

ارائه یک سیستم دستیار راننده مبتنی بر ارتباطات بین خودرویی با استفاده از منطق فازی

مهدی اسمعیل اوغلی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

صالح یوسفی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

E-mail: s.yousefi@urmia.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۸ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۶

چکیده

در این مقاله با بهره‌گیری از امکان ارتباطات بین خودرویی، یک سیستم ایمنی کمک راننده براساس منطق فازی طراحی شده است. در این سیستم پیشنهادی، هر خودرو اطلاعاتی مانند سرعت، چگالی و درجه تخطی راننده را از خودروهای همسایه با استفاده از ارتباطات بین خودرویی دریافت کرده و سپس با استفاده از یک سیستم فازی، ایمنی خود را سنجیده و به راننده پیشنهاد لازم برای ایمنی بالاتر را ارائه می‌کند. افزون بر این سیستم پیشنهادی در مورد ایمن بودن مانورهای تغییر خط مانند سبقت و انحراف به چپ و راست، به راننده کمک می‌کند. نتایج شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی نشان می‌دهد که این سیستم در نهایت باعث کاهش حدود ۶۰٪ تصادفات می‌شود. در شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی در مانورهای مختلف نیز کاهش ۷۷٪ تصادفات در مانور سبقت، کاهش ۷۴٪ در مانور انحراف به راست و دور زدن به سمت راست و کاهش ۸۲٪ در مانورهای انحراف به چپ و دور زدن به سمت چپ، مشاهده شده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم ایمنی کمک‌راننده، ایمنی جاده، پیشگیری از تصادف، منطق فازی

۱. مقدمه

پرداخته می‌شود. در بخش چهارم، سیستم پیشنهادی معرفی شده برای کاهش تصادفات و در نتیجه افزایش ایمنی جاده، به طور کامل تشریح داده خواهد شد. در بخش پنجم، کارایی سیستم کمک‌راننده پیشنهادی ارزیابی می‌شود. در بخش ششم نیز نتیجه‌گیری کارهای انجام شده و مسیر کارهای آینده بیان می‌شوند.

۲. مرور کارهای انجام شده

مقالات زیادی در زمینه جلوگیری از تصادفات خودرویی وجود دارد که برخی از آنها به بررسی تأثیر رفتار راننده در تصادفات رانندگی می‌پردازند مانند مقاله [Mohammadza- deh Moghaddam and Ayati, 2014]. نویسندگان این مقاله تحقیقی در ایران (شهر مشهد) انجام داده‌اند که طی آن با استفاده از داده‌های خامی که از طریق ۳۰۰۰ پرسشنامه به دست آورده‌اند و پردازش این داده‌ها، مقادیر تخلف رانندگی را به عنوان معیاری برای رفتار راننده در این شهر محاسبه نمودند. این پارامتر که یک عدد بین ۰ و ۵ است، میزان تخلفی رانندگان را در جاده‌ها مشخص می‌کند. به طوریکه عدد ۰ به معنی یک رانندگی آرام است و عدد ۵ به معنی یک رانندگی دیوانه‌وار از سوی راننده مورد نظر است. مقادیر تخلف رانندگی بر اساس یک سری ویژگی شخصی افراد (سن، میزان تحصیلات، جنسیت و نوع شخصیت) محاسبه می‌شود.

برخی دیگر از مقالات تأثیر عوامل مختلف بر تصادفات را مطالعه کرده‌اند مانند مقالات [Kononov et.al, 2012, Kononov, Lyon, and Allery, 2011] که تأثیر چگالی و سرعت و شدت جریان ترافیکی را بررسی کرده‌اند. نتیجه به دست آمده از این دو مقاله نشانگر این است که سرعت، عامل اصلی تصادفات است و تأثیر شدت جریان ترافیکی و چگالی در مقایسه با سرعت، قابل اغماض است. به طوری که ایمنی جاده با تغییر سرعت، به شکل نمایی تغییر می‌کند، اما تأثیر چگالی و جریان، خطی است. مقالات بسیاری برای جلوگیری از تصادفات با سیستم هوشمند ارائه شده‌اند. برخی سیستمها به تصادفات قریب‌الوقوع (در

طبق آمار سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۳، ۱/۴ میلیون نفر بر اثر تصادفات رانندگی جان خود را از دست داده‌اند. در صورتی که طبق آمار همین سازمان، در سال ۲۰۰۲ میزان مرگ و میر جاده‌ای برابر ۱/۲ میلیون نفر بوده است [Saunier, Sayed and Lim, 2007] این آمار نشانگر این امر است که با در نظر گرفتن افزایش روزافزون تعداد خودروها و ترافیک جاده‌ای، سیستم‌های حمل و نقل هوشمند (ITS) کنونی موفقیت نسبی داشته‌اند. با این وجود برای کنترل بهتر تعداد و شدت تصادفات، لازم است سیستم‌های حمل و نقل هوشمند توسعه بیشتری پیدا کنند. در این راستا یکی از فناوری‌هایی که اخیراً مورد اقبال کشورها و مجامع علمی قرار گرفته است، بهره‌گیری از ارتباطات بین‌خودرویی^۲ است که می‌تواند در کنار سایر تکنیک‌های موجود کارایی بیشتری برای سیستم‌های کنونی حمل و نقل هوشمند به ارمغان آورد. در این فناوری، خودروها به تجهیزات مخابراتی برد کوتاه بر اساس پشته WAVE [Morgan, 2010] مجهز بوده و با تبادل اطلاعات با خودروهای دیگر و همچنین زیرساخت کنار جاده‌ای، امکان اجتناب از بسیاری از تصادفات مهیا می‌شود. به شبکه‌ای که در این حالت شکل می‌گیرد شبکه موردی بین خودرویی (VANET^۳) گفته می‌شود.

در این مقاله سیستمی بر مبنای منطق فازی و بهره‌گیری از شبکه موردی بین‌خودرویی پیشنهاد شده است که وضعیت ایمنی و احتمال وقوع تصادفات جلو به عقب^۴ را پیش‌بینی کرده و به راننده در انجام مانورهای مختلف رانندگی، کمک می‌کند. در راهکار پیشنهادی، هر خودرو با استفاده از ارتباطات بین‌خودرویی، از وضعیت خودروهای همسایه از نقطه نظر سرعت، چگالی و درجه تخلف رانندگی^۵ مطلع می‌شود. سپس این داده‌ها طی چند مرحله پردازش شده و در نهایت به افزایش ایمنی حرکت راننده در جاده و همچنین در انجام مانورهای مختلف می‌انجامد.

مقاله به شکل زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم کارها و تحقیقات انجام شده در این زمینه مرور خواهد شد. در بخش سوم به معرفی فرضیات مسأله و عوامل مختلف موثر در تصادف

از خودرو جلویی و بازگشت به مکان اول)، مشخص می‌کند. یکی از شایع‌ترین انواع تصادفات، تصادفات جلو به عقب (rear-end) است که درصد قابل ملاحظه‌ای از تصادفات را در کشورهای مختلف شامل می‌شود. به عنوان مثال، ۴۴/۳ درصد از کل تصادفات کشور اسپانیا از نوع جلو به عقب است [Milanés et al. 2012]. درصد این نوع تصادفات در جاده‌ها حتی بیشتر از این مقدار است. برای جلوگیری از تصادفات جلو به عقب می‌توان به دو صورت زیر عمل کرد: ۱) تغییر به‌هنگام سرعت: یعنی زمانی که سیستم، تصادف با خودرو جلویی (عقبی) را قریب‌الوقوع تشخیص داد، سرعت خودرو برای جلوگیری از آن تصادف کاهش (افزایش) یابد. ۲) تغییر مسیر حرکت خودرو: یعنی برای جلوگیری از برخورد با خودرو جلویی یا عقبی، راننده مسیر حرکت خودرو را عوض کند.

طی سالهای گذشته فعالیت‌های تحقیقاتی متعددی در زمینه کاربرد ارتباطات بین خودرویی در کاهش تصادفات و سیستم‌های کمک‌راننده صورت گرفته است. مقاله [Naranjo et al. 2008] از طریق یک شبکه بی‌سیم، ارتباطات بین خودرویی را برقرار می‌سازد و از آن برای ارسال داده‌های خودروها استفاده می‌کند. این ارتباطات برای ارسال داده‌های دریافتی از GPS و سایر اطلاعات -که برای بررسی پارامترهای سبقت نیاز است- استفاده می‌شود. مقاله [Milanés et al. 2012] نیز از شبکه بی‌سیم بین خودرویی برای ارسال اطلاعات خام بهره می‌گیرد. این اطلاعات سپس برای محاسبه فاصله زمانی تا تصادف و سایر محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اکثر فعالیت‌هایی که از سیستم‌های هوشمند در رانندگی استفاده می‌کنند، ارتباطات بین خودرویی یک زیرساخت بسیار مهم و ضروری است. نویسندگان مقاله [Milanés et al. 2012] موضوع تصادفات از نوع جلو به عقب را در سال ۲۰۱۲ برای کشور اسپانیا مورد مطالعه قرار داده‌اند. در روش پیشنهادی، از سیستم‌های فازی برای تصمیم‌گیری استفاده شده است که داده‌های لازم برای تصمیم‌گیری با استفاده از شبکه‌های بین‌خودرویی تأمین می‌شود. ابتدا یک سیستم فازی در مورد اینکه "آیا سیستم دیگری به نام سیستم پیشگیری از تصادف فعال شود

حال وقوع) عکس‌العمل نشان می‌دهند. به عنوان نمونه در مقاله [Milanés et al. 2010] با استفاده از پارامترهای سرعت و فاصله خودروها، در تقاطع‌های شهری از تصادف جلوگیری می‌کنند و یا سعی در کاهش خسارات و تلفات دارند. برخی دیگر شرایط فعلی جاده و خودروهای همسایه را در نظر می‌گیرند و سپس با داده‌های موجود، احتمال تصادف را بررسی کرده و تصادف را در آینده پیش‌بینی می‌کنند و سپس برای اجتناب از آن تصادفات، راهکار ارائه می‌کنند. در سیستم پیشنهادی [Naranjo, et.at. 2007]، این کار را با استفاده از پردازش تصویر و محاسبات ریاضی خاصی انجام می‌دهد و به پیش‌بینی تصادف می‌پردازد.

برای کاهش تعداد و تلفات تصادفات جاده‌ای توسط یک سیستم هوشمند، حداقل دو روند کلی می‌توان متصور شد: ۱) رانندگی خودکار^۱ و ۲) سیستم‌های کمک‌راننده^۲. طراحی و پیاده‌سازی رانندگی خودکار در محیط واقعی، با توجه به فنآوری امروز هنوز در مراحل مقدماتی است [Milanés et al. 2012] و بیشتر در سرعت‌های پایین یا جاده‌های خلوت و یا برای یک لاین مشخص در جاده طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند و تا پیاده‌سازی کامل آن زمان زیادی در پیش است. به عنوان یک راهکار کوتاه‌مدت و عملی‌تر، امروزه تلاش بسیار زیادی در مجامع تحقیقاتی و صنعتی برای طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های کمک راننده در حال انجام است. به عنوان نمونه، اتوماتیک کردن برخی بخش‌های رانندگی مانند هدایت خودکار فرمان یا همان جهت خودرو بسیار مورد مطالعه و پیاده‌سازی قرار گرفته است و اینک روی مانورهای مختلف مثل سبقت و پارک اتوماتیک مطالعه می‌شود [Naranjo et al. 2008]. نویسندگان در مقاله [Naranjo et al. 2008] به بررسی مانور سبقت پرداخته و روشی را برای ایمن کردن این مانور پیشنهاد کرده‌اند. برای عمل سبقت، ۵ شرط معرفی شده که اگر آن شروط برقرار باشند زمان سبقت فرا رسیده است. سپس از یک سیستم فازی بهره می‌گیرند که جهت چرخش فرمان خودرو را در هر سه مرحله از سبقت (شروع سبقت، ادامه مسیر تا گذر

۳. فرضیات مسأله

در بخش قبل به معرفی کلی مسأله و کارهای قبلی پرداخته شد، در این قسمت فرضیاتی که سیستم پیشنهادی بر آنها استوار است را بیان می‌کنیم. به منظور مبادله اطلاعات، نیاز به وجود شبکه بی‌سیم بین خودرویی وجود دارد. بر این اساس فرض می‌شود تمام خودروها به فناوری بی‌سیم مجهز بوده و امکان تبادل اطلاعات کاملاً امن و قابل اطمینان میسر است. به عنوان مثال، امروزه فناوری WAVE، در بسیاری از محصولات جدید خودروسازان پیش‌بینی شده است. علاوه بر وجود شبکه بی‌سیم، فرض می‌شود تمامی خودروها مجهز به GPS نیز هستند. فرض می‌شود که جاده مورد بررسی دارای ۳ خط برای حرکت خودروها است و نیز حداکثر تعداد همسایگان هر خودرو ۸ همسایه است.

از عواملی که در وقوع تصادفات جاده‌ای تأثیر دارند، می‌توان از عوامل جاده‌ای، نقص فنی خودروها و رفتار راننده نام برد. از نقص‌های سخت‌افزاری جاده مانند عدم طراحی درست شیب جاده، نبود تابلوهای هشدار، نداشتن کیفیت مطلوب آسفالت جاده و غیره صرف‌نظر می‌شود. از نقص فنی و سخت‌افزاری خودروها نیز در این مقاله صرف‌نظر شده‌اند. عامل سوم، یعنی رفتار راننده می‌تواند باعث سرعت مطمئنه یا سرعت غیرمجاز، حرکت بین خطوط یا حرکات مارپیچ و غیره باشد که تأثیر زیادی در تصادفات دارد. مقالات بسیار زیادی در مورد رفتار راننده ارائه شده است [Chong et al. 2013]، [Reimer et al. 2013]، [Roidl et al. 2013]. در این مقاله، رفتار راننده با یک مقدار عددی به نام درجه تخلف رانندگی (violation) نشان داده می‌شود. این پارامتر در مقالات زیادی مطرح شده است [Lawton et al. 1997] ولی در این مقاله برای پارامتر درجه تخلف رانندگی، از تحقیقی که در ایران در مورد این موضوع انجام شده است [Mohammadza-deh Moghaddam and Ayati, 2014]، استفاده می‌کنیم. بر این اساس، درجه تخلف رانندگی یک مقدار عددی بین ۰ و ۵ است و میزان تخطی از قانون را مشخص می‌کند. نتایج [Mohammadza-deh Moghaddam and Ayati, 2014] نشان می‌دهد که در ایران، این عدد در بازه [۲/۳۸۸ ۰/۵۵۰] قرار دارد (البته این

یا خیر؟" تصمیم‌گیری می‌کند. سپس در صورت مثبت بودن پاسخ این سوال، سیستم فازی دیگری فعال شده و به صورت خودکار مانور مناسب را برای اجتناب از تصادف پیشنهاد می‌دهد. روش پیشنهادی این مقاله با روش ارائه شده در مرجع [Milanés et al. 2010] از این نقطه‌نظر متفاوت است که بر خلاف [Milanés et al. 2012]، تأثیر عامل درجه تخطی راننده در آن مورد مطالعه قرار گرفته است. به علاوه در این مقاله تصادفات جلو به عقب (rear-end) مورد نظر هستند، ولی در مرجع [Milanés et al. 2010]، تصادفات در تقاطع‌های شهری مطالعه شده‌اند. همچنین سیستم پیشنهادی در این مقاله بر خلاف سیستم پیشنهادی در [Naranjo, et al, 2008]، به عنوان یک سیستم کمک‌راننده عمل می‌کند، حال آنکه سیستم پیشنهادی مرجع [Naranjo et al, 2008]، یک سیستم اتوماتیک برای افزایش ایمنی مانور سبقت را مورد بررسی قرار داده است و در نتیجه تمام محدودیت‌های عملی سیستم‌های اتوماتیک رانندگی را دارا است. مقاله [Naser-Alavi, et al. 2010] تصادفات جلو به عقب را مورد تحلیل و بررسی قرار داده است و یک شاخص ایمنی ترمزگیری اضطراری جهت تشخیص به موقع تصادفات جلو به عقب پیشنهاد شده که می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌هایی نظیر زمان باقی مانده تا تصادف شود.

با توجه به ماهیت ایمنی و با توجه به اینکه در کارهای قبلی، کارایی مناسب روش‌های فازی در تشخیص ایمنی مسافرت‌های خودرویی مشاهده شده است، سیستم کمک راننده پیشنهادی در این مقاله نیز از یک سیستم فازی بهره می‌گیرد. این سیستم فازی وظیفه تشخیص میزان خطر خودروهای اطراف را برعهده دارد، به‌گونه‌ای که پس از دریافت داده‌های خام از خودروهای همسایه توسط زیر ساخت ارتباطات بی‌سیم بین خودرویی، میزان خطرناکی آنها را مشخص می‌کند و نتایج حاصل را به سیستم دیگری ارسال می‌کند که یک پیشنهاد به راننده ارائه دهد تا خودرو در حالت امن‌تری قرار گیرد. در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهد شد که برای ایمنی مانورهای مختلف نیز از این سیستم کمک راننده می‌توان بهره جست.

ارائه یک سیستم دستیار راننده مبتنی بر ارتباطات بین خودرویی با استفاده از منطق فازی

۲) سیستم فازی برای مشخص کردن میزان خطرهمسایگان^۸. این سیستم برای تشخیص میزان خطرناکی تک تک خودروهای همسایه مورد استفاده قرار می‌گیرد

۳) تولید پیشنهاد: اگر میزان خطر خودرویی برای یک خودرو از یک حد آستانه‌ای بیشتر بود، داده‌های خامی که برای سیستم FDRS از سوی آن خودرو ارسال شده است، برای سیستم تولید پیشنهاد به عنوان ورودی ارسال می‌شود. به بیان دیگر، اگر میزان خطر خودرویی از حدی بیشتر بود، مشخصات آن خودرو از جمله سرعت، میزان تخلف رانندگی و مختصات آن خودرو برای استفاده در سیستم تولید پیشنهاد به این بخش ارسال می‌شود. در نهایت سیستم تولید پیشنهاد به عنوان خروجی، یک پیشنهاد به راننده ارائه می‌دهد. پیشنهاد داده شده به شکل ترکیبی از تغییر لاین حرکت و تغییر سرعت است. به عنوان مثال به راننده پیشنهاد داده می‌شود که به لاین سمت راست برود و سرعت را کاهش بدهد. در بخش ۵ خواهیم دید که این روش میزان تصادفات را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. در ادامه این بخش به توصیف جزئیات هر کدام از ۳ زیربخش می‌پردازیم.

۴-۱ دریافت داده‌ها

همانطور که در قسمت قبل بیان شد، اولین بخش سیستم کمک‌راننده ارائه شده در این مقاله، بخش دریافت داده‌ها از همسایگان است. این بخش از سیستم که همان بلوک اول شکل ۱ است، مسئول جمع‌آوری داده‌ها از همسایگان و ارسال آنها به بخش دوم (FDRS) است. جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از شبکه بی‌سیم بین خودرویی پیاده‌سازی می‌شود و داده‌های سرعت، درجه تخلف رانندگی و مختصات را از همسایگان خود دریافت می‌کند. همانطور که بیان شد، برای سیستم کمک راننده طراحی شده، فقط اطلاعات همسایگان مجاور مورد نیاز است. سیستم فازی که از

بازه برای مردم یک شهر در ایران به دست آمده است و ممکن است در شهرها و کشورهای مختلف تغییر کند. با این وجود در ارزیابی سیستم پیشنهادی کل بازه [۰ ۵] مورد تحلیل قرار گرفته است).

لازم به ذکر است که پارامتر درجه تخلف رانندگی را می‌توان به چند بخش تقسیم کرد: تخلفات حرکتی، تخلفات پارک، تخلفات تجهیزاتی، تخلفات مدارک و غیره که از این عوامل فقط تخلفات حرکتی در این مقاله مورد بحث قرار می‌گیرد چون به حرکت خودرو و انحراف و عدم حرکت بین خطوط مربوط است و بقیه تخلفات به نوع رانندگی و رفتار راننده در حین حرکت خودرو مربوط نمی‌شوند. تخلف رانندگی حرکتی همواره با جریمه رانندگی و نمره منفی گواهینامه در همه کشورها همراه است. در اکثر کشورها مانند ایران، سرعت غیرمجاز و عدم حرکت بین خطوط را در شمار این نوع تخلف (تخلفات حرکتی) قرار می‌دهند (قانون مصوبه ۸ اسفند سال ۱۳۸۹ مجلس جمهوری اسلامی ایران). در این مقاله در صورت لزوم قوانین رانندگی ایران برای مواردی مانند سرعت جاده‌ای مجاز، فاصله طولی ایمن و انواع تخلفات حرکتی مدنظر قرار گرفته است هر چند که اغلب این موارد قابل تعمیم به کشورهای دیگر نیز است.

۴. سیستم ایمنی دستیار راننده پیشنهادی

سیستم پیشنهادی کمک‌راننده در هر خودرو به صورت کاملاً توزیع شده، اجرا شده و همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، شامل ۳ زیربخش است:

۱) دریافت داده‌ها. عمل دریافت داده‌های خام از خودروهای همسایه در این بخش انجام می‌گیرد. همانطور که قبلاً گفته شد، این کار با استفاده از زیرساخت شبکه بی‌سیم بین خودرویی انجام می‌شود.



شکل ۱. طراحی کلی سیستم کمک راننده پیشنهادی

همسایه، ورودی‌های سیستم هستند. در ادامه سرعت مطمئنه، فاصله ایمن و درجه تخلف رانندگی قابل قبول را تعریف کنیم تا بتوانیم ورودی‌های سیستم فازی را به شکل صحیح ارائه دهیم.

سرعت مطمئنه: طبق تعریف، به سرعتی گفته می‌شود که اگر اتفاق غیرقابل پیش‌بینی برای راننده رخ دهد، راننده بتواند خودرو را کنترل کند. این سرعت کمینه و بیشینه تعریف شده‌ای در هر کشور و هر جاده‌ای دارد. به عنوان مثال در اتوبان‌های کشور ایران کمینه سرعت ۷۰ و بیشینه آن ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت است. این سرعت‌ها مشخص بوده و می‌توان به شکل یک جدول در اختیار FDRS قرار داده شوند. شکل ۲، تابع عضویت سرعت برای سیستم فازی را نشان می‌دهد.

فاصله ایمن: این فاصله به دو نوع تقسیم می‌شود: فاصله طولی و فاصله عرضی. فاصله طولی در اغلب کشورها مانند ایران، درجاده‌های خشک برابر فاصله زمانی ۲ ثانیه با خودرو جلو است (اصل ۲ ثانیه). یعنی اگر خودرو جلو را متوقف نمایم، خودرو عقبی با سرعتی که دارد حداقل دو ثانیه بعد به آن برسد (کتاب علایم راهنمایی و رانندگی ایران). با یک حساب سرانگشتی ساده می‌توان اندازه فاصله مطمئنه را از فرمول $d = s / 1.8$ حساب کرد که d فاصله امن بر حسب متر است و s سرعت خودرو مورد نظر بر حسب کیلومتر بر ساعت است.

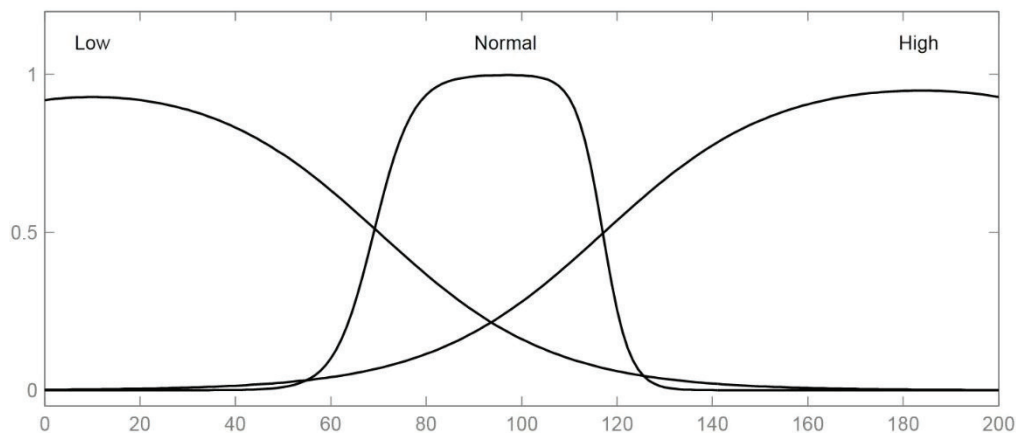
فاصله عرضی را نیز به اندازه ۲ متر یا فاصله بین دو خودرو در لاین‌های همجوار در نظر می‌گیریم زیرا تا زمانی که خودروها

این داده‌ها استفاده می‌کند، در بخش بعدی توضیح داده می‌شود. لازم به ذکر است که قبل از ارسال داده‌ها به سیستم فازی مورد نظر، پارامتر مختصات، به پارامتر فاصله تبدیل می‌شود. اگر Xn مختصات همسایه مورد نظر و Yc, Xc مختصات خودرویی است که داده‌ها را دریافت کرده و پردازش می‌کند، آنگاه فاصله به صورت $d = \sqrt{(Xn - Xc)^2 + (Yn - Yc)^2}$ به دست می‌آید.

۴-۲ سیستم فازی تشخیص خطر

داده‌هایی که خودرو با استفاده از ارتباطات بین‌خودرویی دریافت می‌کند، به سیستم فازی (FDRS) ارسال می‌شود. در این بخش به بررسی این سیستم (بلوک دوم در شکل ۱) می‌پردازیم و نحوه تولید خروجی سیستم فازی و تشخیص میزان خطرناکی یا ایمنی خودروهای همسایه توسط این سیستم فازی را توضیح می‌دهیم. همانطور که قبلاً اشاره شد، برای تشخیص میزان خطر یا ایمنی همسایگان، به این جهت از سیستم فازی استفاده می‌کنیم که کارکرد این سیستم در مسائل مشابه به اثبات رسیده است و ثابت شده که سیستم فازی در اتوماتیک‌سازی خودرو و کمک‌راننده بسیار کارآمد است [Sugeno and Nishida, 1985, Blezy and James, 2014].

در FDRS سه پارامتر سرعت، فاصله عرضی یا طولی (با توجه به مکان خودرو همسایه) و درجه تخلف رانندگی خودروهای



شکل ۲. تابع عضویت ورودی برای سرعت خودرو

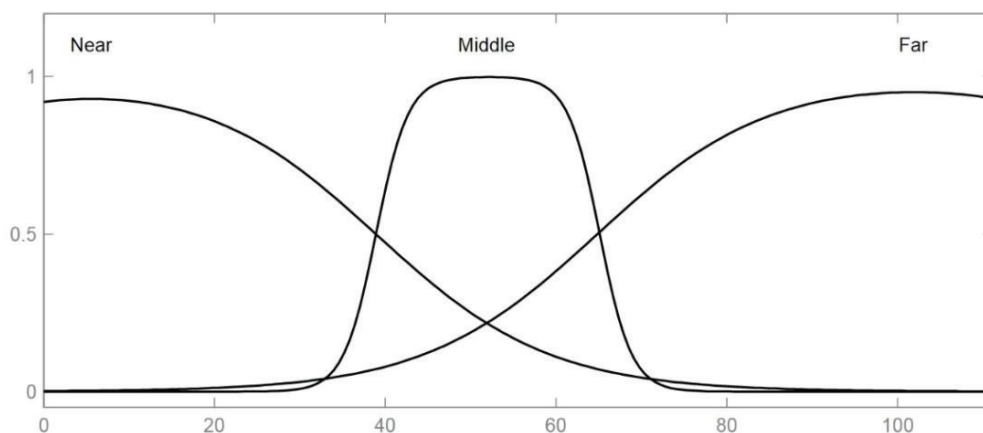
ارائه یک سیستم دستیار راننده مبتنی بر ارتباطات بین خودرویی با استفاده از منطق فازی

برای سایر خودروها (خودروهای همسایه موجود در مکان نسبی شمال غرب، شمال شرق، جنوب غرب و جنوب شرق) نیز می توان از شکل ۳ استفاده کرد.

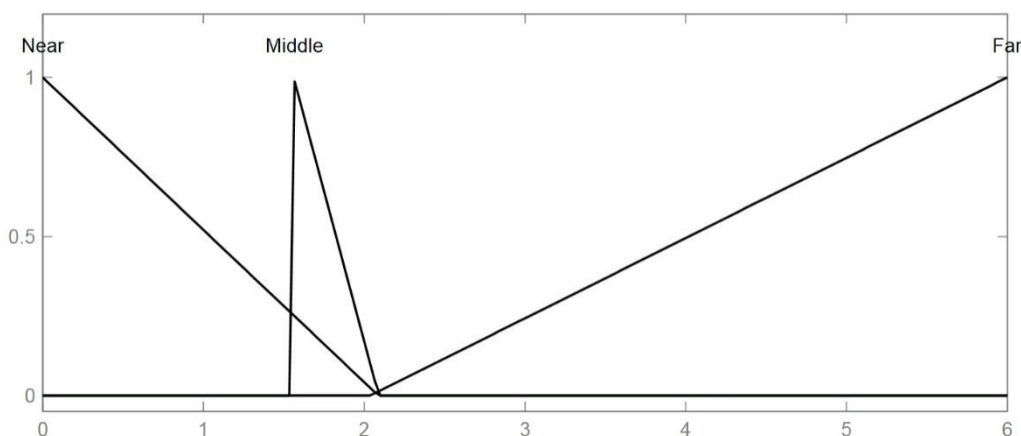
درجه تخلف رانندگی قابل قبول: در حالت کلی، این پارامتر همانطور که در قسمت های قبل اشاره شد، در بازه [۰ ۵] تعریف می شود. برای کشور ایران (شهر مشهد)، تحقیقات قبلی [Mo-hammadzadeh Moghaddam and Ayati, 2014] به بازه [۰/۵۵۰ ۲/۳۸۸] رسیده اند. بسیار سخت است که برای این پارامتر یک حد آستانه به شکل تابع پله ای در نظر گرفت، ولی با این حال بازه کوچک تر از ۱ را قابل قبول برای این پارامتر در نظر می گیریم. با این تفاسیر، شکل ۵، تابع عضویت تخلف رانندگی سیستم فازی مورد نظر را نشان می دهد.

در لاین های جداگانه حرکت کنند بدیهی است که امکان تداخل و تصادف عرضی کاهش می یابد. طبیعی است که باید فاصله طولی و عرضی متفاوت باشند چون در سرعت های بالا فاصله طولی می تواند چندین برابر کل عرض جاده باشد. از طرفی چون فاصله طولی متغیر بوده و وابسته به سرعت خودرو است ولی فاصله امن عرضی ثابت است، پس بدیهی است که ورودی فاصله عرضی و طولی با یکدیگر متفاوت باشند. شکل ۳ تابع عضویت فاصله طولی خودرو و شکل ۴ تابع عضویت ورودی فاصله عرضی خودرو را در سیستم فازی نشان می دهد.

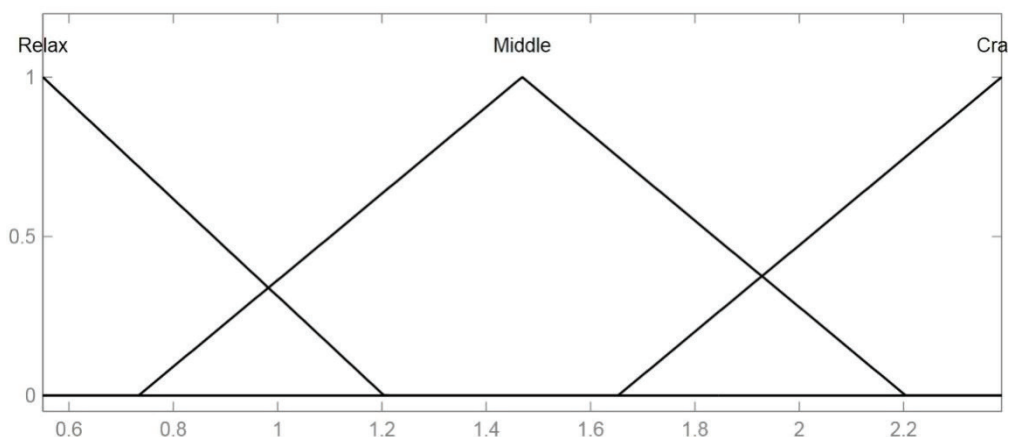
برای همسایگان جلو و عقب خودرو، از تابع عضویت شکل ۳ استفاده می شود، برای خودروهای کناری از تابع شکل ۴ و



شکل ۳. تابع عضویت ورودی برای فاصله طولی خودرو



شکل ۴. تابع عضویت ورودی برای فاصله عرضی خودرو



شکل ۵. تابع عضویت ورودی برای تخلف رانندگی راننده

است. اگر خودرویی خطرناک باشد (ایمنی خودرو کمتر از ۰/۷۵ باشد)، داده‌های دریافتی از آن خودرو (شامل سرعت، درجه تخلف رانندگی و مختصات خودرو) به سیستم تولید پیشنهاد داده می‌شود تا این خودرو به همراه داده‌هایش در تشکیل بردار خطر شرکت داده شوند زیرا این خودرو خطرناک است و باید از آن دوری کرد.

۴-۳ پیشنهاد به راننده برای افزایش سطح ایمنی

در بخش قبل، سیستم فازی تشخیص میزان خطر خودرو همسایه بررسی شد. حال در این بخش به مطالعه سیستم تولیدکننده پیشنهاد به راننده می‌پردازیم. استفاده از سیستم فازی و ارتباط آن با سیستم تولیدکننده پیشنهاد در این بخش بحث خواهد شد. در حقیقت این بخش به مطالعه بلوک سوم از شکل ۱ می‌پردازد. در پرتراфик‌ترین مواقع، هر خودرو توسط ۸ خودرو دیگر همانند شکل شماره ۷ احاطه می‌شود یعنی هر خودرو حداکثر ۸ همسایه در اطراف خود دارد (طبق فرض مسئله). مقاله یا تحقیقی درمورد اینکه خودروهای اطراف هر خودرو دقیقاً با چه ضریب خطری روی یکدیگر تاثیر می‌گذارند، وجود ندارد ولی چیزی که همه بر آن تاکید دارند و راهنمایی و رانندگی اکثر کشورها مخصوصاً ایران تمرکز و توجه راننده را بر آن جلب می‌کنند، اینگونه است که خودروهای جلو و عقب بیشترین خطر را دارند سپس خودروهای کناری (چپ و راست) و در

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، سرعت بین ۷۰ و ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، سرعت مناسب در نظر گرفته می‌شود. اگر به توابع عضویت فاصله طولی موجود در شکل ۳ توجه شود، دقیقاً همان توابع سرعت قرار دارند، زیرا این پارامتر از روی سرعت به دست می‌آید و یک ضریب ثابت از آن توابع است (سرعت امن ۸/۱ برابر فاصله طولی امن است). البته قابل ذکر است که به عنوان مثال برای سرعت‌های بالا، فقط فاصله طولی دور ایمن است (این مسأله که برای چه سرعتی چه فاصله‌ای مناسب است، در قوانین فازی لحاظ شده است). قوانین موجود در این سیستم فازی اغلب شامل اموری بدیهی است و اغلب توجیه عقلانی دارند ولی برای روشن شدن بهتر موضوع، قوانین سیستم فازی در جدول شماره ۱ آمده است:

در نهایت، شکل ۶ خروجی سیستم را نشان می‌دهد که میزان امن بودن خودرو همسایه را نمایش می‌دهد. خروجی سیستم، یک عدد است که معیار امن بودن خواهد بود. برای اینکه بتوانیم از سیستم فازی، امن بودن یا نبودن خودرو همسایه را تشخیص دهیم، یک حد آستانه برای خروجی فازی مشخص می‌شود: حال اگر میزان این خروجی کمتر از ۰/۷۵ بود، این خودرو همسایه، یک همسایه خطرناک شناخته می‌شود. حال اگر درجه ایمنی بیشتر از ۰/۷۵ بود، آن خودرو برای ما خطری ندارد و اگر میزان ایمنی کمتر از ۰/۲۵ بود نشانگر این امر است که آن خودرو بسیار خطرناک

ارائه یک سیستم دستیار راننده مبتنی بر ارتباطات بین خودرویی با استفاده از منطق فازی

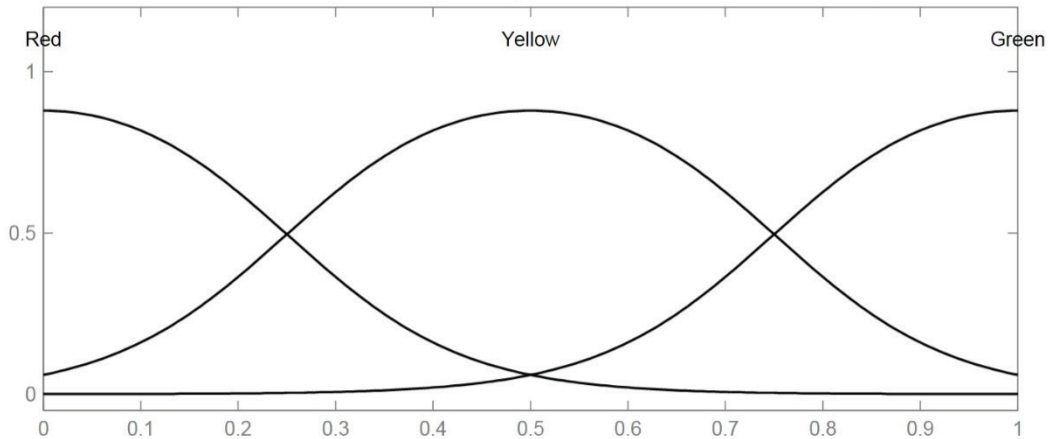
جدول ۱. قوانین سیستم فازی تشخیص دهنده میزان ایمنی خودروها

ردیف	سرعت	فاصله	درجه تخلف رانندگی	حالت ایمنی
۱	کم	نزدیک	ریلکس (کم)	سبز
۲	کم	نزدیک	متوسط	سبز
۳	کم	نزدیک	دیوانه وار	زرد
۴	کم	متوسط	ریلکس (کم)	سبز
۵	کم	متوسط	متوسط	سبز
۶	کم	متوسط	دیوانه وار	زرد
۷	کم	دور	ریلکس (کم)	سبز
۸	کم	دور	متوسط	سبز
۹	کم	دور	دیوانه وار	سبز
۱۰	متوسط	نزدیک	ریلکس (کم)	زرد
۱۱	متوسط	نزدیک	متوسط	قرمز
۱۲	متوسط	نزدیک	دیوانه وار	قرمز
۱۳	متوسط	متوسط	ریلکس (کم)	سبز
۱۴	متوسط	متوسط	متوسط	سبز
۱۵	متوسط	متوسط	دیوانه وار	زرد
۱۶	متوسط	دور	ریلکس (کم)	سبز
۱۷	متوسط	دور	متوسط	سبز
۱۸	متوسط	دور	دیوانه وار	زرد
۱۹	زیاد	نزدیک	ریلکس (کم)	قرمز
۲۰	زیاد	نزدیک	متوسط	قرمز
۲۱	زیاد	نزدیک	دیوانه وار	زرد
۲۲	زیاد	متوسط	ریلکس (کم)	زرد
۲۳	زیاد	متوسط	متوسط	قرمز
۲۴	زیاد	متوسط	دیوانه وار	قرمز
۲۵	زیاد	دور	ریلکس (کم)	زرد
۲۶	زیاد	دور	متوسط	قرمز
۲۷	زیاد	دور	دیوانه وار	قرمز

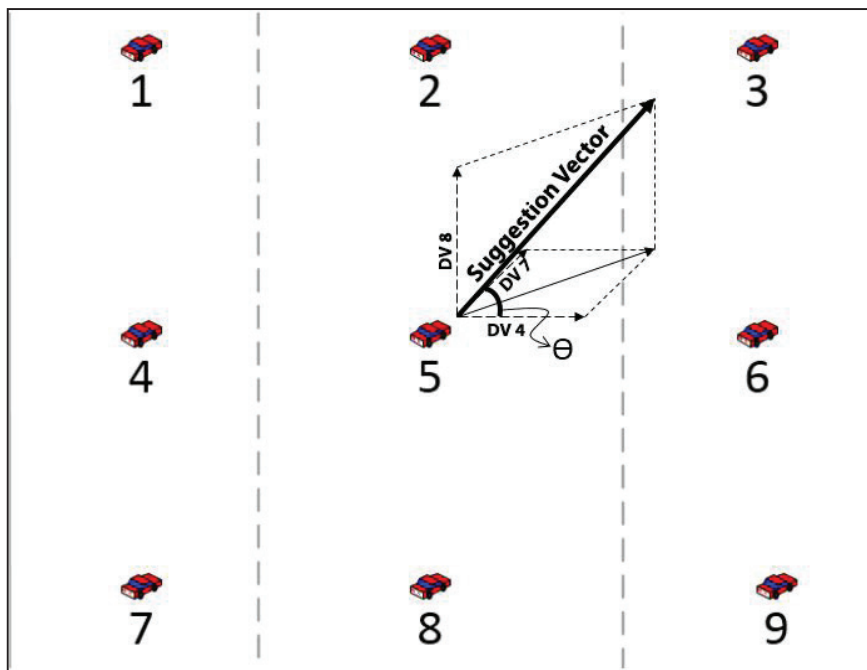
نهایت سایر خودروها (خودروهای موجود در مکان‌های نسبی شمال شرق، شمال غرب، جنوب شرق و جنوب غرب) خطرناک هستند. همانطور که بحث شد، هر خودرو داده‌های سرعت، مختصات (توسط یک دستگاه GPS دقیق اندازه‌گیری می‌شود [Naranj, et.al, 2008] و تخلف رانندگی را از خودروهای همسایه خود دریافت کرده و آنها را به بخش FDRS ارسال می‌کند. این سیستم پس از تشخیص میزان خطرناکی خودرو، داده‌های خودروهای خطرناک را به بخش تولید پیشنهاد ارسال می‌کند. بخش تولیدکننده پیشنهاد، محدوده‌ی داده‌های دریافتی را به [۱۰]

نهایت سایر خودروها (خودروهای موجود در مکان‌های نسبی شمال شرق، شمال غرب، جنوب شرق و جنوب غرب) خطرناک هستند.

همانطور که بحث شد، هر خودرو داده‌های سرعت، مختصات (توسط یک دستگاه GPS دقیق اندازه‌گیری می‌شود [Naranj,



شکل ۶. خروجی سیستم فازی برای تشخیص میزان خطر یا ایمنی خودروی همسایه



شکل ۷. عملکرد سیستم پیشنهاد دهنده به راننده

شده به دست می آید، همان اندازه بردار خطر خودرو همسایه است. نگاشت به بازه [۰ ۱] از فرمولهای جدول ۲ به دست می آید (حروف بزرگ مربوط به بازه [۰ ۱] و حروف کوچک مربوط به داده های خام هستند).

و در نهایت اندازه بردار خطر ($|\overrightarrow{DV}|$) همسایه های پرخطر برابر است با:

$$|\overrightarrow{Danger Vector}| = |\overrightarrow{DV}| = V + S + D \quad (1)$$

پارامترهای فرمول شماره ۱، همان مقادیری اسکالری است که از

نگاشت کرده و داده های دریافتی از هر خودرو را به شکل اسکالر جمع می کند به طوریکه برای هر یک از همسایگان خودرو یک عدد اسکالر به دست آورد (هرقدر تخلف رانندگی بیشتر باشد، عدد نگاشت شده به ۱ نزدیکتر است و نیز هر مقدار که فاصله کمتر باشد، باز این نگاشت به ۱ نزدیکتر است. سرعت نیز برای مقادیر کمتر از ۷۰ کیلومتر بر ساعت به صفر و برای بیشتر از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت تا ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت بین صفر و یک نگاشت می شود). این عدد اسکالر که از مجموع سه عدد نگاشت

ارائه یک سیستم دستیار راننده مبتنی بر ارتباطات بین خودرویی با استفاده از منطق فازی

جدول ۲. فرمول‌های نگاشت داده‌ها به یک عدد در بازه [۰ ۱]

فرمول نگاشت به بازه [۰ ۱]	پارامتر مورد نظر
$V = \frac{v - 1}{4}$	برای تخلفات رانندگی بزرگ‌تر از ۱
$S = \frac{70 - s}{70}$	برای سرعت‌های کمتر از ۷۰
$S = \frac{s - 120}{80}$	برای سرعت‌های بیشتر از ۱۲۰ (با فرض حداکثر سرعت ۲۰۰):
$D = \frac{2 - d}{2}$	برای فاصله عرضی
$D = 1 - \frac{d \times 1.8}{s}$	برای فاصله طولی

همسایگان و بردار پیشنهاد نهایی را نمایش می‌دهد. در این شکل فرض شده که تمام خودروها به غیر از خودروهای شماره ۸، ۷ و ۴ امن هستند (با تشخیص سیستم فازی FDRS). حال خودرو مورد نظر، بردارها را تشکیل داده و در نهایت یک بردار پیشنهاد توسط عملگر جمع برداری، تولید کرده و آنرا به راننده ارائه می‌دهد.

هر بردار پیشنهادی کمک راننده یک بعد x دارد و یک بعد y . بعد x آن به معنای تغییر جهت در محور x ها یا همان تغییر لاین است. اگر x منفی باشد راننده را به سمت چپ، و در غیر اینصورت به لاین سمت راست هدایت می‌کند. بعد y بردار پیشنهاد نیز به معنی تغییر سرعت است یعنی اگر مقدار بعد y مثبت باشد به معنی افزایش سرعت، و اگر مقدار آن منفی باشد به معنی کاهش سرعت است. به عنوان مثال: بردار پیشنهادی اگر به سمت جنوب‌شرق باشد، به معنی انحراف به راست و کاهش سرعت است. تفسیر بردار پیشنهادی در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. در شکل شماره ۷ نیز زاویه با محور افقی با نماد θ نشان داده شده است. قابل ذکر است که سرعت در هنگام کاهش به میزانی است که برابر خودروی عقبی باشد زیرا اگر کمتر از آن شود، باعث تصادف با خودرو عقبی می‌شود و اگر بسیار بیشتر از آن باشد احتمال تصادف با خودرو جلویی بالا می‌رود. در مورد افزایش سرعت نیز باید سرعت تا حدود سرعت اتومبیل جلویی افزایش یابد.

جدول شماره ۲ به دست آمده است. V نشانگر درجه تخلفات رانندگی در بازه [۰ ۱] است، S سرعت را در این بازه مشخص می‌کند و پارامتر D فاصله را از فرمول مورد نظر به بازه [۰ ۱] تبدیل کرده و وارد فرمول شماره ۱ می‌کند و در نهایت اندازه بردار خطر (\overrightarrow{DV}) تشکیل می‌شود. این بردار در شکل شماره ۷ برای تعدادی از همسایگان نشان داده شده است. حال بخش تولید پیشنهاد آن عدد اسکالر را به یک بردار تبدیل می‌کند به صورتی که اندازه آن بردار برابر همان عدد اسکالر (\overrightarrow{DV}) است. ابتدای بردار از خودرویی که داده‌ها را ارسال کرده، و انتهای بردار به سمت خودرو دریافت کننده داده‌ها است. به بردار حاصل، بردار خطر (\overrightarrow{DV}) گفته می‌شود. یادآور می‌شویم که این محاسبات فقط برای خودروهایی انجام می‌شود که سیستم فازی میزان ایمنی آنها را کمتر از ۰/۷۵ تشخیص داده است. بردار خطر را می‌توان به این شکل تفسیر کرد که هر یک از بردارها، میزان خطر از سمت ابتدای بردار را نشان می‌دهند یا به عبارت بهتر، هر بردار نشان دهنده این است که راننده باید به مقدار اندازه بردار، از آن همسایه دوری کند.

پس از به دست آوردن تمامی بردارهای همسایه خطرناک، باید آنها را تبدیل به یک پیشنهاد کرد. برای این کار بردارها با یکدیگر به شکل برداری جمع می‌شود تا یک بردار نهایی به دست آید که این بردار همان پیشنهاد به راننده است و به آن بردار پیشنهاد (Suggestion Vector) اطلاق می‌شود. شکل ۷ بردارهای خطر

زاویه بردار پیشنهادی با محور افقی	پیشنهاد داده شده به راننده برای ایمنی بیشتر
$\theta = 0^\circ$	حرکت به لاین سمت راست
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	حرکت به لاین سمت راست و افزایش سرعت
$\theta = 90^\circ$	افزایش سرعت
$90^\circ < \theta < 180^\circ$	حرکت به لاین سمت چپ و افزایش سرعت
$\theta = 180^\circ$	حرکت به لاین سمت چپ
$180^\circ < \theta < 270^\circ$	حرکت به لاین سمت چپ و کاهش سرعت
$\theta = 270^\circ$	کاهش سرعت
$270^\circ < \theta < 360^\circ$	حرکت به لاین سمت راست و کاهش سرعت

راست جاده، دور زدن به چپ، پیچیدن به راست و غیره. نوع دوم که به آن مانور ادغام (Merge) اطلاق می‌شود، زمانی رخ می‌دهد که یک جریان ورودی به بزرگراه باید در مسیر جریان اصلی قرار گیرد و نوع سوم، مانور به هم بافی (Twine) نامیده می‌شود که یک جریان ورودی و یک جریان خروجی از بزرگراه باید بدون تصادف از یکدیگر عبور کرده و لاین‌ها را با یکدیگر عوض کنند. این سه مانور مهمترین بخش آموزش رانندگی را در کشورهای پیشرفته شامل می‌شوند. مانورهای نوع دوم و سوم بیشتر به مهارت راننده بستگی دارند. به همین دلیل است که در زمان آموزش رانندگی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. سیستم کمک راننده ارائه شده در این مقاله، در ایمن کردن رانندگی و کمک کردن به راننده در انجام مانورهای نوع اول می‌تواند کمک شایانی را به عمل آورد.

فرض می‌شود که در سیستم تعبیه شده بر روی خودرو، نشانگرهایی برای هر یک از این مانورهای تغییر لاین (مانورهای نوع اول) وجود دارد. سیستم پیشنهادی در هر لحظه، هرکدام از نشانگرها را در یکی از دو حالت مجاز یا غیر مجاز قرار می‌دهد، که هرکدام می‌تواند با چراغ‌های قرمز و سبز رنگ مشخص شود. راننده در هنگامی که قصد انجام هریک از مانورها را دارد، به نشانگر مربوطه آن مانور مراجعه می‌کند. حال اگر مانور مورد نظر مجاز بود (چراغ نشانگر به رنگ سبز بود)،

۴-۳-۱ کمک به راننده برای جلوگیری از مانورهای پرخطر در بخش قبل، تولید یک پیشنهاد برای قرار گرفتن خودرو در حالت ایمن‌تر توضیح داده شد. حال سؤال زیر مطرح می‌شود که آیا می‌توان با دانستن مکان نسبی ایمن‌تر، بخش‌های مختلف امر رانندگی (مانند مانورهای مختلف، گذر از تقاطع‌ها و غیره) را نیز ایمن‌تر کرد؟ در حقیقت یکی از مواردی که می‌توان از سیستم کمک راننده طراحی شده بهره جست، مانورهای رانندگی است. مانورهای رانندگی بخش بسیار خطرناک رانندگی محسوب می‌شوند به عنوان مثال مانور سبقت به دلیل خطرناک بودن بسیار، مدتی در کشور هلند در جاده‌های دوطرفه به طور کلی ممنوع شد ولی باعث نارضایتی رانندگان بسیاری گشت [Hegeman, 2004] و پس از مدتی این قانون لغو گردید، زیرا که مانورهای رانندگی جزئی جداناپذیر از رانندگی هستند، پس باید در ایمن کردن آنها کوشید. می‌توان با سیستم طراحی پیشنهاد شده در این مقاله، از مانورهای خطرناک جلوگیری کرد و آنها را تا حد زیادی ایمن کرد.

مانورهای بزرگراه‌ها در کل به سه بخش تقسیم می‌شوند: مانورهای نوع اول که به آنها مانورهای تغییر خط (Line Change) گفته می‌شود، شامل مانورهایی هستند که لاین مسیر تغییر پیدا می‌کند مانند سبقت، پارک کردن در شانه سمت

۵. ارزیابی کارایی سیستم کمک راننده پیشنهادی

سیستم کمک راننده پیشنهادی، در بخش‌های قبل معرفی شد و توصیف مراحل مختلف تولید یک پیشنهاد به راننده مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت از مقاله به بررسی کارایی سیستم کمک راننده پرداخته خواهد شد و میزان بهبود ایمنی جاده‌ای توسط این سیستم به طور دقیق مورد مطالعه قرار می‌گیرد. از آنجایی که برای پیاده‌سازی این طرح نیاز به قرار دادن سیستم کمک راننده در تعداد زیادی خودرو بود و اینکه برای مشاهده تاثیرات و کارایی سیستم، نیاز به زمان زیاد و مشاهده کاهش تصادفات در یک دوره زمانی طولانی مدت بود، تصمیم بر این شد که از روش شبیه‌سازی استفاده شود. در شبیه‌سازی صورت گرفته با در نظر گرفتن سناریوهای متنوع، میزان توفیق سیستم پیشنهادی در افزایش ایمنی اندازه‌گیری می‌شود. شبیه‌سازی با استفاده از زبان برنامه نویسی #C انجام شده است. در طی شبیه‌سازی انجام شده، مانند آنچه در شکل شماره ۷ نشان داده شده است، در اطراف خودرو مورد نظر حداکثر ۸ خودروی دیگر می‌تواند وجود داشته باشد. هریک از این خودروها با یک احتمال - که در هر بار شبیه‌سازی ثابت است (احتمال وجود همسایگان) - می‌تواند وجود داشته باشد. به عنوان مثال زمانی که احتمال وجود همسایگان مقدار ۰/۵ است، یعنی هر خودرو به احتمال ۵۰٪ در شبیه‌سازی وارد خواهد شد. پس در این حالت به طور میانگین ۴ خودروی همسایه در اطراف خودرو مورد نظر قرار دارد. پس از تعریف خودروهای همسایه (با در نظر گرفتن احتمال وجودشان)، به هر کدام از آنها به شکل تصادفی یک مقدار به عنوان سرعت و یک مقدار به عنوان درجه تخلف رانندگی اختصاص داده می‌شود (پارامتر سرعت در هر بار شبیه‌سازی از بازه‌های مختلفی

راننده آن مانور را امن می‌یابد و آن را انجام می‌دهد. در غیر این صورت باید از انجام مانور مورد نظر خودداری کند. به عنوان مثال اگر راننده قصد سبقت گرفتن را داشته باشد، قبل از عمل سبقت، باید به پیشنهاد سیستم (نشانگر سبقت) مراجعه کند و اگر چراغ سبقت را به رنگ سبز ببیند با خیال آسوده‌تر عمل سبقت را انجام می‌دهد. در غیر این صورت از سبقت به طور موقت خودداری می‌کند. این عمل خطاهای ناشی از دوری یا نزدیکی تصاویر در آینه‌ها، ندیدن نقاط کور یا خطاهای دید را به حداقل می‌رساند.

اما این پیشنهادها چگونه تولید می‌شوند؟ در بخش قبل دیده شد که سیستم کمک راننده پیشنهادی، در هر لحظه یک بردار پیشنهاد به راننده ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، برداری که جهت آن به سمت شمال شرق است، به این معنی است که راننده می‌بایست از خودروهای پشت سری و خودروهای سمت چپ خود دوری کند یا به عبارت بهتر قرار گرفتن در مکان نسبی شمال شرقی برای راننده یک حالت امن‌تری نسبت به زمان حال بوجود می‌آورد. حال به عنوان مثال، مانور سبقت در نظر گرفته می‌شود: این مانور زمانی امن‌تر از حالت کنونی است که بردار پیشنهادی به سمت شمال غرب باشد. با این استدلال می‌توان برای سایر مانورها نیز نشانگرهایی جهت افزایش ایمنی طراحی نمود. برای چهار مانور مطرح شده در مانورهای نوع اول (تغییر خط)، می‌توان نشانگرها را با توجه به جدول شماره ۴ طراحی کرد. لازم به یادآوری است که زاویه θ همانند آنچه در شکل ۷ مشاهده می‌شود، زاویه‌ای است که بردار پیشنهاد با جهت مثبت محور افقی (خط عمود بر مسیر جاده) می‌سازد.

جدول ۴. مانورهای مجاز با بردارهای پیشنهادی مربوطه (θ زاویه بردار پیشنهادی با خط عمود بر مسیر جاده)

مانور مجاز	زاویه بردار پیشنهاد با جهت مثبت محور افقی
مانور پارک کردن و پیچیدن به سمت راست	$270^\circ < \theta < 360^\circ$
مانور دور زدن به چپ	$180^\circ < \theta < 270^\circ$
مانور سبقت	$90^\circ < \theta < 180^\circ$

۱-۵ کارآیی سیستم پیشنهادی در بهبود وضعیت کنونی ایمنی خودرو

این بخش به بررسی میزان تاثیر سیستم در امن تر کردن وضعیت فعلی ایمنی خودروها می پردازد و میزان پیش گیری از تصادف را توسط سیستم کمک راننده پیشنهادی تحلیل می کند. طبق نتایج شبیه سازی انجام شده در این بخش، در شرایط عادی و بدون حضور سیستم طراحی شده، از یک میلیون شبیه سازی حدود ۴۶۶۰۰۰ بار تصادف رخ داد ولی پس از اعمال طرح پیشنهادی کمک راننده، از یک میلیون شرایط مختلف جاده ای، حدود ۱۸۱۰۰۰ تصادف به وقوع پیوست. یعنی حدود ۶۰ درصد کاهش تعداد تصادفات جاده ای. واژه ایمنی نمودارهای منتج از این مقاله، به شکل $100 \times (\text{تعداد کل حالات} / \text{تعداد حالات بدون تصادف}) = \text{ایمنی} (\%)$ تعریف می شود.

شکل ۸ مقایسه سطح ایمنی در دو حالت حضور و عدم حضور سیستم کمک راننده پیشنهادی را نشان می دهد. در بخشهای مختلف شکل، مقادیر مختلف از ترکیب دو به دوی پارامترهای موجود (میانگین سرعت، میانگین احتمال وجود همسایگان و میانگین تخلفات رانندگی)، مورد ارزیابی قرار گرفته اند. در هرکدام از نمودارها، ورودی سوم (غیر از دو ورودی که در شکل آمده اند) مقداری ثابت داشته که این مقدار برای سرعت، ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، برای تراکم ۵/۰ (یعنی احتمال بودن یا نبودن هر خودرو ۵/۰ است) و برای تخلف رانندگی مقدار ۲/۵ است. به عنوان مثال در شکل ۸- الف، تخلف رانندگی برابر ۲/۵ در نظر گرفته شده است.

با توجه به شکل (۸- الف) و (۸- ب) زمانی که احتمال وجود همسایگان صفر است، یعنی زمانی که هیچ خودرویی در اطراف وجود ندارد، ایمنی جاده ای در هر دو حالت (قبل و بعد از اجرای سیستم ایمنی پیشنهادی)، ۱۰۰٪ است. این امر بدیهی است، زیرا هیچ تصادفی رخ نخواهد داد. با افزایش احتمال وجود همسایگان، ایمنی جاده در هر دو حالت کاهش می یابد، یعنی امکان تصادف بیشتر می شود. با این حال در تمامی نقاط، ایمنی جاده پس از اعمال سیستم کمک راننده، همواره بیشتر از

انتخاب می شود که میانگین این بازه ها به عنوان مقدار سرعت در نمودارها وارد شده است). قابل ذکر است که مقدار و نوع درجه تخلف رانندگی در طول هر بار شبیه سازی ثابت است و تغییر پیدا نمی کند و از طرفی سرعت خودروها نیز ثابت است، مگر اینکه تخلف رانندگی از نوعی باشد که شامل افزایش یا کاهش ناگهانی سرعت باشد که در این صورت سرعت خودروی متخلف سریع تغییر می کند و به یک مقدار کمینه یا بیشینه می رسد. و نیز به دلیل اینکه توجه اصلی مقاله به سفرهای جاده ای است، مسیری که برای حرکت خودروها در نظر گرفته شده است، یک جاده مستقیم و بدون تقاطع است، نه یک محیط شهری. حال با شرایط موجود و پارامترهای در دسترس امکان تصادفات بررسی می شود (تصادفات در اثر تفاوت سرعت و انجام تخلفات رانندگی صورت می پذیرد). پس از بررسی وقوع یا عدم وقوع تصادف، تمام پارامترها و حالت خودروها به حالت اولیه خود بازگردانده می شوند. در این حین سیستم طراحی شده به اجرا درآمده و پارامترها را دریافت کرده و بررسی می کند و پیشنهاد سیستم را ارائه می دهد. خودروی مورد نظر به حالت پیشنهاد داده شده تغییر حالت داده (که ممکن است شامل هرکدام از پیشنهادهای تغییر لاین و تغییر سرعت شود) و امکان تصادف دقیقاً به مانند مرحله قبل بررسی می شود. این شبیه سازی برای هر مقدار از سه تایی [سرعت، درجه تخلف، احتمال وجود همسایگان] یک میلیون بار انجام می شود و در نهایت از نتایج به دست آمده احتمال تصادفات در دو حالت عدم وجود سیستم پیشنهادی و وجود سیستم پیشنهادی، اندازه گیری می شود [(نسبت تعداد حالاتی که تصادف اتفاق می افتد به تعداد کل حالات) یک میلیون حالت]] و در نتیجه میزان بهبود ایمنی ناشی از سیستم پیشنهادی گزارش می شود. نتایج هرکدام از این شبیه سازی ها به شکل یک نقطه در هرکدام از نمودارهای شکل ۸ و ۹ نمایش داده شده است. در ادامه این بخش، ابتدا کارایی سیستم پیشنهادی در افزایش ایمنی خودروها (امن کردن وضعیت فعلی خودروها) بررسی شده است و سپس تأثیر سیستم در ایمن کردن مانورهای مختلف مورد مطالعه قرار می گیرد.

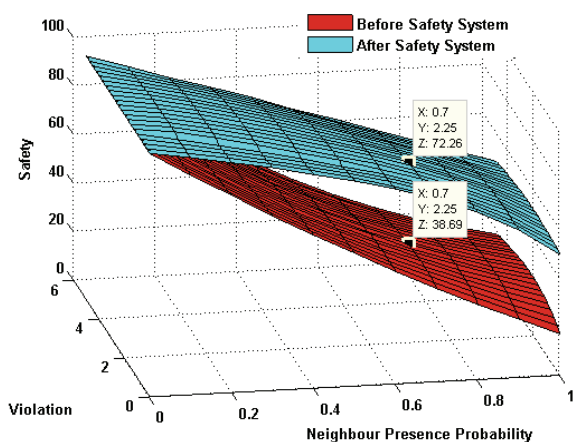
حالت عادی است. در شکل (۸- الف) نقاط A و B مشخص کننده ایمنی برای میانگین سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت و احتمال وجود هر همسایه ۰/۶ هستند. همانگونه که از شکل برمی آید، ایمنی با اعمال سیستم کمک راننده پیشنهادی حدود ۷۷٪ افزایش بوده، در حالی که ایمنی در حالت عادی ۴۴٪ است. همچنین همانطور که در شکل (۸- ب) مشاهده می شود برای حالتی که احتمال وجود هر همسایه ۰/۷ و تخلف رانندگی ۲/۲۵ است، ایمنی حدود ۳۴٪ بهبود یافته است. از سوی دیگر، با توجه به تغییرات نمودار بر اساس احتمالات مختلف وجود همسایگان، متوجه می شویم که تاثیر این عامل (احتمال وجود همسایگان) در مقابل سرعت و تخلف رانندگی بسیار بیشتر است. یعنی در صورت بررسی ایمنی جاده ای با توجه به پارامترهای مختلف موجود، تاثیر پارامتر احتمال وجود همسایگان بسیار بیشتر از سایر پارامترها مانند سرعت و violation است. نمودار شکل (۸- ج) ایمنی را در هر دو حالت بدون سیستم کمک راننده پیشنهادی و همچنین بعد از اعمال آن سیستم بر حسب دو پارامتر سرعت و تخلف رانندگی نشان می دهد. شیب موجود در هر دو نمودار این شکل، نشانگر کاهش ایمنی جاده در تخلفات رانندگی بالا است یعنی هر قدر تخلف رانندگی بیشتر شود، احتمال تصادف بیشتر شده و در نتیجه ایمنی کاهش می یابد. همانطور که در نمودار مشاهده می شود، با تغییر مقادیر درجه تخلف رانندگی، ایمنی تا ۱۰ درصد تحت تاثیر قرار می گیرد. البته اثر سرعت متوسط، کماکان ناچیز است. به علاوه، با توجه به نمودار (۸- ج) برخلاف دو نمودار قبلی اش، هرگز ایمنی به ۰٪ یا ۱۰۰٪ تغییر نمی یابد و این نشانگر تاثیر بسیار زیاد احتمال وجود همسایگان است. از این موضوع می توان نتیجه گرفت که پارامترهای سرعت متوسط و درجه تخلف رانندگی در مقایسه با پارامتر احتمال وجود همسایگان، تاثیر قابل توجهی در ایمنی جاده چه قبل از اعمال سیستم و چه بعد از آن ندارند. در مورد تاثیر سرعت متوسط خودروها اشاره به نکته زیر ضروری به نظر می رسد. در شبیه سازی انجام شده، خودروها با یک احتمال خاص مانور انجام می دهند و سپس با سرعت ثابتی که به طور

اختصاصی برای هر خودرو مشخص می شود به مسیر خود ادامه می دهند. خودروی مورد نظر نیز که قصد قرار گرفتن در حالت امن را دارد، هم قبل از رفتن به حالت امن و هم پس از آن، با سرعت ثابت حرکت می کند (البته ممکن است در طی رفتن به حالت امن، تغییر سرعت داشته باشد ولی پس از آن دیگر سرعت را تغییر نمی دهد و ثابت نگاه می دارد). در نتیجه تاثیر مقدار مطلق سرعت در نتایج شبیه سازی (شکل ۸) قابل ملاحظه نیست و تنها تفاوت سرعت خودروهای همسایه مهم است. از آنجا که هدف این مقاله این است که صرفاً کارایی سیستم کمک راننده پیشنهادی ارزیابی شود، بدترین حالت ممکن شبیه سازی شده است که در آن ترمز کردن، تغییر مسیر و هر عملی برای جلوگیری از تصادف به غیر از پیشنهاد سیستم کمک راننده، امکان پذیر نیست. البته اثر ترمز به طور ضمنی در پارامتر فاصله (جدول ۱) و بر اساس قوانین راهنمایی و رانندگی (اصل ۲ ثانیه) مدنظر قرار گرفته است. قابل ذکر است که بنا به فرض مسأله، ایمنی جاده در تمامی سرعت ها ایده آل در نظر گرفته شده است تا تنها عامل مورد مؤثر در جلوگیری از تصادف، کارایی سیستم کمک راننده پیشنهادی باشد.

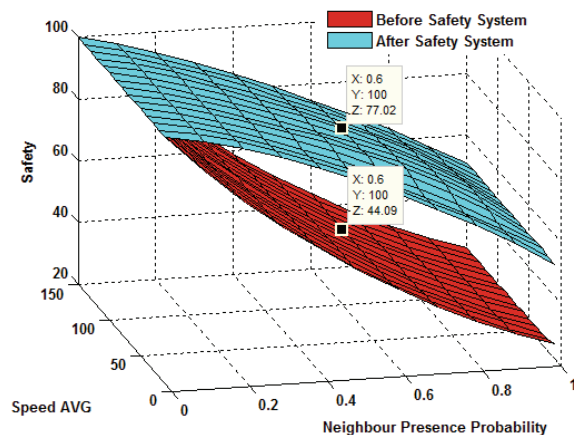
۵-۲ کارایی سیستم پیشنهادی در جلوگیری از مانورهای

پرخطر

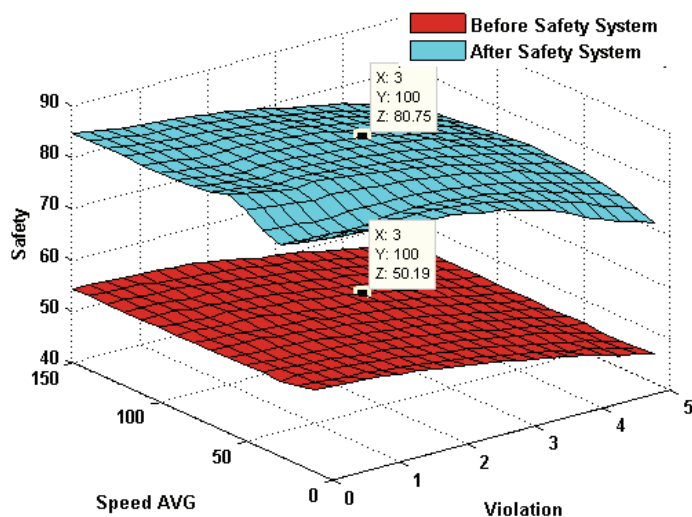
در این بخش کارایی سیستم پیشنهادی در کمک به راننده به منظور افزایش ایمنی مانورهای تغییر خط (Line Change) ارزیابی می شود. به این منظور، مشابه شبیه سازی های انجام گرفته در بخش قبل برای مانورهای مختلف با مقادیر مختلف سرعت، احتمال وجود همسایگان و تخلف رانندگی انجام شده است. نتایج به دست آمده که در شکل ۹ آمده اند، حاکی از بهبود محسوس ایمنی خودرو هستند. بخش های مختلف شکل ۹، ایمنی جاده را قبل و بعد از سیستم کمک راننده بر حسب احتمال وجود همسایگان، برای مانورهای مختلف نشان می دهد. در شبیه سازی های انجام شده ابتدا یک میلیون شرایط مختلف جاده ای برای مانورهای مختلف شبیه سازی شده و



ب) تأثیر متقابل احتمال وجود همسایگان و درجه تخلف رانندگی (مقدار سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است)



الف) تأثیر متقابل سرعت متوسط و درجه تخلف رانندگی (مقدار تخلف رانندگی ۲/۵ در نظر گرفته شده است)



ج) تأثیر متقابل سرعت متوسط و درجه تخلف رانندگی (احتمال وجود همسایگان ۰/۵ در نظر گرفته شده است)

شکل ۸. بررسی تأثیر سیستم کمک راننده پیشنهادی بر سطح ایمنی

جدول شماره ۵ آمده است. قابل ذکر است این درصدها، نشانگر کاهش تعداد تصادفات است نه میزان ایمنی یا بهبود ایمنی جاده. از سوی دیگر قابل ذکر است که همه نمودارهای شکل ۹ نشانگر میزان ایمنی جاده‌ای است نه میزان کاهش تصادفات و همانطور که گفته شد، ایمنی مطابق توضیحات بخش ۵-۱ محاسبه شده است.

تعداد تصادفات، بعد از انجام مانورها شمارش گردیده است. در تمامی شرایط، سیستم کمک راننده مورد بحث در این مقاله اجرا شده و در تک-تک شرایط، اگر سیستم اجازه مانور مورد نظر را بدهد، مانور انجام می‌شود و امکان تصادف بررسی می‌شود، در غیر اینصورت سیستم از انجام مانور جلوگیری می‌کند. کاهش تعداد تصادفات طبق نتایج شبیه‌سازی، در

ارائه یک سیستم دستیار راننده مبتنی بر ارتباطات بین خودرویی با استفاده از منطق فازی

جدول ۵. میزان کاهش تصادفات جاده‌ای در انجام مانورهای مختلف

میزان کاهش تصادفات	مانور شبیه‌سازی شده
٪۷۷	سبقت
٪۸۲	گردش به چپ
٪۷۴	پارک در شانه سمت راست و گردش به راست

بردار پیشنهاد را به راننده ارائه می‌کند. بردار پیشنهادی هم برای بهبود وضعیت ایمنی کنونی خودرو و هم برای بالا بردن ایمنی مانورهای تغییر خط مانند سبقت و انحراف به چپ و راست مورد استفاده قرار می‌گیرد.

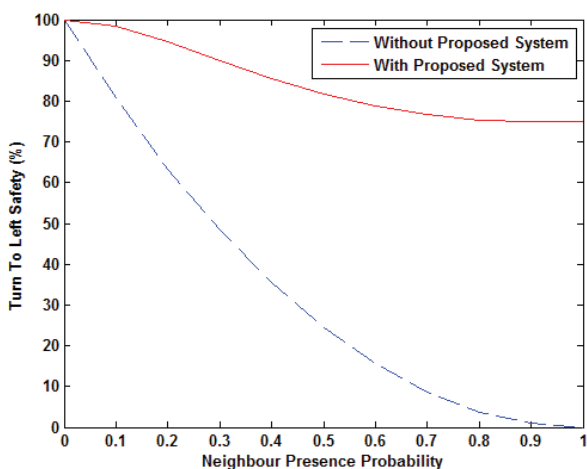
نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کارایی سیستم پیشنهادی با افزایش میانگین سرعت جاده افت محسوسی نمی‌کند. از طرفی تأثیر چگالی همسایگان بسیار زیاد است به طوری که تأثیر تغییرات پارامترهای سرعت میانگین جاده و درجه تخلف رانندگان در مقابل چگالی همسایگان بسیار ناچیز است. البته در شرایط چگالی ثابت، تأثیر پارامترهای سرعت و درجه تخلف رانندگان در کنار هم قابل توجه است که درجه تخلف راننده تأثیر قابل توجه‌تری دارد. در کل نتایج حاصل از این مقاله نشانگر آن است که سیستم پیشنهادی، در تمامی شرایط جاده‌ای باعث افزایش ایمنی به میزان قابل توجهی می‌شود. به علاوه، با وجود سیستم پیشنهادی، ایمنی جاده در انجام مانورهای مختلف تغییر خط (Line change) نیز بهبود قابل ملاحظه‌ای می‌یابد و در شبیه‌سازی‌های انجام شده میزان ایمنی همواره بالای ٪۷۵ باقی می‌ماند. این در حالی است که بدون حضور سیستم پیشنهادی و در شرایط متراکم ترافیکی سطح ایمنی به شدت افت می‌کند.

در ادامه این مقاله تحقیقات و فعالیت‌های بسیاری قابل انجام است. به عنوان مثال، بررسی تأثیر گم شدن بسته‌ها در سیستم پیشنهادی. یعنی اگر اطلاعات ارسال همسایگان به هر دلیلی به خودرو همسایه ارسال نشود، یا این اطلاعات با تأخیر ارسال شود، ممکن است پیشنهاد داده شده به راننده کاملاً قابل اطمینان نباشد و منجر به مانور غیرصحیح شود. بررسی تأثیر این اتفاق می‌تواند در پیاده‌سازی دقیق این سیستم کمک شایانی کند. از سوی دیگر،

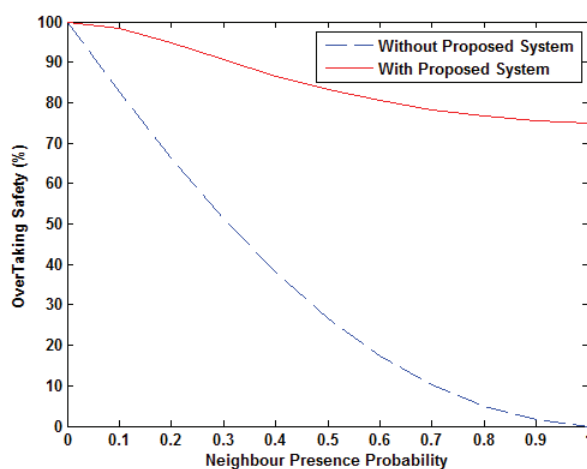
همان‌طور که در شکل‌های شماره ۹ مشاهده می‌شود، مانند بخش قبل زمانی که احتمال وجود همسایگان صفر باشد، ایمنی در هر دو شرایط قبل و بعد از سیستم ایمنی کمک راننده طراحی شده، برابر ٪۱۰۰ است. با افزایش احتمال وجود همسایگان، ایمنی جاده‌ای برای مانورها رفته‌رفته کاهش می‌یابد، ولی با توجه به شکل، کاهش ایمنی در صورتی که سیستم ایمنی طراحی شده فعال باشد، بسیار کم خواهد بود و در نتیجه ایمنی کماکان بالا می‌ماند. از سوی دیگر هنگامی که احتمال وجود همسایگان تا ۱ افزایش می‌یابد، به این معنی است که در هر طرف خودرو، یک خودرو دیگر وجود دارد (در شبیه‌سازی هر خودرو حداکثر ۸ همسایه دارد که می‌توان کمتر یا بیشتر از این تعداد باشد) و با انجام هر کدام از مانورها، - که البته همه آنها نیاز به تغییر لاین دارند - خودرو با همسایه خود برخورد کرده و باعث تصادف می‌شود. به همین دلیل زمانی که احتمال وجود همسایگان ۱ است، ایمنی جاده بدون سیستم طراحی شده، صفر است ولی مطابق شکل ۹، در صورتی که سیستم ایمنی طراحی شده فعال باشد، ایمنی به ٪۷۵ افزایش می‌یابد. این به آن معنی است که سیستم طراحی شده قادر به تشخیص مانورهای خطرناک است. بهبود مورد بحث تقریباً در هر سه نوع مانور (شکل‌های الف، ب و ج) به وضوح قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که به دلیل سهم بالایی که مانورهای تغییر خط در تصادفات دارند، سیستم کمک راننده پیشنهادی اهمیت قابل توجهی پیدا می‌کند.

۶. نتیجه گیری

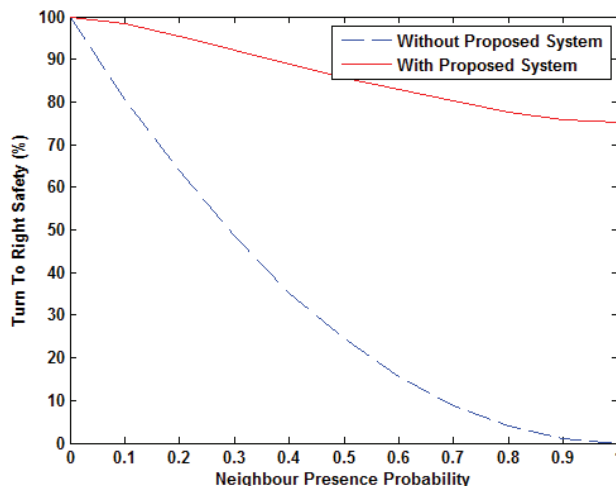
سیستم دستیار راننده پیشنهادی، داده‌هایی مانند سرعت، چگالی و درجه تخلف رانندگی خودروهای همسایه را با استفاده از ارتباطات بین‌خودرویی استخراج کرده و در طی مراحل یک



ب) مانور گردش به چپ



الف) مانور سبقت



ج) مانور گردش به راست و پارک در شانه سمت راست

شکل ۹. بررسی تأثیر سیستم کمک راننده پیشنهادی در افزایش ایمنی مانورها

و شش برابر جاده‌های خشک است. در نتیجه فاصله طولی در شرایط مختلف جاده‌ای و آب و هوایی متفاوت خواهد بود که می‌توان این پارامتر را حساب نمود و در طراحی سیستم مورد نظر از آن استفاده کرد. در اینصورت سیستم طراحی شده با شرایط واقعی جاده‌ای منطبق‌تر خواهد بود. به منظور آنکه سیستم کمک‌راننده بتواند شرایط جاده را تشخیص دهد می‌توان حسگرهای مناسب را در خودرو تعبیه کرد و یا اینکه وضعیت جاده توسط راننده به صورت دستی مشخص شود. تشخیص شرایط جاده می‌تواند با تعبیه حسگرهای مناسب در خودرو و یا به صورت دستی توسط راننده انجام گیرد.

سیستم پیشنهادی، در بخش جمع برداری نیازمند محاسبه توابع مثلثاتی است و یا اینکه پیاده‌سازی سیستم فازی به یک زبان خاص، ممکن است زمانبر باشد که باید راهکارهای مناسبی برای آن اندیشید. علاوه بر موارد ذکر شده، موارد دیگری نیز حائز اهمیت است که می‌توان در کارهای آتی به آنها پرداخت. به عنوان یک نمونه دیگر، در این مقاله فاصله طولی خودروها در جاده‌های خشک محاسبه و بررسی شده است، در صورتیکه این پارامتر در شرایط جاده‌ای مختلف تغییر پیدا می‌کند. در آیین‌نامه راهنمایی و رانندگی جمهوری اسلامی ایران، فاصله طولی در جاده‌های مرطوب، برفی و یخی به ترتیب دو، سه

-Lawton, R., Parker, D., Manstead, A. S. R. and Stradling, S. G. (1997) "The role of affect in predicting social behaviors: The case of road traffic violations", *Journal of Applied Social Psychology*, No. 27, pp. 1258-1276.

-Milanés, V., Perez, J., Godoy, J. and Onieva, E. (2012) "A fuzzy aid rear-end collision warning/avoidance system", *Expert SystAppl*, No. 39, pp. 9097-9107.

-Milanés, V., Pérez, J., Onieva, E. and González, C. (2010) "Controller for urban intersections based on wireless communications and fuzzy logic", *IEEE Transportations on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 11, No. 1, MARCH

-Mohammadzadeh Moghaddam, A. and Ayati, E. (2014) "Introducing a risk estimation index for drivers: A case of Iran", *Elsevier Safety Science*, No. 62, pp. 90-97.

-Morgan, Y .L. (2010) "Notes on DSRC & wave standards suite: Its architecture, design, and characteristics", *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE , vol.12, No.4, pp. 504-518.

-Naranjo, J. E., Gonzalez, C., Garcia, R. and de Pedro, T. (2007) "Interactive road situation analysis for driver assistance and safety warning systems: framework and algorithms", *IEEE Transportations on Intelligent Transportation Systems*, VOL. 8, NO. 1, MARCH.

-Naranjo, J.E., Gonzalez, C., Garcia, R. and de Pedro, T. (2008) "Lane-change fuzzy control in autonomous vehicles for the overtaking maneuver", *IEEE Transportations On Intelligent Transportation Systems*, Vol. 9, No. 3, September.

-NaserAlavi, S., Saffarzade, M., Mamdoohi, A. and Nadimi, N. (2010) "Development of urgent decleration safety indicator designed for opportune detection of rear-end conflict", *Quarterly Journal of Transportation Engineering*. Vol. 1, Issue. 3, spring, pp 27-39

-Reimer, B., Donmez, B., Lavallière, M., Mehler B., Coughlin, J.F. and Teasdale, N. (2013) "Impact of age and cognitive demand on lane choice and changing

۷. پی نوشتها

- 1- Intelligent Transportation System
- 2- Vehicular Communication
- 3- Vehicular Ad Hoc Networks
- 4- Rear-End
- 5- Violation
- 6- Automatic Driving
- 7- Driver Assistant
- 8- Fuzzy Danger Recognition System (FDRS)

۸. مراجع

- ناصر علوی، سید صابر، صفارزاده، محمود، ممدوحی، امیررضا و ندیمی، نوید (۱۳۸۹) "معرفی شاخص ایمنی ترمزگیری اضطراری جهت تشخیص به موقع تصادفات جلو به عقب"، پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۱، شماره ۳، بهار ۱۳۸۹، ص. ۲۷-۳۹

-Blezy, K. and James, A. (2014) "Applications of fuzzy systems in autonomous cars", University of Pittsburgh Swanson School of Engineering.

-Chong, L., Abbas, M. M., Flintsch, A. M. and Higgs, B. (2013) "A rule-based neural network approach to model driver naturalistic behavior in traffic", *ELSEVIER Transportation Research Part C*, No. 32, pp. 207-223.

-Hegeman, G. (2004) "Overtaking frequency and advanced driver assistance systems", in *Proc. IEEE Intell. Vehicles Symp.*, Parma, Italy: Univ. Parma, pp. 145-149.

-Kononov, J., Durso, C., Reeves, D. and Allery, B. K. (2012) "Relationship between Traffic Density, Speed and Safety and Its Implication on Setting Variable Speed Limits on Freeways", *Presentation and Publication at the 2012 TRB Annual Meeting*.

-Kononov, J., Lyon, C. and Allery, B. K. (2011) "Relation of flow, speed, and density of urban freeways to functional form of a safety performance function", *Transportation Research Record*, Journal of the Transportation Research Board, No. 2236, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. , pp. 11-19.

under actual highway conditions”, ELSEVIER Accident Analysis and Prevention, No. 52, pp. 125– 132.

-Roidl, E., Wilhelm Siebert, F., Oehl, M. and Höger, R. (2013) “Introducing a multivariate model for predicting driving performance: The role of driving anger and personal characteristics”, Journal of Safety Research, No. 47, PP. 47–56.

-Saunier, N., Sayed, T. and Lim, C. (2007) “Probabilistic collision prediction for vision-based automated road safety analysis”, Proceeding of the 2007 IEEE intelligent transportation system conference, No. 9, pp. 872-878

-Sugeno, M. and Nishida, M. (1985) "Fuzzy control of a model car", Fuzzy Sets Syst., vol. 16, No. 2, Jul, pp. 103-113.