

ارائه مدل رگرسیون برای تأثیر عوامل هندسی راه بر ایمنی جاده (مطالعه موردی: محور کندوان)

جواد عشوریان^{†*} و حسن دیواندری[‡]

[†] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نوشهر، گروه عمران

[‡] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، گروه عمران

چکیده. امنیت جاده‌ای یک نگرانی عمده (مهمی) است که بر اقتصاد اجتماعی کشورها تأثیر گذاشته است. طبق آمار سازمان بهداشت جهانی، تقریباً ۱/۲۵ میلیون کشته و ۲۰-۵۰ میلیون نفر که آسیب‌دیدگی جدی با ناتوانی طولانی مدت دارند، هر سال به دلیل حوادث جاده‌ای در سراسر جهان زندگی می‌کنند. تصادفات جاده‌ای نهمین عامل اصلی مرگ‌ومیر در بین جوانان به حساب می‌آید و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ پنجم شود. سه عامل اصلی وجود دارد که به حوادث جاده‌ای مربوط می‌شود یعنی عوامل مرتبط با انسان، عوامل مرتبط با وسایل نقلیه و عوامل مرتبط با جاده. در این بین، راه‌های برون شهری سهم زیادی از تصادفات فوتی و جرحی را به خود اختصاص می‌دهند. مطالعات نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد از تصادفات منجر به فوت و یا جراحت، در قوس‌ها اتفاق می‌افتد. خطای رانندگان معمولاً اولین عامل وقوع حوادث است. تغییرات ناگهانی در مؤلفه‌های هندسی جاده، سبب نگرانی راننده در حین رانندگی می‌شود. یکی از مهمترین دلایل بروز خطاهای انسانی، وجود ناسازگاری بین شرایط مسیر و انتظارات راننده است. طرح سازگار، طرحی است که با انتظارات راننده مغایرت نداشته باشد. به عبارت دیگر، طراح در خلال طراحی مسیر، علاوه بر در نظر گرفتن کلیه معیارهای طراحی، انتظارات و تمایلات راننده را نیز برآورده سازد. بسیاری از عوامل طرح هندسی در وقوع حوادث ترافیکی در بزرگراه‌ها شامل عرض راه، عرض سواره رو، عرض شانه، شعاع قوس، شیب طولی و عرضی، دور، مسافت دید در قوس‌ها و شرایط حاشیه راه مورد تحلیل قرار

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۱۴۰۴/۲/۹، پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۶.

گرفته‌اند. شعاع یکی از مهمترین پارامترهای هندسی قوس افقی است و براساس اعلام اشتو در سال ۲۰۰۴ حداقل شعاع راه ۴۹۲ متر در سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت است. واژگان کلیدی: قوس‌های افقی، طرح هندسی راه، تصادفات جاده‌ای، ایمنی جاده، چالوس، کندوان.

۱- مقدمه

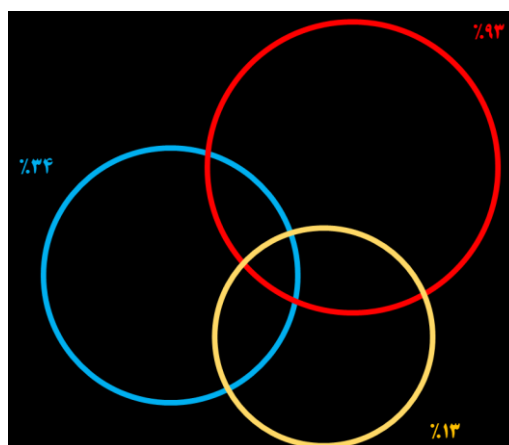
امروزه افزایش ایمنی جاده‌ها به یکی از مهم‌ترین مشکلات کشورهای در حال توسعه در بخش حمل و نقل و اقتصاد تبدیل شده است. در سال‌های اخیر مطالعات قابل توجهی در سراسر جهان برای درک ارتباط بین تعداد تصادفات، حجم ترافیک، ویژگی‌های هندسی جاده و عوامل محیطی در قالب مدل‌های پیش‌بینی تصادف انجام شده است. در چند دهه اخیر، مدلسازی ایمنی راه به دلیل ضعف گسترده برنامه‌های کاربردی برای ارتقای ایمنی در انواع روش‌های حمل و نقل، سهم قابل توجهی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. در این سال‌ها مهندسان و برنامه‌ریزان ترافیک و حمل و نقل عواملی مانند ترافیک، طراحی هندسی را که در فراوانی و شدت تصادفات تأثیر بیشتری دارد، شناسایی کرده‌اند. آنها اقدامات متعددی را برای بهبود طراحی جاده‌ها و رانندگی در یک محیط امن‌تر انجام داده‌اند و نقاط سیاه تصادف جاده‌ها را شناسایی کرده‌اند. تصادفات جاده‌ای خسارات سنگین‌تری نسبت به شهری دارند و اغلب به دلیل سرعت زیاد وسایل نقلیه منجر به خسارات جانی و مالی سنگین‌تری می‌شوند. علاوه بر این، تصادفات جاده‌ای مهم‌ترین عامل صدمات بوده و ۲۵ درصد از تلفات ناشی از آن را شامل می‌شود. نقاط سیاه تصادفی که بر اساس آمار تصادفات مشخص می‌شوند، چند سالی است که توسط سازمان‌های مرتبط در ایران شناسایی و بررسی می‌شوند. بر اساس تجربه سایر کشورها، رفع خطر در این زمینه‌ها که گاه هزینه‌های مالی سنگینی را به دنبال دارد می‌تواند جان بسیاری از هموطنان ما را نجات دهد [۲۴].

۱-۲- بیان مسئله

ایمنی جاده‌ها به یک نگرانی بزرگ تبدیل شده است که بر ساختار اقتصاد-اجتماعی کشورها تأثیر می‌گذارد [۲۳]. تعداد تلفات ناشی از تصادفات جاده‌ای به طور پیوسته در حال افزایش است و در سال ۲۰۱۶ به ۱/۳۵ میلیون نفر رسید. با این حال، میزان مرگ

و میر نسبت به اندازه جمعیت جهان ثابت مانده است. هنگامی که در زمینه افزایش جمعیت جهانی و موتوریزه کردن سریع که در همان دوره اتفاق افتاده است در نظر گرفته می‌شود، این نشان می‌دهد که تلاش‌های موجود ایمنی جاده ممکن است وضعیت را از بدتر شدن کاهش داده باشد. با این حال، همچنین نشان می‌دهد که پیشرفت برای تحقق هدف توسعه پایدار (SDG) ۳/۶ - که به کاهش ۵۰ درصدی تعداد مرگ و میر ناشی از ترافیک جاده ای تا سال ۲۰۲۰ نیاز دارد - هنوز کافی نیست [۳۴].

تصادفات جاده ای به عنوان نهمین علت اصلی مرگ و میر جوانان در نظر گرفته می‌شود و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ به پنجمین علت مرگ و میر تبدیل شود. اکثر تصادفات جاده ای در کشورهای در حال توسعه با هزینه ۵۱۸ میلیارد دلار در سراسر جهان در سال رخ می‌دهد. سه عامل عمده به تصادفات جاده ای نسبت داده می‌شود که عبارتند از عوامل مرتبط با انسان، عوامل مرتبط با وسیله نقلیه و عوامل مرتبط با جاده. همانطور که در کتابچه راهنمای ایمنی بزرگراه منتشر شده توسط انجمن بزرگراه و حمل و نقل ایالتی آمریکا (AASHTO) (۲۰۰۸) بیان شد، عوامل جاده در ۳٪ از تصادفات جاده ای نقش دارند، در حالی که ۳۴٪ توسط ترکیبی از عوامل مرتبط با جاده و سایر عوامل نسبت داده می‌شود. درصد مشارکت هر یک از عوامل در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۵]. از آنجایی که اکثر عوامل تصادفات جاده ای به هم مرتبط هستند، شناسایی علت مشخص تصادفات جاده ای پیچیده می‌شود زیرا تصادفات به دلیل ترکیبی از چندین عامل رخ می‌دهد. اگرچه عوامل مرتبط با انسان به طور قابل توجهی در تصادفات جاده ای نقش دارند، کنترل مستقیم و پیش بینی عوامل انسانی دشوار است. بنابراین، عوامل انسانی را می‌توان به طور غیرمستقیم از طریق بررسی عوامل راه، به ویژه طراحی هندسی راه، کنترل و پیش بینی کرد. سرعت یک پارامتر حیاتی در طراحی هندسی راه و مرتبط با ایمنی راه است. عناصر طراحی هندسی راه که برای تأثیرگذاری بر تصادفات جاده ای بررسی شده اند شامل انحنای افقی، انحنای عمودی، درجه، تعداد خطوط، عرض خط، عرض و نوع شانه، عرض و نوع میانه، تعداد نقاط دسترسی، شعاع قوس، دور بُربُندی^۱، فاصله دید و شرایط روسازی، اما برخی از این عناصر ممکن است تأثیر قابل توجهی بر میزان تصادفات جاده ای نداشته باشند [۲۳]. ارتقای ایمنی راه ها به دلیل هزینه های بسیار بالای تصادفات در بزرگراه ها، آزادراه ها، راه های اصلی، فرعی و روستایی به اولویت اصلی اهداف حمل و نقل تبدیل شده است.



شکل ۱- عوامل موثر در تصادف [۱۵]

مسئولین امور ایمنی و حمل و نقل با افزایش ترافیکی از طریق اجرای قوانین راهنمایی و رانندگی جاده ای، نظارت بر اجرای قانون، آموزش، فرهنگ سازی، استفاده از کنترل ترافیک منطقه ای و محلی و بهبود هندسه راه در تلاش هستند تا تصادفات را کاهش دهند. تحقیقات نشان می دهد که کاهش نرخ تصادفات ناشی از بهبود طراحی و افزایش ایمنی راه است. طراحی هندسی متأثر از اهمیت جاده و اهمیت شبکه هایی است که جاده بخشی از آن است. یکی از اهداف طراحی هندسی دستیابی به حمل و نقل ایمن است. برای دستیابی به ایمنی اهداف مختلفی از جمله کاهش تصادفات منجر به فوت، کاهش ملموس تصادفات جرحی، کاهش خسارات مالی، ارتقای ایمنی جاده ها از طریق اصلاح نقاط خطرناک (نقاط سیاه) و ارائه مدل های بهینه برای پیش بینی تصادفات جاده ای وجود دارد. به طور کلی طراحی خوب باعث آسایش و محیطی پایدار برای رانندگان می شود. با استفاده از اصول ذکر شده، رانندگان می توانند در جاده یا موقعیت های تداخلی (مانند تقاطع ها) مناسب و ایمن حرکت کنند. حتی اگر راننده اشتباه کرده باشد، طراحی راه باید به گونه ای باشد که راننده بدون تصادف بتواند اشتباهات خود را اصلاح کند یا در صورت تصادف شدت آن را به حداقل برساند. همانطور که می دانیم مسیرهای مختلف مدل های متفاوتی دارند [۲۴]. لذا هدف از این تحقیق ارائه مدل تأثیر عوامل طرح هندسی راه بر ایمنی جاده (مطالعه موردی سه محور: کندوان، هراز و

فیروزکوه) می باشد. از این رو، پارامترهای هندسی بیشتر درگیر در تصادفات مورد بررسی قرار گرفتند.

۲- اهمیت و ضرورت تحقیق

ایمنی ترافیک یکی از نگرانی های اصلی در کشورهای در حال توسعه است. تحقیقات در مورد ایمنی ترافیک از سال ۱۹۶۰ به طور گسترده گزارش شده است، Solomon [۳۱] تصادفات جاده ای در بزرگراه های روستایی را به سرعت، وسیله نقلیه و راننده مرتبط می کند. مطالعات متعددی برای شناسایی عوامل موثر در تصادفات جاده ای و اقداماتی برای کاهش نرخ تصادف انجام شده است. چندین مطالعه انجام شده مربوط به ارتباط طراحی هندسی به تصادفات جاده ای در شرایط ترافیکی همگن است. تصادفات جاده ای رویدادهای پیچیده ای هستند و تحت تأثیر عوامل زیادی مانند طراحی هندسی جاده، حجم و ترکیب ترافیک، تفاوت سرعت خودروهای هم کلاس و کلاس های مختلف، آب و هوا، انگیزه سفر، شرایط جسمی و روحی راننده و غیره قرار دارند [۳۲].

تحقیقات مربوط به ویژگی های هندسی نشان داد که متغیرهای کمی بر ایمنی راهها تأثیر معناداری دارند. شعاع قوس ها به عنوان یکی از متغیرهای معنی دار در تعیین تأثیر قوس های افقی و قائم بر تصادفات جاده ای و همچنین برآورد سرعت در بزرگراه های روستایی شناسایی شد. هنگامی که شعاع زیر ۲۰۰ متر باشد، نرخ تصادف به طور قابل توجهی افزایش می یابد. دور (بربلندی)، درجه قوس، عرض شانه و میانگین ترافیک روزانه نیز در تصادفات جاده ای نقش دارد [۳۳]. محققان همچنین به این نتیجه رسیدند که جاده هایی با حجم ترافیک سنگین تر، خطوط جاده ای بیشتر و محدودیت های سرعت بالاتر، تصادفات شدیدتری دارند [۲۶، ۳۲].

تصادفات جاده ای یکی از مهمترین عوامل مرگ و میر در کشور است و خسارات شدید مالی و جانی و آثار شدید اجتماعی و اقتصادی آن جامعه و کل جامعه بشری را به شدت تهدید کرده است. تصادفات در جاده های برون شهری خسارات سنگین تری نسبت به تصادفات شهری دارند و اغلب به دلیل سرعت زیاد وسایل نقلیه خسارات جانی و مالی سنگینی را به دنبال دارند. تصادفات جاده ای مهم ترین علت صدمات ناشی از صدمات جاده ای در سراسر جهان است. پارامترهای هندسی مانند قوس عمودی، قوس افقی، طاق

فرعی، روسازی، شانه و زهکشی می توانند نقش موثری در تصادف و افزایش ایمنی داشته باشند [۱].

با توجه به موقعیت جغرافیای خاص استان مازندران و گردش پذیر بودن آن و وجود سه مسیر و جاده مواصلاتی (کندوان، هراز و فیروزکوه) با پایتخت اطلاعات جامعی برای مطالعه های گوناگون به جهت برنامه ریزی برای ترافیک این محورها موجود نبود با این وجود پلیس راه استان مازندران و معاونت پلیس راه کشور چند سالی است که به دنبال جمع آوری اطلاعات مورد نیاز جهت برنامه ریزی ترافیک استان هستند و در این مسیر زیر ساخت های مورد نیاز در حال نسب و راه اندازی می باشد. مطالعه پیش رو در جهت کمک به این مهم بوده و سعی دارد تا به نوبه خود نگاهی متفاوت به موضوع داشته و راه حل های جدیدی ارائه نماید. استفاده از نتایج تحقیقات در برنامه ریزی و اجرا و در صورت امکان اصلاح پروژه های راهسازی با هدف کاهش تصادفات جاده ای و حمل و نقل ایمن است. کاهش میزان تصادفات و ارتقای ایمنی راه ها و بهره مندی از نتایج آن در ساخت و اجرای پروژه های بعدی که دارای عوامل مالی و جانی فراوان است.

۲-۱- اهداف تحقیق

هدف اصلی این پایان نامه "ارائه مدل تأثیر عوامل طرح هندسی راه بر ایمنی جاده (مطالعه موردی سه محور: کندوان، هراز و فیروزکوه)" است.

برای این هدف می توان اهداف فرعی زیر را متصور بود:

- شناسایی عوامل طرح هندسی راه موثر بر ایمنی جاده
- بررسی رابطه بین عوامل طرح هندسی راه با ایمنی جاده

۲-۲- سوالات تحقیق

سوال اصلی این پایان نامه "مدل تأثیر عوامل طرح هندسی راه بر ایمنی جاده (مطالعه موردی سه محور: کندوان، هراز و فیروزکوه)" است.

برای این هدف می توان اهداف فرعی زیر را متصور بود:

- عوامل طرح هندسی راه موثر بر ایمنی جاده چیست؟
- رابطه بین عوامل طرح هندسی راه با ایمنی جاده چگونه است؟

۳- چارچوب نظری و ادبیات موضوع

تصادف به حادثه ای گفته می شود که منجر به جراحت، مرگ، خسارت یا ترکیبی از این سه حالت شود که در اثر برخورد وسیله نقلیه با یک یا چند وسیله نقلیه دیگر یا انسان یا حیوان یا شیء رخ می دهد و منجر به تلفات جانی یا خسارت مالی می شود. تصادف معمولاً یک معلولیت چند عاملی است، یعنی ترکیبی از عوامل (انسان، جاده، وسایل نقلیه و محیط) در وقوع تصادفات نقش دارند. تحلیل تصادفات جاده ای در ایران نشان می دهد که مهم ترین علل تصادفات در ایران به عوامل مختلفی مربوط می شود. سهم عامل انسانی در تصادفات ۹۷/۵ درصد و نقش آن در وقوع حوادث ۴۹ درصد است. به همین ترتیب سهم عامل محیطی ۷۰/۵ درصد و نقش آن ۳۶ درصد و سهم عامل وسیله نقلیه حدود ۳۱ درصد و نقش آن در تصادفات ۱۵ درصد است [۸].

۳-۱- شاخص تصادفات

عددی است که برای نقطه تصادف از یک راه و در دوره مطالعه بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود [۷].

$$(۱) \quad P = \frac{1000 \times I}{365 \times A \times T} = 2.74 \frac{I}{A \times T}$$

عدد P تا دو رقم بعد از اعشار محاسبه و گرد می شود. در این رابطه:

T = طول دوره زمانی سالانه جمع آوری و ثبت اطلاعات تصادفات (بر حسب سال)

I = فاکتور شدت تصادف در نقطه دارای تصادف در دوره زمانی T که از رابطه زیر محاسبه می شوند:

$$(۲) \quad I = x + 3y + 9z$$

که در آن x = تعداد تصادف خسارتی، y = تعداد تصادف جرحی و z = تعداد تصادف فوتی در نقطه دارای تصادف در دوره زمانی T می باشند.

A = ضریب عملکردی راه که برای راه فرعی برابر ۲، برای راه اصلی با عملکرد استانی برابر ۴، برای راه اصلی با عملکرد ملی برابر ۶ و برای بزرگراهها و آزادراهها برابر ۸ منظور می شود [۷].

۳-۲- نقاط پرحادثه

نقاط پرتصادف نقاطی هستند که تعداد تصادفات اعم از تلفات جانی، جرحی و خسارات وارده در آنها زیاد است که با رعایت نکات ایمنی می توان میزان آن را کاهش داد و شاخص موردی P برای آن نقطه بیش از ۳۱ امتیاز است [۷].

۴- پیشینه تحقیق

قربانی و مسعودی [۱۳] در تحقیقی به بررسی تاثیر طرح هندسی راه بر وقوع تصادفات جاده ای پرداختند. طراحی هندسی جاده ها با توجه به وضعیت نامناسب طراحی هندسی کشور، تصادفات رانندگی و ایجاد صف های طولانی مشکلی است که در بیشتر جاده های کشور وجود دارد. طراحی هندسی نامناسب مسیر می تواند باعث کاهش سطح ایمنی تردد، کاهش سرعت وسایل نقلیه، افزایش تاخیر، افزایش تراکم وسایل نقلیه، اختلال در تردد خودروها، افزایش مصرف سوخت خودروها و بسیاری مشکلات دیگر شود. بنابراین با توجه به تأثیرات غیرقابل انکار عوامل هندسی بر سرویس دهی راه و همچنین بهبود وضعیت موجود، لازم است تأثیر هر یک از پارامترهای طراحی هندسی راه اعم از عرض راه، شیب طولی، شیب عرضی، تعداد خطوط، طول مسیر و ... در ترافیک چه شکلی خواهد بود. در این راستا سعی شد حساسیت ترافیک به هر یک از موارد فوق سنجیده شود. پارامترهای هندسی راه مانند عرض جاده، عرض شانه، شعاع قوس و ... نقش بسیار مهمی در کیفیت خدمات جاده ای دارند. فرض بر این است که با تعیین حساسیت تغییرات سطح خدمات جاده ای به هر یک از این پارامترها، می توان مسیریابی با ایمنی و کیفیت بالا و در عین حال مقرون به صرفه طراحی کرد. برای طراحی هندسی راه ها و تعیین مولفه های هندسی آن مانند حداقل شعاع گردش از وسیله نقلیه طرحی استفاده می شود که در بین وسایل نقلیه تردد جاده بیشترین تاثیر را در طراحی هندسی دارد. اما مقررات این اجازه را می دهد که در موارد خاصی که حجم ترافیک و مطالعات اقتصادی استفاده از خودروی طراحی شده با مشخصات بالاتر را توجیه نمی کند، خودروی طراحی شده با مشخصات کمتر می تواند ملاک قرار گیرد. یکی از عوامل مهم در طراحی هندسی جاده های دو خطه، مسافت سبقت است که در تعیین ظرفیت و سطح سرویس دهی این جاده ها نیز موثر است. مسافت سبقت تحت تاثیر رفتار رانندگان و ویژگی های هندسی و

ترافیکی وسیله نقلیه است. به طور کلی، این پژوهش سعی دارد با استفاده از روش اسنادی، تأثیر طراحی هندسی راه را بر وقوع تصادفات جاده ای بررسی کند. نصرآزادانی و اکبرپور [۱۴] در تحقیقی به ارزیابی تأثیر مشخصات هندسی و روسازی راه ها بر میزان تصادفات های جاده ای پرداختند. اولین گام در بررسی معضل تصادفات جاده ای، درک دقیق چگونگی وقوع تصادفات است تا از وقوع آنها جلوگیری شود یا از شدت آنها در جاده ها کاسته شود. راه حلی که امروزه محققان برای مقابله با این مشکل در نظر گرفته اند، ساخت مدل های پیش بینی تصادفات بر اساس عوامل موثر بر وقوع حوادث است. هدف این مقاله بررسی نقش عوامل مرتبط با روسازی و طراحی هندسی راه در ایمنی آزادراه می باشد. بدین منظور مدلی برای پیش بینی تعداد تصادفات آزادراه بر حسب متغیرهای مربوط به روسازی و طراحی هندسی راه با مدل های رگرسیون پواسون با استفاده از نرم افزار آماری SAS ساخته شد و به عنوان مطالعه موردی آمار تصادفات و ویژگی های هندسی و روسازی آزادراه قزوین رشت مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که متغیرهای مربوط به وضعیت روسازی و طراحی هندسی راه، بر وقوع تصادفات آزادراهی تأثیرگذار است. این در حالی است که تعداد خطوط و تعداد پارکینگ ها نقش چندانی در بروز تصادفات آزادراهی ندارد.

عراقی و همکاران [۱۱] در تحقیقی به مطالعه تأثیر حجم ترافیک و طرح هندسی راه در رخداد تصادفات جاده ای با مطالعه موردی: جاده بیرجند - در میان خراسان جنوبی پرداختند. روشی که بسیاری از محققین در سال های اخیر برای شناسایی عوامل موثر بر وقوع تصادفات جاده ای اتخاذ کرده اند، مدل سازی آماری تصادفات است. در این مقاله تأثیر هندسه راه و حجم انواع وسایل نقلیه در جریان ترافیک به تفکیک در وقوع تصادفات جاده ای بررسی شده و انواع وسایل نقلیه به سه دسته خودروهای سواری، غیرسواری سنگین و سبک تقسیم می شوند. در این تحقیق از مدل رگرسیون دو جمله ای منفی برای مدل سازی تصادفات استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد که این خودروهای سنگین نقش عمده ای در تصادفات جاده ای دارند و نه خودروهای سواری و غیرسواری سبک. بنابراین باید برای کنترل این عوامل تدابیری اندیشید، این اقدامات می تواند ساماندهی یا جداسازی این نوع خودروها از جریان عادی ترافیک جاده ای باشد. همچنین متغیرهای مربوط به طراحی هندسی راه اعم از تعداد قوس های افقی و تعداد راه های دسترسی نقش بسزایی در وقوع تصادفات جاده ای دارند به طوری که با افزایش

تعداد قوس‌های افقی و تعداد راه‌های دسترسی در جاده‌ها، تعداد تصادفات افزایش می‌یابد. بنابراین با کاهش یا مدیریت دسترسی‌ها و همچنین کاهش تعداد قوس‌های افقی و یا افزایش درجه انحنا می‌توان احتمال تصادف در مسیرهای جاده‌ای را کاهش داد.

رحیم اف و حیدرزاده [۵] در تحقیقی به بررسی تاثیر پارامترهای طراحی هندسی راه بر نرخ تصادف جاده‌ای پرداختند. در این مقاله به بررسی رابطه بین پارامترهای هندسی میزان تصادفات جاده‌های روستایی و پیش‌بینی تصادف در آنها با استفاده از روش آماری ناپارامتریک با استفاده از روش سلسله مراتبی مبتنی بر رگرسیون درختی پرداخته شده است. در این مقاله، نقش طراحی هندسی راه‌های مختلف، سپس با استفاده از روش‌های آماری، میزان تصادفات بر اساس تعداد تصادفات جاده‌های روستایی پیش‌بینی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تاثیر متغیرهایی مانند روسازی آسفالت یا بتنی و پارامترهای طراحی هندسی مسیر دو عامل مهم مؤثر بر میزان تصادف هستند.

شیرمحمدی و مظاهری [۹] در تحقیقی به بررسی تاثیر طرح هندسی راه بر وقوع تصادفات جاده‌ای پرداختند. امروزه آمار تصادفات جاده‌ای در کشور ما رو به افزایش است و در نتیجه خسارات مالی وارده به خانواده‌ها و دولت بسیار بالاست و با توجه به اینکه خسارات مالی، روانی و اجتماعی در برخی موارد غیر قابل جبران می‌باشد. لازم است اقدامات موثر برای جلوگیری از خسارات ناشی از حوادث رانندگی انجام شود. یکی از عوامل موثر در وقوع حوادث، طراحی هندسی مسیر است. اگرچه این عامل سهم کمتری نسبت به عامل انسانی دارد، اما نباید این عامل را بی تاثیر دانست. زیرا برنامه ریزی و سیاست گذاری در زمینه ارتقای ایمنی بزرگراه‌ها زمانی موثر خواهد بود که تمامی عوامل موثر در وقوع تصادفات به طور کامل و عملی ارزیابی و بررسی شود. این مقاله به بررسی عوامل دخیل در تصادفات و سپس تاثیر عوامل محیطی و طراحی هندسی جاده در تصادفات جاده‌ای و طبقه بندی آن می‌پردازد. در نهایت با ارائه راهکارهایی سعی در کنترل و کاهش تصادفات ناشی از عیوب طراحی هندسی دارد.

سروری و همکاران [۶] در تحقیقی به بررسی تاثیر هندسه راه و حجم ترافیک بر روی نرخ تصادف در جاده‌های روستایی استان ایلام پرداختند. در این مقاله رابطه بین پارامترهای هندسی مسیرهای روستایی، ارزیابی‌های تصادفی و پیش‌بینی تصادفات در آنها با استفاده از روش‌های آماری غیرمنتظره با استفاده از روش سلسله مراتبی مبتنی بر درختان بررسی شده است. در این مقاله ابتدا نقش طراحی هندسی راه‌های مختلف بر میزان تصادفات

ارزیابی شده و سپس با استفاده از روش‌های آماری میزان تصادفات در جاده‌های روستایی پیش‌بینی شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثرات تغییراتی مانند وضعیت روسازی آسفالت یا بتنی و طراحی هندسی مسیر دو عامل مهم تأثیرگذار در ارزیابی تصادفات هستند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که می‌توان از این مراکز برای پیش‌بینی ارزیابی‌ها استفاده کرد.

ابوطالبی اصفهانی و همکاران [۱] در تحقیقی به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تصادفات جرحی تقاطع‌های چهارشاخه چراغ‌دار (مطالعه موردی: شهر اصفهان) پرداختند. برای تعیین عوامل مؤثر و پیش‌بینی تعداد تصادفات جرحی براساس پارامترهای ترافیکی، هندسی و خصوصیات وسایل کنترل ترافیک، از مدل‌های آماری در سه خانواده لگ خطی پواسون، لگ خطی دوجمله‌ای منفی و مدل خطی استفاده شد. مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها در این تحقیق بر اساس نرم‌افزار SPSS و اکسل انجام شد. مناسب بودن برازش مدل از طریق دویانس/درجه آزادی و X^2 پیرسون/درجه آزادی کنترل گردید. با توجه به نتایج، کاهش حجم، خط‌گردش به راست و ویژه، وجود دوربین و افزایش طول خط‌گردش به راست و ویژه، به ترتیب ۳۷/۱۹۰، ۵۲/۰۶، ۲۷/۰۹ و ۱/۰۶ درصد تصادفات را کاهش داد. با افزایش ۱ متری عرض بلوک میانی در تقاطع، تعداد تصادفات ۲/۰۲ درصد افزایش می‌یابد. افزودن لاین در یک تقاطع منجر به افزایش ۱۸/۵۵ درصدی تصادفات می‌شود. اگر دو تقاطع شرایط کاملاً یکسانی داشته باشند و فقط تعداد فازها متفاوت باشد، تقاطع با دو فاز نسبت به تقاطع سه فاز ۳۵/۶۴۹ درصد کاهش تصادفات را خواهد داشت. بنابراین لازم است اقدامات مناسبی با توجه به قدرت هر متغیر در کاهش تصادفات انجام شود.

عبداللهی و همکاران [۱۰] در تحقیقی به مدل‌سازی همزمان تأثیر عوامل هندسی، توپوگرافی و دسترسی راه در تصادفات راه‌های برون‌شهری با عامل‌سازی و رگرسیون خطی تعمیم‌یافته با مطالعه موردی: راه‌های استان کرمان پرداختند. اولین گام در کاهش تصادفات جاده‌ای، شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات است که با مدل‌سازی متغیرهای مؤثر بر وقوع تصادفات امکان‌پذیر است. در این تحقیق متغیرهای مختلف طراحی هندسی محورها از جمله ویژگی‌های قوس افقی، ویژگی‌های قوس قائم، شیب طولی جاده و شرایط محیطی راه مانند کاربری‌های راه مانند نوع منطقه (منطقه مسکونی، مزارع) نوع توپوگرافی (دشت، تپه‌ماهور و کوهستان)، نوع دسترسی (محافظت شده یا

محافظت نشده) و تعداد دسترسی ها (دوربرگردان و دسترسی راه فرعی) به طور همزمان ارزیابی شد. برای این منظور از تحلیل عاملی متغیرها استفاده شد که امکان مطالعه همزمان تعداد زیادی از متغیرها را فراهم می کند. جمع آوری داده ها با استفاده از نقشه های پلان و پروفیل های طولی و نقشه های دسترسی در اطراف چهار محور حادثه خیز استان کرمان به عنوان بزرگترین استان کشور که رتبه سوم تصادفات جاده ای را به خود اختصاص داده است، انجام شد. در نظر گرفتن این متغیرها برای در نظر گرفتن موقعیت و ویژگی های هندسی جاده در بخش هایی به طول ۵ کیلومتر انجام شد. پس از تحلیل همبستگی، مدل های رگرسیون خطی و ضریب رگرسیون تعمیم یافته پواسون و دوجمله ای منفی بر روی داده ها برازش داده شد و مناسب ترین مدل ها شناسایی شدند. در بررسی نتایج مدل ها از شاخص های برازش به خط $y=x$ و درصد خطای نسبی نتایج مدل استفاده شده است. در نهایت مدل خطی پواسون تعمیم یافته با شاخص برازش بالاتر و درصد خطای نسبی کمتر نسبت به مدل رگرسیون خطی انتخاب شده است. در مدل خطی تعمیم یافته پواسون، ضریب ویژگی های قوس قائم با متغیرها (تعداد قوس قائم، میانگین اختلاف شیب قوس قائم و میانگین اختلاف شیب کل) و عامل توپوگرافی با متغیرهای (وجود کوه ها و میانگین شیب طولی زمین و ماهواره و تپه ماهوری منطقه با توجه به شیب طولی متوسط) به عنوان موثرترین متغیرها در افزایش تعداد تصادفات نقش داشته اند. متغیرهای ضریب دسترسی (شامل تعداد دسترسی و انحراف، تعداد دسترسی محافظت نشده و وجود مناطق مسکونی) نیز به تنهایی با تعداد تصادفات همبستگی داشتند، اما همراه با عوامل ویژگی قوس قائم و نوع منطقه اثر معناداری خود را از دست دادند. در طراحی جاده های آینده در توپوگرافی کوهستانی، کاهش اختلاف شیب محورهای دو طرف قوس و طراحی صحیح قوس های قائم و پرهیز از شیب های طولی متوالی طولانی می تواند گامی موثر در کاهش تصادفات باشد.

احدی و اعتمادزاده [۳] در تحقیقی به تاثیر پارامترهای طرح هندسی بر افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده ای با مطالعه موردی محور ساری - کیاسر پرداختند. در این مقاله سعی شده است نقاط حادثه خیز پارامترهای هندسی مورد بررسی قرار گیرد و مشخص شود که نقص پارامترهای هندسی تا چه اندازه در افزایش ایمنی موثر خواهد بود. برای اینکه این تحقیق نتایج کمی و مستند داشته باشد، محور ساری - کیاسر مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که این محور از میان دشت ها، کوهپایه ها و کوه ها می گذرد، دارای

پارامترهای هندسی مناسبی است. در این راستا پس از مطالعه پارامترهای هندسی، نقاط حادثه خیز تعیین و پس از محاسبه شاخص های میزان تصادف و شدت حادثه، تأثیر این پارامترها بررسی شد. نتایج نشان داد که پارامترهای هندسی مانند قوس تا چه اندازه در تعداد تصادفات محوری نقش دارند؟ در کیلومترهای اول مسیر عامل ثانویه بر اساس طبقه بندی با بیش از ۶۰ درصد و در کیلومترهای پایانی ضریب قوس افقی و عمودی با بیش از ۸۰ درصد بیشترین عامل تصادفات بوده است.

فرج زاده و همکاران [۱۲] در تحقیقی به تحلیل فضایی تصادفات جاده ای با رویکرد مخاطرات اقلیمی مطالعه موردی: محور کرج - چالوس پرداختند. از جمله عواملی که در وقوع تصادفات جاده ای نقش دارند، سهم پدیده های اقلیمی مانند رانش زمین، برف، کولاک، مه، ریزش بهمن و یخبندان کم نیست. در این تحقیق اثرات آب و هوا بر تصادفات جاده ای در محور کرج - چالوس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. محور کرج - چالوس به طول ۷۰ کیلومتر یکی از مهمترین محورهای مواصلاتی است که استان تهران را از طریق ارتفاعات البرز به مناطق شمالی کشور متصل می کند. در تحقیق حاضر با استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ پایگاه اطلاعات مکانی از جاده تشکیل شد و آمار تصادفات رانندگی پلیس راهنمایی و رانندگی به این پایگاه افزوده شد و از طریق آنها نقاط پرخطر از نظر تصادفات در هر یک از آنها اضافه شد. شرایط آب و هوایی (آفتابی، ابری و غیره) بررسی شده است. روش مطالعه در این تحقیق بر اساس بررسی فراوانی تصادفات در هر قطعه از یک کیلومتری جاده می باشد که در آن تطابق وقوع تصادفات با رویدادهای اقلیمی با قابلیت های GIS و روش های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این راستا رابطه بین وقوع تصادفات جاده ای و شرایط توپوگرافی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که در هوای آفتابی کیلومتر ۱۷، ۲۰ و ۴۱ و در هوای ابری کیلومتر ۶۲ و در هوای بارانی کیلومتر ۴۰ و ۷۰ و در هوای برفی کیلومتر ۴۰، ۶۰ و ۶۲ و در هوای مه آلود کیلومتر ۶۰، ۶۲ و ۶۵ دارای بیشترین فراوانی تصادفات بوده و از این نظر نقاط خطرناک محسوب می شوند. همچنین توزیع مکانی تصادفات نشان می دهد که هر چه محور کرج - چالوس بالاتر باشد به دلیل شرایط نامساعد جوی میزان تصادفات در همان زمان ها بیشتر می شود.

۵- روش انجام تحقیق

افزایش مداوم روشهای آماری منجر به بسیاری از مدل‌های تحلیل حوادث و طراحی جاده شده است که با استفاده از انواع روشهای مدل سازی آماری مانند مدل‌های رگرسیون خطی، مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، مدل‌های رگرسیون پواسون، مدل‌های پواسون-گاما، مدل‌های دوتایی منفی، مدل‌های دو متغیره و چند متغیره، مدل‌های رگرسیون برآورد کلی، مدل‌های پارامترهای تصادفی و غیره توسعه یافته اند. با این حال، با استفاده از مدل‌های آماری ذکر شده برخی محدودیت‌ها روبرو شده است، از این رو فرصتی برای محققان ایمنی جاده وجود دارد تا بر چالش‌های محدودیت غلبه کنند.

بدین منظور در ابتدا، جمع آوری اطلاعات مربوط به تصادفات و طرح هندسی راه در سه محور مورد مطالعه (کندوان، هراز و فیروزکوه) از مراکز و ادارات مربوطه با انجام مکاتبات دانشگاهی و در مرحله بعدی پایش و دسته‌بندی اطلاعات موجود با استفاده از نرم افزارهای مربوطه است. در ادامه با مطالعه مقالات روز و کتب علمی و تحقیق میدانی به دنبال یافتن رابطه‌ای معنادار بین طرح هندسی راه و ایمنی ترافیک در سه محور مورد مطالعه خواهیم بود. در نهایت مدل رگرسیون پواسون برای قطعات حادثه خیز به منظور پیش‌بینی تعداد تصادفات از پارامترهای هندسی راه استفاده می‌شود.

۵-۱- داده‌های مورد نیاز تحقیق

مطالعات سعی کرده‌اند عناصر طراحی هندسی جاده مانند شماره خط، فاصله بینایی، بریلندی (دور)، عرض و نوع متوسط خط، خط و عرض شانه، شعاع قوس، شیب و ترازهای افقی و عمودی را با نرخ تصادفات مرتبط کنند. داده‌های این تحقیق از منابع زیر تامین شد:

بانک اطلاعات داده پلیس راه کشور

پایگاه اطلاعات داده اداره کل راه و ترابری

مطالعه مجلات و مقاله های روز کشور و دنیا

۵-۲- نحوه اندازه‌گیری پارامترهای هندسی راه

در این بخش نحوه اندازه‌گیری پارامترهای هندسی مربوط به راه‌ها مشخص می‌شوند. در ادامه پارامترهای مورد بررسی با مقادیر قابل اخذ آنها ارائه می‌شود:

- شیب: این پارامتر بر حسب درصد به صورت عددی بیان می‌شود. مثلاً: ۵ (درصد).
- عرض خط: این پارامتر بر حسب متر به صورت عددی بیان می‌شود. مثلاً: ۳/۵ (متر).
- فاصله دید: این پارامتر به صورت کیفی به صورت ضعیف (۱)، متوسط (۲) و مناسب (۳) بیان می‌شود.
- ویژگی‌های تراز افقی و قائم – حالت ۱: این پارامتر به صورت دودویی در صورت وجود این حالت در هر قطعه راه بیان می‌شود. یعنی در صورت وقوع حالت ۱ از جدول ۱-۲ مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ اخذ می‌کند.
- ویژگی‌های تراز افقی و قائم – حالت ۲: این پارامتر به صورت دودویی در صورت وجود این حالت در هر قطعه راه بیان می‌شود. یعنی در صورت وقوع حالت ۲ از جدول ۱-۲ مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ اخذ می‌کند.
- ویژگی‌های تراز افقی و قائم – حالت ۳: این پارامتر به صورت دودویی در صورت وجود این حالت در هر قطعه راه بیان می‌شود. یعنی در صورت وقوع حالت ۳ از جدول ۱-۲ مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ اخذ می‌کند.
- ویژگی‌های تراز افقی و قائم – حالت ۴: این پارامتر به صورت دودویی در صورت وجود این حالت در هر قطعه راه بیان می‌شود. یعنی در صورت وقوع حالت ۴ از جدول ۱-۲ مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ اخذ می‌کند.
- ویژگی‌های تراز افقی و قائم – حالت ۵: این پارامتر به صورت دودویی در صورت وجود این حالت در هر قطعه راه بیان می‌شود. یعنی در صورت وقوع حالت ۵ از جدول ۱-۲ مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ اخذ می‌کند.
- ویژگی‌های تراز افقی و قائم – حالت ۶: این پارامتر به صورت دودویی در صورت وجود این حالت در هر قطعه راه بیان می‌شود. یعنی در صورت وقوع حالت ۶ از جدول ۱-۲ مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ اخذ می‌کند.

- محدودیت سرعت: این پارامتر بر حسب کیلومتر بر ساعت به صورت عددی بیان می‌شود. مثلاً: ۶۰ (کیلومتر بر ساعت).
- تداخل دو قوس: این پارامتر به صورت عددی بیان می‌شود. در صورت عدم رخداد عدد ° و در صورت رخداد تعداد آنها با عدد ۱ یا بزرگتر از آن مقداردهی می‌شود.
- مجاورت دو قوس: این پارامتر به صورت عددی بیان می‌شود. در صورت عدم رخداد عدد ° و در صورت رخداد تعداد آنها با عدد ۱ یا بزرگتر از آن مقداردهی می‌شود.
- نوع منطقه: این پارامتر به صورت اسمی به صورت مسکونی (۱)، تجاری (۲) و بایر (۳) بیان می‌شود.
- دسترسی به مسیر اصلی: این پارامتر به صورت عددی بیان می‌شود. در صورت عدم وجود دسترسی به مسیر اصلی عدد ° و در صورت وجود تعداد آنها با عدد ۱ یا بزرگتر از آن مقداردهی می‌شود.
- شرایط روشنایی جاده: این پارامتر به صورت اسمی به صورت فاقد روشنایی (۱)، ضعیف (۲) و مناسب (۳) بیان می‌شود.
- تعداد خطوط: این پارامتر به صورت اسمی به صورت یک خط (۱)، دو خط (۲) و سه خط و بیشتر (۳) بیان می‌شود.
- موانع دید: این پارامتر به صورت عددی شامل تعداد موانع دید در قطعه راه بیان می‌شود. انواع موانع دید در فصل دوم و بخش ۲-۴ ارائه شده است.

۵-۳- مدل رگرسیون مورد استفاده

از رگرسیون پواسون برای تجزیه و تحلیل داده‌های شمارش (به عنوان مثال، تعداد نوشیدنی در هفته، تعداد دستگیری‌ها در سال) استفاده می‌شود. از رگرسیون پواسون برای پاسخ به سوالاتی مانند اینکه چه عواملی می‌توانند فراوانی یک رویداد را پیش‌بینی کنند، استفاده می‌شود. داده‌های شمارش از توزیع پواسون پیروی می‌کنند که دارای انحراف مثبت است و معمولاً دارای نسبت زیادی از صفر است. تبدیل لگاریتمی می‌تواند توزیع را خطی کند، بنابراین تابع پیوند $\log$ است. سپس نرخ نتیجه ورود به سیستم به عنوان تابعی خطی از مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌کننده‌ها بیان می‌شود.

در نهایت با توجه به توضیحات داده شده در متن و ساختار اطلاعات دریافتی برای این پژوهش مقرر شد مدل رگرسیون زیر برای قطعات حادثه خیز به منظور پیش‌بینی تعداد تصادفات از پارامترهای هندسی راه استفاده می‌شود.

$$\log(\hat{Y}) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

جایی که β_p میزان تغییر در لگاریتم تعداد پیش‌بینی‌شده رویدادها را برای تغییر واحد در X_p منعکس می‌کند [۱۸].

۶- تجزیه و تحلیل

در این بخش معناداری روابط بین متغیرهای مستقل تحقیق یعنی پارامترهای هندسی راه با متغیرهای وابسته تحقیق یعنی داده‌های فوتی، جرحی و خسارتی بررسی می‌شود. با توجه به اینکه داده‌ها توزیع غیرنرمال دارند، در این بخش از نرم افزار SPSS و همبستگی اسپیرمن و کندال استفاده شد. نتایج جدول ۴-۵ برای جاده چالوس نشان می‌دهد که برای میزان رخداد تصادفات جرحی با پارامترهای شیب، عرض خط، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۴، محدودیت سرعت، نوع منطقه، دسترسی به مسیر اصلی و موانع دید رابطه معناداری دارد. همچنین میزان رخداد تصادفات خسارتی با پارامترهای عرض خط، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۶، محدودیت سرعت و تعداد خطوط رابطه معناداری دارد. در نهایت میزان رخداد تصادفات فوتی تنها با پارامتر عرض خط در آزمون Spearman's rho رابطه معناداری دارد.

جدول ۱- بررسی روابط متغیرها با استفاده از همبستگی اسپیرمن و کندال - قطعات حادثه خیز جاده چالوس

Spearman's rho			Kendall's tau_b				
تصادفات خسارتی	تصادفات فوتی	تصادفات جرحی	تصادفات خسارتی	تصادفات فوتی	تصادفات جرحی		
۰.۰۹۱	۰.۱۴۸	۱.۰۰۰	۰.۰۶۸	۰.۱۳۰	۱.۰۰۰	ضریب همبستگی	تصادفات جرحی
۰.۴۸۸	۰.۲۵۴		۰.۴۸۴	۰.۲۴۵		معنی داری	
۰.۰۵۴	۱.۰۰۰	۰.۱۴۸	۰.۰۴۲	۱.۰۰۰	۰.۱۳۰	ضریب همبستگی	تصادفات فوتی
۰.۶۸۲		۰.۲۵۴	۰.۷۰۰		۰.۲۴۵	معنی داری	

تصادفات خسارتی	ضرب همبستگی	۰.۰۶۸	۰.۰۴۲	۱.۰۰۰	۰.۰۹۱	۰.۰۵۴	۱.۰۰۰
	معنی داری	۰.۴۸۴	۰.۷۰۰		۰.۴۸۸	۰.۶۸۲	
شیب	ضرب همبستگی	-۰.۲۲۲*	-۰.۰۷۹	۰.۰۵۱	-۰.۳۰۵*	-۰.۰۹۴	۰.۰۷۹
	معنی داری	۰.۰۱۹	۰.۴۵۷	۰.۵۷۷	۰.۰۱۷	۰.۴۷۱	۰.۵۴۷
عرض خط	ضرب همبستگی	۰.۲۱۲*	۰.۲۲۵	-۰.۲۸۵**	۰.۲۵۹*	۰.۲۵۲*	-۰.۳۵۹**
	معنی داری	۰.۰۴۲	۰.۰۵۵	۰.۰۰۵	۰.۰۴۴	۰.۰۵۰	۰.۰۰۵
فاصله دید	ضرب همبستگی	۰.۱۵۵	۰.۰۷۰	-۰.۱۲۶	۰.۱۸۸	۰.۰۷۲	-۰.۱۴۲
	معنی داری	۰.۱۵۸	۰.۵۷۳	۰.۲۳۹	۰.۱۴۸	۰.۵۷۹	۰.۲۷۴
ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۱	ضرب همبستگی	۰.۰۵۳	۰.۲۲۰	۰.۰۹۸	۰.۰۶۰	۰.۲۲۳	۰.۱۱۵
	معنی داری	۰.۶۴۰	۰.۰۸۴	۰.۳۷۳	۰.۶۴۴	۰.۰۸۴	۰.۳۷۷
ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۲	ضرب همبستگی	۰.۰۳۸	-۰.۲۰۲	۰.۲۱۴	۰.۰۴۳	-۰.۲۰۴	۰.۲۵۲
	معنی داری	۰.۷۳۷	۰.۱۱۳	۰.۰۵۱	۰.۷۴۰	۰.۱۱۴	۰.۰۵۰
ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۳	ضرب همبستگی	-۰.۱۰۸	-۰.۰۶۷	-۰.۰۲۶	-۰.۱۲۴	-۰.۰۶۸	-۰.۰۳۱
	معنی داری	۰.۳۳۸	۰.۵۹۸	۰.۸۱۱	۰.۳۴۲	۰.۶۰۳	۰.۸۱۴
ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۴	ضرب همبستگی	۰.۲۳۰*	۰.۰۹۲	-۰.۱۹۵	۰.۲۶۳*	۰.۰۹۳	-۰.۲۲۹
	معنی داری	۰.۰۴۲	۰.۴۷۰	۰.۰۷۶	۰.۰۴۱	۰.۴۷۵	۰.۰۷۶
ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۵	ضرب همبستگی	-۰.۱۴۲	۰.۰۳۹	-۰.۰۹۹	-۰.۱۶۲	۰.۰۴۰	-۰.۱۱۶
	معنی داری	۰.۲۱۰	۰.۷۵۷	۰.۳۶۹	۰.۲۱۳	۰.۷۶۰	۰.۳۷۴
ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۶	ضرب همبستگی	-۰.۰۵۲	-۰.۱۰۳	۰.۲۲۷*	-۰.۰۵۹	-۰.۱۰۵	۰.۲۶۷*
	معنی داری	۰.۶۴۸	۰.۴۱۷	۰.۰۳۹	۰.۶۵۲	۰.۴۲۲	۰.۰۳۸
محدودیت سرعت	ضرب همبستگی	۰.۲۸۴**	۰.۰۸۸	-۰.۲۷۲**	۰.۳۵۸**	۰.۰۹۷	-۰.۳۴۸**
	معنی داری	۰.۰۰۶	۰.۴۴۸	۰.۰۰۶	۰.۰۰۵	۰.۴۵۹	۰.۰۰۶
تداخل دو قوس	ضرب همبستگی	-۰.۱۰۷	-۰.۰۲۹	۰.۱۸۷	-۰.۱۲۲	-۰.۰۲۹	۰.۲۲۰
	معنی داری	۰.۳۴۷	۰.۸۲۰	۰.۰۸۹	۰.۳۵۱	۰.۸۲۲	۰.۰۸۹

مجاورت دو قوس	ضرب همبستگی	-۰.۱۵۱	-۰.۱۴۳	۰.۱۹۸	-۰.۱۷۳	-۰.۱۴۵	۰.۲۳۲
	معنی داری	۰.۱۸۱	۰.۲۶۲	۰.۰۷۲	۰.۱۸۴	۰.۲۶۵	۰.۰۷۱
نوع منطقه	ضرب همبستگی	*-۰.۲۶۱	۰.۰۲۵	-۰.۱۰۰	*-۰.۳۰۵	۰.۰۲۶	-۰.۱۲۳
	معنی داری	۰.۰۱۹	۰.۸۴۱	۰.۳۵۵	۰.۰۱۷	۰.۸۴۰	۰.۳۴۶
دسترسی به مسیر اصلی	ضرب همبستگی	*۰.۲۸۸	۰.۰۸۰	۰.۱۴۹	*۰.۳۲۸	۰.۰۸۱	۰.۱۷۵
	معنی داری	۰.۰۱۱	۰.۵۳۱	۰.۱۷۴	۰.۰۱۰	۰.۵۳۶	۰.۱۷۷
شرایط روشنایی جاده	ضرب همبستگی	-۰.۰۶۸	-۰.۱۰۹	-۰.۱۴۰	-۰.۰۸۱	-۰.۱۱۵	-۰.۱۷۲
	معنی داری	۰.۵۳۳	۰.۳۷۱	۰.۱۸۶	۰.۵۳۴	۰.۳۷۶	۰.۱۸۶
تعداد خطوط	ضرب همبستگی	۰.۱۹۶	۰.۱۹۴	*-۰.۲۵۱	۰.۲۲۳	۰.۱۹۷	*-۰.۲۹۵
	معنی داری	۰.۰۸۴	۰.۱۲۷	۰.۰۲۲	۰.۰۸۴	۰.۱۲۸	۰.۰۲۱
موانع دید	ضرب همبستگی	*-۰.۲۳۷	-۰.۲۲۱	۰.۲۰۳	*-۰.۲۷۰	-۰.۲۲۴	۰.۲۳۹
	معنی داری	۰.۰۳۶	۰.۰۸۳	۰.۰۶۴	۰.۰۳۵	۰.۰۸۲	۰.۰۶۴
	N	۶۱	۶۱	۶۱	۶۱	۶۱	۶۱
** همبستگی در سطح ۱٪ (۲ دنباله) معنی دار است.							
* همبستگی در سطح ۵٪ (۲ دنباله) معنی دار است.							

۷- نتایج مدل رگرسیون برای قطعات حادثه خیز

۷-۱- محور چالوس-تصادفات جرحی

در جدول ۲، مدل پواسون پیش‌بینی تصادفات جرحی در محور چالوس مشاهده می‌گردد که به لحاظ معناداری کل مدل در سطح قابل قبولی قرار دارد، به عبارت دیگر با توجه به اینکه سطح معناداری مدل از ۵٪ کوچکتر بوده در نتیجه معناداری مدل در سطح قابل قبولی قرار دارد.

جدول ۲- آزمون خی دو در بررسی معناداری مدل رگرسیون

Sig.	df	Likelihood Ratio Chi-Square
.۰۰۰	۷	۳۲.۶۰۷

جدول ۳- نتایج معناداری متغیرهای مستقل در رگرسیون پواسون

Exp(B)	آزمون فرضیه			فاصله اطمینان ۹۵٪		انحراف خطا	ضریب بتا	پارامتر
	سطح معناداری	درجه آزادی	خی دو والد	حد بالا	حد پایین			
۳۸.۴۱۴	.۰۰۵	۱	۷.۸۲۷	۶.۲۰۴	۱.۰۹۳	۱.۳۰۴۱	۳.۶۴۸	مقدار ثابت
.۸۶۶	.۴۱۳	۱	.۶۷۰	.۲۰۰	-.۴۸۷	.۱۷۵۴	-.۱۴۴	ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۵
۱.۰۰۹	.۰۹۶	۱	۲.۷۷۶	.۰۲۰	-.۰۰۲	.۰۰۵۵	.۰۰۹	محدودیت سرعت
.۶۸۱	.۰۰۴	۱	۸.۱۴۲	-.۱۲۰	-.۶۴۷	.۱۳۴۴	-.۳۸۳	نوع منطقه
۱.۴۵۴	.۰۳۱	۱	۴.۶۷۹	.۷۱۴	.۰۳۵	.۱۷۳۲	.۳۷۵	دسترسی به مسیر اصلی
.۷۴۹	.۳۱۱	۱	۱.۰۲۶	.۲۷۰	-.۸۴۹	.۲۸۵۵	-.۲۸۹	موانع دید
.۹۳۴	.۰۴۱	۱	۳.۲۵۲	.۰۰۶	-.۱۴۲	.۰۳۷۸	-.۰۶۸	شیب
.۶۴۳	.۱۸۳	۱	۱.۷۷۲	.۲۰۹	-.۱۰۹۳	.۳۳۲۲	-.۴۴۲	عرض خط

با توجه به نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود متغیرهای نوع منطقه، دسترسی به مسیر اصلی و شیب دارای سطح معناداری کوچکتر از ۵٪ بوده در نتیجه تأثیر معنادار دارند. به عبارت دیگر نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد مهم‌ترین متغیرهای مستقل در مدل پواسون تصادفات منجر به جرح عبارت‌اند: از نوع منطقه، دسترسی به مسیر اصلی و شیب.

۷-۲- محور چالوس-تصادفات فوتی

در جدول ۴، مدل پواسون پیش‌بینی تصادفات فوتی در محور چالوس مشاهده می‌گردد که به لحاظ معناداری کل مدل در سطح قابل قبولی قرار دارد، به عبارت دیگر با توجه به اینکه سطح معناداری مدل از ۵٪ کوچکتر بوده در نتیجه معناداری مدل در سطح قابل قبولی قرار دارد.

جدول ۴- آزمون خی دو در بررسی معناداری مدل رگرسیون

Sig.	df	Likelihood Ratio Chi-Square
.۰۴۶	۱	۱۴.۱۵۴

جدول ۵- نتایج معناداری متغیرهای مستقل در رگرسیون پواسون

Exp(B)	فاصله اطمینان ۹۵٪					انحراف خطا	ضریب بتا	پارامتر
	سطح معناداری	درجه آزادی	خی دو والد	حد بالا	حد پایین			
.۱۳۵	.۲۵۱	۱	۱.۳۱۷	۱.۴۲۰	-۵.۴۳۲	۱.۷۴۸۱	-۲.۰۰۶	مقدار ثابت
۱.۲۲۸	.۰۴۶	۱	۱۴.۱۷۹	۱.۱۵۷	-۷.۷۴۶	.۴۸۵۶	.۲۰۶	عرض خط

با توجه به نتایج جدول ۵ مشاهده می‌شود متغیر عرض خط دارای سطح معناداری کوچکتر از ۵٪ بوده در نتیجه تأثیر معنادار دارند. به عبارت دیگر نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد مهم‌ترین متغیرهای مستقل در مدل پواسون تصادفات منجر به فوت عبارت اند از: عرض خط.

۳-۷- محور چالوس-تصادفات خسارتی

در جدول ۷ مدل پواسون پیش‌بینی تصادفات خسارتی در محور چالوس مشاهده می‌گردد که به لحاظ معناداری کل مدل در سطح قابل قبولی قرار دارد، به عبارت دیگر با توجه به اینکه سطح معناداری مدل از ۵٪ کوچکتر بوده در نتیجه معناداری مدل در سطح قابل قبولی قرار دارد.

جدول ۶- آزمون خی دو در بررسی معناداری مدل رگرسیون

Sig.	df	Likelihood Ratio Chi-Square
.۰۰۰	۴	۴۵.۹۵۴

جدول ۷- نتایج معناداری متغیرهای مستقل در رگرسیون پواسون

Exp(B)	آزمون فرضیه			فاصله اطمینان %۹۵		انحراف خطا	ضریب بتا	پارامتر
	سطح معناداری	درجه آزادی	خی دو والد	حد بالا	حد پایین			
۷۶.۶۷۹	.۰۰۰	۱	۲۴.۸۳۳	۶.۰۴۶	۲.۶۳۳	.۸۷۰۸	۴.۳۴۰	مقدار ثابت
.۵۴۴	.۰۱۷	۱	۵.۶۷۴	-۱.۰۸	-۱.۱۱۱	.۲۵۶۰	-۶۱۰	عرض خط
۱.۱۵۸	.۰۲۷	۱	۸.۲۰۱	.۴۰۹	-۱.۱۱۶	.۱۳۳۹	.۱۴۷	ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۶
.۹۸۷	.۰۰۲	۱	۹.۸۹۹	-۰.۰۵	-۰.۲۱	.۰۰۴۱	-۰.۱۳	محدودیت سرعت
۱.۰۴۵	.۸۰۴	۱	.۰۶۱	.۳۹۵	-۰.۳۰۶	.۱۷۹۰	.۰۴۴	تعداد خطوط

با توجه به نتایج جدول ۷ متغیرهای عرض خط، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۶، محدودیت سرعت دارای سطح معناداری کوچکتر از ۵٪ بوده در نتیجه تأثیر معنادار دارند. به عبارت دیگر نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد مهم‌ترین متغیرهای مستقل در مدل پواسون تصادفات منجر به خسارت عبارت اند از عرض خط، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۶، محدودیت سرعت.

۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش در ابتدا پیشینه تحقیق به صورت جامع مورد بررسی قرار گرفت. سپس پارامترهای هندسی راه انتخاب شد. در ابتدا توضیحات مرتبط با مطالعه موردی ارائه شد. این مطالعه یعنی "ارائه مدل تأثیر عوامل طرح هندسی راه بر ایمنی جاده (مطالعه موردی محور: کندوان)" توانست با مدل رگرسیون تعداد تصادفات را برای قطعات حادثه خیز پیش‌بینی کند. همچنین این تحقیق توانست سوالات زیر را پاسخ دهد:

- عوامل طرح هندسی راه موثر بر ایمنی جاده چیست؟
- رابطه بین عوامل طرح هندسی راه با ایمنی جاده چگونه است؟
- عوامل طرح هندسی راه موثر بر ایمنی جاده چیست؟

۸-۱- پیشنهادهای کاربردی

در این تحقیق با بررسی‌های صورت گرفته در پیشینه تحقیق و مطالعه موردی پارامترهای هندسی راه شامل: شیب، عرض خط، فاصله دید، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۱، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۲، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۳، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۴، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۵، ویژگی‌های تراز افقی و قائم - حالت ۶، محدودیت سرعت، تداخل دو قوس، مجاورت دو قوس، نوع منطقه، دسترسی به مسیر اصلی، شرایط روشنایی جاده، تعداد خطوط و موانع دید انتخاب شد.

رابطه بین عوامل طرح هندسی راه با ایمنی جاده چگونه است؟ برای بررسی رابطه بین عوامل طرح هندسی راه با ایمنی جاده، وجود رابطه معنادار بین پارامترهای هندسی و تصادفات مختلف برای تمامی قطعات راه و قطعات حادثه‌خیز برای جاده بین‌شهری چالوس، به تفکیک تهیه شد.

۸-۲- پیشنهاد برای تحقیقات آتی

برای تحقیقات آتی، استفاده از ساختارهای متفاوت قطعه‌بندی راه و بررسی تأثیر آنها در نتایج پیشنهاد می‌شود. همچنین می‌توان امکان استفاده از مدل‌های داده‌کاوی مانند: شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم را برای پیش‌بینی تعداد تصادفات از پارامترهای هندسی راه بررسی نمود.

توضیحات

1. Super-elevation

مرجع‌ها

[۱] ابوطالبی اصفهانی، محسن؛ رحیمی، امیرمسعود؛ سعیدی، سهیلا (۱۳۹۸). شناسایی و اولویت بندی عوامل مؤثر در تصادفات جرحی تقاطع‌های چهارشاخه چراغ دار (مطالعه

- موردی: شهر اصفهان). ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، دوره ۷، شماره ۲، صص ۱۰۶-۱۲۲.
- [۲] احدی، محمدرضا؛ اعتمادزاده، سیدرامین (۱۳۹۲). تاثیر پارامترهای طرح هندسی بر افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده ای (مطالعه موردی محور ساری-کیاسر). ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، دوره ۱، شماره ۳، صص ۱۰۲-۱۵۵.
- [۳] پور پردستی، رسول (۱۳۹۵). تاثیر پارامترهای طرح هندسی بر افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده ای (مطالعه موردی محور اردبیل - مشکین شهر)، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- [۴] رحیم اف، کامران؛ فرهادی کیا، سجاد؛ محبوب، امین (۱۳۹۵). بررسی تاثیر مشخصات طرح هندسی راه بر تخلفات رانندگی، سومین کنفرانس ملی توسعه علوم مهندسی، تنکابن، <https://civilica.com/doc/543694>.
- [۵] رحیم اف، کامران؛ حیدرزاده، جواد (۱۳۹۲). بررسی تاثیر پارامترهای طراحی هندسی راه بر نرخ تصادف جاده ای، همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاوردهای نوین، کرج، <https://civilica.com/doc/255382>.
- [۶] سروری، علیرضا؛ طباطبایی، سید عباس؛ سروری، سعید (۱۳۹۱). بررسی تاثیر هندسه راه و حجم ترافیک بر روی نرخ تصادف در جاده های روستایی استان ایلام، دوازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، <https://civilica.com/doc/200399>.
- [۷] سروری، سامان (۱۳۹۵). بررسی تاثیر عوامل انسانی و طرح هندسی راه بر نقاط حادثه خیز با استفاده از GIS (بررسی موردی: محور سنندج کامیاران)، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- [۸] شیرزادی، علی (۱۳۹۶). بررسی تاثیر طرح هندسی مسیر و کاربری های اطراف جاده بر ایمنی راه ، مطالعه موردی: کمربندی شرقی ایلام، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- [۹] شیرمحمدی، حمید؛ مظاهری، مهدی (۱۳۹۳). بررسی تاثیر طرح هندسی راه بر وقوع تصادفات جاده ای، اولین همایش ملی افق های نوین در توانمند سازی و توسعه پایدار معماری، عمران، گردشگری، انرژی و محیط زیست شهری و روستایی، همدان، <https://civilica.com/doc/293121>.
- [۱۰] عبداللهی، رقیه؛ حق شناس، حسین؛ ریخته گران، ریحانه (۱۳۹۸). مدل سازی همزمان تاثیر عوامل هندسی، توپوگرافی و دسترسی راه در تصادفات راه های برون شهری با عامل

- سازی و رگرسیون خطی تعمیم یافته (مطالعه موردی: راه‌های استان کرمان). فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۱، شماره ۱، صص ۱-۲۰.
- [۱۱] عراقی، مرتضی؛ ناییبی، فری؛ علی؛ عباسی، احسان (۱۳۹۶). مطالعه تأثیر حجم ترافیک و طرح هندسی راه در رخداد تصادفات جاده ای (مطالعه موردی: جاده بیرجند - در میان خراسان جنوبی)، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران، <https://civilica.com/doc/709830>.
- [۱۲] فرج زاده، منوچهر؛ قلی زاده، محمدحسین؛ ادبی فیروزجایی، عظیم (۱۳۸۹). تحلیل فضایی تصادفات جاده ای با رویکرد مخاطرات اقلیمی مطالعه موردی: محور کرج - چالوس. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۳۷-۵۲.
- [۱۳] قربانی، علی؛ مسعودی، مالک (۱۳۹۷). تأثیر طرح هندسی راه بر وقوع تصادفات جاده ای، سومین کنفرانس ملی معماری و شهرسازی ایران.
- [۱۴] نصرآزادانی، سیدمسعود؛ اکبرپور، علی (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر مشخصات هندسی و روسازی راه ها بر میزان تصادفات های جاده ای، مطالعه موردی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران، <https://civilica.com/doc/847588>.
- [15] Abdulrahman, S., Ademola, I.K., Rogo, K.U., and Ahmad, A.B.S.E. (2020). A Comparison of The Nigerian Road Traffic Crash Report Form with Other Selected Countries. *Bima Journal of Science and Technology* (2536-6041), 4(1), 222-231.
- [16] Alghafli, A., Mohamad, E., and Ahmed, A.Z. (2021). The effect of geometric road conditions on safety performance of Abu Dhabi road intersections. *Safety*, 7(4), 73.
- [17] Ambunda, O.R. (2021). Developing road crash prediction models to investigate the combination of effects of roadway conditions on national rural road crashes.
- [18] Brown, B.B., and Prinstein, M.J. (Eds.). (2011). *Encyclopedia of adolescence*. Academic Press.
- [19] Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., and Persaud, B. (2010). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry,

- consistency and context variables. *Accident Analysis & Prevention*, **42**(4), 1072-1079.
- [20] Das, D. (2022). Exploring the Linkage between Human Factors and Road Geometric Elements Influencing the Road Traffic Accidents on the National Roads of South Africa. In Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference (pp. 15-29). Springer, Singapore.
- [21] Dodge, Y. (2008). *The concise encyclopedia of statistics*. Springer Science & Business Media.
- [22] Hashemi, M. (2019). Influence of Roadway Characteristics in The Modeling of The Frequency of Roadway Departure Crashes on Two-Lane Two-Way State Roads (Doctoral dissertation, University of Hawai'i at Manoa).
- [23] Islam, M.H., Hua, L.T., Hamid, H., and Azarkerdar, A. (2019). Relationship of accident rates and road geometric design. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **357**(1), 012040.
- [24] Karimi, A., and Kashi, E. (2018). Investigating the effect of geometric parameters influencing safety promotion and accident reduction (Case study: Bojnurd-Golestan National Park road). *Cogent Engineering*, **5**(1), 1525812.
- [25] Karlaftis, M.G., and Golias, I. (2002). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. *Accident Analysis & Prevention*, **34**(3), 357-365.
- [26] Ma, M., Yan, X., Abdel-Aty, M., Huang, H., and Wang, X. (2010). Safety analysis of urban arterials under mixed-traffic patterns in Beijing. *Transportation Research Record*, **2193**(1), 105-115.
- [27] Nowakowska, M. (2010). Logistic models in crash severity classification based on road characteristics. *Transportation research record*, **2148**(1), 16-26.

- [28] Ramachandran, K.M., and Tsokos, C.P. (2020). *Mathematical statistics with applications in R*. Academic Press.
- [29] Rao, C.R., Miller, J.P., and Rao, D.C. (2011). Essential statistical methods for medical statistics. In *Handbook of Statistics: Epidemiology and Medical Statistics* (pp. 1–351). Elsevier Inc.
- [30] Sameen, M.I., and Pradhan, B. (2017). Assessment of the effects of expressway geometric design features on the frequency of accident crash rates using high-resolution laser scanning data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 733–747.
- [31] Solomon, D.H. (1964). Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle. US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [32] Sugiyanto, G., Prasetyo, Y.A., Indriyati, E.W., Yanto, Y., and Santi, M.Y. (2021). Determining of black spot location in Purbalingga Regency using road geometric approach. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 847(1), 012019.
- [33] Vayalamkuzhi, P., and Amirthalingam, V. (2016). Influence of geometric design characteristics on safety under heterogeneous traffic flow. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 3(6), 559–570.
- [34] WHO (2018). Global status report on road safety 2018: Summary.

جواد عاشوریان

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران

مازندران، نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نوشهر، گروه عمران.

رایانشانی: javad.ashouriyan@yahoo.com

حسن دیواندری

دکترای مهندسی عمران و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، گروه عمران.

رایانشانی: ha.divandari@iau.ac.ir