مدل‌سازی پویای ترافیک کلانشهرها به منظور ارایه سیاست‌های بهبود حمل و نقل (نمونه موردی کلانشهر تهران)

حمیدرضا فرتوک‌زاده، دانشیار، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
میثم رجبی نهوجی*، پژوهشگر، دانشکده مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
E-mail: m_rajabih@yahoo.com
دریافت: ۱۳۹۰/۰۶/۰۳- پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۲۰

چکیده

روند رو به رشد شهر نشینی معضلات فراوانی را به همراه داشته که در بسیاری موارد بسیار پیچیده هستند. یکی از بزرگ‌ترین و اصلی‌ترین مشکلات شهرها، به‌ویژه شهرهای بزرگ، معضل ترافیک است. با توجه به آثار معضل ترافیک شهری بر ابعاد مختلف زندگی شهروندان و اهمیت حمل و نقل به عنوان نبض حیات شهرها، تعیین راهبرد و سیاست‌گزاری برای کنترل و کاهش ترافیک اهمیت فراوانی دارد. در این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی دینامیکی در قالب روش تحلیل پویایی‌های سیستم، مسئله ترافیک در ابعاد کلان و استراتژیک مدل شده و با استفاده از شبیه‌سازی رفتاری در محیط نرم‌افزار Vensim، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بنابراین، ما به مدلی دست یافتیم که پدیده حمل و نقل شهری را توصیف کرده و با استفاده از شبیه‌سازی، رفتار آن را در افق زمانی ۱۵ سال آینده پیش‌بینی می‌کند. در این مقاله از اطلاعات مربوط به شهر تهران به عنوان نمونه استفاده شده است. با آزمون راه‌کارهای مختلف در محیط شبیه‌سازی، سیاست‌ها و راه‌کارهایی برای کنترل و بهبود ترافیک کلانشهر تهران ارایه شده است که مهم‌ترین آنها عبارتند از: اصلاح معماری شهری، توسعه خدمات الکترونیک، افزایش قیمت پارکینگ حاشیه خیابان‌ها و توسعه مترو. همچنین نتایج شبیه‌سازی اثر راه‌کارهای مختلف بر اساس مدل در محیط نرم‌افزار Vensim نشان می‌دهد که رفتار اجتماعی شهروندان در حمل و نقل شهری اهمیت زیادی داشته و بدون مدیریت تقاضا مبتنی بر شناخت رفتاری شهروندان نمی‌توان نسبت به حل مسئله ترافیک امیدوار بود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پویایی‌های سیستم، حمل و نقل و ترافیک شهری، سیاست‌گزاری، مدل‌سازی، شبیه‌سازی رایانه‌ای

۱- مقدمه

اگرچه پیشرفت انسان در حوزه‌های مختلف زندگی، بسیاری از مشکلات را کاهش داده است، اما تقریباً به همان میزان، مسایل و مشکلات جدیدی نیز در پی داشته است. روند رو به رشد شهرنشینی، معضلات فراوانی را به همراه داشته که در بسیاری موارد بسیار پیچیده‌اند. در طول تاریخ، بهبود سیستم حمل و نقل همواره از عوامل مهم رفاه اجتماعی بوده است (Roumboutsos, 2008). اما متأسفانه حمل و نقل همراه با خطرات محیطی و تهدید سلامت انسان می‌باشد. یکی از بزرگ‌ترین و اصلی‌ترین مشکلات شهرها، به‌ویژه شهرهای بزرگ، معضل ترافیک است. بنابراین، معضل ترافیک شهری مسئله اجتماعی مهمی تلقی می‌شود. برای حل مسئله ترافیک، فعالیت‌های زیادی صورت گرفته که بخشی از آنها در قالب

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

تحقیقات علمی ارایه شده است. اما عمده این تحقیقات به علّت نگاه تک بعدی و غیر سیستمی به مسئله ترافیک نتوانسته‌اند به‌طور کامل و همه جانبه به آن بپردازد. سیستم حمل و نقل شهری، سیستمی پویا است که مؤلفه‌های زیادی در آن دخیل هستند (Jing, Zhentao, 2007). بسیاری از خبرگان معتقدند مسئله ترافیک، دارای ابعاد گوناگونی است و همچون کلاف‌های درهم تنیده، پیچیدگی‌های بسیاری دارد که تنها با نگاه و مدیریت یکپارچه می‌توان آن را مهار نمود و تحلیل موارد مرتبط با حوزه‌های اجتماعی به‌ویژه در حمل و نقل شهری بدون استفاده از پارامترها و تحقیقات کیفی امکان‌پذیر نمی‌باشد (محمودآبادی، علی احمدی، ۱۳۸۸).

۱-۱- بیان مسئله

طی سالیان گذشته سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌ای برای بهبود وضعیت ترافیک شهر تهران انجام شده است. علی‌رغم تلاش مسئولان، سرمایه‌گذاری‌ها و فعالیت‌های انجام شده، روز به روز وضعیت ترافیکی شهر تهران بدتر شده و میانگین سرعت عبور و مرور به‌ویژه در ساعات اوج ترافیک به شدت کاهش پیدا کرده است. به نظر می‌رسد مسئله ترافیک علاوه بر نمودهای آشکار مانند ظرفیت معابر که اکثر راه‌حل‌ها حول این نمودهای آشکار بوده و یا ساختارهای نهادی نیمه آشکارحاکم بر مسئله مانند قوانین و مقررات و محدودیت‌های ترافیکی، دارای یک لایه پنهان ناشی از انگاره‌ها و پیش‌فرض‌های ذهنی شهروندان، مدیران شهری و سایر بازیگران مؤثر در این مسئله می‌باشد و عدم شناخت و توجه به الگوهای توصیف کننده این انگاره‌ها، موجب هدر رفت منابع و توسعه بحران ناشی از ترافیک، علی‌رغم تلاش‌ها و هزینه‌های راهکارهای مبتنی بر شناخت لایه آشکار و نیمه آشکار شده است.

در این پژوهش سعی شده با شناخت لایه پنهانِ انگاره‌های مؤثر بر ترافیک، مدل سیستمی که توانایی توصیف یکپارچه سه لایه آشکار، نیمه آشکار و پنهان مسئله را داشته باشد مطرح و متغیرهای اصلی مبتنی بر مدل توصیف کننده شناسایی شود. سپس با استفاده از نرم‌افزار "ونسیم" محیط شبیه‌سازی برای پیش‌بینی رفتار سیستمی مسئله ترافیک تهران در افق زمانی ۱۹ ساله که معادل ۲۲۸ ماه است (در محاسبات یک ماه به عنوان واحد زمان انتخاب شده است) ایجاد شده تا بتوان راه‌کارهای پیشنهادی ناشی از شناخت سیستمی مبتنی بر مدل را در این آزمایشگاه بررسی کرده و در نهایت راه‌کارهای مناسبی برای بهبود مسئله ترافیک ارایه گردد. چهار سال اول افق زمانی گذشته نگر و بازسازی داده‌های تاریخی مسئله و مربوط به بخشی از فرایند صحت‌سنجی مدل بوده و پانزده سال دوم مربوط به پیش‌بینی مدل از آینده مسئله می‌باشد.

۱-۲- رفتار مرجع

مفهوم ترافیک تا حد زیادی قابل اندازه‌گیری نیست؛ مگر این‌که اثرات آن را اندازه‌گیری کنیم. مهم‌ترین متغیرها برای بیان مفهوم ترافیک به صورت کمّی، زمان سفر و میانگین سرعت خودرو است. افزایش ترافیک موجب افزایش زمان سفر و کاهش میانگین سرعت خودرو می‌شود. از آنجایی که زمان سفر تحت تأثیر مسافت سفر نیز هست، گزینه مناسبی برای اندازه‌گیری میزان ترافیک نمی‌باشد و به نظر می‌رسد، متغیر "میانگین سرعت خودرو" گزینه مناسبی برای کمّی‌سازی مفهوم ترافیک است (Pfaffenbichler, 2002). در این تحقیق متوسط سرعت خودرو در ساعات اوج ترافیک به عنوان متغیر اصلی بیانگر مسئله یا وضعیت سیستم انتخاب شده است.

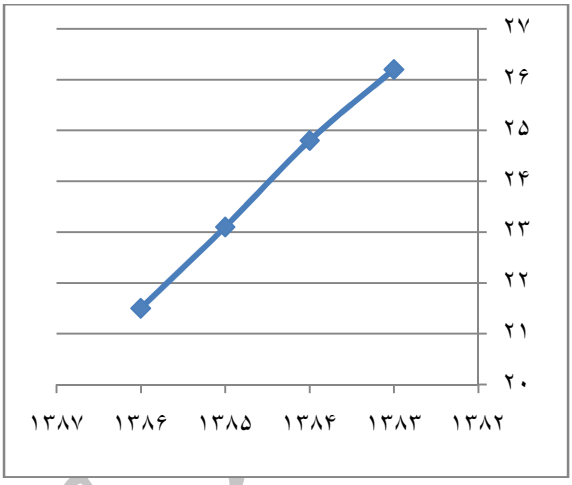
متوسط سرعت خودرو در ساعات اوج ترافیک در شهر تهران روند کاهشی داشته است، اما متاسفانه آمار دقیق و رسمی آن بسیار ناقص است. آمار مربوط به شرکت مطالعات ترافیک تهران[1] از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸٦ موجود می‌باشد که نمودار آن به‌صورت زیر است (شکل۱) (شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، ۱۳۸۵). البته به منظور استفاده از مدل، می‌توان برای متوسط سرعت رفتاری تخمینی در نظر گرفت که در زیر مشخص شده است (شکل۲) (امیرخلیلی، ۱۳۸۵).

۲- ادبیات موضوع

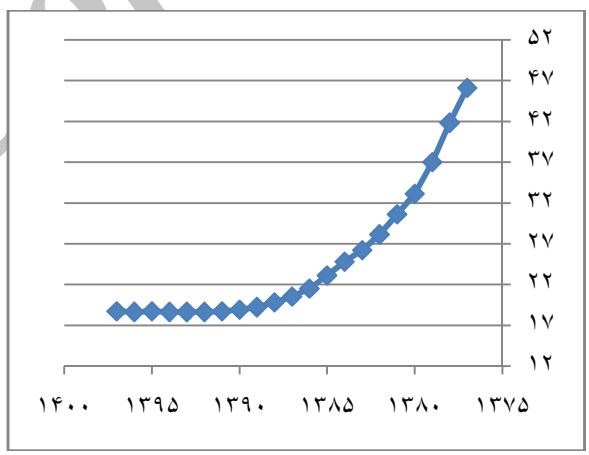
لازمه شناخت سیستم و اکتشاف مدل توصیف‌کننده ترافیک، مطالعات افقی از تمامی اجزای سیستمی موضوع می‌باشد. از این‌رو در بخش ادبیات موضوع سعی شده با مطالعه آثار حمل و نقل بر زندگی شهروندان، روش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گزاری حمل و نقل که بیانگر الگوهای تصمیم‌گیری مدیران و معرف برخی عوامل اثرگذار هستند، سیستم‌های حمل و نقل که

Archive of SID
www.SID.ir

برآورده کننده تقاضای حمل نقل می‌باشند، منشأ و اهداف تقاضای سفر درون شهری و نحوه مدیریت تقاضا، شناخت بهتری از ابعاد شناسایی شده پدیده ترافیک شهری توسط گروه صاحب‌نظران مورد استفاده در این پژوهش ایجاد گردد.



شکل ۱. نمودار متوسط سرعت خودرو در ساعات اوج ترافیک برحسب کیلومتر بر ساعت



شکل ۲. نمودار تخمینی متوسط سرعت خودرو در ساعات اوج ترافیک بر حسب کیلومتر بر ساعت

۲-۱- آثار حمل و نقل بر زندگی شهروندان

بر اساس پژوهش انجام شده در سال ۱۹۹۰، هر شهروند بانکوکی به‌طور متوسط ٤٤ روز در سال را در ترافیک به سر می‌برد که از نظر ارزش اقتصادی معادل حدود ۱۰ درصد تولید ناخالص داخلی شهر بانکوک است. به علاوه ارزش سوخت مصرف شده معادل ۱/٤ میلیون دلار در روز می‌باشد. همچنین در سال ۱۹۹۰ بیش از ۱ میلیون شهروند در بانکوک دچار تهدیدات تنفسی ناشی از آلودگی هوا قرار گرفته‌اند (Nguyen, 1999). بر اساس تحقیقات متعدد، آنچه مسلم است، حمل و نقل شهری بر ابعاد مختلف زندگی شهروندان اثرگذار است. بنابراین، حمل و نقل شهری بر طیف گسترده‌ای از معیارهای کیفیت زندگی شهری اثرگذار است. تکامل زیرساخت‌های حمل و نقل در مناطق شهری نیز به افزایش کارایی و بازدهی نیروی کار، کاهش هزینه‌های حمل و نقل و بالاخره به کم شدن تراکم منجر می‌شود. از این لحاظ اغراق آمیز نیست اگر گفته شود؛ حمل و نقل یکی از عمده ابزارهای اصلی توسعه است (قاسمی، ۱۳۸۸). همچنین به‌عنوان مثال می‌توان از آثار حمل و نقل بر سلامت و اقتصاد، مهم‌ترین معیارهای کیفیت زندگی تحت تأثیر حمل و نقل شهری عبارتند از (Bert, 2007): سلامت، خانواده، قضاوت اجتماعی، آزادی، ایمنی، آموزش، هویت فردی، حفظ حریم خصوصی، کیفیت محیط زیست، روابط اجتماعی، کار، امنیت، مناظر طبیعی، اوقات فراغت، درآمد و راحتی. البته دسته‌بندی‌های مختلفی از عوامل کیفیت زندگی شهری ارایه شده است. اما بسیاری از تقسیم‌بندی‌ها ۳ حوزه کلیدی اثرگذاری حمل و نقل شهری بر زندگی شهروندان را مطرح می‌کنند: اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی. امروزه توسعه پایدار اقتصادی با توجه به محیط زیست مبنای سیاست‌گزاری‌های حمل و نقل می‌باشد (Creutzig, 2009).

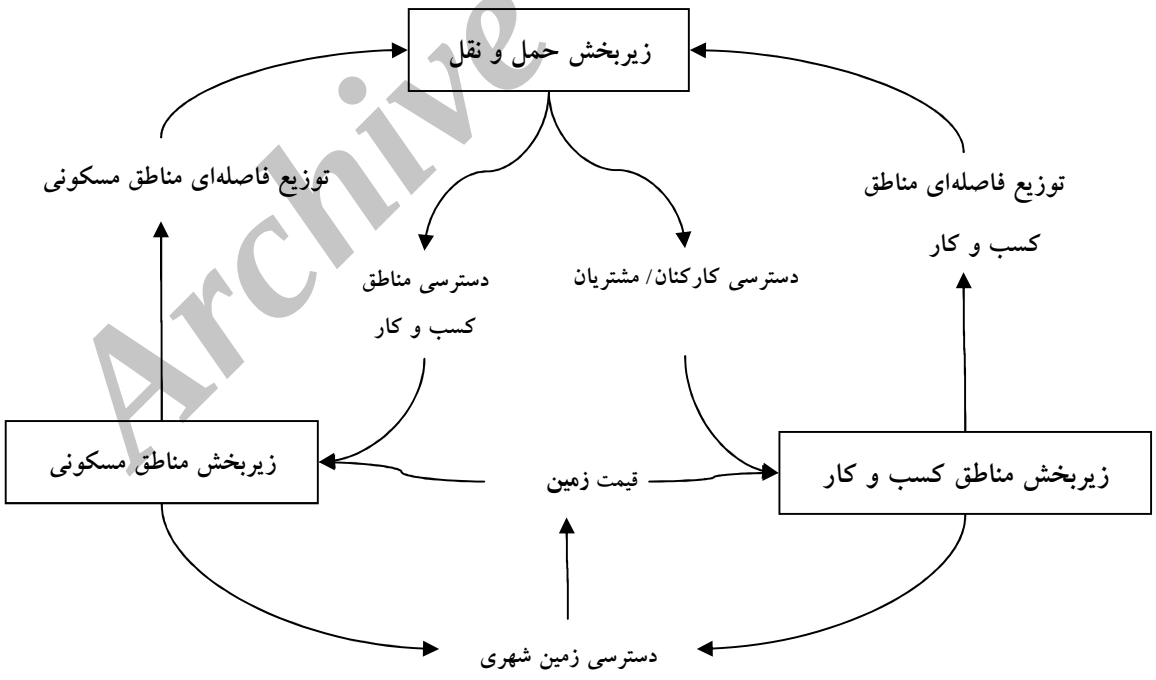
۲-۲- مرور روش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گزاری حمل و نقل

روش‌های مختلفی برای سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی حمل و نقل وجود دارد ولی به‌طور عمده این روش‌ها و مدل‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گزاری حمل و نقل بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و تفاوت‌های آنها بیشتر در نوع نگاه به اثرات حمل و نقل و روش ارزیابی نتایج تصمیمات ناشی از این روش‌ها می‌باشد. بر همین اساس می‌توان این روش‌ها را به دو دسته غیردینامیکی و دینامیکی تقسیم‌بندی کرد. در مدل‌های غیردینامیکی تصمیمات ممکن است سیستمی یا غیرسیستمی باشند ولی ابتدا تصمیم اجرا شده و سپس نتایج ارزیابی می‌شوند ولی در روش‌های دینامیکی، نحوه تصمیم سیستمی بوده و آثار تصمیمات با استفاده از روش‌های پیش‌بینی ریاضی قبل از اجرا تخمین زده می‌شوند.

Archive of SID
www.SID.ir

مهم‌ترین روش‌ها و مدل‌های سیاست‌گزاری غیرپویایی که مورد بررسی قرار گرفتند، عبارتند از مدل سیاست‌گزاری فرایندی تطبیقی، مدل سیاست‌گزاری منطقی (Kelly, 2008) و مدل راهبردهای حمل و نقل ملی[۲] (قاسمی، ۱۳۸۸).

برای حل مسئله ترافیک، فعالیت‌های زیادی صورت گرفته که بخشی از آنها در قالب تحقیقات علمی ارایه شده است. اما عمده این تحقیقات به علت نگاه تک بعدی و غیرسیستمی به مسئله ترافیک نتوانسته‌اند به‌طور کامل و همه جانبه به آن بپردازد. سیستم حمل و نقل شهری، سیستمی پویا است که مؤلفه‌های زیادی در آن دخیل هستند (Jing, Zhentao, 2007). بسیاری از خبرگان معتقدند مسئله ترافیک، دارای ابعاد گوناگونی است و همچون کلاف‌های در هم تنیده، پیچیدگی‌های بسیاری دارد که تنها با نگاه و مدیریت یکپارچه می‌توان آن را مهار کرد. مدل‌سازی‌های مربوط به مسایل مدیریت شهری که بیشتر ایستا بوده و زمان در آنها در نظر گرفته نمی‌شود. درحالی‌که شهرها در هر لحظه از زمان تغییر می‌کنند. این مسئله یکی از ضعف‌های این مدل‌ها می‌باشد (Horridge, 1994). با استفاده از روش پویایی‌های سیستم نه تنها تأثیر مستقیم بلکه اثرات غیرمستقیم ناشی از متغیرهای مختلف چه متغیرهای درونزای مدل و چه متغیرهای برونزا را شبیه‌سازی کرد. همچنین با توجه به استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در مدل‌سازی دینامیکی، می‌توان تأثیر سیاست‌ها را در یک بازه بزرگ مشاهده کرد (Horridge, 1994). مهم‌ترین روش‌ها و مدل‌های سیاست‌گزاری پویایی که مورد بررسی قرار گرفتند، عبارتند از مدل مارس (شکل ۳) (Pfaffenbichler, 2002). مدل استرا (Fiorello, 2002) و مدل اسکات (Schade, 2004). همه مدل‌های مورد بررسی، مدل‌های سیاست‌گزاری کلی در حوزه حمل و نقل بوده و تنها مدل "مارس" به طور خاص به حمل و نقل شهری پرداخته است که البته به عنوان مدل سیاست‌گزاری حمل و نقل شهری استفاده نشده و به منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، برای ارایه یک مدل پویای سیستمی برای سیاست‌گزاری حمل و نقل شهری، لازم است ابعاد مختلف حمل و نقل شهری مورد بررسی قرار گیرد که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.



شکل ۳. حلقه بسته مدل مارس

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۳- سیستم‌های حمل و نقل شهری

سیستم‌های مختلف حمل و نقل شهری در واقع روش‌های جایگزین برای عرضه ترافیک محسوب می‌شوند. دسته‌بندی‌های مختلفی از سیستم‌های حمل و نقل درون شهری ارایه شده است. می‌توان از نظر اشتراک کاربری، سیستم‌های حمل و نقل شهری را به سه دسته تقسیم کرد (O'Flaherty, 1996) عمومی: شامل اتوبوس، حمل و نقل ریلی سنگین شهری، حمل و نقل ریلی سبک شهری و مینی‌بوس؛ نیمه عمومی: شامل ون، سرویس‌های اختصاصی، تاکسی؛ خصوصی: وسایل نقلیه شخصی. هرچند حمل و نقل ریلی به‌ویژه مترو به عنوان تکنولوژی برتر در حمل و نقل درون شهری مطرح شده است، اما به علت هزینه و مقرون به صرفه نبودن، در مناطق مختلف می‌بایست شبکه‌ای مرکب از سیستم‌های مختلف در حمل و نقل عمومی ایجاد کرد (احمدی فینی، حبیبیان، ۱۳۸۸).

۲-٤- اهداف سفر درون شهری

به طور کلی سفرهای درون شهری دارای ۳ هدف عمده هستند: سفرهای کاری، سفرهای آموزشی و سایر اهداف. در این میان اوج ترافیک ناشی از سفرهای به‌منظور کار و آموزش است (O'Flaherty, 1996). تقاضای ترافیک، ناشی از نیازهای شهروندان است. بنابراین، برای شناسایی ریشه تقاضای ترافیک باید به منشأ آن در خانوارهای شهری پرداخت. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان سفرهای تولیدی یک خانواده عبارتند از (عربانی، ۱۳۸۵): تعداد افراد خانواده، فاصله تا مراکز خرید شهر، نحوه دسترسی و هزینه فعالیت‌ها، شخصیت افراد و شیوه زندگی آنها، تکنولوژی موجود و در دسترس همگان، درآمد خانواده، ارزش‌های جامعه، سیاست‌های موجود در سیستم‌های حمل و نقلی، مالکیت وسیله نقلیه، شبکه راه‌های ارتباطی، سطح افراد خانواده، امکان کاربرد و استفاده سامانه‌های مختلف حمل و نقل شهری، ساختار سنی، تراکم منطقه مسکونی و ارزش منطقه محل سکونت.

۲-۵- مدیریت تقاضا

مدیریت تقاضا در شهر تهران از طریق سه روش "کاهش تقاضا" و "مدیریت انتخاب مد حمل و نقل" یا همان سیاست‌گزاری برای تغییر علاقه در انتخاب سیستم حمل و نقل و"توزیع زمان سفر" صورت می‌گیرد (شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، ۱۳۸۵).

۲-۵-۱- مهم‌ترین روش‌های کاهش تقاضا

۲-۵-۱-۱- کنترل جمعیت

تقاضای سفر تابعی از جمعیت یک شهر است. البته رابطه رشد جمعیت و افزایش تقاضای سفر رابطه‌ای یکنواخت نبوده و تحت تأثیر عواملی قرار دارد (Horridge, 1994). بنابراین، کاهش جمعیت در یک شهر می‌تواند منجر به کاهش تقاضای سفر شود.

۲-۵-۱-۲- اصلاح معماری شهری (کاربری زمین)

طراحان مناطق شهری دریافتند پیوستگی و رابطه معناداری میان توسعه معماری شهری و اهداف حمل و نقل وجود دارد (FitzRoy, 1998). تراکم شهری یکی از مهم‌ترین عواملی است که تقاضای سفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تراکم، به دو دسته یکنواخت و مرکب تقسیم می‌شود. تراکم شهری مرکب که شامل مناطق در بر دارنده مراکز جمعیتی، تجاری، اداری، آموزشی، درمانی و ... است، رابطه نزدیکی با رفتار روزانه مردم دارد. تقاضای سفر در این مناطق یکنواخت نیست و براساس تغییر تراکم، تغییر می‌کند. با طراحی مناسب مناطق بر اساس نیازهای مختلف روزانه، می‌توان ترافیک را توزیع کرد و آن را کاهش داد (Peng, Lu, 2007). توزیع متمرکز مناطق کسب و کار در شهر باعث تمرکز منطقه‌ای ترافیک می‌شود (Intikhab, Lu, 2007).

۲-۵-۱-۳- فناوری اطلاعات

محیط مجازی ایجاد شده ناشی از توسعه فناوری اطلاعات زمینه برطرف‌سازی نیاز حمل و نقل به‌صورت مجازی را فراهم می‌کند.

۲-۵-۱-٤- تغییرات فرهنگی

بخشی از تقاضای سفر علت فرهنگی داشته و تحت تأثیر رفتارهای خانوادگی و اجتماعی قرار دارد. تغییرات فرهنگی تأثیر فراوانی روی تقاضای سفر به‌ویژه سفرهای کمتر ضروری دارد. البته ایجاد تغییرات امری دشوار بوده و تحت تأثیر پارامترهای مختلفی قرار دارد.

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۵-۲- توزیع زمانی تقاضا

یکی از سیاست‌های مورد استفاده در مدیریت تقاضا، توزیع زمان سفر شهروندان در بازه‌های زمانی متفاوت است. در برخی از شهرها سیستم حمل و نقل کشش ساعات اوج را ندارد و از این سیاست بیشتر در جهت تعدیل تقاضای سفر در ساعت اوج ترافیک صبح و عصر استفاده می‌شود. البته این سیاست در شهرهایی که دارای انعطاف‌پذیری قانونی پایینی هستند، در عمل قابل اجرا نیست.

۲-۵-۳- تغییر سیستم ترافیک

اصلی‌ترین هدف در مدیریت انتخاب سیستم حمل و نقل، کنترل تراکم استفاده از خودروی شخصی در مناطق مختلف است. برخی دسته‌بندی‌ها ۳ معیار زمان سفر، هزینه سفر و کیفیت را به عنوان معیارهای مقایسه و انتخاب سیستم‌های حمل و نقل درون شهری مطرح کرده‌اند. بر همین اساس روش‌های مختلفی برای تغییر سهم سیستم‌های حمل و نقل درون شهری وجود دارند که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

۲-۵-۳-۱- یارانه حمل و نقل عمومی

افزایش کرایه هر مد حمل و نقل باعث کاهش علاقه به استفاده از آن مد می‌شود. بلیط ارزان در اندازه بهبود شبکه حمل و نقل در بسته سیاستی برای افزایش تقاضای حمل و نقل عمومی نقش دارد (FitzRoy, 1998). البته کشش قیمت تابع عوامل مختلفی مانند بافت شهری منطقه مورد نظر، نوع سیستم حمل و نقل، نوع هدف سفر، ساعات مختلف سفر، مسافت سفر و غیره است (Pauleey et al., 2006). با حمایت مالی به‌صورت یارانه‌های پرداختی و تسهیلات برای سیستم حمل و نقل عمومی، می‌توان جذابیت این سیستم‌ها را در مقابل خودروی شخصی افزایش داد.

۲-۵-۳-۲- افزایش قیمت سوخت

با توجه به تأثیر قیمت سوخت در هزینه حمل و نقل، این نرخ می‌تواند به عنوان اهرم اقتصادی استفاده شود. البته نکته مهم در کشش قیمتی نرخ کرایه‌ها است که تحت تأثیر قیمت سوخت قرار دارد (Bresson, 2004). بنابراین، هنگام پایین بودن نرخ سوخت، اثر کاهش قیمت کرایه حمل و نقل عمومی نمی‌تواند افزایش چشمگیری در تقاضای استفاده از حمل و نقل عمومی ایجاد کند.

۲-۵-۳-۳- افزایش قیمت پارکینگ

در بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا، زمان جستجو برای پارکینگ و همچنین هزینه پارکینگ، به‌ویژه پارکینگ حاشیه خیابان‌ها از عوامل اصلی کنترل استفاده از خودروی شخصی هستند. تجربیات مختلفی در این زمینه موجود است، برای مثال هزینه پارکینگ بالا در مراکز شهر فرایبورگ و محدود کردن فضای پارکینگ، منجر به دلسردی نسبت به استفاده از خودروی شخصی و کاهش استفاده از خودروی شخصی شد (FitzRoy, 1998).

۲-۵-۳-٤- اخذ مالیات‌های مالکیت خودرو

این راه‌کار ابتدا روی تقاضای مالکیت خودرو اثر می‌گذارد. مالکیت خودرو نیز اثر منفی در استفاده از حمل و نقل عمومی دارد (Pauleey et al., 2006). البته اثر مالکیت خودرو با در نظر گرفتن متغیرهای ساختاری مرتبط با گستردگی شهر و سایر سیستم‌های حمل و نقل موتوری متفاوت خواهد بود (Bresson, 2004).

۲-۵-۳-۵- افزایش کیفیت خدمات در حمل و نقل عمومی

تعاریف مختلفی از کیفیت خدمات ارایه شده که شامل فاکتورهای متعددی هستند. اما معیارهایی مانند زمان دسترسی به ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی، بازه‌های ارایه خدمات یا همان زمان توقف در ایستگاه، محیط ایستگاه، کیفیت ناوگان حمل و نقل، قابلیت تغییر سیستم از مبدأ تا مقصد (شبکه حمل و نقل)، قابلیت اطمینان، ایمنی، ارایه اطلاعات از مهم‌ترین معیارهای کیفیت سیستم حمل و نقل عمومی هستند (Pauleey et al., 2006). افزایش کیفیت حمل و نقل عمومی نقش زیادی در افزایش تقاضای آن دارد. سرعت، آسایش و هزینه کم، از عوامل اصلی هستند که موجب انتخاب خودروی شخصی از بین سایر روش‌های حمل و نقل در محیط شهری می‌باشند (Bert, 2007).

۲-۵-۳-٦- طرح ترافیک

طرح ترافیک به عنوان یک سیاست بهینه برای کاهش ترافیک سنگین صبحگاهی و عصرگاهی در نظر گرفته شده است

Archive of SID
www.SID.ir

(Nguyen, 1999). همچنینی اعمال محدودیت سرعت برای خودروهای شخصی در برخی معابر، از ابزارهای قانونی کاهش جذابیت خودروی شخصی است.

۲-۵-۳-۷- ترویج استفاده از وسایل نقلیه غیر موتوری

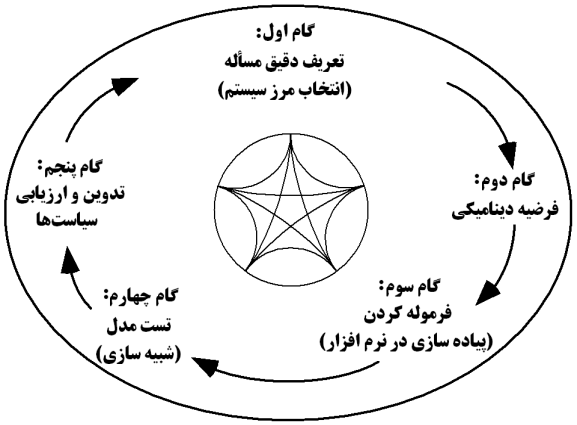
استفاده از وسایل غیر موتوری مانند دوچرخه در مسافت‌های کوتاه‌تر علاوه بر کاهش ترافیک و نداشتن آلودگی زیست محیطی، به عنوان یک فعالیت جسمی موجب نشاط و سلامتی شهروندان نیز می‌شود. برای مثال پیاده‌رو سازی مناطق مرکزی شهر و ممانعت از تردد خودرو شخصی در این مناطق اثرات مثبتی بر مدیریت تقاضا در شهر فرایبورگ داشته است (FitzRoy, 1998). علاوه بر مزایای یاد شده، وسایلی مانند دوچرخه، وسیله‌ای ایمن و ارزان و پر سرعت در مسیرهای کوتاه محسوب می‌شود (خادم‌الحسینی، رحمتی و قشقایی‌نژاد، ۱۳۸۹).

۳- اهداف تحقیق

- بررسی و شناسایی عوامل اصلی مؤثر بر ترافیک در کلانشهر تهران؛
- ارایه مدل پویای عوامل مؤثر بر ترافیک در کلانشهر تهران؛
- ارایه راه‌کار و راهبردهایی برای کنترل و کاهش ترافیک تهران و پیش‌بینی اثر آنها بر ترافیک تهران.

٤- روش تحقیق

روش تحقیق، روش تلفیقی است که شامل دو بخش کیفی و کمّی می‌شود. این روش که متدولوژی "پویایی‌های سیستم[۳]" نام دارد، در اواخر دهه ۱۹۵۰، در نتیجه تلاش‌هایی در جهت بررسی و رفع مسایل پویا و مرتبط با سیاست‌های صنعتی شکل گرفت. از روش تحقیق پویایی‌های سیستم به منظور بررسی و مطالعه انواع سیستم‌های بازخوردی، همانند سیستم‌های موجود در حوزه کسب و کار و سایر سیستم‌های اجتماعی، استفاده می‌شود. در این روش تحقیق از مدل‌سازی به عنوان یکی از ابزارهای علمی و رایج برای بررسی و حل مسایل استفاده می‌شود. مدل‌های پویایی سیستم در کلاس مدل‌های علّی ریاضی قرار می‌گیرند (تیموری، ۱۳۸۷). مدلی که بر اساس فرضیات دینامیکی که از طریق مصاحبه با خبرگان و مطالعه آمار و مرور ادبیات به‌دست می‌آید، بخش کیفی روش تحقیق و توسعه مدل در نرم‌افزار Vensim و فرموله کردن مدل، بخش کمّی روش تحقیق است. این روش یک فرآیند ۵ مرحله‌ای را برای مدل‌سازی پیشنهاد می‌کند. مدل ارایه شده در این مقاله طی فرایند ذکر شده ایجاد شده است مراحل این فرآیند در شکل ٤ نشان داده شده است (Sterman, 2000).



شکل ٤. پنج گام مدل‌سازی استرمن

مبتنی بر الگوی ارایه شده، ابتدا مسئله مد نظر به‌صورت دقیق مشخص شده، متغیری به‌عنوان متغیر بیانگر مسئله انتخاب شده و رفتار تاریخی و یا پیش‌بینی آینده متغیر به‌عنوان رفتار مرجع مسئله مدّ نظر قرار می‌گیرد. در روش پویایی‌های سیستم، فرضیاتی در قالب فرضیات پویا مطرح می‌شوند. منشأ این فرضیات، شناختی و تحت تأثیر الگوهای تکرارپذیری است که به‌واسطه این الگوها حدس‌های عالمانه‌ای به‌منظور توصیف علّت شکل‌گیری نمودار رفتار مرجع یا همان مسئله غامض ارایه می‌شوند. این فرضیات طی فرایند سنتز داده‌های آماری، مشاهدات میدانی، مباحثات میان کارشناسان و افراد مبتلا به مسئله و تحقیقات مرتبط از جانب محققان ارایه می‌شوند. هریک از فرضیات مطرح شده در معرض نقد و بررسی در گروه‌های کانونی- که ترکیبی افقی- عمودی است از خبرگان مسئله در ابعاد مدّ نظر- قرار گرفته و فرضیاتی که با اجماع خبرگان مورد پذیرش واقع شوند به‌عنوان "چرخه‌های علّی" یا فرضیات تأیید شده مطرح و به‌صورت نمودار علّت - معلولی نشان داده می‌شوند. از این‌رو اعتبار چرخه‌های علّی مرتبط با اعتبار گروه‌های کانونی صحّه‌گذار می‌باشد. مدل ایجاد شده توسط این متدولوژی در این مرحله اجزایی دارند که مهم‌ترین آنها عبارتنداز:

Archive of SID
www.SID.ir

۱. نمودارهای علت – معلولی: این نمودارها، ابزاری برای ترسیم ارتباطات علّی بین مجموعه‌ای از متغیرها (یا عوامل) درگیر در داخل یک سیستم هستند.

روابط بین متغیرها، هم‌بستگی علی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. این رابطه، می‌تواند مثبت و یا منفی باشد. مثبت، برای حالتی است که تغییرات معلول، هم‌راستای علت باشد؛ یعنی افزایش (کاهش) یکی، باعث افزایش (کاهش) دیگری شود. منفی نیز حالتی را نشان می‌دهد که این رابطه، معکوس باشد.

۲. حلقه‌های علّی (CLD): وجود بازخور در روابط علت و معلولی، موجب ایجاد حلقه‌های علّی می‌شود. حلقه‌های علّی، الگوهای رفتاری متفاوتی دارند که در یک تقسیم‌بندی کلی، به حلقه‌های تقویت‌کننده و تعادلی تقسیم می‌شوند. حلقه‌های تقویت‌کننده، معادل بازخورد مثبت و حلقه‌های تعادلی، معادل بازخورد منفی هستند.

برای بررسی رفتار سیستم در طول زمان، نیاز به شبیه‌سازی متغیرها و روابط آنها در رایانه است. نمودارهای جریان معادل حلقه‌های علّی در شبیه‌سازی هستند. معادلات ریاضی میان متغیرها در نمودار جریان از منابع گوناگون قابل تحصیل است که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

۱. معادلات به‌دست آمده از پژوهش‌های پیشین و یا به‌دست آوردن رابطه میان دو متغیر بر اساس سایر متدولوژی‌ها؛

۲. درون‌یابی از آمار منتشر شده میان دو متغیر توسط قابلیت تخمین نرم‌افزار در قالب جداول ۲ بعدی؛

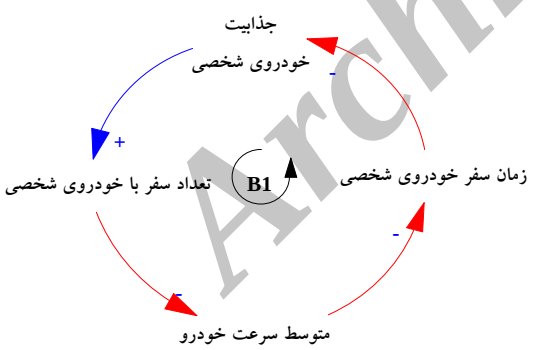
۳. وزن‌دهی نسبت تغییر میان متغیرها براساس نظرات خبرگان.

متدولوژی پویایی‌های سیستم، زمانی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر مورد استفاده قرار گیرد که بتوان به‌وسیله آن فرآیندهای مختلف را مورد بررسی قرار داد و به کمک آن، سناریوها و سیاست‌های مختلف را با دیدگاه سیستمی ارزیابی کرد برای کسب اطمینان از اعتبار نتایج این بررسی‌ها و ارزیابی‌ها، اطمینان از اعتبار خود مدل، شرطی لازم و ضروری است. آزمون‌های متعددی در زمینه اعتبارسنجی مدل‌های پویا مطرح شده‌اند که به دو دسته آزمون‌های اعتبارسنجی ساختاری و آزمون‌های اعتبارسنجی رفتاری مدل تقسیم می‌شوند. در مقایسه این روش با سایر روش‌های مدل‌سازی باید به این نکته توجه داشت که روش پویایی سیستم کارکرد خاص خود را دارد و نباید از این روش مدل‌سازی انتظار حل دقیق مسایل را داشت؛ زیرا که این انتظار از رویکرد پویایی سیستم، منجر به کج‌فهمی و انتقاد به این مدل شده است. کارکرد اصلی این مدل ایجاد یک آزمایشگاه مجازی برای بررسی سیاست‌های مختلف با هزینه کم و در زمان محدود و از آن مهم‌تر، گسترش و تعمیق بینش مدیران نسبت به سازوکارهای موجود در سیستم می‌باشد (Sterman, 2000). با توجه به الگوی ۵ مرحله‌ای ارایه شده، در ادامه مقاله به بخش‌های فرضیات پویای پذیرفته شده، ساختار مدل، اعتبارسنجی مدل و آزمون سیاست‌ها خواهیم پرداخت.

۵- فرضیات پویای تأیید شده

نمودارهای علّت – معلولی ابزاری برای ترسیم ارتباطات علّی میان مجموعه‌ای از متغیرهای درگیر در داخل سیستم هستند که با استفاده از حلقه‌های علّی شکل می‌گیرند (اشراقی، فرتوک‌زاده، ۱۳۸۷). بر اساس مرور ادبیات و مطالعه آمار و ارقام و مباحثات گروه کانونی، فرضیات پذیرفته شده عبارتند از:

جذابیت استفاده از خودروی شخصی، موجب شده است که از کل سفرهای درون شهری، سهم سفر با خودروی شخصی افزایش یابد. از آنجا که ظرفیت معابر در کوتاه مدت ثابت است، افزایش خودرو در معابر موجب کاهش متوسط سرعت خودرو می‌شود. کاهش متوسط سرعت خودرو، افزایش زمان سفر با خودروی شخصی را در پی دارد و از این طریق، جذابیت خودروی شخصی کاهش می‌یابد (حلقه B1 در شکل ۵).

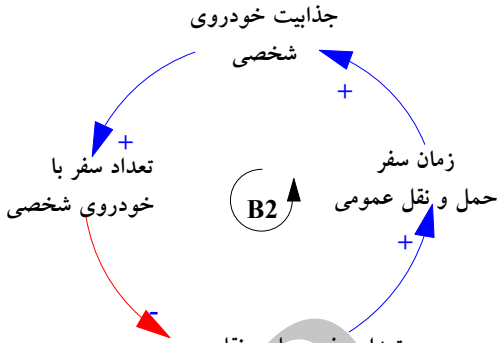


شکل ۵. نمودار حلقه بسته B1

از طرف دیگر، افزایش سهم سفر با خودروی شخصی، موجب کاهش میزان سفر با سیستم‌های حمل و نقل عمومی می‌شود. بنابراین، مسافران سیستم‌های حمل و نقل عمومی کاهش می‌یابند و به موجب آن، زمان انتظار سفر در سیستم حمل و نقل عمومی

Archive of SID
www.SID.ir

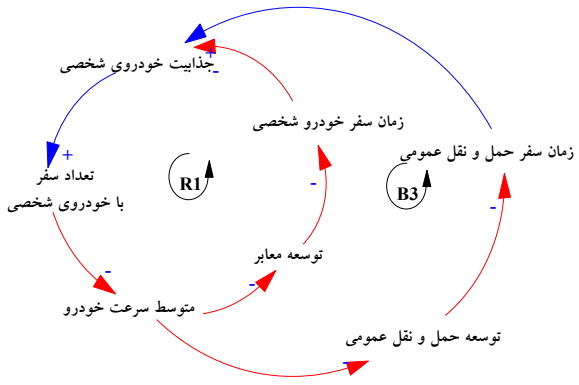
و در نتیجه، کل زمان سفر در سیستم حمل و نقل عمومی کاهش می‌یابد. کاهش زمان سفر با سیستم حمل ونقل عمومی، از جذابیت خودرو شخصی می‌کاهد (حلقه B2 در شکل ٦).



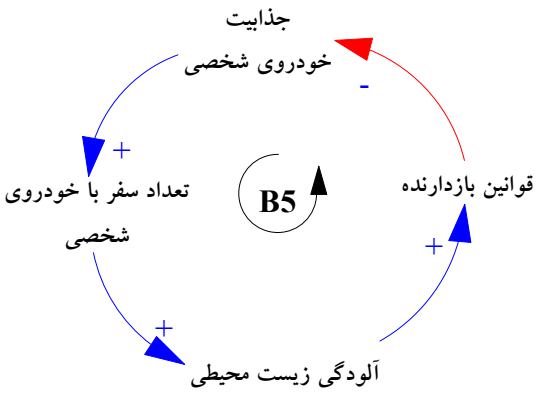
شکل ٦. نمودار حلقه بسته B2

زمانی که متوسط سرعت خودرو کاهش می‌یابد، مجموعه‌های مرتبط با مدیریت شهری با مشکل روبه‌رو می‌شوند و برای حل این مسئله، تصمیم به توسعه معابر و حمل و نقل عمومی می‌گیرند. در صورت توسعه حمل و نقل عمومی، زمان سفر با سیستم حمل و نقل عمومی کاهش می‌یابد.

با کاهش زمان سفر حمل و نقل عمومی، تمایل به استفاده از خودروی شخصی کاهش می‌یابد (حلقه B3 در شکل ٧). با توسعه معابر شهری، ظرفیت تردد خودروها افزایش یافته و از زمان سفر با خودروی شخصی، کاسته می‌شود. این امر به تمایل شهروندان به استفاده از خودرو شخصی منجر و به عبارت دیگر، موجب افزایش جذابیت خودروی شخصی می‌شود (حلقه R1 در شکل ٧).



شکل ٧. نمودار حلقه بسته B3 و R1



شکل ٨. نمودار حلقه بسته B5

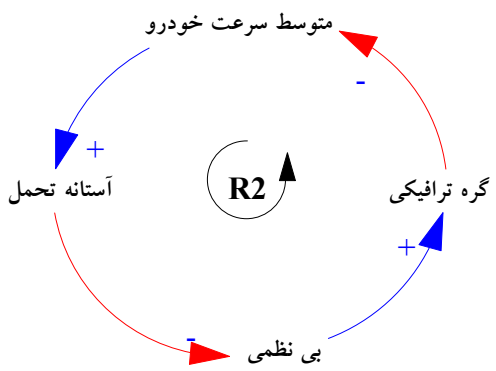
افزایش ترافیک در نتیجه تقاضای بالای سفر و پاسخگویی به آن به‌ویژه از طریق استفاده از خودرو شخصی منجر به افزایش آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود که عمده این آلودگی‌های در شکل آلودگی هوا خودنمایی می‌کند. افزایش آلودگی هوا و عبور از حد مجاز مدیران شهر را به فکر راه حل موقت می‌اندازد. به همین دلیل قوانین محدودیت و یا منع تردد در نقاط خاص شهر در ایام خاصی اعمال می‌شود. اعمال این قوانین منجر به کاهش جذابیت خودرو شخصی شده و تقاضای سفر با خودروی شخصی کاهش می‌یابد (حلقه B5 در شکل ٨).

کاهش سرعت تردد منجر به کاهش آستانه تحمل شهروندان می‌شود. چنانچه فرهنگ عبور و مرور در شهر پایین باشد، این عصبانیت عمومی منجر به بی‌نظمی تردد شده و باعث ایجاد گره‌های ترافیکی خواهد شد. با ایجاد گره ترافیکی، در عمل حجم جابه‌جایی معیار کاهش یافته و این امر منجر به تشدید ترافیک می‌شود (حلقه R2 در شکل ٩).

همان‌طور که می‌دانیم، در هر سفر شهری با استفاده از خودروی شخصی، بخشی از زمان صرف یافتن مکان مناسب جهت پارک کردن خودرو می‌شود. با افزایش سهم خودروهای شخصی از کل سفرهای شهری، زمان بیشتری جهت یافتن محل پارک صرف می‌شود. بنابراین، در مجموع، زمان سفر با وسیله نقلیه شخصی افزایش می‌یابد و این امر موجب کاهش جذابیت خودروی شخصی می‌شود (حلقه B4 در شکل ١٠).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹. نمودار حلقه بسته R2

٦- مدل

با ترکیب حلقه‌های بسته به‌دست آمده به عنوان فرضیات دینامیکی، ساختار کلی مدل حلقه بسته ارایه شد (نمودار شماره ۹). البته نمودارهای علّت - معلولی، درکی تصویری از ساختار مدل ارایه می‌کنند؛ امّا این نمودارها به‌منظور بررسی رفتار سیستم در طول زمان کافی نیستند. برای درک بهتر از رفتار سیستم لازم است روابط بین متغیرهای سیستم تدوین شده و با استفاده از کامپیوتر، مقادیر متغیرها در طول زمان شبیه‌سازی شود. متغیرهای مدل جریان در پویایی سیستم‌ها به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند (قدوسی، ۱۳۸۲): متغیرهای حالت[٤]، متغیرهای نرخ[٥] و متغیرهای کمکی[٦].

مهم‌ترین متغیرهای حالت مدل شامل جمعیت، مالکیت خودرو، ظرفیت پارکینگ، ظرفیت معابر و ظرفیت مترو می‌باشد. مهم‌ترین متغیرهای نرخ مدل شامل نرخ خرید خودرو، نرخ اسقاط خودرو، نرخ افزایش جمعیت، نرخ کاهش جمعیت، نرخ احداث معابر و نرخ افزایش ظرفیت مترو بوده و مهم‌ترین متغیرهای کمکی مدل شامل متوسط سرعت خودرو، جذابیت خودروی شخصی، مجموع تعداد سفر و وضعیت آلودگی هوا می‌باشند. علاوه بر متغیرهای یاد شده، ضرایبی مانند قیمت سوخت، وضعیت خدمات الکترونیک، ضریب تحمل روانی شهروندان، ضریب بی‌نظمی تردد، کیفیت معابر، فرهنگ رانندگی و متغیرهای فراوان دیگر موجود در مدل نیز از نوع متغیرهای کمکی هستند. بر اساس متغیرهای اصلی موجود در دیاگرام حلقه بسته، عوامل اثرگذار در مدل شناسایی شدند. نحوه اثرگذاری آنها در مدل مشخص شد و فرموله گردید (رجبی نهوجی، فرتوک‌زاده، ۱۳۸۸) و در محیط نرم‌افزار Vensim شبیه‌سازی صورت گرفته است. البته در اینجا به‌منظور رعایت اختصار مطلب، از بیان جزییات بیشتر خودداری کرده و به نمایش نمودار جریان (شکل ۱۱) و خروجی‌های نرم‌افزار Vensim اکتفا می‌کنیم.

۷- اعتبارسنجی مدل

مدل‌های پویایی‌های سیستم را، که در کلاس مدل‌های علّی ریاضی قرار می‌گیرند، می‌توان به کمک داده‌های جمع‌آوری شده به‌صورت میدانی و با استفاده از ادبیات موجود، به شکلی تعدیل کرد و اعتبار بخشید که در نهایت، ابزاری را برای آزمودن سناریوها و شبیه‌سازی‌های مختلف توسعه دهند (اشراقی، فرتوک‌زاده، ۱۳۸۸).

اعتبار ساختاری مدل ارایه شده در مقاله، در چندین گروه کانونی در مراکز علمی - تخصصی و دانشگاهی مرتبط با حمل و نقل شهری و مدل‌سازی پویا مورد تأیید واقع شد. همچنین تمامی عوامل سیاست‌گزاری را در بر گرفته و تمامی سناریوهای موجود برای سیاست‌گزاری می‌توانند شبیه‌سازی شوند که نشان‌دهنده کفایت ساختاری مدل است. به‌منظور سنجش اعتبار رفتاری مدل نیز از چندین روش استفاده شده که در ادامه به مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود.

۷-۱- شبیه‌سازی رفتار حدی (آزمون شرایط حدی)

در شبیه‌سازی‌های انجام شده، اعتبار رفتاری مدل براساس این روش مورد تأیید قرار گرفت. برای مثال چنانچه ظرفیت معابر تهران را ۱۰۰۰ برابر ظرفیت فعلی تصور کنیم، انتظار داریم با محدودیت متوسط سرعت خودرو مواجه نشویم. در نتیجه شبیه‌سازی، پس از رفتار گذرای سیستم، این انتظار برآورده شده است (شکل ۱۲).

۷-۲- بازسازی رفتار مرجع

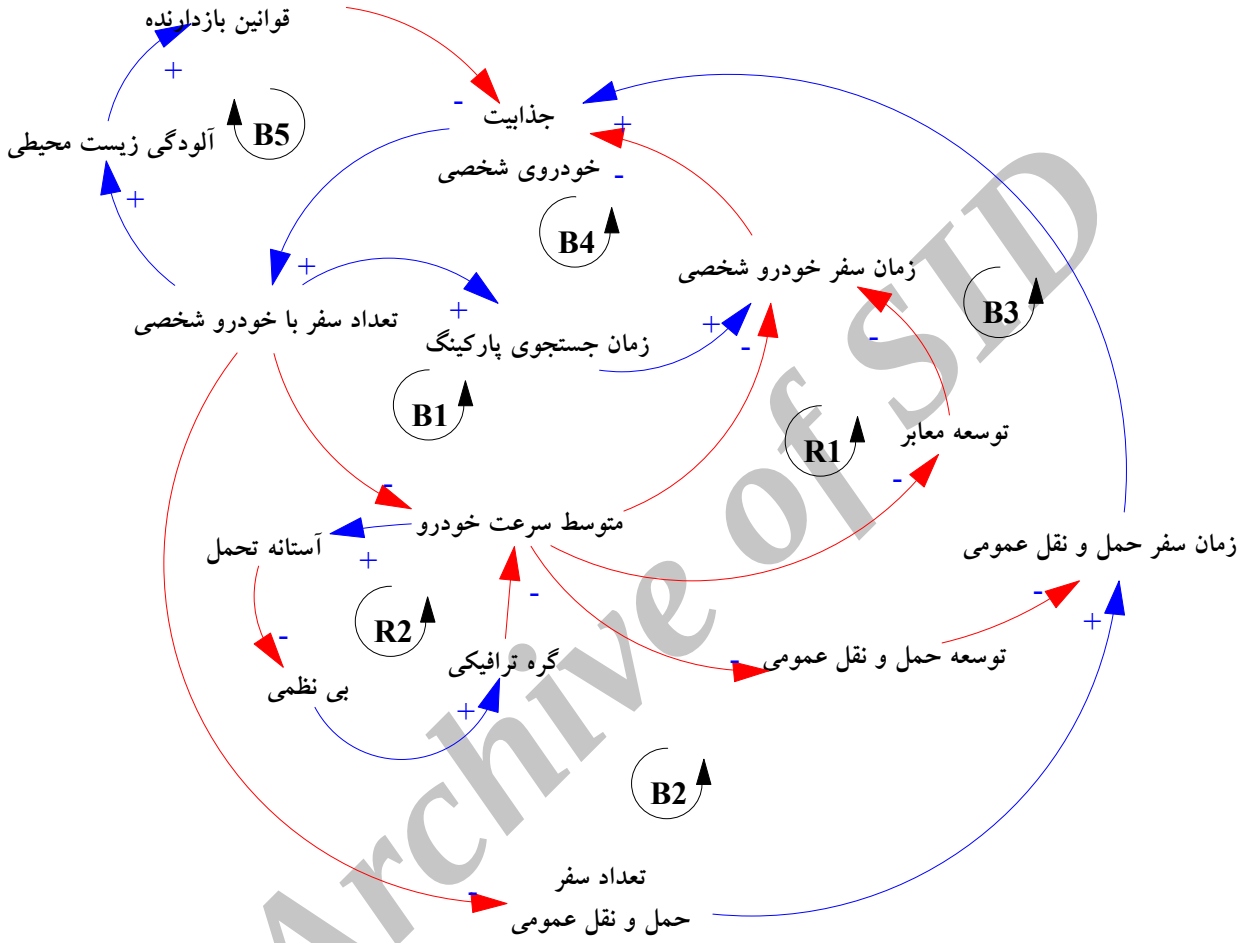
پس از شبیه‌سازی، متغیر متوسط سرعت خودرو، که به‌عنوان

Archive of SID
www.SID.ir

رفتار مرجع مدل انتخاب شده بود، رفتاری مشابه پیش‌بینی ما را نمایش می‌دهد و این امر، دلیل دیگری بر صحت مدل است (شکل ۱۳). همچنین میزان دقت مدل در بازسازی عددی داده‌های تاریخی در محدوده خطای ۱۰ درصد و قابل قبول است (جدول ۱).

۷-۳- آزمون حساسیت

نتایج این آزمون نیز صحت مدل را تأیید کرد. برای مثال چنان‌چه ظرفیت معابر ۱۰ درصد افزایش یابد پیش‌بینی می‌شود که سرعت متوسط خودرو افزایش اندک و بهبود نسبی یابد که پس از شبیه‌سازی، خروجی مدل این پیش‌بینی را تأیید کرد (شکل ١٤).



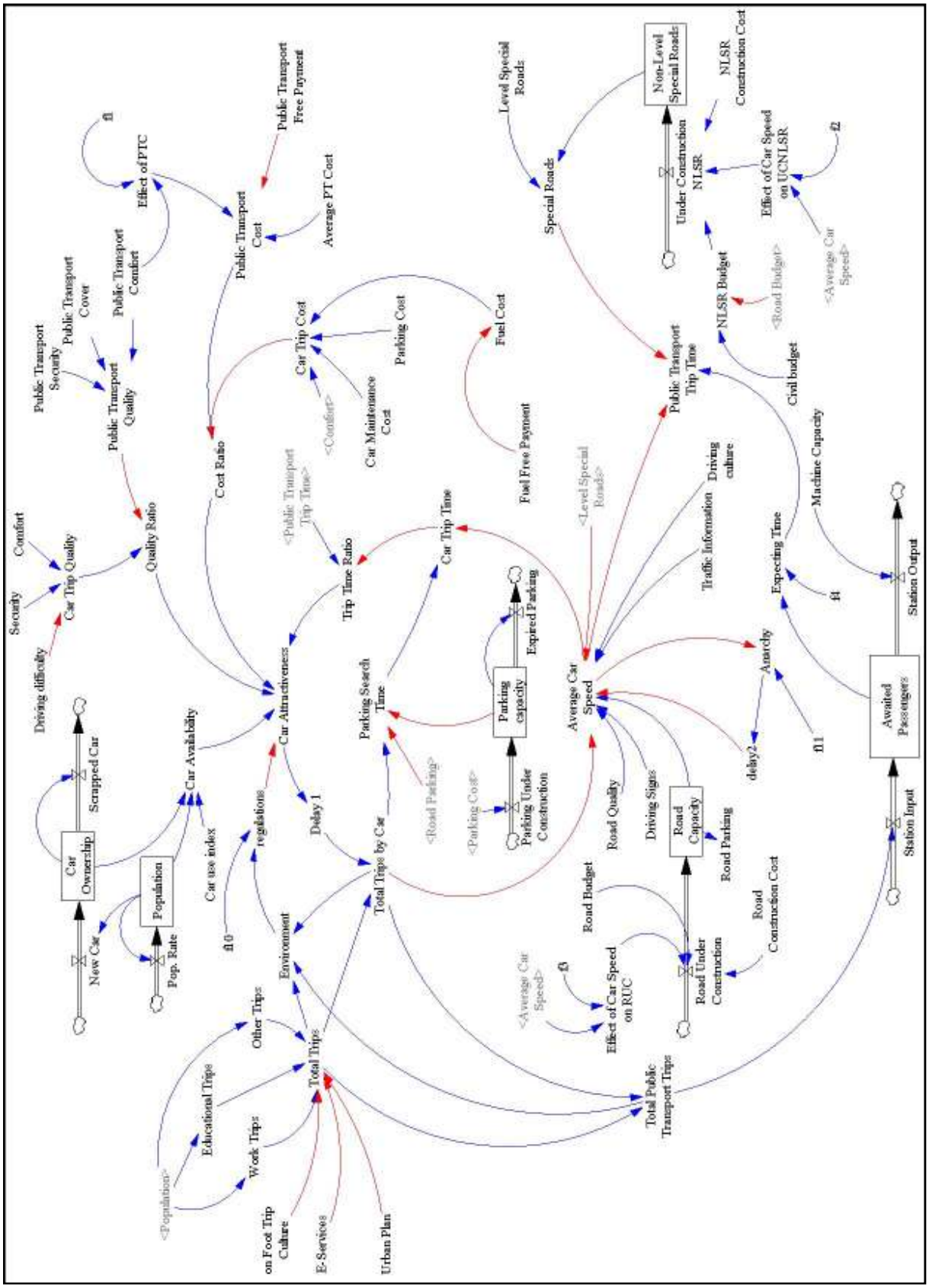
Archive of SID

شکل ۱۰. نمودار حلقه بسته مدل ترافیک کلانشهر تهران

جدول ۱. خطای بازسازی رفتار مرجع

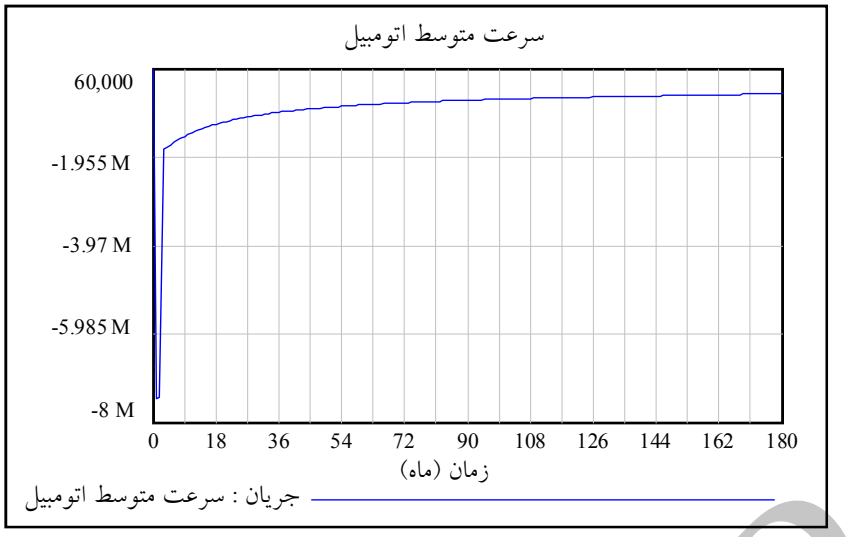
سال	مقدار اندازه گیری شده (کیلومتر بر ساعت)	پیش بینی مدل (کیلومتر بر ساعت)	خطا (درصد)
۱۳۸۳	۲٦/۲	۲٦/۲۰۵۱	٪ ۰/۱۹
۱۳۸٤	۲٤/۸	۲۲/٦۷۸۵	٪ ۸/۵۵
۱۳۸۵	۲۳/۱	۲۰/۸۱۰۹	٪ ۹/۹۰
۱۳۸٦	۲۱/۵	۱۹/۲۳۵۱	٪۱۰/۵۳

www.SID.ir

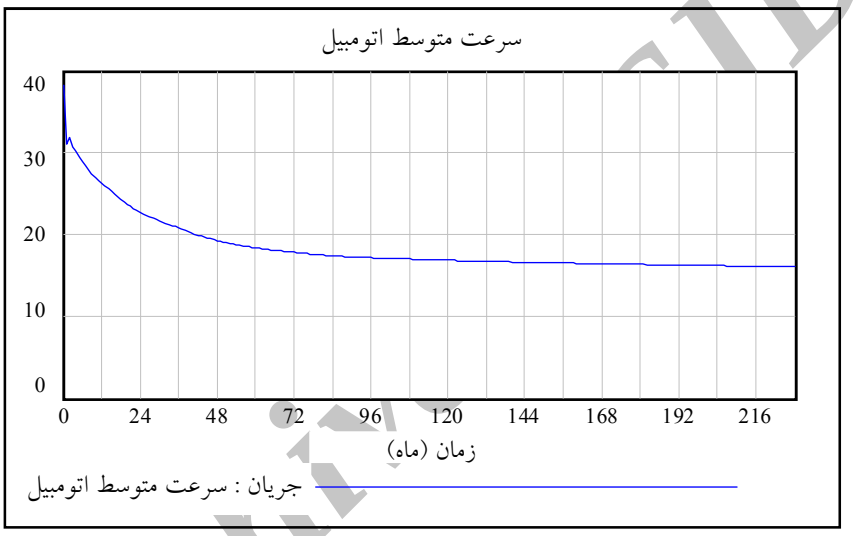


شکل ۱۱. نمودار جریان مدل ترافیک تهران در محیط نرم‌افزار ونسیم

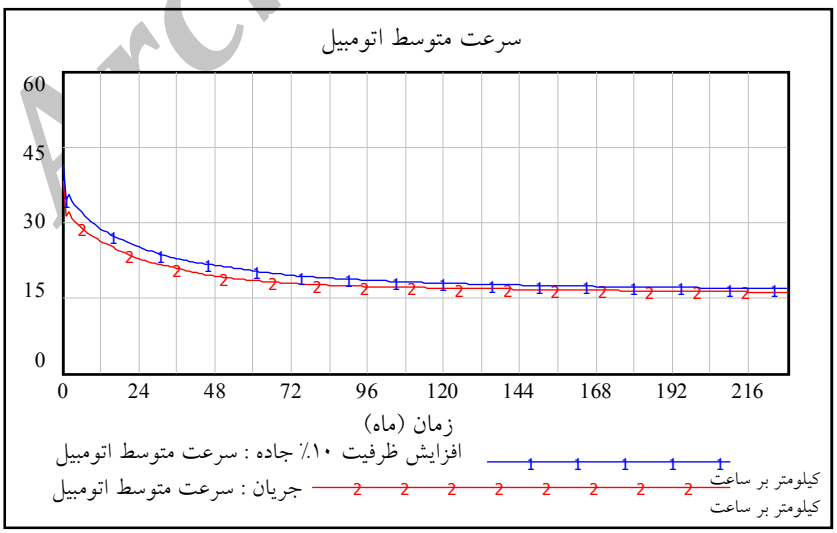
www.SID.ir



شکل ۱۲. نمودار شبیه‌سازی متوسط سرعت خودرو در شرایط حدی ۱۰۰۰ برابر شدن ظرفیت معابر



شکل ۱۳. نمودار شبیه‌سازی متوسط سرعت خودرو بر اساس شرایط فعلی



شکل ۱٤. نمودار شبیه‌سازی متوسط سرعت خودرو بر اساس افزایش ۱۰ درصدی ظرفیت معابر

www.SID.ir

۸- سیاست‌ها

با آنالیز حساسیت پارامترهای موثر بر راه‌کارهای ذکر شده و مشاهده نتایج و بررسی رفتار متغیر اصلی سیستم (رفتار مرجع سیستم) که همان متوسط سرعت خودرو است، مهم‌ترین سیاست‌ها جهت بهبود ترافیک تهران به شرح زیر می‌باشند:

۸-۱- کاهش تعداد سفرهای درون شهری

کاهش سفرهای درون شهری از طریق دو روش اصلی امکان‌پذیر است. مهم‌ترین و کارآمدترین روش، توسعه شهر الکترونیک بوده و شهرداری الکترونیک یکی از عوامل اصلی توسعه پایدار شهری است (پاک‌روشن و وروائی، ۱۳۸۸). به منظور شبیه‌سازی این روش، فرض کرده‌ایم خدمات الکترونیک مؤثر بر کاهش تقاضای سفر، طی دوره‌ای ۸ ساله (۹۶ ماه) ۱۰۰ درصد نسبت به شرایط فعلی بهبود یابند.

روش دیگر کاهش میزان سفرهای درون شهری، طراحی مناسب منطقه‌ای است. برای جلوگیری از توسعه بیش از حد حوزه‌های کسب و کار متمرکز، تمرکز زدایی در شهر باید از طریق توسعه مناطق جدید و مناطق حاشیه‌ای همراه با ساخت مناطق چندگانه کسب و کار انجام شود. این مناطق چندگانه کسب و کار، موجب توسعه هوشمندی خواهند شد که میان مناطق اشتغال و سکونت و در نتیجه، تقاضای سفر تعادل ایجاد می‌کنند (Intikhab, Lu, 2007). تأثیر کاربری زمین[۷] بر حمل و نقل درون شهری اثبات شده و امروزه راهبردها و روش‌هایی برای مدیریت آن وجود دارد (Litmann, 2011). به منظور شبیه‌سازی این سیاست نیز فرض کرده‌ایم طی دوره‌ای ۱۵ ساله با توسعه و اصلاح منطقه‌ای، وضعیت طراحی شهری مؤثر بر کاهش تقاضای سفر، ۵۰ درصد بهبود یابد. در نهایت، تغییر شرایط بر اساس اعمال هر دو سیاست در شکل مشاهده می‌شود (شکل ۱۵).

۸-۲- کاهش جذابیت خودرو شخصی از طریق افزایش هزینه استفاده از آن

هزینه خرید و نگهداری خودرو به علت جدا بودن تمایل مالکیت خودرو از مقوله ترافیک، تقریباً برای تمامی شهروندان، تأثیر هزینه‌ای بر کاهش جذابیت خودرو شخصی نداشته و اثر آن در پارامتر "میزان دسترسی به خودرو شخصی" مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در صورت حذف یارانه سوخت، به‌طور متوسط در حدود هشت کیلومتر بر ساعت به سرعت میانگین خودروها افزوده خواهد شد (شکل ۱۶).

یکی از قدرتمندترین ابزارهای افزایش هزینه خودرو شخصی در اختیار شهرداری، قیمت پارکینگ است. قیمت‌گذاری پارکینگ، مشخصه‌ای کلیدی درسیاست‌گزاری ترافیک شهری است. هزینه زیاد پارکینگ در مناطق متمرکز کسب و کار، به کاهش ترافیک کمک می‌کند (Intikhab, Lu, 2007). انتخاب محل پارکینگ، رفتاری عاقلانه و اقتصادی است. رانندگان، هزینه پارک غیرقانونی و پارک مجاز را با هم مقایسه کرده و همچنین زمانی را که صرف پیاده‌روی از پارکینگ تا مقصد نهایی می‌شود نیز در نظر می‌گیرند. با افزایش این هزینه، کاهش چشم‌گیری در میزان ترافیک مشاهده خواهد شد (شکل ۱۷).

۸-۳- افزایش جذابیت سیستم حمل و نقل عمومی از طریق کاهش زمان سفر از طریق این سیستم

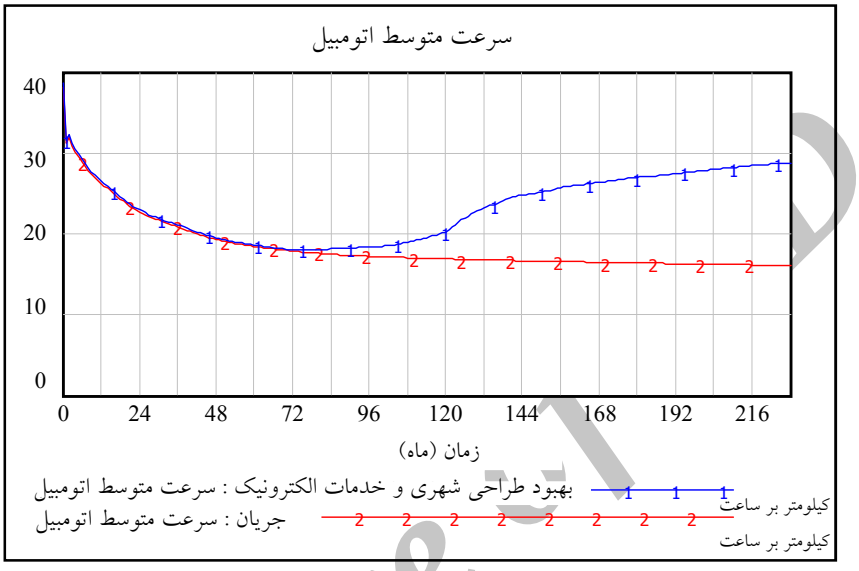
با تکمیل شبکه حمل و نقل عمومی، اختصاص مسیرهای ویژه و توسعه ناوگان، زمان سفر حمل و نقل عمومی کاهش می‌یابد. اگرچه توسعه ناوگان می‌تواند موجب افزایش کیفیت حمل و نقل عمومی و در نتیجه افزایش جذابیت آن شود، اما به‌دلیل آنکه زمان سفر با وسایل حمل و نقل عمومی همچنان بالا خواهد بود، اثر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش جذابیت آن نخواهد گذاشت؛ بنابراین، تکمیل شبکه و اختصاص مسیرهای ویژه، راه حل بهتری به نظر می‌رسند. البته اختصاص مسیرهای ویژه همسطح با محدودیت‌های زیادی مواجه است؛ اما به نظر می‌رسد توسعه مسیرهای ویژه غیرهمسطح مانند مترو و مونوریل، مناسب‌تر باشند. در اینجا لازم است به یک خطای رایج اشاره کنیم. افزایش عرضه ترافیک از طریق توسعه معابر، موجب افزایش سفر می‌شود، به نحوی که ظرفیت افزایش یافته معابر نمی‌توانند پاسخگوی تقاضا باشند؛ بنابراین، وضعیت ترافیک بدتر از قبل خواهد شد (Jing, Zhentao, 2007). براساس نتایج شبیه‌سازی، چنان‌چه تمام بودجه مترو را به توسعه معابر شهری اختصاص دهیم، نه تنها ترافیک را کاهش نمی‌دهد، بلکه توقف توسعه مترو نیز موجب افزایش ترافیک و یا به عبارت بهتر، کاهش متوسط سرعت خودرو خواهد شد. اما چنان‌چه تمام بودجه توسعه معابر را در اختیار توسعه مترو قرار دهیم، شاهد افزایش متوسط سرعت خودرو خواهیم بود (شکل ۱۸).

Archive of SID
www.SID.ir

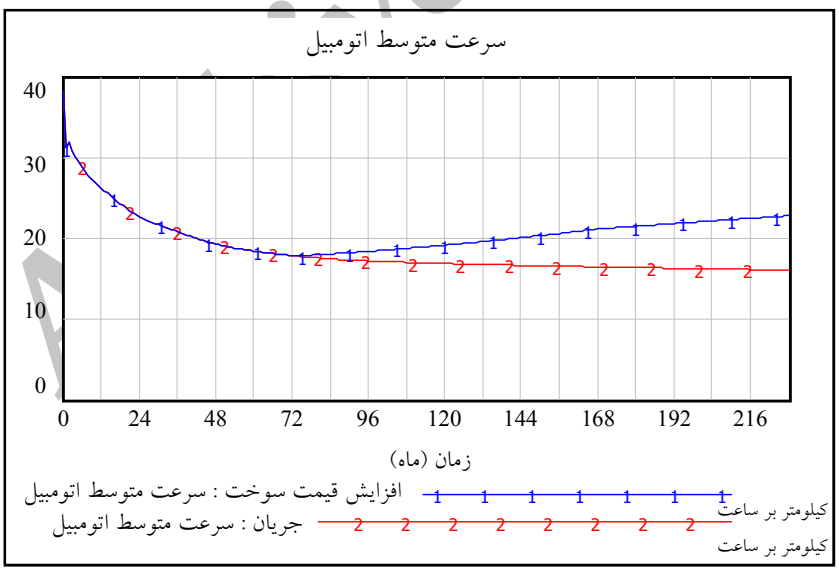
۸-٤- بسته سیاستی

سیاست‌های ارایه شده بر اساس شبیه‌سازی در مدل به سه دسته کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت تقسیم می‌شوند. راه حل افزایش هزینه پارکینگ، به‌عنوان راه حلی کوتاه مدت قابل استفاده خواهد بود.

راه حل توسعه سریع مترو به‌عنوان یک گزینه میان مدت با افق زمانی ۵ تا ۷ ساله مطرح می‌باشد و در نهایت، راه حل توسعه خدمات الکترونیک و بهبود طراحی شهری به‌عنوان راه‌کارهای بلند مدت قابل استفاده هستند. این راه‌کارها قابلیت ترکیب و ارایه یک بسته سیاست‌گزاری دارند که در صورت اعمال همزمان آنها، می‌توان به حل مسئله ترافیک امیدوار بود (شکل ۱۹). البته اجرای هر یک از این روش‌ها، به برنامه‌ریزی و آسیب‌شناسی اجتماعی خاصی نیاز دارد و با دشواری‌هایی همراه است که می‌توان در مطالعات آتی به ابعاد جزئی‌تر آنها پرداخت.

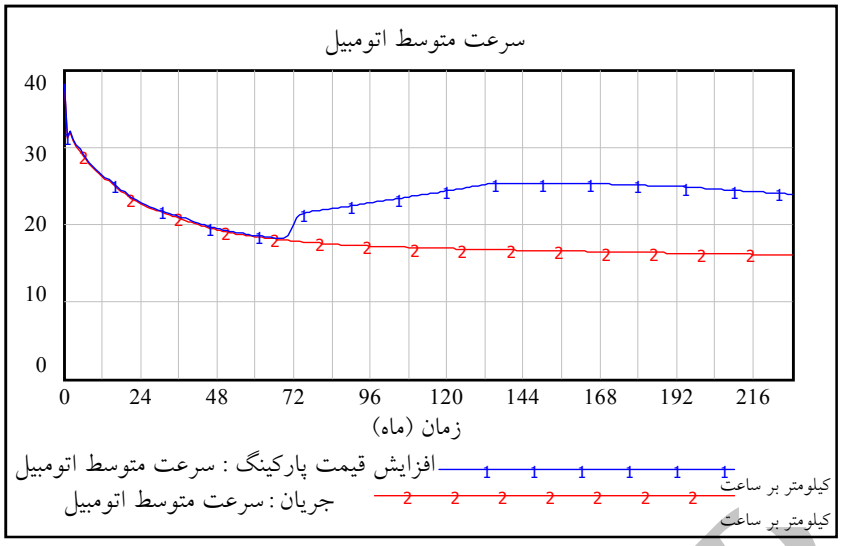


شکل ۱۵. نمودار تغییر متوسط سرعت خودرو از طریق سیاست کاهش سفر

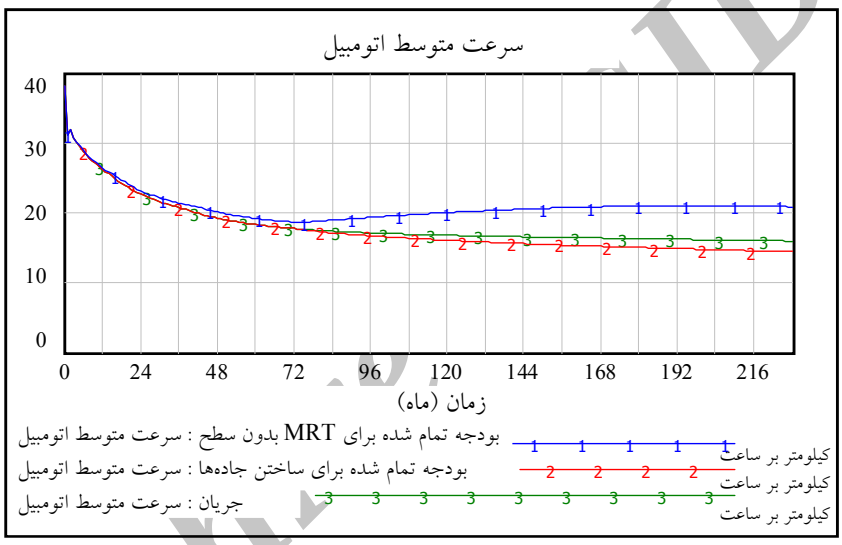


شکل ۱٦. نمودار تغییر متوسط سرعت خودرو از طریق سیاست حذف یارانه بنزین

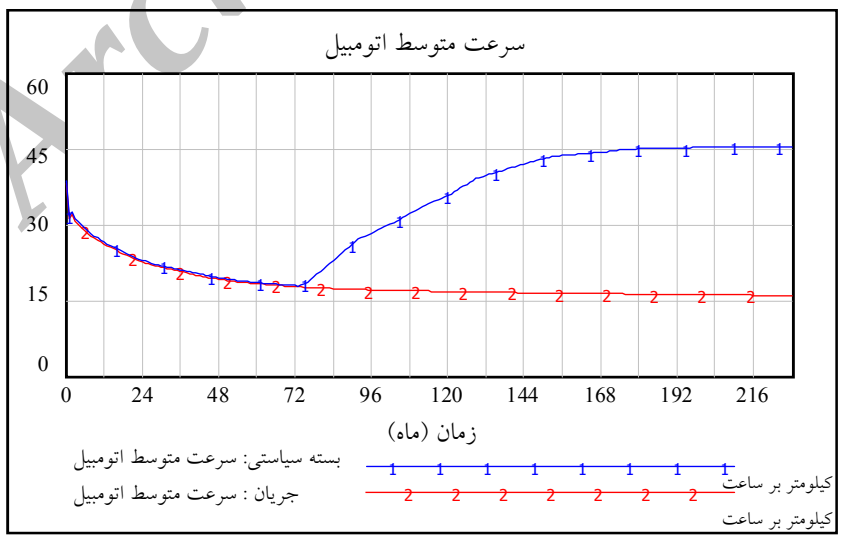
www.SID.ir



شکل ۱۷. نمودار تغییر متوسط سرعت خودرو از طریق سیاست افزایش هزینه خودرو شخصی



شکل ۱۸. نمودار تغییر سرعت خودرو از طریق سیاست توسعه مسیرهای ویژه حمل و نقل عمومی



شکل ۱۹. نمودار تغییر متوسط سرعت خودرو با اعمال همزمان سیاست‌ها

www.SID.ir

۹- نتیجه‌گیری

مدل به‌دست آمده به‌دلیل استفاده از نظرات خبرگان و تجربیات علمی مانند پروژه MARS که در ده شهر اروپایی اجرا شده است، دارای نتایج قابل قبول و منطقی است. از میان مدل‌های سیاست‌گزاری پویا در حوزه حمل و نقل که در بخش مرور ادبیات نیز مورد بررسی قرا گرفتند، تنها مدل مارس مخصوص حمل و نقل شهری است که رویکرد آن استفاده از روش تحلیل پویایی‌های سیستم در کنار مجموعه بزرگی برای بهینه‌سازی طراحی‌های شهری است و برای سیاست‌گزاری و ارزیابی سیاست، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. به همین دلیل شاید مدل این پژوهش اولین مدل با رویکرد تحلیل دینامیک سیستم در زمینه سیاست‌گزاری و ارزیابی سیاست‌ها در حوزه حمل و نقل شهری است که از نظر ساختار و شبیه‌سازی به علت پویا بودن مدل، قابلیت پیش‌بینی اثر تصمیمات مختلف ترافیک شهری در افق زمانی آینده را دارا بوده و به سادگی قابل تغییر و انطباق برای تطبیق بر اساس اطلاعات هر کلانشهر می‌باشد و می‌توان اثر پارامترهای غیرقطعی محیطی بر پدیده ترافیک را در بلندمدت مشاهده کرد که نمونه‌هایی از آن را در بخش سیاست‌ها مطرح کردیم.

همچنین این مدل می‌تواند دیدگاه و درک مشترک از مسئله ترافیک میان مسئولان سیاست‌گزار و مدیران اجرایی کلانشهرها به منظور اخذ تصمیمات یکپارچه و همسو ایجاد نماید. با استفاده از این مدل، به دیدگاه جدیدی نسبت به پدیده ترافیک شهری دست یافتیم که ترافیک شهری، یک پدیده دارای ابعاد اجتماعی مهم است و مانند تمامی مسایل از این جنس، پیچیده و دارای زوایای پنهان است. نتایج این مدل به ما نشان می‌دهد علاوه بر توجه به بخش آشکار مسئله ترافیک که منجر به راه‌کارهایی از قبیل توسعه معابر و یا کنترل تردد وسایل نقلیه از طریق ابزارهایی مانند طرح ترافیک می‌شود، می‌بایست به لایه ساختاری و لایه زیرین مسئله که همان مفروضات بنیادین شهروندان به‌عنوان بازیگران فعال سیستم نیز توجه شود. نتایج آزمون سیاست‌ها و راه‌کارهای مختلف در محیط شبیه‌سازی ایجاد شده در این پژوهش، این نکته را آشکار کرد که توجه نکردن به سطوح پنهان، نه تنها منجر به حل مسئله نشده، بلکه موجب تشدید وضعیت مسئله ترافیک نیز می‌گردد.

بنابراین، با بازنگری مجدد راه‌کارها حول نگاه به لایه ساختاری- نهادی پدیده ترافیک و لایه مفروضات بنیادین این مسئله، می‌توان به حل آن امیدوار بود. توجه جدّی به مواردی مانند نقش طراحی و معماری شهری و نحوه توزیع و سرانه انواع کاربری‌های مختلف فضای شهری، اثر چشمگیری بر تغییرات ترافیک داشته و این موضوعی است که همچنان مورد باور مدیران شهری نبوده و شهری مانند تهران، بدون در نظر گرفتن اثرات متقابل ترافیک و توسعه شهری طراحی می‌شود. همچنین در نظر گرفتن سبک زندگی شهروندان و باورهای آنان که منجر به تقاضای سفر و انتخاب مد حمل و نقل می‌شود، نقش بسزایی در مدیریت ترافیک شهری دارد که در عمل به راه‌کارهای ناشی از این لایه مسئله پرداخته نمی‌شود. راه‌کارهایی از قبیل افزایش قیمت پارکینگ، توسعه خدمات الکترونیک و تغییر در ترکیب پارامترهای ارزش آفرین حمل و نقل عمومی از دیدگاه کاربران آن، شامل زمان سفر، ایمنی، رفاه و کیفیت، امنیت و غیره از جمله راه‌کارهایی هستند که ناشی از مطالعه و شناخت لایه مفروضات بنیادین مسئله مطرح می‌شوند. البته نباید از زوایای فنی و مهندسی ترافیک مانند اصلاح شبکه معابر و توسعه سیستم‌های حمل و نقل شهری نیز غافل شد، اما نتایج ناشی از این تحقیق نشان می‌دهد بدون مدیریت تقاضای حمل و نقل شهروندان نمی‌توان نسبت به حل مسئله ترافیک امیدوار بود.

مدل ارایه شده از نوع مدل‌های ترکیبی است که هم دارای بعد پدیدارشناسی و هم دارای محاسبات و ریاضیات اثبات گرایانه می‌باشد. از این‌رو اصلاح و توسعه مدل در هر دو بعد امکان‌پذیر است. از نظر پدیدارشناسی می‌توان با رویکرد و نوع نگاه نوین، فرضیات را مورد نقد قرار داده و به شناخت متفاوتی از پدیده ترافیک دست پیدا کرد. طبیعی است که با تغییر بازیگران سیستم و یا نحوه عملکرد و باور آنها، فرضیات توصیف کننده پدیده تغییر نماید. در بعد شبیه‌سازی نیز می‌توان دقت روابط ریاضی میان پارامترها ارزیابی مجدد شده و طی مطالعاتی روابط با خطای کمتر جایگزین معادلات فعلی مورد استفاده در شبیه‌سازی شود. در نوع دیگر طبقه‌بندی، مدل ارایه شده، مدل شبیه‌سازی پیوسته می‌باشد. مدل‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی کننده ترافیک در سطوح پروژه‌های مشخص اغلب از نوع گسسته بوده و از توابع توزیع احتمال استفاده می‌کنند. هریک از مدل‌ها کاربری‌ها و

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت‌های خاص خود را دارد که می‌توان با تلفیق این مدل‌ها، مدل تکامل یافته‌ای ایجاد کرد که علاوه بر توجه به معیارهای فنّی در یک پروژه، پیش‌بینی بازخوردی و غیر خطّی مدل گسسته از تغییر تقاضا و الگوی ذهنی شهروندان پس از اجرای پروژه نیز مد نظر قرار گیرد تا قابلیت اطمینان نتایج شبیه‌سازی تغییرات ترافیکی ناشی از اجرای پروژه‌های حمل و نقل شهری افزایش یابد.

۱۰- پی‌نوشت‌ها

1. TCTTS: Tehran Comprehensive Transportation and Traffic Studies Co.
2. NTS: National Transportation System
3. System Dynamics
4. Stock
5. Rate
6. Auxiliary
7. Land-Use

۱۱- مراجع

- احمدی فینی، ع. ر. و حبیبیان، م. (۱۳۸۸) "ارایه روش محاسبه شاخص عرضه و تقاضا و تعادل‌سازی آنها در سیستم‌های حمل و نقل همگانی"، مطالعات مدیریت ترافیک، شماره ۱۲، ص۱۲۳-۱۳۶، بهار ۱۳۸۸.

- اشراقی، ح. و فرتوک‌زاده، ح.ر. (۱۳۸۷) "مدل‌سازی دینامیکی مهاجرت نخبگان از ایران و ارایه راه‌کارهایی برای مقابله با آن"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مدیریت و فناوری‌های نرم دانشگاه صنعتی مالک اشتر، آبان ۱۳۸۷.

- امیرخلیلی، م.ح. (۱۳۸۵) "تأثیرعوامل محیطی بر ترافیک شهری (شهر تهران)"، مجموعه مقالات درس تحلیل دینامیک‌های سیستم دانشگاه صنعتی شریف.

- پاک روشن، ب. و وروائی، ا. (۱۳۸۸) "تأثیر به‌کارگیری شهرداری الکترونیکی سیاست‌های راهبردی حمل و نقل"، مطالعات مدیریت ترافیک، شماره ۱٤،ص۱-۱۹، پاییز ۱۳۸۸.

- خادم‌الحسینی، ا. و رحمتی، ق. و قشقایی‌نژاد، ر. (۱۳۸۹) "بررسی راه‌کار کاهش ترافیک شهری به‌وسیله ایجاد مسیرهای ویژه دوچرخه‌سواری- مطالعه موردی: بافت تاریخی شهر شیراز"، فصلنامه جغرافیایی آمایش، شماره ۸، ص۱-۱۹، بهار ۱۳۸۹.

- رجبی نهوجی، م. و فرتوک‌زاده، ح.ر. (۱۳۸۸) "مدل‌سازی دینامیکی ترافیک تهران جهت ارایه راه‌کارها و استراتژی‌های کنترل و کاهش آن"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مدیریت و فناوری‌های نرم دانشگاه صنعتی مالک اشتر، بهمن ۱۳۸۸.

- سوشیل، ترجمه دکتر تیموری، الف.، نورعلی، ع. ر. و ولی‌زاده، ن. (۱۳۸۷) "پویایی‌های سیستم"، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

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

- عربانی، م.، ربیعی، ش. و امانی، ب. (۱۳۸۵) "پیش‌بینی تولید سفرهای شهری با استفاده از منطق فازی بر مبنای مطالعه موردی شهر رشت"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۸۵، ص ۲۸۹-۳۰۳.

- قاسمی، ع. (۱۳۸۸) "تدوین سیاست‌های کلی نظام در بخش حمل و نقل"، دبیرخانه مجمع تشخیص مصلحت نظام.

- قدوسی، ح. (۱۳۸۲) "دینامیک‌های رشد جمعیت در کلانشهرها: نمونه موردی تهران"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد MBA، دانشکدهٔ مدیریت و اقتصاد دانشگاه صنعتی شریف، بهار ۱۳۸۲.

- محمودآبادی، ع. و علی‌احمدی، ع. ر. (۱۳۸۸) "کاربرد روش‌های کیفی در مطالعات حمل و نقل"، مطالعات مدیریت ترافیک، شماره ۱۵، ص ۷۵-۸۶، زمستان ۱۳۸۸.

- Bresson G. (2004) "Economic and structural determinants of the demand for public transport: an analysis on a panel of French urban areas using shrinkage estimators", Transportation research part 1, 38, pp. 269-285.

- Bert, V. W. (2007) "Environmental effects of urban traffic, threats from car traffic", Elsevier, pp.24-32.

Archive of SID
www.SID.ir

- Pauleey N. et al. (2006) "The demand for public transport: the effect of fares", Quality of service, income and car ownership, Transport policy 13, pp. 295-306.
- PENG Hu, LU Huapu. (2007) "Study on the impacts of urban Density on the travel demand using GIS spatial analysis", Journal of transportation system engineering and information technology, 7(4), pp. 90−95.
- Pfaffenbichler P.C. (2002) "A dynamic model to apprise strategic land-use and transport policies", EJTIR, 2, pp. 255-283.
- Roumboutsos. Kapros. S. (2008) "A game theory approach to urban public transport integration policy", Journal of Transport Policy 15, pp .209–215.
- Schade B. (2004) "The economic impact of environmentally sustainable transport in Germany", EJTIR, 4, pp. 142-172.
- Simpson B.J. (1994) "Urban public transport today", E & FN SPON.
- Sterman, J. D. (2000) "Business dynamics, system thinking and modeling for a complex world", Irwin, McGraw-Hill.
- ZHOU Jing, ZHU Zhentao. (2007) "Hierarchy analysis and strategies on the imbalance between supply and demand of urban traffic", Journal of transportation systems engineering and information technology, 7(4), pp. 24−29.
- Creutzig F., He D. (2009) "Climate change mitigation and co-benefits of feasible transport demand policies in Bejing", Transportation research part D, pp. 120-131.
- Fiorello D. (2002) "The ASTRA-Italia model", 20th international conference of the system dynamics society.
- FitzRoy F. (1998) "Public transport demand in Freiburg: why did patronage double in a decade?", Transport policy 5, pp. 163-173.
- Horridge M. (1994) "A computable general equilibrium model of urban transport demand", Journal of policy modeling 16, pp. 427-457.
- 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, pp. 309-317.
- Kelly C. (2008) "The development of an option generation tool to identify potential transport policy packages", Transport policy15,pp. 361-371.
- Litman Todd. (2011) "Land use impact on transport, how land use factors affect travel behavior", Victoria Transport Policy Institute.
- Nguyen, K. Ph. (1999) "Demand, supply and pricing in urban road transport", Research in transport economics, Vol. 5, pp. 107-154.
- O'Flaherty C.A. (1996) "Transport planning and traffic engineering", Butterworth Heinemann.

Archive of SID

www.SID.ir