# ارایه مدل پیش بینی واژگونی ناشی از خروج از جاده با استفاده از شاخص خطر حاشیه راه*

نصیر برادران رحمانیان، کارشناس ارشد، پژوهشکده حمل و نقل، تهران، ایران
شاهین شعبانی، دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: nb_rahmani@rahiran.ir

**چکیده**

*با توجه به تعداد روزافزون تصادفات جاده‌ای کشور، به ویژه تصادفات ناشی از خروج از راه و به تبع آن افزایش تعداد قربانیان ناشی از این گونه حوادث، پرداختن به مسئله ایمنی حاشیه راه از اهمیت بسیاری برخوردار است. امروزه داشتن مدل مناسبی که وضعیت ایمنی حاشیه راه را با ارایه و پیش بینی تعداد این گونه تصادفات نمایان سازد،می‌تواند مبنای مناسبی برای اعمال مدیریت حوادث ناشی از خروج از جاده باشد. در این تحقیق سعی شده تا با شناسایی و ارایه مدل مناسب پیش بینی تعداد خروج از جاده‌های منجر به واژگونی در محورهای مورد مطالعه، پارامترهای تأثیر گذار در ایمنی حاشیه راه و تعامل آنها با میزان تصادفات واژگونی مشخص شود.*

**واژه‌های کلیدی**: انحراف از مسیر، تصادفات خروج از جاده‌ای، مدلهای پیش بینی، واژگونی وسیله نقلیه

## 1. مقدمه

امروزه انحراف وسیله نقلیه از مسیر و رانده شدن آن به خارج از راه بخش قابل توجهی از کل تصادفات منجر به جرح و فوت را در بسیاری از کشورها تشکیل می‌دهد.گرچه آمار دقیقی از این‌گونه حوادث در کشور ما وجود ندارد ولی شواهد نشان می‌دهد که درصد بالایی از حوادث جاده ای منجر به فوت و جرح در ایران، در اثر خروج وسیله نقلیه از مسیر اتفاق می‌افتد که بیشتر این مرگ و جرح‌ها در نتیجه واژگونی و برخورد وسایل نقلیه با موانع ثابت حاشیه راه ایجاد می‌شوند. بنابراین وضعیت موجود در مورد میزان قابل توجه تصادفات ناشی از خروج وسیله نقلیه از جاده در کشور، اهمیت تحقیق بیشتر در زمینه کاهش تصادفات حاشیه راه را مشخص می‌کند. در این تحقیق سعی شده است تا با انتخاب یک مدل مناسب پیش بینی خروج وسیله نقلیه از جاده و قابل استفاده کردن آن برای محورهای مورد مطالعه، بتوان میزان کل واژگونی ناشی ازخروج از راه را پیش بینی کرد. برای روشن شدن مفهوم و کاربرد چنین مدلی، شایان ذکر است هنگامی که تعداد برخوردها و واژگونی به همراه شدت ناشی از آن مورد محاسبه قرار گیرد، می‌توان از رابطه 1 به تعیین هزینه مربوطه پرداخت[1].

(1) هزینه های سالانه تصادفات = (شاخص شدت) × (تعداد برخورد یا واژگونی در سال)

## 2. مروری بر تحقیقات گذشته

### 2-1 مدلهای پیش بینی خروج از راه

مدلی که در سال 1996 توسط میائو ارایه شد، رابطه بین بسامد خروج از راه درهر کیلومتر در سال و ADT در یک جاده دو خطه

* تاریخ دریافت: 85/02/15 – تاریخ پذیرش: 85/10/24 تابستان1386



Archive of SID
www.SID.ir

تفکیک نشده با عرض خط عبوری 3/65 متر را نشان می‌دهد که به صورت رابطه2 است[2].

$$\mu= [a(ADT)^b \times 0.5\times(1+\exp(d\times12)]/1.6 \qquad (2)$$

که در آن:

μ: بسامد خروج وسایل نقلیه از راه در هر کیلومتر در سال

ADT: متوسط ترافیک روزانه

a,b,d: پارامترهای مدل

مقادیر پارامترهای a،b وd که از طریق لگاریتم گرفتن از هر دو طرف معادله تعیین شده‌اند به ترتیب برابر با 0/07285، 0/5935 و 0/08224- هستند.در این رابطه، اولین مولفه $a(AAD)^b$، بیانگر تعداد کل خروج از کناره نزدیک در هر کیلومتر در سال و دومین مؤلفه$\exp(d\times12)$، بیانگر تعداد کل خروج از کناره دور در هر کیلومتر در سال است، به طوری که وسیله نقلیه بدون برخورد با وسایل نقلیه جهت مخالف تمام خط کناری را بپیماید. برای برآورد بسامد خروج وسیله نقلیه از راه در سال 2001 توسط میائو مدلی دیگر به صورت رابطه3 پیشنهاد شده است[3] که در این مدل میانگین ترافیک روزانه (ADT)، عرض خط عبوری، درجه قوس افقی و شیب طولی برای راههای دو خطه- دو طرفه برون شهری در نظر گرفته شده است.

$$E=(365\times ADT/1000000)\times\exp \qquad (3)$$
$$(\beta_{st}-(0.04\times ADT/1000)+ \ln f + 0.12HC+0.05VG)$$

که در آن :

E : تعداد خروج ازجاده پیش بینی شده در کیلومتر در سال

ADT : میانگین ترافیک روزانه در هرسال از 1000 تا 12000 وسیله نقلیه

$\beta_{st}$ : یک ثابت منطقه ای است که برای راههای دو خطه برون شهری با ADT کمتر از 2000 و نسبتاً مستقیم (درجه قوس افقی کمتر از 3) و مسطح (شیب طولی کمتر از 3٪ )، از لگاریتم طبیعی

نرخ تصادفات خروج از جاده تخمین زده می‌شود[1] و برای سایر راهها پیش فرض 0/45- در نظر گرفته می‌شود.

HC : درجه قوس افقی از 0 تا 30 درجه

VG : شیب طولی مسیر از 0 تا 10 درصد

Lnf : ضریب تأثیر عرض عبور برابر با 0، 0/2 ، 0/44 به ترتیب برای راههای با عرض 3/6 ، 3/3 و 3 متر.

## 2-2 بررسی پارامترهای مؤثر در مدلهای پیش بینی خروج از راه

پارامترهای مهمی که در این گونه مدلها درنظر گرفته شده‌اند عبارتند از:

**- درجه قوس افقی**

حرکت بی‌خطر و مطلوب ترافیک به مقدار زیادی تحت تأثیر خصوصیات هندسی راه قرار دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تعداد تصادف در قوس‌ها و به خصوص در قوس‌های تند، بیشتر است[3]. این متغیر درجه قوسهای افقی را در برمی‌گیرد و با میانگین‌گیری درجه قوس‌های واقع درطول قطعه یا راه، به دست می‌آید.

**- شیب طولی جاده**

شیب طولی جاده، تأثیر قابل توجهی بر احتمال خروج وسیله نقلیه ازسطح سواره رو دارد. البته تنها شیب طولی منفی جاده است که بر تصادفات خروج از جاده‌ای تأثیر می‌گذارد و شیب طولی مثبت بدون تأثیر است. این متغیر شیب طولی راه را در طول قطعه انتخاب شده بیان می‌کند و بر حسب درصد است. در قطعاتی که دارای شیب متغیر هستند، بر اساس طول هر یک از شیبها از میانگین شیب استفاده می‌شود.

**- متوسط حجم تردد ترافیک روزانه**

با توجه به ارتباط مستقیم میزان سفر و تعداد تصادفات رخ داده این متغیر از متغیرهای اساسی بوده که نقش عوامل انسانی، وسیله نقلیه و اثرات مشترک این دو عامل را دربر می‌گیرد.

**- عرض خط عبوری**

قسمت اعظم تصادفات ایران در راههای دو خطه اتفاق می‌افتد که یکی از دلایل مهم این موضوع، حجم سنگین ترافیک نسبت به ظرفیت راههای دو خطه و محدودیت‌های ناشی از کاهش سطح خدمت‌دهی و افزایش تمایل رانندگان به تخطی از مقررات است. وقتی عرض سواره رو افزایش می‌یابد، نرخ تصادفات نیز افزایش پیدا می‌کند و ممکن است به این دلیل باشد که سواره روهای عریض معمولاً برای سرعت‌های طراحی بالا در نظر گرفته می‌شوند و هنگامی که بدون خط‌کشی، علایم و تجهیزات، مدیریت و نگهداری لازم مورد



Archive of SID
www.SID.ir

استفاده قرار گیرند به وجود آورنده تصادفات شدید می‌شوند. عرض سواره رو یکی از پارامترهای اساسی در ایمنی راهها محسوب شده و به منظور سنجش کمبود حداقل عرض مورد استفاده در یک رویه و یا اضافه عرض روسازی بکار گرفته شده است[4].

## 3. ارزیابی مدل های پیش بینی خروج

برای تخمین میزان خروج از جاده منجر به واژگونی، با استفاده از آزمون $\chi 2$ و از طریق بررسی آزمون برازندگی مقادیر واقعی خروج از جاده‌های ثبت شده در کروکی تصادفات و مقادیر پیش بینی شده توسط مدلهای ارایه شده، مقایسه‌ای بین نتایج این دو مدل جهت انتخاب مدل بهتر صورت می‌گیرد. بنابراین شبکه‌ای از راه در استان خراسان رضوی که شامل 7 محور است انتخاب شده و تعداد تصادفات مربوط به سالهای 82 و83 و از نوع خروج از جاده که شامل واژگونی و برخورد با شیء ثابت هستند به همراه کروکی‌های ثبت شده از پاسگاههای پلیس راه اخذ شد.

### 3-1 آزمون آماری $\chi 2$

برای بررسی وجود تفاوت بین مقادیر به دست آمده توسط مدل‌های انتخابی و مقادیر واقعی خروج از جاده، با توجه به خاصیت شمارشی بودن تعداد تصادفات در هر محور و برای بررسی برازندگی مدل های تئوری میائو به داده‌های مشاهده شده از آزمون $\chi 2$ استفاده شده است. بنابراین محورهای مورد مطالعه را به صورت k رده جدا از هم از C1تا Ck در نظر می‌گیریم.

| | $C_1$ $C_2$ ... $C_k$ | |
|---|---|---|
| مقادیر مشاهده شده | $o_1$ $o_2$ ....$o_k$ | $n=\sum_{i=1}^{k} o_i$ |
| مقادیر مورد انتظار | $e_1$ $e_2$ ...$e_k$ | $n=\sum_{i=1}^{k} e_i$ |

n : تعداد کل مشاهدات

$o_i$: مقدار مشاهده شده

$e_i$ فراوانی مورد انتظار در رده i ام است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$e_i = np_i \quad i = 1,2,...,k \qquad (4)$$

$P_i$: تعداد کل/ (مقدار پیش بینی شده توسط مدل میائو در رده i ام)

مقدار $\chi^2$ به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \qquad (5)$$

فرض $H_0$: برازندگی مدل تئوری به مشاهدات است و در فرض $H_1$ مدل تئوری مفروض برای مشاهدات مناسب نیست.

اگر $\chi^2 > \chi^2_{\alpha,k-1}$ شود می‌توان نتیجه گرفت که فرض $H_0$ با میزان $\alpha$ درصد رد می‌شود.

$\chi^2_{\alpha,k-1}$ چندک( $\alpha$-1)ام توزیع $\chi^2$ با (k-1) درجه آزادی است که از جدول تعیین می شود[5].

جهت آزمون برازندگی مقادیر واقعی تعداد خروج از جاده و مقادیر پیش بینی شده توسط رابطه2 (سال 1996)، مقدار آماره آزمون 85/16 به دست می‌آید که با مقایسه این عدد با $\chi^2_{0.05,6} = 12/59$ نتیجه می‌شود که فرض $H_0$ با میزان 0/05 درصد رد می‌شود و به عبارتی نتایج حاصل از این مدل با مقادیر واقعی مطابقت چندانی ندارد. برای آزمون برازندگی مقادیر واقعی تعداد خروج از جاده و مقادیر پیش بینی شده توسط رابطه3 (سال2001) مقدار آماره آزمون 6/16 به دست می‌آید که با مقایسه این عدد با $\chi^2_{0.05,6} = 12.59$ نتیجه می شود در سطح 0/05 دلیلی برای رد $H_0$ وجود ندارد و به عبارتی دو سری داده‌ها شامل مقادیر واقعی و پیش بینی شده کل خروج از جاده‌ها از نظر آماری تفاوتی ندارند، بنابراین با توجه به ارزیابی صورت گرفته به دلیل نزدیک‌تر بودن مقادیر پیش بینی شده از رابطه 3 با مقادیر واقعی، در ادامه تحقیق این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## 4. تعیین مدل پیش بینی واژگونی

با استفاده از مدل 2 می‌توان میزان کل خروج از راه چه همراه با برخورد و واژگونی و چه بدون خسارت و واژگونی را پیش بینی کرد. اما هدف اصلی در این تحقیق برآورد میزان و درصد خروج از راه منجر به واژگونی است. به همین منظور تلاش شده است تا با در نظر گرفتن شاخصی به عنوان شاخص خطر حاشیه راه در این مدل بتوان به میزان خروج از راه منجر به واژگونی دست یافت. بنابراین مشخصات مربوط به طرح هندسی از قبیل درجه قوس، درصد شیب طولی، طول محور و میزان ترافیک روزانه هر محور از دستگاههای ذیربط و همچنین تصادفات خروج از راه منجر به واژگونی برای سالهای 82 و 83 از طریق فرم‌های اطلاعات تصادفات پاسگاههای پلیس واقع در محورها و سپس ثبت و تحلیل



Archive of SID
www.SID.ir

آنها در محیط spss تهیه شد. این اطلاعات درجداول2،3و4 ارایه شده‌اند.

**جدول1. محاسبه $\chi 2$ با در نظر گرفتن مدل های ارایه شده**

| رده‌ها | فیض آباد- بجستان $C_1$ | بجستان- فردوس $C_2$ | گناباد- فردوس C3 | گناباد- بجستان C4 | گناباد- قائن C5 | گناباد- سه راهی مهنه C6 | تربت - سه راهی مهنه C7 | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقادیر واقعی(83) | 45 | 12 | 18 | 11 | 14 | 42 | 35 | 177 |
| رابطه2 | | | | | | | | |
| مقادیرپیش ینی شده | 295/8 | 184/8 | 202/59 | 200/2 | 98 | 101/5 | 332/10 | 1414/99 |
| $P_i$ | 0/21 | 0/13 | 0/143 | 0/142 | 0/07 | 0/072 | 0/233 | 1 |
| $e_i = n P_i$ | 37/17 | 23/01 | 25/34 | 25/23 | 12/39 | 12/76 | 41/1 | 177 |
| $\sum_{i=1}^{k} \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$ | 1/64 | 5/27 | 2/12 | 8/02 | 0/21 | 67 | 0/9 | 85/16 |
| رابطه3 | | | | | | | | |
| مقادیرپیش‌ینی شده | 42/78 | 19/77 | 22/59 | 10/85 | 12/21 | 50/54 | 30/31 | 189/05 |
| $P_i$ | 0/23 | 0/10 | 0/12 | 0/06 | 0/06 | 0/27 | 0/16 | 1 |
| $e_i = n P_i$ | 40/05 | 18/51 | 21/15 | 10/16 | 11/43 | 47/31 | 28/38 | 177 |
| $\sum_{i=1}^{k} \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$ | 0/61 | 2/29 | 0/47 | 0/07 | 0/58 | 0/60 | 1/54 | 6/16 |

**جدول 2. اطلاعات طرح هندسی محورهای مورد مطالعه**

| نام محور | متوسط شیب طولی (درصد) | متوسط شعاع قوس افقی (m) | درجه قوس افقی | طول محور (km) |
|---|---|---|---|---|
| فیض‌آباد-بجستان | 4 | 400 | 1/43 | 87 |
| بجستان - فردوس | 2 | 480 | 1/19 | 77 |
| گناباد- فردوس | 2/3 | 450 | 1/27 | 77 |
| گناباد- بجستان | 4 | 480 | 1/19 | 49 |
| گناباد- قائن | 2 | 400 | 1/43 | 35 |
| گناباد- سه‌راهی‌مهنه | 4 | 500 | 1/14 | 81 |
| تربت- سه راهی مهنه | 4 | 500 | 1/14 | 45 |

**جدول3. میزان تردد وسایل نقلیه در محورهای مورد مطالعه (سالهای83 و82)**

| محور | متوسط ترافیک روزانه در سال82 (AADT) | متوسط ترافیک روزانه در سال83 (AADT) |
|---|---|---|
| فردوس - بجستان | 1537 | 1599 |
| تربت حیدریه- سه راهی مهنه | 4082 | 4245 |
| گناباد- سه راهی مهنه | 3725 | 3874 |
| فیض آباد- بجستان | 2719 | 2828 |
| گناباد- بجستان | 1182 | 1230 |
| گناباد- فردوس | 1728 | 1797 |
| گناباد- قائن | 2076 | 2159 |



Archive of SID
www.SID.ir

جدول4. تعداد تصادفات خروج از راه منجر به واژگونی در محورهای مورد مطالعه (سالهای 82 و83)

| نام محور | تعداد تصادفات منجر به واژگونی سال 82 | تعداد تصادفات منجر به واژگونی سال 83 |
|---|---|---|
| گناباد- فردوس | 13 | 11 |
| فیض آباد- بجستان | 21 | 25 |
| بجستان- گناباد | 5 | 6 |
| بجستان- فردوس | 6 | 7 |
| گناباد- قائن | 7 | 5 |
| تربت‌حیدریه-سه‌راهی‌مهنه | 15 | 13 |
| گناباد-سه‌راهی‌مهنه | 21 | 25 |

جدول5. مقادیر طول خطر محورها در شبکه گناباد

| شماره | نام محور | طول خطر (km) | طول محور (km) |
|---|---|---|---|
| 1 | فیض آباد- بجستان | 30 | 87 |
| 2 | گناباد- فردوس | 30 | 77 |
| 3 | بجستان- فردوس | 20 | 77 |
| 4 | گناباد- بجستان | 35 | 49 |
| 5 | گناباد- قائن | 5 | 35 |
| 6 | گناباد- سه راهی مهنه | 45 | 81 |
| 7 | تربت - سه راهی‌مهنه | 20 | 45 |
| | مجموع | 185 | 451 |

جدول6. تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی پیش‌بینی شده در سال83 توسط مدل

| شماره | نام محور | ADT | HC | VG | E | تعداد پیش‌بینی شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | فیض آباد- بجستان | 2828 | 1/43 | 4٪ | 0/2 | 18 |
| 2 | گناباد- فردوس | 1797 | 1/27 | 2/3٪ | 0/12 | 10 |
| 3 | بجستان- فردوس | 1599 | 1/19 | 2٪ | 0/1 | 9 |
| 4 | گناباد-بجستان | 1230 | 1/19 | 4٪ | 0/09 | 5 |
| 5 | گناباد- قائن | 2159 | 1/43 | 2٪ | 0/14 | 5 |
| 6 | گناباد- سه راهی مهنه | 3874 | 1/14 | 4٪ | 0/26 | 21 |
| 7 | تربت - سه راهی مهنه | 4245 | 1/14 | 4٪ | 0/28 | 13 |

جدول7. مقایسه تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی واقعی و پیش بینی شده در سال83

| شماره | نام محور | تعداد واقعی خروج از جاده منجر به واژگونی | تعداد پیش‌بینی شده خروج ازجاده منجر به واژگونی |
|---|---|---|---|
| 1 | فیض آباد- بجستان | 29 | 18 |
| 2 | گناباد- فردوس | 13 | 10 |
| 3 | بجستان- فردوس | 8 | 9 |
| 4 | گناباد-بجستان | 7 | 5 |
| 5 | گناباد- قائن | 6 | 5 |



Archive of SID
www.SID.ir

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6 | گناباد- سه راهی مهنه | 29 | 21 |
| 7 | تربت - سه راهی‌مهنه | 15 | 13 |

**جدول8. محاسبه مقدار $\chi^2$ برای اعتبار سنجی مدل پیش بینی خروج از جاده منجر به واژگونی**

| ردهها | فیض آباد- بجستان $C_1$ | بجستان- فردوس $C_2$ | گناباد- فردوس $C_3$ | گناباد- بجستان C4 | گناباد- قائن $C_5$ | گناباد-سه راهی مهنه $C_6$ | تربت - سه راهی مهنه $C_7$ | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقادیر پیش بینی شده | 17/54 | 8/11 | 9/26 | 4/45 | 5/01 | 20/72 | 12/43 | 77/52 |
| مقادیر واقعی | 29 | 8 | 13 | 7 | 6 | 29 | 15 | 107 = n |
| $e_i$ =n $P_i$ | 24/21 | 11/19 | 12/79 | 6/14 | 6/91 | 28/60 | 17/16 | 107 |
| $\sum_{i=1}^{k} \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$ | 0/95 | 0/91 | 0 | 0/12 | 0/12 | 0/01 | 0/27 | 2/37 |

## 4-1 شاخص خطر حاشیه راه (RH)

به طور کلی در حوادث رانندگی منجر به انحراف و خروج وسیله نقلیه از راه هنگامی شدت حادثه افزایش می‌یابد که وسیله نقلیه منحرف شده با یکی از موانع ثابت کنارجاده برخورد کند و یا در اثر قرار گرفتن در شیب غیر استاندارد کنارجاده واژگون شود.

از جمله موانع ثابتی که به عنوان عوامل خطرزا در حاشیه راه محسوب می‌شود می‌توان به تیرها و پایه‌های انتقال برق، پایه‌های تابلوها و علائمی که به صورت صلب ساخته شده‌اند، درختها، ستونها، آبروها، کالورتها، صخره‌های سنگی و شیب‌های نامناسب اشاره کرد[6]. شیبهای کناری نامناسب از عوامل مهم در واژگون شدن وسایل نقلیه پس از انحراف از مسیر اصلی به شمار می‌روند. راهنمای ایمنی حاشیه راه آشتو، نسخه سال 2002، شیروانی‌های خاکریزی امتداد راه را به سه نوع قابل بازیابی، غیر قابل بازیابی و بحرانی تقسیم می‌کند که شیبهای تندتر از 1به3، از نوع بحرانی بوده و بر روی آن احتمال واژگونی وسیله نقلیه وجود دارد که در چنین حالتهایی توصیه شده است از حفاظ کناری استفاده شود[7]. بنابراین منظور از خطر حاشیه راه وجود موانع کناری و شیب‌های نامناسب و غیر استاندارد حاشیه راه است و با بکاربردن شاخص خطر حاشیه راه که همواره عددی کوچک‌تر از یک است می‌توان میزان خروج از راه منجر به برخورد و واژگونی را تخمین زد:

= ( تعداد خروج از راه منجر به برخورد و واژگونی)

RH× (تعداد کل خروج از جاده)

این شاخص که به وضعیت ایمنی حاشیه راه از لحاظ طراحی شیب شیروانی و وجود موانع و عوارض کنار راه اختصاص دارد به صورت نسبت طول خطر به طول محور در رابطه 6 تعریف شده است. در این رابطه $l_H$ برابر طول خطر و $L$ برابر با طول محور است.

(6)

$$RH = \frac{l_H}{L}$$

و برای کل شبکه به صورت رابطه 7 به دست می‌آید:

(7)

$$RH = \frac{\sum L_{H\,i}}{\sum L_i} < 1$$

منظور از طول خطرکه به صورت رابطه 8 محاسبه می شود، طول قسمتهایی از محور است که در آن احتمال برخورد وسیله نقلیه با موانع کناری وجود دارد و یا این که دارای شیب بحرانی است.

$$L_H=C_r+C_l+S \qquad (8)$$

پارامترهای$C_r$ و $C_l$ نشانگر مقداری از طول راه در سمت راست و چپ مسیر هستند که اگر در آنها خروج از جاده صورت گیرد، احتمال برخورد وسیله نقلیه با موانع کناری به وجود می‌آید. این قسمت‌های ویژه از جاده را موقعیت برخورد می‌گویند. پارامترهای $C_r$و $C_l$ به عرض وسیله نقلیه، زاویه خروج، طول و عرض مانع بستگی دارند و با روابط 9 و10 تعیین می‌شوند[3]:

$$C_r=[\ L_O+[W_V \times CSC(\varphi_r)]+ \qquad (9)$$
$$[\ W_o \times Cot\ (\varphi_r)]]/(L\times 5280)$$

$$C_l=[\ L_O+[W_V \times CSC(\varphi_l)]+ \qquad (10)$$
$$[\ W_o \times Cot\ (\varphi_l)]]/(L\times 5280)$$

$L_O$و $W_O$ طول و عرض مانع در مقیاس متر است، $\varphi_r$ و $\varphi_l$ زاویه انحراف از کناره چپ و راست جاده هستند. $W_V$ عرض وسیله نقلیه است که برابر با1/83 متر می باشد. زاویه انحراف برای کناره



Archive of SID
www.SID.ir

نزدیک 6/1 درجه و برای کناره دور 11/5 درجه است و L طول جاده به کیلومتر است. پارامتر S نیز نشانگر مقداری از طول جاده است که دارای شیب کنارجاده بحرانی می باشد. بنابراین چنان چه این شاخص در رابطه3 بکار برده شود، مدل پیش بینی میزان خروج از جاده منجر به برخورد و واژگونی به صورت رابطه 11 به دست می‌آید.

$$E=(365\times ADT/1000000)\times (RH)\times \exp(\beta_{st}-(0.04\times ADT/1000)+\ln f+0.12HC+0.05VG) \quad (11)$$

برای تعیین ضریب $\beta_{st}$ با توجه به توضیح داده شده در قبل، محور گناباد - فردوس که شرایط لازم را دارد انتخاب می شود که با بررسی آمار تصادفات این محور مشخص شد که نرخ تصادفات خروج از جاده این محور در سال 83 برابر با 37٪ است. $\beta_{st}=\ln 0.37=-1$

شیب کناری راه در قسمتهایی از طول محورهای مورد مطالعه، به گونه‌ای طراحی شده است که هر خروج از جاده‌ای با احتمال بسیار زیاد همراه با واژگونی خواهد بود. زیرا بررسی حاشیه راهها در شبکه گناباد نشان داد که محورهای موجود به طور متوسط دارای شیب شیروانی منفی 1به1 و 1به2 هستند که با توجه به استاندارد موجود در راهنمای طراحی حاشیه راه آشتو از نوع شیبهای بحرانی محسوب می‌شوند. از طرفی به دلیل این که موانع ثابت از قبیل پایه‌های چراغ به طور متوسط در فاصله ای حدود 30 متر از لبه سواره رو قرار گرفته‌اند و خارج از منطقه بازیابی هستند، بنابراین برای وسایل نقلیه منحرف شده از مسیر اصلی تنها خطری که به عنوان خطر حاشیه راه ممکن است باعث واژگونی آن شود، وجود شیب‌های کناری غیر استاندارد و بحرانی و قرار گرفتن وسائل نقلیه در آن است. بنابراین در به دست آوردن طول خطر برای شبکه گناباد ( $l_H$ )، از پارامترهای $C_r$ و $C_l$ چشم‌پوشی می‌شود ($L_H= S$) و از آنجا که شاخص خطر حاشیه راه فقط به شیب‌های نامناسب کناری راه مربوط می شود و نه برخورد با موانع، پس می‌توان گفت که مدل مورد استفاده تنها خروج از جاده‌های منجر به واژگونی را پیش بینی می‌کند. همچنین با توجه به اینکه عرض مسیر در کلیه محورهای شبکه برابر با 3/6 متر است بنابراین پارامتر $\ln f$ برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

### 2-4 تعیین پارامتر شاخص خطر در مدل

میزان طول خطر حاشیه راه برای هر محور در شبکه، از طریق برداشت میدانی محاسبه شده است(مطابق جدول 5).با داشتن مجموع طول خطر حاشیه راه و طول محورهای شبکه شاخص RH برای شبکه0/41 به دست آمد. بنابراین مدل پیش‌بینی تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی در شبکه گناباد به صورت رابطه 12 می‌شود:

$$E=(365\times ADT/1000000)\times(0.41)\times \exp(-1-(0.04\times ADT/1000)+0.12HC+0.05VG)\times ADT/1000000 \quad (12)$$

## 5. تعیین و تحلیل نتایج حاصل از مدل پیش‌بینی واژگونی

تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی پیش بینی شده در یک سال توسط مدل ارایه شده برای هریک از محورهای شبکه در جدول 6 نشان داده شده است. در جدول7 تعداد واقعی خروج از جاده منجر به واژگونی برای این که به واقعیت نزدیک‌تر باشند تعدیل شده‌اند. بر اساس تحقیقی که آیتی[8] در پروژه برآورد هزینه تصادفات ترافیکی راههای ایران انجام داده است، مشخص شد که اطلاعات ثبت شده توسط پلیس، دارای خطا بوده و برای رسیدن به تعداد واقعی تصادفات، توصیه شده است که تعداد تصادفات ثبت شده در عدد 1/15ضرب شود. بنابراین تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی که از کروکی‌های ثبت شده توسط پاسگاههای پلیس استخراج شده‌اند در عدد 1/15ضرب شده‌اند.

## 6. اعتبار سنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل و مقایسه نتایج حاصل از مدل و مقادیر واقعی واژگونی، با توجه به نظریه بیان شده در قسمت 2 و مطابق با جدول8 مقدار $\chi^2$ ، 2/37 به دست می‌آید که بعد از مقایسه با مقدار بحرانی به دست آمده از جدول، ( $\chi^2_{0.05,6}=12.59$ )، نتیجه می‌شود که در سطح آزمون 0/05 دلیلی برای رد $H_0$ وجود ندارد. بنابراین از نظر آماری تفاوت بین دو سری داده واقعی و پیش بینی شده توسط مدل، قابل قبول است و به عبارتی مدل ارایه شده برای پیش بینی خروج از جاده‌های منجر به واژگونی، نتایج قابل قبول و مناسبی به دست می‌دهد. بنابراین $\chi^2 < \chi^2_{0.05,6}$ و در سطح آزمون 0/05 دلیلی بر رد $H_0$ وجود ندارد.

## 7. جمع بندی و نتیجه‌گیری

Archive of SID



www.SID.ir

- در شبکه گناباد با توجه به بررسی که صورت گرفت وجود شیبهای کناری غیر استاندارد و بحرانی به عنوان خطر حاشیه راه محسوب می‌شود و سبب واژگونی وسائل نقلیه منحرف شده از جاده می‌شود که با در نظر گرفتن شرایط یاد شده، میزان شاخص خطر حاشیه راه برای کل شبکه 0/41 به دست آمد و در واقع می‌توان گفت که 40 درصد از کل خروج از جاده ها به واژگونی منجر می‌شود.
- مقایسه مقادیر پیش بینی شده توسط مدل و تعداد واقعی در سال 83 با یکدیگر نشان می‌دهد که اختلاف این دو به طور متوسط حدود 26 درصد است.
- طبق بررسی صورت گرفته مشخص شد که حدود 30 درصد از کل تصادفات جاده‌ای در کشور به تصادفات ناشی از خروج وسیله نقلیه از جاده مربوط می شود و حدود نیمی از این 30 درصد به واژگونی منجر می‌شود.
- مطالعات نشان می دهند که در ایالات متحده حدود 22 درصد از کل تصادفات جاده‌ای، به تصادفات ناشی از انحراف و خروج وسیله نقلیه از جاده مربوط می‌شود، اما تنها در 15 درصد مواقع، خروج از جاده منجر به برخورد با موانع یا واژگونی وسیله نقلیه می شود و چنان که از این میزان، سهم مربوط به خروج از جاده منجر به برخورد با موانع را جداگانه درنظر بگیریم، درصد خروج از جاده منجر به واژگونی کمتر از 15 درصد است و درصد قابل توجهی از وسایل نقلیه منحرف شده از مسیر به دلیل طراحی مناسب شیب کناری جاده و درنظر گرفتن منطقه بازیابی و عاری از مانع، توانایی توقف و بازگشت مجدد به مسیر اصلی را دارند [9] و [10]. در ایران به دلیل طراحی نامناسب شیب کناری در طول مسیر و یا وجود موانع کناری در نزدیکی لبه سواره رو، درصد قابل توجهی از خروج از جاده‌ها همراه با واژگونی و یا برخورد با عوارض و موانع ثابت کناری راه است که این وضعیت نشان دهنده وجود حاشیه‌های غیرایمن در شبکه راههای کشور است و توجه بیش از پیش به ایمن سازی و ساماندهی حاشیه راهها توسط متولیان راه را می‌طلبد.

## 8. مراجع


1. Queensland Department of Main Roads (2005) "Road planning and design manual", Brisbane: Queensland Department of Main Roads.

2. Miaou, Shaw-Pin (1996) "Measuring the goodness-of-fit of accident prediction models" Publication No.FHWA-RD-96-040.

3. Miaou, Shaw-Pin (2001) "Estimating roadside encroachment rate with the combined strengths of accident and encroachment-based approaches", Publication No.FHWA-RD-01-124.

4. آیتی، اسماعیل (1382) "تصادفات جاده ای در ایران"، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد.

5. بهبودیان، جواد (1382) " آمار ریاضی"، تهران: انتشارات امیر کبیر.

6. Coulter, D.Ross (2003) "Hazards struck", www.highway.safety.org,

7. AASHTO (2002) "Roadside design guide".

8. آیتی، اسماعیل (1384) " برآورد هزینه تصادفات ترافیکی راههای کشور"، تهران: پژوهشکده حمل و نقل.

9. Transportation Research Board (1997) "Strategies for improving roadside safety", Washington D.C.: NCHRP Research Results Digest 220 , project 17-3.

10. Insurance Institute for Highway Safety (2005) "Fatality facts, roadside hazards", Insurance, www.iihs.org.


## پانویس

1. برای محاسبه ثابت βst، یکی از جاده‌های دارای شرایط یاد شده در منطقه یا شبکه‌ای که مدل برای آن بکار می‌رود باید انتخاب شود تا از لگاریتم نرخ تصادفات خروج از راه این محور، مقدار βst تخمین زده شود [8].



Archive of SID
www.SID.ir