

## ارائه شاخص ایمنی جانشین تصادفات مبتنی بر مفهوم ناحیه تأثیر وسایل نقلیه

اکرم مظاهری، دانشجوی دکتری گروه مهندسی حمل و نقل، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
محمود صفارزاده (مسئول مکاتبات)، استاد گروه مهندسی حمل و نقل، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران،

ایران

**E-mail: saffar\_m@modares.ac.ir**

سید صابر ناصرعلوی، استادیار گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۷

### چکیده

شاخص ایمنی جانشین (SSM) نقشی اساسی در ارزیابی ایمنی زود هنگام دارد. تحقیقات قبلی ارتباط بالقوه بین SSM و تصادفات جاده‌ای را نشان داده است. چندین تلاش برای توسعه SSM صورت گرفته است. بیشتر مطالعات در زمینه SSM فقط بر روی تداخل‌های جلو به عقب دو وسیله نقلیه که در یک خط حرکت می‌کنند تمرکز کرده است. هدف اصلی این مقاله توسعه SSM جدید مبتنی بر مساحت (ASSM) است که می‌تواند حرکت دو بعدی وسایل نقلیه را در نظر بگیرد. ASSM رویکرد جدیدی را برای تعیین کمیت ایمنی ارائه می‌دهد. ناحیه فرضی دو بعدی در اطراف وسیله نقلیه که برای حرکت ایمن مورد نیاز هستند، به عنوان ناحیه تأثیر معرفی می‌شوند. معادله ریاضی ناحیه تأثیر به عنوان تابعی از سرعت وسیله نقلیه بدست می‌آید و سپس می‌توان با بررسی میزان همپوشانی و اشتراک نواحی تأثیر وسایل نقلیه مختلف در هر زمان خاص، ASSM را محاسبه کرد. در این مطالعه، تکنیک‌های محاسبه ASSM توسعه داده شده و برای داده‌های ترافیک دنیای واقعی (NGSIM) استفاده شده است. یافته‌ها نشان داد که رابطه مثبتی بین مقدار ASSM و زمان تصمیم‌گیری راننده برای تغییر موقعیت رانندگی جهت جلوگیری از برخورد وجود دارد. این یافته‌ها می‌تواند به درک بهتری از رفتار رانندگی انسانی در شرایط بحرانی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: شاخص ایمنی جانشین تصادفات، ناحیه تأثیر، تداخل، حرکت دو بعدی، مانور‌گریزی

## ۱. مقدمه

تقاطع‌ها تحلیل می‌شود. پس از محاسبه فواصلی که وسایل نقلیه در طول و عرض با توجه به سرعت و فاصله توقف حفظ می‌کنند، یک ناحیه دو بعدی اطراف وسیله نقلیه در زمان کاهش سرعت تا توقف وسیله نقلیه تعریف می‌شود و در مرحله بعدی با تداخل این نواحی با یکدیگر زمان مانور گریزی وسایل نقلیه پیش‌بینی می‌گردد. این ناحیه وابسته به سرعت لحظه‌ای وسیله نقلیه، فاصله توقف و فاصله عرضی مورد نیاز وسیله نقلیه در طول مدت زمان توقف است و هرچه سایر وسایل نقلیه با این ناحیه مورد نیاز توقف تداخل بیشتری داشته باشند، راننده فضای کمتری در لحظه ترمزگیری ناگهانی در اختیار دارد.

در این مقاله با نگاه دو بعدی به تحلیل تداخل وسایل نقلیه روشی نوینی ارائه می‌گردد که با آن ایمنی برای مانورهای سبقت‌گیری و تغییر خط و همچنین تحلیل ایمنی مبتنی بر تداخل در تسهیلات تقاطعی قابل تحلیل می‌شود. بنابراین، هدف این مقاله ارائه مفهوم جدید ناحیه تأثیر وسایل نقلیه در هر لحظه و محاسبه سطح همپوشانی این ناحیه تأثیر و ارائه آن بعنوان شاخص ایمنی است. در این مقاله در خصوص اعتبارسنجی مدل ارائه شده نیز بحث می‌شود. در قسمت‌های بعدی این مقاله، پس از ارائه خلاصه‌ای از ادبیات تحقیق، هر یک از اهداف ذکر شده بیشتر توضیح داده می‌شود.

## ۲. مرور ادبیات تحقیق

اگرچه روش سنتی تحلیل ایمنی راه دهه‌هاست که مورد استفاده قرار می‌گیرد، اشکالاتی و محدودیت‌هایی در آن مشاهده می‌شود [Poor Arab Moghadam, Pahlavani and Naseralavi, 2016]. روش تحلیل سنتی فاقد درک مکانیسم تصادف و رفتار اجتناب از تصادف است. به دلیل خصوصیات نادر و پراکنده تصادفات، اغلب در جمع‌آوری این داده‌ها، تلاش و زمان زیادی صرف می‌شود [Tak et al., 2020]. علاوه بر این، روش سنتی به عنوان یک روش واکنشی در نظر گرفته می‌شود و تنها پس از وقوع تعداد زیادی از تصادفات

سرعت و راحتی استفاده کنندگان از راه، از یک طرف و اقتصاد از طرف دیگر در طراحی معابر شهری و بین شهری محدود-کننده هستند. اما ایمنی همواره شاخص اصلی در طراحی ترافیکی و طرح هندسی راه‌ها و حاکم بر سایر موارد است. هزاران نفر در سراسر جهان سالانه به دلیل سوانح جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند. علاوه بر این میزان آسیب جسمی و مالی این سوانح و آمار مصدومان تصادفات جاده‌ای نیز بسیار چشمگیر است. تأمین‌کننده نهایی این هزینه‌ها، دولت‌ها و مردم خواهند بود و آنها به جای استفاده از منابع مالی در توسعه راه‌ها و سیستم و ناوگان حمل و نقل مجبور به برطرف کردن خسارات ناشی از سوانح جاده‌ای هستند [Mohanty, Panda, and Dey, 2020]

تکنیک تداخل ترافیک روشی نسبتاً جدید و کم هزینه جهت بررسی وضعیت ایمنی است [Nadimi, Naserlavi and Asadamraji, 2020]. اشتباه در ثبت داده‌های تصادفات، نادر بودن وقوع تصادف در یک نقطه و همچنین بازه زمانی طولانی جهت مطالعات مبتنی بر تصادفات، محققین را به سمت استفاده از روش‌های نوین مثل روش‌های تداخل ترافیک سوق داده است. این روش‌های نوین می‌توانند فرایند تحلیل ایمنی را با سرعت بالاتری انجام دهند زیرا وابسته به داده‌های تصادف برای انجام تحلیل نیستند [Jafari Nasab, Naserlavi and Pourmoallem, 2015]. با اینحال روش‌های ارزیابی ایمنی مبتنی بر تحلیل تداخل وسیله نقلیه اغلب حرکت تک بعدی را لحاظ می‌کنند و از تحلیل تداخل در دو بعد ناتوانند [Behbahani, Nadimi and Naserlavi, 2015]. در صورتیکه در ترافیک دنیای واقعی در بسیاری از موقعیت‌ها تصادفات در حرکات دو بعدی وسایل نقلیه مانند تقاطعات رخ می‌دهد.

در این مقاله با دیدگاه دو بعدی به تداخل وسیله نقلیه، ایمنی در محل‌های مختلف مانند زمان سبقت و در مسیر مستقیم و

## ارائه شاخص ایمنی جانشین تصادفات مبتنی بر مفهوم ناحیه تأثیر وسایل نقلیه

می‌گردد. اما، این شاخص‌ها به دلیل پیچیدگی و شرایط مرزی، محدودیت‌ها و اشکالات مختلفی دارند.

### ۲-۱ زمان تا تصادف

برای اولین بار در سال ۱۹۷۲ هاپوارد مفهوم زمان تا تصادف<sup>۲</sup> (TTC) را ارائه کرد. این زمان در صورتی که اختلاف سرعت دو وسیله‌نقلیه تغییر نکند، برای دو وسیله‌نقلیه پشت سر هم که وسیله‌نقلیه عقبی با سرعت بیشتری نسبت به وسیله‌نقلیه جلویی حرکت می‌کند به صورت زیر تعریف می‌شود [Hayward, 1972].

$$TTC = \frac{x_L(t) - x_F(t) - l_L}{V_F(t) - V_L(t)} \quad \forall V_F(t) > V_L(t) \quad (1)$$

که در آن TTC زمان تا تصادف و  $X_L$  و  $V_L$  به ترتیب مکان و سرعت وسیله‌نقلیه جلویی و  $X_F$  و  $V_F$  به ترتیب مکان و سرعت وسیله‌نقلیه عقبی است. همچنین  $l_L$  طول وسیله‌نقلیه جلویی است.

در ادبیات تحقیق بهبودهای فراوانی در زمینه شاخص TTC رخ داده است برای نمونه: [Minderhoud and Bovy, 2001, Saffarzadeh et al., 2013]

### ۲-۲ نسبت فاصله توقف

آلن و همکاران نسبت فاصله توقف (PSD) را به‌عنوان نسبت فاصله باقیمانده (RD) به حداقل فاصله توقف (MSD) تعریف کردند [Allen et al., 1978].

$$PSD = \frac{RD}{MSD} \quad (2)$$

MSD فاصله مجاز توقف با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$MSD = \frac{V^2}{2a} \quad (3)$$

در رابطه ۳، مقدار  $V$  و  $a$  به ترتیب سرعت و شتاب کاهشی وسیله‌نقلیه است. مقدار PSD کمتر از ۱ نشان می‌دهد از تصادف نمی‌توان جلوگیری کرد حتی اگر از ظرفیت ترمز استفاده شود.

قابل استفاده است [Nadimi, Ragland and Amiri, 2020]. بنابراین، غیرممکن است که بتوان از پیش تأثیر ایمنی یک اقدام را بررسی کرد. با توجه به این محدودیت‌ها، شاخص ایمنی جانشین به جای تصادفات در ارزیابی ایمنی، به‌عنوان جایگزین ارائه می‌شود [Ali, Ahmed and Yang, 2020].

شاخص‌های جانشین ابتدا برای ارزیابی درمان داروها از قبل در علوم پزشکی مورد استفاده قرار گرفت و سپس برای اندازه‌گیری پیشگیرانه تداخل‌های ترافیکی توسط بسیاری از مهندسان و محققان ترافیک استفاده شد [Gousios et al., 2009]. هنگامی که این شاخص‌ها با تعداد تصادفات تجمعی مقایسه می‌شود، یک شاخص جانشین براساس مکانیسم تصادف و علّیت احتمالی تصادف ارائه می‌شود و این امر وضعیت بین تصادف و ایمنی را بهتر نشان می‌دهد. همچنین، یک رویداد جانشین بسیار بیش از یک رخداد تصادف اتفاق می‌افتد و بنابراین در مدت زمان کوتاه‌تری جمع‌آوری داده برای آن انجام می‌شود [Harris, 1996]. به علاوه، یک شاخص جانشین، با مزایای پیش‌بینی خطر و ارزیابی ایمنی قبل از وقوع تصادفات، به‌عنوان یک روش فعال در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این شایستگی‌ها، انتظار داریم شاخص جانشین تعداد تصادفات تجمعی را جایگزین کند و دفعات تصادف را پیش‌بینی کند تا بهتر خطرات را نشان دهد. در حال حاضر، بسیاری از شاخص‌های جایگزین به‌طور گسترده‌ای توسط مهندسان حمل‌ونقل مانند شاخص زمان تا تصادف (TTC)، کاهش سرعت برای جلوگیری از تصادف (DRAC)، زمان پس از گذر (PET)، شاخص پتانسیل تصادف (CPI)، نسبت فاصله توقف (PSD)، سنجش تمایل به تداخل همفرون (ACPM)، شاخص ایمنی ترمزگیری اضطراری (UDI)، زمان تا تصادف با اختلال (TTCD) و شاخص همفرون تصادف (ACI) استفاده می‌شود که در زیر برخی از آنها ارائه

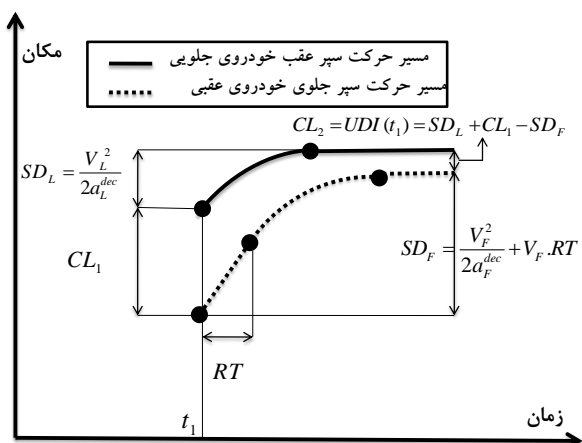
## ۳-۲ زمان پس از گذر (PET)

زمان واکنش راننده وسیله نقلیه عقبی و SD مسافت توقف وسیله نقلیه (L برای وسیله نقلیه جلویی و F برای وسیله نقلیه عقبی) است.

آلن مفهوم PET را به عنوان زمان بین گذر وسیله نقلیه اول در ناحیه تداخل تا ورود وسیله نقلیه بعدی به این ناحیه معرفی کرد [Allen et al., 2001].

## ۴-۲ شاخص ایمنی UDI

مسافت توقف ایمن فاصله لازم جهت ممانعت از برخورد وسیله نقلیه عقبی با وسیله نقلیه جلویی در هنگام اعمال ترمز و توقف وسیله نقلیه جلویی است. شکل ۱ مفهوم شاخص UDI را با ترسیم خط سیر یک جفت وسیله نقلیه نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است اگر وسیله نقلیه جلویی در لحظه  $t_1$  بصورت ناگهانی با حداکثر توان ترمزگیری کند، پس از طی مسافت  $SD_L$  متوقف می‌گردد (رابطه ۴). با فرض تأخیر RT برای واکنش وسیله نقلیه عقبی، فرض می‌شود این وسیله نقلیه در مدت زمان واکنش با سرعت ثابت برابر با سرعت جاری خود حرکت می‌کند و پس از آن برای جلوگیری از برخورد با ترمزی معادل با نرخ وسیله نقلیه جلویی ترمزگیری نماید و پس از مسافت  $SD_F$  متوقف می‌گردد (رابطه ۵). در ابتدا فاصله بین دو وسیله نقلیه جلویی و عقبی برابر  $CL_1$  فرض می‌شود. حال شاخص توقف اضطراری UDI پس از توقف کامل دو وسیله نقلیه تعریف می‌شود و برابر است با فاصله بینابینی دو وسیله نقلیه پس از توقف کامل آنها یعنی  $CL_2$ . از دیدگاه این شاخص بدیهی است تنها موقعیکه مقدار این شاخص در هر لحظه مثبت باشد آنگاه ایمنی برقرار است (ناصرعلوی و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۱. معرفی شاخص UDI (ناصرعلوی و همکاران، ۱۳۸۹)

## ۵-۲ مطالعات فواصل عرضی وسایل نقلیه

سینگ با لحاظ انواع مختلف وسایل نقلیه، روابطی تجربی برای فاصله عرضی و سرعت وسایل نقلیه ارائه و نشان داد هر وسیله نقلیه فاصله عرضی حداقلی را برای حرکت ایمن رعایت می‌کند [Singh, 1999]. آراسان و کوشی نشان دادند فاصله عرضی دو وسیله نقلیه مجاور تابعی از نوع وسیله نقلیه و سرعت آنهاست و با مجموع دو فاصله مستقل قابل تخمین است [Arasan and Koshy, 2005]. گونی نشان داد چنانچه فاصله عرضی دو وسیله نقلیه افزایش یابد، آنگاه سرعت در حال سبقت نیز افزایش می‌یابد [Gunay, 2007]. مالیکارجونا نیز نشان داد چگالی ترافیک تأثیر معناداری بر فاصله عرضی وسایل نقلیه می‌گذارد [Mallikarjuna, 2007].

ماریا و بودکار به محاسبه میزان همبستگی فاصله عرضی و سرعت وسایل نقلیه در شرایط ناهمگن با فرض حرکت نامنظم پرداختند و روابطی ارائه کردند که در آن فاصله عرضی وسایل نقلیه را می‌توان با دانستن سرعت و نوع وسیله نقلیه مشخص نمود (جدول ۱) [Budhkar and Maurya, 2017].

$$SD_L = \frac{V_L^2}{2a_L^{dec}} \quad (4)$$

$$SD_F = \frac{V_F^2}{2a_F^{dec}} + V_F \cdot RT \quad (5)$$

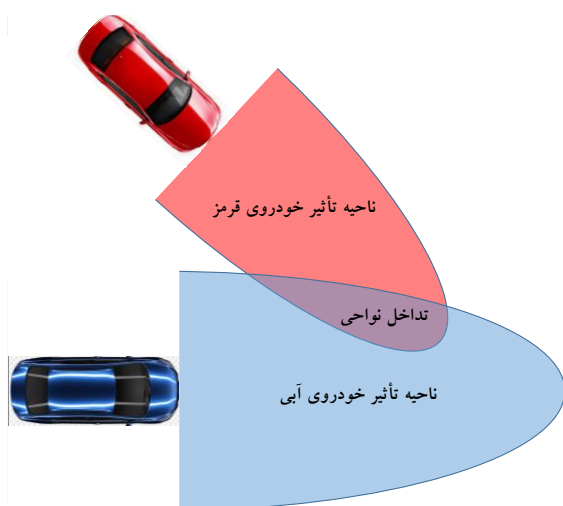
$$UDI = SD_L + CL_1 - SD_F \quad (6)$$

در روابط ۴، ۵ و ۶، UDI، شاخص ترمزگیری اضطراری،  $a_L^{dec}$  نرخ ترمزگیری وسیله نقلیه جلویی،  $a_F^{dec}$  نرخ ترمزگیری وسیله نقلیه عقبی،  $CL_1$  فاصله بینابینی اولیه دو وسیله نقلیه، RT،

### ۳. روش تحقیق

هدف اصلی این مقاله توسعه SSM جدید مبتنی بر مساحت (ASSM) است که می تواند حرکت دو بعدی وسایل نقلیه را در نظر بگیرد. ASSM رویکرد جدیدی را برای تعیین کمیت ایمنی ارائه می دهد. ناحیه فرضی دو بعدی در اطراف وسیله نقلیه که برای حرکت ایمن مورد نیاز است، به عنوان ناحیه تأثیر معرفی می شود. در شکل ۲ مفهوم ناحیه تأثیر و تداخل نواحی به صورت شماتیک آورده شده است.

در این مقاله حرکات طولی و عرضی با هم در نظر گرفته می شود. برای این منظور در فضای دو بعدی ناحیه ای که وسیله نقلیه در زمان ترمزگیری ناگهانی ایمن و راحت به آن نیازمند است مشخص می گردد و سپس تداخل این نواحی بررسی می شود. هر چه همپوشانی و اشتراک این مساحت ها افزایش یابد آنگاه برای ترمزگیری اضطراری یک وسیله نقلیه فضای کمتری موجو خواهد بود و متعاقب آن وضعیت ایمنی افت می کند.



شکل ۲. مفهوم ناحیه تأثیر و تداخل نواحی

رابطه فاصله عرضی وسایل نقلیه با توجه به نتایج تحقیق ماریا و بودکار به صورت زیر است:

$$LC = 117.31 + 0.681 \times V \quad (7)$$

که در آن،  $V$  سرعت وسیله نقلیه (برحسب کیلومتر بر ساعت) و  $LC$  فاصله عرضی بین وسایل نقلیه (برحسب سانتی متر)

روش های ارزیابی ایمنی مبتنی بر شاخص های ایمنی جانشین، اغلب تداخل های جلو به عقب را مد نظر قرار می دهند و در واقع حرکت تک بعدی وسایل نقلیه را لحاظ می کنند و از تحلیل تداخل در دو بعد ناتوانند [Behbahani, Nadimi and Naserlavi, 2015]. در صورتیکه در ترافیک دنیای واقعی در بسیاری از موقعیت ها تصادفات در حرکات دو بعدی وسایل نقلیه مانند مانورهای تغییر خطر و یا حرکت های تداخلی در تقاطعات رخ می دهد. جهت مدل ارائه شده در این مقاله، برای هر وسیله نقلیه در جریان ترافیک در هر لحظه یک مساحت در جلوی آن در نظر گرفته می شود و آن را ناحیه تأثیر می نامیم. فلسفه تعیین این ناحیه از درک فضای مورد نیاز جهت ترمزگیری ایمن حاصل می شود. در این راستا فرض می شود وسیله نقلیه در زمان جاری اقدام به ترمزگیری می کند و برای ترمزگیری ایمن، لازم است فواصل طولی و عرضی در هر لحظه از لحظه جاری تا موقع توقف کامل مهیا باشد. حال هر چقدر این فضا توسط ناحیه تأثیر سایر وسایل نقلیه محدودتر شود، طبیعی است راننده فضای کمتری در لحظه ترمزگیری ناگهانی در اختیار دارد و ایمنی به همان نسبت به خطر می افتد. در قسمت بعدی روش محاسبه این شاخص ارائه می گردد.

جدول ۱. ارتباط فاصله عرضی وسایل نقلیه با سرعت آنها

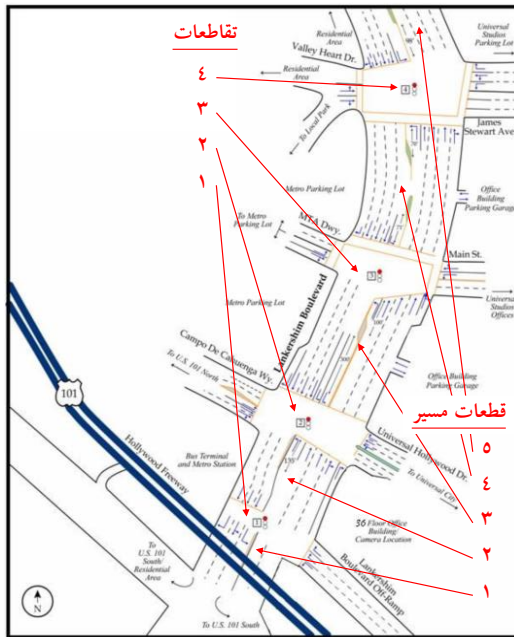
[Budhkar and Maurya, 2017]

معادله فاصله جانبی (سانتی متر)			
وسایل نقلیه	اندازه نمونه	شیب خط	عرض از مبدا
خودرو با خودرو	۲۲۴۶	۰/۶۸۱	۱۱۷/۳۱
خودرو با خودرو سنگین	۵۳۸	۰/۶۷۵	۱۲۶/۳۵
خودرو با موتور سه چرخ	۸۹۷	۰/۶۴۲	۱۲۴/۱۲
خودرو با دوچرخه	۱۳۷۲	۰/۶۱۲	۱۲۵/۱۶
دوچرخه با دو چرخه	۸۷	۰/۲۲۴	۱۱۸/۰۲
موتور سه چرخ با موتور سه چرخ	۱۴۰	۱/۰۳۷	۱۱۴/۵۵
موتور سه چرخ با خودرو سنگین	۱۳۱	۰/۹۸۵	۱۲۳/۸۶
موتور سه چرخ با دوچرخه	۴۱۷	۰/۷۳۹	۱۱۷/۲۷
همه به صورت ترکیبی	۶۰۱۶	۰/۶۴۱	۱۲۲/۳

داده‌های معروف و معتبر پروژه<sup>۵</sup> NGSIM و بطور مشخص داده‌های خط سیر وسایل نقلیه بلوار لنکرشیم (Lankershim) در لس‌آنجلس در بازه زمانی ساعت ۸:۳۰ تا ۸:۴۵ که در یک روز خاص جمع آوری شدند، در این مقاله به کار گرفته شد. قسمت تحت مطالعه در این بلوار، به طول ۱۶۰۰ فوت و با سرعت مجاز ۳۵ مایل بر ساعت، دارای ۵ بخش راه و ۴ تقاطع است (شکل ۴). ۵ دوربین برداشت تصویر بر روی ساختمانی مرتفع در همسایگی بلوار مستقر و داده‌های با کیفیت بالا از حرکت وسایل نقلیه (۱۰ فریم بر ثانیه) ارائه شد.

#### ۴. نتایج تحقیق

با در نظرگیری سرعت و جهت حرکت، ناحیه تأثیر برای هر وسیله نقلیه در هر لحظه در بخش‌ها و تقاطعات مختلف قسمت تحت مطالعه با کدنویسی کامپیوتری محاسبه و سطح اشتراک احتمالی این نواحی تعیین گشت. مجموع سطح اشتراک و همپوشانی ناحیه تأثیر وسایل نقلیه در هر لحظه و همچنین نسبت سطح اشتراک به مساحت کل ناحیه تأثیر برای یک وسیله نقلیه نیز محاسبه شد.



شکل ۴. نمایش بلوار لنکرشیم بعنوان مطالعه موردی

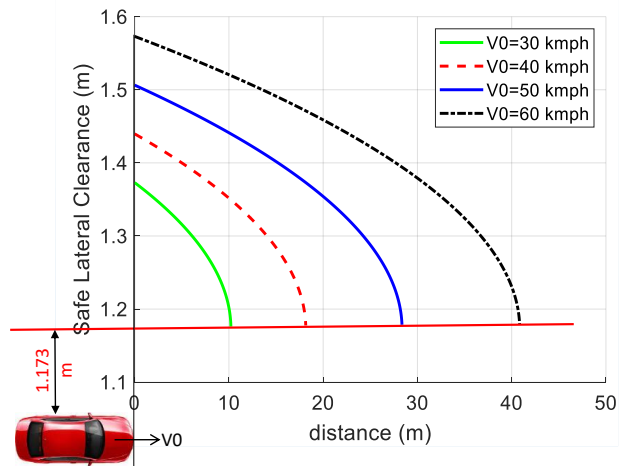
است. همچنین، سرعت وسیله نقلیه را می‌توان بصورت زیر نشان داد:

$$V = \sqrt{2a\Delta x + V_0^2} \quad (۸)$$

با در نظر گرفتن شتاب ترمزگیری ۳/۴ متر بر مجذور ثانیه و جایگزین کردن رابطه ۸ در رابطه ۷ و تبدیل متغیرها، فاصله عرضی ایمن یا مورد نیاز وسیله نقلیه در زمان جاری (لحظه کاهش سرعت) از لحظه شروع ترمزگیری تا توقف وسیله نقلیه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$LC = 1.173 + 0.024 \times \sqrt{-6.8 \times X + V_0^2} \quad (۹)$$

که در آن، LC فاصله عرضی (برحسب متر)، X فاصله طولی وسیله نقلیه از نقطه شروع کاهش سرعت (برحسب متر) و  $V_0$  سرعت جاری وسیله نقلیه در زمان کاهش سرعت (برحسب متر بر ثانیه) است. در شکل ۳ برای چهار سرعت اولیه وسیله نقلیه برابر ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ کیلومتر بر ساعت، تغییرات فاصله عرضی از نقطه کاهش سرعت تا توقف وسیله نقلیه ترسیم شده است. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود این ناحیه بشدت وابسته سرعت اولیه وسیله نقلیه در لحظه شروع ترمزگیری است.



شکل ۳. تأثیر سرعت بر ناحیه تأثیر

در مرحله بعد مساحت ناحیه اشتراک یا همپوشانی محاسبه و نسبت مساحت ناحیه اشتراک به مساحت ناحیه تأثیر تعیین می‌شود.

## ارائه شاخص ایمنی جانشین تصادفات مبتنی بر مفهوم ناحیه تأثیر وسایل نقلیه

نشان می‌دهد وضعیت ایمنی بحرانی در تقاطعات و قطعات به ترتیب مربوط به تقاطع شماره ۳ و قطعه شماره ۴ است که نسبت به سایر تقاطعات و قطعات مساحت تداخلی بیشتری را از خود نشان می‌دهند.

میانگین حد نهایی سطح اشتراک نواحی تأثیر و نسبت سطح اشتراک نواحی تأثیر به مساحت ناحیه تأثیر برای کل قسمت تحت مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به اطلاعات این جدول وضعیت ایمنی بطور متوسط در تقاطعات نسبت به بخش‌ها و قطعات مابین تقاطعات کمی بحرانی‌تر است. با تحلیل‌های آماری مشخص شد میانگین سطح اشتراک نواحی تأثیر در تقاطع‌ها با ۹۵ درصد اطمینان برابر ۴۲۴ تا ۴۲۸ فوت مربع و نسبت سطح اشتراک نواحی تأثیر به سطح نواحی تأثیر در ۲۹ درصد است. همچنین میانگین سطح اشتراک نواحی تأثیر در قطعات مختلف مسیر با دقت ۹۵ درصد، ۳۸۸ تا ۳۹۰ فوت مربع است و نسبت سطح اشتراک نواحی تأثیر به سطح نواحی تأثیر حدود ۲۷ درصد است.

جدول ۲. میانگین حد نهایی سطح اشتراک نواحی تأثیر و نسبت

سطح اشتراک نواحی تأثیر به مساحت ناحیه تأثیر

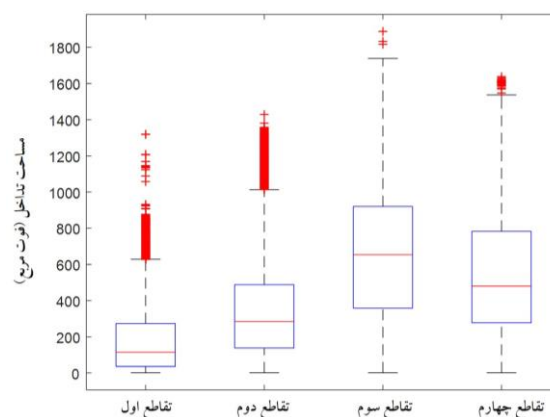
متغیر	محل	مقدار میانگین	مقدار نهایی
سطح اشتراک نواحی	تقاطع	۴۲۸	۱۲۴۵ / ۸۷
تأثیر (فوت مربع)	قطعه	۳۹۰	۱۲۵۷ / ۷۸
نسبت سطح اشتراک	تقاطع	۲۹	۳۷ / ۴
نواحی تأثیر به مساحت ناحیه تأثیر (درصد)	قطعه	۲۷	۴۰ / ۴

حداکثر مقدار نسبت سطح اشتراک نواحی تأثیر به مساحت ناحیه تأثیر برای تقاطعات برابر ۳۷ درصد و برای قطعات مسیر برابر ۴۰ درصد است. بنابراین، برای یک راننده در یک لحظه مشخص، چنانچه نسبت سطح اشتراک نواحی تأثیر به مساحت ناحیه تأثیر بیش از آستانه ۴۰ درصد باشد انتظار داریم آن راننده با واکنش مناسب و مانور گریزی اقدام به بهبود شرایط ایمنی کند. همچنین سطح اشتراک نواحی تأثیر وسایل نقلیه به‌طور

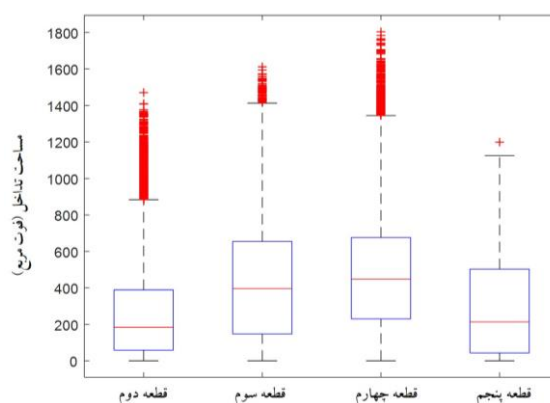
توزیع آماری سطح اشتراک نواحی تأثیر وسایل نقلیه، در هر یک از ۴ تقاطع و همچنین در هر یک از ۵ قطعه مسیر محاسبه و به ترتیب در نمودار جعبه‌ای شکل‌های ۵ و ۶ ارائه می‌شود. داده‌های پرت با فاصله‌ای بیش از ۱/۵ برابر فاصله بین چارکی IQR حذف و مقدار حداکثر و حداقل از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{Highest datum} = Q3 + 1/5(IQR) \quad (10)$$

$$\text{Lowest datum} = Q1 - 1/5(IQR)$$



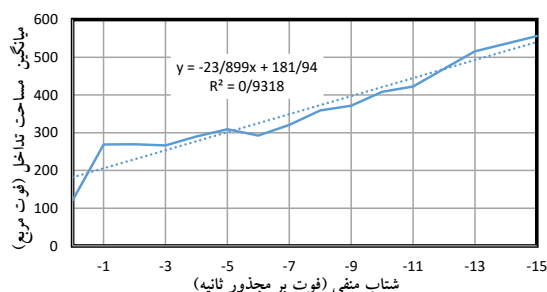
شکل ۵. نمودار جعبه‌ای سطح اشتراک نواحی تأثیر در تقاطع‌ها



شکل ۶. نمودار جعبه‌ای سطح اشتراک نواحی تأثیر در قطعه‌ها

همانطور که اشکال فوق ملاحظه می‌گردد با در اختیار داشتن یک ربع ساعت تردد وسایل نقلیه، با روش جدید پیشنهادی می‌توان برای تقاطعات و بخش‌های مختلف یک راه مقایسه وضعیت ایمنی را انجام داد. با توجه به شکل‌ها، در واقع مساحت ناحیه تداخلی که خودش سطح مشترک نواحی تأثیر هر یک وسایل است به نوعی بعنوان شاخص ایمنی جدید

مانورگریزی که اغلب با ترمزگیری همراه است، انجام می‌دهند. برای اعتبارسنجی، ارزیابی همزمان سطح اشتراک نواحی تأثیر با شتاب منفی وسیله‌نقلیه انجام شده است. تغییرات شتاب منفی وسیله‌نقلیه در برابر میانگین سطح اشتراک نواحی تأثیر شکل ۸ ارائه شده است. برای شتاب منفی وسایل نقلیه از صفر تا ۱۵ فوت بر مجذور ثانیه، میانگین سطح اشتراک نواحی تأثیر محاسبه شد و همانطور که در شکل مشخص است، افزایش و کاهش مقدار شتاب منفی با میانگین سطح اشتراک نواحی تأثیر همزمان اتفاق می‌افتد و همراهی خوبی دارد.



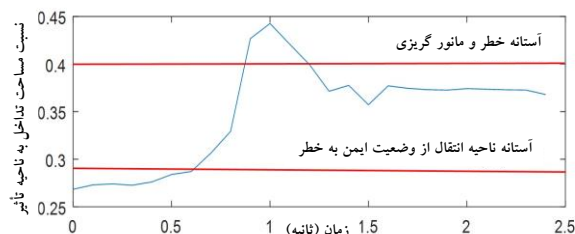
شکل ۸. تغییرات شتاب منفی در برابر میانگین سطح اشتراک نواحی تأثیر

## ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله شاخص جدیدی ارائه شد که بدون دسترسی به آمار تصادفات و تنها با در اختیار داشتن خط سیر وسایل نقلیه بتوان از آن جهت ارزیابی و تحلیل وضعیت ایمنی معابر استفاده شود. فلسفه و ایده نوین بکار رفته در این شاخص جذاب بدین صورت است که برای هر وسیله‌نقلیه در هر لحظه، یک ناحیه تأثیر دو بعدی که تابعی از سرعت آن است در اطراف وسیله فرض می‌شود. معادله ناحیه تأثیر در هر لحظه بگونه‌ای محاسبه می‌شود که وسیله‌نقلیه بتواند بطور ایمن ترمزگیری نماید و به حالت ایست کامل در بیاید. در این راستا، حرکات طولی و عرضی وسایل نقلیه با هم در نظر گرفته شد و با تحلیل فضای دو بعدی فاصله عرضی وسیله‌نقلیه در هر لحظه از مدت زمان ترمزگیری ناگهانی تعیین و جهت محاسبه ناحیه تأثیر بکار رفت. در نهایت، سطح همپوشانی یا اشتراک نواحی تأثیر

میانگین حدود ۲۷ تا ۲۹ درصد است که می‌توان این مقدار را برای آستانه خطر نیز در نظر گرفت. لازم به ذکر است آستانه‌های پیشنهادی فوق بر اساس داده‌های خرد جریان ترافیک تنها ربع ساعت ترافیک که با دقت یک دهم ثانیه با حدود یک میلیون رکورد بدست آمده است و بطور عقلانی اینطور استدلال می‌شود که رفتار جمعی رانندگان در مواجهه با خطر مشابه است و همه رانندگان از وقوع تصادف پرهیز می‌کنند و به همین دلیل انتظار داریم موقعی که با توجه به سرعتشان به اندازه کافی به هم نزدیک می‌شوند واکنش‌گریزی انجام دهند.

نمودار تغییرات زمانی نسبت سطح اشتراک نواحی تأثیر به مساحت ناحیه تأثیر برای دوره کوتاهی از یک وسیله‌نقلیه بعنوان نمونه در شکل ۷ ارائه می‌شود. همچنین در این شکل آستانه مانورگریزی و آستانه خطر نیز مشخص شده است. یکی از کاربردهای بالقوه شاخص ارائه شده و آستانه‌های معرفی شده هشداردهی برخط به راننده در هنگام خطر و همچنین ارزیابی وضعیت ایمنی برون خط است.



شکل ۷. تغییرات زمانی نسبت سطح اشتراک نواحی تأثیر به مساحت ناحیه تأثیر

## ۵. اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی هر شاخص ایمنی، می‌توان از پروفیل شتاب منفی یا وضعیت ترمزگیری یک وسیله‌نقلیه استفاده کرد. استدلال عقلانی این است وقتی شاخصی علامت خطر را گزارش می‌کند انتظار داریم بلافاصله در لحظات کوتاهی پس از هشدار خطر، شاهد ترمزگیری توسط راننده باشیم. بدیهی است رانندگان در لحظات بحرانی خطر برای پرهیز از تصادف



2. Time-to-collision
3. Time Exposed to Time to Collision
4. Time Integrated Time to Collision
5. <http://ngsim.fhwa.dot.gov>
6. Federal Highway Administration
7. Next Generation Vehicle Interaction and Detection Environment for Operations

#### ۸. مراجع

- ناصرعلوی، سید صابر، صفارزاده، محمود، ممدوحی، امیررضا، و ندیمی، نوید. (۱۳۸۹) "معرفی شاخص ایمنی ترمزگیری اضطراری جهت تشخیص به موقع تصادفات جلو به عقب"، فصل‌نامه مهندسی حمل‌ونقل، سال اول، شماره سوم، ص. ۲۷-۳۹.

- Allen B.L., Shin B.T. and Cooper P.J. (1978) "Analysis of Traffic Conflicts and Collisions", Transp ResBoard, vol. 667, pp. 67-74.

- Ali, E. M., Ahmed, M. M., & Yang, G., "Normal and risky driving patterns identification in clear and rainy weather on freeway segments using vehicle kinematics trajectories and time series cluster analysis", IATSS Research, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.07.002>

- Arasan V.T., Koshy R.Z. (2005) "Methodology for Modeling Highly Heterogeneous Traffic Flow", Journal of Transportation Engineering, vol. 131, No. 7, pp. 544-551.

- Behbahani, H., Nadimi N., Naseralavi, S., "New time-based surrogate safety measure to assess crash risk in car-following scenarios", Transportation Letters: the International Journal of Transportation Research, VOL 7, NO 4, Pages 229-238, 2015.

- Budhkar A.K., Maurya A.K. (2017) "Characteristics of Lateral Vehicular Interactions in Heterogeneous Traffic with

وسایل نقلیه در هر لحظه بعنوان شاخص ایمنی جانشین تصادف یا معیار جدید مبتنی بر مفهوم نواحی تأثیر معرفی شد. در این مقاله با کمک داده‌های واقعی خرد ترافیک اولاً ایمنی یک راه شریانی با چندین تقاطع چراغ‌دار با شاخص پیشنهادی ارزیابی شد که البته پیش‌تر این امر با شاخص‌های ایمنی جانشین مرسوم و متعارف مثل TTC ممکن نبود. ثانیاً نشان داده شد با افزایش تداخل و اشتراک نواحی تأثیر، ایمنی وسیله‌نقلیه به خطر می‌افتد زیرا فضای مورد نیاز برای توقف با ترمز ناگهانی محدود می‌شود. همچنین، با تحلیل مقادیر مختلف این شاخص جدید که مبتنی بر ناحیه تأثیر حرکتی وسایل نقلیه است، برخی رفتارهای رانندگی در مواجهه با خطر مثل زمان تصمیم راننده جهت تغییر وضعیت حرکتی خود برای جلوگیری از برخورد قابل تعیین است.

با توجه به نتایج این مقاله رانندگان از نزدیک شدن بیش از حد به یکدیگر اجتناب می‌کنند. رانندگان به فضای حداقلی اطراف وسیله‌نقلیه خود نیاز دارند تا در صورت لزوم با ترمزگیری به صورت ایمن متوقف شوند. در این مقاله این ناحیه مدل‌سازی شده است و حدود نهایی تداخل این نواحی محاسبه شده است. بنابراین یافته‌های این تحقیق می‌تواند منجر به شناخت بهتر رفتار رانندگی انسانی در مواجهه با خطر گردد.

یکی دیگر از کاربردهای این شاخص علاوه بر ارزیابی ایمنی راه، هشداردهی درون وسیله‌نقلیه جهت پرهیز از تصادفات است بدین صورت که با محاسبه نسبت مساحت تداخل یا ناحیه همپوشانی به مساحت ناحیه تأثیر در هر لحظه از زمان می‌توان به راننده در صورت عبور از آستانه‌های خطرناک هشدار داد. به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی، می‌توان با تحلیل تغییرات زمانی الگوی سطح همپوشانی نواحی تأثیر به پیشی در خصوص رفتار رانندگی در مواجهه با تداخل‌های از انواع مختلف مثل جلو به عقب یا از بغل، دست یافت.

#### ۷. پی‌نوشت‌ها

1. Traffic Conflict technique

- openings", IATSS Research, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.07.003>
- Nadimi N., Naseralavi, S., Asadamraji M., "Calculating dynamic thresholds for critical time to collision as a safety measure", Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, pp. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1680/jtran.19.00066>
- Nadimi, N., Ragland, D. R., & Mohammadian Amiri, A., "An evaluation of time-to-collision as a surrogate safety measure and a proposal of a new method for its application in safety analysis", Transportation Letters, 12(7), 2020. <https://doi.org/10.1080/19427867.2019.1650430>
- Saffarzadeh, M., Nadimi N., Naseralavi S., Mamdoohi A.R., "A General Formulation for Time-To-Collision Safety Indicator", proceedings of the institution of civil engineers (ICE)-transport (ISI), Volume 166, Issue TR5, pp 294-304, 2013.
- Singh B. "Simulation and Animation of Heterogeneous Traffic on Urban Roads". Ph.D thesis, IIT Kanpur, 1999.
- Tak, S., Kim, S., Lee, D., & Yeo, H., "A comparison analysis of surrogate safety measures with car-following perspectives for advanced driver assistance system", Journal of Advanced Transportation, 2020. <https://doi.org/10.1155/2018/8040815>
- Poor Arab Moghadam, M. Pahlavani, P., Naseralavi, S., "Prediction of Car Following Behavior Based on the Instantaneous Reaction Time using an ANFIS-CART Based Model", International Journal of Transportation Engineering (IJTE), Vol.4/ No.2/ Autumn 2016, Pages 109–126.
- Weak Lane Discipline", J. Mod. Transport, vol. 25, No. 2, pp. 74–89.
- Federal Highway Administration, Cambridge Systematics Inc, NGSIM Lankershim Data Analysis Summary Report, 2006.
- Gousios S., Garber N.J. (2009) "Relationship Between Time to Collision Conflicts and Crashes on Interstate Highways Subjected to Truck Lane Restrictions". 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Gunay B. (2007) "Car Following Theory with Lateral Discomfort", Transportation Research Part B, vol. 41, pp. 722-735.
- Harris C.J., An P.E. (1996) "An Intelligent Driver Warning System for Vehicle Collision Avoidance", Transactions on Systems Man and Cybernetics Part A, vol. 26, pp. 254–258.
- Hayward J.C. (1972) "Near Miss Determination Through Use of a Scale of Danger", Highway Research Board.
- Jafari Nasab, E., Naseralavi, S., Pourmoallem, N., "Investigating the Influence of Vehicular Ad-hoc Networks on Driver Behaviours and Traffic Accidents", Travel Behaviour and Society 01/2015; DOI: 10.1016/j.tbs.2015.01.001
- Mallikarjuna C. (2007). "Analysis and Modeling of Heterogeneous Traffic". Ph D thesis, IIT Delhi.
- Minderhoud M., Bovy P. (2001). "Extended Time to Collision Measures for Road Traffic Safety Assessment", Accident Analysis and Prevention, vol. 33, pp. 89-97.
- Mohanty, M., Panda, B., & Dey, P. P., "Quantification of surrogate safety measure to predict severity of road crashes at median