

# مدل‌سازی همزمان تاثیر عوامل هندسی، توپوگرافی و دسترسی راه در تصادفات

## راه‌های برون‌شهری با عامل سازی و رگرسیون خطی تعمیم یافته (مطالعه

### موردی: راه‌های استان کرمان)

رقیه عبداللهی، دانش آموخته کارشناس ارشد، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

حسین حق شناس (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

ریحانه ریخته گران، استادیار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: ho\_hagh@cc.iut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۷

#### چکیده

گام اول در جهت کاهش سوانح جاده‌ای شناخت عوامل موثر در وقوع تصادفات است که با مدل‌سازی متغیرهای موثر در وقوع تصادفات امکان‌پذیر است. هدف از این پژوهش مدل‌سازی تاثیر عوامل هندسی، توپوگرافی و دسترسی کاربری‌های اطراف راه در وقوع تصادفات است. در این پژوهش متغیرهای مختلف طرح هندسی محورها مانند ویژگی‌های قوس افقی، ویژگی‌های قوس قائم، شیب طولی راه و شرایط محیطی راه مانند کاربری‌های اطراف راه به تفکیک نوع منطقه (منطقه مسکونی، مزارع) نوع توپوگرافی (دشت، تپه ماهور و کوهستان)، نوع دسترسی (محافظت شده یا نشده بودن) و تعداد دسترسی (دوربرگردان و دسترسی راه فرعی) همزمان بررسی شدند. بدین منظور از تحلیل عاملی متغیرها استفاده گردید که امکان بررسی همزمان تعداد زیاد متغیر را فراهم می‌سازد. جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از نقشه‌های پلان و پروفیل طولی و نقشه‌های دسترسی اطراف چهار محور حادثه خیز استان کرمان به عنوان پهناترین استان کشور که دارای رتبه سوم تصادفات جاده‌ای است، انجام گرفت. در نظر گرفتن این متغیرها برای در نظر گرفتن موقعیت مکانی و مشخصات هندسی راه، در قطعاتی به طول ۵ کیلومتر از راه انجام شد. بعد از تحلیل همبستگی، مدل‌های عاملی رگرسیون خطی و رگرسیون خطی تعمیم یافته پوآسون و دوجمله‌ای منفی، بر روی اطلاعات برآزش شدند و مناسب‌ترین مدل‌ها شناسایی شدند. در بررسی نتایج مدل‌ها از شاخص‌های برآزش نسبت به خط  $y=x$  و درصد خطای نسبی نتایج مدل استفاده گردیده است. در نهایت مدل خطی تعمیم یافته پوآسون با شاخص برآزش بیشتر و درصد خطای نسبی کمتر نسبت به مدل رگرسیون خطی، انتخاب گردیده است. در مدل خطی تعمیم یافته پوآسون، عامل ویژگی‌های قوس قائم با متغیرهای (تعداد قوس قائم، متوسط اختلاف شیب قوس قائم و متوسط اختلاف شیب کل) و عامل توپوگرافی با متغیرهای (وجود کوهستان و متوسط شیب طولی زمین و تپه‌ماهوری منطقه با توجه به متوسط شیب طولی) به‌عنوان مؤثرترین متغیرها در افزایش تعداد تصادفات ایفای نقش نموده‌اند. متغیرهای عامل دسترسی (شامل متغیرهای تعداد دسترسی و دوربرگردان، تعداد دسترسی محافظت نشده و وجود مناطق مسکونی) نیز به تنهایی با تعداد تصادفات همبستگی داشتند ولی در کنار عوامل ویژگی‌های قوس قائم و نوع منطقه تاثیر معناداری خود را از دست دادند. در طراحی‌های راه‌ها در آینده در توپوگرافی کوهستانی، کاهش اختلاف شیب محورهای دو طرف قوس و طراحی صحیح قوس‌های قائم و اجتناب از شیب طولی زیاد متوالی می‌تواند گام مؤثری در کاهش تصادفات باشد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون خطی تعمیم یافته، عامل سازی، عوامل هندسی، دسترسی، توپوگرافی

## ۱. مقدمه

مهندسی ایمنی راه، یک علم کاربردی بین رشته‌ای است که هدف اصلی آن حفظ جان کاربران و کاهش تعداد و شدت تصادفات در سیستم حمل و نقل جاده‌ای، در مقابل نواقص و مشکلات موجود در هر یک از اجزای سیستم، اعم از انسان، وسیله نقلیه، راه و محیط است. در سال‌های اخیر با استفاده از روش‌های گوناگون از جمله مدل‌های آماری سعی شده است تا رابطه بین تعداد تصادفات و عوامل مختلف بررسی شود. مدل‌های پیش‌بینی تصادفات، معادلات ریاضی هستند که تعداد تصادفات مورد انتظار در راه‌ها را به صورت تابعی از جریان ترافیک، مشخصه‌های هندسی و دیگر خصوصیات آن تسهیلات بیان می‌کنند.

هدف از این پژوهش مدل سازی تاثیر عوامل مختلف هندسی و دسترسی کاربری های اطراف راه در وقوع تصادفات است. متغیرهای مورد استفاده برای توسعه مدل‌ها، تعداد تصادفات به عنوان متغیر وابسته و مشخصات هندسی محورهای شامل ویژگی‌های قوس افقی، ویژگی‌های قوس قائم، توپوگرافی نوع منطقه، تعداد و نوع دسترسی‌ها و ... در نقش متغیرهای مستقل مدل‌ها هستند. جمع آوری اطلاعات با استفاده از نقشه‌های پلان و پروفیل طولی و نقشه‌های دسترسی اطراف راه انجام گرفته است. در نظر گرفتن این متغیرها برای در نظر گرفتن موقعیت مکانی و مشخصات هندسی راه، در قطعاتی به طول ۵ کیلومتر از راه انجام شد. متغیرها برای ۴ محور برون‌شهری حادثه‌خیز استان کرمان که نقشه‌های آنها در دسترس بود، شامل دو محور بزرگراهی و دو راه اصلی، جمع آوری شده‌است. بعد از جمع‌آوری اطلاعات، تحلیل همبستگی بین متغیرها صورت گرفته و سپس، مدل‌های رگرسیون خطی و رگرسیون خطی تعمیم یافته، پوآسون و دو جمله‌ای منفی بر روی اطلاعات برازش شدند و مناسب ترین مدل‌ها شناسایی شدند.

در پژوهش‌های صورت گرفته در خارج از کشور که در ادامه مقاله توضیح داده می‌شوند، مدل‌های مختلف پیش‌بینی تصادفات راه‌ها پرداخت شدند که هر یک تعداد محدودی از متغیرهای مربوط به عوامل هندسی راه را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش متغیرهای مختلف طرح هندسی محورها مانند ویژگی‌های قوس افقی، ویژگی‌های قوس قائم، شیب طولی راه و شرایط محیطی راه مانند کاربری‌های اطراف راه به تفکیک نوع منطقه (منطقه مسکونی، مزارع) نوع توپوگرافی (دشت، تپه ماهور و کوهستان)، نوع دسترسی (محافظت شده یا نشده بودن) و تعداد دسترسی (دوربرگردان و دسترسی راه فرعی) همزمان بررسی شدند که بدین منظور از تحلیل عاملی متغیرها استفاده گردید که امکان بررسی همزمان تعداد زیاد متغیر را فراهم می‌سازد. علاوه بر این جنبه نوآوری، مقاله حاضر به دلیل جمع آوری اطلاعات متغیرها مذکور و تعداد تصادفات در قطعات مختلف راه و پرداخت مدل‌های پیش‌بینی تصادف بر اساس استفاده همزمان از متغیرهای مختلف در بین پژوهش‌های داخلی جایگاه متمایزی دارد.

اهمیت انجام این پژوهش برای استان کرمان را از جنبه‌های مختلفی می‌توان بررسی نمود. استان کرمان پهناورترین استان کشور از لحاظ مساحت است و حدود ۱۱ درصد از سطح کل کشور را به خود اختصاص داده است. این استان از لحاظ تصادفات جاده‌ای رتبه سوم در ۱۰ سال گذشته و از لحاظ تصادفات فوتی جاده‌های برون‌شهری دارای رتبه سوم، در بین استان‌های کشور بوده است. قرار گرفتن محورهای استان در مسیر کریدور شمال-جنوب (تهران - بندرعباس)، اهمیت بررسی تصادفات در راه‌های استان کرمان را مضاعف می‌کند. در مورد مدل سازی همزمان عوامل مختلف هندسی و دسترسی کاربری اطراف راه برای محورهای مواصلاتی کشور و مخصوصاً محورهای برون‌شهری استان کرمان، پژوهش مشابهی انجام نگرفته است.

## ۲. پژوهش‌های گذشته

نصیری و شهرام نیا در پژوهشی با استفاده از اطلاعات مربوط به متغیرهای بانک‌های اطلاعاتی موجود در پایگاه داده موسسه حمل‌ونقل ایالت اورگان آمریکا به مقایسه مدل‌های آماری مختلف شامل پواسون، دو جمله‌ای منفی، پواسون صفرآماسیده، دو جمله‌ای منفی صفرآماسیده و شبکه عصبی مصنوعی پرداخته‌اند. متغیرهای انتخابی در این پژوهش شامل تعداد تصادفات، طول مقطع، عرض باند و شانه، درجه قوس افقی و شیب طولی مطلق و ADT (متوسط ترافیک سالیانه)، می‌باشد که با مدل‌سازی تعداد تصادفات به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش عرض باند، درجه قوس افقی و شیب طولی موجب افزایش تعداد تصادفات و افزایش عرض شانه سبب کاهش تعداد تصادفات می‌گردد [Nasssiri and SharanNia, 1998].

خاکی و همکاران با استفاده از مدل‌های نرم‌افزار مدل‌سازی تصادفات IHSMD و بررسی سناریوهای مختلف و در نظر گرفتن پارامترهای طرح هندسی و ترافیک مسیر، علت در صد زیاد تصادفات را تعیین کرده‌اند که در نهایت با طبقه‌بندی تصادفات (جلو به جلو، جلو به پشت، پهلو به پهلو، ...) مشخص شده است که درصد بسیاری از تصادفات از نوع جلو به جلو (۲۰ درصد) و جلو به پشت (۳۷ درصد) است [Khaki, 2009].

چوی و همکاران در پژوهشی در کره جنوبی تأثیر نوع زمین (از لحاظ پستی و بلندی) را بر مدل‌سازی تصادفات بررسی نموده‌اند. این پژوهش از آن جهت حائز اهمیت است که نوع زمین نقش مهمی در تعیین سرعت طراحی راه دارند. در این راستا آنالیزهای استاتیکی با مدل‌سازی رگرسیون عددی بر طبق متغیرهای مستقل راه مانند خصوصیات هندسی، نوع عوارض، طول خط مماس قوس، طول قوس، شعاع قوس و شیب قائم و متغیر وابسته تعداد تصادفات واقعی انجام داده‌اند. طبق نتایج شعاع قوس افقی و طراحی صحیح میانه‌ها تأثیر قابل توجهی در

هزینه تصادفات در مناطق هموار دارد و شیب قائم و عرض شانه در مناطق کوهستانی مؤثر می‌باشند [Choi, 2011]. آیتی و عباسی در پژوهشی در شهر مشهد به شناسایی عوامل مؤثر بر فراوانی و شدت تصادفات بزرگراه‌های درون‌شهری پرداخته‌اند و به عنوان مطالعه موردی از داده‌های تصادفات بزرگراه‌های شهری مشهد استفاده می‌شود. در این پژوهش، متغیر مستقل مدل‌ها شامل متغیرهای مربوط به جریان ترافیک و متغیرهای مربوط به طرح هندسی راه است. متغیرهای مربوط به جریان ترافیک شامل حجم و سرعت و متغیرهای مربوط به طرح هندسی راه شامل تعداد خط، تعداد قوس‌های افقی و تعداد راه‌های دسترسی بوده است. در نهایت نتایج پژوهش نشان داده است که شمار راه‌های دسترسی و قوس‌های افقی در بخش‌های بزرگراه و حجم خودروهای غیر سواری سبک، نقش فزاینده‌ای در احتمال رخداد تصادفات دارد [Ayati, 2011].

یو و عبدل در پژوهشی دیگر ضمن بررسی خصوصیات تصادفات آخر هفته و مقایسه با تصادفات روزهای عادی هفته، در مدل‌سازی تعداد تصادفات پژوهش، متغیر وابسته مدل را تعداد تصادفات آخر هفته و روزهای عادی و متغیرهای مستقل سه نوع شیب، لگاریتم میزان سفر وسایل برحسب مایل، ۳ خطه بودن راه، عرض میانه، درجه شیب افقی، نسبت طول قوس و طبقه‌بندی سرعت با متغیر صفر و یک، تعریف نموده‌اند. در نهایت تأثیر این پژوهش بر صنعت از طریق استفاده از عملکرد ایمنی برای شناسایی پیشرفت‌های بالقوه هندسی جهت کاهش تصادفات و نظارت بر زمان واقعی وقوع تصادفات جهت افزایش ایمنی ترافیک مشخص گردیده است [Yu, 2013].

حسین پور و همکاران در پژوهشی که در ۴۴۸ قسمت از ۵ فدرال کشور مالزی انجام داده‌اند و هدف از پژوهش خود را کاهش شدت و تعداد تصادفات رودرو بیان کرده‌اند، با توجه به متغیر وابسته تعداد تصادفات و متغیرهای مستقل طول راه، متوسط ترافیک روزانه و وسایل نقلیه سبک، متوسط ترافیک

روزانه وسایل نقلیه سنگین، سرعت مورد انتظار، عرض آسفالت شانه، عرض بدون آسفالت شانه، تعداد قوس افقی در هر کیلومتر، نقاط دسترسی، نوع منطقه<sup>۱</sup> و یا سطح پیشرفت جاده اطراف، کاربری زمین و یا سطح فعالیت اطراف جاده،<sup>۱</sup> برای جاده بدون فعالیت،<sup>۲</sup> برای سطح کم فعالیت و<sup>۳</sup> برای سطح زیاد فعالیت، تعداد خطوط راه، نوع زمین<sup>۲</sup>، نوع میانه و جهت اصطکاک<sup>۳</sup> مدل سازی انجام داده‌اند. تعداد تصادفات رودرو با گسترش و مقایسه هفت نوع مدل که عبارت‌اند از مدل پوآسون، دو جمله‌ای منفی استاندارد، مدل دو جمله‌ای منفی با تأثیر تصادفی، مدل پوآسون با مانع، مدل دو جمله‌ای منفی با مانع، مدل پوآسون صفر آماسیده و مدل دو جمله‌ای منفی صفر متورم مورد مدل‌سازی قرار گرفته‌اند. همچنین جهت مدل‌سازی شدت تصادفات مدل احتمالی تعمیم‌یافته با تأثیر تصادفی به کار برده شده است. بر اساس نتایج تخمین زده شده برای ضرایب این مدل‌ها افزایش متغیرهای نقاط دسترسی، لگاریتم ترافیک سنگین، تعداد قوس افقی و نوع زمین باعث افزایش تعداد تصادفات شده و افزایش متغیرهای عرض آسفالت نشده شانه، عرض آسفالت شده شانه و سرعت مورد انتظار باعث کاهش تعداد تصادفات می‌شود [Hosseinpour, 2014].

لی و لای قصد داشته‌اند در پژوهش انجام داده شدت آسیب رانندگان را در تصادفات تک وسیله‌ای و دو وسیله‌ای بررسی و تأثیرات متغیرهای وصفی را با سایر متغیرها در تصادفات مقایسه کنند. اطلاعات به کار برده شده در مدل‌سازی تصادفات شامل داده‌های تصادفات، داده‌های حجم ترافیک و داده‌های هندسی راه است. ویژگی‌های هندسی مسیر شامل سرعت محدودکننده، تعداد خطوط، جریان آب، نوع میانه، نوع شانه، عرض شانه میانه، عرض میانه، عرض شانه، عرض سطح، نوع زمین، شرایط کنترل ترافیک، مواد رویه مسیر، نوع مسیر و جدا بودن یا نبودن دو طرف جاده است و خصوصیات ترافیکی شامل حجم ترافیک و درصد ماشین سنگین است [Lee, 2014].

باسانی و همکاران تأثیر طرح هندسی جاده و مقررات رانندگی را بر روی سرعت انتخابی رانندگان که تأثیر عمده‌ای بر شدت تصادفات دارد، بررسی کردند. نویسندگان در این مقاله از سرعت ۸۵م<sup>۴</sup> در راه‌های شریانی و جمع‌کننده شهری برای مطالعه استفاده کردند. نویسندگان در مطالعات خود پارامترهایی نظیر تابلوهای کنترل سرعت، تعداد جهت‌های حرکت راه (نوع راه)<sup>۵</sup>، عرض کلی راه در هر جهت، تعداد خطوط در هر جهت، عرض هر خط، قسمت‌های مستقیم و قوس‌ها، شعاع قوس، عرض شانه، عرض میانه راه، محل قرارگیری خط در هر جهت (خط شماره ۱، ۲ و...)، حضور خط ویژه تاکسی، اتوبوس، پارک حاشیه‌ای و پیاده‌رو در حاشیه راه، چگالی راه‌های جدا شده از راه اصلی، چگالی راه‌های پارکینگ منازل، چگالی تقاطعات، خطوط عابرپیاده و تجهیزات روان‌سازی جریان ترافیک را مورد بررسی قرار دادند. نویسندگان سه رویکرد آنالیز رگرسیون مرکب ساده، آنالیز کواریانس<sup>۶</sup> شامل تأثیرات تصادفی بر روی همان متغیرهای رویکرد شماره ۱ و آنالیز کواریانس با تأثیرات تصادفی و انتخاب متغیرهای جدید استفاده کرده‌اند. برطبق این تحقیق بیشترین عوامل تأثیرگذار بر سرعت شامل محل قرارگیری خط حرکت در هر جهت حرکتی و تعداد جهت‌های حرکت راه می‌باشند و در مدل کالیبره شده از تأثیرات تصادفی سرعت تأثیر تابلوهای کنترل سرعت ناچیز در نظر گرفته شده است. تطابق بین تابلوهای کنترل سرعت، سرعت طراحی (شرایط طرح هندسی مسیر) و سرعت عملکردی پیش‌نیاز شرایط ایمن ترافیک می‌باشد. این مقاله در نهایت بیان می‌کند که برطبق مطالعات پیشین آنالیز رگرسیون مرکب خطی<sup>۷</sup> فقط مجموعه محدودی از متغیرها که وابستگی شدیدی به سرعت دارند را وارد مدل می‌کند و پیشنهاد می‌شود که از مدل تأثیرات تصادفی<sup>۸</sup> استفاده شود [Bassani, 2014].

سینگ و همکاران، در مقاله‌ای کاربرد مدل‌های M5 tree و مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی با اثرات تصادفی و مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی با اثرات ثابت را برای تصادفات در

می‌دهد که اختلالات بینایی، بارش و دمای بیش از حد بر روی رفتار رانندگان و قدرت مانور آن‌ها تاثیرگذار است. از نتایج پژوهش تعیین دقیق میزان تاثیر پذیری سرعت و نرخ تصادفات از طرح هندسی جاده شامل عرض باند، عرض شانه و روسازی آن، شیب جاده، انحنای قوس، شعاع قوس، قوس‌های مقعر و محدب، وجود میانه و موانع فیزیکی جداکننده دو طرف جریان ترافیک وجود میانه است [Hamdar, 2016].

گاراچ و همکاران در مقاله خود نحوه ارزیابی برازش مدل‌ها برای انواع نمونه‌ها را بررسی کردند. نویسندگان برای ارزیابی و کالیبره کردن مدل‌شان از آنالیز باقی‌مانده تجمعی<sup>۱۲</sup> استفاده نمودند. نویسندگان معتقدند که قطعه‌بندی نمونه دقت مدل و تعداد متغیرهای معنی‌دار را بالا می‌برد. وقتی توابع عملکردی ایمنی<sup>۱۳</sup> توسعه می‌یابند مدل‌های کامل<sup>۱۴</sup> که در آن‌ها نمونه را قطعه‌بندی شده نسبت به مدل‌های عمومی صرفه‌جو<sup>۱۵</sup>، بیش بهتری به محقق می‌دهند. در این مقاله مدل‌های عمومی شده<sup>۱۶</sup> و ناهمگن مشاهده نشده<sup>۱۷</sup> بررسی شده اند [Garach, 2016].

## ۲. معرفی متغیرهای مدل‌سازی

در این پژوهش، اطلاعات مشخصات هندسی مسیر از جمله، اطلاعات قوس‌های افقی، شیب عرضی، قوس‌های قائم، توپوگرافی منطقه و اطلاعات مربوط به پل‌های مسیر، با استفاده از نقشه‌های دقیق پلان و پروفیل طولی مسیرها اخذ شده از اداره راه و شهرسازی و اطلاعات دسترسی و کاربری‌های اطراف راه با استفاده از نقشه‌های نرم‌افزار Google earth و اطلاعات تصادفات بر اساس کیلومتر ثبت تصادفات از ابتدای محور جمع‌آوری شده‌اند. جهت بهره‌وری مناسب از این اطلاعات، ابتدا هریک از محورها، به قطعاتی به طول ۵ کیلومتر تقسیم شده و اطلاعات مذکور در این قطعات مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مبدأ هریک از محورها، با کمک مسئولین اداره حمل‌ونقل و پایانه‌های استان به دست آمده و اطلاعات دسترسی در قطعه‌های ۵ کیلومتری نسبت به مبادی دقیق به دست آمده‌اند.

نواحی غیر شهری بزرگراهی بررسی کردند. داده‌های تصادفات ۲ تا ۶ سال از داده‌های پلیس در مقاطع مختلف ۸ قسمت بزرگراهی محلی جمع‌آوری شده است و داده‌های مربوط به طرح هندسی جاده، ترافیک و محیط جاده از طریق مشاهدات میدانی جمع‌آوری شد؛ آنها برای این جمع‌آوری، بزرگراه‌ها را به ۲۲۲ مقطع با کاراکترهای طرح هندسی یکسان و معین تقسیم کردند. نتایج نشان داد که همه مدل‌های مذکور در ترم‌های ضرایب همبستگی<sup>۹</sup> و در میزان خطای ریشه میانگین توان‌های دوم<sup>۱۱</sup> مقایسه خوبی انجام دادند. اما مدل M5 tree یک مدل ساده خطی به دست می‌داد که تفسیرش ساده‌تر و بیش بهتری به انسان می‌دهد البته اگر تنها هدف مدل‌سازی پیش‌بینی تصادفات باشد. نویسندگان در مدل خود تعداد تصادفات را به عنوان متغیر وابسته و متغیرهایی نظیر متوسط روزانه ترافیک سالیانه (AADT)، طول مقطع، عرض مسیر<sup>۱۱</sup>، عرض شولدر آسفالته، عرض میانه، تعداد دسترسی‌های به راه، تعداد قوس‌های افقی، تعداد باز شوهای میانه راه، طول سرویس‌دهی راه، درصد کامیون‌ها در ترافیک، درصد سواری‌ها در ترافیک، تعداد جاده‌های پارکینگ و واحدهای تجاری در طول مسیر، تعداد پل‌ها و آبروهای مسیر، صدک سرعت ۱۹۸م و انحراف معیار سرعت را به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفتند. نتایج پژوهش بدین شرح است که با افزایش در هریک از المان‌های حجم ترافیک، طول مقطع، انحراف معیار سرعت، طول جاده و تعداد دسترسی‌ها تعداد تصادفات افزایش می‌یابند در حالی که با افزایش در عرض شانه و روسازی شده مقدار تصادفات کاهش می‌یابد [Singh, 2016].

همدار و همکاران تاثیر شرایط مختلف طرح هندسی جاده و هوا بر کیفیت رفتار رانندگی را بررسی کردند. نویسندگان بر این عقیده بودند که شرایط مختلف آب‌وهوایی و طرح‌هندسی می‌تواند منجر به تغییر در ظرفیت و اختلالات ترافیکی شود و رفتار رانندگان را در سطح میکرو، ایمنی و شلوغی را در سطح ماکرو بررسی کردند. یافته‌های کلی در سطح ماکرو نشان

## رقیه عبداللهی، حسین حق شناس، ریحانه ریخته گران

نوع منطقه (مسکونی و مزارع)، در قطعات ۵ کیلومتری مسیر (شامل دو محور راه اصلی و محور بزرگراهی)، جمع آوری شده و سپس متغیرهای موثر به صورت جدول ۱ از این داده ها به دست آمده است. جهت بررسی مناسب ترین متغیرها جهت مدل سازی، در ابتدا همبستگی بین تعداد تصادفات و متغیرها بررسی شد که نتایج در جدول ۱ آورده شده اند.

مشخص کردن مبدأ از لحاظ تطبیق اطلاعات تصادفات با اطلاعات طرح هندسی راه، حائز اهمیت است. با بررسی دقیق نقشه ها، ابتدا داده های اولیه شامل فراوانی تصادفات، طول، شعاع و تعداد قوس های افقی، دور، تپه ماهوری یا کوهستانی بودن منطقه (به صورت متغیرهای صفر و یک)، شیب طولی و طول قوس های قائم، طول و تعداد پل، تعداد، نوع و وجود دسترسی (وجود دسترسی به صورت متغیرهای صفر و یک) و



شکل ۱. عکس هوایی محور رفسنجان- انار جهت شناسایی مبادی محورها، دسترسی و کاربری اطراف راه

جدول ۱. نتایج همبستگی متغیرها با تعداد تصادف

معناداری Sig. (2tailed)	همبستگی با تعداد تصادف Pearson Correlation	توضیح	متغیر
۰/۱۸۵	۰/۱۸۹	بیشترین طول قوس افقی	max.lc
۰/۰۱۴	۰/۳۴۱*	مجموع طول قوس افقی	sum.lc
۰/۰۴۴	-۰/۲۸۳*	حداقل شعاع قوس افقی	min.r
۰/۰۵۹	-۰/۲۶۶	متوسط شعاع قوس افقی	ave.r
۰/۰۵۹	۰/۲۶۶	تعداد قوس افقی	N.ho.a
۰/۱۳۹	۰/۲۸۲	مجموع طول قوس قائم	sum.ve.l
۰/۰۰۱	۰/۶۶۸**	تعداد قوس قائم	N.ve.a
۰/۷۳۵	۰/۰۶۴	مجموع دور در طول قوس بر مجموع طول قوس	dl/l
۰/۳۷	۰/۱۷	متوسط برابندی	ave.d

مدل‌سازی همزمان تاثیر عوامل هندسی، توپوگرافی و دسترسی راه در تصادفات راه‌های برون‌شهری ...

معناداری Sig. (2tailed)	همبستگی با تعداد تصادف Pearson Correlation	توضیح	متغیر
۰/۴۷۸	۰/۱۳۵	بیشترین بر بلندی	max.d
۰/۱۵۴	-۰/۲۰۳	مجموع شعاع در طول قوس بر مجموع طول قوس	rl/l
۰/۴۷۴	۰/۱۰۲	وجود تپه ماهور	de.roll
۰/۰۴۳	۰/۲۸۲*	وجود کوهستان	de.moun
۰/۰۰۱	۰/۷۱۰**	متوسط شیب طولی منطقه	ave.lo.s
۰/۰۱۶	۰/۴۲۴*	متوسط اختلاف شیب طولی کل	ave.to.va.s
۰/۰۰۱	۰/۵۹۰**	متوسط اختلاف شیب طولی قوس قائم	ave.ve.va.s
۰/۷۹۹	-۰/۰۵	بیشترین طول قوس قائم	max.ve.l
۰/۹۸۱	-۰/۰۰۴	بیشترین طول پل	max.l.bri
۰/۹۴۶	۰/۰۱	متوسط طول پل	ave.l.bri
۰/۰۱۶	۰/۳۴۹*	تعداد پل	N.bridge
۰/۰۰۱	-۰/۶۲۹**	دشت بودن متوسط شیب طولی	flat
۰/۰۰۱	۰/۶۲۹**	تپه ماهوری متوسط شیب طولی	rolling
۰/۵۹۷	-۰/۰۹۲	وجود دشت	de.flat
۰/۰۷۱	۰/۲۵۲	وجود دسترسی محافظت نشده	de.pro.acc
۰/۰۰۱	۰/۵۳۴**	تعداد دسترسی محافظت نشده	N.un.pro.acc
۰/۰۵۱	۰/۲۷۲	وجود دسترسی	de.acc
۰/۸۴۲	۰/۰۴	تعداد دوربرگردان	N.u-turn
۰/۰۰۱	۰/۵۵۲**	تعداد دسترسی و دوربرگردان	N.acc.u
۰/۰۰۱	۰/۵۳۷**	تعداد دسترسی	N.access
۰/۰۵۵	۰/۲۶۸	وجود منطقه مسکونی	de.residential
۰/۴۸۳	۰/۰۹۹	وجود مزارع	de.frams
۰/۹۷۸	-۰/۰۰۴	وجود دوربرگردان	de.u-turn

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), \*\*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

افزایش شیب طولی زمین و به تبع آن افزایش مناطق تپه‌ماهوری و کوهستانی، باعث کاهش سرعت حرکت وسایل نقلیه و افزایش تعداد تصادفات می‌گردد. افزایش تعداد پل باعث افزایش قسمت‌های بدون شانه مسیر می‌گردد که این مورد خود باعث افزایش تصادفات می‌شود. افزایش تعداد دسترسی، تعداد تکرار و نوع واکنش راننده را افزایش می‌دهد که به نوع خود، باعث افزایش تعداد تصادفات می‌شود. حال اگر این دسترسی‌ها از نوع محافظت نشده، دارای باند مخصوص ورود وسایل از

وجود قوس افقی باعث افزایش تعداد تصادفات می‌شود. با افزایش شعاع قوس تعداد تصادفات کاهش می‌یابد و با افزایش مناطق دشت، تعداد تصادفات کاهش می‌یابد. قوس قائم تأمین‌کننده مسافت دید کافی و تخلیه مناسب آب سطحی است که در صورت عدم طراحی مناسب این قوس‌ها و به تبع آن افزایش متوسط اختلاف شیب طولی در قوس‌ها و محل‌هایی غیر از قوس، که اختلاف شیب طولی کمتر از ۰/۵ در صد بوده و نیاز به قوس قائم نبوده است، تعداد تصادفات افزایش می‌یابد.

ارزیابی بهتر مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. درصد خطای نسبی از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد. [Gojarati<sup>21</sup> 1994].

$$\varepsilon = \left| \frac{A-B}{A} \right| \times 100 \quad (2)$$

#### ۴-۲ تحلیل عاملی

یکی از روش‌های آماری برای تجزیه اطلاعات موجود در مجموعه داده‌ها، روش تجزیه عامل‌ها یا تحلیل عاملی است. از این روش برای تعیین تأثیرگذارترین متغیرها در زمانی که تعداد متغیرهای مورد بررسی زیاد و روابط بین آن‌ها ناشناخته باشد، استفاده می‌شود. مزیت این روش از این لحاظ است که همبستگی بین متغیرها که سبب عدم معناداری متغیرها در مدل می‌شود، با عامل‌سازی پوشش داده شده و تمام متغیرهای مرتبط در قالب یک متغیر وارد مدل می‌شوند که ضمن کاهش تعداد متغیرها و کاهش روند مدل‌سازی، نتایج به گونه مناسبی ارائه می‌گردد. در تحلیل عاملی نمره فرد  $i$  در متغیر  $j$  را می‌توان به عنوان مجموع ضرایب نمره‌ها در تعداد کمتری از متغیرهای حاصل که عوامل نامیده می‌شوند، تعریف کرد. هر عامل، ترکیب خطی متغیرهاست و بر پایه رابطه (۳) برآورد می‌شود.

$$Z_{ji} = a_{j1}F_{1i} + \dots + a_{jm}F_{mi} + d_j U_{ji} \quad (3)$$

که در آن  $Z_{ji}$  نمونه معیار فرد  $i$ م در متغیر  $j$ ام است.  $F_{1i}$  نمونه معیار فرد  $i$  در اولین عامل مشترک و  $F_{mi}$  نمره معیار وی در  $m$ امین عامل مشترک است. عبارت  $U_{ji}$  نمره معیار فرد  $i$  در چیزی است که عامل اختصاصی نامیده می‌شود یعنی عاملی که تنها در یک متغیر واحد موجود است که در این مورد متغیر  $j$  است. ضرایب  $a_{jm}$  بارهای عاملی هستند. این‌ها ضرایبی هستند که به نمره‌های عامل مشترک نسبت داده می‌شوند. ضریب  $d_j$  وزنی است که به نمره‌های عامل اختصاصی، اختصاص می‌یابد [Zare, 1990].

فرعی به مسیر اصلی نباشند، نوع واکنش راننده شدیدتر و به تبع آن تعداد تصادفات بیشتر می‌گردد. در این بین وجود مناطق مسکونی هم باعث افزایش دسترسی به جاده شده و تصادفات را زیاد می‌کند.

#### ۴. روش انجام پژوهش

##### ۴-۱ مدل‌سازی رگرسیون خطی ساده

در این پژوهش مدل‌های رگرسیون خطی یک‌بار بدون ساخت عامل و یک‌بار با در نظر گرفتن عوامل، مورد بررسی قرار می‌گیرند. جهت ساخت مدل رگرسیون خطی بدون ساخت عامل، ابتدا تمامی متغیرهای همبسته وارد مدل می‌شوند و متغیرهای نامناسب، با معناداری کم ( $\text{sig} > 0.05$ ) و عامل تورم واریانس زیاد<sup>۱۸</sup> ( $VIF >> 1$ )، به ترتیب از مدل خارج می‌شوند که مناسب‌ترین مدل به دست آید. عامل تورم واریانس نشان می‌دهد که واریانس ضرایب تخمینی تا چه حد نسبت به حالتی که متغیرهای تخمینی، همبستگی خطی ندارند، متورم شده است [Debson and Barnett, 2008]<sup>۱۹</sup>

این نتایج ناشی از آن است که متغیرها به علت پوشش دادن یکدیگر از شرایط معناداری مناسبی برخوردار نیستند و نیاز به خارج کردن متغیرهای اضافی می‌باشد. جهت بررسی دقیق نتایج حاصل از مدل، نمودار مقادیر پیش‌بینی - واقعی مدل با در نظر گرفتن خط  $y=x$  و محاسبه شاخص برازش  $R^2$  رسم گردیده است.

شاخص برازش  $R^2$  نسبت به خط  $y=x$  از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

که در آن  $y_i$ ، مقادیر تصادفات واقعی و  $\hat{y}_i$ ، مقادیر تصادفات پیش‌بینی‌شده بر اساس مدل و  $\bar{y}$ ، میانگین تصادفات واقعی است. هرچه، مقادیر این شاخص بیشتر باشد نتایج پیش‌بینی‌شده بر اساس مدل به مقادیر واقعی مشاهده شده نزدیک‌تر است [فروند<sup>۲۰</sup> و دیگران، ۱۳۸۲]. همچنین درصد خطای نسبی جهت



### ۴-۳ مدل‌سازی رگرسیون خطی تعمیم یافته

رگرسیون خطی معمولی، به دنبال ایجاد ارتباط خطی بین متغیر پاسخ و مجموعه‌ای از متغیرهای توضیح‌دهنده است. در بسیاری از مسائل کاربردی متغیر پاسخ، توزیع غیر نرمال دارد و استفاده از مدل‌های خطی امکان‌پذیر نیست. در چنین مواقعی، از برازش مدل‌های خطی تعمیم‌یافته برای تحلیل داده‌ها می‌توان استفاده کرد. دو مدل بااهمیت پواسون و دوجمله‌ای منفی در این گروه از مدل‌سازی‌ها قرار می‌گیرند.

مدل‌های خطی تعمیم‌یافته دارای ویژگی‌های کلی زیر هستند:

- متغیرهای پاسخ  $Y_i$   $i=1,2,\dots,n$  مستقل با میانگین‌های  $\mu_1, \dots, \mu_n$  و واریانس‌های  $\sigma_1, \dots, \sigma_n$  هستند،
- متغیر  $Y_i$  دارای توزیعی از خانواده نمایی است.
- قسمت پیشگویی‌کننده خطی مدل به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود که شامل متغیرهای توضیحی  $x_1, \dots, x_k$  است. در واقع متغیرهای توضیحی را که به عنوان پیش‌گویی‌کننده‌ها در مدل به کاررفته‌اند، مشخص می‌کند.

$$\theta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k \quad (4)$$

- میانگین  $\mu_i$  را می‌توان توسط یک تابع معلوم یکنوا و مشتق‌پذیر از میانگین، به نام تابع پیوند، مدل‌سازی کرد. این تابع، میانگین پاسخ را در پیشگویی‌کننده خطی برای مقادیر  $i=1,2,\dots,n$  به صورت  $\theta_i = g(\mu_i)$  بیان می‌کند. در واقع چگونگی ارتباط میانگین پاسخ را با متغیرهای توضیحی در معادله پیش‌گویی‌کننده خطی، مشخص می‌کند، طبق رابطه (۵).

$$\mu_i = E(y_i) = g^{-1}(\theta_i) = g^{-1}(x_i; \beta) \quad (5)$$

- واریانس  $\sigma_i$  تابعی از میانگین آن است. در مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، فرض خانواده نمایی ایجاب می‌کند که واریانس مؤلفه‌های  $\sigma_i$  برحسب میانگین با تابعی به صورت رابطه (۶) مشخص شوند. که در آن  $v$ ، تابع

واریانس است و توسط تابع احتمال خاص تعیین

می‌گردد.

$$\sigma_i^2 = \text{var}(y_i) = v_i = v(\mu_i) \quad (6)$$

در این پژوهش مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم‌یافته شامل مدل‌های پواسون و دوجمله‌ای منفی نسبت به اطلاعات هندسی محورها و تعداد تصادفات در قطعات ۵ کیلومتری با ساخت عامل و بدون ساخت عامل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مشابه قسمت مدل‌سازی‌های خطی در ابتدا همه متغیرهای همبسته وارد مدل می‌شوند و به ترتیب متغیرهای نامناسب، با معناداری کم و ضریب متغیر منفی، از مدل خارج می‌شوند. در مقایسه نتایج مدل‌های پواسون و دوجمله‌ای منفی از شاخص‌های  $AIC^{**}$  و  $BIC^{**}$  و مقدار لگاریتم بیشینه در دست‌نمایی استفاده گردیده است. در واقع می‌توان این‌گونه بیان نمود که هر چه مقدار لگاریتم بیشینه درست‌نمایی مدلی بزرگتر باشد و مقادیر شاخص‌های  $AIC$  و  $BIC$  برای مدلی کمتر باشد، تناسب برازش مدل به داده‌ها بیشتر خواهد بود. این شاخص‌ها از روابط (۷ و ۸) محاسبه می‌گردند.

$$AIC = -2LL + 2P \quad (7)$$

$$BIC = -2LL + P(\ln(n)) \quad (8)$$

که در این معادلات  $LL$ ، لگاریتم بیشینه درست‌نمایی،  $p$ ، تعداد پارامترهای مدل و  $n$ ، تعداد مشاهدات است. روش کار بدین صورت است که اگر اختلاف شاخص  $AIC$  دو مدل کمتر از ۲/۵ باشد دو مدل تفاوت زیادی ندارند و اگر این اختلاف بیشتر از ۲/۵ باشد مدلی با مقدار کمتر شاخص  $AIC$  انتخاب می‌گردد

### ۵. نتایج مدل‌سازی

#### ۵-۱ نتایج تحلیل عاملی

در این پژوهش از بین متغیرهای همبسته با تعداد تصادفات نسبت به ساخت عامل اقدام گردیده و چهار عامل و یک متغیر با توجه به نتایج نرم افزار وارد مدل می‌گردند. ویژگی‌های قوس افقی، ویژگی‌های قوس قائم، نوع منطقه و دسترسی (شامل

(۱-۲)، به دست آمده است. در این مدل متغیرهای تعداد قوس افقی و تعداد قوس قائم، با معناداری مناسب بر اساس آزمون  $t$  معتبر هستند. شاخص برازش نتایج مدل نسبت به خط  $Y=X$ ،  $0/60$  می باشد. همچنین درصد خطای نسبی جهت ارزیابی بهتر مدلها مورد بررسی قرار گرفته است. که مقدار درصد خطای نسبی مدل رگرسیون خطی ساده (۱-۳)، مقداری برابر با  $82/70$  درصد به دست آمده است.

جهت برآورد مدلها با عاملهایی ساخته شده از متغیرهای مناسب، چهار عامل و یک متغیر، در این مرحله در مدل سازی رگرسیون خطی با ساخت عوامل مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج روند مدل سازی در جدول ۳ آورده شده است. با وارد کردن همه متغیرها (در این مورد عاملهای ساخته شده از مدلها) در مدل، مدل خطی عاملی (۲-۱) و با حذف متغیرهای نامناسب، مدل های خطی عاملی (۲-۲) و (۳-۲) به دست می آید. با بررسی معناداری متغیرها، شاخص برازش مدل، مجموع مربعات باقی مانده مدل (MSE)، نمودارهای مقادیر پیش بینی واقعی با توجه به خط  $Y=X$  با در نظر گرفتن شاخص برازش  $R^2$  مدل (۲-۳) به عنوان بهترین مدل در این مقایسه اعتبارسنجی می گردد.

وجود مناطق مسکونی) به عنوان عامل انتخاب می شوند و متغیر تعداد پل هم به صورت جداگانه به علت ناهمبسته بودن این متغیر با عوامل فوق الذکر وارد مدل می گردد. نتایج همبستگی عامل های چهارگانه و یک متغیر با تعداد تصادفات در جدول ۲ آورده شده است. عامل ۱ (factor 1)، ویژگی های قوس قائم شامل متغیرهای تعداد قوس افقی، حداقل شعاع قوس و مجموع طول قوس افقی در هر قطعه ۵ کیلومتری، عامل ۲ (factor 2)، ویژگی های قوس قائم شامل متغیرهای تعداد قوس قائم و متوسط اختلاف شیب طولی قوس های قائم، عامل ۳ (factor 3)، با متغیرهای اختلاف شیب طولی منطقه، وجود کوهستان و تپه ماهوری متوسط شیب طولی زمین با شیبی بیشتر از ۳ درصد و کمتر از ۵ درصد و عامل ۴ (factor 4)، شامل متغیرهای تعداد دسترسی و دوربردان، تعداد دسترسی محافظت نشده و وجود مناطق مسکونی می باشد. در ادامه روند مدل سازی خطی، عامل ۴ و یک متغیر وارد مدل می شوند.

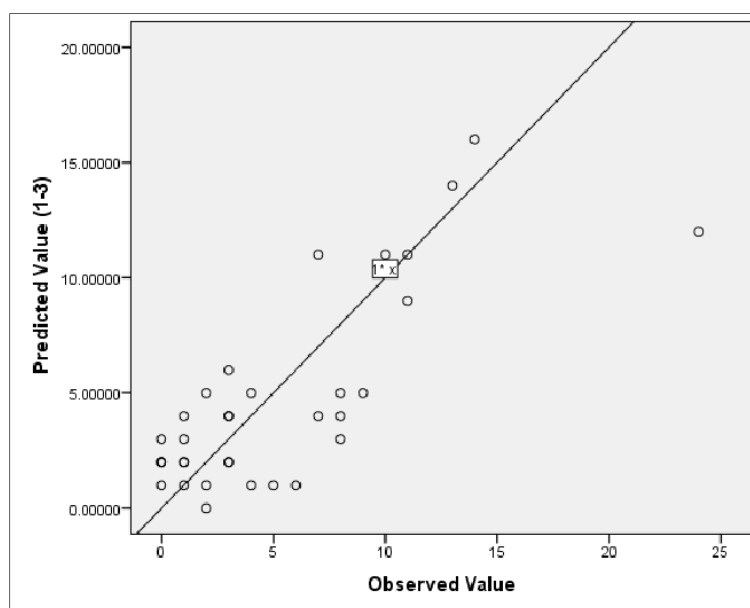
#### ۲-۵ نتایج مدل های رگرسیون خطی ساده

نتایج بررسی مدل های رگرسیون خطی ساده، با وارد کردن تمامی متغیرها در مرحله اولیه مدل سازی، در جدول ۳، مدل خطی (۱-۱)، آورده شده است. در ادامه روند مدل سازی متغیرهای نامناسب از مدل خارج شده و در نهایت مدل خطی

جدول ۲. نتایج همبستگی عامل های چهارگانه و یک متغیر با تعداد تصادفات

N.bridge	factor 4	factor 3	factor 2	factor 1	N.Accident	
0.349*	0.545**	0.753**	0.689**	0.352*	1	Pearson
0.016	0.000	0.000	0.000	0.011		Correlation
47	39	33	29	51	52	Sig. (2-tailed)
						N

\*. Correlation is significant at the 0/05 level (2-tailed).  
 \*\*. Correlation is significant at the 0/01 level (2-tailed).



شکل ۱. نتایج مقادیر پیش‌بینی-واقعی مدل خطی ساده (۳-۱)

جدول ۳. نتایج روند مدل‌سازی با توجه به عامل‌های چهارگانه و یک متغیر

MSE	MSR	Sig	F	R Square	VIF	Sig	t	ضرایب (B)	متغیر
مدل خطی (۱-۱)									
					47.844	0.645	0.469	2.406	<b>(Constant)</b>
					2.471	0.487	0.711	0.564	<b>N.ho.a</b>
					5.773	0.583	0.560	0.000	<b>min.r</b>
					7.683	0.229	-1.252	-0.0036	<b>max.lc</b>
					9.981	0.313	1.042	0.428	<b>N.ve.a</b>
					9.391	0.495	0.699	129.797	<b>ave.ve.va.s</b>
219.4	635.5	0.007	3.86	0.743	14.715	0.554	-0.605	-125.952	<b>ave.to.va.s</b>
					67.753	0.785	0.278	47.208	<b>ave.lo.s</b>
					18.548	0.88	-0.144	-2.281	<b>de.moun</b>
					1.981	0.732	0.349	2.90	<b>Rolling</b>
					2.409	0.683	-0.416	-0.0912	<b>N.bridge</b>
					6.264	0.950	-0.064	-0.0336	<b>N.acc.u</b>
					47.844	0.568	0.583	2.972	<b>de.residential</b>
...									
مدل خطی (۲-۱)									
345.25	1463.7	0.000	67.8	0.809	3.775	0.002	3.345	0.485	<b>N.ho.a</b>
					3.775	0.007	2.875	0.380	<b>N.ve.a</b>
مدل خطی عاملی (۱-۲)									
26.88	66.24	0.074	2.77	0.558		0.365	0.945	4.091	<b>(Constant)</b>
					5.157	0.606	0.530	1.403	<b>factor 1</b>

5.247	0.729	0.355	1.099	<b>factor 2</b>
5.253	0.489	0.716	2.058	<b>factor 3</b>
2.228	0.918	-0.106	-0.191	<b>factor 4</b>
1.779	0.646	0.472	0.161	<b>N.bridge</b>

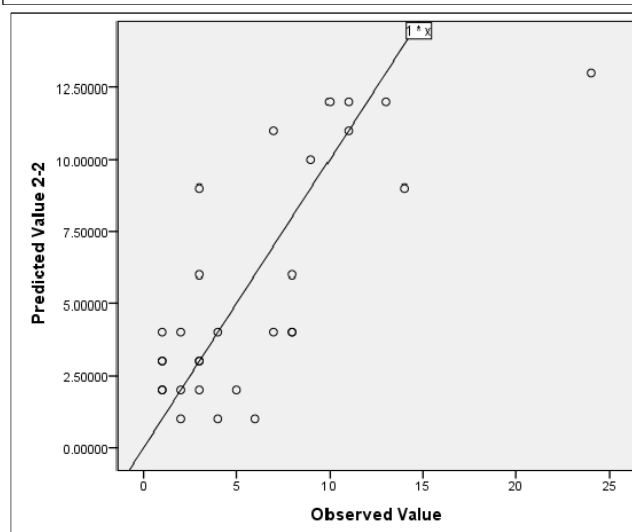
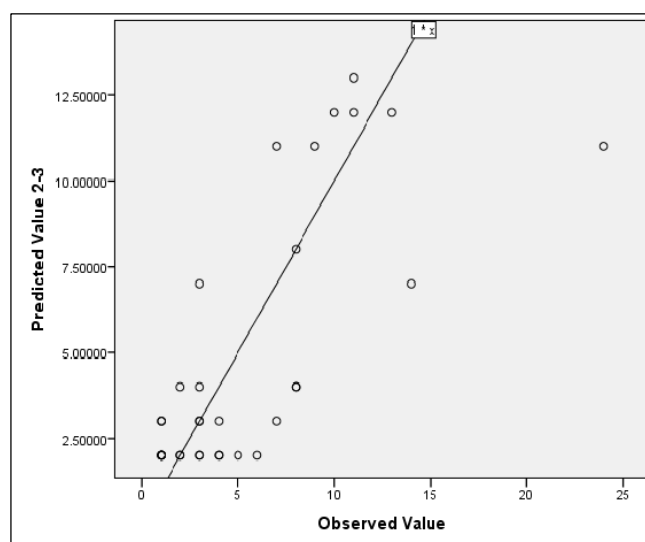
...

مدل خطی عاملی (۲-۲)

					0.000	8.013	6.32	<b>(Constant)</b>
11.94	221.2	0.000	18.5	0.588	2.275	0.115	1.631	<b>factor 2</b>
					2.275	0.013	2.667	<b>factor 3</b>

مدل خطی عاملی (۳-۲)

					0.000	8.713	6.165	<b>(Constant)</b>
11.32	459.0	0.000	40.54	0.567	1.000	0.000	6.367	<b>factor 3</b>



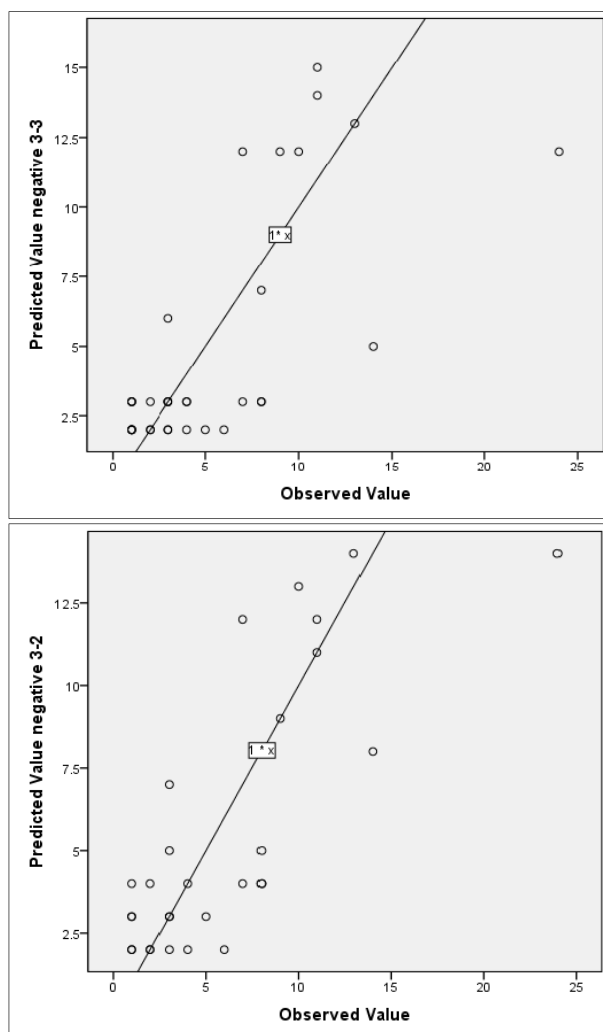
شکل ۲. مقایسه نمودارهای نتایج مقادیر پیش‌بینی - واقعی مدل خطی عاملی (۲-۲) (چپ) و مدل خطی عاملی (۳-۲) (راست)

### ۳-۵ نتایج مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم یافته

در بررسی مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم یافته، دو مدل پوآسون (۲-۱) و دو جمله‌ای منفی (۳-۱)، به عنوان بهترین مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم یافته بدون ساخت عامل با خارج کردن متغیرهای نامناسب مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در مقایسه این دو مدل، مدل پوآسون با شاخص‌های AIC و BIC کمتر (اختلاف شاخص AIC بیشتر از ۲/۵) و مقدار لگاریتم بی‌شینه در ست‌نمایی بیشتر، نسبت به مدل دو جمله‌ای منفی ارجحیت دارد. مدل پوآسون با شاخص برازش بیشتر خط  $y=x$  و درصد خطایی با اختلاف ناچیز نسبت به مدل دو جمله‌ای منفی، به عنوان بهترین مدل در این قسمت انتخاب می‌گردد که طبق آن متغیرهای تعداد قوس قائم، شیب طولی منطقه و متوسط اختلاف شیب طولی در قوس‌های قائم، باعث افزایش تعداد تصادفات می‌گردند. در ادامه روند مدل‌سازی خطی تعمیم یافته، مدل‌های با متغیرهایی به صورت چهار عامل و یک متغیر، مورد بررسی قرار گرفته‌اند که با خارج کردن متغیرهای نامناسب مدل پوآسون (۲-۲) به دست می‌آید. در این مدل همه متغیرها در شرایط معناداری مناسبی قرار گرفته‌اند و

معناداری کلی مدل (تست عمومی، Omnibus Test) هم مطلوب است. در بررسی مدل دو جمله‌ای منفی، با حذف متغیرهای نامناسب و با توجه به شاخص‌های AIC و BIC (اختلاف مقدار AIC بیشتر از ۲/۵)، نمودارهای مقایسه و برازش با خط  $y=x$  و خطای نسبی، مدل (۲-۳) از بیشترین اعتبار برخوردار است که نتایج این مدل سازی در جدول ۴ آورده شده است.

مقایسه نتایج مدل‌های برتر پوآسون و دو جمله‌ای منفی در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به نتایج جدول مقایسه دو مدل پوآسون (۲-۲) و دو جمله‌ای منفی (۲-۳)، شاخص‌های پیچیدگی مدل (AIC و BIC کمتر و اختلاف شاخص AIC بیشتر از ۲/۵) برای مدل پوآسون کمتر می‌باشند که نشان‌دهنده این موضوع است که مدل پوآسون با توجه به نتایج مدل‌سازی معتبرتر است. از طرفی از لحاظ شاخص‌های نتیجه‌گیری دو مدل، مدل پوآسون با شاخص برازش بهتر نسبت به مدل دو جمله‌ای منفی و اختلاف ناچیز درصد خطای نسبی، عملکرد بهتری از خود نشان داده است که در این مرحله از مدل‌سازی مدل پوآسون (۲-۲) به عنوان مدلی با اعتبار بیشتر انتخاب می‌گردد.



شکل ۳. مقایسه نمودارهای مقادیر پیش‌بینی - واقعی مدل دوجمله‌ای منفی (۲-۳) (چپ) و مدل دوجمله‌ای منفی (۳-۳) (راست)

جدول ۴. نتایج روند مدل‌سازی پواسون و دوجمله‌ای منفی با توجه به عامل‌های چهارگانه و یک متغیر

Omnibus Test				Value/df					
Sig	Likelihood Ratio Chi-Square	BIC	AIC	Log Likelihood	Pearson Chi-Square	Deviance	Sig	B	Parameter
مدل پواسون (۲-۱)									
.000	66.922	153.554	148.085	-70.043	1.717	1.742	.001	.75	(Intercept)
							.066	.0396	N.ve.a
							.038	16.67	ave.ve.va.s
							.001	21.57	ave.lo.s
مدل دوجمله‌ای منفی (۳-۱)									
.010	9.153	167.764	163.662	-78.831	.289	.303	.047	.89	(Intercept)
							.378	19.01	ave.ve.va.s
							.085	29.00	ave.lo.s
مدل پواسون (۱-۲)									
.000	48.22	105.073	100.073	-44.037	2.782	2.586	.000	1.44	(Intercept)
							.357	.0204	factor 1
							.274	.206	factor 2
							.199	.277	factor 3

Omnibus Test				Value/df					
Sig	Likelihood Ratio Chi-Square	BIC	AIC	Log Likelihood	Pearson Chi-Square	Deviance	Sig	B	Parameter
							.217	.25	factor 4
							.961	-.0072	N.bridge
...									
مدل پواسون (۲-۲)									
.000	68.029	144.08	144.978	-69.489	1.621	1.632	.000	1.792	(Intercept)
							.007	.34	factor 2
							.000	.402	factor 3
مدل دوجمله‌ای منفی (۱-۳)									
							.226	1.23	(Intercept)
							.578	.318	factor 1
.298	6.181	114.866	109.867	-48.933	.427	.397	.923	.065	factor 2
							.732	.214	factor 3
							.966	.0168	factor 4
							.590	.042	N.bridge
...									
مدل دوجمله‌ای منفی (۲-۳)									
							.000	1.792	(Intercept)
.000	9.245	167.672	163.57	-78.785	.281	.299	.470	.25	factor 2
							.168	.475	factor 3
							.002	.692	factor 3

جدول ۵. مقایسه نتایج دو مدل پواسون (۲-۳) و دوجمله‌ای منفی (۲-۳)

Omnibus Test							
درصد خطای نسبی	شاخص برازش $R^2$	Sig	Likelihood Ratio Chi-Square	BIC	AIC	Log Likelihood	مدل
82.28	0.68	.000	68.029	144.08	144.978	-69.489	پواسون (۲-۲)
82.11	0.65	.000	9.245	167.672	163.57	-78.785	دوجمله‌ای منفی (۲-۲)

جدول ۶. مقایسه نتایج مدل‌های منتخب در هر یک از بخش‌های عامل سازی

درصد خطای نسبی	شاخص برازش $R^2$	مقایسه دو گونه مدل
۸۴/۵۶	۰/۶۲	رگرسیون خطی عاملی (۳-۲)
۸۲/۲۸	۰/۶۵	رگرسیون تعمیم یافته عاملی پواسون (۲-۲)

طولی) به عنوان مؤثرترین متغیرها در افزایش تعداد تصادفات ایفای نقش می نمایند. هرچند متغیرهای عامل چهارم (شامل متغیرهای تعداد دسترسی و دوربرگردان، تعداد دسترسی محافظت نشده و وجود مناطق مسکونی) نیز به تنهایی با تعداد تصادفات همبستگی داشتند ولی در کنار عوامل ویژگی های قوس قائم و نوع منطقه تاثیر معناداری خود را از دست دادند که حاکی از نوعی ارتباط درون زا بین این عوامل است و معمولاً در مناطق کوهستانی و با قوس قائم های زیاد است دسترسی های نامناسب بوجود می آید. نتیجه مهم این پژوهش می تواند در طراحی های آینده در نظر گرفته شود. کاهش اختلاف شیب محورهای دو طرف قوس و طراحی صحیح قوس های قائم در توپوگرافی کوهستانی و اجتناب از شیب طولی زیاد متوالی می تواند گام مؤثری در کاهش تصادفات باشد. نتایج این پژوهش برای محورهای دیگر کشور نیز قابل استفاده است هرچند که بهتر است آن محورها شرایط مشابهی از لحاظ شیب طولی زمین و نوع منطقه به محورهای مورد مطالعه داشته باشند.

## ۷. پی نوشت ها

1. Area type
2. Terrain type
3. Side friction
4. 85<sup>th</sup> percentile of speed distribution
5. Number of travelled way
6. Analysis of covariance method
7. Multiple-linear regression analysis
8. Random effect model
9. Correlation coefficient
10. Root mean square error value
11. Carriageway width
12. Cumulative residual
13. Safety performance function
14. Fully models
15. General parsimonious models
16. Generalized models
17. Unobserved heterogeneity
18. Variance Inflation Factor

۴-۵ مقایسه نتایج مدل های رگرسیون خطی و تعمیم یافته جدول ۶ نتایج بهترین مدل های انتخاب شده در دو قسمت رگرسیون خطی و تعمیم یافته را نشان می دهد که از حاکی از برتری آماری مدل خطی تعمیم یافته پواسن است. مدل خطی عاملی (۲-۳) بهترین مدل رگرسیون خطی است. در این مدل عامل نوع توپوگرافی که شامل متغیرهای متوسط شیب طولی منطقه، وجود کوهستان و تپه ماهوری است، در افزایش تعداد تصادفات مؤثر بوده اند. مدل خطی تعمیم یافته پواسن با شاخص برازش بیشتر و درصد خطای نسبی کمتر نسبت به مدل رگرسیون خطی، از اعتبار بیشتری برخوردار است. در مدل پواسن (۲-۲) که به عنوان بهترین مدل خطی تعمیم یافته، در بین مدل های خطی ساده و مدل های خطی تعمیم یافته، ایفای نقش نموده است، دو عامل ویژگی های قوس قائم با متغیرهای (تعداد قوس قائم و متوسط اختلاف شیب قوس قائم و متوسط اختلاف شیب قوس قائم و متوسط اختلاف شیب کل) و عامل نوع توپوگرافی با متغیرهای (وجود کوهستان و متوسط شیب طولی زمین و تپه ماهور منطقه با توجه به متوسط شیب طولی) به عنوان مؤثرترین متغیرها در افزایش تعداد تصادفات ایفای نقش می نمایند

## ۶. نتیجه گیری

در این پژوهش از روش های مختلف مدل سازی آماری، تاثیر عوامل هندسی راه و محیط اطراف آن بر تعداد تصادفات محورهای حادثه خیز استان کرمان بررسی گردید. انواع مدل رگرسیون خطی و تعمیم یافته، پواسن و دوجمله ای منفی، در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن متغیرهای عاملی مورد بررسی قرار گرفت. از جنبه های مختلف آماری، مدل پواسن عاملی (۲-۲) به عنوان بهترین مدل، در بین مدل های خطی ساده و مدل های خطی تعمیم یافته، ایفای نقش نمود. در این مدل، دو عامل ویژگی های قوس قائم (با متغیرهای تعداد قوس قائم و متوسط اختلاف شیب قوس قائم و متوسط اختلاف شیب کل) و عامل توپوگرافی (با متغیرهای وجود کوهستان و متوسط شیب طولی زمین و تپه ماهور منطقه با توجه به متوسط شیب



- نصیری، ح. و شهرامی نیا، ن. (۱۳۸۷) "شناسایی عوامل هندسی و ترافیکی موثر بر وقوع تصادفات جاده‌های دوخطه برون شهری"، هشتمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران.

- Bassani, M., Dalmazzo, D., Marinelli, G. and Cirillo, C. (2014) "The effects of road geometrics and traffic regulations on driver-preferred speeds in northern Italy. An exploratory analysis", *Transportation Research Part F* 25, pp. 10-26.

- Choi, J., Kim, S., Heo, T.Y. and Lee, J. (2011) "Safety effects of highway terrain types in vehicle crash model of major rural roads", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 405-412.

- Dobson, Annette J. and Barnett, A. (2008) "An introduction to generalized linear models", Chapman & Hall, pp. 43-54.

- Hamdar, S. H., Qin, L. and Talebpour, A. (2016) "Weather and road geometry impact on longitudinal driving behavior: Exploratory analysis using an empirically supported acceleration modeling framework", *Transportation Research Part C* 67, pp. 193-213.

- Hosseinpour, M., Yahaya, A. S. and Sadullah, A. F. (2014) "Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 62, PP. 209-222.

- Lee, C. and Li, X. (2014) "Analysis of injury severity of drivers involved in single- and two-vehicle crashes on highways in Ontario", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 71, pp. 286-295.

- Singh, G., Sachdeva, S. N. and Pal, M. (2016) "M5 model tree based predictive modeling of road accidents on non-urban sections of

19. Dobson, Annette

20. Freund

21. Gujarati

22. Akaike information criterion

23. Bayesian information criterion

## ۸ مراجع

- آیتی، الف. و عباسی، الف. (۱۳۹۰) "کاربرد مدل های رگرسیون پیرصفر در مدل سازی تصادفات بزرگراه‌های درون شهری"، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره یازدهم، شماره ۴، ص. ۱ - ۱۵.

- آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران، نشریه ۴۱۵، (۱۳۹۱)، معاونت نظارت راهبردی امور نظام فنی.

- خاکی، ع.، محسنی، ح. و جعفریه، ف. (۱۳۸۸) "بررسی علت تصادفات با توجه به طبقه‌بندی نوع تصادفات (جلو به جلو-جلو به عقب)"، اولین کنفرانس تصادفات و سوانح جاده‌ای و ریلی، دانشگاه آزاد اسلامی زنجان.

- زارع چاهوکی، م. ع. (۱۳۸۹) "روش‌های تحلیل چند متغیره در نرم‌افزار SPSS"، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

- فروند، ج.، عمیدی، ع. و وحیدی اصل، م. ق. (۱۳۸۲) "آمار ریاضی"، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، چاپ پنجم.

- گجراتی، د. ن. (۱۳۸۳) "مبانی اقتصاد سنجی"، ترجمه: د.، ابریشمی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.

- میرز، ر.الف.، متگمری، د.س.، وینینگ، ج. ج. (۱۳۸۴) "الگوهای خطی تعمیم‌یافته با کاربردهای آن در علوم مهندسی"، ترجمه ح. نیرومند، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

- Yu, R. and Abdel-Aty, M. (2013) "Investigating the different characteristics of weekday and Weekend crashes", Journal of Safety Research, Vol. 46, pp. 91-97.
- highways in India", Accident Analysis and Prevention, pp. 108-117.

# Modeling of the Impact of Geometric Design, Topography and Road Access in Rural Road Accidents by Factor Analysis and Generalized Linear Regression (Case Study: Ways of Kerman Province)

R. Abdolahi , MSc. Grad., Department of Transportation Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

H. Haghshenas, Assistant Professor, Department of Transportation Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

R. Rikhtehgaran, Assistant Professor, Department of Mathematical Sciences, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Email: ho\_hagh@cc.iut.ac.ir

## Abstract

The purpose of this study is modeling the effects of geometric factors geometric design variables such as characteristics of horizontal and vertical curve, longitudinal slope of road and environmental conditions like as land uses which are around the road according to region types (residential area, farms), types of topography (flat, rolling, mountain), kinds of access (protected or not), and access number (U-turn and access to subsidiary), simultaneously. The data are gathered by using plan, longitudinal profile, and access maps around the four accident-prone axes in the pieces with a length of 5 km. in Kerman province, where is the largest province in Iran and has the third highest stage at the number of road accidents. After correlation analysis, linear regression, generalized linear regression, Poisson and negative binomial models are fitted on information and finally, the most appropriate models are identified. Finally, Poisson generalized linear model with more fitting index and less percent relative error than the linear regression has been chosen. In Poisson generalized linear model, Characteristics of vertical curves factor with variables such as (number of vertical curves, average slope difference of vertical curves and, average difference of total slope) and the type of topography with variables like (mountains Existence, average Longitudinal of land slope and hill region due to the average slope) have played a major part as the most effective variables in increasing the number of accidents. Also, access variables including (the number of access and U-turn, the number of unprotected access and, the existence of residential area) have had correlate with the number of accidents. Reduction of slope difference between axes in curves, correct design for vertical curves and, avoiding large longitudinal slope could be an effective step in reducing the number of accidents, in road design for mountainous topography in the future.

**Keywords:** Generalized linear regression, geometric factors, accessibility, and topography.

## رقیه عبداللهی، حسین حق شناس، ریحانه ریخته گران

رقیه عبداللهی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه شهید باهنر کرمان و درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل سازی و تحلیل تصادفات و ترافیک است.



حسین حق شناس، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه صنعتی شریف اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته برنامه ریزی حمل و نقل از دانشگاه صنعتی شریف گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی حمل و نقل، تقاضا در حمل و نقل و ایمنی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی اصفهان است.



ریحانه ریخته گران، درجه کارشناسی در رشته کارشناسی آمار را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته آمار ریاضی در سال ۱۳۸۵ را از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته آمار کاربردی از دانشگاه اصفهان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل های خطی با اثرات آمیخته - مدل های خطی تعمیم یافته بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی اصفهان است.

