راهکارهای هوشمند کاهش تصادفات ثانویه در جاده‌ها

مقاله پژوهشی

آرمین سپهری راد*، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
آرمان صفارزاده، دانش‌آموخته مهندسی عمران، دانشگاه شهید بهشتی، 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: ۹۹/۰۹/۲۷- پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵
صفحه ۱۷۴-۱۶۱

چکیده

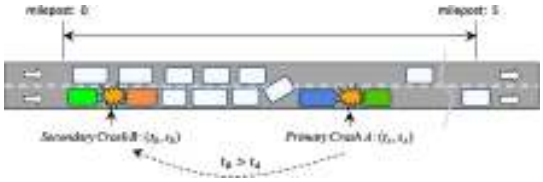
حوادث ترافیکی، بخصوص در بزرگراه‌های شهری بسیار پرتکرار هستند و نه تنها موجب تأخیر شدید در سفرها می‌شوند، بلکه می‌توانند موجب حوادث ثانویه شود که خطر آن شش برابر بیشتر از حادثه اولیه است. کاهش خطر تصادفات ثانویه یک هدف کلیدی برای مدیریت تصادفات است. با وجود این، اقدامات محدودی برای دستیابی به این هدف انجام گرفته است و این کمبود عمدتاً به دلیل ماهیت تصادفی تصادفات ثانویه است. از این رو، بسیاری از پژوهش‌های قبلی تلاش‌های وسیعی برای ارائه تعریف مشخص و شناسایی حوادث ثانویه انجام داده‌اند. پس از شناسایی محدوده وقوع این گونه تصادفات (از نظر زمانی و مکانی پس از وقوع تصادف اولیه)، شناسایی عوامل اثرگذار بر این تصادفات گامی اساسی در جهت کاهش آن‌ها است. در حقیقت تا عوامل اثرگذار بر یک پدیده مشخص نباشد، ارائه راهکار برای کاهش آن بی‌فایده است. بنابراین، تعدادی از پژوهش‌های پیشین به مرور عوامل اثرگذار بر وقوع تصادف‌های ثانویه پرداختند. این عوامل شامل هندسه راه‌ها، وضعیت ترافیکی، وضعیت جوی و ویژگی‌های وسایل نقلیه عبوری است. پس از شناخت عوامل اصلی اثرگذار بر وقوع تصادفات ثانویه، می‌توان راهکارهایی برای کاهش این گونه تصادفات ارائه کرد. از این رو، تعدادی از مطالعات پیشین پیشنهادهایی در جهت کاهش احتمال وقوع تصادفات ثانویه مطرح کرده‌اند. در این پژوهش، مرور نسبتاً جامعی بر هر سه گروه مطالعات یاد شده انجام می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تصادف اولیه، تصادف ثانویه، سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل، ایمنی ترافیک

۱- مقدمه

بر اساس اعلام سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۷، ۱/۲۵ میلیون نفر هر ساله در جهان بر اثر تصادفات وسایل نقلیه جان خود را از دست می‌دهند (WHO, 2017). برآورد شده است که تا سال ۲۰۳۰، تصادفات وسیله نقلیه به هفتمین عامل مرگ تبدیل خواهد شد (WHO, 2017). در ایالات‌متحده، هر ساله بر اثر تصادفات رانندگی در حدود ۳۲۰۰۰ نفر کشته و بیش از دو میلیون نفر زخمی می‌شوند(BTS, 2015). این تصادفات به هزینه‌های اجتماعی و اقتصادی بیش از ۸۰۰ میلیارد دلار در یک سال منجر می‌شود (Blincoe, et al., 2015). حوادث ترافیکی، بخصوص در بزرگراه‌های شهری بسیار پرتکرار هستند و ۳۰ تا ۵۰ درصد از تراکم مشاهده شده در بزرگراه‌ها را سبب می‌شوند (Khattak, et al., 2009). تصادفات بزرگراهی نه تنها موجب تأخیر شدید در سفرها می‌شود، بلکه می‌تواند موجب حوادث ثانویه شود که خطر آن شش برابر بیشتر از حادثه اولیه است (Khattak, et al., 2009). بنابراین شناخت و مقابله با این‌گونه تصادفات کمک شایانی به ایمنی و کاهش هزینه‌ها خواهد کرد. تصادفات ثانویه[1] تصادفاتی هستند که بعد از وقوع تصادف اول پیش می‌آیند. در حقیقت، تصادفات ثانویه محصولی از حوادث پیشین‌اند. به عنوان مثال، اگر به علت شلوغی ناشی از تصادفی که قبلاً اتفاق افتاده، تصادفی رخ دهد، این تصادف ثانویه محسوب

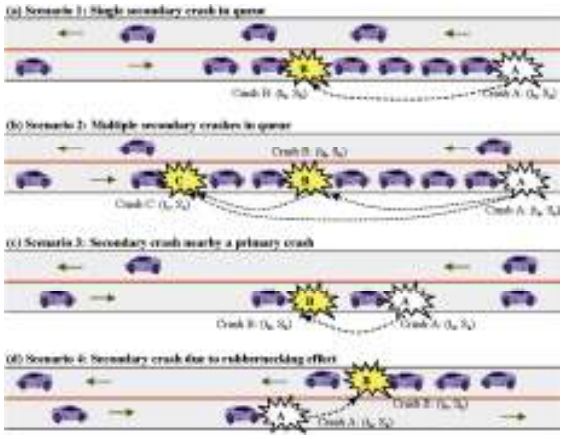
می‌شود. این‌گونه تصادفات میلیون‌ها دلار هزینه (ناشی از شلوغی، خسارات وارده، صدمه و یا مرگ‌ومیر) در پی دارند (Pigman, et al., 2011). پتانسیل بالای وقوع تصادفات ثانویه و پیامدهای منفی ناشی از آن‌ها، این حوادث را تبدیل به یکی از موضوعات نگران‌کننده کرده که بر ایمنی بزرگراه‌ها تأثیر می‌گذارند. کاهش خطر تصادفات ثانویه 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. شکل زیر رابطه یک تصادف اولیه و ثانویه را در یک بخش از جاده نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمونه‌ای از تصادف اولیه و ثانویه (Pigman, et al., 2011)

انواع تصادفات ثانویه

معرفی دقیقی از تصادفات ثانویه در مطالعه یانگ و همکاران (Yang, et al., 2013a) در سال ۲۰۱۳ ارائه شده است. شکل ۲، احتمال تصادف ثانویه را در سناریوهای مختلف توصیف می‌کند. سناریو اول سناریویی را توصیف می‌کند که در آن تصادف ثانویه B به عنوان یک نتیجه از وقوع حادثه A رخ می‌دهد. به همین ترتیب، سناریوی دوم یک مورد که در آن حادثه اولیه باعث به وجود آمدن یک صف و چند تصادف ثانویه (به عنوان مثال، B و C) شده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تصادفات ثانویه چندتایی ممکن است وابسته به یکدیگر باشند. به عنوان نمونه، اگر یک تصادف ثانویه در بالادست (مثلاً C) بعد از یک تصادف ثانویه دیگری اتفاق می‌افتد (مثلاً B)، تصادف اولیه (A) و تصادف ثانویه (B) هر دو می‌تواند باعث تصادف C شده باشند. سناریوهای ۱ و ۲ موارد معمولی را نشان می‌دهند که یک حادثه اولیه سبب تنگنا شده است و بر روی تحرک و ایمنی جاده تأثیر منفی گذاشته است. در سومین سناریو شکل ۲ حادثه اولیه A موجب تصادف ثانویه B می‌شود، هرچند در شکل هیچ صفی وجود ندارد. این نشان‌دهنده تعداد جزئی از حوادث است که به طور جدی مانع جریان ترافیک نمی‌شود ولی موجب تصادف دیگری می‌شود. به عنوان مثال، یک تصادف جاده‌ای که باعث ایجاد صف آشکاری نمی‌شود، ممکن است برخی از رانندگان را از صحنه خارج کند و باعث تصادف ثانویه شود. تصور می‌شود که چنین تصادفات ثانویه فقط می‌تواند نزدیک به زمان شروع یک حادثه اولیه و همچنین در یک فاصله کوتاه در بالادست تصادف اولیه باشند. آخرین سناریو که در شکل ۲، نشان داده شده است، یک مورد را نشان می‌دهد که تصادف ثانویه B به‌واسطه اثر حواس‌پرتی (چرخاندن گردن) رانندگان جهت مخالف برای نگاه کردن به تصادف اولیه ایجاد می‌شود. این سناریو وقوع تصادفات ثانویه وسایل نقلیه را در جهت مخالف تصادف اولیه توصیف می‌کند.



شکل ۲. انواع تصادفات ثانویه رایج (Yang, et al., 2013a)

۲- پیشینه تحقیق

ادبیات موضوع در مورد تصادفات ثانویه دارای دو مسئله عمده است: زمینه اول تشخیص تصادف ثانویه است. پژوهش‌هایی مرزهای زمانی - مکانی از پیش تعریف شده (ثابت) برای تعیین ناحیه تحت تأثیر حادثه اولیه و در نتیجه ناحیه زمانی- مکانی افزایش احتمال تصادفات ثانویه تعریف کردند. اخیراً، مفهوم آستانه‌های پویا برای تصادفات ثانویه توسط برخی محققان معرفی شده است؛ روش‌هایی به صورت ردیابی بصری پیشروی صف تشکیل شده در بالادست یک حادثه اولیه (Sun & Chilukuri, 2010)، تا برآوردهای تحلیلی مبتنی بر صف (Zhang & Khattak, 2010)، منحنی تجمعی ورودی و خروجی و

یا دیگر برآوردهای تحلیلی از تراکم تولید شده از داده آشکارساز حلقه‌ای[۲] (Orfanou, et al., 2011).

موضوع دوم به مدل‌سازی احتمال وقوع تصادف ثانویه و شناسایی عوامل تعیین‌کننده مربوط به حوادث مختلف، ویژگی‌های ترافیکی و هندسی اشاره دارد. هیرانیانیتی‌واتانا و متینگلی (Hirunyanitiwattana & Mattingly, 2006) در سال ۲۰۰۶ بررسی تفاوت در ویژگی‌های تصادفات اولیه و ثانویه را با توجه به زمان روز، طبقه‌بندی جاده، عوامل تصادف اولیه، سطح شدت و نوع حادثه بررسی کردند؛ آن‌ها دریافتند که تصادفات ثانویه بیشتر در بزرگراه‌های شهری با بیش از ٤ خط و در ساعت اوج اتفاق می‌افتد و با افزایش سرعت از حد مجاز ارتباط دارد. ژان و همکاران (Zhan, et al., 2008) در سال ۲۰۰۸ تعداد وسایل نقلیه درگیر و تعداد خطوط و مدت‌زمان تصادف اولیه را به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تصادفات ثانویه تشخیص دادند؛ یک سال بعد ژان و همکاران (Zhan, et al., 2009) پیشنهاد می‌کنند که نوع تصادف اولیه، مدت‌زمان بسته بودن خطوط به دلیل تصادف اولیه و زمان روز، مهم‌ترین عوامل وقوع ثانویه است.

روش های شناسایی تصادفات ثانویه

اگرچه ناحیه تحت تأثیر تصادف با ویژگی‌های هندسی جاده و ویژگی‌های دوره‌ای جریان ترافیک و نیز نوع تصادف تغییر می‌کند، ولی بیشتر رویکردها برای شناسایی تصادفات ثانویه از آستانه‌های زمانی- مکانی استفاده می‌کنند تا منطقه تحت نفوذ یک تصادف اولیه و در نتیجه وقوع تصادفات ثانویه را تعریف کنند. مور و همکاران (Moore, et al., 2004) یک تعریف جامع از تصادفات ثانویه شامل صف ارائه کردند؛ آن‌ها تصادفات ثانویه را به عنوان مواردی که در جریان تصادف اولیه، در هر جهت، در داخل و یا خارج از محدوده صف تشکیل شده از حادثه اولیه رخ داده است تعریف می‌کنند. با توجه به این تعریف، یک تصادف اولیه ممکن است به بیش از یک تصادف ثانویه منجر شود. تصادف ثانویه از وجود یک صف ترافیکی ایجاد می‌شود. علاوه بر این، تصادف‌هایی که منجر به تشکیل صف نمی‌شوند، نمی‌توانند باعث تصادف ثانویه شوند.

طبقه‌بندی تصادفات ثانویه یک معیار عملکرد مفید از سیستم‌های مدیریت حادثه است. به طور کلی دو روش برای تعیین مرز اثرگذاری تصادفات اولیه وجود دارد. پژوهش‌های اولیه، تصادفات ثانویه را با مرزهای زمانی- مکانی ثابت (ایستا) که از پیش تعیین‌شده است، دسته‌بندی می‌کنند. چنین آستانه‌هایی نشان‌دهنده تأثیرات مکانی و زمانی یک تصادف اولیه است، مانند ۳/۲ کیلومتر (۲ مایل) در بالادست و ۲ ساعت بعد از تصادف. بعداً برخی از مطالعه‌ها با ارائه طیف وسیعی از تعریف‌های پویا بر اساس مفاهیمی نظیر نظریه صف، طرح کانتور سرعت حادثه اولیه و شبیه‌سازی محدوده تحت نفوذ تصادف اولیه را با توجه به شرایط موجود شناسایی می‌کنند که روش ایستا را بهبود بخشیده‌اند.

کاربردهای عملی آستانه‌های پویا بسیار هستند و شامل برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت و مقیاس‌های جغرافیایی بزرگ و کوچک می‌باشند. برای مثال یک برنامه کاربردی آستانه پویا، مدیریت تصادفات است. این مدیریت نمی‌تواند تصادفات اولیه را از بین ببرد، اما توانایی حذف و کاهش تصادفات ثانویه را دارد. داشتن تعداد دقیق تصادفات ثانویه می‌تواند در برنامه‌ریزی و کارکرد برنامه‌های مدیریت تصادفات هم در سطح منطقه و هم محلی کمک می‌کند. علاوه بر این، استفاده از آستانه‌های پویا برای محاسبه تصادفات ثانویه می‌تواند یک شاخص کمی از عملکرد برنامه‌های مدیریت تصادفات باشد. استفاده از چنین آمارهای تصادفی ثانویه می‌تواند به ارزش‌گذاری برنامه‌های مدیریت تصادفات کمک کند. یکی از چالش‌هایی که در مقایسه آستانه پویا و ایستا مطرح است این واقعیت است که اطلاعات دقیق و واقعی در دسترس نیست. دلایل متعددی برای امر این وجود دارد. اول اینکه معمولاً آژانس‌هایی که گزارش‌های تصادف را ضبط می‌کنند با مسئولانی که اطلاعات مربوط به ترافیک را ثبت می‌کنند، متفاوت‌اند. به عنوان مثال، پلیس معمولاً گزارش‌های تصادف را در سایت تصادفات ثبت می‌کنند درحالی‌که سازمان حمل‌ونقل و رسانه‌ها تأثیر تصادفات اولیه و شرایط ترافیکی ناشی از آن را گزارش می‌کنند. در سال ۲۰۱٦، ونگ و همکاران (Wang, et al., 2016a) با استفاده از سوابق تصادفات در یک دوره سه‌ساله همراه با داده‌های حلقه‌ای آزادراه در ایالت کالیفرنیا، یک روش پویا برای طبقه‌بندی دقیق‌تر بر اساس روش تشخیص

موج ضربه ترافیکی برای شناسایی تصادفات ثانویه به کار بردند. آن‌ها نشان دادند که فاصله زمانی- مکانی بین تصادف اولیه و ثانویه ترکیبی از توزیع ویبال و نرمال است. در پژوهش دیگری (Wang, et al., 2016b) آن‌ها فاصله زمانی، مکانی موجود بین زوج های تصادف اولیه و ثانویه به ترتیب را با میانگین ۷۱,۰۹ دقیقه و ۳,۸۸ مایل و با انحراف معیار ۵۵,۳۶ دقیقه و ٤,٦٤ مایل تعریف کردند. همچنین در این پژوهش آن‌ها ادعا کردند که ۱/۰۸ درصد از تصادفات حومه کالیفرنیا را تصادفات ثانویه تشکیل می‌دهد که بسیار کمتر از برآوردهای پژوهش‌های قبلی است.

یک رویکرد پیشرفته برای تشخیص تصادف ثانویه توسط سان و چیلاکوری (Sun & Chilukuri, 2010) ارائه شده است که استفاده از یک منحنی پیشرفت صف را برای نشان دادن پایان عملکرد صف در طول دوره حادثه به منظور غلبه بر فرض اشتباه آستانه‌های ایستا پیشنهاد می‌کند. اخیراً، ژانگ و خاتاک (Zhang & Khattak, 2010) در هر تصادف یک مدل صف *(D/D/1)* برای تعریف مرزهای مکانی و تشخیص تصادف ثانویه اعمال کردند.

هدف اصلی مقاله یانگ و همکاران (Yang, et al., 2013b) در سال ۲۰۱۳ بهبود درک تصادفات ثانویه است که در دو مرحله به دست می‌آید. ابتدا یک چارچوب تجزیه‌وتحلیل برای شناسایی دقیق تصادفات ثانویه با تلفیق داده‌های حس‌گر ترافیکی غنی با مجموعه داده‌های تصادف در سطح کشور توسعه داده شده است. دوم، ویژگی‌های تصادفات ثانویه شناسایی شده در جزئیات مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، تصادفات ثانویه‌ای که در یک محدوده ۲۷ مایلی از بزرگراه اصلی در نیوجرسی اتفاق افتاده با استفاده از چارچوب تجزیه‌وتحلیل پیشنهاد شده استخراج گردید. در این پژوهش، یانگ و همکاران یک روش جدید را برای تعیین مشخصات دینامیکی تأثیر زمانی- مکانی حوادث اولیه تحت شرایط ترافیکی غالب ارائه کرده‌اند. روش پیشنهادی برای شناسایی محدوده تأثیر یک حادثه اولیه با استفاده از داده‌های حس‌گر بایگانی شده و تشخیص تصادف ثانویه در محدوده تحت تأثیر متمرکز شده است. یافته‌های تجربی این پژوهش بر اساس منابع داده موجود:

- تصادفات ثانویه بیش از ۸ درصد از تصادفات در آزادراه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. فراوانی تصادفات ثانویه با تعداد تصادفات غیر ثانویه در یک دوره زمانی معین رابطه مثبت دارد. تقریباً هر یازده تصادف با یک تصادف ثانویه همراه بوده است.
- تقریباً نیمی از تصادفات ثانویه در فاصله دو مایلی بالای تصادف اولیه رخ داده است. نیمه دیگر در فاصله بیش از دو مایل اتفاق افتاده است. بنابراین، جلوگیری از تشکیل صف‌های طولانی ناشی از تصادف اولیه، بسیار مهم است.
- ۷۵ درصد از تصادفات ثانویه در طول دو ساعت پس از تصادف اولیه اتفاق می‌افتد. ۲۵ درصد باقیمانده به علت تصادفات اولیه‌ای رخ داده که بیش از دو ساعت طول کشیده‌اند. به منظور کاهش تعداد تصادفات ثانویه، تصادف اولیه باید سریعاً برطرف شود.
- تصادف ثانویه به احتمال زیاد شامل دو یا چند وسیله نقلیه می‌شود. احتمال اینکه تصادف آن‌ها از نوع جلو- عقب باشد بیشتر است (در مقایسه با تصادفات غیر ثانویه). این‌گونه تصادفات ثانویه مانند تصادفات غیر ثانویه شدید هستند زیرا صدمات نسبتاً مشابهی دارند.
- علاوه بر این، «فاصله کم دو وسیله نقلیه پی‌درپی»، «حواس‌پرتی راننده» و «تغییر خط نابجا» مهم‌ترین عوامل مربوط به ایجاد تصادف ثانویه شناخته شد. وسایل نقلیه سنگین به احتمال کم‌تری باعث تصادف ثانویه می‌شوند. بنابراین، مهم است که هشدارهایی برای آگاه کردن وسایل نقلیه نزدیک شونده به صحنه تصادف، به ویژه وسایل نقلیه شخصی در نظر گرفته شود.

این نتایج می‌تواند به سازمان‌های حمل‌ونقل کمک کند تا تصمیمات آگاهانه‌تر در مورد کاهش تصادفات ثانویه و بهبود عملیات مدیریت حادثه اتخاذ کنند.

عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات ثانویه

اکثر مطالعات انجام شده در زمینه شناسایی عوامل اثرگذار بر رخداد تصادفات ثانویه، از مدل‌های رگرسیون لجستیک برای بررسی مشخصه‌های تصادفات ثانویه استفاده کرده‌اند. برخی از مطالعات از مدل‌های پروبیت برای ارزیابی وجود تفاوت‌های معنادار در میان تصادفات ثانویه و اولیه استفاده کردند. علاوه بر این، مدل‌های دیگری نیز از جمله رگرسیون ترتیبی، رگرسیون پروبیت دودویی[۳] و شبکه بیژین در برخی از مطالعات استفاده شده است. طبق ادبیات موضوع، عواملی

مانند نوع تصادف، آب‌وهوا، مدت‌زمان،*AADT* و وسایل نقلیه درگیر، تأثیر بسزایی در وقوع حادثه دارند.

مطالعه (Zhan, et al., 2008) نشان داد که ویژگی‌هایی مانند تعداد وسایل نقلیه درگیر در یک حادثه، تعداد خطوط، مدت‌زمان تصادف اولیه و زمان روز به طور قابل توجهی سبب افزایش احتمال تصادف ثانویه می‌شوند. ژانگ و خاتاک (Zhang & Khattak, 2010) دریافتند که فراوانی سوانح ثانویه با طول حادثه اولیه افزایش می‌یابد و هندسه جاده مانند تعداد خطوط و طول بخش و ترافیک بالا احتمال تصادف ثانویه را افزایش می‌دهد. در نهایت، خاتاک و همکاران (Khattak, et al., 2009) وابستگی متقابل بین مدت حادثه و وقوع رویداد ثانویه را نشان دادند.

در مطالعه چیمبا و کوتلا (Chimba & Kutela, 2014) در سال ۲۰۱٤ از مدل دوگانی منفی[4] برای ارزیابی تاثیر هندسه جاده و عوامل ترافیکی مرتبط با فراوانی تصادفات ثانویه استفاده شد. نتایج نشان داد که حد مجاز سرعت، بخش های پر ازدحام، بخش های با درصد زیاد کامیون و حجم ساعات اوج، احتمال وقوع تصادف ثانویه را افزایش می‌دهد. در بخش هایی از جاده که میانه و شانه‌های وسیع تر و تعداد خطوط بیشتری دارند، تصادفات ثانویه ناشی از وسایل نقلیه رها شده و خراب پس از حوادث اولیه با احتمال کمتری به وقوع می‌پیوندند. بنابراین این مقاله توصیه می کند که در هر بخش از راه برای قرار گرفتن وسایل نقلیه رها شده یا خراب پس از تصادف اولیه، برای جلوگیری از مسدود کردن خطوط، شانه های وسیع‌تر فراهم شود.

ونگ و همکاران (Wang, et al., 2016b) ضمن معرفی یک روش پویا برای طبقه‌بندی و شناسایی دقیق‌تر تصادفات ثانویه، یک مدل لوجیت برای بررسی عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات ثانویه ارائه کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شوک‌های ناشی از وقوع یک تصادف اولیه تأثیر بیشتری بر احتمال وقوع تصادف ثانویه دارند تا اثرات حجم ترافیک. تصادفات اولیه با مدت‌زمان طولانی‌تر می‌توانند احتمال وقوع تصادفات ثانویه را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهند. سرعت غیرمجاز و آب‌وهوا عوامل دیگری هستند که موجب وقوع تصادفات ثانویه می‌شوند. به شدت پیشنهاد می‌شود که وقتی پلیس یا نیروی نجات به صحنه تصادف می‌رسند، ناگهان مسیر را مسدود نکنند یا جریان ترافیک را کاهش ندهند یا سبب انحلال جریان ترافیک نشوند، بلکه باید برای کنترل ترافیک به شیوه‌ای آرام و کنترل‌شده تلاش کنند. همچنین مهم است که آن‌ها زمان فرآیند رسیدگی به تصادف را کاهش دهند تا خطر تصادف ثانویه کاهش یابد. چون با توجه به ضرایب حاصل از مدل، مدت‌زمان پردازش تصادفات به‌طور چشمگیری بر وقوع حوادث ثانویه تأثیر می‌گذارد که مشابه نتایج گزارش‌شده در بیشتر مطالعات پیشین است. بنابراین، مهم است که زمان پاسخ تصادفات و زمان پردازش را کاهش دهید تا خطر تصادف ثانویه کاهش یابد. این پژوهش با هدف بررسی عوامل مؤثر بر وقوع حوادث اولیه و حوادث ثانویه انجام شد. در این مطالعه امواج ضربه برای شناسایی حوادث ثانویه استفاده می‌شوند. یافته‌ها نشان می‌دهد که فراوانی تصادفات ثانویه بزرگراه‌ها در ایالت کالیفرنیا کم است (۲۰۹ از ٤۹۷۵۳ حادثه در یک دوره سه‌ساله). مدل رگرسیون لجستیک پیشنهاد شده در این مقاله اهمیت بالای امواج ضربه تولید شده توسط تصادف اولیه را نشان می‌دهد. بنابراین زمانی که پلیس و یا گروه نجات در محل حادثه قرار می‌گیرند، نباید مانع عبور یا کاهش ناگهانی جریان شوند، بلکه باید تلاش کنند که ترافیک را به شیوه‌ای آرام کنترل کنند. در این پژوهش، روش فیلتر مرزی موج ضربه‌ای[5] (*SWBF*) به صورت پیوسته برای وسعت دادن به نمونه تصادفات ثانویه مورد استفاده قرار می‌گیرد تا یک مدل دقیق برای علت تصادفات ثانویه ایجاد شود. در مجموع ٤۹۷۵۳ حادثه که از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۲ در آزادراه‌های کالیفرنیا رخ داده، همراه با داده‌های حلقه بالادست با روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت تا قابلیت اطمینان و کارایی آن مورد تجزیه‌وتحلیل قرار بگیرد.

مقاله واهوجانی و همکاران (Vlahogianni, et al., 2012) در سال ۲۰۱۲، با هدف توسعه مدل‌های شبکه عصبی با قدرت توصیفی قوی به منظور استخراج اطلاعات مفید در مورد متغیرهایی که بر احتمال تصادفات ثانویه تأثیر می‌گذارد، نوشته شده است. تأثیر ترافیک و شرایط آب و هوایی در وقوع یک حادثه اولیه در نظر گرفته شده است. دو معیار اثرگذار برای درک معنی‌داری متغیرها معرفی شده است: اطلاعات متقابل و مشتقات جزئی. رویکرد پیشنهادی نیز با سایر روش‌های آماری کلاسیک از خانواده لوجیت‌ها

مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییر در سرعت و حجم، تعداد خطوط مسدود شده و سهم کامیون‌ها به طور قابل‌توجهی بر احتمال وقوع یک تصادف ثانویه اثر می‌گذارند. در پژوهش‌های پیشین تأثیر شرایط آب و هوایی به صراحت مورد توجه قرار نگرفته بود، درصورتی‌که گفته شده بود که نمی‌توان از تأثیر معنادار شرایط آب و هوایی بر سرعت سفر و تأثیر آن در شرایط ترافیکی چشم‌پوشی کرد (Tsirigotis, et al., 2011). در مطالعه واهوجانی و همکاران (Vlahogianni, et al., 2012) عواملی مانند شرایط ترافیک غالب (سرعت و حجم) و شرایط آب‌وهوایی به طور صریح مورد توجه و ارزیابی قرار می‌گیرند. رویکرد مدل‌سازی پیشنهادی با مدل‌های آماری مشهور مقایسه شده است. مقاله واهوجانی و همکاران (Vlahogianni, et al., 2012) با مقایسه ساختارهای مختلف پرسپترون‌های چندلایه[۶] (MLP) با مدل‌های آماری کلاسیک مانند مدل‌های لوجیت، پروبیت و گامپیت[۷] برای مدل‌سازی احتمال وقوع تصادفات ثانویه، دانش گذشته را تقویت می‌کند. این مقایسه بر روی دقت و قدرت توصیفی مدل‌ها تمرکز دارد. با توجه به عوامل تأثیرگذار، آن‌ها دریافتند که شرایط ترافیکی در زمان وقوع یک حادثه و همچنین شرایط آب‌وهوایی مثل بارش باران، به طور قابل‌توجهی در وقوع تصادف ثانویه سهیم‌اند. تغییرات سرعت و حجم، تعداد خطوط مسدود شده و درصد وسایل نقلیه سنگین و همچنین هندسه بالادستی به طور قابل‌ملاحظه‌ای بر احتمال وقوع یک تصادف ثانویه تأثیر می‌گذارد، درحالی‌که تغییرات در میزان بارش باران بر احتمال وقوع تصادف ثانویه تأثیر چندانی ندارد. جالب‌توجه است، در همه مدل‌ها، تغییرات هندسه پایین‌دست و مدت‌زمان حادثه با توجه به احتمال وقوع یک تصادف ثانویه قابل‌توجه نیست.

از منظر روش‌شناختی، مقاله واهوجانی و همکاران (Vlahogianni, et al., 2012) بر دو جنبه متمایز تأکید دارد: اول، مدل‌های شبکه عصبی را برای کاربردهای حمل‌ونقلی با توان توصیفی قابل قبولی مهیا می‌کند، و همچنین یک چارچوب روش‌شناسی برای مقایسه شبکه‌های عصبی و مدل‌های آماری کلاسیک فراهم می‌آورد. دوم، مزایای بالقوه یک چارچوب تصمیم‌گیری که توصیف می‌کند که چه متغیرهایی برای نظارت اهمیت دارند و چگونگی تغییر این متغیرها را برای کنترل احتمال تصادفات ثانویه ارزیابی می‌کند. رویکرد شبکه عصبی پیشنهادی برای مدل‌سازی احتمال وقوع تصادفات ثانویه می‌تواند به عنوان یک گام روبه‌جلو برای استفاده از شبکه‌های عصبی به عنوان یک ابزار مدیریتی برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود و می‌تواند به راحتی برای سایر برنامه‌های حمل‌ونقل به کار برده شود.

هزینه‌های ناشی از تصادفات ثانویه

مطالعه گرین و همکاران (Green, et al., 2012) در سال ۲۰۱۲ با بازبینی ۹۳۳۰ حادثه، ۳۶۲ یا ۳٫۸۸ درصد از این برخوردها را به عنوان تصادفات ثانویه تأیید می‌کند و خسارات ناشی از این تصادفات را برآورد می‌کند. بر اساس تجزیه و تحلیل شدت تصادفات ثانویه‌ی مشخص شده (۳۶۲ تصادف) در یک دوره ۱۸ ماهه از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰، هزینه‌های کلی وقتی با عنوان «هزینه اقتصادی[۸]» در نظر گرفته شده‌اند، برابر با ۱۱۲۲۸۱۰۰ دلار برآورد شده‌اند و وقتی با عنوان «هزینه جامع[۹]» در نظر گرفته شده‌اند، برابر با ۳۳۶۳۶۱۰۰ دلار برآورد شده‌اند. این بررسی با استفاده از اطلاعات پایگاه داده *CRASH* و خلاصه کردن شدت هر یک از ۳۶۲ تصادف مشخص شده است. در زیر هزینه‌های «اقتصادی» و «جامع» برآورد شده توسط شورای امنیت ملی (*NSC*) لیست شده است (NSC, 2009).

- مرگ‌ومیر – ۱،۲۹۰،۰۰۰ دلار (۴،۳۰۰،۰۰۰ دلار)
- آسیب از کار افتادگی – ۶۷،۸۰۰ دلار (۲۱۶،۸۰۰ دلار)
- آسیب غیر از کار افتادگی – ۲۱،۹۰۰ دلار (۵۵،۳۰۰ دلار)
- جراحات احتمالی – ۱۲،۴۰۰ دلار (۲۶،۳۰۰ دلار)
- فقط خسارت مالی – ۲۴۰۰ دلار (۲۴۰۰ دلار)

۳- راهکارهای کاهش تصادفات ثانویه

همانطور که اشاره شد، وقوع تصادفات ثانویه منجر به مسدود شدن ترافیک و مشکلات ایمنی در جاده‌ها می‌شود و خسارت‌های بسیاری به بار می‌آورد. بنابراین پیشگیری از تصادفات ثانویه در مدیریت حوادث ترافیکی بسیار مهم است. در ادامه به بررسی برخی از روش‌های ارائه شده در جهت کاهش تصادفات ثانویه می‌پردازیم.

۳-۱- محدودیت سرعت متغیر (VSL)

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 ۲۰۱۴ 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 تجزیه‌وتحلیل 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 به شرح زیر است:

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	٦٠	٥٠	٥٠

نتایج نشان می‌دهد که استراتژی *VSL* به طور مؤثر خطرات تصادفات ثانویه را در انواع مختلف آب‌وهوا کاهش می‌دهد. برای ارزیابی اثرات کنترل *VSL* ، دو معیار ایمنی، بر اساس مفهوم زمان برخورد، مورد استفاده قرار گرفته است. زمان در معرض برخورد[11] (*TET*) به مقدار ٤١/٤٥ – ٥٠/٧٤ درصد کاهش می‌یابد و زمان تلفیق برخورد[12] (*TIT*) به مقدار ۳۸/۱۹ – ٤١/١٩ درصد کاهش می‌یابد.

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.

۳-۲- خودروهای متصل

یکی از راهکارهای مقابله و کاهش تصادفات و افزایش ایمنی استفاده از خودروهای متصل[۱۳] و خودروهای خودران[۱۴] است. درواقع همان‌طور که در اهداف ایجاد این‌گونه خودروها آمده است، یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این نسل از تکنولوژی افزایش ایمنی و کاهش تصادفات در حمل‌ونقل است. وسیله نقلیه متصل یک ابتکار جدید از «وسایل نقلیه هوشمند» است که به عنوان موج بعدی فناوری در حال ظهور شناخته می‌شود. این خودروها به دو دسته ارتباط وسیله نقلیه با وسیله نقلیه (*V2V*)[۱۵] و وسیله نقلیه با زیرساخت (*V2I*)[۱۶] تقسیم می‌شوند. ارتباطات *V2V* اطلاعات جزئی در مورد حرکت‌های وسایل نقلیه و تصمیمات عملیاتی رانندگان (مانند سرعت، شتاب و مکان) ارائه می‌کند، درحالی‌که ارتباطات *V2I* اطلاعات دقیق در مورد شرایط جاده و شرایط آب و هوایی ارائه می‌دهد.

تحقیقات نشان می‌دهد که استقرار وسایل نقلیه متصل و استفاده ترکیبی از کاربردهای ارتباط وسیله نقلیه با وسیله نقلیه (*V2V*) و وسیله نقلیه با زیرساخت (*V2I*) توانایی رفع ۸۱ درصد از تصادفات ناشی از حواس‌پرتی راننده را در تمامی انواع وسایل نقلیه (به عنوان مثال وسیله نقلیه شخصی و وسایل نقلیه سنگین) دارد. زمانی که وسایل نقلیه بتوانند خطرات اطرافشان را حس کنند و اطلاع دهند، تصادفات در بزرگراه‌ها می‌توانند کاهش یابند.

سیستم‌های پیشرفته کمک‌راننده[۱۷] (*ADAS*) در دهه گذشته به عنوان یک تکنولوژی مؤثر برای کمک به رانندگان برای جلوگیری از تصادفات رانندگی شناخته شده‌اند (Bengler, et al., 2014). یکی از اجزای اصلی *ADAS*، الگوریتم‌های زنگ هشدار است. با پیشرفت فناوری خودرو متصل که ارتباطات بی‌سیم را در میان وسایل نقلیه و زیرساخت‌های جاده‌ای برقرار می‌کند، قابلیت *ADAS* برای بهبود ایمنی ترافیک و تحرک می‌تواند از طریق تلاش‌های مشترک مراکز مدیریت ترافیک و کاربران *ADAS* تقویت شود. معیارهای چندگانه‌ای وجود دارد که حداکثر سرعت مجاز رانندگی در هر بخش از جاده، حداقل سرفاصله زمانی با خودروی جلویی، فاصله امن برای تغییر خطوط و زمان‌بندی که در آن راننده باید اقدامات لازم را برای جلوگیری از برخورد انجام دهد، تعیین می‌کنند (Várhelyi,

et al., 2015). اگر هر کدام از این معیارها نقض شود، *ADAS* به وسیله پیام‌های ویدئویی، صوتی یا متنی هشدار می‌دهد و یا حتی به طور مستقیم در امور رانندگی در شرایط بحرانی مداخله می‌کند. ویژگی *ADAS* می‌تواند رفتارهای راننده را به طور مؤثر به‌گونه‌ای تغییر دهد که آن‌ها به طور مناسب و سریع با محیط ترافیک ارتباط برقرار کنند (Birrell, et al., 2014) و حرکت‌های آن‌ها در یک جریان ترافیکی هماهنگ‌تر باشد. در نتیجه بسیاری از خطراتی که در نزدیکی تصادفات رانندگی وجود دارد، اجتناب می‌شود و اختلالات ترافیکی مرتبط کاهش یابد. در نتیجه، عملکرد جریان ترافیک با ایمنی بیشتر بهبود می‌یابد.

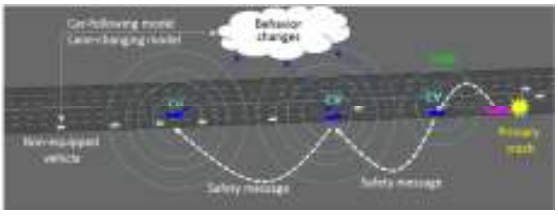
اندازه‌گیری سیستماتیک اثربخشی این نوع مدیریت ترافیک نیاز به توانایی تحلیلی دارد تا تأثیر ماندگار *ADAS* بر رفتارهای فردی رانندگان و بهبود ایمنی کلی و ارتقاء تحرک به دلیل چنین تأثیری سنجیده شود. برای این منظور، پژوهش لیو و همکاران (Liu, et al., 2017) در سال ۲۰۱۷ یک روش ترکیبی ارائه می‌دهد که مدل‌سازی رفتار رانندگی تحت تأثیر *ADAS* و مدل‌سازی جریان ترافیکی میکروسکوپی را در یک محیط شبیه‌سازی شده ترکیب می‌کند. بر پایه چنین محیطی، مجموعه پارامترهای بهینه الگوریتم *ADAS* از طریق یک رویکرد بهینه‌سازی چند هدفی که از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کند شناسایی می‌شود. روش توسعه یافته در یک محیط آزادراهی تحت سناریوهایی با نرخ نفوذ کم، متوسط و زیاد *ADAS* در بازار، مورد آزمایش قرار گرفته است.

ADAS با تمام راننده‌های مجهز به این سیستم ارتباط برقرار نمی‌کند؛ بلکه هنگامی که رویدادهای ترافیکی به وجود می‌آید که به توجه رانندگان نیاز است، فعال می‌شود. *ADAS* تعامل با راننده را زمانی که دیگر وقایعی وجود نداشته باشد، متوقف می‌کند. در این مطالعه، فرض بر این است که تأثیر *ADAS* به حداکثر سطح خود می‌رسد، زیرا *ADAS* باعث به صدا در آمدن زنگ هشدار می‌شود. حداکثر تأثیر به مدت کوتاهی ادامه خواهد داشت، در طی آن پارامترهای رفتار راننده در سطوح مختلفی سازگار خواهد شد. این دوره به عنوان زمان تأثیر *ADAS* شناخته می‌شود. پس از آن، تأثیر *ADAS* به آرامی کاهش می‌یابد و در نهایت ناپدید می‌شود که به این دوره‌ی کاهش تأثیر، زمان ریکاوری گفته می‌شود.

مطالعه موردی لیو و همکاران (Liu, et al., 2017) نشان می‌دهد که میزان‌سازی دقیق پارامتر الگوریتم *ADAS* می‌تواند به طور قابل توجهی سبب افزایش خروجی و کاهش تأخیر و تصادف در سایت مطالعه در سناریوهای با نرخ نفوذ در بازار متوسط و زیاد شود. در این سناریوها، بهینه‌سازی پارامتر الگوریتم *ADAS* ضروری است. در غیر این صورت، *ADAS* ناهمگونی رفتار در میان رانندگان را تشدید می‌کند که منجر به کاهش ایمنی ترافیک و تحرک منفی می‌شود. پژوهش اوتای و همکاران (Outay, 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 کوتاه‌برد[۱۸] (*DSRC*) 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.

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. 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, et al., 2017) در سال

۲۰۱۷ به منظور بررسی تأثیر خودروهای متصل بر خطر تصادفات 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 تصادفات ثانویه در بالادست محل تصادف اولیه استفاده شده است. این شبیه‌سازی در *Paramics* و از طریق رابط برنامه کاربردی سفارشی 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 ۳ 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 ۳. استفاده از وسایل نقلیه متصل به منظور کاهش خطر تصادف ثانویه (Yang, 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.

۳-۳- خودروهای 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 در سطح خودرانی کامل، تمام عملکردهای رانندگی را در هر شرایط آب و هوایی، جاده‌ای و ترافیکی (بدون دخالت انسان) کنترل می‌کند. در دسته‌بندی که توسط سازمان ایمنی ترافیک بزرگراه‌های ملی آمریکا انجام شده، خودرانی به چهار سطح 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 (Administration NHTSA, 2013).

یکی از مزایای استفاده از وسایل نقلیه خودران بر طبق اشارات گرینوف (Greenough, 2016) در سال ۲۰۱٦ بهبود ایمنی در جاده‌ها است. وی بیان می‌کند که در سال ۲۰۱۳، ۱۷۱۳ مرگ در جاده‌های انگلستان ثبت شده که در آن ۸۰ درصد حوادث ناشی از خطای انسانی بوده است. بنابراین بدون خطای راننده، تصادف خودروها کم خواهد شد و برآورد می‌کند که به کارگیری اتومبیل‌های خودران در سال ۲۰۱٤ تا ۲۰۳۰ در جاده‌های انگلستان به ۲۵۰۰ مرگ کم‌تر منجر شود. وسایل نقلیه خودران می‌توانند با حذف بسیاری از اشتباهات که رانندگان به طور معمول انجام می‌دهند، بحران سلامت عمومی را برطرف سازند (Anderson, et al., 2016). زیرا وسایل نقلیه خودران هرگز مست، حواس‌پرت و خسته نیستند و این عوامل به ترتیب ٤۱ درصد، ۱۰ درصد و ۲/۵ درصد از کل تصادفات مرگبار را تشکیل می‌دهند (U.S. Department of Transportation, 2015). 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 & Kockelman, 2013) در سال ۲۰۱۳ 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. 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 & 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 (Gomes & Lee, 2014). همچنین وسایل نقلیه خودران زمینه را برای ایجاد تصادفات جدید و جدی مثل تصادف ناشی از حملات سایبری مهیا می‌کنند (Fagnant, et al., 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.

یک راه پیشنهادی برای ارزیابی ایمنی این خودروها این است که خودروهای خودران را در ترافیک واقعی آزمایش کرده، عملکرد آن‌ها را مشاهده کنیم و مقایسه‌های آماری بین عملکرد آن‌ها و راننده انسان را انجام دهیم. مسئله اینجاست که این رویکرد منطقی است، اما آیا عملی هم است؟

٤- نتیجه‌گیری

تصادفات ثانویه به طور فزاینده‌ای به عنوان یک مشکل عمده در عملیات ترافیک آزادراه‌ها شناخته شده است، که منجر به کاهش ظرفیت و تأخیر ترافیکی اضافی می‌شود. در مقایسه با تصادفات اولیه، تصادفات ثانویه شدیدتر هستند و در نتیجه شناسایی آن‌ها به افزایش ایمنی و حفظ سطح عملکرد بزرگراه‌ها کمک بیشتری می‌کند. بنابراین پیشگیری از تصادفات ثانویه یکی از اولویت‌ها در مدیریت حوادث ترافیکی است. با این حال، اطلاعات محدود در مورد این تصادفات مانع از اقدامات مناسب می‌شود. اولین گام در جهت کاهش این گونه تصادفات و خسارات ناشی از آن‌ها، شناخت آن‌ها است. شناسایی تصادفات ثانویه با تعریف محدوده تحت نفوذ تصادف اولیه همراه است. بنابراین، در بسیاری از تحقیقات قبلی، تلاش‌های وسیعی برای ارائه محدوده زمانی و مکانی حوادث ثانویه انجام شده است. از طرف دیگر، تعدادی از مطالعات پیشین به بررسی عوامل اصلی که موجب وقوع تصادف ثانویه می‌شوند پرداخته‌اند. شناسایی عوامل اثرگذار بر این تصادفات گامی اساسی در جهت کاهش این‌گونه از تصادفات است. زیرا تا عوامل اثرگذار بر یک پدیده مشخص نباشد، ارائه راهکار برای کاهش آن بی‌فایده است. این پژوهش به مرور ادبیات موضوع در زمینه تصادفات ثانویه، شناسایی محدوده زمانی- مکانی آن‌ها وعوامل مؤثر بر این گونه تصادفات پرداخته و در نهایت راهکارهای کاهش آن را ارائه کرده‌است.

٥- پی‌نوشت‌ها

1. Secondary Crashes
2. Loop Detector Data
3. Binary Probit Regression
4. Negative Binomial Model
5. Shock Wave Boundary Filtering Method
6. Multi-Layer Perceptrons (MLP)
7. Gompit
8. Economic Cost
9. Comprehensive Cost
10. Car-following Model
11. Time Exposed Time-to-collision (TET)
12. Time Integrated Time-to-collision (TIT)
13. Connected Vehicles
14. Autonomous Vehicles
15. Vehicle-to-vehicle
16. Vehicle-to-infrastructure
17. Advanced Driver Assistance Systems
18. Dedicated Short-Range Communications

٦- مراجع

-Administration NHTSA, (2013), "Preliminary statement of policy concerning automated vehicles", Washington, DC., pp. 1-14

-Anderson, James M., Kalra, Nidhi, Stanley, Karlyn D., Sorensen, Paul, Samaras, Constantine, Oluwatola, Oluwatobi A., (2016), "Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers", RAND Corporation, RR-443-2-RC, Santa Monica, Calif. As of January 24.

-Bengler, K., Dietmayer, K., Farber, B., Maurer, M., Stiller, C., Winner, H., (2014), "Three decades of driver assistance systems: Review and future perspectives. Intell. Transport", Syst. Magaz., IEEE 6 (4), pp.6–22.

-Birrell, S.A., Fowkes, M., Jennings, P.A., (2014), "Effect of using an in-vehicle smart driving aid on real-world driver performance", Intell. Transport. Syst., IEEE Transact. 15 (4), pp.1801–1810.

-Blincoe, Lawrence, Miller, Ted R., Zaloshnja, Eduard, Lawrence, Bruce A., (2015), "The Economic and Societal Impact of Motor Vehicle Crashes 2010 (Revised)", National Highway Traffic Safety Administration, DOT HS 812 013, Washington, D.C.

-Bureau of Transportation Statistics, (2015), "Motor Vehicle Safety Data, Table 2–17. Research and Innovative Technology Administration", U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

-Chimba, D., & Kutela, B., (2014), "Scanning secondary derived crashes from disabled and abandoned vehicle incidents on uninterrupted flow highways", Journal of safety research, 50, pp.109-116.

-Fagnant, D., Kockelman, K.M., (2013), "Preparing a Nation for Autonomous Vehicles", Eno Center for Transportation, Washington, DC.

-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.

-Green, E.R., Pigman, J.G., Walton, J.R., McCormack, S., (2012), "Identification of secondary crashes and recommended countermeasures to ensure more accurate documentation", In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting. Compendium of Papers CD-ROM, Washington, DC.

-Greenough, J., (2016), "10 million self-driving cars will be on the road by 2020".

-Hirunyanitiwattana, W., and S. Mattingly, (2006), "Identifying secondary crash characteristics for California highway system. CD-ROM", Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.,

-Khattak, A. J., X. Wang, and H. Zhang. (2009), "Are Incident Durations and Secondary Incidents Interdependent?" In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2099, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 39–49.

-Li, Z., Li, Y., Liu, P., Wang, W., & Xu, C., (2014), "Development of a variable speed limit strategy to reduce secondary collision risks during inclement weathers", Accident Analysis & Prevention, 72, pp.134-145.

-Liu, H., Wei, H., Zuo, T., Li, Z., & Yang, Y. J., (2017), "Fine-tuning ADAS algorithm parameters for optimizing traffic safety and mobility in connected vehicle environment", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 76, pp.132-149.

-Moore, J.E., G. Giuliano, and S. Cho., (2004), "Secondary Accident Rates on Los Angeles Freeways", Journal of Transportation Engineering, Vol.130, No. 3, pp.280–285.

weather and traffic on the risk of secondary incidents", J. Intell. Transp. Syst.163, pp.109–117.

-Wang, J., Xie, W., Liu, B., & Ragland, D. R. (2016a), "Identification of freeway secondary accidents with traffic shock wave detected by loop detectors", Safety science, 87, pp.195-201.

-Wang, J., Liu, B., Lanfang, Z., & Ragland, D. R. (2016b), "Modeling secondary accidents identified by traffic shock waves", Accident Analysis & Prevention, 87, pp.141-147.

-World Health Organization, Road traffic injuries, (2017).

-Yang, H., Bartin, B., & Ozbay, K., (2013a), "Identifying Secondary Crashes on Freeways Using Sensor Data", In 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

-Yang, H., Bartin, B., & Ozbay, K., (2013b), "Investigating the characteristics of secondary crashes on freeways", In 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC (Vol. 2).

-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.

-Zhan, C., Gan, A., Hadi, M., (2009), "Identifying Secondary Crashes and Their Contributing Factors", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp. 68-75.

-Zhan, C., Shen, L., Hadi, M.A., Gan, A., (2008), "Understanding the characteristics of secondary crashes on freeways", In: Transportation Research Board 87thAnnual Meeting.

-Zhang, H., & Khattak, A., (2010), "What is the role of multiple secondary incidents in traffic operations?" Journal of Transportation Engineering, 136(11).

-National Safety Council, (2009), "Estimating the Costs of Unintentional Injuries." National Safety Council. National Safety Council.

-Orfanou, F. P., E. I. Vlahogianni, and M. G. Karlaftis., (2011), "Detecting Secondary Accidents in Freeways", To Appear in the forthcoming 3rd International Conference on Road Safety and Simulation (RSS2011), Indianapolis, Indiana, Spp. 14-16.

-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.

-Pigman, J.G., Green, E.R., Walton, J.R., (2011), "Identification of Secondary Crashes and Recommended Countermeasures", University of Kentucky, Lexington, Kentucky.

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

-Sun, C., and V. Chilukuri, (2010), "Dynamic Incident Progression Curve for Classifying Secondary Traffic Crashes", Journal of Transportation Engineering, Vol. 136, No. 12, pp. 1153- 1158.

-Tsirigotis, L., E.I. Vlahogianni, and M. G. Karlaftis. (2011), "Does Information on Weather Affect the Performance of Short-term Traffic Forecasting Models?" Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Vol. 9, No. 3, forthcoming.

-U.S. Department of Transportation, (2015), "Distracted Driving 2013: Summary of Statistical Findings", DOT HS 812 132.

-Várhelyi, A., Kaufmann, C., Persson, A., (2015), "User-related assessment of a Driver Assistance System for Continuous Support–a field trial. Transport", Res. Part F: Traffic Psychol. Behav. 30, pp.128–144.

-Vlahogianni, E.I., Karlaftis, M.G., Orfanou, F.P., (2012), "Modeling the effects of

Intelligent Ways of Reducing Secondary Accidents on Roads

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

Arman Saffarzadeh, M.Sc., Grad.,Civil Engineering Graduate, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

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

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

Received: March 2021-Accepted: July 2021

ABSTRACT

Nowadays a traffic collision in highways is frequent and they not only cause delay in trips but they also may lead to secondary accidents which may be 6 times more dangerous than the primary accident. In order to manage traffic collisions, reducing secondary accidents is a key factor. However, enough attention has not been paid to secondary accidents, which is because of the random nature of these accidents. As a result, most of the past studies have focused on the definition and recognition of secondary accidents. After recognizing secondary accidents, defining the factors that affect them is the main procedure to reduce this kind of accidents. In fact, when the key factor influencing a phenomenon is not yet known, presenting methods to deal with it is useless. Therefore, many of the past studies have focused on the key factors that cause a secondary accident, such as road geometry, traffic condition, and weather and vehicle characteristics. After defining the key factors affecting secondary accidents, it is possible to reduce them, and some of the previous studies have presented these methods. In this article, a general review on all of the 3 aforementioned categories of study has been provided.

Keywords: Secondary Accident, Primary Accident, ITS, Traffic Safety