فصلنامه علمی راهور
۱۰۳
فصلنامه علمی راهور
سال هشتم- شماره ۳۰
پاییز ۱۳۹۸
علمی-پژوهشی

شناسایی نقاط حادثه‌خیز راه‌های برون‌شهری با استفاده از روش مدل‌سازی فازی (مطالعهٔ موردی: محور قزوین – لوشان)

مجید احسانی سهی[۱]، راضیه آسوده[۲]

از صفحه ۱۰۳ تا ۱۳۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: نقاط حادثه‌خیز، نقاطی هستند که احتمال وقوع تصادف در آن‌ها به‌طور غیرعادی بالاتر از دیگر نقاط می‌باشد؛ بنابراین شناسایی چنین نقاطی از جایگاه ویژه‌ای در تمام پروژه‌های ایمنی راه‌ها برخوردار است. به‌دلیل بالابودن آمار تصادفات ترافیکی در کشورمان، لزوم این موضوع بیش‌ازپیش موردتأکید است.

روش: در این پژوهش، از سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو جهت مدل‌سازی تصادفات بر اساس متغیرهای مستقل تأثیرگذار استفاده شد. در ابتدا، اطلاعات یک دورهٔ دوساله از تصادفات محور قزوین - لوشان به طول ۷۲ کیلومتر جمع‌آوری شد. همچنین داده‌های مربوط به هندسهٔ محور (نظیر عرض سواره‌رو، تراکم کاربری حاشیهٔ راه، عرض شانه، شیب طولی و امثالهم) از طریق برداشت میدانی جمع‌آوری شد. سپس با تقسیم محور موردنظر به قطعات همگن قوس افقی و راستای مستقیم، عمل مدل‌سازی فازی برای هریک صورت گرفت. بعد از اعتبارسنجی نتایج مدل فازی، مقادیر خروجی مدل فازی به‌ازای مقادیر متغیرهای ورودی ارائه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان از اهمیت متغیرهای عرض سواره‌رو، عرض شانه، شیب طولی، تعداد قوس افقی و در نهایت مجموع درجات قوس افقی بر متغیر وابستهٔ شاخص تصادف در قطعات قوس افقی دارد. همچنین در راستای مستقیم، متغیرهایی نظیر تراکم کاربری زمین، عرض سواره‌رو و عرض شانه بر شاخص تصادف تأثیرگذار بوده‌اند. سرانجام برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز، قطعاتی که شاخص تصادف آن‌ها (پیش‌بینی‌شده از مدل فازی) بالاتر از سطح اطمینان ۹۰ درصد قرار گرفته است، به‌عنوان قطعات حادثه‌خیز شناسایی شدند.

نتایج و پیشنهادها: نتایج حاکی از عملکرد مناسب مدل ایجادشده با روش استنتاج فازی می‌باشد. به‌علاوه، استفاده از مدل فازی این مزیت را دارد که علاوه بر شناسایی صحیح نقاط حادثه‌خیز، عوامل مؤثر و شدت تأثیر هریک از آن‌ها نیز آشکار گردیده و کمک می‌کند تا اقدامات درستی در جهت افزایش ایمنی در این نقاط انجام شود.

کلید واژه: مدل‌سازی، منطق فازی، سیستم استنتاج فازی، نقاط حادثه‌خیز، مدل پیش‌بینی تصادف.

---

۱. دانشجوی دکتری مدیریت ترافیک دانشگاه علوم انتظامی امین. Ehsanisohi51@gmail.com
۲. دانشجوی دکتری برنامه ریزی حمل و نقل دانشگاه علم و صنعت ایران. (نویسنده مسئول)، Razieh.asoodeh@gmail.com

www.SID.ir

مقدمه

آمار بالای تصادفات جاده‌ای و هزینه‌های ناشی از آن و همچنین رشد افسارگسیختهٔ این معضل در سطح جهان، لزوم توجه و تمرکز هرچه‌بیشتر به مقولهٔ ایمنی راه‌ها را بیش‌ازپیش مشخص می‌کند. بر اساس گزارش‌های سال ۲۰۱۳ میلادی سازمان جهانی بهداشت، هرساله در سراسر دنیا بیش از یک‌میلیون نفر بر اثر تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند. شواهد نشان می‌دهد که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی، تعداد کشته‌شدگان بر اثر تصادفات جاده‌ای در کشورهای کم‌درآمد و متوسط افزایش خواهد یافت؛ به‌طوری که طبق پیش‌بینی‌های به‌عمل‌آمده، آمار مرگ‌ومیر ناشی از آن از رتبهٔ نهم صدمات و بیماری‌ها در سطح جهان در سال ۱۹۹۰ به رتبهٔ سوم در ۲۰۲۰ میلادی صعود خواهد کرد. به همین علت، امروزه این مهم موردتوجه دست‌اندرکاران و متولیان این صنعت قرار گرفته و هزینه‌های بسیاری برای مهار روند افسارگسیختهٔ آن صرف می‌گردد. یکی از روش‌های سودمند جهت کاهش تصادفات جاده‌ای، شناسایی درست نقاط حادثه‌خیز و بررسی ماهیت تصادف در این نقاط می‌باشد؛ به‌طوری که با انجام این کار و کشف فاکتورهای تأثیرگذار در حادثه‌خیزی این نقاط بتوان راهکارهای لازم و سودمندی جهت رفع آن پیشنهاد داد. آشکار است که با توجه هرچه‌بیشتر به مقولهٔ ایمنی در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای و استفاده از روش‌های دقیق و علمی جهت کشف نقاط پرخطر می‌توان گوشه‌ای از معضل نگران‌کنندهٔ تصادفات جاده‌ای را پوشش داد.

از دیدگاه فنی، یکی از معضلات شناسایی نقاط حادثه‌خیز، نبود داده‌های کافی و دقیق می‌باشد. در سایهٔ چنین مشکلاتی، پژوهشگران و دست‌اندرکاران مقولهٔ ایمنی راه، عمدتاً از روش‌های رایج و سنتی مدل‌سازی آماری استفاده می‌کنند. ضعف عمدهٔ چنین مدل‌هایی این است که دارای فرضیاتی می‌باشند که در عمدهٔ موارد با شرایط واقعی مطابقت ندارند؛ به‌عنوان مثال در مدل پواسون که یکی از روش‌های رایج

www.SID.ir

مدل‌سازی تصادفات جاده‌ای می‌باشد، فرض آن است که میانگین و واریانس داده‌های تصادف باید برابر باشند که عمدهٔ موارد چنین شرایطی در داده‌های واقعی تصادف وجود ندارد. وجود چنین محدودیت‌هایی در مدل‌های کلاسیک آماری، نیاز به استفاده از یک مدل کارا و سودمند که محدودیت‌ها و کاستی‌های مدل‌های آماری را نداشته باشد، بیش‌ازپیش نشان می‌دهد. یکی از روش‌های پیشنهادشده در راستای رفع چنین محدودیت‌هایی، استفاده از روش استنتاج فازی می‌باشد. این روش با تکیه بر قواعد منطق فازی، روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که سیستم‌هایی با منطق فازی نیز مانند هر روش دیگری دارای محدودیت‌هایی می‌باشند؛ از جمله اینکه معمولاً رویکرد سیستماتیکی برای طراحی سیستم‌های فازی وجود ندارد و در مسائلی که دقت بسیار بالایی نیاز دارند، منطق فازی کاربردی نمی‌باشد. علی‌رغم مزیت‌های سیستم استنتاج فازی، استفاده از این روش در مقولهٔ شناسایی و رتبه‌بندی نقاط حادثه‌خیز در مطالعات گذشته بسیار محدود و ناچیز می‌باشد. بنابراین پژوهش حاضر بنا دارد تا با استفاده از سیستم استنتاج فازی، نقاط حادثه‌خیز راه‌های برون‌شهری را شناسایی کند. در این راستا از محور مواصلاتی قزوین – لوشان استفاده شد و داده‌های مربوطه از منابع مختلف استخراج شد و مورداستفاده قرار گرفت.

پیشینهٔ پژوهش

در عمدهٔ مطالعات مربوط به مدل‌سازی تصادفات جاده‌ای و همچنین شناسایی و اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز از روش‌های مبتنی بر تجزیه‌وتحلیل آماری (نظیر مدل‌سازی آماری، آزمون‌های آماری و روش تحلیل واریانس) استفاده شده است. برخلاف روش‌های تحلیل آماری، منطق فازی در مطالعات ایمنی راه‌ها و شناسایی نقاط حادثه‌خیز، چندان دارای قدمت طولانی نمی‌باشد و علی‌رغم قابلیت بالای آن،

www.SID.ir

چندان مورداستفاده قرار نگرفته است؛ به‌طوری که عمدهٔ پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه از دههٔ ۹۰ میلادی به این‌طرف می‌باشد. در ادامه، مختصری از مطالعات شرح داده می‌شود.

سید و همکارانش[1] در سال ۱۹۹۳ میلادی، از روش دسته‌بندی فازی جهت شناسایی نقاط سیاه تصادف راه‌های برون‌شهری ایالت بریتیش کلمبیا کانادا استفاده کردند. آن‌ها تصادفات به‌وقوع‌پیوسته را بر اساس عوامل تأثیرگذار، به سه دستهٔ کلی عامل راه، عامل محیطی و عامل وسیلهٔ نقلیه تقسیم کرده و سپس با استفاده از الگوریتم Fuzzy K-NN[2] اقدام به شناسایی نقاط حادثه‌خیز کردند.

یولانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ میلادی، از روش ارزیابی فازی[3] جهت شناسایی نقاط حادثه‌خیز شهر هاربین چین استفاده کردند. آن‌ها از معیارهایی نظیر نرخ فوتی صد میلیون وسیلهٔ نقلیه بر کیلومتر، نرخ فوتی ده هزار وسیلهٔ نقلیه، تعداد تصادفات معادل ده هزار وسیلهٔ نقلیهٔ عبوری به‌عنوان شاخص ارزیابی یک شبکهٔ راه شامل مقاطع راه و تقاطع‌ها در شهر هاربین بهره گرفتند. سان و همکارانش[4] نیز از منطق فازی جهت پیش‌بینی تصادف‌های صورت‌گرفته در تقاطع‌های چراغ‌دار استفاده کردند.

لامبرتی[5] از سیستم تلفیقی استنتاج عصبی - فازی[6] جهت مدل‌سازی تصادفات بزرگراه‌های ایالتی کشور ایتالیا استفاده کرد. ورودی‌های مدل شامل متغیرهای هندسی و ترافیکی راه و خروجی مدل شامل نرخ تصادف بوده است. او مدل خود را روی ۵۳ بزرگراه ایالتی ایتالیا پیاده کرد. بوش و همکارانش[7] از استدلال فازی جهت

1.Sayed et al
2.Fuzzy K-nearest neighborhood
3.Fuzzy Evaluating Method
4.Sun et al
5.Lamberti et al
6.Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)
7.Busch

www.SID.ir

شناسایی رخدادهای ترافیکی استفاده کردند. در مدل آن‌ها، متغیرهای ورودی عبارت بودند از اختلاف سرعت بین مقاطع عبوری و حجم ترافیک در مقاطع عبوری مجاور. عفتی و همکارانش[1] از روش فازی – عصبی فضایی جهت شناسایی مناطق پرخطر در کریدورهای حمل‌ونقل منطقه‌ای استفاده کردند. مونیازکیوی و همکارانش[2] در سال ۲۰۱۵ میلادی، از مدل فازی جهت پیش‌بینی شدت تصادف استفاده کردند. در سال ۲۰۱۵ میلادی، دیمیتریو و همکارانش[3] برای مدل‌کردن تصادفات در آزادراه‌ها، مدلی بر مبنای منطق فازی معرفی کردند. خروجی‌های این مدل با مدل‌های رگرسیون خطی و همچنین مدل چندلایه مقایسه شدند. نتایج نشان داد که مدل فازی با اطلاعات محدودی مربوط به شرایط ترافیک و وضعیت آب‌وهوایی نسبت به دو مدل دیگر، تصادفات را با دقت بیشتری پیش‌بینی می‌کند.

محمد جابر و همکارانش[4] در سال ۲۰۱۷ میلادی، با استفاده از داده‌های واقعی تصادفات برای مسیری بیابانی در شهر آسوان غربی در کشور مصر، مدلی جهت پیش‌بینی تصادفات ارائه نمودند. به‌دلیل رابطهٔ غیرخطی میان تصادفات و عوامل تأثیرگذار بر آن از منطق فازی جهت طراحی مدل استفاده گردید. آن‌ها از پارامترهای ترافیکی و ویژگی‌های محیطی و انسانی به‌عنوان ورودی بهره گرفتند. شرایط ترافیکی و وضعیت سواره‌رو به‌عنوان دو عامل تأثیرگذار در تصادفات مشخص شدند.

مبانی نظری

تئوری مجموعه‌های فازی[5]، نخستین بار توسط پروفسور لطفعلی عسگرزاده در سال ۱۹۶۵ میلادی مطرح شد. از منطق فازی به‌عنوان ابزاری توانمند جهت حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده‌ای که درک آن‌ها مشکل و یا مسائلی که وابسته به

1.Effati et al
2.Munyazikwiye et al
3.Dimitriou et al
4.Gaber et al
5.Fuzzy Set Theory

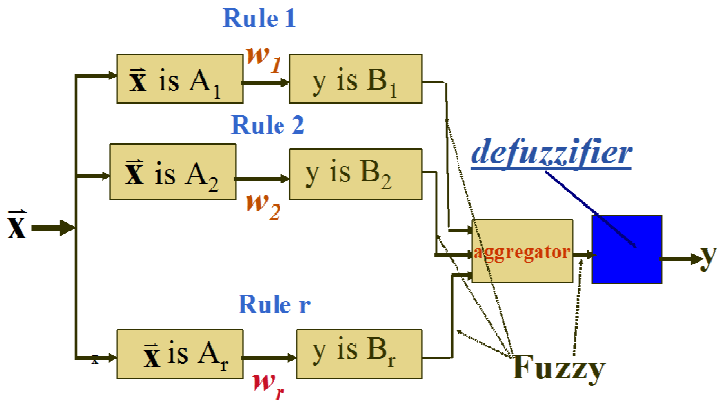
www.SID.ir

استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری می‌باشند، یاد می‌شود. در واقع منطق فازی، توانایی بالایی در مدل‌سازی سیستم‌هایی دارد که دارای پیچیدگی زیاد بوده و یا اطلاعاتی که درمورد آن‌ها وجود دارد، مبهم و غیرصریح می‌باشد. در تئوری مجموعه‌های فازی، تابع عضویت[1] از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد؛ چراکه تمام اطلاعات مربوط به یک مجموعهٔ فازی به‌وسیلهٔ تابع عضویت آن توصیف و در تمام کاربردها و مسائل تئوری مجموع‌های فازی از آن استفاده می‌گردد. تابع عضویت، مقدار فازی‌بودن یک مجموعهٔ فازی را مشخص می‌کند و در واقع به تابعی که میزان درجهٔ عضویت المان‌های مختلف را به یک مجموعه نشان دهد، تابع عضویت می‌گویند. در تئوری مجموعه‌های فازی، این کار با استفاده از نگاشت المان‌های یک مجموعهٔ فازی در فضای [0,1] انجام می‌شود. درجهٔ عضویت المانی مانند x را به مجموعهٔ فازی $\widetilde{A}$ با $\mu_{\widetilde{A}}(x)$ نمایش می‌دهند ($\mu_{\widetilde{A}}(x) : x \mapsto [0,1]$). توابع مختلفی مانند تابع عضویت مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگی‌شکل و غیره در تعیین درجهٔ عضویت المان‌های یک مجموعه به کار می‌روند.

سیستم استنتاج فازی (FIS[2]): سیستم استنتاج فازی بر اساس قواعد «اگر – آنگاه» بنا شده است. هر قاعدهٔ «اگر – آنگاه»، یک عبارت شرطی می‌باشد که از دو بخش مقدم و تالی تشکیل می‌گردد که با کمک این قواعد می‌توان ارتباط بین تعدادی متغیر ورودی و خروجی را به دست آورد. از سیستم استنتاج فازی می‌توان به‌عنوان یک مدل پیش‌بینی برای شرایطی که داده‌های ورودی یا خروجی دارای عدم قطعیت بالایی باشند، استفاده نمود؛ چراکه در چنین شرایطی، روش‌های کلاسیک پیش‌بینی نظیر رگرسیون نمی‌توانند به‌خوبی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها را در نظر بگیرند.

1. Membership Function
2.Fuzzy Inference System

www.SID.ir



شکل ۱. یک نمونه از سیستم استنتاج فازی

روش پژوهش

محوری که برای مطالعهٔ موردی در نظر گرفته شده است، محور مواصلاتی قزوین – لوشان به طول ۷۵ کیلومتر می‌باشد. این محور که قسمت عمدهٔ آن از مناطق کوهستانی و مه‌گیر عبور می‌کند، یکی از حادثه‌خیزترین محورهای مواصلاتی استان قزوین و کشور محسوب می‌شود؛ به همین دلیل، جهت مطالعهٔ موردی در نظر گرفته شده است. نحوهٔ جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از مطالعات میدانی و داده‌های به‌دست‌آمده از پلیس راهور می‌باشد. محور موردمطالعه به قطعات کوچک‌تر قوس افقی و راستای مستقیم تقسیم‌بندی شد. متغیرهای مستقل و وابسته برای هر قطعه در نظر گرفته شدند. با تقسیم‌بندی فضای ورودی، مدل‌سازی تصادفات با استفاده از سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو انجام شد. در ادامه، بخش‌های ذکرشدهٔ مربوط به روش پژوهش به تفصیل توضیح داده شده‌اند.

جمع‌آوری آمار و اطلاعات در محور موردنظر: پس از مشخص‌شدن محور موردمطالعه، به‌دلیل استفاده از رویکرد مدل‌سازی تصادف جهت شناسایی نقاط حادثه‌خیز، نیاز است تا آمارها و اطلاعات لازم در قالب متغیرهای ورودی و خروجی

www.SID.ir

مدل اخذ گردد. مشخصات هندسی محور موردمطالعه از طریق برداشت‌های میدانی و آمارهای مربوط به تصادفات از طریق پلیس راه مستقر در محور موردنظر و برای سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۵ برای ۷۲ قطعه به طول‌های مساوی یک کیلومتر اخذ شد. با جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات، متغیرهای زیر جهت مدل‌سازی تصادفات برای هر قطعه در نظر گرفته شده است.

متغیرهای مستقل ورودی

- عرض سواره‌رو – مجموع عرض سواره‌رو در دو جهت برحسب متر (Road Width (RW))
- عرض شانه – مجموع عرض شانه در دو جهت برحسب متر (Shoulder Width (SW))
- شیب طولی برحسب درصد (Longitudinal Grade (LG))
- ظرفیت برحسب معادل تردد هزار سواری در ساعت در دو جهت (Capacity (Cap))
- تراکم کاربری حاشیهٔ راه برحسب درصد (Land Use (LU))
- دسترسی برحسب تعداد در دو جهت (Accessibility (Acc))
- تعداد قوس‌های افقی (Num. of Curves (NC))
- مجموع درجات قوس افقی (Sum of Curve Degrees(SCD))

متغیر وابستهٔ خروجی

- شاخص هم‌سنگ خسارت مالی[1] (Accident Index (AI))

به جهت درنظرگرفتن شدت تصادفات، از معیار شاخص هم‌سنگ خسارت مالی استفاده شده و تصادفات منجر به فوت و جرحی به‌ترتیب با ضرایب ۹ و ۳ به معادل خسارتی خود در قالب رابطهٔ (۱) تبدیل شده‌اند.

1.Equivalent Property Damage Only Index

www.SID.ir

$$AI=Damage+3*Injury+9*Fatal \qquad (۱)$$

تقسیم محور موردمطالعه به قطعات قوس افقی و راستای مستقیم: علت تفکیک محور موردنظر به قطعات قوس افقی و راستای مستقیم، به این خاطر می‌باشد که ماهیت تصادف و متغیرهایی که باعث وقوع آن می‌باشند، در هر راستا با یکدیگر متفاوت هستند. لذا به جهت بالابردن همگنی، قطعات راه از حیث رخداد و عوامل وقوع تصادف قطعات موردمطالعه به دو راستای کلی قوس افقی و مستقیم تقسیم شدند. در این پژوهش از فاکتور «مجموع درجات قوس‌های افقی هر قطعه» و با مقدار آستانه‌ای ۴۵ Deg/km جهت تفکیک قطعات استفاده شده است. قطعاتی با مجموع درجات کمتر از مقدار آستانه‌ای، در راستای مستقیم و قطعات بالاتر از آن، در راستای قوس افقی قرار گرفتند.

چهارچوب روش شناسایی نقاط حادثه‌خیز در هر راستا: در این مرحله باید از بین کاندیداهای ورودی ممکن، متغیرهای دارای بیشترین تأثیر در متغیر وابستهٔ خروجی شناسایی و انتخاب شوند. در این پژوهش، برای انتخاب متغیرهای ورودی از ماتریس ضرایب هم‌بستگی پیرسون استفاده شد و متغیرهایی که ضریب هم‌بستگی آن‌ها بالاتر از سطح معنی‌داری[1] بوده است، به‌عنوان متغیر ورودی مدل در نظر گرفته شده‌اند.

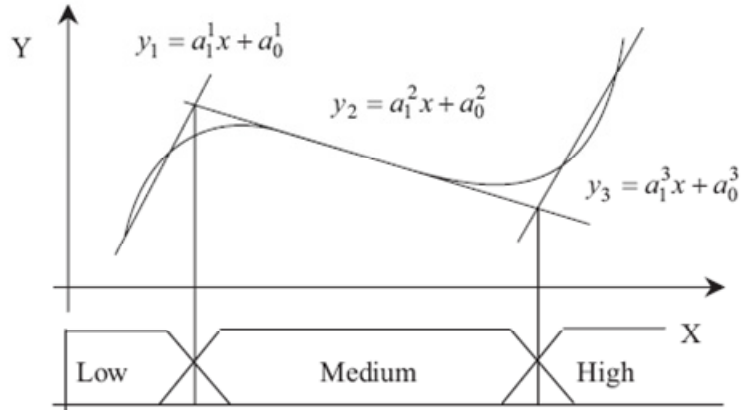
مدل پیشنهادی با استفاده از سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو[2]

مدلی که از آن برای مدل‌سازی تصادفات در این پژوهش استفاده می‌شود، سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو می‌باشد که اولین بار توسط سوگنو و همکارانش[3] در سال ۱۹۸۵ میلادی مطرح گردیده است. ایدهٔ اساسی مدل استنتاج فازی سوگنو این

1.Significant
2.Sugeno-Type Fuzzy Inference System
3.Sugeno et al

www.SID.ir

حقیقت می‌باشد که یک مجموعهٔ پیچیده و غیرخطی در واقع ترکیبی از زیرمجموعه‌های خطی و به هم متصل می‌باشد که در کنار یکدیگر، این سیستم پیچیده را تشکیل می‌دهند. در شکل ۲ می‌توان شمای ساده‌ای از سیستم استنتاج فازی را مشاهده کرد. همان‌طور که از شکل برمی‌آید، یک سیستم غیرخطی بسته به شدت تأثیر متغیر ورودی x بر متغیر خروجی y، به سه زیرفضا با ماهیت خطی تقسیم شده است. در ادامه، مراحل تشکیل سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو شرح داده می‌شود.



شکل ۲. یک نمای ساده از سیستم استنتاج فازی سوگنو

تقسیم‌بندی فضای متغیرهای مؤثر ورودی: در راستای تعیین تعداد قواعد و فضاهای موردنیاز جهت تشکیل سیستم استنتاج فازی و فازی‌سازی متغیرهای مستقل ورودی در هر فضا، به تقسیم‌بندی فضای ورودی نیاز می‌باشد؛ مانند شکل ۲ که متغیر x بسته به میزان تأثیر آن روی متغیر وابستهٔ y به سه زیرفضا تقسیم شده است. فضاها بر اساس نوع و شدت تأثیر متغیرهای ورودی بر متغیر وابستهٔ خروجی تقسیم‌بندی می‌شوند و در فضاهای تفکیک‌شده، داده‌ها دارای همگنی بالایی می‌باشند. در این پژوهش از الگوریتم خوشه‌بندی کاهندهٔ فازی جهت تقسیم‌بندی فضای ورودی استفاده شد و به همین دلیل، تعداد فضاها با تعداد خوشه‌ها برابر می‌باشد. ایدهٔ اساسی

www.SID.ir

در این الگوریتم، یافتن نواحی در فضای مرجع است که چگالی بالاتری از نقاط در آن‌ها قرار دارد. در ابتدا نقطهٔ دارای بیشترین همسایگی به‌عنوان مرکز یک خوشه انتخاب می‌شود. سپس نقاط با یک شعاع فازی ازپیش‌تعیین‌شده حذف می‌شوند و الگوریتم به‌دنبال نقطهٔ جدیدی با بیشترین همسایه‌ها می‌گردد و این فرایند تا شمول همهٔ نقاط ادامه می‌یابد. یک معیار مناسب برای محاسبهٔ چگالی در نقطه‌ای مانند k به‌صورت رابطه قابل‌تعریف است:

$$D_k = \sum_{j=1}^{n} exp(-\frac{\|x_k - x_j\|}{(r_a/2)^2}) \qquad (۲)$$

چنان‌چه ra یک ثابت مثبت و برابر با شعاع فازی، xk دادهٔ k ام و xj مجموعهٔ تمام داده‌ها (j=1,2,3,…n) می‌باشد.

بدین ترتیب، اگر یک نقطه دارای تعداد زیادی نقاط همسایگی باشد، دارای چگالی بالا خواهد بود. پس از محاسبهٔ معیار چگالی برای هر نقطه، نقاط دارای بالاترین چگالی به‌عنوان مراکز خوشه انتخاب می‌شوند.

فرایند تقسیم‌بندی فضای ورودی شامل دو مرحله می‌باشد:

تعیین تعداد فضاها (خوشه‌ها): تعیین تعداد فضاها مهم‌ترین موضوع در بحث تقسیم‌بندی فضای ورودی می‌باشد؛ مطالعات فراوانی روی آن انجام شده و معیارهای متفاوتی جهت تقسیم‌بندی داده‌های ورودی پیشنهاد شده که در اینجا از معیارِ مطرح‌شده توسط سوگنو و یاسوکاوا[1] جهت تعیین تعداد بهینهٔ فضاها استفاده شده است:

1.Sugeno and Yasokawa

www.SID.ir

$$S(c) = \sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{c} (\mu_{ik})^m \left(\|x_k - v_i\|^2 - \|v_i - \bar{x}\|^2 \right)$$

$$\|v_i - \bar{x}\| = \left(\sum_{j=1}^{p} (v_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۳)$$

μ_{ik}: درجهٔ عضویت دادهٔ k ام (x_k) در فضای i ام ($0 \le \mu_{ik} \le 1$).

$i = 1,2,...,c$: تعداد فضاها. m: وزن قابل تنظیم ($1.5 \le m \le 3$).

v_i: بردار مرکز فضای i ام ($v_i = (v_{i1}, v_{i2}, ..., v_{ip}) \in R^{cp}$).

v_{ij}: مرکز متغیر j ام (j=1,2,3,…,p) واقع در فضای i ام که به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\upsilon_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} (\mu_{ck})^m . x_{kj}}{\sum_{k=1}^{n} (\mu_{ik})^m} \qquad (۴)$$

$\bar{x}_j$: میانگین مقادیر مشاهده‌ای متغیر ورودی j ام.

x_{kj}: متغیر (ویژگی) j ام از دادهٔ مشاهده‌ای k ام؛ (به‌عنوان مثال، xkj می‌تواند برابر عرض شانه در قطعه‌ای خاص از محور باشد).

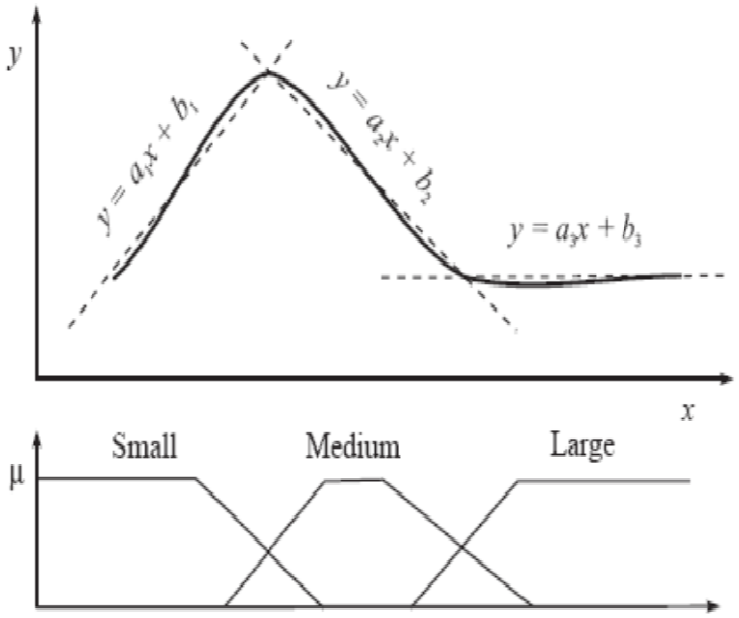
تعداد بهینهٔ فضاها (c*)، برابر عدد صحیحی می‌شود که به‌ازای آن، S(c) به حداقل مقدار خود برسد.

تقسیم‌بندی فضای ورودی با استفاده از خوشه‌بندی کاهندهٔ فازی: پس از مشخص‌شدن تعداد بهینهٔ فضاها، عمل تقسیم‌بندی فضای متغیرهای ورودی طبق الگوریتم خوشه‌بندی کاهندهٔ فازی و با استفاده از جعبه‌ابزار منطق فازی در نرم‌افزار MATLAB انجام می‌شود.

تعیین ضرایب متغیرهای ورودی در هر فضا (خوشه): در این مرحله، نوبت تعیین ضرایب متغیرهای ورودی در هر فضا می‌باشد. این ضرایب در واقع پارامترهای مدل رگرسیون خطی موضعی در هر فضا می‌باشند (شکل ۳). در این پژوهش، این

www.SID.ir

ضرایب با استفاده از روش حداقل مربعات خطاها[1] و با کمک جعبه‌ابزار منطق فـازی در نرم‌افزار MATLAB انجام می‌شود.



شکل ۳. نمونهٔ پارامترهای مدل رگرسیون موضعی خطی در هر فضا (ضرایب a_i,b_i)

تشکیل سیستم استنتاج فازی سوگنو

پس از تعیین ضرایب متغیرهای ورودی در هر فضا، سیسـتم اسـتنتاج فـازی سـوگنو تشکیل می‌گردد که بر پایهٔ قواعد «اگر – آنگاه» می‌باشد؛ به‌عنوان مثال می‌توان قواعد نمودار شکل ۳ را به‌صورت زیر بیان کرد:

IF x is Small THEN $y_1=a_1x+b_1$
IF x is Median THEN $y_2=a_2x+b_2$
IF x is Large THEN $y_3=a_3x+b_3$

1 Sum of Square of Error (S.S.E.)

www.SID.ir

خروجی نهایی مدل فازی نیز با واردکردن داده‌های ورودی در مدل، به‌صورت رابطهٔ (۵) تعیین می‌گردد.

$$Fuzzy \quad Output = \frac{\sum_{i=1}^{C=3} W_i . y_i}{\sum_{i=1}^{C=3} W_i} \qquad (۵)$$

W_i: حاصل‌ضرب درجهٔ عضویت متغیرهای ورودی واقع در هر فضا است و به‌صورت رابطهٔ (۶) بیان می‌گردد.

$$W_i = \mu_{i1} . \mu_{i2} . \mu_{i3} .. \mu_{ij} ... \mu_{im} \qquad (۶)$$

μ_{ij}: درجهٔ عضویت متغیر ورودی j ام در فضای i ام.

C: تعداد فضاها (تعداد خوشه‌ها).

y_i: خروجی مدل رگرسیون موضعی در فضای i (خوشه i) به‌ازای مقادیر ورودی $x_1, x_2, ..., x_m$.

$$y_i = a_{io} + a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + ... + a_{im} x_m \qquad (۷)$$

$a_{i0}, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, ..., \alpha_{im}$: پارامترهای متغیرهای ورودی مدل در فضای i ام که در واقع ضرایب مدل رگرسیون خطی موضعی در هر فضا می‌باشند.

شناسایی قطعات حادثه‌خیز در هر راستا: در این مرحله از بین روش‌های مختلفی که برای شناسایی و اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز استفاده می‌شود، از توزیع پواسون به‌منظور شناسایی قطعات حادثه‌خیز استفاده شده است. فرض اولیه در این روش، این است که تصادفات از توزیع پواسون پیروی می‌کنند. توزیع پواسون در حقیقت یک توزیع احتمال برای متغیرهای تصادفی ناپیوسته است که در آن، میزان احتمال بسیار کوچک و در مقابل، تعداد مشاهدات زیاد می‌باشد؛ به‌طوری که احتمال رخداد f

www.SID.ir

تصادف توسط فرمول زیر مشخص می‌شود:

$$P(f/\mu) = \frac{e^{-\mu}}{f!}(\mu)^f \qquad (۸)$$

$P(f/\mu)$: احتمال مشاهدهٔ f تصادف طی یک دورهٔ زمانی مشخص.

μ: فراوانی تصادف موردانتظار که دارای بیشترین مشاهده (بیشترین رخداد) می‌باشد.

اگر سطح اعتماد توزیع شاخص تصادفات را جهت حادثه‌خیزبودن نقاط برابر ۹۰ درصد بگیریم، آنگاه قطعاتی که سطح توزیع آن‌ها برابر ۹۰ درصد یا بیشتر باشد، به‌عنوان قطعات حادثه‌خیز شناخته خواهند شد.

شناسایی نقاط حادثه‌خیز در قطعات قوس افقی: همان‌طور که گفته شد، به‌منظور انتخاب متغیرهای مؤثر از ماتریس ضرایب هم‌بستگی پیرسون میان متغیرها استفاده می‌شود و متغیرهای زیر که ضریب هم‌بستگی آن‌ها با متغیر وابستهٔ شاخص تصادف (AI) از سطح معنی‌داری بالاتر بوده است، به‌عنوان متغیر ورودی انتخاب شدند:

- عرض سواره‌رو (RW)؛
- عرض شانه (SW)؛
- شیب طولی (LG)؛
- تعداد قوس‌های افقی (NC)؛
- مجموع درجات قوس افقی (SCD).

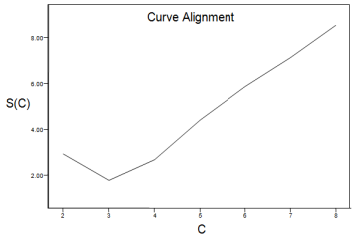
تقسیم‌بندی فضای متغیرهای مؤثر ورودی: این متغیرها به دو دسته تقسیم می‌شود.

الف) تعیین تعداد فضاها: در ابتدا قبل از تقسیم‌بندی متغیرهای ورودی باید تعداد بهینهٔ زیرفضاها با استفاده از تابع هدف رابطهٔ (۳) مشخص گردد.

www.SID.ir

$$S(c) = \sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{c}(\mu_{ik})^m\left(\|x_k - \upsilon_i\|^2 - \|\upsilon_i - \bar{x}\|^2\right)$$

c=2 , S(2) = 3.14
c=3 , S(3) = 1.84
c=4 , S(4) = 2.74
c=5 , S(5) = 3.89
c=6 , S(6) = 5.12
c=7 , S(7) = 6.93
c=8 , S(8) = 7.63
.....
>>> S(c*) = S(3) = 1.84



شکل ۴. نمودار مقادیر تابع s(c) به‌ازای مقادیر مختلف خوشه‌ها (c)

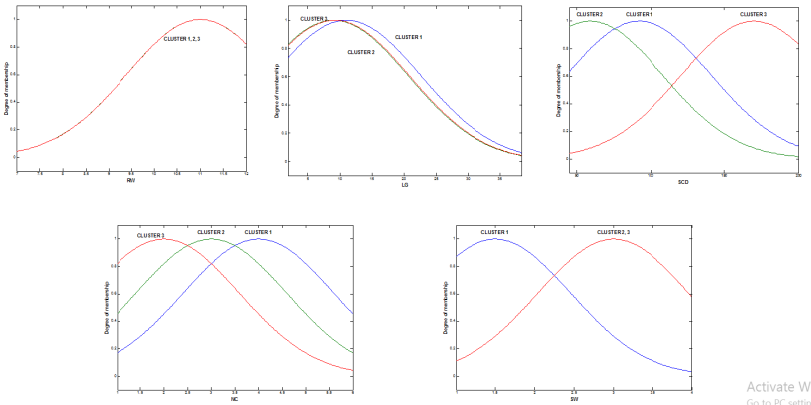
مطابق شکل ۴، تعداد بهینهٔ خوشه‌ها برابر با ۳ و مقدار S(c) متناظر با آن برابر ۱/۸۴ می‌باشد؛ لذا فضای ورودی مدل فازی به سه زیرفضا تقسیم شده است.

ب) تقسیم‌بندی فضای ورودی: پس از مشخص‌شدن تعداد بهینهٔ خوشه‌ها، تقسیم‌بندی فضای ورودی با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی کاهندهٔ فازی و با کمک نرم‌افزار MATLAB انجام می‌گردد. مراکز و واریانس متغیرها در فضاهای تفکیک‌شده را می‌توان در جدول ۱ و شکل ۵ مشاهده کرد.

جدول ۱. جدول مقادیر مراکز و واریانس متغیرها در هر فضا (خوشه)

متغیرها / خوشه‌ها	RW	LG	NC	SCD	SW
مراکز خوشهٔ اول C_{1j}	۱۱	۱۱	۴	۹۲	۱/۵
مراکز خوشهٔ دوم C_{2j}	۱۱	۸/۹	۳	۵۹	۳
مراکز خوشهٔ سوم C_{3j}	۱۱	۹/۲	۲	۱۷۰	۳
واریانس خوشه‌ها S_j	۱/۵۹	۱۱/۶۱	۱/۵۹	۴۹/۳۲	۰/۹۵

www.SID.ir



شکل ۵. نمودارهای درجهٔ عضویت متغیرهای ورودی در هر خوشه (فضا)

تعیین ضرایب متغیرهای ورودی در هر فضا: در این مرحله، مدل رگرسیون موضعی و ضرایب آن با استفاده از جعبه‌ابزار منطق فازی در محیط نرم‌افزار MATLAB و با استفاده از دستور تشکیل سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو تعیین می‌شوند.

- مدل رگرسیون خطی در فضای اول

$y_1=157.7-12.35*RW-0.718*LG+27.69*NC-0.146*SCD-57.34*SW$

- مدل رگرسیون خطی در فضای دوم

$y_2=43.85-2.401*RW+4.007*LG-6.745*NC+2.077*SCD-33.64*SW$

- مدل رگرسیون خطی در فضای سوم

$y_3=381.3-4.589*RW-3.034*LG-7.539*NC-0.519*SCD-54.39*SW$

www.SID.ir

حال پس از مشخص‌شدن ضرایب متغیرهای ورودی در هر خوشه، سیستم استنتاج فازی سوگنو تشکیل می‌گردد:

1- IF RW in CLUSTER 1 and LG in CLUSTER 1 and NC in CLUSTER 1 and SCD in CLUSTER 1 and SW in CLUSTER 1 THEN $Y=y_1$

2- IF RW in CLUSTER 2 and LG in CLUSTER 2 and NC in CLUSTER 2 and SCD in CLUSTER 2 and SW in CLUSTER 2 THEN Y=y2

3- IF RW in CLUSTER 3 and LG in CLUSTER 3 and NC in CLUSTER 3 and SCD in CLUSTER 3 and SW in CLUSTER 3 THEN Y=y3

خروجی نهایی مدل فازی برابر است با میانگین وزنی خروجی‌های هر فضا به‌ازای مقادیر ورودی که به‌صورت رابطهٔ (۹) محاسبه می‌گردد.

$$Fuzzy \quad Output = \frac{\sum_{i=1}^{C=3} W_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{C=3} W_i} \qquad (۹)$$

در این رابطه، w_i برابر با حاصل‌ضرب درجهٔ عضویت متغیرهای ورودی در فضای i می‌باشد و به‌صورت زیر بیان می‌گردد:

$$W_i = \mu_{i(RW)} \cdot \mu_{i(LG)} \cdot \mu_{i(NC)} \cdot \mu_{i(SCD)} \cdot \mu_{i(SW)} \qquad (۱۰)$$

درجهٔ عضویت متغیر j ام در فضای i ام با استفاده از رابطهٔ (۱۱) بیان می‌گردد.

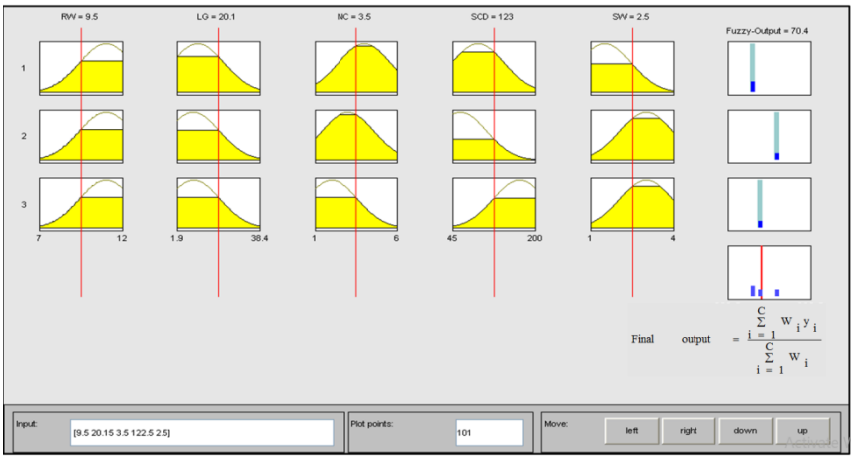
$$\mu_{ij} = Exp\left(-\frac{(x_{kj} - C_{ij})^2}{2S_{ij}^{\ 2}} \right) \qquad (۱۱)$$

C_{ij} و Sij: به‌ترتیب مراکز و واریانس متغیرها در هر فضا می‌باشند که از جدول ۱ به دست می‌آیند.

www.SID.ir

xkj: متغیر (ویژگی) jام (عرض سواره‌رو، ظرفیت، عرض شانه و...) از دادهٔ مشاهده‌ای k ام.

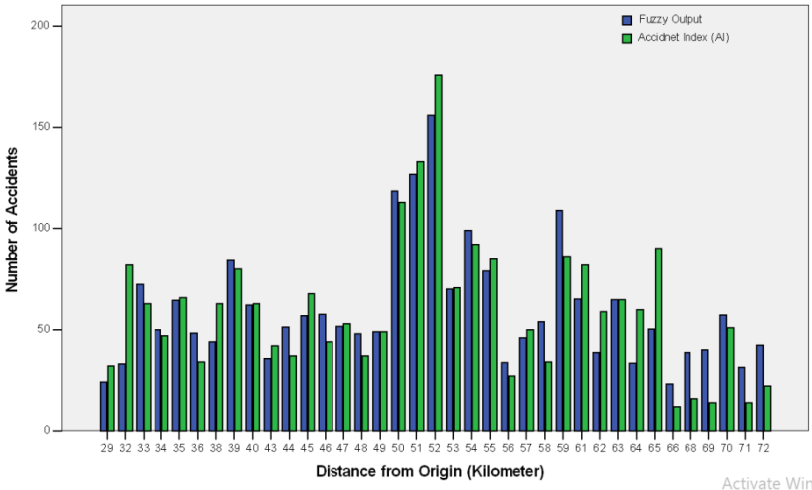
در شکل ۶ می‌توان خروجی سیستم استنتاج فازی سوگنو را به‌ازای مقادیر ورودی غیرفازی مشاهده کرد. همان‌طور که از شکل مشخص می‌باشد، خروجی نهایی مدل فازی برابر است با میانگین خروجی هر فضا به‌ازای مقادیر ورودی.



شکل ۶. خروجی مدل فازی به‌ازای مقادیر متغیرهای ورودی غیرفازی

در شکل ۷ می‌توان نمودار مقایسه‌ای مقادیر مشاهده‌ای شاخص تصادف (AI) و مقادیر خروجی مدل فازی سوگنو (Fuzzy Output) را مشاهده کرد.

www.SID.ir



شکل ۷. نمودار مقایسه‌ای مقادیر خروجی مدل فازی و مقادیر مشاهده‌ای تصادفات در قطعات قوس افقی

اعتبارسنجی نتایج مدل

استفاده از آزمون ویلکاکسون: در این راستا از نرم‌افزار SPSS جهت تشکیل آزمون موردنظر استفاده می‌شود. نتایج این آزمون در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. نتایج آزمون ویلکاکسون قطعات قوس افقی

Test Statistics[b]

	Fuzzy-Output Accident Index
Z	-.505[a]
Asymp. Sig. (2-tailed)	.613

a. Based on negative ranks.

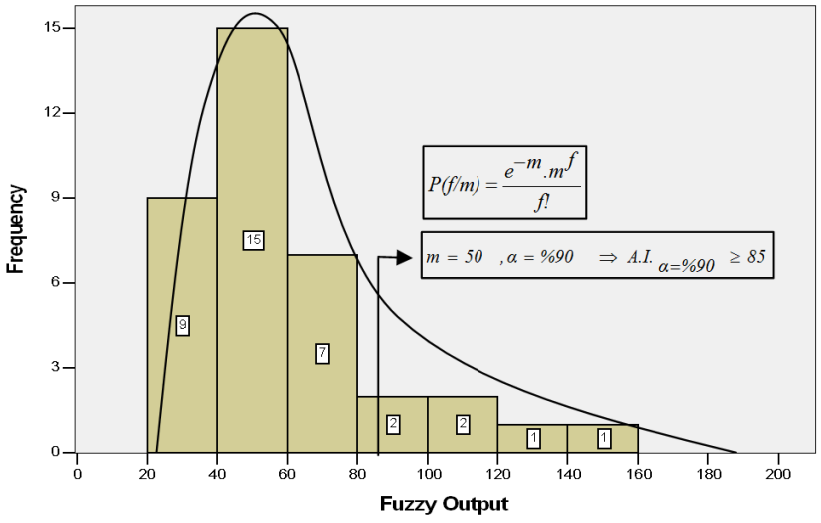
b. Wilcoxon Signed Ranks Test

www.SID.ir

مقدار قدرمطلق z از مقدار معنی‌داری (Asymp. Sig.=۰/۶۱۳) کمتر می‌باشد؛ لذا نتیجه می‌گیریم که سیستم استنتاج فازی سوگنو دارای دقت قابل‌قبولی در پیش‌بینی تصادفات جاده‌ای است.

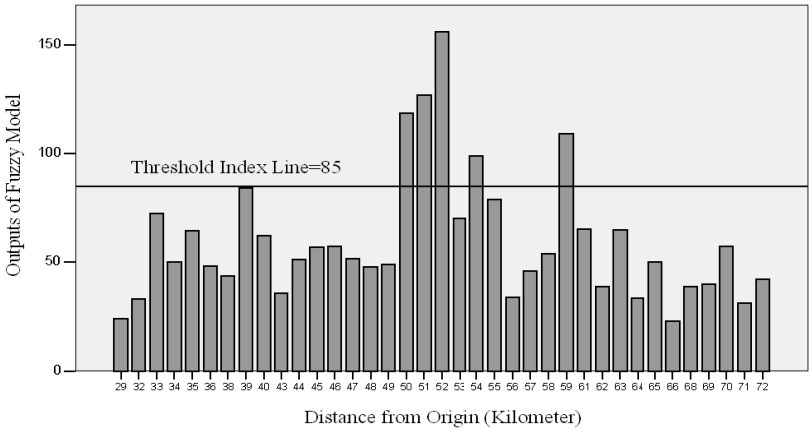
شناسایی نقاط حادثه‌خیز قطعات قوس افقی

پس از اعتبارسنجی نتایج مدل فازی، نقاط حادثه‌خیز با کمک توزیع پواسون شناسایی می‌شوند. در این راستا، توزیع فراوانی شاخص تصادف خروجی مدل فازی به‌صورت شکل ۸ می‌باشد. همان‌طور که از نمودار مشخص است، فراوانی شاخص تصادف از توزیع پواسون با میانگین تقریبی ۵۰ تصادف معادل خسارتی پیروی می‌کند و با بالارفتن شاخص تصادف، احتمال رخداد آن نیز پایین می‌آید. با قراردادن سطح اعتماد توزیع شاخص تصادفات برابر ۹۰ درصد، مقدار آستانه‌ای تصادف برابر ۸۵ می‌باشد و قطعاتی که شاخص تصادف در آن‌ها برابر ۸۵ یا بیشتر از آن باشد، به‌عنوان نقاط حادثه‌خیز شناخته خواهند شد. همچنین شکل ۹، مقادیر شاخص تصادف به‌دست‌آمده از مدل فازی را نشان می‌دهد.



www.SID.ir

شکل ۸. توزیع شاخص تصادف قطعات قوس افقی



شکل ۹. نمودار ستونی مقادیر شاخص تصادف بدست‌آمده از مدل فازی

اولویت‌بندی قطعات برحسب میزان تصادف بالاتر از مقدار شاخص آستانه‌ای ۸۵ و با کمک شکل ۹ به قرار زیر می‌باشد:

۱) کیلومتر ۵۲ (AI=156)، ۲) کیلومتر ۵۱ (AI=126)، ۳) کیلومتر ۵۰ (AI=118)، ۴) کیلومتر ۵۹ (AI=109)، ۵) کیلومتر ۵۴ (AI=99)، ۶) کیلومتر ۳۹ (AI=84.36).

شناسایی نقاط حادثه‌خیز قطعات راستای مستقیم

مراحل شناسایی قطعات حادثه‌خیز واقع در این راستا نیز عیناً مانند قطعات قوس افقی می‌باشد. لذا سعی می‌شود از توضیح موارد تکراری پرهیز شود.

انتخاب متغیرهای مؤثر ورودی: متغیرهای مؤثر ورودی مدل پس از تشکیل ماتریس ضرایب هم‌بستگی

- تراکم کاربری حاشیهٔ راه (LU)؛

www.SID.ir

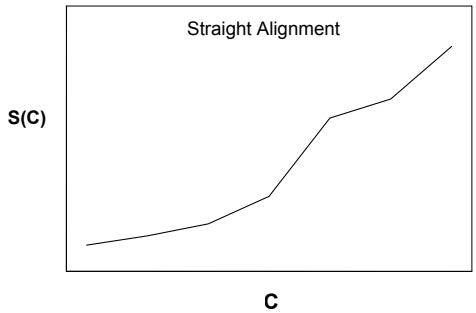
- عرض سواره‌رو (RW)؛
- عرض شانه (SW).

تقسیم‌بندی فضای متغیرهای مؤثر ورودی

الف) تعیین تعداد فضاها با استفاده از رابطهٔ (۳) جدول زیر، مقـادیر S(c) متنـاظر بـا خوشهٔ c را نشان می‌دهد:

$$S(c)=\sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{c}(\mu_{ik})^{m}\left(\|x_k-\upsilon_i\|^2-\|\upsilon_i-\bar{x}\|^2\right)$$

c=2 , S(2)=0.323
c=3 , S(3)=0.556
c=4 , S(4)=0.86
c=5 , S(5)=1.55
c=6 , S(6)=3.518
c=7 , S(7)=4.44
c=8 , S(8)=5.32
…..
S(c*)=S(2)=0.323>>>



شکل ۱۰. نمودار مقادیر تابع s(c) به‌ازای مقادیر مختلف

تعداد بهینهٔ خوشه‌ها برابر با ۲ و مقـدار S(c) متنـاظر بـا آن، برابـر ۰/۳۲۳ مـی‌باشـد؛ همچنین فضای ورودی مدل فازی به دو زیرفضا تقسیم می‌شود.

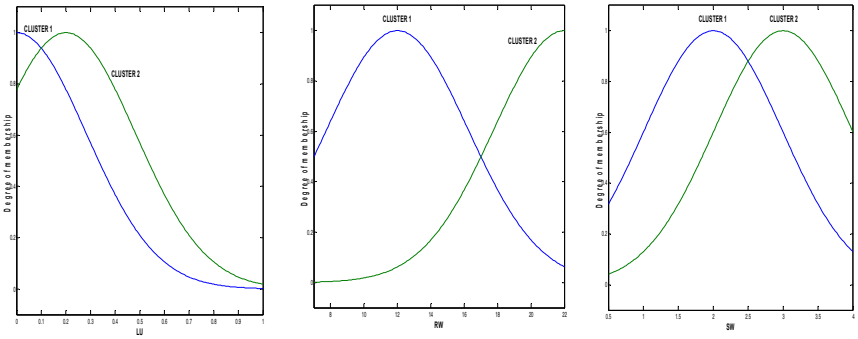
ب) تقسیم‌بندی فضای ورودی

پس از مشخص‌شدن تعداد بهینهٔ خوشه‌ها، تقسیم‌بندی فضـای ورودی بـا اسـتفاده از الگوریتم خوشه‌بندی کاهندهٔ فازی و با کمک نرم‌افزار MATLAB انجام می‌گردد.

www.SID.ir

جدول ۳. جدول مقادیر مراکز و واریانس متغیرها در هر فضا (خوشه)

متغیرها / خوشه‌ها	RW	LU	SW
مراکز خوشهٔ اول C_{1j}	۱۲	۰	۲
مراکز خوشهٔ دوم C_{2j}	۲۲	۰/۲	۳
واریانس خوشه‌ها S_j	۴/۲۴۳	۰/۲۸۳	۰/۹۸



شکل ۱۲. نمودارهای درجهٔ عضویت متغیرهای ورودی در هر خوشه (فضا)

تعیین ضرایب متغیرهای ورودی در هر فضا

♦ مدل رگرسیون خطی در فضای اول

$y_1=225.8-10.93*RW+56.48*LU-29.54*SW$

♦ مدل رگرسیون خطی در فضای دوم

$y_2=322.8-10.53*RW+44.35*LU-12.34*SW$

تشکیل سیستم استنتاج فازی سوگنو

سیستم استنتاج فازی سوگنو برای قطعات راستای مستقیم:

1- IF RW in CLUSTER 1 and LU in CLUSTER 1 and SW in CLUSTER 1 THEN $Y=y_1$

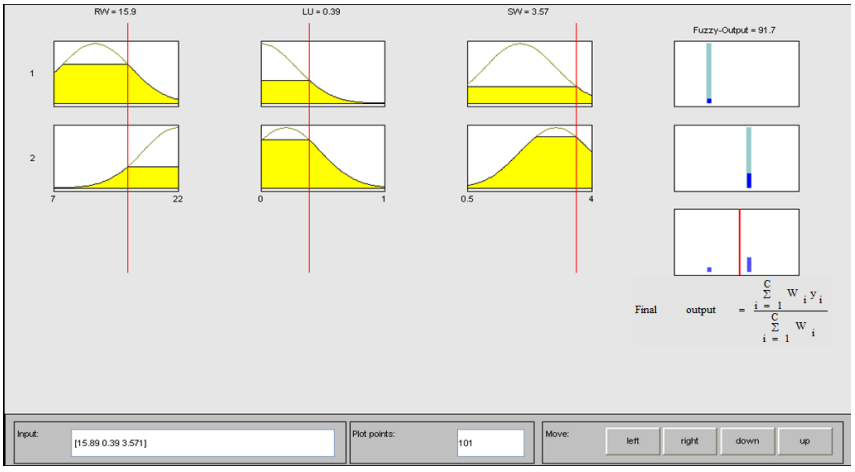
2- IF RW in CLUSTER 2 and LU in CLUSTER 2 and SW in CLUSTER 2 THEN $Y=y_2$

www.SID.ir

خروجی نهایی مدل فازی به‌صورت رابطهٔ (۵) محاسبه می‌گردد. در این قسمت، wi برابر با حاصل‌ضرب درجهٔ عضویت متغیرهای ورودی در فضای i می‌باشد و به‌صورت رابطهٔ (۱۲) بیان می‌گردد.

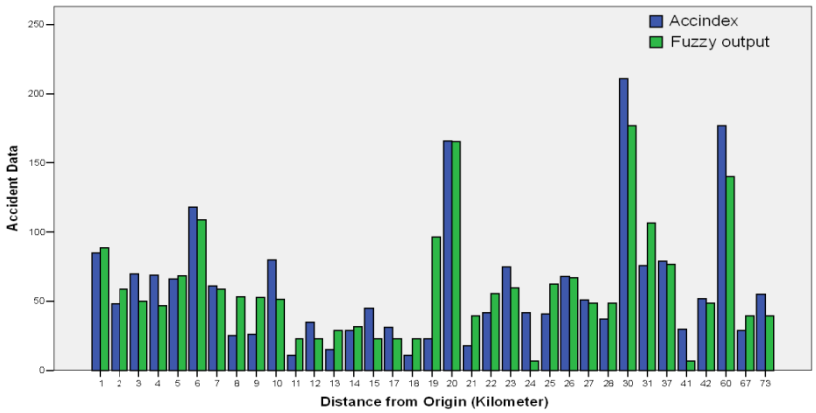
$$W_i = \mu_{i(RW)} \cdot \mu_{i(LU)} \cdot \mu_{i(SW)} \qquad (۱۲)$$

درجهٔ عضویت هریک از متغیرها با استفاده از رابطهٔ (۱۰) و مقادیر میانگین و واریانس متغیرها با استفاده از جدول ۳ به دست می‌آید. در شکل ۱۳ می‌توان خروجی سیستم استنتاج فازی سوگنو را به‌ازای مقادیر ورودی غیرفازی در یکی از قطعات راستای مستقیم مشاهده کرد. خروجی نهایی مدل فازی در این شکل به‌ازای مقادیر ورودی برابر است با میانگین خروجی هر فضا. در شکل ۱۴، مقادیر خروجی مدل فازی و مشاهده‌ای تصادف در قطعات راستای مستقیم نشان داده شده است.



شکل ۱۳. خروجی مدل فازی به‌ازای مقادیر متغیرهای ورودی غیرفازی

www.SID.ir



شکل ۱۴. نمودار مقادیر خروجی مدل فازی و مشاهده‌ای تصادف در قطعات راستای مستقیم

اعتبارسنجی نتایج مدل

الف) آزمون ویلکاکسون: همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، از آزمون ویلکاکسون به‌منظور اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده استفاده شده است. نتایج این آزمون در جدول شمارهٔ ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. نتایج آزمون ویلکاکسون راستای مستقیم
Test Statistics[b]

	Fuzzy out - Accindex
Z	-.311[a]
Asymp. Sig. (2-tailed)	.756

a. Based on positive ranks.
b. Wilcoxon Signed Ranks Test

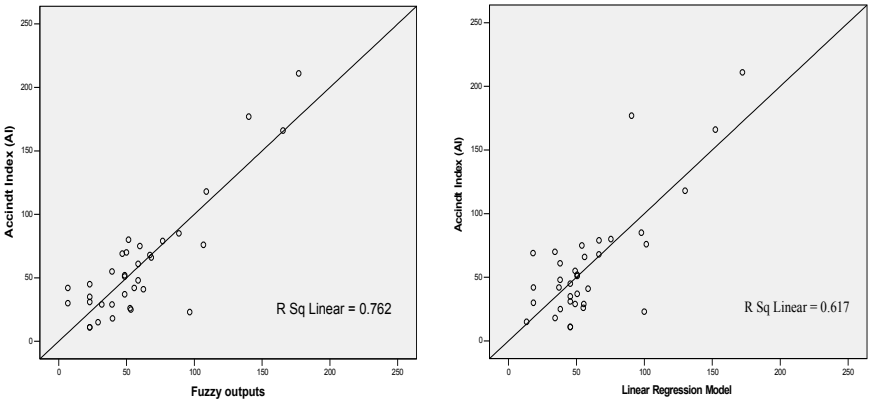
طبق جدول ۴، مقدار قدرمطلق z از مقدار معنی‌داری Asymp. Sig.= ۰/۷۵۶ کمتر می‌باشد؛ لذا نتیجه می‌گیریم که مدل مذکور از اعتبار لازم جهت شناسایی نقاط حادثه‌خیز برخوردار می‌باشد.

www.SID.ir

ب) مقایسهٔ مدل فازی با مدل رگرسیون خطی چندمتغیره

$Y= 99.1-1.488*RW+99.63*LU -16.089*SW \quad , R^2= 0.617$

با توجه به شکل ۱۵ و مقایسهٔ میان مدل فازی سوگنو و رگرسیون خطی با توجه به اینکه مدل فازی دارای R2=٪۷۶۲ با مقادیر مشاهده‌ای شاخص تصادف می‌باشد، دارای دقت بالاتری نسبت به مدل رگرسیون خطی با R2=٪۶۱۷ می‌باشد؛ با توجه به موارد یادشده به این نتیجه می‌رسیم که سیستم استنتاج فازی سوگنو دارای دقت قابل‌قبولی در پیش‌بینی تصادفات جاده‌ای در قطعات راستای مستقیم می‌باشد.



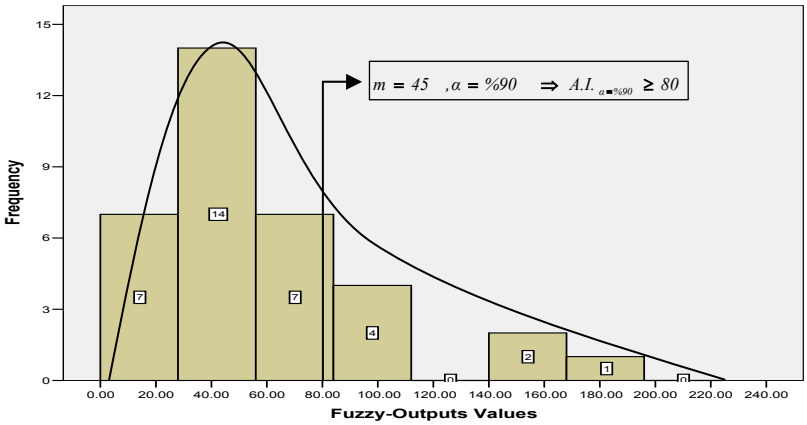
شکل ۱۵. نمودار پراکندگی مقادیر خروجی مدل فازی و مدل رگرسیون خطی

شناسایی قطعات حادثه‌خیز راستای مستقیم

توزیع فراوانی شاخص تصادف خروجی مدل فازی به‌صورت شکل ۱۶ می‌باشد. همان‌طور که از نمودار مشخص است، فراوانی شاخص تصادف از توزیع پواسون با میانگین تقریبی ۴۵ تصادف معادل خسارتی پیروی می‌کند. با قراردادن سطح اعتماد توزیع شاخص تصادفات برابر ۹۰ درصد، مقدار آستانه‌ای تصادف برابر ۸۰ تصادف معادل خسارتی می‌باشد و قطعاتی که شاخص تصادف در آن‌ها برابر ۸۰ یا بیشتر از

www.SID.ir

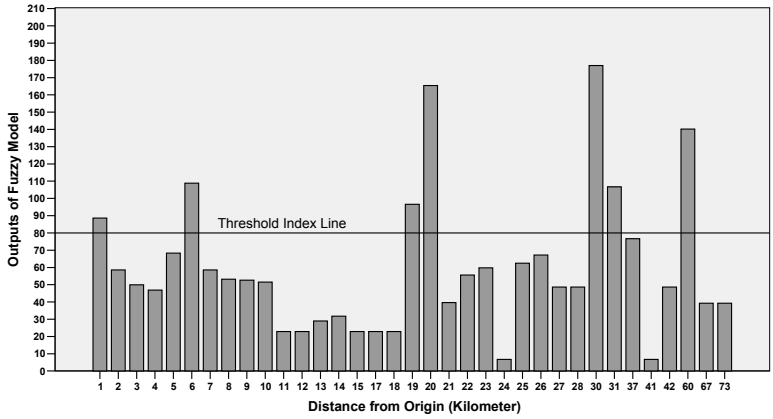
آن باشد، به‌عنوان نقاط حادثه‌خیز شناخته خواهند شد.



شکل ۱۶. توزیع شاخص تصادف قطعات راستای مستقیم

اولویت‌بندی قطعات برحسب میزان تصادف بالاتر از مقدار شاخص آستانه‌ای ۸۵ و با کمک شکل ۱۷ به قرار زیر می‌باشد:

۱) کیلومتر ۳۰ (AI=177)، ۲) کیلومتر ۲۰ (AI=165)، ۳) کیلومتر ۶۰ (AI=140)، ۴) کیلومتر ۶ (AI=108)، ۵) کیلومتر ۳۱ (AI=106)، ۶) کیلومتر ۱۹ (AI=97)، ۷) کیلومتر ۱ (AI=89).



شکل ۱۷. نمودار ستونی مقادیر شاخص تصادف به‌دست‌آمده از مدل فازی

www.SID.ir

نتایج و پیشنهادها

همان‌طور که بیان شد، به‌دلیل کمبود مطالعات مرتبط در داخل کشور، هدف از این پژوهش، شناسایی نقاط حادثه‌خیز با استفاده از سیستم استنتاج فازی سوگنو می‌باشد. در ابتدا با کسب اطلاعات مربوط به آمار تصادفات و مشخصات هندسی محور قزوین – لوشان، ورودی‌ها و خروجی مدل مشخص شدند. سپس در فرایند شناسایی نقاط حادثه‌خیز، شاخص تصادف هر قطعه بر اساس متغیرهای مؤثر ورودی و با استفاده از سیستم استنتاج فازی سوگنو پیش‌بینی شده و پس از اعتبارسنجی نتایج مدل مذکور، قطعات حادثه‌خیز در هر راستا با استفاده از توزیع پواسون و سطح اعتماد ۹۰ درصد شناسایی شدند. در قطعات قوس افقی، متغیرهای مستقل عرض سواره‌رو، شیب طولی، تراکم قوس افقی، مجموع درجات قوس‌ها و عرض شانه به‌عنوان عوامل مؤثر در بروز تصادفات و حادثه‌خیزی قطعات قوس افقی بوده و بسته به مقدار آن‌ها در قطعات مختلف، تأثیرگذاری متفاوتی در هر فضا و در نهایت در خروجی مدل فازی داشته‌اند. در قطعات راستای مستقیم نیز متغیرهای مستقل کاربری زمین، عرض شانه و عرض سواره‌رو عوامل مؤثر در حادثه‌خیزی قطعات واقع در این راستا بوده و پس از مدل‌سازی مشخص شد که عمدهٔ تصادفات در این راستا در قطعاتی به وقوع پیوسته است که عرض سواره‌رو و شانهٔ کم و تراکم کاربری زمین بالایی دارند.

در واقع باید گفت که استفاده از رویکرد مدل‌سازی فازی این مزیت را دارد که علاوه بر شناسایی درست نقاط حادثه‌خیز، عوامل مؤثر و شدت تأثیر هریک از آن‌ها آشکار گردیده و کمک می‌کند تا اقدامات ایمنی درستی در جهت کاهش حادثه‌خیزی این نقاط به کار برده شود. موارد زیر را می‌توان به‌عنوان نتایج پژوهش در نظر گرفت:

۱) دقت قابل‌قبول سیستم استنتاج فازی سوگنو در پیش‌بینی تصادفات؛

۲) انتخاب مناسب پارامترهای ورودی و تنوع‌پذیری آن‌ها؛

www.SID.ir

۳) نقش خوشه‌بندی فازی در افزایش همگنی عناصر واقع در هر فضا؛

۴) تبعیت رخدادهای تصادف از توزیع پواسون؛

۵) حساسیت‌سنجی و تعیین شدت تأثیر عوامل مؤثر در حادثه‌خیزی نقاط با استفاده از مدل‌سازی تصادفات.

در ادامه به‌منظور انجام مطالعات مرتبط آتی، موارد ذیل پیشنهاد می‌گردد:

۶) استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی برای اولویت‌بندی اصلاح نقاط حادثه‌خیز؛

۷) انتخاب متغیرهای دیگر به‌عنوان ورودی در سیستم استنتاج فازی.

منابع

– کوره‌پزان دزفولی، امین. (۱۳۸۴). *اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسائل مهندسی آب*. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

– Acqua, G., Lamberti, R. (2002). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Highway Accidents Analysis. *Dept. of Transportation Engineering*, University of Naples.

– Dimitriou, L., Vlahogianni, E. (2015). Fuzzy Modeling of Freeway Accident Duration with Rainfall and Traffic Flow Interactions. *Analytic Methods in accident Research* 5-6 (2015) 59-71.

– Effati1, M., Rajabi, M. A., Samadzadegan, F., Shabani, Sh. (2014). A geospatial neuro-fuzzy approach for identification of hazardous zones in regional transportation corridors. *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 12, No. 3.

– Gaber, M., Wahaballa, A.M., Othman, A.M., Diab, A. (2017). Traffic Accident Prediction Model Using Fuzzy Logic: Aswan Desert Road Case Study. *Journal of Engineering Sciences Assiut University Faculty of Engineering*, Vol. 45 No.1 (2017) PP. 28-44.

– Munyazikwiye, B., Karimi, H.R., Robbersmyr, K.G. (2015). Fuzzy logic approach to predict vehicle crash severity from acceleration data International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications 18-20 Nov.

www.SID.ir

2015, Yilan, Taiwan.
– Sayed, T., Abdelwahab, W., Navin, F. (1995). Identifying Accident-Prone Locations Using Fuzzy Pattern Recognition. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 121, No. 4.
– Sugeno, M., Yasukawa, T. (1993). A Fuzzy-Logic-Based Approach to Qualitative Modeling. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* Vol. 1.
– Sun, D., Ukkusuri, S. (2004). Fuzzy logic based online collision prediction system for signalized intersections. *Advances in Transportation Studies an international Journal Section* B 3 (2004).
– Teodorovic, D. (1999). Fuzzy Logic Systems for Transportation Engineering: the State of The Art. *Transportation Research Part a 33* (1999) pp. 337-364.
– The MathWorks, Inc. (2002). *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide for Matlab*.
– World Health Organization. (2013). *Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action*. WHO, Geneva, Switzerland.
– Yulong, P., Han, G., Tongyu, D. (2001). Fuzzy Evaluating Method to Distinguish The Black Spot of The Road. *Institute of Transportation Research,* Harbin Institute of Technology.

www.SID.ir

www.SID.ir