

# مدل ریاضی تصادفات جاده‌های دوخطه برون‌شهری استان بوشهر با توجه به ویژگی‌های رویه راه

محمود عامری، استادیار، 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

## چکیده

در این مقاله تصادفات استان بوشهر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. 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 جاده‌های مختلف استان مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و بر روی آنها آزمایش تعیین ضریب اصطکاک (به روش آونگ انگلیسی) و محاسبه خرابی روسازه راه (به روش PCI) انجام شده است. در نهایت رابطه بین پارامترهای SN (عدد مقاومت لغزندگی)، PCI (شاخص خرابی رویه)، RW (عرض جاده)، ADT (میانگین ترافیک روزانه) و AR (نرخ تصادفات) در قطعات مذکور مورد بررسی قرار گرفته و مدل ریاضی آن پیشنهاد گردیده است.

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

## ۱. مقدمه

تصادفات وسایل نقلیه، وقایع پیچیده‌ای ناشی از تأثیر متقابل عوامل اصلی شامل رانندگان، ترافیک، طراحی جاده، وسیله نقلیه و شرایط محیطی هستند.

مدل‌های تصادفات ابزاری برای خلاصه کردن این اثرات تأثیرگذار بر یکدیگر طبق اطلاعات گردآوری شده از داده‌های تصادفات به همراه قضاوت مهندسی و فرضیات تحلیلی تدوین شده‌اند که می‌توانند در کاهش خسارات و تلفات ناشی از تصادفات مفید واقع شوند [۲].

در انواع جاده‌های برون‌شهری، 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 خسارت‌های سنگینی بر جامعه وارد شود [۱].

بررسی‌های آماری نشان می‌دهند 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 مقایسه با سال ۱۳۷۹، ۱۵ درصد افزایش داشته است [۱].

## ۲. مدل‌های تصادفات

### ۲-۱ تعریف مدل

اساساً مدل، یک نمادی از واقعیت است. مدل‌ها از آن نظر که در شرایطی که امکان تجربه به دلایل اقتصادی، سیاسی و فنی 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 موثر 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 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 ارائه شده دقیق و بی‌نقص 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 [۵ و ۴]. 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) ارائه 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 به کار می‌روند. از جمله این روش‌ها تحلیل درخت خطا است.

در این روش یک واقعه مورد بحث قرار گرفته و احتمال وقوع بررسی می‌شود (به عنوان مثال وقوع یک تصادف) و در بالای درخت قرار می‌گیرد. تمام مسیرهای درخت خطا رابطه دیگر وقایع و وقایع بالایی را بیان می‌کنند [۷].

### ۲-۳ مدل‌های کاربردی تصادفات

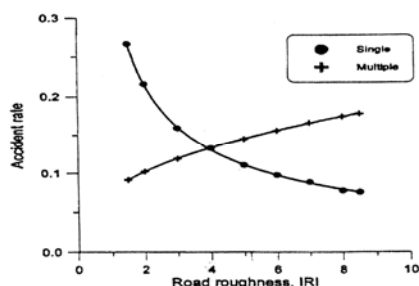
Al-Maseid و همکاران در مطالعاتی که بر روی ۱۱۳ کیلومتر از جاده‌های دوخطه اصلی برون شهری در کشور اردن انجام دادند، تأثیر ناهمواری و خرابی‌های روسازه را بر روی تصادفات مورد بررسی قرار داده‌اند [۸].

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]:

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

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

شکل ۱ تاثیر ناهمواری رویه را بر روی نرخ تصادفات نشان می‌دهد.



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

در این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش IRI از تعداد تصادفات فردی کاسته، لیکن بر تعداد تصادفات چندگانه افزوده شده است. آقای Abo-qudias در مطالعات خود ۸۲/۶ کیلومتر جاده شامل ۷۶ قطعه متفاوت درون شهری به طول ۸۰۰ تا ۲۷۰۰ 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 گردیده‌اند و با استفاده از تحلیل‌های آماری و رگرسیون آنها به کمک نرم‌افزار SPSS مدل زیر برای نرخ تصادفات درون شهری شهر Irbid کشور اردن پیشنهاد گردیده است [۱۰]:

$SVAR$  = 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 IRI و PSI وجود دارد از بین این دو متغیر فقط یکی از آنها به عنوان متغیر مستقل در تحلیل‌های AI-Masied وارد شده است. AI-Masied همچنان نشان داد که نگاهداشتن رویه در PSI بالاتر از ۲/۸ یا IRI کمتر از m/km ۵ با عث می‌شود 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 می‌دهند 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 می‌دهند که علت افزایش نرخ تصادفات چندگانه در جاده‌های ناهموار، افزایش حرکات عرضی و جانبی وسایل نقلیه برای پرهیز از برخورد با ناهمواریها و خرابیهایی است که در سطح رویه روسازه راه ظاهر شده‌اند.

$$AR = -0.016845184 X_1 (14.27097542 e^{-0.000070091 ADT}) (7.08E - 07V^3 + 0.000238V^2 - 0.030130928V) (-0.130454771 LW^3 + 2.869436116 LW^2 - 18.82318809 LW) (-0.100045225 NL^3 + 1.019851407 NL^2 + - 2.824632467 NL) (0.037099201 PHF^{-11.57726549})$$

حوزه استحفاظی اداره کل راه و ترابری استان بوشهر قرارداد دارد. تراکم راه در هر ۱۰۰ کیلومتر مربع معادل ۶/۶۶ کیلومتر است [۱].

ضریب همبستگی  $R^2$  این معادله برابر با ۰/۵۶۴ و پارامترهای مدل به شرح زیرند:

$$X_1 = 1/00 \text{ برای رویه خشک و } 3/118 \text{ برای رویه های خیس}$$

$$AR = \text{تعداد تصادف در میلیون وسیله نقلیه کیلومتر}$$

$$ADT = \text{میانگین ترافیک روزانه}$$

$$V = \text{سرعت عملکردی (km/h)}$$

$$LW = \text{عرض خط (m)}$$

$$NL = \text{تعداد خطوط}$$

### ۳-۲ مراحل تحقیق

۱- بررسی و تحلیل فرم های جدید ثبت اطلاعات تصادفات و محاسبه نرخ تصادفات در جاده های مختلف برون شهری.

۲- بازدید کلی از جاده ها و شناسایی آن ها و قطعات انتخاب شده در مرحله ۱.

۳- اندازه گیری ضریب اصطکاک در محل های انتخاب شده با استفاده از دستگاه پاندول انگلیسی.

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

۵- گردآوری اطلاعات مورد نیاز از جاده ها به منظور تجزیه و تحلیل داده ها و ارائه مدل (نظیر حجم ترافیک، عرض جاده).

۶- ارائه مدل تصادفات با استفاده از پارامترهای سنجش شده در قطعات و داده های گردآوری شده.

اثرات طرح هندسی جاده نظیر عرض خط، نوع شانه و میانه راه را بر روی تصادفات مورد بررسی قرار داده اند. در این تحقیق اطلاعات مربوط به ۸۰۵۰ کیلومتر از جاده های دوخطه اصلی از ۷ ایالت به همراه آمار تصادفات جمع آوری گردیده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهند که تعریض خط، نزدیک به ۴۰٪ از تصادفات ترافیکی را کاهش می دهد، در حالی که تعریض شانه ۴۹٪ از تصادفات مربوطه را کاهش می دهد.

Bared و Vogt با بررسی تعداد تصادفات در جاده های دوخطه برون شهری، مدل های مختلفی با تنوعی از متغیرها برای شرایط متعدد قسمتهای جاده و تقاطع ها و شدت های 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.

### ۳-۳ تجزیه و تحلیل پرسشنامه های 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- وسایل نقلیه سواری بیشترین درصد تصادفات را در استان بوشهر به خود اختصاص داده اند.

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

۵- بیشترین علت تامه تصادفات به ترتیب، انحراف به چپ، عدم رعایت حق تقدم و عدم توانایی در کنترل وسیله نقلیه بوده است.

۶- بی دقتی و بی توجهی رانندگان به طوری که بیشترین درصد خطای رانندگان مقصر در تصادفات بوده است.

۷- بیشترین درصد تصادفات در راه های بدون شانه رخ داده است (۴۴/۵٪). در حالی که جاده هایی که شانه تا عرض یک متر دارند، تعداد تصادفات کمتری داشته اند (۲۴/۱٪).

### ۳. مراحل تحقیق، برداشت های میدانی، داده های

#### حاصله

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

#### ۳-۱ محدوده مورد مطالعه

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

راه های موجود در استان بوشهر در حال حاضر به غیر از راه های روستایی بالغ بر ۱۶۸۸۰ کیلومتر طول دارند که مجموع آنها با مشخصات بزرگراه - راه اصلی - راه فرعی درجه یک و دو، در

### 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 حاصل شدند.

جدول ۲ داده‌های حاصل از آزمایش اصطکاک و PCI به همراه سایر اطلاعات برداشت شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نحوه تعیین عدد مقاومت در برابر لغزندگی



شکل ۳. نحوه اندازه گیری خرابی روسازه

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 داده‌اند.

### 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 است.

### 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 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.

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 فراشبند	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 داده‌های حاصل از آزمایش آونگ انگلیسی، ارزیابی PCI، نرخ تصادفات، RW، ADT در محورهای مختلف استان

مقاومت	شاخص	میلیون تصادفات	تصادف در	تعداد تصادفات در	تراژیک	عرض راه	طول مسیر	نوع راه	مبدأ - مقصد	نام محور	شماره قطعه
SN	PCI	در ۱ ماه (AR2)	کیلومتر (ARI)	محور (NA)	ADT	(RW)	(km)				
۵۶۲	۹۰	۱۱۱/۱	۰/۹	۱۸	۶۲۹۴	۷/۳	۲۰	اصلی	سمره عیسوند - برازجان	یوشهر - برازجان	۱
۵۲/۴	۹۰	۱۳۳/۰	۰/۱۸	۱۲	۴۰۹۹	۷/۳	۵۵	اصلی	برازجان - دلاکی	برازجان - کنارتنه	۲
۴۶/۵	۴۲	۱۶۵/۱	۰/۴۳۷	۶	۲۰۵۰	۶	۱۶	فرعی	یوشهر - بیروگاه اتص	یوشهر - بیروگاه اتص	۳
۴۹/۶	۲۵	۸۷/۵۷۹	۷۳۹/۰	۱۵	۲۸۰۰	۷/۳	۷۷	اصلی	برازجان - گنوه	برازجان - گنوه	۴
۴۷/۳	۴۴	۱۱۶/۰	۱/۰	۲	۲۵۱۷	۶/۲۰	۱۵	اصلی	گنوه - کد ۲۵ دیلم	گنوه - دیلم	۵
۱/۱۵	۷۲	۰/۸۷۱/۰	۶۸۰/۰	۲	۲۲۲۴	۷/۳	۲۱	اصلی	دیلم - سمره علمری	دیلم - بهبهان	۶
۴۷/۳	۷۵	۲۰۸/۰	۳۸۰/۰	۲	۲۲۰۲	۷/۳	۲۷	اصلی	چنلک - هرم	چنلک - هرم	۷
۳/۱۵	۰۸	۷۳۴/۰	۷۳۹/۰	۵	۲۴۴۱	۷/۲	۲۵	اصلی	هرم - خورموج	هرم - خورموج	۸
۴۵/۳	۷۲	۱۱۵/۰۲۲	۲۷۸/۰	۹	۱۷۷۲	۷	۱۱۵	اصلی	خورموج - سمره دیر	خورموج - سمره دیر	۹
۲/۴۵	۰۹	۶۵/۰	۷۳۹/۰	۲	۲۱۲۲	۷/۳	۱۴	اصلی	سمره دیر - کنگان	سمره دیر - کنگان	۱۰
۵/۸۳	۴۳	۳۸۱/۰	۶۸۸/۰	۲۶	۲۰۲۲	۷	۱۱۰	اصلی	کنگان - روستای سهو شمالی	کنگان - عسلویه	۱۱
۱/۹۴	۳۶	۵۱۱/۱	۷۱۸/۰	۲	۱۶۲۲	۶	۱۱	اصلی	سمره دیر - دیر	سمره دیر - دیر	۱۲
۱/۱۵	۰۹	۸۱۶/۳۰	۵۹۶/۰	۲	۱۱۲۸	۶	۴۸	اصلی	برازجان - سمره هرم	برازجان - هرم	۱۳
۳/۸۳	۳۵	۱۰۳۰/۰	۸۳۰/۰	۱	۱۱۹۸	۶	۲۲	اصلی	بردخون - سمره بردخون	بردخون - سمره بردخون	۱۴
۵/۴۳	۳۱	۱۱۹۳/۰	۶۱۴/۰	۱	۸۸۵	۶	۲۴	فرعی	حصرد - تنگ ارم	یوشکان - تنگ ارم	۱۵
۷/۹۵	۱۷	۵۷۱/۰	۶۱۰/۰	۲	۷۵۰	۶/۲	۱۲۰	اصلی	هرم - به طرف فرابند	هرم - یوشکان	۱۶
۵/۸۵	۷۸	۶۳۰/۰	۰/۱۶	۲	۱۲۹۸	۷	۶۵	فرعی	سمره دیلم - رستمی	دیلم - رستمی	۱۷
۴/۶۸	۶۵	۰/۸۲۸	۰/۱۸۱۸	۴	۱۸۲۸	۶/۲۰	۲۲	فرعی	هرم - دیلم	هرم - دیلم	۱۸
۵/۲۸	۹۰	۵۷/۶۷۵	۱۷۸/۰	۶	۲۵۱۷	۷/۳	۲۵	اصلی	کد ۲۵ دیلم - دیلم	دیلم	۱۹
۵/۴۴	۷۲	۰/۴۳۹۵	۰/۰۸۵۷	۲	۱۶۲۵	۷	۲۵	اصلی	دیلم - یوشهر	دیلم - یوشهر	۲۰
۴/۸۷	۵۴	۰/۱۸۱۵	۰/۰۲۲۲	۱	۱۰۲۰	۶/۲	۴۵	فرعی	بردخون - چالنگ	بردخون - چالنگ	۲۱

#### ۴. ایجاد مدل

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 شده اند.

#### ۳-۴ انجام مدلسازی

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

#### ۳-۴-۱ 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  $\beta_i$  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.

$$ARI = 0.631 + (-0.0049PCI) + (0.00672SN) + (-0.163RW) + (0.000173ADT) \quad (5)$$

$$R^2 = 0.791$$

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

$$R^2 = 0.103$$

#### ۳-۴-۲ 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.

#### 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 (رگرسیون) 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 شده است:

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

RW: عرض جاده (متر)

ADT: میانگین ترافیک روزانه



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	-۰/۰۴۵۷۵۷	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	۱/۵۷۹۷۳۰	-۰/۷۶۷۷۶۶	-۱/۳۲۲۳۹۰	۶
۳/۳۴۲۸۱۷	۰/۸۵۷۳۳۲	۱/۶۷۴۸۶۱	۱/۷۶۳۲۷۰۰	-۰/۵۵۲۳۷۶	-۰/۱۳۰۷۷۰	۷
۳/۵۳۸۰۷۰	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	۱/۷۳۳۳۹۳۰	-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	-۱/۷۷۹۸۹۰	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

فرم کلی مدل نمایی به صورت زیر است:

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

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

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

جدول ۵ داده های ورودی به این مدل را در این حالت نشان می دهد.

با استخراج ضرایب رگرسیون و ضریب همبستگی  $R^2$  از خروجی نرم افزار مدل های زیر شکل می گیرد.

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

$$R^2 = 0.792$$

رابطه ۹ را می توان به صورت زیر نوشت:

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

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

جدول ۵ داده های ورودی به نرم افزار برای مدل نمایی

ADT	RW	SN	PCI	Log(AR2)	Log(AR1)	ردیف
۶۹۴/۰۰۰	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

مدل های استخراج شده در این حالت به صورت زیرند:

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

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  $t$ ،  $F$  و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) هستند. نتایج  $R^2$  نشان می‌دهد که مدل با متغیر وابسته  $AR1$  برآزش 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  $AR1$  برآزش شده‌اند، مدل کرافت برآزش 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:

$$AR1 = 0.00709 PCI^{-0.00679} \cdot SN^{-0.665} \cdot RW^{-5.379} \cdot ADT^{2.063} \quad (17)$$

### 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.

### ۴-۳-۵ $ADT$ ، $SN$ ، $RW$ ثابت - $PCI$ متغیر

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

$$K1 = \frac{AR1}{0.00709 SN^{-0.665} \cdot RW^{-5.379} \cdot ADT^{2.063}} \text{ است.}$$

شکل ۴ روند تغییرات  $K1$  به صورت تابعی از  $PCI$  در معادله بالا 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  $ADT$ ،  $SN$ ،  $RW$ ، 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.

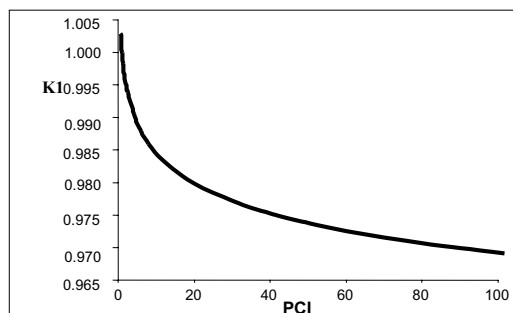
مفهوم این مطلب این است که نگهداشتن  $PCI$  بزرگتر از ۴۰ برای جلوگیری از وقوع تصادفات ضروری به نظر می‌رسد و هرچه  $PCI$  روسازه در مقادیر بزرگتری قرار داشته باشد، تعداد تصادفات بیشتر کاهش می‌یابد.

### ۴-۳-۵ $ADT$ ، $PCI$ و $RW$ ثابت - $SN$ متغیر

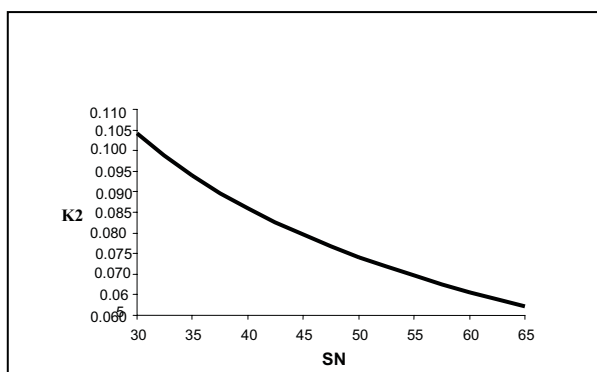
در صورت ثابت نگهداشتن متغیرهای  $ADT$ ،  $PCI$ ،  $RW$  رابطه (۱۷) به صورت  $K2 = SN^{-0.665}$  در می‌آید که در آن

$$K2 = \frac{AR1}{0.00709 PCI^{-0.00679} \cdot RW^{-5.379} \cdot ADT^{2.063}} \text{ است.}$$

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



شکل ۴. منحنی تغییرات  $k1$  به صورت تابعی از  $PCI$



شکل ۵. منحنی تغییرات k2 به صورت تابعی از SN

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

تحلیل‌های انجام شده در این مقاله نشان می‌دهند که با افزایش مقدار PCI، SN و RW نرخ تصادفات کاهش می‌یابد، در حالی که با افزایش ADT نرخ تصادفات کاهش 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.

## ۵-۳ PCI، ADT و SN ثابت - RW متغیر

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

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

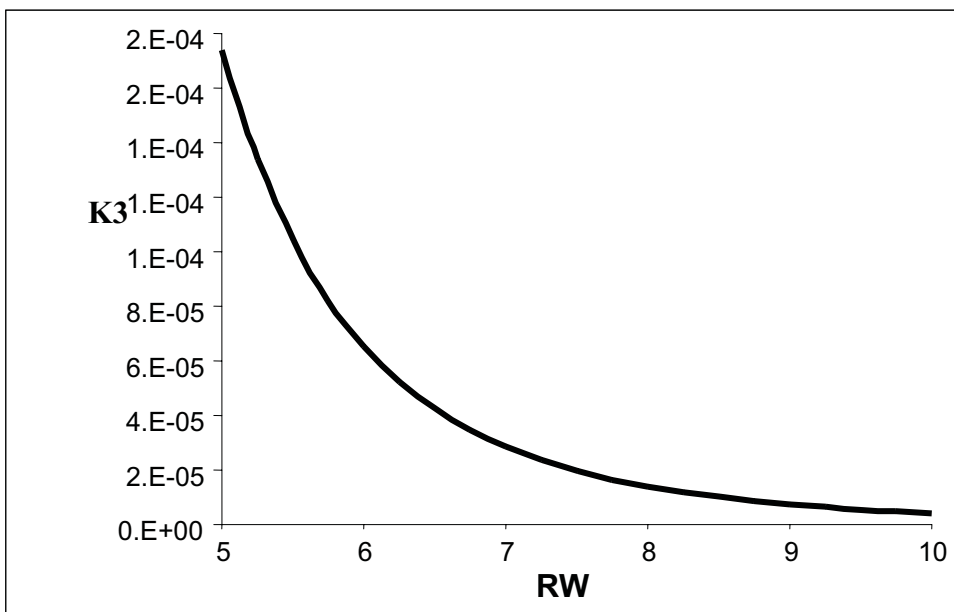
روند تغییرات K3 در برابر RW مطابق شکل ۶ است. شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار RW، نرخ تصادفات کاهش می‌یابد. منحنی ۶ همچنین نشان می‌دهد که برای جاده‌های دو خطه عرض جاده حدود ۷/۲ تا ۷/۵ متر ضروری است، زیرا که در عرض‌های کمتر از این مقدار، شیب منحنی به شدت افزایش می‌یابد و در عرض‌های بیشتر از ۷/۵ متر، شیب منحنی بسیار کم می‌شود.

## ۵-۴ PCI، SN، RW ثابت - ADT متغیر

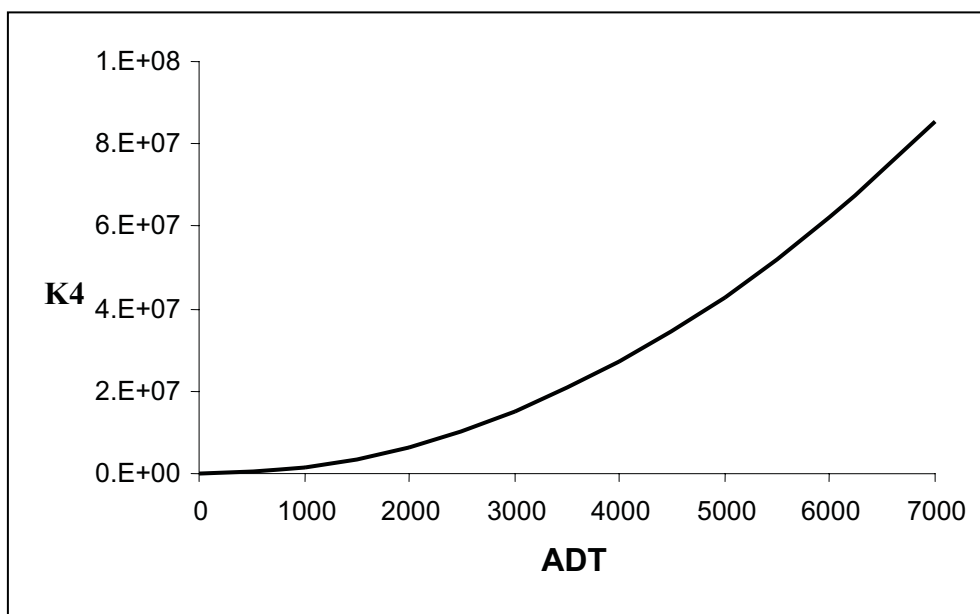
در صورت ثابت نگهداشتن متغیرهای PCI، SN، RW، رابطه (۱۷) به صورت  $K4 = ADT^{2.063}$  در می‌آید که در آن

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

منحنی تغییرات K4 در برابر ADT مطابق شکل ۷ است. شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش ADT مقدار K4 افزایش می‌یابد.



شکل ۶. منحنی تغییرات  $k_3$  به صورت تابعی از RW



شکل ۷. منحنی تغییرات  $k_4$  به صورت تابعی از ADT

## مراجع

3. Garber, N., Black, K.A. (1995) "Advanced technologies for improving large-truck safety of two-lane secondary roads", Virginia Transportation Council in Cooperation with the U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration.

4. Khan, S., Shanmugam, R., Hoeschen, B. (1999) "Injury fatal and property damage accident models for highway corridor", Transportation Research Record, No. 1665.

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.

9. Karan, M.A., Haas. R. and Kher, R. (1976) "Effect of pavement roughness on vehicle 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.
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 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.

# **A Mathematical Model for Accident Rate in Two - Lanes Rural Roads of Boushehr Province, Based on Roadway and Pavement Characteristics**

*A. Ameri, Associate Professor, Department of Civil Engineering , Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

*G. A. Shafabakhsh, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Semnan, Semnan, Iran*

*Sh. Nobakht, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran,*

*M. Malakouti, Department of Civil Engineering, University of Boushehr, Boushehr  
E-mail: ameri@iust.ac.ir*

## **ABSTRACT**

In this paper analysis of accident data of two – lanes rural roads of the province of Boushehr is presented. In this analysis, the contribution of important factors such as driver, vehicle and roadway width and pavement surface characteristics that are effective in the occurrence of road accidents are pointed out. A survey study was then conducted on 21 km. length road sections of the rural roads in the province. The Skid Numbers (SN) of the pavement of these sections was measured and their Pavement Condition Index (PCI) was calculated. Eventually, based on the analyses of accident data collected for the sections, a mathematical model is proposed that relates the accident rate (AR) of the sections to their pavement surface conditions, namely Roadway Width ( RW) and Average Daily Traffic (ADT).

**Keywords:** Accidents, accident rates, two-lane roads, skid number, Pavement Condition Index, Average Daily Traffic