فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیستم، شماره ۸۰، بهار ۱۳۹۹، ص. ٤٦-۳۵

چراغ خطر الکترونیک مبتنی بر شبکه فازی عصبی تطبیقی در تصادفات زنجیره-ای مجهز به فناوری ارتباطات بین خودرویی

حمیدرضا افتخاری، استادیار گروه کامپیوتر دانشگاه ملایر

E-mail: eftekhari@malayeru.ac.ir

چکیده

چراغ خطر الکترونیکی نوع پیشرفته ای از چراغ ترمز است که برای هشدار تصادف عقب به جلو زنجیره ای با استفاده از ارتباطات بین خودرویی طراحی شده است. در این فناوری کاهش سرعت ناگهانی خودرو جلویی که در دید مستقیم خودروهای پشت سر نمی باشد، از طریق ارتباط بیسیم و تجهیزات درون خودرویی به اطلاع راننده رسیده و زمان کافی برای عکس العمل راننده و جلوگیری از تصادف را فراهم می نماید. اما در این دسته از سناریوهای تصادف، شاخص های تصمیم گیری هشدار تصادف مانند زمان تا تصادف نمی توانند به موقع هشدار لازم را به راننده بدهند. در این پژوهش مدلی را ارائه داده ایم که بر اساس ترکیب شاخص ها در یک زنجیره، نسبت به هشداردهی در زمان مناسب تصمیم گیری می نماید. مدل ارائه شده با استفاده از شبکه فازی عصبی فازی مقادیر شاخص های سرفاصله زمانی و زمان تا تصادف را فازی نموده و نسبت به فعال شدن یا نشدن سامانه هشدار چراغ خطر الکترونیکی تصمیم گیری می نماید. نتایج نشان می دهد، مدل پیشنهادی با دقت ۹۱/۲ درصد موجب کاهش ۸۸/۵ درصد از تصادفات خودرو سوم در یک زنجیره می گردد. همچنین هشدارهای نابجا و غیر ضروری در این روش فقط ۱۳ درصد می باشد.

واژه‌های کلیدی: سامانه هشدار تصادف مشارکتی، ارتباطات بین خودرویی، تصادفات زنجیره ای، چراغ خطر الکترونیکی، شبکه فازی عصبی

۱. مقدمه

تصادفات عقب به جلو با بیش از ۲۸ درصد از تعداد تصادفات خودرویی در جایگاه نخست سناریوهای تصادف قرار دارد. وقوع این دسته از تصادفات عمدتا در بزرگراه ها و جاده های کشور منجر به تصادفات زنجیره ای می گردد که منجر به درگیر شدن خودروهای متعدد و بوجود آمدن تراکم سنگین در معابر می گردد. همچنین نزدیک یک سوم از این تصادفات منجر به فوت یا جراحت مسافرین می گردد. سامانه های هشدار تصادف مرسوم عقب به جلو بر اساس حسگرهای محیطی اطراف خودرو مانند سونار و لیدار عمل می نمایند. این حسگرها در تشخیص سناریوهای تصادف و هشداردهی به راننده خودرو عقبی در یک سناریو عقب به جلو کارا می باشند. اما در سناریوهای حاصل از کاهش ناگهانی سرعت خودرو ای جلویی که در دید مستقیم حسگرهای مذکور نیستند، قابل استفاده نمی باشند. شکل شماره ۱ تفاوت این دو دسته از سناریوی تصادف را نشان می دهد. در تصادفات زنجیره ای عمدتا راننده خودرو دوم با توجه به اینکه چراغ ترمز خودروی اول را مشاهده می کند، زمان کافی برای عکس العمل لازم و کاهش سرعت را دارد. اما خودرو سوم، بدلیل اینکه دیرتر از ترمز خودرو اول مطلع می گردد، زمان کافی برای کنترل خودرو را ندارد. این دسته از سناریوها صرفا توسط فناوری ارتباطات بین خودرویی ، قابل شناسایی می باشند. لذا نسل جدید سامانه های هشدار تصادف با عنوان هشدار تصادف مشارکتی در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این دسته از سامانه ها، تصادفات عقب به جلو از طریق چراغ خطر الکترونیکی ، به راننده اطلاع داده می شود. همچنین موقعیت خودروها، سرعت و شتاب آنها نیز از طریق ارتباطات بی سیم اختصاصی کوتاه برد به خودروهای دیگر اطلاع داده می شود. در این فناوری نیازی به دید مستقیم بین دو خودرو جهت کشف سناریو تصادف وجود ندارد (شکل شماره ا).

پژوهشهای متعددی در خصوص سامانه های هشدار تصادف عقب به جلو انجام شده است. عمده این پژوهش ها مبتنی بر تعیین حدآستانه برای شاخص هایی مانند زمان تا تصادف[۱] و سرفاصله زمانی[۲] می باشند. پژوهش ها نشان می دهد تعیین یک حدآستانه مشخص برای این شاخص بدون توجه به سرعت خودرو با چالش هایی روبروست. بر این اساس هیرست و همکاران مدلی را بر اساس ارتباط احتمالی سرعت و زمان تا تصادف ارائه داده اند.

شکل ۱. تفاوت دو سناریو تصادف و کاربرد چراغ خطر الکترونیک در سناریو دوم

حتی در پژوهش هایی که یک حدآستانه برای این شاخص تعرفی نموده اند، اختلاف مشاهده می گردد. به عنوان مثال هورست حدآستانه ٤ ثانیه را برای زمان تا تصادف معرفی نموده است در حالیکه نیلسون این مقدار را ناکافی و غیر ایمن برای هشدار دانسته است. از طرف دیگر هیرست ۳ ثانیه را برای این منظور کافی می داند. از اینرو در تحقیقات جدیدتر از فازی سازی این

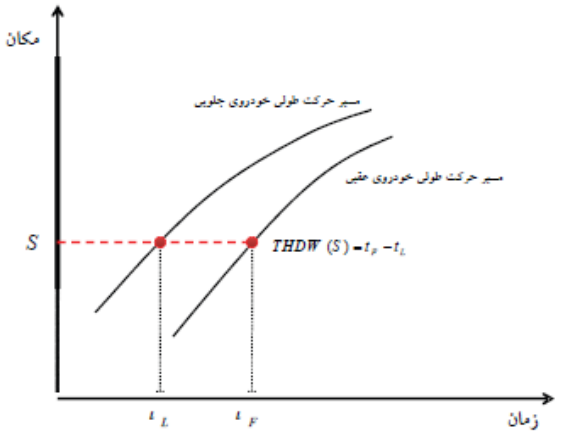
شاخص ها و موتورهای استنتاج فازی جهت تعیین هشدار استفاده شده است. به عنوان نمونه میلانز با فازی سازی مقادیر دو شاخص زمان تصادف و سرفاصله زمانی، خروجی سامانه هشدار را در سه وضعیت غیرفعال، میانه و فعال با قواعد فازی تعریف کرده است .

صفارزاده و همکاران نیز نشان داده اند، شاخص زمان تا تصادف در برخی از مواقع نمی تواند موقعیت تصادف را نشان دهد، و شاخص جدیدی را برای این تصادفات عقب به جلو معرفی نمودند، که شاخص پیشنهادی نیازمند اطلاع از حداکثر شتاب ترمز خودروی جلویی است. از سوی دیگر شاخص زمان تا تصادف در برخی از سناریوهای غیرخطرناک هشدارهای نابجایی را می دهد. این مساله موجب عدم اعتماد راننده به سامانه و غیرفعال کردن آن می شود. تیموری و همکاران با اشاره به این مساله راهکاری را جهت تعیین موقعیت خطر بر اساس درخت تصمیم و شاخص های متعدد پیشنهاد داده اند.

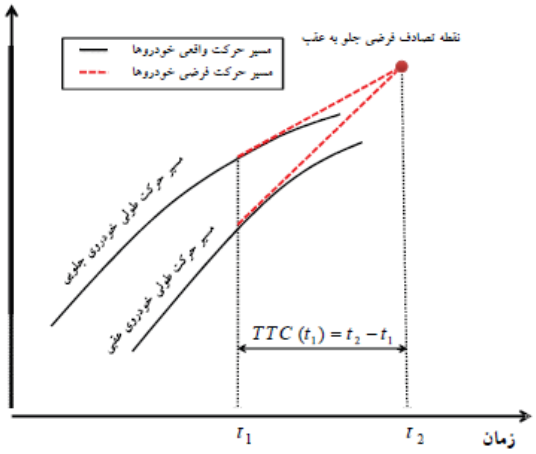
در هیچ کدام از تحقیقات مذکور تفاوتی که در تصادفات زنجیره ای نسبت به تصادفات عقب به جلو معمول رخ می دهد، اشاره نشده است .

سامانه های هشدار تصادفات عقب به جلو، به دو عامل اصلی بستگی دارند؛ اول فاصله بین دو خودرو که با شاخص های مربوطه محاسبه می گردد مانند زمان تا تصادف و دوم زمان درک و عکس العمل راننده عقبی از ترمز خودرو جلویی که این زمان بین ۰/۷۵ تا ۱/۹ ثانیه است. تمامی سامانه های مذکور این زمان را برای راننده منظور داشته اند. اما در تصادفات زنجیره ای این زمان به خودروهای عقب تر منتشر می شود و هر خودرویی نسبت به خودروی جلوی خود به طور متوسط ۱/۵ ثانیه دیرتر از ترمز اولین خودرو مطلع می گردد. در حالیکه با فناوری ارتباطات خودرویی، امکان اطلاع رسانی سریعتر از طریق چراغ خطر الکترونیکی به تمامی رانندگان قبلی وجود دارد. از اینرو رانندگان عقب تر قبل از روشن شدن چراغ ترمز خودرو جلوی خود، نسبت به کاهش سرعت خودرو جلویی در یک ثانیه آینده مطلع می شوند و امکان کنترل خودرو فراهم می گردد. از اینرو در سناریوهایی که شاخص های مرسوم ناکارا می باشند، امکان تعریف مدلی جهت هشداردهی بر اساس فاصله بین خودروها و شرایط آنها وجود دارد. ما در این پژوهش، با بررسی وضعیت شاخص ها در سناریوهای عقب به جلویی که در دید مستقیم حسگرها وجود ندارد، مدلی مبتنی بر شبکه فازی عصبی برای هشداردهی چراغ خطر الکترونیکی ارائه می کنیم. فازی نمودن این مدل موجب شده است تا سامانه نسبت به یک مقدار مشخص از حدآستانه برای شاخص ها حساس نباشد.

سامانه های هشدار تصادف شامل دو ماژول مجزا می باشند. ماژول نخست بخش ایمنی سامانه است که به مدل های هشداردهی بر اساس پارامترهای مختلف مانند سرفاصله زمان، زمان تا تصادف، سرعت نسبی و شتاب و مانند آن می پردازد و ماژول دوم بخش اطلاع از موقعیت می باشد که شامل استخراج موقعیت، سرعت و وضعیت دقیق خودرو و اطلاع رسانی آن به خودروهای دیگر در بستر ارتباطات بین خودرویی می باشد. آنچه در این مقاله به آن پرداخته می شود بخش ایمنی سامانه هشدار تصادف است و مباحث مربوط به نحوه ارسال داده ها در ارتباطات بین خودرویی یا تعیین دقیق خط عبوری و موقعیت یک خودرو در یک زنجیره از حوزه این مقاله خارج است. تحقیقات مفصلی در این حوزه ها صورت پذیرفته است که می توان به آنها مراجعه نمود.



الف



ب

شکل شماره ۲. الف) شاخص زمان تا تصادف ب) شاخص سرفاصله زمانی

در فصل بعد به بررسی شاخص های استفاده شده در این تحقیق می پردازیم. در فصل سوم سامانه فازی عصبی پیشنهادی را معرفی کرده و مشخصات مدل مربوطه را به تفصیل اشاره می کنیم. در فصل چهارم به ارزیابی سامانه پرداخته و در فصل انتهایی جمع بندی می نماییم.

۲. شاخص های وضعیت ایمنی

۲-۱ شاخص سرفاصله زمانی

زمان سپری شده بین عبور جلوی خودروی جلویی از مقطعی از جاده تا عبور جلوی خودروی عقبی از همان نقطه از جاده می باشد که از رابطه ۱ بدست می آید.

$$H = t_f - t_l \qquad (۱)$$

که در آن t_l زمانی است که خودروی جلویی از یک نقطه ای مشخص عبور کرده است، و t_f زمانی است که خودروی عقبی از آن از همان نقطه عبور می کند. شکل شماره ۲-الف این مقدار را نشان می دهد. در کشورهای مختلف حدود آستانه متفاوت و نزدیک به هم برای این شاخص معرفی نموده اند. به عنوان مثال در سوئیس حدآستانه ۳ ثانیه، ایالات متحده ۲ ثانیه و آلمان ۱٫۸ ثانیه را در نظر گرفته است. در ارتباطات بین خودرویی، مکان و زمان خودرو مبتنی بر اطلاعات موقعیت یاب فراگیر می باشد، از اینرو محاسبه شاخص سرفاصله زمانی از طریق به انتشار اطلاعات امکان پذیر است. این شاخص در هر حالتی بین دو خودرو قابل محاسبه می باشد.

۲-۲ شاخص زمان تا تصادف

این شاخص معروف ترین شاخص ارزیابی وضعیت ایمنی و تشخیص موقعیت های خطرناک می باشد. این شاخص صرفا زمانی که سرعت خودروی عقبی بیشتر از سرعت خودروی جلویی باشد، قابل تعریف است و 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 می آید.

$$TTC(t) = \frac{x_l(t) - x_f(t)}{v_l(t) - v_f(t)} \qquad v_f(t) > v_l(t) \qquad (۲)$$

که در آن $x_l(t)$ معرف موقعیت خودرو جلویی، $x_f(t)$ معرف موقعیت خودرویی عقبی است، با توجه به اینکه اختلاف این دو مدنظر می باشد در سامانه هایی که از حسگرهای محیطی استفاده

می نمایند، فاصله دو خودروی بدست آمده از حسگرها محاسبه می گردد. همچنین $v_l(t)$ معرف سرعت خودرو عقبی و $v_f(t)$ معرف سرعت خودرو جلویی می باشد. طبق این رابطه همانگونه که درشکل ۲.ب مشاهده می شود، دو خودرو بدون تغییر سرعت پس از $t_2 - t_1$ ثانیه به یکدیگر برخورد می نمایند. حد آستانه این شاخص نیز در محدود ۳ تا ٤ ثانیه تعریف شده است.

آنچه اهمیت دارد، رابطه این شاخص ها با موقعیت های خطرناک و منجر به تصادف است. شاخص سرفاصله به نوعی معرف فاصله دو خودرو با یکدیگر بر اساس سرعت آنهاست و می تواند نشان دهنده وضعیت بالقوه خطر باشد اما به تنهایی نمی تواند رهانایی برای اعلام هشدار خطر به راننده باشد. به عنوان مثال دو خودرو ممکن است در سرعت بالا و فاصله کم از یکدیگر در حال حرکت با سرعتی مساوی باشند، فعال کردن سامانه هشدار در حالیکه سناریوی تصادف وجود ندارد، موجب کاهش اعتماد راننده به سامانه می گردد. لذا از این شاخص به تنهایی به عنوان معیاری برای هشدار خطر استفاده نمی شود. در مقابل شاخص زمان تا تصادف صرفا در صورتی که سرعت خودروی جلوی کمتر از خودروی عقبی است، قابل تعریف و محاسبه است. از اینرو زمانی که دو خودرو فاصله کمی دارند و به ناگهان سرعت خودروی جلویی کاهش می یابد، شاخص زمان تا تصادف، نمی تواند به موقع نسبت به بروز تصادف اطلاع رسانی نماید. نکته حایز اهمیت این است که شاخص زمان تا تصادف در تشخیص شرایط هشدار ضعیف عمل می کند و در برخی موارد خطر به موقع تشخیص انجام نمی پذیرد و درصد تشخیص موقعیت های خطرناک توسط این سیستم ها در زمان مناسب پایین است. از سوی دیگر هرچند ارتباط تعریف شده ای بین این دو شاخص وجود ندارد و تا حدی مستقل هستند، اما نشان داده می شود زمان تصادف نمی تواند کمتر از سرفاصله زمانی باشد. ارتباط این دو شاخص و وضعیت ایمنی در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ارتباط بین زمان تا تصادف، فاصله زمانی و ایمنی

		فاصله زمانی	
		کم	زیاد
زمان تا تصادف	کم	خطر قریب الوقوع	غیرممکن
	زیاد	خطر بالقوه	ایمن

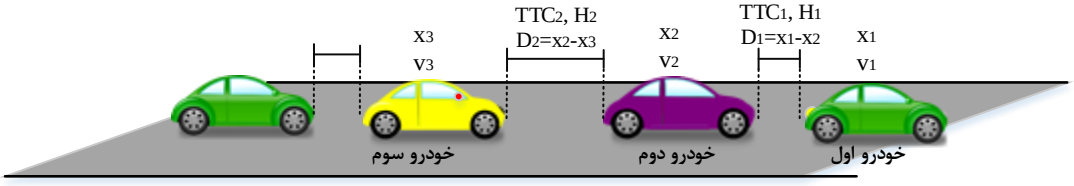
۳. مدل پیشنهادی

تصادفات زنجیره ای دسته از تصادفات عقب به جلو هستند که چندین خودرو در تصادف درگیر می شوند. این تصادفات که عمدتا در بزرگراه ها و معابر با سرعت بالا رخ می دهد، حجم بالایی از خسارات مالی و جانی تصادفات عقب به جلو را تشکیل می دهند. از سوی دیگر ترافیک حاصل از این تصادفات و زمان پاکسازی صحنه تصادف نیز در این دسته از تصادفات قابل توجه می باشد. اما تفاوت اصلی که در این دسته از تصادفات وجود دارد، در این است که امکان هشداربه موقع به راننده خودروهای عقبی که در دید مستقیم خودرو جلویی نیستند و کاهش سرعت ناگهانی آنرا مشاهده نمی کنند، وجود ندارد. از اینرو سامانه های هشدار تصادف با شاخص های تعیین شده مانند زمان تا تصادف، کارایی خود را برای خودروهای عقب تر از دست می دهند و نتواند به موقع هشداردهی انجام پذیرد. یکی از زمان های موثر در تمامی سامانه های هشدار تصادف، زمان درک راننده بعد از روشن شدن چراغ ترمز خودروی جلویی و عکس العمل آن برای کاهش سرعت و گرفتن ترمز می باشد که این زمان بین ۰/۷۵ تا ۱/۹ ثانیه است. در تصادفات زنجیره ای این زمان به خودروهای عقب تر منتشر می شود و هر خودرویی نسبت به

خودروی جلوی خود به طور متوسط ۱/۵ ثانیه دیرتر از ترمز اولین خودرو مطلع می گردد .

از اینرو با استفاده از چراغ خطر الکترونیکی، ترمز خودروی پیشین به اطلاع تمامی خودروهای مجاور از جمله خودروهای پشت سر می رسد. این اطلاع رسانی در کمتر از چند صد میلی ثانیه رخ می دهد، از اینرو امکان اطلاع سریعتر رانندگان خودروهای پشت سر زودتر از مشاهده چراغ خطر خودرو فراهم می شود. تقی زاده و همکاران در یک سناریو خاص نشان داده اند در صورتی که زمان ارسال پیام بین خودرو اول (جلوترین خودرو) با خودرو سوم کمتر از ۰,٤ ثانیه باشد، از برخورد خودرو سوم جلوگیری می شود و راننده آن می تواند قبل از رسیدن به خودرو دوم وسیله متوقف نماید .

یکی از چالش های سامانه های هشدار تشخیص درست و به موقع وضعیت خطر و هشدار به راننده است. از یک سو عدم هشدار موجب بروز تصادف می گردد و از سوی دیگر هشدارهای نابجا و غیرضروری موجب کاهش اعتماد راننده به سامانه و بعضا غیرفعال کردن سامانه توسط راننده می شود. از اینرو تشخیص درست موقعیت خطر در این دسته از سامانه ها از اهمیت زیادی برخوردار است. در مدل پیشنهادی، بر اساس یک شبکه فازی عصبی شاخص های فاصله زمانی بین خودرو اول و دوم (H_1)، فاصله زمانی بین خودرو دوم و سوم (H_2)، و زمان تا تصادف بین خودرو دوم و سوم (TTC_2)، در یک زنجیره سه تایی خودرویی، نسبت به هشدار یا عدم هشدار به راننده تصمیم گیری می نمایند. ویژگی منحصر بفرد این مدل، در نظر گرفتن رابطه خودروها و شاخص های آنها با یکدیگر است. این ویژگی موجب است، اعلام هشدار به راننده صرفا بر اساس فاصله تا خودرو جلویی انجام نپذیرد و دقت تشخیص های درست و به موقع افزایش یافته و هشدارهای نابجا کاهش یابد. شکل شماره ۳ شاخص ها و پارامترهای بین هر سه خودرو را نشان می دهد. این رابطه می تواند بین هر سه خودرو متوالی در یک زنجیره در نظر گرفته شود.



شکل شماره ۳. شاخص‌های دخیل در موتور استنتاج

۳-۱ شبکه فازی عصبی تطبیقی

شبکه فازی- عصبی تطبیقی[۳] اولین بار توسط شینگ ارائه گردید. در این مدل رابطه میان داده های ورودی و خروجی بر اساس یک سامانه استنتاج فازی برقرار است. توانایی این شبکه به عنوان تقریب گری که قابلیت آموزش بر اساس شبکه عصبی و تقریب محلی بر اساس مدل فازی سوگنو را دارد موجب شده است توابع عضویت و موتور استنتاج فازی مطابق با داده آموزش تشکیل گردد.

این شبکه شامل پنج لایه مختلف می باشد که به شرح ذیل است:

لایه اول: ورودی های این لایه همان مقادیر ورودی شامل شاخص سرفاصله زمانی بین هر دو خودرو (H_1 و H_2) و فاصله تا تصادف بین خودرو دوم و سوم (TTC_2) است. نودها در این لایه تطبیقی هستند و خروجی این لایه تابع عضویت گوسینی

است که پارامترهای آن (a,b) در طول آموزش شبکه بدست می آید. مقدار خروجی نودهای این لایه به صورت ذیل محاسبه می شوند. تعداد تابع عضویت برای هر ویژگی ورودی دو تا در نظر گرفته شده است که معادل مقدار "کم" و " زیاد" برای هر ورودی است. i معرف تعداد ورودی ها و j معرف تعداد تابع عضویت هر ورودی است.

$$O_{1,j} = \mu_{x_i,j}(y) = exp\left(-\left(\frac{y-a}{b}\right)^2\right)$$
$$i = 1,2,3 \quad j = 1,2$$

لایه دوم: این لایه شامل گره هایی است که قواعد استنتاج را ایجاد می نمایند. در این لایه مقادیر تعلق ورودی ها به هر یک از توابع عضویت در یکدیگر ضرب می گردد و به ازای هر گره خواهیم داشت:

$$O_{2,j} = w_j = \prod_i \mu_{x_i,j}(y)$$
$$i = 1,2,3 \quad j = 1,2$$

به بیان شبکه عصبی، خروجی هر گره در این لایه معرف شدت برانگیختگی یک قاعده می باشد. ضرب توابع عضویت معرف عملگر "و" در منطق فازی می باشد که شکل دیگری از پیاده سازی شرط در منطق فازی است و همانگونه که اشاره شد تعداد گره ها در این لایه معرف تعداد قواعد شرطی موتور استنتاج می باشند.

لایه سوم: در این لایه نیز تعداد گره ها برابر با تعداد قواعد می باشد. هر گره در این لایه معرف میزان برانگیختگی یک قاعده نسبت به برانگیختگی تمامی قواعد می باشد. به بیان ساده تر رابطه ذیل معرف مقدار محاسبه شده در هر گره از این لایه می-باشد. در حقیقت مقادیر wها در این لایه نرمال می شوند.

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

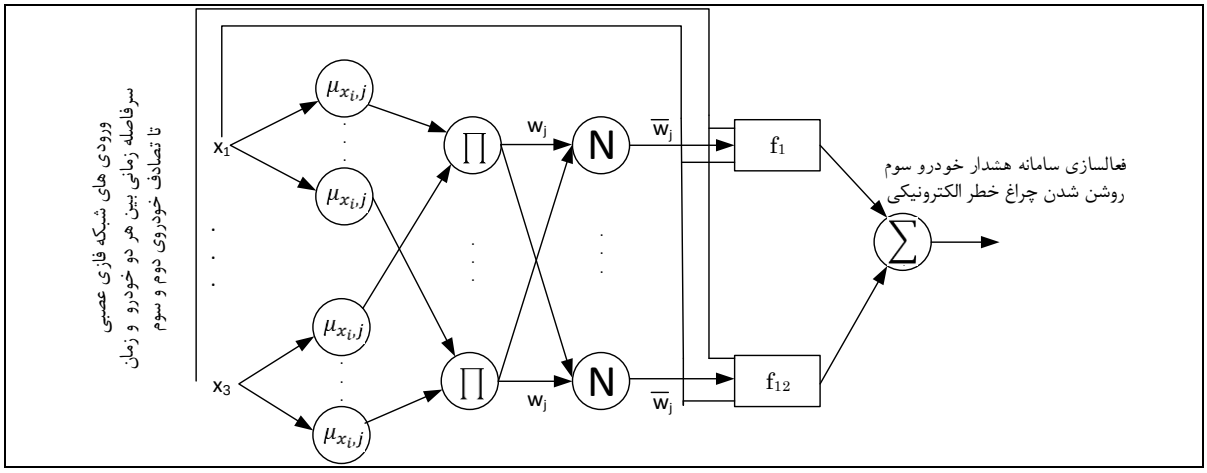
لایه چهارم: هر نود در این لایه تطبیقی است و پارامترهای $p_{i,j}$ در طول آموزش بدست می آید. مقادیر نرمال شده w ها که از لایه چهارم بدست آمده است در پارامترهای استنتاجی ضرب می گردد و رابطه زیر برای هر گره در این لایه محاسبه می گردد:

$$O_{4,j} = \overline{w}_j \left(\sum_i p_{i,j}.x_i + p_{i+1,j}\right)$$
$$i = 1,2,3 \quad j = 1,2$$

لایه پنجم: این لایه شامل گره (های) نهایی است که خروجی مدل را نشان می دهد. خروجی مدل بر اساس تجمیع مقادیر هر یکی از گره های لایه پنجم بدست می آید که در رابطه زیر نشان داده شده است.

$$O_5 = \sum_j O_{4,j} = \sum_j \overline{w}_j \left(\sum_i p_{i,j}.x_i + p_{i+1,j}\right)$$
$$i = 1,2,3 \quad j = 1,2$$

شکل شماره شکل ٤ ساختار ٥ لایه مدل پیشنهادی را نشان می-دهد.



شکل شماره ٤. ساختار شبکه فازی-عصبی تطبیقی

٤. ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی نتایج و بررسی میزان دقت مدل ارائه شده، از داده های مجموعه معیار[٤] NGSIM استفاده شده است. این داده ها شامل بیش از ۱۱ میلیون رکورد از وضعیت حدود ۳۳۰۰ خودرو می باشد. این وضعیت شامل مکان، سرعت، شتاب، خودروی جلویی، فاصله تا خودرو، طول و عرض خودرو در هر ۱۰۰ میلی ثانیه می باشد. از این داده ها، تعداد ۳,۷۰۰,۰۰۰ رکورد در بزرگراه I-80 ایالت کالیفرنیا می باشد که به ازای هر خودرو مقادیرسرفاصله زمانی و زمان تا تصادف محاسبه گردید. سپس زنجیره های سه تایی در این مجموعه که مقادیر زمان تا تصادف باری آنها قابل تعریف بودند استخراج گردید که مجموعا ۸٤٤۰۰۰ زنجیره سه تایی استخراج گردید.

در گام بعد وضعیت هشدار در این ۸٤٤۰۰۰ رکورد مورد ارزیابی قرار گرفت. روش ارزیابی بدین صورت می باشد که فرض بر این بوده است اگر خودرو جلویی به هر دلیل با شتاب متعارف که حدود ۲ متر بر مجذور ثانیه است ترمز نماید در چند سناریو برخورد خودرو دوم و سوم را خواهیم داشت.

در ارزیابی ها شتاب منفی خودرو دوم به گونه ای تعیین شده است که تصادفی بین خودرو اول و دوم رخ ندهد. همچنین ترمز خودرو سوم حداکثر مقدار خود یعنی ۷ متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته شده است. از اینرو در سناریوهای تصادف خودرو سوم حتی با وجود حداکثر شتاب منفی (ترمز) هم نمی تواند از وقوع تصادف با خودرو دوم جلوگیری نماید.

به منظور ارزیابی هشدار، در سناریوهایی که سامانه هشدار چراغ الکترونیکی خطر فعال می شود، زمان درک راننده سوم از ترمز راننده اول ۱/۵ ثانیه در نظر گرفته شده است. در حالیکه اگر هشدار چراغ الکترونیکی فعال نشود این زمان ۳ ثانیه محسوب گردیده است. (۱/۵ ثانیه زمان درک راننده خودرو دوم از ترمز خودرو اول و ۱/۵ ثانیه زمان درک راننده خودرو سوم از ترمز خودرو دوم محسوب شده است.)

لذا سه سناریو در تعامل بین خودروها بعد از کاهش سرعت خودرو اول متصور است. این سه سناریو عبارتند از:

الف- شرایطی که عکس العمل خودرو سوم بعد از ۳ ثانیه موجب کنترل خودرو شده و هیچ تصادفی رخ نمی دهد. در این سناریوها روشن شدن چراغ خطر الکترونیکی به نوعی

هشدار نابجا (مثبت کاذب[۵]) است و موجب کاهش اعتماد راننده به سامانه هشدار می شود.

ب- شرایطی که عکس العمل خودرو سوم بعد از ۳ ثانیه موجب تصادف می شود اما در صورتی که زودتر از این زمان و در فاصله ۱/۵ ثانیه بعد از ترمز خودرو اول این اطلاع رسانی انجام شود (چراغ خطر الکترونیکی روشن شود) موجب کنترل به موقع خودرو خواهد شد و از تصادف جلوگیری می گردد. وظیفه سامانه هشدار تصادف، فعال شدن در این شرایط است و این دسته از موارد مثبت صحیح[۶] محسوب می گردند و در صورت عدم هشدار در این سناریوها در سامانه منفی کاذب[۷] رخ می دهد.

ج- شرایطی که عکس العمل راننده چه بعد از ۳ ثانیه و چه حتی بعد از ۱/۵ ثانیه تاثیری بر وقوع تصادف ندارد و فعال شدن یا نشدن چراغ خطر الکترونیکی موجب جلوگیری از تصادف نمی شود. در این صورت سامانه های هشدار تصادف عقب به جلو متعارف بایستی زودتر فعال گردند تا هشدار لازم به راننده خودرو سوم داده شود و ارتباطی به چراغ خطر الکترونیکی و سامانه هشدار مربوط به آن ندارد. در این موارد نیز فعال شدن سامانه بی فایده است و مثبت کاذب تلقی می گردد.

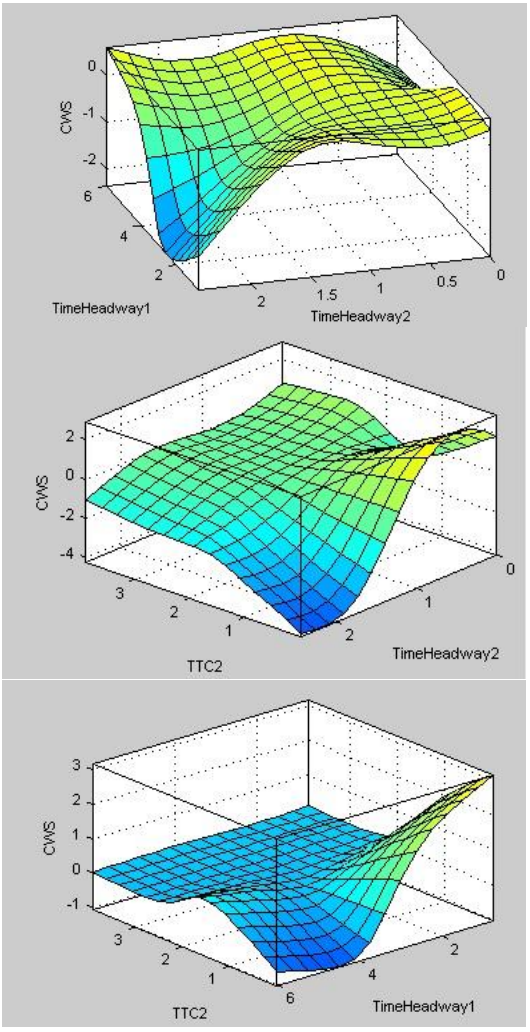
پس از بررسی سناریو های ممکن در داده های تمیز شده، از ۲۲۹۶ سناریو تعداد ۱۱۶۷ سناریو از دسته سناریوهای الف،تعداد ۸۱۶ سناریو ب و تعداد ۳۱۲ مورد از دسته سناریوهای ج می باشند. نتایج خروجی شبکه فازی عصبی به صورت عددی بین ۰ تا ۲ بدست آمده است که صفر معرف سناریو الف، ۱معرف سناریو ب و ۲ معرف سناریو ج می باشد. ماتریس ترکیب نتایج بدست آمده در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول شماره ۲. ماتریس ترکیب

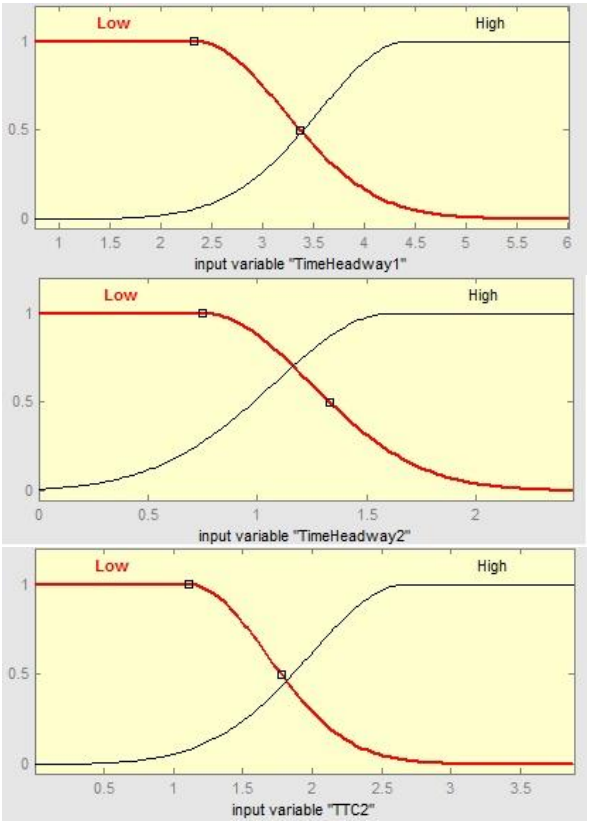
خروجی/ هدف	سناریو الف	سناریو ب	سناریو ج	بازخوانی
سناریو الف	۱۰۹۷	٦٥	۰	۹٤/٤
سناریو ب	۷۰	۷۰٦	۲۲	۸۸/٥
سناریو ج	۰	٤٦	۲۹۰	۸٦/۳
صحت	۹٤	۸٦/٤	۹٤	**دقت:** ۹۱/۲

همانگونه که نتایج نشان می دهد، مدل پیشنهادی توانسته است با دقت ۹۱/۲ درصد به موقع هشدار دهی نماید و میزان مثبت کاذب و منفی کاذب به ترتیب برابر ۱۱ درصد و ۱۳ درصد می باشد.

شکل شماره ۵ نسبت مقادیر مختلف ویژگی های ورودی ها نسبت به نتیجه نهایی نشان می دهد. همچنین توابع عضویت که براساس آموزش شبکه عصبی برای هر ورودی به دست آمده است در شکل شماره ٦ نشان داده شده است.



شکل شماره ۵. نسبت مقادیر ورودی به خروجی



شکل شماره ٦. توابع عضویت ورودی های شبکه فازی عصبی

۵. جمع بندی

تصادفات عقب به جلو بیشترین سناریوهای تصادفات خودرویی را به خود اختصاص داده است. از اینرو سامانه های هشدار تصادفات خصوصا در این دسته از سناریوها از اهمیت ویژه ای برخوردارند. سامانه های مرسوم هشدار مبتنی بر حسگرهای محیطی خودرو مانند سونار و لیدار می باشند که در سناریوهای تصادفات زنجیره ای کارایی لازم را ندارند. در این دسته از تصادفات خودروهای عقبی به واسطه تاخیر در تشخیص ترمز خودرو پیشین، امکان کنترل و کاهش به موقع سرعت را نداشته و موجب بروز تصادفات زنجیره ای می گردد.

از اینرو چراغ خطر الکترونیکی مبتنی بر فناوری ارتباطات بین خودرویی معرفی گردید. در این سامانه کاهش سرعت خودرو پیشین با استفاده از ارسال پیغام بر بستر ارتباطات بی سیم به تمامی خودروهای عقبی اطلاع داده می شود.

اما تشخیص هشداردهی به راننده در این سامانه ها اهمیت زیادی دارد. از یک سو عدم هشدار موجب بروز تصادف گردیده و از سوی دیگر هشدار نابجا، غیر ضروری و مکرر موجب کاهش اعتماد راننده به سامانه و بعضا غیرفعال کردن آن توسط راننده می شود. عمده پژوهش های به منظور تشخیص وضعیت خطر و هشدار دهی از تعریف حدآستانه برای شاخص زمان تا تصادف استفاده می نمایند. این شاخص خصوصا در تصادفات زنجیره ای کارایی لازم را ندارد.

ما در این پژوهش یک سامانه فازی چراغ خطر الکترونیکی به منظور هشدار دهی به رانندگان در سناریوهای زنجیره ای ارائه داده ایم. در این سامانه ابتدا شاخص های زمان تا تصادف و فاصله زمانی بین هر دو خودرو متوالی محاسبه گردیده و سپس با استفاده از یک شبکه فازی عصبی تطبیقی نسبت به هشدار دهی به رانندگان عقبی تصمیم گیری می نماید. دو تابع عضویت برای هر ورودی در نظر گرفته شده است که وضعیت "کم" یا "زیاد" بودن شاخص را به صورت فازی بیان می کند. همچنین قوانین فازی در شبکه عصبی فازی براساس آموزش شبکه بدست می آید.

در این تحقیق از داده های معیار NGSIM استفاده گردیده است و نتایج نشان می دهد دقت سامانه در تشخیص هشدار تصادف ۹۱/۲ می باشد و میزان مثبت کاذب و منفی کاذب در سامانه به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد است.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. Time to Collision
2. Time Headway
3. Adaptive Network Fuzzy Inference Systems
4. Benchmark
5. False Positive
6. True Positive
7. False Negative

۷. مراجع

– ناصرعلوی سیدصابر, صفارزاده محمود, ممدوحی امیررضا, ندیمی نوید. معرفی شاخص ایمنی ترمزگیری اضطراری جهت تشخیص به موقع تصادفات جلو به عقب فصلنامه مهندسی حمل و نقل، شماره ۳، ۱۳۸۹.

– فاطمه تیموری، مهدی قطعی. قوانین, سیستم دستیار راننده هشدار تصادفات جلو به عقب براساس *قوانین* استخراج شده از روش‌های طبقه‌بندی هوشمند سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، ۱۳۹۲.

- Najm, W. G., Sen, B., Smith, J. D., & Campbell, B. N. (2003). Analysis of light vehicle crashes and pre-crash scenarios based on the 2000 General Estimates System (No. DOT-VNTSC-NHTSA-02-04,).

- National highway traffic safety administration (NHTSA) (2012) Traffic safety facts.

- K. Vogel, " A comparison of headway and time to collision as safety indicators.," Accident analysis & prevention, 35(3), 427-433., 2003.

on Wireless Communications and Networking. 2015:32.

- Donghoun Lee and Hwasoo Yeo. (2016) Real-Time Rear-End Collision-Warning System Using a Multilayer Perceptron Neural Network. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, Vol. 17, No. 11.

- Taghizadeh, M., Biswas, S., & Dion, F. (2013). Chain Collision Accident: Causes and Avoidance Techniques. In Wireless Vehicular Networks for Car Collision Avoidance (pp. 121-142). Springer New York.

- Vogel, K. (2002). What characterizes a "free vehicle" in an urban area? Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 5(1), 15-29.

- Jang, J-SR. "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system." IEEE transactions on systems, man, and cybernetics 23, no. 3 (1993): 665-685

- Next Generation Simulation NGSIM Vehicle Trajector (2019). https://data.transportation.gov/Automobiles/Next-Generation-Simulation-NGSIM-Vehicle-Trajector/8ect-6jqj

- Kristofer D. Kusano and Hampton C. Gabler. (2012).Safety Benefits of Forward Collision Warning, Brake Assist, and Autonomous Braking Systems in Rear-End Collisions. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, Vol. 13, No. 4.

- Horst, R. V. D. (1991). Time-to-collision as a cue for decision-making in braking. VISION IN VEHICLES--III.

- Nilsson, L., Alm, H., & Jansson, W. (1992). Collision avoidance systems: Effects of different levels of task allocation on driver behaviour. VTI särtryck, (182).

- Hirst, S., & Graham, R. (1997). The format and presentation of collision warnings. Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces, 203-219.

- Leonardo Gonzalez Alarcon, Myriam Elizabeth Vaca Recalde, Mauricio Marcano, Enrique Marti (2018). Adaptable Emergency Braking Based on a Fuzzy Controller and a Predictive Model. IEEE International Conferenceon Vehicular Electronics and Safety (ICVES)

- Milanés, V., Pérez, J., Godoy, J., & Onieva, E. (2012). A fuzzy aid rear-end collision warning/avoidance system. Expert Systems with Applications, 39(10), 9097-9107.

- Seyed Mehdi Iranmanesh, Ehsan Moradi-Pari, Yaser P. Fallah, Sushanta Das, Muhammad Rizwan (2016). Robustness of Cooperative Forward Collision Warning Systems to Communication Uncertainty.

- Ming-Fong Tsai, Yung-Cheng Chao, Lien-Wu Chen, Naveen Chilamkurti and Seungmin Rho.(2015). Cooperative emergency braking warning system in vehicular networks. Journal