

کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نقاط پرحادثه: استفاده از روشهای تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی

امیرعباس رصافی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده - فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
فرشته مومنی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
زهرا آسترکی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
بهنام امینی، استادیار، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

Email: rasafi@ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۱/۰۲/۰۹ پذیرش: ۹۱/۰۹/۲۶

چکیده

شناسایی و رتبه‌بندی نقاط پرحادثه یا نقاط سیاه در یک شبکه حمل و نقل گامی جدی و اساسی در برنامه بهبود ایمنی ترافیک است. در مطالعه حاضر از دوروش تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی به عنوان یک روش جایگزین برای رتبه‌بندی و شناسایی نقاط پرحادثه بهره گرفته شده است. این دو روش از زیرشاخه‌های تصمیم‌گیریهایی چند معیاره هستند. از ویژگیهای بارز این دو روش توانایی آنها در استفاده از عوامل و پارامترهای مختلف مؤثر بر تصادفات، با در نظر گرفتن شدت تصادفات در اولویت‌بندی نقاط مورد نظر شبکه است. مطالعه حاضر به بررسی نقاط پرحادثه شهر قزوین بر اساس دوروش یادشده اختصاص دارد. این نقاط در روش تحلیل پوششی داده‌ها، به عنوان واحدهای تصمیم‌سازی، و عوامل مؤثر بر تصادفات و تعداد انواع مختلف تصادفات به ترتیب به عنوان ورودیها و خروجیهای آن در نظر گرفته شدند. روش تحلیل همایی نیز با استفاده از ترکیبی از متغیرهای موجود، و تعریف مجموعه‌های همایی و ناهمایی، و شاخصهای همایی و ناهمایی به اولویت‌بندی نقاط پرحادثه می‌پردازد. یکی از مزیت‌های این دو روش چندمعیاره بودن آن است، که با الگوی شناسایی نقاط حادثه‌خیز انطباق بیشتری دارد. مزیت دوم (به ویژه در مورد تحلیل پوششی داده‌ها) توجه به ورودیهای سیستم مورد نظر و محاسبه بازده آن است که اساساً در بررسی نقاط حادثه‌خیز مورد توجه قرار نمی‌گیرد. بررسی این دوروش نشان می‌دهد که به سبب بررسی عوامل مؤثر بر تصادفات به همراه شدت آنها، دقت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز از طریق این دو روش بالاتر است، اگرچه به علت تفاوت در رویکردها، نتایج یکسانی برای این دو روش قابل انتظار نیست.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، تصادف، نقاط سیاه، نقاط پرحادثه، تحلیل پوششی داده‌ها، تحلیل همایی

۱. مقدمه

که در آن نقاط سیاه با استفاده از علامت‌گذاری روی مقاطع و نقاطی از راه که تصادفات در آنها صورت گرفته و به صورت بصری انجام می‌پذیرد. نقاط پرحادثه به راحتی از روی نقشه‌ای که علامت‌گذاری شده قابل شناسایی است، به این ترتیب که علائم در نقطه‌ای که تعداد تصادفات در آن زیاد است، بیشتر بوده و به راحتی قابل شناسایی هستند [Pawlovich, 2007; Sout - east Michigan Council of Governments, 1997].

روشهای نسبتاً ساده دیگری نظیر فراوانی تصادف، چگالی تصادف، نرخ تصادف، و فراوانی فاصله-نرخ وجود دارند. در روش فراوانی تصادف نقاط براساس تعداد تصادفات به صورت نزولی مرتب شده و نقاطی که تعداد تصادفاتی بیش از تعداد مشخص شده دارند به عنوان نقاط پرحادثه تلقی می‌شوند. روش چگالی تصادف نیز بسیار شبیه روش فراوانی تصادف است، با این تفاوت که تعداد تصادفات بر واحد طول (کیلومتر یا مایل) سنجیده می‌شود. روش نرخ تصادف از نرخ تصادفات (تعداد تصادف بر تعداد خودروهای عبوری) به عنوان معیار رتبه‌بندی بهره می‌برد. روش نرخ فراوانی مقادیر فراوانی تصادف یا چگالی تصادف را با نرخ تصادف ترکیب کرده و در شناسایی نقاط پرحادثه بکار می‌برد. اگر نقاط، فراوانی تصادف یا چگالی تصادفی بیش از یک مقدار کمینه معین و نیز نرخ تصادفی بیش از حداقل تعیین شده‌ای داشته باشند به عنوان نقاط پرحادثه مورد توجه قرار می‌گیرند [Huang et al., 2009; Montella, 2010; Pawlovich, 2007; Southeast Michigan Council of Governments, 1997; Transportation Research Board, 2008].

هرچند بیشتر کارهایی که در زمینه شناسایی نقاط پرحادثه انجام شده اصولاً بر توسعه فراوانی تصادف و مدل‌های پیامدی^۲ به طور مجزا تمرکز دارند، اما مدل‌های کمی هم هستند که چارچوبهایی پیشنهاد داده‌اند تا بتوان هر دو مؤلفه را در یک روش ریسک دو بعدی^۴ که شامل عدم قطعیت در تحلیل باشد در نظر گرفت [Miranda-Moreno et al., 2009].

برخی از روشهایی که در بالا آورده شد مانند کنترل کیفیت، شدت

اگرچه تعریف واحدی از نقاط پرحادثه (نقاط سیاه^۱ یا نقاط بارز^۲) وجود ندارد [Kutz, 2004]، اما تعریف زیر تعریفی رایج و قابل قبول است: نقطه پرحادثه راه، نقطه‌ای است که در آن تعداد تصادفات از نقاط مشابه بیشتر بوده و علت آن وجود عامل‌های ریسک محلی در آن نقطه است [Kutz, 2004]. نقاط پرحادثه به شدت کیفیت خدمت‌دهی راه را کاهش می‌دهد. نخستین و ضروری‌ترین گام در بهبود ایمنی آمدوشد راه، تعیین نقاطی از راه است که نیاز فوری به بهسازی داشته و با بهره‌گیری از آن بتوان نقاط را براساس اهمیت و فوریت اولویت‌بندی کرده و معیارهای قابل قبولی را برای افزایش سطح ایمنی آمدوشد راه تعریف و سازگار نمود کرد. بنابراین روشهای بسیاری برای شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پرحادثه بکارگرفته شده است. شناسایی نقاط پرحادثه امری مهم در برنامه‌های مهندسی به منظور بهبود وضعیت ایمنی شبکه حمل و نقل است [Huang et al., 2009].

توجه به مسأله شناسایی نقاط پرحادثه بزرگراهها از دهه ۵۰ میلادی و توسط نوردن و همکارانش با بهره‌گیری از روشهای کنترل کیفیت احتمالی برای تحلیل داده‌های تصادفات بزرگراهی آغاز شده [Norden et al., 1956; Songchitrukksa and Tran - Zeng, 2010]، و با مطالعات متعددی ادامه یافته است [Transportation Research Board, 2008].

نتیجه این مطالعات ارایه روشهای مختلفی است که برای شناسایی و رتبه‌بندی مکانهای پرحادثه در شبکه پیشنهاد شده است. اگرچه این مطالعات نسبت به هم بسیار متفاوتند، اما اکثریت آنها بر گزارش آمار ثبت شده تصادفات به منظور دستیابی به برآوردی از ایمنی در شبکه‌های مختلف حمل‌ونقل تکیه می‌کنند. اکثریت روشهای معمول ایمنی را با استفاده از داده‌های خام تصادفات برآورد می‌کنند. این روشها شامل روش نقطه گذاری روی نقشه، روش فراوانی تصادف، روش نرخ تصادف، روش کنترل کیفیت-نرخ، روش شدت تصادف، و روش شاخص ایمنی هستند [Huang et al., 2009].

یکی از ساده‌ترین روشها روش نقطه گذاری روی نقشه است

قزوین در سال ۱۳۸۵ برای یافتن نقاط پرحادثه با استفاده از روشهای تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی بکار گرفته شده است. شهر قزوین با جمعیتی بالغ بر ۳۵۰۰۰۰ نفر مطابق با آمارگیری جمعیت و نفوس سال ۱۳۸۵ در ۱۵۰ کیلومتری شمال غرب شهر تهران واقع شده است. محدوده شهر در حدود ۵۰ کیلومترمربع است. قزوین علاوه بر آن که زمانی پایتخت سلسله صفویه بوده دارای اولین خیابان- قابل تعریف برابر معیارهای شهرسازی مدرن - در ایران نیز بوده است.

در این مقاله، ابتدا پس از مقدمه ارایه شده در فصل ۱، دو روش تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی در فصل ۲ مختصراً معرفی می‌شوند. سپس در فصل ۳، کاربرد هر دو روش در شناسایی نقاط پرحادثه آورده شده است. در ادامه در فصل ۴ نتایج دو روش ارایه شده و در فصل ۵ بحث و بررسی در خصوص این نتایج عرضه شده است. فصل ۶ نیز به جمع‌بندی نهایی مطالب اختصاص داده شده است. فصلهای ۷ و ۸ نیز به ترتیب به پی‌نوشتها و مراجع مورد استفاده اختصاص داده شده است.

۲. روش شناسی

۲-۱ تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش نسبتاً جدید داده‌گرا^۹ است که از مسأله بهینه‌سازی برای اندازه‌گیری (و مقایسه) عملکرد نهادهای مختلف رقیب^۶ (که واحدهای تصمیم‌سازی یا DMU خوانده می‌شوند) بهره می‌برد، زمانی که فرآیند تولید شامل مجموعه‌ای از ورودیها و خروجیهای مختلف است. کارآیی فنی^۷ یک واحدهای تصمیم‌سازی با استفاده از نسبت خروجیهای مجازی به ورودیهای مجازی محاسبه می‌شود.

$$(۱) \quad \text{کارآیی فنی} = \frac{\sum \text{خروجی وزن‌های داده شده}}{\sum \text{ورودی وزن‌های داده شده}}$$

این روش، یک روش برنامه‌ریزی ریاضی غیرپارامتری، برای اندازه‌گیری و ارزیابی کارآیی است که اولین بار توسط چارنر، کوپر و رودز [Charnes et al., 1978; Cooper et al., 2004] با استفاده از بازده به مقیاس

تصادف و روش هم ارز تصادف خسارتی (EPDO) تلاش می‌کنند تا مسأله نقاط پرحادثه را بیشتر به صورت کیفی تحلیل نمایندکنند. روش کنترل کیفیت شبیه روش فراوانی- نرخ، انواع متعددی از راهها را مد نظر قرار می‌دهد. این روش، از یک آزمون آماری بهره می‌برد که در تعیین فراوانیها، چگالیها و یا نرخهای نامعمول بکار می‌رود. این تحلیل آزمونی را در برمی‌گیرد که در آن فراوانیها، چگالی و یا نرخهایی را که از یک مقدار میانگین معین برای مقاطع مشابه بیشتر باشد به عنوان نقاط بحرانی معرفی می‌کند [Pawlovich, 2007]. در روش شدت تصادف، فراوانی یا چگالی تصادفات شدیدتر، نرخ تصادفات شدیدتر و نسبت تصادفات شدیدتر به عنوان معیار در نظر گرفته شده و براساس آنها نقاط پرحادثه تعیین می‌شوند [Pawlovich, 2007]. روش EPDO تصادفات را براساس شدت آنها (خسارتی، جرحی و فوتی) وزندهی نموده کرده و یک فراوانی ترکیبی و معیار شدت برای هر نقطه ایجاد می‌کند. معیار نهایی براساس تعداد هم ارز تصادفات خسارتی ارایه می‌شود [Elvik, 2008; Kutz, 2004; Montella, 2010; Pawlovich, 2007].

روشهایی که تا کنون به آنها اشاره شده، هیچ یک علل تصادف را مانند حجم ترافیک، وضعیت هندسی راه و غیره در نظر نگرفته و هر یک محدودیت خاص خود را دارند. به عنوان مثال زمانی که نقطه‌هایی از راه تفاوت‌های فراوانی در وضعیت هندسی و ترافیکی دارند نتایج به دست آمده از روشهای متعارف برای شناسایی نقاط پرحادثه دقیقاً با قضاوت‌های متخصصان ایمنی مطابقت ندارد. مثلاً در مقایسه دو تقاطع با تعداد تصادف یکسان، تقاطعی که به فرض دارای سرعت ورودی کمتری است در واقع خطرناک تر است، زیرا در شرایط ترافیکی بهتر، تعداد تصادف یکسانی تولید کرده است. بنابراین روشی لازم است تا عاملهای مؤثرتری را در تصادفات و شدت آنها در فرآیند شناسایی نقاط پرحادثه مورد ملاحظه قراردهد. این مقاله روش تحلیل پوششی داده‌ها و روش تحلیل همایی را به عنوان راههای مناسب و قابل تأمل برای شناسایی نقاط پرحادثه معرفی می‌کند.

در این مطالعه داده‌های ۵۵ نقطه (۲۲ تقاطع و ۳۳ میدان) شهر

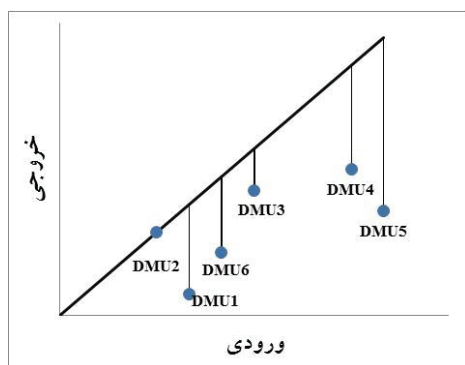
می‌شود. اساس این تحلیل بر یافتن بهترین واحد مجازی برای هر واحد واقعی بنا شده‌است. هر واحد مجازی به یکی از دو حالت زیر می‌تواند برتر از واحد حقیقی باشد، یا خروجی بیشتری با همان ورودی می‌سازد، یا همان تعداد خروجی با ورودی کمتر از واحد تصمیم‌سازی اصلی تولید کند.

شکل ۱، یک مثال ساده از اندازه‌گیری کارایی برای مجموعه‌ای مرکب از ۶ واحد (DMU) با یک ورودی و یک خروجی با استفاده از مدل CCR و دو نوع ورودی‌گرا و خروجی‌گرا ارائه داده‌است. خط مستقیم که مبدأ را به DMU_۲ متصل کرده است، مرز کارایی است. تمام نقاط روی این خط کارایی یکسانی دارند، با توجه به این شکل، تمام نقاط به جز نقطه DMU_۲ ناکارآ هستند. تصویر واحدهای ناکارآ بر مرز کارایی با خطوط افقی در شکل ۱(a) و خطوط عمودی در شکل ۱(b) نمایش داده شده‌است. چنین نظریه‌ای، برای مدل BCC نیز در شکل ۲ نشان داده شده‌است که در آن کارایی واحدهای نمونه اندازه‌گیری شده‌اند. مرز کارایی در شکل ۲ از یک خط شکسته که از نقاط DMU_۱، DMU_۲، DMU_۳ و DMU_۴ می‌گذرد تشکیل یافته‌است. در این مدل DMU_۲، DMU_۳ و DMU_۴ کارآ هستند، اما با نسبت‌های مختلف خروجی به ورودی.

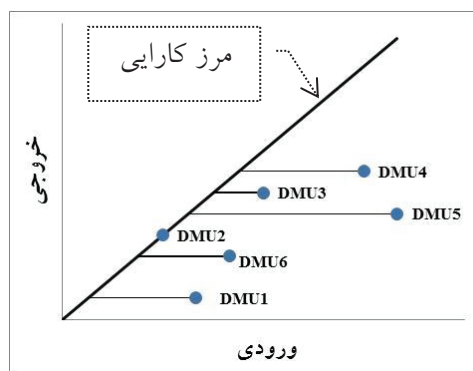
شیوه یافتن بهترین واحد تصمیم‌سازی مجازی می‌تواند به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی معادله‌بندی شود. تحلیل کارایی n واحد تصمیم‌سازی، مجموعه‌ای از n مسأله بهینه‌سازی است. معادله زیر یکی از فرم‌های استاندارد برای تحلیل پوششی داده‌ها است. این

ثابت معرفی شد که به عنوان مدل CCR شناخته می‌شود. این مدل از معادله معیار کارایی فارل [Farrell, 1957] برای حالتی که ورودیها و خروجیهای متعدد دارد، بهره می‌گیرد. بنکر، چارنر و کوپر [Banker et al., 1984] مدل دیگری به نام BCC پیشنهاد کردند. مدل BCC مدلی است با بازده به مقیاس متغیر که با افزودن محدودیتی کوژ واحدهای ناکارآ را تنها با واحدهای هم اندازه مقایسه می‌کند [Banker et al., 1984].

مدلهای تحلیل پوششی داده‌ها، همچنین بر مبنای جهت‌گیری آنها تفاوت می‌کنند (عموماً ورودی‌گرا و خروجی‌گرا). یک فرآیند زمانی از نظر خروجی کارآ^۸ خوانده می‌شود که هیچ واحد دیگری نتواند با همان مقدار یا کمتر از آن ورودی، خروجیهای سطح بالاتری تولید کند. از سوی دیگر، فرآیند از نظر ورودی کارآ^۹ فرآیندی است که هیچ فرآیند دیگری نتواند با استفاده از مقادیر بالاتر خروجی، سطوح پایین تر ورودی تولید کند. به عبارت دیگر هدف مدل ورودی‌گرا این است که مقدار خروجی را ثابت نگه داشته و ورودیها را کاهش دهد، درحالی‌که در مدل خروجی‌گرا، هدف افزایش مقادیر خروجیها در عین ثابت نگه داشتن مقادیر ورودی است [Banker et al., 1984; Charnes et al., 1978; Cooper et al., 2004; Farrell, 1957]. در حقیقت، تحلیل پوششی داده‌ها، هر واحد تصمیم‌سازی را تنها با بهترین واحدها مقایسه می‌کند. بهترین واحد تصمیم‌سازی، واحدی با ورودیها و خروجیهای مرکب است. از این رو، چنین واحد مرکبی لزوماً وجود خارجی ندارد و بنابراین یک واحد مجازی^{۱۰} خوانده



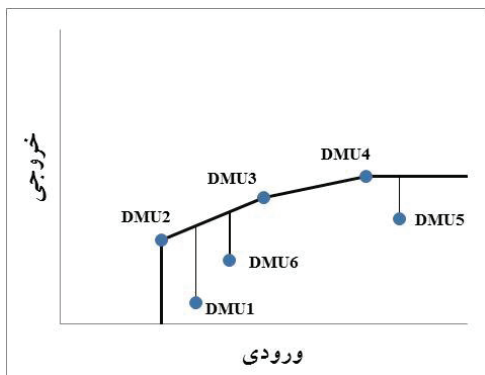
(ب) خروجی‌گرا



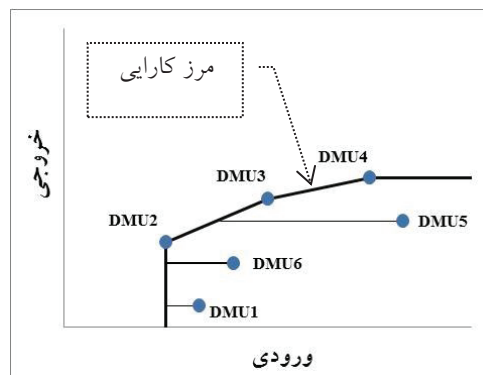
(الف) ورودی‌گرا

شکل ۱. حرکت شعاعی به سمت مرز کارایی مدل CCR

کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نقاط پرحادثه: استفاده از ...



(ب) خروجی گرا



(الف) ورودی گرا

شکل ۲. حرکت شعاعی به سمت مرز کارایی در مدل BCC

وزنها دارد، نتایج نسبت به انتخاب ورودیها و خروجیها حساس است، تعداد واحدهای تصمیم‌سازی کارآ در مرزها تمایل دارند تعداد متغیرهای ورودی و خروجی افزایش یابند، یک واحد ناکارآ و نقاط مبنای آن ممکن است در عمل مشابه آنچه در مطالعه پیش بینی شده است عمل نکند. به علاوه تحلیل پوششی داده‌ها در برآورد کارایی نسبی و نه مطلق مناسب است (در مقایسه با همسانان خود و نه با پیشینه نظری). آزمونهای فرضیه آماری دشوار بوده و مسائل بزرگ می‌تواند به لحاظ نظر محاسباتی وقت گیر و گسترده باشند (وجود یک برنامه خطی مجزا برای هر واحد تصمیم‌سازی) [Berg, 2010; Cook et al., 2001; Talluri, 2000].

۲-۲ روش تحلیل همایی

این روش که اولین بار در سال ۱۹۶۶ توسط بنایون ارایه و بعدها به وسیله روی، نایکمپ و دلفت و سپس توسط جولیانو توسعه یافت، در گروه روشهای افزایشنده از مدل‌های جبرانی که از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند، قرار می‌گیرد. این روش، گزینه‌های پیش‌رو را با استفاده از مجموعه‌های همایی و ناهمایی و طی مقایسه‌های دوتایی گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌کند [Guliano, 1985].

این روش برای مقایسه گزینه‌ها از دو شاخص همایی و ناهمایی سود می‌جوید. شاخص همایی درجه‌ای را که در آن برتری یک گزینه بر دیگری تحت ترکیب وزنی معین که روی اهداف

مدل، همزاد^{۱۱} شکل خطی شده مدل CCR بوده [Cooper et al., 2004] که گهگاه به‌عنوان "مدل فارل" هم نام برده می‌شود [Charnes et al., 1978; Cooper et al., 2004].

$Min \theta$

Subject to:

(۲)

$$\lambda Y \geq Y_0$$

$$\lambda X \leq \theta X_0$$

$$\theta, \lambda \geq 0 \text{ , محدود نشده}$$

که در آن λ برداری است که میزان حضور دیگر واحدها را در ساخت واحد مجازی نشان می‌دهد. X و Y به ترتیب بردارهای ورودی و خروجی برای واحدهای تحلیل شده، و X_0 و Y_0 به ترتیب بردارهای ورودی و خروجی واحد تصمیم‌سازی مورد بررسی هستند. λX و $Y\lambda$ به ترتیب ورودیها و خروجیهای واحد تصمیم‌سازی مجازی را بیان می‌کنند. مقدار θ نیز کارایی واحد تصمیم‌سازی مورد بررسی را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که مسأله بالا باید برای هر واحد تصمیم‌سازی حل شود. محدودیت اول، واحد تصمیم‌سازی مجازی را مقید می‌کند که حداقل به اندازه واحد تصمیم‌سازی تحت مطالعه خروجی تولید کند، محدودیت دوم کمترین ورودی را می‌یابد که واحد تصمیم‌سازی مجازی نیاز دارد، به همین جهت ورودی گرا خوانده می‌شود. عاملی که ورودیها را مقیاس دهی می‌نماید θ بوده و مقدار آن کارایی واحد تصمیم‌سازی را نشان می‌دهد.

البته تحلیل پوششی داده‌ها محدودیتهای خاص خود را نیز داراست. این روش انعطاف پذیری بیش از اندازه‌ای در انتخاب

که در آن مجموعه همایی (Cii')، مجموعه‌ای متشکل از کلیه معیارهایی که در آنها گزینه i از گزینه i' مطلوب‌تر است و مجموعه ناهمایی (Dii')، مجموعه‌ای متشکل از کلیه معیارهایی که در آنها گزینه i' از گزینه i مطلوب‌تر است (مجموعه متمم مجموعه همایی) هستند.

گام سوم - تعریف شاخص‌های همایی و ناهمایی:

شاخص همایی:

$$CL_{ii'} = \sum_{j \in C_{ii'}} W_j, 0 \leq CL_{ii'} \leq 1 \quad (6)$$

که در آن W_j وزن اهمیت معیار j است نسبت به بقیه معیارها است بنابراین می‌توان نوشت:

$$\sum_j W_j = 1, 0 \leq W_j \leq 1 \quad (7)$$

شاخص ناهمایی:

$$DL_{ii'} = \frac{1}{m} \sum \frac{W_j |r_{ij} - r_{i'j}|}{d_{max}}, 0 \leq DL_{ii'} \leq 1 \quad (8)$$

که در آن:

$$d_{max} = \max_{i, i', j} |r_{ij} - r_{i'j}| W_j \quad (9)$$

$$M = \max_{i, i', j} \{ DI_{ii'} \text{ مجموعه عناصر} \}$$

گام چهارم - تعیین مقادیر تسلط (شاخص) همایی و غیر همایی:

مقدار شاخص همایی:

$$(i \neq i') NCI_i = \sum_{i'} CI_{ii'} - \sum_{i'} CI_{i'i} \quad (10)$$

مقدار تسلط ناهمایی یا مقدار خالص شاخص ناهمایی:

$$(i \neq i') NDI_i = \sum_{i'} DI_{ii'} - \sum_{i'} DI_{i'i} \quad (11)$$

گام پنجم - تعیین مجموعه گزینه‌های رقیب:

به ازای سیستم وزن‌دهی W ، گزینه‌هایی که در دو رابطه زیر صدق می‌کنند مجموعه گزینه‌های مسلط را تشکیل می‌دهند.

$$NCI_i > 0, NDI_i < 0 \quad (12)$$

گزینه‌های مسلط به مجموعه گزینه‌هایی گفته می‌شود که برای یک سیستم وزن‌دهی مشخص (W_j) بهتر از متوسط عمل می‌کنند.

با تغییر سیستم وزن‌دهی مجموعه گزینه‌های مسلط نیز تغییر پیدا می‌کند. گزینه‌های مشترک در مجموعه گزینه‌های مسلط را می‌توان در یک مجموعه جای داد و آنها را مجموعه گزینه‌های رقیب نامید. این مجموعه، مجموعه‌ای است که به ازای هر سیستم وزن‌دهی بهتر از متوسط عمل می‌کند. انتخاب هر یک از گزینه‌های

مشخص می‌شود، محاسبه کرده و شاخص ناهمایی درجه تسلط یک گزینه بر دیگری را برآورد می‌کند. مقادیر همایی و ناهمایی در مقایسه دو به دو گزینه‌ها به دست آمده و براین اساس تفاوت میان گزینه‌ها به صورت کمی تعیین شده و امتیاز نهایی برای هر گزینه محاسبه می‌شود. شاخصهای تسلط نیز از روی مقادیر همایی و ناهمایی و به منظور اولویت‌بندی نسبی گزینه‌ها در وزنی معین، به دست می‌آیند.

در این روش نیز از ورودیها و خروجیهای روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. البته به مانند روش تحلیل پوششی داده‌ها، در روش تحلیل همایی نیز منظور از گزینه برتر در این مطالعه نقطه پرحادثه‌تر است.

تحلیل همایی که در آن هدف ارزیابی i گزینه براساس j معیار است، به طور خلاصه طی چند گام زیر انجام می‌شود [Guliano, 1985]:

گام اول - تعیین پارامترهای r_{ij} :

(3)

اگر j یک معیار مثبت باشد (به عبارت دیگر مقدار بیشتر بهتر باشد)

$$\frac{Z_{ij}}{\max_k Z_{ik}}$$

اگر j یک معیار منفی باشد (به عبارت دیگر مقدار کمتر بهتر باشد)

$$1 - \frac{Z_{ij}}{\max_k Z_{ik}}$$

که در آن

$$Z_{ij} = \text{مقدار معیار ارزیابی } j \text{ ام برای گزینه } i$$

$$Z_{ik} = \text{مقدار معیار ارزیابی } k \text{ ام برای گزینه } i \text{ که } k=1, \dots, n$$

n = تعداد معیارها

r بدون واحد و مقدار آن همواره بین صفر و یک خواهد بود و همیشه مقدار بیشتر آن مطلوبیت بیشتری دارد. r واحد مشترک تعریف شده برای یکسان‌سازی واحد مقیاس‌هاست.

گام دوم - تعریف مجموعه‌های همایی و ناهمایی:

$$C_{ii'} = \{ j / r_{ij} \geq r_{i'j} \} \quad (4)$$

$$D_{ii'} = \{ j / r_{ij} \leq r_{i'j} \} \quad (5)$$

کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نقاط پرحادثه: استفاده از ...

را کاهش داده‌اند (با سیاست‌های اولویت‌بندی بهبود مکان‌ها) [Cook et al., 2001] اشاره کرد. در مقاله آخر تمرکز بر یافتن نقاط نامزد شده‌ای است که معیارهای بهسازی باید در آن‌ها اعمال گردند، قرار گرفته است.

۳-۲ روش تحلیل همایی

در اینجا گزینه‌های مورد بررسی همان تقاطعها و میادین موجود در شبکه حمل‌ونقلی هستند که مطالعه بر روی آن انجام می‌شود. با تشکیل مجموعه‌های همایی و ناهمایی بر اساس پارامترهای I_{ij} که برای سیستم‌های مختلف وزن‌دهی محاسبه شده، تعیین شاخصهای همایی و ناهمایی انجام شده که منجر به شناسایی گزینه‌های مسلط و در نهایت تعیین مجموعه گزینه‌های رقیب می‌شود. گزینه‌های برتر در اینجا گزینه‌های (تقاطعها و میادین) پرحادثه‌تر هستند.

نکته حائز اهمیت در تحلیل همایی در دسترس بودن آمار و اطلاعات درست و دقیق تصادفات در شبکه حمل‌ونقلی است. با استفاده از این آمار، متغیرهای تأثیرگذار در روش شناسایی شده بر اساس آن روش بسط و توسعه می‌یابد. به همین جهت فقدان آمار و یا دقت پایین آمار منجر به روشی ناکارآمد خواهد شد.

۳-۳ ورودیها و خروجیها در دو روش مورد استفاده

در این مطالعه عوامل مؤثر بر تصادفات یعنی حجم ترافیک، سرعت گذر وسایل نقلیه و عرض معبر به‌عنوان ورودیها در نظر گرفته شده و تعداد و شدت تصادفات در بازه‌های زمانی خاص به عنوان

عضو مجموعه رقیب جواب مناسب مسأله است که به‌خوبی در شکل ۳ برای سه ترکیب وزن‌دهی متفاوت W_1 ، W_2 و W_3 نشان داده شده‌است. گزینه‌های که در هر سه وزن‌دهی بهتر از متوسط عمل می‌کنند با علامت [۱] نمایش داده شده‌است.

۳. استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی

برای شناسایی نقاط پرحادثه

۳-۱ روش تحلیل پوششی داده‌ها

در مطالعه حاضر، مقاطع ترافیکی به واحدهای تولیدی مانند شده‌اند. بدین ترتیب که نقاط ترافیکی، واحدهای تصمیم‌سازی، عامل‌های مؤثر بر تصادفات به عنوان ورودیها، و سه نوع مختلف تصادف به عنوان خروجی این واحدها در نظر گرفته شده‌اند.

در مطالعه حاضر، واژگان "عملکرد" یا "کارایی" مفهومی متضاد با آنچه عموماً در روش تحلیل پوششی داده‌ها انتظار می‌رود، دارند.

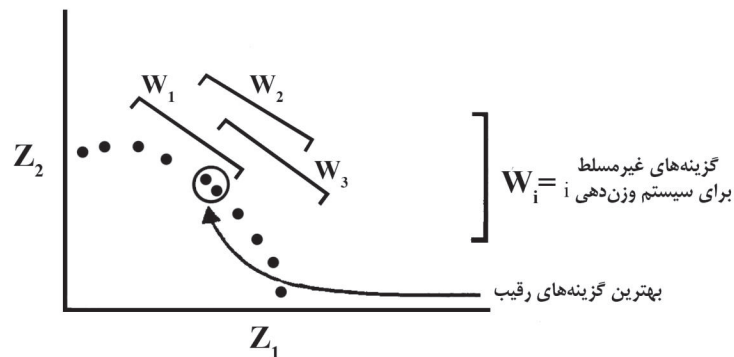
علت این امر نیز روشن است، هدف این مطالعه یافتن بدترین واحدهای تصمیم‌سازی (به‌جای بهترین واحدهای تصمیم‌سازی

در حالت معمول) بوده و در نتیجه خروجیها نامطلوب هستند. از روش تحلیل پوششی داده‌ها در پژوهش‌های مرتبط با حمل‌ونقل

فراوان استفاده شده است. به عنوان نمونه می‌توان به ارزیابی عملکرد سامانه‌های حمل‌ونقل همگانی [Jarbou et al., 2012]

ارزیابی عملکرد فرودگاهها [Adler et al., 2013]; مقایسه کشورها از [Perelman and Serebrisky, 2012]

دیدگاه عملکرد ایمنی راه‌ها [Shen et al., 2012]، و همین‌طور یافتن بهترین نقاطی که معیارهای بهبود یافته تعداد تصادفات



شکل ۳. نمودار نحوه انتخاب گزینه‌های رقیب [Guliano, 1985]

کارآیی مشخص کنیم. این وزنها عموماً برپایه تجربه و تخصص برگزیده می‌شود [Cooper et al., 2006; Cooper et al., 2004]. در مطالعه حاضر برای ورودیها، وزنها یکسان در نظر گرفته شده، این در حالی است که خروجیها که تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی هستند، براساس ضریب (هم ارز تصادف خسارتی) $EPDO^{12}$ گزینش شده‌اند.

$$9 \leq \frac{q_{fatal}}{q_{damage}} \leq 10 \quad (13)$$

$$3 \leq \frac{q_{injury}}{q_{damage}} \leq 4 \quad (14)$$

که در آن q_{injury} ، q_{damage} و q_{fatal} به ترتیب وزن‌های اختصاص یافته برای تصادفات جرحی، خسارتی و فوتی هستند.

۳-۴-۲ سیستم وزندهی متغیرها در روش تحلیل همایی

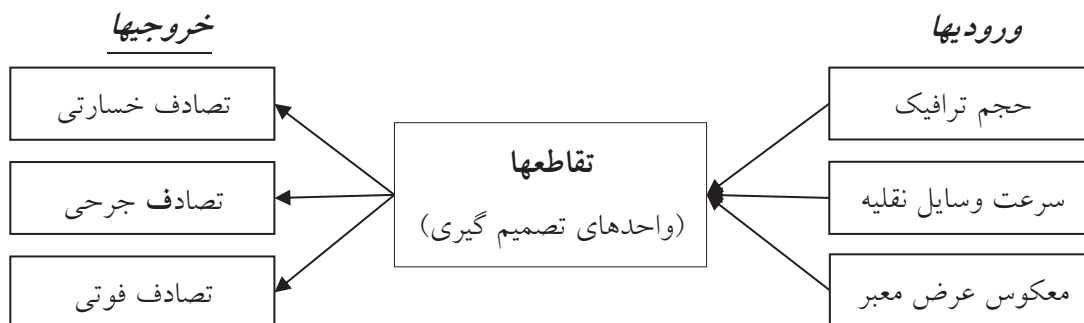
برای انتخاب وزن متغیرهای ورودی این روش ابتدا باید دید که کدامیک از متغیرها تاثیر بیشتری در تعداد تصادفات تقاطعها یا میدانها دارند. از این رو نیاز است که همبستگی بین متغیرها سنجیده شود تا متغیرهای موثر در بروز تصادفات شناسایی شوند. به همین منظور از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. البته با توجه به مقایسه زوجی گزینه‌ها در روش تحلیل همایی و نیز تفاوت مفهومی و چگونگی ورود حجم ترافیک به تقاطع و میدان، بهتر است که گره‌ها در دو دسته تقاطع و میدان با هم مقایسه شوند. به علاوه باتوجه به آن که نتایج همبستگی برای برخی متغیرهای دو گروه تقاطعها و میدان متفاوت بود، برای اخذ نتایج بهتر، از چند

خروجیهای دو روش فرض شده‌اند. البته در روش تحلیل همایی به دلیل توانایی بالای این روش در تحلیل با تعداد شاخص‌های بالا، برای دستیابی به نتایج بهتر متغیرهای دیگری نیز تعریف می‌شود نظیر مانند نسبت تعداد تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی به عرض میانگین، حجم ساعت اوج و سرعت میانگین. همچنین تفاوتی دیگر در این دو روش استفاده از عرض معبر در تحلیلی همایی و به کار بردن عکس عرض معبر در روش تحلیل پوششی داده‌های است. استفاده از عکس عرض گذرگاه در روش تحلیل پوششی داده‌ها جهت رعایت منطق مسأله و همچنین همسویی آن با دیگر ورودیها، مورد نظر بوده‌است. ورودیها و خروجیهای روش تحلیل پوششی داده‌ها باید به گونه‌ای باشند که برای یک واحدتصمیم‌سازی کاراً ورودیها بیشتر کاسته شده و خروجیها بیشتر افزایش یابند. در این روش، واحدهای تصمیم‌سازی همان تقاطع‌های راه‌ها بوده و نقاط ناکاراً (پرحادثه)، نقاطی هستند که بیشترین تصادفات را داشته دارند درحالی که کمترین مقادیر ورودی را برای حجم ترافیک، سرعت و... دارا هستند. شکل ۴ ورودیها و خروجیهای مقاطع را در روش تحلیل پوششی داده‌ها نشان می‌دهد.

۳-۴-۳ سیستم‌های وزندهی

۳-۴-۱ سیستم وزندهی ورودیها و خروجیها در روش تحلیل پوششی داده‌ها

روش تحلیل پوششی داده‌ها این امکان را به ما می‌دهد تا وزنهایی برای ورودیها و خروجیها بر مبنای اهمیت آنها و تأثیرشان بر



شکل ۴. ورودیها و خروجیهای تقاطعها در روش تحلیل پوششی داده‌ها

در ۳ تای دیگر ۲ گزینه ۳ برابر گزینه های دیگر وزن دارند. و در سیستم آخر ۳ گزینه ۳ برابر بقیه وزن دارند. با توجه به آن که جمع وزنها ۱ است، با این نسبتها مقدار اوزان به دست می آید. بدیهی است می‌توان تنوع نسبت‌های بیشتری را مد نظر قرار داد و در نتیجه سیستمهای وزندهی را به تعداد بیشتری استفاده کرد.

۴. نتایج

۴-۱ نتایج روش تحلیل پوششی داده‌ها

واحدهای تصمیم‌سازی با استفاده از نرم‌افزار EMS تحلیل می‌شوند [Scheel, 2000]. مدل CCR مورد مطالعه (رابطه ۲) پس از حل به وسیله نرم‌افزار EMS نشان داد که دو تقاطع دارای کارایی ۱۰۰٪ بوده‌اند که بنابراین نتیجه، با توجه به ورودیهایشان، به عنوان پرحادثه‌ترین نقاط در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۲ نتایجی را نشان می‌دهد که از CCR برای ۵ محل نخست و ۵ محل انتهای جدول رتبه‌بندی کارایی به دست آمده است. در جدول ۲ ستون امتیاز نشان‌دهنده کارایی است که فاصله واحد را از مرز کارایی نشان می‌دهد. ستونهای بعدی درصد مشارکت یا سهم متغیرها را در شکل‌گیری واحد مجازی، نمایش می‌دهد. ستونی که با عنوان نقاط مبنا مشخص شده است، برای واحدهای تصمیم‌سازی ناکارآ (به جز واحدهای تصمیم‌سازی ۹ و ۳) تعداد واحدهای تصمیم‌سازی ناکارآ را نشان می‌دهد که این واحدهای تصمیم‌سازی را به عنوان نقطه مبنا برگزیده‌اند. در این گونه واحدها اعداد داخل پرانتز میزان حضور دیگر واحدها را در ساخت واحد مجازی نشان می‌دهد (مقدار λ در مدل رابطه ۲). بنابراین از مقادیر متناظر در جدول برای واحدهای تصمیم‌سازی ۹ و ۳، چنین برمی‌آید که ۴۱ واحد تصمیم‌سازی از واحد تصمیم‌سازی ۹ و ۵۲ واحد تصمیم‌سازی (تقاطع‌ها) از واحد تصمیم‌سازی ۳ به عنوان نقطه مبنا بهره جسته‌اند.

۴-۲ نتایج روش تحلیل همایی

با توجه به نتایج به دست آمده در میان تقاطعها، دو تقاطع (گزینه)

متغیر متفاوت برای این دو گروه استفاده شد. به علاوه، با توجه به آن که در تحلیل همایی صرفاً شاخصهایی از نوع خروجی مورد استفاده هستند، سعی شد متغیرهای ترکیبی مورد استفاده قرار گیرند. این نکته نیز به نوبه خود بر نوع متغیرهای این دو گروه تاثیر گذاشت.

جدول ۱ مقادیر وزنهاى هفت متغیر بکار رفته در روش تحلیل همایی را در سیستم دهگانه وزندهی نشان می‌دهد. در این جدول z_j ، w_k و k امین سیستم وزندهی در نظر گرفته شده هستند. متغیرهای z_1 تا z_7 برای میدانها به ترتیب شامل حجم ساعت اوج، سرعت میانگین، عرض میانگین معبرهای ورودی به میدان، نسبت قطر میدان به عرض میانگین معبرهای ورودی، تعداد تصادفات خسارتی، تعداد تصادفات جرحی و تعداد تصادفات فوتی بوده و این متغیرها برای تقاطع به ترتیب حجم ساعت اوج، نسبت تعداد تصادفات خسارتی به سرعت میانگین، نسبت تعداد تصادفات خسارتی به عرض میانگین، نسبت تصادفات جرحی به سرعت میانگین، نسبت تصادفات جرحی به عرض میانگین، تعداد تصادفات خسارتی و تعداد تصادفات جرحی را دربرمی‌گیرند.

بر اساس ویژگی روش تحلیل همایی که گزینه برتر را از مقایسه انواع مختلف وزندهی به دست می‌آورد، در جدول ۱ وزنها از مقایسه متغیرها نسبت به یکدیگر به دست می‌آیند. به عنوان مثال در سیستم اول همه متغیرها وزن مساوی دارند. در ۵ سیستم وزن دهی یک گزینه ۳ برابر گزینه های دیگر وزن دارد،

جدول ۱ مقادیر مربوط به وزندهی متغیرهای ورودی

	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	
W_1	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴
W_2	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
W_3	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
W_4	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
W_5	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
W_6	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
W_7	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
W_8	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
W_9	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
W_{10}	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸

جدول ۲ نتایج مدل CCR ورودی گرا

شماره محل	امتیاز (درصد)	سهم ورودیها			سهم خروجیها			نقاط مینا
		حجم	سرعت	عرض	خسارتی	جراحی	فوتی	
۹	۱۰۰	۱	۰	۰	۲/۰۶	۰/۱۵	۰	۴۱
۳	۱۰۰	۰	۰	۱	۱/۷۹	۰	۰	۵۲
۴	۸۱/۶۳	۰	۱	۰	۰/۷۹	۰/۰۳	۰	۳(۰/۶۹)
۴۷	۷۶/۳۰	۰/۳۷	۰	۰/۶۳	۰/۴۶	۰/۳۰	۰	۹(۰/۶۱) ۳(۰/۰۹)
۳۹	۶۲/۰۶	۰	۱	۰	۰/۴۲	۰/۲۰	۰	۳(۰/۴۴)
۱۸	۱/۸۸	۰/۶۲	۰	۰/۳۸	۰/۰۲	۰	۰	۹(۰/۰۱) ۳(۰/۰۰)
۵۰	۱/۳۷	۰/۷۵	۰/۲۵	۰	۰/۰۱	۰	۰	۹(۰/۰۱) ۳(۰/۰۱)
۴۸	۱/۳۱	۰/۸۰	۰/۲۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۹(۰/۰۰) ۳(۰/۰۱)
۷	۱/۱۲	۰/۸۲	۰	۰/۱۸	۰/۰۱	۰	۰	۹(۰/۰۰) ۳(۰/۰۱)
۲۷	۱/۰۶	۰/۸۱	۰/۱۹	۰	۰/۰۱	۰	۰	۹(۰/۰۰) ۳(۰/۰۱)

۵. بحث و بررسی

۵-۱ روش تحلیل پوششی داده‌ها

مشاهده می‌شود که نقاط ۳ و ۹ بیشترین کارایی را داشته و در حقیقت نقاط پرحادثه‌ای هستند که بهسازی باید نخست در آنها صورت گیرد. البته می‌توان تقاطعهای بیشتری را با استفاده از ترتیب امتیازی کسب شده آنها در مدل، انتخاب کرد. در نقطه ۹ حجم ترافیک، تنها متغیر ورودی در شکل‌گیری واحد مجازی است. علت آن نیز، حجم کمتر ترافیک در این تقاطع نسبت به

۳ و ۱۰ که در هرده سیستم وزندهی بهتر از متوسط و در میان میادین نیز میدان (گزینه) ۴۵ در هر ده سیستم وزندهی بکاررفته، بهتر از متوسط عمل کرده که این در حقیقت به این معنی است که این گزینه‌ها پرحادثه‌ترین گرهما در شبکه حمل‌ونقلی مطالعه هستند. در جدول ۳ عملکرد ۵ میدان و ۶ تقاطع که بهترین عملکرد را داشته‌اند برای وزندهی‌های دهگانه آورده شده‌اند. جدول ۴ نیز مقادیر به‌دست‌آمده متناظر T_{ij} متغیرهای این میدانها و تقاطعها را نشان می‌دهد.

جدول ۳ مجموعه گزینه‌های رقیب برای تقاطع‌ها و میدان‌های برتر

میدان‌ها											
شماره محل	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	W_9	W_{10}	کل
۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰
۱۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰
۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۹
۴	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۹
۱۵	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۸

تقاطع‌ها											
شماره محل	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	W_9	W_{10}	کل
۴۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰
۲۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۹
۳۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۹
۴۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۹
۴۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۹
۴۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۹

کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نقاط پرحادثه: استفاده از ...

جدول ۴ مقادیر T_{ij} متغیرهای میدان‌ها و تقاطع‌ها مجموعه گزینه‌های برتر

میدان‌ها							شماره محل
J _۷	J _۶	J _۵	J _۴	J _۳	J _۲	J _۱	
۰	۰/۵۰	۰/۱۳	۱/۰۰	۰/۶۴	۰/۳۹	۰/۹۰	۳
۰	۰/۳۳	۰/۲۱	۱/۰۰	۰/۴۸	۱/۰۰	۰/۶۱	۱۰
۰	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۴۳	۰/۵۶	۰/۶۴	۰/۸۱	۱
۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۶۸	۰/۸۳	۴
۰	۰/۶۷	۰/۳۴	۰/۰۰	۰/۳۹	۰/۹۵	۱/۰۰	۱۵
تقاطع‌ها							شماره محل
J _۷	J _۶	J _۵	J _۴	J _۳	J _۲	J _۱	
۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۱۹	۰/۸۴	۴۵
۰/۱۷	۰/۳۴	۰/۱۷	۰/۸۵	۰/۶۷	۰/۳۱	۰/۸۱	۲۴
۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۷	۰/۰۰	۰/۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۳۹
۰/۳۳	۰/۹۱	۰/۲۶	۰/۷۴	۰/۳۴	۰/۷۲	۰/۷۹	۴۰
۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۶۲	۰/۷	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۷۲	۴۲
۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۱۱	۰/۷۸	۴۴

در اینجا داده‌های مرجع حقیقی وجود ندارند که نتایج با آنها مقایسه شوند (در اینجا تنها می‌توان نتایج را با قضاوتها و براساس تخصصها مقایسه نمود). آزمونهای پیشنهاد شده برای سنجش اعتبار نتایج شناسایی نقاط پرحادثه، پایایی نتایج را در زمان ارزیابی می‌کند. درحقیقت آنها برای مقایسه روشهای شناسایی مختلف مناسب‌تر هستند. ۴ آزمون عددی گوناگون وجود دارد: آزمون سازگاری مکان^{۱۳} که توانایی اینکه یک روش به طور سازگاری بتواند نقاط پرحادثه را در خلال دوره‌های زمانی مشاهده تکرار شونده، شناسایی کند. آزمون سازگاری روش^{۱۴}، عملکرد یک روش را با استفاده از اندازه‌گیری تعداد مشابه نقاط پرحادثه شناسایی شده در دو دوره زمانی ارزیابی می‌کند. آزمون تفاوت‌های رتبه کلی^{۱۵} از تفاوت رتبه‌بندی‌های عملکرد ایمنی مقاطعی از راه در دو دوره زمانی سود می‌جوید. نهایتاً امتیاز کلی^{۱۶} سه آزمون بالا را با هم ادغام کرده و به منظور فراهم آوردن یک شاخص ترکیبی از آنها بهره می‌جوید [Montella, 2010]. این آزمونها عموماً سازگاری پاسخها را در خلال گامهای زمانی گوناگون مورد بررسی قرار می‌دهند. بنابراین به داده‌های تصادف در حداقل دو دوره زمانی نیاز است که در دسترس نبوندند.

دیگر تقاطعها و تصادفات بیشتر نسبت به حجم ترافیک کمتر آن است. چنین نتیجه‌ای بسیار جالب است زیرا نقطه شماره ۹ که در این روش بالاترین رتبه را دارد، تعداد تصادفات زیادی را تجربه نمی‌کند. اما تعریف عملکردی که در روش تحلیل پوششی داده‌ها بیان شده لازم می‌داند که سیستم نه تنها برمبنای خروجیها ارزیابی شود که ورودیهای سیستم نیز در این ارزیابی دخیل و مؤثر باشند.

نقطه شماره ۳ بیشترین تعداد تصادفات را در میان این ۵۵ محل دارد. در نقطه شماره ۹ نیز عرض گذرگاه، متغیر مؤثری در شکل‌گیری واحد تصمیم‌سازی مجازی است. مقایسه دو نقطه (واحد‌های تصمیم‌سازی ۳ و ۹) نشان می‌دهد که اگرچه نقطه شماره ۳ بیشترین تعداد تصادفات را دارد، اما اندازه‌گیری عملکرد آنها منتج به امتیازهای یکسانی (۱۰۰٪) شده است. دیگر واحد‌های تصمیم‌سازی، با امتیاز پایین تر برپایه کارایی آنها رتبه‌بندی شده‌اند. از آنجا که این روش عملکرد، مقاطع را با استفاده از ورودیهای متفاوت و ایجاد چندین خروجی مورد ملاحظه قرار می‌دهد، نتایج مناسب‌تر خواهد بود.

اعتبار نتایج به دست آمده، یکی از مراحل مناقشه‌انگیز در شیوه شناسایی نقاط پرحادثه است. برخلاف دیگر روشهای مدل‌سازی،

۲-۵ روش تحلیل همایی

در تحلیل همایی که در مطالعه حاضر بکار گرفته شده از ده سیستم وزن دهی بهره گیری شده و ۵۵ نقطه در شبکه حمل و نقل شهر قزوین که شامل ۲۲ میدان و ۳۳ تقاطع بوده بررسی شده که بر مبنای مقایسه زوجی این نقطه‌ها با هم سه نقطه ۳، ۱۰ و ۴۵ در هر ده سیستم بهتر از متوسط عمل کرده‌اند. دیگر گره‌ها نیز به ترتیب تعداد حضورشان در مجموعه گزینه‌های رقیب برای وزن دهی دهگانه رتبه بندی می‌شوند. نقطه ۳ به دلیل حجم بالای ترافیک عبوری و دارا بودن بیشترین تصادفات نسبت به تقاطعها و میدانهای دیگر رتبه اول را در میان نقاط پرحادثه داراست. به دلیل اینکه نقطه ۱۰ تقریباً دارای حجم بالای ترافیک عبوری و سرعت نسبتاً بالایی است و عرض میانگین آن نسبت به نقطه ۴ بیشتر است و با توجه به آزمونهای آماری انجام شده شاخصهای مؤثر در تعداد تصادفات خروجی، سرعت میانگین و عرض میانگین مشخص شد، این نقطه نسبت به نقطه ۴، گزینه بدتری بوده و در حقیقت به عنوان نقطه دوم پرحادثه محسوب شده است. نقطه ۴۵ نیز که یک تقاطع است، به جهت آن که مقادیر عوامل مؤثر در تصادفات مانند حجم ساعت اوج و نسبتهای کارایی در نظر گرفته شده در آن نسبتاً بالاست و نیز از آنجا که طبق آزمونهای آماری به دلیل تاثیر زیاد حجم ترافیک عبوری و نسبت تعداد تصادفات خسارتی به عرض میانگین و نسبت تعداد تصادفات جرحی به سرعت میانگین این تقاطع نسبت به تقاطعهای دیگر در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد، دیگر نقطه پرحادثه تعیین می‌شود.

۶. جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه از روشهای تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی برای رتبه بندی و در نتیجه شناسایی نقاط پرحادثه از بین ۵۵ نقطه شهر قزوین استفاده شده است. در روش تحلیل پوششی داده‌ها از مدل CCR استفاده شده که نتایج نهایی این مدل نشان می‌دهد که دو نقطه در شهر قزوین، دارای عملکرد ۱۰۰٪ هستند که این به آن معناست که این دو نقطه براساس تعریف عملکرد در این مطالعه نقاط پرحادثه هستند. در روش تحلیل همایی نیز با معرفی عوامل

مؤثر بر تصادفات نظیر حجم ترافیک، سرعت میانگین و عرض معبر به عنوان شاخصهای روش، با بهره‌گیری از چند ترکیب وزنی گزینه‌های رقیب مشخص می‌شوند.

روشهای پیشنهادی این مطالعه از روشهای تصمیم‌گیری چند متغیره هستند، اما به جهت تفاوتی که در رویکرد خود در تعیین نقاط پرحادثه (واحدهای تصمیم‌سازی کارآ در روش تحلیل پوششی داده‌ها و گزینه‌های مسلط در روش تحلیل همایی) دارند نتایج متفاوتی در پی خواهند داشت. هر دو روش، مزیتها و معایب خاص خود را نیز دارند. با توجه به ویژگیهای دو روش، به طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در بررسی نقطه‌هایی که شرایط هندسی و ترافیکی مشابه دارند روش تحلیل همایی و در نقاطی که این شرایط متفاوت است روش تحلیل پوششی داده‌ها مناسب‌تر هستند.

به طور کلی می‌توان گفت مزیت استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در شناسایی نقاط پرحادثه در این موارد است: در این روش نیازی به یافتن تابع علی برای پیش‌بینی تعداد تصادفات نیست؛ روش، عوامل مؤثر بر تصادفات را نیز مدنظر قرار می‌دهد؛ طبیعت چند معیاری آن اجازه می‌دهد که از چندین ورودی و خروجی بهره‌گیری شود؛ مقایسه نقاط با ویژگیهای مختلف، نظیر حجم ترافیک، طول و غیره ممکن می‌شود؛ و نهایتاً نقاط مبنای ارایه شده برای هر نقطه این دید را به تصمیم‌سازان می‌دهد تا معیارهای بهسازی پیشنهاد شده را در ملاحظه وضعیت نقطه‌های مشابه بکار برند.

در کنار محدودیتهای عمومی روش تحلیل پوششی داده‌ها، پژوهش حاضر محدودیتهای خاص خود را نیز داشته است. مهم ترین محدودیت، کمبود داده‌های گسترده بر مبنای دو عامل مهم زمان و مکان بود. علت این امر این است که روش تحلیل پوششی داده‌ها کاملاً بر مبنای مشاهدات بنا نهاده شده و نقاط مبنای نسبی را برای هر واحد تصمیم‌سازی ناکارآ می‌یابد و داده‌های ناقص منجر به پاسخهای نادرست می‌شود. به علاوه داده‌های سریهای زمانی می‌توانند در یافتن سازگاری پاسخها در خلال زمان ما را یاری کنند.

els for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", *Management Science*, Vol. 30, pp. 1078-1092.

- Berg, S. V. (2010) "Water utility benchmarking: measurement, methodologies and performance incentives". London, IWA Publishing.

- Charnes, A. and Cooper, W. W. (1978) "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.

- Cook, W. D. and Kazakov, A. (2001) "Prioritizing highway accident sites: A data envelopment analysis model", *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, No. 3, pp. 303-309.

- Cooper, W. W. and Seiford, L. M. (2006) "Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA solver software", Springer.

- Cooper, W. W. and Seiford, L. M. Eds. (2004) "Handbook on data envelopment analysis", Boston, Kluwer Academic Publisher.

- Elvik, R. (2008) "Comparative analysis of techniques for identifying locations of hazardous roads" *Transportation Research Record*, Vol. 2083, pp. 72-75.

- Farrell, M. J. (1957) "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-290.

- Guliano, G. (1985) "A multicriteria method for transportation investment planning." *Transportation Research A*, Vol. 1914, No. 1, pp. 29-41.

- Huang, H. and Chin, H. (2009) "Empirical evaluation of alternative approaches in identifying crash hot spots." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2103, No. -1, pp. 32-41.

- Jarboui, S. and Forget, P. (2012) "Public road transport efficiency: a literature review via the classification scheme", *Public Transport*, Vol. 4, pp. 101-128.

از سوی دیگر، روش تحلیل همایی با امکان دخیل کردن ترکیبات وزنی مختلف در محاسبات، تاثیر خطا در وزندهی را کاهش می‌دهد؛ امکان در نظر گرفتن تمام عوامل موثر در تصادف اعم از عوامل کیفی و کمی را فراهم می‌کند (عوامل کیفی را میتوان با ضرایب مناسب به عوامل کمی تبدیل کرد) و می‌توان نقاط پرحادثه را بر مبنای مجموع دیدگاههای مختلفی که درباره شدت تصادف وجود دارد شناسایی کرد.

گرچه هر دو روش در زمره روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره قرار می‌گیرند، اما نتایج حاصل از دو روش با هم تفاوت دارد. علت نیز آن است که روش تحلیل همایی به مقایسه زوجی گزینه‌ها تحت وزندهی‌های مختلف می‌پردازد، در حالی که در روش تحلیل پوششی داده‌ها هر واحد تصمیم‌سازی بر اساس یک مسأله برنامه‌ریزی خطی، به‌تنهایی و بر اساس ورودی و خروجی آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۷- پی‌نوشتها

- 1- Black spots
- 2- Hot spots
- 3- Consequence models
- 4- Two-dimensional risk approach
- 5- Data oriented
- 6- Competitive entities
- 7- Technical efficiency
- 8- Output-efficient
- 9- Input-efficient
- 10- Virtual DMU
- 11- Dual
- 12- Equivalent Property-Damage-Only
- 13- Site consistency test
- 14- Method consistency test
- 15- Total rank differences test
- 16- Total score test

۸ مراجع

- Adler, N. and Vanessa, Liebert (2013) "Benchmarking airports from a managerial perspective", *Omega*, Vol. 41, pp. 442-458.

- Banker, R. D. and Charnes, A. (1984) "Some mod-

- Scheel, H. (2000) "EMS: Efficiency measurement system user's manual".
- Shen, Y., and Hermans, E.(2012) "Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions." Accident Analysis and Prevention Vol. 48, pp. 430-441.
- Songchitruksa, P. and Zeng, Z. (2010) "Getis-Ord spatial statistics to identify hot spots by using incident management data", Transportation Research Record Vol. 2165, pp. 42-51.
- Southeast Michigan Council of Governments (1997) "SEMCOG traffic safety manual".Michigan, USA.
- Talluri, S. (2000) "Data envelopment analysis: Models and extensions", Decision Line Vol. 31, No. 3, pp. 8-11.
- Transportation Research Board (2008) "Highway safety manual", Washington DC, USA, Federal Highway Administration (FHWA).
- Kutz, M., Ed. (2004) "Handbook of transportation engineering". New York, USA, McGraw-Hill.
- Miranda, Moreno and Fu, L. (2009) "How to incorporate accident severity and vehicle occupancy into the hot spot identification process?", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2102, pp. 53-60.
- Montella, A. (2010) "A comparative analysis of hot-spot identification methods." Accident Analysis and Prevention, Vol. 42, No. 2, pp. 571-581.
- Norden, M., and Orlansky, J. (1956). "Application of statistical quality control techniques to analysis of highway-Accident data", Highway Research Board. Vol. 117, pp. 17-31.
- Pawlovich, M. D. (2007) "Safety improvement candidate location (SICL) methods", Iowa Department of Transportation, Highway Division, Engineering Bureau, Office of Traffic and Safety.
- Perelman, S. and Serebrisky, T. (2012) "Measuring the technical efficiency of airports in Latin America." Utilities Policy Vol. 22, pp. 1-7.