تأثیر خودروهای خودران و هوشمند بر ایمنی جریان ترافیک

مقاله پژوهشی

آرمین سپهری راد*، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
سروش معمارمنتظرین، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محمود صفارزاده، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.sepehri@modares.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷- پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۵
صفحه ۶۲-۵۱

چکیده

خودروهای متصل و خودران با مزایای پیش‌بینی شده از جمله ایمنی جاده‌ای بهتر، در حال تبدیل شدن به واقعیت هستند. حال، قبل از اینکه چگونگی ترکیب تکنولوژی خودروهای متصل و خودران در سیستم حمل‌ونقل اهمیت یابد، متخصصان باید ویژگی‌های این فناوری و مزایا و معایب آن را درک کنند. در این راستا، مطالعات مختلفی در سال‌های اخیر به بررسی جنبه‌های مختلف خودروهای متصل و چگونگی تأثیر آن بر سیستم حمل‌ونقل شهری در دهه آینده با هدف آماده کردن مدیران حمل‌ونقل و مسئولان پرداخته‌اند. انتظار می‌رود که خودروهای متصل و خودران راحتی و ایمنی بیشتری را به ازای قیمت‌های پایین‌تر در اختیار استفاده‌کنندگان قرار دهند و در عین حال ظرفیت جاده‌ها را افزایش و شلوغی شبکه را کاهش دهند. در این مطالعه که با مرور پژوهش‌های اخیر در این زمینه به بررسی مزایا، معایب، موارد آزمایش‌شده و آثار کوتاه‌مدت و بلندمدت وسایل نقلیه متصل و خودران پرداخته شده و تأکید بر یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این تکنولوژی یعنی تأثیر این وسایل نقلیه بر ایمنی است. ممکن است ادعای مربوط به مزایای ایمنی وسایل نقلیه خودران بسیار اغراق‌آمیز باشد و کاهش یا حتی حذف خطاهای راننده الزاماً باعث حذف خطاهای وسایل نقلیه، جاده، عوامل محیطی یا سایر کاربران جاده‌ای در تصادفات نباشد؛ ولی باید توجه داشت که آزمایش‌ها نشان می‌دهد در حدود ۹۰ درصد از تصادفات رانندگی به علت خطاهای انسانی رخ می‌دهد و وسایل نقلیه خودران با حذف انسان از چرخه رانندگی، میزان بروز تصادفات را تا حد زیادی کاهش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: خودروهای متصل، خودروهای خودران، ایمنی، تصادفات، نرخ نفوذ در بازار

۱- مقدمه

شهرها در طول زمان دچار تحولاتی شده‌اند و سیستم و فناوری‌های حمل‌ونقل بخش جدایی‌ناپذیر این تحولات به حساب می‌آیند. در دو دهه اخیر، پیشرفت‌های ارتباط بی‌سیم، قدرت پردازش و فناوری‌های سنجش در سیستم‌های مدیریت ترافیک، با هدف افزایش تحرک، پایداری، ایمنی و قابلیت اطمینان این سیستم‌ها قابل مشاهده است. نسل جدید نوآوری‌های تکنولوژیک، تلاش برای تأثیرگذاری بر سیستم حمل‌ونقل از طریق نوآوری مبتنی بر وسیله نقلیه است. وسایل نقلیه متصل و خودران از این دسته می‌باشند. این وسایل نقلیه با پیشرفت‌های قابل توجهی که در فناوری‌های حساسیت و شناسایی الگوهای مرتبط و کنترل هوشمند به وقوع پیوست، ساخته شده‌اند. همچنین فناوری ارتباطات بی‌سیم امکان ایجاد ارتباط بین وسایل نقلیه با وسایل نقلیه دیگر و ارتباط وسایل نقلیه با زیرساخت‌ها را فراهم می‌کند. این فناوری (خودروهای متصل) امکان دسترسی به اطلاعات مربوط به وضعیت ترافیکی اطراف و تصمیمات مرکز مدیریت ترافیک را در زمان واقعی فراهم می‌کند. روشن است که معرفی چنین وسایل نقلیه‌ای تغییراتی را در محیط رانندگی به همراه دارد. انتظار می‌رود چنین اطلاعاتی باعث بهبود راندمان، عکس‌العمل و راحتی رانندگان شود، درحالی‌که ایمنی و تحرک را افزایش می‌دهد.

بنابراین، تقریباً تمام جنبه‌های تصمیم‌گیری رانندگان، از تصمیم‌های استراتژیک تا عملیاتی تحت تأثیر قرار گرفته و به طور کلی بهبود می‌یابند. این وسایل آینده حمل‌ونقل جاده‌ای را شکل می‌دهند و می‌توانند در کنار افزایش تحرک، ایمنی و راحتی، موجب کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از حمل‌ونقل شوند. بنابراین مهم است که این تغییرات از پیش بررسی شوند، تأثیر آن‌ها پیش‌بینی شده و قبل از گسترش این فناوری‌ها برای آن‌ها برنامه‌ریزی انجام شود. ابزارهایی مانند شبیه‌سازی و مدل‌سازی راه‌هایی را برای پیش‌بینی کردن این تغییرات ارائه داده و روش‌های مختلفی را برای مقابله با آن‌ها مورد بررسی قرار می‌دهند.

۱-۱- تعاریف و مفاهیم اولیه

۱-۱-۱- وسایل نقلیه متصل

وسیله نقلیه متصل یک ابتکار جدید از «وسایل نقلیه هوشمند» است که به عنوان موج بعدی فناوری در حال ظهور شناخته می‌شود. از جمله مزایای این فناوری، علاوه بر افزایش ایمنی جاده‌ای برای رانندگان از طریق ایجاد یک سیستم حمل‌ونقل عمومی هوشمند، افزایش ظرفیت شبکه‌های حمل‌ونقل است.

خودروهای متصل به دو دسته ارتباط وسیله نقلیه با وسیله نقلیه (V2V)[1] و وسیله نقلیه با زیرساخت (V2I)[2] تقسیم می‌شوند. ارتباطات V2V اطلاعات جزئی در مورد حرکت‌های وسایل نقلیه و تصمیمات عملیاتی رانندگان (مانند سرعت، شتاب و مکان) ارائه می‌کند، درحالی‌که ارتباطات V2Iاطلاعات دقیق در مورد شرایط جاده و شرایط آب و هوایی ارائه می‌دهد. انواع مختلف اطلاعات را می‌توان از طریق فناوری وسیله نقلیه متصل مخابره کرد که این توانایی امکان را برای کاربردهای عملی بسیاری فراهم می‌کند. این کاربردها به جزئیات تکنولوژی از جمله تأخیر، دامنه ارتباطات و نفوذ بازار حساس هستند. محدوده‌های کاربردی این فناوری شامل ایمنی، تحرک و پایداری محیطی هستند، اما محدود به آن‌ها نیست. کاربرد مربوط به این مطالعه، افزایش تحرک است. وسایل نقلیه متصل با استفاده از سیستم‌های مختلف از جمله تشخیص صحنه حادثه و هشدار، اولویت چراغ راهنمایی یا اولویت خط رزرو شده برای حمل‌ونقل همگانی، وسایل نقلیه اضطراری و حمل‌ونقل بار (Wang, Ma et al. 2014)، چراغ‌های راهنمایی تطبیقی، اندازه‌گیری رمپ، بهبود بازده تقاطع‌ها و استراتژی‌هایی برای شناسایی و مقابله با صف سبب تحرک سیستم حمل‌ونقل می‌شوند. علاوه بر وسایل نقلیه شخصی، حمل‌ونقل همگانی نیز می‌تواند از فناوری اتصال بهره بگیرد، از جمله بهینه‌سازی عملکرد اتوبوس برای زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی، عملیات حمل‌ونقل پویا و برنامه‌های کاربردی دیگر (Huff, Matute et al. 2015).

۱-۱-۲- وسایل نقلیه خودران

تعریف وسیله نقلیه خودران بسیار کلی و در سطوح مختلف بوده و در منابع مختلف متفاوت است. سطح اول آن همان خودروهای معمولی‌اند که در آن‌ها رانندگان تنها تصمیم‌گیرندگان هستند و سطح نهایی آن خودرانی کامل است که یک وسیله نقلیه با این سطح از خودرانی، تمام عملکردهای رانندگی را در هر شرایط آب و هوایی، جاده‌ای و ترافیکی (بدون دخالت انسان) کنترل می‌کند. به عنوان مثال، انجمن بین‌المللی مهندسان خودرو، سه سطح از وسایل نقلیه خودران را تعریف کرده‌اند. وسایل نقلیه با خودرانی مشروط[3] می‌توانند در شرایط خاصی رانندگی کنند ولی ممکن است در زمان‌هایی به مداخله انسان نیازمند باشند. وسایل نقلیه با خودرانی بالا[4] می‌توانند خود را در شرایط خاصی بدون نیاز به مداخله انسان به حرکت دربیاورند. وسایل نقلیه با خودرانی کامل[5] می‌توانند تمام مسیرهای جاده‌ای و شرایط محیطی که در آن انسان می‌تواند رانندگی کند را بپیمایند (Kalra and Paddock 2016). در دسته‌بندی دیگری که توسط سازمان ایمنی ترافیک بزرگراه‌های ملی آمریکا انجام شده، خودرانی به چهار دسته تقسیم می‌شود: سطح ۱ عملکرد خاص خودکار دارد؛ سطح ۲ عملکرد اشتراکی اتوماتیک دارد؛ سطح ۳ محدودیت خودرانی اتوماتیک دارد؛ و سطح ٤ از خودرانی اتوماتیک کامل برخوردار است.

۲- مرور ادبیات

در ایالات‌متحده، هر ساله بر اثر تصادفات رانندگی در حدود ۳۲۰۰۰ نفر کشته و بیش از دو میلیون نفر زخمی می‌شوند. تصادفات وسایل نقلیه در امریکا به هزینه‌های اجتماعی و اقتصادی بیش از ۸۰۰ میلیارد دلار در یک سال منجر می‌شود و بیش از ۹۰ درصد این تصادفات به دلیل خطاهای انسانی مانند

سرعت غیر مجاز، خستگی، مستی و حواس‌پرتی رخ می‌دهد. سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۷ بیان می‌کند که ۱/۲۵ میلیون نفر هر ساله در جهان بر اثر تصادفات وسایل نقلیه جان خود را از دست می‌دهند. برآورد شده است که تا سال ۲۰۳۰، تصادفات وسیله نقلیه به هفتمین عامل مرگ تبدیل خواهد شد (Kalra and Paddock 2016).

وسایل نقلیه خودران می‌توانند با حذف بسیاری از اشتباهات که رانندگان به طور معمول انجام می‌دهند، بحران سلامت عمومی را برطرف سازند. زیرا وسایل نقلیه خودران هرگز مست، حواس‌پرت و خسته نیستند و این عوامل به ترتیب در ٤١ درصد، ۱۰ درصد و ۲/۵ درصد از کل تصادفات مرگبار را تشکیل می‌دهند (Kalra and Paddock 2016).

همچنین عملکرد آن‌ها می‌تواند نسبت به رانندگان بهتر باشد زیرا درک بهتر (به دلیل نداشتن نقطه کور)، تصمیم‌گیری بهتر (به دلیل برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای مانورهای پیچیده رانندگی مانند پارک دوبل) و اجرای بهتر (به دلیل کنترل سریع‌تر و دقیق‌تر فرمان و ترمز) دارند.

فگنانت و کاکلمن (Fagnant and Kockelman 2015) در سال ۲۰۱۵ برخی از مزایای وسایل نقلیه خودران را از جمله بهبود ایمنی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها مدعی هستند که استفاده از این فناوری می‌تواند تا ۹۹ درصد میزان مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات را کاهش دهد و همچنین به علت «سرفاصله زمانی کوتاه‌تر بین وسایل، گروه‌های هماهنگ‌تر و انتخاب کارآتر مسیر» به بهبود تراکم ترافیک کند.

جدیدترین تحقیق رانندگی جامع که در ایالات متحده امریکا انجام شده است، مطالعه SHRP2، با استفاده از ضبط کننده‌های آنلاین نزدیک به ۱۰۰۰ تصادف را بررسی کرده است، نشان می‌دهد که در حدود ۹۰ درصد از تصادفات به علت خطای انسانی رخ می‌دهد (Dingus, Guo et al. 2016). طرفداران وسایل نقلیه خودران بر این باورند که حذف انسان از چرخه رانندگی، باید میزان بروز تصادفات را ۹۰ درصد کاهش دهد. به این معنا که جایگزین کردن راننده با تکنولوژی پیشرفته سنجش، محاسبات، ارتباطات و کنترل رباتیک، خطاهای انسانی را به عنوان یک عامل ایجادکننده تصادفات، کاملاً از بین می‌برد. ولی اثبات این ادعا یک بررسی دقیق نیاز دارد. در واقع در این حالت ۲ فرضیه در نظر گرفته می‌شود (۱) خطای انسانی به طور کامل نتیجه درک اشتباه، تصمیم غلط و یا رفتار نامناسب از سوی راننده است که می‌توان به راحتی از طریق تکنولوژی بر آن‌ها غلبه کرد و (۲) این تکنولوژی بدون خطا یا تقریباً بدون خطا هستند. متأسفانه، تحقیق در مورد رفتار راننده و تجربیات اخیر با وسایل نقلیه خودران هیچ یک از این فرضیه‌ها را پشتیبانی نمی‌کند.

بنابراین ادعاهای مربوط به مزایای ایمنی وسایل نقلیه خودران ممکن است اغراق‌آمیز باشد. کاهش یا حتی حذف خطاهای راننده الزاماً باعث حذف خطاهای وسایل نقلیه، جاده، عوامل محیطی یا سایر کاربران جاده‌ای در تصادفات نیست. نمی‌توان مطمئن بود که کنترل کامپیوتری به اندازه کافی ایمن و قابل اعتماد باشد. تأثیر کلی وسایل نقلیه خودران بر تعداد و شدت تصادفات ناشناخته است و اطلاعات و فهم کافی برای ارزیابی معتبر آن وجود ندارد. در حقیقت، با توجه به وضعیت فعلی این فناوری، مشخص نیست که یک خودروی کاملاً خودران می‌تواند امن‌تر از یک راننده باتجربه میان‌سال و سالم باشد (Schoettle and Sivak 2015). برای نمونه، آب‌وهوای نامناسب و محیط‌های پیچیده رانندگی چالشی برای وسایل نقلیه خودران و همچنین برای رانندگان است و در بعضی موارد وسایل نقلیه خودران ممکن است بدتر از رانندگان عمل نمایند. همچنین وسایل نقلیه خودران زمینه را برای ایجاد تصادفات جدید و جدی مثل تصادف ناشی از حملات سایبری مهیا می‌کنند (Fagnant and Kockelman 2015). تنها چیزی که می‌توان در مورد آن اطمینان داشت این است که با ورود تعداد زیادی از خودروهای خودران به ناوگان، سهم تصادفات به علت‌های انسانی، وسایل نقلیه و محیط‌زیست به طور چشمگیری تغییر خواهد کرد.

۲-۱- اثرات بر ایمنی

خودروهای متصل می‌توانند روش استفاده از یک شبکه ارتباطی داده‌های بی‌سیم را تغییر دهند. چارچوبی که اجازه می‌دهد اتومبیل‌های شخصی، حمل‌ونقل همگانی، کامیون‌ها، قطارها، چراغ‌های راهنمایی و رانندگی، تلفن‌های همراه و ابزارهای مختلف با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. بر این اساس، پژوهش‌هایی که درباره وسایل نقلیه متصل انجام می‌شوند، می‌توانند برای حمل‌ونقل زمینی یک چارچوب داده‌ای ایجاد کنند و کاربرد وسایل نقلیه متصل را در بهبود ایمنی و تحرک

تقویت نمایند. پژوهش اوتای و همکاران (Outay, Kamoun et al. 2017) در سال ۲۰۱۷، ایده‌ی رانندگی مشارکتی برای رانندگان با استفاده از وسایل نقلیه متصل را برای به حداقل رساندن تصادفات، تراکم ترافیک و تا حد امکان کاهش اثرات ترافیک بر محیط‌زیست و از دست دادن جان و مال مطرح می‌کند. این تحقیق ابتدا بر امکان‌سنجی استفاده از خودروهای متصل با زیرساخت‌های فیزیکی و مجازی موجود تمرکز می‌کند و پیشنهادهای لازم را برای سازگاری ارائه می‌دهد و پس از آن نیازهای فنی را برای اجرای مؤثر و موفقیت آمیز ارتباط قوی با استفاده از ارتباطات اختصاصی کوتاه‌مدت[۶] مورد بررسی قرار می‌دهد. آن‌ها ادعا می‌کنند که این فناوری توانایی‌های زیادی را در حفظ جان و اموال، بر اثر کاهش تصادفات وسیله نقلیه، دارد. با وجود این، اجرای این تکنولوژی در سطح جهانی، به دلیل عدم تکامل و همچنین عدم اثبات ملموس آن در برقراری ارتباط موفق، حداقل برای یک دهه آینده پیش‌بینی نمی‌شود.

در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی که بیشاو و همکاران (Byshov, Simdiankin et al. 2017) انجام دادند، یک راه حل جدید برای مسئله تنظیم مقررات ایمنی با استفاده از فناوری RFID[۷] پیشنهاد شد. سامانهٔ شناسایی با امواج رادیویی که به اختصار آن را RFID می‌نامند، سامانهٔ شناسایی بی‌سیمی است که قادر به تبادل داده‌ها به‌وسیله برقراری اطلاعات بین یک Tag که به یک کالا، شئ، کارت و ... متّصل شده است و یک بازخوان (Reader) است. سامانه‌های RFID از سیگنال‌های الکترونیکی و الکترومغناطیسی برای خواندن و نوشتن داده‌ها بدون تماس بهره‌گیری می‌کنند.

رشد و پیشرفت گسترده فناوری RFID امروزه در سیستم‌های امنیتی خودرو، ایستگاه‌های سوخت خودروهای خودران، سیستم‌های کنترل دسترسی محلی، سیستم‌های بلیت الکترونیک، گذرنامه‌های RFID برای گردشگران و مسافران، شناسایی اشیاء متحرک در زمان واقعی، شناسایی وسایل نقلیه در پارکینگ‌ها و پایانه‌های اتوبوسرانی، تسریع تحویل مرسوله‌ها، پردازش و تحویل بار در خطوط هوایی و جلوگیری از جعل کالای مختلف مشاهده می‌شود (SecretLock 2016). یکی از عوامل اصلی مانع برای اجرای اتومبیل‌های بدون راننده، هزینه‌های مربوط به اطمینان از آشنایی آن‌ها با علائم و نشانه‌گذاری‌های معمولی در راه‌هاست. بنابراین تلاش‌هایی در جهت ارتقاء ایمنی با اجرای دستیار الکترونیک که علامت‌های ترافیکی را تکرار می‌کند، انجام گرفته است. در پژوهش بیشاو و همکاران بهبود ایمنی ترافیک از طریق نمونه‌گیری از همهٔ چراغ‌ها و علائم راهنمایی رانندگی آنالوگ با یک سیگنال رادیویی انجام شد که آن‌ها نشانه‌های RFID از علائم و چراغ‌های راهنمایی را در همان محل یا نزدیک همان محل نشان می‌دادند. نمونه‌گیری با یک سیگنال رادیویی از یک واحد فرستنده / گیرنده (رادار) متمرکز بر یک منطقه محدود از اعمال تابش انجام شده است. روش پیشنهاد شده توسط بیشاو و همکاران، متمایز از روش‌هایی که تا کنون شناخته شده است، برای کنترل فعالانه سرعت ترافیک در مناطق با خطر بالا، از بین بردن خطر حرکت ترافیک در امتداد ریل تراموا، پیاده‌رو و خطوط اتوبوس و همچنین برای متوقف کردن خودرو (با فرستادن سیگنال «سرعت صف» توسط ماشین پلیس) زمانی که پلیس در تعقیب مجرمان است، کاربرد دارد.

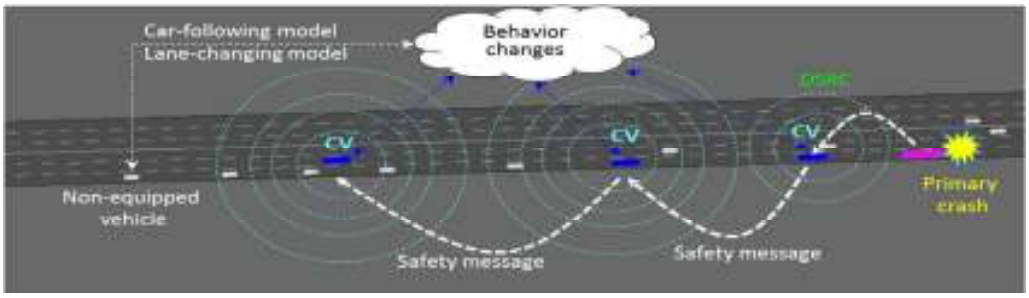
۲-۱-۱-تصادفات ثانویه

کاهش خطر تصادفات ثانویه[۸] یک هدف کلیدی برای مدیریت تصادفات است. با وجود این، اقدامات محدودی برای دستیابی به این هدف انجام گرفته است و این عمدتاً به دلیل ماهیت تصادفی تصادفات اولیه و ثانویه است.

با توجه به ظهور فناوری خودروهای متصل، این وسایل نقلیه قادرند که با یکدیگر از طریق شبکه وسیعی از وسایل حمل‌ونقل بی‌سیم ارتباط برقرار کنند. به اشتراک‌گذاری اطلاعات بین وسایل نقلیه، عملکرد ترافیک را تغییر می‌دهد و به رانندگان اجازه می‌دهد تا اقدامات فعالانه‌تری انجام دهند. رانندگانی که پیام‌های ایمنی را دریافت می‌کنند، می‌توانند با هوشیاری بیشتری به صف‌ها و مکان‌های حادثه نزدیک شوند. برای مثال، پس از وقوع تصادف اولیه A، اگر وسایل نقلیه درگیر در این محدوده هشدار دریافت کنند، می‌توان از تصادف ثانویه B جلوگیری کرد. بنابراین به عنوان یک نتیجه از بهبود آگاهی از موقعیت، انتظار می‌رود که خطر تصادفات ثانویه کاهش یابد. برای بررسی اینکه آیا این انتظار قابل دستیابی است یا خیر، مطالعه یانگ و همکاران (Yang, Wang et al. 2017) در سال ۲۰۱۷ به منظور بررسی تأثیر خودروهای متصل بر خطر سوانح ثانویه شکل گرفت. در واقع هدف اصلی این پژوهش امکان‌سنجی استفاده از خودروهای متصل برای

کاهش خطر تصادفات ثانویه و ارزیابی مزایای بالقوه این خودروها تحت نرخ‌های نفوذ مختلف در بازار است که نتایج آن منجر به مدیریت حوادث ترافیکی برای جلوگیری از تصادفات ثانویه می‌شود. در این مطالعه، یک چارچوب مدل‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی که ماژول ارتباطی وسیله نقلیه با وسیله نقلیه را فراهم می‌کند، توسعه داده شده است. از آنجا که تصادفات نمی‌توانند به طور مستقیم در مقیاس میکرو شبیه‌سازی شوند، از معیارهای ایمنی جایگزین برای به تصویر کشیدن برخوردهای وسایل نقلیه به عنوان نماینده‌ای از خطر سوانح ثانویه در بالادست محل تصادف اولیه استفاده شده است. این شبیه‌سازی در Paramics و از طریق رابط برنامه کاربردی سفارشی[۹] که در C کدگذاری شده، انجام گرفته است. محدوده مخابره اطلاعات توسط هر خودروی متصل ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است و فرض شده است که تأخیری در ایجاد ارتباط و از دست دادن اطلاعات وجود ندارد.

سپس بر اساس چارچوب شبیه‌سازیِ ارائه شده، یک مطالعه تجربی در یک بخش چهار مایلی از بزرگراهی که شبیه به مرز شرقی I-264 در ویرجینیا بیچ است در Paramics انجام شد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، خودروهای متصل و غیر مجهز به فناوری V2V در کنار هم در ترافیک حضور دارند. خودروهای متصل که پیغام تصادف اولیه را دریافت می‌کنند، تغییر رفتار می‌دهند. به عنوان مثال، این وسایل نقلیه برای بیشینه کردن ایمنی خود، تغییر خط می‌دهند یا سرفاصله زمانی را با وسیله نقلیه جلویی افزایش می‌دهند.



شکل ۱. استفاده از وسایل نقلیه متصل به منظور کاهش خطر تصادف ثانویه (Yang, Wang et al. 2017)

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از وسایل نقلیه متصل می‌تواند یک راه قابل قبول برای کاهش خطر تصادفات ثانویه باشد و انتظار می‌رود که تأثیر این خودروها با افزایش نفوذ آن‌ها در بازار تغییر کند. برای نمونه، اگر تراکم ترافیک زیاد باشد، استفاده از یک سهم کوچک (مثلاً ۵ درصدی) از وسایل نقلیه متصل خطر تصادفات ثانویه را در حدود ۱۰ درصد کاهش می‌دهد.

۲-۱-۲- تصادفات جلو به عقب

حواس‌پرتی راننده یکی از عوامل اصلی تصادفات رانندگی است. سیستم هشداردهنده ایمنی بین وسیله‌ای[۱۰] فناوری برای افزایش توجه رانندگان از طریق ارائه پیام‌های هشداردهنده در مورد خطرات در حال وقوع در محیط‌هایی با وسایل نقلیه متصل است. یکی از ویژگی‌های نوی این فناوری قابلیت آن در شناسایی رویدادهای رانندگی خطرناک است که به عنوان خطرات متحرک با پتانسیل بالا برای ایجاد تصادفات تعریف می‌شوند. مطالعه جونگ و همکاران (Jeong, Oh et al. 2014) در سال ۲۰۱۴ اثرات ISWS را در کاهش تصادفات و کاهش تراکم ترافیک ارزیابی کرده است. در پژوهش آن‌ها، وسایل نقلیه مورد مطالعه به واحدهای سفارشی پردازنده که شامل یک دستگاه GPS، شتاب‌سنج و حس‌گر ژیروسکوپ است، مجهز شده‌اند.

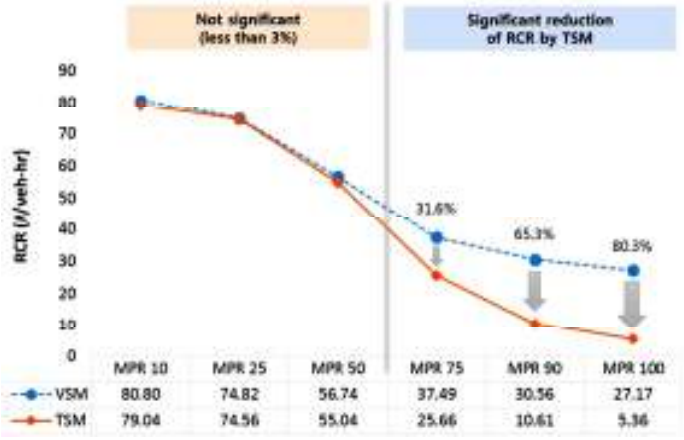
در این پژوهش، یک شبیه‌ساز میکروسکوپی، VISSIM، برای شبیه‌سازیِ پاسخ راننده‌ها پس از ارسال هشدارها مورد استفاده قرار گرفته و همچنین یک مدل ارزیابی ایمنی جایگزین برای سنجش اثربخشی ISWS بر ایمنی ترافیک به کار گرفته شده است. برای دستیابی به اهداف تحقیق، یک‌بار با ISWS و یک بار بدون ISWS مدل‌سازی انجام شده و از معیارهای ایمنی جایگزین برای مقایسه دو وضعیت استفاده شده است. به طور کلی روش ارزیابی مزایای ایمنی در این مطالعه شامل سه مرحله است که در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

شکل ۲. روند کلی برای ارزیابی مزایای ایمنی ISWS (Jeong, Oh et al. 2014)

نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بر اثر افزایش نرخ نفوذ بازار[11] و سطح تراکم ترافیک، تصادفات جلو- عقب کاهش یافته است. کاهش تعداد تصادفات جلو- عقب با ۱۰۰ درصد نرخ نفوذ بازار و سطح سرویس D، در حدود ۸۴٫۳ درصد بوده است. همچنین نتایج حاکی از آن است که میانگین تأخیر به میزان ۶۳٫۲ درصد کاهش داشته است. با این حال، اثربخشی ISWS در رده‌های سطح سرویس A تا C که شرایط ترافیکی نسبتاً پایدار و غیر متراکم را نشان می‌دهند، ضعیف به نظر می‌رسد. نتایج این مطالعه می‌تواند برای بهبود عملکرد و توسعه فناوری ISWS، ارائه‌ی راهبردهای عملیاتی دقیق و اجرای سیاست‌های مربوطه در راستای استفاده از ISWS برای ایمنی وسیله نقلیه بسیار ارزشمند باشد.

همان طور که اشاره شد، یکی از انتظارات از سیستم‌های رانندگی خودران جلوگیری از وقوع تصادف‌های ناشی از بی‌احتیاطی رانندگان در بزرگراه‌هاست. شکی در سودمند بودن این سیستم‌ها وجود نداشت اگر همه‌ی خودروها از آن بهره می‌بردند، ولی تجهیز شدن همه‌ی خودروها به این سیستم‌ها در آینده‌ی نزدیک نامحتمل است. باید توجه داشت که فناوری خودروهای خودران در آینده‌ی نزدیک ۱۰۰ درصد خودروهای بازار را در بر نمی‌گیرند، ولی استفاده از این تکنولوژی با گذشت زمان بیشتر خواهد شد. در این راستا بررسی تعامل بین

خودروهای تجهیز شده با سیستم‌های خودران و خودروهای تجهیز نشده ضروری به نظر می‌رسد. با وجود این سؤال زیر در استفاده از سیستم‌های رانندگی خودران وجود دارد: آیا این سیستم‌ها که فقط شرایط موجود در اطراف خودروی تجهیز شده را بررسی می‌کنند، واقعاً می‌توانند سهم مهمی در کاهش تصادفات داشته باشند؟ برای بررسی این موضوع، باید تعامل‌های موجود بین خودروهای تجهیز شده و سایر خودروها مورد ارزیابی واقع شوند. جونگ و همکاران (Jeong, Oh et al. 2017) در سال ۲۰۱۷، با توجه به نرخ نفوذهای متفاوت سیستم‌های رانندگی خودران در بازارهای مختلف، ایمنی ترافیک را با پیشنهاد شاخصی برای نمایش همه‌ی خطرات تصادف جلو- عقب در جریان ترافیک ارزیابی کرده‌اند. آن‌ها برای نشان دادن تأثیر سیستم‌های رانندگی خودران بر روی ایمنی، پارامترهای مورد نیاز برای کمینه کردن خطر تصادفات جلو- عقب را جمع‌آوری کردند. متدولوژی ارائه شده توسط جانگ و همکاران شامل سه جزء اصلی است: یک شبیه‌سازی میکروسکوپیک ترافیک، یک الگوریتم سیستم و یک الگوریتم ژنتیک بهینه‌ساز برای به دست آوردن پارامترهای کنترل بهینه خودرو. در مطالعه آن‌ها دو راه برای تنظیم مانورهای طولی وسیله نقلیه مورد بررسی قرار گرفت: سیستم حرکتی ایمنی- محور خودرو[۱۲] که خطر تصادف یک خودرو مجهز شده و شرایط اطرافش را بررسی می‌کند و سیستم حرکتی ایمنی- محور ترافیکی[۱۳] که همه‌ی خطرات منجر به تصادف را در جریان ترافیک بررسی می‌کند. سیستم حرکتی ایمنی- محور ترافیکی فرض می‌کند که مراکز کنترل ترافیک قادر خواهند بود همه‌ی خودروهای موجود در جریان ترافیک را تحت نظر بگیرند و در حرکت خودروها دخالت کنند. جانگ و همکاران با استفاده از پارامترهای کنترلی حرکت خودروها، چارچوب یکپارچه‌ای برای کمینه کردن خطر تصادفات پیشنهاد داده‌اند. هدف اصلی آن‌ها استفاده از فرآیند بهینه‌سازی در شناسایی فرصت‌های موجود در مدیریت مؤثر ترافیک (نسبت به توسعه‌ی الگوریتم کنترل خودرو) برای بهبود ایمنی است که قابلیت اجرا نیز داشته باشد. در این مطالعه از نرم‌افزار شبیه‌ساز میکروسکوپیک ویسیم برای شبیه‌سازی جریان ترافیک در آزادراه استفاده شده و ارزیابی متدولوژی ارائه شده به صورت سیستماتیک هدایت می‌شود. در هر دو روش سیستم حرکتی ایمنی-محور خودرو و سیستم حرکتی ایمنی- محور ترافیکی، کاهش قابل ملاحظه‌ای در پتانسیل وقوع تصادفات جلو- عقب وجود داشته است. هرچند، روش سیستم حرکتی ایمنی محور ترافیکی، زمانی که خودروهای خودران بیش از ۵۰ درصد از بازار خودرو را در اختیار داشته باشد کاهش بسیار بیش‌تری را نتیجه می‌دهد. شکل ۳ نشان می‌دهد که این روش خطر تصادفات جلو- عقب را برای نرخ‌های نفوذ در بازار ۷۵، ۹۰ و ۱۰۰ درصد، به ترتیب، به میزان ۳۱/۶، ۶۵/۳ و ۸۰/۳ درصد کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، برای نرخ نفوذ کم در بازار، اختلاف قابل توجهی در خطر تصادفات جلو- عقب مشاهده نشده است (کمتر از ۳ درصد).



شکل ۳. اثرات ایمنی بر اساس روش‌ها و پارامترهای مختلف (Jeong, Oh et al. 2017)

نتایج فوق حاکی از آن است که عملاً استراتژی عملیاتی ترافیک برای بهره بردن کامل از مزایای وسایل نقلیه خودران مهم است. در این مطالعه یک سناریوی عملیات ترافیک در یک محیط رانندگی خودران پیشنهاد شده است. اطلاعات سفر هر وسیله نقلیه که توسط حسگرهای وسیله نقلیه و تجهیزات کنار جاده تولید می‌شود، به مرکز مدیریت ترافیک برای پشتیبانی از ارتباطات وسیله نقلیه با وسیله نقلیه (V2V) و وسیله نقلیه با زیرساخت‌ها (V2I) تحویل داده می‌شود. سپس این اطلاعات برای حرکت بهینه خودروها و بهبود ایمنی ترافیک پردازش می‌شود. در نهایت، مرکز مدیریت ترافیک بر اساس اطلاعات پردازش شده برای بهینه کردن جریان ترافیک و بهبود ایمنی، در حرکت خودروها مداخله می‌کند. حرکت وسایل نقلیه مجهز می‌تواند بر اساس یک استراتژی کنترل بهینه با استفاده از نرم‌افزار پردازش داده‌ها در مرکز مدیریت ترافیک تعیین شود. علاوه بر این، می‌توان زمانی که نرخ نفوذ در بازار به سطح مشخصی رسید، خطوط اختصاصی را برای وسایل نقلیه تجهیز شده در نظر گرفت.

۳-۱-۲- تصادف با عابر پیاده

محدودیت سرعت متغیر (*VSL*) یک روش کنترل ترافیک خطی است که به‌طور گسترده‌ای برای بهبود ایمنی ترافیک در جاده‌ها استفاده می‌شود. ایده اصلی *VSL* این است که مداخله فعالانه‌ای در تنظیم محدودیت‌های سرعت با استفاده از علائم محدودیت سرعت در کنار جاده‌ها انجام شود. استفاده از *VSL* در زمان آب‌وهوای نامساعد می‌تواند با کاهش خطرات ناشی از سفر در سرعت‌های بالاتر از شرایط مناسب، ایمنی را بهبود بخشد. هنگام رانندگی در جاده‌ها، رانندگان باید مسیرهای جاده‌ای را برای پاسخگویی به وضعیت اضطراری در شرایط ترافیکی خطرناک ببینند. در زمان وقوع آب‌وهوای نامساعد، دید ضعیف و شرایط سطح جاده منجر به کاهش فاصله دید و افزایش طول فاصله توقف می‌شوند. پس از وقوع یک تصادف در جاده، نزدیک شدن وسایل نقلیه از بالادست ممکن است ترافیک آهسته ناشی از برخورد را به موقع مشاهده نکنند. در نتیجه به احتمال زیاد، یک برخورد ثانویه پس از وقوع برخورد اولیه رخ می‌دهد. پیش‌تر، استراتژی‌های مختلفی از کنترل *VSL* در عمل برای بهبود ایمنی ترافیک در شرایط آب‌وهوای مساعد استفاده شده است. منطق مشترک در این استراتژی‌ها استفاده از کاهش سرعت از پیش تعیین شده است در شرایطی که موقعیت فعلی بدتر از ایده آل باشد. محدودیت سرعت معمولاً با توجه به تجارب عملی تعیین می‌شود.

مطالعه لی و همکاران (Li, et al., 2014). در سال ۲۰۱٤ به منظور کاهش تصادفات ثانویه راهکاری ارائه می‌کند که در آن محدودیت سرعت یک جاده به صورت پویا تغییر می‌کند. هدف اصلی این مطالعه پیشنهاد استراتژی کنترل *VSL* برای کاهش خطرات تصادفات ثانویه در محدوده انتهایی صف‌های تشکیل شده در شرایط نامساعد آب‌وهوایی است. به منظور رسیدن به این هدف، ابتدا شرایط وقوع برخورد ثانویه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس استراتژی کنترل *VSL* با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی و جریان ترافیکی پیشنهاد شد. آب‌وهوای نامساعد، فاصله دید مسافران را کاهش می‌دهد و فاصله توقف خودرو را افزایش می‌دهد. هنگامی که یک تصادف در آب‌وهوای نامساعد اتفاق بیفتد و منجر به کاهش سرعت ترافیک شود، وسایل نقلیه‌ای که به آنجا نزدیک می‌شوند، زمان کافی برای پاسخگویی اضطراری به شرایط خطرناک را ندارند و در نتیجه احتمال وقوع تصادف ثانویه افزایش می‌یابد. با بررسی شرایط وقوع تصادف ثانویه، استراتژی *VSL* پیشنهاد می‌شود که محدودیت سرعت را به صورت پویا و با توجه به شرایط ترافیکی فعلی و شرایط آب‌وهوایی تنظیم می‌کند. مدل اتومبیل دنبال‌کننده[10] برای شبیه‌سازی مانورهای وسیله نقلیه در انواع مختلف آب‌وهوا ایجاد شد. مقادیر ایمنی جایگزین برای ارزیابی کاهش خطرات برخورد با کنترل *VSL* در نظر گرفته شد. معیارهای ایمنی برای استراتژی پیشنهادی در شبیه‌سازی برای چندین نوع آب‌وهوا مورد ارزیابی قرار گرفت. پنج سناریوی آب‌وهوایی تعریف شده در این مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

VSL زمان سفر را افزایش نمی‌دهد (به استثنای آب‌وهوای برفی). اثرات کنترل شده با یک استراتژی قبلی *VSL* مقایسه شد. نتایج نشان داد که در باران‌های متوسط، باران‌های سنگین و مه‌های رقیق، استراتژی این پژوهش در کاهش تصادفات نسبت به راهکارهای پیشین عملکرد بهتری دارد. در وضعیت‌های مه غلیظ و برف استراتژی قبلی *VSL* اثرات ایمنی بهتری از خود نشان می‌دهد. با این حال، *VSL* موجب اختلالات زیادی در ترافیک گردید – کل زمان سفر بیش از ۷۰ درصد افزایش یافت. این مطالعه همچنین دریافت که اثرات

ایمنی استراتژی *VSL* ارائه شده زمانی که رانندگان با محدودیت سرعت منطبق نباشند، کاهش می‌یابد.

تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که اثربخشی *VSL* با شرایط ترافیکی تغییر می‌کند (مثلاً در شرایط ازدحام، شرایط خلوت و ...). در این مطالعه، کنترل *VSL* در زمانی بیشترین تأثیر را دارد که شرایط ترافیکی از خلوت به متراکم تغییر می‌کند. این به این دلیل است که استراتژی *VSL* بر اساس مانورهای وسیله نقلیه و شرایط ترافیکی در انتهای صف‌ها پیشنهاد شده است. راهکار *VSL* پیشنهاد شده به طور فعالانه در شرایط خطرناک در جاده‌ها پاسخگو است و برخلاف *VSL* های مرتبط با آب‌وهوا قبلی، محدودیت سرعت با توجه به جریان ترافیک و پارامترهای آب‌وهوایی در یک زمان واقعی به منظور کاهش برخورد ثانویه محاسبه می‌شود. این مطالعه می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای متخصصان حمل‌ونقل مهیا کند که بتوانند سیستم‌های *VSL* مرتبط با هواشناسی را برای حوزه‌های مختلف طراحی کنند. با این حال، نویسندگان این پژوهش کاملاً آگاه‌اند که هنوز این موضوع باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه پارامترهایی برای شرایط آب‌وهوایی مختلف از لحاظ شرایط واقعی کالیبراسیون نشده است. آن‌ها اثرات کنترل *VSL* را در شبیه‌سازی آزمایش کرده‌اند. علاوه بر این، این مطالعه از *TTC* برای ارزیابی خطرات تصادف استفاده کرده است. دیگر مدل‌های پیش‌بینی تصادف برای تائید نتایج مطالعه باید مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، این مطالعه تنها چند سناریوی آب‌وهوایی معمولی را در نظر گرفت. شرایط پیچیده‌تر باید مورد آزمایش قرار گیرد تا اثرات بیشتری از استراتژی *VSL* تعیین شود.

جدول ۱. سناریوهایی از وضعیت‌های مختلف آب‌وهوا (Li, et al., 2014)

سناریو	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ٤	سناریو ٥
نوع آب‌وهوا	باران معمولی	باران سنگین	مه رقیق	مه غلیظ	برف
شرایط سطح جاده	تَر	سُر	خشک	خشک	لغزنده
شرایط دید	معمولی	ضعیف	ضعیف	بد	ضعیف
ضریب چسبندگی	۰/۳	۰/۲۵	۰/٤	۰/٤	۰/۲
فاصله دید (متر)	۳۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۵۰
سرعت جریان آزاد (مایل بر ساعت)	٦٥	٥٥	٦۰	٥۰	٥۰

۳- نتیجه‌گیری

مرگ و آسیب‌های جانی و مالی به علت تصادف خودروها و حوادث جاده‌ای مسئله بسیار مهمی است. زیرا سالانه هزینه‌های سنگینی را به جوامع تحمیل می‌کند. در سال‌های اخیر و در سراسر جهان علاقه به خودروهای دارای سیستم‌های رانندگی متصل و خودران به دلیل قابلیت آن‌ها در جلوگیری از تصادفات ترافیکی در حال افزایش است. همچنین به این خودروها به عنوان عضوی ضروری در آینده‌ی سیستم‌های حمل‌ونقل نگریسته می‌شود. بنابراین، پیش از هر چیز، نحوه پذیرش این وسایل نقلیه توسط استفاده‌کنندگان شبکه و پس از آن تأثیر این فناوری بر ایمنی رانندگی اهمیت می‌یابد. در این پژوهش، با مرور مطالعات معتبر و شاخصی که در سال‌های اخیر به بررسی جنبه‌های مختلف وسایل نقلیه متصل و خودران پرداخته‌اند، نتایج زیر حاصل شد.

-پیش‌بینی *BI Intelligence* بیان می‌کند که تا سال ۲۰۲۰، ۱۰ میلیون وسیله نقلیه خودران در جاده‌ها دیده خواهد شد.

-تا سال ۲۰۲۰ بیش از ۲۵۰ میلیون وسیله نقلیه در سراسر جهان متصل خواهند شد که افزایش ٦۷ درصدی خواهد داشت.

-تا سال ۲۰٤٥ اگر یک کاهش ٥ درصدی سالانه و مقادیر ثابت تمایل به پرداخت از سال ۲۰۱٥ به بعد فرض شود، در ناوگان

خصوصی سبک وزن خودرو ۲۴٫۸ درصد وسیله نقلیه کاملاً خودران نفوذ خواهد کرد. در صورت استفاده از نرخ ۱۰ درصدی کاهش سالانه قیمت‌ها و افزایش ۱۰ درصدی در مقدار تمایل به پرداخت، این سهم به ۸۷٫۲ درصد می‌رسد.

-تا سال ۲۰۵۰ وسایل نقلیه خودران حدود ۹۰ درصد از خرید و فروش‌های خودرو و ۶۵ درصد از کل سفرهای با وسیله نقلیه را به خود اختصاص می‌دهند.

-جایگزین کردن راننده با تکنولوژی پیشرفته سنجش، محاسبات، ارتباطات و کنترل رباتیک، خطاهای انسانی را به عنوان یک عامل ایجادکننده تصادفات، کاملاً از بین می‌برد و میزان بروز تصادفات را ۹۰ درصد کاهش دهد.

-استفاده از وسایل نقلیه متصل می‌تواند خطر تصادفات ثانویه را کاهش دهد و انتظار می‌رود که تأثیر این خودروها با افزایش نفوذ آن‌ها در بازار تغییر کند. برای نمونه، اگر تراکم ترافیک زیاد باشد، استفاده از یک سهم کوچک (مثلاً ۵ درصدی) از وسایل نقلیه متصل خطر تصادفات ثانویه را در حدود ۱۰ درصد کاهش می‌دهد.

-به کارگیری وسایل نقلیه خودران خطر تصادفات جلو- عقب را برای نرخ‌های نفوذ در بازار ۷۵، ۹۰ و ۱۰۰ درصد، به ترتیب، به میزان ۳۱/۶، ۶۵/۳ و ۸۰/۳ درصد کاهش می‌دهد.

-برای نشان دادن اعتبار خودروهای تمام خودران در زمینه کاهش صدمات و تلفات باید صدها میلیون مایل و در بعضی موارد صدها میلیارد مایل رانده شوند. با توجه به ناوگانی متشکل از ۱۰۰ وسیله نقلیه خودران که ۲۴ ساعت در روز و ۳۶۵ روز در سال، با سرعت متوسط ۲۵ مایل در ساعت رانندگی می‌کنند، ده‌ها و گاهی صدها سال برای دست‌یابی به نتایج مطمئن زمان لازم است.

-آب‌وهوای نامناسب و محیط‌های پیچیده رانندگی چالشی برای وسایل نقلیه خودران و همچنین برای رانندگان است و در بعضی موارد وسایل نقلیه خودران ممکن است بدتر از رانندگان عمل نمایند

-همچنین این فناوری‌ها بر سایر جنبه‌های ترافیکی نیز تأثیرگذارند. برای نمونه:

-در صورتی که فقط خودروهای خودران از یک بزرگراه استفاده کنند، در سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت ظرفیت در حدود ۸۵ درصد افزایش می‌یابد. این افزایش ظرفیت با تغییر سرفاصله زمانی از $t_a = 0.5$ ثانیه به جای سرفاصله زمانی t_h $= 1.15$ ثانیه (که یک فاصله زمانی معقول برای رانندگی انسان است) قابل دستیابی است.

-استفاده ۱۰۰ درصدی از خودروهای خودران در مقایسه با وضعیت فعلی در گلوگاه یک بخش از بزرگراه ظرفیت در اوج صبح و در اوج عصر را به ترتیب ۱۷ و ۱۸ درصد افزایش می‌دهد.

-اگرچه نرخ‌های نفوذ پایین وسیله نقلیه متصل زمان سفر را کاهش می‌دهد، اما به ازای نرخ‌های نفوذ بالا زمان سفر متناسب با نفوذ بازار افزایش می‌یابد. این افزایش برای نرخ نفوذ بازار ۶۰ و ۱۰۰ درصد معنادار است. یکی از دلایل احتمالی این موضوع، پیشنهاد یک مسیر به تعداد زیادی از رانندگان است.

-در نرخ نفوذ ۵ درصد در بازار، معرفی وسیله نقلیه متصل باعث کاهش زمان سفر شده و در این شرایط، تقاضای خودرو شخصی تقریباً ۷ درصد افزایش می‌یابد، در حالی که سهم حمل‌ونقل همگانی به میزان ۱۱٫۵ درصد کاهش و سهم پیاده‌روی ۴٫۵ درصد افزایش می‌یابد.

باید توجه داشت که هنوز بسیاری از جنبه‌های خودروهای خودران در آینده نامشخص هستند. بنابراین درک درست از مزایا و معایب این فناوری نیاز به مطالعات دقیق‌تر و گسترده‌تر دارد. توجه به این نکات ضروری است که تجهیز همه‌ی خودروها به سیستم‌های اتصال و خودرانی در آینده‌ی نزدیک نامحتمل است و این فناوری در آینده‌ی نزدیک ۱۰۰ درصد خودروهای بازار را در بر نمی‌گیرند، ولی استفاده از این تکنولوژی با گذشت زمان بیشتر خواهد شد. بنابراین این وسایل نقلیه آینده حمل‌ونقل جاده‌ای را شکل می‌دهند و می‌توانند در کنار افزایش تحرک، ایمنی و راحتی، موجب کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از حمل‌ونقل شوند. البته باید توجه داشت که معرفی وسایل نقلیه متصل و خودران به تنهایی نمی‌تواند مشکلاتی را که سیستم‌های فعلی با آن روبرو هستند، حل کند. وقتی که برای آینده‌ی سالم‌تر و پایدارتر حمل‌ونقل تلاش می‌شود، باید تعامل این فناوری جدید با سیستم و تأثیر گسترده آن در سطح سیستم در نظر گرفته شود.

۴- پی‌نوشت‌ها

1. Vehicle-to-vehicle
2. Vehicle-to-infrastructure
3. Conditional Automation
4. High Automation
5. Full Automation

6. Dedicated Short-Range Communications
7. Radio Frequency Identification
8. Secondary Crashes
9. Customized Application Program Interface
10. Inter-vehicle Safety Warning Information System
11. Market Penetration Rate
12. Vehicle safety-based Maneuvering
13. Traffic safety-based Maneuvering

۵- مراجع

-Byshov, N., Simdiankin, A., & Uspensky, I., (2017), "Method of Traffic Safety Enhancement with Use of RFID Technologies and its Implementation", Transportation Research Procedia, 20, pp.107-111.

-Dingus, T.A., Guo, F., Lee, S., Antin, J.F., Perez, M., Buchanan-King, M., Hankey, J., (2016), "Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data", Proc. Natl. Acad. Sci. 113, pp.2636–2641. http://dx.doi.org/10.1073/pnas. 1513271113.

-Fagnant, Daniel J., Kockelman, Kara, (2015), "Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations", Transport. Res. Part A: Policy Pract. 77, pp.167–181. http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003.
July as of March 3.

-Gomes, Lee, (2014), "Hidden Obstacles for Google's Self-Driving Cars: Impressive Progress Hides Major Limitations of Google's Quest for Automated Driving", Massachusetts Institute of Technology. As of March 3, 2016 https://www.technologyreview.com/s/530276/ hidden-obstacles-for- googles-selfdrivingcars/.

-Huff, K.H., Matute, J., Garcia, A., et al., (2015), "Transit applications of vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure technology", In: Proceedings of TRB 94th Annual Meeting, Washington DC.

-Jeong, E., Oh, C., Lee, G., & Cho, H., (2014), "Safety impacts of intervehicle warning information systems for moving hazards in connected vehicle environments", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2424), pp.11-19.

-Jeong, E., Oh, C., & Lee, S., (2017), "Is vehicle automation enough to prevent crashes? Role of traffic operations in automated driving environments for traffic safety", Accident Analysis & Prevention, 104, pp.115-124.

-Kalra, N. and Paddock, S.M., (2016), "Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability?" Transportation Research Part A: Policy and Practice, 94, pp.182-193.

-Outay, F., Kamoun, F., Yasar, A., Shakshuki, E., & El-Amine, S., (2017), "ConVeh: Driving Safely into a Connected Future", Procedia Computer Science, 113, pp.460-465.

-SecretLock (2016), "Why do we use RFID technologies for the control of Atlant secret locks?" [Pochemu my primenyaem RFID tekhnologii dlya upravleniya zamkom-nevidimkoi "Atlant"?]. Available at: http://secretlock.ru/primenenie-rfid-tekhnologii/ (viewed on 17.08.2016) (in Russian).

-Schoettle, B., Sivak, M., (2015), "A preliminary analysis of real-world crashes involving self-driving vehicles", The University of Michigan, Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan.

-Wang, Y.S., Ma, W.J., Yin, W., et al., (2014), "Implementation and testing of cooperative bus priority system in connected vehicle environment: case study in Taicang City", China.

-Yang, H., Wang, Z., & Xie, K., (2017), "Impact of connected vehicles on mitigating secondary crash risk. International Journal of Transportation Science and Technology", 6(3), pp.196-207.

Effect of Connected and Autonomous Vehicles on Traffic Safety

Armin Sepehrirad, Ph.D., Student, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Soroush Memarmontazerin, Ph.D., Student, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Mahmoud Saffarzadeh, Professor, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail: a.sepehri@modares.ac.ir

Received: September 2021-Accepted: November 2021

ABSTRACT

Connected and autonomous vehicles (CAVs) with their predicted advantages are becoming reality. But it's important that experts and scientists find out the advantages and disadvantages of the aforementioned technology before it becomes real. As a result, some studies have been conducted in recent years. According to the literature, CAVs can lead to a safer and more comfortable transportation at a lower price and they also improve capacity of transportation network. In this study, different aspects of CAV technology including its long-term and short-term effects have been assessed, but this study has mainly focused on how CAVs affect traffic safety. One may challenge the claims about advantages of CAVs and label them as exaggerated, because CAVs may eliminate driver mistakes but they cannot prevent vehicle and road problems. According to the past studies near 90 percent of accidents happen as a result of human mistake and CAVs may help lower number of accidents by reducing the role of human in driving. On the other hand, connected vehicles can alarm the driver if the vehicle is getting close to an obstacle including pedestrians and other vehicles, therefore pedestrian casualties may get substantially lower by applying connected vehicle technology.

Keywords: Connected Vehicle, Autonomous Vehicle, Traffic Safety, CAV, Accidents