

## 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 و صنعت 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 جاده 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

بتوان میزان کل واژگونی ناشی از خروج 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

#### 1-2 مدل‌های پیش بینی خروج از راه

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

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 این گونه 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،

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 در نظر 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 در طول قطعه یا راه، به دست می‌آید.

### - شیب طولی جاده

شیب طولی جاده، تأثیر قابل توجهی بر احتمال خروج وسیله نقلیه از سطح 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 در بر 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، علائم و تجهیزات، مدیریت و نگهداری لازم مورد

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

$$\mu = [a(ADT)^b \times 0.5 \times (1 + \exp(d \times 12))] / 1.6 \quad (2)$$

که در آن:

$\mu$ : بسامد خروج وسایل نقلیه از راه در هر کیلومتر در سال

ADT: متوسط ترافیک روزانه

a, b, d: پارامترهای مدل

مقادیر پارامترهای a, b, d 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 مؤلفه  $a(AAD)^b$  بیانگر تعداد کل خروج از کناره نزدیک در هر کیلومتر در سال و دومین مؤلفه  $\exp(d \times 12)$  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 ببیند. برای برآورد بسامد خروج وسیله نقلیه از راه در سال 2001 توسط میائو مدلی دیگر به صورت رابطه 3 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.

$$E = (365 \times ADT / 1000000) \times \exp \quad (3)$$

$$(\beta_{st} - (0.04 \times ADT / 1000) + Lnf + 0.12HC + 0.05VG)$$

که در آن:

E: تعداد خروج از جاده پیش بینی شده در کیلومتر در سال

ADT: میانگین ترافیک روزانه در هر سال از 1000 تا 12000

وسيله 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<sup>1</sup> 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

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 آرایه 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 و 83 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.

#### 1-3 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 مدل‌های تئوری می‌توان به داده‌های مشاهده شده از آزمون  $\chi^2$  استفاده شده است. بنابراین محورهای مورد مطالعه را به صورت  $k$  رده جدا از هم از  $C_1$  تا  $C_k$  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:

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

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

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

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

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

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

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

جهت آزمون برازندگی مقادیر واقعی تعداد خروج از جاده و مقادیر پیش بینی شده توسط رابطه 2 (سال 1996)، مقدار آماره آزمون  $\chi_{0.05, 6}^2 = 12.59$  به دست می‌آید که با مقایسه این عدد با  $\chi_{0.05, 6}^2 = 12.59$  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 رابطه 3 (سال 2001) مقدار آماره آزمون  $\chi_{0.05, 6}^2 = 12.59$  به دست می‌آید که با مقایسه این عدد با  $\chi_{0.05, 6}^2 = 12.59$  نتیجه می‌شود 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 ذریبط 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

برادران و شعبانی

آنها در محیط spss تهیه شد. این اطلاعات در جداول 2 و 3، 4 ارایه شده‌اند.

جدول 1. محاسبه  $\chi^2$  با در نظر گرفتن مدل های ارایه شده

رده ها	فیض آباد - بچستان	بچستان - فردوس	گناباد - فردوس	گناباد - بچستان	گناباد - قائن	گناباد - سه راهی مهنه	ترت - سه راهی مهنه	جمع
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	
مقادیر واقعی (83)	45	12	18	11	14	42	35	177
رابطه 2								
مقادیر پیش بینی شده	295/8	184/8	202/59	200/2	98	101/5	332/10	1414/99
P <sub>i</sub>	0/21	0/13	0/143	0/142	0/07	0/072	0/233	1
e <sub>i</sub> = n P <sub>i</sub>	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
رابطه 3								
مقادیر پیش بینی شده	42/78	19/77	22/59	10/85	12/21	50/54	30/31	189/05
P <sub>i</sub>	0/23	0/10	0/12	0/06	0/06	0/27	0/16	1
e <sub>i</sub> = n P <sub>i</sub>	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)
فیض آباد-بچستان	4	400	1/43	87
بچستان - فردوس	2	480	1/19	77
گناباد- فردوس	2/3	450	1/27	77
گناباد- بچستان	4	480	1/19	49
گناباد- قائن	2	400	1/43	35
گناباد- سه راهی مهنه	4	500	1/14	81
ترت- سه راهی مهنه	4	500	1/14	45

جدول 3. میزان تردد وسایل نقلیه در محورهای مورد مطالعه (سالهای 83 و 82)

محور	متوسط ترافیک روزانه در سال 82 (AADT)	متوسط ترافیک روزانه در سال 83 (AADT)
فردوس - بچستان	1537	1599
ترت حیدریه- سه راهی مهنه	4082	4245
گناباد- سه راهی مهنه	3725	3874
فیض آباد- بچستان	2719	2828
گناباد- بچستان	1182	1230
گناباد- فردوس	1728	1797
گناباد- قائن	2076	2159

جدول 4. تعداد تصادفات خروج از راه منجر به واژگونی در محورهای مورد مطالعه (سالهای 82 و 83)

نام محور	تعداد تصادفات منجر به واژگونی سال 82	تعداد تصادفات منجر به واژگونی سال 83
گناباد- فردوس	13	11
فیض آباد- بجنستان	21	25
بجنستان- گناباد	5	6
بجنستان- فردوس	6	7
گناباد- قائن	7	5
تربت-حیدریه-سه راهی مهنه	15	13
گناباد-سه راهی مهنه	21	25

جدول 5. مقادیر طول خطر محورها در شبکه گناباد

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

جدول 6. تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی پیش بینی شده در سال 83 توسط مدل

شماره	نام محور	ADT	HC	VG	E	تعداد پیش بینی شده
1	فیض آباد- بجنستان	2828	1/43	4%	0/2	18
2	گناباد- فردوس	1797	1/27	2/3%	0/12	10
3	بجنستان- فردوس	1599	1/19	2%	0/1	9
4	گناباد-بجنستان	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

جدول 7. مقایسه تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی واقعی و پیش بینی شده در سال 83

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

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

جدول 8. محاسبه مقدار  $\chi^2$  برای اعتبار سنجی مدل پیش بینی خروج از جاده منجر به واژگونی

رده‌ها	قنبر- بجستان آباد- C <sub>1</sub>	فردوس- بجستان- C <sub>2</sub>	گناباد- فردوس C <sub>3</sub>	بجستان گناباد- C <sub>4</sub>	گناباد- قنبر C <sub>5</sub>	گناباد- سه راهی مهنه C <sub>6</sub>	سه راهی مهنه C <sub>7</sub>	ن
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

#### 1-4 شاخص خطر حاشیه راه (RH)

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 خطر که به صورت رابطه 8 محاسبه می‌شود، 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.

$$L_H = C_r + C_1 + S \quad (8)$$

پارامترهای  $C_r$  و  $C_1$  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  $C_1$  به عرض وسیله نقلیه، زاویه خروج، طول و عرض مانع بستگی دارند و با روابط 9 و 10 تعیین می‌شوند [3]:

$$C_r = [L_0 + [W_v \times CSC(\phi_r)] + [W_o \times Cot(\phi_r)]] / (L \times 5280) \quad (9)$$

$$C_1 = [L_0 + [W_v \times CSC(\phi_1)] + [W_o \times Cot(\phi_1)]] / (L \times 5280) \quad (10)$$

$L_0$  و  $W_o$  طول و عرض مانع در مقیاس متر است،  $\phi_1$  و  $\phi_r$  زاویه انحراف از کناره چپ و راست جاده هستند.  $W_v$  عرض وسیله نقلیه است که برابر با 1/83 متر می‌باشد. زاویه انحراف برای کناره

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 کنار جاده برخورد کند و یا در اثر قرار گرفتن در شیب غیر استاندارد کنار جاده 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 1 به 3، از نوع بحرانی بوده و بر روی آن احتمال واژگونی وسیله نقلیه وجود دارد که در چنین حالتی 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)

$$RH \times (\text{تعداد کل خروج از جاده})$$

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

مجموع طول خطر حاشیه راه و طول محورهای شبکه شاخص RH برای شبکه 0/41 به دست آمد. بنابراین مدل پیش بینی تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی در شبکه گناباد به صورت رابطه 12 می شود:

$$E=(365 \times ADT / 1000000) \times (0.41) \times \exp$$

(12)

$$(-1 - (0.04 \times ADT / 1000) + 0.12HC + 0.05VG) \times ADT / 1000000$$

## 5. تعیین و تحلیل نتایج حاصل از مدل پیش بینی

### 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 جدول 7 تعداد واقعی خروج از جاده منجر به واژگونی برای این که به واقعیت نزدیک تر باشند تعدیل شده اند. 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 1/15 ضرب شود. بنابراین تعداد خروج از جاده منجر به واژگونی که از کروکی های ثبت شده توسط پاسگاههای پلیس استخراج شده اند در عدد 1/15 ضرب شده اند.

## 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 جدول 8 مقدار  $\chi^2$ ، 2/37 به دست می آید که بعد از مقایسه با مقدار بحرانی به دست آمده از جدول، ( $\chi^2_{0.05,6} = 12.59$ )، نتیجه می شود 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 جاده های منجر به واژگونی، نتایج قابل قبول و مناسبی به دست می دهد. 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 نتیجه گیری

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 کنار جاده بحرانی می باشد. بنابراین چنان چه این شاخص در رابطه 3 بکار برده شود، مدل پیش بینی میزان خروج از جاده منجر به برخورد و واژگونی به صورت رابطه 11 به دست می آید.

$$E=(365 \times ADT / 1000000) \times$$

(11)

$$(RH) \times \exp(\beta_{st} - (0.04 \times ADT / 1000) + \ln f + 0.12HC + 0.05VG)$$

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 گونه ای طراحی شده است که هر خروج از جاده ای 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 1 به 1 و 2 هستند که با توجه به استاندارد موجود در راهنمای طراحی حاشیه راه آشتو از نوع شیبهای بحرانی محسوب می شوند. از طرفی به دلیل این که موانع ثابت از قبیل پایه های چراغ به طور متوسط در فاصله ای حدود 30 متر از لبه سواره رو قرار گرفته اند 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 شیب های 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  $C_1$  و  $C_T$  چشم پوشی می شود ( $L_H = S$ ) و از آنجا که شاخص خطر حاشیه راه فقط به شیب های نامناسب کناری راه مربوط می شود و نه برخورد با موانع، پس می توان گفت که مدل مورد استفاده تنها خروج از جاده های منجر به واژگونی را پیش بینی می کند. 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 می شود.

## 4-2 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

- در شبکه گناباد با توجه به بررسی که صورت گرفت وجود شبیهای کناری غیر استاندارد و بحرانی به عنوان خطر حاشیه راه محسوب می شود و سبب واژگونی وسایل نقلیه منحرف شده از جاده می شود که با در نظر گرفتن شرایط یاد شده، میزان شاخص خطر حاشیه راه برای کل شبکه 0/41 به دست آمد و در واقع می توان گفت که 40 درصد از کل خروج از جاده ها به واژگونی منجر می شود.
- مقایسه مقادیر پیش بینی شده توسط مدل و تعداد واقعی در سال 83 با یکدیگر نشان می دهد که اختلاف این دو به طور متوسط حدود 26 درصد است.
- طبق بررسی صورت گرفته مشخص شد که حدود 30 درصد از کل تصادفات جاده ای در کشور به تصادفات ناشی از خروج وسیله نقلیه از جاده مربوط می شود و حدود نیمی از این 30 درصد به واژگونی منجر می شود.
- مطالعات نشان می دهند که در ایالات متحده حدود 22 درصد از کل تصادفات جاده ای، به تصادفات ناشی از انحراف و خروج وسیله نقلیه از جاده مربوط می شود، 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 در نظر 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 در نظر 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 جاده ها همراه با واژگونی و یا برخورد با عوارض و موانع ثابت کناری راه است که این وضعیت نشان دهنده وجود حاشیه های غیرایمن در شبکه راه های کشور است و توجه بیش از پیش به ایمن سازی و ساماندهی حاشیه راهها توسط متولیان راه را می طلبد.
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 راه های 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  $\beta_{st}$  یکی از جاده های دارای شرایط یاد شده در منطقه یا شبکه ای که مدل برای آن بکار می رود باید انتخاب شود تا از لگاریتم نرخ تصادفات خروج از راه این محور، مقدار  $\beta_{st}$  تخمین زده شود [8].

### 8. مراجع

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