

## مدل پیش‌بینی تصادفات در قوسهای واقع در راه‌های دو خطه برون شهری\*

محمود صفارزاده، دانشیار، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
شاهین شعبانی، عضو هیأت علمی، پژوهشکده حمل و نقل، تهران، ایران  
اکبر آذرمی، کارشناس ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
E-mail:saffar\_m@modares.ac.ir

### چکیده

بررسی تصادف‌های جاده‌ای نشان می‌دهد که 50 تا 60 درصد تصادفات در راه‌های دو خطه برون شهری اتفاق می‌افتند. نیمی از این تصادفات در قوس‌های راه به وقوع می‌پیوندند و حدود 70 درصد از تصادفات حادث در قوسهای متعلق به قوسهای افقی هستند. بنابراین ضروری است علاوه بر دقت نظر در طراحی قوسهای افقی در مرحله مطالعات راه‌های جدید، با استفاده از روشهای علمی با ارزیابی قوسهای واقع در راه‌های موجود به شناسایی قوسهای با ریسک تصادفات زیاد و انجام کارهای لازم برای کاهش احتمال تصادف پرداخت. یکی از این روشها تعیین مدل‌های پیش‌بینی تصادفات است. بررسی مطالعات انجام شده بر روی تصادفات در راه‌های دو خطه برون شهری نشان دهنده این است که متغیرهای طرح هندسی راه از قبیل شعاع قوس، بر بلندی در قوس، طول قوس، درجه قوس، عرض راه در محل قوس و حجم ترافیک روزانه از عوامل مؤثر در وقوع حوادث ترافیکی در راه‌های دو خطه و قوسها هستند. به همین منظور در این مقاله که اولین تحقیق درباره تصادفات قوسها در ایران است با جمع‌آوری اطلاعات از طریق سیستمهای مربوط و برداشتهای میدانی از تعدادی راه‌های نمونه و برگزیده، مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس برای راه‌های دو خطه برون شهری براساس متغیرهای تأثیر گذار ارایه شده است. در این خصوص از روشهای مدل‌سازی مرسوم از جمله رگرسیون خطی عمومی و لگاریتمی و همچنین رگرسیون غیر خطی استفاده شده است. کنترل صحت مدل‌های به دست آمده نیز از طریق آزمون‌های آماری، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. یکی از نتایج اصلی به دست آمده از مدل‌سازی چنین است که نرخ تصادفات تقریباً به صورت غیرخطی با افزایش درجه قوس ( $D$ ) افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تصادفات جاده‌ای، مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس، درجه قوس، طول قوس، عرض سواره‌رو.

### 1. مقدمه

مطلوب ایمنی است. در یک طرح ناسازگار، هنگامی که جزء یا اجزای طرح مطابق خواست و انتظار راننده نباشد، رانندگی نیاز به دقت بیشتری دارد. در این شرایط امکان بروز اشتباه توسط راننده بیشتر خواهد بود و به این ترتیب احتمال بروز تصادف در راه مورد نظر، افزایش می‌یابد. بررسی‌های به عمل آمده در مورد

قوسهای راه‌ها اجزای مؤثر در ایمنی راه محسوب می‌شوند و طراحی آنها نیازمند در نظر گرفتن شرایط و خصوصیتی است که از آن جمله می‌توان به نوع راه، شرایط توپوگرافی، شرایط آب و هوایی و سرعت عملکردی اشاره کرد. سازگاری شرایط راه با انتظارات راننده یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تأمین سطح

تصادفات جاده‌ای نشان می‌دهد که 50 تا 60 درصد کل تصادفات شبکه راهها در راههای دو خطه برون شهری اتفاق می‌افتد. نیمی از این تصادفات در قوس‌های راه به وقوع می‌پیوندد و حدود 70 درصد از تصادفات قوسها متعلق به قوسهای افقی هستند و تقریباً 60 درصد تصادفات قوسهای افقی از نوع خروج وسیله نقلیه از مسیر است [1]. همچنین تحقیقات انجام شده در امریکا نشان می‌دهد که نسبت تعداد تصادفات به ازای وسیله نقلیه - مایل پیموده شده در راههای اصلی دو خطه حدود چهار تا هفت برابر بیشتر از نسبت یادشده برای بزرگراههای بین ایالتی است و این تصادفات به ویژه در قوسها متمرکز هستند [2]. تصادف در محل قوس‌های افقی اغلب شامل یکی از حالات خارج شدن وسیله از راه و برخورد با موانع حاشیه راه، از دست دادن کنترل و غلتیدن به بیرون، برخورد شاخ به شاخ و یا پهلو به پهلو است. دلیل چنین تصادفاتی معمولاً سرعت زیاد راننده و قضاوت اشتباه وی در مورد شدت درجه قوس است که می‌تواند ناشی از طراحی ناسازگار با انتظارات راننده باشد. وجود پیچ تند در انتهای یک مسیر مستقیم و یا ترکیب یک قوس تند در میان تعدادی قوس ملایم از جمله مصادیق طرح ناسازگار است. بنابراین ضروری است علاوه بر دقت نظر در طراحی قوسهای افقی در مرحله مطالعات راههای جدید، با استفاده از روشهای علمی با ارزیابی قوسهای واقع در راههای موجود به شناسایی قوسهای با ریسک تصادفات زیاد و انجام اقدامات لازم برای کاهش احتمال تصادف پرداخت. یکی از این روشها تعیین مدل‌های پیش‌بینی تصادفات است. بررسی مطالعات انجام شده بر روی تصادفات در راههای دو خطه برون شهری نشان دهنده این است که متغیرهای طرح هندسی راه از قبیل شعاع قوس، بر بلندی در قوس، طول قوس، درجه قوس، عرض راه در محل قوس و حجم ترافیک روزانه از عوامل مؤثر در وقوع حوادث ترافیکی در راههای دو خطه و قوسها هستند. در این مقاله با جمع آوری اطلاعات از طریق سیستم‌های مربوطه و برداشتهای میدانی از تعدادی راههای نمونه و برگزیده، مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس برای راههای دو خطه برون‌شهری براساس متغیرهای تأثیرگذار ارایه شده است.

## 2. متغیرهای مؤثر بر تصادفات در قوسها

از سال 1965 تاکنون مدل‌های مختلفی برای طراحی قوسها و بررسی ایمنی و تعداد تصادفات در قوسها ارایه شده است و نرخ بالای تصادفات در قوسهای افقی، جوامع علمی را بر آن داشته تا تحقیقات وسیع‌تری را در این زمینه متمرکز کند. در این تحقیقات پارامترهای مختلف مؤثر بر نرخ تصادفات در قوسها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از آن جمله می‌توان به مواردی مانند تأثیر قوسهای متوالی و قوسهای منفرد، تأثیر انحناء، وجود اتصال کلتوتوئیدی، فاصله دید، عرض سواره رو، عرض شانه، موانع جانبی، حجم ترافیک و شیب خاکریزها، شعاع قوس و همچنین ترکیب عوامل بالا اشاره کرد. در ادامه، نتایج برخی از مهم‌ترین مطالعات ارایه شده‌اند. پرکینز در مطالعات خود در سال 1983 عوامل مؤثر در وقوع تصادفات در راهها را به دو بخش کلی عملکردی و غیر عملکردی تقسیم کرد. در این مطالعه مشخص شد که عرض راه در تصادفات نقش مهمی دارد، ولی عرض شانه راه در تصادفات قوسها اثر چندانی ندارد [3]. نیومن با انتخاب 334 قوس از راههای دو خطه واقع در چهار ایالت آمریکا و تحقیق بر روی تأثیر پنج متغیر: متوسط ترافیک روزانه، درجه قوس، طول قوس، عرض سواره رو و عرض شانه بر تصادفات جاده‌ای با استفاده از آنالیز کوواریانس به این نتیجه رسید که بجز متوسط ترافیک روزانه سایر متغیرها نقش عمده‌ای در تصادفات قوسها دارند [4]. تحقیقی که در سال 1993 در کشور فرانسه و با بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون و پواسون انجام گرفت، نشان داد که وقتی شعاع قوس کاهش می‌یابد و طول بخش مستقیم قبل از قوس (مماس) افزایش می‌یابد، نرخ تصادف در قوس نیز افزایش می‌یابد. نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد که هرگاه بعد از یک مماس طولانی یک قوس تند وجود داشته باشد، تصادفات افزایش می‌یابند [5].

در مطالعات گلنون و همکارانش مشخص شد که درجه قوس، طول قوس، عرض شانه، وضعیت حاشیه راه و اصطکاک رویه راه همگی از عوامل تعیین‌کننده در نرخ تصادفات در قوسها هستند [6]. در مطالعه کراس و همکارانش نیز چنین نتیجه‌گیری شد که میانگین نرخ تصادفات برای قوسهای کمتر از 4 درجه مقداری ثابت است و برای قوسهای با درجه بالاتر از 5 درجه به صورت خطی تغییر می‌کند. همچنین عرض کلی روسازی بر نرخ تصادفات اثر قابل ملاحظه‌ای دارد [6]. پژوهشگران کانادایی نیز با تقسیم‌بندی متغیرهای مؤثر در ایجاد تصادف در قوسهای افقی واقع در راههای دو خطه برون شهری به دو گروه عملکردی

در سال 1982 ماتیوس و بارنس در زلاندنو ارتباط نرخ تصادفات و شعاع قوس را به صورت زیر بیان کردند [6]:

(2)

$$= \frac{8.5}{R^{0.64}} = 0.071 \times D^{0.64}$$

وسيله نقلیه- مایل

در سال 1986 دیکن با تفسیر اطلاعات تصادفات جمع‌آوری شده توسط گلنون و همکارانش (1985) و پس از بررسی بر روی برخی از آمار، مدل زیر را پیشنهاد کرد [6]:

$$A = (r \times L + 0.0336 \times D) \times V \quad (3)$$

که در آن:

A = تعداد تصادفات در قوس‌ها،

r = نرخ تصادف (تصادفات به ازای میلیون وسیله نقلیه-مایل)

در بخش مستقیم راه،

L = طول قوس بر حسب مایل،

V = تعداد وسایل نقلیه (بر حسب میلیون) و

D = درجه قوس است.

این مدل نشان می‌دهد که افزایش تصادف در قوس فقط به دلیل درجه قوس (D) است و به طول قوس بستگی ندارد.

تحقیق دیگری توسط لام و همکاران در سال 1988 با استفاده از اطلاعات 261 قطعه راه (دو خطه برون شهری) و آمار تصادفات 3 سال (815 تصادف) انجام شد. لام و همکارانش در این تحقیق با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه دریافتند که درجه قوس بهترین متغیر پیش‌بینی است. متغیرهای دیگری نیز در رگرسیون مورد استفاده قرار گرفتند ولی معادله بدون آنها نیز پاسخ‌های مناسبی ارائه داد [6].

(4) = تصادفات به ازای میلیون وسیله نقلیه- مایل

$$-0.88 + 1.41D \text{ و } 1^\circ < D < 6.9^\circ$$

نیومن در سال 1991 مدلی برای ارزیابی ایمنی در قوس‌ها به شکل زیر توصیه کرد [8]:

$$A = [(1.552)(L)(V) + 0.014(D)(V) - (0.012)(S)(V)](0.978)^{W-30} \quad (5)$$

که در آن:

A = تعداد کل تصادفات در دوره زمانی پنج ساله،

L = طول قوس بر حسب مایل،

D = درجه قوس،

W = عرض راه در قوس بر حسب فوت،

و غیر عملکردی جدول 1 نشان دادند که توزیع سرعت در قوسهای افقی، به جهت و میزان انحناء قوس مربوط است. زمانی که قوسهای کوچک بر خلاف جهت عقربه‌های ساعت پیموده می‌شوند، سرعت بیشتر است و زمانی که در جهت عقربه‌های ساعت پیموده می‌شوند سرعت کمتر است. از نظر رفتاری نیز مطالعات نشان داده‌اند که در قوس‌های با شعاع بزرگ‌تر، اغلب رانندگان در هر جهت، خط مرکزی را دنبال می‌کنند، اما در قوسهای با شعاع کوچک‌تر، رانندگان قوس را در هر دو جهت قطع می‌کنند [7].

### 3. مروری بر مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در قوس

اصولاً مدل‌های پیش‌بینی تصادفات، ارتباط بین یک یا چند متغیر تأثیرگذار و تعداد تصادفات را بیان می‌کنند و ابزاری برای بیان خلاصه و محسوس روابط پیچیده به شمار می‌روند که مبتنی بر اطلاعات جمع‌آوری شده، قضاوت مهندسی و فرضیات تحلیل هستند. مدل‌های پیش‌بینی تصادفات به عنوان ابزاری مناسب برای تحلیل تصادفات و شناسایی و اولویت بندی محل‌ها و قطعات حادثه خیز راه‌ها بکار می‌روند. تاکنون تلاش‌های زیادی برای دستیابی به مدلهایی که با معلوم بودن پارامترهای هندسی قوس، بتوانند میزان تصادفات را پیش‌بینی کنند، صورت گرفته‌اند. حاصل این تحقیقات، مدلهایی هستند که گاهی با هم تفاوت بسیار دارند خصوصاً از منظر متغیرهای مورد استفاده در مدل. نتیجه‌ای که از تحقیقات یادشده می‌توان گرفت این است که ایمنی قوس‌های افقی هم به ویژگیهای درونی قوس (مانند شعاع یا درجه انحناء، بر بلندی، منحنی‌های اتصال و ...) و هم به ویژگیهای خارج قوس (مانند تعداد قوسهای قبلی موجود در مسیر، طول بخش مستقیم متصل به قوس، مسافت دید و ...) بستگی دارد. در این جا به بررسی مهم‌ترین مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در قوس‌ها می‌پردازیم:

یکی از اولین نظریه‌های جامع پیرامون مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس‌ها، یافته‌های تجربی لیسچ و آسوشیت بود که در سال 1971 به صورت زیر ارائه شد [6]:

$$= 1.8 + 0.34D \quad (1)$$

تصادفات به ازای میلیون وسیله نقلیه- مایل (MVM)

که در آن: D، درجه قوس است.

$L$  = طول قوس بر حسب کیلومتر،

$R$  = شعاع قوس بر حسب متر،

$AADT$  = متوسط ترافیک روزانه، و  $P, g, b, a$  و  $h$  پارامترهای مدل هستند که پس از کالیبراسیون توسط پرساد مقادیر آنها به ترتیب  $-6/9127, 0/7609, 0/6477$  نزدیک به صفر و  $789$  به دست آمد.

#### 4. روش تحقیق

مدل، نمادی از واقعیت است و در شرایطی که به دلیل محدودیت‌های اقتصادی، فنی و غیره امکان تجربه عملی موضوعات وجود ندارد، امکان درک چگونگی رفتار سیستم را فراهم می‌سازد. در مباحث علمی مرتبط با حمل و نقل، مدل‌ها به سه گروه توصیفی، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی تقسیم می‌شوند. مدل‌های توصیفی دارای ارزش علمی بوده و به بیان وضع موجود می‌پردازند. مدل‌های پیش‌بینی دارای عملکردی مشابه با مدل‌های توصیفی هستند با این تفاوت که قابلیت شبیه‌سازی آینده را دارند و بالاخره اینکه مدل‌های برنامه‌ریزی به دنبال مدل‌های پیش‌بینی به وجود می‌آیند و نتایج حاصل از مدل‌های پیش‌بینی را برای دستیابی به اهداف معین مورد استفاده قرار می‌دهند. مدل‌سازی پیش‌بینی تصادفات با بهره‌گیری از اطلاعات جمع‌آوری شده، از روشهای مختلفی قابل انجام است. عموماً مدل‌های مورد استفاده، مدل‌های رگرسیون خطی یا مشتقات آن هستند. روش تحقیق در این مقاله به این صورت است که پس از بررسی تحقیقات گذشته در زمینه مدل‌ها و متغیرهای مؤثر بر تصادفات، منطقه مطالعاتی تعیین و اطلاعات مورد نیاز از طریق بانک‌های اطلاعاتی و برداشت میدانی برای دوره مشخص جمع‌آوری شده است. سپس با استفاده از تکنیک رگرسیون و برازش توابع مختلف خطی و غیر خطی بر داده‌های جمع‌آوری شده و کالیبراسیون آنها، مدل‌هایی به دست آمد. در انتها نیز با کنترل صحت و اعتبار مدل‌های برازش شده از طریق آزمون‌های آماری، مدل مناسب معرفی شده است.

#### 5. اطلاعات مورد استفاده در تحقیق

حوزه مطالعاتی این تحقیق، بررسی عوامل هندسی مؤثر بر تصادفات در قوس‌های واقع در راههای دو خطه برون شهری است. بنابراین، نیاز به محورهایی با خصوصیات مورد نظر و

$V$  = حجم وسایل نقلیه در دو جهت در دوره زمانی پنج ساله بر حسب میلیون و  $S$  = متغیر دو گانه وضعیت مسیر (اگر راه بدون ماریج باشد  $S=0$  در غیر این صورت  $S=1$ ) است.

زجیر در سال 1992 مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس را به شکل زیر کالیبره کرد [9]:

(6)

$$1.94 + 0.24D - 0.26W - 0.25S = \text{نرخ کل تصادفات در قوس} \quad (7)$$

قوس

$$= (ADT).L.(1.94 + 0.24D - 0.026W - 0.25S) \quad \text{که در آن:}$$

$D$  = درجه قوس،  $W$  = عرض خط،  $S$  = وضعیت مسیر،  $L$  = طول قطعه دارای قوس و  $ADT$  = میانگین ترافیک روزانه است. ووت در سال 1995 با استفاده از اطلاعات 247 قوس واقع در راههای دو خطه برون شهری تگزاس و اطلاعات تصادف هفت سال، مدل زیر را ارایه کرد، که در آن  $D$  درجه قوس است [6]:

$$8) \quad \text{تصادفات به ازای میلیون وسیله نقلیه- مایل}$$

$$= 0.102 \times e^{0.064D} - 0.1$$

اکثر تحقیقات نشان دادند که رابطه بین نرخ تصادف و درجه قوس، خطی است:

$$9) \quad r = r_0 + \alpha D$$

$r_0$  نرخ تصادفات در بخش مستقیم قوس است. بر این اساس هایلر در سال 1999 دریافت که اگر فرضیه دیکن - زجیر درست باشد، وقتی درجه قوس  $D_1$  با قوس ملایم‌تر  $D_2$  جایگزین شود، کاهش سالانه تصادفات برابر خواهد بود با [6]:

$$10) \quad \text{کاهش سالانه تصادف}$$

$$= V \left[ r_0 \left( \frac{1}{D_1} - \frac{1}{D_2} \right) \left( 2 \tan \frac{1}{2} - I \right) + 0.014 (D_2 - D_1) \right]$$

که در آن:

$V$  = حجم ترافیک بر حسب میلیون وسیله نقلیه در سال (در هر دو جهت) و  $I$  = زاویه انحنای قوس است. پرساد در سال 2000 مدل زیر را برای پیش‌بینی تصادفات در قطعات قوسی راههای دو خطه برون شهری ارایه کرد [10]:

$$11) \quad \text{تصادفات به ازای میلیون وسیله نقلیه- کیلومتر}$$

$$= (AADT)^b (L)^g R^p e^{(a+(hl/R))}$$

که در آن :

توانی و درجه دو و سه مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت، پس از برازش مدل‌های متعدد بر داده‌های مورد نظر و انجام بررسی‌های اولیه با کمک آزمون‌های آماری، مناسب‌ترین مدل‌ها از بین ده‌ها مدل مختلف انتخاب شد و نتایج حاصل از آنها مورد بحث و بررسی قرار گرفت. جدول 2، نتایج تحلیل رگرسیون را برای مدل‌های منتخب به طور خلاصه نشان می‌دهد.

در مدل‌های ارایه شده در جدول 2:

$D =$  درجه قوس،

$L =$  طول قوس (بر حسب متر)،

$W =$  عرض سواره رو در محل قوس (بر حسب متر)،

$V =$  حجم ترافیک (میانگین ترافیک روزانه)،

$\alpha, \beta, \gamma$  و  $\theta =$  پارامترهای مدل و

$N_{acc} =$  متغیر وابسته (تعداد تصادفات) است.

در روابط جدول زیر مدل‌های چند جمله‌ای با درجه 3، درجه 2، مدل نیومن و مدل خطی به ترتیب دارای بهترین ضریب همبستگی هستند، و مدل نیومن و مدل خطی، به دلیل این که از تعداد متغیرهای مستقل بیشتری بهره می‌برند نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارند. در ادامه به بحث و بررسی صحت مدل‌های به دست آمده می‌پردازیم.

## 7. کنترل صحت مدل پیش‌بینی

در این بخش، مدل‌های ارایه شده در جدول 2، با استفاده از آماره  $F$  و معنی‌داری این آماره،  $SignF$ .

$$F = \frac{(SSY - SSE) / K}{MSE} = \frac{R^2 / K}{(1 - R^2) / [n - (k + 1)]} \quad (12)$$

( $SSE$ )، مجموع مربعات خطا،  $SSY$ ، مجموع مربعات خطای کل و  $MSE$  میانگین مربعات خطا است) و همچنین معیارهای  $R^2$ ،  $R^2$  اصلاح شده و آزمون معنی‌داری ضرایب رگرسیون و تفسیر مقادیر ضرایب، مورد بررسی قرار گرفته و براساس آن مدل مناسب انتخاب شده است. در کلیه مدل‌ها به جز مدل نیومن، برای برآورد پارامترهای مدل از روش حداقل مربعات، به دلیل خواص مفید آماری این روش، استفاده شده است. به این ترتیب پس از تبدیل مدل‌ها به مدل خطی، پارامترهای مربوطه با استفاده از آزمون‌های معنی‌داری رگرسیون و آزمون‌های معنی‌داری ضرایب، برآورد شده‌اند.

حالت خطی مدل نیومن به شکل رابطه زیر است:

برخوردار از بانک اطلاعات تصادفات بود. همچنین در انتخاب محل‌های مطالعه، امکان دستیابی به اطلاعات لازم، همکاری و هماهنگی مسئولین ذریبط و جامعیت نمونه آماری، ملاک اصلی بود. پس از انجام بررسی‌های لازم مشخص شد که تعدادی از محورهای استان خراسان رضوی نیازهای تحقیق را برآورده می‌کنند، به خصوص این که فرم‌های جدید جمع‌آوری اطلاعات تصادفات (com114) در این استان به عنوان اولین استان کشور عملیاتی شده بود و امکان دستیابی به 2 سال اطلاعات قابل قبول وجود داشت. از طرف دیگر، با توجه به این که پارامترهای طرح هندسی و مشخصات حجم ترافیک در بانک اطلاعات تصادفات وجود ندارد، بنابراین دست‌یابی به مدل مورد نظر، نیازمند افزودن چنین اطلاعاتی به بانک اطلاعات تحقیق بود. به این ترتیب اطلاعات حجم ترافیک نیز از طریق بانک اطلاعاتی ترافیک راه‌ها مستقر در سازمان راه‌داری و حمل و نقل جاده‌ای کشور تهیه شد. اما برای اخذ اطلاعات هندسی راه‌های مورد مطالعه، مرجع مشخصی وجود نداشت، بنابراین با مراجعه به تعدادی از شرکت‌های مهندسی مشاور که سابقه فعالیت در آن محورها را داشتند برخی از اطلاعات مورد نیاز از نقشه‌های موجود استخراج شد و مابقی از طریق برداشت میدانی تکمیل شد. در نهایت از مجموعه اطلاعات یادشده، یک بانک اطلاعاتی در نرم افزار SPSS تشکیل و برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. این بانک، شامل اطلاعات 2 سال تصادفات مربوط به 20 محور بین شهری و 150 قطعه راه دو خطه برون شهری دارای قوس است. به طور کلی با توجه به گستردگی شبکه مورد مطالعه و محدودیت‌های موجود در جمع‌آوری اطلاعات هندسی صحیح و قابل استناد، در نهایت، 4 متغیر اصلی شامل: متوسط ترافیک روزانه، درجه قوس، طول قوس و عرض سواره رو در محل قوس که طبق مطالعات تطبیقی همگی در وقوع تصادفات در قوس‌ها نقش اساسی دارند مد نظر قرار داده شدند. در ادامه نتایج مدل‌سازی ارایه خواهد شد.

## 6. مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس

سعی و خطای بسیاری برای یافتن بهترین تابع انتقال برای متغیر وابسته و ترکیب متغیرهای مستقل به نحوی که بتواند بیشترین ارتباط ممکن بین آنها را ایجاد کند با کمک نرم افزار آماری SPSS انجام شد. در این راستا توابع خطی، لگاریتمی، نمایی،

نداشت به همین علت از روشهای عددی برای محاسبه این ضرایب استفاده شد که بعد از 9 تکرار، جواب لازم به دست آمد و مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  تعیین شدند.

خطا و SSY، مجموع مربعات خطای کل) در مدل نمایی اول را کاهش می‌دهد و در مرحله بعدی با اضافه کردن L در قالب نمایی به مدل،  $N_{acc} = e^{\alpha + \beta D + \gamma L + \theta W}$ ، تنها 0/2 درصد (0/002 = 0/567 - 0/569) از SSE مدل نمایی دوم کاسته می‌شود، علاوه بر این تفاوت بین  $R^2$  و  $R^2$  اصلاح شده در مدل دوم 0/036 و همین تفاوت در مدل سوم 0/056 است که بیانگر آن است که وارد کردن متغیر L به مدل با جریمه بیشتری همراه است. از طرفی با افزایش متغیرهای مدل، درجه آزادی برای SSE کاهش و MSE (میانگین مربعات خطا) افزایش خواهد یافت که این موضوع خطای زیادی را برای برآورد پارامترهای مدل به همراه دارد و این بدان معنی است که ما در برآورد تعداد تصادفات در این حالت خطای زیادی را خواهیم داشت. به این ترتیب در مدل دوم با در نظر گرفتن خطایی در حدود 0/2، وجود دو متغیر D و W در مدل، معنی‌دار است، ولی با اضافه کردن L به مدل، تغییری در بهتر شدن برازش صورت نمی‌گیرد، علاوه بر اینکه ضریب مربوط به متغیر L ( $\gamma$ ) نیز با صفر اختلاف چندانی ندارد. پس در بین مدل‌های نمایی، مدل دوم مناسب‌تر است.

$$\ln(N_{acc}) = \ln(\alpha L + \beta D) \quad (13)$$

$$+ \ln V + (W-30) \ln 0/978$$

با توجه به ماهیت رابطه فوق و برای برآورد پارامترهای متغیرهای D و L، امکان استفاده از روش‌های عادی رگرسیون وجود شاخص  $R^2$ ، میزان تغییرات بیان شده به وسیله مدل را نسبت به کل تغییرات موجود در داده‌ها نشان می‌دهد و به همین دلیل معیار بسیار مناسبی برای بیان خوبی برازش مدل به داده‌ها محسوب می‌شود.  $R^2$  اصلاح شده نیز متغیرهای غیر ضروری را که در جریان مدل‌سازی وارد مدل شده است نمایان می‌کند. آزمون‌های معنی داری ضرایب رگرسیون، فرض صفر بودن ضریب، یعنی بی‌تأثیر بودن متغیر مورد بحث را بررسی می‌کند و با استفاده از ضریب رگرسیون استاندارد شده نیز می‌توان به اهمیت متغیر رگرسیونی در معادله پی برد و در مجموع، این شاخص‌ها ما را در انتخاب مدل مناسب برای داده‌های مورد بحث یاری خواهند کرد. در مرحله اول، با استفاده از بررسی ماتریس همبستگی ضرایب مشخص شد که مقدار ضریب همبستگی بین  $N_{acc}$  (تعداد تصادفات) و D (درجه قوس) 0/825 به دست می‌آید که نشان دهنده تأثیر مثبت و قوی D بر تعداد تصادفات است. از این رو D در کلیه مدل‌ها به عنوان متغیری مؤثر در نظر گرفته شده است. مقایسه مقادیر  $R^2$  برای دو مدل نمایی  $N_{acc} = \alpha e^{\beta D}$  و  $N_{acc} = e^{\alpha + \beta D + \gamma W}$  نشان می‌دهد که اضافه کردن متغیر W به نمای مدل، توانسته است 5/8 درصد (0/058 = -0/509) از تغییرات تبیین نشده  $\frac{SSE}{SSY}$  (SSE، مجموع مربعات

جدول 1. تأثیر متغیرهای عملکردی و غیرعملکردی بر تصادفات قوس‌ها [7]

متغیر	پارامترها	قوسهای منفرد	قوسهای متوالی	قسمت مماسی
غیرعملکردی	شعاع قوس	+	-	-
	شیب طولی	+	-	-
	شیب عرضی	+	-	-
	عرض رو سازی	+	-	+
	علایم راه	+	-	-
	مقاومت لغزشی	+	-	+
	تراکم قوس	-	+	-
	فاصله دید	-	-	+
	عرض شانه	-	+	+
	عرض خط عبور	-	+	-
	موانع جانبی	+	-	+

مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس‌های واقع در راه‌های دوخطه برون شهری

-	-	+	سرعت لحظه ای	عملکردی
-	-	+	کاهش سرعت	
+	+	+	AADT	
-	+	-	واریانس سرعت	

جدول 2. مقایسه نتایج تحلیل رگرسیون مدل‌های برازش شده برگزیده

$\theta$	$\gamma$	$\beta$	$\alpha$	Sin F	R <sup>2</sup> اصلاح شده	R <sup>2</sup>	R	متغیر مستقل				شکل مدل	نام مدل
								V	W	L	D		
		1/028	0/846	0/00		0/509					√	$N_{acc} = \alpha e^{\beta D}$	نمایی (لگاریتمی)
	-0/117	1/07	0/706	0/00	0/531	0/567	0/753		√		√	$N_{acc} = e^{\alpha + \beta D + \gamma W}$	
-1/09	0/00	1/075	0/558	0/004	0/513	0/569	0/754		√	√	√	$N_{acc} = e^{\alpha + \beta D + \gamma L + \theta W}$	
		0/545	2/357	0/00		0/294					√	$N_{acc} = \alpha D^{\beta}$	توانی
		3/808	-0/327	0/00	0/668	0/680	0/825				√	$N_{acc} = \alpha + \beta D$	خطی
	-0/264	3/904	1/646	0/00	0/685	0/709	0/842		√		√	$N_{acc} = \alpha + \beta D + \gamma W$	
-0/18	0/002	3/95	0/144	0/00	0/695	0/731	0/855		√	√	√	$N_{acc} = \alpha + \beta D + \gamma L + \theta W$	
	0/95	0/009	0/00	0/00		0/727			√	√	√	$N_{acc} = [\alpha L + \beta D] V(\theta)^{W-30}$	نیومن
	2/001	-3/122	3/494	0/00		0/861					√	$N_{acc} = \alpha D^2 + \beta D + \gamma$	درجه 2
2/701	-6/758	8/193	-1/586	0/00		0/867					√	$N_{acc} = \alpha D^3 + \beta D^2 + \gamma D + \theta$	درجه 3

جدول 3. بررسی ضرایب به دست آمده از تحلیل رگرسیون مدل نمایی دوم

Sign	t	ضرایب استاندارد نشده		مدل $N_{acc} = e^{\alpha + \beta D + \gamma W}$	
		ضرایب استاندارد شده Beta	خطای استاندارد Std.Error		
0/182	1/374		0/514	0/706	$\alpha$
0/00	5/490	0/743	0/195	1/07	$\beta$
0/087	-1/785	-0/242	0/065	-0/117	$\gamma$

درجه قوس برای راههای مستقیم (تانژانت - شعاع قوس بینهایت) برابر صفر بوده و با کاهش شعاع، مقدار آن افزایش می‌یابد، در مدل لیسج - آسوشیت نرخ تصادفات در تانژانت (مسیر مستقیم) برابر  $1/8$  است که مقدار آن با افزایش درجه قوس به طور مرتب افزایش می‌یابد. ولی نرخ تصادفات در مدل لام برای قوس‌های با شعاع بیشتر از 900 متر صفر بوده و پس از آن با افزایش درجه قوس مقدار آن افزایش می‌یابد. با مقایسه مدل درجه دوم با نتایج فوق، مشاهده می‌شود که تعداد تصادفات با افزایش درجه قوس از صفر (مسیر مستقیم) تا  $0/6$  درجه (قوس‌های به شعاع حدود 1000 متر) کاهش یافته و سپس با ادامه افزایش درجه قوس، افزایش می‌یابد. یافته یاد شده نشان دهنده این نکته منطقی است که قوس‌ها اصولاً در ایجاد تنوع حرکت در هندسه مسیر (بر هم زدن یکنواختی مسیر) و همچنین کاهش سرعت وسایل نقلیه نقش مؤثری دارند، بنابراین می‌توانند تا حدی موجب کاهش تصادفات شوند، ولی در قوس‌هایی که شعاع آنها از 1000 متر کمتر است افزایش اثر نیروی گریز از مرکز و سرخوردگی، همراه با بعضی علل دیگر باعث افزایش تصادفات می‌شوند. مدل نیومن برازش داده شده نیز همان طور که در جدول 2 مشاهده می‌شود نتایج نسبتاً قابل قبولی در برداشته، با ذکر این نکته که مقدار ضریب متغیر  $L$  حاکی از بی‌تأثیر بودن آن در مدل است و به این ترتیب با متغیرهای  $V$ ،  $D$  و  $W$  شکل نهایی مدل به صورت زیر به دست می‌آید.

(14)

$$N_{acc} = [\alpha L + \beta D] V(\theta)^W - 30$$

در کل، از بین تمامی مدل‌هایی که بر داده‌های جمع‌آوری شده از قطعات مورد مطالعه برازش شدند به ترتیب مدل درجه دوم با یک متغیر ( $D$ )، مدل نیومن با سه متغیر ( $W, V, D$ )، مدل خطی با دو متغیر ( $W$  و  $D$ ) و نمایی با دو متغیر ( $W$  و  $D$ ) مناسب‌ترین مدل‌ها شناخته شدند که با توجه به نوع اطلاعات قابل دسترس می‌توانند برای پیش بینی تعداد تصادفات در قوس‌های واقع در راههای دو خطه برون شهری مورد استفاده قرار گیرند.

## 8. نتیجه‌گیری

با بررسی مدل‌های به دست آمده در این تحقیق معلوم شد که متغیرهایی نظیر درجه قوس (یا شعاع قوس)، که با درجه قوس

تحلیل ضرایب مدل در ستون ضرایب استاندارد شده جدول 3 نیز نشان می‌دهد افزایش یک واحد در  $D$  (درجه قوس) سبب افزایش  $0/743$  واحد در لگاریتم طبیعی تعداد تصادفات می‌شود و افزایش یک واحد در  $W$  (عرض سواره رو در قوس) سبب کاهش  $0/242$  واحد در لگاریتم طبیعی تعداد تصادفات می‌شود. این موضوع از نظر منطقی نیز صحیح است زیرا با افزایش عرض خط، تعداد تصادفات کاهش و با کاهش شعاع قوس (افزایش درجه قوس) تعداد تصادفات افزایش خواهد یافت. مقادیر ستون Std.Error (خطای استاندارد) دقت برآورد پارامترهای مدل را نشان می‌دهد که با توجه به این جدول  $D$  با  $0/195$  واحد و  $W$  با  $0/065$  واحد دقت برآورد شده‌اند. یعنی ضریب  $W$  با دقت بیشتری از ضریب  $D$  برآورد شده است و حدود این دو عدد، مقدار قابل قبول و دقیق ضرایب را برای این دو متغیر نشان می‌دهد. در هر صورت با وجود آن که  $R^2$  در مدل‌های نمایی اول و دوم حدود  $56\%$  به دست می‌آید، به دلیل توجیحات نظری یاد شده، مدل نمایی دوم مناسب‌تر است. باید توجه داشت که یکی از دلایل مهم حصول نتایج نسبتاً خوب به وسیله برازش نمایی، این است که ماهیت تصادفات دارای توزیع پواسن است. از مدل‌های توانی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند نتایج خوبی به دست نیامدند و در بهترین حالت آن، که در جدول 2 ارائه شده است مقدار  $R^2$  بسیار کوچک ( $29/4\%$ ) به دست آمد که بر اساس توجیحات آماری مقدار معقولی محسوب نمی‌شود بنابراین از این مدل صرف نظر می‌شود. در مدل‌های خطی برازش شده، مدل دوم و سوم از مدل اول مناسب‌ترند. ولی با توجه به تفاوت بین  $R^2$  و  $R^2$  اصلاح شده مشخص می‌شود که وارد کردن متغیر  $L$  به مدل با جریمه بیشتری همراه است، علاوه بر اینکه ضریب مربوط به آن نیز در حد صفر است، بنابراین مدل دوم مناسب‌تر از مدل سوم است. از طرفی مقایسه بین مدل‌های خطی به دست آمده با مدل‌های مرور شده در این مقاله و شباهت زیاد آن با مدل خطی چند جمله‌ای زجیر نیز یکی از مصادیق تأیید ساختار مدل مورد نظر است. بین مدل‌های سهمی درجه دو و سه با توجه به افزایش  $R^2$  به میزان  $0/006$  مدل درجه دو ارجح است چون با افزایش یک جمله درجه سه به مدل، تنها  $0/6\%$  از تغییرات تبیین نشده کاسته شده است. از طرفی مقایسه بین مدل سهمی درجه دو حاصل از این تحقیق با مدل لیسج - آسوشیت و لام، یافته مهمی را به شرح زیر نشان می‌دهد.



2. Transport Research Laboratory (1978) "Influence of geometric design variables on two-lane rural highways", TRB.
3. Perkins, David D, and Harols, T Thomas (1983) "Candidate accident surrogate for high safety analysis". Transportation Research Record.
4. Neuman, Timothy R. (1992) "Design risk analysis", TRB.
5. Miaou, Terry J., And Mishe, Akira (1993) "A statistical evaluation of the effects of highway geometric design on truck accident involvement", TRB, Washington DC.
6. Hauer, E. (2000) "Safety of horizontal curves", HSIS-HSDM, March 24.
7. Canadian research test driver response to horizontal curve (1998) Road management and engineering Journal, September 1998.
8. Neuman, Timothy R., Glenon, John and Sagg, James (1991) "Accident analysis for high-way curves", Washington, DC: TRB 923.
9. Zegeer, Charles V., and Stewart, Richard (1992) "Safety effects of geometric improvements horizontal curves", Washington D.C, TRB, Paper No.920893.
10. Persaud, Bhagwant, Retting, Richard A. and Lyon, Craig (2000) "Guidelines for identification of hazardous highway curves" TRB 1717 Paper No.00-1685.

نسبت عکس دارد)، عرض سواره رو در محل قوس و حجم ترافیک، اثرگذاری بیشتری در وقوع تصادفات در قوس‌ها نسبت به سایر متغیرها دارند. به طوری که با افزایش درجه قوس از 0 (مسیر مستقیم) تا حدود 6/ درجه ( قوس با شعاع 1000 متر)، تعداد تصادفات کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد، بنابراین، نوع ارتباط این متغیر با تصادفات، بیش از اینکه خطی باشد از یک شکل غیر خطی تبعیت می‌کند. از طرفی عرض سواره رو با تعداد تصادفات بیشتر دارای یک ارتباط خطی است و با افزایش عرض خط تصادفات کاهش می‌یابد. با توجه به نتیجه مهم این تحقیق و با در نظر گرفتن تأثیر قابل توجه کاهش درجه قوس در بهبود ایمنی، حتی‌المقدور باید در رفع قوسهای تند و افزایش شعاع قوس اقدام کرد و در صورت وجود محدودیت در این ارتباط، نسبت به تعریض عرض معبر در محل قوس به عنوان پارامتر تأثیرگذار بعدی اقدام کرد. در انتها یادآوری می‌شود دستیابی به مدل‌هایی که بر اساس آنها بتوان با اطمینان بیشتری در خصوص نوع و نحوه ارتباط متغیرهایی مانند درجه قوس، عرض خط و حجم ترافیک در تصادفات قوس‌ها اظهار نظر کرد، نیاز به تهیه بانک‌های اطلاعاتی جامع‌تری دارد به گونه‌ای که امکان بررسی متغیرهای یاد شده بر روی برد وسیع‌تری از اطلاعات تصادفات فراهم شود.

## 9. مراجع

1. Lamm, R., Psarianos, B. and Califiso. S. (2002) "Safety evaluation process for two-lane rural road", Transportation Research Record, 1796, Paper No. 02-21, 78, pp. 51-59.