

## سامانه فازی عصبی هشدار تصادف تعاملی مبتنی بر رفتار راننده

### در تصادفات زنجیره‌ای با استفاده از ارتباطات بین خودرویی

مقاله علمی - پژوهشی

حمیدرضا افتخاری<sup>\*</sup>، استادیار، گروه کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان، ایران

<sup>\*</sup>پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hreftekhari@aut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵

صفحه ۳۵۲-۳۳۹

#### چکیده

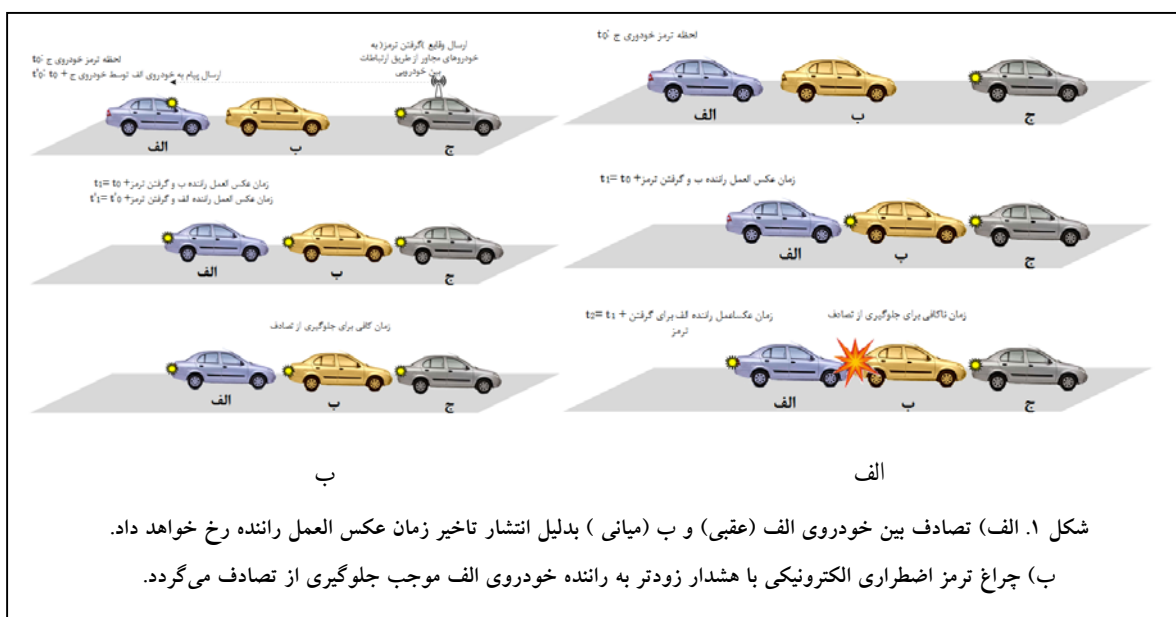
عدم توجه به تفاوت رانندگان در میزان درک خطر در سامانه‌های هشدار تصادف موجب می‌شود هشدارهای نابجا و غیر ضروری در این سامانه‌ها افزایش یابد. در این پژوهش مدلی مبتنی بر فناوری ارتباطات بین خودرویی و براساس رفتار راننده ارایه شده است. در مدل پیشنهادی فعال سازی سامانه مبتنی بر شاخص درک خطر انجام می‌پذیرد. سپس موقعیت‌هایی که به صورت بالقوه خطرناک محسوب می‌شوند با استفاده از یک شبکه عصبی شناسایی می‌گردد. در گام بعد اختلاف شتاب ترمز با فرض هشدار یا عدم هشدار به راننده با استفاده از یک تخمین گر فازی عصبی محاسبه می‌شود. در نهایت براساس سابقه شتاب ترمز راننده، نسبت به هشداردهی به ایشان اقدام می‌گردد. نتایج بر روی مجموعه داده‌های محک ان جی سیم (NGSIM) که شامل بیش از ۱۱ میلیون رکورد از رفتار رانندگی حدود ۳۳۰۰ راننده می‌باشد، با استفاده از نرم افزار متلب ارزیابی گردیده است. دقت سامانه در شناسایی موقعیت‌های بالقوه خطر ۹۷ درصد بوده است و خطای تشخیص شتاب ترمز ۸/۴ درصد می‌باشد. دقت سامانه در هشدار دهی نیز ۹۸ درصد بدست آمده است. بر این اساس مدل پیشنهادی با حذف هشدارهای غیر ضروری و نابجا موجب افزایش اطمینان راننده به سامانه و سفارشی شدن آن بر اساس رفتار رانندگی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: چراغ ترمز اضطراری الکترونیک، خودروهای به هم مرتبط، سامانه هشدار تصادف تعاملی، شبکه فازی عصبی تطبیقی

#### ۱-مقدمه

زمانی خودرو جلویی در دید مستقیم خودروهای پشت سر خود نیست، کاربردی ندارد. شکل شماره ۱ تفاوت بین دو نوع سناریوی تصادف را نشان می‌دهد. در برخوردهای زنجیره‌ای، راننده خودروی دوم با دیدن چراغ ترمز ماشین اول، غالباً وقت کافی برای عکس‌العمل و کاهش سرعت خود را دارد. اما خودروی سوم به دلیل تاخیر در زمان واکنش، فرصت لازم را برای کنترل خودرو ندارد و همین مساله موجب بروز تصادف خواهد شد. در این سناریوها اگر راننده خودروی عقبی از طریق فناوری ارتباطات بین خودرویی زودتر و همزمان با خودرو دوم سیگنال هشدار را دریافت کند، وقت بیشتری برای کنترل سرعت و گرفتن ترمز خواهد داشت. طبق پژوهش‌های انجام شده، تنها اگر حدود نیم ثانیه قبل هشدار به راننده داده شود، می‌توان از وقوع ۶۰٪ از تصادفات رانندگی

طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی در مورد وضعیت جهانی ایمنی جاده‌ها در سال ۲۰۱۸، تلفات جاده‌ای سالانه بیش از ۱,۳۵ میلیون نفر و مصدومیت بیش از ۵۰ میلیون نفر است (World Health Organization, 2018). از این میان تصادفات عقب به جلو با نزدیک به یک چهارم تعداد کل تصادفات رانندگی بیشترین سهم را داراست (NHTSA, 2018). از طرف دیگر، وقوع این نوع تصادفات در بزرگراه باعث برخوردهای زنجیره‌ای می‌شود که به تبع آن موجب ایجاد ترافیک‌های سنگین، خسارات جانی و مالی می‌گردد. سامانه‌های هشدار برخورد جلو متداول براساس حسگرهای محیطی اطراف خودرو مانند سونار و لیدار کار می‌کنند. این حسگرها در سناریوی‌های تصادف عقب به جلو در هشدار به راننده ماشین عقبی موفق عمل می‌کنند. اما در



همانطور که در شکل ۱. الف مشاهده می‌شود اگر خودروی جلویی (ج) ترمز نماید، خودروی اول (الف) تا زمانی که چراغ ترمز خودروی میانی (ب) روشن نشده است به همان سرعت به مسیر خود ادامه می‌دهد و زمانی ترمز می‌کند که راننده خودروی میانی پدال ترمز را فشار دهد و چراغ ترمز آن روشن شود. اما اگر خودروی ج با استفاده از فناوری ارتباطی کاهش سرعت خود را به راننده الف برساند، زمان کافی برای واکنش الف وجود خواهد داشت و هر دو خودروهای عقبی همزمان از وقوع ترمز خودروی جلویی مطلع می‌شوند (شکل ۱. ب). به طور کلی، سامانه های هشدار تصادف تعاملی دارای دو بخش می‌باشند: مؤلفه ایمنی و مؤلفه آگاهی از موقعیت (Iranmanesh et al., 2016). مؤلفه نخست شامل مسائل مرتبط با تعیین موقعیت دقیق خودرو و مشکلات ارتباطی از جمله ارسال و دریافت بسته‌های شبکه در ارتباطات بین خودرو می باشد که به تفصیل در مراجع مربوطه به آن اشاره شده است (Tsai et al., 2015) (Iranmanesh et al., 2016). و مؤلفه دوم بخش ایمنی این سامانه‌هاست که شامل تصمیم‌گیری در خصوص فعالسازی هشدار به راننده بر اساس شرایط می‌باشد. در پژوهش‌هایی که حول مؤلفه دوم می‌باشند فرض بر این است که موقعیت دقیق خودروها موجود است و پیام‌های ارتباطات بین خودرویی نیز در زمان استاندارد مشخص شده به دست خودروهای مجاور می‌رسد. در این تحقیقات آنچه اهمیت دارد دقت سامانه در تشخیص موقعیت خطر و به حداقل رساندن هشدارهای نابجا (مثبت کاذب) در

جلوگیری نمود و اگر این هشدار ۱/۵ ثانیه زودتر فعال شود، می‌توان در ۹۰٪ موقعیت‌ها خطرناک از تصادف جلوگیری کرد (Ankrum, D. R., 1992). این اطلاع رسانی زودهنگام در تصادفات عقب به جلو فقط توسط فناوری ارتباط بین خودرویی قابل شناسایی هستند. بنابراین نسل جدید سامانه‌های هشدار برخورد جلو در سال‌های اخیر به عنوان سامانه هشدار تصادف تعاملی معرفی شده‌اند.

این فناوری در برخی از پژوهش‌ها به عنوان چراغ ترمز اضطرار الکترونیکی (EEBL) هم شناخته می‌شود (Szczurek et al., 2012). که ایده اصلی آن بهبود دید رانندگان در شرایطی است که خط دید راننده توسط وسایل نقلیه دیگر یا آب و هوای نامناسب مسدود شده است. در این فن آوری نیازی به دید مستقیم بین دو خودرو جهت تشخیص سناریوی تصادف نیست. بلکه موقعیت، سرعت و شتاب لحظه‌ای خودرو از طریق ارتباطات بی سیم برد کوتاه به سایر خودروهای مجاور اعلام می‌شود. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد بهره‌گیری از فناوری ارتباطات بین خودرویی تاثیر قابل توجهی در رفتار رانندگان و افزایش ایمنی سفر و کاهش سرعت در موقعیت های پرخطر مانند شرایط نامناسب جوی دارد (Chang et al., 2019). نکته کلیدی و ویژگی برجسته سامانه های هشدار تصادف تعاملی در سرعت ارتباطات برد کوتاه است که به مراتب از سرعت واکنش یا عکس العمل راننده بیشتر است (Tsai et al., 2015).

سازی نشان می‌دهد که این روش می‌تواند به میزان قابل توجهی از هشدارهای نابجا که باعث می‌شود اعتماد راننده به سیستم سلب شود، جلوگیری نموده است. این هشدارها گذشته از سلب اعتماد حساسیت راننده را هم نسبت به هشدارها کاهش می‌دهد. این عدم حساسیت موجب نادیده گرفتن سامانه یا حتی غیرفعال نمودن آن می‌شود. تسای و همکاران (Tsai et al. 2015) برای حل مشکل مکانیابی خودروها در سامانه چراغ ترمز اضطراری الکترونیکی از ایده فاصله نسبی استفاده نموده‌اند. این پژوهش که به مؤلفه نخست سامانه‌های هشدار تصادف می‌پردازد برای کاهش پیام‌های پخشی در ارتباطات بین خودرویی هم ایده‌ای را مطرح می‌کند. وانگ و همکاران (Wang et al. 2008).

با استفاده از ارتباطات خودرو با زیرساخت، سامانه هشدار تصادفی را در یک تقاطع پیشنهاد کرده است. در این سامانه با توجه به استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین مسیر حرکت خودرو و برخورد احتمالی پیش بینی می‌گردد. تعداد هشدارهای نابجا و مثبت کاذب این سامانه در مقایسه با سایر روش‌ها به طور قابل توجهی کاهش یافته است و برخی از پژوهش‌ها از این روش استفاده نموده‌اند (Chen et al. 2018) (Xie et al. 2017)

فو و همکاران (Fu et al., 2019) نیز با استفاده از یک شبکه عصبی، دقت ارزیابی ریسک را افزایش داده است. این افزایش دقت به ازای شرایط مختلف ترافیکی و با حجم بالای داده‌های ترافیک حاصل شده است و هدف آن کاهش هشدارهای منفی کاذب و ارزیابی دقیق خطر در کنار در نظر گرفتن راحتی و آرامش مسافران بوده است.

گارسیا-کوستا و همکاران (Garcia-Costa et al., 2011) نیز به منظور تشخیص یک تصادف زنجیره‌ای از یک درخت احتمال و مدل زنجیره‌ای مارکوف استفاده نموده‌اند. ایده محاسباتی آنها موجب کاهش بار محاسباتی برای بدست آوردن احتمال برخورد خودروها شده است. که این ایده مبتنی بر یک روش تقریبی خوب در مدل دقیق است. اعتبار مدل ارائه شده نیز توسط شبیه سازی مونت کارلو تأیید شده است.

سامانه هشدار و جلوگیری از تصادف عقب به جلو توسط میلانس و همکاران نیز با بهره گیری از مفاهیم فازی ارائه شده است (Milanés et al., 2012). میلانس برای جلوگیری از تصادف در موقعیت‌های ترافیکی شلوغ، دو کنترل کننده فازی

کنار به حداقل رساندن عدم تشخیص موقعیت‌های تصادف (منفی کاذب) می‌باشد. لی و همکاران (Lee and Yeo, 2016) الگوریتمی مبتنی بر شبکه عصبی پرسپترون چند لایه را برای توسعه یک سامانه بلادرنگ هشدار عقب به جلو و مستقل از زمان درک و واکنش انسان پیشنهاد می‌دهند. ایده و هدف اصلی این پژوهش ارایه روشی است جهت پیش‌بینی زودهنگام ترمز احتمالی به منظور کاهش خطر تصادف خودروی عقبی به گونه‌ای که مستقل از زمان واکنش رانندگان مختلف باشد. اگرچه این مقاله از فناوری ارتباطات بین خودرویی استفاده می‌کند، اما سازوکاری در خصوص تصادفات زنجیره‌ای ارایه نمی‌دهد. ارایه سامانه جلوگیری از تصادف مبتنی بر رفتار و سبک رانندگی در کارهای مشابه همچون پژوهش هانگ (Huang et al., 2020) و همکاران نیز مشاهده می‌شود. در این تحقیق ترکیبی از سامانه جلوگیری از تصادف و سامانه کنترل سرعت مبتنی بر سبک رانندگی عصبی، متعادل و آرام با هدف افزایش آرامش راننده و سفارشی سازی سامانه ارایه شده است. در کار مشابهی دیگر مسلیم و همکاران تاثیر رفتار انسان و درک آن از موقعیت‌های خطر را در پذیرش عکس العمل سامانه‌های خودکار جلوگیری از تصادف ارزیابی نموده‌اند. در این تحقیق سعی شده است رفتار بلند مدت راننده را بررسی نماید، چرا که برخورد راننده در شبیه سازی‌ها و ارزیابی‌های کوتاه مدت بواسطه هشیار بودن از محیط آزمایشی ممکن است متاثر گردد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که رضایت‌مندی و استفاده راننده از سامانه بستگی به تطابق سامانه با رفتار راننده و مهارت‌ها رانندگی آن و همچنین درک متقابل و پذیرش راننده از نقش سامانه می‌باشد (Muslim and Itoh, 2021). حتی در پژوهش‌هایی که در خصوص خودروهای خودران انجام پذیرفته است سعی شده است که سامانه، مشابه رفتار انسان در موقعیت‌ها عمل نماید. به عنوان مثال تان و همکاران (Tan et al., 2021) برای مدل سازی دنبال روی خودروها از ترکیب چند مدل جهت تشخیص و تحلیل خطر استفاده نموده است که نشان از اهمیت توجه به درک راننده از خطر در موقعیت‌های تصادف یا نزدیک به تصادف است. زورک و همکاران (Szczurek et al., 2012) با استفاده از الگوریتم نیو بیز، ایده یک چراغ ترمز اضطراری الکترونیکی را با هدف کاهش مثبت‌های کاذب یا همان هشدارهای نابجا ارایه داده‌اند. زورک با استفاده از شبیه

انجام می‌پذیرد. ویژگی این مدل قابلیت سفارشی شدن برای رانندگان است به گونه‌ای که هشدارهای نابجا کاهش یابد و در عین حال در موقعیت‌های خطر به موقع اطلاع رسانی به راننده انجام پذیرد. مرحله آموزش شبکه عصبی نیز براساس داده‌های محک ان جی سیم و با استفاده از یک فرآیند داده کاوی و شبیه سازی استخراج شده است.

بهره‌گیری از داده محک مذکور که داده‌های واقعی جمع‌آوری شده است، اطمینان به خروجی مدل را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر عمده تحقیقات در حوزه تصادفات با توجه به پرهزینه بودن و به بیان دیگر عملیاتی نبودن در دنیای واقعی عمدتاً از شبیه سازی استفاده می‌گردد. استفاده از داده‌های واقعی و سپس بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی جهت شبیه سازی تصادف بر روی سناریوهای واقعی یکی از بهترین رویکردها جهت تحلیل شرایط واقعی و مشاهده نتایج مدل پیشنهادی می‌باشد.

در ادامه، سامانه پیشنهادی و معماری آن به تفصیل شرح داده شده است. در بخش سوم، نتایج بر اساس مجموعه داده محک ارزیابی می‌شود و در نهایت جمع بندی ارائه می‌گردد.

## ۲- مدل پیشنهادی

در این بخش ابتدا اصطلاحات و نمادها، شاخص‌های استفاده شده و مفروضات مدل معرفی می‌گردند. سپس معماری مدل که شامل پنج گام است توضیح داده خواهد شد. در ابتدا شاخص درک خطر معرفی و محاسبه می‌گردد. در گام دوم فعالسازی نظارت سامانه بر اساس این شاخص انجام می‌پذیرد. پس از فعالسازی نظارت سامانه گام سوم که شناسایی موقعیت‌های بالقوه خطر از دیگر موقعیت‌ها است توسط مدل پیشنهادی انجام می‌پذیرد و در گام چهارم موقعیت‌های خطر تحلیل و بررسی شده و در نهایت در گام نهمی نسبت به هشدار به راننده تصمیم گیری می‌گردد.

### الف- اصطلاحات و نمادها

اصطلاحاتی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است به صورت زیر تعریف می‌گردند:  
- شتاب ترمز: در این تحقیق منظور اندازه شتاب ترمز است که با مقدار مثبت نشان داده شده است.

ایجاد کرده است. وانگ و همکاران (Wang et al., 2017) دیدگاه جدیدی را برای جلوگیری از تصادفات زنجیره‌ای ارائه داده‌اند که براساس آن کاهش یا افزایش سرعت خودرو برای جلوگیری از تصادف، به تمام خودروهای موجود در زنجیره اطلاع داده می‌شود و سرعت مناسب برای خودروهای دیگر بر اساس بهینه‌سازی حداقل فاصله ایمن بین وسایل نقلیه محاسبه می‌شود.

ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2019) نیز پژوهشی را در خصوص پیام هشدار در فناوری خودروهای به هم مرتبط در تصادف عقب به جلو ارائه داده است که در آن هشدار را در فاصله زمانی‌های  $2/5$  و  $4/5$  ثانیه و به دو سبک هشدار دهی (دستوری و اطلاع رسانی) مورد ارزیابی قرار داده است و نتیجه آن کاهش تصادفات در فاصله زمانی  $2/5$  ثانیه به ازای سبک دستوری هشداردهی بوده است.

آنچه در تحقیقات کمتر مورد توجه قرار گرفته است بهره‌گیری سامانه‌ها هشدار تصادف از فناوری ارتباطات بین خودرویی در یک معماری مبتنی بر رفتار راننده است. به بیان دیگر پژوهش‌های گذشته غالباً از تفاوت بین درک رانندگان از وضعیت خطر غافل بوده‌اند و همین مساله موجب کاهش اعتماد رانندگان به سامانه بواسطه اخطارهای نابجا شده است لذا در این پژوهش به دنبال بررسی دقت و حساسیت مدل پیشنهادی هشدار تصادف هستیم در شرایطی که اولاً از ارتباطات بین خودرویی جهت تشخیص موقعیت خودروها نسبت به یکدیگر استفاده شود و ثانياً درک راننده از وضعیت خطر را معیاری جهت هشدار به راننده در نظر گرفته شود. هدف از این پژوهش نشان دادن این موضوع می‌باشد که مدل ارائه شده براساس ویژگی‌های مذکور در عین حالیکه دقت مناسب را جهت تشخیص موقعیت‌های خطر دارد، از هشدارهای نابجا و بی مورد جلوگیری می‌کند و حساسیت آن متناسب با رفتار راننده تنظیم می‌گردد.

در سامانه معرفی شده، از یک معماری چند مرحله‌ای برای شناسایی موقعیت‌های خطرناک در زنجیره خودروها و تصمیم‌گیری در مورد هشدار دادن استفاده نمودیم. فعال سازی این سامانه با توجه به سابقه رفتار راننده سفارشی می‌گردد و سپس بر اساس ویژگی‌های تعریف شده و با بهره‌گیری از شبکه عصبی موقعیت‌های خطر شناسایی می‌گردد. تشخیص دادن هشدار نیز در این موقعیت‌ها براساس سابقه راننده در ترمزها

خودروی عقبی از همان نقطه از جاده می‌باشد (Evans 1991) که از رابطه ۱ بدست می‌آید.

$$TH = t_f - t_l \quad (1)$$

که در آن  $t_l$  زمانی است که که خودروی جلویی از یک نقطه‌ای مشخص عبور کرده است، و  $t_f$  زمانی است که خودروی عقبی از آن از همان نقطه عبور می‌کند. در کشورهای مختلف حدود آستانه متفاوت و نزدیک به هم برای این شاخص معرفی نموده‌اند. به عنوان مثال در سوئیس حد آستانه ۳ ثانیه، ایالات متحده ۲ ثانیه و آلمان ۱٫۸ ثانیه را در نظر گرفته است (Vogel, 2003). با توجه به اینکه حسگرهای محیطی امکان محاسبه زمان عبوری از یک نقطه را ندارد، لذا، از شاخصی با عنوان فاصله زمانی استفاده می‌شود که معادل مدت زمانی است که خودرو عقبی، فاصله میان دو خودرو را با فرض ثابت بودن شرایط فعلی طی می‌کند. فاصله میان دو خودرو نیز با استفاده از حسگرهای محیطی خودرو مانند سنسور بدست می‌آید. در حالیکه در ارتباطات بین خودرویی، مکان و زمان خودرو مبتنی بر اطلاعات موقعیت‌یاب فراگیر می‌باشد، از اینرو محاسبه شاخص سرفاصله زمانی از طریق به انتشار اطلاعات امکان پذیر است. این شاخص در هر حالتی بین دو خودرو قابل محاسبه می‌باشد.

- شاخص زمان تا تصادف: این شاخص معروف‌ترین شاخص ارزیابی وضعیت ایمنی و تشخیص موقعیت‌های خطرناک می‌باشد (Nadimi et al., 2020). این شاخص برابر است با مدت زمانی که بدون تغییر سرعت و جهت حرکت، دو خودرو با یکدیگر برخورد نمایند. مقدار این شاخص از رابطه ۲ بدست می‌آید.

$$TTC(t) = \frac{x_l(t) - x_f(t) - l_l}{v_l(t) - v_f(t)} \quad v_f(t) > v_l(t) \quad (2)$$

که در آن  $x_l(t)$  و  $v_l(t)$  معرف موقعیت و سرعت خودرو جلویی،  $x_f(t)$  و  $v_f(t)$  معرف موقعیت و سرعت خودرویی عقبی است. با توجه به اینکه اختلاف این دو مدنظر می‌باشد در سامانه‌هایی که از حسگرهای محیطی استفاده می‌نمایند، فاصله دو خودروی بدست آمده از حسگرها محاسبه می‌گردد. حد آستانه این شاخص نیز در محدود ۳ تا ۴ ثانیه تعریف شده است. با توجه به اینکه این شاخص صرفاً

- وضعیت خطر بالقوه: شامل شرایطی است که اگر خودروی جلویی با حداکثر شتاب ترمز نماید، خودروی عقبی با خودروی میانی برخورد می‌کند. بدیهی است که در واقعیت شتاب ترمز ممکن است کمتر از این باشد و منجر به تصادف نشود، اما موقعیت‌های خطر بالقوه شامل همه سناریوهای محتمل که منجر به تصادف می‌شود می‌باشد.

- وضعیت هشدار: شامل شرایطی است که اگر از قبل هشدار داده نشود، می‌تواند منجر به بروز تصادف یا نیاز به ترمز شدید داشته باشد. هدف سامانه هشدار تصادف پیشنهادی شناسایی این شرایط است.

نمادهای زیر در این تحقیق استفاده شده است:

$\tau$	: زمان واکنش راننده
$PR_j$	: میزان خطر درک شده توسط راننده $j$
$AD_j$	: شتاب ترمز پذیرفته شده توسط راننده $j$
$A_{nw}$	: شتاب ترمز خودرو عقبی در صورتی که هشدار می‌باشد
$A_w$	: شتاب ترمز خودرو عقبی با فرض دادن هشدار به راننده $j$

### ب. مفروضات

پیش از توصیف جزئیات مربوط به هر یک از اجزای مدل پیشنهادی، پیش فرض‌هایی در خصوص سامانه در نظر گرفته شده است که به شرح ذیل می‌باشد:

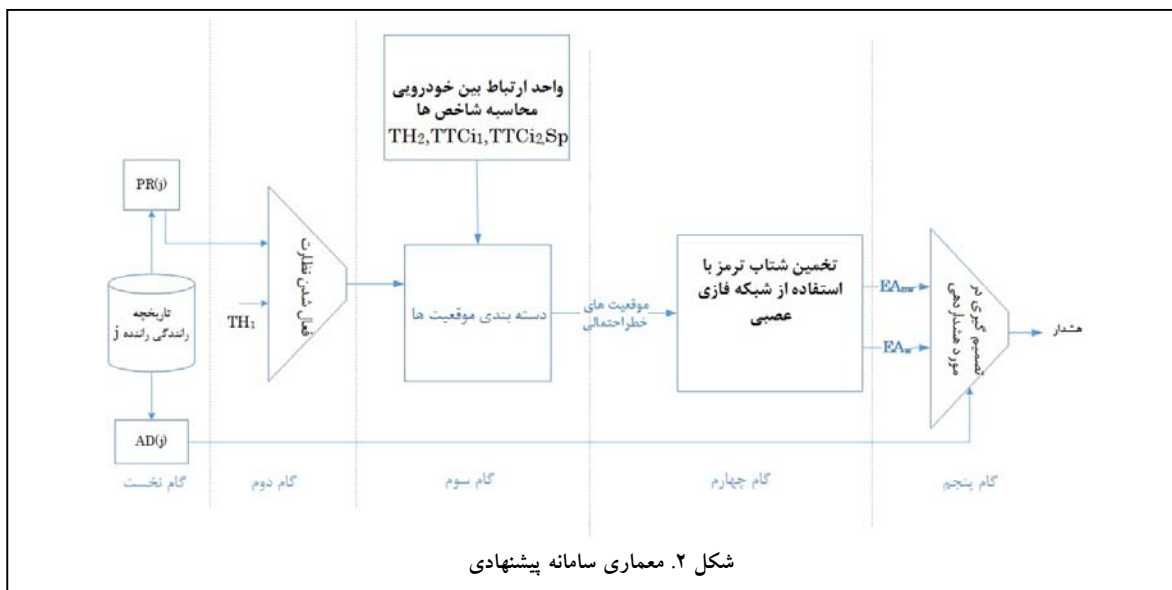
- خودروها مجهز به سیستم دقیق موقعیت‌یابی مانند سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفضلی و نقشه دیجیتال هستند تا موقعیت جغرافیایی خود و مسیر جاده‌ای را که در آن قرار دارد به دست آورند.

- خودروها مجهز به فناوری ارتباطات بین خودرویی هستند و پیام‌ها از طریق ارتباطات برد کوتاه اختصاصی یا سایر فناوری‌ها طبق استاندارد پیام‌ها ایمنی در کمتر از ۱۰۰ میلی ثانیه و بدون مفقود شدن ارسال و دریافت می‌شوند.

چالش‌های مربوط به این دو فرض در مطالعات دیگر بررسی شده است (Iranmanesh et al., 2016) و راه حل‌هایی برای این مشکلات ارائه شده است.

### ج- شاخص‌های تعریف شده

- شاخص سرفاصله زمانی: زمان سپری شده بین عبور جلوی خودروی جلویی از مقطعی از جاده تا عبور جلوی



سامانه هشدار تصادف نباید نسبت به تمامی رانندگان به یک شکل رفتار نماید چرا که برخی از موقعیت‌ها ممکن است برای یک راننده خطرپذیر نابجا محسوب گردد در حالیکه همان هشدار برای یک راننده محتاط به موقع و مناسب تلقی می‌گردد و موجب افزایش اطمینان راننده به سامانه می‌شود. برای محاسبه این مقدار، ابتدا تمام رکوردهایی که سرفاصله زمانی آنها با ماشین جلوتر از ۴ ثانیه کمتر است، در یک بازه زمانی مشخص (مثلاً در طول یک ساعت) جدا می‌شوند. وانگ و همکاران (Wang et al., 2015) نشان می‌دهد که ۹۵٪ از رانندگان اولین ترمز خود را در سرفاصله زمانی کمتر از ۴ ثانیه انجام می‌دهند. سپس زمان شروع به ترمز راننده در این زمان‌ها بررسی می‌شود و مقدار متوسط این مقادیر به عنوان فاکتور درک خطر راننده (PR) در نظر گرفته می‌شود. این مقدار آستانه فعال سازی سامانه جهت نظارت بر شاخص‌های دیگر در نظر گرفته می‌شود. نحوه محاسبه شاخص مذکور در رابطه (۳) نشان داده شده است:

$$PR_j = Average(TH_B^j) \quad (3)$$

$$TH_B^j = \{TH | TH < 4 \text{ و}$$

{مقدار سرفاصله در زمان شروع به گرفتن ترمز

محاسبه این مقدار می‌تواند ابتدا در فاصله ده دقیقه‌ای از رفتار راننده انجام شود و سپس با گذشت زمان به روز شود و نیازی به محاسبه این ویژگی در هر موقعیت نیست. خروجی دیگر این گام شاخص شتاب پذیرفته شده برای راننده است. شتاب ترمز در شرایط مشابه برای افراد بسته به تفاوت

زمانی که سرعت خودرو عقبی بیشتر از سرعت خودروی جلویی باشد، قابل محاسبه است، شاخص دیگری که مقدار آن عکس این رابطه است تحت عنوان  $TTC^{-1}$  تعریف می‌گردد. این شاخص گذشته از اینکه در تمامی حالات قابل محاسبه است ارتباط مستقیمی با خطر برخورد دارد و هرچه این مقدار بیشتر باشد، خطر برخورد بیشتر است. از این شاخص و شاخص سرفاصله زمانی در تحقیقات متعدد به منظور ارزیابی موقعیت خطر استفاده شده است (Wang et al., 2015) (Lu et al., 2012).

#### د- معماری سامانه

این معماری در واقع نحوه کارکرد و تصمیم‌گیری سامانه را در یک موقعیت هشدار توصیف می‌کند. مدل پیشنهادی شامل ۵ گام است که در شکل ۲ نشان داده شده است.

**گام اول:** تعیین شاخص درک خطر و شتاب پذیرفته شده برای راننده.

اولین خروجی این گام تعیین شاخص درک خطر برای هر راننده است. درک هر راننده نسبت به موقعیت خطر متفاوت است، از اینرو سرفاصله زمانی که توسط هر راننده تا خودرو جلویی حفظ می‌شود متفاوت است. این تفاوت بسته به میزان خطر پذیری و درک خطر رانندگان می‌باشد. برخی پژوهش‌ها با در نظر گرفتن میانگین سرفاصله زمانی برای هر راننده این مقدار را شاخصی جهت درک خطر توسط راننده تعیین کرده‌اند (Kondoh et al., 2008) (Murphey et al., 2009).

$TTCi_1(i)$ : زمان تا تصادف بین خودرو عقبی (سوم) و خودرو میانی (دوم)

$TTCi_2(i)$ : زمان تا تصادف بین خودروی میانی (دوم) و خودروی جلویی (اول)

$Sp_1(i)$ : سرعت لحظه‌ای خودرو عقبی (سوم)

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که پیام‌های ایمنی در ارتباط بین خودرویی بایستی در هر ۱۰۰ میلی ثانیه توسط هر خودرو داده پراکنی شود (Smith et al., 2002). بنابراین، شاخص‌های فوق در هر ۱۰۰ میلی ثانیه بر اساس پیام‌های ارسالی خودروهای مجاور محاسبه می‌گردد. این پنج شاخص در شکل ۳ نیز نشان داده شده است. این ویژگی‌ها ورودی مدل یادگیری ماشین برای تشخیص موقعیت‌های بالقوه خطر می‌باشند.

#### گام سوم: شناسایی موقعیت های خطر

بسته به موقعیت سه خودرو نسبت به یکدیگر، برخی موقعیت‌ها می‌تواند خطر بالقوه داشته باشد. به بیان دیگر در برخی از موقعیت اگر خودرو جلویی ترمز نماید ممکن است منجر به بروز تصادف یا نیاز به ترمز شدید خودرو عقبی برای جلوگیری از تصادف باشد.

هدف از این گام بهره‌گیری از یادگیری ماشین جهت جداسازی موقعیت‌های ایمن از موقعیت‌های بالقوه خطر می‌باشد. برای ارزیابی و دستیابی به بهترین نتایج از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت شده مختلفی استفاده شده است. این الگوریتم‌ها شامل درخت تصمیم، نیویز و کا نزدیک‌ترین همسایه، رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی چند لایه می‌باشند. در بخش سوم نشان داده می‌شود که شبکه عصبی طبقه بندی بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد.

ورودی این ماشین یادگیر شامل

$Sp_1(i)$  و  $TH_1(i)$ ,  $TH_2(i)$ ,  $TTCi_1(i)$ ,  $TTCi_2(i)$

می باشد و خروجی آن یک طبقه‌بندی دو کلاسه است که مشخص می‌نماید آیا این موقعیت بالقوه خطرناک است یا خیر.

#### گام چهارم: تحلیل موقعیت

ویژگی‌های راننده مانند سن، جنس، تجربه رانندگی و رفتار راننده متفاوت است. مورفی و همکاران (Murphye et al., 2009). نشان داده است که رانندگان را می‌توان به سه دسته آرام، عادی و عصبی تقسیم کرد که از نظر شتاب گرفتن و ترمز کردن متفاوت هستند. به منظور در نظر گرفتن این اختلاف در سامانه، متوسط شتاب ترمز هر راننده به عنوان شاخص شتاب پذیرفته شده در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه این شاخص، از متوسط شتاب ترمز راننده استفاده می‌شود و این مقدار با گذشت زمان به روز می‌شود. رابطه زیر نحوه محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد.

$$AD_j = Average(j \text{ شتاب ترمز راننده}) \quad (۴)$$

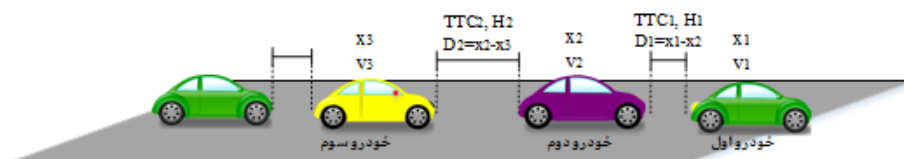
این دو ویژگی موجب می‌شود تا سامانه هشدار تصادف تعاملی متناسب با رفتار راننده سفارشی گردد تا با فعال سازی هشدارهای مناسب و به جا در کنار افزایش ایمنی اعتماد راننده را نیز جلب نماید.

#### گام دوم: فعالسازی نظارت سامانه

محاسبه مداوم شاخص‌های سرفاصله زمانی و زمان تا تصادف بین سه خودرو در یک زنجیره به طور مداوم بار محاسباتی را ایجاد می‌نماید. سامانه پیشنهادی فقط زمانی که سرفاصله خودرو عقبی از خودرو میانی کمتر از زمان درک خطر راننده خودرو عقبی باشد فعال می‌گردد. از اینرو مقدار سرفاصله زمانی خودرو عقبی تا خودروی میانی ( $TH_1$ ) مرتباً با مقدار  $PR_j$  راننده  $j$  که قبلاً محاسبه گردیده است مقایسه می‌گردد. به محض اینکه این مقدار کمتر از درک خطر راننده گردد شاخص‌های زیر در لحظه  $i$  دریافت، محاسبه و ذخیره می‌گردد (شکل شماره ۳):

$TH_1(i)$ : سرفاصله زمانی بین خودرو عقبی (سوم) و خودرو میانی (دوم)

$TH_2(i)$ : سرفاصله زمانی بین خودروی میانی (دوم) و خودروی جلویی (اول)



شکل ۳. شاخص‌های منظور شده در مدل

-لایه نخست: ورودی‌ها شبکه فازی عصبی شامل  $TH_1, TH_2, TTCi_1, TTCi_2, Sp_1$  و شتاب خودرو جلویی است. گره‌های این لایه تطبیقی هستند و پارامترهای  $a$  و  $b$  در طول آموزش شبکه عصبی تغییر کرده و تعیین می‌گردند. خروجی این لایه یک تابع عضویت گوسین است که به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

$$O_{1,j} = \mu_{x_{i,j}}(y) = \exp\left(-\left(\frac{y-a}{b}\right)^2\right) \quad i = 1..6 \quad j = 1,2$$

برای هر ورودی دو تابع عضویت "کم" و "زیاد" در نظر گرفته شده است.  $i$  نماینده ورودی‌ها و  $j$  نماینده تعداد تابع عضویت برای ورودی است. همانگونه که بیان شد توابع عضویت کم و زیاد برای هر متغیر به صورت فازی و براساس داده‌های آموزشی در طول فاز آموزش ساخته می‌شود.

-لایه دوم: این لایه شامل گره‌هایی می‌شود که قوانین فازی را می‌سازند. تعداد گره‌ها در این لایه برابر تعداد گره لایه اول است و خروجی این گره‌ها برابر حاصلضرب خروجی‌های لایه قبلی است. برای هر گره داریم:

$$O_{2,j} = w_j = \prod_i \mu_{x_{i,j}}(y) \quad i = 1..6 \quad j = 1,2$$

قوانین فازی با تعریف استلزام ممدانی پیاده سازی شده اند از اینروست که این قواعد به صورت عملگر حاصلضرب توابع عضویت یا همان عملگر رابطه عطفی ("و" منطقی") در منطق فازی در نظر گرفته شده است.

-لایه سوم: در این لایه تعداد گره‌ها برابر تعداد قواعد است. هر گره معرف میزان تاثیر هر قاعده نسبت به کل آن می‌باشد. مقادیر وزن‌های نسبت داده شده طبق رابطه زیر نرمالسازی می‌شوند:

$$O_{3,j} = \bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum_j w_j}, \quad j = 1,2$$

-لایه چهارم: گره‌ها در این لایه نیز تطبیقی هستند و پارامترهای آن ( $p$ ) بر اساس داده‌های آموزشی تعیین می‌شود. جانگ و همکاران (Jang, 1993). روشی ترکیبی را جهت یافتن این پارامترهای با توجه به پارامترهای  $a$  و  $b$  لایه اول ارائه داده اند خروجی‌های این لایه به صورت ادامه می‌باشد.

$$O_{4,j} = \bar{w}_j \left( \sum_i p_{i,j} \cdot x_i + p_{i+1,j} \right) \quad i = 1..6 \quad j = 1,2$$

ورودی این مرحله موقعیت‌هایی است که به صورت بالقوه خطر تصادف در آنها وجود دارد. در این دسته از موقعیت‌ها شتاب ترمز خودرو در دو سناریو مختلف محاسبه می‌گردد:

-وقتی سامانه هشدار فعال نباشد و ترمز خودرو عقبی با تأخیر  $2\pi$  و پس از روشن شدن چراغ ترمز خودروی میانی فعال می‌شود (تأخیر انتشار زمان واکنش رانندگان)

-زمانی که سامانه هشدار فعال است و هشدار لازم به راننده خودروی عقبی داده می‌شود. لذا، راننده خودرو عقبی همزمان با راننده خودرو میانی از ترمز خودروی جلویی آگاه می‌گردد.

تفاوت میان این دو شتاب ترمز اهمیت سامانه هشدار را مشخص می‌نماید. هر چه این تفاوت بیشتر باشد میزان تاثیر هشدار سامانه در جلوگیری از تصادف نمود بیشتری خواهد داشت. از اینرو خروجی ماشین یادگیر تخمین این اختلاف می‌باشد. تصمیم‌گیری در خصوص فعال سازی سامانه نیز بر اساس این تفاوت انجام می‌پذیرد. این اختلاف به عنوان مقدار  $\kappa$  تعریف می‌گردد و براساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

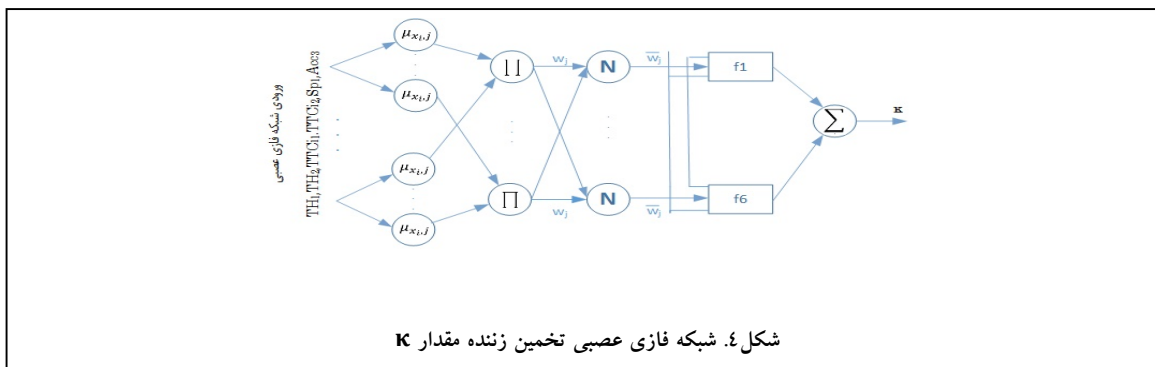
$$\kappa = A_{nw} - A_w \quad (5)$$

به منظور تخمین  $\kappa$  از یک شبکه فازی عصبی (انفیس) استفاده شده است. نقطه قوت شبکه‌های عصبی فازی حساس نبودن به مقادیر دقیق حدآستانه است و اجازه می‌دهد تا تخمین‌های محلی مشابه و خوبی براساس مقادیر مختلف ورودی با اختلاف‌های کم ارائه دهد. شکل شماره ۴ شبکه فازی عصبی مذکور را نشان می‌دهد. ورودی این شبکه شامل شاخص‌های سرفاصله زمانی و زمان تا تصادف بین خودروها در زنجیره و همچنین سرعت خودرو جلویی می‌باشد و خروجی آن تخمین تفاوت بین شتاب خودرو در حالت هشدار و عدم هشدار است. در این شبکه ابتدا در لایه نخست همانگونه که در شکل مشاهده می‌شوند ورودی‌ها فازی می‌گردند. در لایه بعدی ترکیب این مقادیر فازی جهت ساخت قوانین فازی به روش استلزام ممدانی می‌باشد. در نهایت هر کدام از این قواعد پس از نرمال سازی در لایه سوم، وزنشان نسبت به هم محاسبه در لایه چهارم بدست می‌آید و مقدار در لایه پایانی محاسبه می‌گردد. جزییات هر لایه به شرح زیر می‌باشد.



لایه پنجم: این لایه شامل یک گروه است که حاصل جمع خروجی تمامی گره‌های لایه قبلی را محاسبه می‌کند. رابطه زیر این خروجی را نشان می‌دهد:

$$O_5 = \sum_j O_{4,j} = \sum_j \bar{w}_j \left( \sum_i p_{i,j} \cdot x_i + p_{i+1,j} \right) \quad i = 1..6 \quad j = 1,2$$



### گام پنجم: تصمیم‌گیری در خصوص هشدار

بر مجذور ثانیه شود، تاثیر هشدار به خوبی توسط راننده درک می‌گردد و هر چه کمتر از این باشد این اثرپذیری کمتر خواهد بود. تعیین روشن شدن چراغ خطر الکترونیکی و هشدار به راننده براساس شتاب ترمز پذیرفته شده متفاوت است. هر چه راننده عصبی‌تر و در رفتار رانندگی خود ترمزهای شدیدتری را می‌گیرد، سامانه در زمانی که مقدار  $\kappa$  بیشتر است هشدار می‌دهد و هرچه راننده آرام‌تر و در رفتار رانندگی ترمزهای نرم‌تر و با شتاب کمتری می‌گیرد، سامانه در زمانی که مقدار  $\kappa$  کمتر است هشدار می‌دهد. از اینرو سامانه در شرایط زیر به راننده هشدار می‌دهد.

$$\kappa \geq AD_j \quad (5)$$

در این گام بر اساس خروجی ماشین یادگیر و شتاب ترمز پذیرفته شده راننده در خصوص هشدار به راننده تصمیم‌گیری می‌گردد. تحقیقات نشان می‌دهد تفاوت میان ترمز آرام و شدید ۲ متر بر مجذور ثانیه محاسبه شده است. مون و همکاران (Moon et al., 2009) ترمز آرام، متوسط و شدید را به ترتیب کمتر از ۲، بین ۲ تا ۴ و بیش از ۴ متر بر مجذور ثانیه عنوان می‌کند. مشابه این مقادیر در مقاله کاسانو و همکاران (Kusano, and Gabler, 2012) نیز اشاره شده است، اسمیت و همکاران (Smith et al., 2002) نیز مقادیر ۰٫۶، ۰٫۴ و ۰٫۷۶ مقدار شتاب گرانش زمین را که تقریباً معادل ۶٫۴ و ۷٫۵ متر بر مجذور ثانیه است را به عنوان حدود آستانه سامانه هشدار در نظر گرفته است. این تحقیقات نشان می‌دهد تفاوت ۲ متر بر مجذور ثانیه شدت ترمز مورد نیاز را به طور محسوس نشان می‌دهد. به بیان ساده‌تر اگر وجود یا عدم وجود سامانه هشدار تصادف زنجیره‌ای در یک سناریو موجب کاهش ۲ متر

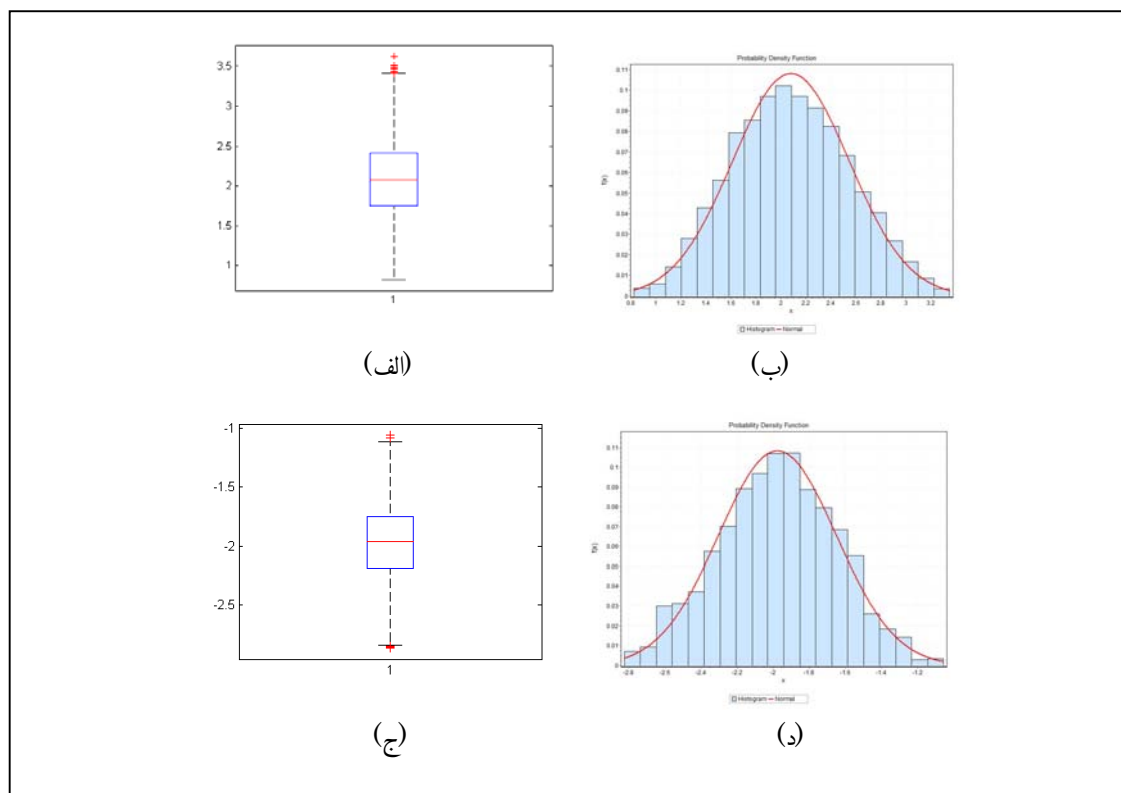
### ۳- ارزیابی نتایج

داده‌ها، ۳،۷۰۰،۰۰۰ رکورد در آزادراه آی-۸۰ در ایالات متحده آمریکا است. سپس، همه زنجیره‌ها شامل سه خودرو پشت سر هم با سرفاصله‌های زمانی کمتر از ۴ ثانیه استخراج گردید. پس از اعمال این شرایط، ۳۹۰،۰۰۰ زنجیره شناسایی شد. برای هر دو خودرو در زنجیره شاخص‌های سرفاصله زمانی و عکس زمان تا تصادف محاسبه و ذخیره گردید. با توجه به نوفه بسیار

به منظور ارزیابی نتایج مدل پیشنهادی، از مجموعه داده محک ان جی سیم (FHWA, 2022) استفاده شده است. این داده‌ها شامل بیش از ۱۱ میلیون رکورد از حدود ۳۳۰۰ خودرو است. هر رکورد شامل مکان، سرعت، شتاب، خودروهای عقبی و جلویی و فاصله تا آنها و دیگر اطلاعات مانند طول خودرو می‌باشد که در هر ۱۰۰ میلی ثانیه ثبت شده است. از این

برای هر راننده محاسبه شد. شکل ۶ ج نمودار جعبه این مقادیر را برای همه رانندگان نشان می‌دهد. این مقدار بین ۱/۱۱- تا ۲/۸۴- متر بر مجذور ثانیه و میانه ۱/۹۶- بدست آمد. توزیع این ویژگی نیز مشابه تابع توزیع نرمال با ۱/۹۷- و میانگین انحراف معیار ۰/۳۳ است. از میان حدود ۳۹۰۰۰۰ زنجیره، پس از محاسبه شاخص درک خطر برای هر راننده، در ۱۸۴۰۰۰ نمونه فاصله زمانی از شاخص درک خطر راننده کمتر بوده است و سامانه برای آنها فعال می‌گردد. در گام سوم موقعیت های بالقوه خطر بر اساس ماشین یادگیر و شاخص‌های معرفی شده شناسایی می‌گردند. از تعداد ۱۸۴۰۰۰ نمونه به منظور آموزش و تست یادگیر استفاده گردید.

زیاد مقادیر شتاب لحظه ای گزارش شده، شتاب لحظه‌ای بر اساس بر اساس اختلاف سرعت لحظه ای آنها محاسبه گردید. فرآیند آماده سازی سامانه برای هر راننده با محاسبه شاخص درک خطر برای هر راننده طبق آنچه در بخش قبل بیان شد صورت پذیرفت. شکل ۶ نمودار جعبه این مقادیر را برای همه رانندگان نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۶ الف مشاهده می‌شود، این مقدار معمولاً بین ۰/۸۲ ثانیه تا ۳/۴۲ ثانیه و میانه همانگونه که بیان شد ورودی‌های ماشین یادگیر شامل  $TH_1(i)$ ,  $TH_2(i)$ ,  $TTCi_1(i)$ ,  $TTCi_2(i)$  و  $Sp_1(i)$  و خروجی آن مشخص کننده خطر بالقوه سناریو پیش روست. در صورتی که امکان بروز تصادف وجود داشته باشد، موقعیت شناسایی شده جهت تحلیل و تصمیم گیری هشدار انتخاب می‌گردد. در این مرحله از ۵ الگوریتم یادگیری شامل درخت ۲/۰۸ ثانیه است. توزیع این ویژگی مشابه تابع توزیع نرمال با میانگین ۲/۰۸ و انحراف معیار ۰/۴۷ است ( شکل ۶ ب). همچنین شاخص شتاب ترمز پذیرفته شده



شکل ۶. الف و ج ( نمودار جعبه برای شاخص‌های درک خطر و شتاب ترمز قابل پذیرش بر اساس داده‌های ان جی سیم

شکل ب و د ( نمودار هیستوگرام و تابع توزیع تخمین زده شده برای مقادیر مذکور

جدول ۲. مقایسه نتایج الگوریتم های یادگیری ماشین مختلف در تشخیص موقعیت های خطر بالقوه

الگوریتم	دقت %	نرخ منفی کاذب %	نرخ مثبت کاذب %
درخت تصمیم	۹۳	۳٫۶	۳٫۴
نزدیک ترین همسایه K	۸۵	۷٫۳	۸٫۱
نیو بیز	۹۰	۵٫۸۵	۴٫۲۴
رگرسیون	۹۳	۳٫۵	۳٫۶
شبکه عصبی	۹۷	۱٫۵	۱٫۸

جدول شماره ۵. دقت و سنجه F سامانه پیشنهادی به ازای K مختلف

مقادیر K	دقت	سنجه f
بیش از ۴ متر بر مجذور ثانیه	۱۰۰	۱۰۰
بین ۳ تا ۴ متر بر مجذور ثانیه	۹۹	۶۰
بین ۲ تا ۳ متر بر مجذور ثانیه	۹۵	۷۱
کمتر از ۲ متر بر مجذور ثانیه	۹۷/۲	۹۸/۶
مجموع	۹۷/۸	۸۲/۴

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\kappa - \hat{\kappa})^2 = ۰.۰۲۷$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\kappa - \hat{\kappa}}{\kappa} \right| \times 100 = ۸/۴$$

که مقدار K در آن برابر اختلاف شتاب ترمز در حالت هشدار و عدم هشدار به راننده است و مقدار  $\hat{\kappa}$  مقدار تخمین زده شده توسط شبکه فازی عصبی برای این شاخص است. نتایج نشان می دهد اختلاف نتایج تخمین زده شده با واقعیت ۸/۴ درصد می باشد و خروجی این شبکه فازی عصبی قابل اعتماد برای تصمیم گیری می باشد. در ۹۸ درصد نمونه ها اختلاف شتاب ترمز در حالت فعال سازی هشدار و عدم هشدار با دقت بالا و کمتر از ۰٫۵ متر بر مجذور ثانیه تشخیص داده شده است. در نهایت گام پنجم، هشدار دهی سامانه بر اساس شرط بیان شده در رابطه (۵) می باشد. جدول شماره ۳ دقت و سنجه f هشداردهی سامانه را به ازای مقادیر K مختلف نشان می دهد. همانگونه که در نتایج مشاهده می شود دقت سامانه بیش از ۹۸ درصد است و سنجه f نیز حدود ۸۳ درصد می باشد. این نتایج نشان می دهد، توانایی مدل پیشنهادی به عنوان یک سامانه هشدار تصادف قابل قبول و با دقت بالا می باشد. ویژگی مثبت مدل پیشنهادی کاهش بار محاسباتی و افزایش سرعت تشخیص و دقت سامانه از طریق چند مرحله ای کردن ارزیابی پارامترها و بهره گیری از انواع یادگیری ماشین می باشد. همچنین دخیل نمودن سابقه و رفتار راننده در هشداردهی موجب افزایش اعتماد راننده و جلوگیری از هشداردهی های بی مورد برای راننده می شود.

تصمیم، شبکه های عصبی، نیو بیز، رگرسیون و کا نزدیک ترین همسایه استفاده شده است. همچنین به منظور اعتبارسنجی نتایج از روش متقابل با در نظر گرفتن  $k=5$  استفاده شده است. با توجه به پژوهش های قبلی (MA and Andréasson, 2006) زمان عکس العمل راننده برابر ۱ ثانیه در نظر گرفته است (  $\tau = 1$  ). جدول شماره ۲ دقت و نرخ مثبت کاذب و منفی کاذب هر کدام از الگوریتم های یادگیری را نشان می دهد. در در این گام آنچه اهمیت دارد شناسایی موقعیت هایی است که به صورت بالقوه خطر تصادف دارند، بنابراین اهمیت نرخ منفی کاذب به مراتب از نرخ مثبت کاذب بیشتر است. همانگونه که در جدول شماره ۲ مشاهده می شود، شبکه عصبی هم از جهت دقت نسبت به دیگر الگوریتم های طبقه بندی کننده بهتر عمل نموده است (۹۷ درصد) و هم از جهت نرخ منفی کاذب که معادل موقعیت هایی که به صورت بالقوه خطرناک هستند و نیازمند رصد دقیق تر می باشند. اما ماشین یادگیر آنها را شناسایی نمی کنند. در نهایت در نرخ مثبت کاذب هم که معرف موقعیت هایی می باشد که بالقوه خطرناک نیستند اما ماشین یادگیر آنها را خطرناک معرفی می کند و بستری برای هشدارهای نابجا و غیرضروری فراهم می شود نیز شبکه عصبی بهتر عمل کرده است و نرخ کمتری دارد. از مجموع حدود ۱۸۴۰۰۰ موقعیت، نزدیک به ۵۰۰۰۰ موقعیت های خطر بالقوه استخراج گردید که ورودی مرحله چهارم و شبکه فازی عصبی پیشنهادی محسوب می گردند. دو معیار میانگین مربع خطا و میانگین مطلق درصد خطا به منظور ارزیابی نتایج تخمین مقدار K که خروجی شبکه فازی عصبی محسوب می شود، در نظر گرفته شده است. نتایج این دو معیار به شرح زیر می باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

می‌نماید. ایده است که می‌تواند علاوه بر سامانه‌های هشدار تصادف در سامانه‌های جلوگیری از تصادف که تصمیم‌گیری در خصوص اعمال ترمز و کاهش سرعت با سامانه می‌باشد نیز استفاده شود. همچنین می‌توان با تحلیل بیشتر رفتار راننده در موقعیت‌های مشابه علاوه بر شاخص درک خطر از دیگر شاخص‌ها و سنجه‌ها به منظور سفارشی‌سازی سامانه و کاهش هشدارهای نایجا اعتماد راننده به سامانه را سلب می‌کند. در این پژوهش، تصمیم به فعال‌سازی هشدار بر اساس یک مدل چند سطحی گرفته می‌شود. یکی از نکات مهم مدل پیشنهادی وابستگی سیستم به رفتار راننده است. در مدل پیشنهادی سامانه زمانی فعال می‌شود که سرفاصله زمانی خودرو از شاخص درک خطر راننده کمتر باشد، این مساله موجب افزایش اطمینان راننده به سامانه و کاهش محاسبات مستمر تمام شاخص‌های به منظور کشف موقعیت خطر می‌شود. در مدل پیشنهادی، ابتدا موقعیت‌های بالقوه خطر با استفاده از ماشین یادگیری شناسایی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که شبکه عصبی با دقت ۹۷٪ عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم‌های دیگر دارد. در گام بعد با استفاده از یک تخمین‌گر فازی عصبی اختلاف شتاب ترمز در زمان هشدار و عدم هشدار محاسبه می‌گردد و بر اساس رفتار و شتاب ترمز راننده در گذشته نسبت به هشداردهی تصمیم‌گیری می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد تخمین‌گر شبکه فازی عصبی با خطای کمتر از ۸/۵ درصد تخمین مناسبی از تفاوت شتاب ترمز در دو حال هشدار و عدم هشدار ارائه می‌دهد و در نهایت سامانه می‌تواند با دقت ۹۸ درصد و سنجه  $f$  نزدیک به ۸۳ درصد موقعیت‌های تصادف را به راننده هشدار دهد. با توسعه ارتباطات بین خودرویی چه بر بستر فناوری ارتباطات بی‌سیم برد کوتاه و چه بستر نسل ۵ یا بالاتر تلفن همراه این شرایط را فراهم نموده است که هشدار ایمنی خودروها در زمان مناسب به رانندگان ارسال گردد و بدین ترتیب از وقوع بسیاری از تصادفات جلوگیری گردد. مدل پیشنهادی خصوصاً با قابلیت سفارشی شدن برای هر راننده متناسب با تاریخچه رفتار راننده می‌تواند سامانه‌های هشدار تصادف را در این فناوری کارا تر نماید. بهره‌گیری از شبکه فازی عصبی (انفیس) که همزمان از قابلیت فازی‌سازی تصمیمات و بهینه‌سازی محلی دقیق شبکه عصبی استفاده

می‌نماید. ایده است که می‌تواند علاوه بر سامانه‌های هشدار تصادف در سامانه‌های جلوگیری از تصادف که تصمیم‌گیری در خصوص اعمال ترمز و کاهش سرعت با سامانه می‌باشد نیز استفاده شود. همچنین می‌توان با تحلیل بیشتر رفتار راننده در موقعیت‌های مشابه علاوه بر شاخص درک خطر از دیگر شاخص‌ها و سنجه‌ها به منظور سفارشی‌سازی سامانه و کاهش هشدارهای نایجا اعتماد راننده به سامانه را سلب می‌کند. در این پژوهش، تصمیم به فعال‌سازی هشدار بر اساس یک مدل چند سطحی گرفته می‌شود. یکی از نکات مهم مدل پیشنهادی وابستگی سیستم به رفتار راننده است. در مدل پیشنهادی سامانه زمانی فعال می‌شود که سرفاصله زمانی خودرو از شاخص درک خطر راننده کمتر باشد، این مساله موجب افزایش اطمینان راننده به سامانه و کاهش محاسبات مستمر تمام شاخص‌های به منظور کشف موقعیت خطر می‌شود. در مدل پیشنهادی، ابتدا موقعیت‌های بالقوه خطر با استفاده از ماشین یادگیری شناسایی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که شبکه عصبی با دقت ۹۷٪ عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم‌های دیگر دارد. در گام بعد با استفاده از یک تخمین‌گر فازی عصبی اختلاف شتاب ترمز در زمان هشدار و عدم هشدار محاسبه می‌گردد و بر اساس رفتار و شتاب ترمز راننده در گذشته نسبت به هشداردهی تصمیم‌گیری می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد تخمین‌گر شبکه فازی عصبی با خطای کمتر از ۸/۵ درصد تخمین مناسبی از تفاوت شتاب ترمز در دو حال هشدار و عدم هشدار ارائه می‌دهد و در نهایت سامانه می‌تواند با دقت ۹۸ درصد و سنجه  $f$  نزدیک به ۸۳ درصد موقعیت‌های تصادف را به راننده هشدار دهد. با توسعه ارتباطات بین خودرویی چه بر بستر فناوری ارتباطات بی‌سیم برد کوتاه و چه بستر نسل ۵ یا بالاتر تلفن همراه این شرایط را فراهم نموده است که هشدار ایمنی خودروها در زمان مناسب به رانندگان ارسال گردد و بدین ترتیب از وقوع بسیاری از تصادفات جلوگیری گردد. مدل پیشنهادی خصوصاً با قابلیت سفارشی شدن برای هر راننده متناسب با تاریخچه رفتار راننده می‌تواند سامانه‌های هشدار تصادف را در این فناوری کارا تر نماید. بهره‌گیری از شبکه فازی عصبی (انفیس) که همزمان از قابلیت فازی‌سازی تصمیمات و بهینه‌سازی محلی دقیق شبکه عصبی استفاده

#### ۵- مراجع

- Ankrum, D. R., (1992), "Ivhs-smart vehicles, smart roads", Traffic Safety (Chicago), 92(3).
- Chang, X., Li, H., Qin, L., Rong, J., Lu, Y., & Chen, X., (2019), "Evaluation of cooperative systems on driver behavior in heavy for condition based on a driving simulator", Accident Analysis & Prevention, 128, pp.197-205.
- Chen, C., Xiang, H., Qiu, T., Wang, C., Zhou, Y., & Chang, V., (2018), "A rear-end collision prediction scheme based on deep learning in the Internet of Vehicles", Journal of Parallel and Distributed Computing, 117, pp.192-204.
- Evans, L., (1991), "Traffic safety and the driver, Science Serving Society".
- Fu, Y., Li, C., Luan, T. H., Zhang, Y., & Yu, F. R., (2019), "Graded warning for rear-end collision: An artificial intelligence-aided algorithm", IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, 21(2), pp.565-579.
- Garcia-Costa, C., Egea-Lopez, E., Tomas-Gabarron, J. B., Garcia-Haro, J., & Haas, Z. J., (2011), "A stochastic model for chain collisions of vehicles equipped with vehicular communications", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13(2), pp.503-518.
- Hayward, J. C., (1972), "Near miss determination through use of a scale of danger".
- Huang, J., Chen, Y., Peng, X., Hu, L., & Cao, D., (2020), "Study on the driving style adaptive vehicle longitudinal control strategy", IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 7(4), pp.1107-1115.
- Iranmanesh, S. M., Moradi-Pari, E., Fallah, Y. P., Das, S., & Rizwan, M., (2016), "Robustness of cooperative forward collision warning systems to communication uncertainty", In 2016 Annual IEEE Systems Conference

- “Feasibility of driver judgment as basis for a crash avoidance database”, *Transportation research record*, 1784(1), pp.9-16.
- Szcurek, P., Xu, B., Wolfson, O., & Lin, J., (2012), “Estimating relevance for the emergency electronic brake light application”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(4), pp.1638-1656.
- Tan, H., Lu, G., & Liu, M., (2021), “Risk Field Model of Driving and Its Application in Modeling Car-Following Behavior”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.
- Traffic Safety Facts A Compilation of Motor Vehicle Crash Data (Annual Report) ,(2018), “National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)”.
- Tsai, M. F., Chao, Y. C., Chen, L. W., Chilamkurti, N., & Rho, S., (2015), “Cooperative emergency braking warning system in vehicular networks”, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp.1-14.
- Vogel, K., (2003), “A comparison of headway and time to collision as safety indicators”, *Accident analysis & prevention*, 35(3), pp.427-433.
- Wang, J., Yu, C., Li, S. E., & Wang, L., (2015), “A forward collision warning algorithm with adaptation to driver behaviors”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4), pp.1157-1167.
- Wang, P., Wu, W., Deng, X., Xiao, L., Wang, L., & Li, M., (2017), “Novel cooperative collision avoidance model for connected vehicles”, *Transportation Research Record*, 2645(1), pp.144-156.
- Wang, S. Y., Cheng, Y. W., Lin, C. C., Hong, W. J., & He, T. W., (2008), “A vehicle collision warning system employing vehicle-to-infrastructure communications”, In 2008 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 3075-3080.
- World Health Organization, (2018), “Global status report on road safety 2018: Summary (No. WHO/NMH/NVI/18.20)”, World Health Organization.
- Xie, G., Gao, H., Qian, L., Huang, B., Li, K., & Wang, J., (2017), “Vehicle trajectory prediction by integrating physics-and maneuver-based approaches using interactive multiple models”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(7), pp.5999-6008.
- Zhang, Y., Wu, C., Qiao, C., & Hou, Y., (2019), “The effects of warning characteristics on driver behavior in connected vehicles systems with missed warnings”, *Accident Analysis & Prevention*, 124, pp.138-145.
- (SysCon), pp. 1-7.
- Jang, J. S., (1993), “ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*”, 23(3), pp.665-685.
- Kondoh, T., Yamamura, T., Kitazaki, S., Kuge, N., & Boer, E. R., (2008), “Identification of visual cues and quantification of drivers' perception of proximity risk to the lead vehicle in car-following situations”, *Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics*, 1(2), pp.170-180.
- Kusano, K. D., & Gabler, H. C., (2012), “Safety benefits of forward collision warning, brake assist, and autonomous braking systems in rear-end collisions”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(4), pp.1546-1555.
- Lee, D., & Yeo, H., (2016), “Real-time rear-end collision-warning system using a multilayer perceptron neural network”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(11), pp.3087-3097.
- Lu, G., Cheng, B., Lin, Q., & Wang, Y., (2012), “Quantitative indicator of homeostatic risk perception in car following”, *Safety science*, 50(9), pp.1898-1905.
- Ma, X., & Andréasson, I., (2006), “Estimation of Driver Reaction Time from Car-Following Data: Application in Evaluation of General Motor-Type Model”, *Transportation research record*, 1965(1), pp.130-141.
- Milanés, V., Pérez, J., Godoy, J., & Onieva, E., (2012), “A fuzzy aid rear-end collision warning/avoidance system”, *Expert Systems with Applications*, 39(10), pp.9097-9107.
- Moon, S., Moon, I., & Yi, K., (2009), “Design, tuning, and evaluation of a full-range adaptive cruise control system with collision avoidance”, *Control Engineering Practice*, 17(4), pp.442-455.
- Murphey, Y. L., Milton, R., & Kiliaris, L., (2009), “Driver's style classification using jerk analysis”, In 2009 IEEE Workshop on Computational Intelligence in Vehicles and Vehicular Systems, pp. 23-28.
- Muslim, H., & Itoh, M., (2021), “Long-term evaluation of drivers' behavioral adaptation to an adaptive collision avoidance system”, *Human factors*, 63(7), pp.1295-1315.
- Nadimi, N., Ragland, D. R., & Mohammadian Amiri, A., (2020), “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), pp.491-500.
- NGSIM, (2021), FHWA., <http://ngsim.fhwa.dot.gov>.
- Smith, D. L., Najm, W. G., & Glassco, R. A., (2002),

# Neuro-Fuzzy Cooperative Collision Warning System in Based on Driver Behavior in Chain Accident Using Connected Vehicles

*Hamidreza Eftekhari, Assistant Professor, Department of Computer Engineering,  
University of Malayer, Malayer, Iran.*

*E-mail: hreftekhari@aut.ac.ir*

Received: February 2023- Accepted: April 2023

## **ABSTRACT**

Failure to pay attention to the difference in drivers' perceptions of danger in collision warning systems increases unnecessary warnings. In this research, a model based on connected vehicle technology and based on driver behavior is presented. In the proposed model, the system is activated based on risk perception index. Situations that are potentially dangerous are then identified using a neural network. In the next step, the brake acceleration difference is calculated using an adaptive neural fuzzy estimator between two situations when the driver receives a warning or he does not. Finally, based on the driver's brake history, he will be warned. The results are evaluated on NGSIM benchmark data set, which contains more than 11 million records of driving behavior of about 3300 drivers, using MATLAB software. The accuracy of the system in detecting potential risk situations is 97%. The accuracy of the warning system is 98%. Accordingly, the proposed model increases the driver's confidence and customizes warning system based on driving behavior by eliminating unnecessary warnings.

**Keywords:** Cooperative Collision Warning System, Emergency Electronic Brake Light, Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems, Connected Vehicles