فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱٤، شماره ۳، بهار ۱٤۰۲، ص. ۲۸٦۰-۲۸٤۳

مقاله علمی-پژوهشی

اولویت‌بندی پارامترهای رفتاری قابل ارزیابی با شبیه‌ساز رانندگی برای خودروهای سواری در کلان‌شهر تهران

مرتضی اسد امرجی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

Email: M_asadamraji@sbu.ac.ir

امیر رسولی، کارشناس ارشد سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، تهران، ایران

دریافت: ۱٤۰۱/۱۰/۱۱ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۲/۱٦

چکیده

عوامل بروز تصادفات ترافیکی شامل انسان، جاده، محیط و وسیله نقلیه است که در این میان نیز بیش‌ترین سهم، مربوط به عامل انسانی است، درنتیجه در حین مطالعات ایمنی ترافیک عوامل انسانی باید در اولویت قرار گیرند. امروزه یکی از فناوری‌های مهمی که در زمینه بررسی پارامترهای رفتاری رانندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد شبیه‌سازهای رانندگی است. علاوه بر آن استفاده از شبیه‌سازهای رانندگی با هدف کاهش حوادث از طریق افزایش مهارت رانندگان و صلاحیت سنجی رانندگان از جمله موارد مهم آموزشی است که میزان خطاهای انسانی را کاهش می‌دهد. در این پژوهش شبیه‌سازهای رانندگی خودرو سواری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند تا مهم‌ترین پارامترهای رفتاری که به‌وسیله این دستگاه‌ها قابلیت برداشت و ارزیابی دارند اولویت‌بندی شوند. بدین منظور دو معیار تخلف و تصادف در بین رانندگان خودروی سواری در شهر تهران انتخاب شدند. در راستای وزن دهی معیارها از روش میانگین حسابی ساده و با توجه به میزان اثرگذاری بر ایمنی و نظرات متخصصان دارای تخصص و سابقه‌حرفه‌ای مرتبط با حمل و نقل و شبیه‌سازهای رانندگی استفاده شد. برای اولویت‌بندی نهایی پارامترهای رفتاری قابل ارزیابی به‌وسیله دستگاه شبیه‌ساز از روش کوداس استفاده شد که بر اساس یک روش کنترل مضاعف و براساس شاخص ارزیابی حاصل از فواصل اقلیدسی و تاکسی از ایده‌آل منفی رتبه بندی را انجام می‌دهد. در نهایت تحلیل‌ها نشان داد درک خطر و انتخاب سرعت مهم‌ترین پارامترهای رفتاری هستند که باید در شهر تهران مدنظر قرار گیرند. از نتایج این پژوهش می‌توان در آموزش و آزمون مهارت‌های رانندگی و جمع‌آوری پارامترهای رفتاری رانندگان خودروهای سواری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای رفتاری، شبیه‌ساز رانندگی، اولویت‌بندی

۱. مقدمه

حرکت به سمت مدرن شدن و در نتیجه نبود توازن بین رشد ترافیک جاده‌ای و شرایط محیطی، تراژدی سوانح ترافیکی را در کشورهایی که سطح درآمد پایین و متوسط دارند، وخیم‌تر کرده و به روند رو به رشد آن‌ها سرعت بخشیده است، به همین دلیل است که هم‌اکنون تصادفات ترافیکی به‌عنوان یکی از دلایل اصلی فوت در جهان شناخته می‌شود. [Taghavi and Akbari, 2002]، [Kotliarenko, 2020].

سالانه بیش از ۱ میلیون نفر براثر تصادفات رانندگی جان خود را از دست می‌دهند و به‌طور میانگین بیش از ۳۰ میلیون نفر دچار معلولیت و جراحات ناشی از تصادف می‌شوند [Peden and Puvanachandra, 2019]. این حقیقت که رفتارهای خطرناک در حین رانندگی یکی از عوامل مهم و مؤثر در بروز تصادفات رانندگی بوده و در موارد متعددی رفتارهای انسانی عامل اصلی بروز این حوادث به‌حساب می‌آیند، اهمیت پرداختن به اصلاح رفتارهای رانندگی در مدیریتی مرتبط با فرآیند رانندگی را نشان می‌دهند [Owsley, McGwin and McNeal, 2003].

عوامل بروز تصادفات ترافیکی شامل انسان، جاده، محیط و وسیله نقلیه است که اکثر بررسی‌های کارشناسی و مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد بیش‌ترین سهم، مربوط به عامل انسانی است. درنتیجه در حین مطالعات ایمنی ترافیک عوامل انسانی باید در اولویت قرار گیرند.

استراتژی‌های افزایش ایمنی ترافیک در دنیا در پنج دسته اصلی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: ارتقای ایمنی کاربران راه، بهبود زیرساخت‌های حمل‌ونقلی، مدیریت ایمنی ترافیک، ارتقای ایمنی وسایل نقلیه و اقدامات پس از تصادف [Wismans, Granström and Skogsmo, 2019].

یکی از مسائل و مشکلات مطالعات ایمنی ترافیک، ارزیابی رفتاری رانندگان و سایر کاربران معابر است. با توجه به اینکه در واقعیت جمع‌آوری کلیه شاخص‌های رفتاری با مخاطراتی مواجه است و برخی از آن‌ها نیز به مطالعات قبل و بعد نیاز دارد درنتیجه باید از تجهیزات و ابزارهای دیگری استفاده نمود. شبیه‌سازها یا سیمولاتورها بخشی از علم واقعیت مجازی هستند که کاربر را در محیط مجازی قرار می‌دهند و احساس حضور در محیط واقعی را برای او ایجاد می‌کنند.

بر طبق مطالعات انجام شده در خصوص آمار تصادفات و تخلفات شهر تهران، بیشترین علت تامه ثبت شده برای تصادفات منجر به فوت در سالهای ۹۶ تا ۹۹ ، عدم توجه به جلو و بعد از آن عدم توانایی در کنترل وسیله نقلیه و تغییر مسیر ناگهانی ثبت شده است.

متخصصین از یک‌سو سعی دارند با تجهیز هرچه بیشتر خودروها ایمنی بیشتری برای استفاده‌کنندگان از آن‌ها و حتی برای عابران در خارج از خودرو فراهم نمایند. از سوی دیگر متخصصین حمل و نقل، آموزش و روانشناسی اجتماعی در سراسر دنیا، پیوسته در جستجوی سیستم‌های آموزش و ارزیابی پیشرفته هستند که بتوانند به کمک آن‌ها قوانین را در رانندگان نهادینه و آن‌ها را به رعایت آن وادار نمایند. آموزش‌های ترافیکی به‌نوعی سرمایه‌گذاری برای آینده است و این امر بدون الگوبرداری و بومی‌سازی از برنامه‌های موفق دیگر کشورهای توسعه‌یافته و هدفمند و دارای چشم‌انداز- قانون پذیری- قانون محوری و در نهایت قانون باوری یکایک مردم صرف‌نظر از شغل، طبقه اجتماعی، نژاد، اقلیم امکان‌پذیر نیست. بدین منظور باید آموزش‌های لازم پا به پای این پیشرفت، تغییر و هماهنگ با این مهم به‌روزرسانی گردد. چراکه محیط‌های آموزشی به جهت محاط بودن بر رفتارهای انسانی و تأثیر متقابل محیط بر فرد، در جهت ارتقاء فرهنگ ترافیک و سوق دادن جامعه به سمت توسعه پایدار در حمل و نقل، نقش بسزایی دارد (اخضری بابکی و مختاریان، ۱۳۹۹).

شبیه‌ساز رانندگی وسیله‌ای است که فضایی مشابه رانندگی را با استفاده از واقعیت مجازی فراهم می‌آورد و در آموزش رانندگی،

اندازه‌گیری پارامترهای رفتاری، سرگرمی، مطالعات روانشناسی و ترافیکی مورداستفاده قرار می‌گیرد. در شبیه‌ساز رانندگی، کاربر در معرض یک محیط رانندگی شبیه‌سازی‌شده قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که احساس حضور در محیط واقعی به او دست خواهد داد و این احساس حضور به‌وسیله تعامل کاربر با محیط و غوطه‌ور شدن در آن ایجاد می‌گردد. منظور از تعامل، ارتباط متقابل میان کاربر و محیط است، به‌نحوی‌که هم کاربر روی محیط اثر می‌گذارد و هم محیط می‌تواند روی کاربر اثر بگذارد.

با استفاده از شبیه‌سازهای رانندگی، کاربر (راننده) در معرض یک محیط شبیه‌سازی‌شده قرار می‌گیرد و درعین‌حال امکان گرفتن ورودی از کاربر و دادن بازخورد را نیز به او فراهم می‌سازد، به‌طوری‌که احساس حضور در محیط واقعی به او دست خواهد داد و این احساس حضور به‌وسیله تعامل راننده با محیط و غوطه‌ور شدن در آن ایجاد می‌گردد.

در این مقاله هدف اصلی پاسخگویی به این سؤال است که کدام پارامترهای رفتاری قابل‌اندازه‌گیری با شبیه‌ساز رانندگی در اولویت برای شهر تهران می‌باشند. بدین‌وسیله با شناسایی و گزینش تعدادی از پارامترهای اثرگذار بر بهبود فرآیندهای رانندگی، می‌توان مشخص نمود که در شرایطی مانند محدودیت بودجه، محدودیت زمان، محدودیت در دسترسی به تأسیسات و سایر موارد مشابه، با تمرکز بر کدام پارامترها می‌توان بیشترین بهره‌وری ایمنی و کاهش تصادف را از دستگاه‌های شبیه‌ساز داشت، و یا سرمایه‌گذاری بر کدام پارامترها به‌عنوان کم بازده‌ترین و یا دیربازده‌ترین موارد، بهره کمتری برای سیستم برجای خواهد گذارد. در این راستا از الگوی کوداس که مبتنی بر شاخص ارزیابی نسبی دو نوع فاصله اقلیدسی و تاکسی ایده‌آل منفی است استفاده خواهد شد.

۲. مروری بر ادبیات تحقیق

از مهم‌ترین شاخصه‌های شبیه‌سازهای رانندگی قابلیت تعاملی بودن آن‌هاست که در پژوهشی که در سال ۲۰۱۵ در کشور سوئیس انجام و منجر به ارائه کتابچه راهنما در خصوص توسعه و به‌کارگیری شبیه‌سازهای رانندگی شد بخشی نیز به شبیه‌سازهای پویا[1] اختصاص یافت. این مطالعه در نخستین گام به بررسی و معرفی شبیه‌سازهای ترافیکی پرداخته و کاربردهایی را برای این شبیه‌سازها، مانند ارائه (نمایش) کاربردهای عملیاتی وسایل نقلیه، و معرفی کارکردهای نوین این وسایل، انجام تحقیقات و پژوهش‌ها در خصوص شرایط جدید در نظر گرفته‌شده برای خودروها اعم از داخل خودرو، تجهیزات کنترلی و موارد دیگر، با هدف ارزیابی در دسترس بودن، آشنا بودن برای راننده (کاربر)، جامعیت و قابل‌درک بودن و موارد مشابه، انجام آموزش‌های مفید برای رانندگان، خودروهای امدادی، نحوه بهبود رانندگی به‌منظور مصرف بهینه سوخت، شرکت در مسابقات و موارد مورد نیاز دیگر تعریف نموده است. در مطالعه‌ای تطبیقی که در سال ۲۰۱۲ در کشور هلند انجام شد منافع و اثرات، و نیز معایب سامانه‌های شبیه‌ساز وسایل نقلیه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. این پژوهش با توجه به اینکه نرخ تولید علم در جهان، به‌خصوص در زمینه تکنولوژی، با روند رو به رشدی همراه است، آینده امیدبخشی در استفاده از این تکنولوژی‌ها برای بهبود زندگی انسان متصور بود، که یکی از مهم‌ترین این زمینه‌ها، رانندگی ایمن در شرایط ترافیکی معابر است (de Winter et al., 2012).

در مطالعه دیگری که در سال ۲۰۲۱ در کشور چین انجام پذیرفت، اعتبار سنجی عملکرد شبیه‌ساز خودرو با توجه به رفتار رانندگی مبتنی بر پارامترهای سرعت و مسیر منحنی موردمطالعه قرار گرفت. با توجه به توسعه شبیه‌سازها همگام با توسعه و پیشرفت تکنولوژی، روش‌های اعتبارسنجی آن‌ها نیز نیاز به به‌روزرسانی خواهند داشت. در شبیه‌سازهای ابتدایی‌تر، اعتبارسنجی متمرکز بر تصاویر و نیز اصول حرکت‌شناسی بود؛ این در حالی است که امروزه، اعتبارسنجی شبیه‌سازها بیشتر متمرکز بر تعاملات بین کاربر – شبیه‌ساز متمرکزشده، که درنتیجه تکنولوژی‌های به‌روز مانند سامانه‌های همیار راننده است.

محققان در این پژوهش به طراحی قوس‌ها با درجات مختلف پرداختند، و سرعت و مسیر حرکت را به‌عنوان شاخص‌های اعتبارسنجی در نظر گرفتند که با استفاده از شاخص‌هایی مانند آلفای کرونباخ قابلیت اطمینان محاسبه می‌گردد. (L. Chen et al., 2021). در مطالعه‌ای که سهرابی و همکاران انجام دادند، شبیه‌ساز رانندگی به‌منظور ارزیابی زمان واکنش راننده به دو نوع چراغ ترمز مورداستفاده قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش حاکی از تفاوت معنی‌دار زمان واکنش ترمز گرفتن زنان و مردان بوده است. علاوه بر آن این مطالعه نشان داد اگرچه سطح مهارت رانندگی فرد نیز تأثیر معنی‌داری بر زمان فشردن و رها کردن پدال گاز ندارد لیکن یکی از عوامل تأثیرگذار بر زمان واکنش ترمز گرفتن راننده است (Sohrabi et al., 2013). در پژوهش دیگری که در دانشگاه آیووا[۲] انجام پذیرفت، عملکرد شبیه‌سازهای رانندگی و زمان عکس‌العمل کاربران در هنگام رخداد حوادث مورد بررسی قرار گرفت. به‌طورکلی این آزمایش در مقایسه عملکردهای بین سامانه‌های ترمز سنتی و ترمز ضد قفل به‌وسیله شبیه‌سازها طرح‌ریزی‌شده، و اهداف ذکرشده در کنار هدف اصلی مورد بررسی قرار گرفتند. در این پژوهش زمان فشردن پدال ترمز و چرخش فرمان درنتیجه آگاهی از خطرات در دو آزمایش سنجیده و نتایج آن با یکدیگر مقایسه شد. علاوه بر آن، حداکثر شتاب جانبی و مستقیم وسیله نقلیه نیز در دو حالت ارزیابی و با یکدیگر مقایسه گردید(Mcgehee et al., 1998).

در پژوهشی که در کشور آلمان انجام شد نوع دیگری از شبیه‌ساز مورداستفاده قرار گرفته است که شامل چند کابین شبیه‌ساز بوده که در هر یک از آن‌ها یک راننده قرار می‌گیرد. درواقع در این شبیه‌ساز تعدادی راننده همانند محیط واقعی در کنار یکدیگر رانندگی کرده و از رفتار و عملکرد یکدیگر اثر می‌پذیرند. بدین‌ترتیب نه‌تنها شرکت‌کنندگان در این آزمایش شبیه‌سازی در معبر ارائه‌شده رانندگی نکرده و در مقابل خطرات و سناریوهای احتمالی عکس‌العمل نشان می‌دهند، بلکه از رفتار یکدیگر نیز تأثیر پذیرفته و درنتیجه این فعالیت‌ها، رفتار رانندگی خود را نمایش می‌دهند(Mühlbacher et al., 2011).

در سال ۲۰۱۳ بلا و همکارانش مطالعاتی را در مورد تأثیر درختان کنار جاده بر سرعت رانندگان انجام دادند که این پژوهش با به‌کارگیری شبیه‌ساز رانندگی تکمیل گردید نتیجه حاکی از این بود که رانندگان تا زمانی که فاصله درختان از کنار جاده بیش از ۲ متر است عکس‌العملی انجام نمی‌دهند اما در این شرایط سرعت حدود ۲ کیلومتر در ساعت کاهش می‌یابد. ضمن اینکه رانندگان تمایل داشتند حدود ۱۲ سانتیمتر به مرکز خط خود نزدیک‌تر شوند (Bella, 2013).

در مطالعه دیگری که در سال ۲۰۰۹ در فلوریدا آمریکا انجام پذیرفت روش مشابه مقایسه عملکرد راننده در خودرو واقعی و در شبیه‌ساز مورد مقایسه قرار گرفت؛ اما آنچه منجر به تفاوت این مطالعه با سایر مطالعات شده این نکته است که در این مطالعه علاوه بر مقایسه رفتار و عکس‌العمل‌های راننده در استفاده از شبیه‌ساز و خودرو واقعی، عکس‌العمل‌های وسیله نقلیه و دستگاه نیز مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت که از این عکس‌العمل‌های خودرو تحت عنوان مدل‌های دینامیکی خودرو تعبیر می‌شود. این مدل‌ها نشان می‌دهند که شبیه‌ساز تا چه میزان قابلیت شبیه‌سازی صحیح و دقیق وسیله نقلیه‌ای که شبیه‌سازی شده است را دارا می‌باشند(Shechtman et al., 2009).

در مطالعه‌ای با هدف جمع‌آوری اطلاعات در حین استفاده از شبیه‌ساز رانندگی، چگونگی حرکات چشم رانندگان در هنگام مشاهده ویدیوها توسط سیستم ویژه‌ای ثبت گردید. بر این اساس می‌توان متوجه شد که در هنگام بروز یک موقعیت خطرناک، چشم راننده در چه وضعیتی قرار داشته و همچنین به‌طورکلی دامنه حرکتی آن به چه صورتی است. به همین منظور یک عینک مخصوص ضبط حرکات مردمک چشم به کاربر داده شده تا هنگام مشاهده ویدیوها از آن استفاده نماید. (N. Chen et al., 2011)

در ایتالیا مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی عملکردهای رانندگان در مواجهه با چراغ زرد راهنمایی با استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز

رانندگی انجام پذیرفت. در این مطالعه ٤٨ راننده، با توزیعی از سنین مختلف، و از هر دو جنسیت زن و مرد در معرض مواجهه با چراغ زرد راهنمایی در شبیه‌ساز رانندگی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که رانندگانی که تصمیم به توقف گرفتند سرعت خود را خیلی زودتر کاهش دادند و در نتیجه فعالیتی مبنی بر عملکرد ترمزگیری شدید در این خصوص از رانندگان گزارش نشد. با این حال، تعداد تصمیمات توقف در این شرایط افزایش یافت، که نشان‌دهنده افزایش غیرضروری در نرخ توقف اولیه و در نتیجه کاهش راندمان و عملیات تقاطع است (A, Calvi. 2022).

همچنین در کشور فنلاند مطالعه‌ای انجام شد که در آن ارزیابی عملکرد رانندگان خواب‌آلود در حین رانندگی با استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه ۱۲ کاربر راننده مرد در شرایط هوشیاری و خواب‌آلودگی با درجات مختلف در دو معبر متفاوت اقدام به رانندگی با دستگاه شبیه‌ساز نمودند، با این تفاوت که در معبر نخست سطح راه خشک، و در معبر دوم سطح راه لغزنده بوده است. در این آزمایش برداشت‌ها با استفاده از پارامترهایی مانند زمان عکس‌العمل، فواصل پلک زدن، مدت زمان بسته بودن چشم و دیگر پارامترهای قابل برداشت و ارزیابی، انجام پذیرفت. نتایج حاکی از آن بود که رانندگی در شرایط سخت جاده (مانند شرایط تاریکی یا لغزندگی جاده) ممکن است رانندگان خواب‌آلود را بیشتر خسته کند که منجر به بالا رفتن احتمال خطا و تصادف می‌شود (I, Radun et al,. 2022).

مطالعه انجام شده در دانشگاه کره جنوبی در سال ۲۰۲۲ با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز رانندگی نشان داد که عملکرد رانندگان مبتدی و باتجربه در جستجوی اطلاعات مورد نیاز در حین رانندگی متفاوت می‌باشد. ترکیبی از یک تجزیه و تحلیل استاتیک بر اساس زمان خیره ماندن، مدت زمان تثبیت چشم، تعداد تثبیت‌ها و آنتروپی نگاه ثابت در جستجوی بصری، و نیز یک تحلیل دینامیکی با استفاده از آنتروپی میدان دید اعمال شد. تحلیل استاتیکی روی پارامترهای بصری نشان داد که گروه رانندگان مبتدی نسبت به باتجربه‌ها زمان ماندگاری طولانی‌تری روی چراغ‌های راهنمایی، عابران پیاده و وسایل نقلیه عبوری و مدت زمان ثابت ماندن در سیستم ناوبری و داشبورد نشان دادند. همچنین، افراد مبتدی در حین رانندگی در یک تقاطع، بیشتر به منطقه مورد علاقه خود خیره می‌شدند. نتایج تجزیه و تحلیل دینامیک نشان داد که گروه مبتدی بیشترین انتقال نگاه را بین چراغ‌های راهنمایی، عابران پیاده و وسایل نقلیه عبوری انجام دادند، درحالی‌که رانندگان باتجربه بیشترین جابه‌جایی بین آینه‌های سمت راست و چپ، وسایل نقلیه عبوری، عابران پیاده و چراغ‌های راهنمایی را برای یافتن نشان دادند (J.Chung et al,. 2022).

بررسی تحقیقات مختلف نشان می‌دهد پارامترهای رفتاری مختلف رانندگان در این پژوهش‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که هر یک با توجه به مشخصات رفتاری رانندگان یک منطقه خاص و با در نظر گرفتن اولویت‌های رفتاری آن منطقه بررسی شده است. در

جدول ۱ خلاصه مطالعات مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۱. خلاصه مطالعات مرتبط انجام شده مورد بررسی

ردیف	کشور / محقق / مرکز تحقیقاتی	سال پژوهش	موضوع مطالعه / پژوهش
۱	دانشگاه آیووا	۱۹۹۸	بررسی عملکرد شبیه‌سازهای رانندگی و زمان عکس‌العمل کاربران در هنگام رخداد حوادث
۲	فلوریدا	۲۰۰۹	مقایسه عملکرد راننده در خودرو واقعی و در شبیه‌ساز
۳	آلمان	۲۰۱۱	بررسی اثرپذیری رانندگان از یکدیگر با استفاده از شبیه‌ساز رانندگی
٤	چن و همکاران	۲۰۱۱	جمع‌آوری اطلاعات در حین استفاده از شبیه‌ساز رانندگی
٥	هلند	۲۰۱۲	بررسی منافع و اثرات، و نیز معایب سامانه‌های شبیه‌ساز وسایل نقلیه
٦	کره جنوبی	۲۰۲۲	ارزیابی عملکرد رانندگان مبتدی و باتجربه در جستجوی اطلاعات مورد نیاز در حین رانندگی
۷	بلا و همکاران	۲۰۱۳	بررسی اثرات محیطی بر رانندگان
۸	سوئیس	۲۰۱٥	ارائه کتابچه راهنما در خصوص توسعه و به‌کارگیری شبیه‌سازهای رانندگی بررسی شبیه‌سازهای پویا
۹	چین	۲۰۲۱	اعتبار سنجی عملکرد شبیه‌ساز خودرو با توجه به رفتار رانندگی مبتنی بر پارامترهای سرعت و مسیر منحنی
۱۰	ایتالیا	۲۰۲۲	ارزیابی عملکردهای رانندگان در مواجهه با چراغ زرد راهنمایی با استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی
۱۱	فنلاند	۲۰۲۲	ارزیابی عملکرد رانندگان خواب‌آلود در حین رانندگی با استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی

۳. روش تحقیق

بررسی سهم انواع مدهای حمل و نقل در شهر تهران نشان می‌دهد بیش از ۵۰ درصد مدهای حمل و نقل سهم سواری و وانت است لذا رانندگان این خودروها سهم عمده‌ی در مسائل رفتاری معابر شهر تهران دارا می‌باشند و لذا ضروری است پارامترهای رفتاری آن‌ها مورد بررسی قرار گیرند.

به‌منظور پیشبرد مطالعه و در راستای شناسایی و احصاء اهداف تعیین‌شده که منجر به بهبود وضعیت آمد و شد شهری می‌گردند، نیاز است که شاخص‌هایی از شبیه‌سازهای در دسترس مورد توجه قرار گیرند که بر پایه آن‌ها بتوان تا حد امکان شرایط را بهبود بخشیده و رویه‌های موجود را به سمت فرآیندهای موردنظر سوق داد تا در چندین گام و به‌صورت مرحله به مرحله، بخشی یا تمام اهداف در سیستم پیاده‌سازی گردند.

ذکر این نکته ضروری است که استفاده از شبیه‌سازها دارای محدودیت‌هایی عملکردی بوده و نمی‌توان انتظار داشت که با استفاده از یک شبیه‌ساز، در یک یا حتی چند مرحله، به ارزیابی کلیه پارامترها پرداخت. علاوه بر آن، ممکن است یک شبیه‌ساز قادر به اندازه‌گیری کلیه شاخص‌های مورد انتظار نبوده و یا با توجه به محدودیت‌های موجود، توجیه اقتصادی برای این کار وجود نداشته باشد. لذا ضروری است پراهمیت‌ترین شاخص‌ها شناسایی و گزینش شوند تا بتوان با اولویت‌بندی صحیح، بهترین نتیجه را از به‌کارگیری تجهیزات به‌دست آورد. برای انتخاب گزینه‌ها در نخستین گام باید پارامترهای سایر کشورها و همچنین مهم‌ترین مشکلات رفتاری شناسایی شود تا بتوان نیازهای اساسی

و اصلی را احصاء نمود. گزینه‌ها می‌توانند با توجه به سوابق سوانح حادث‌شده، هزینه‌های صرف شده، حوادث بالقوه، تجربیات کسب‌شده و نیز نظرسنجی از خبرگان و متخصصین انجام پذیرد.

از سوی دیگر، ارزیابی پارامترها با توجه به معیارهایی انجام می‌پذیرد که به شکل مستقیم یا غیرمستقیم اثرگذار بر نحوه عملکرد افراد هم در استفاده از شبیه‌ساز و هم در دنیای واقعی می‌باشد. در ادامه به تشریح این موارد پرداخته خواهد شد.

۳-۱ پارامترهای عملکردی شبیه‌سازها

با استفاده از واقعیت مجازی و ابزارهای آن، می‌توان بسیاری از پارامترهای رفتاری را مورد ارزیابی قرار داد. پس از آن با تمرکز بر استراتژی‌های مرتبط با پارامترهای رفتاری منتخب، می‌توان ارتقای رفتاری کاربران و درنهایت بهبود ایمنی را حاصل نمود.

در همین راستا، این پژوهش به بررسی شاخص‌هایی می‌پردازد که به‌وسیله آن‌ها امکان ارزیابی عملکرد کاربران توسط شبیه‌سازهای رانندگی میسر باشد.

پارامترهای مهم رفتاری که با بکارگیری شبیه‌سازهای رانندگی قابل جمع‌آوری می‌باشند با استفاده از بررسی ادبیات موضوع، آمار تصادفات شهر تهران و همچنین نظرات کارشناسان انتخاب شدند که عبارتنداز:

- انتخاب سرعت
- سبقت‌گیری
- خط سیر حرکت (تغییر خط، تغییر خط برای سوار و پیاده کردن مسافر، انحراف از مسیر)
- درک خطر
- رفتار در تقاطع‌ها، دوربرگردان‌ها، میادین و سایر موارد (گردش‌ها، عبور از تقاطع، حق تقدم عبور)
- رفتار راننده در مواجهه با چراغ
- فواصل طولی و عرضی
- رانندگی تهاجمی
- توجه به علائم و هشدارها
- عبور از محل ممنوع (مانند عبور از پیاده‌رو، خط ویژه، خیابان ورود ممنوع و سایر موارد)
- حرکت با دنده‌عقب
- حرکات چشم و جستجوی بصری
- پردازش اطلاعات و سیگنال‌های مغزی
- زمان عکس‌العمل
- نوع عکس‌العمل

۳-۲ معیارهای اثرگذار

پیامد تصادفات علاوه بر خسارات انسانی ناشی از آن، مشکل جدی برای مراکز بهداشتی و درمانی پذیرنده مصدومان، به‌ویژه مراکز اورژانس است. علاوه بر این، رخداد سوانح ترافیکی تأثیرات نامطلوب دیگری نیز بر وضعیت تردد، نرخ آلایندگی، مصرف سوخت، زمان سفر و رضایت کاربران بر جای می‌گذارد. از سوی دیگر عدم رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی از طرف انسان از علل اساسی وقوع تصادفات رانندگی و آسیب انسان‌ها است. موضوع تخلفات همچنین در اکثر مطالعات مرتبط با ارزیابی‌های رفتاری و پرسشنامه‌های رفتار رانندگی از مهم‌ترین معیارهایی است که مورد توجه قرار می‌گیرد.

لذا هر اقدامی که بتواند نسبت به بهبود شرایط تردد از طریق کاهش تعداد و یا شدت تصادفات، و نیز اصلاح رفتار رانندگی و تقلیل تخلفات کمک کند، به‌عنوان اقدام مطلوب تلقی خواهد شد. به همین دلیل، در این مقاله ۲ پارامتر تصادف و تخلف بدلیل تأثیر مستقیم بر ایمنی و دردسترس بودن به‌عنوان معیارهای ارزیابی و رتبه‌بندی پارامترهای عملکردی مربوط به شبیه‌سازهای رانندگی مورد توجه قرار گرفتند.

۳-۳ امتیازدهی معیارها

در این مطالعه جهت امتیازدهی به معیارها از روش تقریبی «میانگین حسابی» به علت تعداد کم معیارها و سادگی محاسبات استفاده شده است. این روش شامل سه مرحله زیر است:

مرحله اول: ارزش‌های هر ستون با هم جمع گردد.

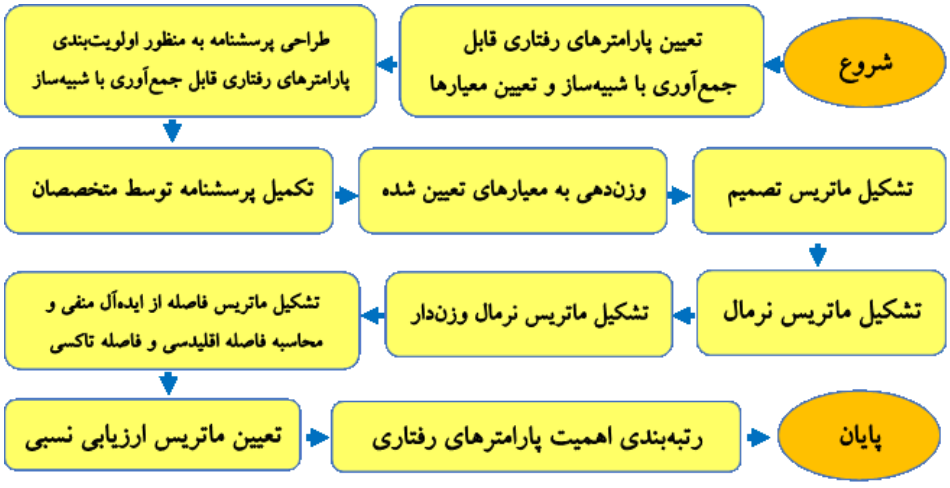
مرحله دوم: هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی بر جمع ستون خودش، تقسیم شده تا ماتریس زوجی نرمالیزه شود.

مرحله سوم: مقدار متوسط عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه، محاسبه می‌شود. این مقدار متوسط، یک تخمین از وزن‌های مورد نظر است.

٤-٣ روش انتخابی مورد استفاده (کوداس)

با توجه به اینکه در این پژوهش معیارها و متغیرهای متعددی در فرآیند تصمیم‌گیری اثرگذار بوده و توجه به هر یک از معیارها نباید تصمیم گیر را از سایر معیارها و متغیرها غافل نماید، لذا فرآیند وزن‌دهی و تصمیم‌گیری با استفاده از روش‌های چند شاخصه انجام می‌شود. درعین‌حال باید به این نکته نیز توجه داشت که در این مطالعه هر شاخص جدا از سایر شاخص‌ها مبنای ارزیابی گزینه‌های رقیب قرار می‌گیرد. در این مدل، معیارها مستقل از هم در فرآیند تصمیم‌گیری بررسی می‌شوند و نقطه‌ضعف موجود در یک شاخص توسط مزیت موجود در یک شاخص دیگر جبران نمی‌شود. چرا که گزینه‌ها از یکدیگر مجزا بوده و هر یک به شکل منفرد امتیازدهی شده و مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین دلیل است که به‌کارگیری تکنیک‌های چند شاخصه در این مطالعه دارای ارجحیت می‌باشد.

پس از مقایسه و بررسی روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره، روش کوداس با توجه به مزایایی که در مقایسه با سایر روش‌ها دارد در این پژوهش برای اولویت‌بندی شاخص‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. تکنیک CODAS (Combinative Distance-based Assessment)به معنی ارزیابی مبتنی بر فاصله ترکیبی می‌باشد که هدف آن رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس معیارهای منتخب است. روش کوداس مطلوبیت گزینه‌ها را بر اساس دو روش تعیین می‌کند. اولین معیار محاسبه فاصله اقلیدسی گزینه‌ها از ایده آل منفی و دومین معیار نیز محاسبه فاصله تاکسی (Taxicab distance) گزینه‌ها از ایده آل منفی است. دلیل انتخاب روش کوداس در مقایسه با بسیاری روش‌های چند متغیره موجود دیگر، کنترل مضاعف آن می‌باشد. چرا که در این روش، دو معیار کنترلی وجود داشته که درصورتی‌که هر یک از معیارها دارای درصدی از خطا بوده باشد، معیار دوم می‌تواند با کنترل ریاضی از خطای موجود تا میزان قابل‌قبولی بکاهد. به همین دلیل می‌توان اذعان داشت که نتایج حاصل از روش کوداس در مقایسه با سایر روش‌ها خطای کمتری داشته و دارای قابلیت اطمینان بیشتری می‌باشد. مراحل گام به گام رتبه‌بندی شاخص‌ها با استفاده از روش کوداس در شکل ۱ نمایش داده شده است (Keshavarz Ghorabaee et al. 2016).



شکل ۱. مراحل گام به گام حل مسأله به‌وسیله روش کوداس

مراحل گام‌به‌گام روش کوداس به شرح زیر می‌باشد:

۱- اولین گام در این روش تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم روش کوداس همانند ماتریس تصمیم روش‌هایی چون تاپسیس، ویکور و یا الکتره است، یعنی ماتریسی که معیارهای آن ستون‌ها و سطرهای آن گزینه‌های پژوهش هستند.

$$X = [x_{ij}]_{n\times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

۲- دومین گام نرمال‌سازی ماتریس تصمیم می‌باشد نرمال‌سازی با استفاده از روابط زیر انجام می‌شود اگر معیار جنبه مثبت (سود) داشته باشد از رابطه اول و اگر معیار جنبه منفی (هزینه) داشته باشد از رابطه دوم استفاده می‌شود.

$$n_{ij} = \begin{cases} \dfrac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} & j \in N_b \quad \text{معیارهای مثبت } N_b \\ \dfrac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} & j \in N_c \quad \text{معیارهای منفی } N_c \end{cases} \quad (۲)$$

(Keshavarz Ghorabaee et al. 2016).

بدین ترتیب ماتریس نرمال تصمیم حاصل خواهد شد که با ضرب‌در وزن هر معیار در تمامی درایه‌های زیر همان معیار، ماتریس تصمیم نرمال ایجاد خواهد شد.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

پس از تشکیل ماتریس نرمال موزون زمان محاسبه نقطه ایده‌آل منفی Negative-ideal solution است. مقدار ایده‌آل منفی هر معیار به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Ns_j = \min_i v_{ij} \quad (٤)$$

۳- در این گام باید فواصل اقلیدسی (Euclidean distance) و تاکسی (Taxicab distances) از ایده آل منفی را محاسبه نمود. این فواصل از روابط زیر به دست می‌آیند. در این روابط ns_j ایده آل منفی معیارها است.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (٥)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^{m} \left| r_{ij} - ns_j \right| \quad (٦)$$

(Keshavarz Ghorabaee et al. 2016).

٤- در این گام باید ماتریس ارزیابی نسبی را با استفاده از رابطه ۷ ایجاد شود؛ که در این رابطه، Ψ نشان‌دهنده یک تابع آستانه برای تشخصی برابری فاصله اقلیدسی دو گزینه است.

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k))$$

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & |x| \geq \tau \\ 0 & |x| < \tau \end{cases} \quad (۷)$$

(Keshavarz Ghorabaee et al. 2016).

گام نهایی مربوط به محاسبه نمره ارزیابی گزینه‌هاست. بدین‌ترتیب با جمع مقادیر h_{ik} گزینه‌ها، می‌توان آن‌ها را رتبه‌بندی نمود. هر چه مقدار Hi بزرگ‌تر باشد گزینه رتبه بهتری دارد. باید به این نکته نیز توجه داشت که جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پرسشنامه (به دو شکل حضوری و برخط) از افرادی انجام پذیرفت که دارای صلاحیت کافی در زمینه‌های مربوط به حمل و نقل و ترافیک، راه و ترابری، فناوری اطلاعات و دیگر رشته‌های مرتبط بوده‌اند. با بررسی پاسخنامه‌ها و انجام بررسی‌های کارشناسی، پرسشنامه‌هایی به کامل و دقیق تشخیص داده شدند برای تحلیل داده‌ها به فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره وارد گردیدند.

۵-۳ روند پرسشگری

نخستین گام از این پژوهش مربوط به اخذ نظرات خبرگان و متخصصان از طریق پرسشگری می‌شده است. در مرحله پرسشگری، پرسش‌نامه‌هایی جهت امتیازدهی به پارامترهای رفتاری قابل جمع‌آوری با شبیه‌سازهای رانندگی در اختیار کارشناسان و متخصصین قرار گرفت. طراحی پرسشنامه برای رسیدن به ماتریس تصمیم به عنوان گام اولیه روش پیشنهادی بود که در این راستا معیارهای دوگانه و پارامترهای رفتاری با توجه به مروری بر ادبیات، دلایل تصادف و تخلفات شهر تهران انتخاب شد.

تعداد کل افراد متخصص شرکت‌کننده در فرآیند تکمیل پرسشنامه‌ها ۱۸۳ نفر بوده که ٤٧ درصد این افراد متخصص از سازمان‌های حمل و نقل شهری، ۲۳ درصد از دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و ۲ درصد از پلیس راهور در تکمیل پرسشنامه‌ها شرکت داشته‌اند. بر اساس بررسی تحلیل‌های چند معیاره و مراجع مرتبط به ازای هر معیار باید حداقل ۱۰ نمونه جمع آوری شود که در این پژوهش با توجه به وجود دو معیار حداقل ۲۰ نمونه کفایت می‌کند اما پرسشگری از تعداد ۱۸۳ نخبه در تخصص‌های مرتبط استفاده شد. همچنین مطابق با **Error! Reference source not found.**، ۱۲ درصد از تکمیل‌کنندگان پرسشنامه‌ی مربوط به خودروی سواری دارای مدرک دکترا، ۷۰ درصد فوق‌لیسانس و ۱۵ درصد دارای مدرک لیسانس بودند علاوه بر این، ٦۲ درصد از افراد شرکت‌کننده در فرآیند تکمیل پرسشنامه خودروی سواری، دارای سن بین ۳۰ تا ٤۰ سال، ۱۷ درصد از افراد در بازه سنی ٤۰ تا ۵۰ سال، ۱۵ درصد بیشتر از۵۰ سال و ٦ درصد دارای سن کمتر از ۳۰ سال بودند. تخصص ۷٦ درصد از صاحب‌نظران شرکت‌کننده در تکمیل پرسشنامه مرتبط با خودروی سواری حمل و نقل و ترافیک، ۹ درصد معماری و شهرسازی، ٦ درصد ایمنی و بهداشت و ۹ درصد دارای تخصص در حوزه‌های مرتبط با شبیه‌ساز و ITS بوده و ۵۰ درصد از متخصصان مذکور دارای سابقه کار کمتر از ۱۰ سال، ۲۹ درصد بین ۱۰ تا ۲۰ سال، ۱۲ درصد بین ۲۰ تا ۳۰ سال و ۹ درصد دارای سابقه کار بیشتر از ۳۰ سال داشتند. در جدول ۲ خلاصه‌ای از موارد مذکور نمایش داده شده است.

جدول ۲. اطلاعات پاسخ‌دهندگان پرسشنامه

محل فعالیت	سازمان‌های حمل و نقل شهری ٤٧٪	دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی ۲۳٪	پلیس راهور ۲٪	سایر ۳۰٪
تحصیلات	دکتری تخصصی ۱۲٪	فوق‌لیسانس ۷۰٪	لیسانس ۱۵٪	سایر ۳٪
سن	کمتر از ۳۰ سال ٦٪	بین ۳۰ تا ٤۰ سال ٦۲٪	بین ٤۰ تا ۵۰ سال ۱۷٪	بیشتر از۵۰ سال ۱۵٪
تخصص	حمل و نقل و ترافیک ۷٦٪	معماری و شهرسازی ۹٪	ایمنی و بهداشت ٦٪	حوزه‌های مرتبط با شبیه‌ساز و ITS ۹٪
سابقه کار	کمتر از ۱۰ سال ۵۰٪	۱۰ تا ۲۰ سال ۲۹٪	۲۰ تا ۳۰ سال ۱۲٪	بیش از ۳۰ سال ۹٪

٤. یافته‌ها

در این مطالعه امتیازدهی به معیارها با دریافت نظر نخبگان با در نظر گرفتن محدوده امتیاز ۱۰۰ برای جمع امتیاز مربوط به دو معیار صورت گرفت که نتایج آن برای هر یک از انواع وسایل نقلیه و عابر پیاده و میانگین حسابی (وزن معیار) هر یک به شرح

جدول ۳ ارائه شده است:

جدول ۳. محاسبه میانگین حسابی مرتبط با امتیازدهی نخبگان به معیارها

عنوان	سواری	
معیار	تخلف	تصادف
میانگین حسابی (وزن معیار)	٤٩/١٣	٤٩/٨٧

تعیین صحیح وزن معیار با توجه به اینکه تأثیر مستقیمی بر فرآیند اولویت‌بندی دارد در شمار نخستین و پراهمیت‌ترین بخش‌های این مطالعه، و هر پژوهش با مبنای رتبه‌بندی، قرار می‌گیرد. لذا ضروری است روش مورد استفاده دقیق و قابل اعتماد باشد. همان‌گونه که در

جدول ۳ نمایش داده شده است، با توجه به اینکه هر دو معیار از اهمیت بالایی برخوردار هستند، لذا تفاوت چشمگیری در اوزان محاسبه‌شده با روش میانگین حسابی برای هر یک از معیارها وجود نداشته است.

در ادامه این پژوهش، همان‌گونه که پیش‌تر نیز ذکر گردید، روش کوداس برای حل مسأله اولویت‌بندی شاخص‌های قابل جمع‌آوری به‌وسیله شبیه‌سازهای رانندگی مورد استفاده قرار گرفت. همان‌گونه که در روش گام به گام تشریح داده شده است نخستین گام تشکیل ماتریس تصمیم و سپس نرمال کردن آن است که در **Error! Reference source not found.** و

جدول ٥ نمایش داده شده است.

از تعیین ماتریس نرمال وزن‌دار، ماتریس فاصله از ایده‌آل منفی با استفاده از روابط (٤) و (٥) محاسبه‌شده است. در گام بعدی فاصله اقلیدسی و فاصله تاکسی پیشنهاد شده با استفاده از رابطه (٦) و (٧) محاسبه‌شده است. نتایج حاصل به همراه اولویت‌بندی گزینه‌ها در ادامه در **جدول ٤.** تشکیل ماتریس تصمیم

کد پارامتر	عنوان پارامتر	معیارها	
		٤٩.٨٧٠	٥٠.١٣٠
		تخلف	تصادف
BPC1	انتخاب سرعت	٦.٥٢٢	٧.٤٧٨
BPC2	سبقت‌گیری	٦.٥٦٥	٦.٣٤٨
BPC3	خط سیر حرکت (تغییر خط، انحراف از مسیر)	٧.٤٣٥	٧.٤٧٨
BPC4	درک خطر	٧.٧٣٩	٨.٠٨٧
BPC5	رفتار در تقاطع‌ها، دوربرگردان‌ها و میادین (گردش‌ها، عبور از تقاطع، حق تقدم عبور)	٧.٠٤٣	٧.٨٢٦
BPC6	رفتار راننده در مواجهه با چراغ راهنمایی	٦.٩٥٧	٦.٤٧٨
BPC7	رفتار راننده در کنترل فواصل طولی و عرضی	٦.٨٢٦	٨.٢١٧
BPC8	رانندگی تهاجمی	٧.٦٩٦	٧.٨٧٠
BPC9	توجه به علائم و هشدارها	٦.٨٢٦	٦.٧٨٣
BPC10	عبور از محل ممنوع	٧.٤٧٨	٦.٣٤٨
BPC11	حرکت با دنده‌عقب	٦.٨٧٠	٦.٧٨٣
BPC12	حرکات چشم و جستجوی بصری	٥.٩٥٧	٧.٣٠٤
BPC13	پردازش اطلاعات و سیگنال‌های مغزی	٦.٥٦٥	٧.٢٦١
BPC14	زمان عکس‌العمل	٦.٢١٧	٨.١٣٠
BPC15	نوع عکس‌العمل	٦.٤٣٥	٨.٠٠٠
	حداکثر (Max)	٧.٧٣٩	٨.٢١٧
	حداقل (Min)	٥.٩٥٧	٦.٣٤٨

جدول ٥. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

کد پارامتر	عنوان پارامتر	معیارها	
		۵۰.۱۳۰	٤۹.۸۷۰
		تخلف	تصادف
BPC1	انتخاب سرعت	۰.۸٤۳	۰.۹۱۰
BPC2	سبقت‌گیری	۰.۸٤۸	۰.۷۷۲
BPC3	خط سیر حرکت (تغییر خط، انحراف از مسیر)	۰.۹٦۱	۰.۹۱۰
BPC4	درک خطر	۱.۰۰۰	۰.۹۸٤
BPC5	رفتار در تقاطع‌ها، دوربرگردان‌ها و میادین (گردش‌ها، عبور از تقاطع، حق تقدم عبور)	۰.۹۱۰	۰.۹۵۲
BPC6	رفتار راننده در مواجهه با چراغ راهنمایی	۰.۸۹۹	۰.۷۸۸
BPC7	رفتار راننده در کنترل فواصل طولی و عرضی	۰.۸۸۲	۱.۰۰۰
BPC8	رانندگی تهاجمی	۰.۹۹٤	۰.۹۵۸
BPC9	توجه به علائم و هشدارها	۰.۸۸۲	۰.۸۲۵
BPC10	عبور از محل ممنوع	۰.۹٦٦	۰.۷۷۲
BPC11	حرکت با دنده‌عقب	۰.۸۸۸	۰.۸۲۵
BPC12	حرکات چشم و جستجوی بصری	۰.۷۷۰	۰.۸۸۹
BPC13	پردازش اطلاعات و سیگنال‌های مغزی	۰.۸٤۸	۰.۸۸٤
BPC14	زمان عکس‌العمل	۰.۸۰۳	۰.۹۸۹
BPC15	نوع عکس‌العمل	۰.۸۳۱	۰.۹۷٤

جدول ٦ ارایه شده است. همچنین رتبه‌بندی فوق به‌صورت نمودار ستونی در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ٤. تشکیل ماتریس تصمیم

کد پارامتر	عنوان پارامتر	معیارها	
		٤۹.۸۷۰	۵۰.۱۳۰
		تخلف	تصادف
BPC1	انتخاب سرعت	٦.۵۲۲	۷.٤۷۸
BPC2	سبقت‌گیری	٦.۵٦۵	٦.۳٤۸
BPC3	خط سیر حرکت (تغییر خط، انحراف از مسیر)	۷.٤۳۵	۷.٤۷۸
BPC4	درک خطر	۷.۷۳۹	۸.۰۸۷
BPC5	رفتار در تقاطع‌ها، دوربرگردان‌ها و میادین (گردش‌ها، عبور از تقاطع، حق تقدم عبور)	۷.۰٤۳	۷.۸۲٦
BPC6	رفتار راننده در مواجهه با چراغ راهنمایی	٦.۹۵۷	٦.٤۷۸
BPC7	رفتار راننده در کنترل فواصل طولی و عرضی	٦.۸۲٦	۸.۲۱۷
BPC8	رانندگی تهاجمی	۷.٦۹٦	۷.۸۷۰
BPC9	توجه به علائم و هشدارها	٦.۸۲٦	٦.۷۸۳
BPC10	عبور از محل ممنوع	۷.٤۷۸	٦.۳٤۸
BPC11	حرکت با دنده‌عقب	٦.۸۷۰	٦.۷۸۳
BPC12	حرکات چشم و جستجوی بصری	۵.۹۵۷	۷.۳۰٤
BPC13	پردازش اطلاعات و سیگنال‌های مغزی	٦.۵٦۵	۷.۲٦۱

کد پارامتر	عنوان پارامتر	معیارها	
		٤٩.٨٧٠	٥٠.١٣٠
		تخلف	تصادف
BPC14	زمان عکس‌العمل	٦.٢١٧	٨.١٣٠
BPC15	نوع عکس‌العمل	٦.٤٣٥	٨.٠٠٠
	حداکثر (Max)	٧.٧٣٩	٨.٢١٧
	حداقل (Min)	٥.٩٥٧	٦.٣٤٨

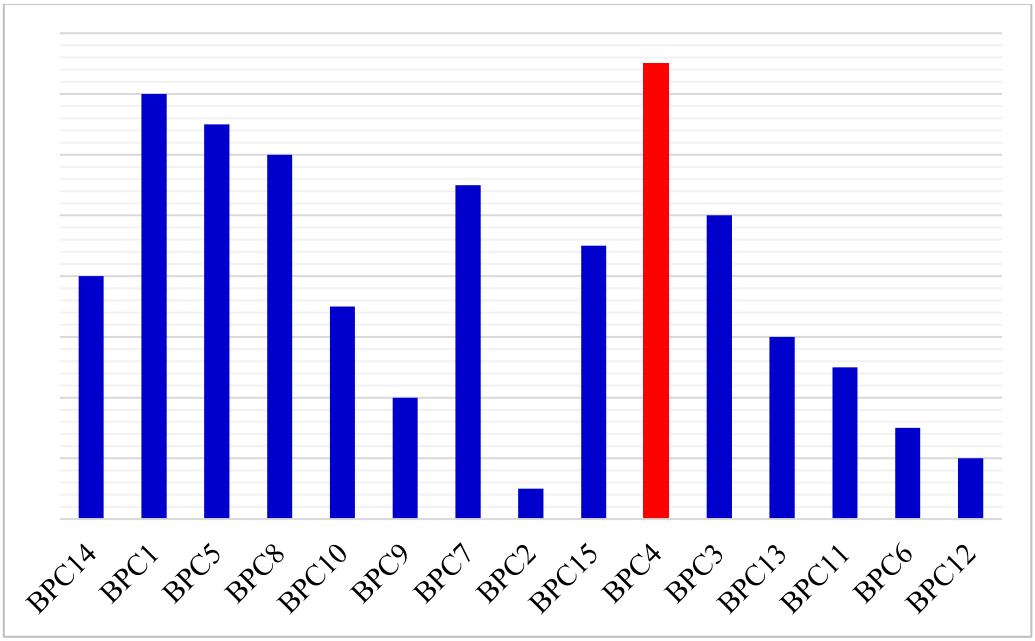
جدول ۵. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

کد پارامتر	عنوان پارامتر	معیارها	
		۵۰.۱۳۰	۴۹.۸۷۰
		تخلف	تصادف
BPC1	انتخاب سرعت	۰.۸۴۳	۰.۹۱۰
BPC2	سبقت‌گیری	۰.۸۴۸	۰.۷۷۲
BPC3	خط سیر حرکت (تغییر خط، انحراف از مسیر)	۰.۹۶۱	۰.۹۱۰
BPC4	درک خطر	۱.۰۰۰	۰.۹۸۴
BPC5	رفتار در تقاطع‌ها، دوربرگردان‌ها و میادین (گردش‌ها، عبور از تقاطع، حق تقدم عبور)	۰.۹۱۰	۰.۹۵۲
BPC6	رفتار راننده در مواجهه با چراغ راهنمایی	۰.۸۹۹	۰.۷۸۸
BPC7	رفتار راننده در کنترل فواصل طولی و عرضی	۰.۸۸۲	۱.۰۰۰
BPC8	رانندگی تهاجمی	۰.۹۹۴	۰.۹۵۸
BPC9	توجه به علائم و هشدارها	۰.۸۸۲	۰.۸۲۵
BPC10	عبور از محل ممنوع	۰.۹۶۶	۰.۷۷۲
BPC11	حرکت با دنده‌عقب	۰.۸۸۸	۰.۸۲۵
BPC12	حرکات چشم و جستجوی بصری	۰.۷۷۰	۰.۸۸۹
BPC13	پردازش اطلاعات و سیگنال‌های مغزی	۰.۸۴۸	۰.۸۸۴
BPC14	زمان عکس‌العمل	۰.۸۰۳	۰.۹۸۹
BPC15	نوع عکس‌العمل	۰.۸۳۱	۰.۹۷۴

جدول ٦. ماتریس فاصله از ایده‌آل منفی مربوط به خودروی سواری

کد پارامتر	عنوان پارامتر	فاصله اقلیدسی	فاصله تاکسی	H index	Rank
BPC4	درک خطر	۱۵.٦۴۴	۲۲.۱۰۱	۲۴۳.۹۰۲	۱
BPC1	انتخاب سرعت	۷.۷۷٦	۱۰.۵۲۲	۰۱.۲۳۳	۲
BPC5	رفتار در تقاطع‌ها، دوربرگردان‌ها و میادین (گردش‌ها، عبور از تقاطع، حق تقدم عبور)	۱۱.۴۰۴	۱٦.۰۱۲	۱۵۰۱۵.۲	۳
BPC8	رانندگی تهاجمی	۱۴.۵٦۷	۲۰.۵۰۰	۲۰۳.۷۳۵	۴
BPC7	رفتار راننده در کنترل فواصل طولی و عرضی	۱۲.٦٦۷	۱٦.۹۷۹	۱۲۲.۴۱۴	۵
BPC3	خط سیر حرکت (تغییر خط، انحراف از مسیر)	۱۱.۷۷۹	۱٦.۴۳٦	۱۰۰.۹۵۵	٦
BPC15	نوع عکس‌العمل	۱۰.۴۹۴	۱۳.۱۲۵	۳۲.۰۱۲	۷
BPC14	زمان عکس‌العمل	۱۰.۹۴۹	۱۲.۵۰۸	۲۹.۵۸۹	۸
BPC10	عبور از محل ممنوع	۹.۸۵۷	۹.۸۵۷	-۲٦.۵٦۰	۹
BPC13	پردازش اطلاعات و سیگنال‌های مغزی	٦.۸۰۱	۹.۴۸۴	-۷۸.۰۰۴	۱۰

کد پارامتر	عنوان پارامتر	فاصله اقلیدسی	فاصله تاکسی	H index	Rank
BPC11	حرکت با دنده‌عقب	٦.٤٧٦	٨.٥٥٣	-٩٦.٨٣٨	١١
BPC9	توجه به علائم و هشدارها	٦.٢٢٠	٨.٢٧١	-١٠٤.٩٠٤	١٢
BPC6	رفتار راننده در مواجهه با چراغ راهنمایی	٦.٥٢٦	٧.٢٦٩	-١١٥.٣٥١	١٣
BPC12	حرکات چشم و جستجوی بصری	٥.٨٠٥	٥.٨٠٥	-١٤٨.١٢٦	١٤
BPC2	سبقت‌گیری	٣.٩٤٣	٣.٩٤٣	-٢٠٣.٩٨٨	١٥



شکل ۲. رتبه‌بندی اهمیت پارامترهای رفتاری رانندگان خودروی سواری، قابل جمع‌آوری به‌وسیله شبیه‌ساز

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت عامل انسانی و نقش آن در حوادث ترافیکی، روش‌های مختلفی برای کاهش سهم عامل انسانی در تصادفات و همچنین کاهش تخلفات به کار گرفته می‌شود که یکی از مهم‌ترین آن‌ها به‌کارگیری شبیه‌ساز رانندگی می‌باشد. پرداختن به مقوله‌ی آموزش و پژوهش با استفاده از شبیه‌سازهای رانندگی امروزه توجه ویژه‌ای را به خود معطوف کرده است. استفاده از شبیه‌سازهای رانندگی با هدف کاهش حوادث از طریق افزایش مهارت رانندگان و صلاحیت‌سنجی رانندگان در شهر تهران از جمله موارد مهم آموزشی است که میزان خطاهای انسانی را کاهش می‌دهد. با توجه به تأثیر بسزای دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی در کاهش خطاهای انسانی، بهبود عملکرد این دستگاه‌ها و بهره‌برداری هرچه بهتر از آن‌ها در شهر تهران گام مهمی در افزایش ایمنی شهر و کاهش حوادث خواهد بود.

با استفاده از شبیه‌سازهای آموزش رانندگی در سیستم‌های واقعیت مجازی کاربر در یک محیط رانندگی شبیه‌سازی شده قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که احساس حضور در محیط واقعی به او دست خواهد داد و این احساس حضور به‌وسیله تعامل کاربر با محیط و غوطه‌ور شدن در آن ایجاد می‌گردد. منظور از تعامل، ارتباط متقابل میان کاربر و محیط است، به‌نحوی‌که هم کاربر روی محیط اثر می‌گذارد و هم محیط می‌تواند روی کاربر اثر بگذارد. غوطه‌ور شدن به آن معناست که کاربر به چنان حسی در محیط مجازی برسد که احساس حضور در یک محیط واقعی نیز به او دست بدهد. در این حالت اگرچه او در محیط مجازی قرار

دارد، اما عکس‌العمل‌های او به محیط، طبیعی و مطابق با واقعیت خواهد بود.

دستگاه‌های شبیه‌ساز شامل دو بخش نرم‌افزاری و سخت‌افزاری می‌باشند که به‌صورت هماهنگ باهم کار می‌کنند و یک محیط مجازی را خلق و درنهایت احساس رانندگی را به راننده منتقل می‌نمایند.

مزیت استفاده از شبیه‌ساز رانندگی با توجه به سنتی بودن روش آموزش در آموزشگاه‌های رانندگی و اثربخشی پایین آن، استفاده از ابزار کمک‌آموزشی شبیه‌ساز رانندگی برای افزایش مهارت و کاهش حوادث رانندگی بسیار مؤثر و اثربخش خواهد بود. عملیاتی کردن این روش فناورانه کمک شایانی به تغییر باور هنرجویان، تغییر رفتار و کاهش حوادث رانندگی خواهد نمود. در این امر شک نیست که مزایای شبیه‌سازهای رانندگی بر کاستی‌های آن فزونی دارد، چراکه در بسیاری از کشورهای پیشرفته و پیشرو در زمینه ایمنی ترافیک، سال‌هاست که این دستگاه‌ها و تجهیزات مورداستفاده واقع می‌شوند. دستگاه شبیه‌ساز رانندگی در دنیا به‌عنوان یک ابزار کمک‌آموزشی در راستای ارتقای کیفیت آموزش رانندگی به کار می‌رود و هدف آن جایگزینی آموزش با خودروی واقعی نیست.

در این پژوهش شبیه‌سازهای رانندگی خودرو سواری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند تا مهم‌ترین شاخص‌هایی که به‌وسیله این دستگاه‌ها قابلیت برداشت و ارزیابی دارند شناسایی شوند. این فرآیند به بهبود و کنترل سامانمند استفاده از شبیه‌سازهای موجود، و ساخت و تدارک مناسب شبیه‌سازی جدید متناسب با نیازها و اولویت‌های شهر تهران کمک می‌نماید. بررسی‌ها حاکی از این مسأله بود که تهران به‌عنوان نماینده‌ای از کشور ایران، که عمده امکانات در آن متمرکز شده است، فاصله زیادی از نظر تولید و استفاده از شبیه‌سازها با شهرهای توسعه‌یافته و در حال توسعه دنیا دارد؛ اما درعین‌حال، با توجه به برنامه‌های پیش رو، پیشرفت‌هایی ناکافی نیز در زمینه تولید و بهره‌برداری از این تکنولوژی حاصل شده است. مهم‌ترین این پیشرفت‌ها استفاده از آموزش‌هایی است که با استفاده از این دستگاه‌ها به رانندگان اعطا شده تا به شکل خاص نسبت به اصلاح برخی نواقص عملکردی و مشکلات رفتاری خود اقدام نمایند.

در این مطالعه به شکل اختصاصی به بررسی شبیه‌سازهای خودرو سواری پرداخته شد که برای اهداف آموزشی، پژوهشی و آزمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از مطالعات پیشین و استفاده از تجربیات کشورهای پیشرو، تعدادی از شاخص‌هایی که قابلیت برداشت و ارزیابی به‌وسیله دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی دارند مشخص شده و با هدف افزایش دقت و ساده‌سازی محاسبات، در پارامترهایی مانند حرکات چشم و جستجوی بصری، زمان عکس‌العمل، نوع عکس‌العمل، درک خطر و موارد مشابه ترکیب و خلاصه شدند. همچنین این ۱۵ پارامتر به‌وسیله ۲ معیار اثرگذاری در رخداد تخلفات، و اثرگذاری در رخداد تصادفات با یکدیگر مقایسه شدند.

مقایسه شاخص‌ها با استفاده از روش کوداس انجام پذیرفت که با استفاده از فاصله اقلیدسی و فاصله تاکسی، به رتبه‌بندی آن‌ها می‌پردازد.

۱۵ پارامتر منتخب که به همگی به ویژگی‌های رفتاری و عملکردی کاربران مربوط می‌شدند نشانگر رویکردهایی بودند که راننده در مواجهه با شرایط مختلف از خود نمایش داده و یا دستگاه‌ها فعالیت‌های مغزی متفاوتی را در شرایطی خاص از ایشان ثبت می‌نماید.

تحلیل به روش کوداس مشخص نمود مهم‌ترین شاخصی که توسط شبیه‌ساز برداشت و ارزیابی شود به درک خطر رانندگان مربوط می‌شود. پس از آن انتخاب سرعت در شرایط مختلف و رفتار در تقاطعات، دوربرگردان‌ها و میادین دارای مراتب اهمیت بعدی می‌باشند. همچنین همان‌گونه که بررسی آمار تصادفات شهر تهران نشان می‌دهد رانندگی تهاجمی و رفتار راننده در کنترل فواصل طولی و عرضی دارای اولویت بالاتری نسبت به برخی دیگر از موارد و پارامترها می‌باشد. از سوی دیگر

کم‌اهمیت‌ترین شاخص‌ها که در اولویت ارزیابی پایین‌تری قرار دارند شاخص سبقت‌گیری، حرکات چشم و جستجوی بصری و رفتار راننده در مواجهه با چراغ راهنمایی هستند که در صورت تکمیل و ارزیابی صحیح و دقیق سایر شاخص‌ها، ارزیابی این موارد انجام خواهد شد.

از الگوی پیشنهادی می‌توان در اولویت‌بندی پارامترهای رفتاری رانندگان خودروی سواری در سایر شهر استفاده نمود و در ماتریس تصمیم تشکیل شده در سایر شهرها باید پارامترهای رفتاری متناسب با سبک رانندگی و رفتارهای رانندگان آن شهرها باشد سایر گام‌ها مشابه روش پیشنهادی شهر تهران می‌باشد. همچنین از نتایج این پژوهش می‌توان در ارزیابی پارامترهای رفتاری رانندگان خودروی سواری در شهر تهران، آموزش‌های اولیه، آموزش‌های حین خدمت رانندگان خودروی سواری در شهر تهران استفاده نمود. باید به این نکته نیز توجه نمود که استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی یکی از مواردی است که می‌توان به‌عنوان راهکار بهبود شرایط ترافیکی معابر مورد استفاده قرار داد، اما راه‌حل بهینه استفاده از شیوه‌های هم‌زمان و ترکیبی فرهنگ‌سازی، آموزش و آزمون نوین، بهبود زیرساخت‌ها، اطلاع‌رسانی، اعمال قانون و موارد دیگر می‌باشد. به عنوان پیشنهاد می‌توان از تفکیک پارامترها در رده‌های عملکردی مختلف معابر و دسته‌بندی پارامترهای رفتاری در سرعت‌های مختلف استفاده نمود.

٦. قدردانی

این مقاله حاصل از نتایج یکی از مطالعات پژوهشی مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهرداری تهران می‌باشد که بدینوسیله از همکاری‌های فراوان این مرکز قدردانی می‌گردد.

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Dynamic
2. Iowa

۸. مراجع

- اخضری بابکی، ندا و مختاریان، حمیدرضا،۱۳۹۹، معرفی شبیه‌ساز آموزش رانندگی و نقش آن در کاهش تصادفات ناشی از عامل انسانی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری، توسعه و بازآفرینی زیرساخت‌های شهری در ایران، تهران.

- نقوی محسن، اکبری محمد اسماعیل، همه‌گیری‌شناسی آسیب‌های ناشی از علل خارجی (حوادث) در جمهوری اسلامی ایران، چاپ اول، فکرت، تهران ۱۳۸۱.

- رحمانی فیروزجاه، علی.، و سهرابی، سعیده. (۱۳۹۱). بررسی جامعه‌شناختی رابطه میان کیفیت زندگی و سرمایه اجتماعی (مطالعه موردی شهر تهران). مطالعات توسعه اجتماعی – فرهنگی، ۱(۲), ۱۵۷-۱۷۵.

- Kotliarenko, V. I. (2020, April). Some aspects of modern automobile transport development. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 819, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.

- Peden, M. M., & Puvanachandra, P. (2019). Looking back on 10 years of global road safety. International health, 11(5), 327-330.

- Owsley C, McGwin G, McNeal SF. Impact of impulsiveness, venturesomeness, and empathy on driving by older adults. Journal of safety Research. 2003 Dec 31;34(4):353-9.

- Wismans, J., Granström, M., Skogsmo, I., & Kronberg, P. (2019). ROAD TRAFFIC SAFETY SCENARIOS.

- ESCAP, U. (2019). Road safety in the Asia-Pacific region.

- Deppermann, A. (2018). Instructions in driving lessons.

- Rauniomaa, M., Lehtonen, E., & Summala, H. (2018). Noticings with instructional implications in post-licence driver training. International Journal of Applied Linguistics, 28(2), 326-346.

- Senserrick, T., & Haworth, N. (2005). Review of literature regarding national and international young driver training, licensing and regulatory systems (No. 239).

- Redelmeier, D. A., Tibshirani, R. J., & Evans, L. (2003). Traffic-law enforcement and risk of death from motor-vehicle crashes: case-crossover study. The Lancet, 361(9376), 2177-2182.

- Palumbo, A. J., Pfeiffer, M. R., Metzger, K. B., & Curry, A. E. (2019). Driver licensing, motor-vehicle crashes, and moving violations among older adults. Journal of safety research, 71, 87-93.

- Habib, M. N., Jamal, W., & Manzoor, H. (2019). Mapping public sector reforms through thematic networks: A case of computerized driving licensing authority, Khyber Pakhtunkhwa. Abasyn University Journal of Social Sciences, 12(2), 298-322.

- Kingham, S., Pearce, J., Dorling, D., & Faulk, M. (2008). The impact of the graduated driver licence scheme on road traffic accident youth mortality in New Zealand. Journal of Transport Geography, 16(2), 134-141.

- Akbari, M., Lankarani, K. B., Heydari, S. T., Motevalian, S. A., Tabrizi, R., & Sullman, M. J. (2021). Is driver education contributing towards road safety? a systematic review of systematic reviews. Journal of injury and violence research, 13(1), 69.

- Wu, C., Le Vine, S., & Sivakumar, A. (2021). Exploratory analysis of young adults' trajectories through the UK driving license acquisition process. Traffic injury prevention, 22(1), 37-42.

-Asadamraji, M., Saffarzadeh, M., Borujerdian, A., & Ferdousi, T. (2018). Hazard detection prediction model for rural roads based on hazard and environment properties. Promet-Traffic&Transportation, 30(6), 683-692.

- Keshavarz Ghorabaee, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research, 50(3).

- Simsekoglu, Ö., & Suzen, E. (2021). What predicts the number of attempts to pass the driving test? A case from Norwegian driving education model. IATSSresearch, 45(3),382-388.

- Asadamraji, M. (2022). Novel Index of Budget Allocation to Practical Projects of Intelligent Transportation Systems in a Transit Corridor. International Journal of Transportation Engineering, 9(3), 735-747. doi: 10.22119/ijte.2021.309448.1592

- Sheikholeslami, S., Saffarzadeh, M., Mamdoohi, A. R., & Asadamraji, M. (2023). How does a driver feel behind the wheel? An exploratory study of drivers' emotions and the effect of their sociodemographic background. Accident Analysis & Prevention, 183, 106974.

- Sheikholeslami, S., Boroujerdian, A. M., & Asadamraji, M. (2020). A rural road accident probability model based on single-vehicle hazard properties including hazard color and mobility: a driving simulator study. Journal of advanced transportation, 2020, 1-8.

- Asadamraji, M., Saffarzadeh, M., Ross, V., Borujerdian, A., Ferdosi, T., & Sheikholeslami, S. (2019). A novel driver hazard perception sensitivity model based on drivers' characteristics: A simulator study. Traffic injury prevention, 20(5), 492-497.

- Üzümcüoğlu, Y., Özkan, T., Wu, C., & Zhang, H. (2020). Traffic climate and driver behaviors: The moderating role of driving skills in Turkey and China. Journal of safety research, 75, 87-98.

- Rayed, A. M., Tariq, M. A. U. R., Rahman, M., Ng, A. W. M., Nahid, M. K. A., Mridul, M & Mohiuddin, M. (2022). An analysis of driving behavior of educated youth in Bangladesh considering physiological, cultural and socioeconomic variables. Sustainability, 14(9), 5134.

-Cheng, Y. Q., Mansor, S., Chin, J. J., & Karim, H. A. (2022). Driving Simulator for Drivers Education with Artificial Intelligence Traffic and Virtual Reality: a Review. In Proceedings of the 8th International Conference on Computational Science and Technology (pp. 483-494). Springer, Singapore.

- Senserrick, T. M. (2007). Recent developments in young driver education, training and licensing in Australia. Journal of Safety Research, 38(2), 237-244.

- Nadimi, N., NaserAlavi, S. S., & Asadamraji, M. (2022, December). Calculating dynamic thresholds for critical time to collision as a safety measure. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport (Vol. 175, No. 7, pp. 403-412). Thomas Telford Ltd.

- Pambuditomo, P. A. D., & Widayati, W. (2020). Driving License Management Services In Preventing Traffic Accidents. Law Development Journal, 2(3), 419-425.

- Crundall, D., Van Loon, E., Baguley, T., & Kroll, V. (2021). A novel driving assessment combining hazard perception, hazard prediction and theory questions. Accident Analysis & Prevention, 149, 105847.

- Horswill, M. S., Hill, A., & Wetton, M. (2015). Can a video-based hazard perception test used for driver licensing predict crash involvement? Accident Analysis & Prevention, 82, 213-219.

- Vlakveld, W. P. (2014). A comparative study of two desktop hazard perception tasks suitable for mass testing in which scores are not based on response latencies. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 22, 218-231.

- Lim, W. Y., Kim, T. H., Lim, S. H., Wang, S. W., & Lee, J. P. (2020). Development of Driving License Education System based on Multidimensional Preference Analysis. In Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference (pp. 133-134). Korean Society of Computer Information.

- Bromiley, P. A., Thacker, N. A., & Bouhova-Thacker, E. (2004). Shannon entropy, Renyi entropy, and information. Statistics and Inf. Series (2004-004), 9.

- Zargari, S. A., Dehghani, N., & Mirzahossein, H. (2018). Optimal traffic lights control using meta heuristic algorithms in high priority congested networks. Transportation letters, 10(3), 172-184.

مرتضی اسدامرجی، درجه دکتری تخصصی در رشته مهندسی عمران گرایش راه وترابری را در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه تربیت مدرس أخذ نمود و از سال ۱۳۹۹ با سمت استادیار در دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی مشغول به تدریس و پژوهش می‌باشد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی در ترافیک، مطالعات رفتاری رانندگان، درک خطر، سیستمهای حمل و نقل هوشمند و تصمیم گیری چند معیاره در سیاستهای حمل و نقلی است.

امیر رسولی، درجه کارشناسی ارشد در رشته .مهندسی عمران گرایش برنامه‌ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران أخذ نمود و در پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه به پژوهش در مباحث مرتبط با حمل و نقل و ترافیک مشغول است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی ترافیک، آنالیز تصادفات ترافیکی، سیستم حمل و نقل هوشمند و بهینه سازی در مسائل برنامه ریزی ترافیک می‌باشد.