

# ارائه مدل اولویت‌بندی علت‌گرا جهت تعیین قطعات خطرناک جاده‌ها برای عابرین پیاده

محمود صفارزاده<sup>۱\*</sup>، وحید ابوالحسن نژاد<sup>۲</sup> و امین میرزا بروجردیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه راه و ترابری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد راه و ترابری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری گروه راه و ترابری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت ۸۵/۱۰/۹، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۶/۱۲/۱۱، تاریخ تصویب ۸۷/۲/۲۹)

## چکیده

یکی از مهمترین عوامل موثر در اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز جاده‌ها برای عابرین پیاده، علت وقوع تصادف است که تاکنون در روش‌های موجود نادیده گرفته شده است. اولویت‌بندی این قطعات بدون در نظر گرفتن علت بروز تصادف، به دلیل قابل جمع نبودن تصادفات رخ داده به دلایل مختلف، تصمیم‌گیری درباره انتخاب قطعات تصادف‌خیزتر را دچار خطا می‌کند. در این مقاله با ارائه روش اولویت‌بندی علت‌گرا، مدلی جدید به منظور اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده با توجه به علت وقوع تصادف در راه‌های برون‌شهری ارائه می‌شود. در این روش، قطعات مذکور با در نظر گرفتن همزمان پارامترهای تعداد، شدت تصادف و علل بروز تصادف و با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره اولویت‌بندی می‌شوند. استفاده از مدل ارائه شده در این تحقیق، دقت و کارایی فرآیند اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز جاده‌ها را برای عابرین پیاده به مقدار زیادی افزایش می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** تصادف - قطعه تصادف‌خیز - علت وقوع تصادف - تصمیم‌گیری چندمعیاره

## مقدمه

تصادفات آن کشورها تعیین شده‌اند، لذا در بخش‌های بعد به صورت اجمالی مروری بر این روش‌ها و نقاط قوت و ضعف آنها ارائه می‌شود.

## روش‌های موجود شناسایی و اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده

تاکنون روش‌های مختلفی به منظور اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده ارائه شده است که هر یک از آنها براساس شاخص‌های مختلفی به اولویت‌بندی این قطعات پرداخته‌اند. در اینجا به برخی از روش‌های موجود شناسایی و اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده اشاره می‌شود.

یکی از این روش‌ها، تحلیل گزارش ثبت تصادفات پلیس و انجام مطالعات میدانی است که با استفاده از این روش، علاوه بر شناسایی قطعات تصادف‌خیز، می‌توان پیشنهاد هائی نیز برای ایمن‌سازی آن قطعات ارائه داد [۲]. روش دیگر شناسایی نواحی تصادف‌خیز برای عابرین پیاده، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و قرار دادن آمار تصادفات بر روی نقشه‌های دیجیتالی می‌باشد. در این

در دهه‌های اخیر با افزایش روزافزون استفاده-کنندگان از راه و عدم توجه کافی به ایجاد معابری ایمن برای عبور و مرور آنها، تصادفات جاده‌ای و به تبع آن تلفات و خسارات ناشی از آنها رو به افزایش نهاده است. اما در میان کاربران راه، عابرین پیاده در راه‌های برون‌شهری به عنوان آسیب‌پذیرترین گروه‌ها به شمار می‌آیند. آمار تلفات جاده‌ای در بهار ۸۳ نشان داده است که ۲۱/۶ درصد متوفیات جاده‌ای در کشور را عابرین پیاده تشکیل می‌دهند [۱]. لذا ایمن‌سازی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده در راه‌های برون‌شهری از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. اما به دلیل فراوانی این قطعات و هم‌چنین وجود محدودیت‌های اجرایی و بودجه‌ای برای ایمن‌سازی آنها، امکان ایمن‌سازی تمامی این قطعات در راه وجود ندارد. لذا وجود یک برنامه مدون به منظور اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده به منظور اجرای هر چه بهتر تمهیدات ایمن‌سازی و اختصاص بهینه تجهیزات به آنها لازم و ضروری می‌باشد. مطالعات گسترده‌ای برای تعیین معیارهای تصادف‌خیزی در کشورهای مختلف تدوین شده است که هر کدام با توجه به شرایط ترافیکی و الگوی

$\lambda$  = میانگین نرخ تصادفات در مناطقی از راه با ویژگی های مشابه (تصادف بازای یک میلیون وسیله نقلیه).

$m$  = تعداد وسایل نقلیه عبوری از یک مقطع خاص راه (میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر) در طول دوره تحلیل.

$k$  = ضریب احتمال تعیین شده با استفاده از سطح مطلوبیت آماری برای  $R_c$ .

هم چنین در سال ۲۰۰۳، روش دیگری بر پایه دو شاخص ارائه گردید که در آن، اولویت ایمن سازی با قطعه ای است که شاخص بزرگتری داشته باشد. شاخص های مذکور مطابق روابط (۲) و (۳) هستند [۳] که عملیات اولویت بندی را بر اساس درصد تصادفات به وقوع پیوسته در هر ناحیه و جمعیت در معرض خطر در آن نواحی، انجام می دهند.

= شاخص تصادف ۱

$$\frac{\text{درصد تصادفات عابرین پیاده در یک ناحیه}}{\text{درصد جمعیت عابرین پیاده در ناحیه مورد نظر}} \times 100 \quad (2)$$

= شاخص تصادف ۲

$$\frac{\text{تعداد تصادفات عابرین پیاده در یک ناحیه}}{\text{تعداد کل تصادفات عابرین پیاده در منطقه مورد مطالعه}} \times 100 \quad (3)$$

## ارزیابی روش های شناسایی و اولویت بندی موجود

روند شکل گیری روش های مختلف اولویت بندی قطعات تصادف خیز برای عابرین پیاده نشان می دهد که هر کدام از این روش ها برای کامل تر کردن روش قبلی مورد استفاده قرار گرفته اند. این روش ها که موسوم به روش های واکنشی هستند، بر پایه آمار تصادفات به وقوع پیوسته، عملیات اولویت بندی را انجام می دهند و به طور کلی بر اساس پارامترهای تعداد، چگالی، شدت و یا نرخ تصادف استوار می باشند. اما با این وجود، کلیه این روش ها به لحاظ فنی و منطقی نقایص عمده ای دارند که می تواند روند اولویت بندی را دچار خطا نماید و از اثرات مثبت اقدامات ایمن سازی بکاهد. از آن جایی که انجام اقدامات ایمن سازی نیازمند صرف هزینه زیادی است، بروز خطا در اولویت بندی قطعات تصادف خیز هم منجر به از دست رفتن سرمایه های

روش که به روش «تطابق آدرس ها»<sup>۱</sup> معروف است، برای تعیین نواحی تصادف خیز باید داده های تصادفات یک ساله باشد و یا حداقل ۱۰۰ تصادف ثبت شده در آنها در دسترس باشد. در این روش، دو ناحیه از کل منطقه مورد مطالعه که ۳۰ درصد کل تصادفات عابرین پیاده در آنها رخ داده است، به عنوان نواحی تصادف خیز انتخاب می شوند [۳]. در روشی دیگر که به روش «تحلیل نزدیکترین همسایگی» موسوم می باشد منطقه مورد مطالعه با تعریف فضاهایی به ابعاد ۳۰ متر در یک محدوده دایره ای شکل به شعاع ۱۵۰ متر شبکه بندی گردیده سپس نواحی تعریف شده با توجه به تعداد تصادفات به وقوع پیوسته در هر ناحیه، اولویت بندی می شوند [۳].

انجمن ایمنی و ترافیک آمریکا<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۸ روشی را به منظور شناسایی نواحی تصادف خیز برای عابرین پیاده ارائه نموده که در آن، روندی سیستماتیک برای هدفمند کردن اقدامات ایمن سازی عابرین پیاده به روش هزینه سودمندی<sup>۳</sup> انجام می شود. در این روش، نواحی از راه که بیشترین مشکل عابرین پیاده در آنها وجود داشته و حتی الامکان کوچک هستند، شناسایی می شوند. بنابراین، با تفکیک منطقه مورد مطالعه به نواحی دایره ای یا خطی و تعریف حداقل تعداد تصادفات در آنها، نواحی تصادف خیز شناسایی می شوند. این روش بیشتر در جایی که بعضی از تصادفات عابرین پیاده به صورت دسته بندی شده و بعضی دیگر در سرتاسر منطقه مورد مطالعه پراکنده هستند، کارایی دارد. علاوه بر این، تعریف نواحی و اندازه آنها و یا دسته بندی تصادفات عابرین پیاده تا حد زیادی بستگی به قضاوت تصمیم گیر دارد [۳ و ۴].

روش دیگری نیز در سال ۲۰۰۲ در فلوریدا ارائه شد که در آن از توزیع پواسون<sup>۴</sup> برای تعیین حد آستانه ای به منظور شناسایی قطعات تصادف خیز در قطعات ۱/۶ کیلومتری استفاده شد. حوزه این مطالعه، راه های تقسیم شده چهار و شش خطه با پیاده روهای پیوسته در دو طرف مسیر بود. در این روش، نرخ بحرانی تصادف با استفاده از رابطه (۱) تعیین می شود [۵]:

$$R_c = \lambda + k \sqrt{\frac{\lambda}{m}} + \frac{1}{2m} \quad (1)$$

که در آن:

$R_c$  = نرخ بحرانی تصادف برای یک قطعه خاص (تصادف بازای یک میلیون وسیله نقلیه).

بر اساس این تئوری، قطعه تصادف خیز به قطعه‌ای گفته می‌شود که تعداد تصادفات رخ داده در آن به دلایل همسان، از حد معینی بیشتر باشد. هم چنین قطعه‌ای که تعداد تصادفات زیادی به دلایل متغیر در آن رخ داده است را نمی‌توان قطعه تصادف خیز خواند.

برای مثال فرض کنید بخواهیم دو قطعه از راه را با مشخصات یکسان با هم مقایسه کنیم. تصادف خیزی در قطعه‌ای از راه که در آن تعداد معینی تصادف به علت‌های مختلف واقع شده، بسیار کمتر از تصادف خیزی در قطعه‌ای دیگر از راه است که در آن، همان تعداد تصادف به یک علت مشخص اتفاق افتاده‌اند. تفاوت اصلی روش ارائه شده با روش‌های موجود، توجه به علل وقوع تصادف به عنوان شاخصی برای اولویت‌بندی قطعات تصادف خیز برای عابرین پیاده است که هیچ یک از روش‌های قبلی به آن نپرداخته‌اند. لذا بدین ترتیب عدم کارایی روش‌های موجود محرز می‌شود. هم چنین در این روش، علاوه بر عوامل موثر بر بروز تصادف، پارامترهای تعداد و شدت تصادفات عابرین پیاده (فوتی یا جرحی) و حجم تردد وسایل نقلیه نیز به طور هم زمان در نظر گرفته شده‌اند. لذا با این روش، دقت و کارایی عملیات اولویت‌بندی قطعات تصادف خیز برای عابرین پیاده به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. از جمله امتیازات مدل جدید ارائه شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تفکیک آمار تصادفات عابرین پیاده بر اساس علت بروز آنها
- اولویت دادن به قطعات با تصادفات هم‌نوع به لحاظ علت وقوع
- ایجاد امکان ارائه راهکارهای مناسب برای ایمن‌سازی قطعات تصادف خیز با توجه به علل بروز تصادف با استفاده از نتایج این مدل
- در نظر گرفتن خاصیت چند بعدی پدیده تصادف و اعمال هم زمان شاخص‌های متضاد در مدل اولویت‌بندی
- با توجه به این که هدف از این تحقیق، انتخاب یک گزینه برتر از میان گزینه‌های موجود بوده و عوامل دخیل در مدل، مستقل از هم هستند و هم چنین به دلیل اینکه تحلیل تصادف باید در یک محیط گسسته مورد بررسی قرار گیرد، برای حل مسئله و انجام عملیات اولویت‌بندی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۵</sup> استفاده می‌شود. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به دلیل چند

ملی نیز خواهد شد. لذا به طور کلی نقایص روش‌های شناسایی و اولویت‌بندی موجود را می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

- استفاده از مجموع تصادفات غیر هم نوع به لحاظ علت وقوع به منظور اولویت‌بندی قطعات تصادف خیز برای عابرین پیاده

- در نظر نگرفتن شاخص حجم تردد وسایل نقلیه عبوری در برخی روش‌ها

- در نظر نگرفتن عامل شدت تصادف در برخی روش‌ها

- لحاظ نکردن علت وقوع تصادف برای اولویت‌بندی قطعات تصادف خیز

بنابراین با وجود تحقیقات انجام شده در زمینه اولویت‌بندی قطعات تصادف خیز برای عابرین پیاده، بر اساس این روش‌ها، فرآیند اولویت‌بندی قطعات تصادف خیز دارای خطا می‌باشد و با بررسی هر یک از شاخص‌های در نظر گرفته شده برای تعیین قطعات تصادف خیز مشخص گردید که فقط تکیه بر این معیارها به تنهایی منطقی نمی‌باشد. لذا روش کامل تری که بتواند ضمن برطرف کردن نقایص روش‌های قبلی اطمینان کافی در تعیین اولویت دقیق تر قطعات تصادف خیز جهت ایمن‌سازی ایجاد نماید مورد نیاز می‌باشد.

## تئوری روش اولویت‌بندی قطعات تصادف خیز برای عابرین پیاده به روش علت‌گرا

برای شناسایی هر پدیده باید علت‌های مؤثر در آن مورد مطالعه قرار گیرد. تصادفات رانندگی نیز به عنوان یک پدیده از این قاعده مستثنی نبوده و از آن جا که یک تصادف، معلول ترکیب تداخلی علت‌های مختلف می‌باشد شناسایی دقیق علت‌های وقوع تصادف کار ساده‌ای نبوده هر چند می‌توان با استفاده از روش‌های فنی و قبول یک میزان خطای مجاز، علت عمومی تصادف را شناسایی نمود. لذا باید برای یافتن راه کارهای مناسب برای بهبود وضعیت ایمنی راه، علت بروز تصادف در قطعات راه شناسایی شود. با این رویکرد می‌توان با ایجاد زمینه برای انجام یک برنامه-ریزی بلندمدت به منظور رفع تصادف خیزی قطعات مشخصی از راه، به میزان قابل توجهی در وقت و هزینه مورد نیاز برای ایمن‌سازی صرفه‌جویی کرد، چراکه یافتن علل بروز تصادف، لازمه یافتن راه کارهای لازم برای ایمن‌سازی آن قطعات می‌باشد.

منفی ( $A^-$ )، بسته به این که معیار مورد نظر، معیار مثبت (سود) است یا منفی (هزینه)، با استفاده از روابط (۸) و (۹) تعیین می‌شوند:

$$A^* = \left\{ v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^* \right\} = \left\{ (\max_i v_{ij} / j \in J_1), (\min_i v_{ij} / j \in J_2) / i = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (8)$$

$$A^- = \left\{ v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^- \right\} = \left\{ (\min_i v_{ij} / j \in J_1), (\max_i v_{ij} / j \in J_2) / i = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (9)$$

که در آن:

$$J_1 = \text{مجموعه معیارهای مثبت و}$$

$$J_2 = \text{مجموعه معیارهای منفی می باشد.}$$

مقادیر درون مجموعه‌های  $A^*$  و  $A^-$ ، به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند. سپس، فاصله هر گزینه از مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

که در آن:

$$S_i^* = \text{فاصله هر گزینه از مقدار ایده‌آل مثبت و}$$

$$S_i^- = \text{فاصله هر گزینه از مقدار ایده‌آل منفی می باشد.}$$

در نهایت برای رتبه‌بندی گزینه‌ها مقدار  $C_i^*$  از رابطه (۱۲) تعیین گردد:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

بدین ترتیب گزینه‌ای که دارای بیشترین مقدار  $C_i^*$  است، در رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کمترین  $C_i^*$  است، در رتبه آخر قرار می‌گیرد [۶ و ۷].

## مدل اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای

### عابرین پیاده بر اساس روش علت‌گرا

در این بخش با در نظر گرفتن تئوری ارائه شده، مراحل انجام اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده به روش علت‌گرا ارائه می‌شود.

### شناسایی مسیر و جمع‌آوری داده‌ها

ابتدا باید مسیر مورد نظر برای انجام عملیات ایمن‌سازی مورد بازدید اولیه قرار گیرد. در این مرحله، مشخصات

بعدی بودن مسئله اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز از کارایی خوبی برخوردار می‌باشند. روشی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، روش تصمیم‌گیری «شباهت به حل ایده‌آل»<sup>۶</sup> است. این روش با توجه به ساختار و ماهیت مدل، برای حل مسئله اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز انتخاب شده است. در این روش که یکی از روش‌های سازشی<sup>۷</sup> است، گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند، بدین ترتیب که هر چه یک گزینه به حل ایده‌آل شبیه‌تر باشد، رتبه بالاتری دارد [۶].

### روش شباهت به حل ایده‌آل

اگر قرار باشد  $m$  گزینه بر اساس  $n$  معیار مورد ارزیابی قرار بگیرند، ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه شده  $F$  به صورت زیر تشکیل می‌شود  $[V]$ :

$$F = (f_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ A_1 & f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ A_2 & f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{matrix} \quad (4)$$

که در آن:

$$m = \text{تعداد گزینه‌ها،}$$

$$x_j = \text{معیارهای در نظر گرفته شده برای ارزیابی گزینه‌ها و}$$

$$f_{ij} = \text{وزن گزینه } i \text{ ام با توجه به معیار } j \text{ ام می باشد.}$$

سپس با ضرب ماتریس تصمیم‌گیری  $F$  در ماتریس وزنی  $W$  که نمایانگر وزن هر یک از معیارها است، ماتریس وزن دار  $V$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_{m \times n} = (v_{ij})_{m \times n} = F_{m \times n} \times W_{n \times n} \quad (5)$$

ماتریس  $W$  ماتریسی قطری است که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر بوده و هر یک از درایه‌های روی قطر اصلی نشانگر وزن معیار  $n$  ام می باشد:

$$W_{n \times n} = \begin{bmatrix} w_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & w_{mm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

به طوری که:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (7)$$

در گام بعد مقدار ایده‌آل مثبت ( $A^*$ ) و مقدار ایده‌آل

### تعیین وزن هر معیار در مدل اولویت بندی علت گرا

در هر منطقه باید با توجه به شرایط محلی، مطالعاتی در زمینه عوامل موثر بر وقوع تصادفات و تعیین وزن هر یک از آن ها صورت گیرد که این تحقیقات می تواند از طریق بررسی آمار تصادفات، توزیع پرسش نامه و یا مصاحبه با متخصصین ایمنی انجام شود. در غیر این صورت می توان از اطلاعات ارائه شده در این مقاله استفاده نمود. بدین منظور وزن نسبی هر یک از معیارها برای اولویت بندی در ماتریس وزنی  $W$  نشان داده می شود.

### تشکیل ماتریس تصمیم گیری

در این مرحله، تعداد تصادفات رخ داده در هر قطعه از مسیر بر اساس عوامل وقوع تصادف و شدت تصادف در ماتریسی موسوم به ماتریس تصمیم گیری  $F$  به صورت زیر نمایش داده می شوند:

$$F = (f_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ A_1 & \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \end{bmatrix} \\ \vdots & \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \\ A_m & \begin{bmatrix} f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4) \quad \text{(تکراری)}$$

(۱۳)

که در آن:

 $m =$  تعداد قطعات راه،

$x_j =$  معیارهای اولویت بندی قطعات تصادف خیز برای عابرین پیاده و

$f_{ij} =$  تعداد تصادفات به وقوع پیوسته در قطعه  $A_i$  با توجه به معیار  $x_j$  می باشد.

لازم به ذکر است که در این ماتریس، معیارهای مجموعه  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  شامل دو سطح عوامل بروز تصادف و شدت تصادف عابر پیاده (فوتی یا جرحی) هستند. هم چنین به دلیل هم بعد بودن معیارهای تصمیم گیری، نیازی به نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم گیری نمی باشد.

### تشکیل ماتریس احتمالاتی R

در این بخش، با استفاده از رابطه (۱۳) ماتریس احتمالاتی  $R$  تشکیل می شود:

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{v_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{و} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

که در آن  $r_{ij} =$  احتمال تصادف خیزی قطعه  $i$  با توجه به

فیزیکی و ترافیکی مسیر تعیین شده و تحلیل می شوند. علاوه بر این باید مراکز تولید و جذب سفر در مسیر نیز شناسایی شوند که این کار می تواند در چگونگی انجام قطعه بندی مسیر و تعیین طول هر قطعه مؤثر باشد. هم چنین باید داده های مربوط به تصادفات عابرین پیاده در مسیر و حجم تردد وسایل نقلیه جمع آوری شود. این مرحله به دلیل اینکه نامناسب بودن وضعیت فیزیکی و ترافیکی جاده از جمله عوامل مهم بروز تصادف هستند، یکی از مهمترین مراحل روش اولویت بندی بر اساس علت وقوع تصادف می باشد.

### تفکیک و قطعه بندی منطقه مورد مطالعه

بررسی و تحلیل تراکم تصادفات عابرین پیاده، بهتر است از طریق قطعه بندی منطقه مورد مطالعه صورت پذیرد [۸]. به دلیل پیچیدگی تفسیر داده های تصادفات در قطعات با طول های متفاوت، استفاده از قطعات با طول های ثابت برای قطعه بندی مناطق تصادف خیز توصیه می شود. اما از طرفی، انجام عملیات قطعه بندی ممکن است با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه تغییر نماید. به طور کلی در جایی که مشخصات فیزیکی و ترافیکی مسیر تغییر اساسی می کند و هم چنین در محل هایی که تصادفات زیادی نسبت به کل جاده اتفاق می افتد، باید قطعات جدیدی تعریف شود. در نهایت به هر قطعه یک کد مشخص تعلق می گیرد [۳].

### تفکیک آمار تصادفات بر اساس شدت و عامل وقوع تصادف در هر قطعه

در این مرحله پس از جمع آوری کامل داده های مربوط به تصادفات عابرین پیاده در مسیر در یک دوره زمانی مشخص، این داده ها بر روی نقشه منطقه قرار می گیرند. به طور کلی عوامل مختلفی نظیر عوامل جاده، انسان و ... در تصادف خیزی یک قطعه تاثیر دارند. با توجه به انجام عملیات اولویت بندی در این مدل بر اساس تعداد، شدت و عوامل بروز تصادف، در این مرحله، داده های تصادفات باید در هر قطعه از مسیر بر اساس عوامل موثر بر وقوع تصادف و شدت تصادف تفکیک شوند. تعداد معیارهای تصمیم گیری، بستگی به تعداد عوامل موثر بر بروز تصادف خواهد داشت. هم چنین معیار شدت تصادف عابر پیاده نیز به عنوان شاخص مهم اعمال شده در مدل، به دو گروه تصادفات فوتی و جرحی تقسیم بندی می شود.

## ارزیابی مدل اولویت‌بندی علت‌گرا و مقایسه آن با روش‌های موجود

در این بخش با توجه به روش اولویت‌بندی علت-گرا، عملکرد این روش نسبت به روش‌های موجود، با حل یک مثال مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. فرض می‌شود که قرار است قطعات مسیری با مشخصات زیر برای انجام عملیات ایمن‌سازی، اولویت‌بندی شود:

- این مسیر دارای ۵ قطعه با طول یکسان و مشخص می‌باشد (فرض بر اینست که طول هر قطعه از قبل به صورت منطقی و فنی تعیین شده است).  
- عرض مسیر در تمام طول قطعات تعریف شده، یکسان می‌باشد.

- تفکیک آمار تصادفات در هر قطعه بر اساس شدت تصادف و عامل بروز تصادف انجام شده است.  
- دوره زمانی تحلیل تصادفات نیز ثابت در نظر گرفته شده است.  
مشخصات فیزیکی و ترافیکی و تعداد تصادفات به وقوع پیوسته در هر قطعه از محور در جدول (۱) آمده است.

### اولویت‌بندی بر اساس روش‌های موجود

در این بخش با استفاده از روش‌های اولویت‌بندی موجود، اولویت هر یک از قطعات برای انجام عملیات ایمن‌سازی با استفاده از اطلاعات موجود در جدول ۱ تعیین می‌شود. در روش فراوانی تصادف، اولویت‌بندی با تعیین شاخص تصادف در هر قطعه با استفاده از رابطه (۳) انجام می‌پذیرد. هم‌چنین در روش نرخ تصادف با استفاده از رابطه (۲) نرخ تصادف در هر قطعه محاسبه شده و قطعات تصادف‌خیزتر مشخص می‌گردند. نتایج اولویت‌بندی حاصل از این روش‌ها در جدول (۲) آمده است.

### اولویت‌بندی بر اساس روش علت‌گرا

با توجه به فرضیات ارائه شده در مثال، مراحل ۱ و ۲ از روش اولویت‌بندی انجام شده است. بر اساس تحقیقات انجام شده، عوامل دخیل در بروز تصادفات جاده‌ای در چهار گروه عوامل مربوط به جاده، محیط، وسیله‌نقلیه و انسان دسته‌بندی می‌شوند [۹]. لذا در این مثال، این عوامل به عنوان معیارهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شوند. هم‌چنین معیار شدت تصادف عابر پیاده به عنوان شاخص مهم

معیار  $J$  و  $V_i$  = حجم ترافیک عبوری از قطعه  $i$  در دوره زمانی شمارش تصادف بر حسب ۱۰۰۰ وسیله نقلیه می‌باشد.

در این رابطه، اثر حجم تردد وسایل نقلیه، به عنوان یک پارامتر مستقل در مدل برای در نظر گرفتن احتمال وقوع تصادف، در نظر گرفته شده است. حجم تردد عابرین پیاده نیز در تمام طول مسیر ثابت فرض شده است. ماتریس احتمالاتی  $R$  مطابق رابطه (۱۵) نمایش داده می‌شود:

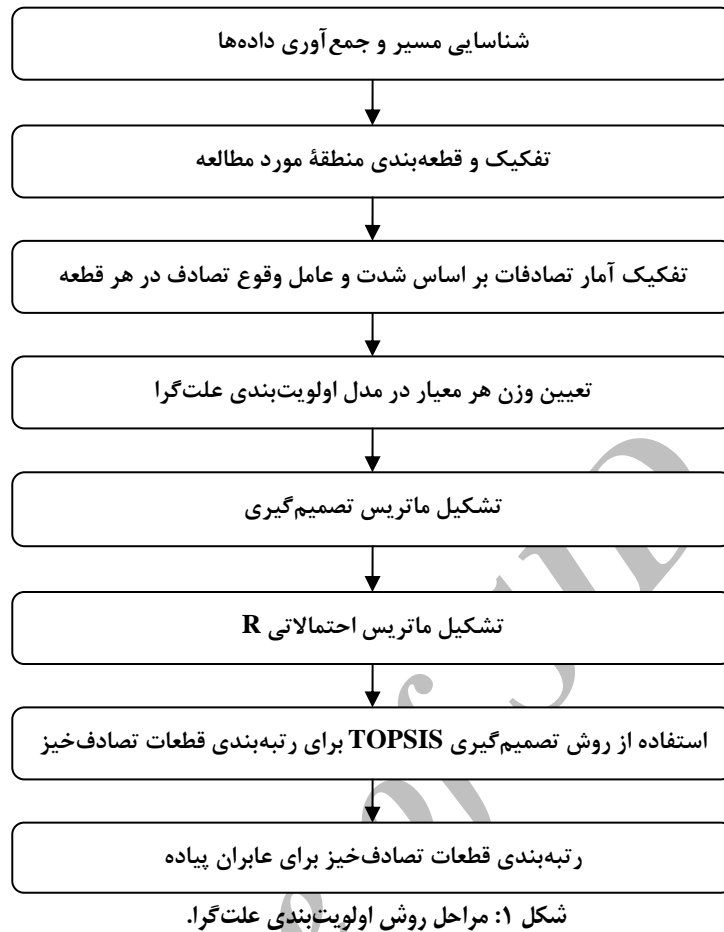
$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (15)$$

### استفاده از روش تصمیم‌گیری TOPSIS برای اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز

ابتدا از حاصل ضرب برداری ماتریس  $R$  در ماتریس وزنی  $W$ ، ماتریس وزن‌دار  $V$  با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید. پس از آن، مقدار ایده‌آل مثبت و مقدار ایده‌آل منفی به ترتیب با استفاده از روابط (۸) و (۹) تعیین می‌شوند. در این مدل با توجه به اینکه تعداد تصادفات بیشتر به دلیل مشخص، نمایانگر تصادف‌خیزی بیشتر است، لذا بیشترین تعداد تصادف به وقوع پیوسته بر اثر هر عامل، به عنوان مقدار ایده‌آل مثبت و کمترین تعداد تصادف نیز به عنوان مقدار ایده‌آل منفی در نظر گرفته می‌شود. سپس فاصله هر قطعه از مقدار ایده‌آل مثبت و مقدار ایده‌آل منفی به ترتیب با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه شده و در نهایت با استفاده از رابطه (۱۲)، میزان شباهت هر قطعه به حالت ایده‌آل ( $C_i^*$ ) تعیین می‌شود.

### رتبه‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده

پس از تعیین میزان شباهت هر قطعه به حالت ایده‌آل، رتبه‌بندی قطعات تصادف‌خیز انجام می‌شود، بدین ترتیب که هر چه مقدار  $C_i^*$  بیشتر باشد، آن قطعه از اولویت بیشتری برای ایمن‌سازی برخوردار بوده و زودتر ایمن‌سازی خواهد شد. کلیه مراحل روش اولویت‌بندی علت‌گرا در شکل (۱) نشان داده شده است.

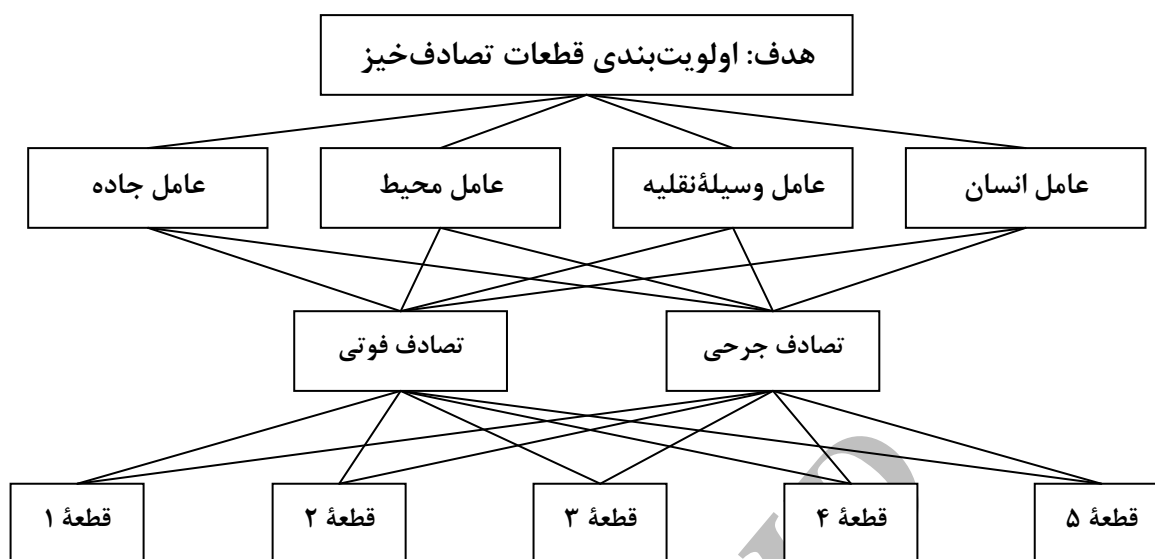


جدول ۱: اطلاعات مربوط به تصادفات رخ داده و مشخصات فیزیکی و ترافیکی در هر قطعه از راه.

قطعات تصادف‌خیز	کیلومتر از مبدا	طول هر قطعه (کیلومتر)	تعداد کل تصادفات رخ داده در هر قطعه	جمعیت ساکن در مجاور هر قطعه (نفر)	حجم تردد وسایل نقلیه (AADT)
$A_1$	5	5	26	6600	8000
$A_2$	10	5	37	7500	9000
$A_3$	15	5	25	8500	9000
$A_4$	20	5	26	7000	8600
$A_5$	25	5	26	6000	8600

جدول ۲: نتایج اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده با استفاده از روش‌های موجود و روش علت‌گرا.

اولویت قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده	روش فراوانی تصادف	روش نرخ تصادف	روش اولویت بندی علت‌گرا
اولویت ۱	$A_2$	$A_2$	$A_3$
اولویت ۲	$A_1, A_4, A_5$	$A_5$	$A_2$
اولویت ۳	$A_3$	$A_1$	$A_4$
اولویت ۴	-	$A_4$	$A_1$
اولویت ۵	-	$A_3$	$A_5$



شکل ۲: نمودار سلسله مراتبی مدل اولویت‌بندی علت‌گرا.

در این تحقیق، وزن نسبی عوامل چهارگانه جاده، محیط، وسیله‌نقلیه و انسان به ترتیب برابر ۰/۲۶، ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۰/۳۱ در نظر گرفته شده است [۱۰]. بر اساس مطالعات انجام شده، وزن نسبی پارامترهای تصادف فوتی و تصادف جرحی به ترتیب برابر با ۰/۷۴ و ۰/۲۶ می‌باشد [۱۰ و ۱۱]. بنابراین ماتریس وزنی  $W$  مطابق رابطه (۱۷) تشکیل می‌شود:

$$W = \begin{bmatrix} 0.19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.06 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.16 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.05 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.23 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.08 \end{bmatrix} \quad (17)$$

سپس ماتریس تصمیم‌گیری  $F$  مطابق رابطه (۱۷) تشکیل می‌شود:

اعمال شده در مدل، به دو گروه تصادفات فوتی و جرحی تقسیم‌بندی شده و به عنوان زیر معیار در روند اولویت‌بندی اعمال می‌شود.

بنابراین نمودار سلسله مراتبی مدل اولویت‌بندی علت‌گرا شامل هدف، معیارهای تصمیم‌گیری و گزینه‌های موردنظر مطابق شکل (۲) خواهد بود. در نهایت آمار تصادفات بر اساس عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات و شدت تصادف تفکیک می‌شود.

وزن نسبی عوامل چهارگانه جاده، محیط، وسیله-نقلیه و انسان با  $\alpha_i$  و وزن نسبی پارامترهای مربوط به شدت تصادف با  $\beta_k$  نمایش داده می‌شود. بنابراین وزن نهایی هر معیار از حاصل ضرب وزن هر یک از عوامل مؤثر در وقوع تصادف در وزن هر یک از پارامترهای شدت تصادف با استفاده از رابطه (۱۶) به دست می‌آید.

$$w_j = \alpha_i \times \beta_k, i = 1, 2, 3, 4 \text{ و } k = 1, 2 \quad j = 1, 2, \dots, 8 \quad (16)$$

که در آن:

$i$  = نشانگر وزن علت تصادف،

$k$  = نشانگر وزن شدت تصادف و

$j$  = نشانگر وزن نهایی هر معیار می‌باشد.



جدول ۳: معیارهای تصمیم گیری.

	عوامل مربوط به جاده		عوامل مربوط به محیط		عوامل مربوط به وسیله نقلیه		عوامل مربوط به انسان	
	جرحی	فوتی	جرحی	فوتی	جرحی	فوتی	جرحی	فوتی
$A_1$	2	3	4	5	3	4	3	2
$A_2$	3	4	6	7	2	8	3	4
$A_3$	1	0	1	1	0	1	1	20
$A_4$	3	2	5	4	4	3	2	3
$A_5$	2	3	4	5	3	4	3	2

در مرحله بعد، با استفاده از رابطه (۱۴)، ماتریس احتمالاتی R به صورت زیر تشکیل می شود.

$$R = (r_{ij})_{5 \times 8} = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.375 & 0.5 & 0.625 & 0.375 & 0.5 & 0.375 & 0.25 \\ 0.333 & 0.444 & 0.667 & 0.778 & 0.222 & 0.889 & 0.333 & 0.444 \\ 0.111 & 0 & 0.111 & 0.111 & 0 & 0.111 & 0.111 & 2.222 \\ 0.349 & 0.233 & 0.581 & 0.465 & 0.465 & 0.349 & 0.233 & 0.349 \\ 0.233 & 0.349 & 0.465 & 0.581 & 0.349 & 0.465 & 0.349 & 0.233 \end{bmatrix} \quad (18)$$

سپس از رابطه (۵)، با ضرب برداری ماتریس R در ماتریس W، ماتریس وزن دار V به دست می آید.

$$V = R \times W = (v_{ij})_{5 \times 8} = \begin{bmatrix} 0.048 & 0.026 & 0.08 & 0.038 & 0.06 & 0.025 & 0.086 & 0.02 \\ 0.063 & 0.031 & 0.107 & 0.047 & 0.036 & 0.044 & 0.077 & 0.036 \\ 0.021 & 0 & 0.018 & 0.007 & 0 & 0.006 & 0.026 & 0.178 \\ 0.066 & 0.016 & 0.093 & 0.028 & 0.074 & 0.017 & 0.053 & 0.028 \\ 0.044 & 0.024 & 0.074 & 0.035 & 0.056 & 0.023 & 0.08 & 0.019 \end{bmatrix} \quad (19)$$

با استفاده از روابط (۸) و (۹) و با توجه به رابطه (۱۹) می توان مقادیر ایده آل مثبت و منفی را محاسبه نمود:

$$A^* = (\max_i v_{i1}, \max_i v_{i2}, \max_i v_{i3}, \max_i v_{i4}, \max_i v_{i5}, \max_i v_{i6}, \max_i v_{i7}, \max_i v_{i8} \mid i = 1,2,3,4,5) \\ = (0.066, 0.031, 0.107, 0.047, 0.074, 0.044, 0.086, 0.178) \quad (20)$$

$$A^- = (\min_i v_{i1}, \min_i v_{i2}, \min_i v_{i3}, \min_i v_{i4}, \min_i v_{i5}, \min_i v_{i6}, \min_i v_{i7}, \min_i v_{i8} \mid i = 1,2,3,4,5) \\ = (0.021, 0, 0.018, 0.007, 0, 0.006, 0.026, 0.019) \quad (21)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1,2,3,4,5$$

$$S_1^- = 0.118 \quad S_2^- = 0.134 \quad S_3^- = 0.159 \\ S_4^- = 0.122 \quad S_5^- = 0.107$$

(۲۳)

فاصله هر قطعه از مقدار ایده آل مثبت و مقدار ایده آل منفی با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱) تعیین می شود:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad i = 1,2,3,4,5$$

$$S_1^* = 0.163 \quad S_2^* = 0.148 \quad S_3^* = 0.152$$

$$S_4^* = 0.158 \quad S_5^* = 0.167$$

در نهایت نیز با استفاده از رابطه (۱۲) میزان

(۲۲)

بندی علت‌گرا نسبت به شدت تصادف حساسیت نشان داده و قطعه  $A_4$  را به دلیل شدت تصادف بیشتر در اولویت قرار داده است. البته اولویت هر قطعه از راه به کلیه پارامترهای تعداد تصادف، عامل وقوع تصادف، شدت تصادف و حجم تردد وسایل نقلیه بستگی دارد که در این روش تمامی این معیارها به طور همزمان در نظر گرفته شده‌اند.

هم چنین با توجه به اطلاعات جدول (۲) مشاهده می‌شود، اختلاف روش اولویت‌بندی علت‌گرا با روش‌های موجود به دلیل جا به جایی نسبتاً زیاد انجام شده در اولویت قطعات تصادف‌خیز برای انجام عملیات ایمن‌سازی زیاد می‌باشد که این نشان‌دهنده تفاوت ساختاری روش‌ها است.

### نتیجه‌گیری

روش‌های موجود اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده، به دلیل در نظر نگرفتن عامل وقوع تصادف، روش‌هایی قابل اعتماد برای اولویت‌بندی نیستند. لذا در این مقاله با رویکردی جدید، روشی به نام روش اولویت‌بندی علت‌گرا که قادر به در نظر گرفتن هم زمان شاخص‌های تعداد، شدت و عامل وقوع تصادفات عابرین پیاده و هم چنین حجم تردد وسایل نقلیه در اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده می‌باشد، به صورت گام به گام ارائه شده است. در این روش تعداد تصادفات به وقوع پیوسته به یک دلیل و با شدت مشخص بیانگر تصادف‌خیزی یک قطعه از راه می‌باشد. بدین ترتیب، امکان اختصاص بودجه به قطعات تصادف‌خیز برای ایمن‌سازی به طور مناسب‌تر فراهم می‌آید. بررسی‌های انجام شده در این تحقیق، نشان داد که به دلیل وجود تفاوت‌های ساختاری، اختلاف زیادی بین روش اولویت‌بندی علت‌گرا و روش‌های موجود در نتایج اولویت‌بندی قطعات راه مشاهده می‌شود. اما با توجه به استدلال‌های ارائه شده، استفاده از روش اولویت‌بندی علت‌گرا، دقت و کارایی عملیات اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.

شبهات هر قطعه به حالت ایده‌آل محاسبه شده و بر اساس آن، اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز برای عابرین پیاده انجام می‌شود:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$C_1^* = 0.419 \quad C_2^* = 0.475 \quad C_3^* = 0.511$$

$$C_4^* = 0.436 \quad C_5^* = 0.392$$

(۲۴)

با توجه به نتایج به دست آمده، میزان اولویت هر یک از قطعات تصادف‌خیز برای انجام عملیات ایمن‌سازی تعیین می‌شود. بنابراین هر چه مقدار  $C_i^*$  در یک قطعه بیشتر باشد، آن قطعه تصادف‌خیزتر بوده و اولویت بالاتری برای ایمن‌سازی دارد. بنابراین اولویت‌بندی قطعات مفروض در این مثال بدین صورت است:

$$A_3 \succ A_2 \succ A_4 \succ A_1 \succ A_5 \quad (۲۵)$$

لذا قطعه  $A_3$ ، اولویت بیشتری نسبت به سایر قطعات برای ایمن‌سازی خواهد داشت. نتایج حاصل از اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز، با استفاده از روش‌های موجود و روش اولویت‌بندی علت‌گرا در جدول (۲) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، در روش اولویت‌بندی علت‌گرا، علیرغم وقوع تعداد تصادفات بیشتر در قطعه  $A_2$ ، این قطعه به عنوان تصادف‌خیزترین قطعه انتخاب نگردیده و تأثیر بروز تصادفات هم‌نوع از نظر علت وقوع، نقش بسیار موثری در اولویت‌بندی قطعات تصادف‌خیز ایفا نموده است و در نتیجه قطعه  $A_3$  به عنوان تصادف‌خیزترین قطعه انتخاب گردید. از مقایسه قطعات  $A_1$  و  $A_5$  نیز مشخص می‌شود که علیرغم برابر بودن تعداد تصادفات به وقوع پیوسته بر اساس شدت و عامل بروز تصادف، مدل اولویت‌بندی علت‌گرا نسبت به تغییر حجم تردد وسایل نقلیه حساس بوده و اولویت را به قطعه  $A_1$  با حجم تردد کمتر داده است. هم چنین در قطعات  $A_4$  و  $A_5$ ، با توجه به اینکه تعداد تصادفات رخ داده بر اثر عامل مشخص و حجم تردد وسایل نقلیه، مساوی در نظر گرفته شده‌اند، مدل اولویت-

### مراجع

- 1 - Road and Transportation Ministry, (2005). *Manual for Improving Pedestrian Safety in Rural Roads, Case Study: Gilan and Mazandaran Province*. Report No. m.04, Tehran, Iran, August.

- 2 - Schneider, R. J., Khattak A. J. and Ryznar, R. M. (2002). *Factors Associated with Pedestrian Crash Risk: Integrating Risk Perceptions and Police-Reported Crashes*, Paper No. TRB 02-2706, Annual Transportation Research Board Meeting, Pre-print CD-ROM, January.
- 3 - Pulugurtha, S. S. and Nambisan, S. S. (2003). "A methodology to identify high pedestrian crash locations: an illustration using the Las Vegas metro area." *Presented at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, January.
- 4 - National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), (1998). "Zone guide for pedestrian safety shows how to make systematic improvements." *Traffic Tech.*, Issue, 181, Report No: HS-042 731.
- 5 - Espino, E. R., Gonzalez, J. S. and Gan, A. (2003). "A systematic approach for the identification of high crash locations as part of Florida's Highway safety improvement program." *Presented at the 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, January.
- 6 - Asgharpoor, M. J. (2004). *Multi Criteria Decision Making*, Tehran University Press, Tehran, Iran.
- 7 - Yoon, K. P. and Hwang, C. L. (1995). *Multiple Attribute Decision Making an Introduction*. Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences.
- 8 - Geurts, K. and Wets, G. (2003). *Black Spot Analysis Methods: Literature Review*, Rapport number: RA-2003-07.
- 9 - Ayati, E. (1992). *Road Accidents in Iran (Analysis, Comparison and estimating costs)*, Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran.
- 10 - Abolhasannejad, V. (2007). *A Prioritization Model for High Pedestrian Crash Areas in Rural Roads*, M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 11 - Kautzman, G. S. (2001). *Re: Identification and Prioritization of High Crash Locations*, North Dakota Department of Transportation.

#### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Address Match
- 2 - National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)
- 3 - Cost Effective Manner
- 4 - Poisson Distribution
- 5 - Multi Attribute Decision Making (MADM)
- 6 - Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
- 7 - Compromising Methods