

## تأثیر مشارکت خودروهای خودران بر میانگین زمان ازدست‌رفته در راهگرد

### شبدری

سامان شببانی (مسئول مکاتبات)، دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه خواجه نصیر، تهران، ایران

**E-mail: saman.sheibani98@gmail.com**

عظیم طاهری مقدم، دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه خواجه نصیر، تهران، ایران

شایان اسماعیلی، دانشجوی کارشناسی مهندسی اجرایی عمران، دانشکده فنی و حرفه‌ای شهید چمران، اهواز، ایران

محمدسعید منجم، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیر، تهران، ایران

### چکیده

ازدحام یکی از مشکلات اصلی ترافیک در سال‌های اخیر است که معمولاً شهروندان کلان‌شهرها با آن بیشتر سروکار دارند و هر ساله هزینه‌های زیادی به مردم و کشور وارد می‌کند. پیش‌بینی می‌شود ورود خودروهای خودران به شبکه راه‌های موجود می‌تواند این ازدحام را تا حدودی کاهش دهد. در حال حاضر خودروهای خودران در حال تبدیل شدن به واقعیت هستند و در حال حاضر استفاده از کامیون‌های خودران در سطح ۳ در کشور وجود دارد. در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از ابزار شبیه‌سازی تأثیر خودروهای متصل و خودران بر ترافیک بررسی کنیم. پیش‌بینی می‌شود، خودروهای متصل و خودران پتانسیل قابل توجهی برای بهبود وضعیت ترافیک، کارایی، ثبات و ایمنی سامانه‌های متحرک موجود دارند. مرور ادبیات، نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌ها مبنی بر تأثیر خودروهای خودران بر ظرفیت معابر اصلی بوده است. در مقالات گذشته بیشتر به بررسی ظرفیت تقاطع‌های هم‌سطح و بررسی یک شبکه دارای چندین تقاطع هم‌سطح پرداخته‌اند. ما در این پژوهش به بررسی مدل تقاطع غیر هم‌سطح شبدری با جریان ترافیک واقعی با درصد مشارکت مختلف خودروهای متصل و خودران پرداختیم. در این پژوهش قسمت‌های مربوط به *merging* و *weaving* نقاطی که دارای بیشترین ازدحام هستند بررسی می‌شود. در این پژوهش اثر مشارکت خودروهای خودران بر یک زمان ازدست‌رفته شبدری (در قسمت *weaving*)، بر میانگین زمان ازدست‌رفته بررسی شده است. مدل رفتار رانندگی بر اساس مدل حرکت طولی کراس و مدل حرکت عرضی *LC2013* با استفاده از نرم‌افزار میکروسکوپیکی *SUMO* انجام شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که میانگین زمان ازدست‌رفته به میزان درصد افزایش پیدا کرده است که نشان‌دهنده پتانسیل این تکنولوژی برای رفع مشکلات ازدحام است.

واژه‌های کلیدی: خودروهای خودران، شبیه‌سازی، مدل دنبال کردن خودرو، *SUMO*, *weaving*

## ۱. مقدمه

گرفته تا استراتژیک بهبود بخشند. در سطح عملیاتی، این فناوری‌ها می‌توانند به رانندگان و وسایل نقلیه کمک کنند تا در مورد تغییر خطوط، شتاب و کاهش سرعت تصمیم‌های ایمن‌تر و قابل‌اعتمادتر بگیرند. وسایل نقلیه خودران و معمولی مطابق با انواع مختلف منطق رانندگی رفتار می‌کنند: (۱) انسان‌ها زمان واکنش طولانی‌تری نسبت به رایانه‌ها دارند و (۲) انسان‌ها باید متغیرهای تصمیم‌گیری بیشتری را برای غلبه بر عدم قطعیت مرتبط با فرآیندهای تصمیم‌گیری انسانی در نظر بگیرند. در نتیجه، پذیرش شکاف و رفتار پیروی از خودرو به‌طور گسترده در ادبیات مورد ارزیابی قرار گرفته است. وسایل نقلیه خودکار (AVs) وسایل نقلیه‌ای هستند که در شناخت محیط جاده و مسیریابی با دخالت محدود یا بدون دخالت راننده انسانی مهارت دارند. انجمن مهندسی خودرو (SAE) AV ها را بر اساس تخصیص وظیفه رانندگی بین راننده انسانی و سیستم وسیله نقلیه به شش سطح اتوماسیون طبقه‌بندی می‌کند. بر اساس جدول ۱ این سطوح عبارتند از: سطح ۰ (بدون اتوماسیون، وسایل نقلیه معمولی (CV))، سطح ۱ (کمک‌راننده)، سطح ۲ (اتوماسیون جزئی)، سطح ۳ (اتوماسیون شرطی)، سطح ۴ (اتوماسیون بالا) و سطح ۵ (اتوماسیون کامل). در سه سطح اول، راننده انسان وظیفه اصلی رانندگی را انجام می‌دهد. برعکس، برای سه سطح بعدی، سیستم وسیله نقلیه وظایف اصلی رانندگی پویا را انجام می‌دهد.

پژوهش مانند هر کار دیگری، دانشی است که مستلزم شناخت اصول، قاعده‌ها و روش‌ها است و پژوهشگر با فراگرفتن و قبول کردن آن اصول، علاوه بر اعتبار بخشیدن به دستاوردهای تحقیقاتی خویش و دستیابی به نتایج جدید و مفید در سایه جستجو و کاوش مستمر و بی‌وقفه، چه‌بسا به ترمیم خطاهای پیشین خود یا دیگران نیز توفیق یابد. ازدحام در تنگناهای مکرر<sup>۱</sup> بزرگراه مانند همگرایی<sup>۲</sup> و بافت<sup>۳</sup> می‌تواند منجر به کاهش توان و افزایش زمان سفر شود و منبع ناراحتی عمده برای کاربران جاده است. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت<sup>۴</sup>، تقریباً ۱٫۳ میلیون مرگ در سال به دلیل تصادفات جاده‌ای وجود دارد و انتظار می‌رود در صورت ادامه روند فعلی، مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات تا سال ۲۰۳۰ به پنج‌گین علت مرگ‌ومیر تبدیل شود. در بین تمام تصادفات، خطای انسانی عاملی در حدود ۹۰ درصد تصادفات است. انتظار می‌رود که وسایل نقلیه خودران<sup>۵</sup> AVs با حذف خطای انسانی تصادفات جاده‌ای را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهند. پیشرفت‌های اخیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات<sup>۶</sup> فرصت‌های بی‌شماری را برای بهبود عملیات شبکه‌های ترابری موجود بدون نیاز به گسترش فیزیکی آن‌ها یا ساخت جاده‌های بیشتر ارائه می‌دهد. این پیشرفت‌ها می‌توانند کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های ترابری را افزایش داده و تمامی جنبه‌های فرآیندهای تصمیم‌گیری رانندگان را از تصمیم‌های عملیاتی

### جدول ۱. انواع سطح خودروهای خودران

سطح ۰ خودران	عملکرد تمام‌وقت توسط راننده انسانی در تمام جنبه‌های وظیفه رانندگی پویا، حتی زمانی که توسط سیستم‌های هشدار یا مداخله افزایش می‌یابد.
سطح ۱ خودران	اجرای خاص حالت رانندگی توسط یک سیستم کمک‌راننده یا فرمان یا شتاب/کاهش سرعت با استفاده از اطلاعات مربوط به محیط رانندگی و با این انتظار که راننده انسانی تمام جنبه‌های باقی‌مانده از وظیفه رانندگی پویا را انجام دهد.
سطح ۲ خودران	اجرای خاص حالت رانندگی توسط یک یا چند سیستم کمک‌راننده از هر دو نوع فرمان و شتاب/کاهش سرعت با استفاده از اطلاعات مربوط به محیط رانندگی و با این انتظار که راننده انسانی تمام جنبه‌های باقی‌مانده از وظیفه رانندگی پویا را انجام دهد.

## تأثیر مشارکت خودروهای خودران بر میانگین زمان ازدست‌رفته در راه‌گرد شبدری

سطح ۳ خودران	عملکرد خاص حالت رانندگی توسط یک سیستم رانندگی خودکار از تمام جنبه‌های وظیفه رانندگی پویا با این انتظار که رانندگان انسانی به درخواست مداخله پاسخ مناسب دهند.
سطح ۴ خودران	عملکرد خاص حالت رانندگی توسط یک سیستم رانندگی خودکار از تمام جنبه‌های وظیفه رانندگی پویا، حتی اگر راننده انسانی به درخواست مداخله پاسخ مناسبی ندهد.
سطح ۵ خودران	عملکرد تمام‌وقت توسط یک سیستم رانندگی خودکار از تمام جنبه‌های وظیفه رانندگی پویا در تمام جاده‌ها و شرایط محیطی که می‌تواند توسط یک راننده انسانی مدیریت شود.

### ۲. ادبیات پژوهش

در این بخش به مرور پژوهش‌های انجام‌شده در گذشته پرداخته می‌شود. در این قسمت نتایج مربوط به شبیه‌سازی در نرم‌افزار شبیه‌ساز SUMO بررسی می‌شود. بر اساس مدل تعقیب خودرو و مدل تغییر خط و با استفاده از پارامترهای این مدل تفاوت بین رفتار رانندگی هر سه نوع وسیله نقلیه مشخص شده است. در کل ۲۲ سناریو در نظر گرفته شده است ۱۱ سناریو برای تأثیر خودروهای خودران بر ظرفیت و ۱۱ سناریو برای تأثیر خودروهای خودران و متصل بر ظرفیت در نظر گرفته شده است. در هر سناریو درصد نفوذ خودروهای خودران و یا خودروهای خودران و متصل ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. ابتدا نتایج به‌دست‌آمده در مورد تأثیر خودروهای خودران و متصل بر ظرفیت راه‌ها بررسی می‌شود.

با توجه به نتایج اثر خودروهای خودران بر ظرفیت شبکه آزادراه را نشان می‌دهد می‌توان دریافت که خودروهای خودران دارای این پتانسیل هستند که ظرفیت شبکه آزادراه را تا ۵/۵۲ درصد افزایش دهند و ظرفیت آن را از ۲۶۵۷ وسیله نقلیه بر ساعت بر خط به ۴۰۵۴ وسیله نقلیه بر ساعت بر خط افزایش دهند که این نتایج نشان می‌دهد که خودروهای خودران می‌توانند پاسخی مناسب به مسئله ازدحام راه‌ها باشند. از سوی دیگر باید توجه کرد که خودروهای خودران اثر چشمگیر خود را زمانی نشان می‌دهند که درصد حضورشان در جاده قابل‌ملاحظه باشد و همان‌طور که از جدول ۵ مشخص است تغییر در ظرفیت با عبور درصد نفوذ خودروهای خودران از ۵۰ درصد شتاب زیادی می‌گیرد. در این بخش، پس از تعیین تأثیر

خودروهای خودران (Autonomous, self driving car)

ماشین خودران یا همان خودرو هوشمند وسیله‌ای است که می‌تواند محیط اطراف خود را بررسی کند و بدون نیاز به انسان فعالیت کند. در ماشین‌های خودران (ممکن است با نام‌هایی مثل خودروی مستقل، خودمختار یا بدون راننده نام برده شود) از امکاناتی مثل حسگرها، دوربین‌ها، رادار و هوش مصنوعی استفاده شده است که به کمک آن‌ها می‌تواند تردد خودرو بدون راننده را امکان‌پذیر کرد. خودرویی که بتواند به‌تنهایی بدون وابستگی به انسان برای ورودی حرکت کند، به‌عنوان خودروی خودران شناخته می‌شود. پیشرفت بزرگی در صنعت خودرو صورت گرفته است که هرروز فناوری‌های جدیدی را به ارمغان می‌آورد. انواع مختلفی از خودروهای خودمختار وجود دارد و بر اساس سطح اتوماسیون آن‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند که شامل سطح ۰ تا سطح ۵ می‌شود. روش‌های پیشرفته‌ای برای ساخت این خودروها استفاده می‌شود و مفاهیمی مانند یادگیری ماشین<sup>۷</sup> و بینایی کامپیوتر نقش حیاتی در توسعه این خودروها دارند. دقت این ماشین‌ها بر اساس عوامل زیادی از جمله عوامل داخلی و خارجی متفاوت است. اگرچه پیشرفت قابل‌توجهی در این زمینه حاصل شده است، اما باید کارهای زیادی انجام شود. پذیرش فناوری خودروهای خودران دارای مزایای متعددی است. شرکت‌های خودروهای خودمختار، با هدف تجاری‌سازی کامل این فناوری، منابع زیادی را صرف توسعه فناوری خودروهای خودران کرده‌اند. مسائل متعددی مانع دستیابی به این هدف می‌شود. این موضوعات شامل چالش‌های فنی، غیر فنی و قانونی است. آینده فناوری مطمئن و بلندپروازانه است، با این حال، باید بر این چالش‌ها غلبه کرد.

خودروهای خودران نتایج تأثیر خودروهای خودران و متصل بر ظرفیت آزادراه مشخص می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که خودروهای خودران و متصل می‌تواند ظرفیت آزادراه را تا ۳۷/۶۵ درصد افزایش دهد و این تغییر در ظرفیت نشان می‌دهد خودروهای خودران و متصل به دلیل ویژگی خودرانی و اتصال می‌توانند ظرفیت راه‌ها را به حد مطلوبی افزایش دهند که این افزایش حتی نسبت به خودروهای خودران نیز بیشتر است و می‌توان مانند خودروهای خودران، خودروهای خودران و متصل را پاسخی به مسئله ازدحام دانست؛ اما همانند خودروهای خودران این خودروها نیز زمانی می‌توانند ظرفیت را به طرز چشمگیری افزایش دهند که درصد نفوذ آن‌ها بالا باشد و این تغییر با شتاب بالا را در درصدهای نفوذ بالای ۵۰ درصد می‌توان مشاهده کرد. در این بخش، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان دریافت که خودروهای خودران و متصل و خودروهای خودران می‌توانند ازدحام راه‌ها را کاهش داده و ظرفیت راه‌ها را افزایش دهند. مقایسه‌های بین میزان تغییری که در اثر خودروهای خودران و خودروهای خودران و متصل ایجاد می‌شود را می‌توان مشاهده کرد که به‌صورت واضح نشان می‌دهد این دو نوع خودرو این پتانسیل و توانایی را دارند که مشکل ازدحام تا حدی مطلوب کاهش دهند. از طرف دیگر این شکل نشان می‌دهد که خودروهای خودران و متصل به دلیل ویژگی اتصال بین خودروها ظرفیت آزادراه را حتی نسبت به خودروهای خودران بیشتر افزایش می‌دهند که این خود اهمیت اتصال بین خودروها را نشان می‌دهد.

مطالعات

Qiong Lu<sup>1</sup>, Tamás Tettamanti<sup>1</sup>, István Varga  
نشان می‌دهد که با افزایش درصد نفوذ خودروهای خودران به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت تا ۶۶۰۰ veh/h افزایش پیدا می‌کند. علاوه بر این، AV ها بر رفتار سفر فردی مانند تولید سفر، انتخاب حالت، مالکیت وسیله نقلیه و زمان سفر تأثیر خواهند داشت. Hamadneh و Esztergar-Kiss (۲۰۱۹) رفتار مسافران را قبل و بعد از اجرای AV با این فرض مقایسه

کردند که مسافران مایل‌اند منتظر بمانند و سفرهای خود را با دیگران به اشتراک بگذارند. نتایج آن‌ها نشان داد که یک AV مشترک می‌تواند جایگزین هشت RV شود و زمان سفر و مسافت سفر را به ترتیب ۱۷ و ۲۰ درصد کاهش دهد. در مطالعه اخیر خود، Hamadneh و Esztergar-Kiss (۲۰۲۱) با هدف در نظر گرفتن شرایط ترافیکی ee مختلط AV ها با حالت‌های حمل‌ونقل متعارف، از جمله RVs. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش پیاده‌سازی AV، زمان سفر کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که جایگزینی CVs با ۱۰٪ و ۲۰٪ AVs در دامنه مطالعه کلی نسبتاً کم بود (تفاوت در عملکرد ترافیک و خروجی‌های انتشار نشان داد که از نظر آماری معنی‌دار نیست). اگرچه یافته‌های به‌دست‌آمده در VCI کاهش انتشار متوسطی را نشان داد (۳٪ تا ۵٪، بسته به سناریو)، AV منجر به زمان سفر بالاتر برای عملیات VCI و CV در مقایسه با شرایط واقعی شد. مقاله دیگر تأثیر AV ها را بر ظرفیت بزرگراه ارزیابی می‌کند. AV های تعاونی و خودمختار می‌توانند بدون دخالت رانندگان انسانی کار کنند. برخلاف AV های خودران، AV های تعاونی می‌توانند با استفاده از سیستم‌های ارتباطی بین وسایل نقلیه (V2V) به‌طور مشترک رانندگی کنند که می‌تواند ظرفیت بزرگراه را به میزان قابل‌توجهی بهبود بخشد.

مطالعه دیگری توسط لیو و همکاران صورت گرفته است که در این مطالعه با استفاده از یک ابزار شبیه‌سازی میکروسکوپی، تأثیر خودروهای خودران و متصل بر ظرفیت آزادراه بررسی می‌شود. یک آزادراه چهار خطه به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. برای به دست آوردن نتایج معتبر، پارامترهای مختلف رفتار رانندگی با شرایط واقعی ترافیک برای وسایل نقلیه رانده‌شده توسط انسان کالبره شده‌اند. به‌طور خاص، کالبراسیون با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود. یک مدل راننده هوشمند اصلاح‌شده ایجاد شده و به‌عنوان مدل تعقیب خودرو برای خودروهای خودران و متصل استفاده می‌

## تأثیر مشارکت خودروهای خودران بر میانگین زمان ازدست‌رفته در راه‌گرد شبدری

سرعت آن به حداکثر خود مطابق رابطه ۱ محدود می‌شود (بسته به سرعت مجاز و سرعت موردنظر رانندگان).

$$V \leq V_{\max} \quad (1)$$

در صورت تقابل دو وسیله نقلیه با یکدیگر هر دو وسیله نقلیه همیشه سعی می‌کنند با یکدیگر برخورد نکنند در این حالت حداقل یکی از رانندگان سرعت خود را که بالاتر از حداکثر سرعت ایمن نیست کاهش می‌دهد.

$$\text{safe } V \leq V \quad (2)$$

این مدل بدون برخورد است به این معنی که هیچ وسیله نقلیه با سرعت بیشتری نسبت به سرعت امن رانندگی نمی‌کند. سرعت مطمئنه هر گام زمانی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$V_{\text{safe}}(t) = V_i(t) + \frac{g(t) - V_i(t)\tau}{\frac{v}{b(v)} + \tau}$$

که در آن:

t: زمان گام

V<sub>i</sub>(t): سرعت خودرو پیشرو در t

g(t) فاصله بین خودرو و خودرو پیشرو i در t

b: زمان عکس‌العمل راننده (معمولاً ۱ ثانیه)

b: تابع کاهش سرعت

در زندگی واقعی شتاب یک وسیله نقلیه به توانایی فیزیکی و سایر تأثیرات آن مانند مقاومت در برابر هوا و سایر موارد بستگی دارد برای جلوگیری از وسایل نقلیه که در شبیه‌سازی تندر از واقعیت رانندگی کنند سرعت مطلوب محاسبه می‌شود. سرعت مطلوب هر خودرو حداقل سرعت از سرعت مطمئنه سرعت فعلی به علاوه حداکثر شتاب و حداکثر سرعت است.

$$\text{safe}(t); v(t) + a. [V \text{ des } (t) = \min V \quad (3)$$

V<sub>max</sub>] به دلیل ناقص بودن رانندگان، انسانی یک خطای تصادفی از سرعت موردنظر کم می‌شود:

$$v(t) = \max [; \text{rand } [V \text{ des}(t) - E a; V \quad (4)$$

des(t)]]

شود. شبیه‌سازی در بخش اصلی آزادراه تحت نرخ‌های مختلف نفوذ خودروهای خودران و متصل و محدودیت‌های مختلف سرعت آزادراه انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان نفوذ در بازار، ظرفیت آزادراه افزایش می‌یابد و با افزایش سرعت مجاز به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده از این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در سرعت‌های ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت ظرفیت راه به ترتیب ۶۹ درصد، ۸۰ درصد، ۸۵ درصد و ۱۰۲ درصد افزایش می‌یابد.

### ۳. روش پژوهش

در این بخش به چگونگی انجام پژوهش پرداخته‌ایم. بخش سوم یکی از پراهمیت‌ترین بخش‌های این پژوهش است به این دلیل که نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش بر اساس این فصل است.

برای مشخص کردن رفتار رانندگی AV ها و HDV ها در محیط شبیه‌سازی، از مدل دنباله‌روی خودرو کراس استفاده شده که انتخاب پیش‌فرض نرم‌افزار نیز هست. در این پژوهش با انتخاب مدل دنباله‌روی، انتخاب میزان نفوذ خودروهای متصل و خودران که به ترتیب برابر ۰، ۲۰، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ درصد و اصلاح پارامترهای مربوط به آن‌ها و همچنین میزان جریان برداشت‌شده به‌صورت میدانی در دو تقاطع غیر همسطح در شهر تهران اساساً به این سؤال پاسخ می‌دهیم که عبارت است از:

- آیا با افزایش میزان مشارکت خودروهای خودران، میانگین سرعت در نقطه weaving تغییر می‌کند؟

### ۳-۱ مدل‌های تعقیب خودرو

مدل کراوس مدل پیش‌فرض اتومبیل سومو مدل کراوس است کراوس و همکاران (۱۹۹۸) در شبیه‌سازی ترافیکی هر وسیله نقلیه می‌تواند دو نوع حرکت مختلف داشته باشد: حرکت آزاد و حرکت متقابل در حرکت آزاد هیچ وسیله نقلیه پیشرو سرعت وسیله نقلیه دنبال کننده را محدود نمی‌کند؛ بنابراین، فصلنامه مهندسی ترافیک/ سال بیست و چهارم/ شماره ۹۹ / زمستان ۱۴۰۳

آن این است که چراغ‌های راهنمای وسیله نقلیه مسدود شده همیشه برای دنبال کننده قابل مشاهده است، درحالی که رهبر مسدودکننده بودن کمتر آشکار است). اگر هیچ دلیل استراتژیک برای تغییر خط وجود نداشته باشد، وسیله نقلیه ego<sup>۹</sup> ممکن است در هر جهت ممکن تغییر کند تا شکافی برای وسیله نقلیه مسدود شده برطرف شود. برخلاف انتظار، مشخص شد که این امر در برخی سناریوها تأثیر مفیدی بر جریان ترافیک دارد، حتی اگر وسیله نقلیه ego سعی کند به سمت وسیله نقلیه مسدود شده تغییر کند. این اثر هنوز درک نشده است و مستلزم بررسی بیشتر است. وسایل نقلیه‌ای که نمی‌توانند تغییر خط مشارکتی را انجام دهند، سرعت خود را اندکی تنظیم می‌کنند تا احتمال موفقیت برای مراحل شبیه‌سازی بعدی را افزایش دهند. باین‌حال، آن‌ها در صورت مسدود شدن، درخواست تغییر سرعت نمی‌کنند. یک مورد خاص برای رفتار مشارکتی در دوربرگردان‌های چند خطه ایجاد می‌شود. به‌طورمعمول، همه وسایل نقلیه در بیرونی‌ترین خط وارد میدان می‌شوند و همچنین باید دوباره در بیرونی‌ترین خط حرکت کنند. با توجه به فواصل کوتاه درگیر، این بدان معناست که آن‌ها همیشه باید به دلایل استراتژیک در بیرونی‌ترین خط باقی بمانند. باین‌حال، این به‌طور مؤثر همه دوربرگردان‌های چند خطه را به دوربرگردان‌های یک‌خطه تبدیل می‌کند و در نتیجه توان عملیاتی را کاهش می‌دهد. به همین دلیل، مدل تغییر خط، وسایل نقلیه‌ای را که هنوز در لبه دور نهایی خود قرار ندارند، مجبور می‌کند به سمت خط داخلی (جدید) تغییر کنند. درحالی که این ناآگاهی از انگیزه‌های استراتژیک گاهی منجر به خودروهای سرگردان می‌شود، اما تأثیر مفیدی بر عملکرد دوربرگردان دارد.

لیست زیر پارامترهای قابل‌ویرایش ماشین کراس مدل زیر را نشان می‌دهد (Krauß 1998):

- **Mingap**: حداقل فاصله وسیله نقلیه پیشرو هنگام ایستادن در صف (متر).
- **Accel**: قابلیت شتاب‌گیری وسایل نقلیه (متر بر مجذور ثانیه).
- **Decel**: توانایی کاهش سرعت خودرو (متر بر مجذور ثانیه).
- **Emergency Decel**: حداکثر توانایی کاهش سرعت خودروهای این نوع در مواقع اضطراری (متر بر مجذور ثانیه).
- **سیگما**: نقص راننده (بین ۰ و ۱).
- **تاو**: سرفاصله زمانی موردنظر راننده است (برحسب ثانیه).

### ۲-۳ مدل‌های تعویض خط خودرو خودران

مدل تغییر خط برای این پژوهش LC2013 سومو است. مدل‌سازی تغییر خط با LC 2013 پارامترهایی را فراهم می‌کند که می‌توانند برای مدل بهتر خودروی خودران نسبت به مدل‌های قبلی تعویض خط در سومو تنظیم شوند. تجزیه و تحلیل سایر مدل‌های تغییر خط اصلاح شده برای شبیه‌سازی AV، دانش در مورد چگونگی تغییر پارامترهای موجود در مدل LC2013 را برای مدل‌سازی خودرو خودران در سومو فراهم می‌کند.

در برخی موقعیت‌های واقعی، وسایل نقلیه (بهتر بگوییم رانندگان آن‌ها) مانورهای تغییر خط را تنها با این هدف انجام می‌دهند که به وسیله نقلیه دیگری در تغییر خط به سمت خط خود کمک کنند. در مدل فعلی، وسایل نقلیه توسط سایر وسایل نقلیه از مسدود بودن مطلع می‌شوند. دنبال کننده (دلیل

### جدول ۲. انگیزه‌های استراتژیک

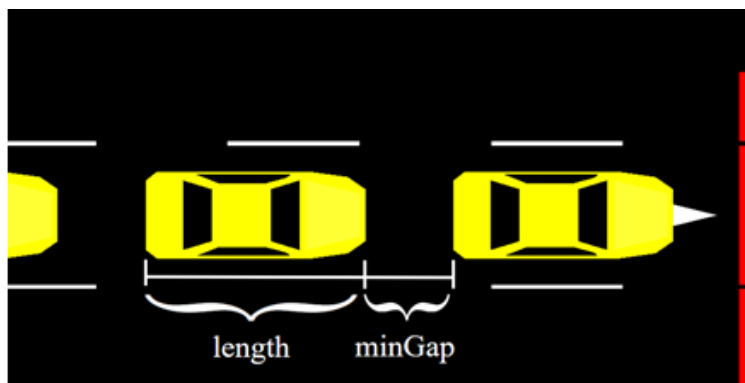
مقدار	توضیح	پارامتر
۱	اشتیاق برای انجام تغییر خط استراتژیک. مقادیر بالاتر منجر به تغییر خطوط زودتر می‌شود.	LcStrategic
۱	تمایل به انجام تغییر خط تعاونی. ارزش‌های کمتر منجر به کاهش همکاری می‌شود.	LcCooperative

## تأثیر مشارکت خودروهای خودران بر میانگین زمان ازدست‌رفته در راه‌گرد شبدری

مقدار	توضیح	پارامتر
۱	اشتقاق برای انجام تغییر خط برای افزایش سرعت. مقادیر بالاتر منجر به تغییر مسیر بیشتر می‌شود.	LcSpeedGain
۱	اشتقاق برای سبقت گرفتن از مسیر مخالف. مقادیر بالاتر منجر به تغییر مسیر بیشتر می‌شود.	LcOpposite

جدول ۳. پارامترهای تعقیب خودرو برای دو نوع خودرو موجود در شبیه‌سازی

پارامترهای تعقیب خودرو	خودران	عادی
Min gap	۰,۵	۲,۵
Accel	۳,۸	۲,۵
Decel	۴,۵	۴,۵
Emergency Decel	۸	۸
sigma	۰	۰,۵
Tau	۰,۶	۱

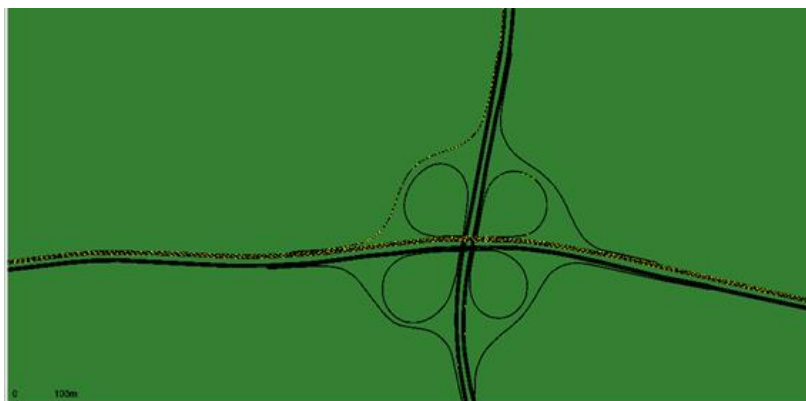


شکل ۱. حداقل فاصله بین خودروها

### ۳-۳ شبکه مورد مطالعه

تقاطع غیر هم‌سطح انتخابی تقاطع بزرگراه حکیم - یادگار امام است. حجم خودروهای عبوری با برداشت میدانی انجام شده است. شکل ۲ طرح هندسی راه‌گرد شبدری تقاطع حکیم - یادگار در محیط سومو نشان می‌دهد. در تقاطع غیر هم‌سطح شبدری جریان شرق به سمت غرب برابر  $1166 \text{ veh/h/l}$  است. مسیر جنوب به غرب حجم خودرو برابر  $1620 \text{ veh/h/l}$  است.

مسیر شمال به غرب (لوپ شرقی) حجم خودرو برابر  $1620 \text{ veh/h/l}$  بوده است. مسیر غرب به جنوب (لوپ غربی) حجم خودرو برابر  $1620 \text{ veh/h/l}$  بوده است. هم‌چنین تردد در جهت شمال  $1872 \text{ veh/h/l}$  است.

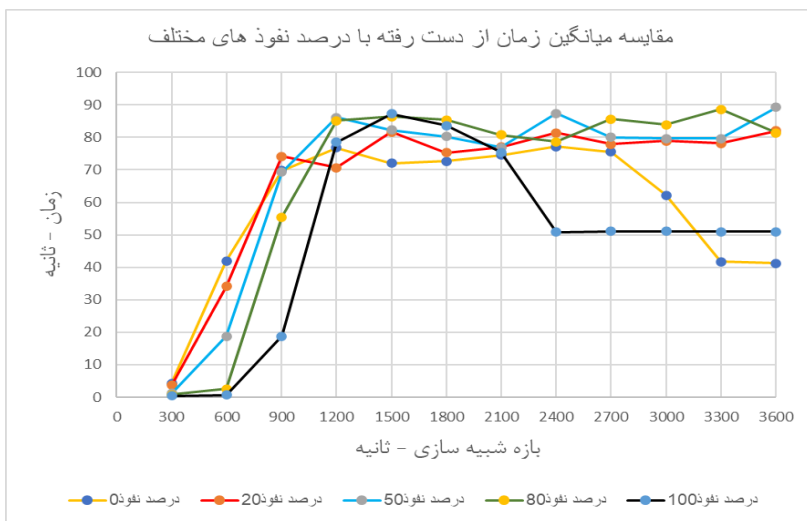


شکل ۲. طرح هندسی راهگرد شبدری تقاطع حکیم- یادگار در محیط سومو

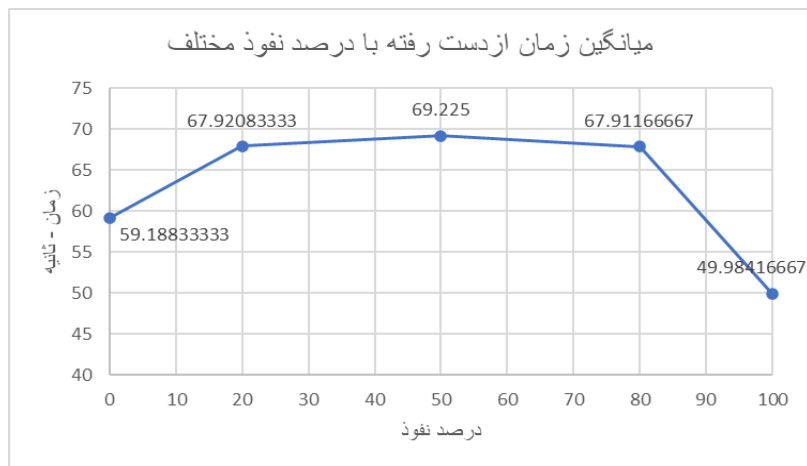
درصد نفوذهای مختلف نشان می‌دهد. این خروجی‌ها با استفاده از دیتکتورهای نصب‌شده در نقطه همگرایی اندازه‌گیری شده‌اند.

### ۳-۴ میانگین زمان ازدست‌رفته شبدری

شکل ۳ میانگین زمان ازدست‌رفته پرداخته که بازه‌ای بین ۰ تا ۳۶۰۰ ثانیه را در قسمت همگرایی راهگرد شبدری کامل با



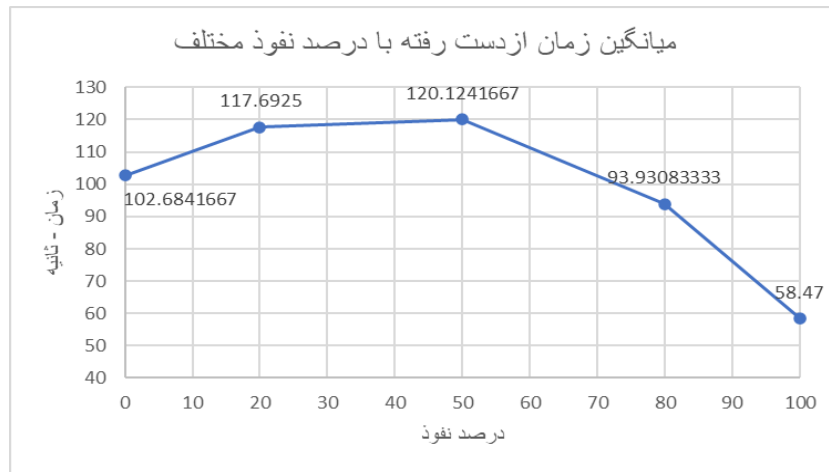
شکل ۳. مقایسه میانگین زمان ازدست‌رفته با درصد نفوذهای مختلف در بازه شبیه‌سازی



شکل ۴. میانگین زمان ازدست‌رفته با درصد نفوذ مختلف راهگرد شبدری

## تأثیر مشارکت خودروهای خودران بر میانگین زمان ازدست‌رفته در راه‌گرد شبدری

از شکل ۴ این‌گونه برداشت می‌شود که با افزایش درصد نفوذ خودروهای خودران ابتدا زمان ازدست‌رفته افزایش پیدا می‌کند ولی با افزایش نفوذ خودران میانگین زمان ازدست‌رفته کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۵. میانگین زمان ازدست‌رفته با درصد نفوذ مختلف قسمت weaving راه‌گرد شبدری

بررسی کنیم. پیش‌بینی می‌شود، خودروهای متصل و خودران پتانسیل قابل توجهی برای بهبود وضعیت ترافیک، کارایی، ثبات و ایمنی سامانه‌های متحرک موجود دارند. مرور ادبیات، نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌ها مبنی بر تأثیر خودروهای خودران بر ظرفیت معابر اصلی بوده است. در مقالات گذشته بیشتر به بررسی ظرفیت تقاطع‌های همسطح و بررسی یک شبکه دارای چندین تقاطع همسطح پرداخته‌اند. ما در این پژوهش به بررسی مدل تقاطع غیر همسطح شبدری با جریان ترافیک واقعی با درصد مشارکت مختلف خودروهای متصل و خودران پرداختیم، در این پژوهش قسمت‌های مربوط به merging و weaving نقاطی که دارای بیشترین ازدحام هستند بررسی می‌شود.

در قسمت همگرایی زمان ازدست‌رفته شبدری کامل، با افزایش مشارکت خودرو متصل و خودران به میزان ۱۰۰ درصد، میانگین میزان زمان ازدست‌رفته ۱۰ ثانیه کاهش پیدا کرده است. در قسمت weaving زمان ازدست‌رفته شبدری کامل اشاره‌شده در فصل‌های قبل، با افزایش مشارکت خودرو متصل و خودران به میزان ۱۰۰ درصد، میانگین میزان زمان ازدست‌رفته ۴۴ ثانیه بهبود پیدا کرده است.

از شکل ۵ این‌گونه برداشت می‌شود که با افزایش درصد نفوذ خودروهای خودران ابتدا زمان ازدست‌رفته افزایش پیدا می‌کند ولی با افزایش نفوذ خودران میانگین زمان ازدست‌رفته کاهش پیدا می‌کند.

## ۴. نتیجه‌گیری

امروزه سیستم‌های ترابری کشورهای مختلف در حال پیشرفت هستند. با این حال هنوز هم مشکلات زیادی در این چرخه موجود است. بسیاری از پژوهشگران کشورهای مختلف به دنبال پیدا کردن راه‌هایی برای کاهش این مشکلات هستند. پیشرفت تکنولوژی و ورود آن به حوزه ترابری باعث شده است که پژوهشگران حل مشکل ازدحام را در استفاده از تکنولوژی روز دنیا ببینند. یکی از این پیشرفت‌ها، خودروهای متصل و خودران هستند که می‌توانند با رانندگی ایمن‌تر و مطمئن‌تر نسبت به خودروهای عادی بر ازدحام در نقاط مختلف اثر بگذارند. هم‌چنین ویژگی اتصال بین خودروها باعث به وجود آمدن خودروهای متصل و خودران شده است که دارای تأثیر بیشتری نسبت به خودران است.

در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از ابزار شبیه‌سازی تأثیر خودروهای متصل و خودران بر ترافیک

– Autonomous cars: Recent developments, challenges, and possible solutions Sehajbir Singh<sup>1</sup> and Baljit Singh Saini<sup>2</sup> School of Computer Science and Engineering, Lovely Professional University, Phagwara, Punjab, India

– Impacts of autonomous vehicles on the urban fundamental diagram Qiong Lu<sup>1</sup>, Tamás Tettamanti<sup>1</sup>, István Varga<sup>1</sup> Department of Control for Transportation and Vehicle Systems, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Hungary

– Impacts of Autonomous Vehicles on Traffic Flow Characteristics under Mixed Traffic Environment: Future Perspectives Mohammed Al-Turki<sup>1</sup>, Nedal T. Ratrouf<sup>1</sup>, Syed Masiur Rahman<sup>2</sup> and Imran Reza<sup>3</sup>.

– Ricardo F. Tomása, Paulo Fernandes, Eloisa Macedoa, Jorge M. Bandeira, Margarida

– Traffic capacity implications of automated vehicles mixed with regular vehicles Arash Olia, Saiedeh Razavi, Baher Abdulhai & Hossam Abdelgawad.

– Exploring the impact of connected and autonomous vehicles on freeway capacity using a revised Intelligent Driver Model

– [https://sumo.dlr.de/docs/Vehicle\\_Type\\_Parameter\\_Defaults.html](https://sumo.dlr.de/docs/Vehicle_Type_Parameter_Defaults.html)

– Lane-Changing Model in SUMO Jakob Erdmann German Aerospace Center, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin, Germany.

## ۵. پی‌نوشت‌ها

1. bottleneck
2. merging
3. weaving
4. WHO
5. autonomous vehicle
6. ICT
7. Machine learning
8. Human drivers vehicle

۹. خودرو بدون تخلف

## ۶. مراجع

– بررسی اثر خودروهای خودران و خودروهای خودران و متصل بر ظرفیت آزادراه‌ها با استفاده از شبیه‌سازی خردنگر، محمود صفارزاده امیرحسین کرباسی.

– Evaluating the impact of connected and autonomous vehicles on traffic safety, Author links open overlay panel Lanhang Ye, Toshiyuki Yamamoto

– Jabari, S. E., Zheng, J., & Liu, H. X. (2014). A probabilistic stationary speed–density relation based on Newell’s simplified car-following model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 68, 205–223.

– SAE. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*; SAE International Warrendale, PA, USA, 2021.

– Impacts of autonomous vehicles on the urban fundamental diagram Qiong Lu, Tamás Tettamanti Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Department of Control for Transportation and Vehicle Systems, Hungary