

مقاله پژوهشی

ارائه مدل تصمیم‌گیری جهت تعیین سیستم مناسب برای ارتقای ایمنی راه‌های برون‌شهری با استفاده از سیستم استنتاج فازی

نوید ندیمی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

امیرحسین زارع میرحسینی، دانشجو کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

آرش غیبی، دانشجو کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

E-mail: navidnadimi@uk.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵

دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۶

چکیده

ایمنی ترافیک یکی از چالش‌هایی است که در زمینه حمل‌ونقل مطرح می‌شود. عامل انسانی در بسیاری از گزارش‌ها به عنوان عامل اثرگذار در رخداد تصادفات جاده‌ای معرفی می‌گردد. روش‌های متنوعی جهت کنترل رفتار رانندگان و جلوگیری از انجام تخلفات وجود دارد. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان این روش‌ها را در دو دسته سنتی و نوین تقسیم‌بندی نمود. در حال حاضر بحث استفاده از سیستم‌های هوشمند به شدت مطرح بوده و در بسیاری از موارد تصمیم‌گیری در ارتباط با بکارگیری این سیستم‌ها در راه‌های مختلف تنها براساس قضاوت کلی صورت می‌پذیرد. در حالیکه این سیستم‌ها دارای مزایا و معایب متنوعی بوده و هر یک ممکن است در شرایط مشخصی دارای اولویت بکارگیری باشند. در این مقاله در نظر است تا ۵ گزینه شامل: عدم نیاز به کنترل راه، کنترل راه با حضور پلیس، استفاده از دوربین‌های ثابت جهت ثبت تخلفات و استفاده از سیستم‌های هوشمند ایمنی در راه با یکدیگر مقایسه شود. این گزینه‌ها دارای تفاوت‌های قابل توجهی به جهت محدودیت کاربرد، هزینه بکارگیری و تعمیر و نگهداری، میزان دقت و تناسب با مشخصات راه مورد نظر هستند. در اینجا با سیستم استنتاج فازی یک مدل تصمیم‌گیری جهت انتخاب گزینه مناسب براساس ۷ معیار توسعه داده خواهد شد. مدل پیشنهادی برای یک مطالعه موردی در استان کرمان جهت تعیین گزینه مناسب در ۵ محور به کار گرفته خواهد شد. براساس نتایج تحقیق می‌توان گفت که استفاده از مدل پیشنهادی می‌تواند در استفاده اصولی از انواع روش‌های کنترلی جهت ارتقای ایمنی راه‌ها با لحاظ کردن معیارهای مختلف فنی و اقتصادی موثر باشد.

واژه های کلیدی: ایمنی، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، فازی، کرمان

۱. مقدمه

رشد سطح رفاه نسبی، خدمات بهداشتی، درمانی، پیشرفت صنایع و ... باعث رشد چشمگیر جمعیت جهانی شده است. رشد جمعیت موجب گسترش شهرنشینی شده است، که خود منجر به افزایش نیاز به جابجایی انسان و کالا می شود [Asad Amraji and Nahavandi, 1395 (in Persian)]. جابجایی فزاینده افراد، وسایل حمل و نقل و کالا، تأثیر اقتصادی و اجتماعی زیادی دارد. رشد سریع تعداد خودروهای موجود، خصوصاً در نواحی شهری، منجر به راه‌بندان، تصادفات بیشتر و همچنین درجات بالاتر آلودگی و اتلاف انرژی می شود. تصادفات ترافیکی هرساله جان هزاران انسان را می گیرد و منجر به جراحات شدید میلیون‌ها نفر می شود [Sousa et al. 2017]. همچنین هر چه تعداد وسایل در جهان زیاد می شود، خصوصاً در نواحی شهری بزرگ، کارایی ترافیک به یک مشکل و معضل جهانی در حال تبدیل است [Liu et al. 2017]. سازمان بهداشت جهانی تخمین زده است که در سال ۲۰۱۳ حدود ۱/۲۵ میلیون نفر در سراسر دنیا در اثر سوانح جاده‌ای فوت کردند. به عبارتی روزانه ۳۰۰۰ نفر به دلیل سوانح جاده‌ای فوت می کنند. ۹۰ درصد این مرگ و میرها در کشورهای در حال توسعه رخ می دهد [WHO¹, 2015]. بنابراین بسیاری از خانواده‌های کم درآمد به واسطه فقدان اعضای خانواده و هزینه‌های مراقبت و درمانی مجروحان تصادف به فقر شدیدتری کشانده می شوند.

بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، نرخ مرگ در ایران بر اثر سوانح جاده‌ای در سال ۲۰۱۳ به ازای هر ۱۰۰,۰۰۰ نفر ۳۲/۱ است، که یکی از بیشترین مقادیر در بین کشورهای آسیایی عضو انجمن حمل و نقل پایدار زیست محیطی است. فقط کشور تایلند با نرخ مرگ ۳۶/۲ به ازای هر ۱۰۰,۰۰۰ نفر در سال

۲۰۱۳ دارای نرخ مرگ بزرگتر از ایران است [WHO, 2015].

در مباحث ایمنی ترافیک و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی، همواره سه عامل انسان، وسیله نقلیه و راه و محیط اطراف به عنوان عوامل اصلی تصادفات شناخته می شوند که سهم عامل انسانی همواره بیش از سایر عوامل در نظر گرفته می شود.

در مطالعات پاک‌گوهر و همکاران که با آمار تصادفات سال ۱۳۸۵ و برای کشور ایران انجام شده، نشان داده شده است که در ۲۳/۸ درصد تصادفات، انسان و در ۰/۹ درصد، راه و تنها در ۰/۱ درصد موارد، خودرو تنها عامل اصلی تصادفات خواهد بود. در ۴۳/۸ درصد عوامل انسان و راه، در ۴/۳ تصادفات عوامل انسانی و خودرو و در ۰/۲ درصد نیز عامل راه و خودرو هر دو به صورت توأمان مؤثر واقع می گردند؛ همچنین در ۲۵/۶ درصد نیز هر سه عامل انسان، خودرو و راه مؤثر واقع خواهد شد و در ۱/۲ درصد نیز سایر عوامل مؤثر هستند بنابراین برای شرایط ایران می توان این گونه گفت که در ۹۷/۵ درصد تصادفات عامل انسانی، در ۳۰/۲ درصد تصادفات، خودرو و در ۷۰/۵ درصد، جاده دخالت خواهد داشت.

بنابراین در صورتی که بتوان نقش عامل انسانی را به نحوی مهار و اصلاح نمود، می توان انتظار کاهش تصادفات جاده‌ای را داشت. روش‌های متنوعی برای این موضوع در حال حاضر وجود دارد. این روش‌ها در یک دسته بندی کلی در دو قالب سنتی و نوین قابل تقسیم بندی هستند. روش‌های سنتی به حضور پلیس در راه‌ها و اعمال قانون اشاره دارد. اما روش‌های نوین بر استفاده از سیستم‌های هوشمند تأکید دارد. سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، فناوری‌ها یا سیستم‌هایی بر پایه اطلاعات و ارتباطات هستند که یا در زیرساخت‌های حمل و نقل یا در وسیله نقلیه نصب می شوند. این سیستم‌ها زمینه‌ای را برای جمع‌آوری، تحلیل و تبادل اطلاعات بین سرویس‌دهندگان و فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول، (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

مسئولین کنترل ترافیک و کاربران آن مهیا می‌کند [Janusova and Cicmancova, 2016].

هر یک از سیستم‌های مرتبط با بحث ارتقای ایمنی راه‌ها دارای مزایا، معایب و محدودیت‌هایی در به‌کارگیری هستند. تنوع شرایط، لزوم تصمیم‌گیری در ارتباط با به‌کارگیری هر سیستم در محل مناسب را آشکار می‌نماید. به‌عبارت‌دیگر در حال حاضر سیستم‌های هوشمند متنوعی با کارکردهای گوناگون برای بحث ارتقای ایمنی راه‌ها توسعه داده شده است. در ضمن سیستم‌های سنتی نیز همچنان دارای کاربرد هستند.

بنابراین لازم است تا بر مبنای یک روش علمی و اصولی با لحاظ کردن معیارهای فنی-اقتصادی، انتخاب سیستم مناسب برای ارتقای ایمنی راه‌ها در هر حالت صورت پذیرد.

در این مقاله در نظر است تا ۴ گزینه شامل: ۱- حالت بدون کنترل ۲- کنترل راه با حضور پلیس و اعمال قانون ۳- استفاده از دوربین‌های ثابت جهت ثبت تخلفات و ۴- استفاده از سیستم‌های هوشمند ایمنی مستقر در راه مورد بررسی قرار گرفته و یک مدل تصمیم‌گیری جهت انتخاب سیستم مناسب در شرایط مختلف ارائه گردد. برای این منظور از سیستم استنتاج فازی (FIS²) جهت تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب سیستم مناسب در هر حالت استفاده می‌شود.

مقاله حاضر ۶ بخش دارد. در بخش بعدی هر یک از سیستم‌های مورد بحث جهت ارتقای ایمنی بررسی خواهد شد. سپس در بخش سوم روش تحقیق، شامل معرفی معیارهای تصمیم‌گیری و نحوه مدل‌سازی با استفاده از FIS ارائه می‌شود. در بخش چهارم نتایج شامل خلاصه مرور ادبیات تحقیق برای متغیرها، نتایج وزن متغیرها، توابع عضویت و قواعد ارائه می‌گردد. در بخش پنجم مدل پیشنهادی در مطالعه موردی برای ۵ محور در استان کرمان استفاده می‌شود. در نهایت بخش ششم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲. ارزیابی گزینه‌ها

در این بخش در نظر است تا سابقه استفاده از سیستم‌های معرفی شده جهت ارتقای ایمنی راه‌ها بررسی شود. سیستم‌های موردنظر عبارت‌اند از: ۱- حضور نیروهای پلیس در مسیر جهت احصای تخلفات ۲- استفاده از دوربین‌های ثابت جهت ثبت تخلفات و ۳- استفاده از سیستم‌های هوشمند ایمنی مستقر در راه.

۲-۱ کنترل با دوربین پلیس و دوربین‌های هوشمند

به شکل کلی دو نوع کنترل (اجبار) وسایل نقلیه وجود دارد، کنترل به شکل سنتی توسط پلیس (کنترل توسط انسان) و کنترل خودکار توسط دوربین‌های ثابت. کنترل سنتی معمولاً توسط مأمور پلیس صورت می‌گیرد. کنترل به شکل سنتی باعث ایجاد ارتباط مستقیم بین ضابط قانون و فرد متخلف گردیده و باعث می‌شود امکان اعمال قانون در لحظه فراهم گردد. کنترل به روش سنتی در راه‌های با ترافیک بالا مناسب نیست و حتی امکان برخورد خودرو به ناظر نیز وجود دارد که از ویژگی‌های منفی این روش کنترل است. بنا بر آنچه ذکر شد روش کنترل خودکار برای کنترل دقیق‌تر و ایمن‌تر در راه‌های با ترافیک بالا به‌عنوان جایگزین روش سنتی معرفی شده است [ECMT³, 2006].

دوربین‌های ثبت تخلف خودکار به شکل قابل ملاحظه‌ای نیروی انسانی درگیر را کاهش می‌دهد. دستگاه می‌تواند به شکل طولانی مدت و بی‌وقفه با و یا بدون حضور مأمور فعالیت نماید. در مقایسه با دوربین هوشمند ثابت کنترل سرعت، دوربین‌های هوشمند متحرک از انعطاف و کارایی بیشتری برخوردار هستند. هر دستگاه متحرک می‌تواند به راحتی در بازه‌های زمانی متفاوت و بر اساس نیاز بین قطعات متفاوت جابجا شود [Elvik, 1997]. کارنیس و بلید برنامه نصب دوربین‌های کنترل سرعت فرانسه را ارزیابی کردند. این برنامه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰، با نصب ۲۷۵۶ دوربین کنترل سرعت در طول کشور انجام شد. این تحقیق با روش تحلیل تاریخیچه زمانی صورت پذیرفت و

نشان داد که این برنامه باعث کاهش ۲۱٪ در نرخ مرگ میر به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ وسیله نقلیه و همچنین باعث کاهش نرخ جراحات از ۲۶/۲٪ به ۰/۸٪ می‌گردد [Carnis and Etienne, 2013]. کوئینزلند استرالیا یک برنامه نظارت مبنی بر احتمال تصادف توسط پلیس به کار گرفت که در آن پلیس به جای قرارگیری در قطعات پر تصادف، در تمامی حوزه استحفاظی حداکثر پیمایش ممکن را جهت نظارت داشته باشد. برنامه به گونه‌ای تنظیم شد که برنامه‌های گشت زنی واحدهای پلیس در طول روزهای هفته و همچنین ساعات روز کاملاً تصادفی باشد تا برای رانندگان قابل پیش‌بینی نباشد [Leggett, 1997]. نیوستد و همکاران یک چارچوب تجربی بر روی آمار تصادفات مبتنی بر روش رگرسیون را به کار گرفتند تا عملکرد دوربین‌های کنترل سرعت را ارزیابی نمایند. نتایج نشان داد که این روش تصادفات منجر به فوت را تا ۳۱٪ کاهش می‌دهند. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به تحلیل هزینه به‌فایده اشاره نمود که نتیجه آن مقدار ۵۵ به ۱ بود [Newstead, Cameron and Leggett, 2001].

گلدنبلد و همکاران مطالعاتی بر روی سیستم‌های هوشمند کنترل سرعت متحرک دریکی از استان‌های هلند انجام دادند که تحقیق صورت گرفته بر اساس روش تحلیل قبل و بعدی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد روش کنترل سرعت هوشمند متحرک باعث کاهش نرخ تصادفات تا ۲۱٪ می‌شود [Goldenbeld and Schagen, 2005]. چن و همکاران مطالعه‌ای در جهت ارزیابی سیستم تصویربرداری سیار از تخلقات در بریتیش کلمبیا کانادا انجام دادند. در این تحقیق تخلقات و فوتی‌های صورت گرفته در یک ماه به روش تحلیل سلسله زمانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده کاهش ۲۵٪ در تصادفات ناشی از سرعت، ۱۱٪ کاهش در تصادفات تعداد مجروحان حمل شده توسط آمبولانس و ۱۷٪ کاهش در تصادفات فوتی بود [Chen and et al. (2000)]. تحقیق دیگری با این مضمون در سال ۲۰۰۳ در بریتانیا برای ارزیابی

میزان اثربخشی این سیستم‌ها صورت گرفت. هدف از تحقیق تعیین میزان اثربخشی این سیستم‌ها بر روی شاخص‌های ترافیک به شکل مستقیم و غیرمستقیم در شهرهای مورد مطالعه بود. نتایج به‌دست‌آمده برای مناطقی که از سیستم‌های هوشمند ثبت تخلف استفاده نموده بودند در مقایسه با مناطقی که استفاده ننموده بودند مورد مقایسه قرار گرفت. تحقیق به شکل آزمایشی در ۵۹۹ نقطه از ۸ منطقه در بریتانیا صورت گرفت و شاخص‌های تغییر در سرعت، تعداد کشته و یا آسیب‌دیده جدی و تعداد نفرات آسیب‌دیده جهت تحلیل ایمنی در نظر گرفته شد. نتایج برای سرعت، در بیشتر نواحی حاکی از آن بود که تعداد خودروهایی که از سرعت مجاز تخطی نمودند کاهش معنی‌داری یافته به شکلی که این مقدار برای دوربین‌های ثابت مقدار ۶۱-۸۱٪ و برای دوربین‌های متحرک مقدار ۲۴-۴۶٪ بود، همچنین شاخص تصادفات فوتی به میزان ۳۱-۶۷٪ و شاخص تعداد تصادفات جرحی ۱۴-۶۴٪ در نواحی مورد مطالعه کاهش یافت [Gains, 2003]. در آریزونا دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در بزرگراه‌ها باعث کاهش تصادفات بین ۵۴-۴۴٪ درصد، تعداد آسیب‌دیده‌ها بین ۴۸-۲۸٪ و کاهش هزینه تصادفات بین ۵۶-۴۶٪ شدند. در شیکاگو نصب دوربین‌ها باعث کاهش ۶۵٪ درصدی تخلقات تعدی از سرعت مجاز بعد از نصب سیستم‌های نظارتی شدند. نصب دوربین‌های شناسایی عبور از چراغ قرمز در تقاطعات در تگزاس منجر به کاهش ۱۱٪ تصادفات رخ داده در تقاطعات شد [Cheeks, 2014]. پاو و همکارانش در سال ۲۰۱۴، در مطالعه‌ای نشان دادند که نصب دوربین‌های کنترل سرعت موجب ۲۹ درصد کاهش در تعداد تصادفات می‌شود [DePauw and et al. 2014]. در سال ۲۰۰۸ پژوهشی در انگلستان توسط جونز و همکارانش انجام گرفته که بر اساس آن، در موقعیت‌هایی که دوربین‌ها نصب شده بود، تصادفات ۱۹ درصد و تصادفات خطرناک ۴۴ درصد کاهش پیدا کرده است [Jones, Sauerzap, and Haynes, 2008]. بر اساس

و سنگین به ترتیب به میزان ۳/۰۵ و ۱/۹۳ کیلومتر بر ساعت شود. [Yusefi et al. (in Persian)].

۲-۲ تجهیزات هوشمند مرتبط با ایمنی زیرساخت

راه

با معرفی تجهیزات هوشمند در زمینه حمل‌ونقل برخی زمینه‌های مرتبط با ایمنی تحت تأثیر قرار خواهند گرفت که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [Kulmala, 1996].

- تحت اثر قرار دادن جنبه‌های درون خودروبی رانندگی به شکل مستقیم با دادن اطلاعات، توصیه، کمک و یا بر عهده گرفتن بخشی از وظایف راننده. بدین سبب تمرکز راننده، فشارهای روانی وارد بر راننده و تصمیم‌گیری راننده به شکل مثبتی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.
- تأثیر مستقیم سیستم‌های هوشمند موجود در زیرساخت راه، بر ایمنی با دادن اطلاعات و توصیه‌های موردنیاز به رانندگان. بدیهی است که تأثیرگذاری این‌گونه سیستم‌ها در برابر سیستم‌های درون خودروبی کمتر است.
- تأثیرات غیرمستقیم بر رفتار رانندگان به گونه‌های بسیار متفاوت و ناشناخته. راننده همواره خود را با تغییر شرایط همسو می‌سازد که این موضوع اغلب تطابق رفتاری نامیده می‌شود که به شکل غیرقابل پیش‌بینی نمایان می‌گردد. تطابق رفتاری به گونه‌های مختلفی نمود پیدا می‌کند که می‌توان به مواردی نظیر تغییر کاربری خودرو، تغییر در سرفاصله زمانی خودروها در فرایند تعقیب خودرو اشاره نمود.
- تأثیرات غیرمستقیم بر گروهی که از تجهیزات استفاده نمی‌نمایند. این‌گونه از تطابق رفتاری به مراتب سخت‌تر از حالت قبلی برای مطالعه است و جز تأثیرات ثانویه احتساب می‌گردد. به‌عنوان مثال این گروه رفتار خود را در اثر تعامل با خودروهای استفاده‌کننده از سیستم‌های هوشمند تغییر می‌دهند.

تحقیق فرد وگمن و چالز گولدنبلد در سال ۲۰۰۶، اعمال قانون به‌صورت فنی باعث کاهش ۲۰ تا ۴۰ درصد تصادفات می‌شود. کاهش تلفات در اثر اعمال قانون، عموماً بیشتر از کاهش جراحات است. تأثیر اعمال قانون در راه‌های درون‌شهری عموماً بیشتر از تأثیر بر راه‌های برون‌شهری است. اما این مسئله مانع از حضور پلیس در راه‌های بین‌شهری نیست. اعمال قانون به‌صورت مکانیزه تأثیرگذارتر از اعمال قانون دستی است. تأثیر اعمال قانون در مجاورت منطقه اعمال قانون، بیشتر از سایر نقاط است [Wegman and Goldenbeld, 2006]. اسماعیلی و همکارانش در سال ۱۳۹۵ بر اساس پژوهشی که انجام دادند، دریافتند که، استفاده از دوربین‌های نظارتی، بر تخلفات رانندگی تأثیر داشته و باعث، کاهش تخلفات و تصادفات شده است [Esmaeili, Karami and Pilaram, 1395 (in Persian)]. بر اساس مطالعه اکبری و میربهاء در سال ۱۳۹۴ دوربین‌های کنترل سرعت، علاوه بر مدیریت سرعت، باعث کاهش تعداد، شدت تصادفات و تعداد تخلفات در جاده‌ها می‌شوند [akbari gheibi and mirbaha, 1394 (in Persian)]. در مطالعه‌ای که توکلی کاشانی و انواری در سال ۱۳۹۳ انجام دادند، نتایج نشان داد، که یکی از عوامل مؤثر بر انتخاب میزان سرعت در بین رانندگان، سن است [Tavakoli Kkashani and Anvari, 1393 (in Persian)]. خسروی و همکاران در سال ۱۳۹۲، به ارزیابی تأثیر نصب دوربین در کاهش میزان تصادفات پرداختند. نتایج میزان کاهش کل تصادفات در قطعات دارای دوربین، حداقل ۷/۰ درصد و حداکثر ۴۲/۰ درصد به دست آمد [Khosravi, Saffarzadeh and Seyedabrishami, 1391 (in Persian)]. حقیقی و همکاران در تحقیقی بر روی کاهش سرعت و عوامل مؤثر بر آن نشان دادند، نصب تابلو و خط‌کشی بر سطح راه می‌تواند باعث کاهش میانگین سرعت وسایل نقلیه به میزان ۱۵/۳ کیلومتر بر ساعت و کاهش سرعت میانگین وسایل نقلیه سبک

- تأثیر بر کاهش اثرات سو تصادفات به وسیله سیستم های هوشمند ایمنی درون خودرویی، با گزارش دقیق تصادفات به مراکز امداد و نجات و کاهش زمان امداد و نجات در این مطالعه با توجه به هدف تحقیق و در راستای هم جهت سازی گزینه های مورد بحث تنها به بررسی سیستم های هوشمند موجود زیرساخت راه خواهیم پرداخت.

در ایالات متحده آمریکا با اجرای سیستم های کنترل هوشمند در برخی تقاطعات، سیستم هوشمند حمل و نقل بهره برداری گردید که از نتایج آن به کاهش ۳۰ درصدی در تعداد تصادفات و کاهش ۴۰ درصدی در تعداد قربانیان سوانح و ۱۲ درصد افزایش در نرخ کمک رسانی و زنده ماندن مجروحان به وسیله اطلاع رسانی به موقع و مفید اشاره کرد [U.S.DOT⁴, 2000]. مطالعات در کشور انگلستان بر روی آمار تصادفات سه سال قبل و سال بعد از اجرای سیستم نقطه به نقطه کنترل سرعت نشان داده است که به طور متوسط، کلیه تصادفات ۱۹ درصد کاهش داشته است. در این تحقیق، تصادفات منجر به فوت ۴۶ درصد و تصادفات با جراحات جدی ۳۷ درصد کاهش نشان داده است [Lynch, White and Napier, 2011]. در ژاپن با اطلاع رسانی اوضاع ترافیکی و آب و هوایی تصادفات ۳۰ درصد کاهش و هم چنین به دلیل نظارت بر عملکرد رانندگان تصادفات ۴۱ درصد کاهش یافته است [ITS Handbook of Japan, 2001].

در ادامه به معرفی برخی سیستم های هوشمند مرتبط با زیرساخت راه برای ایمنی خواهیم پرداخت.

۲-۲-۲ سیستم های محدودیت سرعت متغیر

علائمی و محدودیت هایی هستند که بر اساس زمان و مطابق وضعیت واقعی ترافیک، وضعیت آب و هوا و شرایط در لحظه تغییر می نمایند. کاربران به وسیله علائم الکتریکی هوشمند که بالای سر رانندگان نصب گردیده از وضعیت تغییر سرعت آگاه می گردند. از اهداف اصلی سیستم های محدودیت سرعت متغیر

هوشمند می توان به ارتقا ایمنی از طریق مدیریت سرعت بر اساس شرایط جریان ترافیک اشاره نمود. در سال ۲۰۱۸ الن و همکاران در مطالعه ای اقدام به ارزیابی تأثیرات علائم محدودیت سرعت متغیر برای ارتقا ایمنی در بلژیک انجام نمودند این ارزیابی با مفهوم تحلیل قبل و بعد تصادفات و با ابزار تحلیل هزینه به فایده صورت گرفت [Ellen et al. 2018]. نصب سیستم های محدودیت سرعت متغیر هوشمند بر اساس اختیارات راه ۳ هدف اصلی را دنبال می کند [Kwon et al. 2007]

- ۱- افزایش ایمنی: بر اساس جریان ترافیک و در اثر عواملی نظیر چراغ های راهنمایی، راهنبدان ها، تصادفات و ... تابلوهای هوشمند می توانند به شکل تدریجی محدودیت سرعت را کاهش دهند تا سرعت متوسط جریان کاهش یافته و از بروز تصادفات و آشفته گی جلوگیری نماید
- ۲- آشکارسازی خطوط مسدود جریان: این سیستم ها می توانند جریان ترافیک را از خطوط مسدود هدایت کنند.
- ۳- ارتقای جریان ترافیک از طریق یکنواخت سازی سرعت: در لحظاتی که جریان ترافیک بالا است محدودیت سرعت کاهش می یابد که منجر به جریان ترافیک یکنواخت تر و کاهش مانورهای رانندگان می شود.

لو با انجام مطالعاتی، مطالعات صورت گرفته روی سیستم های محدودیت سرعت متغیر هوشمند را در سه دسته طبقه بندی نمود: استفاده از شبیه سازی و الگوریتم برای ارزیابی، مطالعات میدانی و ترکیب سیستم های محدودیت سرعت متغیر با سیستم سنجش رابطه ها [Lu and Shladover, 2014].

۲-۲-۲ سیستم های پرداخت الکترونیک عوارض

در سال های ابتدایی به کارگیری سیستم های پرداخت الکترونیک عوارض باعث افزایش وقوع تصادفات ناشی سردرگمی و نگرانی راننده ها از پرداخت نشدن عوارض، شد اما امروزه با

[Kansas and Missouri Departments of Transportation, 2012]

۲-۲-۵ مدیریت خودکار ترافیک

این سیستم یکی از زیرمجموعه‌های اصلی سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل است. دیدگاه سیستم مدیریت خودکار ترافیک، چشم‌انداز مدیریتی از بالا به پایین است که فناوری را به‌طور عمده برای بهبود جریان ترافیک خودروها و ایمنی، ادغام می‌کند. اطلاعات لحظه‌ای ترافیک از دوربین‌ها، حسگرهای سرعت و ... به مرکز مدیریت حمل‌ونقل منتقل می‌شوند و در آنجا ادغام و پردازش می‌شوند و منجر به اتخاذ عکس‌العمل و واکنش مناسب باهدف بهبود جریان ترافیک می‌شوند. سیستم مذکور تلاش می‌کند که ازدحام ترافیک در مناطق شهری را با افزایش کارایی بهره‌برداری از زیرساخت‌های موجود به حداقل برساند. این سیستم همچنین به دنبال پیدا کردن راه‌حلی برای مشکلات ناشی از ازدحام ترافیک در آزادراه‌ها و خیابان‌های شهری با فناوری‌های ارتباطی و پردازش داده است. مشکلات در نظر گرفته‌شده هم شامل ازدحام ترافیک به دلیل الگوهای معمول ترافیک (سیستم‌های مدیریت ازدحام ترافیک) و هم شامل مشکلات ترافیکی به دلیل خودروهای متوقف‌شده یا سوانح غیرقابل پیش‌بینی (سیستم‌های مدیریت سوانح) می‌شود.

۲-۲-۶ سیستم‌های مدیریت بحران هوشمند

مطالعات صورت گرفته در ایالات متحده نشان داد که اولویت بخشی به خودروهای امدادی باعث کاهش ۱۴ تا ۲۳ درصدی زمان رسیدن این خودروها به مصدومان می‌شود [Texas Departments of Transportation, 2017]. سیستم‌های مدیریت بحران و مراکز مدیریت ترافیک باعث افزایش کارایی سیستم‌های مدیریت بحران می‌گردد. مشاهدات صورت گرفته در ماه اول نصب تجهیزات نشان داد فرایند تشخیص، ارزیابی و اطلاع‌و قایع بین ۳۵ تا ۱۰۵ ثانیه کاهش یافت. در جرجیا برنامه برای مدیریت بحران مدت‌زمان متوسط

افزایش وجود این سیستم‌ها و همچنین افزایش آگاهی رانندگان این سیستم‌ها باعث افزایش ایمنی و کاهش تصادفات گردیده‌اند [Hatcher, 2014]. بر اساس مشاهدات صورت گرفته در تحقیقات دانشگاه پلازا می‌توان اذعان داشت که ۲۲٪ تصادفات در محل ایستگاه‌های اخذ عوارض و ۲۶٪ تصادفات در نواحی تحت اثر ایستگاه‌های اخذ عوارض کاسته شده است [Klodzinski, 2007].

۲-۲-۳ سیستم‌های اطلاع‌دهی هوشمند به رانندگان

سیستم‌های ارتباطی پیشرفته امکان ارسال سریع اطلاعات به شکل جمعی برای رانندگان فراهم نموده‌اند. رانندگان می‌توانند اطلاعات مهمی در رابطه با وضعیت حال حاضر ترافیک از طریق موبایل‌های هوشمند و تابلوهای پیام متغیر برای رانندگان فراهم نمایند. [Organization for Economic Co-operation and Development, 2003]

۲-۲-۴ سیستم‌های کنترل رمپ

کنترل رمپ بخشی از سیستم مدیریت سیستم مدیریت راه‌ها است که نتایج گزارش‌ها آن منتج به تعیین راهبردهایی برای کاهش تداخلات و افزایش ایمنی در راه‌ها می‌گردد. استفاده هم‌زمان از چراغ‌های راهنمایی به همراه سیستم‌های کنترل باعث تعدیل جریان ترافیک ورودی به راه بر اساس وضعیت موجود جریان ترافیک می‌گردد [Jacek, Tomasz and Marcin, 2017]. ادارات حمل‌ونقل میسوری و کانزاس اقدام به انجام آزمایشی پایش رمپ در شهر کانزاس و در بزرگ‌راه I-435 نمودند. هدف از انجام کنترل رمپ کاهش تعداد تغییر خطوط ناگهانی و ترمزهای ناگهانی در حوالی ورودی رمپ‌ها است. تحلیل‌های به‌دست‌آمده ارتقا قابل توجه ایمنی در هنگام ورود خودروها را نشان داد [Kansas and Missouri Departments of Transportation, 2012]. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از میلوکی، پرتلند، دیترویت و دنور ثابت شد که نصب تجهیزات کنترل رمپ باعث کاهش ۲۶ تا ۵۰ درصدی تصادفات در محدوده مورد مطالعه می‌گردد

به طول انجامیدن بحران را از ۶۷ دقیقه به ۲۱ دقیقه کاهش داد [Guin, 2006]. در سال ۲۰۰۷ در ساوانا سیستم GPS بر روی خودروهای امدادی نصب گردید که نتیجه آن کاهش زمان سفر خودروهای امدادی از ۷ دقیقه به ۱ دقیقه بود [Global Traffic Technologies, 2010].

۳. روش تحقیق

در اینجا در نظر است تا با استفاده از FIS مدلی جهت تصمیم‌گیری در رابطه با شیوه مناسب جهت ارتقای ایمنی یک محور ارائه شود. محاسبات نرم روشی ابتکاری در راستای ایجاد سیستم‌های هوشمند است. حل مسائل پیچیده دنیای واقعی نیازمند به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند است. این دسته از سیستم‌ها ترکیبی از دانش، تکنیک و روش‌شناسی مختلف هستند. انتظار می‌رود این سیستم‌ها خودشان را با محیط تطبیق داده و یاد بگیرند چطور با تغییرات محیط سازگار شوند و در نهایت در تقابل با محیط اطراف تصمیم خاصی را اتخاذ کرده و عمل مشخصی را انجام دهند.

FIS برای توصیف نظام‌مند دانش انسان و انجام استنتاج و اتخاذ یک تصمیم مناسب استفاده می‌شود. این نوع محاسبات نرم یک روش جدید محاسباتی است که توانایی‌های ذهن انسان را برای استدلال و فراگیری در یک محیط نامعین و نادقیق گرد هم می‌آورد. سیستم استنتاج فازی یک چارچوب محاسباتی پرتفردار بر مبنای مفهوم مجموعه‌های فازی، قواعد اگر-آنگاه و استدلال فازی است. منطق فازی یک روش مناسب برای نگاشت فضای ورودی به فضای خروجی است. منطق فازی اجازه تکیه بر نظرات و تجربیات متخصصانی که شناخت دقیقی از یک سیستم دارند را می‌دهد [Zadeh, 1965].

روند روش تحقیق بدین ترتیب است که بر اساس مرور ادبیات تحقیق صورت پذیرفته ابتدا اطلاعاتی در رابطه با عوامل مؤثر بر عملکرد و رتبه‌بندی مبتنی بر عملکرد تعیین می‌شود. این عوامل به‌عنوان ورودی‌های اثرگذار در سیستم استنتاج فازی

خواهد بود. سپس دامنه تغییرات این ورودی‌ها مشخص و بر اساس قواعد زبانی به بازه‌های کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌شوند. همچنین برای هر یک از ورودی‌ها توابع عضویت تشکیل می‌شود. در ادامه بر اساس، ادبیات تحقیق و نیز آیین‌نامه‌های معتبر نسبت به توسعه قواعد فازی اقدام می‌شود. قواعد فازی در واقع چگونگی ترکیب ورودی‌ها و نسبت آن‌ها با خروجی را ارائه می‌دهد. خروجی مورد نظر در اینجا نوع روش کنترل راه است. جهت توسعه مدل تصمیم‌گیری بر مبنای FIS ابتدا لازم است تا متغیرهای ورودی سیستم تعریف شوند. سپس بایستی توابع عضویت متغیرهای ورودی و نیز قواعد فازی مربوط به نحوه ترکیب ورودی‌ها جهت رسیدن به خروجی ارائه شود. در نهایت فرایند مدل‌سازی از طریق نرم‌افزار MATLAB انجام خواهد شد. در ادامه در رابطه با هر مورد صحبت خواهد شد.

۳-۱ متغیرهای ورودی و خروجی

شرایط و محدودیت‌های مختلفی که می‌تواند در تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب شیوه مناسب جهت ارتقای ایمنی یک‌راه برون‌شهری مؤثر باشد، می‌تواند به‌عنوان ورودی مدل محسوب شود. برای تعیین متغیرهای ورودی مؤثر در تعیین سیستم و راهبرد مناسب جهت تصمیم‌گیری برای ارتقای ایمنی راه‌ها از رویکرد زیر در اینجا استفاده شده است. در این رویکرد مرور کامل ادبیات تحقیق در رابطه با عوامل مؤثر بر ارتقای ایمنی راه و سیستم‌های مرتبط به راه صورت گرفته است. با توجه به این موارد متغیرهای ورودی مؤثر بر تعیین انتخاب رویکرد انتخاب سیستم ارتقا ایمنی راه در یک‌راه برون‌شهری تعیین گردید.

پس از تعیین نتایج مرحله اول و با استفاده از خروجی‌های مرور ادبیات تحقیق معتبر کلیه عوامل مؤثر بر ارتقا ایمنی راه از طریق سیستم‌های مرتبط با زیرساخت راه شناسایی گردید. در مرحله دوم سعی شد تا با استفاده از نظرات خبرگان و

متخصصین وزندهی به عوامل مؤثر بر تعیین درجه عملکردی راه صورت پذیرد و به‌نوعی این عوامل رتبه‌بندی شود. برای این کار فرم‌های نظرسنجی تدارک دیده شد و به طریق الکترونیکی برای متخصصین حمل‌ونقل به اشتراک گذاشته شد. طراحی فرم‌ها به‌گونه‌ای است که متخصصین ارجحیت هریک از متغیرهای ورودی را دوه‌دو نسبت به یکدیگر سنجیده و با اعداد ۱ تا ۹ امتیازدهی کنند. پس از تعیین نتایج نظرسنجی برای تعیین امتیاز هر یک از متغیرها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP⁵) به‌عنوان یکی از روش‌های معتبر رتبه‌بندی استفاده شد و از این طریق متغیرها رتبه‌بندی گردیدند. در نهایت نتایج پالایش می‌شود، منظور از پالایش نتایج این است که ابتدا بر اساس امتیازی که متخصصان به هر یک از متغیرهای ورودی به جهت میزان اثرگذاری داده‌اند، این موارد اولویت‌بندی می‌شوند. جهت جلوگیری از طولانی و پیچیده‌تر شدن قواعد فازی، تنها ۷ مورد از ورودی‌ها که بیشترین تأثیر را دارند انتخاب می‌شوند. پس از نهایی شدن متغیرهای ورودی باید توابع عضویت ورودی برای آن‌ها مشخص گردد. برای این منظور باید بازه تغییرات متغیرهای ورودی تعیین شود. در اینجا برای تعیین دامنه تغییرات هر یک از متغیرها از مرور ادبیات تحقیق و بررسی آیین‌نامه‌ها و گزارش‌های معتبر استفاده گردید. با مشخص شدن بازه تغییرات متغیرهای ورودی توابع عضویت ورودی تعیین می‌شود. هر یک از متغیرهای ورودی در توابع عضویت ورودی در سه بخش کم، متوسط و زیاد دیده خواهد شد و درجه عضویت مقادیر مختلف آنها به این بخش‌ها بررسی خواهد شد.

متغیر خروجی نشان‌دهنده شیوه کنترل راه موردنظر خواهد بود. خروجی‌های مدل شامل ۴ گزینه تصمیم‌گیری شامل: ۱- عدم نیاز به کنترل ۲- حضور پلیس درراه موردنظر ۳- استفاده از دوربین‌های ثابت جهت ثبت تخلفات و ۴- استفاده از سیستم‌های هوشمند ایمنی مستقر در راه است.

خروجی‌های مدل فرم گسسته داشته و در قالب قواعد زبانی قرار ندارند. در اینجا خروجی مدل بین ۱ تا ۴ لحاظ خواهند شد. تابع عضویت خروجی نیز به فرم ۴ تایی و با کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد که به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌های خروجی ۱ تا ۴ است، نشان داده می‌شود.

در نهایت در زمان مدل‌سازی چنانچه اعداد غیر صحیح به‌عنوان خروجی به دست آید، بایستی عدد حاصله جهت به دست آوردن گزینه نهایی گرد شود.

ورودی‌های مدل نیز جهت توسعه قواعد فازی بایستی در قالب متغیرهای زبانی ارائه شوند. برای این منظور ابتدا محدوده تغییرات هر متغیر ورودی مشخص و سپس به سه بازه کم، متوسط و زیاد تقسیم خواهد شد. البته در هر متغیر هر مقدار بر اساس تابع عضویت آن، دارای میزان تعلقی به هر یک از بازه‌های کم، متوسط و زیاد خواهد بود.

۳-۲ قواعد فازی

یکی از مهم‌ترین بخش‌های FIS توسعه قواعد فازی است. قواعد فازی در واقع نحوه ترکیب کردن متغیرهای ورودی در قالب قواعد زبانی و ارائه متغیر خروجی مجدداً در فرم زبانی است. منظور از قواعد فازی تعیین نتایج خروجی شامل گزینه منتخب برای ارتقا ایمنی راه در قطعه موردنظر همراه با ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی است. برای توسعه قواعد فازی در اینجا از ترکیب دو رویکرد مبتنی بر نظر متخصصین در مورد ایمنی راه و موارد موجود بر اساس مرور ادبیات تحقیق و آیین‌نامه‌های معتبر بهره‌برداری شده است. بدین منظور پس از تعیین پارامترهای ورودی و رتبه متغیرها بر اساس نظر متخصصین، جداول ورودی تنظیم گردید این جدول شامل تمامی حالات امتیازدهی به هفت متغیر شامل کم، متوسط و زیاد است. در اینجا ماتریسی ساخت می‌شود که تعداد ستون‌های آن برابر با مجموع تعداد متغیرهای ورودی خروجی

۳	کارشناسان اداره راه و	۵
شهرسازی		
۴	پژوهشگران	۸۰

نهایتاً تعیین وزن نهایی با استفاده از روش بردار ویژه و معادله‌های ۱ تا ۴ انجام خواهد شد.

$$A_{9 \times 9} \times W_{9 \times 1} = \lambda \times W_{9 \times 1}$$

$$A_{9 \times 9} \times W_{9 \times 1} - \lambda \times W_{9 \times 1} = 0 \Rightarrow (A - \lambda I)W = 0 \quad (2)$$

$$\det(A - \lambda I) = 0 \Rightarrow \lambda_{\max}$$

$$\begin{cases} (A - \lambda_{\max} I) = 0 \\ \sum_{i=1}^7 W_i = 1 \end{cases} \Rightarrow W_1, \dots, W_7$$

در این روابط:

A : ماتریس مقایسه زوجی متغیرهای ورودی،

W_i : وزن هر یک از متغیرهای ورودی،

λ : مقدار ویژه،

$\lambda_{\max}$: بزرگ‌ترین مقدار ویژه.

I : ماتریس همانی.

برای ارزیابی سازگاری نتایج نظرسنجی صورت گرفته در رابطه با تعیین وزن معیارها از نرخ ناسازگاری استفاده خواهد شد. چنانچه این نرخ کمتر از ۰/۱ باشد، می‌توان گفت نتایج مربوط به وزن معیارها دارای اعتبار کافی است.

در ادامه پس از تعیین وزن هر یک از متغیرهای ورودی و با داشتن بازه تغییرات آنها مقدار حداکثر و حداقل مقدار حاصل از ترکیب متغیرهای ورودی مطابق روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شود.

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

$$\min(T) = \sum_{i=1}^7 a_i W_i \quad (6)$$

در اینجا:

T : متغیر خروجی،

(۸ مورد) و هر سطر از ماتریس بیانگر یک حالت از مجموع حالات ترکیب متغیرهای ورودی است.

برای توسعه قواعد فازی که به تعداد ۳۷ مورد هستند، از یک روش ابتکاری استفاده می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا وزن هر یک از ۷ متغیر ورودی به جهت اهمیت در تعیین متغیر خروجی بایستی مشخص شود. برای تعیین وزن معیارها از مقایسه زوجی متغیرها براساس مقیاس جدول ۱ استفاده می‌شود.

(۳) مقایسه زوجی معیارها براساس نظرات متخصصین شامل نیروهای پلیس راهور، کارشناسان ادارات کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای و راه و شهرسازی و پژوهشگران فعال در زمینه‌های مرتبط استفاده شده است. در جدول ۲ فراوانی افرادی که از آنها پرسش صورت گرفته مشخص شده است.

جدول ۱. نحوه مقایسه زوجی متغیرهای ورودی

میزان اهمیت	تعریف
۱	اهمیت یکسان
۲	کمی مهم‌تر یا مهم‌تر
۳	اهمیت متوسط
۴	اهمیت بیش از متوسط
۵	اهمیت زیاد
۶	اهمیت بیش از زیاد
۷	اهمیت خیلی زیاد
۸	اهمیت خیلی خیلی زیاد
۹	اهمیت به شدت زیاد
اگر اهمیت متغیر i نسبت به j یکی از مقادیر بالا باشد، آنگاه اهمیت j نسبت به i عکس این عدد خواهد بود.	

جدول ۲. فراوانی افراد گروه‌های مختلف مورد پرسش جهت

تعیین وزن متغیرهای ورودی		
ردیف	گروه‌های مورد پرسش	فراوانی
۱	پلیس راهور	۱۰
۲	کارشناسان اداره راهداری و	۵
حمل و نقل		

Z_i : حداکثر مقدار هر متغیر ورودی

a_i : حداقل مقدار هر متغیر ورودی

حال محدوده تغییرات حاصل از ترکیب متغیرهای ورودی از $\max(T)$ تا $\min(T)$ بدست می‌آید. سپس بازه تغییرات به ۴ بازه جهت انعکاس متغیرهای خروجی تقسیم‌بندی می‌شود. بدین ترتیب اکنون با وارد کردن هر ترکیب از متغیرهای ورودی متغیر خروجی متناسب با آنها بدست خواهد آمد. لذا می‌توان تعداد ۳۷ قاعده را تهیه کرد.

۴. نتایج

در این قسمت نتایج بررسی ادبیات تحقیق، آیین‌نامه‌ها و نیز نتایج نظرسنجی به عمل آمده از متخصصین جهت تعیین متغیرهای ورودی مؤثر بر تعیین درجه عملکردی راه‌ها ارائه می‌گردد. همچنین حدود تغییرات هریک از متغیرها نشان داده خواهد شد. همچنین نتایج وزن‌دهی هر یک از متغیرهای ورودی نیز ارائه می‌شود. در انتهای این بخش توابع عضویت متغیرهای ورودی فازی و قواعد فازی به‌طور نمونه می‌آید.

۴-۱ نتایج بررسی ادبیات تحقیق در رابطه با عوامل مؤثر بر تعیین سیستم ارتقا ایمنی راه

خروجی نتایج حاصل از مرور ادبیات تحقیق و بررسی نظرات متخصصین نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل مؤثر برای انتخاب یک رویکرد مناسب در جهت انتخاب یک سیستم مناسب برای ارتقای ایمنی راه‌ها به‌صورت ارائه‌شده در ادامه است. همچنین در مورد هر متغیر در صورتی که بازه تغییرات نیز مشخص باشد اطلاعات آن‌ها نیز ارائه شده است.

- متوسط سالانه شاخص شدت تصادفات در قطعه‌ای به طول ۱۰۰ کیلومتر: تعداد تصادفات به وقوع پیوسته یکی از بهترین شاخص‌های بیانگر وضعیت ایمنی در هر قطعه از راه است در واقع وقوع تصادفات یک

شاخص عینی و واقعی از وضعیت ایمنی در هر قطعه از راه است. اما علاوه بر تعداد تصادفات شدت تصادفات نیز بسیار مهم است یک تصادف فوتی بسیار مهم تر از چندین تصادف خسارتی است لذا در این مطالعه شدت تصادفات به عنوان پارامتر لحاظ کننده تصادفات در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است هرچه شدت تصادفات در قطعه مورد مطالعه به میزان حداکثر نزدیک‌تر باشد نیاز به رفتن به سمت گزینه‌های هوشمند محسوس می‌گردد. در راستای محاسبه شدت تصادفات از شاخص همسنگ مالی که مورد تایید سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای ایران نیز است استفاده شد که مطابق با رابطه ۷ است.

$$P = 5A + 3B \quad (7)$$

که در آن:

A: تعداد فوتی‌ها

B: تعداد مجروحان

بر اساس آمار سالنامه‌ی آماری سال ۱۳۹۶ سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای [RMTO⁶, 1396] میانگین تعداد مجروحان و فوتی‌های هر استان محاسبه گردید سپس میانگین و واریانس مقادیر میانگین هر استان محاسبه گردید و با داشتن طول راه‌های هر استان این مقادیر برای هر صد کیلومتر محاسبه گردید و شاخص مالی همسنگ محاسبه گردید. برای تعیین حدود تغییرات با فرض توزیع نرمال از رابطه ۸ استفاده گردید.

$$[\bar{X} - S, \bar{X} + S] = \text{دامنه تغییرات} \quad (7)$$

که در اینجا:

$\bar{X}$: میانگین

S: انحراف معیار

راهداری و حمل و نقل جاده‌ای [RMTO, 1396]

استان کرمان دارای بیشترین تعداد نقطه حادثه خیز با تعداد ۲۳۵ نقطه حادثه است. با توجه به نقشه پراکندگی این نقاط و مطالعه صورت گرفته حداکثر ۱۶ نقطه حادثه خیز در قطعه ای به طول ۱۰۰ کیلومتر وجود دارد.

- بودجه موجود: فارغ از موارد فنی و شاخص‌های ایمنی برای تعیین وضعیت سیستم‌های ارتقای ایمنی قطعات راه، شاخص‌های مالی و مشخصاً بودجه از اهمیت بالایی برخوردار است. اگر قطعه و یا ناحیه‌ای وضعیت تصادفات بحرانی باشد اما بودجه کافی وجود نداشته باشد علی‌رغم وجود نیاز شدید به سیستم هوشمند و نیروی انسانی زیاد برای نظارت، هیچ‌یک از تمهیدات عملی نخواهد بود. در راستای تعیین حدود تغییرات متغیر بودجه هزینه‌های سیستم‌های هوشمند با توجه به هزینه‌های بالاتر آن‌ها نسبت سایر گزینه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا بودجه وزارت راه در سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت که حدود ۸/۶ هزار میلیارد تومان بوده است. طول کل راه‌های شریانی و اصلی کشور نیز حدود ۴۵ هزار کیلومتر است. با فرض آنکه ۱۰ درصد این بودجه صرف ایمن‌سازی راه‌های شریانی و اصلی کشور بشود، آنگاه به هر ۱۰۰ کیلومتر راه فارغ از در نظر گرفتن اولویت آن در حد ۲ میلیارد تومان بودجه قابل تخصیص است.

- طول مسیر: در مسیرهای محلی و با طول‌های متوسط و کوتاه نظارت به شکل‌های سنتی و با استفاده از نیروی انسانی ثابت و متحرک ممکن و کارا است، اما در مسیرهای بلند سیستم‌های سنتی به‌تنهایی کارایی خود را از دست می‌دهند. لذا در قطعات بلند نیاز به استفاده ترکیبی و هم‌زمان از روش‌های سنتی در کنار

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول، (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

که بر اساس محاسبات انجام شده دامنه تغییرات شاخص شدت تصادفات بین صفر تا ۲۶۶۰ برای صد کیلومتر در سال محاسبه می‌گردد.

- متوسط روزانه تعداد تخلفات در قطعه‌ای به طول ۱۰۰ کیلومتر: بر خلاف متغیر تعداد تصادفات روزانه که شاخص عینی وضعیت ایمنی شناخته شد، شاخص تعداد تخلفات روزانه بیانگر پتانسیل وقوع تصادفات بوده و رابطه مستقیم و تنگاتنگی مابین تعداد تصادفات و تعداد تخلفات وجود دارد. لذا در قطعات پر تخلف استفاده از سیستم‌های هوشمند و در قطعات با تخلف کم، سیستم‌های نظارت انسانی پیشنهاد می‌گردد. برای تعیین حد اکثر تعداد تخلفات از داده های تردد شماری برخط سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای [RMTO, 1396] استفاده شد و بر اساس تحقیقات صورت گرفته محور تهران گرج با داشتن بیشترین تردد روزانه به عنوان محور منتخب برای تعیین حداکثر تعداد تخلفات انتخاب گردید. بر اساس اطلاعات تردد شمار برخط محور با کد ۱۱۴۵۰۱ میانگین تعداد تخلفات برای ۱۲ ماه سال ۱۳۹۶ این محور مقدار ۲۱۸۵۸ مورد تخلف روزانه است بر این اساس دامنه تغییر این پارامتر بین ۰ تا ۲۱۸۵۸ تخلف در روز تعیین می‌گردد.

- متوسط تعداد نقاط حادثه‌خیز در قطعه‌ای به طول ۱۰۰ کیلومتر: در جهت تعیین نقاط حادثه‌خیز تعاریف متفاوتی وجود دارد، اما وضع وخیم قطعه و یا نقطه حادثه‌خیز به لحاظ فراوانی تصادفات شدید فوتی و جرحی که خسارات شدید مالی و اجتماعی به همراه دارند در بین تمامی تعاریف مشترک است. بنابراین در راه‌هایی که قطعات حادثه‌خیز زیادی دارند نیاز به چاره‌اندیشی از طریق سیستم‌های دقیق‌تر و کارا تر بسیار محسوس است. بر اساس اطلاعات سازمان

میزان اهمیت، شرایط اقتصادی و ... لازم است انتخاب دقت موردنیاز برای سیستم صورت پذیرد. برای کمی سازی متغیر کیفی دقت میزان حداقل ۵۰ درصد و حداکثر ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد.

لازم به ذکر است که برای تعیین حدود تغییرات تعداد تصادفات، تخلفات و نقاط حادثه‌خیز با فرض نرمال بودن جمعیت و با استفاده از مقدار متوسط بیان شده برای بازه ۱۵ تا ۸۵ درصدی مقادیر حداقل و حداکثر حساب شدند. خلاصه موارد ذکرشده در رابطه با متغیرهای ورودی را می‌توان در جدول ۳ مشاهده نمود.

جدول ۳. متغیرهای فازی و حدود تغییرات آنها		
ردیف	متغیر	حدود تغییرات
۱	متوسط سالانه شاخص شدت تصادفات	۲۶۶۰-۰ در سال در ۱۰۰ کیلومتر
۲	متوسط روزانه تعداد تخلفات	۲۱۸۵۸-۰ عدد در روز در ۱۰۰ کیلومتر
۳	تعداد متوسط نقاط حادثه‌خیز	۲۰-۰ عدد در ۱۰۰ کیلومتر
۴	میزان بودجه موجود برای ایمن‌سازی ۱۰۰ کیلومتر	۲-۰ میلیارد تومان برای هر ۱۰۰ کیلومتر
۵	طول مسیر	۱۰۰-۰ کیلومتر
۶	درجه عملکردی	۷-۱
۷	میزان دقت مورد نظر	۵۰-۱۰۰ درصد

۴-۲ خروجی فرم‌های نظرسنجی از کارشناسان در

رتبه‌بندی متغیرها

همان‌طور که ذکر شد پس از تعیین متغیرهای مؤثر برای رتبه‌بندی متغیرها و هم‌چنین تعیین امتیاز هر یک از متغیرها نظرسنجی از متخصصین امر به عمل آمد. در این راستا فرم‌های نظرسنجی به صورت الکترونیکی برای متخصصین ارسال گردید. ساختار فرم‌ها به گونه‌ای است که ارجحیت هریک از متغیرها به صورت دویه‌دو سنجیده می‌شود. برای تعیین

سیستم‌های هوشمند محسوس است. بر اساس سالنامه آماری سال ۱۳۹۶ سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای [RMTO, 1396] طول راه‌های ایران ۸۸۰۱۲ کیلومتر است. در این مطالعه فرض بر آن است که تصمیم‌گیری حداکثر برای یک قطعه با طول حداکثری ۱۰۰ کیلومتر صورت می‌پذیرد.

- درجه عملکردی: راه‌های با درجه عملکردی بالاتر دارای اهمیت بالاتر و هم‌چنین فراهم‌کننده سرعت و جابجایی بیشتر هستند، از این رو سرعت بالاتر در این راه‌ها به شکل بالقوه امکان وقوع تصادفات را بیشتر می‌نماید و هم‌چنین حجم ترافیک انتقالی بالاتر در این راه بر اهمیت و نقش آن‌ها می‌افزاید. بنابراین با افزایش درجه عملکردی راه‌ها نیاز به صرف بودجه توجه بیشتر و هم‌چنین روی آوردن به سیستم‌های هوشمند در کنار نظارت‌های سنتی محسوس است. در سمت مقابل برای راه‌های با درجه عملکردی پایین با توجه به ترافیک و سرعت کم استفاده از سیستم‌های نظارت سنتی کارا و مقرون به صرفه خواهند بود. بر اساس نشریه ۴۱۵ [Office of Deputy for Strategic Supervision, 2012] رده عملکردی برای راه قابل‌تصور است که به ترتیب شامل آزادراه، بزرگراه، راه اصلی درجه ۱، راه اصلی درجه ۲، راه فرعی درجه ۱، راه فرعی درجه ۲ و راه فرعی درجه ۳ هستند که به ترتیب با کدهای ۷ تا ۱ نام‌گذاری می‌شوند.

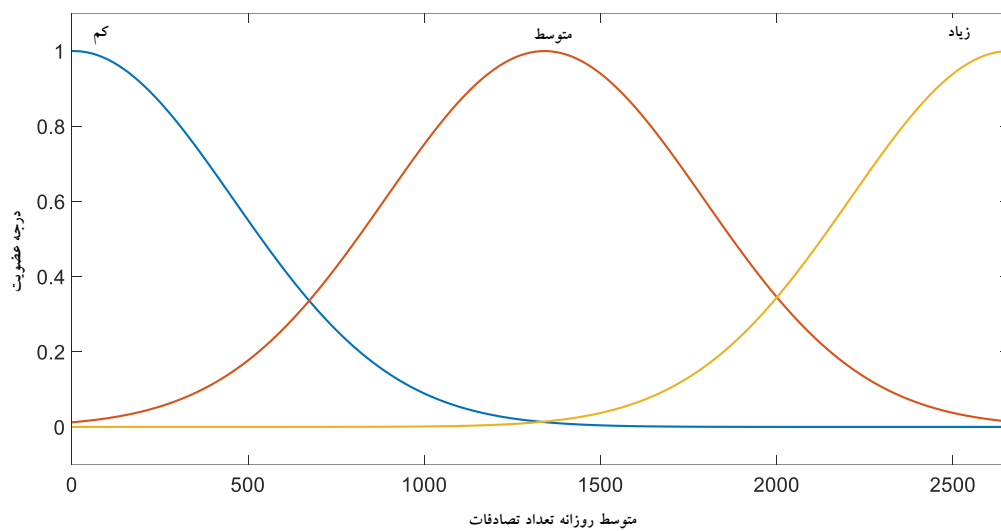
- دقت: دقت هر سیستم از عوامل مهم در تصمیم‌گیری برای انتخاب سیاست تصمیم‌گیری برای ایمنی هر قطعه راه است. بدیهی است که روش‌های سنتی و انسان‌محور به دلیل خطای اجتناب‌ناپذیر نیروی انسانی در مقابل سیستم‌های هوشمند از دقت پایین‌تری برخوردار هستند لذا بر اساس شرایط قطعه،

رتبه‌بندی‌ها و به دست آوردن امتیاز هر متغیر از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج تعیین وزن متغیرهای ورودی به شرح جدول ۴ است.

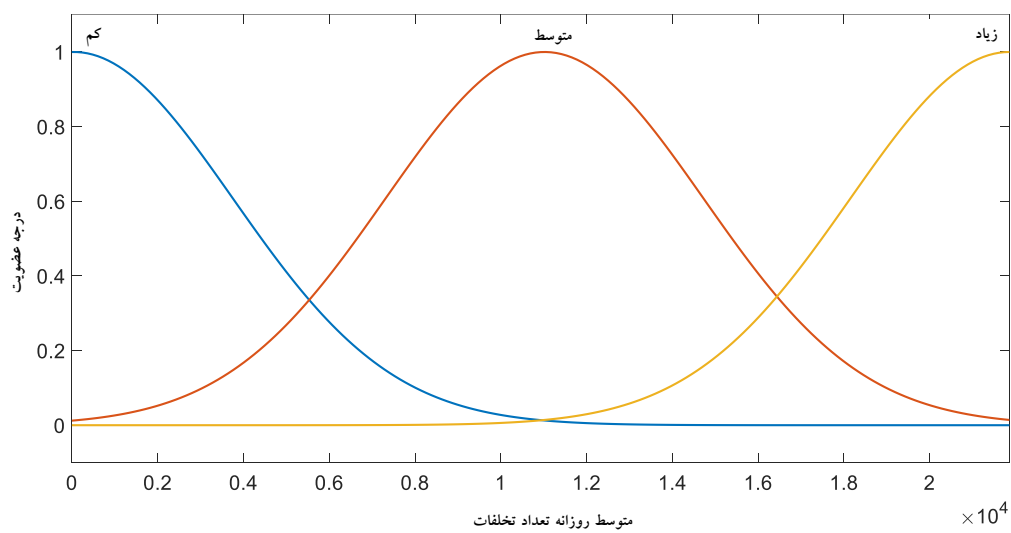
۴-۳ تابع عضویت

توابع عضویت ورودی برای متغیرهای ورودی در شکل‌های ۱ تا ۷ ارائه شده است.

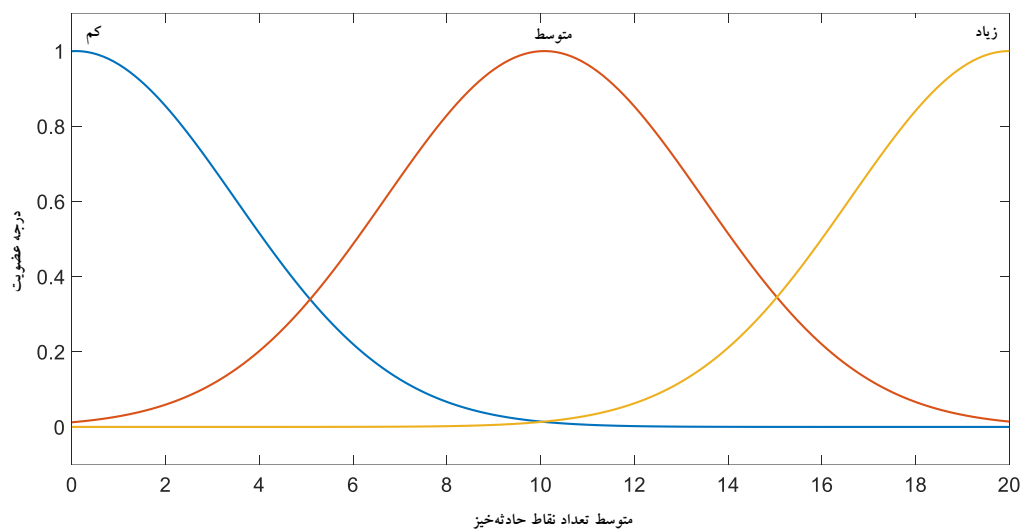
جدول ۴. نتایج رتبه‌بندی متغیرها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی		
رتبه	متغیر	نتیجه به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی
۱	متوسط روزانه تعداد تصادفات	۰/۲۱
۲	تعداد متوسط نقاط حادثه‌خیز	۰/۲
۳	متوسط روزانه تعداد تخلفات	۰/۱۸
۴	بودجه موجود	۰/۱۵
۵	درجه عملکردی	۰/۱۲
۶	دقت	۰/۰۸
۷	طول مسیر	۰/۰۵



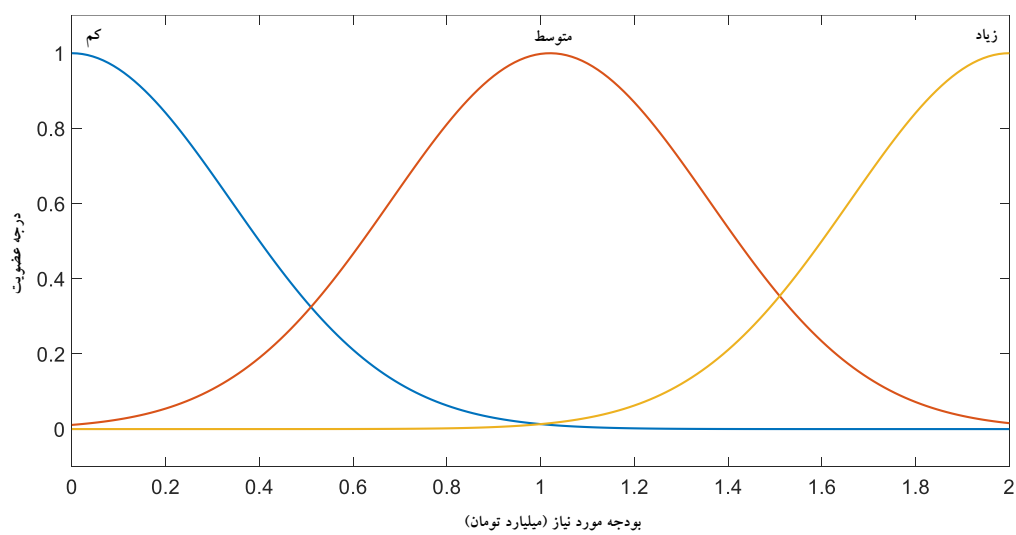
شکل ۱. تابع عضویت متوسط روزانه تعداد تصادفات



شکل ۲. تابع عضویت متوسط تعداد تخلفات روزانه

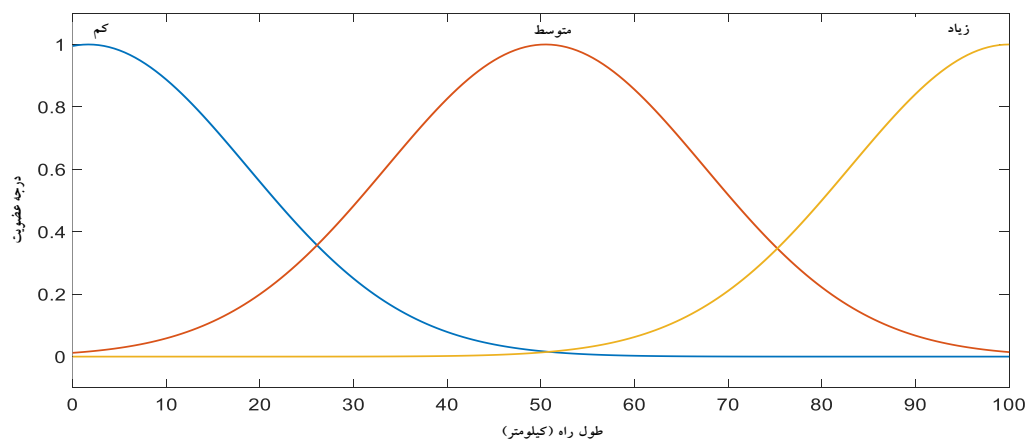


شکل ۳. تابع عضویت متوسط تعداد نقاط حادثه‌خیز

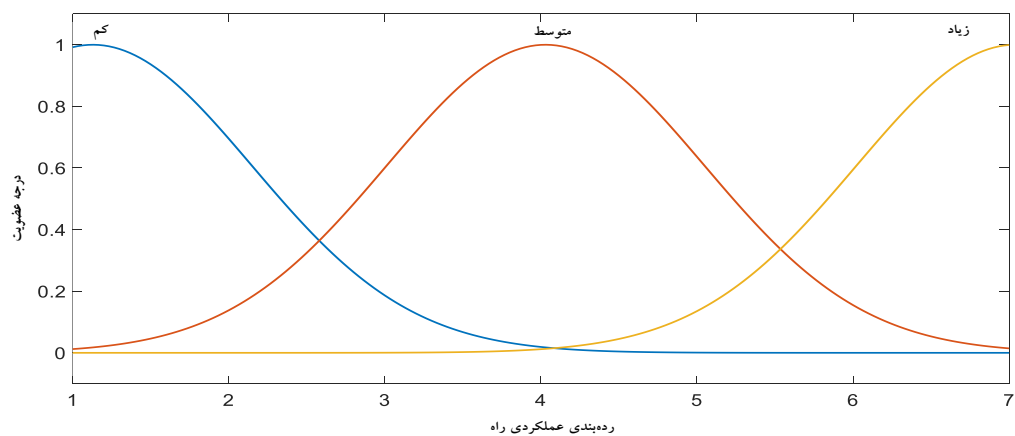


شکل ۴. تابع عضویت بودجه مورد نیاز (میلیارد تومان)

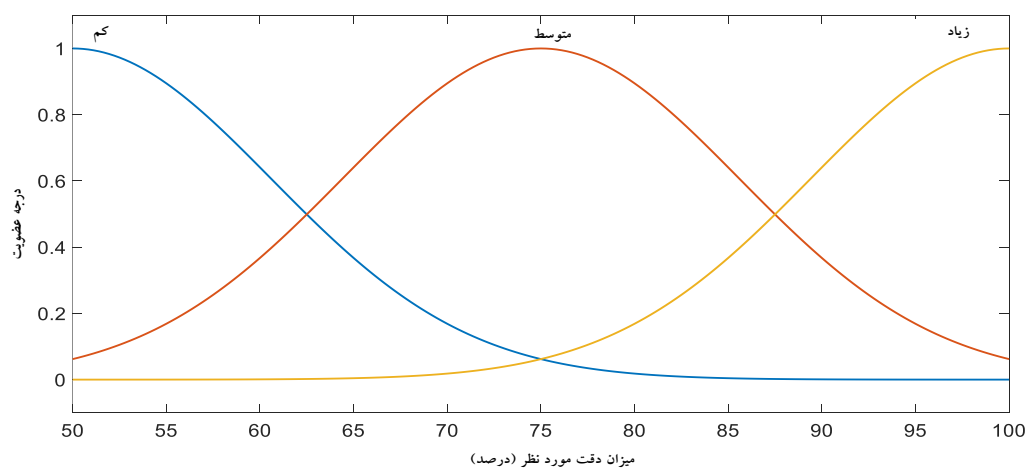
مقاله پژوهشی: ارائه مدل تصمیم‌گیری جهت تعیین سیستم مناسب برای ارتقای ایمنی راه‌های برون‌شهری...



شکل ۵. تابع عضویت طول راه (کیلومتر)



شکل ۶. رده‌بندی عملکردی راه



شکل ۷. تابع عضویت میزان دقت مورد نظر (درصد)

۴-۴ قواعد فازی

به زیاد بودن این قواعد (۳۷=۲۱۸۷) بخشی از آنها در جدول ۵ آمده است.

پس از تعیین متغیرهای ورودی و وزن متغیرها براساس فرایند شرح داده شده در بخش ۳، قواعد فازی تعیین می‌شود. با توجه

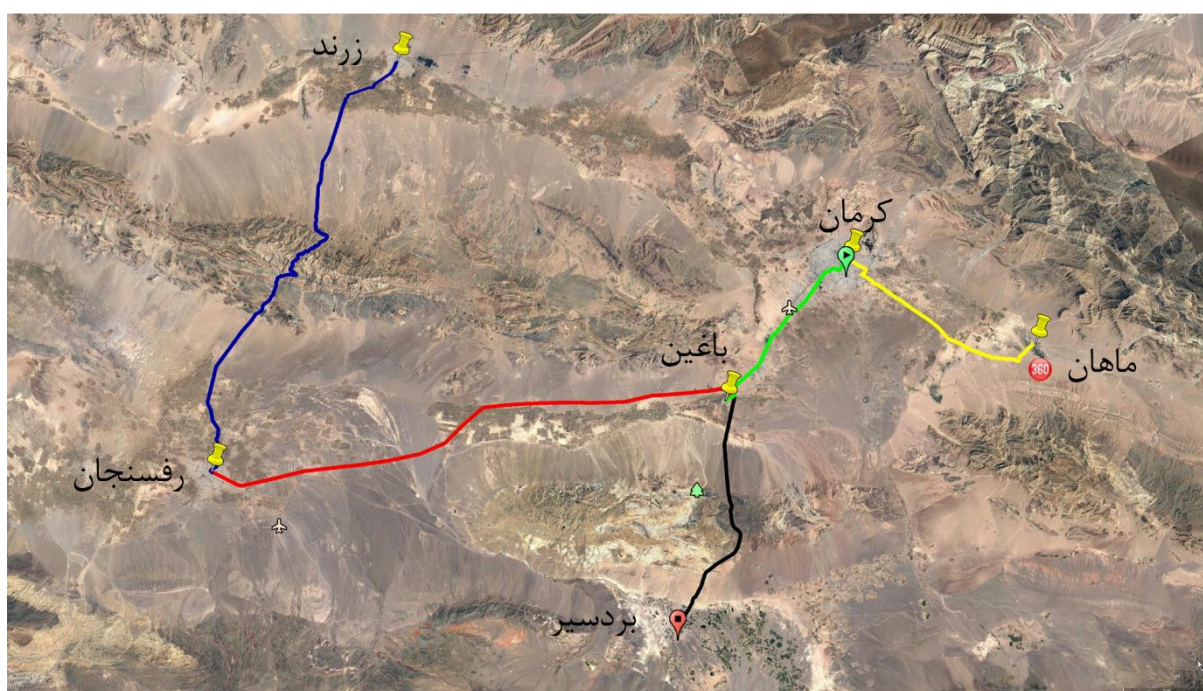
جدول ۵. نمونه قواعد فازی مورد استفاده

ردیف	متوسط سالانه تعداد تصادفات	متوسط روزانه تعداد تخلفات	بودجه راه-اندازی سیستم	طول مسیر	درجه عملکردی راه	تعداد نقاط حادثه‌خیز	میزان دقت مورد انتظار سیستم	خروجی
۱	کم	کم	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	گزینه یک
۲	زیاد	زیاد	کم	متوسط	کم	متوسط	زیاد	گزینه چهار
۳	کم	کم	کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	گزینه یک
۴	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	گزینه سه
۵	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	گزینه چهار
۶	زیاد	کم	متوسط	متوسط	کم	متوسط	زیاد	گزینه یک
۷	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	گزینه چهار
۸	کم	زیاد	زیاد	زیاد	کم	کم	متوسط	گزینه سه
۹	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	گزینه چهار
۱۰	کم	کم	کم	متوسط	کم	متوسط	متوسط	گزینه یک
۱۱	متوسط	کم	متوسط	کم	کم	زیاد	متوسط	گزینه یک
۱۲	کم	کم	زیاد	کم	کم	زیاد	متوسط	گزینه یک
۱۳	متوسط	زیاد	کم	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	گزینه چهار
۱۴	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد	گزینه سه
۱۵	متوسط	کم	زیاد	کم	کم	متوسط	زیاد	گزینه یک
۱۶	کم	کم	کم	زیاد	متوسط	کم	متوسط	گزینه یک
۱۷	کم	زیاد	کم	متوسط	کم	متوسط	متوسط	گزینه سه
۱۸	کم	متوسط	کم	کم	کم	کم	متوسط	گزینه دو
۱۹	کم	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	گزینه دو

۵. مطالعه موردی

که محورها به گونه‌ای انتخاب گردند که تنوع و پراکندگی لازم برای متغیرهای ورودی مدل وجود داشته باشد، علاوه بر آنچه ذکر شد موجود بودن اطلاعات موردنیاز برای ورودی مدل در محور مورد مطالعه نیز از شرایط مهم بود که مدنظر قرار گرفت. شمای کلی محورهای مورد مطالعه در شکل ۸ آورده شده است.

جهت بررسی موارد ذکر شده و مشاهده کاربرد مدل توسعه یافته پنج محور به عنوان مطالعه موردی در استان کرمان برگزیده شد. محور اول محور-زرنند-رفسنجان، محور دوم محور کرمان-ماهان (هفت باغ علوی)، محور سوم محور باغین-رفسنجان، محور چهارم محور باغین-بردسیر و محور پنجم محور باغین-کرمان است. در انتخاب محورهای ذکر شده تلاش بر این بود



شکل ۸. نمای کلی از محورهای مورد مطالعه

وضعیت موجود محورهای مورد مطالعه به لحاظ سطح کنترل و نظارت موجود در حال حاضر در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶. وضعیت موجود محورهای مورد مطالعه به لحاظ سطح کنترل

نام محور	وضعیت کنترل موجود
زرنند-رفسنجان	فاقد کنترل
کرمان-ماهان	کنترل توسط دوربین
باغین-رفسنجان	کنترل توسط دوربین و پلیس
باغین-بردسیر	کنترل توسط دوربین و پلیس
باغین-کرمان	کنترل توسط دوربین و پلیس

بر این اساس اطلاعات ورودی برای مدل ساخته شده در جدول ۷ آورده شده است.

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول، (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

جدول ۷. اطلاعات ورودی برای مدل از محورهای مورد مطالعه

نام محور	شاخص تصادفات سالانه	تعداد تخلفات روزانه	بودجه موجود	طول محور	درجه عملکردی	تعداد نقطه حادثه خیز	میزان دقت مورد انتظار
زرنند-رفسنجان	۷۳۴	۳۲۸	۰/۵	۸۰	۳	۰	۵۰
کرمان-ماهان	۹۲۰	۱۵۴۶	۲	۳۰	۶	۱	۹۰
باغین-رفسنجان	۱۶۶۰	۳۰۷۶	۱/۵	۸۵	۵	۹	۸۰
باغین-بردسیر	۱۰۸۲	۷۵۵	۱/۵	۴۰	۵	۴	۸۰
باغین-کرمان	۵۶۰	۴۲۲۹	۱/۸	۲۰	۶	۰	۹۰

نتایج به دست آمده برای محور مورد مطالعه که نشان دهنده گزینه پیشنهادی است در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸. نتایج به دست آمده از مدل برای محورهای مورد مطالعه

نام محور	نمره به دست آمده از مدل	گزینه پیشنهادی
زرنند-رفسنجان	۲	حضور پلیس
کرمان-ماهان	۳	دوربین ثبت تخلفات
باغین-رفسنجان	۴	سیستم های هوشمند ایمنی
باغین-بردسیر	۴	سیستم های هوشمند ایمنی
باغین-کرمان	۳	دوربین ثبت تخلفات

هم اکنون توسط پلیس و دوربین های ثبت تخلف کنترل می گردد اما مدل پیشنهادی لزوم وجود سیستم های کنترل هوشمند در کنار موارد موجود را نشان می دهد که علت این امر وجود تصادفات، نقاط حادثه خیز و تخلفات زیاد محورهای مذکور است. برای محور باغین-کرمان مدل توسعه یافته دوربین ثبت تخلف را پیشنهاد می دهد که هم اکنون محور توسط دوربین های ثبت تخلف و حضور پلیس کنترل می گردد لذا مدل توسعه یافته وضعیت موجود محور کافی می داند که با توجه به میزان تصادفات، تخلفات و نقاط حادثه خیز محور در مقایسه با دو محور قبل معقول به نظر می رسد.

۶. نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد تا چارچوبی جهت محاسبه شاخصی برای تعیین سیستمی برای ارتقا ایمنی قطعات راه با استفاده از فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول، (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۸ مدل توسعه یافته برای محور زرنند-رفسنجان حضور پلیس را پیشنهاد می کند که وضعیت موجود محور فاقد کنترل است که با توجه به تصادفات کم و درجه عملکردی محور وضعیت موجود نامناسب به نظر می رسد اما حضور پلیس می تواند وضعیت ایمنی محور را بهبود ببخشد. برای محور ماهان کرمان مدل توسعه یافته برای ارتقا ایمنی محور گزینه دوربین های ثبت تخلف را پیشنهاد می نماید که وضعیت فعلی محور نیز کنترل توسط دوربین ثبت تخلف است که با در نظر گرفتن تمامی متغیرها مدل شرایط موجود را کافی می داند. محورهای باغین-رفسنجان و باغین-بردسیر

زیرساخت‌های مرتبط با راه (نه خودرو) برای راه‌های برون‌شهری ارائه گردد. برای این منظور از سیستم استنتاج فازی استفاده شد. در اینجا ابتدا متغیرهای ورودی مؤثر بر انتخاب سیستم برای ارتقا ایمنی راه از دو منبع: مرور ادبیات تحقیق و آیین‌نامه‌های معتبر مشخص شد. این متغیرهای عبارت‌اند از: متوسط روزانه تعداد تصادفات، متوسط روزانه تعداد تخلفات، بودجه لازم برای راه‌اندازی و بهره‌برداری، طول مسیر، درجه عملکردی، میزان دقت مورد انتظار و تعداد نقاط حادثه‌خیز در محور. جهت رتبه‌بندی متغیرها و تعیین وزن هر متغیر بر اساس نظرسنجی از متخصصین از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. برای هر یک از متغیرهای ورودی با توجه به بازه تغییرات و بر اساس مرور ادبیات تحقیق و نظرات متخصصین توابع عضویت ورودی پیشنهاد گردید. همچنین سطح شاخص خروجی مدل توسعه‌یافته نیز در ۴ سطح که شامل ۴ گزینه پیشنهادی برای ارتقا ایمنی است ارائه گردید که این گزینه‌ها عبارت‌اند از: ۱- عدم نیاز به کنترل ۲- حضور پلیس درراه موردنظر ۳- استفاده از دوربین‌های ثابت جهت ثبت تخلفات و ۴- استفاده از سیستم‌های هوشمند ایمنی مستقر درراه می‌شود. جهت توسعه قواعد فازی، از یک روش ریاضی استفاده شد بدین شکل که ماتریس دارای ۷ ستون و ۲۱۸۷ سطر تشکیل شد که وجود ۷ ستون به دلیل وجود ۷ متغیر است که هر سطر آن بیانگر یک حالت از حالات ممکن برای ترکیب وضعیت هر یک از متغیرها است و با تقسیم بازه تغییر هر متغیر به ۳ زیر بازه کم، متوسط و زیاد برای هر متغیر ۳ حالت به وجود می‌آید لذا ۳۷ حالت برابر

با ۲۱۸۷ سطر برای ماتریس لازم است. با داشتن دامنه تغییرات هر متغیر و وزن هر متغیر و در نظر گرفتن وسط هر زیر بازه به‌عنوان نماینده کم، متوسط و زیاد می‌توان ماتریس قواعد را تشکیل داد. برای تعیین وزن هر متغیر از روش نظرسنجی استفاده شد سپس بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی نتایج به‌دست‌آمده تحلیل و وزن هر متغیر محاسبه گردید. درنهایت از سیستم استنتاج فازی با کد نویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB جهت تعیین شاخص تصمیم‌گیری به‌عنوان خروجی مدل استفاده شد. خروجی مدل نشان‌دهنده گزینه منتخب برای ارتقا ایمنی راه است. جهت انجام مطالعه موردی ۵ محور برون‌شهری با تنوع شرایط در استان کرمان به‌عنوان محور مورد مطالعه برگزیده شد که این محورها عبارت‌اند از: . محور-زرنند-رفسنجان، محور کرمان-ماهان (هفت باغ علوی)، محور باغین-رفسنجان، محور باغین-بردسیر و محور باغین-کرمان است. پس از استخراج اطلاعات موردنیاز برای ورودی مدل توسعه‌یافته برای هر محور، اقدام به تعیین خروجی هر محور به‌عنوان گزینه منتخب برای ارتقا ایمنی محور متناسب با شرایط محور صورت گرفت. نتایج نشان داد گزینه حضور پلیس برای محور-زرنند-رفسنجان، گزینه دوربین ثبت تخلفات برای محور کرمان-ماهان (هفت باغ علوی)، گزینه سیستم‌های هوشمند ایمنی برای محور باغین-رفسنجان، گزینه سیستم‌های هوشمند ایمنی برای محور باغین-بردسیر و گزینه دوربین ثبت تخلفات برای محور باغین-کرمان مطلوب‌ترین گزینه‌های تصمیم‌گیری هستند.

۸. مراجع

-Carnis, L. and Etienne, B. (2013) "An assessment of the safety effects of the French speed camera program", Accident Analysis & Prevention, No. 51, pp. 301-309.

پانویس‌ها

- 1- World Health Organization (WHO)
- 2- Fuzzy Inference System (FIS)
- 3- European Conference of Ministers of Transport (ECMT)
- 4- U.S. Department of Transportation (U.S DOT)
- 5- Analytic Hierarchy Process (AHP)
- 6- Road Maintenance & Transportation Organization (RMTO)

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال دوازدهم / شماره اول، (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

- Navigator Program: Final Report", Atlanta, URS Corporation.
- Hatcher, G. (2014) "Intelligent transportation systems benefits, costs, and lessons", Washington, U.S. Department of Transportation.
- ITS Handbook of Japan (2001) Japan Ministry of Construction.
- ITS Joint Program Office of U.S Department of Transportation (2017) "Intelligent transportation systems benefits, costs, and lessons learned", Noblis, U.S. Department of Transportation.
- Jacek, O., Tomasz, M. and Marcin, Z. (2017) "Impact of intelligent transport systems services on the level of safety and improvement of traffic conditions", International Conference on Transport Systems Telematics, Springer, Cham, April 2017.
- Jones, A. P., Sauerzapf, V. and Haynes, R. (2008) "The effects of mobile speed camera introduction on road traffic crashes and casualties in a rural county of England", Journal of Safety Research, Vol.39, No.1, pp.101-110.
- Kansas and Missouri Departments of Transportation (2012) "Ramp metering 2010 Evaluation Report", Missouri, Kansas DOT, Missouri DOT.
- Kansas and Missouri Departments of Transportation (2012) "Ramp metering 2011 Evaluation Report", Missouri, Kansas DOT, Missouri DOT.
- Klodzinski, J. (2007) "Evaluation of impacts from deployment of an open road tolling concept for a mainline toll plaza", Paper Presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Orlando, USA.
- Kulmala, R. (1996) "Traffic safety and transport telematics", Paper at Conference Road Safety in Europe, Birmingham, UK, 9-11 September 1996.
- Cheeks, J. (2014) "Speed limit and safety nexus studies for automated speed enforcement for the district of Columbia", Washington, District Department of Transportation.
- Chen, G., Wilson, J., Meckle, W. and Cooper, P. (2000) "Evaluation of photo radar program in British Columbia", Accident Analysis & Prevention, Vol. 32, No. 4, pp. 517-526.
- De Pauw, E., Daniels, S., Brijs, T., Hermans, E. and Wets, G. (2014) "An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras", Safety science, No.62, pp. 168-174.
- ECMT. (2006) "Speed management", Organization for Economic Cooperation and Development", France, OECD Publishing.
- Ellen, D. P., Stijn, D., Laurent, F. and Inge, M. (2018) "Safety effects of dynamic speed limits on motorways", Accident Analysis and Prevention, No.114, pp. 83-89.
- Elvik, R. (1997) "Effects on accidents of automatic speed enforcement in Norway", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1595, pp. 14-19.
- Gains, A. (2003) "A cost recovery system for speed and red-light cameras - two year pilot evaluation. Department for Transport", London, Road Safety Division.
- Global Traffic Technologies (2010) "Traffic Signal Priority Control for emergency vehicle Preemption", Savannah, Global Traffic Technologies.
- Goldenbeld, C. and Schagen, I.V. (2005) "The effects of speed enforcement with mobile radar on speed and accidents: An evaluation study on rural roads in the Dutch province Friesland", Accident Analysis & Prevention, Vol. 37, No. 6, pp. 1135-1144.
- Guin, A. (2006) "Benefits analysis for the Georgia department of Transportation

-اسماعیلی، علیرضا، کرمی، احمد و پیلارام، مهدی (۱۳۹۵) "بررسی تأثیر استفاده از دوربینهای نظارتی تصویری در ثبت تخلفات رانندگی بر رفتار ترافیکی رانندگان (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)"، فصلنامه علمی تخصصی دانش انتظامی گلستان؛ سال پنجم، شماره ۲۷، ص ۹-۳۶

-اکبری غیبی، رضا و میربهاء، بابک (۱۳۹۴) "بررسی تأثیرگذاری دوربینهای کنترل سرعت در تصادفات آزادراه تبریز - قزوین"، فصلنامه علمی - ترویجی راهور، سال دوازدهم، شماره ۳۱، ص ۹۷-۱۰۸.

-توکلی کاشانی، علی و انواری، محمدباقر. (۱۳۹۳) "عوامل مؤثر بر انتخاب سرعت رانندگان مرد"، مطالعات پژوهشی راهور؛ سال اول، شماره ۱۰، ص ۷۸-۵۹.

-خسروی، هادی، صفارزاده، محمود و ابریشمی، سید احسان (۱۳۹۱) "روشی برای ارزیابی کارایی دوربین های کنترل سرعت در محورهای برون شهری (مطالعه موردی: محورهای استان سمنان)"، دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، ص ۱۳-۱.

-سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای. دفتر فن آوری و اطلاعات (۱۳۹۶) "سالنامه آماری حمل و نقل جاده ای در سال ۱۳۹۶"، تهران، سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای.

-معاونت نظارت راهبردی امور نظام فنی (۱۳۹۱) "آیین نامه طرح هندسی راه های ایران"، تهران، سازمان مدیریت برنامه و بودجه.

- حقیقی، فرشید رضا، یوسفی، حامد، جعفری، رضا و اکبری، علی (۱۳۹۶) "بررسی تأثیر تمهیدات آرام سازی ادراکی ترافیک در کاهش سرعت ورودی شهرها در دنیای واقعی و محیط دستگاه شبیه ساز رانندگی" فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی حمل و نقل، سال ششم، شماره ۳، ص ۴۴۴-۴۲۹.

-Kwon, E., Brannan, D., Shouman, K., Isackson, C. and Arseneau, B. (2007) "Development and field evaluation of variable advisory speed limit system for work zones", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.2015, pp. 12-18.

-Leggett, L. (1997) "Using Police Enforcement to Prevent Road Crashes: the Randomized Scheduled Management System", Crime Prevention Studies, New York, CIN Press.

-Lu, X. Y. and Shladover, S. (2014) "Review of variable speed limits and advisories: Theory, algorithms, and practice", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2423, pp. 15-23.

-Lynch, M., White, M. and Napier, R. (2011) "Investigation into the use of point-to-point speed cameras", NZ Transport Agency, No. 465.

-Newstead, S. V., Cameron, M. H. and Leggett, L. M. W. (2001) "The crash reduction effectiveness of a network-wide traffic police deployment system", Accident Analysis & Prevention, Vol. 33, No. 3, pp. 393-406.

-Organization for Economic Co-operation and Development (2003) "Road safety: Impact of new technologies", Paris, OECD publications.

-Texas Departments of Transportation (2017) "Travel time messaging on dynamic message signs", Houston, Texas DOT.

-U.S. Department of Transportation (2000) "Intelligent transportation premier", Washington, ITE (Institute Of Transportation Engineers).

-Wegman, F. C. M. and Goldenbeld, C. (2006) "Speed management: enforcement and new technologies", SWOV Institute for Road Safety, Vol. 2006, No. 5.

-Zadeh, L. A. (1965) "Fuzzy sets", Inf. Control., No. 8, pp. 338-353

نوید ندیمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه علم و صنعت و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری را در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۴ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری از دانشگاه علم و صنعت گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی ترافیک، هوش مصنوعی، طرح هندسی راه و ... بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه شهیدباهنر کرمان است.



امیرحسین زارع میرحسینی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران-عمران را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه شهیدباهنر کرمان اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی، ترافیک و طرح هندسی بوده و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری در دانشگاه شهیدباهنر کرمان است.



آرش غیبی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران - عمران را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه شهیدباهنر کرمان اخذ نموده است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل و نقل عمومی، ایمنی، ترافیک و طرح هندسی بوده و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری در دانشگاه شهیدباهنر کرمان است.

