فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و سوم، شماره ۹۵، زمستان ۱۴۰۲، ص. ۹۳-۷۹

بررسی تأثیر عرضه اتومبیل خودران بر جستجوی زمان پارک وسایل و اثر آن در سهم وسایل نقلیه با استفاده از مدل‌های سیستم پویا

علیرضا ماهپور (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
E-mail: a_mahpour@sbu.ac.ir
محمدامین ابراهیم‌زاده، دانشجو مقطع دکتری عمران گرایش حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
فاطمه اکبری، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران
عبدالرضا ابراهیمی، کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش راه و ترابری دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر بر روی پذیرش اتومبیل‌های خودران و اثرات زیست‌محیطی این فن‌آوری تحقیقات انجام شده است، اما بر روی موضوع تأثیر عرضه اتومبیل‌های خودران بر سهم وسایل نقلیه شهری در سفرهای روزانه (از طریق کاهش زمان جستجو پارک و کاهش سهم وسایل نقلیه در سفرهای روزانه) تحقیقاتی کمی صورت گرفته است. در این پژوهش تأثیر سیستم اتومبیل خودران بر جستجو زمان پارک و اثر آن بر سهم وسایل نقلیه شهری پرداخته می‌شود و با تعریف سناریوهای عملیاتی با استفاده از یک مدل سیستم دینامیکی میزان تأثیر برآورد می‌شود. مدل سیستم دینامیکی ارائه و با استفاده از آن وضعیت سناریوهای تعریف‌شده برای سال‌های هدف برآورد گردید. در این پژوهش پس از ایجاد نمودار جریان و شبیه‌سازی سیستم با استفاده از دو روش، اعتبار مدل مورد آزمون قرار گرفت. از مدل جهت تحلیل سناریوها و تخمین میزان تغییرات شاخص‌های مهم استفاده گردید. بر اساس نتایج حاصل از مدل، تغییرات سهم اتومبیل‌های خودران در سفرهای روزانه نشان می‌دهد که استراتژی‌های اجرایی متفاوت عرضه اتومبیل‌های خودران و اولویت‌های افراد برای سفر، منجر به تغییر الگوی سفر (توزیع فضایی متفاوتی از تقاضای پارکینگ و سهم وسایل نقلیه شهری در سفرهای روزانه) می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اتومبیل خودران، زمان جستجوی پارک، مدل پویا، سهم وسایل نقلیه، تهران

۱. مقدمه

اتومبیل‌های خودران می‌تواند به‌عنوان یکی از اجزای اصلی استراتژی‌های مدیریت تقاضای سفر و کاهش زمان جستجو پارک قرار گیرد. کاهش زمان جستجوی پارک می‌تواند بر تصمیمات سفر افراد تأثیر بگذارد و به‌ویژه زمان صرف شده بین پارک وسیله نقلیه و مقصد نهایی سفر یک پارامتر مهم است. زمان سفر به‌طور سنتی به‌عنوان "اتلاف" زمان یا هزینه برای مسافر در طول سفر به‌حساب می‌آید و در مدل‌سازی تقاضای سفر در نظر گرفته می‌شود. ارزش زمان سفر و مقدار هدررفته زمان دو عملکرد مهم در مدل‌سازی و ارزیابی سیستم حمل‌ونقل دارد. یکی از عوامل مهم در انتخاب وسایل نقلیه سفر در مناطق متراکم شهری جستجوی زمان پارک است. وسایل نقلیه خودران عرصه جدیدی در فن‌آوری‌های حمل‌ونقل است که باعث تغییرات تصمیمات شهروندان برای جابه‌جایی آن‌ها در سفرهای روزانه به محل کار وزندگی می‌شود. یکی از بزرگ‌ترین مزایای اتومبیل‌های خودران، پتانسیل کم کردن وظایف رانندگی از افراد، جستجوی محل پارک و استفاده از آن زمان برای کار ارزشمند دیگر است. هرگونه استفاده مفید از زمان پیامدهای قابل‌توجهی برای تصمیمات سفر و افزایش سهم سفر با اتومبیل‌های خودران را از طریق تغییر در ارزش زمان سفر ذخیره‌شده دارد. [Lyons and Wardman, 2016, Wadud et al., 2016] اجماع نظری در مورد توسعه فن‌آوری اتومبیل‌های خودران پیشرفته وجود دارد که رانندگی را راحت‌تر و امن‌تر کرده است [Harper et al., 2016].

اتومبیل‌های خودران یا خودروهای بدون راننده که کاملاً خودران هستند در اولویت قرار دارند او لا در حین رانندگی، مسافران دیگر نیازی به نظارت بر محیط جاده را ندارند و اتومبیل خودران به‌عنوان فناوری پیشرفته می‌توانند با دقت و ایمن تمام وظایف مربوط به رانندگی را انجام دهند. در عوض، آن‌ها می‌توانند زمان خود را در اتومبیل با لذت بیشتر و یا با فعالیت‌های دیگر سپری کنند (مانند کار کردن، استراحت کردن، غذا خوردن، خواندن کتاب، خواب و غیره؛ بنابراین فرصت هزینه زمان سفر را کاهش می‌دهد.[Harb et al., 2021; Moore et al., 2020]

عرضه سطوح ٤ و ٥ اتومبیل‌های خودران که تکنولوژی بالاتری نسبت به سطوح دیگر آن دارد و باعث حذف کامل رانندگی کاربر از آن شده است و می‌تواند به‌طور اساسی تجربه سفر را برای کاربران تغییر دهد، اما با توجه به ویژگی مذکور احتمال این را دارد کاربران جاده برای سفرهای طولانی‌تر خود که همراه با افزایش زمان سفر است برای جابه‌جایی از این وسیله نقلیه استفاده کنند. [NHTSA/ US Department of Transportation 2016]

یک وسیله نقلیه خودران می‌تواند مسافران خود را در مقصد خود رها کرده و سپس به‌طور خودکار خود را در یک پارکینگ اختصاصی یا یک پارکینگ اشتراکی پارک کند. همچنین فرض بر این است که ظرفیت پارک کافی برای اجازه دادن به وسایل نقلیه برای پیدا کردن یک فضا ایمن و قابل‌اعتماد فراهم خواهد شد. ازیک‌طرف دیگر استفاده از این تکنولوژی خودران که وسیله نقلیه کاربر را در مقصد پیاده می‌کند و خودش به‌جای پارک می رود و باعث حذف زمان جستجوی پارک توسط کاربر می‌شود و از طرفی ممکن است تمایل افراد برای رفتن به مکان‌های بیشتر و خاص در روز بیشتر شود. به همان اندازه، ممکن است تأثیر قابل‌توجهی بر روی مدیریت پارکینگ مناطق و فضاهای پارک شهری را به همراه داشته است [Fagnant and Kockelmann, 2013; Kowalewski, 2014].

چنان مطالعه برای کشورهای درحال‌توسعه مثل ایران تا حالا انجام نشده است و این پژوهش تأثیر عرضه اتومبیل خودران در سهم سفرهای روزانه شهری و جستجو زمان پارک توسط برای شهر تهران بررسی شده است. در این مقاله به ۳ سؤال زیر پرداخته می‌شود.

۱- اتومبیل خودران چه تغییراتی در جستجو زمان پارک دارند؟

۲- اتومبیل خودران چه تأثیراتی بر روی سهم وسایل نقلیه عمومی و شخصی دارند؟

۳- سهم سفر اتومبیل‌های خودران در سفرهای روزانه شهری به چه صورت خواهند بود؟

در ادامه مقاله در بخش ۲ مروری بر ادبیات موضوع پرداخته می‌شود. در بخش ۳ روش مدل‌سازی سیستم‌های پویا و مطالعه موردی برای مدل ارائه شده است. در بخش ٤ به اعتبارسنجی مدل و طراحی سناریوها پرداخته شده است. در بخش ۵ نتایج مربوط به سناریو در بخش ٦ نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲. ادبیات پژوهش

این پژوهش به چندین جریان از متون مرتبط است. در پژوهش اولی مدیریت تقاضای سفر و سیاست‌های پارکینگ را موردبررسی قرار می‌دهند. جستجو پارکینگ برای انتخاب حالت مد تأثیرگذار است. اول، مسافران ممکن است به سیاست پارکینگ در موارد مختلف پاسخ دهند راه‌هایی مانند تغییر رفتار پارکینگ، تغییر حالت سفر، تغییر مقصد سفر، تغییر برنامه سفر و تغییر یا لغو فعالیت‌های سفر، اما بیشتر مطالعات پارکینگ فقط یکی را در نظر گرفته‌اند جنبه‌ای از این رفتارهای انتخابی، به‌جای مبادله بین آن‌ها است. یک مطالعه با استفاده از انتخاب حالت تغییرات هزینه پارکینگ را بررسی می‌کند (با توجه به استفاده از این تکنولوژی) هزینه پارکینگ کاهش پیدا کند و بنابراین ممکن است به‌اشتباه نتیجه‌گیری شود که طرح‌های قیمت پارکینگ فرق کرده است. علاوه بر این، استراتژی‌های پارکینگ می‌تواند متضمن معاوضه‌های سیاسی باشد. دوم، درحالی‌که مطالعات تجربی متعدد نشان داده است که هزینه پارکینگ به‌طور قابل‌توجهی تأثیر در انتخاب وسیله نقلیه سفر افراد می‌گذارد. [Marsden, 2006].

در پژوهش دیگری برای بررسی این مسائل یک مقاله را بررسی کردند که بر اساس داده‌های نظرسنجی ترجیحی آشکار، ایجاد می‌کند. انتخاب حالت سفر و مکان پارکینگ برای مسافران به دانشگاه میشیگان، پردیس آن آربور که میزبان بیش از ۷۰۰۰۰ دانشجو، استاد و کارمند در مساحتی نزدیک به ۱۳ مایل مربع است. مدل دارای سه ویژگی اصلی پارکینگ است: هزینه پارک، زمان جستجو برای پارک و زمان خروج از پارکینگ تا مقصد ما کشش قیمت پارکینگ را بالاتر از آنچه که توسط بسیاری از مطالعات قبلی گزارش شده بود، پیدا کردیم. نتایج همچنین نشان داد که مسافران نسبت به تغییرات زمان خروج حساس‌تر بودند تغییرات در هزینه پارکینگ و حساسیت آن‌ها نسبت به تغییرات زمان جستجو کمتر از دو مورد دیگر بود. درنهایت، نتایج شبیه‌سازی سیاست حاکی از برخی اثرات هم‌افزایی بین قیمت‌گذاری پارکینگ است و اقدامات پارکینگ که هزینه‌های زمانی پارک را تغییر می‌دهد، یعنی اثر ترکیبی آن‌ها بزرگ‌تر از مجموع اثرات فردی است.[Xiang et al, 2018]

بنابراین برخی از محققان مدل‌های انتخاب مکان پارکینگ را برای بررسی تأثیر ویژگی‌های مختلف پارکینگ بر تصمیم‌گیری‌های پارکینگ کالیبره کرده‌اند. متغیرهای مختلف پارکینگ، ازجمله قیمت پارکینگ، زمان پیاده‌روی بین پارکینگ و مقصد، جستجو نشان داده شد که زمان برای مکان‌های پارک و محدودیت‌های زمانی پارک به‌طور قابل‌توجهی بر انتخاب‌های پارکینگ تأثیر می‌گذارد [Golias, et al., 2002; Tsamboulas et al., 2001].

در پژوهش دیگری پیشنهاد کرد که رانندگان برای زمان پیاده‌روی تا مقصد بیشتر از زمان جستجو برای یک فضای پارکینگ ارزش قائل هستند که به نوبه خود ارزش بیشتری نسبت به سایر زمان‌های سفر درون اتومبیل دارد [Axhausen and Polak , 1991]

استفاده از اتومبیل خودران می‌تواند تعداد فضاهای پارکینگ در مراکز شهری را به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند کاهش دهد، چراکه این وسیله نقلیه مجبور به حرکت به سمت یک ایستگاه پارکینگ در فاصله‌ای دور نخواهد بود، اما به‌سادگی به سمت مسافر بعدی می‌رود. تقاضا برای فضاهای پارک کاهش پیدا کرده است. [Fagnant, et al., 2013]

اتومبیل‌های امروزی یا مستقیماً از خانه به مقصد هدایت می شوند، یا کاربر باید در آغاز سفر و دوباره از پارکینگ به مقصد نهایی، به سمت محل پارک اتومبیل برود. بااین‌حال، یک تأثیر

رانندگی خودران این است که این فواصل زمانی قبل و بعد از سفر اصلی توسط اتومبیل ساخته خواهد شد و از وظایف راننده کم می‌شود. ربات سوار اتومبیل را از پارکینگ اصلی خود به مکان مالک یا کاربر هدایت می‌کند و بعد از رسیدن به مقصد، به یک فضای پارکینگ اختصاص‌یافته می‌رود و باعث کاهش زمان جستجوی پارک می‌شود.[Fagnant et al., 2013] یک مسافر ممکن است رفتار سفر خود را به دلیل گزینه‌های حمل‌ونقل خودران تغییر دهد. ممکن است سفرهای بیشتر یا کمتری وجود داشته باشد. علاوه بر این حالات مسیرها و مقاصد ممکن است تغییر کنند. به‌خصوص سطح بالای اتوماسیون خودران انتظار می‌رود تأثیر قابل‌توجهی بر جابه‌جایی شخصی و رفتار سفر داشته باشد و تغییرات سهم سفر با اتومبیل‌های خودران نسبت به سایر وسایل نقلیه در روز بیشتر خواهد شد. [Innamaa and Kuisma, 2018]

در مطالعه با استفاده از اتومبیل خودران سطح ۲ در کالیفرنیا بررسی کرده‌اند که این اتوماسیون خستگی راننده را کاهش می‌دهد و رانندگی را کم استرس تر می‌کند و این امر می‌تواند به این معنی باشد که رانندگان بیشتر می‌توانند سفر کنند... نتایج نشان می‌دهد کسانی که به دلیل تکنولوژی خودران سفرهای طولانی‌تری را انتخاب می‌کنند جوان‌تر هستند، درآمد خانوار کمتری دارند، در مناطق شهری زندگی می‌کنند، استفاده از اتوماسیون در شرایط مختلف و داشتن گرایش‌های به تکنولوژی حرفه‌ای و ترجیح سبک زندگی فضای باز را ترجیح می‌دهند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ۴۰۵۹ تا ۴۹۷۱ مایل بیشتر در سال در بین کاربران اتومبیل خودران سطح ۲ در مقایسه با دارندگان وسایل نقلیه مشابه بدون خودران بیشتر شده است و تعداد کیلومتر توسط اتومبیل خودران سطح ۲ تغییر کرده و افزایش یافته است.[Scott Hardman, et al, 2022]

بسیاری از تصمیم‌گیرندگان و افراد حرفه‌ای در این فکر هستند که چگونه وسایل نقلیه خودران (که خود محرک یا رباتیک نیز نامیده می‌شوند) بر سفره‌ای آینده و درنتیجه نیاز به جاده‌ها، پارکینگ‌ها و خدمات حمل‌ونقل عمومی تأثیر خواهند گذاشت و چه سیاست‌های عمومی می‌تواند مشکلات را به حداقل رسانده و منافع این فن‌آوری‌های جدید را به حداکثر برساند. خوش بینان پیش‌بینی می‌کنند که تا سال ۲۰۳۰، وسایل نقلیه خودران به اندازه کافی قابل‌اعتماد، مقرون به صرفه و رایج خواهند بود تا بیشتر نیروی انسانی را جابه‌جا کنند و صرفه‌جویی‌ها و مزایای زیادی را فراهم کنند برخی منافع، مانند جابه‌جایی مستقل برای افراد ثروتمند غیر راننده، ممکن است در سال‌های ۲۰۳۰ یا ۲۰۴۰ آغاز شود، اما بیشتر اثرات، ازجمله کاهش ترافیک و تراکم پارکینگ، جابه‌جایی خودران برای افراد کم‌درآمد (و درنتیجه کاهش نیاز به حمل‌ونقل عمومی)، افزایش ایمنی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش آلودگی، تنها زمانی قابل‌توجه خواهد بود که وسایل نقلیه خودران مشترک و مقرون‌به‌صرفه شوند، احتمالاً در دهه ۲۰۵۰ تا ۲۰۶۰ و برخی مزایا ممکن است نیاز به استفاده بیشتر از وسایل نقلیه انسانی داشته باشند؛ و سهم سفرها با اتومبیل‌های خودران نسبت به حمل‌ونقل عمومی و اتومبیل‌های معمولی بیشتر خواهد شد.[Litman, 2017]

در کشور هلند در شهر لاهه مطالعاتی در مورد عرضه اتومبیل خودران در سال ۲۰۲۲ انجام داده‌اند. در این پژوهش دریافتند که ناوگان جدید تقاضا سفر را افزایش می‌دهد و به‌شدت به زمان استفاده در روز بستگی دارد. اگر قیمت خدمات پایین و سطح خدمت آن بالا باشد به‌طور مؤثری تقاضا را افزایش می‌دهد توسط مدل عامل مبنا[1] این کار صورت گرفته است. به‌طوری‌که استفاده از اتومبیل خودران در پیک صبح گاهی تا ٦٧ درصد افزایش یافته است [Senlei Wang, et al, 2022].

پژوهشی دیگری که برای شهر تهران با توجه به تأثیر عرضه اتومبیل‌های خودران بر روی پراکندگی جمعیت و کاربری زمین و با عرضه اتومبیل‌های خودران باعث افزایش سهم سفرها روزانه در نظر گرفته شده است. تمرکز این پژوهش عمدتاً بر روی توزیع خانوار و اشتغال و جمعیت است و خروجی این مبحث بخش مهمی از ورودی‌های مدل سیستم دینامیکی برقراری تعادل بر روی کاربری‌های زمین توسط اتومبیل‌های خودران بوده است

نتایج آن پژوهش نشان می‌دهد که با به‌کارگیری اتومبیل‌های خودران می‌توان انتظار افزایش جمعیت، افزایش سفرها، قیمت زمین و مسکن در حومه شهر و کاهش جمعیت و تراکم ترافیک شهری در مرکز شهر به همراه داشته است [Mahpour and Ebrahimzadeh, 2021].

۳. روش پژوهش

تفکر سیستمی روشی برای مطالعه رفتار پویا یک مجموعه است سیستم با در نظر گرفتن رویکرد سیستمی، یعنی در نظر گرفتن کل سیستم به‌جای مجزا و دینامیک سیستم ابزار یا زمینه‌ای از دانش برای درک تغییر و پیچیدگی در طول زمان یک سیستم پویا است؛ که سیستم پیچیده ممکن است تصور نادرستی از رفتار پویا ایجاد کند که با رفتار واقعی سیستم واقعی فاصله دارد؛ بنابراین، تفکر سیستمی باید تمام اجزای متقابل مؤثر بر پویایی را در نظر بگیرد سیستم پیچیده و روش پویایی سیستم بر اساس بازخورد مفاهیم تئوری کنترل که توسط فارستر ایجاد شده است [Forrester, 1973].

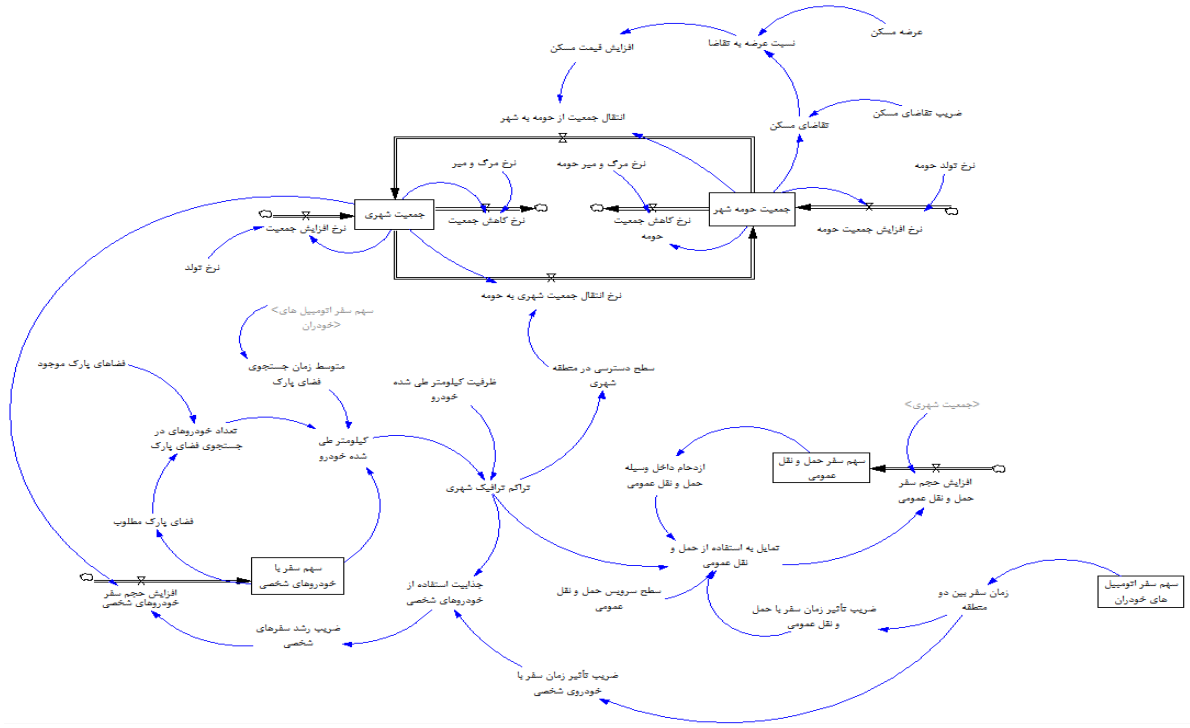
۳-۱ مطالعه موردی

امروز با گسترش شهرها و توسعه شبکه حمل‌ونقل شهری، معضلات ترافیکی هرروز بیش‌ازپیش هزینه‌های سنگینی را به شهر تحمیل می‌کند تهران نیز مانند سایر شهرهای بزرگ از این مشکلات مستثنا نبوده و همواره در تلاش برای حل یا کاهش انواع فشارهای ناشی از سطح ترافیک در سطح شهر است. شهر تهران دارای ۲۲ منطقه و جمعیت ۹/۱ میلیون بوده است. مساحت شهر تهران ۷۵۱ کیلومترمربع و تراکم جمعیت ۱۲۱/۱ نفر در هکتاراست. جمعیت شاغل در شهر تهران ۳۳/۷ و جمعیت در حال تحصیل ۲۳/۵ و مصرف سوخت روزانه بنزین شهر تهران هم ۱۲/۵ میلیون لیتر است. در سال ۱۳۹۷ تعداد سفرهای روزانه شهر تهران ۱۹ میلیون بوده است و نسبت به سال ۱۳۸۳ که ۱٤/٦ میلیون همراه با افزایش تقریباً ۵ میلیون سفر در روز به آن اضافه شده است. متوسط زمان یک سفر درون‌شهری ۲۵/۲ دقیقه و نسبت زمان تأخیر به زمان سفر ٥٤/٥ درصد برآورد شده است. تعداد سفرهای روزانه تولید و جذب شده به تفکیک مناطق حدود ۹/۳٥٤/۱۸۲ سفر در روز که سهم اهداف مختلف در سفر روزانه شهر تهران ۳٦/۱ شغلی، ۱۷/۸ هیچ سر خانه، ۱٦/۳ آموزشی، ۱٥/٥ خرید و ۱٤/۳ تفریح است. سهم انواع وسیله نقلیه درترافیک اوج صبح اتوبوس واحد ٤ درصد، انواع تاکسی ۱۸ درصد، وسیله نقلیه شخصی ٦۷ درصد و موتور ۳ درصد در شهر تهران سهیم هستند. وضعیت زمان سفر شبکه معابر به این صورت است که ٤٦ درصد زمان سفر آزاد، تأخیر در مسیر ۲٤ درصد و تأخیر در تقاطع ۳۰ درصد است. عملکرد راه‌آهن شهری و حومه مقدار سالانه ۷۲۸ میلیون سفر و از ابتدای بهره‌برداری ۸/٥ میلیارد سفر انجام شده است. خط یک مترو شهر تهران بیشترین سهم جابه‌جایی مسافران که ۳۰ درصد بوده و نسبت به بقیه خطوط دارای سهم بیشتری است. جمعیت دانش آموزان ساکن ۱/٦٥۷/۷۰۳ میلیون و دانشجوی ساکن ٥۰۲/۷۸۸ هزار نفر و اشتغال ساکن ۳/۱۰۰/۹۳٦ میلیون نفر بوده است. در این پژوهش داده‌های موردنظر از سال ۱۳۹٥ آمار نفوس مسکن و اطلاعات سازمان ترافیک شهرداری تهران سال ۱۳۹۷ استخراج شده است.

۳-۲ نمودار حالت جریان

با توجه به آنچه پیش‌ازاین ذکر شد نمودارهای علت و معلولی در بسیاری از موقعیت‌ها مفیدند. این نمودارها در شروع یک پروژه مدل‌سازی نقش مؤثری در ارائه مدل ذهنی دارند. در قسمت قبل با استفاده از مدل علت معلولی وابستگی‌های متقابل و فرآیندهای بازخوردی موجود در بررسی اثر به‌کارگیری اتومبیل‌های خودران و ارتباط آن با متغیرهای کلیدی در سیستم حمل‌ونقل را نشان دادیم باوجوداین، به دلیل محدودیت‌های این نمودارها که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، ناتوانی در نمایش ساختار متغیر حالت و جریان سیستم‌ها است و اینکه به‌راحتی ممکن است از آن‌ها سوءاستفاده شود. ٥ متغیر انباشت و ۱۰ متغیر نرخ و تعداد ۲۳ متغیر کمکی برای نمودار حالت جریان در نظر گرفته شده است. جریان و حالت نام متغیرهایی هستند که در سیستم

وجود دارند و از آن‌ها در رسم نمودار حالت و جریان استفاده می‌شود. این نمودار پس از ترسیم نمودار علت و معلولی طراحی می‌شود و پویایی سیستم را نشان می‌دهد. نمودار جریان مدل است که اجزای اصلی تشکیل‌دهنده آن متغیرهای حالت و متغیرهای جریان هستند. چون مطالعات پویایی سیستم دارای جنبه مقداری و کمی هم است، بنابراین خوران وسیله نقلیه باید به‌وسیله یک ابزار کمی و قابل‌محاسبه تعریف شوند. برای ترسیم نمودار حالت – جریان ابتدا باید تمامی متغیرهای سیستم شناسایی شوند و مرز بسته تعریف شود. [Nieuwenhuijsen et al., 2018]. حالت‌ها و جریان‌ها در کنار بازخوردها دو مفهوم اصلی در نظریه سیستم‌های پویا به شمار می‌رود. متغیرهای حالت همان انباشتگی هستند که در این نمودار متغیر جمعیت شهر، حومه شهر، سهم سفر با حمل‌ونقل عمومی، سهم سفر با حمل‌ونقل شخصی و سهم سفر با اتومبیل‌های خودران وضعیت سیستم را مشخص می‌کنند. این متغیرها اطلاعاتی را ایجاد می‌کنند که بر مبنای آن‌ها تصمیم‌گیری و اقدام می‌شود. جریان‌ها نرخ تغییر وضعیت‌های موجود در این سیستم‌ها هستند. این مدل تغییرات در جابه‌جایی جمعیت از شهر به حومه شهر و بالعکس و الگوهای رفت‌وآمد را نشان می‌دهد. مکان پارکینگ، تراکم ترافیک، سهم سفر با اتومبیل شخصی و حمل‌ونقل عمومی در ساعات اوج روز را برای یک استان پرجمعیت تهران محاسبه می کند. با توجه به این‌که افزایش جمعیت باعث فزایش سفرها در روز خواهد شد؛ و باعث افزایش ترافیک بیشتری در ساعات اوج حمل‌ونقل عمومی و اجزای اتومبیل خودران تأثیرات متفاوتی دارند. افزایش بهره‌وری حمل‌ونقل عمومی جمعیت را به مناطق شهری جذب می‌کند. دلیل آن این است که در مناطق پرجمعیت حمل‌ونقل عمومی را می‌توان به‌طور مؤثرتری تأمین کرد. [De Correia et al., 2019] . درنتیجه این مناطق بیشتر از اتوماسیون خودران حمل‌ونقل عمومی سود می‌برند. حومه شهرها و مناطق غیرشهری یک کاهش جمعیت را تجربه می‌کنند. کاهش در هزینه درک شده زمان در اتومبیل منجر به حاشیه‌نشینی می‌شود. شهرها جمعیت خود را به حومه و مناطق غیرشهری از دست می‌دهند. دلیل حاشیه‌نشینی این است که سفرهای طولانی‌تر قابل‌قبول‌تر شده‌اند. شهرهای کوچک و حومه آن‌ها بیش‌ترین انتقال جمعیت را تجربه می‌کنند، زیرا آن‌ها توسط مناطق شهری توسعه‌یافته و جذاب احاطه شده‌اند و به دلیل امکانات شهری که ارائه می‌دهند نسبتاً محدود هستند. شکل شماره ۱ نمودار جریان قابل‌مشاهده است.



شکل ۱. نمودار حالت جریان و متغیرهای اتومبیل‌های خودران

۳-۳ مدل‌سازی سیستم دینامیکی

رویکرد سیستم‌های پویا درواقع به مجموعه‌ای از ابزارهای کاربردی اطلاق می‌گردد که توان بالایی در فهم و تحلیل سیستم‌های پیچیده پویا دارند. این روش مدل‌سازی غالباً برای مسائل کلان و بلندمدت کاربرد دارد و به دلیل نوع آن، از جزئیات مربوط به اجزاء تشکیل‌دهنده صرف‌نظر می‌شود و صرفاً به‌صورت مقداری نمایش داده می‌شوند. در این پژوهش برای بررسی تأثیر اتومبیل‌های خودران بر سهم وسایل نقلیه و جستجو زمان پارک از مدل سیستم‌های پویا استفاده شده است. در این راستا با استفاده از اطلاعات مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۸ مدل توسعه‌یافته و اعتبارسنجی شده است و برای سال‌های ۱۳۹۹ الی ۱۴۳۰ پیش‌بینی‌های انجام شده است که اساس پیش‌بینی‌های بر پایه سناریوسازی است.

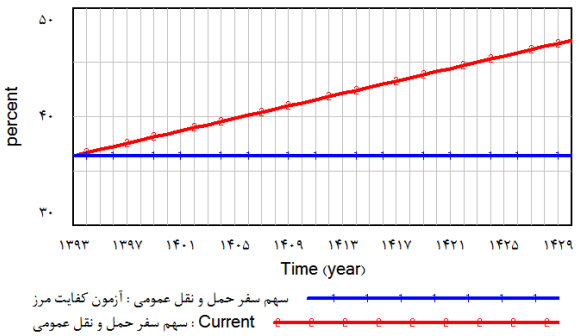
۳-۳-۱ اعتبار سنجی مدل

به دلیل ماهیت ضد شهودی سیستم‌های پیچیده، ذهن انسان قادر به ردیابی رفتار پویای سیستم‌ها نیست. مدل شبیه‌سازی دینامیک سیستم می‌تواند درک بهتر و بینش بیشتری از چنین سیستم‌هایی ارائه دهد. بررسی سیاست‌های جایگزین برای انتخاب بهترین سیاست برای بهبود عملکرد سیستم برای برنامه‌ریزی سیاست ضروری است. مدل شبیه‌سازی دینامیک سیستم می‌تواند به‌عنوان یک آزمایشگاه کامپیوتری برای تجزیه‌وتحلیل خط‌مشی استفاده شود و همچنین می‌تواند برای کمک به طراحی سیاست مدیریت و کنترل استفاده شود. طراحی سیاست مدیریت و کنترل بهینه سیستم با توجه به معیارها و محدودیت‌های معین، هدف نهایی بهینه‌سازی سیستم است. یک مدل شبیه‌سازی برای چنین بهینه‌سازی سیستم ضروری است. داده‌های موردنظر برای مدل جمع‌آوری‌شده است. همچنین آزمایش‌هایی برای ایجاد اطمینان در مدل انجام شد. تست‌های بیشتر برای ایجاد اعتماد در مدل‌های سیستم دینامیک پویا اساساً شامل اعتبار سنجی است. تحلیل حساسیت و تحلیل سیاست بر روی مدل صورت گرفته است. دو مفهوم مهم ایجاد اطمینان در مدل‌های دینامیک سیستم، آزمایش و اعتبارسنجی مدل‌های دینامیک سیستم است. آزمایش به معنای مقایسه یک مدل با واقعیت تجربی برای پذیرش یا رد مدل است و اعتبارسنجی به معنای فرآیند ایجاد اطمینان در

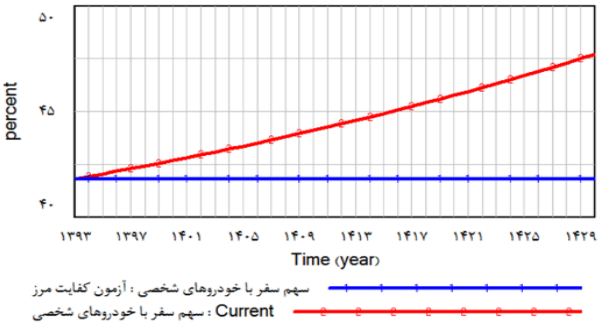
درستی و مفید بودن مدل است. برای ایجاد اطمینان در پیش‌بینی های مدل، راه‌های مختلفی برای اعتبارسنجی یک مدل مانند ساختارهای مدل، مقایسه پیش‌بینی‌های مدل با داده‌های شهر تهران، بررسی اینکه آیا مدل رفتار قابل قبولی ایجاد می‌کند و بررسی کیفیت مقادیر پارامتر در نظر گرفته شد. به‌طورکلی یک دور از اعتبارسنجی ضربدری شامل افراز داده‌ها به دو زیرمجموعه مکمل، انجام تحلیل بر روی یکی از آن زیرمجموعه‌ها و اعتبارسنجی تحلیل با استفاده از داده‌های مجموعه دیگر است (داده‌های اعتبارسنجی یا آزمایش) برای کاهش پراکندگی، عمل اعتبار سنجی چندین بار با افرازهای مختلف انجام و از نتایج اعتبارسنجی‌ها میانگین گرفته می‌شود. در پژوهش مذکور پس از ایجاد نمودار حالت جریان سیستم‌های پویا اتومبیل‌های خودران قبل از استفاده از مدل جهت تحلیل و سناریو پردازی، می‌بایست با استفاده از دو آزمون کفایت مرز و ارزیابی ساختار موردبررسی قرار می‌گیرد.

۳-۳-۲ آزمون کفایت مرز

این آزمون بررسی می‌کند که مفاهیم مهم مرتبط با مسئله، درون مدل در نظر گرفته شده باشند. در این تحقیق، مدل پیشنهادی پس از مرور ادبیات متغیرهای کلیدی مدل را شناسایی کرده است و علاوه بر این، ضرورت و اهمیت متغیرهای اشاره‌شده توسط کارشناسان و خبرگان نیز موردبررسی قرار گرفته است. در جواب این سؤال که آیا رفتار مدل پس از حذف مفروضات مرز، تغییر چشمگیری نشان می‌دهد یا خیر، نتایج حاصل از مدل ارائه‌شده، پس از حذف قسمت‌هایی از مدل و تغییر مرز مدل موردبررسی قرار گرفت. در شکل ۲ و ۳ نمودار مربوط به تأثیر حذف متغیر «جمعیت» نشان داده شده است. با حذف این عامل حجم سفرها همان‌طور که انتظار می‌رود هیچ تغییری نخواهد داشت و در همان مقدار اولیه ثابت خواهد بود.



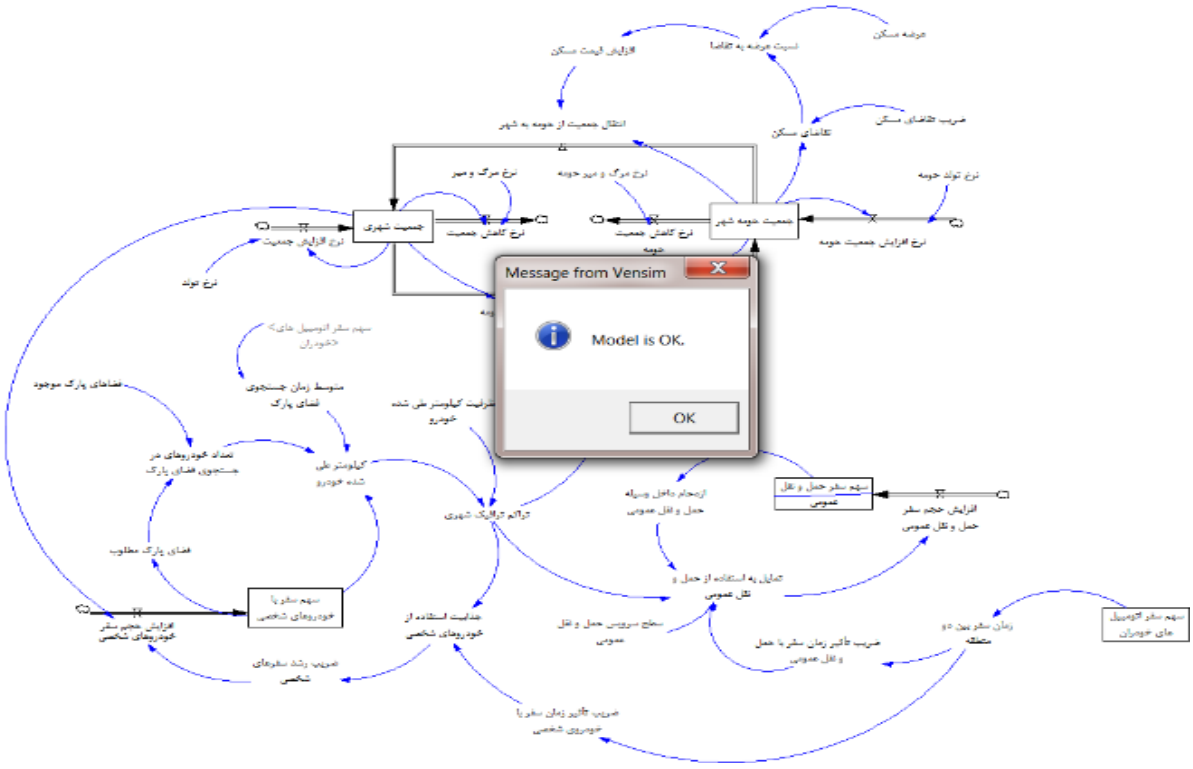
شکل ۲. آزمون کفایت مرز سهم سفر حمل‌ونقل عمومی



شکل ۳. آزمون کفایت مرز سهم سفر با اتومبیل شخصی

۳-۳-۳ آزمون ارزیابی ساختار

هدف از آزمون ارزیابی ساختار، تعیین تطابق ساختار مدل با دانش توصیفی مرتبط با سیستم و بررسی منطقی بودن قواعد تصمیم در شکل‌دهیِ رفتار متغیرها و صحیح بودن ساختار معادلات مدل است. ازآنجاکه در این تحقیق، معادلات مربوط به مدل در محیط نرم‌افزار ونسیم نوشته شده است، صحیح بودن ساختار معادلات مدل توسط نرم‌افزار[۲] تأیید شد.



شکل ٤. آزمون ارزیابی ساختار

٤. تحلیل داده‌ها

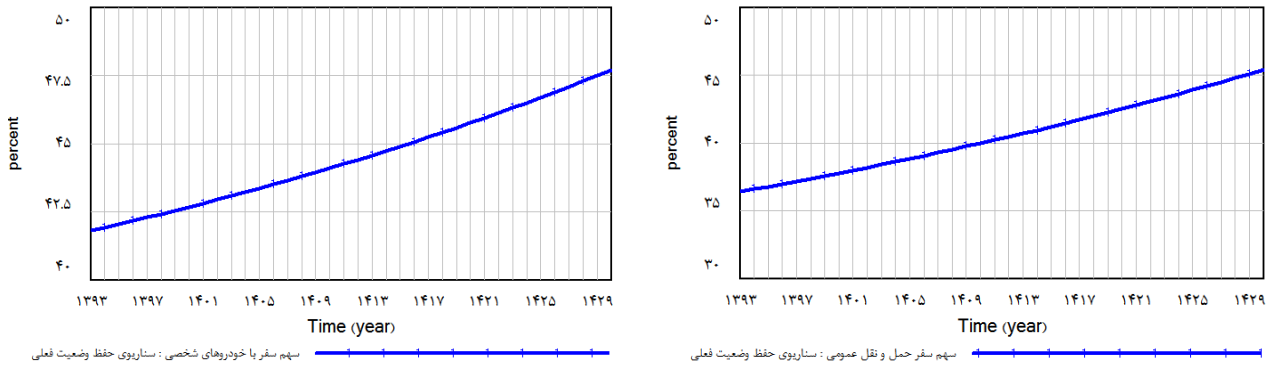
پس از آزمون مدل میزان تغییرات متغیرهای کلیدی تحت سناریوهای مختلف بررسی می‌گردد. مدل‌سازی اتومبیل‌های خودران در تهران شبیه‌سازی شد. هدف از این شبیه‌سازی ایجاد سناریوهای سیاستی برای سیستم هوشمند اتومبیل‌های خودران در تهران بود. عواملی که در اتومبیل‌های خودران موثراند شناسایی و شبیه‌سازی آن‌ها برای مدل انجام شد. شبیه‌سازی از سال ۱۳۹۳ تا سال ۱٤۳۰ بررسی گردید. در این راستا سناریوهای زیر بررسی می‌گردد:

۱- سناریوی حفظ وضعیت فعلی

۲- سناریوی عرضه اتومبیل خودران

۳- سناریو رشد ثابت اتومبیل خودران

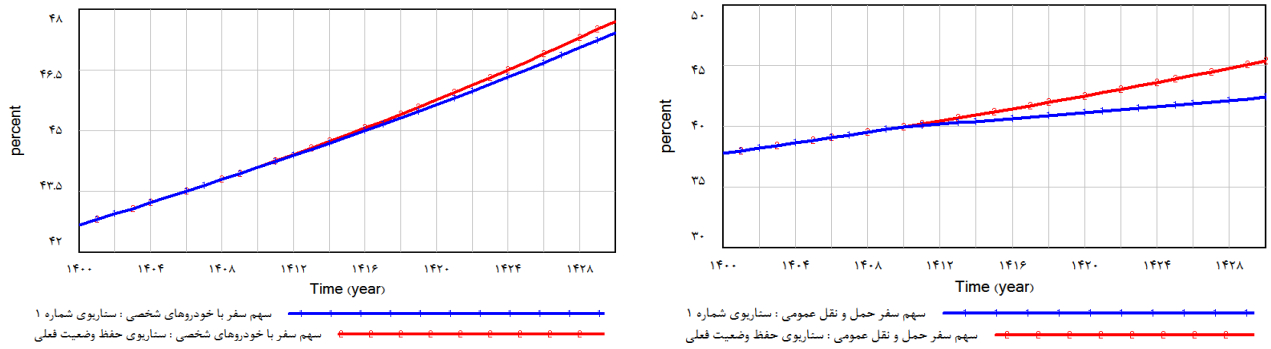
پس از انجام طراحی نمودار حلقه علت و معلولی در سیستم‌های پویا و طراحی ۳ سناریو و تغییرات سهم عرضه اتومبیل‌های خودران در هر سناریو و ورود اطلاعات به بانک اطلاعاتی و تهیه پایگاه داده‌ها، در این بخش به ارائه نتایج حاصل از مدل‌سازی پرداخته شده است. هدف نهایی از این پژوهش ارائه تأثیرات اتومبیل‌های خودران بر روی سهم سفر با حمل‌ونقل عمومی و شخصی ارائه شده است.



شکل ۵. سهم حمل‌ونقل عمومی و اتومبیل شخصی در صورت ادامه وضعیت فعلی

٤-١ نتایج سناریوی حفظ وضعیت فعلی

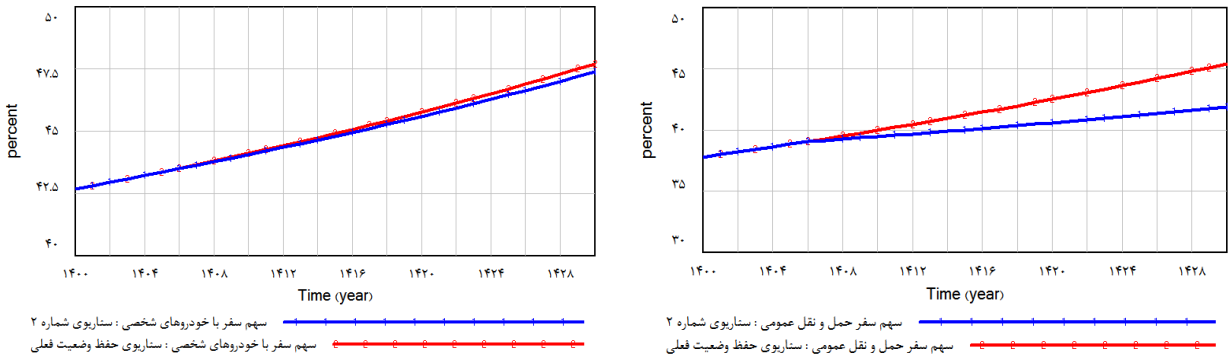
با توجه به عرضه متغیر اتومبیل‌های خودران از سال ١٤١٠ باعث کاهش سهم سفرها با حمل‌ونقل عمومی به‌تدریج از سال ١٤١٠ تا سال ١٤٣٠ که معادل ٤٦ درصد بوده است و این سناریو توانست با توجه کاهش سهم سفر با حمل‌ونقل عمومی سطح سرویس آن را برای خدمات در روز افزایشی کند و از سهم حالت‌های کند در شبکه را کاهش دهد. با توجه به عرضه اتومبیل‌های خودران و ویژگی‌های جذاب که این تکنولوژی جدید دارد مانند تمامی افراد حتی کسانی که گواهینامه ندارند می‌تواند از آن استفاده کنند. اتومبیل‌های خودران در این سناریو باعث اثرگذاری مثبت و کاهش سهم سفر با اتومبیل شخصی در شهر تهران شده‌اند و افراد برای سفرهای خود در ساعات اوج صبح کمتر از اتومبیل شخصی استفاده می‌کنند که به‌تدریج از سال‌های ١٤١٠ تا سال ١٤٣٠ کاهش ٤٧ درصدی همراه بوده است.



شکل ٦. سهم حمل‌ونقل عمومی و اتومبیل شخصی در سناریو ۱

٤-٢ نتایج سناریو رشد اتومبیل خودران

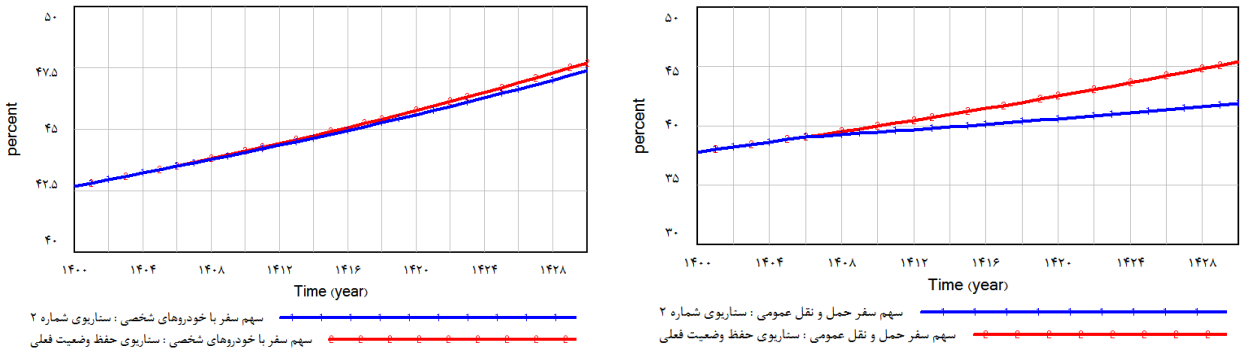
در این سناریو افزایش ثابت عرضه اتومبیل‌های خودران از سال ١٤٠٥ تا سال ١٤٣٠ را داشته است. با توجه به فرضیات اعمال‌شده در مورد اتومبیل‌های خودران باعث شده که زندگی در حومه شهر توسط اتومبیل‌های خودران جذاب‌تر خواهد بود. سفر با اتومبیل‌های خودران راحت‌تر بوده و افراد به همین دلیل سهم سفر با حمل‌ونقل عمومی و شخصی کاهش پیدا کرده است.



شکل ۷. سهم حمل‌ونقل عمومی و اتومبیل شخصی در سناریو ۲

٤-۳ نتایج سناریو رشد ثابت اتومبیل خودران

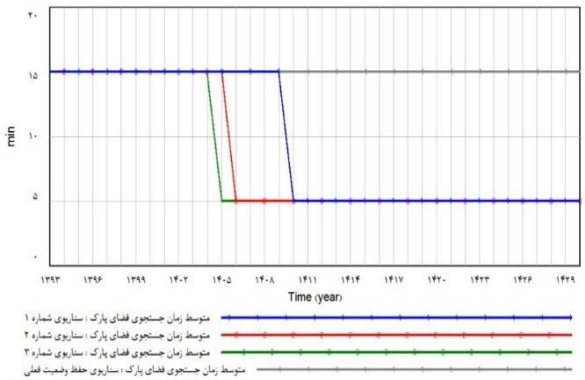
در این سناریو با توجه به رشد ثابت سالانه اتومبیل‌های خودران باعث شده است که سهم سفر با اتومبیل شخصی ٤٨ درصد در سال ١٤٣٠ کاهش یابد. اتومبیل‌های خودران باعث افزایش تعداد سفر در مرکز شهر طی سال‌های ١٤١٠ تا ١٤٣٠ با وجود کاهش ارزش زمان سفر و رفتار سفر برای استفاده سفرهای شخصی در طول روز شده است. در این سناریو اتومبیل‌های خودران باعث کاهش استفاده از حمل‌ونقل عمومی‌شده است.



شکل ۸. سهم حمل‌ونقل عمومی و اتومبیل شخصی در سناریو ۳

٤-٤ نتایج تحلیل سیاست عرضه خودران بر روی جستجو زمان پارک

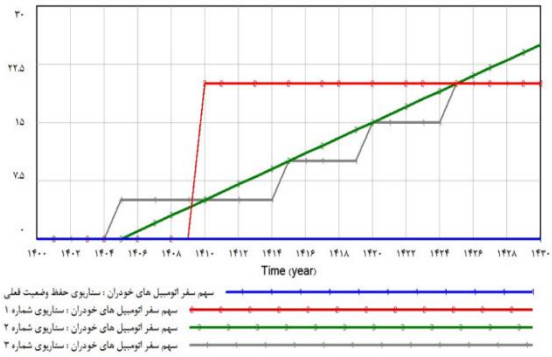
تأثیرات اتومبیل خودران بر روی جستجوی زمان پارک و به دنبال جای پارک طی سال‌های ١٤٠٥ تا ١٤٣٠ آورده شده است. با توجه به سناریو مختلف که طراحی شده است سناریو شماره ١ از سال ١٤١٠ زمان جستجو پارک آن کاهش پیدا کرده است. در سناریو شماره ٢ که عرضه اتومبیل‌های خودران از سال ١٤٠٦ شروع به تغییرات و کاهش زمان جستجو پارک بوده است و سناریو شماره ٣ با توجه به رشد ثابت عرضه اتومبیل‌های خودران در هر سال روبرو بوده است از سال ١٤٠٥ شروع به تغییرات زمان جستجو پارک همراه بوده است. سناریو شماره ١ و ٢ و ٣ در مقایسه با سناریو وضعیت فعلی همراه با کاهش زمان جستجو پارک بوده و اتومبیل‌های خودران در هر ٣ سناریو باعث کاهش زمان فضای جستجو پارک گردیده است. با توجه به تکنولوژی اتومبیل خودران می‌توان در دورتر از مقصد بعد از پیاده کردن مسافر خود به مکان دورتر بروند و پارک کنند این سیستم باعث کاهش تعداد پارکینگ شهری در سال‌های آتی می توانند همراه داشته باشند؛ که در شکل نمودار ۹ نتایج جستجوی فضای زمان پارک مشخص شده است.



شکل ۹. نمودار نتایج زمان جستجوی فضا پارک

٤-٥ نتایج سهم سفر با اتومبیل‌های خودران

با توجه به عرضه‌های مختلف اتومبیل‌های خودران در ۳ سناریو سهم سفر در هر سناریو متفاوت بوده است. سهم سفر با اتومبیل خودران در سناریو شماره ۲ از بقیه سناریو بیشتر بوده و بیشترین تأثیر بر روی رفت سفرهای شهری بوده است. در سناریو ۳ افزایش سالیانه عرضه اتومبیل‌های خودران را داشته است که در سال ۱٤۳۰ به ۲۱ درصد رسیده است. در سناریو ۱ که سهم ۲ درصدی در سال ۱٤۱۰ را داشته در سال ۱٤۳۰ سهم سفر با اتومبیل‌های خودران نزدیک به ۲۲ درصد بوده است.



شکل ۱۰. نمودار نتایج سهم سفر با اتومبیل‌های خودران

۵. نتیجه‌گیری

احتمال دارد در دهه آینده اتومبیل‌های خودران در جاده‌های عمومی ظاهر شوند. آن‌ها به‌عنوان راه‌های بهبود ظرفیت شبکه و قابلیت اطمینان ارتقا می‌یابند و استفاده از اتومبیل را در دسترس طیف وسیع‌تری از افراد قرار می‌دهند و تصادفات را کاهش می دهند. بااین‌حال، چندین محقق پیشنهاد کرده‌اند که می‌توانند منجر به افزایش قابل‌توجهی در استفاده از اتومبیل، با کاهش موازی در راه رفتن، دوچرخه‌سواری و حمل‌ونقل عمومی شوند و این می‌تواند بیشتر از جبران مزایای افزایش ظرفیت و منجر به رشد پراکنده شهری شود. بررسی خود ما از ادبیات و تجزیه‌وتحلیل کیفی با استفاده از نمودار جریان نشان می‌دهد که مهم‌ترین محرک‌های چنین تغییراتی سهم بازار اتومبیل‌های خودران خواهد بود، چه آن‌ها به‌صورت خصوصی در دسترس باشند و چه به‌صورت وسایل نقلیه اشتراکی، میزان افزایش ظرفیت، پتانسیل برای کاهش زمان صرف شده در جستجو پارک و دسترسی، کاهش احتمالی در ارزش اتومبیل در زمان ورود و گسترش در تعداد افرادی که قادر به رانندگی هستند.

اتومبیل‌های خودران در حال تبدیل‌شدن به یک مسئله مهم در زمینه حمل‌ونقل است. اتومبیل خودران بدون دخالت انسان هدایت می‌شوند و وضعیت جاده و ترافیک را خودشان در نظر می‌گیرند. بااین‌حال، برای درک بهتر آن‌ها نیاز به کار بیشتری است. تحقیقات آینده باید بینش بهتری نسبت به گروه‌های جمعیتی اجتماعی که از افزایش دسترسی به علت رانندگی خودکار بهره‌مند می‌شوند، در چارچوب انتخاب‌های مکان مدل‌سازی، مفید واقع شوند. به‌عنوان‌مثال کار کردن در یک ماشین برای همه مشاغل ممکن نیست و به‌ویژه به مدل‌های کاری آینده بستگی دارد؛ که یک بررسی اولویت بیان‌شده در مورد استفاده از اتومبیل‌های خودران نشان می‌دهد و این حتی بدون در نظر گرفتن این مسئله است که الگوهای شتاب اتومبیل‌ها ممکن است توانایی انجام این کار را محدود کند؛ بنابراین، تحقیقات بیشتری برای هزینه‌های سفر عمومی و درک زمان در آینده موردنیاز است، به‌خصوص زمانی که سایر مسافران در اتومبیل هستند (راه‌های اشتراکی) این جنبه‌ها باید در مدل‌های آینده گنجانده شوند. یافته‌های ارائه‌شده در اینجا برای اطلاع‌رسانی به سیاست‌های خودران که در نظر گرفته‌شده بر زمان جستجو پارک و سهم سفرهای روزانه تأثیر می‌گذارند. نتایج

کمتر قابل‌انتقال به پارکینگ و زمان جستجو پارک در مرکز شهر است که مسافران را با اهداف مختلف سفر و مدت‌زمان مختلف پارکینگ جذب می‌کند و آشنایی کمتری با شرایط پارک اتومبیل خودران دارند. به‌طور گسترده‌تر، نتایج مطالعه ما چندین پیامد مهم سیاستی دارد که قابل‌انتقال به طیف گسترده‌ای از زمینه‌ها هستند .اول، زمان جستجو پارک مؤثرترین عامل انتخاب مد سفر است. این دلیل است که افراد به زمان سفر بسیار حساس هستند، بلکه به این دلیل است که سایر ویژگی‌های خودران در مقایسه با اتومبیل معمولی فضای بیشتری برای تغییر دارند. دوم با توجه به عدم رانندگی و در صورت عرضه خودران سطح ۵ فرد موجب می‌شود با توجه به این‌که در طول سفر به کارهای خود برسد از این سیستم برای سفرهای روزانه شهری خود استفاده کند.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. Agent Based-Model

۲. نرم‌افزار ونسیم

۷. مراجع

– گزیده آمار و اطلاعات حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران سال ۱۳۹۷، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک، شهرداری تهران، تهران، ایران.

– نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن، (۱۳۹۵)، مرکز آمار، تهران، ایران.

– Mahpour, A., Ebrahimzadeh, A. (2021). 'Modeling the impact of the autonomous vehicles in residential land-use and population distribution', Quarterly Journal of Transportation Engineering, 13(1), pp. 1283-1297. doi: 10.22119/jte.2021.267258.2512

– Axhausen, K. W., & Polak, J. W. (1991). Choice of parking: stated preference approach. Transportation, 18(1), 59-81.

– De Correia, G. H. A., Looff, E., van Cranenburgh, S., Snelder, M., & van Arem, B. (2019). On the impact of vehicle automation on the value of travel time while performing work and leisure activities in a car: Theoretical insights and results from a stated preference survey. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 119, 359–382.

– Fagnant, D. J. und Kockelmann, K. M. (2013): Preparing a Nation for Autonomous Vehicles:
Opportunities, barriers and Policy Recommendations. Eno Foundation.

– Forrester J W (1973). History of System Dynamics. D-1958, MIT System Dynamics Group Literature Collection.http://collections.systemdynamics.org/jwf/social-dynamics/, Accessed: 5/12/2019.

– Golias, J., Yannis, G., & Harvatis, M. (2002). Off-street parking choice sensitivity. Transportation Planning and Technology, 25(4), 333-348.

– Harb, M., Stathopoulos, A., Shiftan, Y., Walker, J.L., 2021. What do we (Not) know about our future with automated vehicles? Transp. Res. C 123, 102948.

– Harper, C., Hendrickson, C. T., Mangones, S., & Samaras, C., 2016. Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 72, 1–9.

– Innamaa, S., Kuisma, S. 2018. Key performance indicators for assessing the impacts of automation in road transportation. Results on the Trilateral key performance indicator survey. VTT Research report 01054/2018.

– Kowalewski, S. (2014): Überlassen Sie das Parken Ray. Deutschlandradio Kultur. article ID= 290092.

– Mars den, G. (2006). The evidence base for parking policies- a review. Transport policy, 13(6), 447-457

– Moore, M.A., Lavieri, P.S., Dias, F.F., Bhat, C.R., 2020. On investigating the potential effects of private autonomous vehicle use on

home/work relocations and commute times. Transp. Res. C 110, 166–185.
– NHTSA/ US Department of Transportation 2016. Federal Automated Vehicles Policy: accelerating the next revolution in road safety
– Nieuwenhuijsen, J., de Correia, G. H. A., Milakis, D., van Arem, B., & van Daalen, E. (2018). Towards a quantitative method to analyze the long-term innovation diffusion of automated vehicles technology using system dynamics. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 86(May2017), 300 – 327.
– SAE International. (2016). Summary of SAE international's levels of driving automation for on-road vehicle. Global Ground Vehicle Standards, J3016.
– Sterman JD (2000) Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. Irwin McGraw Hill, New York.
– Todd Litman (2017), Presentation to the Canadian Standing Senate Committee on Transport and Communication Concerning Connected and Self-driving Vehicles (http://bit.ly/2u2Grhe).
– Tsamboulas, D. A. (2001). Parking fare thresholds: a policy tool. Transport Policy, 8(2), 115-124.
– Wadud, Z., MacKenzie, D., Leiby, P., 2016. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. Transp. Res. Part A Policy Pract. 86, 1–18.
– Wardman M and Lyons G 2016. The digital revolution and worthwhile use of travel time: Implications for appraisal and forecasting, Transportation, 43, pp. 507-530.
– Yan, X., Levine, J., & Zhao, X. (2018). Integrating ride sourcing services with public transit: An evaluation of traveler responses combining revealed and stated preference data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies.
– Scott Hardman, Debapriya Chakraborty. Gil Tal (2022). Estimating the travel demand impacts of semi-automated vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environmental.

Investigating on the Impact of Autonomous Vehicles Supply on Parking Search Time and its Effect on the Mode Choice Using System Dynamic Model

Alireza Mahpour*, Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
Mohammad Amin Ebrahimzadeh, PhD student in Civil Engineering majoring in Transportation, Islamic Azad University of Science and Research, Tehran, Iran
Fatemeh Askari, MSc in industrial engineering, economic and social systems, Kharazmi University, Karaj, Iran
Abdolreza Ebrahimi, MSc, Civil Engineering, Road and Transportation, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

Abstract

In recent years, research has been conducted on the adoption of autonomous vehicles and the environmental effects of this technology, but on the issue of the effect of utilizing autonomous vehicles on the share of urban vehicles in daily trips (through reducing parking space search time and share of urban vehicles in daily trips) little research has been done. In this research, the effect of autonomous vehicles system on parking space search time and the share of urban vehicles is discussed, and the effect is estimated by defining practical scenarios using a dynamic system model. In this research, after developing a flow diagram and simulating the system using two methods, model validity was evaluated. The model was used to analyze scenarios and estimate variations in important indicators. Based on the model results, the changes in the share of autonomous vehicles in daily trips show that different implementation strategies in utilizing autonomous vehicles and individuals' preferences lead to change in the travel pattern.

Keywords: autonomous vehicles, parking search time, dynamic model, share of vehicles, Tehran