

شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز راه با رویکرد قطعه‌بندی مسیر و تحلیل پوششی داده‌ها

علی اصغر صادقی (مسئول مکاتبات)، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
اسماعیل آیتی، استاد، مرکز تحقیقات فنی و اقتصادی ایمنی جاده‌ای، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
محمدعلی پیرایش نقاب، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

E-mail: sadeghi.aliasghar@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۴/۱۸

چکیده

هدف از این پژوهش، ارایه روش جدیدی برای در نظر گرفتن تصادفها با توجه به شرایط محیطی، ترافیکی و هندسی راه است که تصادفها را با توجه به اندرکنش مولفه‌های منجر به آن در نظر می‌گیرد. این رویکرد برای وارد کردن مشخصات فیزیکی، راه را به واحدها یا قطعات با مشخصات فیزیکی همگن قطعه‌بندی کرده و در نتیجه تصمیم‌گیری در مورد وضعیت ایمنی راه به جای یک نقطه، برای طولی از راه با خصوصیات مشخص انجام می‌شود. این رویکرد با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها^۱ (DEA) انجام شده است که بر خلاف روشهای رگرسیونی نیازمند به دست آوردن تابع توزیع و در نظر گرفتن فرضیه‌هایی در مورد آن نیست. این روش امتیازهایی (ناکارآیی‌هایی) را به دست می‌دهد که اجازه می‌دهد قطعات راه به طور مناسبی از نظر حادثه‌خیز بودن، رتبه‌بندی و اولویت‌بندی شوند. در پژوهش حاضر یک مطالعه موردی بر روی مسیرهایی به طول ۱۴۴/۴ کیلومتر انجام شد که حاصل آن شناسایی ۱۵۴ قطعه راه با امتیازات خطر نسبی متفاوت بود، به این ترتیب قطعات حادثه‌خیز با روش پیشنهادی شناسایی و اولویت‌بندی شدند که از نظر تعریف شاخص‌های ورودی و خروجی بر مبنای روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اولویت‌بندی قطعات راه، تجربه جدیدی به شمار می‌آید.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، قطعه‌بندی، قطعات حادثه‌خیز، اولویت‌بندی.

۱. مقدمه

دیگر شامل نرخهای تصادف از قبیل تعداد یا هزینه تصادفها در هر وسیله نقلیه- کیلومتر طی شده یا تعداد تصادفها در هر وسیله نقلیه ثبت شده است. استفاده از این معیارها به دلیل تغییرات اتفاقی تصادفها از یک سال به سال دیگر ممکن است اشتباههای زیادی ایجاد کند [Cheng and Washington, 2005]. روش دیگر برای معرفی نقاط حادثه خیز استفاده از مدل‌های آماری تصادفها نظیر مدل پواسون، دو جمله‌ای منفی، دو جمله‌ای منفی تعمیم یافته و پرفر، لوگ- نرمال پواسون، مدل‌های بیزین تجربی، مدل‌های بیزین سلسله مراتبی و..... است که برای محاسبه فراوانی و شدت تصادفها برای الگوهای زمانی و مکانی متفاوت بکار برده شده‌اند. با استفاده از این مدلها رتبه‌بندی بر اساس پتانسیل کاهش تصادف و یافتن نقاط دارای بیشترین احتمال خطر امکان‌پذیر شد [eg: Persaud, 1999; Heydecker and Wu, 2001; Tunaru, 2002; Miranda-Morena (et. al.), 2005; Miaou and Song, 2005] روش فاصله اطمینان آماری نیز برای فهم معنی‌دار بودن خطر یک نقطه نسبت به مقدار متوسط بکار برده شده است، [eg: Hauer and Persaud, 1984; Cheng and Washington, 2005] شناسایی بر اساس نوع خاص تصادف (گردشی، بغل به بغل و غیره) [eg: Flak and Barbaresso, 1995; Sayed (et.al.), 1982] و ترکیب شاخص‌های شدت، فراوانی یا پتانسیل ریسک با یکدیگر [eg: Hauer (et. al.), 2004; Geurts (et. al.), 2004] از دیگر روش‌های شناسایی نقاط حادثه‌خیز بوده است. مقایسه روشهای شناسایی نقاط حادثه‌خیز از دیگر جنبه‌های مطالعاتی در این زمینه بوده است که پژوهشگران مختلف بر اساس معیارهای متفاوت تعدادی از این روشها را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. [Rassafi, et al, 1999; Cheng and Washington, 2005; Miranda-Moreno, et. al., 2007; Elvik, 2008; Montella, 2010] روش دیگر برای معرفی نقاط حادثه خیز، استفاده از مدل‌های رگرسیونی آماری است که برای محاسبه فراوانی و شدت تصادفها برای الگوهای زمانی و مکانی متفاوت بکار برده می‌شوند. روشهای مدل‌های رگرسیونی نیازمند یک تابع ریاضی است که با استفاده از

تصادفهای برون شهری بخش عمده‌ای از تصادفها را تشکیل می‌دهند. آمارها نشان می‌دهد که مرگ و میر در راههای برون شهری بیش از ۶۹ درصد از کل مرگ و میرهای ناشی از تصادفها را در کشور در بر می‌گیرد. [- Legal Medical Organision, 2010]. منابع علمی و ادبیات این موضوع، سرشار از مباحث مربوط به کاهش خسارات و اثرات ناشی از تصادفها است. کاهش هدف‌دار و سیستماتیک تصادفها به مدیریت جامع ایمنی راه نیازمند است. معرفی نقاط حادثه‌خیز، گام اول در فرآیند مدیریت ایمنی راه محسوب می‌شود. نقاط حادثه‌خیز گاهی با تعاریفی نظیر: موقعیتهای خطرناک راه، مکانهای با ریسک بالا، موقعیتهای سانحه‌پذیر، مکانهای نیازمند بهسازی و غیره شناخته می‌شوند [Montella, 2010]. تعاریف زیادی از نقاط حادثه خیز وجود دارد. هر چند پژوهشهای انجام شده تاکید کرده‌اند که هیچ تعریف پذیرفته شده جامعی از آنچه به عنوان "خطرناک" یاد می‌شود وجود ندارد [Geurts and wets, 2003]. الویک [Elvik, 2007] نقطه حادثه‌خیز را به عنوان "هر نقطه‌ای که شمار بالاتری از تصادفها را نسبت به نقاط مشابه دیگر به دلیل فاکتورهای ریسک محلی داشته باشد" تعریف کرده است. این تعریف به این مفهوم اشاره دارد که نقاط حادثه‌خیز نقاطی هستند که عوامل ریسک طرح هندسی و ترافیکی، سهم زیادی را در تصادفها داشته باشند و با راهکارهای مهندسی تصادفها کاهش یابند. معرفی نقاط حادثه‌خیز فهرستی از مکانهایی را ارائه می‌کند که برای مطالعات مهندسی بیشتر، اولویت‌بندی شده است و می‌تواند الگوهای تصادف، فاکتورهای موثر و راه‌حل‌های بالقوه را تعریف کند [Hauer, et. al., 2002]. در این فرآیند اغلب پروژه‌های هزینه- کارآ انتخاب می‌شوند تا بهترین نتیجه از منابع محدود حاصل شود [Montella, 2005, 2010]. برای معرفی نقاط خطرناک‌تر نیاز به کمی کردن وضعیت خطر است. ساده‌ترین معیار خطر، استفاده از فراوانی تصادفها (در سال یا در کیلومتر- سال) رخ داده در مقاطع راه است. معیارهای ساده

۲. مبانی نظری تحلیل پوششی داده‌ها

اندازه‌گیری کارایی به دلیل اهمیت آن در ارزیابی عملکرد یک شرکت یا سازمان همواره مورد توجه پژوهشگران قرار داشته است. در سال ۱۹۵۷ فارل با استفاده از روشی مانند اندازه‌گیری کارایی در مباحث مهندسی، اقدام به اندازه‌گیری کارایی برای یک واحد تولیدی کرد [Farrell, 1957]. چارنز، کوپر و رودز دیدگاه فارل را توسعه دادند و مدلی ارائه کردند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین ورودی و چندین خروجی را داشته باشد. این مدل تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) نام گرفت. از آنجا که این مدل توسط چارنز، کوپر و رودز ارائه شد به مدل CCR معروف شد که از حروف اول نام سه فرد فوق تشکیل شده است. هدف از این مدل اندازه‌گیری و مقایسه کارایی نسبی برای واحدهای تصمیم‌گیری مانند مدارس، بیمارستانها، شعب بانکها و موارد مشابه دیگر است که دارای چندین ورودی و خروجی شبیه به هم هستند. [Charnes, Cooper and Rhodes, 1978, Mehregan, 1998].

مدل CCR از نسبت مجموع وزندار خروجیها به مجموع وزندار ورودیها به عنوان مقیاسی برای اندازه کارایی استفاده می‌کند، 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 [Paradi and Sul, 2005; Mohebbal - , 1387, Mehregan, 1999, zadeh and Faez, 1999]:

$$MAX \quad EF_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (1)$$

St.

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m$$

متغیرهای مستقل، متغیر وابسته تخمین زده می‌شود و نیازمند فرضیه‌هایی در مورد تابع توزیع داده‌ها و محدودیت‌های مدل است. این روشها معمولاً تنها بر یک پارامتر خروجی ایمنی تکیه می‌کنند.

در این مقاله رویکرد جدیدی برای شناسایی قطعات حادثه‌خیز معرفی شده است. یکی از مزایای رویکرد جدید نسبت به پژوهشهای قبلی بررسی حادثه‌خیز بودن قطعات راه به جای نقاط راه است. از آنجا که برهمکنش مجموعه‌ای از عوامل، منجر به بروز تصادف در یک قطعه راه می‌شود بنابراین در نظر گرفتن قطعه‌ای با طول و خصوصیات مشخص به جای تعریف گذشته نقطه حادثه‌خیز که محدوده دقیق آن معین نیست، منطقی‌تر است. این رویکرد با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها انجام شده است. تحلیل پوششی داده‌ها نیازمند به دست آوردن تابع توزیع و در نظر گرفتن فرضیه‌هایی در مورد آن نیست. این روش پتانسیل تبدیل ورودیهایی مانند مشخصات هندسی و عوامل کناره راه به خروجی را در مقایسه با بهترین عملکرد هر قطعه در مقایسه با سایر قطعات مورد ارزیابی قرار می‌دهد. به عبارت دیگر، شاخص مقایسه قطعات راه از نظر حادثه‌خیز بودن، نسبت نتایج تصادفها به ترکیب عوامل موثر بر تصادفها است. اما این شاخص یک نسبت ساده نیست و بر اساس رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه می‌شود.

تحلیل پوششی داده‌ها توسط چارنز، کوپر و رودز [Charnes, Cooper and Rhodes, 1978] به عنوان ابزاری برای امتحان کارایی نسبی واحدهای تولیدی و یا واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) بر اساس اطلاعات خروجیهای تولید شده و ورودیهای مصرف شده ایجاد شد. با استفاده از این سیستم امتیاز کارایی نسبی واحدها محاسبه و واحدهای کارآ و ناکارآ تعیین می‌شوند. تاکنون از روش تحلیل پوششی داده‌ها در مباحث ایمنی ترافیک تنها در شناسایی تقاطعهای حادثه‌خیز درون‌شهری [Momwni, 2009] و مقایسه وضعیت ایمنی کشورها [Hermans et. al, 2009] استفاده شده است.

در این مقاله ابتدا ۱۴۴/۴ کیلومتر راه از راههای استان خراسان رضوی به قطعات و یا واحدهای همگن تقسیم‌بندی شده و سپس با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مقاطع با پتانسیل خطر بیشتر معرفی شده است.

[son, 1993] روش (AP) را برای رتبه‌بندی واحدهای کارآ ارایه کردند، که امکان تعیین کارآترین واحد را میسر می‌سازد، با استفاده از این روش امتیاز واحدهای کارآ می‌تواند عددی بزرگ تر از یک شود، در نتیجه یک رتبه‌بندی کلی برای واحدهای کارآ و ناکارآ ارایه می‌شود. در این مقاله از روش اندرسون پترسون ((AP استفاده می‌شود، برای این منظور کفایت واحدهایی که، مقدار کارآیی آنها در حل مرتبه اول مدل CCR معادل یک شده است، در نظر گرفته شوند و با حذف محدودیت مربوط به آن واحد از کل محدودیتهای حل مرتبه اول، دوباره مدل CCR برای آن واحد حل شود، با انجام این عملیات رتبه‌بندی تمامی واحدهای کارآ حاصل خواهد شد.

۳. روش

این مقاله قصد دارد قطعات راه را از نظر حادثه خیز بودن از طریق روش تحلیل پوششی داده‌ها مقایسه کند. تحلیل پوششی داده‌ها کارآیی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری را بر اساس میزان خروجیهای تولید شده و ورودی‌های مصرف شده انجام می‌دهد. کارآیی، نسبت خروجیها به ورودیها است. در اینجا منظور از خروجی میزان تصادفها در قطعه راه مورد نظر است و منظور از ورودی، عوامل موثر بر تصادفهاست که در قطعه راه مورد بررسی وجود دارد.

برای استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، لازم است که واحدهای تصمیم‌گیری با عملکرد مشابه وجود داشته باشد. با توجه به اینکه نوع مشخصات راه به عنوان ورودی و تصادفها به عنوان خروجی برای هر قطعه با دیگر قطعات مشابه است، هر قطعه راه مانند یک واحد تصمیم‌گیری تلقی می‌شود. در این مقاله برای ایجاد واحدهای با عملکرد مشابه رویکرد قطعه‌بندی راه در نظر گرفته شده است.

هدف از رتبه‌بندی قطعات راه در نهایت کمک به تخصیص بهینه منابع و سیاست‌گذاری مناسب برای بهبود ایمنی است. بنابراین از این جهت که مدل DEA شاخص‌های خطر (تعداد و شدت تصادفها) را با دخالت مشخصات راه بررسی می‌کند می‌تواند

در این مسئله غیر خطی و غیر محدب EF_j کارآیی واحد j (DMU_j) است و دیگر متغیرها به شرح زیر است:
 x_{ij} : میزان ورودی i ام برای واحد j ام ($i=1,2,\dots,m$)
 y_{rj} : میزان خروجی r ام برای واحد j ام ($r=1,2,\dots,s$)
 u_r : وزن خروجی r ام
 v_i : وزن ورودی i ام.

مشکلی که در این مسئله وجود دارد آن است که این مدل بی‌نهایت جواب دارد. زیرا اگر مقادیر بهینه متغیرها v^* و u^* باشد آنگاه αv^* و αu^* نیز جواب بهینه این مدل خواهند بود. برای رفع این مشکل پس از دو بار تغییر متغیر شکل خطی مدل کلاسیک تحلیل پوشش داده‌ها به شکل زیر ارایه می‌شود [Mehregan, 1998, Mohebbalizadeh and Faez, 1999]

$$MAX EF_j = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \quad (2)$$

St.

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^m w_i x_{ij} = 1$$

$$\mu_r, w_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m$$

که در این رابطه تغییر متغیرها به صورت زیر است:

$$\mu_r = \frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, \quad w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}$$

روش DEA به طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند واحدهای تصمیم‌گیری را به دو گروه واحدهای کارآ (مقادیر کارآیی برابر با یک) و ناکارآ (مقادیر کارآیی کمتر از یک) تقسیم کند. با استفاده از این روش واحدهای ناکارآ رتبه‌بندی می‌شوند، ولی امکان رتبه‌بندی واحدهای کارآ با این روش وجود ندارد [Charnes, Cooper and Rohdes, 1978; Jahanshahloo (et.al), 2010]. در راستای حل این مشکل پژوهشگران روشهای مختلفی ارایه کرده‌اند. اندرسن و پترسن [Anderson and Pete -]

۲-۳ جمع‌آوری اطلاعات

به طور کلی اطلاعات مورد نیاز شامل مشخصات راه، ترافیک و اطلاعات تصادفها است. بررسی روی یک نمونه ۱۴۴/۴ کیلومتری از راههای استان خراسان رضوی شامل بخشهای دو خطه دو طرفه محورهای مشهد- کلات و مشهد- فریمان انجام شده است. مشخصات پلان مسیرها از اداره راه و ترابری مشهد اخذ شده است. متأسفانه به دلیل قدیمی بودن مسیرهای مذکور تغییراتی در طی سالها در این مسیرها ایجاد شده که ثبت نشده است، به همین دلیل بازدید با استفاده از مد حرکتی دستگاه GPS انجام شد تا اطلاعات قرارگیری افقی جمع‌آوری، و با نقشه‌ها مقایسه شود. این بررسی‌ها با رانندگی روی منتهی‌الیه سمت راست خط حرکت در سرعت متوسط ۵۰ km/h انجام شد. خوشبختانه در این راهها تغییرات پلان افقی در بخشهای دو خطه دو طرفه، تنها در نقاطی به تعریض خط محدود شده بود که در بازدید جداگانه‌ای این عامل نیز به صورت میدانی برداشت شد. خطر کناره راه، تعداد دسترسی‌ها، بخشهای دارای محدودیت سرعت و شاخص کیفیت روسازی با بازدیدهای میدانی توسط کارشناسان راه برداشت شد. از اطلاعات مربوط به شیب و قوسهای قائم و تداخل آنها با قوس افقی به دلیل عدم دسترسی به نقشه‌های پروفیل طولی مسیرها و از عامل سرعتهای عملکردی وسایل نقلیه در مقاطع مختلف به دلیل نبود تجهیزات برداشت سرعت صرف‌نظر شد.

اطلاعات تصادفها در محورهای مذکور از اداره حمل و نقل و پایانه‌های استان خراسان رضوی و پلیس راه استان خراسان تهیه شد. متأسفانه تنها در سالهای ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۵ اطلاعات تصادفهای محورهای استان بر حسب موقعیت (کیلومتر) و شدت حادثه (جرعی، فوتی و خسارتی) تهیه شده بود و در سالهای بعد چنین اطلاعاتی به تفکیک کیلومتر محل وقوع سانحه وجود نداشت.

۳-۳ قطعه‌بندی مسیرها

تاکنون بعضی پژوهشگران تلاش کرده‌اند که با رویکرد قطعه‌بندی راه، مدل‌های تصادف را تخمین بزنند [eg: Pardillo and Ll mas, 2003; Abdel-aty and Rodwan, 2000; Cafiso,

نگرش جامع‌تری را در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها ارائه کند. در بخش ۱-۳ عوامل موثر بر تصادفها مرور و در بخش ۲-۳ مطالعه موردی و نحوه جمع‌آوری اطلاعات توضیح داده می‌شود. در ادامه، متدولوژی قطعه‌بندی راه و شناسایی قطعات همگن، عوامل موثر بر تصادفها (ورودی مدل) و معیار تصادف (خروجی مدل) و استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای شناسایی و مقایسه قطعات حادثه‌خیز توضیح داده می‌شود.

۱-۳ عوامل موثر بر تصادف

شناسایی قطعات حادثه‌خیز مستلزم شناخت عوامل مؤثر بر وقوع تصادفها است. البته باید توجه داشت منظور از عوامل در این بحث عواملی است که به موقعیت مکانی وابسته باشد و از این رو عواملی نظیر شرایط جوی خاص، وضعیت راننده و نوع وسیله نقلیه مدنظر ناست. براساس مطالعات گذشته [Bared and Vogt, 1998; Abdel-Aty and Radwan, 2000; Pardillo and Llamas, 2003; Zhang and Ivan, 2005; Cafiso et al. 2006, 2008a, 2008b, 2010] مشخصاتی که برای ارزیابی عملکرد ایمنی مسیر می‌توان در نظر گرفت عبارتند از: متوسط ترافیک روزانه (ADT)، انحنا (طول و شعاع)، طول مسیر مستقیم، مشخصات مقطع عرضی (عرض خط، عرض شانه)، چگالی مسیرهای دسترسی، خطرات کناره راه، فاصله دید، شیب مسیر، وضعیت روسازی، محدودیت سرعت و غیره. پژوهشگران دیگر [Anderson, et. al., 1999; Lamm, et. al., 1991; Nicholson, 1998; Hassan, et. al., 2001, Cafiso et al 2010]. عواملی چون اختلاف سرعت عملکردی و سرعت طرح، اختلاف سرعت عملکردی در مقاطع متوالی، اختلاف اصطکاک جانبی موردنیاز و تامین شده، اختلاف پروفیل سرعت عملکردی و سرعت عملکردی متوسط، تداخل قوس قائم و افقی، فشار کاری راننده، و غیره را نیز که عواملی توصیفی هستند و اغلب سازگاری طرح هندسی را نشان می‌دهند معرفی کرده‌اند. بنابراین برای شناسایی قطعات حادثه‌خیز و جمع‌آوری اطلاعات فوق‌الذکر در این پژوهش اطلاعات به شرح زیر، تا حد امکان برداشت شد.

Anastasopoulos, Tarko] و همکارانش [and Mannering, 2008] نشان داده‌اند که وضعیت روسازی از لحاظ کیفیت رانندگی و لغزش، بر میزان وقوع تصادفها موثر است. در این پژوهش، مسیر بر اساس درجه سرویس‌دهی روسازی^۷ به قطعات همگن تقسیم‌بندی گردید. نحوه امتیازدهی بر اساس روش آشتو انجام شده است [Huang, 2004]. بازرسان، وضعیت روسازی راه را بین صفر (بسیار ضعیف) تا پنج (بسیار خوب) امتیازدهی می‌کنند. ابتدا قطعات با طول ثابت ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده و قطعات با امتیازات مشابه با یکدیگر ترکیب می‌شوند و قطعات بزرگ تر به دست می‌آید. لازم به ذکر است در نقاطی که به طور قابل توجهی وضعیت کیفی روسازی تغییر کرده است طول ۵۰۰ متر رعایت نشده و مقاطع با طول کوتاه‌تر نیز در نظر گرفته شده است. همچنین به علت عدم دسترسی به دستگاه‌های اندازه‌گیری میزان اصطکاک، از این عامل صرف‌نظر شده است.

بر اساس تغییر هر یک از عوامل فوق، مقاطع همگن راه قابل تعریف است به این صورت که مقطع همگن مقطعی است که عوامل مذکور در آن مقطع تغییر نمی‌کند.

۳-۴ ورودی در مدل DEA

ورودیهای مدل تحلیل پوششی داده‌ها، ویژگیهای واحد تصمیم‌گیری و موثر بر خروجی است که شامل متغیرهای مورد استفاده برای قطعه‌بندی و دیگر خصوصیات است که برای هر قطعه به طور جداگانه محاسبه می‌شود. این ویژگی‌ها عبارتند از:

- طول قطعه
- نسبت انحنای
- نسبت مسیر مستقیم
- شاخص خطر کناره راه
- چگالی دسترسی‌ها
- نسبت نواحی سبقت ممنوع
- نسبت فاصله از مراکز جمعیتی ابتدا و انتهای مسیر
- طول قطعه در مرحله قطعه‌بندی بدست می‌آید. با توجه به پلان

[2008b]. اما اغلب آنها به سادگی مقاطع راه را با طول ثابت یا بین دو تقاطع اصلی در نظر گرفته‌اند. عدل-آتی و رادون [A - del-aty and Rodwan, 2000] راه را با مشخصات همگن بر حسب جریان ترافیک و شرایط هندسی (درجه انحنای افقی، عرض شانه و جزیره میانی، عرض خط و ...) قطعه‌بندی، و تصادفها را مدل کرده‌اند. کافیسو و همکارانش [Cafiso, et al., 2010] نیز یک روش قطعه‌بندی جامع بر اساس ترکیبی از میزان در معرض خطر قرارگیری، شرایط هندسی، سازگاری و متغیرهای مفهومی مربوط به عملکرد ایمنی معرفی کرده و مدل‌سازی تصادفها را انجام داده‌اند.

در این مقاله قطعه‌بندی مسیر و شناسایی قطعات همگن بر اساس عوامل موثر بر تصادفها انجام می‌شود. تعدادی از عوامل تصادفها که به این منظور می‌توان استفاده کرد عبارتند از:

- متوسط ترافیک روزانه (ADT)

- عرض خطوط حرکت و شانه‌ها

- محدودیت سرعت

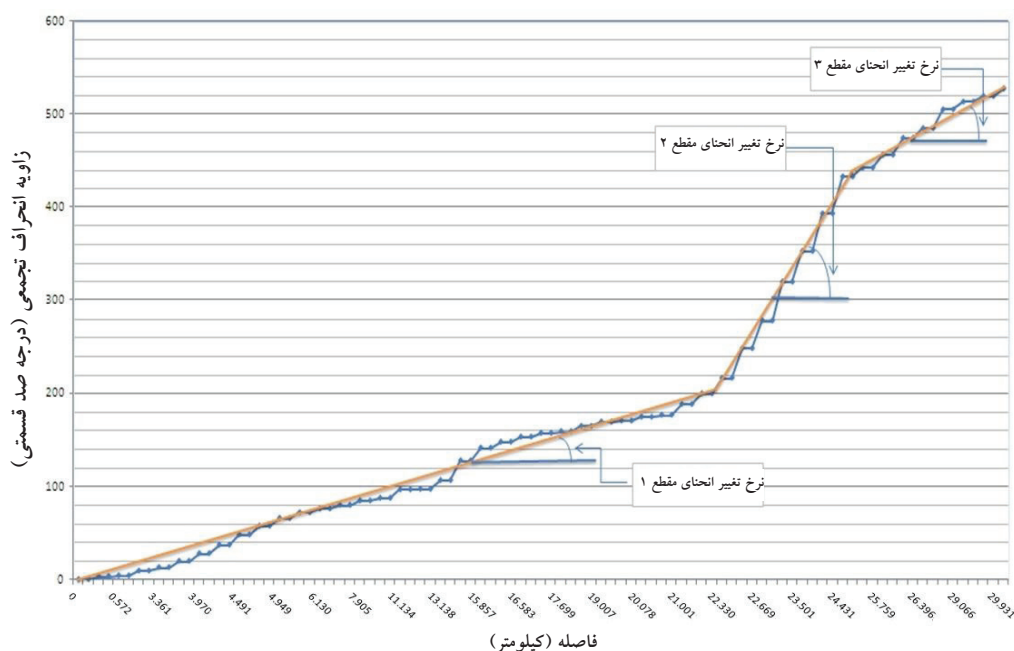
- نرخ تغییر انحنای^۸

- وضعیت روسازی

میزان ADT هر مسیر مشخص است و ابتدا و انتهای بخشهای دارای تغییر عرض یا محدودیت سرعت با بازدید میدانی قابل تعیین و مقدار آن قابل اندازه‌گیری است. نرخ تغییر انحنای مشخصات پلان افقی تعیین می‌شود که برای هر مقطع به صورت زیر قابل تعریف است:

$$CCR_{sec} = \frac{\sum_{i=1}^n |\gamma_i|}{L} [\text{gon/km}] \quad (3)$$

در این رابطه γ_i : زاویه انحراف برای قوس i ام در طول L است. برای به دست آوردن مقاطع با CCR_{sec} همگن زوایای انحراف تجمعی γ_i [gon: درجه صد قسمتی] بر حسب کیلومتر اثر ترسیم می‌شود و سپس خطوط روند هموار^۹ برازش می‌یابد. مقدار CCR_{sec} برای هر بخش مشخص برابر با شیب خط ترسیم شده است. [FHWA, 2000] این تعریف در شکل ۱ بر اساس نمونه‌ای از اطلاعات برداشت شده برای پژوهش حاضر نشان داده شده است.



شکل ۱. قطعه‌بندی مسیر بر اساس نرخ تغییر انحنای تجمعی

صورت زیر قابل محاسبه است:

$$RSH_i = \frac{\sum_{k=1}^2 \max(\text{Score}_{ijk} \times \text{Weight}_j)}{2} \quad (6)$$

که k جهت بازدید ($=1$ راست، $=2$ چپ) و Score_{ijk} امتیاز آیتم‌های ($j=1, \dots, 5$) در i امین واحد بازدید در جهت k است. Weight_j نیز وزن نسبی j امین آیتم کنار راه بر اساس شاخص‌های شدت تصادف آشتو [AASHTO, 1996] است که عبارتند از: ۳ برای خاکریزها، ۵ برای پلها، ۲ برای دماغه ورودی و ناحیه انتقال گارددیل، ۲ برای درختان و دیگر موانع صلب و ۱ برای قنوها. به این ترتیب خطر کنار راه با استفاده از چک لیست‌های طراحی شده، توسط بازرسان ایمنی برای قطعات ۲۰۰ متری ارزیابی شده و سپس برای هر یک از قطعات همگن مقدار متوسط آن بعنوان شاخص خطر مقطع در نظر گرفته می‌شود.

چگالی دسترس‌یها و نسبت نواحی سبقت ممنوع به ترتیب با تقسیم تعداد راه‌های دسترسی و مجموع طول نواحی سبقت ممنوع بر طول کل قطعه به دست آمده است.

از آنجا که به علت وجود کاربریهای متمرکز و مختلف صنعتی و تفریحی در حاشیه مسیرها در نزدیکی شهرها عوامل حواس‌پرتی، حجم جریان و آشفتگی ترافیکی بیشتر است، بنابراین شماری از

هندسی افقی مسیر نسبت انحناء (CR) و نسبت مسیر مستقیم^۹ (TR) را به صورت زیر محاسبه می‌شود [FHWA, 2000; Pardillo and Llamas, 2003]

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^M L_{c_j}}{L_{HS}} \quad (4)$$

$$TR = \frac{\text{Max}_{e=1}^N (L_{Te})}{L_{HS}} \quad (5)$$

که

L_{HS} : طول کل قطعه همگن (km)

L_{C_j} : طول j امین قوس در قطعه همگن با M قوس

L_{Te} : طول e امین مسیر مستقیم در قطعه همگن که N مسیر مستقیم در آن وجود داشته باشد.

کافیسو و همکارانش [Cafiso, et. al, 2008, 2010] یک شاخص خطر کنار راه (RHS'') برای استفاده در قطعات ۲۰۰ متری راه ارائه کرده‌اند. در این شاخص یک امتیاز $(=0)$ وجود ندارد، $=1$ ریسک پایین $=2$ ریسک بالا) به ۵ مورد از خطرات کنار راه (خاکریزها، پلها، دماغه ورودی و ناحیه انتقال گارد ریلها، درختان و دیگر موانع صلب و قنوها) به تفکیک کنار راست و چپ تخصیص داده می‌شود، سپس متوسط وزن دار ۵ عامل به

شاخص وزنی تصادفها به عنوان خروجی در مدل DEA برای هر قطعه محاسبه شده است.

۴. امتیازدهی و اولویت بندی قطعات راه

بخشی از راه دوخطه دوطرفه مشهد- کلات و مشهد فریمان به طول ۱۴۴/۴ کیلومتر جهت مطالعه موردی در نظر گرفته شد. به طور کلی در مسیرهای انتخابی ۱۵۴ قطعه همگن از ۱۴۴/۴ کیلومتر راه به دست آمد که طویل ترین قطعه به طول ۵ کیلومتر و کوتاه ترین قطعه ۰/۱۵ کیلومتر است. در پژوهش حاضر فرض بر این است که هر یک از ۱۵۴ قطعه راه حاصل از روش تعریف شده در بخش ۳-۳ واحدهای تصمیم گیری هستند. در این واحدهای تصمیم گیری متغیرهای ورودی عبارتند از طول قطعه (X_p)، نسبت انحناء (X_p)، نسبت مسیر مستقیم (X_p)، وضعیت روسازی (X_p)، عرض خطوط حرکت و شانها (X_p)، محدودیت سرعت (X_p)، چگالی دسترسی ها (X_p)، نسبت نواحی سبقت ممنوع (X_p)، شاخص خطر کناره راه (X_p)، نرخ تغییر انحناء (X_p)، شاخص فاصله از مراکز جمعیتی (X_{11}) و حجم متوسط ترافیک روزانه (X_{12}) و متغیر خروجی، شاخص وزن دار تصادفها (Y_1) (۱، ۳ و ۵ به ترتیب برای تصادفهای خسارتی، جرحی و فوتی) است که نمونه‌ای از این مقادیر در جدول شماره (۱) مشاهده می‌شود. به عنوان مثال قطعه شماره ۱ از محور مشهد- کلات دارای طولی برابر ۱۰۰۰ متر، نسبت انحنای ۰/۲۰۸، نسبت مسیر مستقیم ۰/۴۲۷، درجه سرویس دهی حال حاضر روسازی (PSR) ۳/۸، عرض خطوط حرکت و شانها ۷/۳ متر، محدودیت سرعت ۸۰ km/hr، چگالی دسترسی ها ۰/۰۰۳، نسبت نواحی سبقت ممنوع ۰/۱۰۱، شاخص خطر کناره راه ۴، نرخ تغییر انحناء ۰/۰۰۹، شاخص فاصله از مراکز جمعیتی ۰/۹۹۸ و حجم متوسط ترافیک روزانه ۱۵۰۰ وسیله نقلیه در روز و متغیر خروجی، شاخص وزن دار تصادفها ۳۲ است.

از آنجا که وقوع تصادف یک عامل نامطلوب است، بنابراین برای هر قطعه به جای شاخص کارایی یک شاخص عدم کارایی تعریف می‌شود. عدم کارایی (امتیاز) هر واحد با استفاده از مدل

پژوهشهای [Samuel, et. al., 2009; Ayati, 1982] نشان می‌دهند که میزان وقوع تصادفها با لگاریتم فاصله از شهر نسبت عکس دارد. از این رو جهت اثر دادن اهمیت متفاوت ابتدا و انتهای مسیر شاخص مربوط به نسبت فاصله از مراکز جمعیتی ابتدا و انتهای مسیر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$DCI = \frac{P_a \times \log D_b + P_b \times \log D_a}{(\log(D_a + D_b)) \times (P_a + P_b)} \quad (7)$$

که در آن:

DCI: نسبت فاصله از مراکز جمعیتی ابتدا و انتهای مسیر
 D_b و D_a : فاصله مرکز قطعه از ابتدا و انتهای مسیر (شهرهای a و b)
 P_b و P_a : جمعیت شهرهای a و b. (در مطالعه موردی جمعیت هر شهر از نتایج سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵ بدست آمده است [Iran Statistical Center, 2006].)

۳-۵ خروجی در مدل DEA

برای هر یک از قطعات همگن خروجی در مدل DEA تعداد تصادفها است. اما، علاوه بر فراوانی تصادف، یکی از عواملی که در شناسایی یک محل به عنوان نقطه حادثه‌خیز اثرگذار است شدت حوادث رخ داده در آن محل است. پژوهشگران مختلف ضرایب متفاوتی را در پژوهشهای خود برای نسبت اهمیت یا شدت تصادفهای خسارتی، جرحی و فوتی ذکر کرده‌اند. به عنوان مثال وزارت حمل و نقل بلژیک از نسبتهای ۱، ۳ و ۵ [Geurt, et. al., 2006] برای تصادفهای خسارتی، جرحی و فوتی، و اداره راه پرتغال از نسبتهای ۱۰۰، ۱۰ و ۱ به ترتیب برای تصادفهای فوتی، جرحی شدید و جرحی خفیف استفاده می‌کنند [Elvik, 2008]. اداره راه و ترابری استان خراسان به منظور شناسایی نقاط حادثه‌خیز از ضرایب ۱، ۳ و ۵ برای تصادفهای خسارتی، جرحی و فوتی استفاده می‌کند و هر نقطه‌ای که مجموع امتیاز بالاتر از ۳۰ را کسب کند به عنوان نقطه حادثه‌خیز در نظر می‌گیرد. یزدانی [Yazdani, 2010] با بررسی روابط گوناگون با توجه به شرایط فعلی گزارش دهی تصادفها و فرهنگ ایمنی در ایران بر استفاده از همان نسبتهای ۱، ۳ و ۵ برای تصادفهای خسارتی، جرحی و فوتی تاکید کرده است. در این پژوهش با استفاده از این ضرایب،

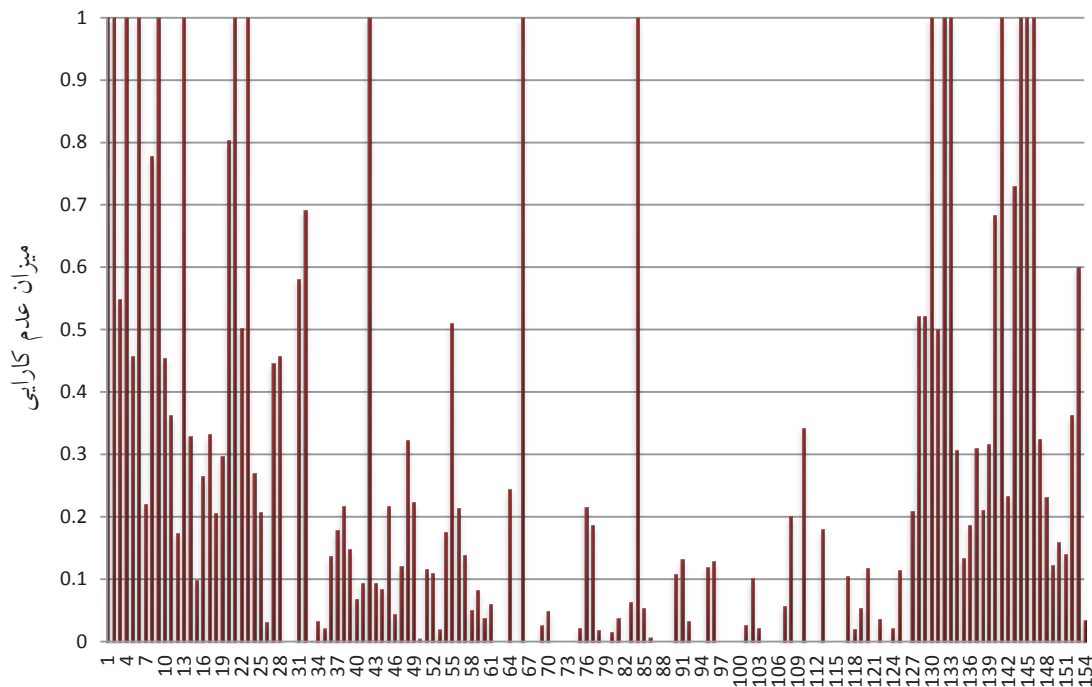
شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز راه با رویکرد قطعه‌بندی مسیر ...

اولویت انتخاب کرد.

در جدول (۱)، قطعات راه با میزان ناکارایی بیشتر از یک نشان داده شده است که از بین این ۱۸ قطعه، ۷ قطعه مربوط به مسیر فریمان- مشهد و ۱۱ قطعه دیگر مربوط به مسیر مشهد- کلات است. همچنین جهت مقایسه دو مسیر مشهد- کلات و مشهد- فریمان، میانگین ناکارایی آنها محاسبه شد که برای جاده فریمان- مشهد مقدار ۱/۱۰ و برای مسیر مشهد- کلات ۰/۴۷ به دست آمد که نشان‌دهنده بحرانی‌تر بودن مسیر فریمان نسبت به کلات است. شکل (۳) میزان عدم کارایی قطعات راه را در مقابل شاخص وزن‌دار فراوانی تصادف (روش اداره راه و ترابری) نشان می‌دهد. اگرچه در روش مورد استفاده اداره راه، طولی برای نقطه حادثه‌خیز مشخص نشده است، اما به منظور مقایسه با روشهای پیشنهادی، میزان تصادفهای وزن‌دار هر قطعه محاسبه شد. در روش اداره راه، نقاطی که دارای شاخص فراوانی تصادف بالاتر از ۳۰ هستند به عنوان نقاط حادثه‌خیز معرفی می‌شوند، در حالی که در روش پیشنهادی بالاتر بودن میزان عدم کارایی نشان دهنده حادثه‌خیز بودن قطعه است. با توجه به شکل، شمار زیادی از قطعات به طور

CCR برای هر یک از قطعات راه (DMUs) محاسبه و در مرحله بعد رتبه واحدها با عدم کارایی برابر یک نیز با استفاده از روش AP محاسبه می‌شود. بر اساس نتایج حاصل، قطعات راه با بیشترین میزان عدم کارایی به عنوان حادثه‌خیزترین واحدها در مسیر تلقی گردیده و بر این اساس اولویت‌بندی قطعات راه امکان‌پذیر می‌شود.

با استفاده از نرم‌افزار صفحه گسترده اکسل مدل CCR برنامه‌نویسی شد و برای محاسبه عدم کارایی قطعات مختلف راه بکار گرفته شد. در شکل (۲) نتایج حاصل از محاسبه عدم کارایی ۱۵۴ قطعه راه با این روش ارائه شده است. سپس قطعات دارای عدم کارایی یک، با استفاده از روش AP رتبه‌بندی شد که نتایج حاصل برای این قطعات، در جدول شماره (۱) مشاهده می‌شود. به عنوان مثال میزان ناکارایی یا پتانسیل خطرآفرینی قطعه ۱ در مقایسه با سایر قطعات برابر ۲/۶۳ به دست آمد که با توجه به این امتیاز در اولویت پنجم جهت ایمن‌سازی و یا بهسازی قرار می‌گیرد. قابل ذکر است با توجه به سطح بودجه تخصیص یافته برای ایمن‌سازی مسیرها می‌توان نقاط پرحادثه را به ترتیب



شکل ۲. میزان عدم کارایی قطعات راه

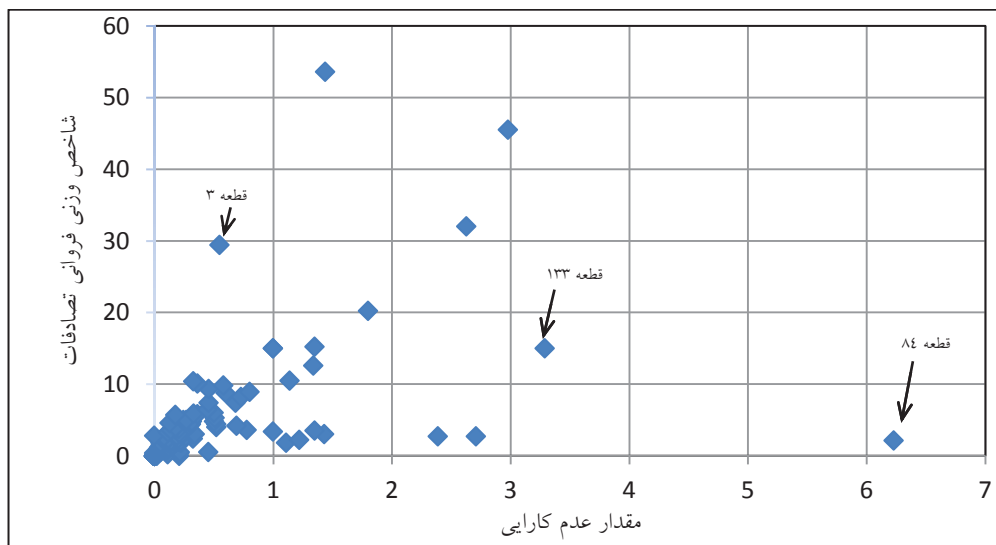
۵. نتیجه گیری

کمی کردن عوامل کیفی با استفاده از مدل سازی از جمله روشهای مورد استفاده در تصمیم گیری مدیریتی است. نتایج مناسب به دست آمده از این روشها در امور برنامه ریزی، باعث گرایش بیشتر به استفاده از آنها شده است. بر این اساس، در این مقاله روش جدیدی برای وارد کردن مشخصات محیطی، ترافیکی و هندسی راه به منظور شناسایی قطعات حادثه خیز ارائه شد، به گونه ای که راه به واحدها یا قطعات با مشخصات فیزیکی همگن قطعه بندی شده و در نتیجه تصمیم گیری در مورد وضعیت ایمنی بر روی واحدها با خصوصیات مشخص انجام می شود. این روش تصادفها را با توجه به اندرکنش مولفه های منجر به آن در نظر می گیرد. همچنین به جای نقاط، طولی از مسیر را با مشخصات معلوم معرفی می کند که می تواند بهسازی در این بازه مشخص انجام شود.

مقایسه قطعات راه با استفاده از برنامه ریزی خطی در چهارچوب تحلیل پوششی داده ها روشی را فراهم می کند که می تواند در اولویت بندی قطعات راه، تقاطعها، میدین و یا کل مسیرهای حوزه یک سازمان ایمنی راه به لحاظ ایمنی جاده ای دیگر به کار رود. در پژوهش حاضر ناکارایی نسبی ۱۵۴ قطعه راه به دست آمد که به لحاظ تعریف شاخصهای ورودی و خروجی بر مبنای

همزمان دارای شاخص وزنی کمتر از ۳۰ و مقدار عدم کارایی کمتر از یک هستند. اگر چه شماری از قطعات در هر دو روش به عنوان قطعه حادثه خیز طبقه بندی می شود اما قطعه ای مانند قطعه شماره ۳ با وجود بالا بودن شاخص وزن دار تصادف، عدم کارایی پایینی دارد که نشان می دهد در مقایسه با سایر قطعات عملکرد مناسبی با توجه به مشخصات آن داشته است. بالعکس در قطعاتی مانند ۸۴ و ۱۳۳ که دارای شاخص وزنی تصادف پایین و عدم کارایی بالا هستند، عملکرد نسبی آنها با توجه به مشخصاتشان مناسب نیست و انتظار تعداد و شدت تصادفهای پایین تری از آنها بوده است. در روش قبل نقطه ای مانند قطعه ۳ ممکن است ایمن سازی شود و مجدداً در سالهای بعد نیز به عنوان نقطه حادثه خیز معرفی شود و نقطه ای مانند قطعه ۸۴ هیچگاه به عنوان نقطه حادثه خیز معرفی نشود، در حالی که باروش پیشنهادی این نقطه مورد توجه قرار می گیرد و ممکن است با صرف هزینه کوچکی مقدار تصادف کاملاً حذف شود.

ارزیابی و قابلیت اعتماد این روش در شناسایی محل های حادثه خیز می تواند با ارزیابی اقتصادی مزایای نقاط بهسازی شده توسط این روش با روش دیگر بررسی شود. استفاده از این روش در ارزیابی ایمنی راهها در ترکیب با دیگر روش ها می تواند تحلیل های مناسب تری ارائه کند.



شکل ۳. مقادیر عدم کارایی قطعات به روش AP در مقابل شاخص وزنی فراوانی تصادف.

شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز راه با رویکرد قطعه‌بندی مسیر ...

جدول ۱. اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز با استفاده از روش (AP) و مقادیر خروجی و ورودی

شماره قطعه	محور	کیلومتر از ابتدا	کیلومتر از انتها	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	Y ₁	میزان عدم کارآیی	رتبه
۱	کلات	۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۲۰۸	۰/۴۲۷	۳/۸	۷/۳	۸۰	۰/۰۰۳	۰/۱۰۱	۴	۰/۰۰۹	۰/۹۹۸	۱۵۰۰	۳۲	۲/۶۳	۵
۲	کلات	۱۰۰۰	۴۴۰۰	۳۴۰۰	۰/۳۲۵	۰/۲۹۱	۳/۶	۷/۳	۸۰	۰/۰۰۹	۰/۸۳۵	۶/۲۹	۰/۰۰۹	۰/۹۹۷	۱۵۰۰	۱/۴۴		۸
۴	کلات	۶۰۰	۶۹۰۰	۹۰۰	۰/۱۴۵	۰/۱۸۵	۳/۶	۷/۳	۸۰	۰	۰	۷/۵	۰/۰۰۹	۰/۹۹۴	۱۵۰۰	۲/۷	۲/۳۹	۶
۶	کلات	۷۹۰۰	۱۲۹۰۰	۵۰۰۰	۰/۳۷۴	۰/۲۹۶	۳/۶	۷/۰	۸۰	۰/۰۰۴	۰/۲۰۱	۵/۱	۰/۰۰۹	۰/۹۹۲	۱۵۰۰	۴۵/۵	۲/۹۸	۳
۹	کلات	۱۴۰۹۱/۱۶	۱۳۴۰۰	۶۹۱/۱۶	۰/۲۱۱	۰/۶۳۶	۳/۶	۷/۳	۸۰	۰	۰/۷۸۶	۴/۵۹	۰/۰۱۱	۰/۹۸۸	۱۵۰۰	۲۰/۲۲	۱/۸	۷
۱۳	کلات	۱۸۸۰۰	۱۹۸۰۰	۱۰۰۰	۰/۲۷۱	۰/۷۰۸	۳/۸	۷/۰	۸۰	۰/۰۰۱	۰	۶	۰/۰۱۱	۰/۹۸۵	۱۵۰۰	۳/۴	۱/۰	۱۵
۲۱	کلات	۲۵۳۰۰	۲۵۸۰۰	۵۰۰	۰/۳۴۹	۰/۵۶۹	۳/۴	۷/۳	۶۰	۰	۱	۶	۰/۰۱۸	۰/۹۸۰	۱۵۰۰	۱۰/۵	۱/۱۴	۱۳
۲۳	کلات	۲۶۳۰۰	۲۷۳۰۰	۱۰۰۰	۰/۰۹۶	۰/۹۰۳	۳/۶	۷/۳	۸۰	۰	۰	۶	۰/۰۱۸	۰/۹۷۹	۱۵۰۰	۲/۲	۱/۲۲	۱۲
۴۲	کلات	۴۳۷۰۰	۴۳۷۰۰	۵۰۰	۰/۴۷۹	۰/۴۷۶	۳/۲	۶/۸	۹۵	۰/۰۰۲	۰	۶	۰/۰۲۸	۰/۹۶۳	۱۵۰۰	۳/۵	۱/۳۵	۱۰
۶۶	کلات	۷۰۰۰۰	۷۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۰	۰/۰	۳/۱	۷/۳	۸۰	۰/۰۰۵	۰/۴	۷	۰/۰۲۸	۰/۹۲۹	۱۵۰۰	۳/۰	۱/۴۳	۹
۸۴	کلات	۸۵۴۰۰	۸۶۳۳۷/۰۲	۹۳۷/۰۲	۰/۰	۰/۰	۳/۶	۱۲/۰	۴۰	۰	۰/۲	۶/۵	۰/۰۱۱	۰/۹۰۲	۱۵۰۰	۲/۱۴	۶/۲۳	۱
۱۳۰	فریمان	۴۰۰	۱۴۰۰	۱۰۰۰	۰/۳۸۸	۰/۳۴۵	۳/۰	۱۶/۵	۵۰	۰/۰۰۳	۰/۷۵	۵	۰/۰۰۱	۰/۹۹۳	۱۱۸۲۱	۱۲/۶	۱/۳۴	۱۱
۱۳۲	فریمان	۱۴۰۰	۱۸۰۰	۴۰۰	۰	۱	۴/۰	۹/۷	۹۵	۰/۰۲۵	۰/۵	۶	۰/۰۰۱	۰/۹۹۳	۱۱۸۲۱	۱۵/۰	۱/۰	۱۵
۱۳۳	فریمان	۱۸۰۰	۲۴۰۰	۶۰۰	۰	۱	۴/۰	۹/۷	۹۵	۰/۰۱۵	۰/۶۷	۶	۰/۰۰۱	۰/۹۹۳	۱۱۸۲۱	۱۵	۳/۲۹	۲
۱۴۱	فریمان	۸۹۰۰	۹۹۰۰	۱۰۰۰	۰	۱	۴/۲	۹/۷	۹۵	۰	۰/۵	۶	۰/۰۰۱	۰/۹۸۴	۱۱۸۲۱	۲/۷	۲/۷۱	۴
۱۴۴	فریمان	۱۱۴۰۰	۱۲۴۰۰	۱۰۰۰	۰	۱	۴/۶	۹/۷	۸۰	۰/۰۰۲	۰/۵	۴/۵	۰/۰۰۱	۰/۹۸۰	۱۱۸۲۱	۱۵/۲	۱/۳۵	۱۰
۱۴۵	فریمان	۱۲۴۰۰	۱۳۴۰۰	۱۰۰۰	۰	۱	۴/۲	۹/۷	۸۰	۰/۰۰۲	۰/۵	۱۰	۰/۰۰۱	۰/۹۷۹	۱۱۸۲۱	۱۵/۰	۱/۰	۱۵
۱۴۶	فریمان	۱۳۴۰۰	۱۴۰۰۰	۶۰۰	۰	۱	۴/۶	۹/۷	۸۰	۰	۱	۱	۰/۰۰۱	۰/۹۷۸	۱۱۸۲۱	۱/۸	۱/۱۱	۱۴

تلفیق این روش با روشهای دیگر برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز و رفع مشکل نحوه تخصیص منابع به هر یک از عوامل ایمنی مسیر با استفاده از این روش به منظور بحث و بررسی بیشتر پیشنهاد می‌شود.

۶. پی‌نوشتها:

- 1- Data Envelopment Analysis
- 2- Accident Prone
- 3- Decision Making Unit
- 4- Average Annual Daily Traffic
- 5- Curvature Change Rate
- 6- Trend lines
- 7- Present Serviceability Rating
- 8- Curvature Ratio

روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اولویت‌بندی قطعات راه، تجربه جدیدی به شمار می‌آید. در این مطالعه موردی نشان داده شده است که با روش موجود شماری از قطعات با وجود کارآیی نامناسب مورد غفلت واقع می‌شوند در حالی که با صرف هزینه کوچک می‌توان دست-آوردهای مناسب‌تری به دست آورد. در نتیجه این روش امتیازهایی (ناکارایی) را به دست می‌دهد که اجازه می‌دهد قطعات راه به طور مناسبی رتبه‌بندی و اولویت‌بندی شوند.

نظرات تصمیم‌گیران و کارشناسان درباره اهمیت نسبی معیارها را برای دستیابی به نتایج واقعی‌تر می‌توان با اضافه کردن محدودیتهای دیگر به مدل برنامه‌ریزی خطی DEA اعمال کرد.

یزدانی، حسام (۱۳۸۹) "بررسی روشهای شناسایی و اولویت‌بندی نقاط تصادف‌خیز و کارآیی آنها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

AASHTO, (1996). "Roadside Design Guide". Washington, DC.

Abdel-Aty, M. A. and Radwan, A. E. (2000) "Modeling traffic accident occurrence and involvement", *Journal of Accident Analysis and Prevention* 32, pp. 633-642.

Anastasopoulos, P. C., Tarko, A. P. and Mannering, F. L. (2008) "Tobit analysis of vehicle accident rates on interstate highways", *Journal of Accident Analysis and Prevention*, 40, pp. 768-775.

Anderson, P. and Petersen, N.C. (1993) "A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis", *Journal of Management Science*, 39(10), pp. 1261-1264.

Anderson, I. B., Bauer, K. M., Harwood, D. W. and Fitzpatrick, K. (1999) "Relationship to safety of geometric design consistency measures for rural two-lane highways", *Journal of Transportation Research Record* 1658, Washington D.C., pp. 43-51.

Bared, J. and Vogt, A. (1998) "Accident models for two-lane rural segments and intersections". *Journal of Transportation Research Record* 1635, pp.18-29.

Cafiso, S., La Cava, G., Montella, A., Pappalardo, G., (2006) "A procedure to improve safety inspections effectiveness and reliability on rural two-lane highways", *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 1 (3), pp. 143-150.

Cafiso, S., La Cava, G., Montella, A. and Pappalardo, G. (2008a) "Operative procedures for safety inspections on two-lane rural roads" In: ARACNE, Rome, Italy.

Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G. and La Cava, G. (2008b) "Safety performance indicators for local rural roads: a comprehensive procedure from low-cost data survey to accident prediction model".

9- Tangent Ratio
10- Roadside Hazard

۷. مراجع

آیتی، اسماعیل (۱۳۷۱) "تصادفات جاده‌ای ایران (تجزیه و تحلیل، مقایسه و محاسبه هزینه)", ایران: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۱۲۶.

رصافی، امیرعباس، امینی، بهنام و مومنی، فرشته (۱۳۸۸) "شناسایی نقاط حادثه‌خیز راههای درون شهری، مطالعه موردی شهر قزوین"، نهمین کنفرانس حمل و نقل و ترافیک ایران، اردیبهشت ۱۳۸۸، تهران، ایران.

سازمان پزشکی قانونی کشور (۱۳۸۹). website: http://lmo.ir/uploads/1_72_tas8908/20koli.pdf

مرکز آمار ایران، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی (۱۳۸۵) website: <http://www.amar.org.ir/nofos1385/d-fault.aspx?tabid=1887>

محبعلی زاده، هادی و فائز، فرهاد (۱۳۸۸) "رویکردی چند هدفه برای ارزیابی تامین‌کنندگان با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های چندمعیاره"، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۳، شماره ۱، ص. ۸۲-۶۷.

مومنی، فرشته (۱۳۸۷) "شناسایی نقاط حادثه‌خیز راههای درون شهری (مطالعه موردی شهر قزوین)", پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده فنی مهندسی.

مهرگان، محمد رضا (۱۳۸۷) "مدلهای کمی در ارزیابی عملکرد سازمانها". چاپ دوم، ایران: انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

- analysis", *Transportation Research Record* 1897, pp. 34-42.
- Geurts, K., Wets, G., Brijs, T., Vanhoof, K. and Karlis, D. (2006) "Ranking and selecting dangerous crash locations: Correcting for the number of passengers and Bayesian ranking plots", *Journal of Safety Research* 37, pp. 83 – 91.
- Hassan, Y., Sayed, T. and Taberner, V. (2001) "Establishing a practical approach for design consistency evaluation", *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 127 (4), pp. 295-302.
- Hauer, E. and Persaud, B.N. (1984) "Problem of identifying hazardous locations using accident data", *Journal of Transportation Research Record* 975, pp. 36-43.
- Hauer, E., Allery, B. K., Kononov, J. and Griffith, M. S. (2002) "Screening the road network for sites with promise", *Journal of Transportation Research Record* 1784, TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 27-32.
- Hauer, E., Kononov, J., Allery, B.K. and Griffith, M. S. (2004) "Screening the road network for sites with promise", *Transportation Research Record*, 1784, pp. 27-32.
- Hermans, E., Brijs, T., Wets, G. and Vanhoof, K. (2009) "Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis", *Journal of Accident Analysis and Prevention* 41, pp. 174-182.
- Heydecker, B. G. and Wu, J. (2001) "Identification of sites for accident remedial work by Bayesian statistical methods: an example of uncertain inference", *Journal of Advances in Engineering Software*, 32, pp.859-869.
- Huang, Y. H. (2004) "Pavement analysis and design", Second Edition, USA: Pearson Prentice Hall
- Jahanshahloo, G. R., Hosseinzadeh Lotfi, F., Khanmohammadi, M., Kazemimaneh, M. and Rezaei, V. (2010) "Ranking of units by positive ideal DMU with common weights", *Expert Systems with Applications*, 37, pp. 7483-7488.
- TRB 87th Annual Meeting Compendium of Papers, CD-ROM, TRB. National Research Council, Washington, DC.
- Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G. and Persaud, B. (2010) "Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables", *Journal of Accident Analysis and Prevention* 42, pp. 1072-1079.
- Cheng, W. and Washington, S. (2005) "Experimental evaluation of hotspot identification methods", *Journal of Accident Analysis and Prevention* 37, pp. 870-881.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978) "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research* 2 (6), pp. 429-444.
- Elvik, R. (2007) "State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks", Report 883. Institute of Transport Economics, Oslo.
- Elvik, R. (2008) "A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries", *Journal of Accident Analysis and Prevention* 40, pp. 1830-1835.
- Farrell, M.J. (1957), "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General* 120 (3), pp. 253-281.
- Federal Highway Administration (2000) "Alternative design consistency rating methods for two-lane rural highways", Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Publication NO. 99-172.
- Flak, M. A. and Barbaresso, J. C. (1982) "Use of computerized roadway information system in safety analyses". *Transport. Res. Record* 844, pp.50-55.
- Geurts, K. and Wets, G. (2003) "Black spot analysis methods: Literature review, Diepenbeek, Belgium" Flemish Research Center for Traffic Safety.
- Geurts, K., Wets, G., Brijs, T. and Vanhoof, K. (2004) "Identification and ranking of black spots: sensitivity

- Persaud, B. N., Lyon, C. and Nguyen, T. (1999) "Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for safety improvement", *Journal of Transportation Research Record*, 1665, pp. 7–12.
- Samuel, C., Keren, N., Shelley, M. C. and Freeman, S. A. (2009) "Frequency analysis of hazardous material transportation incidents as a function of distance from origin to incident location", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, pp. 783–790.
- Sayed, T., Abdelwahab, W. and Navin, F. (1995) "Identifying accident-prone locations using fuzzy pattern recognition", *Journal of Transportation Engineering (ASCE)*, 121 (4), pp.352–358.
- Sowalti, T., Paradi, J. C. and Suld, C. (2005) "Information systems project prioritization using data envelopment analysis", *Journal of Mathematical and Computer Modeling* 41, pp. 1279-1298.
- Tunaru, R., (2002) "Hierarchical Bayesian models for multiple count data", *Austrian Journal of Statistics* 31, No.2 &3, pp. 221–229.
- Zhang, C. and Ivan, J. N. (2005) "Effects of geometric characteristics on head-on crash incidence on two-lane roads in Connecticut", *Journal of Transportation Research Record*, 1908, pp.159–164.
- Lamm, R., Choueiri, E.M. and Mailaender, T. (1991) "Side friction demand versus side friction assumed for curve design on two-lane rural highways", *Journal of Transportation Research Record*, 1303, Transportation Research Board, Washington D. C., pp. 11-21.
- Montella, A. (2005) "Safety reviews of existing roads: quantitative safety assessment methodology", *Journal of Transportation Research Record*, 1922. TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 62–72.
- Montella, A. (2010) "A comparative analysis of hot-spot identification methods", *Journal of Accident Analysis and Prevention* 42, pp. 571–581.
- Miaou, S.P. and Song, J. J. (2005) "Bayesian ranking of sites for engineering safety improvement: decision parameter, treatability concept, statistical criterion and spatial dependence", *Accident Analysis and Prevention* 37, pp.699–720.
- Miranda-Moreno, L.F., Fu, L., Saccomanno, F., Labbe, A., (2005) "Alternative risk models for ranking locations for safety improvement", *Journal of Transportation Research Record* 1908, pp.1–13.
- Nicholson, A. (1998) "Superelevation, side friction, and roadway consistency", *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 124 (5), pp. 411–418.
- Pardillo, J. M. and Llamas, R. (2003) "Relevant variables for crash rate prediction in Spain's two lane rural roads", *TRB 82nd Annual Meeting Compendium of Papers, CD-ROM*, TRB. National Research Council, Washington, DC.