

یک تحلیل عملکرد سفرهای اشتراکی، مطالعه تطبیقی خودروهای خودران

علی رحمانی، کارشناس ارشد، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، ایران
امیررضا ممدوحی (مسئول مکاتبات)، دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، ایران و استاد وابسته
دانشکده مهندسی عمران، زمین‌شناسی و معدن، دانشگاه فنی مونترال، کانادا

E-mail: armamdoohi@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷

چکیده

خودروهای خودران یکی از ابزارهای اصلی در حوزه حمل‌ونقل هو شمند و پایدار هستند که با استفاده از فناوری‌های نو ظهور مانند هوش مصنوعی، دسگرها و سیستم‌های ناوبری پیشرفته، بدون نیاز به راننده انسانی، قادر به حرکت هستند. همین امر باعث ایجاد پتانسیل‌های جدیدی برای بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری و کاهش مشکلات مرتبط با ترافیک می‌شود. یکی از موارد استفاده از خودروهای خودران، عرضه در قالب شیوه سفرهای اشتراکی است که مشابه هر فناوری دیگری، با چالش‌ها و مسائلی مواجه بوده که نیازمند راه‌حل و استراتژی‌های مناسب هستند. در این مطالعه، با بهره‌گیری از شبیه‌سازی خردنگر بخشی از شبکه شهرهای تهران و شیراز، به اثرسنجی حضور خودرو خودران اشتراکی و مقایسه نتایج در دو شبکه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که حضور خودرو خودران اشتراکی در صورت داشتن اشتراک سواری، می‌تواند وسیله کیلومتر طی شده را کاهش و یا اثر کیلومتر طی شده خالی را تعدیل کند. در مقابل، خودرو خودران اشتراکی در صورتی که فاقد اشتراک سواری باشد، وسیله کیلومتر طی شده در شبکه شهرهای تهران و شیراز را به ترتیب تا حداکثر ۲۸ و ۴۱ درصد، نسبت به سناریو پایه افزایش می‌دهد. سرعت متوسط در شبکه، تحت تأثیر سیاست اشتراک، اندازه ناوگان و نرخ نفوذ است. خودرو خودران اشتراکی در صورت داشتن اشتراک سواری، در کمترین اندازه ناوگان فرض شده، سرعت متوسط در شبکه شهرهای تهران و شیراز را به ترتیب تا ۸ و ۲۵ درصد افزایش می‌دهد. این در حالی است که در سناریوهایی که اندازه ناوگان در بیشترین مقدار فرض شده است، خوا سرعت متوسط شبکه را کاهش می‌دهد.

واژگان کلیدی: اشتراک سواری، شبیه‌سازی خودرو خودران اشتراکی، سرعت متوسط، زمان انتظار، وسیله کیلومتر طی شده

۱. مقدمه

(Schmidt, 2021). از نظر دسترسی، اشتراک‌گذاری خودرو در مقابل خودرو شخصی، شاید مطلوبیت کمتری داشته باشد؛ اما با حذف مالکیت، عدم نیاز به زمان جست‌وجوی پارکینگ در مقصد، عدم هزینه نگهداری خودرو و افزایش نرخ اشغال خودرو، طیف وسیعی از مزایا را برای این شیوه سفر متصور می‌سازد (Shaheen et al., 1999). شیوه سفر اشتراکی می‌تواند به کاهش تعداد خودروهای شخصی در شهرها کمک کند و در نتیجه به صرفه‌جویی در انرژی در بخش حمل‌ونقل منجر شود. علاوه بر این، ادغام ناوگان خودروهای اشتراکی با شیوه سفر الکتریکی، می‌تواند سریع‌تر از بخش شخصی انجام شود (Burghard & Scherrer, 2022).

یکی دیگر از شیوه سفرهایی که می‌تواند اثرات مثبتی داشته باشد و انتظار می‌رود چهره شهر را متحول سازد، خودروهای خودران^۱ هستند (Othman, 2022). این شیوه سفر با سطوح مختلف، در تلاش برای کاهش یا حذف کامل انسان به‌عنوان راننده است. سطوح مختلفی از عملکرد خودکار توسط انجمن مهندسیین خودرو تعریف شده است، از عدم وجود ویژگی‌های خودکار (سطح صفر) تا اتوماسیون کامل (سطح ۵) که در آن انسان هیچ نقشی به‌عنوان راننده ندارد (Narayanan et al., 2020). الگوی سنتی حرکت روزانه مسافران، هنگام استفاده از خودروهای خودران تغییر خواهد کرد؛ زیرا این فناوری جدید در مقایسه با وسایل نقلیه معمولی^۲ ویژگی‌های متفاوتی دارد. خودروهای (Hamadneh & Esztergar-Kiss, 2019). خودروهای خودران موجب کاهش تصادفات جاده‌ای، کاهش تراکم ترافیک، کاهش انتشار آلاینده‌ها و کاهش مصرف سوخت شده و کاهش محدودیت‌های حرکتی برای افرادی که به دلایلی مانند کهولت سن یا ناتوانی قادر به رانندگی نیستند را به دنبال دارند (Carteni, 2020). خودروهای خودران بدلیل هزینه بالا به‌احتمال زیاد در ابتدا، در قالب اشتراکی عرضه خواهند شد (Gurumurthy et al., 2019). خودروهای خودران اشتراکی (خوخا)^۳ ادغام دو شیوه سفر اشتراکی و خودران است. از آنجایی

مشکلات فزاینده مربوط به ترافیک، آلودگی و بدتر شدن کیفیت زندگی ساکنان، از مشکلات رایج شهرهای بزرگ در سراسر جهان است. توسعه حمل‌ونقل جاده‌ای که موجب به وجود آمدن ازدحام خودروهای شخصی می‌شود، یکی از منابع اصلی آلودگی محیط‌زیست، آلودگی صوتی و همچنین یکی از دلایل اصلی مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر است (Urbanek, 2021). این در حالی است که حمل‌ونقل سریع‌ترین رشد را به‌عنوان تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای دارد (Hao et al., 2016) و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ تقاضا برای حمل‌ونقل دو برابر شود (Boddapati et al., 2022). مشخص است، کاهش استفاده از خودرو شخصی، گامی ضروری برای کاهش تولید انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی است (Silvestri et al., 2022) اما فقط استفاده از خودروهایی که از لحاظ زیست‌محیطی پاک محسوب می‌شوند، مانند خودروهای الکتریکی، به تنهایی قادر به حل مسائل حمل‌ونقل نیستند؛ بخصوص در شهرهای بزرگ که خودروها فضای زیادی را اشغال می‌کنند و مشکلاتی را در زمینه کیفیت هوا، صدا و ایمنی به وجود آورده‌اند. بنابراین، تعداد و میزان استفاده از خودروهای شخصی، باید کاهش یابد و برای دستیابی به یک انتقال حرکتی پایدار، معرفی شیوه کارآمدتر، ضروری است (Burghard & Scherrer, 2022). با تفکیک دو مفهوم مالکیت و استفاده از خودرو، می‌توان شیوه سفری جدید، تحت عنوان شیوه سفرهای اشتراکی، معرفی کرد (Shaheen et al., 1999). شیوه سفر اشتراکی، یک استراتژی نوآورانه در حوزه حمل‌ونقل است که به کاربران امکان می‌دهد تا به‌صورت موقت و بر اساس نیاز به وسایل حمل‌ونقل دسترسی پیدا کنند (Shaheen et al., 2020). انقلاب دیجیتال، امکان توسعه و اجرای انواع مختلفی از خدمات اشتراک‌گذاری خودرو و خدمات اشتراک‌گذاری سفر را فراهم کرده است که بدون هزینه و مسئولیت‌های مرتبط با مالکیت خودرو، دستیابی به امکانات خودرو را فراهم می‌کند

آن‌ها دخیل هستند. این مؤلفه‌ها نحوه ارزیابی سیستم و همچنین فرض‌های موردنیاز را تعیین می‌کنند. اجزای اصلی مدل سازی، به شرح زیر هستند: (الف) تقاضا، (ب) ناوگان، (ج) تعیین مسیر ترافیک، (د) تعیین مسیر وسیله نقلیه، (ه) توزیع مجدد وسیله نقلیه، (و) قیمت‌گذاری، (ز) شارژ و (ح) پارکینگ (Narayanan et al., 2020). هرچند شیوه سفرهای اشتراکی با تخصیص یک خودرو به چند سفر که دارای مبدأ و مقصد یکسان هستند و در یک‌زمان انجام می‌شوند، تعداد خودروهای حاضر در شبکه را کاهش می‌دهند (Caulfield, 2009) و همین امر می‌تواند تأثیرات مثبتی بر شبکه بگذارد؛ اما مدل‌های سیستم حمل‌ونقل که شامل خوفا هستند، دارای پارامترهای تأثیرگذار فراوان بوده و مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها در آن‌ها دخیل هستند. این مؤلفه‌ها، نحوه ارزیابی سیستم و همچنین فرض‌های موردنیاز را تعیین می‌کنند. به همین دلیل، مطالعات انجام‌شده در بعضی موارد، به نتایج متفاوت ختم شده‌اند. در ارتباط با تأثیر خوفا بر میزان ازدحام ترافیک، نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در صورت در نظر گرفتن سرویس اشتراک خودرو برای خوفا، حضور این شیوه سفر می‌تواند باعث افزایش ازدحام شود (Alam & Habib, 2018) در مقابل، فرض سرویس اشتراک سواری برای خوفا، میزان ترافیک در شبکه را کاهش می‌دهد (Martinez & Viegas, 2017). در ارتباط با تأثیر خوفا بر طول سفر، چیلدرس^۵ و هم‌کاران (Childress et al., 2015) یک مدل مبتنی بر عامل را توسعه دادند و چهار سناریو را برای سیاتل، ایالات متحده آمریکا آزمایش کردند. نتایج نشان‌دهنده افزایش جزئی در طول سفر است؛ به‌جز یک سناریو که در آن هزینه عملیاتی خوفا، به نسبت سایر سناریوها زیاد در نظر گرفته شده است. تخمین زده می‌شود خودروهای خودران ۸۰ درصد تصادفات را کاهش دهند (Keeney, Tasha, 2017). مدیریت بزرگراه‌های فدرال^۶ تخمین می‌زند که ۶۰ درصد ازدحام ترافیک، مربوط به منابع غیرمعمول مانند تصادفات و

که مقدار قابل توجهی از هزینه‌های عملیاتی تاکسی، از قبیل راننده حذف می‌شود؛ خوفا می‌تواند خدماتی را با هزینه‌های قابل‌مقایسه با خودرو شخصی ارائه دهد (Levin et al., 2017). خوفا با ارائه خدمات دربه‌در^۷، بهره‌گیری از سوخت‌های پاک، افزایش نرخ سرنشین خودرو و افزایش ایمنی، می‌تواند این تصور را به وجود بیاورد که خوفا مهره گم‌شده سیستم حمل‌ونقل است (Kolarova et al., 2019). خوفا به‌عنوان یک شیوه سفر نوین، توسط مطالعات گوناگونی در ابعاد مختلف، از مبانی پذیرش (Cugurullo & Acheampong, 2023; Miller et al., 2022) گرفته تا اثر سنجی حضور خوفا بر پارامترهای گوناگون ترافیکی (Matalqah et al., 2022; Rahmani & Mamdoohi, 2023) بررسی شده است. پارامترهای فراوانی بر عملکرد خوفا اثرگذار است؛ همین امر باعث شده است که مطالعات در بعضی موارد به نتایجی در تضاد باهم برسند (Narayanan et al., 2020). هدف از این مطالعه، اثر سنجی حضور خوفا با فرض‌های یکسان در دو شبکه متفاوت و با داده‌های متفاوت است که در واقع، امکان انجام مقایسه را فراهم می‌سازد.

۲. ادبیات پژوهش

وسایل نقلیه خودران به احتمال زیاد در آینده معرفی خواهند شد و اولین کاربرد آن‌ها، در سرویس‌های حمل‌ونقل اشتراکی خواهد بود. با این حال، هنوز مشخص نیست که چه زمانی این اتفاق خواهد افتاد و چه تأثیراتی بر سیستم حمل‌ونقل خواهد داشت (Narayanan et al., 2020). ایده وسایل نقلیه خودران بیش از ۱۰۰ سال قدمت دارد. اولین تلاش برای ساخت چنین وسیله نقلیه‌ای در سال ۱۹۲۵ انجام شد (Kim et al., 2023). خودرویی که توسط رادیو کنترل و بدون راننده حرکت می‌کرد. تلاش‌های فراوانی برای اثر سنجی خوفا در نقاط مختلف جهان با رویکردهای متفاوت صورت گرفته است. اما مدل‌های سیستم حمل‌ونقل که شامل خوفا هستند به‌طور ذاتی پیچیده بوده و مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها در

۳. روش پژوهش

۱-۳ پیکربندی مدل

برای بهبود وضعیت ترافیک، یک مدل معتبر نقشی اساسی دارد. برخلاف باور عموم، سفر را صرفاً بر اساس زمان حرکت، مسیر و زمان سفر، نمی‌توان توصیف کرد. عامل تاثیر گذار بر ترافیک، رفتار سفر است. بنابراین زمان سفر یا مسیر انتخابی قطعی قابل پیش‌بینی نیست. ترافیک یک سیستم پیچیده است که تحت تأثیر عوامل زیادی، از جمله رفتار رانندگان، آب‌وهوا و وضعیت جاده‌ها قرار دارد. می‌توان از مدل‌های ریاضی برای مدل‌سازی برخی از این عوامل استفاده کرد؛ اما این مدل‌ها نمی‌توانند پیچیدگی کامل ترافیک را در نظر بگیرند. در نتیجه، شبیه‌سازی تنها راه برای دست آوردن یک تصویر دقیق از نحوه جریان ترافیک در یک شبکه حمل‌ونقل است (Krajzewicz et al., 2002).

در این مطالعه از نرم‌افزار SUMO^۹ استفاده می‌شود که در واقع، یک نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک خردنگر^{۱۰}، پیوسته و چندوجهی^{۱۱} است که می‌تواند ترافیک را در شبکه‌های بزرگ‌تر از یک شهر، مانند شبکه‌های بزرگراهی، مدل کند (Krajzewicz et al., n.d.; Lücken et al., 2019).

در صنعت حمل‌ونقل، امروزه از سه نوع مدل شبیه‌سازی استفاده می‌شود: خردنگر، میان‌نگر^{۱۲} و کلان‌نگر^{۱۳}، که در شکل ۱ مشاهده می‌شود (Istikomah, 2014). مدل‌های خردنگر برای مدل‌سازی رفتار وسایل نقلیه استفاده می‌شود. آن‌ها حرکات هر وسیله نقلیه را به‌طور دقیق، از جمله سرعت، شتاب و موقعیت آن، ردیابی می‌کنند. این امر آن‌ها را از مدل‌های ماکروسکوپی دقیق‌تر می‌کند، اما دارای هزینه بیشتری هستند (Krajzewicz et al., 2002). مدل‌های کلان‌نگر جریان ترافیک را در شبکه‌های حمل‌ونقل بزرگ، مانند بزرگراه‌ها و کریدورها شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها، سرعت، جریان، و تراکم ترافیک را در نظر می‌گیرند؛ اما تعاملات بین وسایل نقلیه را در نظر نمی‌گیرند (Istikomah 2014). مدل‌های میان‌نگر،

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال شانزدهم / شماره سوم (۶۴) / بهار ۱۴۰۴

سایر حوادث جاده‌ای است که نشان می‌دهد یک ناوگان ایمن‌تر و هماهنگ‌تر می‌تواند تأخیر را کاهش داده و قابلیت اطمینان شبکه را بالا ببرد (FHWA, 2011). خودروهای خودران پتانسیل افزایش ظرفیت جاده را دارند. تینتراکول^{۱۴} و همکاران، تخمین می‌زنند که ظرفیت بزرگراه را می‌توان با حسگرهای وسایل نقلیه ۴۳ درصد و تا ۲۷۳ درصد با ارتباط وسیله‌نقلیه به وسیله‌نقلیه^{۱۵} افزایش داد (Tientrakool et al., 2011).

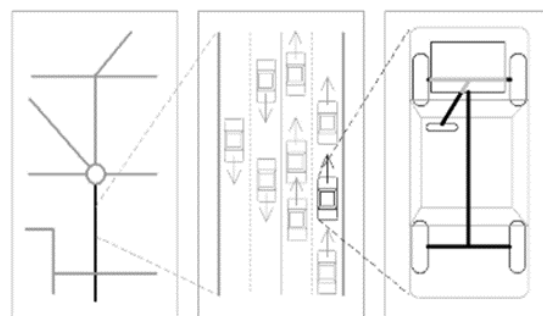
انتظار می‌رود خوفا وسیله کیلومتر طی شده را افزایش دهد (Shatanawi & Mészáros, 2022). دلیل اصلی این پدیده را می‌توان ایجاد وسیله کیلومتر طی شده خالی دانست (Narayanan et al., 2020)؛ هرچند اشتراک سواری تا حد قابل قبولی می‌تواند آن‌را کاهش دهد (Rahmani & Mamdoohi, 2023) و با مسیریابی می‌توان بدون افزایش میزان ازدحام ترافیک، وسیله کیلومتر طی شده خالی را هدایت کرد (Rossi et al., 2018).

مطالعات زیادی اثر حضور خوفا در شبکه را در ابعاد مختلف بررسی کرده‌اند که وجود فرض‌های متفاوت، امکان مقایسه نتایج را دشوار کرده است. نتایجی که در بعضی موارد، متناقض هستند. در این مطالعه سعی می‌شود با در نظر گرفتن سناریوهای یک‌سان، اثر خوفا در دو شبکه متفاوت، بررسی و نتایج قیاس شود. علاوه بر این، سرعت متوسط در شبکه که به‌عنوان یکی از سه پارامتر اصلی ترافیکی، ابزار مهمی برای بازتاب وضعیت ترافیک است و به‌تدریج به یکی از اجزای اصلی پیش‌بینی ترافیک تبدیل شده است (Hu et al., 2021a)؛ درحالی‌که در مطالعات گذشته، توجه کمتری به تأثیر خوفا بر سرعت متوسط شبکه شده است. در این مطالعه سعی می‌شود با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف اندازه ناوگان، سیاست اشتراک، تأثیر خوفا بر سرعت متوسط شبکه در نرخ نفوذهای متفاوت بررسی شود.

ترکیبی از مدل‌های شبیه‌سازی خردنگر و کلان‌نگر هستند. این مدل‌ها حرکات و سایل نقلیه در شبکه را شبیه‌سازی می‌کنند اما تعاملات آن‌ها را در سطح کلی (کلان‌نگر) توصیف می‌کنند. به بیان ساده‌تر، مدل‌های میان‌نگر، دقیق‌تر از مدل‌های کلان‌نگر هستند؛ زیرا حرکات فردی وسایل نقلیه را در نظر می‌گیرند. با این حال، آن‌ها هنوز هم نسبت به مدل‌های خردنگر ساده‌تر هستند؛ زیرا نیازی به ردیابی حرکات هر وسیله نقلیه به‌طور دقیق ندارند (Bieker-Walz et al. 2017; Istikomah 2014).

۳-۱-۱ مدل‌های رفتار رانندگی

رانندگی، بعد از راه رفتن، صحبت کردن و غذا خوردن، شایع‌ترین مهارت اجرا شده در جهان امروز و به احتمال زیاد، چالش برانگیزترین مهارت است. انسان‌ها سالانه ساعات زیادی را به رانندگی با خودرو شخصی اختصاص می‌دهند که نسبت به سایر شیوه‌های حمل‌ونقل، از آماری بی‌نظیر برخوردار است. با این حال، حتی با افزایش مطالعات انجام‌شده بر ترافیک، ما از آنچه در وظیفه رانندگی دخیل است، هنوز درک به نسبت کمی داریم. (Rothery, 1992).



شکل ۱. سطوح‌های مختلف شبیه‌سازی الف: خردنگر ب: میان‌نگر ج: کلان‌نگر (Krajzewicz et al., 2002)

۳-۱-۲ مدل تعقیب خودرو^{۱۴}

فرض کنید خودروی X در یک اتوبان در حال رانندگی است و یک خودروی دیگر جلوی آن در حال حرکت است. خودرو X می‌خواهد فاصله ایمن بین خود و خودروی پیشرو را حفظ کند. اگر خودروی پیشرو، سرعت خود را افزایش دهد، خودرو X نیز

باید سرعت خود را افزایش دهد تا فاصله ایمن حفظ شود. اگر خودروی پیشرو سرعت خود را کاهش دهد، خودرو X نیز باید سرعت خود را کاهش دهد تا از برخورد با خودروی پیشرو جلوگیری کند. این همان چیزی است که مدل‌های تعقیب خودرو انجام می‌دهند. این مدل‌ها نحوه حرکت خودروها در پشت سر هم را در شرایط ترافیکی شبیه‌سازی می‌کنند. آن‌ها عواملی مانند فاصله بین خودروها، سرعت خودروها و واکنش خودروها به تغییرات سرعت خودروی پیشرو را در نظر می‌گیرند (Ahmed et al., 2021). تقریباً همه نظریه‌های تعقیب خودرو، همان‌طور که در رابطه ۱ نشان داده‌شده، بر این فرض استوار هستند که حرکت وسیله نقلیه ۱ به‌طور انحصاری توسط حرکت وسیله نقلیه پیشرو $i+1$ کنترل می‌شود.

$$\frac{dv_i(t)}{dt} = f(v_{i+1}(t), x_{i+1}(t) - x_i(t), \tau, \dots) \quad (1)$$

که در آن τ زمان واکنش، v_{i+1} و x_{i+1} به ترتیب سرعت و موقعیت خودرو پیشرو $i+1$ است.

از آنجایی که یک حالت پایدار به‌طور آشکار نیاز دارد که سرعت همه وسایل نقلیه برابر باشد (در غیر این صورت آن‌ها برخورد می‌کنند)، به نظر می‌رسد این فرض طبیعی است که سرعت مطلوب یک خودرو، برابر با سرعت خودرویی باشد که آن را دنبال می‌کند (Krauss, 1998). مدل‌های تعقیب خودرو گوناگونی تعمیم یافته است که در این مطالعه از دو مدل کراوس و ACC استفاده می‌شود:

مدل کراوس^{۱۵}: این مدل در سال ۱۹۹۷ بر مبنای سرعت ایمن خودرو تعقیب‌کننده ایجاد شده است که با انجام اصلاحاتی، به‌عنوان مدل پیش‌فرض SUMO شناخته شده است. مدل اصلاح‌شده، برخلاف مدل اولیه، تفاوت‌های بین قابلیت‌های کاهش سرعت وسایل نقلیه و قانون به‌روزرسانی موقعیت بالاستیک^{۱۶} را در نظر می‌گیرد.

مدل ACC^{۱۷}: سیستم‌های پیشرفته کمک‌راننده^{۱۸} برای افزایش ایمنی و راحتی رانندگی طراحی شده‌اند. یکی از این سیستم‌ها، کروز کنترل تطبیقی (ACC) است که به وسیله نقلیه اجازه می‌دهد

(Krajzewicz et al. 2002; Milanés and Shladover 2014).

در این مطالعه از مدل کراوس برای خودرو معمولی و از مدل ACC برای خوفا استفاده می‌شود که پارامترهای مدل در جدول ۱ ذکر شده است. لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت‌های موجود و عدم امکان کالیبراسیون پارامترها، در این مطالعه از مقادیر پیش فرض نرم افزار SUMO استفاده می‌شود.

جدول ۱. مقدار پارامترهای فرض شده در مدل‌های شبیه‌سازی به تفکیک شیوه سفر خوفا و خودرو شخصی

ردیف	نماد متغیر	تعریف پارامتر (واحد)	خوفا	شیوه سفر شخصی
۱	carFollowModel	مدل تعقیب خودرو	ACC	kruss
۲	accel	قابلیت شتاب افزایشی (m/s ²)	N*[۲, ۰/۷۵]; (۱, ۱/۵)	۶/۲
۳	decel	قابلیت شتاب کاهش (m/s ²)	N[۴, ۲]; (۱, ۳)	۵/۴
۴	emergencyDecel	حداکثر کاهش شتاب فیزیکی ممکن (m/s ²)	۹	۹
۵	sigma	نقص راننده (صفر نشان‌دهنده رانندگی بدون نقص است)	۰	۵/۰
۶	tau	حداقل سرفاصله زمانی مطلوب راننده (s)	N[۱/۳, ۱/۱]; (۰/۱, ۱/۲)	۱
۷	minGap	جای خالی بعد از خودرو پیشگام (m)	۵/۰	۵/۲

*توزیع نرمال [<min>, <max>]; [<mean>, <std>]

(Mintsis, 2015) و از همین مدل به صورت اصلاح شده (2018) برای خوفا استفاده می‌شود.

۲-۳ شبکه و داده تقاضا

این مطالعه روی بخشی از شبکه (در این مطالعه منظور از شبکه، شبکه سیستم حمل و نقل است) منطقه ۲ تهران و بخشی از شبکه شهر شیراز انجام شده است. برای ورود این شبکه از پایگاه داده ی openstreetmap استفاده می‌شود. شکل ۲ و ۳، شبکه محدوده مورد مطالعه شهرهای شیراز و تهران را نشان می‌دهند. شبکه مورد مطالعه شیراز از ۱۰،۱۲۲ گره^{۳۳} و ۱۹،۳۵۸ لبه^{۳۴} و شبکه محدوده مورد مطالعه شهر تهران از ۳،۳۴۳ گره و ۶،۲۵۴ لبه تشکیل شده است. در شبکه تهران تعداد سفرهای شبیه‌سازی شده ۶،۵۰۰ است که در بازه ۲۵ دقیقه وارد شبکه می‌شوند.

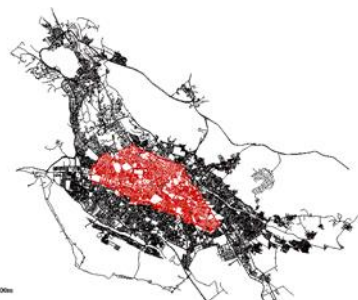
۳-۱-۳ مدل تغییر خط^{۳۵}

یکی از اجزای اصلی مدل‌سازی رفتار خردنگر خودرو، رفتار تغییر خط در جاده‌های چند خطه است. در واقع مدل‌های تغییر خط، انتخاب خط در جاده‌های چند خطه و تنظیم سرعت مربوط به تغییر خط را تعیین می‌کنند (Erdmann, 2015). نرم افزار SUMO به طور پیش فرض از مدل تغییر خط LC2013 استفاده می‌کند که دو هدف اصلی را برآورده می‌کند: این مدل تصمیم تغییر یک وسیله نقلیه را در یک گام شبیه‌سازی بر اساس مسیر وسیله نقلیه و شرایط ترافیکی در محیط اطراف خودرو بررسی می‌کند. علاوه بر این، تغییرات سرعت خود خودرو و وسایل نقلیه مانع، که اجرای موفقیت‌آمیز مانور تغییر مسیر مورد نظر را تحت تأثیر قرار می‌دهند، محاسبه می‌کند (Erdmann, 2015). در این مطالعه برای خودرو شخصی از مدل تغییر خط LC2013 به صورت پیش فرض (Erdmann,

یک تحلیل عملکرد سفرهای اشتراکی، مطالعه تطبیقی خودروهای خودران

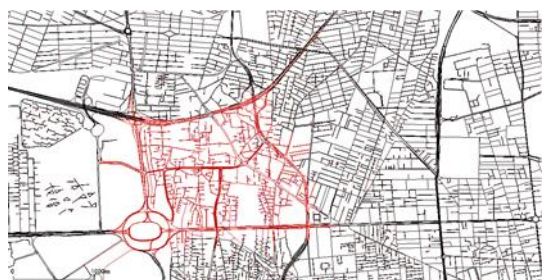


ب: شبکه مورد مطالعه شهر شیراز



الف: شبکه شهر شیراز

شکل ۲. شبکه حمل و نقل شهر شیراز الف: نمای کلی شبکه شهر شیراز ب: بخشی از این شبکه به عنوان محدوده مورد مطالعه



ب: بخشی از شبکه منطقه دو شهرداری تهران



الف: شبکه شهر تهران

شکل ۳. شبکه حمل و نقل شهر تهران الف: نمای کلی شهر تهران و ب: بخشی از این شبکه به عنوان محدوده مورد مطالعه

جدول ۲. سناریوهای در نظر گرفته شده در این مطالعه

سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	
سیاست اشتراک	سیاست انحصاری	سیاست انحصاری دوکاربر	-	-
اندازه ناوگان	۱۲	۹	۶	۳
نرخ نفوذ (%)	۳۰	۷۰	۱۰۰	-

سیاست اشتراک بیانگر نحوه به اشتراک گذاری خودرو است که:

۱. سیاست انحصاری: در این سناریو تخصیص خوفا بر اساس زمان رزرو کاربر است. بعبارتی دیگر اولین خوفا در دسترس، به کاربری که زودتر درخواست داده است، تخصیص داده می شود. در این سناریو یک خوفا بصورت همزمان، تنها به یک تقاضا پاسخ می دهد (خوفا فاقد اشتراک سواری است).

۲. سیاست انحصاری دو کاربر: شبیه سناریو انحصاری، با این تفاوت که خوفا در هنگام سرویس دادن به کاربر اول، در صورت وجود درخواست دوم با مبدا و مقصد نزدیک به

سفرهای شبیه سازی شده به صورت تصادفی ایجاد شده اند که فاصله زمانی بین ورود به شبکه دارای توزیع نمایی است. برای شهر شیراز، از داده مطالعات جامع شهر شیراز استفاده می شود که در سال ۱۳۹۴ آمارگیری و برای سال ۱۴۰۱ تعمیم یافته است. محدوده مورد مطالعه شامل ۱۷۱ ناحیه ترافیکی است؛ اما برای ایجاد ازدحام سفرهای انجام شده و همچنین امکان پذیر بودن زمان اجرای شبیه سازی، نواحی اطراف محدوده مورد مطالعه ساده شده است. تعداد سفرهای شبیه سازی شده با اعمال ضریب سرنشین ۱/۶، برابر ۳۰۳۸۶ سفر است که در ساعت اوج صبح (۷ تا ۸) انجام شده اند (منظور از سفر در این مطالعه خودرو-سفر است).

۳-۳ سناریوهای شبیه سازی

این مطالعه بر اساس سیاست اشتراک، اندازه ناوگان و نرخ نفوذ سناریوسازی شده است که در جدول ۲ مشاهده می شود.

انجام می‌شود که به ازای هر ۶ سفر یک خوفا (جمعا ۵ خوفا) در شبکه تعریف می‌شود.

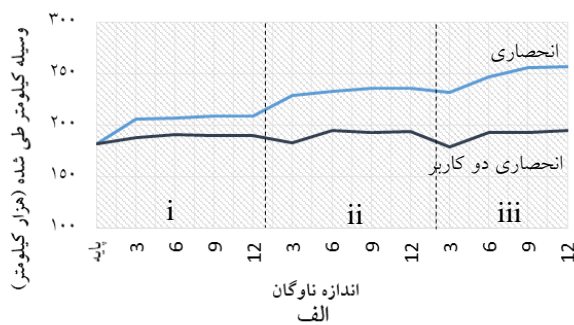
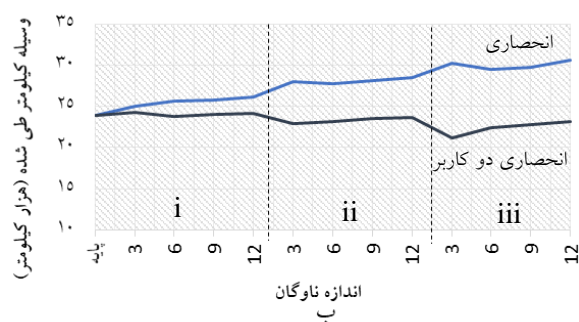
۴. تحلیل نتایج مدل

هدف از این مطالعه انجام یک مقایسه کمی از حضور خوفا در شبکه شهرهای شیراز و تهران است.

یکی از شاخص‌های پراهمیت در ادبیات حمل‌ونقل، وسیله کیلومتر طی شده است که در مطالعات ایمنی، برنامه‌ریزی شهری، مدیریت ترافیک و زیرساخت‌ها، تدوین سیاست‌های منطقه‌ای و برنامه‌ریزی کاربری زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند معیاری از میزان تراکم، انتشار و میزان استفاده از خودرو باشد (Liu et al., 2017; Treiber et al., 2010).

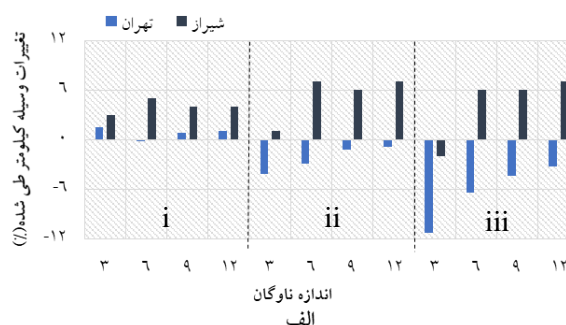
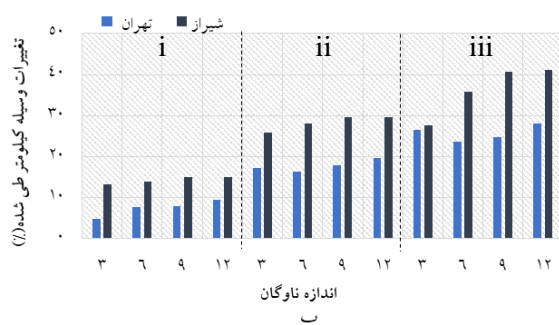
کاربر اول، به کاربر دوم هم سرویس می‌دهد. در این سناریو، هر خوفا به صورت همزمان، تنها به ۲ تقاضا می‌تواند پاسخ دهد (خوفا دارای اشتراک سواری است).

مطالعات نشان می‌دهد هر خوفا می‌تواند جایگزین ۳ تا ۱۲ خودرو شخصی شود (Narayanan et al., 2020). در این مطالعه، میزان جایگزینی خوفا با خودرو شخصی با چهار مقدار ۳، ۶، ۹ و ۱۲ بررسی شده است. به‌عنوان مثال، اندازه ناوگان ۱۲ به این معنا است که به ازای هر ۱۲ سفری که فرض می‌شود با خوفا انجام می‌شود، یک خوفا در شبکه تعریف می‌شود. این توصیف در سناریوهای نرخ نفوذ نیز برقرار است. یعنی عدد ۳۰ نشان می‌دهد که ۳۰ درصد از کل سفرها با خوفا انجام می‌شود. به‌عنوان مثال اگر ۹۰ سفر در یک شبکه وجود داشته باشد، نرخ نفوذ ۳۰ درصد و اندازه ناوگان ۶ بیان می‌کند که ۳۰ سفر با خوفا



شکل ۴. وسیله کیلومتر طی شده کل در محدوده‌های مورد مطالعه الف: شهر شیراز و ب: شهر تهران به تفکیک سیاست اشتراک گذاری و

اندازه ناوگان در نرخ نفوذ: (i) ۳۰، (ii) ۷۰ و (iii) ۱۰۰ درصد



شکل ۵. درصد تغییرات وسیله کیلومتر طی شده در سیاست اشتراک گذاری الف: انحصاری دو کاربر و ب: انحصاری به تفکیک محدوده‌های

مورد مطالعه و اندازه ناوگان در نرخ نفوذ: (i) ۳۰، (ii) ۷۰ و (iii) ۱۰۰ درصد

هرچند به دلیل تعداد سفرهای بیشتر در شهر شیراز، وسیله کیلومتر طی شده کل بیشتر است، اما این اثر در هر دو محدوده فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل/ سال شانزدهم/ شماره سوم (۶۴)/ بهار ۱۴۰۴

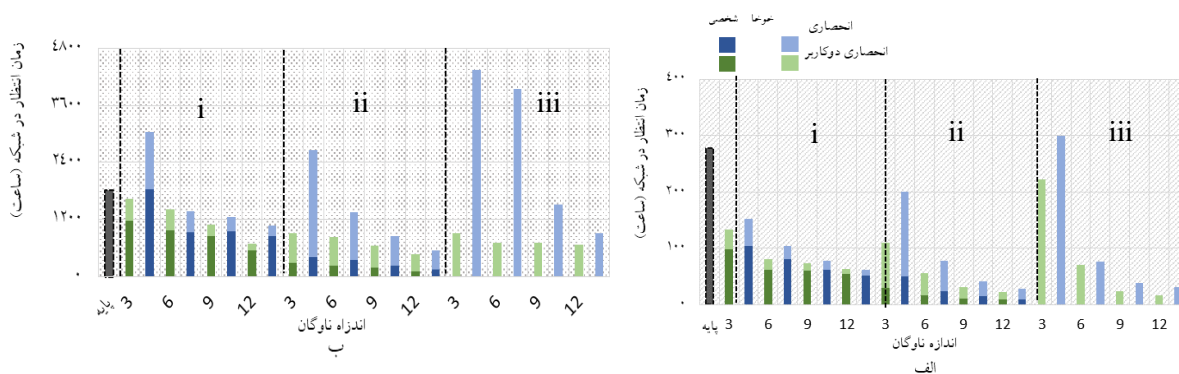
همان‌طور که در شکل ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، حضور خوفا می‌تواند افزایش وسیله کیلومتر طی شده را به دنبال داشته باشد.

یک تحلیل عملکرد سفرهای اشتراکی، مطالعه تطبیقی خودروهای خودران

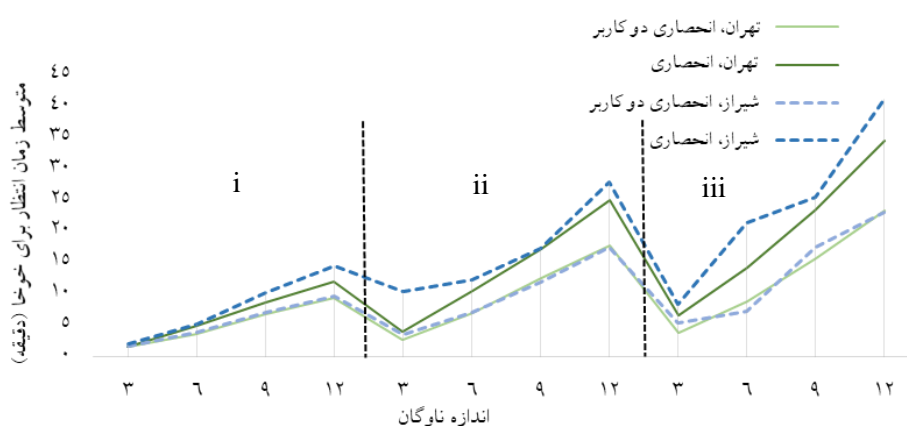
داده است. در سناریوهایی که خوفا دارای اشتراک سواری است، این کاهش پرننگ‌تر است. این روند در هر دو محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود؛ به طوری که در شهر شیراز، سناریو انحصاری دو کاربر، در نرخ نفوذ ۷۰ درصد و اندازه ناوگان ۶، زمان انتظار در شبکه را حدود ۵۴ درصد نسبت به سناریو پایه کاهش می‌دهد. این عدد برای شهر تهران در سناریو مشابه به ۸۰ درصد می‌رسد. افزایش ناوگان با افزایش ازدحام، اثر سویی بر زمان انتظار در شبکه دارد. هرچند در مقابل، زمان انتظار برای خوفا را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، در نرخ نفوذ ۷۰ درصد و سیاست اشتراک انحصاری دو کاربر، اندازه ناوگان ۱۲ نسبت به اندازه ناوگان ۳، میزان زمان انتظار در شبکه شهر شیراز را حدود ۴۹ درصد کاهش می‌دهد. اما در مقابل زمان انتظار برای خوفا تقریباً ۴۱۰ درصد افزایش می‌یابد.

موردنظر صدق می‌کند. میزان این افزایش در سناریو انحصاری که خوفا فاقد اشتراک سواری است بیشتر است؛ به طوری که در نرخ نفوذ ۱۰۰ درصد و اندازه ناوگان به ازای هر ۱۲ سفر یک خوفا، میزان این افزایش در شهر شیراز به حدود ۴۱ درصد و در شهر تهران به ۲۸ درصد می‌رسد. دلیل آن را می‌توان در مفهوم اشتراک سواری جست‌وجو کرد. در سناریو انحصاری، یک خوفا به صورت هم‌زمان نمی‌تواند به تقاضای بیش از یک کاربر پاسخ دهد. به همین دلیل بعد از سرویس به کاربر اول، خوفا برای سوار کردن کاربر دوم، باید مسافتی را طی کند که همین امر موجب کیلومتر طی شده خالی بیشتری می‌شود. در محدوده مورد مطالعه شهر تهران، سیاست انحصاری دو کاربر، در بیشتر سناریوها، وسیله کیلومتر طی شده را کاهش داده است. این در حالی است که در شهر شیراز، با وجود اینکه نسبت به حالت انحصاری میزان افزایش کمتر است، اما همچنان روند افزایشی وسیله کیلومتر طی شده ادامه دارد و فقط در یک سناریو نسبت به سناریو پایه کاهش مشاهده می‌شود. این پدیده نشان‌دهنده وجود پتانسیل بیشتری برای اشتراک سواری در محدوده مورد مطالعه شهر تهران است. در سیاست اشتراک انحصاری افزایش نرخ نفوذ ارتباط مستقیمی با افزایش وسیله کیلومتر طی شده دارد. با افزایش ناوگان، وسیله کیلومتر طی شده خالی کاهش یافته و وسیله کیلومتر طی شده کل کاهش می‌یابد.

یکی از پارامترهای مهم و قابل لمس برای کاربر، زمان انتظار است. در شکل ۶ و ۷ زمان انتظار به تفکیک شیوه سفر و سیاست اشتراک قابل مشاهده است. در این شکل منظور از زمان‌های انتظار ذکر شده به این شرح است: زمان انتظار در شبکه، زمانی است که خودروها (شخصی و خوفا) در شبکه دارای سرعت کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه است. به عبارتی دیگر در نرخ نفوذ ۱۰۰ درصد که خودرو شخصی در شبکه وجود ندارد، این مقدار برای خودرو شخصی برابر صفر است. زمان انتظار برای خوفا زمانی است که کاربر تا رسیدن نزدیک‌ترین خوفا منتظر می‌ماند. حضور خوفا در بیشتر سناریوها زمان انتظار در شبکه را کاهش



شکل ۶. زمان انتظار در شبکه، در محدوده‌های مورد مطالعه الف: تهران و ب: شیراز در نرخ نفوذ: (i) ۳۰، (ii) ۷۰ و (iii) ۱۰۰ درصد



شکل ۷. متوسط زمان انتظار برای خوفا در شهرهای شیراز و تهران به تفکیک سیاست اشتراک در نرخ نفوذ: (i) ۳۰، (ii) ۷۰ و (iii) ۱۰۰ درصد

اشتراک انحصاری، در سناریوهایی که دارای بیشترین اندازه ناوگان فرض شده هستند، با افزایش نرخ نفوذ، زمان انتظار در شبکه افزایش می‌یابد. دلیل آن تأثیر منفی خوفا بر ازدحام در این اندازه ناوگان است که در مورد

هر دو شبکه مورد مطالعه، این امر صادق است. افزایش نرخ نفوذ، متوسط زمان انتظار برای خوفا را افزایش می‌دهد. در اندازه ناوگان ۱۲ و سیاست اشتراک انحصاری، نرخ نفوذ ۱۰۰ درصد نسبت به نرخ نفوذ ۷۰ درصد، متوسط زمان انتظار برای خوفا در شبکه شهر شیراز را حدود ۳۷ درصد افزایش می‌دهد.

سرعت متوسط جاده به یکی از اجزای اصلی پیش‌بینی ترافیک تبدیل شده است (Hu et al., 2021; Tavakoli and Haji Hosseinlou, 2023). برای بررسی تأثیر حضور خوفا در شبکه، کمان‌های پرتدد در دو شبکه مورد بررسی انتخاب شده و

این اثر در سیاست اشتراک انحصاری و همچنین در شبکه شهر تهران نیز مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در سناریو مشابه، در شهر تهران، اندازه ناوگان ۱۲ نسبت به اندازه ناوگان ۳، زمان انتظار در شبکه را حدود ۷۸ درصد کاهش و در مقابل متوسط زمان انتظار برای خوفا را تا حدود ۴۳۰ درصد افزایش می‌دهد. افزایش نرخ نفوذ پارامتری تأثیرگذار در تعیین اثر خوفا در شبکه است. بدیهی است با افزایش نرخ نفوذ سفرهای بیشتری با خوفا انجام شده و بسته به سیاست اشتراک، می‌تواند تأثیر متفاوتی بر زمان انتظار در شبکه داشته باشد. در سیاست انحصاری دو کاربر با اندازه ناوگان ۳، نرخ نفوذ ۱۰۰ درصد نسبت به نرخ نفوذ ۳۰ درصد، زمان انتظار در شبکه شیراز را حدود ۴۴ درصد کاهش می‌دهد. این در حالی است که در اندازه ناوگان مشابه و سیاست اشتراک انحصاری، افزایش نرخ نفوذ اثر افزایشی داشته و زمان انتظار در شبکه را حدود ۴۳ درصد افزایش می‌دهد. در سیاست

یک تحلیل عملکرد سفرهای اشتراکی، مطالعه تطبیقی خودروهای خودران

کمان‌های پرتردد را، به ترتیب، ۳ درصد و ۸ درصد افزایش داده است. اما در ارتباط با شهر شیراز که محدوده مورد مطالعه بزرگ‌تر و تعداد سفرها بیشتر است؛ در سناریو مشابه، سیاست اشتراک انحصاری دو کاربر نسبت به سیاست اشتراکی انحصاری و سناریو پایه، سرعت متوسط در کمان‌های پرتردد را، به ترتیب، ۴ و ۲۵ درصد افزایش داده است.

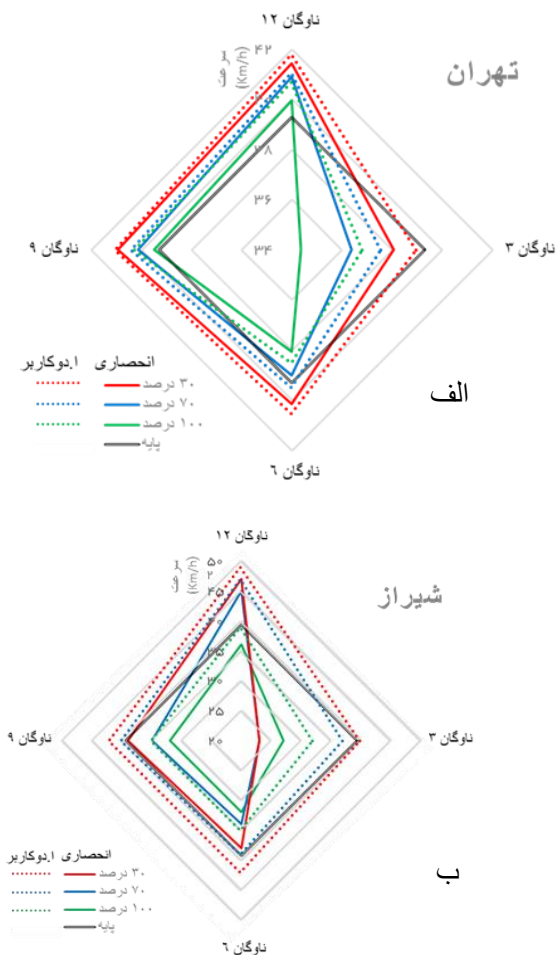
اندازه ناوگان اثر معکوسی بر سرعت متوسط دارد و این ارتباط در هر دو محدوده مورد مطالعه و در هر دو سیاست اشتراکی صادق است. در محدوده مورد مطالعه تهران، در سیاست اشتراک انحصاری دو کاربر و نرخ نفوذ ۷۰ درصد، اندازه ناوگان ۱۲ نسبت به اندازه ناوگان ۶، سرعت متوسط در کمان‌های پرتردد را حدود ۱۷ درصد افزایش می‌دهد. این عدد در سناریو مشابه برای شهر شیراز ۲۱ درصد است. در اندازه ناوگان ۳ که بیشترین اندازه ناوگان فرض شده است، سرعت متوسط در بیشتر سناریوها نسبت به سناریو پایه کاهش می‌یابد. دلیل روشن است؛ در این اندازه ناوگان، ازدحام از سناریو پایه بیشتر می‌شود.

نرخ نفوذ ارتباط مستقیمی بر سرعت متوسط در شبکه دارد. می‌توان گفت افزایش نرخ نفوذ، سرعت متوسط در کمان‌های پرتردد را افزایش می‌دهد. در محدوده مورد مطالعه شهر تهران، در سیاست اشتراک انحصاری دو کاربر و اندازه ناوگان ۹، نرخ نفوذ ۱۰۰ درصد نسبت به نرخ نفوذ پایه، سرعت متوسط در کمان‌های پرتردد را ۳۰ درصد افزایش داده است. این روند در ارتباط با محدود مورد مطالعه شهر شیراز هم صادق است و در سناریو مشابه این عدد به ۲۰ درصد می‌رسد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطالعات زیادی به اثر سنجی خودرو خودران اشتراکی (خوفا) پرداخته‌اند که هر کدام به‌نوبه خود، بعدی از اثر خوفا را بررسی کرده که در بعضی موارد نیز به نتایجی متفاوت دست یافته‌اند. این در حالی است که وجود فرض‌های متفاوت در این مطالعات، مقایسه دویه‌دو آن‌ها را دشوار کرده است. این مطالعه با شبیه‌سازی خردنگر شهرهای تهران و شیراز، با فرض‌های یکسان

سرعت متوسط در این کمان‌ها در شکل ۸ در سیاست اشتراک انحصاری دو کاربر و انحصاری قابل مشاهده است.



شکل ۸. متوسط سرعت در شبکه محدوده‌های مورد مطالعه الف:

تهران ب: شیراز برای خوفا در سیاست‌های اشتراکی انحصاری و

انحصاری دو کاربر در نرخ نفوذ: (i) ۳۰، (ii) ۷۰ و (iii) ۱۰۰

درصد

الگوی سرعت به دست آمده از شبیه‌سازی برای دو محدوده مورد مطالعه، به جز در چند سناریو، شبیه هم هستند. سیاست اشتراک انحصاری دو کاربر با کاهش خودروهای حاضر در شبکه و کاهش ازدحام، توانسته است در بیشتر سناریوها عملکرد بهتری نسبت به دو شیوه سفر دیگر داشته باشد. در نرخ نفوذ ۱۰۰ درصد و اندازه ناوگان ۱۲، سیاست اشتراک انحصاری دو کاربر نسبت به سیاست اشتراک انحصاری و سناریو پایه، سرعت متوسط در

سفرهای اشتراکی و خودران هم می‌تواند محور مطالعات آتی باشد. در این مطالعه در مدل شبیه‌سازی، از پارامترهای پیش‌فرض استفاده می‌شود، با توجه به اهمیت موضوع، کالیبره کردن پارامترها، می‌تواند موضوع موردبحث در مطالعات آینده باشد.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. Autonomous Vehicle (AV)
2. Regular Vehicle (RV)
3. Shared Autonomous Vehicle (SAV)
4. Door to door
5. Childress
6. Federal Highway Administration (FHWA)
7. Vehicle to vehicle (V2V)
8. Tientrakool
9. Simulation of Urban Mobility (SUMO)
10. Microscopic
11. Multi-modal
12. Mesoscopic
13. Macroscopic
14. Car-following-model
15. Krauss
16. Ballistic-position
17. Adaptive Cruise Control (ACC) Model
18. Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)
19. Speed control
20. Gap-closing control
21. Gap control
22. Lane-changing-model
23. Node
24. Edge

۷. مراجع

Ahmed, H. U., Huang, Y., & Lu, P. (2021). A Review of Car-Following Models and Modeling Tools for Human and Autonomous-Ready Driving Behaviors in Micro-Simulation. *Smart Cities 2021*, Vol. 4, Pages 314-335, 4(1), 314-335.
<https://doi.org/10.3390/SMARTCITIES4010019>

اما داده متفاوت، انجام یک مقایسه از تأثیر حضور خوفا در شبکه، بر مبنای سه پارامتر عملکردی وسیله کیلومتر طی شده، زمان انتظار و سرعت را فراهم می‌کند. شبیه‌سازی شهر تهران با ۶۵۰۰ سفر تصادفی در بخشی از شبکه منطقه دو شهرداری تهران انجام می‌شود؛ درحالی‌که محدوده مورد مطالعه شهر شیراز (شامل ۱۷۱ ناحیه ترافیکی در مرکز شهر) با ۳۰۳۸۶ سفر که در سال ۱۳۹۴ آمارگیری و برای سال ۱۴۰۱ تعمیم داده شده، شبیه‌سازی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که:

۱. خوفا بدون داشتن اشتراک سواری وسیله کیلومتر طی شده را تا ۴۱ درصد افزایش می‌دهد. هرچند با اشتراک سواری، این مقدار تا حد زیادی کاهش می‌دهد؛ اما افزایش وسیله کیلومتر طی شده می‌تواند یکی از پیامدهای منفی حضور خوفا در شبکه باشد.

۲. خوفا در اندازه ناوگان کم و نرخ نفوذ بالا، زمان انتظار در شبکه را تا ۹۴ درصد کاهش می‌دهد اما زمان انتظار برای گرفتن سرویس، به‌طور چشمگیری بالا می‌رود. هرچند این زمان بار ترافیکی ندارد، اما در مطلوبیت درک شده توسط کاربر از خوفا، نقش مؤثری دارد. با افزایش اندازه ناوگان، در صورت نداشتن اشتراک سواری، زمان انتظار در شبکه می‌تواند به‌مراتب از حالت پایه فراتر باشد.

۳. اندازه ناوگان خوفا پارامتری تأثیرگذار بر متوسط سرعت در شبکه است. در صورت وجود ناوگان بهینه، خوفا قادر است سرعت متوسط در شبکه را تا ۲۵ درصد بالا ببرد؛ اما در اندازه ناوگان زیاد، حتی در صورت داشتن اشتراک سواری، خوفا سرعت در شبکه را نسبت به حالت پایه کاهش می‌دهد. لازم به ذکر است، برای ممکن بودن شبیه‌سازی از لحاظ زمان اجرا، در این مطالعه فقط دو شیوه سفر خوفا و خودرو شخصی در نظر گرفته شد؛ درحالی‌که این امکان وجود دارد که تأثیر خوفا بر سایر شیوه سفرها هم بررسی شود. شیوه سفرهای اشتراکی به‌خودی‌خود پتانسیل‌های فراوانی برای بهبود شبکه دارند، چه خودران و چه به‌صورت معمولی. مقایسه شیوه

- Vehicles: <https://doi.org/10.3141/2493-11>, 2493,99–106. <https://doi.org/10.3141/2493-11>
- Cugurullo, F., & Acheampong, R. A. (2023). Fear of AI: an inquiry into the adoption of autonomous cars in spite of fear, and a theoretical framework for the study of artificial intelligence technology acceptance. *AI & SOCIETY*, 1–16.
- Erdmann, J. (2015). SUMO's Lane-Changing Model. *Lecture Notes in Mobility*, 105–123. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15024-6_7
- FHWA. (2011). 2009 National Household Travel Survey.
- Gurumurthy, K. M., Kockelman, K. M., & Simoni, M. D. (2019). Benefits and Costs of Ride-Sharing in Shared Automated Vehicles across Austin, Texas: Opportunities for Congestion Pricing. *Transportation Research Record*, 2673(6), 548–556. <https://doi.org/10.1177/0361198119850785>
- Hamadneh, J., & Esztergar-Kiss, D. (2019, June 1). Impacts of Shared Autonomous Vehicles on the Travelers' Mobility. *MT-ITS 2019 - 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2019.8883392>
- Hao, H., Geng, Y., & Sarkis, J. (2016). Carbon footprint of global passenger cars: Scenarios through 2050. *Energy*, 101, 121–131. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.01.089>
- Hu, Z., Sun, R., Shao, F., & Sui, Y. (2021a). An Efficient Short-Term Traffic Speed Prediction Model Based on Improved TCN and GCN. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(20). <https://doi.org/10.3390/S21206735>
- Alam, M. J., & Habib, M. A. (2018). Investigation of the Impacts of Shared Autonomous Vehicle Operation in Halifax, Canada Using a Dynamic Traffic Microsimulation Model. *Procedia Computer Science*, 130, 496–503. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2018.04.066>
- Bieker-Walz, L., Behrisch, M., Junghans, M., & Gimm, K. (2017). Evaluation of car-following-models at controlled intersections.
- Boddapati, V., Rakesh Kumar, A., Arul Daniel, S., & Padmanaban, S. (2022). Design and prospective assessment of a hybrid energy-based electric vehicle charging station. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102389. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2022.102389>
- Burghard, U., & Scherrer, A. (2022). Sharing vehicles or sharing rides - Psychological factors influencing the acceptance of carsharing and ridepooling in Germany. *Energy Policy*, 164(February), 112874. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112874>
- Carteni, A. (2020). The acceptability value of autonomous vehicles: A quantitative analysis of the willingness to pay for shared autonomous vehicles (SAVs) mobility services. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100224>
- Caulfield, B. (2009). Estimating the environmental benefits of ride-sharing: A case study of Dublin. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(7), 527–531. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2009.07.008>
- Childress, S., Nichols, B., Charlton, B., & Coe, S. (2015). Using an Activity-Based Model to Explore the Potential Impacts of Automated

- Krajzewicz, D., Hertkorn, G., & Wagner, P. (n.d.). SUMO (Simulation of Urban MObility) An open-source traffic simulation.
- Krauss, S. (1998). Microscopic modeling of traffic flow: Investigation of collision free vehicle dynamics.
- Levin, M. W., Kockelman, K. M., Boyles, S. D., & Li, T. (2017). A general framework for modeling shared autonomous vehicles with dynamic network-loading and dynamic ride-sharing application. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 373–383. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.04.006>
- Liu, Y., Guo, J., Taplin, J., & Wang, Y. (2017). Characteristic analysis of mixed traffic flow of regular and autonomous vehicles using cellular automata. *Journal of Advanced Transportation*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8142074>
- Lochrane, T. (2014). a New Multidimensional Psycho-Physical Framwork for Modeling Car-Following in a Freeway Work Zone. 2014, 2004–2019.
- Lücken, L., Mintsis, E., Porfyri, K. N., Alms, R., Flötteröd, Y. P., & Koutras, D. (2019). From automated to manual-modeling control transitions with sumo. *EPiC Series in Computing*, 62, 124–144. <https://doi.org/10.29007/sfgk>
- Martinez, L. M., & Viegas, J. M. (2017). Assessing the impacts of deploying a shared self-driving urban mobility system: An agent-based model applied to the city of Lisbon, Portugal. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(1), 13–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.05.005>
- Hu, Z., Sun, R., Shao, F., & Sui, Y. (2021b). An Efficient Short-Term Traffic Speed Prediction Model Based on Improved TCN and GCN. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(20). <https://doi.org/10.3390/S21206735>
- Istikomah. (2014). a New Multidimensional Psycho-Physical Framwork for Modeling Car-Following in a Freeway Work Zone. 2014, 2004–2019.
- Keeney.Tasha. (2017). Mobility-as-a-Service: Why self-driving cars could change everything |AV America. <http://www.avamerica.org/mobility-as-a-service-why-self-driving-cars-could-change-everything/>
- Kim, W. Y., Hum, Y. C., Tee, Y. K., Yap, W. S., Mokayed, H., & Lai, K. W. (2023). A modified single image dehazing method for autonomous driving vision system. *Multimedia Tools and Applications*, 1–33. <https://doi.org/10.1007/S11042-023-16547-8/METRICS>
- Kolarova, V., Steck, F., & Bahamonde-Birke, F. J. (2019). Assessing the effect of autonomous driving on value of travel time savings: A comparison between current and future preferences. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 129, 155–169. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.08.011>
- Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Rössel, C., & Wagner, P. (2002a). SUMO (Simulation of Urban MObility) - an open-source traffic simulation.
- Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Rössel, C., & Wagner, P. (2002b). SUMO (Simulation of Urban MObility) - an open-source traffic simulation.

- EngineeringTehran, Iran.
<https://civilica.com/doc/44447>
- Rossi, F., Zhang, R., Hindy, Y., & Pavone, M. (2018). Routing autonomous vehicles in congested transportation networks: structural properties and coordination algorithms. *Autonomous Robots* 2018 42:7, 42(7), 1427–1442. <https://doi.org/10.1007/S10514-018-9750-5>
- Rothery, B. Y. R. W. (1992). CAR FOLLOWING MODELS. *Trac Flow Theory*.
- Schmidt, P. (2021). Does Car-Sharing Reduce Car Ownership? Empirical Evidence from Germany. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 7384, 13(13), 7384.
- Shaheen, S., Cohen, A., Chan, N., & Bansal, A. (2020). Sharing strategies: carsharing, shared micromobility (bikesharing and scooter sharing), transportation network companies, microtransit, and other innovative mobility modes. *Transportation, Land Use, and Environmental Planning*, 237–262. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815167-9.00013-X>
- Shaheen, S., Sperling, D., & Wagner, C. (1999). Carsharing and partnership management: An international perspective. *Transportation Research Record*, 1666, 118–124. <https://doi.org/10.3141/1666-14>
- Shatanawi, M., & Mészáros, F. (2022). Implications of the emergence of autonomous vehicles and shared autonomous vehicles: A Budapest perspective. *Sustainability*, 14(17), 10952.
- Silvestri, A., Foudi, S., & Galarraga, I. (2022). How to get commuters out of private cars? Exploring the role of perceived social impacts in mode choice in five European cities. *Transportation Research Record*, 2676(12), 396–408.
- Milanés, V., & Shladover, S. E. (2014). Modeling cooperative and autonomous adaptive cruise control dynamic responses using experimental data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 48, 285–300. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2014.09.001>
- Miller, K., Chng, S., & Cheah, L. (2022). Understanding acceptance of shared autonomous vehicles among people with different mobility and communication needs. *Travel Behaviour and Society*, 29, 200–210.
- Mintsis, E. (2018). Modelling, simulation and assessment of vehicle automations and automated vehicles' driver behaviour in mixed traffic. *2018(723390)*, 113.
- Narayanan, S., Chaniotakis, E., & Antoniou, C. (2020). Shared autonomous vehicle services: A comprehensive review. In *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* (Vol. 111, pp. 255–293). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.12.008>
- Othman, K. (2022). Cities in the Era of Autonomous Vehicles: A Comparison Between Conventional Vehicles and Autonomous Vehicles (pp. 95–108). https://doi.org/10.1007/978-3-030-98423-6_8
- Rahmani, A., & Mamdoohi, A. R. (2023). Shared Autonomous Vehicles Effect on Vehicle-Km Traveled (VKT): A Case Study in a Part of Tehran. In *19th International Conference on Transportation and Traffic*

countries. Energy Research & Social Science, 92, 102811.

– Tientrakool, P., Ho, Y. C., & Maxemchuk, N. F. (2011). Highway capacity benefits from using vehicle-to-vehicle communication and sensors for collision avoidance. IEEE Vehicular Technology Conference. <https://doi.org/10.1109/VETECF.2011.6093130>

– Treiber, M., Kesting, A., & Helbing, D. (2010). Enhanced Intelligent Driver Model to Access the Impact of Driving Strategies on Traffic Capacity. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 368(1928), 4585–4605. <https://doi.org/10.1098/RSTA.2010.0084>

– Urbanek, A. (2021). Potential of modal shift from private cars to public transport: A survey on the commuters' attitudes and willingness to switch—A case study of Silesia Province, Poland. Research in Transportation Economics, 85, 101008.

یک تحلیل عملکرد سفرهای اشتراکی، مطالعه تطبیقی خودروهای خودران

علی رحمانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۹ از دانشگاه کردستان اخذ نمود. ایشان در سال ۱۴۰۲ موفق به کسب درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- برنامه ریزی حمل و نقل از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان، شبیه سازی خرد و کلان نگر حمل و نقل و ترافیک، خودروهای خودران و حمل و نقل هوشمند است.



امیررضا ممدوحی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی مکانیک - حرارت و سیالات را از دانشگاه صنعتی شریف در سال ۱۳۶۸ و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع- مهندسی سیستم های اجتماعی- اقتصادی را از موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی در سال ۱۳۷۵ اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۸۴ موفق به کسب درجه دکتری در مهندسی عمران - برنامه ریزی حمل و نقل از دانشگاه صنعتی شریف گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت و برنامه ریزی حمل و نقل، مدل سازی رفتاری و برآورد تقاضای حمل و نقل و خودرو خودران (مدل های پذیرش، تقاضا و ناهمگونی) است. ایشان در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس می باشد.

