

مدل ریاضی تصادفات جاده‌های دوخطه برون شهری استان بوشهر با توجه به ویژگیهای رویه راه

محمود عامری، دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
غلامعلی شفابخش، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
شمس نوبخت، استادیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
محمود ملکوتی، عضو هیئت علمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران
E-mail: ameri@iust.ac.ir

چکیده

در این مقاله تصادفات استان بوشهر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. برای این منظور، به سهم هر یک از عوامل موثر در وقوع تصادفات استان اعم از انسان، وسیله نقلیه و جاده اشاره گردیده است. سپس با استفاده از مطالعات میدانی، ۲۱ قطعه یک کیلومتری از جاده های مختلف استان مورد ارزیابی قرار گرفته اند و بر روی آنها آزمایش تعیین ضریب اصطکاک (به روش آونگ انگلیسی) و محاسبه خرابی روسازه راه (به روش PCI^۱) انجام شده است. در نهایت رابطه بین پارامترهای SN^۲ (عدد مقاومت لغزندگی)، PCI (شاخص خرابی رویه)، عرض جاده، ADT^۳ (میانگین ترافیک روزانه) و AR^۴ (نرخ تصادفات) در قطعات مذکور مورد بررسی قرار گرفته و مدل ریاضی آن پیشنهاد گردیده است.

واژه‌های کلیدی: مدل تصادفات، آزمایش آونگ انگلیسی، شاخص خرابی راه، عرض جاده، میانگین ترافیک روزانه و نرخ تصادف

۱. مقدمه

مقایسه با سال ۱۳۷۹، ۱۵ درصد افزایش داشته است [۱]. تصادفات وسایل نقلیه، وقایع پیچیده‌ای از تأثیر متقابل عوامل اصلی شامل رانندگان، ترافیک، طراحی جاده، وسیله نقلیه و شرایط محیطی ناشی می شوند. مدل‌های تصادفات ابزاری برای خلاصه کردن این اثرات تأثیرگذار برهم طبق اطلاعات گردآوری شده از داده‌های تصادفات به همراه قضاوت مهندسی و فرضیات تحلیلی تدوین شده اند که می‌توانند در کاهش خسارات و تلفات ناشی از تصادفات مفید واقع شوند [۲]. در انواع جاده‌های برون شهری، جاده‌های دوخطه از شرایط حادثه‌تری در بروز تصادفات برخوردارند. از جمله مسائل مربوط به جاده‌های دوخطه محدوده وسیع تغییرات در خصوصیات هندسی و ترافیک روزانه آنها است [۳].

ایمنی در تردد وسایل نقلیه یکی از اصولی‌ترین مبانی در مهندسی ترافیک و برنامه‌ریزی حمل و نقل در جهان است. رعایت نشدن اصول ایمنی در طراحی راهها، نگهداری و برنامه‌ریزی حمل و نقل و ترافیک در کشور ما باعث شده است که خسارت های سنگینی بر جامعه وارد شود [۱]. بررسی‌های آماری انجام شده نشان داده‌اند که بر اثر سوانح رانندگی در کشور ایران، در هر ۲۶ دقیقه یک نفر جان می‌بازد. بر اساس این بررسی‌ها، متوسط تعداد قربانیان حوادث رانندگی در جاده‌های کشور، روزانه ۵۴ نفر است که در قیاس با جمعیت، کشور ایران بیشترین آمار تصادفات را در جهان به خود اختصاص داده است. آمار پزشکی قانونی نشان می‌دهد که میزان مرگ و میر ناشی از تصادفات در سال ۱۳۸۰ در کشور، در

1. Pavement Condition Index
2. Skid Number
3. Average Daily Traffic
4. Accident Rate

۲. مدل‌های تصادفات

۱-۲ تعریف مدل

اساساً مدل یک نماد از واقعیت است. مدل‌ها از آن نظر که در شرایطی که امکان تجربه به دلایل اقتصادی، سیاسی و تکنیکی وجود ندارد، درک چگونگی رفتار سیستم را میسر می‌سازند، حایز ارزش و اهمیت هستند. به طور کلی مدل‌ها بر دو نوعند: مدل‌های فیزیکی که به راحتی قابل درک بوده و اکثریت پژوهشگران با آن مأنوس هستند و مدل‌های انتزاعی که به جای وسایل فیزیکی از نمادها برای نمایش موقعیت روابط واقعی استفاده می‌کنند. از جمله مدل‌های انتزاعی مدل‌های ریاضی هستند.

۲-۲ انواع مدل‌های تصادفات

مدلسازی رابطه بین عوامل مؤثر در تصادفات نیاز به یک چارچوب آماری دارد که طبیعت پراکنده واقعه تصادف را شامل شده و در عین حال توصیف کننده تأثیر عوامل مربوطه باشد. علاوه بر این برای به دست آوردن نتایج واقعی و قابل اطمینان از مدل، تحلیل‌گر به اطلاعات مناسب تصادفات، ترافیک، طرح هندسی، شرایط رویه راه و محیط از دو نقطه نظر کیفی و کمی نیاز دارد. شناخت بهتر عوامل مربوط به تعداد و شدت تصادفات و توسعه این گونه مدل‌ها برای بررسی تأثیر عوامل مورد نظر بر روی تصادفات، مهندسین را قادر می‌سازد تا اقدامات لازم را در جهت شناسایی و کاهش تعداد و شدت تصادفات و یا کاهش احتمال وقوع آنها اعمال نمایند.

نکته قابل توجه در توسعه مدل‌های تصادفات این است که به علت پیچیدگی تصادفات و دخالت عوامل زیاد در آنها نمی‌توان اظهار داشت که مدل ارایه شده دقیق و بی نقص است. از مشکلات دیگر در توسعه مدل‌های تصادف می‌توان به خطا در داده‌های مربوط به تصادفات اشاره کرد. این داده‌ها شامل خطاهای آمارگیری و غیره هستند [۵و۴].

مدل‌های تصادفات به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- مدل‌های بیان کننده تعداد تصادفات

۲- مدل‌های بیان کننده شدت تصادفات

۳- مدل‌های بیان کننده احتمال خطر تصادفات

در مدل‌های تعداد تصادفات در حقیقت رابطه‌ای بین تعداد تصادف در یک بخش از جاده با خصوصیات آن برقرار می‌شود. از این مدل‌ها علاوه بر تعیین احتمال و تعداد تصادفات می‌توان برای

محاسبه تغییرات در نرخ تصادفات در اثر تغییر خصوصیات قطعه و در نتیجه آگاهی از اقدامات لازم در جهت کاهش نرخ تصادفات استفاده کرد [۶]. در مدل‌های شدت با بررسی داده‌های مربوط به تصادفات به وقوع پیوسته و اطلاعات و شرایط مربوط به تصادفات، رابطه‌ای بین عوامل مؤثر در بروز تصادفات و شدت آنها (به عنوان مثال منجر به فوت، جرح یا خسارت مالی) ارایه می‌گردد. لذا از این طریق می‌توان به عوامل مهم در تشدید تصادفات پی برده و اقدامات لازم را انجام داد [۶].

مدل‌های احتمال خطر برای بررسی بروز خطا و احتمال وقوع تصادف بکار می‌روند. از جمله این روش‌ها تحلیل درخت خطا است. در این روش یک واقعه مورد بحث قرار گرفته و احتمال وقوع بررسی می‌شود (بعنوان مثال وقوع یک تصادف) و در بالای درخت قرار می‌گیرد. تمام مسیرهای درخت خطا رابطه دیگر وقایع و وقایع بالایی را بیان می‌کنند [۷].

۳-۲ مدل‌های کاربردی تصادفات

Al-Maseid و همکاران در مطالعاتی که بر روی ۱۱۳ کیلومتر از جاده‌های دوخطه اصلی برون شهری در کشور اردن انجام دادند، تأثیر ناهمواری و خرابی‌های روسازه را بر روی تصادفات مورد بررسی قرار داده‌اند [۸]. در این مطالعه با استفاده از یک پایگاه اطلاعاتی در مورد جاده‌های مذکور اثر پارامترهای وضعیت روسازه بر روی تصادفات فردی و چندگانه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل آماری و رگرسیون آنها نشان می‌دهند که وضعیت روسازه اثر قابل توجهی بر روی تعداد تصادفات فردی و چندگانه دارد. مدل ایجاد شده توسط Al-Maseid برای تصادفات فردی به شکل زیر است [۸]:

$$SVAR = 0.32(IRI)^{-0.73} (1 + H_C)^{3.9} (RHR)^{0.64} \quad (1)$$

$$SVAR = 0.32(PSI)^{1.49} (1 + H_C)^{4.78} (RHR)^{0.55} \quad (2)$$

$SVAR$ = نرخ تصادفات فردی (تعداد تصادف در میلیون وسیله نقلیه کیلومتر)

IRI = شاخص بین‌المللی ناهمواری

H_C = تعداد قوس‌های افقی با درجه قوس کمتر از ۵ در هر کیلومتر قطعه

PSI = شاخص خدمت دهی روسازه

RHR = میانگین نرخ حادثه‌پذیری حاشیه جاده

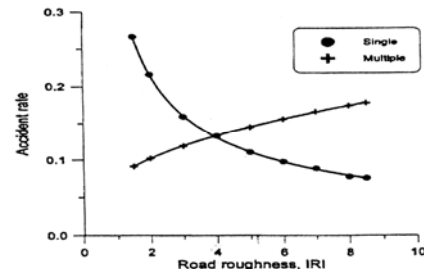
همان گونه که در مدل‌های فوق مشاهده میشود به علت وابستگی شدیدی که بین دو متغیر PSI و IRI وجود دارد از بین این دو

(۳) متغیر فقط یکی از آنها بعنوان متغیر مستقل در تحلیلهای AI-

Masied وارد شده است. AI-Masied همچنان نشان داد که نگهداشتن رویه در PSI بیشتر از $2/8$ یا IRI کمتر از 5 m/km با عث می شود که از تعداد تصادفات به مقدار قابل توجهی کاسته شود [۸].

Karan و همکارانش اثر ناهمواری رویه را بر روی تعداد تصادفات فردی و چندگانه به طور جداگانه مورد مطالعه قرار دادند [۹]. مطالعات این پژوهشگران نشان می دهند که توجه و احتیاط بیشتری که رانندگان در هنگام رانندگی بر روی سطوح ناهموار دارند عامل مهمی در کاهش نرخ تصادفات فردی در مقایسه با نرخ تصادفات است.

علاوه بر آن این مطالعات نشان می دهند که علت افزایش نرخ تصادفات چندگانه در جاده های ناهموار، افزایش تحرکات عرضی و جانبی وسایل نقلیه برای پرهیز از برخورد با ناهمواریها و خرابیهایی است که در سطح رویه روسازه راه ظاهر شده‌اند. شکل ۱ تاثیر ناهمواری رویه را بر روی نرخ تصادفات نشان می دهد. در این شکل مشاهده می شود که با افزایش IRI از تعداد تصادفات فردی کاسته، لیکن بر تعداد تصادفات چندگانه افزوده شده است.



شکل ۱. رابطه بین نرخ تصادفات و ناهمواری روسازه [۹]

آقای Abo-qudias در مطالعات خود $82/6$ کیلومتر جاده شامل 76 قطعه متفاوت درون شهری بطول 800 تا 2700 متر را مورد بررسی قرار داد [۱۰]. در این مطالعه اطلاعات سه ساله این قطعات نظیر نرخ تصادفات، میانگین ترافیک روزانه (ADT)، فاکتور ساعت اوج (PHF)، وضعیت رویه (تر و خشک)، سرعت عملکردی، عرض خط و تعداد خطوط جمع‌آوری گردیده اند و با استفاده از تحلیل های آماری و رگرسیون آنها به کمک نرم افزار SPSS مدل زیر برای نرخ تصادفات درون شهری شهر Irbid کشور اردن پیشنهاد گردیده است [۱۰]:

$$AR = -0.016845184X_1(14.27097542e^{-0.0000700914DT}) \\ (7.08E-07V^3 + 0.000238V^2 - 0.030130928V) \\ (-0.130454771LW^3 + 2.869436116LW^2 - 18.82318809LW) \\ (-0.100045225NL^3 + 1.019851407NL^2 + -2.824632467NL) \\ (0.037099201PHF^{-11.57726549})$$

ضریب همبستگی R^2 این معادله برابر با $0/564$ و پارامترهای مدل به شرح زیرند:

$$X_1 = 1/100 = \text{برای رویه خشک و } 3/118 \text{ برای رویه های خیس} \\ AR = \text{تعداد تصادف در میلیون وسیله نقلیه کیلومتر} \\ ADT = \text{میانگین ترافیک روزانه} \\ V = \text{سرعت عملکردی (km/h)} \\ LW = \text{عرض خط (m)} \\ NL = \text{تعداد خطوط}$$

اثرات طرح هندسی جاده نظیر عرض خط، نوع شانه و میانه راه را بر روی تصادفات مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق اطلاعات مربوط به 8050 کیلومتر از جاده‌های دوخطه اصلی از 7 ایالت به همراه آمار تصادفات جمع‌آوری گردیده است. نتایج این مطالعه نشان می دهند که تعریض خط، نزدیک به 40% از تصادفات ترافیکی را کاهش می دهد در حالی که تعریض شانه 49% از تصادفات مربوطه را کاهش می دهد.

Vogt و Bared با بررسی تعداد تصادفات در جاده‌های دوخطه برون شهری، مدل‌های مختلفی با تنوعی از متغیرها برای شرایط متعدد قسمتهای جاده و تقاطع ها و شدت‌های مختلف تصادف را ارائه کردند [۱۲].

این مطالعه نشان می دهد که بیشترین آمار تصادفات در جاده های برون شهری کشورهای آمریکا و انگلستان به دلیل استفاده رانندگان از مشروبات الکلی، عدم آشنایی به مسیر و کاهش عملکرد راننده در کنترل وسیله نقلیه بوده است.

۳. مراحل تحقیق، برداشت های میدانی، داده‌های

حاصله

در این تحقیق برای مطالعه ویژگیهای رویه راه از جمله اندازه خرابی راه و لغزندگی بر روی تعداد تصادفات برون شهری از یک مطالعه میدانی در سطح جاده‌های برون‌شهری استفاده گردیده است.

۳-۱ محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی در این تحقیق، محورها و راه‌های اصلی دو خطه و بعضی از راه‌های فرعی استان بوشهر است.

راه‌های موجود در استان بوشهر در حال حاضر به غیر از راه‌های روستایی بالغ بر ۱۶۸۸۰ کیلومتر طول دارند که مجموع آنها با مشخصات بزرگراه - راه اصلی - راه فرعی درجه یک و دو، در حوزه استحفاظی اداره کل راه و ترابری استان بوشهر قرار دارد. تراکم راه در هر ۱۰۰ کیلومتر مربع معادل ۶/۶۶ کیلومتر است [۱].

۳-۲ مراحل تحقیق

۱- بررسی و تحلیل فرم‌های جدید ثبت اطلاعات تصادفات و محاسبه نرخ تصادفات در جاده‌های مختلف برون‌شهری.

۲- بازدید کلی از جاده‌ها و شناسایی آن‌ها و قطعات انتخاب شده در مرحله ۱.

۳- اندازه‌گیری ضریب اصطکاک در محل‌های انتخاب شده با استفاده از دستگاه پاندول انگلیسی.

۴- به دست آوردن شاخص وضعیت روسازه (PCI) در قطعات انتخاب شده.

۵- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از جاده‌ها به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارائه مدل (نظیر حجم ترافیک، عرض جاده).

۶- ارائه مدل تصادفات با استفاده از پارامترهای سنجش شده در قطعات و داده‌های جمع‌آوری شده.

۳-۳ تجزیه و تحلیل پرسشنامه‌های ثبت اطلاعات

تصادفات

برای تجزیه و تحلیل تصادفات از اطلاعات ۴ ماهه استان استفاده گردید به طوری که بالغ بر ۴۰۰ پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در ذیل آورده شده اند:

۱- درصد تصادفات در روز تقریباً دو برابر درصد تصادفات در شب است.

۲- بیشترین درصد تصادفات در ساعت ۱۵ الی ۲۰ رخ داده است. در حالی که کمترین تصادفات در ساعت ۳ الی ۶ رخ داده است.

۳- وسیله نقلیه سواری بیشترین درصد تصادفات را در استان بوشهر به خود اختصاص داده است.

۴- رانندگان با سن ۲۰ تا ۲۹ و ۳۰ تا ۳۹ سال بیشترین تعداد تصادفات را داشته‌اند.

۵- بیشترین علت تامه تصادفات به ترتیب انحراف به چپ، عدم

رعایت حق تقدم و عدم توانایی در کنترل وسیله نقلیه بوده است.

۶- بی‌دقتی و بی‌توجهی رانندگان، به طوری که خطای رانندگان مقصر مهم‌ترین عامل بروز تصادفات بوده است.

۷- بیشترین درصد تصادفات در راه‌های بدون شانه رخ داده است (۴۴/۵٪)، در حالی که جاده‌هایی که شانه تا عرض یک متر دارند، تعداد تصادفات کمتری داشته‌اند (۲۴/۱٪).

۸- افزایش عرض شانه راه به بیش از یک متر، تاثیر چندانی در کاهش تعداد تصادفات ندارد.

۹- بیشترین تصادفات در مسیرهای مستقیم و صاف رخ داده اند.

۱۰- وجود چاله و ناهمواری، یکی از عوامل بروز تصادفات بوده، به طوری که ۱۱٪ تصادفات در جاده‌های دارای ناهمواری و چاله رخ داده است.

۳-۴ انتخاب مسیر به منظور برداشت اطلاعات

با استفاده از نتایج تحلیل پرسشنامه‌های ثبت اطلاعات تصادفات، مسیرهایی که برای سنجش اصطکاک و PCI انتخاب شده‌اند در جدول ۱ آمده اند.

۳-۵ تجهیزات مورد استفاده

به منظور ارزیابی اندازه خرابی و لغزندگی در قطعات انتخاب شده تاکنون روشهای متعددی در قالب مطالعات میدانی و یا انجام آزمایش‌های محلی ارایه شده‌اند.

با توجه به مشکلات موجود در این زمینه اعم از ایمنی و دسترسی به تجهیزات برای ارزیابی خرابیهای روسازه از بین روشهای موجود، روش PCI که در ایران مرسوم بوده و بیشتر متکی بر نیروی انسانی است، مورد استفاده قرار گرفته است. برای تعیین اصطکاک سطح جاده‌ها (Skid Number) از دستگاه موسوم به آونگ انگلیسی و برای تعیین طول هر قطعه و انجام مطالعات آماری برای محاسبه PCI از دستورالعمل شماره ۶۴۳۳ مندرج در نشریه ASTM سال ۲۰۰۲ میلادی استفاده شده است.

شکل ۲ نحوه تعیین عدد مقاومت لغزشی راه با استفاده از دستگاه پاندول انگلیسی و شکل ۳ نحوه ارزیابی خرابی روسازه به روش PCI را نشان می‌دهد.

حاصل شدند. جدول ۲ داده‌های حاصل از آزمایش تعیین عدد مقاومت در برابر لغزندگی و PCI به همراه سایر اطلاعات برداشت شده را نشان می‌دهد.

۳-۶ داده‌های حاصل از انجام آزمایش آونگ انگلیسی و ارزیابی PCI در قطعات پس از انجام آزمایش به روشهای مذکور در قطعات، داده‌های زیر



شکل ۳. نحوه اندازه گیری خرابی روسازه

شکل ۲. نحوه تعیین عدد مقاومت در برابر لغزندگی

جدول ۱. مشخصات جاده و قطعه‌های مورد برداشت

شماره قطعه	نام محور	مبدأ - مقصد	نوع راه	طول مسیر (km)	تعداد تصادف در مسیر	فاصله قطعه از مبدأ
۱	بوشهر- برازجان	سهراهی عیسوند- برازجان	اصلی	۲۰	۱۸	۵
۲	برازجان-کنار تخته	برازجان- دالکی	اصلی	۵۵	۱۲	۱۵
۳	بوشهر- نیروگاه اتمی	بوشهر- نیروگاه اتمی	فرعی	۱۶	۶	۱۰
۴	برازجان- گناوه	برازجان- گناوه	اصلی	۷۷	۱۵	۴۵
۵	گناوه- دیلم	گناوه- کیلومتر ۳۵ دیلم	اصلی	۱۵	۳	۱۵
۶	دیلم- بهبهان	دیلم- سهراهی عامری	اصلی	۲۱	۲	۱۰
۷	چغادک- اهرم	چغادک- اهرم	اصلی	۲۷	۲	۱۵
۸	اهرم- خورموج	اهرم- خورموج	اصلی	۳۵	۵	۲۰
۹	خورموج- سهراهی یر	خورموج- سهراهی دیر	اصلی	۱۱۵	۹	۸۰
۱۰	سهراهی دیر- کنگان	سهراهی دیر- کنگان	اصلی	۱۴	۲	۵
۱۱	کنگان- عسلویه	کنگان- روستای هوشمالی	اصلی	۱۱۰	۲۶	۲۵
۱۲	سهراهی دیر- دیر	سهراهی دیر- دیر	اصلی	۱۱	۲	۵
۱۳	برازجان- اهرم	برازجان- سهراهی اهرم	اصلی	۴۸	۳	۲۰
۱۴	بردخون	سهراهی بردخون- بردخون	اصلی	۲۳	۱	۱۵
۱۵	بوشکان- تنگ ارم	دهرود- تنگ ارم	فرعی	۲۴	۱	۱۵
۱۶	اهرم- بوشکان	اهرم- به طرف فرائیند	فرعی	۱۲۰	۲	۲۰
۱۷	دلوار- رستمی	سهراهی دلوار- رستمی	اصلی	۶۵	۳	۴۰
۱۸	اهرم- دلوار	اهرم- دلوار	فرعی	۲۲	۴	۱۵
۱۹	دیلم	کیلومتر ۳۵ دیلم _ دیلم	اصلی	۳۵	۶	۱۵
۲۰	دلوار- بوشهر	دلوار- بوشهر	اصلی	۳۵	۳	۱۵
۲۱	بردخون- جاشک	بردخون- جاشک	فرعی	۴۵	۱	۲۰

جدول ۲. داده های حاصل از آزمایش آونگ انگلیسی، ارزیابی PCI، نرخ تصادفات، RW در محورهای مختلف استان

مقاومت لغزندگی (SN)	شاخص خرابی (PCI)	میلیون تصادف وسیله نقلیه کیلومتر در (AR2)	تصادف در کیلومتر در (AIR)	تعداد تصادفات در محور در (NA)	ترافیک (ADT)	عرض راه (RW)	طول مسیر (km)	نوع راه	مبدا - مقصد	نام محور	شماره قطعه
۵۷/۲	۹۰	۱۹۱/۱	۰/۹	۱۷	۲۲۹۴	۷/۲	۲۰	اصلی	سه راه عیسوند - برازجان	بوشهر - برازجان	۱
۵۲/۴	۹۰	۰/۴۴۲	۰/۲۱۸	۱۲	۴۰۹۹	۷/۲	۵۵	اصلی	بrazجان - دالکی	بrazجان - کنارنخه	۲
۴۷/۵	۴۲	۷۵۶/۱	۰/۴۲۶	۶	۲۰۵۰	۶	۱۶	فرعی	بوشهر - نیروگاه اتمی	بوشهر - نیروگاه اتمی	۳
۴۶/۳	۲۵	۸۷۵/۰	۰/۱۹۴	۵۱	۲۸۰۰	۷/۲	۷۷	اصلی	بrazجان - گناوه	بrazجان - گناوه	۴
۴۷/۴	۴۴	۸۶۶/۰	۰/۲	۲	۵۵۱۷	۶/۲۰	۱۵	اصلی	گناوه - کی ۳۵ دیلم	گناوه - دیلم	۵
۴۱/۵	۳۸	۸۰۷/۱	۰/۴۰۶	۲	۲۲۲۴	۷/۲	۲۱	اصلی	سه راهی عامری	دیلم - بهبهان	۶
۴۷/۴	۷۵	۰/۷۸/۰	۰/۳۸۰	۲	۲۲۰۲	۷/۲	۲۷	اصلی	چغادک - اهرم	چغادک - اهرم	۷
۳/۵	۰۷	۷۳۴/۰	۰/۷۴۱	۵	۲۵۳۲	۸/۲	۳۵	اصلی	اهرم - خورموج	اهرم - خورموج	۸
۵/۵	۷۳	۱۱۵/۰	۰/۷۸۰	۶	۱۷۷۱	۷	۵۱۱	اصلی	خورموج - سه راهی دیر	خورموج - سه راهی دیر	۹
۴/۳	۹۰	۰/۶۰/۰	۰/۷۳۱	۲	۲۱۲۲	۸/۲	۱۴	اصلی	سه راهی دیر - کنگان	سه راهی دیر - کنگان	۱۰
۵/۷	۴۲	۳۸۵/۰	۰/۲۲۱	۲۶	۲۰۲۲	۷	۱۱۰	اصلی	کنگان - روستای سهو شمالی	کنگان - عسلویه	۱۱
۴/۳	۶۴	۵۱۱/۱	۰/۷۱۷	۲	۶۳۲	۶	۱۱	اصلی	سه راهی دیر - دیر	سه راهی دیر - دیر	۱۲
۷/۵	۹۰	۸۱۳/۰	۰/۰۶۲	۲	۱۱۲۸	۶	۴۸	اصلی	بrazجان - سه راهی اهرم	بrazجان - اهرم	۱۳
۶/۳	۳۵	۰/۳۰/۰	۰/۰۴۲	۱	۱۱۹۸	۶	۲۳	اصلی	برودخون - سه راهی برودخون	برودخون - سه راهی برودخون	۱۴
۵/۳	۴۴	۰/۳۹۳	۰/۰۴۶	۱	۸۸۵	۶	۲۴	فرعی	دهرود - تنگ ارم	پوشکان - تنگ ارم	۱۵
۷/۵	۱۸	۵۷۱/۰	۰/۰۱۶۶	۲	۷۵۰	۶/۲	۱۲۰	اصلی	به طرف فرایند	اهرم - پوشکان	۱۶
۴/۵	۷۸	۰/۲۹۱	۰/۰۴۶	۳	۱۲۹۸	۷	۶۵	فرعی	سه راهی دلوار - رستمی	دلوار - رستمی	۱۷
۴/۳	۶۵	۰/۸۲۷	۰/۰۷۱۸	۴	۱۸۲۸	۶/۲۰	۲۲	فرعی	اهرم - دلوار	اهرم - دلوار	۱۸
۵/۷	۹۰	۵۵۱/۰	۰/۰۷۱۴	۶	۲۵۱۷	۷/۲	۳۵	اصلی	کی ۲۵ دیلم - دیلم	دیلم	۱۹
۴/۳	۷۸	۰/۴۲۹	۰/۰۸۵۷	۲	۱۶۳۵	۷	۳۵	اصلی	دلوار - بوشهر	دلوار - بوشهر	۲۰
۴/۳	۴۵	۰/۱۷۱	۰/۰۲۲۲	۱	۱۰۲۰	۶/۲	۴۵	فرعی	برودخون - جاشک	برودخون - جاشک	۲۱

۴. ایجاد مدل

RW: عرض جاده (متر)

ADT: میانگین ترافیک روزانه

۴-۳-۳ انجام مدلسازی

از بین مدل‌های مختلف سه نوع مدل خطی، نمایی و کرافت برای انجام مدلسازی در نظر گرفته شد.

۴-۳-۱ مدل خطی

فرم کلی مدل به صورت زیر است:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad (4)$$

که در آن، Y متغیر وابسته و X_i ها متغیرهای مستقل و β_i ها ضرایب رگرسیون هستند.

داده‌های ورودی به نرم افزار در این حالت در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

با استخراج ضرایب از خروجی نرم افزار، مدل‌های زیر به دست می‌آیند.

$$ARI = 0.631 + (-0.0049PCI) + (0.006726SN) + (-0.163RW) + (0.0001733ADT) \quad (5)$$

$$R^2 = 0.791$$

$$AR2 = 2.771 + (-0.004177PCI) + (-0.0267SN) + (-0.161RW) \quad (6)$$

$$R^2 = 0.103$$

۴-۳-۲ مدل کرافت

فرم کلی مدل کرافت به صورت زیر است:

$$Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_p^{\beta_p} \quad (7)$$

برای اینکه مدل به صورت خطی در آید، $\log(X_i)$ و $\log(Y)$ را به عنوان ورودی وارد مدل می‌کنند که به صورت زیر در می‌آید:

$$\log(Y) = \log(\beta_0) + \beta_1 \log(X_1) + \beta_2 \log(X_2) + \dots + \beta_p \log(X_p) \quad (8)$$

داده‌های ورودی به مدل در این حالت در جدول ۴ آورده شده‌اند.

در این مطالعه به منظور بررسی رابطه موجود بین AR (نرخ تصادفات) و ویژگی‌های رویه آسفالتی، شاخصهای عدد مقاومت در برابر لغزندگی (SN)، خرابی آسفالت، عرض رویه و ترافیک مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته و سپس تحلیل شده‌اند.

۴-۱ رگرسیون چندگانه

همان طوری که قبلاً اشاره شد در این مطالعات، ۴ شاخص (عدد مقاومت در برابر لغزندگی رویه، خرابی رویه، عرض جاده و ترافیک عبوری) اندازه‌گیری شدند. هدف از بکارگیری این آزمون، ایجاد رابطه ای بین عامل‌های موثر در وقوع تصادف و درجه اهمیت این عاملها بوده است.

رگرسیون چندگانه فرایند ساخت یک معادله خطی از یک متغیر وابسته به چند متغیر مستقل (رگرسور) است. برای این منظور از نرم‌افزار قدرتمند SPSS استفاده گردیده است.

۴-۲ متغیرهای مدل

متغیرهای مستقل و وابسته برای انجام عمل مدلسازی به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند:

(الف)

متغیر وابسته:

ARI: نرخ تصادفات در قطعات (تعداد تصادف در کیلومتر در ۴ ماه)

متغیرهای مستقل:

PCI: شاخص خرابی رویه

SN: عدد مقاومت در برابر لغزندگی

RW: عرض جاده (متر)

ADT: میانگین ترافیک روزانه

(ب)

متغیر وابسته:

AR2: نرخ تصادفات در قطعات (میلیون تصادف. وسیله نقلیه. کیلومتر در ۴ ماه)

متغیرهای مستقل:

PCI: شاخص خرابی رویه

SN: عدد مقاومت در برابر لغزندگی

جدول ۳. داده‌های ورودی به نرم‌افزار برای مدل خطی

ADT	RW	SN	PCI	AR2	AR1	
۶۲۹۴/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۵۶/۲۰۰۰۰	۹۰/۰۰۰۰۰	۱/۱۹۱۰۰۰	۰/۹۰۰۰۰۰	۱
۴۰۹۲/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۵۲/۴۰۰۰۰	۹۰/۰۰۰۰۰	۰/۴۴۳۰۰۰	۰/۲۱۸۰۰۰	۲
۲۰۵۰/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۴۶/۵۰۰۰۰	۴۳/۰۰۰۰۰	۱/۶۵۸۰۰۰	۰/۴۳۷۵۰۰	۳
۲۸۰۰/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۴۹/۶۰۰۰۰	۳۵/۰۰۰۰۰	۰/۵۷۹۷۰۰	۰/۱۹۴۸۰۰	۴
۲۵۱۷/۰۰۰	۶/۲۰۰۰۰۰	۴۷/۹۰۰۰۰	۴۴/۰۰۰۰۰	۰/۶۶۲۰۰۰	۰/۲۰۰۰۰۰	۵
۲۳۲۴/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۵۱/۲۰۰۰۰	۳۸/۰۰۰۰۰	۰/۱۷۰۷۰۰	۰/۰۴۷۶۰۰	۶
۲۲۰۲/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۴۷/۳۰۰۰۰	۵۸/۰۰۰۰۰	۰/۲۸۰۳۰۰	۰/۷۴۰۰۰۰	۷
۳۴۵۲/۰۰۰	۷/۲۰۰۰۰۰	۵۲/۴۰۰۰۰	۸۰/۰۰۰۰۰	۰/۳۴۴۸۰۰	۰/۱۴۲۸۰۰	۸
۱۷۸۳/۰۰۰	۷/۰۰۰۰۰۰	۴۵/۵۰۰۰۰	۴۸/۰۰۰۰۰	۰/۲۵۲۳۰۰	۰/۰۷۸۲۰۰	۹
۲۱۲۳/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۵۴/۲۰۰۰۰	۹۰/۰۰۰۰۰	۰/۵۶۰۰۰۰	۰/۱۴۲۸۰۰	۱۰
۲۰۲۲/۰۰۰	۷/۰۰۰۰۰۰	۴۸/۵۰۰۰۰	۴۲/۰۰۰۰۰	۰/۹۷۴۰۰۰	۰/۲۳۶۰۰۰	۱۱
۱۶۳۲/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۴۹/۱۰۰۰۰	۶۴/۰۰۰۰۰	۰/۱۳۵۰۰۰	۰/۱۸۱۸۰۰	۱۲
۱۱۲۸/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۵۳/۶۰۰۰۰	۹۰/۰۰۰۰۰	۰/۴۶۱۷۰۰	۰/۰۶۲۵۰۰	۱۳
۱۱۹۸/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۴۶/۴۰۰۰۰	۵۴/۰۰۰۰۰	۰/۳۰۲۰۰۰	۰/۰۴۳۰۰۰	۱۴
۸۸۵/۰۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۴۴/۵۰۰۰۰	۱۴/۰۰۰۰۰	۰/۳۹۲۳۰۰	۰/۰۴۱۶۰۰	۱۵
۷۵۰/۰۰۰۰	۶/۲۰۰۰۰۰	۵۹/۸۰۰۰۰	۷۱/۰۰۰۰۰	۰/۱۸۵۰۰۰	۰/۰۱۶۶۰۰	۱۶
۱۲۹۸/۰۰۰	۷/۰۰۰۰۰۰	۵۷/۴۰۰۰۰	۷۸/۰۰۰۰۰	۰/۲۹۶۰۰۰	۰/۰۴۶۰۰۰	۱۷
۱۸۲۸/۰۰۰	۶/۲۰۰۰۰۰	۴۶/۸۰۰۰۰	۵۶/۰۰۰۰۰	۰/۸۲۸۰۰۰	۰/۱۸۱۸۰۰	۱۸

جدول ۴. داده‌های ورودی به نرم‌افزار برای مدل کرافت

Log(ADT)	Log(RW)	Log(SN)	Log(PCI)	Log(AR2)	Log(AR1)	ردیف
۳/۷۹۸۹۲۶	۰/۸۶۳۳۲۲	۱/۷۴۹۷۳۶	۱/۹۵۴۲۴۲۰	-۰/۰۷۵۹۱۱	-۰/۰۴۵۵۷۵۷	۱
۳/۶۱۲۶۷۷	۰/۸۶۳۳۲۲	۱/۷۳۹۳۳۱	۱/۹۵۴۲۴۲۰	-۰/۳۵۳۵۹۶	-۰/۶۶۱۵۴۳	۲
۳/۳۱۱۷۵۳	۰/۷۷۸۱۵۱	۱/۶۶۷۵۲۰	۱/۶۳۳۴۶۸۰	-۰/۲۱۹۵۸۴	-۰/۳۵۹۰۲۱	۳
۳/۴۴۷۱۵۸	۰/۸۶۳۳۲۲	۱/۶۹۵۴۸۱	۱/۵۴۰۶۸۰۰	-۰/۲۳۶۷۹۶	-۰/۷۱۰۴۱۱	۴
۳/۴۰۰۸۸۳	۰/۷۹۲۳۹۲	۱/۶۸۰۳۳۵	۱/۶۴۳۵۲۰۰	-۰/۱۷۹۱۴۲	-۰/۶۹۸۹۷۰	۵
۳/۳۶۶۲۳۶	۰/۸۶۳۳۲۲	۱/۷۰۹۲۶۹	۱/۵۷۹۷۶۳۰	-۰/۷۶۷۷۶۶	-۱/۳۲۲۳۹۰	۶
۳/۳۴۲۸۱۷	۰/۸۵۷۳۳۲	۱/۶۷۴۸۶۱	۱/۷۶۳۲۷۰۰	-۰/۵۵۲۳۷۶	-۰/۱۳۰۷۷۰	۷
۳/۵۲۸۰۷۰	۰/۸۴۵۰۹۸	۱/۷۱۹۳۳۱	۱/۹۰۳۰۸۹۰	-۰/۴۶۲۴۳۲	-۰/۸۴۵۲۷۱	۸
۳/۲۵۱۱۵۱	۰/۸۶۳۳۲۲	۱/۶۵۸۰۱۱	۱/۶۸۱۲۴۱۰	-۰/۵۹۸۰۸۲	-۱/۱۰۶۷۹۰	۹
۳/۳۲۶۹۴۹	۰/۸۴۵۰۹۸	۱/۷۳۳۹۹۹	۱/۹۵۲۲۰۰۰	-۰/۲۵۱۸۱۱	-۰/۸۴۵۲۷۱	۱۰
۳/۳۰۵۷۸۱	۰/۷۷۸۱۵۱	۱/۶۸۵۷۴۱	۱/۶۲۳۲۴۹۰	-۰/۰۱۱۴۴۱	-۰/۶۲۷۰۸۷	۱۱
۳/۲۱۲۷۲۰	۰/۷۷۸۱۵۱	۱/۶۹۱۰۸۱	۱/۸۰۶۱۷۹۰	۰/۰۵۴۹۹۹	-۰/۷۴۰۴۰۶	۱۲
۳/۰۵۲۳۰۹	۰/۷۷۸۱۵۱	۱/۷۲۹۱۶۰	۱/۹۵۴۲۴۲۰	-۰/۳۳۵۶۴۰	-۱/۲۰۴۱۲۰	۱۳
۳/۰۷۸۴۵۶	۰/۷۷۸۱۵۱	۱/۶۶۶۵۱۷	۱/۷۳۲۳۹۳۰	-۰/۵۱۹۹۹۳	-۱/۳۶۶۵۳۰	۱۴
۲/۹۴۶۹۴۳	۰/۷۹۲۳۹۱	۱/۶۴۸۳۶۰	۱/۱۴۶۱۲۸۰	-۰/۴۰۶۳۸۱	-۱/۳۸۰۹۱۰	۱۵
۲/۸۷۵۰۶۱	۰/۸۴۵۰۹۸	۱/۷۷۶۷۰۱	۱/۸۵۱۲۵۸۰	-۰/۷۳۲۸۲۸	-۱/۷۷۶۸۹۰	۱۶
۳/۱۱۳۲۷۴	۰/۷۹۲۳۹۱	۱/۷۵۸۹۱۱	۱/۸۹۲۰۹۴۰	-۰/۵۲۸۷۰۸	-۱/۳۳۷۲۴۰	۱۷
۳/۲۶۱۹۷۶	۰/۷۹۲۳۹۱	۱/۶۷۰۲۴۶	۱/۷۴۸۱۸۸۰	-۰/۰۸۱۹۶۹	-۰/۷۴۰۴۰۶	۱۸

۳-۳-۴ مدل نمایی

با استخراج ضرایب رگرسیون و ضریب همبستگی R^2 از خروجی

فرم کلی مدل نمایی به صورت زیر است:

نرم افزار مدل‌های زیر شکل می‌گیرند.

$$Y = \beta_0 \beta_1^{X1} \beta_2^{X2} \dots \beta_p^{XP} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{Log}(AR1) = & -2.149 + (-0.00679 \text{Log}(PCI)) + \\ & (-0.665 \text{Log}(SN)) + (-5.379 \text{Log}(RW)) + \\ & (2.063 \text{Log}(ADT)) \end{aligned} \quad (9)$$

برای این که مدل به صورت خطی در آید، Xi و $\text{Log}(Y)$ را به عنوان ورودی وارد مدل می‌کنند، که به صورت زیر در می‌آید:

$$R^2 = 0.792$$

$$\begin{aligned} \text{Log}Y = & \text{Log}\beta_0 + X1 \text{Log}\beta_1 + \\ & X2 \text{Log}\beta_2 + \dots + XP \text{Log}\beta_p \end{aligned} \quad (13)$$

رابطه (۹) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$AR1 = 0.00709 PCI^{-0.00679} .SN^{-0.665} .RW^{-5.379} .ADT^{2.063} \quad (10)$$

جدول ۵ داده‌های ورودی به این مدل را در این حالت نشان

می‌دهد.

$$AR2 = 10.889 PCI^{-0.054} .SN^{-0.0104} .RW^{-6.04} .ADT^{1.136} \quad (11)$$

جدول ۵ داده‌های ورودی به نرم‌افزار برای مدل نمایی

ADT	RW	SN	PCI	Log(AR2)	Log(AR1)	ردیف
۶۹۲۴/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۵۶/۲۰۰۰۰	۹۰/۰۰۰۰۰	۰/۰۷۵۹۱۱	-۰/۰۴۵۷۵۷	۱
۴۲۹۹/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۵۲/۴۰۰۰۰	۹۰/۰۰۰۰۰	-۰/۳۵۳۵۹۶	-۰/۶۶۱۵۴۳	۲
۲۰۵۰/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۴۶/۵۰۰۰۰	۴۳/۰۰۰۰۰	۰/۲۱۹۵۸۴	-۰/۳۵۹۰۲۱	۳
۲۸۰۰/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۴۹/۶۰۰۰۰	۳۵/۰۰۰۰۰	-۰/۲۳۶۷۹۶	-۰/۷۱۰۴۱۱	۴
۲۵۱۷/۰۰۰	۶/۲۰۰۰۰۰	۴۷/۹۰۰۰۰	۴۴/۰۰۰۰۰	-۰/۱۷۹۱۴۲	-۰/۶۹۸۹۷۰	۵
۲۳۲۴/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۵۱/۲۰۰۰۰	۳۸/۰۰۰۰۰	-۰/۷۶۷۷۶۶	-۱/۳۲۲۳۹۰	۶
۲۲۰۲/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۴۷/۳۰۰۰۰	۵۸/۰۰۰۰۰	-۰/۵۵۲۳۷۶	-۰/۱۳۰۷۷۰	۷
۳۴۵۲/۰۰۰	۷/۲۰۰۰۰۰	۵۲/۴۰۰۰۰	۸۰/۰۰۰۰۰	-۰/۴۶۲۴۳۲	-۰/۸۴۵۲۷۱	۸
۱۷۸۳/۰۰۰	۷/۰۰۰۰۰۰	۴۵/۵۰۰۰۰	۴۸/۰۰۰۰۰	-۰/۵۹۸۰۸۲	-۱/۱۰۶۷۹۰	۹
۲۱۲۳/۰۰۰	۷/۳۰۰۰۰۰	۵۴/۲۰۰۰۰	۹۰/۰۰۰۰۰	-۰/۲۵۱۸۱۱	-۰/۸۴۵۲۷۱	۱۰
۲۰۲۲/۰۰۰	۷/۰۰۰۰۰۰	۴۸/۵۰۰۰۰	۴۲/۰۰۰۰۰	-۰/۰۱۱۴۴۱	-۰/۶۲۷۰۸۷	۱۱
۱۶۳۲/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۴۹/۱۰۰۰۰	۶۴/۰۰۰۰۰	۰/۰۵۴۹۹۹	-۰/۷۴۰۴۰۶	۱۲
۱۱۲۸/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۵۳/۶۰۰۰۰	۹۰/۰۰۰۰۰	-۰/۳۳۵۶۴۰	-۱/۲۰۴۱۲۰	۱۳
۱۱۹۸/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۴۶/۴۰۰۰۰	۵۴/۰۰۰۰۰	-۰/۵۱۹۹۹۳	-۱/۳۶۶۵۵۳	۱۴
۸۸۵/۰۰۰	۶/۰۰۰۰۰۰	۴۴/۵۰۰۰۰	۱۴/۰۰۰۰۰	-۰/۴۰۶۳۸۱	-۱/۳۸۰۹۱۰	۱۵
۷۵۰/۰۰۰	۶/۲۰۰۰۰۰	۵۹/۸۰۰۰۰	۷۱/۰۰۰۰۰	-۰/۷۳۲۸۲۸	-۰/۷۷۹۸۹۰	۱۶
۱۲۹۸/۰۰۰	۷/۰۰۰۰۰۰	۹۷/۴۰۰۰۰	۷۸/۰۰۰۰۰	-۰/۵۲۸۷۰۸	-۰/۳۳۷۲۴۰	۱۷
۱۸۲۸/۰۰۰	۶/۲۰۰۰۰۰	۴۶/۸۰۰۰۰	۵۶/۰۰۰۰۰	-۰/۰۸۱۹۶۹	-۰/۷۴۰۴۰۶	۱۸

$$\text{Log}AR1 = 1.189 + (0.00258 PCI) + (-0.036 SN) + (-0.167 RW) + (0.00029 ADT) \quad (14)$$

یا

$$AR1 = (15.45)(1.005958)^{PCI} (0.9204)^{SN} (0.68076)^{RW} (0.99933)^{ADT} \quad (15)$$

$$R^2 = 0.694$$

$$AR2 = (123.026)(1.00299)^{PCI} (0.9594)^{SN} (0.5188)^{RW} (1.001218)^{ADT} \quad (16)$$

$$R^2 = 0.435$$

۴-۳-۴ بررسی مدلها و انتخاب مدل برتر

برای انتخاب مدل برتر باید آزمونهای مربوطه را در نظر گرفت. از جمله این آزمونها آزمون F, t و ضریب همبستگی (R^2) هستند. نتایج R^2 نشان می‌دهند که مدل با متغیر وابسته $AR1$ برازش بهتری دارد، که این در هر سه مدل (خطی، نمایی و کرافت) مشهود است، زیرا که در هر سه مدل مقدار R^2 حاصل از مدل با متغیر وابسته $AR1$ بیشتر از R^2 حاصل از مدل با متغیر وابسته $AR2$ است. از بین مدلهایی که با متغیر وابسته $AR1$ برازش شده‌اند، مدل کرافت برازش بهتری داشته است.

مدل خطی به دلایل زیر مناسب نیست:

- ۱- انتظار می‌رود که با افزایش مقدار SN (Skid Number) نرخ تصادفات کاهش یابد، در صورتی که چنین نیست (ضریب SN مثبت است).
- ۲- علیرغم R^2 مناسب، نتایج آزمون (t-test) بعضی ضرایب مناسب نیستند.

از بین دو مدل نمایی و کرافت، مدل کرافت به دلایل زیر پیشنهاد می‌شود:

- ۱- R^2 مدل کرافت در مقایسه با مدل نمایی بیشتر است.
 - ۲- مقادیر AR حاصل از این مدل با مقادیر محاسبه شده حاصل از مشاهده، در مدل کرافت اختلاف کمتری دارند.
 - ۳- نتایج حاصل از مقادیر AR در ۳ قطعه جداگانه که در مدل گنجانیده نشده‌اند، در مدل کرافت به مقادیر محاسبه شده نزدیک ترند.
 - ۴- نتایج آزمونهای t و F حاصل از مدل کرافت در مقایسه با مدل نمایی مناسب‌ترند.
- بنابراین می‌توان مدل پیشنهادی را به صورت زیر ارائه کرد:

$$ARI = 0.00709 PCI^{-0.00679} \cdot SN^{-0.665} \cdot RW^{-5.379} \cdot ADT^{2.063} \quad (17)$$

۵. تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی

تحلیل حساسیت روند تغییرات هر یک از متغیرهای مستقل در مقابل متغیر وابسته در صورتی که دیگر متغیرها ثابت نگاه داشته شوند را نشان می‌دهد. به این منظور از نرم‌افزار Maple استفاده گردیده است.

۵-۱-۱ RW، SN، ADT ثابت - PCI متغیر

در صورت ثابت نگهداشتن متغیرهای RW, SN, ADT رابطه (۱۷) به صورت $K1 = PCI^{-0.00679}$ در می‌آید که در آن

$$K1 = \frac{ARI}{0.00709 SN^{-0.665} \cdot RW^{-5.379} \cdot ADT^{2.063}} \text{ است.}$$

شکل ۴ روند تغییرات $K1$ به صورت تابعی از PCI در معادله بالا را نمایش می‌دهد. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش PCI ، مقدار $K1$ کاهش می‌یابد. مفهوم این روند این است که در صورت ثابت ماندن RW, SN, ADT با افزایش PCI نرخ تصادفات کاهش می‌یابد که از لحاظ منطقی هم صحیح است. شکل ۴ هم چنین نشان می‌دهد که در PCI بزرگتر از ۳۵ تا ۴۰، روند تغییرات $K1$ ناچیز است و یا به عبارت دیگر در PCI کمتر از ۳۵ تا ۴۰، نرخ تصادفات با شیب بیشتری افزایش می‌یابد.

مفهوم این مطلب این است که نگهداشتن PCI بزرگتر از ۴۰ برای جلوگیری از وقوع تصادفات ضروری به نظر می‌رسد و هرچه PCI روسازه در مقادیر بزرگتری قرار داشته باشد، تعداد تصادفات بیشتر کاهش می‌یابد.

۵-۲-۲ RW و PCI، ADT ثابت - SN متغیر

در صورت ثابت نگهداشتن متغیرهای RW, PCI, ADT رابطه (۱۷) به صورت $K2 = SN^{-0.665}$ در می‌آید که در آن

$$K2 = \frac{ARI}{0.00709 PCI^{-0.00679} \cdot RW^{-5.379} \cdot ADT^{2.063}} \text{ است.}$$

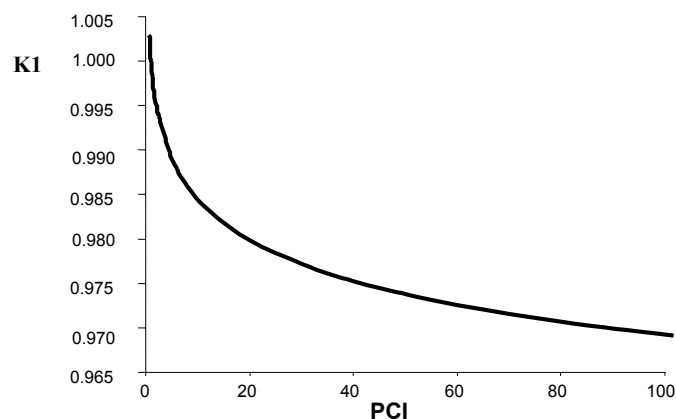
شکل ۵ روند تغییرات $K2$ به صورت تابعی از SN در معادله بالا را نمایش می‌دهد. شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار SN ، نرخ تصادفات کاهش می‌یابد و روند کاهش آن تقریباً به صورت خطی است.

۵-۳-۳ RW ثابت - PCI و SN متغیر

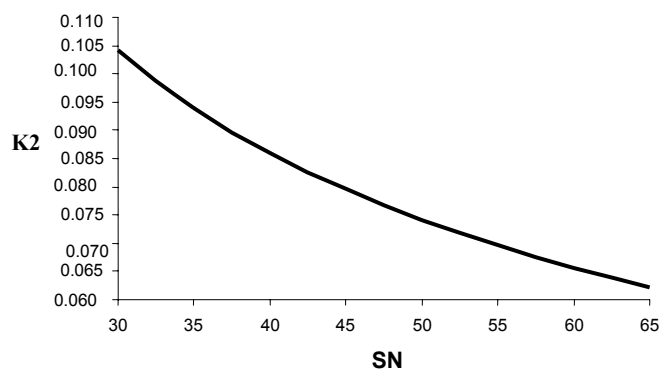
در صورت ثابت نگهداشتن متغیرهای SN, PCI, ADT رابطه (۱۷) به صورت $K3 = RW^{-5.379}$ در می‌آید که در آن

$$K3 = \frac{ARI}{0.00709 PCI^{-0.00679} \cdot SN^{-0.665} \cdot ADT^{2.063}} \text{ است.}$$

روند تغییرات $K3$ در برابر RW مطابق شکل ۶ است.



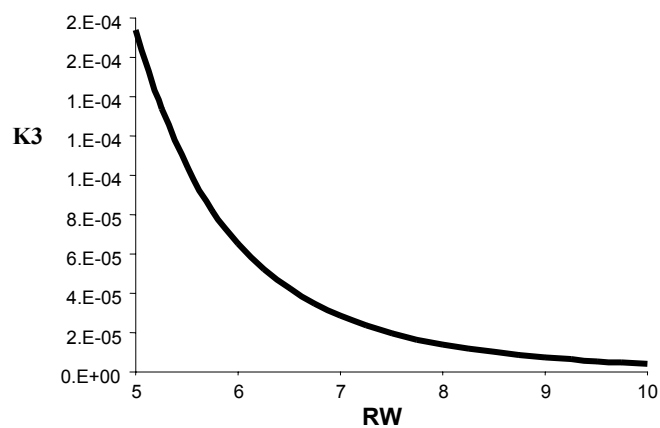
شکل ۴. منحنی تغییرات k_1 به صورت تابعی از PCI



شکل ۵. منحنی تغییرات k_2 به صورت تابعی از SN

در عرض‌های کمتر از این مقادیر، شیب منحنی به شدت افزایش می‌یابد و در عرض‌های بیشتر از ۷/۵ متر، شیب منحنی بسیار کم می‌شود.

شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار RW، نرخ تصادفات کاهش می‌یابد. منحنی ۶ هم چنین نشان می‌دهد که برای جاده‌های دوخطه عرض جاده حدود ۷/۲ تا ۷/۵ متر ضروری است. زیرا



شکل ۶. منحنی تغییرات k_3 به صورت تابعی از RW

جاده‌ای و پارامترهای حجم ترافیک، عدد مقاومت در برابر لغزندگی و خرابیهای سطح راه به ترتیب اهمیت، سایر عاملهای مؤثر در بروز تصادفات ناشی از شرایط روسازه راه در استان بوشهر هستند.

تحلیل‌های انجام شده در این مقاله نشان می‌دهند که با افزایش مقدار SN، PCI و RW نرخ تصادفات کاهش می‌یابد، در حالی که با افزایش ADT نرخ تصادفات افزایش پیدا می‌کند. علاوه بر موارد فوق نگهداشتن وضعیت رویه راه در PCI بیشتر از ۴۰ برای جلوگیری از بروز تصادفات ناشی از خرابی راه ضروری به نظر می‌رسد.

مدل ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد که در صورت پیش‌بینی متغیرهای مستقل مسأله می‌توان نرخ تصادفات را در آینده با $R^2 = 0.792$ پیش‌بینی کرد.

۵-۴ RW، SN، PCI ثابت - ADT متغیر

در صورت ثابت نگهداشتن متغیرهای RW، SN، PCI رابطه (۱۷) به صورت $K4 = ADT^{2.063}$ در می‌آید که در آن

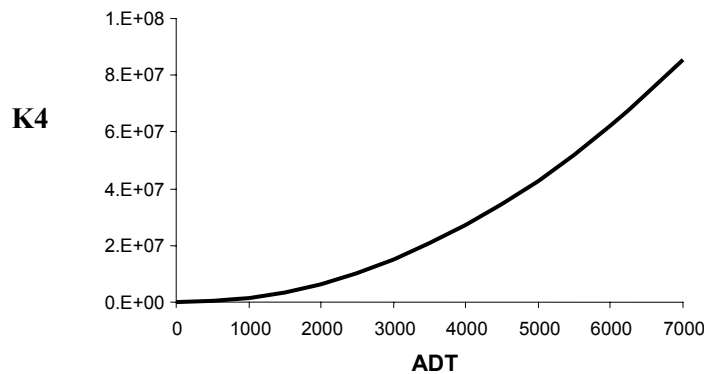
$$K4 = \frac{ARI}{0.00709 PCI^{-0.00679} \cdot SN^{-0.665} \cdot RW^{-5.379}}$$

است.

منحنی تغییرات K4 در برابر ADT مطابق شکل ۷ است. شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش ADT مقدار K4 افزایش می‌یابد. این منحنی هم چنین نشان می‌دهد که در ترافیک حدود ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در روز، شیب منحنی تقریباً ثابت می‌ماند و در ترافیک کمتر از این مقدار شیب منحنی کاهش می‌یابد.

۶. نتایج

نتایج حاصل از مطالعات و مدل حاصل نشان می‌دهند که کمی عرض جاده‌ها مهم‌ترین عامل در وقوع تصادفات



شکل ۷. منحنی تغییرات k4 به صورت تابعی از ADT

Transportation Council in Cooperation with the U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration.

4. Khan, S., Shanmugam, R., Hoeschen, B. "Injury fatal and property damage accident models for highway corridor", Transportation Research Record, No. 1665.

5. Lord, D., Persaud, B.N. (2001) "Accident prediction models with and without trend", Transportation Research Record, No. 1717, pp. 102-108.

6. Saccomanno, F.F., Nasser, S.A. Shorteed, J.H.(1996) "Reliability of statistical road

مراجع

۱. برنامه قطب علمی ایران، گروه راه و ترابری و مهندسی برنامه‌ریزی حمل و نقل دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۱.

2. Miaou, S., Lu, A., Lum, H. (1996) "Pitfalls of using R^2 to evaluate goodness or fit of accident predictions", Transportation Research Record, No. 1542.

3. Garber, N., Black, K.A. (1995) "Advanced technologies for improving large-truck safety of two-lane secondary roads", Virginia

- Speeds", Transportation Research Record, No.602.
10. Abo-Qudias,S. (2001) "Urban roads accidents prediction models", PIARC. No. 309, January 2001.
- 11- Zeegr, C.V. and Council, F.M. (2000). "Safety relationships associated with roadway elements", Transportation Research Record,
12. Vogt A., Bared J., (1999) "Accident model for two-lane rural segment and intersection", Transportation Research Record, No. 1635, pp 18-29.
- accident injury severity models", Transportation Research Record, No. 1542, pp. 14-23.
7. Roberts, N.H., Vesley, W.E., Haas, D.F., Goldberg, F.F.(1981) "Fault tree handbook", Report No.492, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.
8. Al-Masaeid, H.R. (1997) "Impact of pavement condition on rural road accident", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 24, No. 4, , pp. 523-532.
9. Karan, M.A., Haas. R. and Kher, R. (1976) "Effect of pavement roughness on vehicle

