

## ارائه مدل تعیین شاخص ایمنی راه

محمود صفارزاده<sup>۱\*</sup>، مقصود پوریاری<sup>۲</sup>

۱- دانشیار راه و ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

\* تهران صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵

[mpooryari@yahoo.com](mailto:mpooryari@yahoo.com)

(دریافت مقاله: فروردین ۱۳۸۳، پذیرش مقاله: تیر ۱۳۸۴)

**چکیده-** در این تحقیق با توجه به متغیرهای مؤثر بر تصادفات جاده‌ای، وضعیت ایمنی راهها بررسی و مدلی ریاضی برای سنجش ایمنی راهها ارائه شده است. با بررسی پارامترهای مؤثر بر تصادفات جاده‌ای و جمع‌آوری اطلاعات و مطالعات میدانی در حدود ۵۸۰ کیلومتر از راههای اصلی کشور - شامل راههای با عملکرد و شرایط محیطی متفاوت- مدل مورد نظر ارائه شده است. روند مدل‌سازی با توجه به آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده از پارامترهای دخیل با استفاده از توابع مختلف انجام شده است. برازش منحنی به اطلاعات و مقایسه ضرایب همبستگی مدل‌های متفاوت، مدل پواسون را مناسب نشان داد. با کالیبره کردن مدل و اعتبارسنجی با داده‌های دوره زمانی ۶ ساله، مدل نهایی ارائه شده است. متغیر وابسته در این مدل به عنوان شاخص تصادفات (AI)، مبین تعداد و شدت تصادفات است.

نتایج مطالعه نشان داد که میزان تصادفات جاده‌ای در ایران به مقدار قابل توجهی با افزایش حجم ترافیک زیاد می‌شود. به عنوان مثال ۲۰ درصد افزایش در ترافیک راه، خطر تصادفات را ۵۵ درصد افزایش می‌دهد. شکل‌گیری کاربریهای تجاری و مسکونی در حاشیه راه، خطر تصادفات جاده‌ای را به شدت بیشتر می‌کند. راههای کوهستانی نسبت به سایر راهها به شدت ناامن‌ترند. افزایش ۱۰ درصدی وسایل نقلیه سنگین، خطر تصادفات را ۶۰ درصد بیشتر می‌کنند. تغییر درجه راه از راههای دوخطه به بزرگراه، ۶۰ درصد بهبود ایمنی راهها را در بر دارد. افزایش یک متر به عرض شانه راه و افزایش یک خط عبور به عرض راه، به ترتیب ۵۰ و ۶۰ درصد ایمنی راهها را بهبود می‌بخشد.

**کلید واژگان:** شاخص ایمنی، تصادفات ترافیک، خطر حاشیه راه.

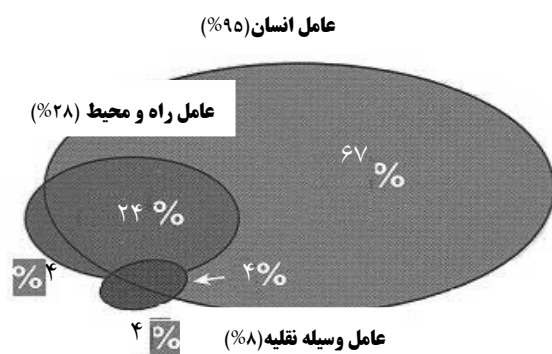
### ۱- مقدمه

امروز مدل‌های پیش‌بینی تصادفات ابزاری قوی در تحلیل تصادفات محسوب شده و در شناسایی و تحلیل نقاط حادثه خیز راهها به کار می‌روند. این مدلها که با ارزیابی آمار و اطلاعات راهها و تصادفات به دست می‌آیند، نه فقط در ارزیابی اصلاحات هندسی و مدیریتی

مؤثر واقع می‌شوند، بلکه شناسایی نقاط حادثه خیز را آسان و قابل بررسی می‌کند. یکی از فواید اصلی این روش این است که با تکیه بر آمار و اطلاعات تصادفات و پیش‌بینی تصادفات قبل از وقوع تصادف، ایمنی راه سنجیده شده و به عنوان راهکار پیشگیری عمل می‌کند. به علت آنکه برخی از عوامل تأثیرگذار بر تصادفات جاده‌ای بر یکدیگر، کیفی و در طبیعت اتفاقی‌اند (نظیر

اتفاقی و اجتناب‌ناپذیر معرفی می‌کند و شاید یکی از دلایل بی‌توجهی به این مقوله و عدم پذیرش گستردگی و اهمیت مسأله در طول سالیان همین بوده است. امروز با تلاشهای پژوهشگران و انجام تحقیقات مختلف، تغییر اساسی در این نگرش ایجاد شده است. بنابراین شیوه برخورد علمی با پدیده تصادف امری بنیادی در راستای شناخت عوامل دخیل در حوادث ترافیکی محسوب می‌شود.

تصادف ترافیکی پدیده‌ای پیچیده است که معلول ترکیب و تداخل غیرخطی عوامل نامتجانس فراوانی است. در شکل ۱ عوامل دخیل و سهم هر یک در وقوع تصادف به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱ سهم عوامل مختلف دخیل در وقوع تصادفات [۲]

در بخش عوامل مربوط به انسان، ناتوانی جسمی، عدم تعادل روانی، فقدان تربیت و فرهنگ صحیح، عدم مهارت در رانندگی، فقدان مقررات درست و متناسب، ضعف در اجرای قوانین، برخورد غیرمسئولانه متولیان و در نتیجه فقدان یا سستی در تنبیه و تشویق در جامعه و فقدان یا کمبود سیستمهای کمک‌رسانی سریع و کارآمد به مجروحان و ضعف در امکانات آموزشی، درمانی و پوششهای بیمه‌ای را می‌توان نام برد.

در بخش عوامل مربوط به عامل معبر یعنی جاده، اشکالات طراحی، اشکالات اجرا و مشکلات نگهداری و در بخش عامل وسیله نقلیه، نقص طراحی، نقص ساخت و عدم

رفتار رانندگان و شرایط آب‌وهوایی)، رابطه واقعی بین تصادفات و عوامل مورد نظر، تجربی و احتمالی است. به عنوان مثال جاده کاملاً ایده‌آل از نظر طراحی در صورت حضور رانندگان بی‌دقت، می‌تواند ناامن باشد. لذا مدلسازی رابطه بین عوامل مذکور و تصادفات، نیاز به یک محدوده آماری دارد که طبیعت پراکنده واقعه تصادف را شامل شده و در عین حال توصیف‌کننده تأثیر متقابل اثر عوامل مربوطه باشد.

علاوه بر این برای به دست آوردن نتایج واقعی و قابل اطمینان از مدل به اطلاعات مناسبی از تصادف، ترافیک، طرح هندسی و محیط از دو جهت کیفی و کمی نیاز است. یکی از دلایلی که توسعه مدل‌های علمی پیش‌بینی تصادفات را با مشکل مواجه می‌سازد، نبود کار کارشناسی و علمی در ثبت و جمع‌آوری اطلاعات و سپس طبقه‌بندی نامناسب آن است. در این تحقیق سعی شده که مدلی به منظور پیش‌بینی تصادفات انواع راههای با عملکرد مختلف برون‌شهری در ایران ارائه شود تا بتوان آنرا برای سنجش وضعیت ایمنی راهها به کار برد.

از معضلات اساسی حمل و نقل جاده‌ای در ایران، نرخ بالای تصادفات و مرگ و میر ناشی از آن است. در طی سالهای ۱۳۷۳-۱۳۸۱ نرخ رشد تصادفات منجر به فوت ۱۰٪ بوده است. مقایسه تصادفات معلوم می‌سازد که شاخص «تعداد کشته‌ها به ازای هر ده هزار وسیله نقلیه در ایران» در سال ۱۳۸۱، عدد ۳۴ و «تعداد فوت شدگان به ازای هر صد هزار نفر جمعیت» عدد ۳۲ است. این در حالی است که این شاخص برای بیشتر کشورهای در حال رشد به مراتب کمتر و در کشورهای صنعتی این مقدار حتی کمتر از ۵ است [۱].

## ۲- بیان مسأله

تصادف را به عنوان یک رویداد ناخواسته - که منجر به آسیب جانی، مالی و یا محیطی است - می‌شناسند. ماهیت تصادف همانگونه که از نام آن بر می‌آید آن را امری

نگهداری صحیح و علمی و فرسودگی اجزا و در بخش عامل محیط، عوامل جوی، دود غلیظ و نور ناکافی وجود دارد.

ترکیب این عوامل فراوان و غیرهمگن و آثار پیچیده هریک بر بقیه است که پیش‌بینی و برخورد با این پدیده را غامض و مشکل می‌سازد.

### ۳- پیشینه تحقیق

مطالعاتی که در چند دهه اخیر انجام شده نشان می‌دهد که عناصر طراحی، بر ایمنی راه مؤثرند. المانهای طراحی شامل ویژگیهای مقطع عرضی، مسیر افقی، مسیر عمودی، شانه‌های راه، طراحی تقاطع (همسطح و غیرهمسطح)، روشنایی، دسترسها و نحوه کنترل آنها و کیفیت روسازی است. در بسیاری از مطالعات انجام شده در این زمینه و مدل‌های ارائه شده برای کشف ارتباط بین نرخ تصادف و المانهای طراحی از تحلیل برازش استفاده شده که در ادامه چند مدل ارائه می‌شود.

بر اساس اطلاعات تصادفات سالهای ۹۰-۱۹۸۵، در ایالات متحد امریکا، در یک قطعه راه، تعداد تصادفات در مدت زمانی معین مطابق معادله ۱ بوده است [۳]:

$$Y = a(DVMT)^{\delta} \times \text{EXP}(\sum \beta_i X_i) \quad (1)$$

که  $a, \delta, \beta$  ضرایب ثابت بوده و:

$Y$  = تعداد تصادفات پیش‌بینی شده سالیانه

$DVMT$  = تعداد وسایل نقلیه- مایل در هر روز است.

سایر متغیرها ( $X_i$ ) عبارتند از:

- متوسط درجه‌بندی خطرناکی کنار راه (از ۱ تا ۷ به ترتیب از کم خطر به پرخطر)؛

- کنترل دسترسها (کنترل ناقص = ۰، بدون کنترل = ۱)؛

- تعداد دسترسهای محلی در هر مایل؛

- تقاطع‌ها با خطوط گردشی در هر مایل؛

- تقاطع‌های بدون خطوط گردشی در هر مایل؛

- رده عملکردی راه (شریانی‌های اصلی بین شهری = ۱،

شریانی‌های فرعی (جمع و پخش کننده = ۰)؛

- عرض شانه (فوت)؛

- عرض میانه (فوت)؛

- ناحیه قرارگیری (گذرنده در شهرکها و مناطق پر

جمعیت = ۱، غیره = ۰)؛

- عرض روسازی راه (فوت)؛

- نوع میانه؛

- درصد وسایل نقلیه سنگین.

در این رابطه عرض روسازی راه، نوع میانه و درصد وسایل نقلیه سنگین از متغیرهایی بود که بررسی شده و تأثیر آن بر سهم تصادفات ناچیز بوده است و در رابطه فوق منظور نشده.

نومن مدل پیش‌بینی تصادف را با استفاده از اجزای مقطع عرضی راه در قطعه راههای مستقیم مطابق معادله ۲ پیشنهاد داده است [۴]:

$$A = a \cdot (ADT)^{\delta} \cdot \prod \beta_i \cdot X_i \quad (2)$$

که  $a, \delta, \beta$  ضرایب ثابت بوده و:

$A$  = تعداد تصادفات گریز از ترافیک، شاخ به شاخ، پهلو به پهلو در جهت مخالف، پهلو به پهلو در جهت موافق در هر مایل و در سال است (تصادفات مرتبط).

$ADT$ : حجم ترافیک روزانه متوسط در دو جهت بر حسب (وسيله نقلیه بر ساعت) است.

سایر متغیرها عبارتند از:

- عرض خط بر حسب فوت؛

- عرض شانه آسفالت بر حسب فوت؛

- عرض شانه غیر آسفالت (شنی، خاکی، کلوخ) بر حسب فوت؛

- فاصله موانع خطرناک از عرض راه با شاخص ۱ تا ۷ از بی‌خطر تا خطرناک؛

- شرایط محیطی راه، مقدار ۱ برای راههای کوهستانی و صفر برای راههای دیگر.

دارت پس از محاسبه ضریب همبستگی و مربعات ده متغیر، از تحلیل برازش برای تعیین درجه تأثیر متغیرها بر

- حاصلضرب طول قطعه راه بر حسب مایل در تعداد خطوط؛

- تعداد متوسط رمپهای ورودی در هر مایل؛

- تعداد خطوط کمکی (اگر خطوط کمکی نداشته باشد، صفر فرض می‌شود)؛

- متوسط درصد زمان در خلال مدت اوج، هنگامی که در قطعه راه صفی به وجود می‌آید.

در رابطه با مدل‌های ارائه شده می‌توان با قاطعیت اظهار نظر کرد که نتایج هر مدل در محدوده شرایطی که پارامترهای مدل در آن برداشت شده قابل اتکا است. مثلاً شرایط جوی، رفتار رانندگی بر نتایج مدل به شدت تأثیر می‌گذارد. لذا استفاده مستقیم از یک مدل و نتایج آن بدون در نظر گرفتن تغییرات عوامل دخیل نتایج متناقضی را در بردارد. برای کشورهای در حال توسعه، الگوی تصادفات از عوامل انسانی تأثیر زیادی می‌پذیرد. آنچه توجه بدان اهمیتی شایان می‌یابد، این است که الگوی تصادفات در یک مقطع متأثر از پارامترهای منتخب بوده و ماهیت آن براساس شرایط مکانی و زمانی متغیرهای منتخب شکل می‌گیرد. بدین منظور و با هدف شناسایی پارامترها و عوامل دخیل در میزان تصادفات و نحوه ارتباط آن، روند مدل تصادفات برای راههای ایران بررسی و ارائه شده است.

#### ۴- ساختار مفهومی مدل

ساختار مدل بدین نحو شکل گرفته که با مطالعات عوامل تأثیرگذار بر تصادفات جاده‌ای، پارامترهای دخیل در میزان تصادفات شناسایی شد. سپس اطلاعات شامل خصوصیات هندسه راه، خصوصیات جریان و حجم ترافیک، شرایط محیط راه و گزارشهای تصادفات محورهای مورد مطالعه، جمع آوری شده است. به منظور پردازش اطلاعات و تعیین همبستگی میان انواع تصادفات و عوامل مؤثر، با استفاده از روش برازش، شکلهای مختلف توابع برای پیش‌بینی تصادفات بررسی و ارزیابی

کل تصادفات با توجه به شرایط جاده‌ای خشک و مرطوب و در زمان شب و روز استفاده کرد و مدل برازش زیر به دست آمد [۵]:

$$Y = A + \sum \beta_i X_i + \sum \delta_j X_j \quad (3)$$

که در آن:

$A, \delta, \beta$  ضرایب ثابت بوده و:

$Y$  = کل تصادفات به ازای ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه-مایل.

متغیرهای مستقل عبارتند بودند از:

- درصد وسایل نقلیه سنگین؛

- نسبت حجم ترافیک ساعت اوج به حجم در سطح سرویس  $B$ ؛

- عرض خط؛

- عرض شانه؛

- شیب عرضی؛

- مسیrbندی افقی (مسیrbندی افقی نسبت طول قوسهای افقی مسیر به طول کل راه است)؛

- نقاط برخورد ترافیک.

سیلون و هسو در سال ۱۹۸۸ یک مدل ریاضی را برای تصادفات آزادراهها<sup>۱</sup> در کالیفرنیا ارائه کردند [۶]. در این مدل، متغیر وابسته (نرخ تصادفات) تابعی از ریشه دوم تعداد تصادفات سالیانه انجام شده در ساعت اوج (۵ تا ۹/۵ صبح و ۱۵ تا ۱۹/۵ عصر) در نظر گرفته شده است. نرخ کلی تصادفات  $TARh$ <sup>۲</sup> به صورت زیر بیان شده است:

$$TARh = (a + b \cdot Qh)^2 \quad (4)$$

که  $Qh$  متوسط حجم ترافیکی ساعتی در تمامی خطوط در خلال ساعت اوج است.

پارامتر  $b$  ضریب ثابت بوده و پارامتر  $a$  در رابطه فوق بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$a = \sum \alpha_i X_i \quad (5)$$

متغیرهای به کار رفته برای تعیین پارامتر  $a$  عبارتند از:

1. Freeway Accidents
2. Total Accident Rate per hour

### - عرض شانه راه (SW)<sup>۳</sup>

این متغیر، عرض شانه راه را در قطعات مختلف در بر می‌گیرد و واحد آن متر انتخاب شده است. این عرض، شامل عرض روسازی شده و روسازی نشده می‌شود. در معابری که خطوط رفت و برگشت از یکدیگر جدا شده، عرض شانه سمت راست منظور شده است. اهمیت این متغیر در تأثیر شانه بر ایمنی راه از طریق ایجاد فرصت و راه نجات برای خودروی منحرف شده از سواره رو، ایجاد احساس پهن بودن نوار عبور برای آسایش راننده، افزایش فاصله دید محل قوسها، افزایش ظرفیت راه، هدایت آبهای سطحی و غیره است.

### - درصد وسایل نقلیه سنگین (P CV)<sup>۴</sup>

با توجه به ویژگیهای حرکتی وسایل نقلیه سنگین، این متغیر به منظور سنجش میزان درگیری وسایل نقلیه سنگین در تصادفات جاده‌ای ایران به کار برده شده و در مدل مورد نظر وارد شده است.

### - میزان دسترسیها در هر کیلومتر (APK)<sup>۵</sup>

این متغیر شامل تقاطعها و دسترسیهای محوره‌ای مورد مطالعه بوده و تعداد دسترسیهای موجود به کاربریهای فعال تجاری، اداری، شهرکهای اطراف و غیره را در بر می‌گیرد. بدین منظور تعداد کل تقاطعها، تعداد انشعابهای خروجی و ورودی تبادلها منظور شده است. در این متغیر تعداد دسترسیهای کنترل شده منظور شده و دسترسیهای کنترل نشده یا با کنترل ناقص در متغیر دیگری آورده شده که در ادامه توضیح داده شده است.

### - شرایط محیط راه (TC)<sup>۶</sup>

برای منظور نمودن شرایط منطقه‌ای که راه از آن عبور کرده، به کار رفته است. با توجه به ناامنی زیاد راههای

شد. سپس با سنجش کمیته‌ها و آزمونهایی که برای ارزیابی مدل استفاده می‌شود، اعتبارسنجی کل مدل و پارامترهای به کار رفته به عنوان متغیرهای مستقل انجام شد و در نهایت شکل مناسب مدل پیشنهاد شد. یکی از ویژگیهای بارز این مدل تعیین ارتباط بین عوامل تأثیرگذار بر تصادفات و ملحوظ شدن شدت تصادفات است.

برای انتخاب متغیرهای مورد نظر در تعیین مدل از دو سری متغیرهای کمی و کیفی استفاده شده است. متغیرهای کیفی بیشتر برای تعیین وضعیت شرایط محیطی راه که قابل اندازه‌گیری نبوده به کار رفته و متغیرهای کمی، شرایط جسم راه، حاشیه راه و نوع و میزان ترافیک عبوری را نشان می‌دهد.

## ۵- انتخاب متغیرهای مؤثر در مدل

### - حجم تردد ترافیک روزانه (ADT)<sup>۱</sup>

این متغیر یکی از متغیرهای اساسی بوده که نقش عوامل انسانی، وسیله نقلیه و اثرهای مشترک این دو را در بر می‌گیرد. بدیهی است که در یک مسیر هرچند ناامن، تا ترددی انجام نشود، تصادفی روی نخواهد داد.

شرایط فرهنگی و خطای انسانی به عنوان عوامل اصلی تأثیرگذار در حوادث ترافیکی و همچنین وضعیت ناوگان وسایل نقلیه، بر اساس میزان ضرایب به دست آمده از این متغیر در مدل به کار برده می‌شوند.

### - عرض روسازی سواره رو (RSW)<sup>۲</sup>

این متغیر، عرض راه (مجموع خطوط رفت و برگشت) را در قطعات انتخاب شده بیان می‌کند و واحد آن متر است. در محوره‌ای با خطوط رفت و برگشت تفکیک شده، عرض یک سمت منظور شده است.

3. Shoulder Width

4. Percentage of Commercial Vehicles

5. Access per Kilometer

6. Terrain Condition

1. Average Daily Traffic

2. Road Surface Width

حالت جریان یکطرفه ترافیک متفاوت است. بدین منظور برای جریان ترافیک، دو متغیر یک و صفر به ترتیب برای راههای دوطرفه و یکطرفه منظور شده است.

#### – شاخص تصادف (AI)<sup>۴</sup>

این متغیر به عنوان متغیر وابسته، بیانگر تصادفهای روی داده در قطعه راههای مورد مطالعه است. با توجه به اینکه تصادفات جاده‌ای به سه نوع خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم می‌شوند، لذا شاخص تصادفات معادل خسارتی مطابق معادله ۶ به کار برده شده است. بدین ترتیب مطابق رابطه زیر شاخصی به عنوان شاخص تصادف - که هم مبین تعداد و هم مبین شدت تصادف است - تعیین شده است.

$$EDA = DA + 3 \times ID + 12 \times FA \quad (6)$$

پارامترهای به کار رفته عبارتند از:

EDA = تصادف خسارتی معادل؛

DA = تصادف خسارتی؛

ID = تصادف جرحی؛

FA = تصادف فوتی.

سپس متغیر AI به صورت زیر تعریف شده است:

$$AI = EDA / L \quad (7)$$

که در آن L طول قطعه راه بر حسب کیلومتر است.

یکی از معایب عمده در برخی مدل‌های پیش‌بینی تصادفات استفاده از متغیرهایی نظیر تعداد تصادفات رخ داده یا نرخ تصادف است و تمایزی در نوع تصادفات مشاهده نمی‌شود. لذا در این تحقیق این نقص برطرف شده و معادل‌سازی انواع تصادفات انجام شده است تا در مدل مورد نظر، هم عوامل دخیل معلوم شود و هم شدت تصادفات ملحوظ گردد.

کوهستانی به سبب اعمال محدودیت‌های ضوابط هندسی، این متغیر به صورت جداگانه در مدل وارد شده است. در این ارتباط از متغیرهای دومقداری یک و صفر برای راههای کوهستانی و سایر راهها منظور شده است.

#### – خطر حاشیه راه (RH)<sup>۱</sup>

این متغیر به ایمنی حاشیه راه اختصاص دارد. با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از حوادث رانندگی حاصل انحراف خودرو از مسیر و رانده شدن به بیرون راه است، وضعیت ایمنی حاشیه راه اهمیت زیادی دارد. در تحقیق انجام شده، درصد تصادفهای ناشی از برخورد وسایل نقلیه با شیء ثابت و واژگونی یا انحراف وسیله نقلیه به عنوان معیاری از خطر حاشیه راه، منظور شده است.

#### – نوع ناحیه اطراف راه (ALT)<sup>۲</sup>

یکی از موارد مهمی که در ایمنی راهها مورد توجه قرار می‌گیرد، کنترل دسترسیها است. شکل‌گیری کاربریهای متعدد مسکونی، تجاری و زراعی در اطراف راهها موجب تردد انواع وسایل نقلیه غیرعبوری و همچنین عبور پیاده در محدوده راهها می‌شود که بر ناامنی راه به شدت می‌افزاید. این پارامتر به منظور سنجش وضعیت ایمنی راه، ناشی از کاربریهای حاشیه راه یا میزان کاربریهای مسکونی اطراف راه منظور شده است. در این متغیر به صورت کیفی حاشیه راه با توجه به مناطق پرجمعیت یا تراکم کاربریها، با ضریب یک و برای سایر حالات با ضریب صفر در نظر گرفته شده است.

#### – درجه راه (FC)<sup>۳</sup>

این متغیر به نقش و عملکرد درجه مختلف راه بر ایمنی آن می‌پردازد. در حالت جریان ترافیک دوطرفه بدون تفکیک خطوط رفت و برگشت، میزان و نوع تصادفات با

1. Roadside Hazard  
2. Area Location Type  
3. Functional Class

4. Accident Index

## - بررسی عوامل جوی

معمولاً تصادف از تأثیر چندین عامل به وجود می‌آید. با توجه به اینکه متغیرهای معرفی شده ممکن است با شرایط مکانی و زمانی به تنهایی برای پیش بینی تصادفات کافی نباشند، بررسی بیشتر عوامل مؤثر بر میزان تصادفات ضروری است. یکی از مهمترین عواملی که بررسی آن در شکل‌گیری تصادفات جاده‌ای ضروری است، شرایط جوی و بارندگی است. با توجه به تحلیل انجام شده بر روی تصادفات، نرخ تصادفات به علت تغییر میزان تردد وسایل نقلیه در ماههای مختلف سال، متفاوت است. افزایش میزان تصادفات رخ داده، ارتباط مستقیمی با ازدیاد ترافیک در محورها را دارد. با توجه به نبود تفاوت بارزی در تعداد تصادفات در شرایط نامساعد جوی، متغیری در مدل برای این منظور، در نظر گرفته نشده است. این فرض با توجه به اینکه شاخص تصادف هر محور در طول یک سال محاسبه شد، اعمال گردید. نتایج اطلاعات پارامترهای مدل برای حوزه های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

سه شکل تابع زیر برای ارزیابی وضعیت ایمنی راهها انتخاب شد. نتایج سنجش این توابع در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲ شکل معادله ارائه شده در رابطه ۱۰ توجیه مناسبی را از پراکندگی متغیرهای انتخابی را برای مدل به دست داد. شکل کلی معادلات برای ارزیابی مدل مطابق روابط زیر است:

$$Y = A + (\sum B_i \cdot X_i) \quad (8)$$

$$\ln Y = A + (\sum B_i \cdot X_i) \quad (9)$$

$$Y = A \cdot X^B \cdot \text{EXP}(\sum B_i \cdot X_i) \quad (10)$$

$$Y = (\sum A_i \cdot X_i \cdot X_j) \quad (11)$$

در این معادلات:

$Y$  = متغیر وابسته (که همان شاخص تصادفات واحد طول محور در یک سال (AI) است)؛  
 $X$  = متغیر مستقل میزان تردد روزانه محور (ADT)،  
 است؛

$X_i, X_j$  = سایر متغیرهای مستقل بوده که در بند ۵ معرفی شده است؛

$A, B, B_i$  = ضرایب ثابت هستند.

نتایج حاصل از پردازش مقدماتی مدلها در جدول ۲ نشان داده شده است.

متغیر ( $R^2$ ) به عنوان ضریب تعیین، معیاری برای توجیه پراکندگی متغیر وابسته در اثر متغیرهای مستقل به کار می‌رود.

مقادیر بالای  $R^2$ ، نمایانگر نزدیکی پراکندگی مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی مدل حول میانگین داده‌ها است. متغیر ضریب تعیین تصحیح شده ( $R^{2a}$ ) یکی دیگر از کمیتهای تحلیل مقدماتی محسوب می‌شود که برای توجیه پراکندگی متغیر وابسته در اثر متغیرهای مستقل بدون در نظر گرفتن اثر تعداد متغیرها به کار می‌رود.

## ۶- مدل سازی

روند مدل سازی تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. برای تحلیل مدل از آنالیز برازش خطی چندگانه<sup>۱</sup> با استفاده از نرم افزار SPSS<sup>۲</sup> استفاده شده است. حوزه مورد مطالعه طولی ۵۸۰ کیلومتر از راههای کشور است. در انتخاب این محورها، شرایط محیطی متفاوت و حادثه خیز بودن راهها، مد نظر بوده است.

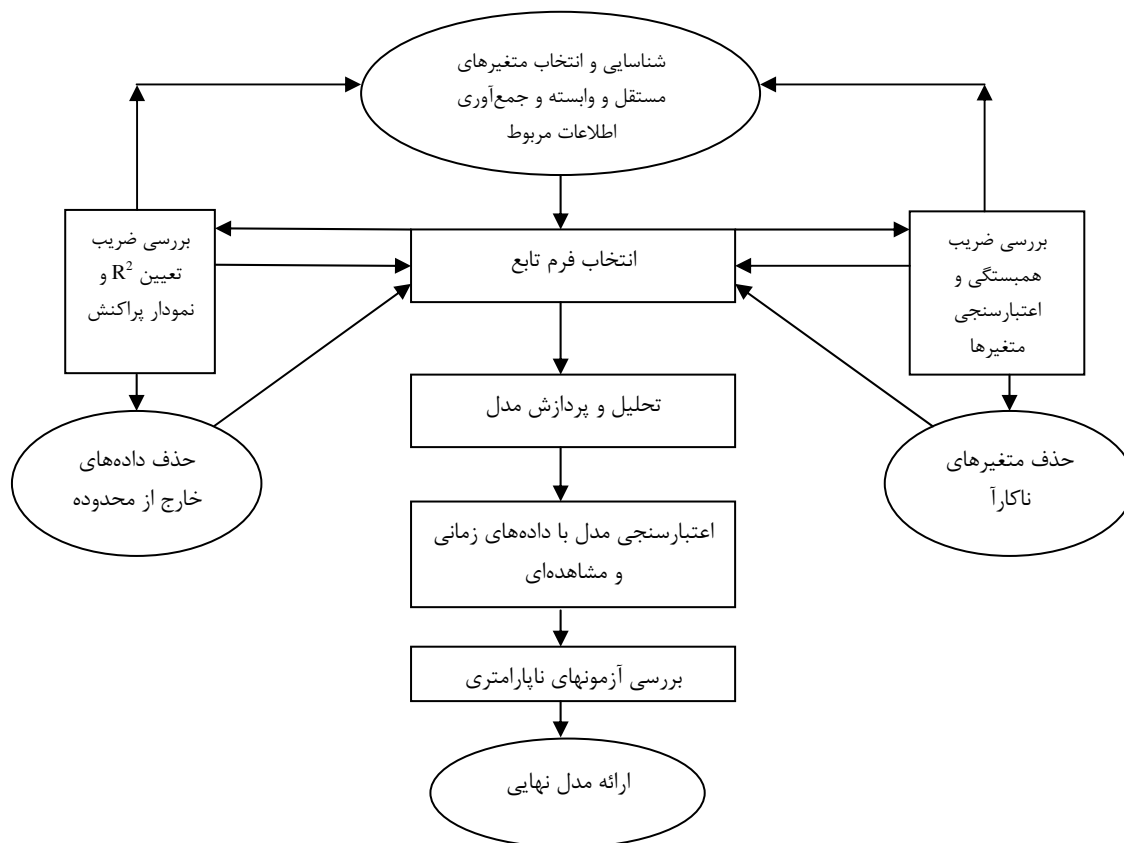
در ساختن مدل از روش برازش خطی استفاده شده است و شکل‌های مختلف تابع مورد استفاده قرار گرفته است. پس از تحلیل مقدماتی، انتخاب مدل مناسب با توجه به معیار کنترل ضریب تعیین انجام شده است. با سنجش و آزمون انواع توابع متداول پیش‌بینی تصادفات،

1. Multiple Linear Regression  
 2. Statistical Package of Social Science

جدول ۱ مشخصات متغیرهای برداشت شده مورد نیاز در تحلیل مدل در طی سالهای ۱۳۷۵-۱۳۷۷

AI	RH	ADT(veh)	PCV(%)	ALT	TC	APK(/km)	FC	RSW(m)	SW(m)	ردیف (محورها)
۱۳/۴	۴/۸	۳۶۴۰۷	۶/۱	۰	۰	۰/۳	۰	۱۱	۲	۱
۶/۵	۱۰/۳	۶۵۵۱	۳۳	۰	۰	۰/۱	۰	۱۱	۳/۲۵	۲
۴/۱	۲/۹	۱۹۱۹۰	۷۲	۰	۰	۰/۱	۱	۸/۶	۴/۳	۳
۵/۹	۹/۴	۴۳۶۴	۴۲	۰	۰	۰/۰۸	۰	۱۱	۲	۴
۷/۱	۸/۷	۴۸۹۳	۴۷	۰	۰	۰/۰۸	۰	۱۱	۲/۲۵	۵
۹	۱/۱	۳۹۰۸۱	۳۰	۱	۰	۰/۱	۱	۲۲	۳	۶
۸	۳/۸	۳۹۲۳	۴۱	۰	۱	۰/۳	۱	۷	۱/۵	۷
۴/۲	۳/۲	۵۲۳۷	۵۱/۴	۱	۰	۰/۲۲	۱	۷/۳	۴	۸
۳۸	۱/۴	۱۶۶۸۰	۲۵	۱	۰	۰/۱۲	۱	۷/۳	۳	۹
۲۴	۳/۹	۸۳۶۸	۵۰	۰	۱	۰	۱	۸/۸	۲/۲۵	۱۰
۰/۶	۶/۲	۲۵۵۷	۲۷	۰	۱	۰	۱	۷	۳	۱۱
۱۷/۸	۴/۸	۳۵۷۲۴	۸/۵	۰	۰	۰/۳	۰	۱۱	۲	۱۲
۹	۱۰/۳	۵۹۲۹	۳۳	۰	۰	۰/۱	۰	۱۱	۳/۲۵	۱۳
۶	۲/۹	۱۱۶۸۱	۸۰	۰	۰	۰/۱	۱	۸/۶	۴/۳	۱۴
۴/۹	۹/۴	۵۱۳۷	۵۳	۰	۰	۰/۰۸	۰	۱۱	۲	۱۵
۴/۶	۸/۷	۵۰۱۵	۴۲	۰	۰	۰/۰۸	۰	۱۱	۲/۲۵	۱۶
۷/۶	۱/۱	۲۲۱۱۰	۵۶	۱	۰	۰/۱	۱	۲۲	۳	۱۷
۹/۶	۳/۸	۴۰۸۶	۴۱	۰	۱	۰/۳	۱	۷	۱/۵	۱۸
۲	۳/۲	۳۹۲۱	۶۰	۱	۰	۰/۲۲	۱	۷/۳	۴	۱۹
۳۶/۱	۱/۴	۲۴۶۳۰	۱۸	۱	۰	۰/۱۲	۱	۷/۳	۳	۲۰
۱۹/۴	۳/۹	۸۳۷۷	۵۰	۰	۱	۰	۱	۸/۸	۳/۲۵	۲۱
۱/۲	۶/۲	۲۰۹۲	۳۴/۴	۰	۱	۰	۱	۷	۲	۲۲
۲۲/۲	۴/۸	۴۴۶۸۴	۶	۰	۰	۰/۳	۰	۱۱	۲	۲۳
۱۲/۶	۱۰/۳	۸۶۵۵	۳۷	۰	۰	۰/۱	۰	۱۱	۳/۲۵	۲۴
۳/۹	۲/۹	۱۶۹۸۶	۸۸	۰	۰	۰/۱	۱	۸/۶	۴/۳	۲۵
۶/۷	۱/۴	۲۱۴۵۹	۵۰	۰	۱	۰/۱	۰	۲۲	۳	۲۶
۷/۵	۳/۲	۴۳۸۲	۶۶	۱	۰	۰/۲	۱	۷/۳	۴	۲۷
۷۳	۱/۴	۲۱۵۱۸	۳۴	۱	۰	۰/۱	۱	۷/۳	۳	۲۸
۴۹/۷	۳/۹	۹۷۱۲	۵۷	۰	۱	۰	۱	۸/۸	۲/۲۵	۲۹
۳/۲	۶/۲	۲۱۷۶	۱	۰	۱	۰	۱	۷	۲	۳۰





شکل ۲ روند مدلسازی تحقیق

جداگانه حفظ شده که ناشی از انتخاب مناسب متغیرهای به‌کار رفته است.

از آنجا که ضریب برازش، درکی شهودی از اهمیت متغیرها را فراهم می‌سازد، مقادیر کم ضریب برخی متغیرهای مستقل با متغیر وابسته، از اعتبار متغیر نمی‌کاهد بلکه تردیدی در اهمیت آن متغیر فراهم می‌آورد که باید در آزمون (t- student) مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد. متغیر (t) بیان می‌کند که آیا تغییری که ضریب آن منظور شده، اهمیتی در پیش‌بینی تصادفات دارد یا نه؟

نتایج حاصل از این تحلیل در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ملاحظه می‌شود که به‌جز متغیر میزان دسترسی در هر کیلومتر (APK)، بقیه متغیرها از اعتبار کافی برای دامنه اطمینان ۹۰ درصد و بالاتر برخوردارند.

جدول ۲ نتایج تحلیل برازش مقدماتی از شکل مدل پواسون

Model	R <sup>2a</sup>	R <sup>2</sup>	R
۸	۰/۴۱۸	۰/۵۹۸	۰/۷۷۴
۹	۰/۲۳۴	۰/۴۷۲	۰/۶۸۷
۱۰	۰/۸۰۱	۰/۸۶۳	۰/۹۲۹۲
۱۱	۰/۱۶۱	۰/۴۰۱	۰/۶۰۷

نتایج حاصل از ضریب همبستگی (r) میان متغیرهای مستقل و وابسته در جدول ۳ ارائه شده است. همبستگی زیاد تصادفات با متغیر میزان تردد ترافیکی (ADT)، اهمیت و تأثیر زیاد این متغیر را در مدل نشان می‌دهد. ضریب همبستگی کم بین متغیرهای مستقل، نشان می‌دهد که اثر هر یک از متغیرهای مستقل به‌کار برده شده در متغیر دیگری اعمال نشده و ارزش هر متغیر مستقل به صورت

جدول ۳ ماتریس ضرایب همبستگی میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته

Ln ADT	RH	PCV	ALT	TC	APK	FC	RSW	SW	Ln AI	
۰/۶۱	-۰/۲۸	-۰/۲۹	۰/۱۹	-۰/۱۴	۰/۱۶	-۰/۰۶	۰/۰۵	-۰/۲۱	۱/۰۰	Ln AI
۰/۱۴	-۰/۲۷	۰/۵۶	۰/۴۱	-۰/۴۷	-۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۰۰	۱/۰۰	-۰/۲۱	SW
۰/۴۸	-۰/۱۴	-۰/۰۵	۰/۱۱	-۰/۱۵	-۰/۰۵	-۰/۳۲	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	RSW
-۰/۱۴	-۰/۶۹	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۳۵	-۰/۱۹	۱/۰۰	-۰/۳۲	۰/۲۹	-۰/۰۶	FC
۰/۳۱	-۰/۱۸	-۰/۳۲	۰/۱۵	-۰/۳۱	۱/۰۰	-۰/۱۹	-۰/۰۵	-۰/۰۹	۰/۱۶	APK
-۰/۴۲	-۰/۱۱	۰/۰۳	-۰/۳۹	۱/۰۰	-۰/۳۱	۰/۳۵	-۰/۱۵	-۰/۴۷	-۰/۱۴	TC
۰/۲۲	-۰/۵۸	۰/۰۰	۱/۰۰	-۰/۳۹	۰/۱۵	۰/۴۶	۰/۱۱	۰/۴۱	۰/۱۹	ALT
-۰/۲۶	-۰/۱۶	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	-۰/۳۲	۰/۳۹	-۰/۰۵	۰/۵۶	-۰/۲۹	PCV
-۰/۴۹	۱/۰۰	-۰/۱۶	-۰/۵۸	-۰/۱۱	-۰/۱۸	-۰/۶۹	-۰/۱۴	-۰/۲۷	-۰/۲۸	RH
۱/۰۰	-۰/۴۹	-۰/۲۶	۰/۲۲	-۰/۴۲	۰/۳۱	-۰/۱۴	۰/۴۸	۰/۱۴	۰/۶۱	Ln ADT

افزایش تصادفات و متغیرهای SW و RSW در جهت کاهش تصادفات عمل می‌کنند.

با حذف متغیر (APK)، ضرایب به دست آمده از تحلیل نهایی مدل برازش با توجه به معادله شکل کلی مدل مطابق رابطه زیر است:

جدول ۴ ضرایب آزمون اعتبارسنجی متغیرها در تحلیل برازش مدل

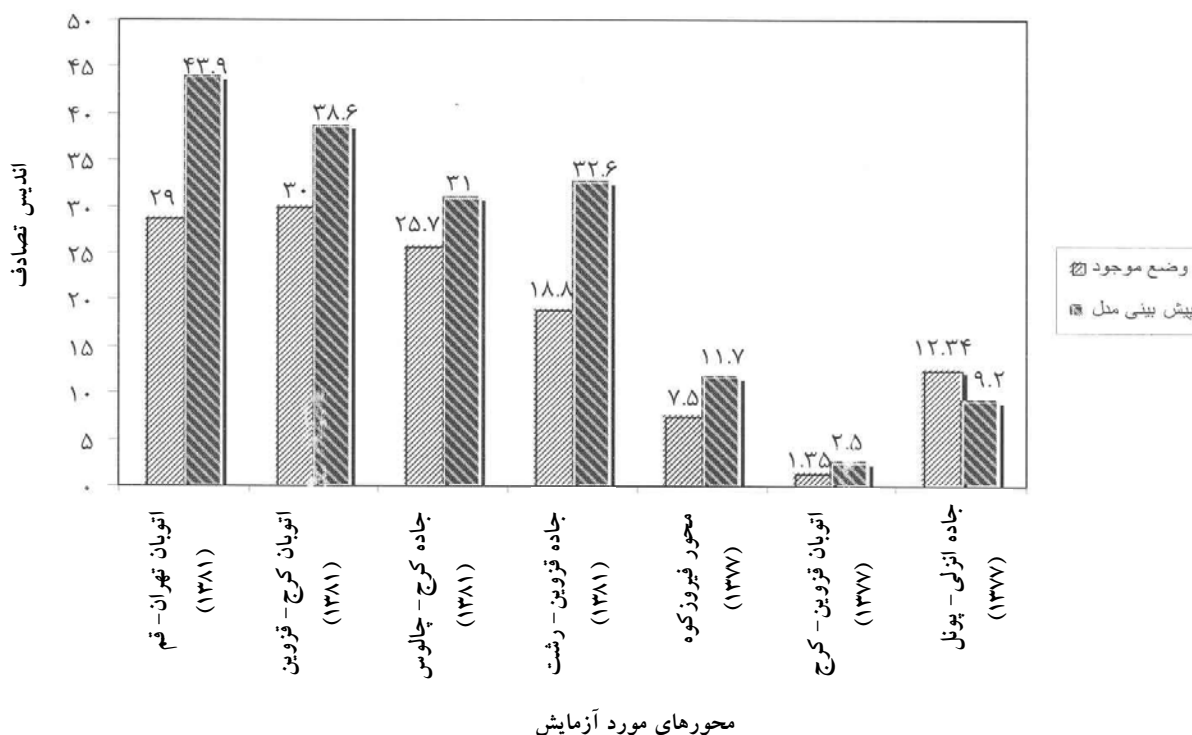
خطا	ضرایب	پارامترها
۰/۰۲۸	-۴/۵۰۶	Constant
۰/۰۰	-۰/۷۳۴	SW
۰/۰۰	-۰/۲۰۳	RSW
۰/۱۰۹	-۰/۸۲۵	FC
۰/۹۷۷(*)	۰/۰۳۷۴	APK
۰/۰۰	۲/۶۳۳	TC
۰/۰۰	۳/۴۱۳	ALT
۰/۰۰	۰/۰۴۶۸	PCV
۰/۰۰۱	۰/۴۵۲	RH
۰/۰۰	۲/۴۱۳	Ln ADT

نتایج سنجش و ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های جدید در شکل ۳ ارائه شده است.

$$AI = 0.1144 \times (ADT)^{2/41} \times \exp(-0.45 \times RH + 0.47 \times COV + 3/41 \times ALT + 2/626 \times TC - 0.83 \times FC - 0.203 \times RSW - 0.735 \times SW) \quad (12)$$

نتایج این تحلیل برای ارزیابی وضعیت ایمنی راههای با درجه متفاوت و در شرایط محیطی متفاوت با در نظر گرفتن اثر همزمان پارامترهای دخیل قابل کاربرد است. برای اینکه ببینیم در هنگام ساختن مدل چه متغیری بیشترین اعتبار را به مدل می‌بخشد، در نرم افزار و در هنگام ساختن مدل، کار از مدلی شروع شده که فقط مقدار ثابت دارد و در هر قدم، متغیری به مدل اضافه می‌شود که بیشترین تغییر را در ( $R^2$ ) ایجاد می‌کند.

نتایج استفاده از این روش نشان داد که متغیر میزان تردد روزانه (ADT)، متغیر عرض شانه راه (SW) و متغیر عرض روسازی راه (RSW) به ترتیب بیشترین نقش را بر میزان تصادفات داشته‌اند. متغیر (ADT) در جهت



شکل ۴ مقایسه و اعتبارسنجی مقادیر پیش‌بینی مدل و مقادیر مشاهده شده محوره‌های مورد آزمایش

## ۸- نتیجه‌گیری

با توجه به درجه بالای متغیر (ADT) در مدل به‌دست آمده، تأثیرپذیری حوادث رانندگی از این متغیر بسیار قابل توجه است. به عبارت دیگر عوامل انسانی و ناوگان حمل و نقل با توجه به میزان مشارکت زیاد این متغیر در تصادفات، از مهمترین عوامل ناامنی جاده‌های ایران هستند. به عنوان مثال براساس رابطه مدل، افزایش حدود ۳۳ درصد در میزان تردد وسایل نقلیه، امکان تصادف را ۱۰۰ درصد افزایش می‌دهد.

در ارتباط با راه، افزایش یک متری به عرض شانه راه، حدود ۵۰ درصد بهبود ایمنی راهها را به دنبال دارد و افزایش یک خط عبور به عرض راه مطابق رابطه ارائه شده در مدل، ۵۰ درصد از سوانح رانندگی، می‌کاهد. اما اثر افزایش این متغیرها خارج از محدوده ضوابط استاندارد در مدل ارائه شده، روشن نیست.

در ارتباط با محیط اطراف راهها، شکل‌گیری انواع کاربریها در محدوده راهها به‌شدت بر ناامنی راه می‌افزاید که این وضعیت با توجه به ضریب به‌دست آمده متغیر (ALT) در

مدل، نشان داده شده است. در مورد متغیر درجه عملکرد راه (FC) این نکته حائز اهمیت است که تفکیک خطوط حرکتی از یکدیگر و تبدیل جاده به بزرگراه، ۶۰ درصد از سوانح رانندگی کاهش می‌دهد.

با توجه به نتایج حاصل، وسایل نقلیه سنگین یکی از عوامل مهم در ناامنی راههای کشور قلمداد می‌شود؛ با فرض اینکه ۲۰ درصد از ناوگان وسایل نقلیه سنگین کاسته شود، ۶۰ درصد سوانح رانندگی کاهش می‌یابد. ایمنی حاشیه راه یکی از عوامل تأثیرگذار در کاهش سوانح رانندگی است. لذا توجه به ضوابط استفاده از حفاظهای ایمنی، علائم و تابلوهای مورد نیاز به‌ویژه برای راههای کوهستانی و نقاط حادثه خیز اهمیتی قابل توجه می‌یابد. در این راستا با توجه به ضریب متغیر (TC) مشخص می‌شود که میزان مشارکت متغیر نوع محیط اطراف راه به منظور کوهستانی بودن در میزان تصادفات قابل توجه است و راههای کوهستانی در حدود ۱۳ برابر نسبت به سایر راهها ناامن‌ترند.

[9] Norden N. J. orlansky, and, H. jacobs, "Aplication of Statistical Quality-Control Techniquesto Analysis of Highway Accident Data", Highway Research Rcord, No 117, pp. 17-31, 1996.

[10] Highway Design and Traffic Engineering Safety Handbook / Ruediger Lamm, Basil Psarianos, Theodor Mailaen der, 1999.

[11] LON-Li David shen, "Development of Highway Accident Hazard Index", Journal of American Society of Civil Engineering, Vol. IR, No.S, pp. 447-464, 1986.

[12] "Safety Effects and Operational Practices of Highways and Streets", Report FHWA-RD-78-218, US Department of Transportation , Feb,1978.

[13] Hauer E. and, B. N. Persuad, "Problem of Identification Hazardous Locations Using Accident Data", Transportation-Research Record , No., 75, pp. 36-43, 1984.

[14] MC Guigan D. R. D. "The use of Relationship Between Road Accidents and Traffic Flow in Black Spot Identification", Traffic Engineering and Control, pp. 448-453, Aug -Sep. 1981.

[15] Taylor J. I., and, H. T Thompson, "Identification of Hazardous Locations", Report FHWA-RD -77-81, US Department of Transportation, Dec. 1977.

[16] Jorgenson N. O., "Statistical Detection of Accident Blatch spots", OTAPIARC II<sup>th</sup> International Study week in Transportation and Safety, Brussels, Belgium, 1972.

## ۹- منابع

[۱] نتایج تردد شماری راههای کشور، یافته‌های آماری، دفتر فن‌آوری اطلاعات سازمان حمل‌ونقل پایانه‌های کشور ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۲.

[2] "Road Safety Audit". austroads 2002. second edition 2002

[3] "Safety Effects of Cross Section Design on Rural Multilane Highways", Publication No. FHWA-RD-97-027, Issued September 1997.

[4] Neuman, Timothy R, Glenon, John, Sagg. James "Accident Analysis for High way Curves", TRB 923.

[5] Dart, Olin K. Jr., and Lawrence J. Mann. "Relationship of Rural Highway Geometry to Accident Rates in louisiana", Louisians State University Library.

[6] David M.levinson, Adib kanafani, David Gillen "The costs of Intercity passenger Transportation", university of California at Berkeley, November 1997.

[7] CHANG, j., OH, C., CHANG., M, 1998. "Effects of Traffic Condition (v/c) on Safety at Freeway Facility sections'. Transportation Research Circular E-C018.

[8] Zegeer, CharlesV., Richard Stewart "Safety effects of geometric improvements on horizontal curves", Paper No: 920893, TRB 1992.