Archive of SID

ایجاد مدل شاخص ایمنی ترافیکی در محل پل‌ها در راه‌های ایران *

(یادداشت پژوهشی)

اسماعیل آیتی [1] جواد رضا واحدی [2]

چکیده *با پیشرفت فن‌آوری وسایل نقلیه موتوری و افزایش سرعت و شتاب حرکت آنها و نیز عمومیت پیدا کردن استفاده از آنها، خطرات بالقوه زیادی برای پل‌ها آشکار گردیده و علت آن تصادفاتی است که در اثر برخورد با موانع جانبی یا سقوط وسایل نقلیه از روی آنها صورت می‌گیرد به طوریکه اکنون پل‌ها، جزو نقاط تصادف‌خیز (Black spots) راه‌ها به شمار می‌آیند. در این تحقیق ابتدا اطلاعات مربوط به تصادفات، مشخصات فیزیکی و تردد ترافیکی مربوط به 19 پل از میان بیش از 25 پل مورد مطالعه در جاده‌های برون‌شهری استان خراسان، با استفاده از روش‌ها و مراجع مختلف جمع آوری گردید. سپس مجموعه‌ای از عملیات ریاضی شامل بسط مدل‌های رگرسیون آماری که قابلیت پیش‌بینی میزان تصادفات برحسب عوامل مؤثر در تصادفات را دارند، بر روی اطلاعات جمع‌آوری شده صورت گرفت. نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که از میان عوامل فیزیکی و ترافیکی پل‌ها، کاهش شانه دارای بیشترین تأثیر در ایمنی محل پل‌هاست. عوامل بروز تداخل ترافیکی و عرض پل‌ها نیز تقریباً به یک میزان، عوامل بعدی مؤثر در تصادفات محل پل‌ها هستند. این تحقیق درنهایت برای اولین بار به ایجاد یک مدل شاخص ایمنی مخصوص پل‌های ایران (Bridge Safety Index for Iran Bridges) (BSIir) می‌انجامد که فواید اقتصادی مهمی همچون پیش بینی میزان ایمنی در محل پل‌ها، بهینه سازی هزینه‌های بهسازی و نگهداری پل‌ها و توجیه طرح‌های ایمن‌سازی در محل پل‌ها را دارد.*

واژه‌های کلیدی پل، تصادفات، مدل، رگرسیون، شاخص ایمنی، ایران.

Developing Bridge Safty Index Model for Iran

E. Ayati J.R. Vahedi

Abstract *The great potential accidents' risk involved on and in the vicinities of bridges, has been gradually more evident by vehicles' technology progress and the increase in their obtainable speed and acceleration. This risk is related to the high number of accidents and casualties, which are caused by hitting roadside obstacles and/or prolabsus to the nearside valleies, rivers, lakes, etc. In this research-work the physical and traffic characteristics related to nineteen bridges, which are selected from initially twenty five nominated bridges in rural roads in the province of khorasan; were collected. Then a set of mathematical operations including development and expansion of statistics regression models, which possess the capabilities of predicting accident frequencies in accordance with effective independent variables; were carried out. The results show that among physical and mathematical bridges' characteristics, the reduction of shoulder width has the highest impact on the bridge traffic safety. The traffic mixed interaction and intervention and also the bridge width, are almost equally the next most effective factors.In the process of this research-work for the first time, a "Bridge Safety Index" model, which is specifically generated, for Iran rural roads; is developed. This model can be economically beneficial and generate important decision-making results, including prediction of bridges' traffic safety, optimization of bridges' rehabilitation and maintenance expenditures, and defending related financial resources.*

Key Words Bridge, Accident Frequencies, Regression, Safety Index, Iran.

* نسخه اولیه مقاله در تاریخ 82/7/14 و نسخه نهایی آن در تاریخ 84/12/15 به دفتر نشریه رسیده است.

(1) استاد ، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(2) کارشناس ارشد راه و ترابری

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پیشرفت فن‌آوری وسایل نقلیه و پیشی گرفتن آن از موازین متناسب با ایمنی در جاده‌های قدیمی موجب گسترش پدیده خطرناک تصادفات جاده‌ای شده، به‌طوری‌که هم اکنون به یکی از علل عمده مرگ‌ومیر در دنیا تبدیل گردیده است. به گفته دکتر هایدر(یکی از بنیان‌گذاران شبکه تحقیقات صدمات تصادفات رانندگی و استاد دانشگاه جان هاپکینز) خسارت جهانی تصادفات رانندگی در کشورهای در حال توسعه حداقل به صد میلیارد دلار در سال رسیده است. وی اضافه می‌کند که اکثر مطالعات مربوط به ایمنی جاده‌ها در کشورهای ثروتمند صورت گرفته و دانش به دست آمده از آنها در کشورهای جهان سوم چندان کاربردی نداشته است.

سهم ایران از سوانح جاده‌ای، اسف بارتر از اکثرکشورها است به طوری که طبق برآورد صورت گرفته، هزینه تصادفات ترافیکی ایران در سال1380 حدود چهار هزار میلیارد تومان یعنی معادل بیش از 3/5 درصد تولید ناخالص ملی کل کشور بوده است [1]. از دیدگاه اقتصاد کلان، جلوگیری از هدر رفتن حتی بخش کوچکی از این هزینه سنگین، دربردارنده منافع اقتصادی بی‌شماری بوده و چه بسا جنبه معنوی پرداختن به این مقوله دارای اهمیت بیشتری از خسارت‌های گزاف اقتصادی آن باشد.

پیش‌بینی تصادفات ترافیکی، به دلیل فراوانی و تداخل پیچیده عوامل مؤثر بر وقوع آن کار ساده‌ای نیست. پیش‌بینی تصادفات ترافیکی در محل پل‌ها و دیگر نقاط خاص راه‌ها پیچیده‌تر است زیرا عوامل مؤثر بر تصادفات بیشتر شده و تعامل بین آنها نیز پیچیده‌تر می‌شود. ایجاد وضعیتی دور از انتظار راننده در محل پل به خاطر تبعیت مسیر جاده از موقعیت آن، کاهش عرض مفید جاده در محل پل، وجود حفاظ‌ها و موانع کناری، کم شدن قدرت مانور ایمن برای احتراز از بروز تصادف، افزایش احتمال سقوط یا برخورد شاخ‌به‌شاخ، پدیده یخ سیاه (تشکیل یک لایه نازک یخی در سطح جاده که به دلیل شفاف بودن، همرنگ سطح روسازی و غیر قابل رؤیت می‌باشد. این پدیده خطرناک که مخصوص محل پل‌ها و داخل تونلها است، یکی از عوامل مهم تصادفات در ماه‌های سرد سال به شمار می‌رود.) در فصول سرد و کیفیت پایین روسازی در محل پل‌ها نسبت به قطعات معمولی راه‌ها، از جمله عواملی است که موجب بالا بردن میزان تصادفات (تعداد و شدت آنها) در محل پل‌ها می‌شود.

در این تحقیق سعی شده است، متغیرهایی از پل‌ها که بر وقوع تصادفات مؤثرترند شناسایی شده و سپس با یک مدل رگرسیون رابطه‌ای بین وضعیت آن متغیرها و ایمنی محل پل به دست آید. این تلاش باعث گردید برای اولین بار در ایران مدلی که بتواند میزان ایمنی ترافیکی در محل پل‌ها را تعیین نموده و میزان تصادفات را پیش‌بینی کند به وجود آید. از طرف دیگر ثابت شد که مدل BSI در آمریکا در مورد پل‌های جاده‌های ایران کارآ نبوده و برای شرایط ایران بایستی مدل خاص ایران را پدید آورد.

مروری بر تحقیقات گذشته

تقریباً پس از دهه هفتاد میلادی، تحقیقات مربوط به تصادفات جاده‌ای از کارهای علمی و تحلیل‌های منسجم اثر گرفت. محققان به این واقعیت پی بردند که تصادفات نتیجه فقط یک علت نبوده بلکه پیامد زنجیره‌ای از دلایلند[2]. این زنجیره شامل علل و عوامل جاده‌ای، انسانی، وسیله نقلیه و محیط اطراف است که هر یک از آنها نیز مشتمل بر اجزای متعدد دیگری هستند. بنابراین یافتن علل واقعی تصادفات از میان سلسله عوامل جمع‌آوری شده، مثل یافتن حلقه‌های ضعیف این زنجیره خواهد بود و این اولین قدم در راه ایمن‌سازی حمل‌ونقل جاده‌ای مبتنی بر تحقیقات علمی است.

از سوی دیگر تحقیقات مختلف نیز نشان داده است که وقوع تصادفات در محل پل‌ها هم به لحاظ تعداد و هم به لحاظ شدت و در نتیجه به لحاظ آمار تلفات و جراحات و خسارات ناشی از آن بحرانی‌تر از نقاط معمولی راه‌هاست[3,4,5,6,7].

از آن جمله هیلتون(Hilton) (1973) نسبت

www.SID.ir

Archive of SID

افرادی که کشته شده‌اند به کل تصادفات در محل پل‌ها را معیاری برای مشخص کردن میزان خطر پل‌ها دانسته و بر اساس شاخص وی، تصادفات در محل پل‌ها شدتی تقریباً معادل دو برابر دیگر تصادفات دارد. میکی(Michie) (1980) نیز طی تحقیق جداگانه‌ای نشان داده است که پل‌ها 50 برابر خطرناک‌تر از دیگر نقاط راه‌ها می‌باشند. وی در تحقیق خود تصادفاتی را لحاظ کرده است که در اثر خروج وسیله نقلیه یا برخورد با تجهیزات ثابت صورت گرفته است. تحقیق دیگری نیز در این زمینه توسط چن و جانستون(Chen and Johnston (1987) و بر اساس هزینه تصادفات انجام گرفته که نشان می‌دهد میانگین هزینه‌های مربوط به تصادفات در محل پل‌ها تقریباً 5 تا8 برابر هزینه‌های مربوط به تصادفات در دیگر نقاط است[3].

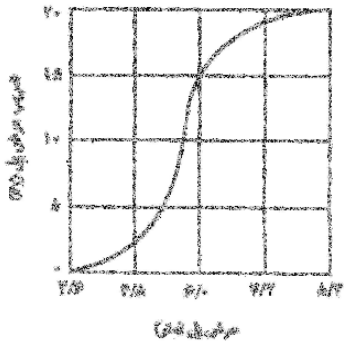
یافتن عوامل مؤثر در تصادفات محل پل‌ها و مقدار تأثیر آنها. تحقیقات زیادی برای یافتن عوامل مؤثر در تصادفات در محل پل‌ها انجام گرفته اند. یک تحقیق که توسط رف (Raff) (1983) بر روی راه‌های کشور برونئی انجام شده است، حجم ترافیک را دارای اثر عمده بر میزان تصادفات در محل پل‌ها می‌داند. مک و کلکوت (Mak and Calcote) (1983) اظهار می‌دارند که باریکی پل‌ها در قالب کاهش شانه‌ها اثر مهمی در میزان تصادفات در راه‌های دو خطه مجزا نشده دارد[3]. رادکومار و همکاران (Radhakumari et all)، بیست و دو عامل مهم را که احتمال می‌داده‌اند در ایمنی پل مؤثرند جمع‌آوری کرده و پس از تجزیه و تحلیل آماری، هفت عامل از میان آنها را دارای تأثیر زیاد ذکر کرده‌اند[4]. تیورنر(Turner) (1984) با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به تصادفات مختلف در محل پل‌ها اختلاف عرض پل و مسیرهای منتهی به آنرا مهمترین عامل در تصادفات برشمرده است[5]. بومُن و بریکمُن(Bowman and Brinkman) (1988) نیز با مهم عنوان کردن مقدار جا به جایی عرضی وسایل نقلیه در محل پل‌ها به ارائه تدابیری برای کاهش سرعت وسایل نقلیه پرداخته‌اند[6].

مدل‌های شاخص ایمنی پل‌ها. یکی از جامع‌ترین کارهایی که در رابطه با ایمنی پل‌های باریک انجام گرفته است تحلیل TTI(Texas Transportation Institute) در مورد محدوده بیست و پنج پل می‌باشد که آنرا برای NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) انجام داده است[7]. در این تحلیل، ده عامل مهم مرتبط با مسیر منتهی به پل، وضع هندسی پل، ترافیک و عواملی که موجب حواس‌پرتی راننده می‌شوند لحاظ شده است. در تحقیق مزبور ایوی و بقیه(Ivey et all) (1979) مدلی خطی را تشکیل داده‌اند که این عوامل پس از نمره‌دهی با هم جمع شده و به صورت یک عدد به عنوان شاخص ایمنی پل (BSI) به دست آمده است، (معادله 1).

$$BSI = \sum_{1}^{10} F_i \qquad (1)$$

F_1 تا F_{10} عوامل عمده مؤثر بر ایمنی پل می‌باشد. اطلاعات جدول (1) تخمینی از عوامل F_1 تا F_{10} را نشان می‌دهد.

لازم به توضیح است که عرض آزاد، فاصله بین لبه آزاد پل تا خط وسط مسیر در نظر گرفته می‌شود و درصد پیوستگی شیب برای محاسبه عامل F6 از معادله (2) به دست می‌آید.



شکل 1 تغییرات عامل F_1 بر اساس تغییرات عرض آزاد پل

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1 ضرایب مؤثر در تعیین شاخص ایمنی

ضریب F	تعریف ضریب F	درجه بندی ضرائب F_3 , F_2 , F_1				
		0	5	10	15	20
F_1	عرض آزاد پل (متر)	به شکل (1) مراجعه شود				
F_2	نسبت عرض سواره رو پل به عرض سواره‌رو راه	≤ 0/5	0/9	1/0	1/1	≥ 1/2
F_3	وضعیت نرده و جان پناه	بحرانی	بد	متوسط	خوب	عالی
		درجه بندی ضرائب F_{10} , F_9 , F_8 , F_7 , F_6 , F_5 , F_4				
		1	2	3	4	5
F_4	نسبت فاصله دید (m) به سرعتV_{85}(Km/h)	1/0	1/3	1/7	2/1	2/6
F_5	$\frac{\text{(شعاع قوس)(30 + طول مماس قوس)}^{1}}{500}$	≤ 10	60	100	200	≥ 300
F_6	پیوستگی شیب (به درصد)	10	8	6	4	2
F_7	کاهش شانه (به درصد)	100	75	50	25	0
F_8	نسبت آمد و رفت به گنجایش	0/5	0/4	0/3	0/1	0/05
F_9	ترکیب آمد و رفت	ناپیوستگی زیاد	غیر یکنواخت	عادی	نسبتاً یکنواخت	کاملاً یکنواخت
F_{10}	عوامل موجود حواس پرتی و فعالیت‌های اطراف راه	پیوسته و شدید	زیاد	متوسط	کم	هیچ

1- شعاع قوس و طول مماس قوس برحسب متر می باشند.

رابطه محاسبه درصد پیوستگی شیب:

$$g_c = \frac{g_1 + g_2}{2} + |g_1 - g_2| \qquad (2)$$

که در معادله فوق g_1 ، g_2 ، g_c به ترتیب شیب قبل، شیب بعد و پیوستگی شیب پل می‌باشد ضمن اینکه شیب سربالایی مثبت و شیب سرپائینی منفی در نظر گرفته می‌شود.

بر طبق اولین مدل BSI، آرمانی ترین وضعیت ایمنی پل منجر به شاخص ایمنی مساوی 95 و در مورد پل‌های شدیداً خطرناک منجر به شاخص ایمنی کمتر از 20 خواهد شد. ایوی و بقیه همچنین اظهار داشته‌اند که این مدل مقدماتی بوده و بایستی با در دست داشتن اطلاعات بیشتری از دیگر ایالت‌ها بهبود پیدا کند.

البته همان تحقیق اولیه در بردارنده نتایج قابل توجهی بود. در منطقه‌ای که این تکنیک استفاده گردید و میزان تصادفات آن 56٪ بیشتر از متوسط آمار تصادف در کشور آمریکا بود، بکار بردن نتایج حاصله از طریق ارائه مجموعه‌ای از راه‌حلهای مناسب و نسبتاً ارزان، حوادث در محل پل‌ها و اطراف آنرا تا یک ششم کاهش داد، اگرچه به علت بهسازی‌های مزبور ترافیک منطقه نیز افزایش یافت. جدول (2) خلاصه ای از نتایج این تحقیق را ارائه می‌کند[7].

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 2 آمار تصادفات مربوط به قبل و بعد از تدابیر اصلاحی

شرح	مدت زمان مطالعه به ماه	حجم ترافیک روزانه (ADT)	تعداد تصادفات بر حسب نوع			جمع
			اصابت به بغل پل	اصابت به آخر پل	اصابت به نرده روی پل	
قبل از اصلاحات	22	4780	10	7	3	20
بعد از اصلاحات	17	5690	1	2	1	4

اهداف و اهمیت تحقیق

در بخش قبل به برخی از شاخص‌های مورد استفاده توسط محققان اشاره شد. با توجه به شاخص به دست آمده توسط هیلتون که بر اساس شدت تصادفات استوار است، می‌توان نتیجه گرفت که بایستی محل پل‌ها بیش از دو برابر بحرانی تر از نقاط معمولی راه‌ها باشد، زیرا تصادفات محل پل‌ها علاوه بر شدیدتر بودن، در بر گیرنده تعداد تصادفات بیشتری نیز هست. معیاری که میکی برای مقایسه انتخاب کرده تا حدودی اغراق آمیز به نظر می‌رسد زیرا مخرج کسر در نسبتی که وی به عنوان مقایسه استفاده کرده است، در مورد پل‌ها کوچک شده و حاصل تقسیم را به بیش از مقدار مورد انتظار افزایش داده است از این رو، محل پل‌ها احتمالاً کمتر از پنجاه برابر بحرانی است. اما بهترین معیار مورد استفاده در این زمینه، که هم تعداد و هم شدت تصادفات را در نظر گرفته مربوط به چن و جانستون است.

از طرف دیگر چون وضعیت بحرانی محل پل‌ها در کشورهای مختلف با وضعیت اقتصادی آن کشورها و اهمیتی که به جاده‌سازی می‌دهند ارتباط پیدا می‌کند، گمان می‌رود که ایمنی ترافیکی در محل پل‌ها در ایران بحرانی‌تر از چیزی باشد که توسط چن و جانستون به دست آمده است.

هم‌اکنون در بررسی ایمنی و بهسازی پل‌ها در ایران [8] دستورالعملی کلی که بر پایه علمی استوار باشد وجود ندارد. اما با رعایت موارد زیر می‌توان به نتایج بهتری دست یافت.

اولاً : عوامل مؤثر در تصادفات مختلفی که در محل پل‌ها اتفاق می‌افتد کاملاً تفکیک و معین شوند.

ثانیاً: عوامل دارای تأثیر بیشتر تشخیص داده شده و حتی‌الامکان مقدار دقیق این تأثیر به دست آید.

ثالثاً: با برآورد هزینه هر یک از کارهای اجرایی، تأثیر ایمنی هر نوع عملیات در مقابل هزینه صورت گرفته مشخص شده و بر آن اساس اولویت دهی در بهبود عوامل مختلف هر پل صورت گیرد.

اهداف تحقیق. اهداف اصلی این تحقیق را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

1- کمّی کردن ارتباط بین نرخ تصادف و هر یک از عوامل جاده‌ای، ترافیکی و محیطی مربوط به پل‌های ایران

2- ارزیابی تأثیر عوامل مختلف بر نرخ تصادفات در محل پل‌های برون شهری ایران

3- بسط مدل‌های آماری ساده و منطقی که قابلیت پیش‌بینی نرخ تصادف در محل پل‌ها به صورت تابعی از عوامل جاده‌ای، ترافیکی و محیطی مربوط به آنرا داشته باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

اهمیت تحقیق. 1- با در اختیار داشتن شاخص ایمنی هر پل می‌توان مقایسه نسبتاً دقیقی بین ایمنی پل‌های مختلف به عمل آورد و پل‌های حادثه‌خیز و مقدار تقریبی حادثه‌خیزی آنها را سریعاً تشخیص داد.

2- با مشخص شدن عوامل مهمی که در کاهش شاخص ایمنی پل‌های مزبور مؤثرند عواملی را بهبود دهیم که با کمترین هزینه بیشترین افزایش در شاخص ایمنی را داشته و اصطلاحاً پربازگشت(Cost Effective) باشند.

3- علاوه بر آنکه در ایمن‌سازی یک پل به تنهایی، بیشترین بازگشت اقتصادی مدنظر است می‌خواهیم ایمن‌سازی مجموعه پل‌ها نیز با بیشترین بازگشت اقتصادی همراه باشد. به عبارت دیگر بایستی بدانیم که عملیات ایمن‌سازی در چه مرحله‌ای متوقف شود تا بودجه باقیمانده را به پل‌های دیگر اختصاص دهیم.

4- با انجام تحقیقات تکمیلی در مورد برآورد اقتصادی حاصل از یک واحد افزایش در شاخص ایمنی (هزینه ریالی افزایش تصادفات به ازای هر واحد کاهش شاخص ایمنی) می‌توان به یک برنامه‌ریزی علمی در توجیه اقتصادی هزینه‌های صورت گرفته یا هزینه‌هایی که در آینده می‌خواهد صورت بگیرد دست یافت.

روش تحقیق

در ابتدا قطعاتی از جاده‌های برون شهری که برای مطالعه مناسب بود شناسایی گردید. طبق توصیه اِنجی و هایر(Ng and Hauer) برای بسط پیش‌بینی تصادفات بهتر است، محورهای مورد بررسی در یک محدوده انتخاب شود[9]. بر این اساس و نیز برای وجود تنوع در حجم و ترکیب ترافیک عبوری محورهایی انتخاب شده و تحقیقات در مورد پل‌های آن آغاز گردید. عواملی از پل‌ها که در مدل رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفتند در جدول (3) آورده شده اند. این عوامل بر اساس نتایج تحقیقات گذشته و نظرات کارشناسان ایمنی و تصادفات انتخاب گردیدند.

فرض اساسی در انتخاب پل‌ها وجود نداشتن قوس‌های نزدیک و مؤثر بر ایمنی محل پل‌ها بود. علت در نظر گرفتن چنین فرضی این است که قوس‌ها جزئیات دیگری ازجمله نوع قوس، شعاع، طول، مقدار تعریض و مقدار محدودیت دید دارند از این رو، توصیه می‌شود که به طور جداگانه بررسی شوند.

علت اینکه در جدول (3) برای برخی از عوامل معیارهای نمره‌دهی متفاوتی در نظر گرفته شده، این است که روشی قطعی برای نمره‌دهی به آن عامل وجود نداشته و یا گمان شده است که روش‌های دیگری ممکن است مؤثرتر باشند. ضمن آنکه در نظر گرفتن بیش از یک نوع نمره‌دهی برای هر یک از عوامل، مشکلی در تحلیل رگرسیونی ایجاد نخواهد کرد چرا که در مدل رگرسیونی، به دلیل همبستگی شدید میان نمره‌دهی‌های مختلف مربوط به عوامل مشترک، حداکثر یکی از آنها در مدل باقی خواهد ماند. مثلاً نمره‌دهی به عرض پل به دو طریق (ردیف‌های 6 و 7) درنظر گرفته شد. از این رو، پس از انجام تحلیل رگرسیونی نمره‌دهی بر اساس یکی از آن دو (نمودار شکل 1) همبستگی بیشتری با مدل انتخابی نشان خواهد داد.

الف) میزان ایمنی (متغیر پاسخ). این عامل با استفاده از شاخص شدت تصادف محاسبه می‌گردد. عمومی‌ترین وزن‌دهی به تصادفات، بر اساس جراحات وارده به سرنشینان، به این صورت است که هر تصادف فوتی و هر تصادف جرحی به ترتیب معادل 12 و 3 برابر تصادفات خسارتی درنظر گرفته می‌شود. تحقیقات دیگری نیز در این زمینه صورت گرفته اند اما از آنجا که تا کنون تحقیق مشابهی برای تصادفات واقع شده در ایران صورت نگرفته است، از وزن‌دهی یاد شده استفاده گردید[10].

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 3 عوامل مورد مطالعه از پل‌ها

شماره	نام عامل	معیار نمره‌دهی
1	ایمنی	بر اساس نسبت شدت تصادفات شش ساله به تردد واقعی عبوری (ریسک عبور از روی پل)
2	طول پل	بر اساس طولی از پل که طبق آیین نامه نیاز به گاردریل دارد
3	عمق پل	بر اساس ارتفاع متوسط سقوط آزاد از روی پل
4	عمق پل	مثل قبل ولی با افزایش محدوده کمینه و بیشینه انتخابی
5	عوامل حواس پرتی	بر اساس وجود چشم اندازهای اطراف و عوامل حواس پرتی
6	عرض پل	بر این اساس که تغییرات عرض پل و ایمنی نسبت به هم خط مستقیم است
7	عرض پل	بر اساس نمودار شکل(1)
8	عرض شانه	بر اساس عرض معادل روسازی شده شانه در روی پل
9	کاهش شانه	بر اساس میزان کاهش عرض شانه در روی پل
10	کیفیت گاردریل روی پل	بر اساس کیفیت گاردریل و میزان رعایت دستورالعمل‌های مربوط به نصب آن
11	کیفیت مجموعه گاردریل	35 درصد گاردریل روی پل، 45 درصد گاردریل انتقالی و 20 درصد گاردریل ابتدا و انتها
12	طول گاردریل	بر اساس نسبت طول گاردریل موجود به طول لازم
13	روسازی	بر اساس کیفیت روسازی روی پل
14	تردد	بر اساس تردد معادل سواری عبوری
15	تردد به ظرفیت	نسبت تردد به ظرفیت در روی پل
16	تداخل ترافیکی	بر اساس میزان عواملی که باعث افت سرعت غیر قابل قبول می‌شوند
17	ترکیب ترافیک	بر اساس تنوع وسایل نقلیه عبوری
18	پیوستگی شیب	بر اساس شیب قبل و بعد از پل و معادله 2
19	علائم	بر اساس میزان رعایت دستورالعمل‌های مربوطه
20	خط کشیها	بر اساس میزان رعایت دستورالعمل‌های مربوطه

اکنون شاخص شدت تصادف بر اساس تصادفات واقع شده به صورت معادله (3) تعریف می‌شود:

$$(\text{Severity Index})\ SI = 12F + 3I + 1P \qquad (3)$$

F: تعداد تصادفات فوتی

I: تعداد تصادفات جرحی

P: تعداد تصادفات خسارتی

ب) مشخصات ترافیکی. افزون بر تردد واقعی، تردد معادل سواری نیز بر اساس تعداد و نوع وسایل نقلیه عبوری، تعداد خطوط جاده و توپوگرافی منطقه به دست آمد. از تردد واقعی در مخرج کسر متغیر پاسخ استفاده شده و تردد معادل سواری به تنهایی یا با متغیرهای دیگر به عنوان متغیر مستقل مورد استفاده قرارگرفت. از عوامل دیگری نظیر ظرفیت، ترکیب ترافیک و عوامل ایجاد کننده تداخل ترافیکی نیز استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

ج) مشخصات فیزیکی محل پل‌ها. منظور از مشخصات فیزکی، آن مشخصاتی هستند که در محل پل و با اندازه‌گیری یا مشاهده مستقیم، قابل دسترسی اند. مهمترین این عوامل عبارتند از: عرض پل و عرض مسیر منتهی به پل، طول پل، طول خطرناک پل (طولی که نیاز به حفاظِ جانبی دارد)، عرض شانه‌ها در محل پل و مسیر منتهی به آن، شیب طولی قبل و بعد از پل، مسافت دید قبل از رسیدن به پل از دوطرف، وضع حفاظِ جانبی در محل پل، وضع حفاظِ جانبی قبل و بعداز پل، وضع حفاظِ جانبی انتقالی، وضع علائم ترافیکی، وضع خط‌کشیها، وضع روشنایی، عوامل ایجاد حواس‌پرتی و چشم‌انداز محیط اطراف، کیفیت روسازی، وضع توپوگرافی.

د) دیگر عوامل مؤثر در تصادفات برای انجام تحقیقات تکمیلی. عواملی که می‌تواند در تحقیقات آتی و به منظور تحقیقات تکمیلی استفاده شود عبارتند از: سرعت وسایل نقلیه درگیر در تصادفات و متوسط سرعت 85٪ وسایل نقلیه عبوری، میزان تجربه و آشنایی رانندگان با مسیر موردنظر و یا اطلاعات دیگری مثل: جزئیات مربوط به تقاطع‌ها و قوس‌های نزدیک به پل.

هـ) چگونگی جمع‌آوری اطلاعات. محدودیتی که در انتخاب پل‌های مورد مطالعه وجود داشت، این بود که انتخاب این پل‌ها منوط به موجود بودن میزان تصادفات، تردد و مشخصات فیزیکی آنها بود.

در مورد میزان تصادفات، مشکل عمده‌ای که وجود داشت، امکان پذیر نبودن استفاده از اطلاعات پلیس به دلایل مختلف از جمله موجود نبودن و در دسترس نبودن برخی اطلاعات مربوط به تصادفات گذشته بود. اگر چه این مشکل با جمع آوری اطلاعات محلی مرتفع شد، لیکن این راه حل موجب افزایش تعداد پل‌های مورد مطالعه و نیز محدودیت بیشتری در انتخاب آنها گردید.

آمار تردد وسایل نقلیه عبوری علاوه بر اهمیت زیادی که در تحقیقات علمی مربوط به ایمن‌سازی جاده‌ها دارد، دارای فواید اقتصادی دیگری نیز هست؛ به طوری که هرساله از طریق تردد سنجی دستی توسط سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای جمع آوری می‌شود. بنابراین آمار تردد عبوری در جاده‌های مورد مطالعه از آن سازمان دریافت شده و برای پیدا کردن مقادیر نامعلوم که ناشی از موجود نبودن آمار تردد برخی از جاده‌ها در برخی از سال‌ها بود، از مدل رگرسیون خطی استفاده گردید.

در مورد جمع‌آوری مشخصّات فیزیکی پل‌ها مشکل چندانی وجود نداشت. این جمع‌آوری با حاضر شدن در محل پل‌ها و اندازه‌گیری یا نمره‌دهی عوامل فیزیکی مربوط به آنها انجام گرفت.

تحلیل آماری

دسترسی نداشتن به برخی اطلاعات در مورد برخی از پل‌ها موجب حذف تعدادی از پل‌های مورد مطالعه شد به طوری که در نهایت 19 پل به منظور انجام تحلیل رگرسیونی باقی ماندند(جدول 4). در تجزیه و تحلیل آماری نیز از یکی از نسخه های جدید نرم‌افزار SPSS استفاده گردید[11].

آماده سازی اطلاعات ورودی. اطلاعات جمع آوری شده به آماده‌سازی برای انجام تحلیل رگرسیونی نیاز داشتند. این آماده‌سازی شامل کمّی‌کردن متغیرهای کیفی و نمره‌دهی به آنها بود. سپس اطلاعات مربوط به پل‌ها در قالب 19 سطر(مربوط به نوزده پل) و 20 ستون (مربوط به بیست عامل(Variant) شامل یک متغیر پاسخ و نوزده متغیر مستقل) به صفحه کاربرگ(Data Editor Window) نرم افزار SPSS داده شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 4 لیست نهایی پل‌های مورد مطالعه

شماره	نام پل یا روستای نزدیک به پل	محور	کیلومتر از مبدأ
1	منظر (پل راه‌آهن)	نیشابور – سبزوار	2
2	قبل از پمپ بنزین	نیشابور – سبزوار	54
3	زعفرانیه	نیشابور – سبزوار	59
4	رباط سرپوش	نیشابور – سبزوار	89
5	پل اول منطقه جوین	سبزوار – اسفراین	31
6	روستای بید (پل 1)	سبزوار – اسفراین	36
7	روستای بید (پل 2)	سبزوار – اسفراین	37
8	کندر	بردسکن – کاشمر	20
9	نزدیک کاشمر(بی‌نام)	بردسکن – کاشمر	42
10	نزدیک کاشمر(بی‌نام)	کاشمر – شادمهر	2
11	بین قلعه نو و دولت آباد	کاشمر – شادمهر	35
12	ساحل برج	نیشابور – مُلک‌آباد	10
13	تقاطع قدمگاه	نیشابور – مُلک‌آباد	15
14	جوادیه (چنگه عباسی)	نیشابور – مُلک‌آباد	30
15	منظر	تربت حیدریه – مُلک‌آباد	2
16	زمان آباد	تربت حیدریه – مُلک‌آباد	54
17	رباط سفید	مُلک‌آباد – تربت حیدریه	36
18	بازه حور	مُلک‌آباد – تربت حیدریه	37
19	رباط خاکستری (پل بیدک)	مشهد – مُلک‌آباد	15

تحلیل آماری. پس از انجام یک مرحله عمل رگرسیون با بیست متغیر (یک متغیر پاسخ و نوزده متغیر مستقل) و به روش مرحله‌ای(Stepwise Method)، متغیرهایی که مدل به آنها حساسیت بیشتری دارد مشخص گردید. سپس با در دست داشتن این متغیرها و با استفاده از روش ورود اجباری(Enter Method)، عمل رگرسیون تکرار شده و کنترل بر روی نتایج خروجی صورت گرفت. این کنترل شامل مسأله همخطی‌های چندگانه و کنترلهای دیگر از جمله تعیین معادلات یا متغیرهایی بود که مدل با حذف یا جایگزینی آنها بهبود قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کرد.

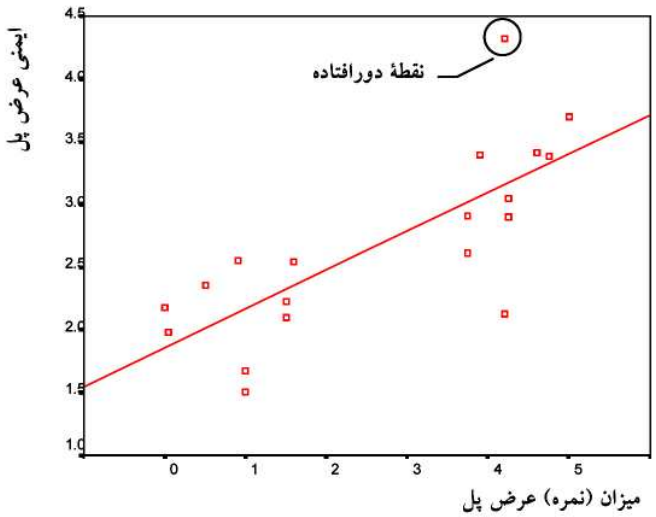
گام اول. تحلیل رگرسیونی اطلاعات مربوط به 19 پل با استفاده از روش مرحله‌ای و با ملاکهای FIN=3.84 و FOUT=2.71 نشان داد که از میان عوامل مختلف، تنها چهار عامل جواز ورود به مدل را کسب می‌کند که یکی از آنها نیز دارای اثر منفی بوده و مورد انتظار ما نیست. یکی از پل‌ها که نمودارهای پراکنش، آن را دور افتاده

www.SID.ir

Archive of SID

نشان می‌داد به دلیل احتمال وقوع اشتباه در مرحله جمع‌آوری اطلاعات حذف گردید و نهایتاً هشت عامل که تأثیر قابل ملاحظه در مقادیر همبستگی R2 و F داشتند در مدل باقی ماندند. با مراجعه به جدول (5) که مقایسه‌ای فوری از مقادیر همبستگی دو مدل را ارائه می‌کند، درمی‌یابیم که بهبود وضعیت مدل بسیار بیشتر از انتظار ماست. از این رو، با اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به تصادفات پل مذکور مجدداً بررسی گردید و احتمال وقوع اشتباه قوت گرفت. بنابراین آن پل از مدل اصلی حذف گردید.

گام دوم. یک رگرسیون گام به گام انجام گردید تا متغیرهای مستقل مهم و مؤثر بر متغیر پاسخ تشخیص داده شود. جدول (6) نشاندهنده متغیرهایی است که به ترتیب اهمیت و بر اساس ملاکهای FIN وFOUT وارد مدل گردید. به جای روش گام به گام از روش پیش‌رونده(Forward Method) نیز می‌توان استفاده کرد اما روش گام به گام مناسب‌تر است؛ زیرا این روش با ورود متغیرهای جدید، برخی از متغیرهایی را که حساسیتشان به مدل کاهش یافته است را حذف می‌نماید مثل VAR02 در جدول(5) که در مرحله دوم جواز ورود به مدل را کسب می‌کند اما با ورود متغیرهای جدید حساسیتش کاهش یافته و در مرحله هفتم از مدل حذف می‌شود.



شکل 2 وضعیت عرض پل و میزان تصادفات برای یافتن نقاط دور افتاده

جدول 5 مقادیر همبستگی

Model	Adjusted R Square	F
1[a] (19 bridges)	.943	75.4
2[b] (18 bridges)	.999	2496.1

a. Predictors: (Constant), VAR07, VAR16, VAR09, VAR02
b. Predictors: (Constant), VAR07, VAR09, VAR16, VAR12, VAR18, VAR14, VAR03, VAR06

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 6 ورود و خروج متغیرها به مدل بر اساس ملاکهای FIN و FOUT

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method	Adjusted R Square	Model F
1	VAR07	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.598	26.3
2	VAR02	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.778	30.8
3	VAR09	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.907	56.5
4	VAR16	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.973	152.6
5	VAR12	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.990	331.5
6	VAR18	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.995	523.3
7	.	VAR02	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.995	636.2
8	VAR14	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.998	1243.5
9	VAR03	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.999	1753.3
10	VAR06	.	Stepwise (Criteria: F-to-enter >= 3.840, F-to-remove <= 2.710).	.999	2496.1

گام سوم. با مراجعه به نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی و به دلیل حساسیت بالایی که مدل، با در نظر گرفتن پنج متغیر کسب می‌کند، مرحله بعدی رگرسیون به روش ورود اجباری و با در نظر گرفتن پنج متغیر دنبال شد.

در نظر گرفتن تعداد بیشتری از متغیرها مناسب نیست زیرا تعداد معادلاتی که در اختیار بود (هجده معادله مربوط به هجده پل) اجازه انتخاب تعداد متغیر بیشتری را به ما نمی‌داد. اگرچه انتخاب تعداد بیشتر متغیرها خللی در عملیات رگرسیون ایجاد نکرده و حتی همانگونه که مشاهده می‌شود همبستگی مدل را افزایش می‌دهد، لیکن مدل به دست آمده با تعداد متغیرهای زیاد پایداری اندکی در مقابل نوسانات و خطای متغیرها از خود نشان خواهد داد[12].

مقادیر F در ستون آخر جدول (5) بیانگر میزان همبستگی مدل است و همانگونه که ملاحظه می‌شود تا مرحله پنجم که پنج متغیر وارد مدل شده و VAR02 نیز در جمع آنها قرار دارد، مقدارF مساوی 331.532 است در حالی که در مرحله هفتم، با حذف VAR02 و جایگزین شدن VAR18 ، این مقدار تقریباً دو برابر می‌شود. از این‌رو، بهترین مدل با پنج متغیر همان است که در مرحله هفتم به دست آمده یعنی یک مدل با متغیرهای VAR07 ، VAR09 ، VAR16 ، VAR12 و VAR18.

جدول‌های (7 تا 9) خلاصه نتایج یک تحلیل رگرسیونی با پنج متغیر و به روش ورود اجباری را نشان می‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 7

	VAR01	VAR07	VAR09	VAR12	VAR16	VAR18
VAR01	1.000					
VAR07	.788	1.000				
VAR09	.557	.338	1.000			
VAR12	.145	-.170	-.204	1.000		
VAR16	.495	.205	-.241	.237	1.000	
VAR18	-.212	.080	-.588	-.429	.260	1.000

جدول 8 (Model Summary)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Change Statistics	
				R Square Change	F Change
1	.998	.996	.995	.996	636.21

جدول 9 (Coefficients)

Model		Unstandardized Coefficients
		B
1	(Constant)	.332
	VAR07	.186
	VAR09	.275
	VAR12	.137
	VAR16	.189
	VAR18	.068

تفسیر نتایج. نتایج جدول (7) نشان دهنده ضرائب همبستگی پیرسون بین متغیرهاست. این نتایج عوامل07 ، 09 و 16 را که همبستگی زیادی با متغیر پاسخ (عامل 01) داشته و از همبستگی کمی میان خود برخوردارند، متغیرهای خوبی معرفی می‌کند. البته این نتایج نباید خیلی گمراه کننده باشند زیرا در یک مدل رگرسیون چند متغیره آنچه اهمیت دارد، همبستگی متغیرهای پاسخ و مستقل در تعامل با متغیرهای دیگر است[13]. جدول (8) مقدار همبستگی مدل را نشان می‌دهد و نتیجه نهایی مدل که ما را در تعریف یک شاخص ایمنی کمک می‌کند، ستون سوم از جدول (9) با عنوان *"ضرائب متغیرهای استانداردنشده"* است. این ضرائب در واقع همان ضرائب متغیرهای مستقلند وقتی که متغیر پاسخ ضریب یک داشته باشد. این مطلب را می‌توان به شکل معادله (4) نمایش داد؛

$$VAR01 = 0.332 + 0.186\,(VAR07) + 0.275\,(VAR09) + 0.137\,(VAR12) + 0.189\,(VAR16) + 0.068\,(VAR18) \quad (4)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در رابطه فوق:

VAR01 : متغیر پاسخ (میزان ایمنی)

VAR07 : نمره مربوط به ایمنی عرض پل

VAR09 : نمره مربوط به وضعیت کاهش شانه

VAR12 : طول حفاظ جانبی(گاردریل) موجود به طول لازم

VAR16 : عوامل ایجادکننده تداخل ترافیکی

VAR18 : وضعیت پیوستگی شیب‌های طولی

0.332 : مقداری ثابت از متغیر پاسخ که توسط متغیرهای مستقل بیان نمی‌شود.

معرفی مدل شاخص ایمنی ترافیکی در محل پل‌های ایران

نسبت ضرائب متغیرهای استاندارد نشده در معادله (4) بیانگر اهمیت نسبی میان آن متغیرهاست که در ساخت مدل شاخص ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت یکسان نبودن مجموع ضرائب طرفین معادله، استاندارد نبودن متغیرهای مربوطه است بنابراین نباید به مقدار مطلق آنها توجهی داشت.

اکنون با فرض اینکه ایمن ترین پل دارای شاخص ایمنی95 باشد (شاخص ایمنی100 برای پل آرمانی) و حذف مقدار ثابت و ضرب ضرائب در نسبت $\frac{95}{0.855}$ (مقدار مخرج کسر جمع ضرائب متغیرهای پاسخ است) خواهیم داشت:

$$VAR01 = 20.7\,(VAR07) + 30.6\,(VAR09) + 15.2\,(VAR12) + 20.9\,(VAR16) + 7.6\,(VAR18)$$

می‌توان ضرائب به دست آمده فوق را با کمی تصحیح به عنوان ضرائب شاخص ایمنی پل‌ها در ایران در نظر گرفت که در اینجا آنرا BSIir (Bridge Safety Index for IRAN) می‌نامیم:

$$BSI_{ir} = \sum_{i=1}^{5} V_i \qquad (5)$$

که در رابطه فوق مقادیر V_1 تا V_5 ، عوامل اصلی مؤثر در تصادفات بوده و حداکثر مقدار آنها به ترتیب 30 ، 20 ، 20 ، 15 و 7.5 خواهد بود. جدول (10) تخمین دقیق تری از ضرائب این عوامل را نشان می‌دهد. اکنون به تعریف هر یک از این عوامل پرداخته می‌شود.

عامل V_1. مربوط به کاهش شانه است و به عرض شانه محل پل و عرض شانه مسیر نزدیکی پل وابسته است. برای این منظور بایستی عرض شانه آسفالته و یک سوم عرض شانه خاکی را در محل پل و در نزدیکی پل جداگانه جمع کرده و سپس کاهش شانه را تعیین کرد. علت اینکه هر متر شانه خاکی معادل یک سوم متر شانه آسفالته در نظر گرفته شده نتیجه تحقیقاتی است که نشان می‌دهند اثرات ایمنی شانه روکش شده سه برابر شانه خاکی است[2].

لازم به ذکر است که کاهش شانه با علامت منفی به معنای افزایش شانه است. بر اساس جدول (10) ایمن ترین وضعیت شانه زمانی حاصل می‌شود که بیش از 15٪ افزایش شانه داشته باشیم که در این صورت نمره نهایی مربوط به عامل V_1 مساوی 30 خواهد بود. برای مقادیر کاهش شانه که در بین مقادیر داده شده در جدول (10) قرار می‌گیرند از درونیابی خطی استفاده می‌شود.

عامل V2. با در اختیار داشتن مقدار عرض آزاد پل و مراجعه به نمودار شکل (1) مقدار شاخص ایمنی مربوط به عرض پل به دست خواهد آمد. عرض آزاد پل عبارت است از فاصله خط وسط مسیر تا لبه آزاد پل شامل عرض سواره‌رو و شانه در یک جهت. دلیل استفاده از نمودار شکل (1) که از آن برای تعیین ضریب

www.SID.ir

Archive of SID

F_1 در جدول (1) نیز استفاده می‌شد، مساوی شدن اتفاقی دامنه تغییرات نمره مربوط به عرض آزاد پل (از صفر تا 20) در دو تحقیق انجام گرفته است.

عامل V3. تداخل ترافیکی عاملی است که بر اساس میزان روانی و نظم در ترافیک یا در حالت عکس میزان اغتشاش و بی‌نظمی اسوار است. این بی‌نظمی وابسته به عوامل دیگری است که مهمترین آنها شدت تغییرات سرعت در واحد زمان، نسبت حجم به ظرفیت، سطح سرویس، شاخص تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها در نزدیکی پل، یکدست بودن و هماهنگی انواع وسایل نقلیه از نظر جرم، ابعاد فیزیکی و همچنین سیستم‌های کنترل ترافیک مورد استفاده در محل پل‌هاست. این عامل بر اساس قضاوت و تجربه مهندسی تعیین شده و به صورت کیفی از وضعیت ناگهانی و شدید تا هیچ نمره‌دهی می‌شود. نمره ایمنی مربوط به این عامل در بهترین وضعیت مساوی 20 خواهد بود.

عامل V4. در دستورالعمل‌های مختلف طول حفاظ جانبی (گاردریل) بر اساس سرعت طرح محاسبه شده و به دست می‌آید. اما در ایران به دلیل پیشی گرفتن

جدول 10 چگونگی محاسبه عوامل مختلف ایمنی پل‌ها برای شاخص BSI_{ir}

نام عامل	توضیحات						نمره از 5	ضریب	نمره
V_1	میزان کاهش شانه[1]							6	
	٪35	٪25	٪15	٪5	-٪5	-٪15			
	0	1	2	3	4	5			
V_2	مقادیر ایمنی به دست آمده از نمودار شکل (1) مربوط به عرض پل						-	-	
V_3	عوامل به وجود آورنده تداخل ترافیکی							4	
	ناگهانی و شدید	شدید	زیاد	متوسط	کم	هیچ			
	0	1	2	3	4	5			
V_4	نسبت (طول گاردریل موجود / طول گاردریل لازم[2])							3	
	0	0/2	0/4	0/6	0/8	1			
	0	1	2	3	4	5			
V_5	پیوستگی شیب							1/5	
	٪10	٪8	٪6	٪4	٪2	٪0			
	0	1	2	3	4	5			
	1- هر متر شانه خاکی معادل یک سوم متر شانه آسفالته در نظر گرفته شود. 2- طول گاردریل مورد نیاز با استفاده از قضاوت مهندسی مشخص شود.							جمع (BSI_{ir})	

www.SID.ir

Archive of SID

تکنولوژی وسایل نقلیه از احداث جاده‌ها، معمولاً سرعت عملکردی بسیار بیشتر از سرعت طرح است و از این رو، طول گاردریل مورد نیاز بر اساس قضاوت مهندسی تعیین شده و معمولاً بیشتر از مقادیری است که بر اساس سرعت طرح به دست می‌آیند.

با به دست آوردن نسبت طول گاردریل موجود به طول گاردریل لازم عددی حقیقی بزرگتر از صفر به دست خواهد آمد که در شرایط مطلوب ممکن است از یک بیشتر شود که در این صورت آنرا مساوی یک فرض می‌کنیم. بنابراین مقدار V4 برای بدترین وضعیت صفر و برای شرایط آرمانی برابر با 15 به دست خواهد آمد.

عامل V5. میزان پیوستگی شیب با استفاده از معادله (2) محاسبه شده و با استفاده از درونیابی خطی بین مقادیر جدول (10) به آن نمره داده می‌شود. سپس نمره به دست آمده (از 5) در 1/5 ضرب می‌شود. لذا حداکثر نمره مربوط به این عامل مساوی 7/5 خواهد بود. باید توجه داشت که به مقادیر پیوستگی شیب بیشتر از 10٪ نمره صفر تعلق می‌گیرد.

تذکر1. شاخص ایمنی به دست آمده فقط با این فرض معتبر است که : "کاهش عرض مسیر در محل پل‌ها، ابتدا به کاهش عرض شانه‌ها اعمال شود". به عبارت دیگر عرض سواره‌رو در محل پل‌ها نباید تغییر کند، مگر در صورتی که حداکثر کاهش عرض شانه اعمال شده باشد.

تذکر2. مقدار هر عامل از حداکثر مقادیر داده شده در جدول تجاوز نکند و برای مقادیر میانی از درونیابی خطی استفاده شود.

مثال: دو پل الف و ب با مشخصات ذیل در ایران وجود دارد. با توجه به محدودیت بودجه ایمن سازی محل پل‌ها، کدام پل و چه عاملی از آن پل از اولویت ایمن سازی برخوردار است؟

نام عامل	پل (الف)	پل (ب)
عرض شانه آسفالته پل	0/5 متر	0/6 متر
عرض شانه خاکی پل	0/3 متر	صفر
عرض شانه آسفالتی نزدیکی پل	0/6 متر	0/5 متر
عرض شانه خاکی نزدیکی پل	0/7 متر	0/3 متر
عرض دهانه آزاد پل	11 متر	12 متر
عوامل به وجود آورنده تداخل ترافیکی	کم	زیاد
طول گاردریل موجود	40 متر	50 متر
طول گاردریل لازم	60 متر	50 متر
شیب قبل از پل	2٪ سرازیری	3٪ سرازیری
شیب بعد از پل	4٪ سربالایی	1٪ سرازیری
تردد واقعی متوسط روزانه	1900 وسیله	2600 وسیله

www.SID.ir

Archive of SID

پاسخ:

برای پل **الف** داریم:

$$\text{میزان کاهش شانه} = \frac{\left(0.6+\frac{0.7}{3}\right)-\left(0.5+\frac{0.3}{3}\right)}{\left(0.6+\frac{0.7}{3}\right)} \times$$

$$100 = 28\% \Rightarrow V_1 = 0.7\times 6 = 4.2$$

$$\text{عرض آزاد پل} = \frac{11}{2} = 5.5_m \Rightarrow V_2 = 10$$

= عوامل به وجود آورنده تداخل ترافیکی

$$\text{کم} \Rightarrow V_3 = 4\times 4 = 16$$

$$\left(\frac{\text{طول کاردویل موجود}}{\text{طول کاردویل لازم}}\right) = \frac{40}{60} = 0.66 \Rightarrow$$

$$V_4 = 3.3\times 3 = 9.9$$

$$\left.\begin{array}{l} = \text{پیوستگی شیب از یک جهت} \\ \frac{(-2)+4}{2} + |(-2)-4| = 7\% \\ = \text{پیوستگی شیب از جهت دیگر} \\ \frac{2+(-4)}{2} + |2-(-4)| = 5\% \end{array}\right\}$$

$$\Rightarrow V_5 = 1.5\times 1.5 = 2.2$$

$$\therefore BSI_{ir} = \sum_{i=1}^{5} V_i = 4.2+10+16+9.9+2.2 = 42.3$$

$$\text{میزان خطر عبور از روی پل الف بر اساس شاخص ایمنی} = \frac{1900}{42.3} = 44.9$$

با محاسبات مشابه برای پل **ب** خواهیم داشت:

$$\left.\begin{array}{l} V_1 = 21 \\ V_2 = 15 \\ V_3 = 8 \\ V_4 = 15 \\ V_5 = 4.5 \end{array}\right\} \Rightarrow \therefore BSI_{ir} = 63.5 \Rightarrow$$

$$\text{میزان خطر عبور از روی پل ب} = \frac{2600}{63.5} = 40.9$$

لذا بر اساس شاخص ایمنی مخصوص پل‌های ایران و حجم تردد عبوری از روی پل‌های الف و ب نتیجه می‌گیریم که:

اولاً بهتر است ایمن سازی ابتدا بر روی پل الف صورت گیرد زیرا احتمال وقوع تصادف روی پل مزبور بیشتر است.

ثانیاً با ملاحظه عوامل مختلف مربوط به پل الف در می‌یابیم که روکش کردن شانه روی پل در مقابل بهبود عوامل دیگر نیاز به صرف هزینه کمتری دارد و عامل 1 را تا مقدار 18/9 افزایش خواهد داد که مقدار قابل ملاحظه‌ای است.

$$\text{میزان کاهش شانه پس از روکش کردن شانه} = \frac{\left(0.6+\frac{0.7}{3}\right)-(0.5+0.3)}{\left(0.6+\frac{0.7}{3}\right)} \times$$

$$100 = 4\% \Rightarrow V_1 = 3.15\times 6 = 18.9$$

شاخص ایمنی مربوط به پل الف پس از روکش کردن شانه‌های روی پل $BSI_{ir} = 57$

میزان خطر عبور از روی پل الف پس از روکش کردن شانه‌های روی پل $= \frac{1900}{57} = 33.3$

نتیجه

پژوهشی که نتایج آن در این مقاله ارائه گردید، برای اولین بار در ایران مدلی را ارائه می‌کند که قادر است وضعیت ایمنی ترافیکی در محل پل‌ها را از طریق

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه یک شاخص علمی معین کند. پل‌ها از نقاط بسیار خطرناک و پرسانحه راه‌ها محسوب می‌شوند. مسؤولان راهداری می‌توانند با استفاده از شاخص ایمنی پل‌های کشور برنامه ریزان و مدیریت نگهداری و ایمنی راه‌ها را به سوی یک مدیریت علمی هدایت کرده و به نتایج بهینه در تخصیص منابع دست یابند.

ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

الف) مدل را می‌توان با افزایش تعداد پل‌های مورد مطالعه بهبود بخشید.

ب) عوامل مهمی ازقبیل شاخص شدت تصادف و نیز تأثیر عرض پل در ایمنی، برگرفته از تحقیقاتی بود که تاکنون در ایران انجام نشده‌اند. انجام تحقیقات جداگانه‌ای در موارد فوق و مخصوص راه‌های ایران، موجب بهبود نتیجه نهایی خواهد شد.

ج) با برنامه‌ریزی بلند مدت در تحقیقات آتی و جلب همکاری پلیس در این زمینه، اطلاعات صحیحتر و کاملتری را می‌توان از پلیس دریافت کرد. بدیهی است که لازمه چنین اقدامی تهیه برگه‌های مخصوص تصادفات محل پل‌ها و الزام پلیس در پرکردن برگه‌ها است.

د) می‌توان تحقیقاتی مشابه شاخص ایمنی پل‌ها را برای دیگر نقاط خطرناک راه‌ها مثل قوس‌ها، تقاطع‌ها و . . . انجام داد و نیز با یک تحقیق جداگانه می‌توان دریافت که وقتی دو نقطه حادثه‌خیز باهم توأم شود مثل یک پل و یک تقاطع یا یک پل روی قوس میزان ایمنی چگونه از روی شاخص‌های آن‌دو نقطه به دست خواهد آمد.

هـ) اگر تحقیقات جامعی در مورد اینکه هر واحد کاهش شاخص ایمنی به چه اندازه موجب افزایش تصادفات می‌شود و آن میزان افزایش تصادفات معادل چه مقدار هزینه ریالی است انجام گیرد، آنگاه با در دست داشتن هزینه‌های مختلف ایمن سازی، این طرح‌ها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر می‌شوند.

و) در مدل‌های آتی می‌توان به دنبال کشف متغیرهای دیگری بود که بر ایمنی محل پل‌ها اثر می‌گذارد. این متغیرها شامل عوامل انسانی مثل تجربه در رانندگی و آشنایی با جاده، عوامل ترافیکی از قبیل سرعت وسایل نقلیه، عوامل جوی از قبیل تعداد فصل‌های سرما و غیره می‌باشند.

توجه: تشابه استانداردهای بکاررفته در احداث، نگهداری و ایمنی جاده‌ها، تشابه در کیفیت ایمنی وسایل نقلیه و تشابه در فرهنگ رانندگی رانندگان، اطمینان ما را از مطابقت زیاد مدل به دست آمده در این تحقیق، با پل‌های سراسر ایران افزایش می‌دهد و به همین دلیل نیز لازم است تا مدل فوق با تغییراتی که در وضعیت راه‌های کشور، ترافیک و فن‌آوری وسایل نقلیه به وجود می‌آید هر چند سال یکبار مورد تجدید نظر و تصحیح قرار گیرد.

مراجع

1. آیتی، اسماعیل – هزینه‌های تصادفات ترافیکی ایران، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره 345، پاییز (1381).

2. Ogden, K.W. Safer Roads; A guide to road safety engineering, IRRD, OECD, (1996).

3. Imad J.Abed-AL-Rahim, David W.Johnston, "Estimating Bridge-Related traffic Accident Rates and Costs," Transportation Research Record 1392,PP-106, (1993).

www.SID.ir

Archive of SID

4. B.V.Radhakumari Gandhi, Robert L. Lytton, Biman Das, "An Improved Bridge Safety for Narrow Bridges", Transportation Research records 960, PP 40-48, (1984).

5. D. S. Turner, "Prediction of Bridge Accident Rates," Journal of Transportation engineering, ASCE, Vol.110, No.1, PP45-54, (1984).

6. Brian L. Bowman, Philip Brinkman, "Effect of Low-cost Accident Countermeasures on vehicle Speed and Lateral Placement at Narrow Bridges," transportation Research record 1185, pp11-22, (1988).

7.D.L.Ivey, R.M.Olson, N.E.Walton, G.D.Weaver and L.W.Furr, "Safety at narrow bridge sites," NCHRP Report 203. TRB, National Research council, Washington, D.C., June (1979).

8- بهنیا، کامبیز و طباطبایی، امیرمحمد، بررسی مناطق خطرناک راه‌ها (B.C.E.O.M)، مرکز تحقیقات و مطالعات وزارت راه‌وترابری، (1373).

9. NG J.C.N., et Hauer E., "Accidents on Rural Two-Lane Roads; Differences Between Seven States," 68th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington D.C., (1989).

10. Nicholas J.Garber, Lester A. Hoel, Traffic and Highway Engineering; 2nd Edition, PWS Publishing, (1996).

11. SPSS 10.0; Syntax Reference Guide, Release 10.0.1, 27 Oct (1999).

12. Montgomery D.C., Peck E., Vining G.G., Introduction to Linear Regression Analysis; 3rd Edition, John Wiley & Sons, (2001).

13. سنفورد وانربرگ، رگرسیون خطی کاربردی، ترجمه دکتر حسینعلی نیرومند، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره 163، خرداد (1374).

www.SID.ir