

ایجاد سیستم پشتیبانی از تصمیم فازی در مدیریت و برنامه‌ریزی اقدامات

ایمن‌سازی راه

حمیدرضا بهنود (مسئول مکاتبات)، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محمدعلی پیرایش نقاب، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

اسماعیل آیتی، استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

E-mail : hr.behnood@gmail.com

پذیرش: ۹۲/۰۶/۰۴

دریافت: ۹۲/۰۴/۱۷

چکیده

هدف از ارایه این تحقیق ایجاد یک سیستم پشتیبانی از تصمیم فازی (FDSS) است که در آن از اطلاعات گذشته سازمان‌ها و دستگاه‌های اجرایی مختلف در زمینه اقدامات انجام شده در هر یک از استان‌های کشور، در جهت کاهش سوانح و تلفات ترافیکی، استفاده می‌شود. در این تحقیق از مفهوم ناکارآیی استفاده شده که عبارت است از نسبت نرخ تلفات جاده‌ای به مجموع وزندار نرخ اقدامات ایمن‌سازی، و به نحوی میزان عدم ایمنی یا ریسک فوت نسبت به اقدامات ایمنی. تعیین ناکارآیی نسبی بین استان‌های مختلف با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه‌ریزی برای آینده براساس تصمیم‌گیری در محیط فازی انجام می‌شود. پس از محاسبه میزان ناکارآیی در هر استان، فرآیند الگو‌گذاری به منظور شناسایی استان‌های موفق و الگو‌برداری سایر استان‌ها از آنها انجام شده و اهداف ایمن‌سازی برای هر یک از این واحدها تعیین می‌شود. در پایان، بر اساس مجموع تجربیات به دست آمده برای ۳۰ استان ایران در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ پایگاه دانش قابل استفاده در یک سیستم خبره با استفاده از استدلال فازی تشکیل شده و می‌تواند به عنوان سیستم پشتیبانی از تصمیم فازی در مدیریت و برنامه‌ریزی اقدامات ایمن‌سازی راه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اقدامات ایمنی‌سازی راه، تحلیل پوششی داده‌ها، سیستم پشتیبان تصمیم فازی.

۱. مقدمه

ایمنی راه که معیاری از رفاه افراد یک جامعه است، به کمک اجرای مجموعه‌ای از اقدامات ایمن‌سازی راهها که عموماً توسط سازمان‌ها و نهادهای دولتی ذیربط انجام می‌شود، ارتقا می‌یابد. این اقدامات توسط دستگاههای اجرایی مختلف چه به صورت پیشگیرانه و چه به صورت واکنشی در چارچوب دو دیدگاه کلی مدیریت ایمنی و مهندسی ایمنی راه، کاهش فراوانی و شدت حوادث ترافیکی را دنبال می‌کند. آن چه منجر به بهبود ایمنی راه و در عین حال حفظ کارایی در این جهت می‌شود، تخصیص مناسب بودجه‌های عملیاتی در هر یک از اقدامات مدیریتی ایمنی راه است. در این بین تأمین کارایی از اهمیت خاصی برخوردار است. به طور یقین، تلاش برای کاهش تلفات جاده‌ای در ازای صرف هزینه‌های گزاف برای اقدامات و راهکارهایی که ممکن است اثر چندانی در تأمین ایمنی نداشته باشند بیهوده و فاقد اثربخشی خواهد بود. بالعکس، شناسایی اقدامات موثر و پیاده‌سازی آنها حتی با هزینه‌های کمتر می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کاهش تلفات جاده‌ای داشته باشد. در ایران به عنوان کشور در حال توسعه‌ای که با رشد استفاده از وسایل نقلیه و در پی آن افزایش تصادفات ترافیکی برخوردار بوده است، ارایه رویکردی برای تحلیل عملکرد و برنامه‌ریزی کارآمد اقدامات ایمنی راه بسیار ضروری است.

سنجش کارایی راهبردهای ایمنی راه با در نظر گرفتن پیامدهای آنها می‌تواند به بهبود روند تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری در این زمینه کمک کند. یک سیستم پشتیبان تصمیم (DSS)^۱ مجموعه‌ای از ابزارها برای گردآوری داده‌ها، تحلیل و پردازش داده‌ها و کمک به تصمیم‌گیری یا ایجاد راهبردها و نمایش پیامدهای آنها است. هدف از ارایه این تحقیق، ایجاد یک سیستم پشتیبان تصمیم است که در آن اطلاعاتی از گذشته در زمینه اقدامات و شاخصه‌ای کمی عملکرد سازمانها و دستگاههای اجرایی مختلف در جهت کاهش سوانح و تلفات ترافیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این سیستم پس از محاسبه ناکارایی اقدامات انجام شده در هر سال بین استانهای مختلف کشور و جستجوی کاستیها و قوتها، به منظور برنامه‌ریزی و کمک به تصمیم‌گیری برای اقدامات آینده طراحی می‌شود. مفهوم ناکارایی که به نحوی در برگیرنده عدم ایمنی یا ریسک فوت جاده‌ای به نسبت اقدامات انجام شده است، شامل نسبت نرخ تلفات به مجموع وزن دار نرخ اقدامات ایمن‌سازی پیاده شده در استانهای کشور در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ می‌شود. تعیین ناکارایی‌های نسبی بین استانهای مختلف با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها^۲ و برنامه‌ریزی برای آینده بر اساس تصمیم‌گیری در محیط فازی انجام می‌شود. با توجه به استفاده از این روش تصمیم‌گیری در محیط فازی، می‌توان سیستم ایجاد شده را به عنوان یک سیستم پشتیبانی از تصمیم فازی (FDSS)^۳ دانست. در این تحقیق، شاخص ناکارایی به عنوان معیاری برای بررسی وضع کنونی و برنامه‌ریزی برای آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد. کمترین میزان این شاخص برای کارآترین حالت برابر با عدد یک است و واحدهای دارای ناکارایی بیشتر از یک، به عنوان استانهای ناموفق شناخته می‌شوند. پس از تعیین شاخص ناکارایی ایمنی برای هر یک از استانها در طی دو سال مزبور، می‌توان مجموعه‌ای از استانهای موفق در این زمینه را به عنوان الگوی سایر استانها معرفی و اهداف مؤثر بر کاهش ناکارایی (یا افزایش ایمنی) را با توجه به این الگوها تعیین کرد. در پایان، مجموعه‌ای از اطلاعات مربوط به عملکرد پیاده شده و همچنین اولویتهای ایمن‌سازی در استانهای مختلف کشور در هر یک از دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به دست می‌آید. این مجموعه به عنوان یک پایگاه دانش در ایجاد سیستم پشتیبانی از تصمیم مورد استفاده قرار می‌گیرد، به این معنا که بر اساس تجربیات حاصل از این دو سال، گستره‌ای از قوانین در چارچوب گزاره‌های فازی ایجاد شده و با بهره‌گیری از روشهای استدلال فازی، فرآیند تصمیم‌گیری به منظور تعیین چشم‌انداز راهبردهای ایمنی راه و انتخاب بهترین گزینه ارایه می‌شود. با استفاده از این مدل

امکان دستیابی به نتایج خوبی برای طبقه‌بندی مقاطع راه و سپس تعیین یک مقیاس اولویت‌بندی برای اقدامات نگهداری فراهم شده است. در سال ۲۰۰۹ رویکرد بررسی فازی ایمنی ترافیک جاده‌های بر اساس روش AHP در کشور چین ارایه شده است [Shi, 2009]. در این تحقیق، یک سیستم شاخص ارزیابی برای توسعه مداوم ایمنی ترافیک شهری ارایه شده که شامل سیاست‌های ایمنی برای ترافیک جاده‌ای، شرایط ایمنی ترافیک جاده‌ای، مدیریت ایمنی ترافیک جاده‌ای و سطح کنترل تصادفات جاده‌ای می‌شود. در همین سال رویکرد کامل‌تری به عنوان فرآیند ارزیابی ترکیبی فازی برای سطح ایمنی راه‌های شهری در این کشور ارایه شد [Wei and Jian-Xiao, 2009]. در این مدل نیز از روش AHP برای ایجاد سیستم دوسطحی ارزیابی ایمنی ترافیک استفاده شده است. در این زمینه، ما و همکاران [Ma et al., 2009] نیز تحقیقاتی را بر روی ارزیابی منطقه‌ای ایمنی جاده‌ای بر اساس نظریه فازی انجام داده‌اند که در آن، شاخصهای ابتدایی ارزیابی ایمنی راه از طریق جمع‌آوری مشخصات ایمنی ترافیک جاده‌ای در کشور چین انتخاب شده است. بر اساس این شاخصهای اولیه، سیستم شاخص ارزیابی ایمنی منطقه‌ای راهها با توجه به سه جنبه اهمیت، ضرورت و اثربخشی، ایجاد شده است. از جمله کاربردهای نوین روشهای تصمیم‌گیری فازی در تحلیل کلان عملکرد ایمنی جاده‌ای، میتوان به سیستم پیوندی شبکه‌های عصبی و مجموعه‌های زیر برای تحلیل شاخصهای عملکرد ایمنی ترافیک اشاره کرد که در سال ۲۰۱۰ توسط شن و همکاران [Shen, et al., 2010] ارایه شده است. در این مطالعه، رتبه‌بندی ۲۱ کشور اروپایی بر حسب امتیازهای شاخص ایمنی راه با رتبه‌بندی مبتنی بر تعداد تلفات در هر یک میلیون جمعیت ساکن مقایسه شده است. نتایج این بررسی، قابلیت این سیستم هوشمند پشتیبانی تصمیم و توان ارزشمند آن را در پیش‌بینی محتوای شاخصهای ایمنی راه نشان میدهد. بائو و دیگران [Bao, et al., 2011] در سال ۲۰۱۱ مدل TOPSIS فازی

میتوان مقدار ناکارایی مربوط به هر گزینه تعریف شده را پیش‌بینی و گزینه دارای کمترین شاخص ناکارایی را به عنوان گزینه برتر معرفی کرد.

قدیمی‌ترین مدل کاربردی در تحلیل ایمنی راه توسط کوک و دیگران در سال ۲۰۰۱ ارایه شده است [Cook et al, 2001] که در آن اولویت‌بندی بهینه نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها شرح داده شده است. در سال ۲۰۰۹، هرمانس و همکاران [Hermans et al., 2009] طرح کامل و شفاف از کاربرد تحلیل DEA در برنامه‌ریزی ایمنی راه ارایه کردند که هدف آن برداشتن گامی در این راستا، با ارایه یک مدل محاسباتی پیشنهادی بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها است. براساس خروجی این مدل، جوانب مفید و ناکارآمد ایمنی راه برای هر یک از ۲۱ کشور اروپایی مورد مطالعه، شناسایی می‌شود. در نهایت، در سال ۲۰۱۲ با تمرکز بر تعیین اهداف ایمنی راه، روش تحلیل پوششی داده‌ها و رویکردهای توسعه یافته آن برای بررسی ریسک ایمنی راه و تعیین اهداف در این زمینه بکار گرفته شده است [Shen et al., 2012]. در این تحقیق ریسک فوت جاده‌ای بر مبنای سطح رویارویی با ریسک به عنوان شاخص مورد سنجش در تحلیل DEA معرفی شده است.

کاربرد روشهای فازی به عنوان ابزار تصمیم‌گیری در تحلیل عملکرد و برنامه‌ریزی ایمنی راه از کاربردهای نوین روشهای مزبور بوده و عمدتاً شامل تحلیل ماکروسکوپی و وضعیت ایمنی و ریسک جاده‌ای می‌شود. این نوع تحلیل در سالهای اخیر در برنامه‌ریزی ساخت یا بهره‌برداری سیستمهای ایمنی جاده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۴، کافیسو و همکاران [Cafiso et al., 2004] یک مدل فازی را برای فرآیند اثرسنجی ایمنی راههای قدیمی و جدید ارایه کرده‌اند. معیارهای بیانی طرح راه در این مدل شامل وضعیت خوب (بدون عیب)، متوسط (قابل تحمل) و ضعیف (خطرناک) می‌شود. با تعریف توابع عضویت خطی برای این معیارها

صورت وجود چند عامل نهاده و ستانده به صورت زیر تعریف می‌شود: نسبت مجموع وزن دار ستاده‌ها به مجموع وزن دار نهاده‌ها. وزن‌های مورد نظر در این تعریف از مدلهای ارایه شده در روشهای تحلیل پوششی داده‌ها به دست می‌آید. اولین مدل توسعه یافته در روش تحلیل پوششی داده‌ها توسط چارنز، کوپر و رودز [Charnes et al., 1978] در سال ۱۹۷۸ ارایه و بر این اساس با نام مدل CCR شناخته شده است. اگر هر واحد (DMU)، دارای m ورودی برای تولید s خروجی باشد آنگاه شکل کسری مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها که کارایی واحد تحت بررسی (یا واحد صفر) را ارزیابی می‌کند به صورت زیر خواهد بود [Mehregan, 2009]:

$$\text{Max: } \theta_o = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}} \quad (1)$$

$$\text{Subject to: } \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (2)$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$$

در رابطه فوق θ_o کارایی نسبی واحد تصمیم‌گیری o ($o=1, \dots, n$) DMU است. محدودیتهای این مسأله به معنای آن است که نسبت ستانده به نهاده برای هر DMU نباید از عدد $1/0$ تجاوز نماید. تابع هدف مسأله نیز برای به دست آوردن وزنهای v_i و u_r به کار می‌رود، به طریقی که بتواند مقدار نسبت (کارایی) مورد نظر برای هر DMU را به حداکثر برساند.

۲-۲ تصمیم‌گیری در محیط فازی

فناوری اطلاعات می‌تواند برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در یک سازمان مورد استفاده قرار گیرد. سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری مبثی اساسی را در عرصه سیستم‌های اطلاعاتی

سلسله مراتبی را برای ارزیابی عملکرد ایمنی راه بکار گرفته‌اند. در مطالعات آنها، از این مدل به منظور ترکیب شاخصهای چندلایه‌ای عملکرد ایمنی راه در یک شاخص کلی با در نظر گرفتن دانش افراد خبره استفاده شده است. در این مقاله برای اولین بار از تلفیق دو روش تحلیل DEA و استدلال فازی برای تحلیل عملکرد و تصمیم‌گیری برنامه‌های ایمن‌سازی راه استفاده شده است. مجموعه اطلاعات و روشهای به کار رفته در مطالعات بررسی شده تجربه ارزشمندی را در اختیار مطالعه پیش رو قرار میدهد. به طور مثال، در برآورد اهداف ایمنی راه از روابط مورد استفاده توسط هرمانس و دیگران (۲۰۰۹) و در تدوین توابع فازی از مطالعات اشاره شده در این بخش استفاده شده است. استفاده از روش استدلال فازی، انتخاب گزینه‌های دیگر به جز ترکیب پیشنهادی تحلیل DEA را امکان‌پذیر می‌کند که این موضوع اساس کار جدید ارایه شده در این تحقیق را تشکیل میدهد.

۲. روش تحقیق

۲-۱ تحلیل پوششی داده‌ها

در سالهای اخیر روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به عنوان ابزاری سودمند در ارزیابی عملکرد واحدهای تولیدی و خدماتی شناخته شده است. روش DEA شامل یک مدل چندعاملی تحلیل بهره‌وری است که برای سنجش مقادیر کارایی نسبی در بین مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs) به کار می‌رود. واحدهای تصمیم‌گیری عبارت است از یک سازمان یا سیستم مانند مدارس، بیمارستانها، شعب بانکها و موارد مشابه دیگر که دارای چندین ورودی و خروجی شبیه به هم هستند. در ادبیات تحلیل پوششی داده‌ها، به منظور جلوگیری از پراکندگی، به جای عوامل ورودی سیستم، از مفهوم نهاده و به جای محصولات خروجی سیستم از مفهوم ستاده استفاده می‌شود [Azar and Gholamrezaiee, 2006] امتیاز کارایی در

خروجی اندازه‌گیری و به زبان طبیعی تبدیل می‌شود.
 - پایگاه دانش^۸؛ در این بخش توابع عضویت بر اساس دانش افراد خبره درباره سیستم تشکیل می‌شود.
 - قواعد تصمیم^۹؛ در این مرحله توانایی تصمیم‌گیری افراد خبره بر اساس یک مفهوم فازی شبیه‌سازی می‌شود. قواعد به صورت گزاره‌های اگر-آنگاه بیان می‌شود.
 - نافازی‌سازی^{۱۰}؛ در این مرحله خروجی‌های فازی به مقادیر قطعی (غیرفازی) تبدیل می‌شود.

مدیریت تشکیل می‌دهد. با گسترش روشهای استدلال و کنترل فازی در سالهای اخیر، سیستمهای پشتیبانی تصمیم فازی (FDSS) به منظور فراهم کردن فرآیندی یکپارچه در اجرای روشهای تصمیم‌گیری فازی معرفی شده است. یک سیستم تصمیم‌گیری فازی (FDMS)^۶ شامل چهار جزء به شرح زیر است که ارتباط آنها با یکدیگر در شکل (۱) نشان داده شده است [Deb and Bhattacharyya, 2005]
 - فازی‌سازی^۷؛ در این مرحله متغیرهای گوناگون ورودی و



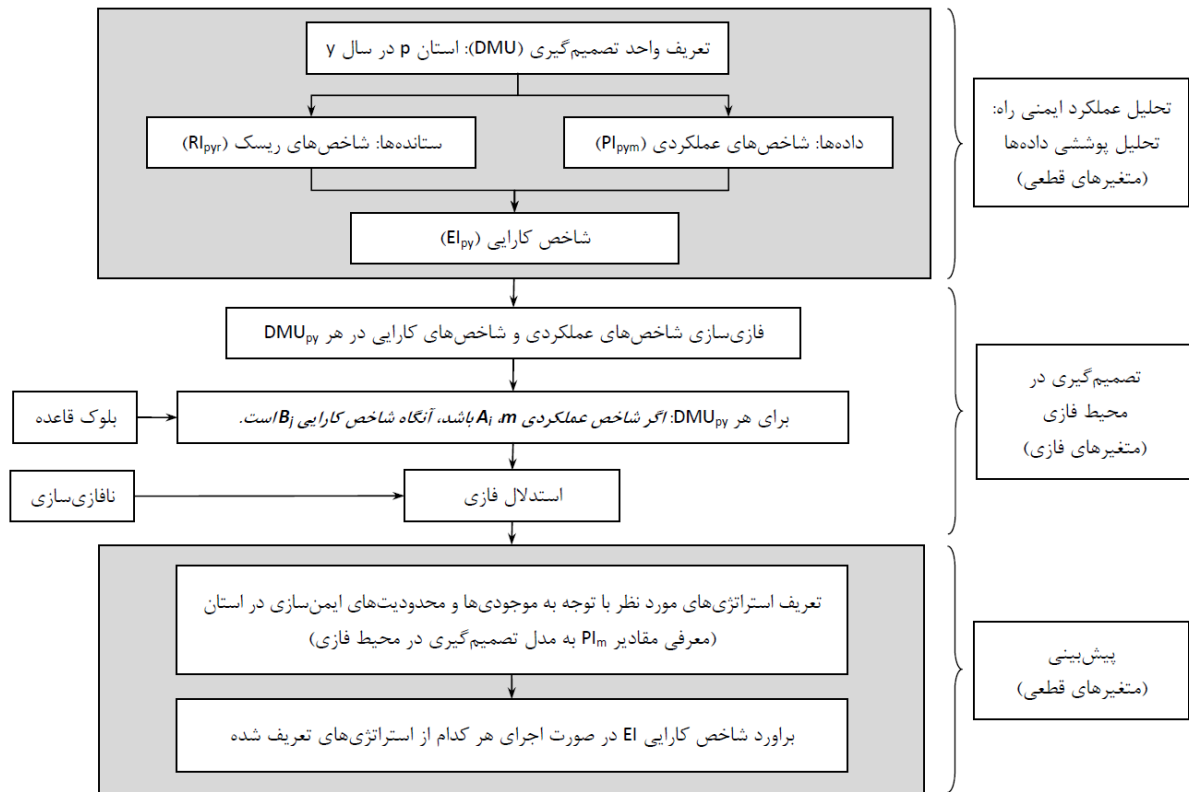
شکل ۱. ترتیب سیستم پشتیبانی تصمیم فازی
 [Deb and Bhattacharyya, 2005]

تجربیات مبتنی بر عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری و استدلال فازی به عنوان ابزار استنتاج و تبدیل داده‌ها و متغیرهای بیانی به خروجیهای عددی و قطعی.
 ۳- تعریف سیاستها، استراتژیها و برنامه‌ها، و هماهنگ‌سازی داده‌ها با اطلاعات مورد نیاز در سیستم و در نهایت پیش‌بینی پیامدهای پیرو هر گزینه تصمیم‌گیری.
 گام اساسی اول در اجرای فرآیند تحلیل و برنامه‌ریزی، شامل تحلیل عملکرد ایمنی‌راه در استانهای مختلف کشور و در طی چند سال گذشته می‌شود. این مرحله با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در نهایت منجر به محاسبه یک شاخص ناکارایی نسبی برای هر کدام از استانها در هر سال مشخص به عنوان یک واحد تصمیم‌گیری (DMU) می‌شود. این شاخص شامل نسبت ستاندهای وزن‌دار به نهادهای وزن‌دار می‌شود.
 نهادهای در این تحقیق به صورت مجموعه‌ای از اقدامات

۲-۳ مدل مفهومی

در شکل (۲) مدل مفهومی انجام این تحقیق با در نظر داشتن اهداف مشروح در بخش دوم در چارچوب نموداری مشتمل بر دو رکن تحلیل عملکرد ایمنی راه و تصمیم‌گیری در محیط فازی ترسیم شده است. این فرآیند به طور کلی بر سه گام اساسی به شرح زیر استوار است که در هر یک، نقشی از الگوی تحلیل پیاده شده و خروجی‌های هر گام، مجموعه ورودی‌های گام بعدی را شکل می‌دهد:
 ۱- تحلیل عملکرد ایمنی راه در وضع کنونی و در سالهای گذشته در بین کلیه واحدهای تصمیم‌گیری، محاسبه شاخص کارایی نسبی در واحد (رتبه‌بندی عملکرد و اولویت‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری بر حسب نیازها و کمبودها) و در نهایت الگوبرداری واحدهای ناکارآمد از واحدهای موفق و تعیین اهداف ایمن‌سازی راه برای آنها.
 ۲- آزمون فرض فازی بر اساس قواعد تشکیل یافته از

ایمن‌سازی راه در استانهای مختلف در هر سال و با عنوان شاخصهای عملکردی ایمنی راه تعریف می‌شود. شاخصهای ریسک که به عنوان ستانده‌های تحلیل DEA معرفی می‌شود، در برگیرنده شاخصهای سلامت و اجتماعی ریسک تصادف و تلفات در هر استان است که به نحوی وضعیت ایمنی ترافیک را در سطح راههای برون‌شهری هر استان نشان می‌دهد.



شکل ۲. مدل مفهومی تحلیل عملکرد و برنامه‌ریزی اقدامات ایمن‌سازی راه در قالب سیستم پشتیبانی از تصمیم فازی

«اگر سطح کنترل سرعت وسایل نقلیه خیلی بالا باشد و تعداد نقاط سانحه‌خیز رفع شده متوسط باشد و تعداد پایگاه‌های اورژانس زیاد باشد آنگاه ناکارایی نسبی ایمنی ترافیک زیاد خواهد بود.»

اصطلاح «ناکارایی نسبی ایمنی ترافیک» مفهومی است که با توجه به تحلیل پوششی داده‌ها، نسبت ناکارایی خروجی ایمنی را که شامل مقادیر ریسک تصادف و تلفات می‌شود، به نهاده‌ها و اقدامات ایمن‌سازی راه نشان می‌دهد. بدیهی است که با افزایش عملیات و اقدامات ایمن‌سازی راه نرخ تلفات کاهش خواهد یافت، اما این امر لزوماً منجر به افزایش کارایی ناشی از کاهش تلفات نخواهد بود. پس از آن عمل

مرحله بعد شامل آزمون فرض فازی بر اساس متغیرهای فازی است و با تشکیل بلوک قواعد^{۱۱}، درجه رضایت بخشی (DoS)^{۱۲} هر کدام از قاعده‌های بر گرفته از تجربیات و عملکرد استانهای مختلف در سالهای گذشته محاسبه می‌شود. در قاعده‌های مورد استفاده در این تحقیق، قیاسها شامل نهاده‌های هر واحد تصمیم‌گیری مورد بحث در مرحله پیشین بوده که معرف سطح اقدامات ایمنی پیاده شده در هر واحد است. نتیجه‌ها نیز مقادیر ناکارایی نسبی محاسبه شده در تحلیل پوششی داده‌ها را در برمی‌گیرد. نمونه‌ای از قاعده‌های قابل کاربرد در این تحقیق می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

برون شهری. وزن ایمنی آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها بر اساس ضریب هم‌سنگ ایمنی راه‌ها در راهنمای به‌سازی راه‌ها (نشریه شماره ۲۹۶ سازمان مدیریت) در نظر گرفته شده است.

- دوربینهای کنترل سرعت (SCC): تعداد دوربین‌های ثابت کنترل سرعت در هر صد کیلومتر از راه‌های برون شهری.

- خدمات فوریت‌های پزشکی (EMS): مجموع تعداد پایگاه‌های اورژانس و هلال احمر در هر صد کیلومتر از راه‌های برون شهری.

- طول راه‌های دارای تجهیزات روشنایی (Li): طول راه‌های مجهز به تجهیزات روشنایی در هر صد کیلومتر از راه‌های برون شهری.

- شاخص ریسک فوت نوع اول (FR1): تعداد تلفات جاده‌ای در هر یک میلیون وسیله نقلیه- کیلومتر طی شده.

- شاخص ریسک فوت نوع دوم (FR2): تعداد تلفات جاده‌ای در هر صد کیلومتر از راه‌های برون شهری.

مسلماً شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه همه عوامل موثر در تامین ایمنی جاده‌ای را پوشش نمی‌دهد، ولی باید این ملاحظات را در نظر گرفت: (۱) کارآیی اقدامات مورد بررسی در این مطالعه نسبت به یکدیگر سنجیده می‌شود و هدف تعیین نیازهای مربوط به هر یک از این اقدامات در جهت بهبود کارآیی است، (۲) در هیچ مطالعه‌ای در زمینه تحلیل اقدامات ارتقای ایمنی راه چه در سطح مدیریت کلان ایمنی و چه در سطح مهندسی ایمنی راه مشاهده نمی‌شود که تمامی عوامل موثر بر ایمنی راه در تحلیل در نظر گرفته شده باشد، (۳) با توجه به این که هدف نهایی این مطالعه تصمیم‌گیری است، شاخصهایی انتخاب شده که مدیریت و دخالت در آنها به طور مستقیم امکان‌پذیر باشد، به طور مثال در نظر گرفتن شاخص‌های مربوط به کمربند ایمنی قابل پیاده‌سازی مستقیم توسط مسئولان نیست و با شاخص‌های میانی مانند نرخ پوشش عملیاتی پلیس سنجیده می‌شود.

استدلال فازی به عنوان ابزار استنتاج، نقش ترکیب توابع فازی با قیاسهای قواعد فازی و محاسبه نتایج به صورت متغیر فازی ناکارآیی نسبی حاصل از مجموعه اقدامات ایمن‌سازی را بر عهده دارد. در نهایت استدلال فازی منجر به برگرداندن متغیرهای فازی حاصل به مقادیر قطعی مربوط به ارزشهای ناکارآیی می‌شود که اصطلاحاً به عنوان عمل نافازی‌سازی شناخته می‌شود.

مراحل طی شده تا اینجا یک سیستم پشتیبانی از تصمیم‌گیری فازی (FDSS) را تشکیل داده که با استفاده از چنین الگویی به عنوان مدل برنامه‌ریزی در محیط فازی امکان کاربرد نهایی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌شود. این کاربرد شامل تعریف مجموعه‌ای از استراتژی‌های مورد نظر سیاستگذاران و برنامه‌ریزان با توجه به موجودیها و محدودیت‌های مربوط به انواع اقدامات ایمن‌سازی در یک استان به عنوان یک منطقه خاص و در نهایت ترسیم چشم‌انداز وضعیت کارآیی در پی اقدامات ایمن‌سازی راه می‌شود. اکنون با در اختیار داشتن ارزشهای ناکارآیی متناظر با استراتژی تعریف شده در چارچوب محدودیت‌های منابع و داراییها، انتخاب بهترین استراتژی با کمترین سطح ناکارآیی (یا بیشترین سطح کارآیی) امکان‌پذیر است.

۳. توصیف داده‌ها

ورودیها و خروجیهای این تحقیق در قالب شاخص‌های عملکردی به عنوان اقدامات ایمنی مورد نظر و شاخص‌های ریسک فوت به عنوان پیامد نهایی ریسک جاده‌ای به شرح زیر است:

- پوشش عملیاتی پلیس (PO): تعداد ایستگاه‌های پلیس راه در هر صد کیلومتر از راه‌های برون شهری.

- نقاط حادثه‌خیز رفع شده (BS): تعداد نقاط حادثه‌خیز رفع شده در هر صد کیلومتر از راه‌های برون شهری.

- میزان عرضه بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها (H_F): مجموع وزن‌دار طول بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها در هر صد کیلومتر از راه‌های

۴. مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها

اطلاعات برای تحلیل و کاربرد در برنامه‌ریزی ایمنی راه بر اساس روش ارایه شده در این تحقیق، شامل مجموعه‌ای از شاخص‌های عملکردی است که عمدتاً توسط کمیسیون ایمنی راه‌های کشور (۱۳۸۸) تنظیم شده است. اطلاعات و داده‌های مربوط به هر یک از این شاخص‌ها برای هر استان از پایگاه‌های اطلاعاتی متعلق به دستگاه‌های اجرایی مربوط به هر یک قابل جمع‌آوری است. مقدار زیادی از اطلاعات مربوط به هر یک از این شاخص‌ها برای هر استان هر ساله در سالنامه‌های حمل‌ونقل سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای و همچنین گزارش‌های تخصصی ایمنی راه‌های کشور چاپ و منتشر می‌شود.

۴-۱ تحلیل عملکرد، الگوگذاری و تعیین اهداف ایمن‌سازی

با استفاده از رویکرد عملی تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی جاده‌های در استانهای مختلف کشور به عنوان واحدهای مورد مطالعه، محاسبه شاخصی از ناکارایی با هدف تعیین وزن خروجیها (ستاندها) به وزن ورودیها (نهادها) به خوبی امکانپذیر خواهد بود. بدین منظور، ناکارایی ایمنی تعریف شده در هر استان با استفاده از عوامل نهاده و ستانده به شرح زیر برآورد می‌شود:

- عوامل نهاده شامل شش شاخص عملکردی ایمنی تعیین شده در بخش (۲) می‌شود که معرف مقدار عملیات و اقدامات ایمن‌سازی پیاده شده در هر استان است.

- عوامل ستانده شامل دو نوع شاخص ریسک فوت ترافیکی تعیین شده در بخش (۲) است. عوامل ستانده در صورت کسر رابطه نسبت ناکارایی قرار گرفته و این نسبت برای هر استان باید به حداقل برسد.

- مقدار امتیاز ناکارایی نسبی در هر استان از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I = \frac{\sum_{r=1}^2 WFI_r}{\sum_{i=1}^6 WPI_i} \quad (6)$$

در این رابطه:

I = شاخص ناکارایی که باید به حداقل برسد،
 WFI_r = مقدار وزن دار شاخص تلفات برای شاخص ریسک نوع r

WPI_i = مقدار وزندهار شاخص عملکردی برای ورودی i ام
 هر کدام از جملات صورت و مخرج کسر ارایه شده در رابطه فوق، دارای ضرایبی است که وزن هر یک از شاخص‌های ورودی و خروجی را به نسبت اهمیت آن در ایجاد ناکارایی نسبی نشان می‌دهد. با در اختیار داشتن داده‌های مربوط به شاخص‌های نهاده و ستانده، ناکارایی هر استان در هر سال به عنوان هر کدام از واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) قابل محاسبه است. با توجه به تحلیل ۳۰ استان کشور در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ جمعاً ۶۰ واحد تصمیم‌گیری خواهیم داشت که برای هر کدام از این ۶۰ واحد یک عمل بهینه‌سازی انجام می‌شود. اکنون برای به دست آوردن وزن نهاده‌ها ($V_i : i = 1, \dots, 6$) و وزن ستانده‌ها ($u_r : r = 1, 2$) مسأله برنامه‌ریزی خطی برای هر کدام از ۶۰ واحد تصمیم‌گیری به شرح زیر نوشته می‌شود:

$$\text{Min: } \theta = u_1 y_1 + u_2 y_2 = \sum_{r=1}^2 u_r y_r \quad (7)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^6 v_i x_i = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{r=1}^2 u_r y_r - \sum_{i=1}^6 v_i x_i \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, \theta) \quad (9)$$

$$v_i, u_r \geq 0$$

با حل مسأله فوق مقدار بهینه θ^* برای تابع هدف و مقادیر بهینه v_i^* و u_i^* برای ضرایب تابع هدف محاسبه می‌شود. مقدار بهینه θ^* حداقل ناکارایی ایمنی است که در محیط اقدامات ایمن‌سازی پیاده شده در بین کل استانهای کشور، از ترکیب شاخصهای عملکردی ایمنی راه و شاخصهای ریسک در هر یک از دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به دست می‌آید. با

در این روابط ω_0 مقدار تابع هدف مدل دوگان λ_j و قیمت دوگان برای هر یک واحدهای تصمیم‌گیری است. به این ترتیب، مقادیر $\lambda_j \neq 0$ قیمت‌های دوگان برای الگوهای موفق هر واحد مورد بررسی است. در نهایت، با توجه به مطالعات هرمانس و همکاران [Hermans et al., 2009]، مقدار مورد هدف هر کدام از اقدامات ایمن‌سازی یا ورودی‌های هر کدام از واحدهای ناموفق که جهت بهبود کارایی (یا کاهش ناکارایی) باید به آن دست یافت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Target}_{i,A} = \sum_{b=1}^B \left(\frac{\lambda_b}{I_A} \times x_{i,b} \right)$$

که در این رابطه:

$\text{Target}_{i,A}$ = مقدار مورد هدف داده i در واحد ناموفق A برای رسیدن به ناکارایی حداقل

B = تعداد واحدهای الگو برای واحد ناموفق A

λ_b = قیمت دوگان برای واحد الگوی شماره b

I_A = شاخص ناکارایی واحد ناموفق A

$x_{i,b}$ = مقدار داده i در وضعیت فعلی واحد موفق شماره b به این ترتیب، با محاسبه مقدار هدف برای داده‌های هر واحد ناموفق، مقدار تغییرات لازم در این داده‌ها مشخص می‌شود. در جدول (۱) نمونه‌ای از مقادیر مربوط به شاخصهای عملکردی بعضی از استانها در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به همراه اهداف تعیین شده بر اساس رویکرد الگوگذاری و تعیین اهداف مشروح در این بخش نشان داده شده است.

بر اساس تحلیل انجام شده، در بین نمونه‌های نشان داده شده در جدول (۱) استانهای اردبیل، ایلام و یزد در سال ۱۳۸۷ و استانهای اردبیل، اصفهان، هرمزگان و یزد در سال ۱۳۸۸ کمترین سطح ناکارایی برابر با یک را به دست آورده و از این رو می‌توانند پتانسیل الگو شدن برای استانهای دیگر را داشته باشند، به این معنا که هر یک از این استانهای موفق با توجه به مقدار قیدهای مساله و قیمت‌های دوگان محاسبه شده می‌توانند برای بعضی از استانهای ناموفق به عنوان الگو شناخته شوند. به این ترتیب، شاخصهای عملکردی و

اجرای دستگاه بهینه‌سازی فوق برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری، شاخص ناکارایی به صورت عددی بزرگ‌تر یا مساوی یک به دست می‌آید که عدد یک نشان دهنده موفقیت کامل استان مربوطه در سال مشخص شده در کاهش تلفات جاده‌ای با بهره‌گیری از اقدامات پیاده شده است.

در تحقیق حاضر سعی بر آن خواهد بود تا ضمن تعیین استانهای موفق، اولویت‌بندی سیاستهای راهگشا در استانهای ناموفق انجام شود. به این منظور لازم است از مفاهیم الگوگذاری^{۱۳} و تعیین اهداف^{۱۴} به عنوان یکی از رویکردهای کاربردی در ادبیات تحلیل عملکرد سازمانها استفاده شود. این رویکرد به تعیین واحدهای الگو برای هر یک از واحدهای ناموفق پرداخته و جهت تعیین سیاستهای الگو به بررسی و محاسبه قیمت‌های دوگان^{۱۵} مربوط به هر یک از واحدهای الگو برای همان واحد ناموفق نیاز دارد. واحدهای الگو برای هر واحد ناموفق شامل آن دسته از واحدهای تصمیم‌گیری می‌شود که مقدار محدودیت رابطه (۹) متناظر با آن دقیقاً برابر با صفر شود. به عبارت دیگر، واحدهای الگو واحدهایی را در بر می‌گیرد که با استفاده از وزنهای واحد ناموفق مورد بررسی، مجموع وزن دار ورودیهای آن دقیقاً برابر با مجموع وزن دار خروجیهای آن و در نتیجه شاخص ناکارایی آن برای واحد مورد بررسی برابر با حداقل مقدار یک شود. قیمت دوگان نیز نرخی است که در آن مقدار تابع هدف به ازای افزایش کوچکی در مقدار ثابت سمت راست محدودیت (رابطه ۹)، بهبود می‌یابد. قیمت دوگان برای هر یک از واحدهای موفق (با حداقل ناکارایی برابر با یک) با حل مدل دوگان مربوط به مسأله برنامه‌ریزی به شرح روابط زیر به دست می‌آید:

$$\text{Min: } \omega_0 \quad (10)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^6 y_j \lambda_j \leq y_r \quad (r = 1, 2) \quad (11)$$

$$x_i \omega_0 - \sum_{j=1}^6 x_j \lambda_j \leq 0 \quad (i = 1, \dots, 6) \quad (12)$$

$$\lambda_j \geq 0$$

راهبردهای ممکن برخوردار نیست. به طور مثال، در استان هرمزگان هم اهداف تعیین شده و هم اقدامات پیاده شده در سال ۱۳۸۹، هر دو منجر به حداقل ناکارایی برابر با یک شده است، ولی با مقادیر متفاوتی از شاخصهای عملکردی به عنوان نرخ مقادیر ورودی تحلیل. این امر نشانگر احتمال وجود چند گزینه امکان‌پذیر دیگر در پیش روی هر کدام از واحدها است که هر یک از آنها می‌تواند حداقل ناکارایی را نتیجه دهد. از این رو، ایجاد یک مدل تصمیم‌گیری در محیط فازی به شرح آنچه در بخش بعد ارائه می‌شود به عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم ضروری به نظر می‌رسد.

شاخصهای ریسک برای این استانها ثابت باقی مانده و دیگر استانها با الگوبرداری از استانهای موفق شاخصهای عملکردی خود را تنظیم می‌کنند. لازم به یادآوری است که تحلیل برای ۳۰ استان در دو سال انجام شده و در مجموع ۶۰ واحد تصمیم‌گیری مورد تحلیل قرار گرفته است. تکنیک ارایه شده در این بخش، می‌تواند رویکرد مناسبی در جهت تعیین اهداف ایمن‌سازی راه باشد. اما این روش تنها به تعیین یک راهبردها به عنوان گزینه مطلوب پیش روی سیاست‌گذاران می‌پردازد و با توجه به محدودیتهای بودجه‌ای و یا امکان‌پذیری عملی واحدهای تصمیم‌گیری (استانها) از انعطاف‌پذیری کافی به منظور تعیین چشم‌انداز سایر

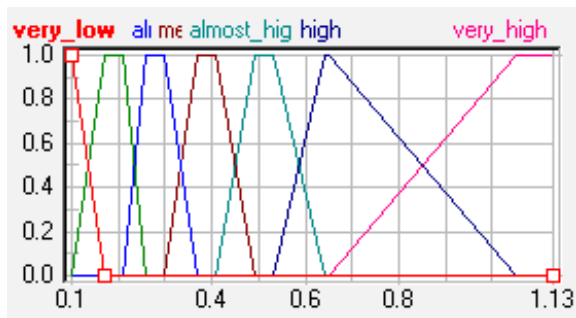
جدول ۱. شاخصهای عملکردی و شاخصهای ریسک در وضعیت موجود و مقادیر مورد هدف آنها

سال	استان	شماره DMU	شاخصهای عملکردی در وضعیت موجود سالهای ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷														شاخصهای ریسک مورد هدف سالهای ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷
			شاخصهای ریسک موجود		شاخصهای عملکردی												
			FR2	FR1	Li	EMS	SC	H F	BS	PO	FR2	FR1	Li	EMS	SCC	H F	
۱۳۸۷	آذربایجان شرقی	۱	۱/۲۷۹	۱۶/۶۰	۰/۸۱	۲/۶۸	۱/۴۵	-/۰۰	۳۷/۷۹	۱/۹۰	-/۳۲	۵/۰۱	۱/۸۳	۳/۱۹	۳۱/۸۶	۱/۸۹	-/۳۲
	آذربایجان غربی	۲	۱/۹۷۴	۱۸/۲۰	۱/۲۳	۲/۶۷	-/۸۴	-/۰۰	۷/۵۳	۱/۳۹	-/۲۶	۵/۲۰	۱/۲۷	۱/۳۵	۱۷/۱۲	۱/۳۹	-/۲۶
	اردبیل	۳	۱/۰۰۰	۱۲/۷۰	-/۹۸	۹/۸۶	۱/۵۷	-/۰۰	۱۱/۰۱	۱/۰۵	-/۳۷	۹/۸۶	۱/۵۷	-/۰۰	۱۱/۰۱	۱/۰۵	-/۳۷
	اصفهان	۴	۱/۱۰۵	۱۶/۹۰	-/۵۹	۲/۱۳	۱/۴۴	۱/۶۲	۶۰/۵۷	۱/۴۷	-/۲۸	۳/۳۲	۱/۵۴	۱/۶۴	۶۱/۴۳	۱/۵۰	-/۲۹
	ایلام	۵	۱/۰۰۰	۸/۹۰	۱/۵۳	-/۱۴	۱/۴۰	-/۰۰	۳/۰۵	-/۳۵	-/۲۸	۸/۸۷	۱/۵۳	-/۱۴	۳/۰۵	-/۳۵	-/۲۸
	مازندران	۲۶	۱/۳۸۹	۲۸/۵۰	۱/۳۳	۱۱/۱۹	۲/۳۴	-/۰۰	۳۱/۲۲	۳/۲۶	-/۴۹	۲۰/۵۸	۱/۹۵	۲/۳۵	۳/۲۵	۳/۲۵	-/۴۹
	مرکزی	۲۷	۱/۱۸۴	۱۹/۴۰	-/۹۹	۳/۹۶	۱/۳۷	۲/۸۹	۳۴/۷۶	۱/۴۸	-/۴۲	۱۶/۴۳	-/۸۳	۵/۴۱	۴۷/۴۶	۱/۴۹	-/۴۲
	هرمزگان	۲۸	۱/۴۴۵	۱۲/۲۰	-/۲۷	-/۷۲	-/۹۹	-/۰۰	۱۴/۹۲	-/۲۰	-/۱۷	۸/۵۰	-/۱۸	۲/۸۶	۱/۰۰	۱/۷۶	-/۵۸
	همدان	۲۹	۲/۴۰۲	۲۸/۲۰	۱/۶۵	۲/۵۸	۱/۵۰	-/۰۰	۴۴/۱۴	۱/۱۴	-/۳۰	۱۱/۶۴	-/۶۸	۳/۱۳	۱/۷۵	-/۲۴	۴۳/۸۳
	یزد	۳۰	۱/۰۰۰	۷/۶۰	-/۴۳	۱/۴۷	-/۸۲	-/۰۰	۱۹/۶۳	-/۳۱	-/۲۱	۷/۵۸	-/۴۳	۱/۴۷	-/۸۲	-/۰۰	۱۹/۶۳
۱۳۸۸	آذربایجان شرقی	۳۱	۱/۲۸۴	۱۶/۷۰	-/۷۷	۳/۸۵	۱/۶۵	-/۰۰	۳۷/۹۳	۱/۲۳	-/۳۲	۴/۱	۱/۸۹	۳/۳۸	۳۵/۰۶	۱/۲۵	-/۳۲
	آذربایجان غربی	۳۲	۱/۸۷۸	۱۸/۰۰	۱/۲۰	۲/۶۶	۱/۲۰	-/۰۰	۸/۸۳	۳/۱۸	-/۲۶	۹/۶۱	-/۶۴	۱/۲۹	۱/۳۰	۱۷/۲۹	-/۲۶
	اردبیل	۳۳	۱/۰۰۰	۱۴/۱۰	۱/۰۳	۱۰/۲۳	۱/۶۴	-/۰۰	۱۲/۷۸	۱/۳۲	-/۳۷	۱۴/۱۲	۱/۰۳	۱۰/۲۳	۱/۶۴	-/۰۰	
	اصفهان	۳۴	۱/۰۰۰	۱۶/۸۰	-/۵۵	۲/۹۳	۱/۴۶	۱/۲۵	۷۲/۶۰	۱/۵۴	-/۲۸	۱۶/۸۱	-/۵۵	۲/۹۳	۱/۲۵	۷۲/۶۰	
	ایلام	۳۵	۱/۱۹۵	۱۱/۵۰	۱/۹۲	-/۷۶	۱/۳۹	-/۰۰	۳/۲۹	۲/۷۱	-/۲۸	۹/۶۱	۱/۲۵	۳/۳۸	-/۰۰	۵/۹۷	-/۲۸
	مازندران	۵۶	۱/۴۳۹	۳۲/۳۰	۱/۴۶	۱۲/۰۷	۲/۵۶	-/۰۰	۳۳/۸۰	۳/۹۱	-/۴۸	۲۲/۵۱	۱/۰۲	۱۲/۱۱	۲/۵۷	۳۳/۹۹	-/۵۳
	مرکزی	۵۷	۱/۳۸۰	۲۴/۳۰	۱/۱۴	۴/۷۵	۱/۳۸	۳/۶۴	۴۵/۹۲	۳/۶۸	-/۴۱	۱۷/۷۷	-/۸۳	۶/۱۹	۳/۳۳	۴۶/۰۸	-/۴۱
	هرمزگان	۵۸	۱/۰۰۰	۱۲/۱۰	-/۲۶	-/۷۸	-/۹۹	۴/۳۷	۲۳/۲۳	۴/۸۱	-/۱۷	۱۲/۱۴	-/۲۶	-/۷۸	-/۹۹	۴/۳۷	-/۱۷
	همدان	۵۹	۱/۷۸۳	۲۸/۶۰	۱/۶۱	۳/۸۷	۱/۶۷	-/۰۰	۴۳/۸۰	۵/۴۲	-/۳۰	۱۵/۹۷	-/۹۰	۶/۸۵	۲/۰۲	۴۳/۶۴	-/۳۷
	یزد	۶۰	۱/۰۰۰	۷/۵۰	-/۴۲	۲/۳۱	۱/۲۱	۲/۵۶	۲۳/۷۶	-/۵۷	-/۲۰	۷/۴۷	-/۴۲	۲/۳۱	۲/۵۶	۲۳/۷۶	-/۵۷

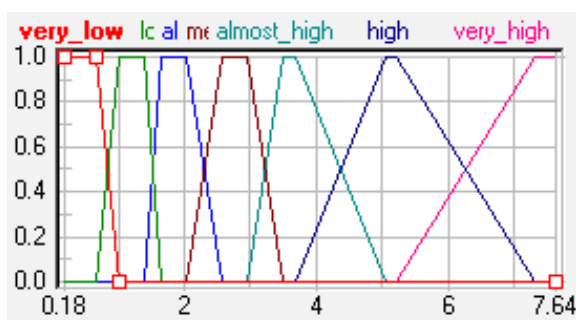
محدوده حمایت هر کدام از تعاریف زبانی از مقادیر قطعی است. برای متغیرهای قطعی مورد استفاده در این تحقیق هفت سطح توصیفی برای بیان ویژگی عملکرد پیاده شده در هر واحد تصمیم‌گیری به این شرح معرفی می‌شود: خیلی

۴-۲ ایجاد مدل تصمیم‌گیری فازی

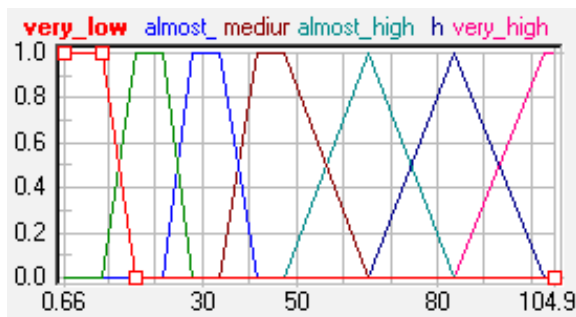
فازی‌سازی اولین مرحله در روند تصمیم‌گیری فازی است که در آن متغیرهای قطعی به متغیرهای زبانی تبدیل می‌شود. در این تحقیق توابع عضویت خطی نشان دهنده



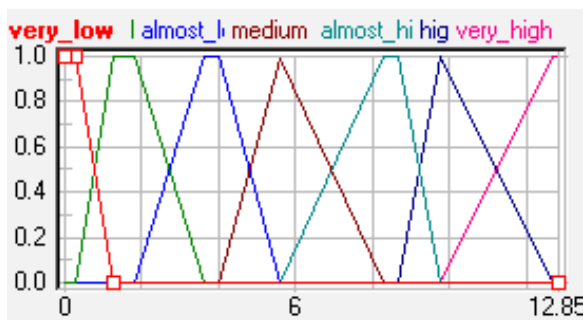
الف- شاخص ایستگاههای پلیس



ب- شاخص نقاط حادثه خیز رفع شده



پ- شاخص سهم آزادراه و بزرگراه



ت- شاخص دوربینهای کنترل سرعت

کم، کم، تقریباً کم، متوسط، تقریباً زیاد، زیاد، خیلی زیاد. توابع عضویت مورد استفاده در این تحقیق برای هر کدام از مقادیر ورودی (شامل شش شاخص عملکرد ایمنی راه) و مقدار خروجی (شامل مقدار ناکارایی نسبی نتیجه شده از تحلیل DEA) از توابع دوزنقه‌ای استفاده شده است. این توابع از خوشه‌بندی داده‌های مربوط به شاخصهای ورودی و خروجی به دست می‌آید، به این ترتیب که کل داده‌های مربوط به هر شاخص عملکردی و هر شاخص ریسک، چه برای وضع موجود در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ و چه برای اهداف تعیین شده برای آنها در هفت خوشه به روش «k- میانگین»^{۱۶} خوشه‌بندی شده و سپس داده‌های هر خوشه به دو دسته داده‌های نزدیک و داده‌های دور از میانگین تقسیم می‌شود. این امر با انجام دوباره خوشه‌بندی، ولی این بار برای فواصل داده‌ها از مرکز در دو خوشه امکان‌پذیر است. در نهایت، داده‌های مربوط به مقادیر نزدیک به مرکز خوشه در قاعده بالایی تابع عضویت دوزنقه‌ای و داده‌های دور در ساق‌های این تابع قرار می‌گیرد. شکل (۳) توابع عضویت دوزنقه‌ای ایجاد شده بر اساس این رویکرد را نشان می‌دهد. پس از تعیین توابع عضویت و محاسبه درجه عضویت مربوط به هر شاخص، می‌توان از هفت حالت مربوط به هر یک از هفت ورودی و خروجی در مجموع ۸۲۳،۵۴۳ گزاره را به عنوان قوانین فازی در پایگاه قواعد گردآوری نمود. این حجم قواعد حجم بسیار بالایی است و با توجه به عدم ارتباط تمامی این قوانین با پایگاه دانش برگرفته از تجربه دو ساله شاخص‌های عملکردی و شاخصهای ریسک در استانهای ایران، نیازی به تشکیل و استفاده از تمام آنها نبوده و صرفاً آن دسته از قواعد حاکم در پایگاه دانش مزبور در ایجاد پایگاه قواعد فازی در نظر گرفته خواهد شد. برای این منظور آن دسته از قواعدی که درجه حمایت آنها بزرگ تر یا مساوی ۰/۰۰۱ بوده به عنوان قواعد حاکم در نظر گرفته شده است.

درجه حمایت برای هر فرضیه در بلوک قواعد با محاسبه میانگین مقادیر فازی مربوط به همه واحدهای تصمیمگیری به دست می‌آید:

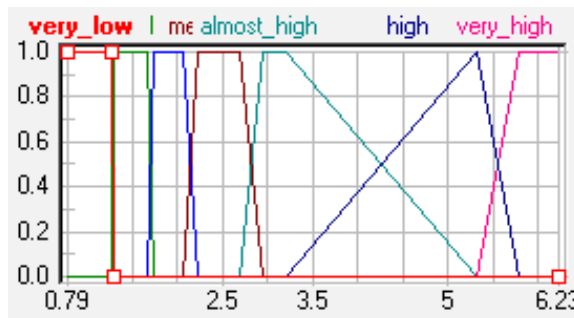
$$DoS_h = \frac{\sum_{i=1}^{120} \mu_h(x_i)}{120}$$

در نهایت مجموع ارزشهای DoS مربوط به تمامی فرضیه‌ها برابر با ۱ به دست می‌آید:

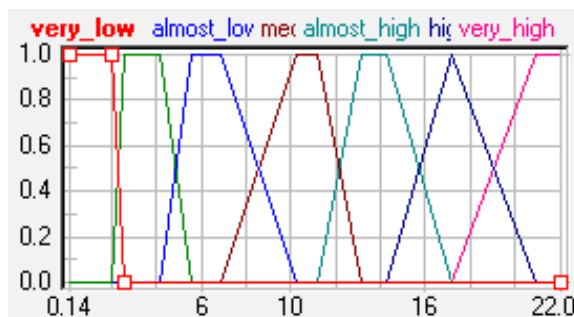
$$\sum_{h=1}^{823,543} DoS_h = 1$$

در این بین ارزش DoS مربوط به بسیاری از قاعده‌ها بسیار کوچک و تقریباً برابر با صفر به دست می‌آید که لازم است به منظور سبک کردن بلوک قاعده، این گزاره‌ها در تحلیل استدلال فازی حذف شود. در جدول (۲) تصویر کاملی از کاربرد حاوی بلوک قاعده متشکل از قواعد با DoS بزرگتر یا مساوی ۰/۰۰۱ نشان داده شده است. این بلوک خلاصه شده در مجموع دارای ۲۸۵ قاعده فازی است.

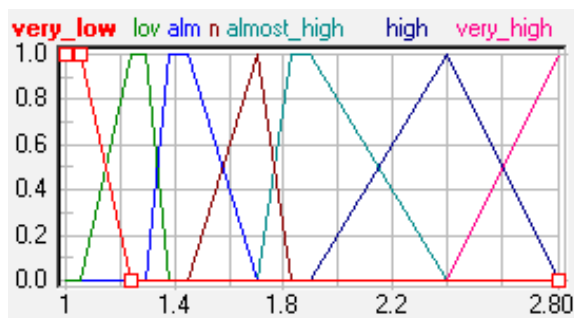
اکنون با داشتن یک پایگاه قواعد به شرح فوق می‌توان اثربخشی طیف گسترده‌ای از گزینه‌های ممکن در تصمیم‌گیری را برای انتخاب و اجرای بهترین راهبرد ایمن‌سازی برآورد کرد. یادآوری می‌شود با توجه به این که این پایگاه قواعد قوانین مرتبط با اهداف تعیین شده در ۶۰ واحد تصمیم‌گیری را نیز در بر می‌گیرد، سیستم پشتیبانی تصمیم ایجاد شده حداقل ناکارایی ترکیب شاخصهای مربوط به این اهداف را تضمین می‌کند. برای این منظور از یک نمونه کاربردی استفاده می‌شود. در جدول (۳) چند استراتژی تعریف شده در یک استان مشخص در نظر گرفته شده که در ردیف اول آن مقادیر کمی مربوط به وضع موجود شاخصهای عملکردی هر یک از اقدامات ایمنی راه و در ردیفهای بعد راهبردهای پیشنهادی از سوی تصمیم‌گیران نشان داده شده است. مقادیر فازی مربوط به شاخصهای عملکردی نیز بر اساس توابع عضویت آنها به دست آمده و در جدول درج شده است.



ث- شاخص پایگاههای اورژانس و امداد و نجات هلال احمر



ج- شاخص طول پروژههای روشنایی



ج- شاخص ناکارایی نسبی

شکل ۳. توابع عضویت فازی مربوط به شاخصهای ورودی و

خروجی

به طور کلی، با گردآوری ۸۲۳,۵۴۳ فرضیه متشکل از قواعد «اگر- آنگاه» فازی، به هر فرضیه یک ارزش درستی یا درجه حمایت (DoS) در بازه [۰, ۱] تعلق می‌گیرد که مجموع این ارزشها برابر با یک است. درجه حمایت هر فرضیه در هر واحد تصمیم‌گیری بر اساس استلزام لارسن (Larson) با ضرب درجه‌های عضویت متناظر قیاسها و نتیجه به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$R(u_1, \dots, u_6, V) = \mu_{A_1}(u_1) \times \dots \times \mu_{A_6}(u_6) \times \mu_B(V)$$

جدول ۲. بلوک قاعده متشکل از قواعد با DoS بزرگ تر یا مساوی ۰/۰۰۱

شماره قاعده	اگر							درجه رضایتبخشی (DoS)
	InEff	Li	EMS	SCC	H_F	BS	PO	
۱	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	۰/۰۳۲
۲	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	۰/۰۰۲
۳	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	تقریباً زیاد	۰/۰۰۱
۴	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	۰/۰۰۱
۵	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	تقریباً زیاد	۰/۰۰۱
۶	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	زیاد	۰/۰۰۱
۷	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	تقریباً کم	۰/۰۰۱
۸	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	تقریباً زیاد	۰/۰۰۷
۹	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	خیلی کم	۰/۰۱۷
۱۰	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	تقریباً کم	۰/۰۰۸
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۲۷۸	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	تقریباً زیاد	زیاد	تقریباً زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۱۱
۲۷۹	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	تقریباً زیاد	زیاد	تقریباً زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۰۴
۲۸۰	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	تقریباً زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۰۱
۲۸۱	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	تقریباً زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۰۲
۲۸۲	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۰۲
۲۸۳	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	تقریباً زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۰۱
۲۸۴	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۰۵
۲۸۵	خیلی زیاد	تقریباً زیاد	تقریباً زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۰۱

جدول ۳. معرفی راهبردهای ایمنی با استفاده از شاخصهای عملکردی مورد نیاز

مقادیر مورد نظر شاخصهای عملکردی												راهبرد
Li		EMS		SCC		H_F		BS		PO		
VL(۱)	۱/۵۴	L(۱)	۱/۵۰	L(۰/۸۷) VL(۰/۲۳)	۱/۰۶	AH(۰/۸۴) H(۰/۱۶)	۶۷/۱۱	L(۰/۸۵) VL(۰/۱۵)	۰/۹۷	AL(۱)	۰/۲۶	صفر- انجام هیچ کار (حفظ وضع موجود)
L(۱)	۲/۹۴	L(۱)	۱/۵۰	L(۰/۸۷) VL(۰/۲۳)	۱/۰۶	AH(۰/۸۴) H(۰/۱۶)	۶۷/۱۱	L(۰/۸۵) (VL(۰/۱۵)	۰/۹۷	AL(۱)	۰/۲۶	۱- افزایش اندک در تجهیزات روشنایی
L(۱)	۲/۹۴	L(۱)	۱/۵۰	L(۰/۸۷) VL(۰/۲۳)	۱/۰۶	AH(۰/۸۴) H(۰/۱۶)	۶۷/۱۱	AL(۱)	۱/۷۴	AL(۱)	۰/۲۶	۲- افزایش اندک در ترمیم نقاط حادثه خیز و تجهیزات روشنایی
AL(۰/۸۷) M(۰/۲۳)	۷/۶۳	AL(۱)	۱/۹۳	M(۱)	۵/۵۵	AH(۰/۸۴) H(۰/۱۶)	۶۷/۱۱	M(۱)	۲/۷۰	AH(۰/۷۵) M(۰/۲۵)	۰/۴۷	۳- افزایش در همه اقدامات ایمنی به جز توسعه آزادراهها

جدول ۴. نمونه‌های از فرآیند استدلال فازی و نافازی سازی برای راهبرد صفر (انجام هیچ کار)

مقدار قطعی ناکارآیی	مقدار نرمال شده	$\mu_B(\beta)$	درجه رضایت	حالت ناکارآیی	شماره قاعده	حداقل	Li		EMS		SCC		H_F		BS		PO	
							۱	VL	۱	L	۰/۲۳	VL	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	VL	۱	AL
-	۰	۰	همه	همه	NA	۰/۱۵	۱	VL	۱	L	۰/۲۳	VL	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	VL		
-	۰	۰	همه	همه	NA	۰/۱۵	۱	VL	۱	L	۰/۲۳	VL	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	VL		
-	۰	۰	همه	همه	NA	۰/۱۵	۱	VL	۱	L	۰/۲۳	VL	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	VL		
-	۰	۰	همه	همه	NA	۰/۱۵	۱	VL	۱	L	۰/۲۳	VL	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	VL		
۱/۱۴۵۵	۰	۰	همه	همه	NA	۰/۲۳	۱	VL	۱	L	۰/۲۳	VL	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	VL		AL
۰/۵۰	۰/۰۰۰۷۷	۰/۰۰۱	VL	۷۰	۰/۸۷	۱	VL	۱	L	۰/۸۷	L	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	L			
۰/۵۰	۰/۰۰۰۷۷	۰/۰۰۱	L	۷۱	۰/۸۷	۱	VL	۱	L	۰/۸۷	L	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	L			
-	۰	۰	همه	همه	NA	۰/۱۶	۱	VL	۱	L	۰/۲۳	VL	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	VL		
-	۰	۰	همه	همه	NA	۰/۱۶	۱	VL	۱	L	۰/۲۳	VL	۰/۸۴	AH	۰/۸۵	VL		

NA: در بلوک قواعد خلاصه شده (جدول ۲) تعریف نشده است.

مربوط به شاخص ناکارآیی، مقدار نهایی شاخص ناکارآیی به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$= ۱/۱۴۵۵ = ۰/۵ \times ۱/۰۲۶ + ۰/۵ \times ۱/۲۶۵$$

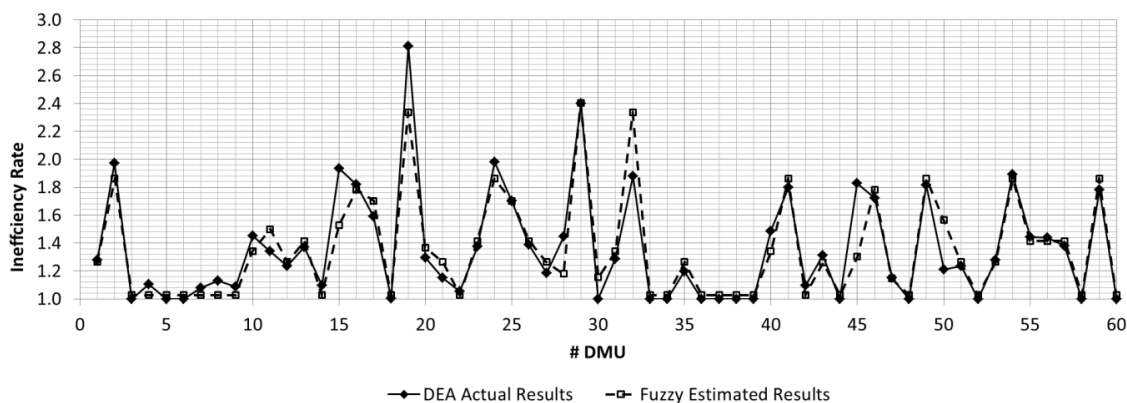
با در اختیار داشتن نرم‌افزار، قادر به انجام فرآیندهای استدلال فازی، مقدار شاخص فوق به راحتی محاسبه می‌شود. با اجرای سریع فرآیند فوق با استفاده از نرم‌افزاری مانند FuzzyTech مقادیر ناکارآیی برای هر یک از راهبردهای مندرج در جدول ۳ به ترتیب برابر با ۱/۱۴۵۳، ۱/۰۲۶۰، ۱/۲۶۰۰ و ۱/۵۵۷۸ به دست می‌آید. مشاهده می‌شود که کمترین مقدار شاخص ناکارآیی (برابر با ۱/۰۲۶) برای راهبرد شماره ۱ در جدول (۳) به دست آمده که در آن بر افزایش اندک در تجهیزات روشنایی راه تاکید شده است.

مقدار شاخص به دست آمده در اینجا با مقادیر به دست آمده از تحلیل پوششی داده‌ها قابل مقایسه است. برای اطمینان از صحت پاسخهای به دست آمده از مدل تصمیم‌گیری فازی، چه به صورت دستی و چه با استفاده از نرم‌افزار، مقایسه‌ای بین نتایج واقعی برگرفته از تحلیل DEA و نتایج تخمینی برگرفته از مدل فازی انجام شده است. مقایسه بین تمامی نتایج واقعی و نتایج برآورد شده فازی در این تحلیل، ضریب همبستگی ۰/۹۴ و میانگین خطای ۵ درصد را نشان داده که نزدیکی بسیار زیاد دو دسته نتایج را نشان می‌دهد.

در ردیفهای بعد نیز مقادیر کمی مربوط به سایر استراتژیهای ایمن‌سازی نشان داده شده است. به طور مثال، در استراتژی شماره ۱ افزایش اندک تجهیزات روشنایی تعریف شده است. علاوه بر مقادیر کمی مربوط به هر یک از شاخصهای مورد نظر، مقدار عضویت فازی مربوط به آنها نیز بر اساس توابع عضویت شکل (۳) به دست آمده است. جدول (۴) فرآیند نافازی‌سازی را به طور نمونه برای استراتژی صفر (حفظ وضع موجود) نشان میدهد. در این جدول ابتدا ترکیبهای ممکن برای قرارگیری مقادیر فازی شاخصهای عملکردی درج شده است. هر ترکیب معرف قاعده‌ای است که ممکن است قبلاً در بلوک قواعد جدول (۲) درج شده باشد. در صورت وجود قاعده در بلوک قواعد می‌توان مقدار درجه رضایت‌بخشی (DoS) منسوب به آن را در جدول (۴) ثبت کرد. با ضرب این DoS در کمترین مقدار فازی شاخصهای ورودی (۰/۷۷) کم برای دوربینهای کنترل سرعت) سطح زیر منحنی تابع عضویت نتیجه $(\mu_B(\beta))$ به دست می‌آید. با توجه به این که دو مقدار برابر با هم و مخالف با صفر در ستون $\mu_B(\beta)$ به دست آمده، به هر کدام از دو قاعده موجود ضریب نرمال شده برابر با ۰/۵ تعلق می‌گیرد. در نهایت با ضرب این ضرایب نرمال شده در مقدار حداکثر توابع عضویت مربوط به هر یک از دو حالت خیلی کم و کم

در صورت محدودیتهای بودجه‌ای یا سایر عوامل بازدارنده اجرایی، ترکیبهای دیگری از شاخصهای عملکردی را بجز موارد تعیین شده در اهداف متناظر با این واحد تعریف نمود و در نهایت گزینه منجر به کمترین ناکارایی را به عنوان راهبرد اجرایی بهینه انتخاب کرد.

شکل (۴) نمودار مقایسه بین دو دسته نتایج را نشان می‌دهد. اکنون با توجه به دقت بالای سیستم پشتیبانی تصمیم فازی ایجاد شده می‌توان به پاسخهای آن در تعیین میزان ناکارایی تصمیم‌های تعریف شده برای سیستم اطمینان کافی داشته و آن را به عنوان ابزاری برای مقایسه اثر گزینه‌های مختلف تصمیم بکار گرفت. به این ترتیب، در هر استان می‌توان



شکل ۴. مقایسه نرخ ناکارایی برآورد شده با استدلال فازی و نرخ واقعی محاسبه شده در تحلیل DEA

استدلالی ما را قادر می‌سازد تا مدلی را برای پیش‌بینی ایجاد کنیم که با استفاده از روشهای رایج آماری امکان‌پذیر نیست. توابع عضویت ۷ حالتی و دوزنقه‌ای معرفی شده در این مطالعه پاسخهای دقیقی را نتیجه می‌دهد که همبستگی خوبی با نتایج اصلی برگرفته از تحلیل DEA دارند، ولی برای ایجاد یک مدل جامع‌تر باید حجم بیشتری از داده‌ها در اختیار باشد. حجم بیشتر داده‌ها منجر به ارتقای بلوک قواعد و در نتیجه افزایش قدرت پیش‌بینی استدلالی می‌شود. در این صورت، مدل اعتمادپذیرتری به دست می‌آید که می‌تواند پیامدهای مربوط به هر ترکیبی از شاخصهای عملکردی ایمنی راه را پیش‌بینی کند. باید اذعان کرد که رویکرد ارایه شده در این تحقیق برای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت مناسب است، اما توسعه این مدل با استفاده از ابزارهای تحلیل مرحله‌ای مانند برنامه‌ریزی پویا می‌تواند به ایجاد سیستمی با توان برنامه‌ریزی بلندمدت کمک کند. به طور حتم، توسعه رویکردهای ارایه

۵. نتیجه‌گیری

سیستم پشتیبان تصمیم ارایه شده در این مطالعه به تصمیم‌گیران ایمنی راه کمک می‌کند تا از پیامد تصمیماتی که برای اقدامات مختلف ایمنی راه اتخاذ می‌کنند آگاه شوند. استفاده از مدل تصمیم‌گیری در محیط فازی برای دستیابی به نتایج در این سیستم در قالب نرخ ناکارایی با همان ماهیت شاخص ناکارایی برگرفته از تحلیل پوششی داده‌ها بیان می‌شود، به طوری که نیاز به انجام دوباره تحلیل DEA برای هر یک از گزینه‌های مورد نظر نباشد. علاوه بر آن، این سیستم انعطاف‌پذیری را در انتخاب راهبردهای قابل اجرا در چارچوب منابع محدود تامین می‌کند به این معنا که اگر اولویتهای تعیین شده توسط فرآیند الگوگذاری مبتنی بر DEA نتواند در یک دوره زمانی خاص قابل اجرا باشد، پیامد راهبردهای متعدد جایگزین مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش تصمیم‌گیری در محیط فازی با بهره‌گیری از رویکرد

SIS for road safety performance evaluation”, Knowledge-Based Systems, Article in Press, doi:10.1016/j.knosys.2011.08.014.

-Cafiso, S., Lamm, H. R. and La Cava, G. (2004) “A fuzzy model for safety evaluation process of new and old roads”, TRB 2004 Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington D.C.

-Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E., L. (1978) “Measuring the efficiency of decision making units”, European Journal of Operational Research 2, pp.429–444.

-Cook, W.D., Kazakov, A. and Persaud, B.N. (2001) “Prioritizing highway accident sites: a data envelopment analysis model”, Journal of Operational Research Society, 52, pp.303–309.

-Deb, S. K. and Bhattacharyya, B. (2005) “Fuzzy decision support system for manufacturing facilities layout planning”, Decision Support Systems (40), pp. 305-314.

Hermans, E., Brijs, T., Wets, G. and Vanhoof, K. (2009) “Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis”, Accident Analysis and Prevention, 41, pp.174-182.

Ma, Z., Shao, C., Wang, Y. and Ma, S. (2009) “Research on regional road safety evaluation based on fuzzy theory”, Second International Conference on

شده در این تحقیق می‌تواند به طور چشمگیری راهگشای تنظیم اهداف بهینه ایمن‌سازی به عنوان یکی از اصول اساسی توسعه پایدار ایمنی جاده‌ای در ایران باشد.

۶. پانویسها

1. Decision Support System
2. Data Envelopment Analysis
3. Fuzzy Decision Support System
4. Decision Making Units
5. Charnes, Cooper, and Rhodes
6. Fuzzy Decision-Making system
7. Fuzzification
8. Knowledge Base
9. Decision Rules
10. Defuzzification
11. Rule Block
12. Degree of Satisfaction
13. Benchmarking
14. Target Setting
15. Dual Prices
16. K-means clustering

۷. مراجع

آذر، عادل، غلامرضایی، داوود (۱۳۸۵) “رتبه‌بندی استانهای کشور با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها (با به کار گیری شاخص‌های توسعه انسانی)”， فصلنامه پژوهشهای اقتصادی ایران.

مهرگان، محمدرضا (۱۳۷۸) “مدلهای کمی در ارزیابی عملکرد سازمانها (تحلیل پوششی داده‌ها)”， تهران: انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، چاپ دوم.

-Bao, Q., Ruan, D., Shen, Y., Hermans, E. and Janssens, D. (2011) “Improved hierarchical fuzzy TOP-

its extensions”, Accident Analysis and Prevention, doi:10.1016/j.aap.2012.02.020.

Shi, H. (2009) “Fuzzy evaluation approach of road traffic safety based on AHP”, International Conference on Future BioMedical Information Engineering, FBIE.

Wei, S. and Jian-Xiao, M. (2009) “Fuzzy synthesis evaluation procedure for road safety level of cities in China”, International Workshop on Intelligent Systems and Applications, ISA.

Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA '09.

Shen, Y., Li, T., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Vanhoof, K. and Brijs, T. (2010) “A hybrid system of neural networks and rough sets for road safety performance indicators”, Soft Computation, 14: pp.1255-1263.

Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G. and Vanhoof, K. (2012) “Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and

