فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و دوم، شماره ۸۸، بهار ۱۴۰۱، ص. ۳۷-۲۵

بررسی اثر عوامل انسانی و محیطی بر شدت تصادف در بزرگراه‌های درون شهری (مطالعه موردی: بزرگراه بسیج و بزرگراه شهید بابایی)

محمد حکاکیان، کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران

سیدمحمدحسین دهناد (مسئول مکاتبات)، عضو هیئت علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم، قم، ایران

E-mail: M.dehnad@qom.ac.ir

چکیده

در این مطالعه رابطه شدت تصادف با عوامل محیطی شامل روشنایی هوا، وضعیت آب وهوا و شرایط سطح راه و همچنین ویژگی‌های راننده شامل سن راننده، جنسیت و تحصیلات بررسی شده است. مجموعاً ۱۰۹۲ خط داده از متغیرهای مورد بررسی با استفاده از نرم افزار مینی‌تب مدلسازی شده‌اند؛ با توجه به متغیرهای مستقل و وابسته، از دو نوع رگرسیون خطی و رگرسیون لجستیک ترتیبی برای مدلسازی رابطه بین عوامل وقوع تصادف و شدت تصادف بهره برده شده است. عکس سایر آزمون های آماری که P-value باید کمتر از ۰,۰۵ باشد، در خصوص تست های نکوئی برازش پیرسون و دیویانس باید مقادیر آن بالاتر از مقدار آستانه باشد. در اینجا هر دو مقادیری بسیار بیشتر از حد آستانه داشته اند و نشان دهنده تناسب مدل ساخته شده می‌باشد. در مقایسه با رگرسیون خطی که نکوئی برازش آن ۳ درصد است، رگرسیون لجستیک ترتیبی به مراتب برازش بهتری را ارائه کرده است که همین مسئله موید مناسب بودن این روش برای مسائل حمل و نقل و ایمنی در ترافیک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ترافیک، ایمنی، مدلسازی، تصادف

۱. مقدمه

با گسترش زندگی ماشینی و افزایش روزافزون ترافیک در شهرها، امروزه به سرعت بر تعداد و شدت تصادفات ترافیکی افزوده شده و ضایعات جانی و مالی ناشی از این تصادفات، بار سنگینی بر جامعه شهری تحمیل می‌نماید. بررسی عوامل مؤثر در تصادفات و ارائه مدل‌های برآورد نرخ تصادفات، تا حدود زیادی می‌تواند در کاهش احتمال وقوع آنها مؤثر باشد. با توجه به این که هزینه و عوارض هر تصادف تابع مستقیم شدت آن است، شناخت عواملی که باعث تشدید عوارض تصادفات می‌شوند از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به همین دلیل در مطالعات ایمنی ترافیک، تلاش بسیاری برای ارایهٔ مدل‌های شدت به عمل آمده است. عوامل بسیاری چون جنسیت، سن، نوع وسایل نقلیه درگیر، نحوه حرکت وسایل نقلیه در هنگام تصادف، سرعت حرکت و عوامل طرح هندسی راه و غیره که بر شدت تصادف تاثیرگذارند، قابل منظور کردن در مدل شدت هستند. مدلسازی شدت تصادفات برحسب پارامترهای مزبور، امکان پیش بینی وقوع یا عدم وقوع تصادفات نیازمند تجهیزات امدادرسانی، را فراهم می‌کند. همچنین با استفاده از این مدل، می‌توان به بررسی میزان تاثیر هر عامل در شدت بخشیدن به تصادفات پرداخت. چنین شناختی، تدوین برنامه‌های ایمن سازی تردد در جهت کاهش تبعات ناشی از تصادفات را ممکن خواهد کرد. امروزه استفاده از اطلاعات گردآوری شده درمورد پیشینه یک رخداد، برای مدل سازی پیش بینی آتی وقوع آن، متداول است.

رفتارهای راننده، مانند عدم توجه، خستگی، بی تجربگی و رفتار پرخطر به عنوان عواملی که در افزایش خطر تصادف و میزان آسیب اثر می‌گذارند، شناخته شده‌اند. خستگی راننده از عوامل مهم در تصادفات جاده‌ای به ویژه در جاده‌های بین شهری است. برآورد سهم خستگی راننده در تصادفات کشورهای توسعه یافته بین ٤ تا ۲۵ درصد متغیر است. مطالعه‌ای در استرالیا تخمین زده است که ۲۷ درصد تصادفات مناطق بین شهری ، مرتبط به خستگی است. همچنین سن راننده نیز نقش مهمی در علت تصادف دارد. یک راننده جوان می‌تواند در رانندگی بی تجربه باشد، در حالی که یک راننده مسن‌تر دارای زمان واکنش و ادراک بیشتر برای انواع حرکت در شرایط ایمن است. برای یک مسافر مسن‌تر، کاهش در عملکرد شناختی که به دلیل فرایند پیری میباشد، آسیب پذیری آنها را در برابر خطرات جاده‌ای افزایش می‌دهد.

راه و طرح هندسی بستر وقوع تصادفات رانندگی می‌باشد از این رو عامل مهمی‌در برآورد شدت می‌باشد. اثر عامل طرح هندسی راه بر شدت تصادف را می‌توان به زیرمجموعه هایی تقسیم کرد که عبارتند از: طول مسیر، مشخصات حاشیه راه، مشخصات عرض راه، قوس‌های قائم و افقی، مسافت دید و تقاطع‌ها و دسترسی‌ها. برای نمونه می‌توان اشاره نمود که سبقت گرفتن در جاده‌های برون شهری دو خطه بدون کمک مسیرهای عبور اضافی، یک کار رانندگی پیچیده است. در استرالیا، نازی نشان داد که سبقت گرفتن در حدود ۱۰ درصد از تصادفات جاده‌های دو خطه عاملی اصلی تصادف می‌باشد. این نرخ‌ها به مراتب بیشتر از ۳ تا ٤ درصد از چنین تصادفات در ایالات‌متحده آمریکا هستند که احتمالاً نشان‌دهنده طول بیشتر و سهم بیشتر جاده‌های چند خطه در آن کشور است.

در آلمان، نتایج تحقیقات خاطر نشان کردند که نزدیک به نیمی از تصادفات در جاده‌های برون شهری در بخش‌های منحنی و پیچ جاده رقم خوردند. در بریتانیا، دیده شد که از همه تصادفات در جاده‌های دو بانده، ۱۸,۵درصد روی قوس‌ها رخ داد. نرخ مشابهی در دانمارک یافت شد، که ۲۰ درصد از تمام جراحات و ۱۳ درصد از کل تلفات مربوط به قوس‌های افقی بوده است. در فرانسه، وضعیت بدتر است و ۲۱ درصد از همه کشته‌ها در این قوس‌های افقی اتفاق افتاده است. مقالات متعدد قوس‌های قائم را به عنوان عامل خطر تصادفات در جاده‌ها شناسایی کرده‌است. قوس‌های مقعر یا گنبدی در بزرگراه ها، به خصوص خارج شهری، می‌توانند به شدت فاصله دید را محدود کنند، گزارش

هایی از افزایش نرخ تصادفات در این مکان‌ها وجود دارد. مطالعه بر روی قوس‌های عمودی با فواصل توقف محدود انجام شد. نتایج نشان داد که کاهش فاصله دید موجب افزایش ریسک تصادف می‌شود، به خصوص هنگامی‌که یک خطر قابل توجه (مانند تقاطع یا منحنی افقی تیز) در نزدیکی قوس قائم وجود دارد.

اثرات فاصله دید را بر سرعت رانندگان بر روی مسیرهای تپه ماهور پر پیچ‌وخم در نیوزیلند بررسی شد. محقیقن دریافتند که درصد بالایی از رانندگان، از ٤٤ به ٨٢ درصد در بیش از ٦ منطقه مختلف، با سرعتی در حال حرکت هستند که امکان توقف با استفاده از فاصله دید موجود برایشان ممکن نبود. تعداد تصادفات قابل توجهی در مناطقی که سرعت فراتر از فاصله دید بود ثبت شده بود.

عوامل ترافیکی که ناشی از مشخصات کلی جریان ترافیکی هستند که می‌تواند روی شدت تصادف خودورها تاثیر بگذارد و می‌تواند به دو عامل سرعت و ترافیک جریان ترافیک تقسیم بندی شود. محققین انواع تصادفات جاده‌ای را در جاده‌ها در سوئد با حجم ترافیک تا ١١٠٠٠ وسیله نقلیه در روز را تجزیه و تحلیل کردند و مشخص کردند که نرخ تصادفات تک وسیله ای به علت افزایش حجم ترافیک کاهش‌یافته است در حالی که میزان تصادفات چند وسیله نقلیه افزایش‌یافته است.

مسئله دیگر در بسیاری از مسائل ایمنی، سرعت نسبی وسایل نقلیه درگیر در تصادفات است. این امر دارای پیامدهایی درخصوص احتمال و شدت تصادفات در جاده‌های روستایی می‌باشد. به عنوان مثال، یک واریانس بزرگ در سرعت خودرو در یک جریان ترافیک باعث افزایش درگیری وسایل نقلیه، تصادف‌های جلو به عقب و خطرات ناشی از سبقت‌های مکرر می‌شود، در حالی که سرعت بیشتر در زمان برخورد ، شدت مورد انتظار یک سانحه را افزایش می‌دهد. سرعت بالاتر هم احتمال تصادف و هم جدی بودن عواقب را افزایش می‌دهد. سرعت رانندگی بالاتر، پیش‌بینی‌پذیری را برای سایر کاربران جاده کاهش می‌دهد و همچنین توانایی راننده برای کنترل خودرو، تعامل با هندسه مسیر و یا مانور در اطراف موانع موجود در راه را کاهش می‌دهد. به همین دلیل احتمال خروج از جاده و یا ورود به جریان ترافیک مسیر مخالف را افزایش می‌دهد. سرعت بالاتر همچنین فاصله پیموده شده توسط یک وسیله نقلیه را در زمان واکنش راننده به یک خطر افزایش می‌دهد ، در نتیجه زمان موجود برای جلوگیری از برخورد را کاهش می‌دهد.

افندی‌زاده و رضایی‌مقدم در تحقیقی از مدل‌های آماری برای بررسی تصادفات درون‌شهری استفاده کرده‌اند. در این مدل، متغیرهای متوسط سرعت، میانگین تغییرات سرعت جریان در هر خط عبوری، عرض خط سواره‌رو و شیب راه، به‌عنوان متغیر مستقل و پیش‌بینی نرخ تصادفات (تعداد تصادفات در ساعت، تعداد تصادفات در کیلومتر و تعداد تصادفات در هر خط) به‌عنوان متغیرهای وابسته تعریف شده‌اند.

با توجه به گستردگی عوامل دخیل در وقوع و میزان شدت یک تصادف نتایج تحقیقات گرفته متفاوت و گاه متضاد با یکدیگر بوده‌اند. سلطانی سعی کرد تاثیر عوامل ترافیکی، محیطی، مشخصات جاده و عوامل انسانی گوناگون بر روی شدت تصادفات جاده ای را مشخص کند. شدت تصادفات بر اساس نوع برخورد و علت‌های انسانی تصادف مورد بررسی قرار گرفت و نوع برخورد و علت تصادفاتی که بیشترین شدت تصادف را به همراه دارد مشخص گردید. بر این اساس تصادفاتی که منجر به واژگونی وسیله نقلیه می‌گردد در بین انواع دیگر تصادف دارای شدت بیشتری می‌باشند. همچنین خستگی راننده در بین عوامل گوناگون منجر به شدیدترین تصادفات می‌گردد.

در پژوهشی، خاکی و همکاران تاثیر عوامل مختلفی از قبیل عوامل محیطی، مشخصات جاده و عوامل انسانی بر شدت تصادفات را بررسی کردند. در این پژوهش از مدل لاجستیک برای پیش بینی شدت تصادفات در محور الموت از راه‌های استان قزوین استفاده شده است. ٦٨٤ داده‌های تصادفاتمورد استفاده

قرار گرفت. نتایج نشان داد که شرایط روشنایی، نوع منطقه، نوع، نحوه و علت برخورد از عواملی موثر بر شدت تصادفات هستند. نقاط خاص و شناسایی شده ای به نام نقاط پرحادثه در راه‌ها وجود دارند که به علت شرایط هندسی و ترافیکی، میزان تصادفات جاده ای اعم از فوتی، جرحی و خسارتی در آن‌ها زیاد است. هدف از مطالعه کاویان پور و حقیقی، ارزیابی و در نهایت مدلسازی عوامل تاثیر گذار بر شدت تصادفات در نقاط پرحادثه استان مازندان می‌باشد. به همین منظور متغیرهای بررسی شده در این تحقیق که شامل روزهای هفته، نوع برخورد، نوع محور، روشنایی، ساعت وقوع تصادف و هندسه مسیر مربوط به تصادفات برون شهری و درون شهری در نقاط پرحادثه استان مازندران طی سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۳۹٤ میباشند، با استفاده از مدل لاجیت دوگانه تحلیل شده‌اند. بر اساس نتایج خروجی از مدل نهایی روز چهارشنبه، برخورد رخ به رخ وسایل نقلیه، واژگونی وسایل نقلیه، محور فرعی، بازه زمانی ١٦-٢٠ و مسیر دارای تقاطع و تقاطع قوس افزایش شدت تصادفات را به همراه داشته است.

پژوهش زاهدی و همکاران به بررسی رابطه بین شدت ناشی از تصادفات و عوامل موثر در وقوع تصادفات با استفاده از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی می‌پرداخت. برای این پژوهش از اطلاعات تصادف اداره ملی ایمنی ترافیک بزرگراه آمریکا استفاده گریده است. عواملی نظیر ویژگی‌های راننده، ویژگی‌های هندسی راه، ویژگی‌های وسیله نقلیه و شرایط محیطی به عنوان عوامل موثر روی سطوح مختلف شدت تصادف مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که استفاده از الگوریتم طبقه بندی کننده سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی نتایج با دقت بالا روی سطوح مختلف شدت می‌دهد. بررسی عوامل موثر بر شدت تصادفات با استفاده از تجزیه تحلیل حساسیت با استفاده از سیستم استنتاج عصبی نشان می‌دهد عواملی نظیر استفاده نکردن از کمربند ایمنی، مصرف الکل و دارو، سرعت غیرمجاز وسیله نقلیه، نداشتن ایربگ وسیله نقلیه، به ترتیب روی تصادفات فوتی موثر و عواملی نظیر سرعت غیرمجاز وسیله نقلیه، برخورد از نوع کنار وسیله نقلیه، استفاده نکردن از کمربند ایمنی روی تصادفات جرحی تاثیرگذار است و عواملی چون سرعت غیرمجاز وسیله نقلیه ، شرایط آب و هوایی، برخورد از کنار با وسیله نقلیه ، وجود تقاطع روی تصادفات خسارتی بیشترین تاثیر را دارد.

۲. روش تحقیق

در این مطالعه بعد از استحصال داده‌های تصادفات شامل شدت تصادف، شرایط راه، هندسه راه، نوع منطقه، روشنایی و وضعیت هوا و ...، تحلیل های اولیه آماری توصیفی و استنباطی بر روی آن‌ها انجام می‌گیرد تا به توزیع متغیرها نسبت به یکدیگر پی برده شود. سپس مدل آماری مناسب برای ارائه رابطه بین متغیرها انتخاب می‌شود. به عنوان مدل پایه جهت مقایسه، از رگرسیون خطی استفاده خواهد شد. سپس از یک روش آماری دیگر استفاده شده و با رگرسیون خطی مقایسه خواهد شد و همچنین به مشخصات مدل ارائه شده و اعتبار آن پرداخته می‌شود.

متغیرهای مستقل عبارتند از: روشنایی هوا، وضعیت آب و هوا یا شرایط سطح راه، سن و جنسیت راننده و سطح تحصیلات. برای متغیرهای وابسته، شدت تصادف نیز سه حالت جرحی، خسارتی و فوتی تقسیم می-شود. شکل زیر این متغیرها را نشان می‌دهد. شکل ۱ نشان می‌دهد که متغیرهای کیفی و اسمی چه زیر مجموعه‌ها و مقادیری دارند. متغیرهای استفاده شده را می‌توان از نظر کیفی و کمی نیز دسته بندی نمود. تمام متغیرها کیفی هستند و فقط متغیر سن کمی می‌باشد. از این رو در شکل ۱، متغیر سن دسته بندی نشده است.

مدل‌هایی که در این تحقیق استفاده می‌شوند، مدل رگرسیون خطی به عنوان پایه مدل‌سازی و مدل تابع لاجیت برای مقایسه نتیجه مدل رگرسیون خطی به کار گرفته می‌شوند. مدل لجستیک در مواقعی کاربرد دارد که متغیر وابسته به صورت پیوسته نبوده بلکه به صورت اسمی یا ترتیبی باشد که هر دو نشان دهنده کیفی بودن متغیر وابسته هستند.

شکل ۱. متغیرهای کیفی و کمی دخیل در مدلسازی

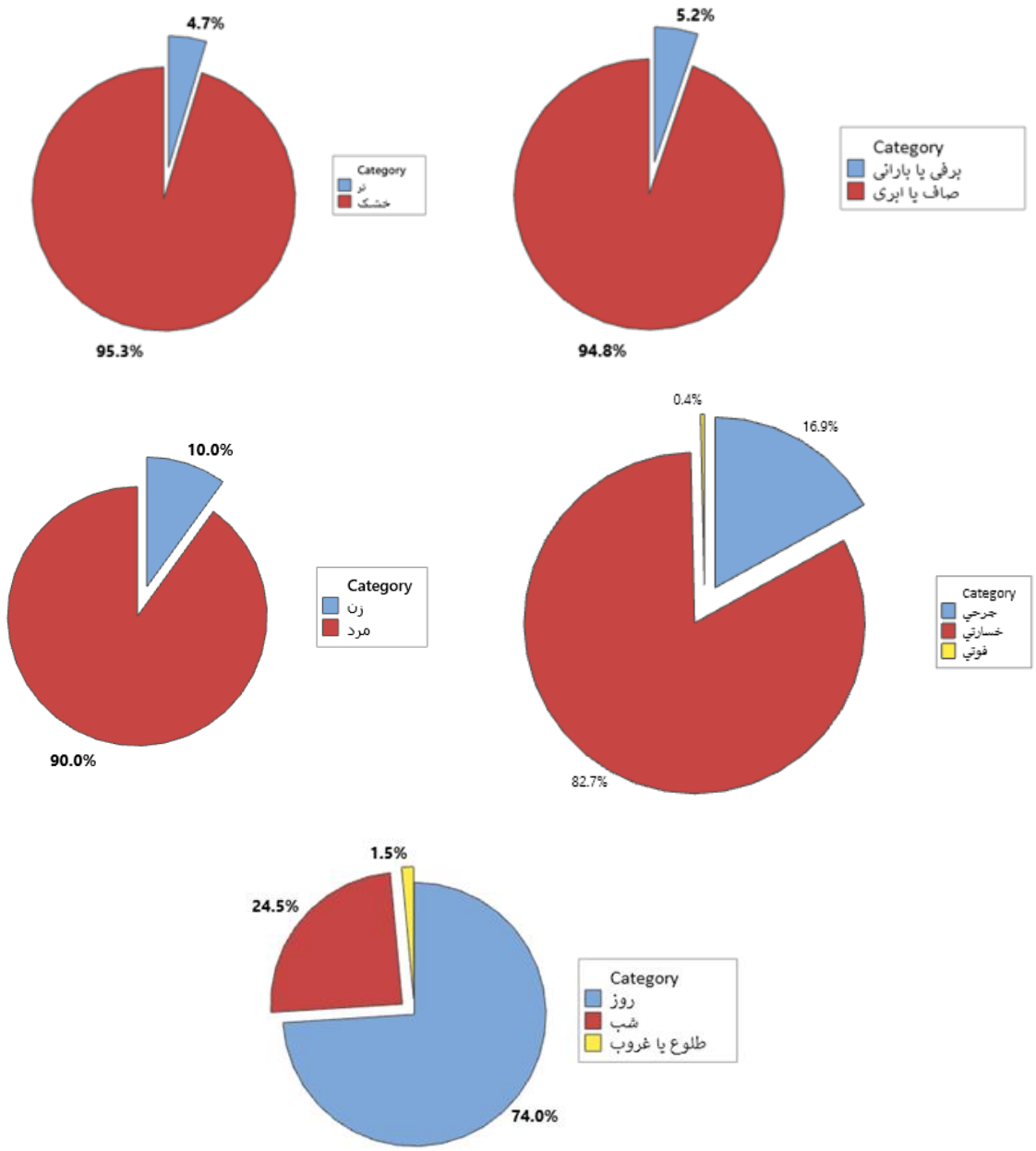
۳. جمع آوری داده و مدلسازی

در این تحقیق برای بررسی نقش عوامل تشدید تصادفات در بزرگراه‌های درون‌شهری از مدلسازی به روش رگرسیون های چند متغیره با ارزیابی داده های تردد و تصادفات در بزرگراه بسیج و بزرگراه شهید بابایی استفاده شده است. متغیر مستقل شدت تصادف شامل تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی می‌شد. همانطور که انتظار می‌رود درصد تصادفات خسارتی به مراتب بیشتر از سایر تصادفات بوده و تصادفات جرحی و فوتی در جایگاه بعدی قرار دارند (شکل ۲).

سن راننده نیز می‌تواند روی فرآیند تصمیم گیری تاثیر بگذارد از این رو این عامل نیز در متغیرهای مستقل لحاظ شده است. با توجه به اینکه این متغیر، تنها متغیر کمی است از دسته بندی آن صرف نظر شده است و داده های به صورت اولیه به کار برده شده است. توزیع سنی رانندگان از ۲۰ تا۷۰ سال بوده است.

۳-۱ آزمون های آماری

برای بررسی همبستگی بین متغیرها، از تست همبستگی اسپیرمن در نرم افزار Minitab استفاده شد. اعداد منفی نشان دهنده وجود رابطه معکوس بین متغیرهاست. با دور شدن مقادیر از صفر، رابطه متغیرها افزایش می‌یابد تا جایی که در مقدار یک، دو متغیر یکسان هستند.



شکل ۲. توزیع فراوانی داده های شدت تصادفات، وضعیت سطح راه، جنسیت، روشنایی و شرایط آب و هوایی

اگر همبستگی دو متغیر مستقل باهم زیاد باشد، می‌توان استنباط نمود که آن دو متغیر با هم رابطه داشته و عملاً یکی از آن‌ها متغیر مستقل است و دیگری متغیری وابسته به آن است. از این رو باید یکی را حذف کرد تا خللی در رگرسیون ایجاد نشود و از تکرار یک متغیر جلوگیری شود.

جدول ۱. ضرایب همبستگی متغیرهای مستقل

	سن	Recoded شدت تصادف	Recoded شرایط سطح راه	Recoded جنسیت	Recoded روشنایی	Recoded تحصیلات عالی
Recoded شدت تصادف	−۰,۱۱۲					
Recoded شرایط سطح راه	۰,۰۰۶	۰,۰۱۱				
Recoded جنسیت	۰,۰۹۸	۰,۰۷۲	۰,۰۱۶			
Recoded روشنایی	−۰,۱٤٥	۰,۱۱۳	۰,۱۲۲	−۰,۰۱٤		
Recoded تحصیلات عالی	۰,۰۱٤	۰,۰۷۳	۰,۰۳۷	۰,۱٥۱	۰,۰۰۲	
Recoded وضعیت هوا	۰,۰۲٤	۰,۰۲۰	***۰,۸٤٦***	۰,۰۲۳	۰,۰۹۲	۰,۰۲۳

نتایج رگرسیون لجستیک ترتیبی حاکی از آن است که متغیر وضعیت هوا تاثیر قابل توجهی در تغییرات شدت تصادفات ندارد، زیرا که مقدار P-value آن بیشتر از ۰,۰٥ یعنی ۰,٦۳۹ می‌باشد. این مسئله در رگرسیون خطی هم رویت شده بود و اینجا نیز تاکید شده است. از سوی دیگر سطح طلوع و غروب در متغیر روشنایی نیز دارای اهمیت آماری پایینی است و عدد آن ۰,٦۱۳ می‌باشد و باید حذف شود. ولی چون دو متغیر همزمان امکان حذف دارند باید بصورت گام به گام آن‌ها را حذف کرد تا بتوان اثرش بر دیگر متغیرها و سطوح را مشاهده نمود. به همین علت، ابتدا متغیر وضعیت هوا حذف می‌گردد و اگر باز هم متغیر یا سطحی وجود داشت که P-value آن مناسب نبود باید بررسی مجدد گردد. از این رو رگرسیون لجستیک ترتیبی دوباره و بدون در نظر گرفتن وضعیت هوا انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ دیده می‌شود.

جدول ۲. ضرایب رگرسیون لجستیک ترتیبی

					Odds Ratio	95% CI	
Predictor	**Coef**	**SE Coef**	**Z**	**P**		**Lower**	**Upper**
Const(1)	−۲,٥٥٤٥٥	۰,۷۰۳٥۲٦	−۳,٦۳	۰,۰۰۰			
Const(2)	٤,۸٦۸٤۸	۰,۸۳۰۸۸۱	٥,۸٦	۰,۰۰۰			
جنسیت							
مرد	۰,۷۱۹٥٦۷	۰,۳۲۹٦٦۲	۲,۱۸	۰,۰۲۹	۲,۰٥	۱,۰۸	۳,۹۲
سن	−۰,۰۲٥۰۲۷٥	۰,۰۰۷٤۱٤۳	−۳,۳۸	۰,۰۰۱	۰,۹۸	۰,۹٦	۰,۹۹
روشنایی							
شب	۰,٥۹۰۰۲۲	۰,۱۷۷۰۸٦	۳,۳۳	۰,۰۰۱	۱,۸۰	۱,۲۷	۲,٥٥
طلوع یا غروب	۰,۳۲٦٤۸۹	۰,٦٤٦۱٥۸	۰,٥۱	۰,٦۱۳	۱,۳۹	۰,۳۹	٤,۹۲
وضعیت هوا							
صاف یا ابری	***۰,۱۷٤۷۸۸***	***۰,۳۷۲۲۷۷***	***۰,٤۷***	***۰,٦۳۹***	***۱,۱۹***	***۰,٥۷***	***۲,٤۷***
تحصیلات عالی							
خیر	۰,۹۳٤۱۸٥	۰,٤۷۳۲٥٦	۱,۹۷	۰,۰٤۸	۲,٥٥	۱,۰۱	٦,٤۳

۳-۲ تفسیر ضرایب

رگرسیون لجستیک ترتیبی بسطی بر رگرسیون لجستیک باینری می‌باشد که در آن متغیر وابسته فقط دو سطح دارد. در ادامه به روند استحصال معادله نهایی رگرسیون لجستیک پرداخته می‌شود.

سطوح متغیر وابسته یا پاسخ: متغیر پاسخ ، در این تحقیق به سه سطح خسارتی، جرحی و فوتی دسته بندی شده بود. گرچه که متغیر پاسخ یک متغیر کیفی و در ظاهر اسمی بود ولی سطوح آن دارای رابطه از نظر شدت و میزان خسارت بودند. از این رو از رگرسیون لجستیک ترتیبی بهره برده شد. در اینجا به منظور راحتی کار و همچنین اجتناب از استفاده از اعداد به جای اسامی، که درک مسئله را می‌تواند دشوار کند، از سطوح به شکل اسمی بهره برده شد و به نرم افزار اجازه داده شد تا به صورت اتوماتیک سطوح را مرتب کند که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. ترتیب ورود متغیر پاسخ در ساخت رگرسیون

Variable	Value	Count
شدت تصادف	جرحی	۱۸۵
	خسارتی	۹۰۳
	فوتی	٤
	Total	۱۰۹۲

در رگرسیون لجستیک باینری، مدل ساخته شده همواره احتمال وقوع یک سطح را برآورد می‌کند که طبیعتاً احتمال مکمل آن نشان دهنده احتمال وقوع سطح دیگر است. در حالت رگرسیون لجستیک ترتیبی، بیش از دو سطح قرار دارد. از این رو نیاز است که یک سطح به عنوان پایه قرار داده شده و باقی سطوح متغیر پاسخ نسبت به آن سنجیده شود. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است سطوح به صورت جرحی، خسارتی و فوتی مرتب شده است و ترتیب آن‌ها در اینجا مهم است. اولین سطح ذکر شده به عنوان پایه در نظر گرفته می‌شود و مابقی سطوح بر اساس آن تخمین زده می‌شود. به عبارت دیگر معادله ای برای سطح شدت تصادف جرحی ارائه نمی‌شود بلکه احتمالات از دو معادله دیگر برای خسارتی و فوتی محاسبه شده و احتمال مکمل آن نشان دهنده احتمال وقوع تصادف جرحی است. پس می‌توان نتیجه گرفت که در مدل رگرسیون لجستیک ترتیبی نحوه و ترتیب وارد کردن سطوح متغیر پاسخ حائز اهمیت است.

سطوح متغیر مستقل یا عامل: توضیحاتی که در خصوص نحوه وارد کردن متغیر وابسته در نرم افزار و مدل در بند قبلی ارائه شد، اینجا نیز صادق و قابل تعمیم است. به جهت عدم نیاز به ارجاع به قسمت های پیشتر، جدول نتایج و ضرایب مدل ساخته شده در اینجا باز تکرار شده است. همانطور که پیشتر توضیح داده شد متغیر وضعیت سطح راه به دلیل همبستگی بالا با شرایط آب و هوایی حذف شد و شرایط هوایی نیز به دلیل اهمیت آماری پایین، بر اساس مقدار P-value، در مرحله مدلسازی حذف شد. جدول ٤ضرایب به دست آمده برای رگرسیون لجستیک ترتیبی را نشان می‌دهد.

جدول ٤. ضرایب رگرسیون لجستیک ترتیبی

					Odds Ratio	95% CI	
Predictor	Coef	SE Coef	Z	P		Lower	Upper
Const(1)	-۲,۳۷۸۳٦	۰,۵۹٤۱٦۷	-٤,۰۰	۰,۰۰۰			
Const(2)	٥,۰٤۳۲۱	۰,۷٤۲۹۲۹	٦,۷۹	۰,۰۰۰			
تحصیلات عالی							
خیر	۰,۹۳۱۲۳۱	۰,٤۷۳۱۱٦	۱,۹۷	۰,۰٤۹	۲,٥٤	۱,۰۰	٦,٤۱
روشنایی							
شب	۰,٥۸۱۸٥٥	۰,۱۷٦۲٥۲	۳,۳۰	۰,۰۰۱	۱,۷۹	۱,۲۷	۲,٥۳

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
طلوع یا غروب	*۰,۳۱۳۷۲۰*	*۰,٦٤٥٢٩٦*	*۰,٤۹*	*۰,٦۲۷*	*۱,۳۷*	*۰,۳۹*	*٤,۸٥*
سن	−۰,۰۲٥۰۹۲۸	۰,۰۰۷٤۰۸۲	−۳,۳۹	۰,۰۰۱	۰,۹۸	۰,۹٦	۰,۹۹
جنسیت							
مرد	۰,۷۱٦۸٤٤	۰,۳۲۹٥۱۰	۲,۱۸	۰,۰۳۰	۲,۰٥	۱,۰۷	۳,۹۱

قرار دادن یک سطح از یک متغیر به عنوان پایه یعنی اینکه آن را حذف کرده و عملاً مکمل باقی سطوح است. از این رو نرم افزار Minitab به جای آنکه سطح را در جدول ضرایب نشان دهد و ضریب آن را صفر قرار دهد، به طور کلی حذف کرده است. در برخی دیگر نرم افزارها ممکن است که سطوح دیگر نمایش داده شود ولی آن‌ها نیز ضریب را صفر قرار داده اند که با حذف آن تفاوتی ندارد. برای نمونه در متغیر مستقل روشنایی که سه سطح روز، طلوع یا غروب و شب وجود دارد. با توجه به اینکه ما روز را به عنوان اولین سطح در نرم افزار وارد کرده ایم، یعنی مقدار متناظر آن را یک قرار داده ایم، پس نرم افزار آن را به عنوان سطح پایه متغیر روشنایی فرض کرده و ضریبش را صفر قرار داده و از جدول حذف کرده است. مثال دیگر متغیر جنسیت است، که در آن زن به عنوان سطح پایه در نظر گرفته شده است و حذف گردیده است. با این توضیحات سطوح پایه در جدول ۵ زیر آمده است.

جدول ۵. سطوح پایه برای متغیرهای مدل رگرسیون لجستیک ترتیبی

متغیر مستقل	سطح پایه	متغیر مستقل	سطح پایه
روشنایی	روز	جنسیت	زن
تحصیلات عالی	بلی	سن	(متغیر کمی/ بدون سطح)

ضرایب رگرسیون لجستیک ترتیبی: جدول ٤ ضرایب را در ستون Coef نشان میدهد. از ضریب سطح طلوع یا غروب در متغیر مستقل روشنایی صرفنظر می‌شود زیرا P-value آن قابل قبول نیست. ضرایب در رگرسیون لجستیک ترتیبی باید همواره در ارتباط با سایر سطوح یک متغیر بررسی شود. برخلاف رگرسیون خطی در اینجا دو مقدار ثابت Constant(1) و Constant(2) در مدل تخمین زده شده است. این دو مقدار ثابت در مدل های مربوط به شدت تصادف خسارتی و فوتی، به ترتیب، استفاده می‌شوند. به عبارت دیگر هنگامی که مدلی با استفاده از ضرایب برای شدت تصادف خسارتی ساخته می‌شود از مقدار ثابت اولی و هنگامی که مدلی با استفاده از ضرایب برای شدت تصادف فوتی ساخته می‌شود از مقدار ثابت دومی بهره برده می‌شود.

سطح جرحی، به عنوان سطح پایه منظور شده و برای آن هیچ مدلی ساخته نمی‌شود و احتمال آن متناظر احتمال مکمل است. در تفسیر مقادیر ثابت اول و دوم باید آن‌ها را با حالت پایه مقایسه کرد. انتظار می‌رود که در حالت فوتی شدت تصادفات نسبت به حالت جرحی بیشتر باشد، از این رو ثابت دوم با مقدار ۵,۰۴۳ به مدل فوتی اضافه شده است(به عبارت دیگر ثابت مقداری مثبت دارد). در حالیکه در مدل تصادفات خسارتی که انتظار می‌رود شدت تصادفات نسبت به حالت پایه جرحی کمتر باشد، ثابت اول با مقدار ۲,۳۷۸− اضافه شده است(به عبارت دیگر این مقدار کاسته شده است). به این شکل چگونگی تاثیر انتخاب سطح پایه در متغیر پاسخ در ساخت مدل قابل مشاهده می‌شود. ضریب تحصیلات عالی،۰,۹۳۱۲، نشان می‌دهد که عدم وجود تحصیلات عالی باعث افزایش شدت تصادفات می‌شود زیرا که ضریب آن مثبت می‌باشد. با توجه به اینکه سطح وجود تحصیلات عالی در ضرایب وجود ندارد می‌توان گفت که این عامل تاثیری بر افزایش نداشته و عملاً عدم وجود تحصیلات تاثیر گذار است. زیرا که ضریب سطح وجود تحصیلات عالی صفر می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که مرد بودن راننده نیز

شدت تصادفات را افزایش می‌دهد زیرا ضریب آن مقدار مثبت ۰,۷۱۶۸ می‌باشد. در این جا نیز سطح جنسیت زن تاثیری بر افزایش یا کاهش تصادف نداشته است.

همانطور که انتظار می‌رود در حالت شب نسبت به حالت روز شدت تصادفات افزایش می‌یابد. ضریب مثبت، ۰,۵۸۱۸، سطح شب در عامل روشنایی نشان دهنده این مسئله است. همچنین نشان داده شده است که طلوع و غروب نیز می‌تواند نسبت به حالت روز شدت تصادف را افزایش دهد ولی با توجه به اینکه مقدار P-value آن بیشتر از ۰,۰۵ است پس ضریب آن قابل توجیه نبوده از آن صرفنظر می‌شود. به عبارت دیگر باید گفت که زمان طلوع یا غروب تاثیر قابل توجهی و مهمی بر شدت تصادفات ندارد.

تنها عامل یا متغیر مستقل کمی در این مدلسازی سن بوده است که اثر آن منفی ، ۰,۰۲۵۰-، می‌باشد. به عبارت دیگر با افزایش سن شدت تصادفات کاهش می‌یابد. البته مقدار تاثیر پذیری شدت تصادف از سن راننده بسیار کم بوده و در قیاس با سایر عوامل اثر کمتری دارد ولی با توجه به مقدار P-value باید در نظر گرفته شود. ضریب عامل سن نشان می‌دهد که راننده های با سن بیشتر کمتر در تصادفات شدید شرکت دارند که این مسئله می‌تواند ناشی از تجربه و احتیاط آن‌ها باشد.

استنباط احتمال رخ داد متغیر وابسته: روابط زیر نشان دهنده فرمول رگرسیون لجستیک می‌باشد. این شکل از فرمول نویسی برای حالت لجستیک ترتیبی و باینری یکسان است و تفاوت فقط در تعداد معادلات است که با توجه به سطوح متغیر پاسخ در اینجا باید دو معادله نوشته شود. معادله اول شباهت زیادی به رگرسیون خطی دارد که می‌توان ضرایب تخمین زده شده را در آن وارد کرد. معادله دوم چگونگی محاسبه احتمال وقوع یک رخداد با توجه به ضرایب برای هر سطح از متغیر وابسته یا پاسخ است.

$$Y_i = \log it(P_i) = LN\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \cdots + \beta_K X_{K,i}$$

$$P_i = \frac{EXP\left[\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \cdots + \beta_K X_{K,i}\right]}{1 + EXP\left[\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \cdots + \beta_K X_{K,i}\right]}$$

برای ساخت مدل نیاز است که متغیر X_i و ضریب β_i مشخص شده و نامگذاری شود. جدول ٦ به معرفی این ضرایب و متغیرها استفاده شده در دو مدل می‌پردازد.

جدول ٦. نحوه نمایش متغیرها و پارامترها در رگرسیون لجستیک ترتیبی

متغیر	سطح	نحوه نمایش در مدل	ضریب در مدل
شدت تصادف	خسارتی	$P_{khesarati}$	–
شدت تصادف	فوتی	P_{foti}	–
تحصیلات عالی	خیر	$X_{adam\text{-}tahsil}$	۰,۹۳
روشنایی	شب	X_{shab}	۰,۵۸
سن	–	X_{sen}	۰,۰۲۵-
جنسیت	مرد	X_{mard}	۰,۷۲
ثابت معادله	شدت تصادف خسارتی	–	۲,۳۸-
ثابت معادله	شدت تصادف فوتی	–	۵,۰٤

با استفاده از ضرایب بالا و متغیرها مدل حالت شدت خسارتی به صورت زیر می‌باشد.

$$Y_{khesarati} = -2.38 + 0.93 * X_{adam\text{-}tahsil} + 0.58 * X_{shab} - 0.025 * X_{sen} + 0.72 * X_{mard}$$

$$P_{khesarati} = \frac{e^{(-2.38 + 0.93 * X_{adam-tahsil} + 0.58 * X_{shab} - 0.025 * X_{sen} + 0.72 * X_{mard})}}{1 + e^{(-2.38 + 0.93 * X_{adam-tahsil} + 0.58 * X_{shab} - 0.025 * X_{sen} + 0.72 * X_{mard})}}$$

با اسـتفاده از ضرایب بالا و متغیرها مدل حالت شدت خسارتی به صورت زیر می‌باشد.

$$Y_{foti} = 5.04 + 0.93 * X_{adam\text{-}tahsil} + 0.58 * X_{shab} - 0.025 * X_{sen} + 0.72 * X_{mard}$$

$$P_{foti} = \frac{e^{(5.04 + 0.93 * X_{adam-tahsil} + 0.58 * X_{shab} - 0.025 * X_{sen} + 0.72 * X_{mard})}}{1 + e^{(5.04 + 0.93 * X_{adam-tahsil} + 0.58 * X_{shab} - 0.025 * X_{sen} + 0.72 * X_{mard})}}$$

احتمال وقوع تصادف جرحی که به عنوان سطح پایه متغیر شدت تصادف در نظر گرفته شده به صورت مکمل احتمال تصادف خسارتی و فوتی باید محاسبه شود. باید توجه داشت که احتمالات بالا هر کدام به صورت جداگانه نسبت به سطح پایه محاسبه می‌شود. برای نمونه اگر $P_{khesarati}=0.7$ و $P_{foti}=0.4$ محاسبه شود هیچ اشتباهی رخ نداده است و نباید مجموع احتمال این دو یک شود. زیرا هر کدام به صورت جداگانه نسبت به سطح شدت تصادف جرحی سنجیده شده است. در حالت رگرسیون لجستیک ترتیبی نیز احتمالات به صورت باینری و دوتایی محاسبه می‌شود زیرا رگرسیون لجستیک بسطی بر رگرسیون لجستیک باینری است با تعدد معادلات.

مقدار ۰,۷ احتمال تصادف خسارتی نشان می‌دهد که هنگامی احتمال تصادف خسارتی با تصادف جرحی مقایسه شود این مقدار صحیح است. پس از منظر تصادف خسارتی احتمال رخ دادن تصادف جرحی ۳۰ درصد است. به همین صورت از منظر تصادف فوتی نیز احتمال وقوع تصادف جرحی ٦۰ درصد است، زیرا که احتمال تصادف فوتی ٤۰ درصد بوده است. پس نیازی نیست که مجموع احتمالات در اینجا مقدار یک شود. حال این سوال مطرح است که در نهایت کدام نوع از شدت تصادف محتمل تر است تا بتوان تصمیم بر اساس آن اتخاذ کرد. برای این مسئله باید معادلات زیر را حل کرد.

$$\Phi_{khesarati} = \Phi_{jarhi} * \lambda_{jarhi/khesarati}$$
$$\Phi_{foti} = \Phi_{jarhi} * \lambda_{jarhi/foti}$$
$$\Phi_{khesarati} + \Phi_{jarhi} + \Phi_{foti} = 1$$

$\Phi_{khesarati}$: احتمال کلی وقوع شدت تصادف خسارتی

Φ_{foti}: احتمال کلی وقوع شدت تصادف فوتی

Φ_{jarhi}: احتمال کلی وقوع شدت تصادف جرحی

$\lambda_{jarhi/khesarati}$: نسبت احتمال وقوع جرحی (سطح پایه) به شدت تصادف خسارتی

$\lambda_{jarhi/foti}$: نسبت احتمال وقوع جرحی (سطح پایه) به شدت تصادف فوتی

معادله آخر نشان می‌دهد که در نهایت احتمال تمام سطوح شدت تصادف باید مقدار واحد شود. حال با استفاده از مثالی که بالاتر بیان شده بود به حل فوق پرداخته می‌شود تا احتمال نهایی محاسبه شود.

$\Phi_{khesarati} = \Phi_{jarhi} * \lambda_{jarhi/khesarati} \rightarrow \Phi_{khesarati} = \Phi_{jarhi} * 0.7/0.3 \rightarrow \Phi_{khesarati} = \Phi_{jarhi} * 2.3$

$\Phi_{foti} = \Phi_{jarhi} * \lambda_{jarhi/foti} \rightarrow \Phi_{foti} = \Phi_{jarhi} * 0.4/0.6 \rightarrow \Phi_{foti} = \Phi_{jarhi} * 0.7$

$\Phi_{khesarati} + \Phi_{jarhi} + \Phi_{foti} = 1 \rightarrow \Phi_{jarhi} * 2.3 + \Phi_{jarhi} + \Phi_{jarhi} * 0.7 = 1 \rightarrow \Phi_{jarhi} = 0.25$

$\Phi_{khesarati} = \Phi_{jarhi} * 2.3 \rightarrow \Phi_{khesarati} = 0.25 * 2.3 = 0.575$

$\Phi_{foti} = \Phi_{jarhi} * 0.7 \rightarrow \Phi_{foti} = 0.25 * 0.7 = 0.175$

پس احتمال نهایی شدت تصادف خسارتی ۰,۵۷۵، شدت تصادف جرحی ۰,۲۵ و شدت تصادف فوتی ۰,۱۷۵ است. همانطور که مشاهده می‌شود مجموع این سه احتمال یک می‌شود.

٤. نتیجه‌گیری

با توجه به معادلات استخراج شده، می‌توان نتیجه گرفت که تمام متغیرهای مفروض به جز وضعیت آب و هوا در مدل نهایی وجود دارند. پس رابطه معنا داری بین آن‌ها و متغیر وابسته است. در نهایت در مدلسازی دو متغیر شرایط آب و هوا و وضعیت سطح راه حذف شدند. اول آنکه می‌توان این گونه استنباط نمود که این دو متغیر عملا یک متغیر هستند به همین دلیل حذف یکی می‌تواند علت حذف دیگری نیز باشد. حذف آن‌ها نشان می‌دهد که تغییراتشان بر شدت تصادف تاثیری ندارد در حالیکه شرایط

آب و هوایی و وضعیت سطح راه بر بسیاری از عوامل مانند دید راننده، اصطکاک خودروها، سرعت وسایل نقلیه و ... تاثیر گذار باشد. می‌توان این گونه استنباط نمود که شرایط آب و هوایی تاثیر بسیار زیادی بر روی نحوه رانندگی و رفتار رانندگان دارد و از این رو رانندگان نسبت به آن بسیار هشدار و حساس هستند. رانندگان می‌دانند که در شرایط آب و هوایی مختلف مانند باران سطح راه لغزنده می‌شود و کاملاً محتاطانه با آن برخورد می‌کنند. به عبارت دیگر اثر وضعیت آب و هوا و سطح راه آن چنان زیاد است که رانندگان با حساسیت و احتیاط فراوان با آن برخورد می‌کنند تا از تصادف جلوگیری کنند. شاید اگر مسئله فراوانی تصادف بود آنگاه این عامل می‌توانست تاثیر گذار باشد زیرا به صورت شهودی نیز مشاهده می‌شود که در شرایط بارانی تعدد تصادفات افزایش می‌یابد ولی شدت آن به نسبت تعداد افزایش نیافته بلکه می‌تواند کاهش نیز بیابد. از این رو می‌توان فرض اولیه در خصوص تاثیر آب و هوا و بارش بر شدت رانندگی را تایید کرد که توسط احتیاط رانندگان خنثی می‌شود.

۵. مراجع

– ش. افندی زاده و ف. رضایی مقدم, "مدلسازی نرخ تصادفات برای انواع بزرگراههای درون شهری (مطالعه موردی شهر تهران)," سومین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه تبریز, تبریز, ۱۳۸٦.

– ن. سلطانی و ن. سلطانی, "مدلسازی شدت تصادفات در جاده های برون شهری," چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک . معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک, تهران, ۱۳۹٤.

– ع. منصورخاکی, س. مرتضایی, ف. یزدی پناه و م. شهری, "طراحی مدل لاجستیک شدت تصادفات در راه های برون شهری (مطالعه موردی: محور الموت در استان قزوین)," هفدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک. معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک, تهران, ۱۳۹٦.

– ش. کاویان پور و ف. حقیقی, "ارزیابی شدت تصادفات در نقاط پرحادثه (حادثه خیز)," هفدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک. معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک, تهران, ۱۳۹٦.

– م. زاهدی, ع. فتحی, ر. سبحانی فرد, ق. گودرزی, "طبقه بندی و بررسی عوامل موثر بر شدت تصادفات ترافیکی با استفاده از سیستم استنتاج عصبی– فازی تطبیقی," هفدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک. معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک, تهران, ۱۳۹٦.

- K. M. Kockelman and Y.-J. Kweon, "Driver injury severity: an application of ordered probit models," Accid. Anal. Prev., vol. 34, no. 3, pp. 313–321, 2002.

- J. M. Morales et al., "Monitoring driver fatigue using a single-channel electroencephalographic device: A validation study by gaze-based, driving performance, and subjective data," Accid. Anal. Prev., vol. 109, pp. 62–69, 2017.

- N. H. T. S. Administration, "National motor vehicle crash causation survey: Report to congress," Natl. Highw. Traffic Saf. Adm. Tech. Rep. DOT HS, vol. 811, p. 59, 2008.

- Z. Hans, R. Souleyrette, and C. Bogenreif, "Horizontal curve identification and evaluation," 2012.

- Y. Hassan and S. M. Easa, "Design considerations of sight distance red zones on crest curves," J. Transp. Eng., vol. 124, no. 4, pp. 343–352, 1998.

- N. Mehaibes, "The Comparison between IHSDM and NSM to Assess the Safety Performance of Two-Lane Rural Roads." Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften» Bauwissenschaften» Bauingenieurwesen» Straßenbau und Verkehrswesen, 2012.

- J.-L. Martin, "Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways," Accid. Anal. Prev., vol. 34, no. 5, pp. 619–629, 2002.

- R. Elvik, "Speed limits, enforcement, and health consequences," Annu. Rev. Public Health, vol. 33, pp. 225–238, 2012.