

# شناسایی مکان‌های پرتصادف جاده‌ای با استفاده از روش تلفیقی

## تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله مراتبی (AHP/DEA)

شهریار افندی‌زاده، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
علی توکلی کاشانی\*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
یاسر تقی‌زاده، دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [alitavakoli@iust.ac.ir](mailto:alitavakoli@iust.ac.ir)

دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۷ - پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵

صفحه ۳۳-۴۵

### چکیده

شناسایی مکان‌های پرتصادف و ایمن‌سازی آنها، از موضوعات بسیار مهم در مباحث ایمنی ترافیک است. تاکنون روش‌های گوناگونی در رابطه با این موضوع به کار گرفته شده است. در این مقاله از روش تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله مراتبی (AHP/DEA) به عنوان یک روش جدید برای شناسایی مکان‌های پرتصادف بهره گرفته شده که تا به حال در این زمینه استفاده نشده است. ضعف روش AHP این است که نیاز به وزن‌دهی کارشناسی دارد و مهمترین ضعف روش DEA این است که قادر به اولویت‌بندی واحدهای کارا نیست. اما با ترکیب این دو روش و استفاده از روش AHP/DEA در این مقاله، کاستی‌های هر دو روش مرتفع شده است. متدولوژی این مطالعه بر روی داده‌های ۵۱ قطعه راه دوخطه دوطرفه برون‌شهری پیاده‌سازی شده است. نتایج حاصل از این بررسی با نتایج سایر روش‌های شناسایی مکان‌های پرتصادف، به ویژه روش DEA که قبلاً به کار گرفته شده است، مقایسه شد. این مقایسه علاوه بر تایید صحت نتایج حاصل از متدولوژی این مطالعه، قدرت روش AHP/DEA در شناسایی مکان‌های پرتصادف را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی ترافیک، شناسایی مکان‌های پرتصادف، روش AHP/DEA، روش DEA

### ۱- مقدمه

تعداد تصادفات مورد انتظار در آن نسبت به مکان‌های مشابه در نتیجه فاکتورهای ریسک محلی، بیشتر باشد یک مکان پرتصادف است [Elvik, 2008]. روش‌های مختلفی برای شناسایی مکان‌های پرتصادف در شبکه پیشنهاد شده که معمولاً شامل دو فاز اصلی است. در فاز اول یک شاخص برای تعیین سطح ایمنی محل محاسبه می‌شود، سپس در فاز دوم این شاخص با یک حد آستانه مقایسه می‌شود [Van Raemdonck

شناسایی مکان‌های پرتصادف، مهمترین و اولین گام در فرآیند مدیریت ایمنی راه محسوب می‌شود. تاکنون تعریف دقیق و جامعی برای مکان‌های پرتصادف ارائه نشده و در مطالعات مختلف به دلیل استفاده از روش‌ها و دیدگاه‌های گوناگون تعاریف متفاوتی ارائه شده است [GEURTS and WETS, 2003]. در این بین، تعریف ارائه شده توسط الویک بیشتر مورد تایید سایر مطالعات بوده که بر مبنای این تعریف، هر مکانی که

and Macharis, 2013]. این روش‌ها یک بازه وسیع از روش‌های ساده تا روش‌های پیچیده را شامل می‌شوند که معمولاً با پیچیده‌تر شدن روش اطلاعات مورد نیاز آن نیز بیشتر خواهد بود.

روش‌های نقطه‌گذاری روی نقشه، فراوانی تصادف، نرخ تصادف، نرخ بحرانی تصادفات، هم‌سنگ خسارت مالی (EPDO)، مدل‌های پیش‌بینی تصادفات و روش تجربی بی‌زین از جمله روش‌های معمول در این زمینه می‌باشند [Association, 2003].

در روش نقطه‌گذاری روی نقشه، مکان‌های پرتصادف با استفاده از علامت‌گذاری روی نقشه مشخص می‌شوند. در این روش تراکم علائم در مکان‌های پرتصادف که تعداد تصادفات در آنها زیاد است، بیشتر است [Pawlovic, h 2002]. در روش فراوانی تصادف، نقاط براساس تعداد تصادفات به صورت نزولی مرتب شده و نقاطی که تعداد تصادفات آنها از آستانه تعیین شده بیشتر است به عنوان مکان‌های پرتصادف تلقی می‌شوند [Vistisen, Thyregod and Laursen, 2002]. روش نرخ تصادف از نسبت تعداد تصادف به حجم ترافیک عبوری به عنوان معیار شناسایی و مرتب کردن مکان‌ها بهره می‌برد [McGuigan, 1981]. در روش نرخ بحرانی، آستانه نرخ تصادف هر مکان با در نظر گرفتن یک بازه اطمینان محاسبه می‌شود و در صورتی که نرخ تصادفات در این مکان از آستانه تعیین شده یا همان نرخ بحرانی بیشتر باشد، به عنوان مکان پرتصادف شناخته می‌شود [Vistisen, Thyregod and Laursen, 2002]. روش EPDO تصادفات را براساس شدت آنها (خسارتی، جرحی و فوتی) وزن‌دهی کرده و یک فراوانی ترکیبی و معیار شدت برای هر نقطه ایجاد می‌کند [Agent, 1973]. مدل‌های پیش‌بینی تصادفات نیازمند یک تابع ریاضی هستند که تعداد تصادفات را بر اساس متغیرهای مستقل، پیش‌بینی می‌کنند. در این مدل‌ها می‌توان متغیرهای ترافیکی نظیر حجم و سرعت و متغیرهای هندسی راه نظیر عرض و شیب مسیر را وارد نمود [Hauer, 1997]. در روش تجربی بی‌زین، برای هر مکان، فراوانی تصادف تعدیل یافته بر اساس سایر مکان‌های مشابه یا همان جامعه مرجع محاسبه می‌شود. این روش علاوه بر منظور کردن ماهیت تصادفی تصادفات، انحراف در نتایج فراوانی تصادفات را

کاهش می‌دهد [Persaud, Lyon and Nguyen, 1999]. همچنین در مطالعات بسیار زیادی به مقایسه نتایج انواع روش‌های شناسایی مکان‌های پرتصادف برای داده‌های واقعی پرداخته شده است [Cheng and Washington, 2005]. [Montella, 2010] و [Miranda-Moreno, et al, 2005]. در یکی از جدیدترین این مطالعات رامدانک و همکاران با استفاده از سه روش چگالی تصادفات، نرخ بحرانی و روش تجربی بی‌زین به شناسایی مکان‌های پرتصادف در یکی از آزادراه‌های بلژیک پرداخته‌اند [Van Raemdonck and Macharis, 2013].

در مطالعات داخلی، رصافی و مومنی در مطالعه خود از روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی برای شناسایی مکان‌های پرتصادف از بین ۵۵ تقاطع و میدان در شهر قزوین استفاده نموده‌اند. در این مطالعه نقاط مورد بررسی به دو دسته کارا و غیر کارا تقسیم شده‌اند که نقاط کارا همان مکان‌های پرتصادف هستند. ورودی‌های مدل DEA در این مطالعه سرعت، حجم ترافیک و معکوس عرض معابر است و خروجی مدل تعداد تصادفات هم ارز خسارتی است [Rasaf and Momeni 2012]. آیتی و صادقی در مطالعه‌ای از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای شناسایی و اولویت بندی قطعات حادثه خیز راه استفاده نمودند. در مطالعه مذکور روش DEA بر روی ۱۵۴ قطعه از راه‌های استان خراسان پیاده سازی شده است. ورودی‌های مدل DEA در این مطالعه، حجم ترافیک، سرعت، نسبت انحنای، نسبت مسیر مستقیم، خطر کناره راه، چگالی دسترسی‌ها است و خروجی مدل تعداد تصادفات هم‌ارز خسارتی است [Sadeghi and et al 2011]. در مطالعات خارجی نیز، هرمن از روش DEA برای رده‌بندی و مقایسه سطح ایمنی کشورها (شامل ۲۱ کشور اروپایی) استفاده نموده است [Hermans, et al, 2009].

در مطالعاتی که تاکنون در زمینه شناسایی مکان‌های پرتصادف به آنها اشاره شد، حتی در مطالعاتی که از روش DEA استفاده شده است، یک رده‌بندی کامل برای تمامی مکان‌ها ارائه نشده است. به طور کلی مدل DEA به تنهایی نمی‌تواند واحدهای کارا را اولویت‌بندی کند، زیرا نسبت کارایی برای تمام آنها عدد ۱ است. در این مقاله رویکرد جدیدی برای

شناسایی مکان‌های پرتصادف بر مبنای روش AHP/DEA ارائه می‌شود که کاستی‌های روش DEA را پوشش می‌دهد و مکان‌های پرتصادف را به‌طور کامل شناسایی و رده‌بندی می‌کند. تا به حال از این روش در مطالعات مربوط به شناسایی مکان‌های پرتصادف استفاده نشده و لذا در این مقاله برای اولین بار در این زمینه به کار گرفته شده است. همچنین به منظور پیاده‌سازی روش مذکور، برنامه‌ای در محیط نرم افزار GAMS تهیه شده است. ویژگی این برنامه این است که قابلیت حذف و اضافه کردن تعداد مکان‌های مورد بررسی و همچنین تغییر شاخص‌های ورودی و خروجی به سادگی امکان‌پذیر است. لذا این برنامه برای تمامی سازمان‌های مرتبط با ایمنی و تصادفات کشور در جهت شناسایی مکان‌های پرتصادف قابل استفاده است. در محتوای این مقاله، ابتدا مفاهیم نظری دو روش DEA و AHP/DEA در بخش دوم ارائه می‌شود. در بخش سوم به ارائه متدولوژی این مقاله و مراحل آن پرداخته می‌شود، در بخش چهارم نتایج هر دو روش DEA و AHP/DEA برای ۵۱ قطعه از راه‌های دوخطه برون‌شهری ارائه و مقایسه می‌شود. بخش پنجم نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

## ۲- مبانی روش‌های DEA و AHP/DEA

ترکیب دو تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و استفاده از نقاط قوت آن‌ها، روشی را ایجاد می‌نماید که در عین کارآمد بودن، کاستی‌های این دو تکنیک را مرتفع می‌نماید. این روش، AHP/DEA نامیده می‌شود که روش مورد نظر در این مطالعه به منظور شناسایی و اولویت‌بندی مکان‌های پرتصادف می‌باشد. روش تلفیقی AHP/DEA در دو لایه جداگانه از هر دو روش DEA و AHP استفاده می‌نماید، که نقش اصلی را روش DEA در لایه اول ایفا می‌کند. به همین دلیل ابتدا مبانی نظری روش DEA ارائه می‌شود و سپس به بیان مبانی روش AHP/DEA پرداخته می‌شود.

### ۲-۱- تحلیل پوششی داده‌ها

روش تحلیل پوششی داده‌ها در دسته

روش‌های ناپارامتری<sup>۱</sup> قرار می‌گیرد. پایه‌گذار این روش در ارزیابی عملکرد و محاسبه بهره‌وری واحدهای تصمیم‌گیرنده، اقتصاددانی به نام فارل است [Farrell, 1957]. در سال ۱۹۷۸، چارلز، کوپر و رودز، با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی روش ناپارامتری فارل را برای سیستمی با ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه تعمیم دادند و از آن زمان عنوان تحلیل پوششی داده‌ها به مجموعه مدل‌های توسعه یافته برنامه‌ریزی ریاضی در این زمینه داده شد. مدل چارلز، کوپر و رودز که در آن بازده به مقیاس، ثابت فرض می‌شود، به نام CCR معروف شد که از حرف اول نام این سه محقق نامگذاری شده است [Charnes, Cooper, and Rhodes, 1978]. از این روش برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری که وظایف یکسانی انجام می‌دهند مانند ادارات دولتی، مدارس، بیمارستان‌ها، فروشگاه‌های زنجیره‌ای و شعب بانک‌ها استفاده شده است. به دلیل استفاده از فرضیات محدود در روش تحلیل پوششی داده‌ها، این روش توانسته است در بسیاری از حوزه‌ها کاربردهای متعددی داشته باشد [Charnes, 1994].

مهمترین گام در به‌کارگیری روش DEA، تعریف ورودی‌ها و خروجی‌ها برای واحدهای تصمیم‌گیری است. ورودی‌های از جنس منابع و عرضه هستند و خروجی‌ها از جنس تولید و تقاضا می‌باشند. لذا هر واحد تصمیم‌گیرنده که بتواند با صرف ورودی کمتر، خروجی بیشتری را نتیجه دهد، کارایی بیشتری دارد. مفهوم دیگری که در روش DEA بسیار حائز اهمیت می‌باشد، "نسبت کارایی" است. به زبانی ساده نسبت خروجی به ورودی برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری میزان کارایی آن واحد را معین می‌نماید. در DEA کارایی نسبی واحدها مورد توجه قرار می‌گیرد و از اینرو واحد کارا واحدی است که نسبت خروجی به ورودی آن از نسبت خروجی به ورودی دیگر واحدها، کوچک‌تر نباشد. از دیدگاه کارایی، پس از اجرای مدل DEA، واحدهای تصمیم‌گیری به دو دسته کارا و ناکارا تقسیم خواهند شد. در واحدهای کارا نسبت کارایی برابر با عدد ۱ است (بازده ۱۰۰ درصد) و در واحدهای ناکارا این نسبت کمتر از ۱ خواهد بود [Habibinia, 2011] و [Charnes, 1994]. به طور کلی مدل‌های DEA و پیاده‌سازی آنها به دو شکل ورودی محور و خروجی محور انجام می‌شود که ریشه

می‌توان ورودی‌ها یا خروجی‌های مساله را تغییر داد و نتایج را به روز نمود. در این روش نیازی به استفاده از نظرات کارشناسی و اعمال نظرات شخصی در وزن‌دهی نمی‌باشد. مهمترین ضعف روش DEA این است که الویت و رتبه واحدهای کارا مشخص نمی‌شود، زیرا میزان کارایی تمامی آنها برابر با یک است. همچنین اضافه کردن یک واحد جدید به مجموعه واحدهای قبلی، موجب تغییر در امتیاز کارایی تمامی واحدها می‌گردد. این معایب با به کارگیری روش AHP/DEA که روش هدف در این مقاله است، پوشش داده می‌شود [Habibinia, 2011] و [Charnes, 1994].

## ۲-۲- روش AHP/DEA

همانطور که اشاره شد، مدل‌های DEA، از مرتب نمودن و رده‌بندی واحدهای کارا عاجزند و از طرفی در روش AHP نیاز به وزن‌دهی کارشناسی و قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرندگان است. اما با تلفیق این دو روش و استفاده از روش AHP/DEA، می‌توان نواقص این دو روش را مرتفع نمود. در مطالعات گوناگون، تکنیک‌های مختلفی برای پیاده‌سازی روش AHP/DEA معرفی شده که یکی از معروفترین آنها روش سینوانی استرن و همکاران است که در این مقاله نیز از همین روش استفاده شده است [Sinuany, Mehrez and Hadad, 2000]. پیاده‌سازی روش سینوانی استرن در این مقاله در دو لایه انجام شده است. در لایه اول با به کارگیری مدل‌های چهارگانه DEA برای هر زوج از مکان‌های پرتصادف، ماتریس مقایسات زوجی تشکیل می‌شود. این ماتریس ورودی لایه دوم خواهد بود که در آن با استفاده از روش AHP، مکان‌های پرتصادف رده‌بندی می‌شوند.

هر یک از عناصر ماتریس مقایسات زوجی در لایه اول ( $a_{AB}$ )، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود [Sinuany, Mehrez and Hadad, 2000] و [Habibinia, 2011]:

$$a_{AB} = \frac{E_{AA} + E_{AB}}{E_{BB} + E_{BA}} \quad (2)$$

حاصل از حل مدل‌های (۳) تا (۶) یا همان مدل‌های ۸گانه

در دو دیدگاه متفاوت برای رسیدن به مرز کارایی دارد. در دیدگاه ورودی محور، با کاهش ورودی‌ها و نگاه‌داشتن خروجی‌ها در یک سطح ثابت به سمت مرز کارایی حرکت می‌کنیم. اما در دیدگاه خروجی محور، خروجی‌ها افزایش می‌یابند و بدون تغییر در میزان ورودی‌ها، واحد به مرز کارایی می‌رسد. شکل (۱) این مفاهیم را به خوبی نشان می‌دهد. در این شکل، فرض بر این است که A یک واحد ناکاراست، A1 نسخه بهبودیافته این واحد با ماهیت ورودی محور و A2، نسخه بهبودیافته آن با ماهیت خروجی محور است [Habibinia, 2011]. در این مقاله، از مدل CCR با دیدگاه ورودی محور استفاده خواهد شد که صورت کلی آن در مجموعه روابط (۱) ارائه شده است.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rp} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{ip} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (1) \\ & u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \\ & v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

در این رابطه، n تعداد واحد تصمیم‌گیرنده (مکان‌های پرتصادف در این مقاله)، m تعداد ورودی‌ها و s تعداد خروجی‌ها است. همچنین  $DMU_p$  ورودی‌های  $x_{1p}, x_{2p}, \dots, x_{mp}$  را برای تولید خروجی‌های  $y_{1p}, y_{2p}, \dots, y_{sp}$  مصرف می‌کند، بعلاوه وزن خروجی‌ها به صورت  $u_1, u_2, \dots, u_s$  و وزن ورودی‌ها به صورت  $v_1, v_2, \dots, v_m$  است [Charnes, 1994].

به طور کلی استفاده از روش DEA مزایای بسیاری به همراه دارد. این روش به واحد اندازه‌گیری حساس نیست و لذا می‌توان شاخص‌هایی همچون حجم یا سرعت یا هزینه را با هر واحدی ارائه کرد. روش DEA بیش از سایر روش‌ها، قابلیت تعمیم‌پذیری و گسترش دارد. لذا در ارزیابی واحدها، به راحتی که در این رابطه،  $E_{AA}, E_{AB}, E_{BB}$  و  $E_{BA}$  نسبت کارایی

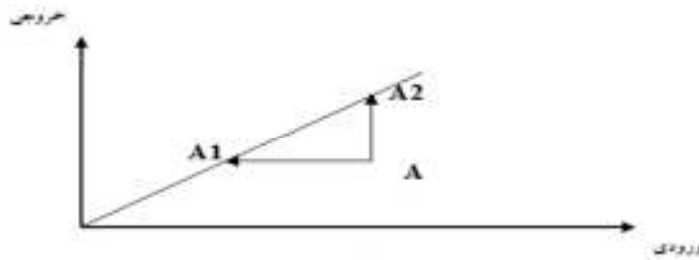
است [Sinuany, Mehrez and Hadad, 2000] و [Habibinia, 2011].

$$\begin{aligned}
 E_{AA} &= \max_{u_r, v_i} \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{iA} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} \leq 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} - \sum_{i=1}^m v_i x_{iB} = 0, \quad u_r, v_i \geq 0, \quad r=1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{۳}$$

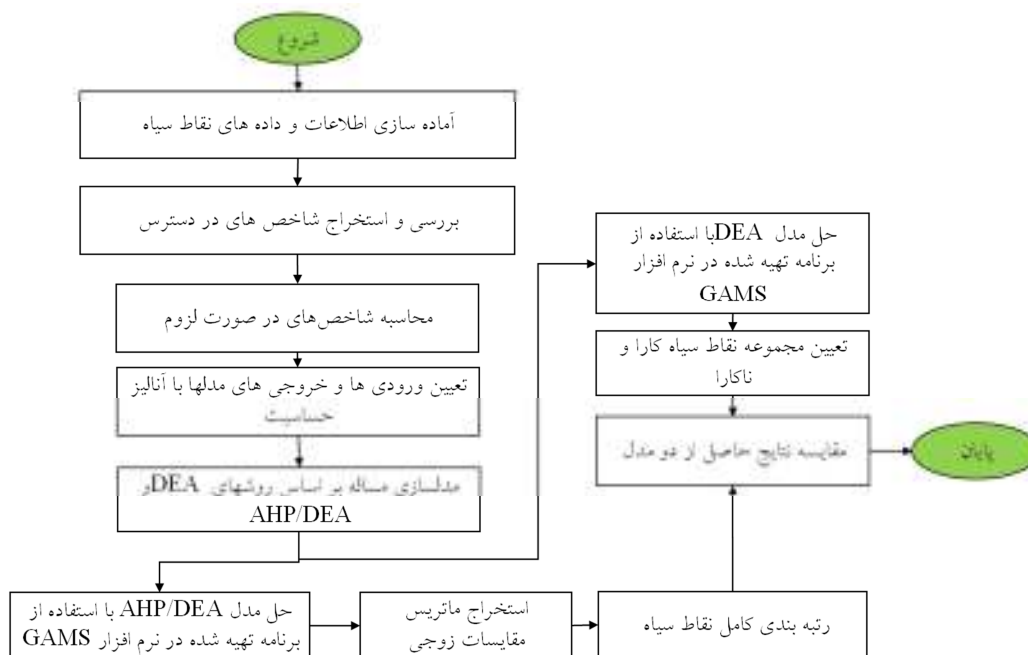
$$\begin{aligned}
 E_{AB} &= \max_{u_r, v_i} \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{iA} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} \leq 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} - E_{BB} \sum_{i=1}^m v_i x_{iB} = 0, \quad u_r, v_i \geq 0, \quad r=1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{۴}$$

$$\begin{aligned}
 E_{BB} &= \max_{u_r, v_i} \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{iB} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} \leq 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} - \sum_{i=1}^m v_i x_{iA} \leq 0, \quad u_r, v_i \geq 0, \quad r=1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{۵}$$

$$\begin{aligned}
 E_{BA} &= \max_{u_r, v_i} \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{iB} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} \leq 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} - E_{AA} \sum_{i=1}^m v_i x_{iA} = 0, \quad u_r, v_i \geq 0, \quad r=1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{۶}$$



شکل ۱. الگوهای ورودی و خروجی محور



شکل ۲. متدولوژی شناسایی و رده بندی مکان های پرتصادف

### ۳-۱- آماده سازی اطلاعات و تعیین ورودی ها و

#### خروجی های مدل

در این مقاله برای پیاده سازی مدل های DEA و AHP/DEA به منظور شناسایی و رده بندی مکان های پرتصادف از اطلاعات ۵۱ قطعه از راه های دوطرفه برون شهری با طول ۵۰۰ متر استفاده گردید (این اطلاعات از دستورالعمل PIARC استخراج شده است). برای هر مقطع، تعداد تصادفات به تفکیک فوتی، جرحی شدید، جرحی خفیف و خسارتی گزارش شده است. همچنین اطلاعات متوسط حجم ترافیک روزانه، شرایط سطح روسازی و هزینه تصادفات برای هر مقطع موجود بوده است. بر این اساس شاخص های ذیل به عنوان کاندید برای ورودی و خروجی مدل های DEA و AHP/DEA انتخاب شدند:

- شاخص ها از جنس ورودی: متوسط حجم ترافیک روزانه ( $x_1$ )، شرایط سطح روسازی ( $x_2$ )، هزینه تصادفات ( $x_3$ )
- شاخص ها از جنس خروجی: تعداد تصادفات ( $y_1$ ).

که در این مدل ها A و B یک زوج از مجموعه مکان های پرتصادف می باشند. این مدل ها باید برای تمامی زوج ها حل شود و سپس درایه  $a_{AB}$  در ماتریس مقایسات زوجی محاسبه گردد. پارامترهای ارائه شده در این روابط مشابه رابطه (۱) است. در لایه دوم و پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، حال می توان وزن هر واحد را با پیاده سازی روش AHP در یک سطح محاسبه نمود. با توجه به اینکه ماتریس مقایسات زوجی با یک روش کمی و بر پایه روش DEA و نه بر اساس وزندهی کارشناسی محاسبه شده، ماتریس تصمیم سازگار است. لذا به راحتی می توان رتبه نهایی هر واحد تصمیم گیری را محاسبه نمود.

### ۳- متدولوژی

مراحل متدولوژی این مقاله به منظور شناسایی و اولویت بندی مکان های پرتصادف، در شکل (۲) نمایش داده شده است. در ادامه، توضیحات تکمیلی در رابطه با این متدولوژی در قالب دو بخش اصلی بیان شده است.

مربوط به روش AHP/DEA، ماتریس مقایسات زوجی مکان‌های مورد بررسی است که هر درایه این ماتریس از حل مدل‌های چهارگانه و رابطه (۲) محاسبه شده است.

شاخص  $x_2$  در هر مقطع به صورت تعداد تصادفات در شرایط یخ زده، خیس و خشک موجود بود که به ترتیب با ضرایب وزنی ۰.۵، ۰.۳ و ۰.۲ در نظر گرفته شد. به عنوان مثال برای مقطعی که ۱ تصادف در شرایط یخ زده، ۲ تصادف در شرایط خیس و ۲ تصادف در شرایط خشک داشته باشد، شاخص  $x_1$  برابر با ۰.۳ خواهد بود. هر ترکیبی از شاخص‌های کاندید برای ورودی و خروجی را می‌توان در مدل استفاده نمود. برای تعیین بهترین ترکیب نیاز به انجام یک آنالیز حساسیت بر روی داده‌های مورد نظر می‌باشد که نتایج این آنالیز در بخش بعدی مقاله ارائه خواهد شد. در نهایت، هر سه شاخص  $x_1$ ،  $x_2$  و  $x_3$  به عنوان ورودی و برای خروجی شاخص  $y_2$  انتخاب شد.

#### ۴- نتایج مطالعه موردی

همانطور که اشاره شد برای پیاده‌سازی روش این مقاله و مقایسه با سایر روشها، از داده‌های ۵۱ قطعه از راه‌های دوطرفه برون‌شهری (استخراج شده از دستورالعمل PIARC) استفاده شد که نمونه‌ای از این داده‌ها برای ۱۰ قطعه اول در جدول (۱) نمایش داده شده است.

به منظور تعیین بهترین ترکیب از شاخص‌های ورودی و خروجی، ۶ سناریو به شرح ذیل در نظر گرفته شد:

سناریوی اول:  $x_1$ ،  $x_2$  و  $x_3$  در ورودی،  $y_1$  در خروجی - سناریوی دوم:  $x_1$  و  $x_2$  در ورودی،  $y_1$  در خروجی - سناریوی سوم:  $x_1$  و  $x_3$  در ورودی،  $y_1$  در خروجی - سناریوی چهارم:  $x_1$ ،  $x_2$  و  $x_3$  در ورودی،  $y_2$  در خروجی - سناریوی پنجم:  $x_1$  و  $x_2$  در ورودی،  $y_2$  در خروجی - سناریوی ششم:  $x_1$  و  $x_3$  در ورودی،  $y_2$  در خروجی سپس نتایج هر یک از این سناریوها با اجرای مدل DEA در نرم افزار GAMS بررسی گردید که نسبت کارایی تمامی مقاطع در هر سناریو استخراج گردید. این نتایج برای مقاطعی که نقش مهمی در انتخاب سناریوی برتر داشته‌اند در جدول (۲) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که مقاطع ۳۵ و ۴۶ و ۲۸ در سناریوهای اول و سوم به عنوان نقاط پرتصادف و بحرانی شناخته شده‌اند، اما در سناریوهای چهارم تا ششم نسبت کارایی بسیار پایینی داشته‌اند. زیرا در سناریوهای اول تا سوم از شاخص فراوانی تصادفات در خروجی استفاده شده و شدت تصادفات منظور نشده است. در مقاطع مذکور تمامی تصادفات از نوع خسارتی بوده‌اند و به همین دلیل در سناریوهای چهارم تا ششم در مقایسه با سایر مقاطع، بحرانی نیستند. بر این اساس شاخص  $Y_2$  یا تعداد تصادفات هم‌ارز خسارت مالی به عنوان خروجی انتخاب گردید. بنابراین سناریوهای اول تا سوم حذف شدند. در گام بعدی و با مشاهده نتایج برای تمامی مقاطع (۵۱ مقطع)، مشاهده شد که در

#### ۳-۲- مدل‌سازی مساله و حل آنها در نرم افزار GAMS

پیش از این مدل پایه DEA در مجموعه روابط (۱) و مدل‌های چهارگانه AHP/DEA در مجموعه روابط (۳) تا (۶) معرفی شد. مساله مورد نظر در این مطالعه با داشتن سه ورودی و یک خروجی در قالب همین مدل‌ها پیاده‌سازی شده و لذا از ذکر مجدد روابط پرهیز می‌شود. واحدهای تصمیم‌گیری در این مدل‌ها ۵۱ راه دوطرفه برون‌شهری است. نکته قابل توجه این است که ارزیابی وضعیت ۵۱ قطعه راه مورد نظر در این مقاله با روش DEA نیاز به حل ۵۱ مدل خطی و با روش AHP/DEA نیاز به اجرای حدوداً ۴۸۰۰ مدل خطی می‌باشد (حاصلضرب تعداد زوج‌های ممکن در عدد ۴). لذا امکان پیاده سازی این مدل‌ها به صورت دستی یا وارد نمودن مجزای آنها به نرم افزارهای بهینه‌سازی وجود ندارد. به همین دلیل به منظور عملیاتی شدن متدولوژی ارائه شده و برای پیاده‌سازی هر یک از روش‌های DEA و AHP-DEA یک برنامه جداگانه در نرم افزار GAMS تهیه شد. ورودی لازم برای هر دو برنامه، یک فایل اکسل است که اطلاعات و شاخص‌های مکان‌های پرتصادف در این فایل وارد می‌شود. خروجی هر دو برنامه نیز پس از اجرای آنها، در همین فایل نمایش داده می‌شود. خروجی برنامه DEA، تعیین کارایی نسبی مکان‌های مورد بررسی و تقسیم‌بندی آنها به دو گروه کارا و ناکارا است و خروجی برنامه

سناریوهای پنجم و ششم که تنها از دو ورودی استفاده شده، قدرت جداسازی واحدهای کارا و ناکارا در مدل بسیار پایین است. به عبارتی در این سناریوها تنها ۲ مقطع از بین ۵۱ مقطع، نسبت کارایی ۱ را به خود اختصاص دادند و به طور کلی نسبت کارایی در مقاطع طیف یکنواختی نداشت. لذا در نهایت، سناریوی چهارم به عنوان سناریوی برتر انتخاب شد.

• نتایج مدل DEA

با در نظر گرفتن سناریوی چهارم و استفاده از برنامه تهیه شده در نرم افزار GAMS، نتایج حل مدل DEA به ترتیب

نسبت کارایی برای تمامی مقاطع در جدول (۳) ارائه شده است. در این جدول، مقاطع ۱، ۱۰، ۳۳ و ۴۹ با نسبت کارایی ۱، در بالاترین اولویت قرار دارند و از این حیث باید در اولویت ایمن سازی قرار بگیرند. توجه شود که روش DEA نمی تواند بین این ۴ قطعه اولویت بندی کاملی ارائه کند و از این حیث هر ۴ قطعه در یک اولویت هستند؛ اما برای سایر مقاطع که نسبت کارایی آنها کمتر از ۱ است، اولویت ایمن سازی با قطعه ای است که نسبت کارایی بیشتری دارد.

جدول ۱. اطلاعات اولیه در مقاطع مورد نظر

شماره مقطع	تعداد کل تصادفات	فوتی	جرحی شدید	جرحی خفیف	خسارتی	همسنگ خسارتی	متوسط ترافیک روزانه	هزینه تصادفات (۱۰۰۰ دلار)	خشک	خیس	یخی
۱	۹	۱	۱	۳	۴	۳۳.۵	۶۰۵۰	۷۰۴	۵	۳	۱
۲	۱	۰	۰	۱	۰	۳.۵	۸۰۰	۶۸	۱	۰	۰
۳	۷	۰	۲	۰	۵	۲۴	۸۵۰۰	۴۴۰	۵	۲	۰
۴	۵	۰	۱	۱	۳	۱۶	۴۵۰۰	۳۵۰	۳	۲	۰
۵	۶	۰	۰	۰	۶	۶	۴۵۰۰	۵۰۰	۶	۰	۰
۶	۷	۰	۰	۱	۶	۹.۵	۶۸۰۰	۴۶۸	۱	۳	۲
۷	۲	۰	۰	۱	۱	۴.۵	۱۰۰۰	۱۱۹	۰	۱	۰
۸	۳	۰	۰	۱	۲	۵.۵	۲۲۰۰	۲۴۳	۱	۲	۰
۱۰	۱۴	۱	۰	۳	۱۰	۳۰	۵۴۰۰	۱۱۳۰	۱۰	۲	۰
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

جدول ۲. آنالیز حساسیت - نتایج اجرای سناریوها

شماره قطعه	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_1$	$y_2$	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	سناریوی پنجم	سناریوی ششم
۱۰	۵۴۰۰	۰.۲۲	۱۱۳۰	۱۴	۳۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۵۳۴۱
۲۸	۴۵۰۰	۰.۲	۴۰	۱	۱	۱	۰.۸۵۷	۱	۰.۳۲	۰.۰۳۸۹	۰.۳۲
۳۵	۱۷۰۰	۰.۳	۲۰۴	۴	۴	۱	۰.۹۰۷۶	۱	۰.۳۴۵۸	۰.۲۲۰۸	۰.۳۴۵۸
۴۶	۲۶۰۰	۰.۲۳	۱۶۷	۴	۴	۱	۰.۵۹۳۴	۱	۰.۳۳۷۶	۰.۲۱۱	۰.۳۳۷۶
۴۹	۵۴۰۰	۰.۲۴	۲۸۲	۵	۲۲	۰.۹۰۱۳	۰.۳۵۷۱	۰.۷۳۹۹	۱	۰.۷۱۲۶	۱



جدول ۳. نتایج حل مدل DEA

شماره قطعه	نسبت کارایی	شماره قطعه	نسبت کارایی	شماره قطعه	نسبت کارایی
S-01	۱	S-44	۰.۷۰۷۵	S-06	۰.۳۰۳۵
S-10	۱	S-07	۰.۶۶۵۶	S-36	۰.۲۸۷۸
S-33	۱	S-13	۰.۵۹۵۳	S-11	۰.۲۷۲۷
S-49	۱	S-20	۰.۵۸۸۱	S-37	۰.۲۶۳۳
S-03	۰.۹۶۳۱	S-41	۰.۵۴۸۶	S-50	۰.۲۶۲۱
S-23	۰.۹۶۲	S-40	۰.۵۰۵۹	S-18	۰.۲۶۱۳
S-45	۰.۹۲۳۹	S-48	۰.۴۸۲۴	S-26	۰.۲۶۱۳
S-52	۰.۹۰۵۶	S-47	۰.۴۷۱۶	S-43	۰.۲۵۳۷
S-27	۰.۸۷۵۵	S-55	۰.۴۲۵۷	S-53	۰.۲۵۲۶
S-17	۰.۸۶۲۱	S-25	۰.۴۰۸۵	S-39	۰.۲۴۸۹
S-12	۰.۸۴۱۲	S-08	۰.۳۸۹۹	S-05	۰.۲۴۵۸
S-15	۰.۸۱۵۴	S-30	۰.۳۸۶۹	S-24	۰.۲۲۰۳
S-02	۰.۸۰۹۶	S-54	۰.۳۷۷۳	S-38	۰.۲۱۶۷
S-29	۰.۷۵۲۷	S-35	۰.۳۴۵۸	S-32	۰.۱۹۶۸
S-04	۰.۷۳۳۴	S-46	۰.۳۳۷۶	S-22	۰.۱۷۳۲
S-21	۰.۷۲۶	S-51	۰.۳۲۳۷	S-42	۰.۱۶۵۵
S-16	۰.۷۱۹۴	S-28	۰.۳۲	S-14	۰.۱۶۰۲

جدول ۴. ماتریس مقایسات زوجی

...	۱۰	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
...	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۴	۱
...	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۴	۲
...	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۳
...	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۳	۴
...	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۵
...	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۶
...	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۷
...	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۸
...	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۴	۱۰
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

جدول ۵. نتایج حل مدل AHP/DEA، وزن نهایی نقاط

رتبه	شماره مقطع	وزن نهایی	رتبه	شماره مقطع	وزن نهایی	رتبه	شماره مقطع	وزن نهایی
۱	S-33	۲.۱۴۶۱	۱۸	S-16	۱.۱۵۴۵	۳۵	S-06	۰.۶۶۴۷
۲	S-01	۱.۸۷۴۵	۱۹	S-20	۱.۱۲۴۱	۳۶	S-11	۰.۶۶۴۳
۳	S-49	۱.۸۲۲۸	۲۰	S-44	۱.۱۱۰۹	۳۷	S-05	۰.۶۵۵۴
۴	S-23	۱.۷۸۷۷	۲۱	S-07	۱.۱۱۰۹	۳۸	S-51	۰.۶۳۹۱
۵	S-27	۱.۵۶۲۹	۲۲	S-40	۱.۰۸۴۷	۳۹	S-18	۰.۶۱۰۴
۶	S-15	۱.۵۶۱۶	۲۳	S-41	۱.۰۳	۴۰	S-26	۰.۵۹۷۳
۷	S-45	۱.۵۵۰۷	۲۴	S-25	۰.۹۳۶۲	۴۱	S-50	۰.۵۹۲۱
۸	S-21	۱.۴۸۸۲	۲۵	S-08	۰.۹۱۹۹	۴۲	S-38	۰.۵۷۰۵
۹	S-04	۱.۴۸۰۸	۲۶	S-55	۰.۹۱۷۷	۴۳	S-43	۰.۵۶۵۳
۱۰	S-12	۱.۴۱۷۱	۲۷	S-47	۰.۸۸۱۷	۴۴	S-53	۰.۵۴۰۳
۱۱	S-10	۱.۴۱۲	۲۸	S-30	۰.۸۵۶۴	۴۵	S-37	۰.۵۰۵۱
۱۲	S-29	۱.۳۹۵۱	۲۹	S-54	۰.۸۴۲۳	۴۶	S-28	۰.۴۹۲۴
۱۳	S-17	۱.۳۸۵	۳۰	S-48	۰.۸۲۸۷	۴۷	S-24	۰.۴۵۷۷
۱۴	S-03	۱.۳۱۹۶	۳۱	S-35	۰.۸۲۲۷	۴۸	S-42	۰.۴۵۳۶
۱۵	S-13	۱.۳۰۵	۳۲	S-39	۰.۷۷۷۹	۴۹	S-22	۰.۴۲۸۷
۱۶	S-52	۱.۲۱۶۲	۳۳	S-46	۰.۷۶۲۸	۵۰	S-32	۰.۴۱۹۲
۱۷	S-02	۱.۱۸۱۵	۳۴	S-36	۰.۶۷۰۸	۵۱	S-14	۰.۴۰۵

جدول ۶. شناسایی و رده‌بندی مقاطع در روش ترکیبی

رتبه	نسبت کارایی در روش		شماره مقطع
	AHP/DEA	DEA	
۲	۱.۸۷۴۵	۱	S-01
۴	۱.۴۱۱۹	۱	S-10
۱	۲.۱۴۶۰	۱	S-33
۳	۱.۸۲۲۸	۱	S-49

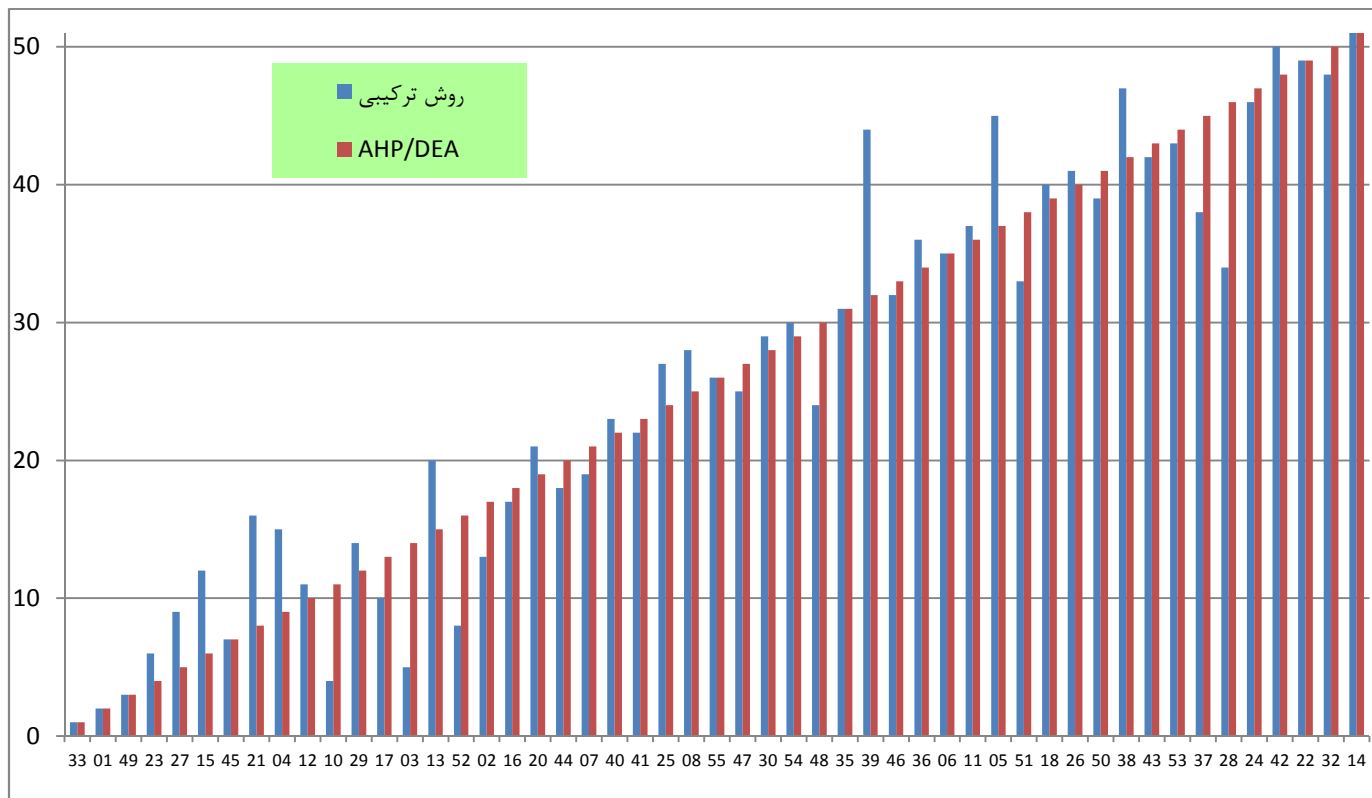
• ترکیب روش‌های DEA و AHP/DEA

یک روش دیگر برای رده‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری، استفاده از ترکیب دو روش DEA و AHP/DEA است. در این حالت برای واحدهای کارا که روش DEA قادر به رده‌بندی آنها

نیست از روش AHP/DEA استفاده می‌شود، و برای رده‌بندی واحدهای ناکارا از همان نسبت کارایی حاصل از روش DEA استفاده می‌شود. در مساله این مطالعه، روش DEA از رده‌بندی مقاطع ۱، ۱۰، ۳۳ و ۴۹ عاجز بود، لذا برای این مقاطع می‌توان از وزن حاصل از روش AHP/DEA استفاده نمود. نتایج این

می‌شود که الگوی کلی رتبه‌بندی مقاطع در هر دو روش با یکدیگر همخوانی دارد. لذا این نتیجه به نوعی اعتبارسنجی هر دو روش را نیز نشان می‌دهد.

روش در جدول (۶) نمایش داده شده است. شکل (۳) نتایج حاصل از شناسایی و رده‌بندی مکان‌های پرتصادف با روش ترکیبی و روش AHP/DEA را مقایسه می‌کند. مشاهده



شکل ۳. مقایسه نتایج شناسایی و رده‌بندی مکان‌های پرتصادف از دو دیدگاه

جدول ۷. اعتبارسنجی و مقایسه با نتایج سایر روش‌ها

روش	مقاطع شناسایی شده	۱	۷	۱۰	۱۲	۳۳	۳۵	۳۶	۳۹	۴۵	۴۸	۴۹	۵۲
فراوانی تصادفات		✓		✓						✓	✓		✓
نرخ تصادفات				✓		✓	✓		✓				
نرخ بحرانی تصادفات				✓			✓						
EPDO						✓				✓			
مدل پیش‌بینی تصادفات							✓			✓			✓
روش تجربی بیزین							✓	✓	✓				
DEA							✓	✓	✓	✓		✓	✓
AHP/DEA							✓	✓	✓	✓		✓	

#### • مقایسه نتایج با سایر روش‌ها

در این بخش، نتایج شناسایی مکان‌های پرتصادف در این مقاله با نتایج سایر روش‌های معمول شناسایی مکان‌های پرتصادف، در جدول (۷) مقایسه شده است. در این جدول، ۱۲ قطعه راه وجود دارد که حداقل در یکی از روش‌ها به عنوان مکان پرتصادف انتخاب شده‌اند. به منظور مقایسه، مقاطعی که در ۱۲ اولویت اول روش‌های DEA و AHP/DEA در این مقاله بودند، استخراج شدند و سپس آن مقاطعی که در لیست ۱۲ قطعه موجود در جدول ذیل بودند، مشخص شدند. مشاهده می‌شود که ۷ قطعه در روش DEA و ۶ قطعه در روش AHP/DEA با نتایج سایر روش‌ها همخوانی داشته‌اند. همچنین مقاطعی مانند ۱۰، ۳۳ و ۴۵ که در اکثر روش‌ها به عنوان مکان‌های پرتصادف شناسایی شده‌اند، در این مقاله نیز شناسایی شده‌اند.

DEA کاملاً تغییر خواهد کرد، اما در روش AHP/DEA درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی تغییر نمی‌کنند.

مهمترین دستاورد این مقاله تهیه دو برنامه در محیط نرم افزار GAMS برای حل مدل‌های DEA و AHP/DEA است. تنها ورودی مورد نیاز این برنامه‌ها یک فایل اکسل است که در آن شاخص‌های ورودی و خروجی واحدهای تصمیم‌گیری مورد نظر وارد شده باشد. ویژگی این برنامه این است که برای تغییر جایگاه ورودی و خروجی‌ها، حذف آنها و اضافه و کم کردن تعداد واحدهای تصمیم‌گیری، نیازی به تغییر برنامه در GAMS نیست و کافی است که فایل اکسل ورودی تغییر یابد. لذا این برنامه قابلیت استفاده برای تمامی سازمان‌های مرتبط با ایمنی و تصادفات کشور را دارد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از روش ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله مراتبی (AHP/DEA) روش جدیدی برای شناسایی نقاط پرتصادف ارائه شد که تا به حال در مطالعات انجام شده استفاده نشده است. نتایج روش ارائه شده، برای ۵۱ قطعه راه برون‌شهری به عنوان مطالعه موردی ارائه شد. خلاصه‌ی مهمترین نتایج بدست آمده در این تحقیق به شرح زیر است:

- ۱- استفاده از روش AHP/DEA برای شناسایی و رده‌بندی مکان‌های پرتصادف بسیار موثر است. این روش بر خلاف روش AHP نیاز به وزن‌دهی کارشناسی ندارد و همچنین بر خلاف روش DEA قادر به رده‌بندی واحدهای کارا است.
- ۲- به کارگیری شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO) در خروجی نسبت به شاخص فراوانی تصادفات نتایج منطقی تری را به همراه دارد.
- ۳- اعتبار سنجی و مقایسه نتایج مدل DEA با نتایج روش AHP/DEA نشان داد که نتایج کلی حاصل از دو روش با یکدیگر همخوانی دارد.

۴- با تغییر تعداد واحدهای تصمیم‌گیری، نتایج روش

#### ۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Black spot
- 2- Nonparametric
- 3- A.Charnes, W.W.Cooper, E.Rhodes
- 4- Returns To Scale
- 5- Efficiency

#### ۷- مراجع

حیبی‌نیا، ق.، (۱۳۹۰)، "رویکردهای تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ریاضی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

رصاصی، الف.، و مومنی، ف.، و آسترکی، ز.، و امینی، ب.، (۱۳۹۱)، "کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نقاط پرحادثه: استفاده از روشهای تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل.

صادقی، ع. الف. و آیتی، الف.، (۱۳۹۱)، "شناسایی و اولویت بندی قطعات حادثه خیز راه با رویکرد قطعه بندی مسیر و تحلیل پوششی داده‌ها. مهندسی حمل و نقل.

-Agent, K. R. (1973), "Evaluation of the High-Accident Location Spot-Improvement Program in Kentuck".

relationships between road accidents and traffic flow in" black-spot" identification" , Traffic Engineering & Control, Vol. 22, HS-032 669.

-Miranda-Moreno, L., Fu, L., Saccomanno, F, and Labbe, A., (2005) "Alternative risk models for ranking locations for safety improvement", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol.1, pp. 1-8.

-Montella, A. (2010), "A comparative analysis of hotspot identification methods", Accident Analysis & Prevention, Vol. 42, No. 2, pp. 571-581.

-Pawlovich, M. D. (2002), "Safety Improvement Candidate Location (SICL), Methods", Iowa Department of Transportation, Highway Division, Engineering Bureau, Office of Traffic Safety.

-Persaud, B., Lyon, C, and Nguyen, T., (1999), "Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for safety improvement", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1665, No. 1, pp. 7-12.

-Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A, and Hadad, Y., (2000), "An AHP/DEA methodology for ranking decision making units", International Transactions in Operational Research, Vol. 7, No. 2, pp.109-124.

-Van Raemdonck, K. and C. Macharis (2013), "The road accident analyzer: a tool to identify high risk road locations", Journal of Transportation Safety & Security (just-accepted).

-Vistisen, D., Thyregod, P, and Laursen, J. G., (2002), "Models and methods for hot spot safety work", Technical University of Denmark Denmark's Tekniske University, Administration, Office for Study Programs and Student Affairs.

-Association, W. R. (2003), "Road safety manual: recommendations from the World Road Association", (PIARC), Route2 Market.

-Charnes, A. (1994), "Data envelopment analysis: theory, methodology and applications", Springer.

-Charnes, A., Cooper, W. and Rhodes, E. (1978), "Measuring the efficiency of decision making units", European journal of operational research, Vol. 2, No.6, pp. 429-444.

-Cheng, W. and S. P. Washington (2005), "Experimental evaluation of hotspot identification methods" Accident Analysis & Prevention, Vol.37, No.5, pp. 870-881.

-Elvik, R. (2003), "A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries", Accident Analysis & Prevention, Vol. 40, No.6, pp. 1830-1835.

-Farrell, M. J. (1957), "The measurement of productive efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), pp.253-290.

-GEURTS, K. and G. WETS (2003), "Black spot analysis methods: literature review.

-Hauer, E. (1997), "Observational Before/After Studies in Road Safety, Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety.

-Hermans, E., Brijs, T., Wets, G. and Vanhoof, K. (2009), "Benchmarking road safety: lessons to learn from a data envelopment analysis", Accident Analysis & Prevention, Vol. 41, No.1, pp. 174-182.

-McGuigan, D. (1981), "The use of

