/۵۳)، تاکسی(۱۳/۰۷) و خودروی شخصی (٤۱/۵٦)
٦	مترو(۳۲۰۰)، اتوبوس(۲۸۰۰)، تاکسی(۳۱۰۰) و خودروی شخصی (۵۸۰۰)	مترو(۲/۲۳)، اتوبوس(۱٤/۱٤)، تاکسی(۱۱/٦۸) و خودروی شخصی (٤۱/۸۸)

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 درصد 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 تقاضای اتوبوس بر اساس تغییرات کرایه آن و ثابت بودن کرایه بقیه مدها به صورت شکل (۲) می‌باشد. همانطور که نمودار نشان می دهد، اگر اتوبوس رایگان در نظر گرفته شود، اتوبوس حدود ۱۸/۰٦ درصد از سفرهای درون شهری را به خود تخصیص می‌دهد و اگر سه‌هزار 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.



شکل ۱٦. رابطه بین کرایه اتوبوس و درصد استفاده از آن

شکل (۱٦) 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 در صدی در کرایه آن تقاضای آن ۷/۷۷ درصد کاهش می یابد. در اتوبوس نیز با همین افزایش درصد کاهش تقاضا برابر ۱۰/٤۱ درصد خواهد بود. درصد تغییرات قیمتی بری دو مد خودرو و تاکسی از اتوبوس و مترو کمتر است.

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

۵-نتیجه‌گیری

در این مقـالـه با تمرکز بر میانگین تقاضـــای حمل و نقل، اثرات سـیاست‌های مختلف در قالب چهار سناریو مورد بررسی قرارگرفت. همچنین جهت ارزیابی ســیاســت‌های مختلف از نمودارهای تغییر تقاضــای سـفر در بازه زمانی تحقیق اسـتفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها بیانگر این مطلب است که سرمایه گذاری بر روی ساخت جاده‌ها (معابر شهری و همچنین معابر اختصاصی حمل و نقل عمومی) بیشترین تاثیر را بر روی ترافیک خواهد داشـت و ترافیک شـهری نیز عامل تعیین کننده بر تصـمیم مردم مبنی بر استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی می‌باشـد. از این رو سـیاسـت‌های ترکیبی دخیل در امر سرمایه گذاری بر سـاخت می‌تواند مدنظر قرار گیرد. همچنین سیاست مربوط به فرهنگ سـازی به عنوان یک سـیاسـت مسـتقل تاثیر چندانی بر تصـمیم‌گیری افراد ندارد و به عنوان سـیاست مکمل درکنار سـرمایه گذاری در سیستم حمل و نقل عمومی می‌تواند مدنظر باشـد. سـیاسـت افزایش بهای بلیط سیستم حمل و نقل عمومی با هدف افزایش درآمد با توجه به ریزش مســافران در کوتاه مدت منجر به شـکسـت خواهد شـد ولیکن ترکیب این سـیاسـت با سـیاسـت افزایش بهای سوخت در بازه زمانی بلند مدت متجر به افزایش بیش از ۱۰ درصـدی در مسافران سیستم حمل و نقل عمومی خواهد شد. در آخر خاطرنشان می‌نماید در این تحقیق صـرفا سیاست‌های مشهور در امر حمل و نقل مورد بررسـی قرار گرفته اسـت و در پژوهش‌های آتی می‌توان برخی ســیاســت‌های دیگر و همچنین تاثیرچندگانه ســیاســت‌ها بر یکدیگر رانیز مورد بررسی قرارداد.

٦-مراجع

-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*، شماره٥٤، 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، لیلا (۱۳۸۹). ارزیابی کیفیت سیستم اتوبوسرانی در شهر شیراز. *سازمان نظام مهندسی*. شماره ٦۲، ۱۰٤-۹٦.

-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 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 Sheikhahmadi, 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.

-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 adecade?. *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, Faculty of Management, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

Iraj Nouri, Associate Professor, Faculty of Management, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

Mohammad Sadegh Hori, Associate Professor, Faculty of Management, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

E-mail: i-nouri@iau-arak.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