

توسعه شاخص ایمنی جایگزین ترکیبی برای تصادفات جلو به عقب با استفاده از سیستم استنتاج فازی

مقاله علمی - پژوهشی

نوید ندیمی*، استادیار، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
سیدصابر ناصرعلوی، استادیار، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
امیرحسین زارع میرحسینی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: navidnadimi@uk.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵

صفحه ۶۶-۳۱

چکیده

این مقاله در نظر دارد تا روشی جهت ثبت و شناسایی به موقع موقعیت‌های خطرناک برای هر وسیله نقلیه براساس مشخصات خرد جریان ترافیک ارائه کند. در اینجا از شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادفات استفاده می‌شود. چنانچه بتوان از ویژگی‌های شاخص‌های شاخص‌های مختلف استفاده کرد، کارایی عملیات پیش‌بینی خطر افزایش پیدا خواهد کرد. برای این منظور، در این مقاله از سیستم استنتاج فازی (FIS) جهت ارائه یک شاخص ترکیبی (CSSM) استفاده می‌شود. جهت جلوگیری از پیچیده شدن مسئله تنها برخوردهای جلوه‌عقب در نظر گرفته شده است. جهت تعیین مشخصات سیستم استنتاج فازی از داده‌های واقعی جمع‌آوری شده در بخشی از بزرگراه مدرس در تهران استفاده می‌شود. در نهایت نتایج مربوط به تحلیل ایمنی بر مبنای هر یک از شاخص‌ها با هم و نیز نتایج حاصل از شاخص CSSM به لحاظ آماری با یکدیگر مقایسه می‌شوند. براساس محاسبات صورت گرفته می‌توان گفت استفاده از FIS می‌تواند احتمال برخورد جلوه‌عقب را با در نظر گرفتن اثر توأمان شاخص‌های مختلف بهتر مدل کند. نتایج این مقاله می‌تواند در بهبود عملکرد خودروهای خودرران موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی ترافیک، خودروی هوشمند، تصادف جلوه‌عقب، فازی، شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادف

۱- مقدمه

موجب ایجاد تأخیر و در نتیجه افزایش مصرف سوخت و مواردی نظیر آلودگی هوا می‌شود. تمام این موارد در نهایت سبب ایجاد نارضایتی کاربران خواهد شد. بنابراین ایمنی در حرکت وسایل نقلیه همواره به‌عنوان محرکی برای ایده‌ها و طرح‌های جدید ترافیکی مطرح است. برای تحلیل تردد وسایل نقلیه، شناخت خصوصیات ترافیکی و رفتار حرکتی وسایل نقلیه از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این زمینه فعالیت‌های زیادی در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است

رشد حمل و نقل، با ساده‌سازی جابجایی بار و انسان کمک اساسی به پیشرفت جوامع بشری چه به لحاظ فردی و چه اجتماعی نموده است. اما از طرفی با رشد حمل و نقل و گسترش شبکه معابر، آمار تصادفات ترافیکی نیز افزایش یافته است. به طوری که جراحات، نقص عضو، مشکلات تنفسی و در نهایت مرگ و میر ناشی از این تصادفات هزینه‌های سنگینی به افراد و جوامع تحمیل نموده است. تصادفات ترافیکی همچنین تأثیرات نامطلوبی بر توسعه جامعه دارد. تصادفات

۲- پیشینه تحقیق

این قسمت به سه بخش تقسیم می‌شود. ابتدا مروری بر برخی شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادفات مطرح در زمینه برخورد‌های جلو به عقب انجام می‌شود. سپس در خصوص جایگاه خودروهای هوشمند به‌طور مختصر توضیح داده می‌شود. در نهایت در خصوص مطالعات شاخص‌های ایمنی جایگزین برای خودروهای هوشمند مطالبی ارائه می‌گردد.

۲-۱- شاخص زمان

۲-۱-۱- شاخص زمان تا تصادف (TTC)

TTC، نخستین بار توسط Hayward، به‌عنوان زمان مانده تا برخورد بین دو خودرو در صورتی که مسیر و اختلاف سرعت آن‌ها حفظ شود، مطرح گردید [Hayward, 1971]. این شاخص تنها در حالتی که سرعت خودروی تعقیب‌کننده بیش از خودروی جلویی باشد قابل تعریف است، بنابراین مقادیر این شاخص همواره مثبت خواهد بود. در مواردی که سرعت وسیله نقلیه عقبی کمتر از خودرو جلویی باشد شاخص TTC غیرقابل تعریف است.

$$TTC_F = \frac{X_L(t) - X_F(t) - l_L}{\dot{X}_F(t) - \dot{X}_L(t)} \quad \forall \dot{X}_F(t) > \dot{X}_L(t) \quad (1)$$

که در آن

TTC_F : زمان تا تصادف برای خودرو عقبی،

$X_L(t)$: مکان خودرو جلویی،

$X_F(t)$: مکان خودرو عقبی،

$\dot{X}_F(t)$: سرعت خودرو عقبی،

$\dot{X}_L(t)$: سرعت خودرو جلویی و

l_L : طول خودرو جلویی.

برای مقادیر $TTC > 0$ ، هر چه مقدار این شاخص کوچک‌تر باشد وضعیت ناایمن‌تر است. TTC یک شاخص مبتنی بر زمان بوده و جهت تحلیل ایمنی راه‌ها و نیز به‌عنوان معیار اعلام هشدار در خودروهای هوشمند جهت جلوگیری از برخورد قابلیت کاربرد دارد [Saunier, Sayed and Touran, Brackstone and Isamil, 2010]، [McDonald, 1999]، [Young et al, 2014] و [Laureshyn, Svensson, Hyden, 2010]. شکل (۱)، به‌صورت شماتیک مفهوم TTC را نشان می‌دهد. در لحظه t_1

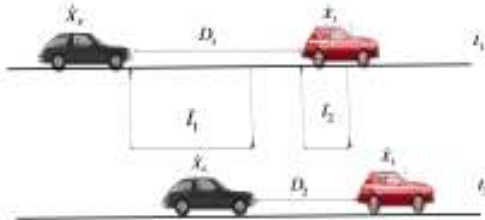
و بر اساس شناخت به‌دست‌آمده از خصوصیات ترافیک و قوانین حرکت وسایل نقلیه، مدل‌هایی تدوین شده است. در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت‌های حاصل در زمینه فناوری دیجیتال، کنترل‌های ترافیکی برای افزایش ایمنی هم به این سمت حرکت کرده است. سیستم نظارت ترافیک که در حال حاضر هم از آن استفاده می‌شود، دارای معایبی از جمله تأخیر در رسیدگی و عدم انتقال اطلاعات به سایر رانندگان است. لذا، در همین راستا ایده‌های جدیدتری در سال‌های اخیر در حال پیگیری است، که از آن جمله می‌توان به سیستم‌های هوشمند درون‌خودرویی جهت جلوگیری از تصادف کرد.

به‌طورکلی شمار زیادی از تصادفات به علت خطاهای انسانی و عدم آگاهی راننده از وضعیت و شرایط جاده در پیش رو ناشی می‌شود [Nikzad, 1386 (in Persian)]. حال اگر بتوان با استفاده از سیستم هوشمند درون‌خودرویی به انتقال اطلاعات مرتبط با جریان ترافیک، وضعیت طرح هندسی مسیر پیش‌رو، شرایط حاشیه مسیر و ... کمک کرد، می‌توان بخش قابل توجهی از خطای انسانی را کاهش و از رخداد تصادفات جلوگیری نمود [esmaeil oghli and yousefi, 1394 (in Persian)]. در این مقاله در نظر است تا بدون توجه به جزئیات مربوط به اجرای این سیستم‌ها و با فرض وجود زیرساخت لازم، روش شناسی ثبت و شناسایی به‌موقع موقعیت‌های خطرناک (به لحاظ برخورد جلو به عقب) برای هر وسیله نقلیه، بر اساس مشخصات خرد جریان ترافیک ارائه گردد. برای این منظور از سیستم استنتاج فازی جهت ارائه یک شاخص ترکیبی مبتنی بر شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادفات جهت مدل نمودن برخوردهای جلو به عقب قطعی و بالقوه استفاده خواهد شد.

این مقاله ۵ بخش دارد. بعد از بخش مقدمه در بخش دوم مروری بر ادبیات تحقیق مرتبط با شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادفات در زمینه برخوردهای جلو به عقب و نیز کلیاتی در ارتباط با خودروهای هوشمند ارائه می‌گردد.

در بخش سوم روش تحقیق شامل فرایند توسعه شاخص ترکیبی و چگونگی استفاده از ابزار هوش مصنوعی ارائه می‌شود. شرح چگونگی برداشت داده‌های تحقیق، نتایج تحقیق و تفسیر نتایج در بخش چهارم می‌آید. در نهایت در بخش پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مقاله شرح داده می‌شود.

بیشتر باشد ایمنی به لحاظ برخورد جلوبه عقب پایین تر است. این شاخص در شرایطی که $TTC > 0$ باشد، قابل تعریف است. RECP با در نظر گرفتن سناریوهایی بر اساس ترمزگیری خودروی عقبی جهت کمتر شدن سرعت آن نسبت به خودروی جلویی ($TTC < 0$) و سپس کاهش احتمالی سرعت خودروی جلویی تعیین می شود. در شکل (۳) جزئیات حرکت وسایل نقلیه در شرایط تعقیب خودرو ارایه شده است [Behbahani et al, 2014]



شکل ۳. سناریوی اول برای محاسبه RECP

$$\begin{cases} D_2 = [D_1 + (l_2)] - (l_1) \\ l_1 = \frac{\dot{X}_L^2 - \dot{X}_F^2}{2a_{dec}^{max}} \\ l_2 = (t_2 - t_1)\dot{X}_L = \left(\frac{\dot{X}_L - \dot{X}_F}{a_{dec}^{max}}\right)\dot{X}_L \end{cases} \quad (2)$$

که در آن:

D_1 : فاصله موجود بین دو وسیله نقلیه در لحظه t_1 (متر)،

D_2 : فاصله موجود بین دو وسیله نقلیه در لحظه t_2 (متر)

l_1 : فاصله ای که وسیله عقبی جهت کاهش سرعت از \dot{X}_F

تا \dot{X}_L طی می کند (متر)،

l_2 : فاصله ای که وسیله جلویی با سرعت ثابت (\dot{X}_L)،

در طی بازه زمانی کاهش سرعت وسیله عقبی طی می کند

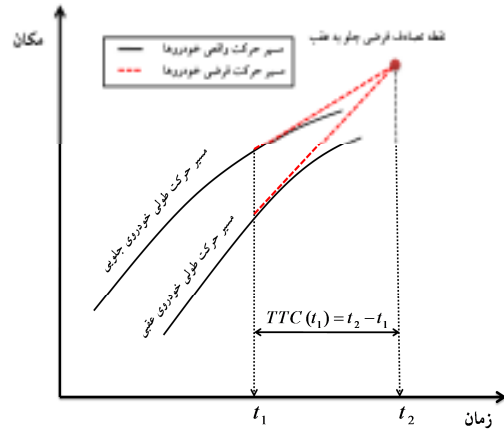
(متر)،

$t_2 - t_1$: بازه زمانی کاهش سرعت وسیله عقبی و

a_{dec}^{max} : بیشترین نرخ کاهش سرعت وسیله نقلیه عقبی (متر بر مجذور ثانیه).

$$\varepsilon = \sqrt{3.4D_1 - 0.5(\dot{X}_L^2 - \dot{X}_F^2) + \dot{X}_L\dot{X}_F} \quad (3)$$

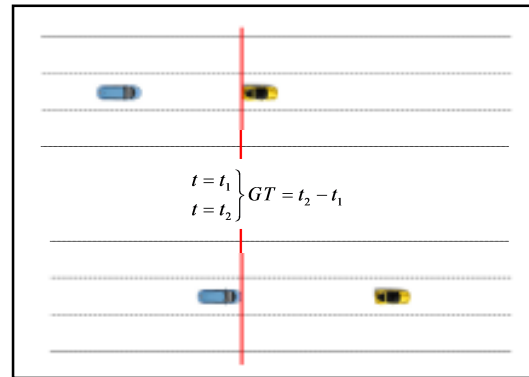
سرعت خودرو عقبی بیشتر از خودرو جلویی است. چنانچه این دو خودرو با همین سرعت مسیر خود را ادامه دهند TTC ثانیه دیگر ($t_2 - t_1$) با هم برخورد خواهند کرد.



شکل ۱. نمایش شماتیک TTC

۲-۱-۲- فاصله زمانی (GT^*)

اختلاف زمانی میان عبور بخش انتهایی یک وسیله نقلیه از نقطه ای تا زمان رسیدن جلوی خودروی هدف به آن نقطه را فاصله زمانی گویند. در شکل (۲) تعریف شاخص GT برای راه‌ها آمده است. هر چه مقدار شاخص GT کوچک تر باشد، موقعیت موردنظر ناایمن تر است [Craveiro, 2008].



شکل ۲. محاسبه GT در بزرگراه‌ها

۲-۱-۳- شاخص احتمال برخورد جلوبه عقب

(RECP^{*})

بهبهانی و همکارانش شاخص جدیدی تحت عنوان RECP جهت مدل کردن خطر بالقوه جلوبه عقب توسعه دادند. این شاخص دارای مقدار بین صفر تا ۱ بوده به طوری که در شرایط با ایمنی کامل مقدار آن صفر و هر چه مقدار شاخص

$$DRAC_t = \frac{\dot{X}_{i,t}^2}{2D_{i,t}} \quad (5)$$

$\dot{X}_{i,t}^2$: سرعت وسیله هدف در لحظه t و $D_{i,t}$: فاصله میان موقعیت فعلی وسیله هدف و نقطه برخورد مورد انتظار.

بر اساس مقدار DRAC، ۵ سطح خطر به صورت جدول ۱ معرفی شده است که سطح (۱) نمایانگر کمترین درجه خطر و سطح (۵) بیشترین درجه خطر است [Dijkstra et al., 2009].

۲-۱-۴- نرخ شتاب جهت جلوگیری از برخورد ($DRAC^t$)

این شاخص معیار مناسبی جهت تشخیص مانورهای خطرناک است. DRAC نرخی است که در آن یک وسیله بایستی جهت جلوگیری از یک برخورد محتمل، کاهش سرعت بدهد. برای وسایلی که در یک جهت حرکت می کنند DRAC از رابطه ۴ محاسبه می شود [Archer, 2005].

$$DRAC_t = \frac{(\dot{X}_{F,t} - \dot{X}_{L,t})^2}{2[(X_{L,t} - X_{F,t}) - l_L]} \quad (4)$$

برای تداخلات از بغل رابطه ۴ به صورت رابطه ۵ تغییر می کند.

جدول ۱. رابطه DRAC و تداخل

درجه خطر	۱	۲	۳	۴	۵
DRAC (m/s^2)	<1/5	1/5-3	3-4/5	4/5-6	>6

$$PSD = \frac{D_{i,t}}{\left(\frac{\dot{X}_{i,t}^2}{2MADR}\right)} \quad (6)$$

در اینجا:

$D_{i,t}$: فاصله موجود میان وسایل نقلیه،
 $MADR^t$: بیشترین شتاب منفی ممکن وسیله نقلیه.

۲-۱-۵- نسبت فاصله توقف (PSD^o)

PSD نسبت فاصله موجود میان دو وسیله نقلیه و فاصله مورد نیاز جهت جلوگیری از برخورد با حداکثر شتاب منفی ممکن است [Brian et al., 2009]. هر چه PSD کوچکتر باشد، ایمنی موقعیت مورد نظر پایین تر است.

۲-۱-۶- جمع بندی شاخص ها

به طور کلی شاخص های متنوعی تا به حال در ادبیات تحقیق به عنوان شاخص جایگزین تصادفات جهت مدل کردن احتمال و شدت برخوردها توسعه داده شده است. با این حال در این مقاله در نظر است تا از ویژگی های برخی شاخص ها به طور همزمان استفاده شود. میزان خطر برخورد جلوه عقب بر اساس ترکیب شاخص ها در پنج سطح برخورد شامل: خطر حتمی درجه (۱)، خطر حتمی درجه (۲)، خطر بالقوه درجه (۱)، خطر بالقوه درجه (۲) و بدون خطر تقسیم بندی می شود.

۲-۲- خودروهای هوشمند

اولین نسل از خودروهای هوشمند از سال ۱۹۵۰ توسط جنرال موتور به کار گرفته شد [Bender, 1991]، دومین نسل

توسط پروفیسور رابرت فنتون در سال های ۱۹۶۴ تا ۱۹۸۰ در دانشگاه ایالتی اوهایو رهبری و هدایت شد [Fenton and Mayhan, 1991]. سومین نسل با ابداع برنامه پس (PATH program) توسط کالترنس در دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۸۶ [Shladover, 1990] آغاز شد و با فعالیت های کنسرسیوم ملی سیستم های هوشمند راه در سال های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۸ به اوج خود رسید [Rillings, 1997] و تا سال ۲۰۰۳ زمانی که کالترنس توانست اتوبوس هوشمند و کامیون هوشمند را ارائه نماید، ادامه یافت. تحقیقاتی به شکل موازی در ژاپن و اروپا از اواسط دهه ۸۰ میلادی آغاز شد که شامل تحقیقات پروژه پردازش تصویر برای تشخیص صحنه توسط پروفیسور دیکمن [Dickmanns, 2002]، تحقیقات و کارهای گسترده

۲-۳- مطالعات شاخص‌های ایمنی جایگزین برای

خودروهای هوشمند

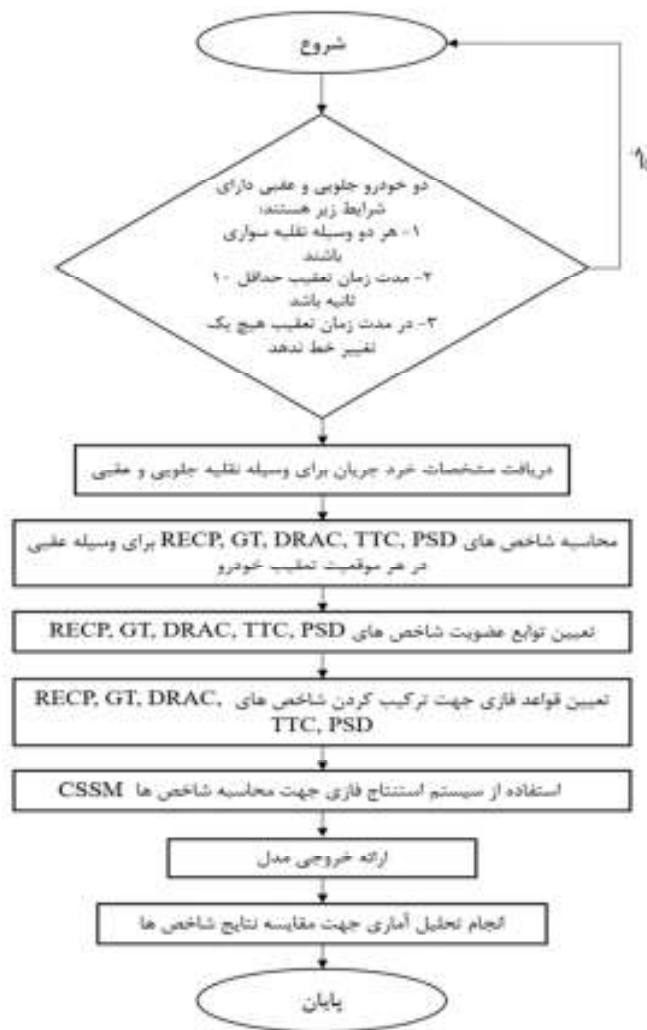
از آنجا که خودروهای هوشمند در مقیاس‌های بزرگ در دنیای واقعی مستقر نشده است، جمع‌آوری اطلاعات موجود برای آن جهت کشف مفاهیم ایمنی خودروهای هوشمند دشوار است. در حال حاضر، شبیه‌سازی خرد جریان ترافیک ابزار اصلی برای مطالعات ایمنی خودروهای هوشمند است [Tibljaš et al., 2018]. خودروهای هوشمند می‌توانند خطاهای راننده (به‌عنوان مثال، رانندگی خطرناک) را از بین ببرد، اما هنوز هم از طریق خطاهای احتمالی مکانیکی و ارتباطات، اشکالات نرم‌افزاری و عملکرد نادرست حسگر کامل نیست. چنین خطاهایی، در مقایسه با اشتباهات رانندگان انسانی، نسبتاً آسان‌تر برای مدل‌های شبیه‌سازی ترافیک قابل مدلسازی است [Virdi et al., 2019]. در واقع، شبیه‌سازی جریان ترافیک با ۱۰۰ درصد خودروهای هوشمند می‌تواند خروجی قابل اعتمادتر از وسایل نقلیه انسان محور تولید کند. با این حال، در یک محیط ترکیبی با هر دو خودروهای هوشمند و وسایل نقلیه انسان محور، توجه به اهمیت کالیبراسیون مدل شبیه‌سازی برای ایجاد نتایج ایمنی قابل اعتماد لازم است [Rahman & Abdel-Aty, 2018]. هنگام استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی ترافیک خرد برای مدل‌سازی ایمنی خودروهای هوشمند، بسته‌های نرم‌افزاری تخصصی مانند SUMO، Paramics، VISSIM، اغلب برای تولید مسیرهای دقیق خودرو استفاده می‌شوند. سپس از مدل ارزیابی ایمنی جایگزین یا سایر ابزارهای توسعه یافته سفارشی برای تحلیل خط سیرها و محاسبه شاخص‌های ایمنی جایگزین استفاده می‌شوند [Tu et al., 2019; Virdi et al., 2019; Wu et al., 2020]. به هر حال با توجه به شناخت و گپ ادبیات تحقیق مبنی بر ناسازگاری نتایج تحلیل با شاخص‌های ایمنی جایگزین مختلف و همچنین با توجه به اهمیت روز افزون این شاخص‌ها جهت بکارگیری خودروهای هوشمند نسل آینده، در این مقاله یک شاخص ایمنی ترکیبی ارائه می‌گردد که به نوعی عملکرد بهتر و متعادل‌تری جهت شناخت لحظات خطرناک ارائه می‌کند.

تحت عنوان برنامه پرومتوس (PROMETHEUS) در اروپا [Glathe, 1994] و برنامه خودروهای فوق هوشمند در ژاپن می‌شود [Tsugawa, 1992]. نسل چهارم خودروهای هوشمند که شامل زمان حال می‌شود با پروژه دارپا (DARPA) در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ و پروژه خودرو هوشمند گوگل در سال ۲۰۱۰ آغاز شد و تاکنون نیز ادامه دارد [Anderson, 2016] [Shladover, 2016]. به شکل کلی دو بعد مهم در دسته‌بندی سیستم‌های خودروهای هوشمند وجود دارد، سطح توانایی‌های هوشمند خودرو و دیگری تمایز بین هوشمندسازی (بدون ارتباط بین خودرویی) و سیستم‌های ارتباط بین‌خودرویی [Shladover, 2018]. جامعه مهندسی خودروهای هوشمند (SAE^V) یک تقسیم‌بندی پنج سطحی برای طبقه خودروهای هوشمند ارائه کردند که به شکلی کارآمد توانایی‌های هر سطح را متمایز می‌سازد. در سطوح یک (دستیار راننده) و دو (رانندگی نیمه اتوماتیک) راننده محیط اطراف را رصد می‌نماید و توسط سیستم‌های هوشمند برای انجام مانورهای طولی (سطح یک خودروهای هوشمند) و یا مانورهای طولی و عرضی (سطح دو خودروهای هوشمند) حمایت می‌شود. در سطح سه خودروهای هوشمند سیستم رانندگی هوشمند تمامی فعالیت‌های رانندگی را انجام می‌دهد اما انتظار می‌رود راننده برای کنترل خودرو در شرایط خاص در دسترس باشد. در سطوح چهار (خودروها یا هوشمندی بالا) و پنج (خودروهای تمام هوشمند) سیستم‌های هوشمند تمامی فعالیت‌های رانندگی را بدون نیاز به دخالت انسان انجام می‌دهد. در سطح چهار سیستم‌های هوشمند خودرو را براساس محدوده‌های عملیاتی از پیش تعیین شده کنترل می‌نمایند ولی در سطح پنج خودروهای خودکار، سیستم‌های هوشمند می‌توانند خودرو را تحت هر شرایطی و بدون محدودیت‌های از پیش تعیین شده هدایت نماید [Dimitris Milakis, Bart van Arem & Bert van Wee, 2017]. در حال حاضر، فناوری‌های اتوماسیون سطح ۲ در برخی از خودروها به کار گرفته شده‌اند و فناوری‌های خودکار سطوح بالاتر از ۳ هنوز در دست تحقیق و توسعه هستند [Wang et al., 2021].

۳- روش تحقیق

جلوبه عقب داشته و تکیه بر تنها یک شاخص نمی‌تواند نتایج قابل قبولی جهت مدل کردن امکان برخورد به دست دهد. بر همین اساس نیاز به یک شاخص ترکیبی است که هر همه شاخص‌ها را به‌طور هم‌زمان در محاسبات در نظر گیرد. برای منظور در اینجا از ابزار سیستم استنتاج فازی استفاده می‌شود. جهت نمایش فرایند کلی تحقیق در شکل (۴) فلوچارتی ارائه شده است.

در اینجا در نظر است تا با استفاده از سیستم استنتاج فازی (FIS^۷) و با به‌کارگیری شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادفات روشی جهت مدل کردن احتمال برخورد جلوبه عقب ارائه شود. با توجه به آنچه که در بخش مرور ادبیات تحقیق آمد از شاخص‌های TTC، GT، RECP، DRAC و PSD برای این منظور استفاده خواهند شد. همان‌طور که در بخش ۲-۶ آمد، هر یک از شاخص‌های TTC، GT، RECP، DRAC و PSD توانایی‌های مختلفی در بازتاب خطر برخورد



شکل ۴. فلوچارت فرایند انجام تحقیق

۳-۱- ارایه شاخص ترکیبی با استفاده از سیستم استنتاج فازی

بتواند از ویژگی‌های هر ۵ شاخص جهت مدل کردن احتمال رخداد تصادف جلوبه‌عقب در یک خودروی هوشمند استفاده کند. نام این شاخص ترکیبی (CSSM)^۱ گذاشته می‌شود. برای توسعه سیستم استنتاج فازی لازم است تا ابتدا بازه تغییرات متغیرهای ورودی مشخص شود. برای این منظور با استفاده از داده‌های واقعی و ترسیم نمودارهای جعبه‌ای داده‌های پرت مشخص و حذف می‌گردد. همچنین بازه تغییرات متغیر خروجی یعنی CSSM بین ۰ تا ۱ در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعدی بایستی توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی تعیین شود. برای این منظور توزیع فراوانی هر یک از متغیرها بر مبنای داده‌های مربوط به موقعیت‌های تعقیب خودرو تعیین می‌شود. بر مبنای این توزیع‌ها در خصوص تعیین شکل و جزییات مربوط به تابع عضویت هر متغیر تصمیم‌گیری خواهد شد. برای متغیر خروجی از توابع عضویت گاوسی استفاده می‌شود. توابع گوسی دارای این ویژگی بوده که تغییرات در تابع هدف را به‌طور نرم و آهسته برای متغیر خروجی در نظر می‌گیرد. در ادامه قواعد فازی بایستی مشخص شود، بدین معنا که با ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی در قالب قواعد زبانی چه مقادیری باز هم در قالب قواعد زبانی برای خروجی مدل یعنی CSSM بایستی لحاظ شود. برای تعیین قواعد فازی بدین ترتیب عمل خواهد شد که ابتدا با توجه به تابع توزیع هر یک از متغیرهای ورودی برای آن‌ها وزنی بین ۰ تا ۱ تعیین خواهد شد. در ادامه پس از تعیین وزن هر یک از متغیرهای ورودی و با داشتن بازه تغییرات آن‌ها مقدار حداکثر و حداقل مقدار حاصل از ترکیب متغیرهای ورودی مطابق روابط ۷ و ۸ محاسبه می‌شود.

$$\max(T) = \sum_{i=1}^5 z_i W_i \quad (7)$$

$$\min(T) = \sum_{i=1}^5 a_i W_i \quad (8)$$

T : متغیر خروجی،

Z_i : حداکثر مقدار هر متغیر ورودی

a_i : حداقل مقدار هر متغیر ورودی

ترکیب از متغیرهای ورودی متغیر خروجی متناسب با آن‌ها به دست خواهد آمد.

محاسبات نرم روشی ابتکاری در راستای ایجاد سیستم‌های هوشمند است. حل مسائل پیچیده دنیای واقعی نیازمند به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند است. این سیستم‌ها دارای توانایی تطبیق با محیط بوده و یاد می‌گیرند چگونه با تغییرات محیط سازگار شوند و در مقابل تغییرات محیطی تصمیم خاصی را اتخاذ نمایند. محاسبات نرم در واقع، توانایی‌های ذهن انسان را برای استدلال و فراگیری در یک محیط نامعین و نادقیق گرد هم می‌آورد. سیستم استنتاج فازی یا به اختصار FIS، برای توصیف نظام‌مند دانش انسان و انجام استنتاج و اخذ یک تصمیم مناسب کاربرد دارد. مغز انسان اطلاعات غیردقیق و ناکامل فراهم آمده از طریق اندام‌های حسی را تفسیر و عکس‌العمل نشان می‌دهد. در سیستم استنتاج فازی سعی می‌شود بر اساس همین الگو و مطابق مغز انسان، بر اساس یک سری ورودی به خروجی مشخصی دست پیدا شود. ساختار پایه سیستم‌های استنتاج فازی از سه بخش مفهومی تشکیل می‌شود. بخش اول، قواعد هستند که در قالب یک سری دستور اگر- آنگاه، ترکیبی از ورودی‌ها و خروجی را به دست می‌دهد. بخش دوم، پایگاه داده است که توابع عضویت مورد استفاده در قواعد فازی در قالب آن تعریف می‌شود. در نهایت بخش سوم، ساز و کار استنتاج است که روال استنتاج توسط آن و به کمک قواعد و حقایق موجود، برای رسیدن به یک خروجی معقول انجام می‌پذیرد. اما در اینجا ورودی‌های مسئله عبارت‌اند از شاخص زمان تا تصادف (TTC)، فاصله زمانی (GT)، شاخص احتمال برخورد جلوبه‌عقب (RECP)، نسبت فاصله توقف (PSD) و نرخ شتاب جهت جلوگیری از برخورد (DRAC) خروجی مورد نظر یک شاخص ترکیبی است که

حال محدوده تغییرات حاصل از ترکیب متغیرهای ورودی از $\max(T)$ تا $\min(T)$ به دست می‌آید. در مرحله بعدی بازه تغییرات حاصله به تعداد بخش‌های مورد نظر برای متغیر خروجی تقسیم خواهد شد. بدین ترتیب اکنون با وارد کردن هر

۳-۳- داده‌های تحقیق

مدرس می‌گذرد و بوستان‌های طالقانی در شرق و آب و آتش در غرب را به هم متصل می‌کند. ارتفاع پل تا سطح زمین در حدود ۴۰ متر است. در شکل ۵ پلان مقطع مورد مطالعه به همراه محل قرارگیری دوربین (دایره قرمز رنگ) مشخص شده است.

برای برداشت داده نیاز به یک نقطه با ارتفاع زیاد بوده تا فیلم برداری از مقطعی از یک آزادراه یا بزرگراه انجام پذیرد. برای این منظور از پل طبیعت در تهران استفاده شده است. پل طبیعت یک پل سه طبقه پیاده‌رو و غیرخودرویی است که در منطقه عباس‌آباد تهران قرار دارد. این پل از عرض بزرگراه



شکل ۴. پلان مقطع مورد مطالعه

خرداد سال ۱۳۹۴ انجام شده است. دلیل انتخاب این ساعت وجود جریان در سطوح سرویس A تا C بوده است (اندرکنش میان وسایل نقلیه کم است).

همچنین در شکل ۶ تصاویری از محل فیلم‌برداری مشخص شده است. عملیات برداشت در دو بازه ۱۵ دقیقه‌ای از ساعت ۱۱:۰۰ تا ۱۱:۱۵ و ۱۱:۱۵ تا ۱۱:۳۰ در روز شنبه دوم



شکل ۵. تصویری از محل برداشت داده‌های خرد جریان ترافیک

برخورد (DRAC) برای داده‌های تحقیق که پیش‌تر شرح داده شد محاسبه گردید. داده‌های تحقیق شامل ۱۳۸۶ فرایند تعقیب خودرو است که در هر فرایند سرعت وسیله عقب، جلو و فاصله دو خودرو موجود است. با داشتن داده‌های مذکور هر ۵ شاخص برای تمامی ۱۳۸۶ فرایند تعقیب خودرو توسط نرم‌افزار MATLAB محاسبه گردید.

برای تعیین حدود تغییر هر یک از شاخص‌ها بر اساس محاسبات صورت گرفته لازم است تا ابتدا داده‌های پرت از نتایج حذف گردند. برای این منظور از مفاهیم آماری نظیر نمودار جعبه‌ای و هم‌چنین ادبیات تحقیق در رابطه با دامنه تغییر هر یک از شاخص‌ها استفاده گردید و داده‌های پرت از محاسبات حذف گردید. به‌عنوان مثال در صورتی که سرعت خودرو عقبی کمتر از خودروی جلویی باشد شاخص TTC بنا به تعریف مقدار بی‌نهایت را نشان خواهد که در این مواقع شاخص TTC بی‌معنا خواهد بود. لذا برای تعیین حدود تغییرات و هم‌چنین توزیع فراوانی شاخص مقادیر بی‌نهایت حذف می‌گردند و یا شاخص احتمال برخورد جلوبه‌عقب (RECP) با توجه به مفاهیم احتمال بین صفر تا یک است و مقادیر خارج از این محدوده بی‌معنی خواهند بود و به همین شکل مقادیر بی‌معنی و بسیار پرت از داده‌های محاسبه شده برای ۵ شاخص حذف گردیدند. بر این اساس و پس از حذف مقادیر بی‌معنا و بسیار پرت دامنه تغییر هر یک از شاخص‌ها مطابق جدول ۲ تعیین گردید.

در نهایت در طول حدود ۴۰۰ متر از بزرگراه مدرس، با استفاده از نرم‌افزار TRAZER و همکاری شرکت Kritikal solution خط سیر هر وسیله‌نقلیه (شامل مختصات طولی و عرضی) در فریم‌های زمانی ۰/۱ ثانیه به دست آمد. براساس این اطلاعات سایر مشخصات شامل: سرعت، فاصله زمانی، زمان تاتصادف و تعیین شد.

۴- نتایج تحقیق

در این بخش نتایج تحقیق شامل دامنه تغییرات هر یک از متغیرهای TTC, GT, RECP, PSD و DRAC و نیز توزیع فراوانی آن‌ها ارائه می‌گردد. در ادامه توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی و نیز جزئیات مربوط به تعیین قواعد فازی می‌آید. در نهایت مقایسه آماری میان نتایج حاصل از تحلیل ایمنی بر مبنای هر یک از شاخص‌های TTC, GT, RECP, PSD و DRAC با CSSM استفاده از آزمون t صورت می‌پذیرد.

۴-۱- نتایج رتبه‌بندی متغیرها و تعیین حدود تغییرات متغیرها

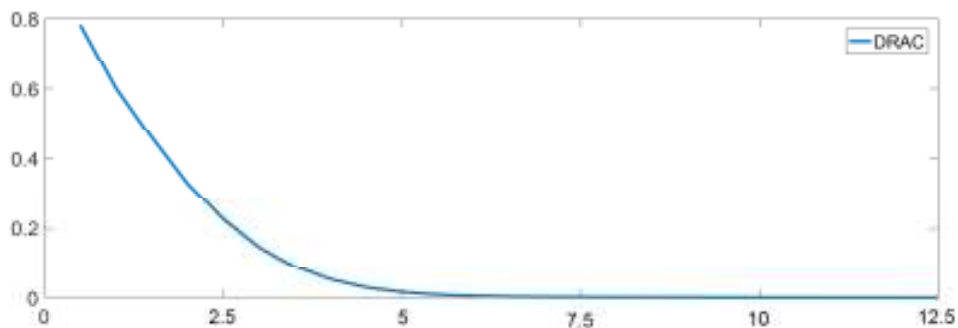
همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد جهت تعیین قواعد فازی لازم است وزن هر یک از متغیرها و هم‌چنین حدود تغییرات هر یک از متغیرها تعیین گردد در این راستا هر یک از متغیرها شامل شاخص‌های زمان تاتصادف (TTC)، فاصله زمانی (GT)، شاخص احتمال برخورد جلوبه‌عقب (RECP)، نسبت فاصله توقف (PSD) و نرخ شتاب جهت جلوگیری از

جدول ۲. دامنه تغییر متغیرها

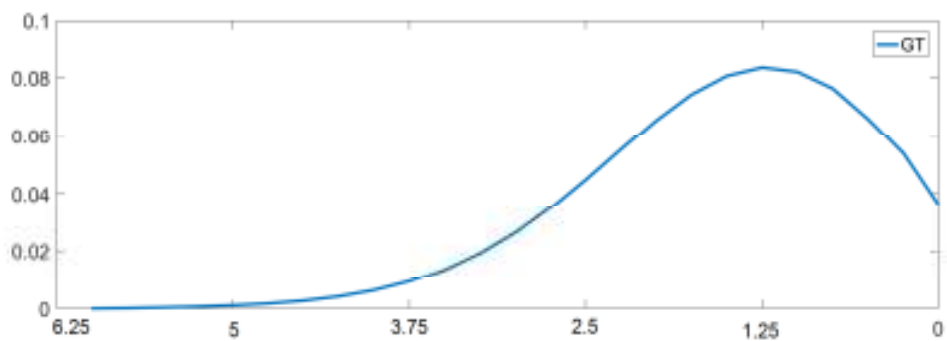
ردیف	شاخص	دامنه تغییرات شاخص
۱	زمان تاتصادف (TTC)	۰ تا ۱۰ ثانیه
۲	فاصله زمانی (GT)	۰ تا ۱۰ ثانیه
۳	شاخص احتمال برخورد جلوبه‌عقب (RECP)	۰ تا ۱
۴	نسبت فاصله توقف (PSD)	۰ تا ۲
۵	نرخ شتاب جهت جلوگیری از برخورد (DRAC)	۰ تا ۱۰ متر بر مجذور ثانیه

روی داده‌های پالایش شده مطابق با توضیحات قسمت قبل صورت گرفت. نمودار توزیع فراوانی هر شاخص در شکل ۷ تا ۱۱ قابل مشاهده است.

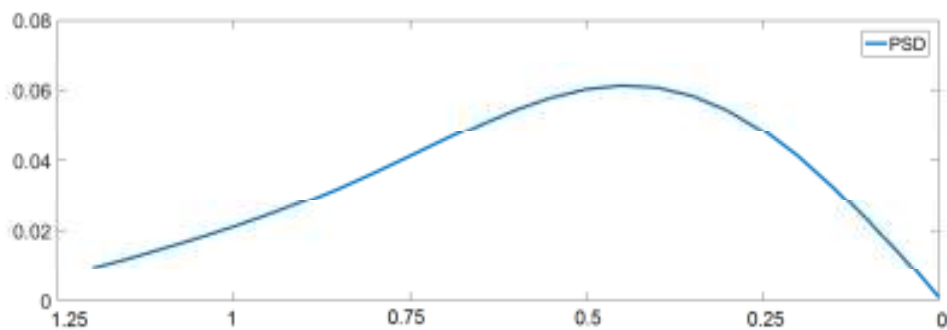
پس از تعیین حدود تغییرات هر متغیر لازم است وزن هر یک از متغیرها محاسبه گردد. برای محاسبه وزن هر متغیر ابتدا دیاگرام توزیع فراوانی برای هر یک از ۵ شاخص ترسیم گردید لازم به ذکر است که ترسیم نمودار فراوانی بر



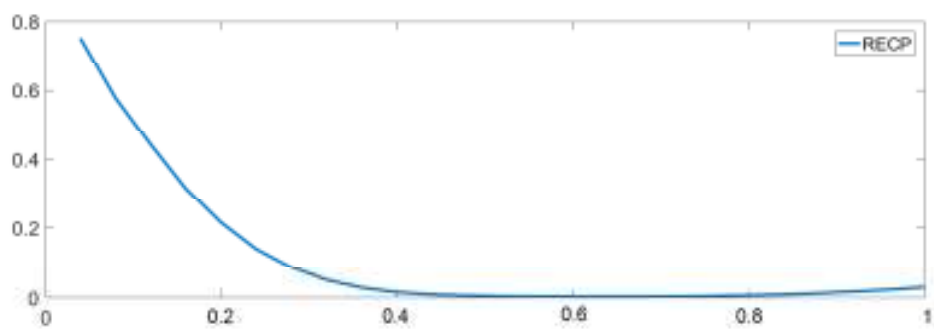
شکل ۶. دیاگرام توزیع فراوانی نسبی برای شاخص DRAC



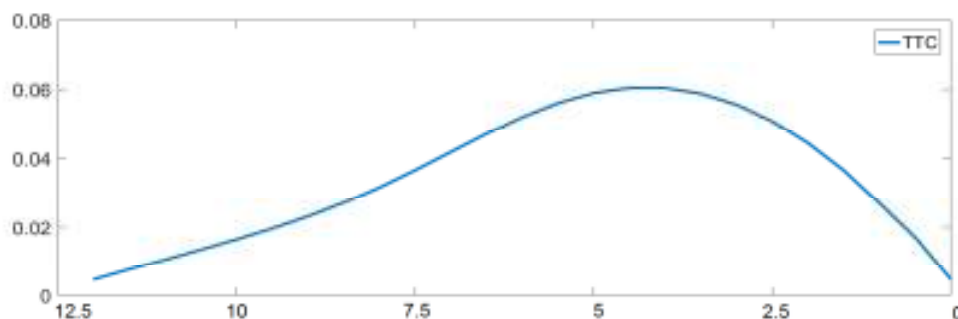
شکل ۷. دیاگرام توزیع فراوانی نسبی برای شاخص GT



شکل ۸. دیاگرام توزیع فراوانی نسبی برای شاخص PSD



شکل ۹. دیاگرام توزیع فراوانی نسبی برای شاخص RECP



شکل ۱۰. دیاگرام توزیع فراوانی نسبی برای شاخص TTC

می‌یابد و پس از عبور از آستانه ایمنی شیب نمودار توزیع منفی می‌گردد. زیرا تعداد کاربران با کاهش ایمنی در این نواحی کم می‌گردند. لذا می‌توان بیان نمود که آستانه ایمنی برای هر شاخص محل تغییر شیب نمودار توزیع شاخص از مثبت به منفی خواهد بود و لحظات ایمن برای هر شاخص سطح زیر نمودار در ناحیه مثبت شاخص و لحظات غیر ایمن سطح زیر نمودار توزیع در نواحی شتاب منفی است.

برای تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها سطح زیر نمودار در ناحیه منفی (به‌عنوان مقادیر ناایمن از دید شاخص) به مساحت زیر کل نمودار تقسیم گردید تا نسبت فراوانی‌های ناایمن به کل فراوانی‌ها برای هر شاخص محاسبه گردد و این نسبت برای توزیع فراوانی هر ۵ شاخص محاسبه می‌شود. بدیهی است هرچه شاخص توانایی بیشتری در بیان خطر داشته باشد شاخص مهم‌تر و پرکاربردتری خواهد بود. بر این اساس پس محاسبه هر ۵ نسبت مقادیر به‌دست‌آمده به مجموع مقادیر تقسیم شدند تا مقادیر نرمال گردند و مقادیر نرمال شده به‌عنوان وزن هر شاخص استفاده گردید. نسبت‌های محاسبه شده و مقادیر نرمال شده به‌عنوان وزن هر شاخص در جدول ۳ آورده شده است.

بر اساس الگوی رفتاری رانندگان می‌توان بیان نمود که هر شاخص تمایل دارد بر اساس منفعت‌طلبی تا جای ممکن به لحاظ کیفی بیشترین مقدار هر شاخص (بر اساس مفهوم هر شاخص می‌تواند مقادیر عددی کوچک‌تر یا بزرگ‌تر باشد) را اتخاذ نماید تا جایی که فرد احساس عدم امنیت نماید که این امر رفتاری بر اساس پارامترهای شخصیتی و رفتاری هر فرد متفاوت است. اما با در نظر گرفتن تعداد زیادی رفتار رانندگی از یک جامعه و با فرض توزیع نرمال رفتارها در جوامع آماری بزرگ، عمده راننده‌ها در یک حاشیه ایمنی مشخص حرکت می‌نمایند و تعدادی تحت عنوان رانندگان محافظه‌کار و یا تهاجمی خارج از این محدوده قرار می‌گیرند. به بیان دیگر می‌توان گفت در یک نمودار فراوانی برای یک شاخص مشخص فراوانی کاربران از محدوده‌های محافظه‌کارانه تا رسیدن به آستانه ایمنی هر شاخص افزایش می‌یابد ولی پس از عبور از آستانه ایمنی و میل به سمت خطر و رانندگی محافظه‌کارانه میزان فراوانی افت می‌نماید. به زبان ریاضی می‌توان بیان نمود که در قسمت‌هایی از نمودار توزیع فراوانی که شیب نمودار مثبت است کاربران احساس ایمنی نموده و این شیب مثبت تا رسیدن به آستانه ایمنی هر شاخص ادامه

جدول ۳. وزن هر یک از متغیرها

ردیف	شاخص	نسبت مساحت زیر نمودار در شیب منفی به کل مساحت	وزن شاخص
۱	زمان تا تصادف (TTC)	۰/۶۶	۰/۳۷
۲	فاصله زمانی (GT)	۰/۳۲	۰/۱۸
۳	شاخص احتمال برخورد جلویی عقب (RECP)	۰/۲۳	۰/۱۳
۴	نسبت فاصله توقف (PSD)	۰/۱۲	۰/۲۸
۵	نرخ شتاب جهت جلوگیری از برخورد (DRAC)	۰/۴۴	۰/۰۷

۴-۲- قواعد فازی و خروجی مدل

برای تعیین قواعد ماتریسی تشکیل شد که دارای ۵ ستون (به تعداد متغیرها) و ۲۴۳ سطر به تعداد حالات نمره دهی به متغیرها است، هر سطر از ماتریس بیانگر یک حالت از ۲۴۳ حالت نمره دهی به ۵ متغیر خواهد بود. برای کمی سازی محاسبات مقادیر کم با عدد ۱، متوسط یا عدد ۲ و زیاد با عدد ۳ در ماتریس نمایش داده شد. در انتها برای تعیین خروجی هر سطر از ماتریس برای هر ۵ درایه وزن هر متغیر در نمره اکتسابی متغیر مربوط ضرب و ۵ مقدار به دست آمده با یکدیگر جمع شدند، نمره به دست آمده نشان دهنده نمره هر سطر از ماتریس به عنوان یک حالت از نمره دهی خواهد بود. روند مذکور برای هر ۲۴۳ سطر تکرار می گردد و در نهایت ماتریس قواعد ایجاد می گردد. در جدول ۴ تعدادی از سطرهاى ماتریس قواعد به شکل نمونه آورده شده است.

جدول ۴: نمونه قواعد فازی

ردیف	فاصله زمانی (GT)	زمان تانصادف (TTC)	شاخص احتمال برخورد جلو به عقب (RECP)	نرخ شتاب جهت جلوگیری از برخورد (DRAC)	نسبت فاصله توقف (PSD)	خروجی
وزن	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۲۸	-
۱	۱	۱	۱	۱	۱	یک
۲	۱	۱	۱	۳	۱	یک
۳	۱	۲	۳	۳	۲	سه
۴	۱	۳	۳	۳	۳	پنج
۵	۲	۱	۲	۲	۲	دو
۶	۲	۲	۱	۱	۳	سه
۷	۲	۳	۲	۳	۱	سه
۸	۳	۱	۲	۱	۱	دو
۹	۳	۳	۲	۲	۳	پنج

محاسبه شده حدود تغییرات خروجی بین ۱ تا ۳ مشاهده گردید که این حدود به ۵ سطح شامل ۵ سطح پاسخ برای شاخص CSSM تقسیم می گردد که حدود این تغییرات در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. حدود تغییرات شاخص CSSM

حدود تغییرات شاخص CSSM	۲ تا ۲/۴	۲/۴ تا ۲/۸	۲/۸ تا ۳/۲	۳/۲ تا ۳/۲	۳/۲ تا ۴/۰
سطح خطر	سطح یک	سطح دو	سطح سه	سطح چهار	سطح پنج

برای تعیین نتایج لازم است حدود خروجی های به دست آمده از قواعد فازی به دست آید بدین منظور لازم است تا دامنه تغییر هر خروجی برای هر سطر از ۲۴۳ سطر موجود تعیین و مقادیر حداقل و حداکثر تعیین گردد. با توجه به نتایج

۴-۳- تحلیل آماری

با توجه به نتایج جدول نیز می‌توان این موضوع را ابتدا تأیید نمود، که تنوع شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادفات با توجه به تفاوت به نسبت زیادی که بین نتایج حاصل از تحلیل ایمنی براساس آن‌ها وجود دارد، خود می‌تواند موجب سردرگمی در زمان استفاده از آن‌ها شود. این موضوع به‌ویژه در بحث خودروهای هوشمند که نیاز به شاخص‌های دقیق و با قابلیت اطمینان بالا جهت انجام تحلیل هستند، می‌تواند مشکلات متعددی به وجود آورد. بنابراین استفاده از یک شاخص ترکیبی که قابلیت‌های همه شاخص‌ها را در خود دارد، می‌تواند در افزایش قابلیت اطمینان خودروهای هوشمند در تشخیص صحیح و به‌موقع تصادفات جهت ارائه عکس‌العمل مناسب، مفید باشد.

پس از محاسبه شاخص CSSM بر مبنای فرایند شرح داده شده، مقایسه‌ای میان ۵ شاخص مورد بحث یعنی GT، TTC، PSD، RECP و DRAC به جهت تحلیل ایمنی با نتایج CSSM انجام خواهد گرفت. برای این منظور از تحلیل مقایسه میانگین نتایج تحلیل ایمنی برای کل موقعیت‌های تعقیب خودرو بین هر جفت شاخص استفاده خواهد شد. در این راستا با تعریف ۵ سطح آستانه برای هر یک از شاخص‌ها، ایمنی در هر لحظه از موقعیت‌های تعقیب خودرو بین صفر تا ۱ (ایمن‌ترین تا نایمن‌ترین حالت) در آمده است. در جدول ۶ بر مبنای ۹۵ درصد اطمینان، میزان تفاوت میان متوسط نتایج هر جفت از شاخص‌ها ارایه شده است.

جدول ۶. تحلیل آماری t-test جهت مقایسه نتایج شاخص‌های ایمنی

شاخص	TTC	GT	DRAC	RECP	PSD	CSSM
TTC		۰/۷۳	۰/۴۸	۰/۰۷	۰/۷۲	۰/۳۵
GT	۰/۷۳		۰/۳۴	۰/۶۷	۰/۰۱	۰/۴۲
DRAC	۰/۴۸	۰/۳۴		۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۲۳
RECP	۰/۰۷	۰/۶۷	۰/۴۵		۰/۵۸	۰/۱۴
PSD	۰/۷۲	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۵۸		۰/۵۵
CSSM	۰/۳۵	۰/۴۲	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۵۵	

۵- نتیجه گیری

(GT) و احتمال برخورد جلوبه‌عقب (RECP)، نرخ شتاب جهت جلوگیری از برخورد (DRAC) و نسبت فاصله توقف (PSD) جهت مدل نمودن خطر برخورد انتخاب شدند. بررسی این شاخص‌ها نشان می‌دهد که هر مورد توانایی متفاوتی در نشان دادن سطح خط دارد. لذا، در صورتی که بتوان در هر لحظه از هر شاخص با توجه به وزن آن‌ها در مدل کردن خطر برخورد جلوبه‌عقب استفاده کرد، دقت نتایج بالاتر خواهد بود. برای این منظور از ابزار سیستم استنتاج فازی استفاده و با ارایه قواعد مربوط به چگونگی ترکیب نمودن ورودی‌ها یک شاخص جدید با نام شاخص ترکیبی یا CSSM توسعه پیدا کرد. جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این شاخص می‌تواند تأثیر توأمان شاخص‌های ورودی را در محاسبات در نظر گرفته و در مدل‌سازی برخوردهای جلوبه‌عقب، سطوح مختلف خطر را در نظر بگیرد. با به‌کارگیری فرایند شرح داده شده در بالا و استفاده از ابزار هوش مصنوعی و شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادفات، انتظار می‌رود که کارایی سیستم‌های هوشمند درون‌خودرویی جهت جلوگیری از رخداد برخوردهای جلوبه‌عقب افزایش پیدا کند.

آینده مدیریت و کنترل ترافیک به سمت کنترل خودکار در حال پیشرفت است. با توجه به بروز خطای انسانی در اثر عدم هوشیاری، خستگی، بی‌دقتی، رانندگی تهاجمی و ... احتمالاً کنترل خودکار می‌تواند موجب جلوگیری از بخش قابل توجهی از تصادفات شود. تصادفات جلوبه‌عقب یکی از انواع شایع برخوردها به‌ویژه در آزادراه‌ها هستند. خودروهای هوشمند با محاسبه شاخص‌های ایمنی جایگزین تصادفات می‌توانند نقش یک سیستم خودکار را جهت کنترل وضعیت حرکتی وسایل نقلیه و یا حتی اعلام هشدار به راننده جهت ایجاد تغییر در وضعیت حرکتی ایفا کند. اما جهت فعال‌سازی این سیستم‌ها جهت جلوگیری از برخوردهای جلوبه‌عقب در موقعیت‌های تعقیب خودرو نیاز است تا با استفاده از یک شاخص ایمنی جایگزین تصادفات بتوان احتمال برخورد جلوبه‌عقب را با بیشترین دقت تخمین زد. با توجه به پیچیدگی موضوع و سطح محاسبات برای هر دو مورد در اینجا از ابزار هوش مصنوعی استفاده شده است. با مرور شاخص‌های متنوع جایگزین تصادفات ۵ مورد شامل زمان تا تصادف (TTC)، فاصله زمانی

۶- پی نوشت ها

Journal of the Transportation Research Board, Vol.667, pp.67-74.

-Craveiro, Cunto, F.J., (2008), "Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation", Ph.D. thesis, Dept. of Civil Engineering, Waterloo, Canada.

-Dickmanns, E. D., (2002), "Vision for ground vehicles: History and prospects", International Journal of Vehicle Autonomous Systems, Vol.1, No. 1, pp.1-44.

-Dijkstra, A, Marchesini, P, Bijleveld, F, Kars, V, Drolenga, H., (2009), "89th Annual Meeting of the Transportation Research Board", Washington, D.C., USA.

-Fenton, R. E., & Mayhan, R. J., (1991), "Automated highway studies at the Ohio State University: An overview", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.40, No.1, pp.100-113.

-Glathe, H. P., (1994), "The PROMETHEUS program: A cooperative effort of the European automotive manufacturers", SAE Brazil 94 Conference, Society of Automotive Engineers, Sao Paulo, Brazil.

-Hayward, J., (1971), "Near misses as a measure of safety at urban intersections", Ph.D. thesis, Dept. of Civil Engineering, The Pennsylvania State, University Park, PA.

<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.06.001>

-Laureshyn, A., Svensson, A., Hyden, (2010), "Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioral data: Theoretical framework and first implementation", Accident analysis and prevention, Vol. 42, Issue 6, pp. 1637-1646.

-Lee, C., Hellinga, B., and Saccomanno, F., (2003), "Proactive Freeway Crash Prevention Using Real Time Traffic Control". Canadian Journal of Civil Engineering Vol. 30, No. 6. pp. 1034-1041.

-Maretzke, J., Jacob, U., (1992), "Distance Warning and Control as a Means of Increasing Road Safety and Ease of Operation", In: Proceedings of the Paper Presentation at the FISITA '92: Safety, the Vehicle and the Road. XXIV FISITA Congress, London.

-Milakis, D., Van Arem, B., & Van Wee, B. (2017), "Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research", Journal of Intelligent Transportation Systems, Vol.21, No.4, pp.324-348.

-Rahman, M. S., & Abdel-Aty, M., (2018), "Longitudinal safety evaluation of connected

- 1- Time to Collision (TTC)
- 2- Gap Time (GT)
- 3- Rear-end Collision Probability (RECP)
- 4- Deceleration rate to avoid collision (DRAC)
- 5- Proportion of Stopping Distance (PSD)
- 6- Maximum Deceleration Rate (MADR)
- 7- Society of Automotive Engineers (SAE)
- 8- Fuzzy Inference System (FIS)
- 9- Combined Surrogate Safety Measure (CSSM)

۷- مراجع

-اسمعیل اوغلی، م. و یوسفی، ص.، (۱۳۹۴)، "ارایه یک سیستم دستیار راننده مبتنی بر ارتباطات بین خودرویی با استفاده از منطق فازی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال هفتم، شماره سوم، ص. ۳۸۵-۴۰۴.

-نیکزاد، م.ف.، (۱۳۸۶)، "سوانح ترافیکی کشور و خسارات متوجه"، دفتر تحقیقات کاربردی پلیس راهنمایی و رانندگی ناجا.

-Al-Sultan, S., Al-Doori, M., Bayatti, A., Zedan, H., (2013), "A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc Network", Journal of Network and Computer Applications, Vol. 37, pp. 380-392.

-Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2016), "Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers", Santa Monica, CA: RAND Corporation, RR-443-2-RC.

Archer, J., (2005), "Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modeling: A study of urban and suburban intersections", Ph.D. thesis, Royal Institute of Technology.

-Behbahani, H, Nadimi, N, Alenoori, H, Sayadi, M., (2014), "Developing a new surrogate safety indicator based on motion equations", PROMET Traffic&Transportation, Vol. 26, No. 5, pp. 371-381

-Bender, J. G., (1991), "An overview of systems studies of automated highway systems", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.40, No.1, pp.82-99.

-Brian, L., Allen, B. Shin, T., and Cooper, P.J. (1978), "Analysis of traffic conflicts and collisions", Transportation Research Record:

- systems for the future”, Proceedings of the Intelligent Vehicles’92 Symposium, Detroit, pp. 132–137.
- Tu, Y., Wang, W., Li, Y., Xu, C., Xu, T., & Li, X., (2019), “Longitudinal safety impacts of cooperative adaptive cruise control vehicle’s degradation”, *Journal of Safety Research*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.03.002>.
- Virdi, N., Grzybowska, H., Waller, S. T., & Dixit, V., (2019), “A safety assessment of mixed fleets with Connected and Autonomous Vehicles using the Surrogate Safety Assessment Module”, *Accident Analysis and Prevention*, 131.
- Vogel, K., (2003), “A comparison of headway and time to collision as safety indicators”. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 35, Issue 3, pp. 427-433.
- Wang, C., Xie, Y., Huang, H., & Liu, P. (2021), “A review of surrogate safety measures and their applications in connected and automated vehicles safety modeling”, *Accident Analysis and Prevention*, 157, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106157>.
- Wu, Y., Abdel-Aty, M., Wang, L., & Rahman, M. S., (2020), “Combined connected vehicles and variable speed limit strategies to reduce rear-end crash risk under fog conditions”, *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 24(5). <https://doi.org/10.1080/15472450.2019.1634560>.
- Yang Q. and Koutsopoulos H.N., (1996), “A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems”, *Transportation Research Part C*, Vol. 4, pp. 113-129.
- Young, W., Sobhani, A., Lenne, M., Sarvi, M. (2014), “Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modeling” *Accident Analysis and Prevention*, Vol 66: pp. 89-103.
- vehicles’ platooning on expressways”, *Accident Analysis and Prevention*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.12.012>.
- Rillings, J. H., (1997), “Automated highways”, *Scientific American*, Vol.277, No.4, pp.80–85.
- Saunier, N., Sayed, T., Ismail, K., (2010), “Large scale automated analysis of vehicle interactions and collisions” 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C., USA.
- Shladover, S. E., (1990), “Roadway automation technology—Research needs”, *Transportation Research Record*, 1283, pp.158–167.
- Shladover, S. E., (2016), “The truth about ‘self-driving’ cars”, *Scientific American*, Vol.314, No.6, pp.52–57.
- Shladover, S. E., (2018), “Connected and automated vehicle systems: Introduction and overview”, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol.22, No.3, pp.190-200.
- Tang, A., Yip, A., (2010), “Collision Avoidance Timing Analysis of DSRC-Based Vehicles”, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 42, Issue 1, pp. 182-195.
- Tibljaš, A. D., Giuffrè, T., Surdonja, S., & Trubia, S., (2018), “Introduction of Autonomous Vehicles: Roundabouts design and safety performance evaluation”, *Sustainability (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041060>
- Toledo T., (2003), “Integrated Driving Behavior Modeling”, PhD Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, MIT.
- Touran, A., Brackstone, M., and McDonald, M., (1999), “A Collision Model for Safety Evaluation of Autonomous Intelligent Cruise Control”. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 31, No. 5, pp. 567-7.
- Tsugawa, S., Saito, T., & Hosaka, A., (1992), “Super smart vehicle system: AVCS related

Developing a Combined Surrogate Safety Measure for Rear-End Collisions by Fuzzy Inference System

Navid Nadimi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Seyed Saber Naserlavi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Amirhossein Mirhosseini Zare, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

E-mail: navidnadimi@uk.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

This paper aims to develop a method to detect dangerous situations for each vehicle based on microscopic traffic data for intelligent vehicles. Here, surrogate safety measures (SSMs) would be applied. Each SSM has unique characteristics and if we could use the advantages of different SSM simultaneously, then the efficiency of intelligent vehicles might be increased. For this purpose, Fuzzy Inference System (FIS) is applied to develop a Combined Surrogate Safety Measure (CSSM). In order to avoid complicating the issue, only rear-end collisions are considered. Microscopic traffic data collected in Modares highway of Tehran is used to develop FIS. Finally, the CSSM results are compared by each SSM statistically. Based on the results, it can be declared that FIS can be helpful to calculate the rear-end collision probability by using different SSMs. This achievement can be useful in promoting the efficiency of autonomous vehicles.

Keywords: Safety, Autonomous Vehicle, Rear-End collision, Fuzzy, Surrogate Safety Measure