

## بررسی سهم عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در جاده‌های بین شهری با استفاده از مدل لاجیت ترتیبی

محسن قنبری<sup>۱</sup>، امیرمسعود رحیمی<sup>۲</sup>، محسن ابوطالبی اصفهانی<sup>۳</sup>

از صفحه ۱۲۱ تا ۱۵۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** سطح پایین ایمنی راه‌های کشور و آمار بالای تصادفات نسبت به میانگین جهانی، امروزه یکی از چالش‌های پیش روی مدیران و تصمیم‌گیران در حوزه حمل‌ونقل و ترافیک می‌باشد. تصادفات علاوه بر خسارات مالی فراوانی که وارد می‌کند، به تلفات و جراحات فراوانی نیز منجر می‌گردد. از این رو پژوهشگران، توجه بسیاری به تحلیل و بررسی علل و شدت تصادفات کرده‌اند تا با ارائه راهکارهای مناسب به کاهش این خسارات کمک کنند. بررسی علت تصادفات و تعیین سهم پارامترهای مختلف در وقوع یک تصادف، مسئله اصلی (هدف) پژوهش حاضر می‌باشد.

**روش:** در این پژوهش با بهره‌گیری از ۲۴۳۳ داده واقعی تصادفات، به مدل‌سازی آماری و تعیین سهم عوامل مختلف در ایجاد تصادفات پرداخته شد. همچنین در این پژوهش، به ارائه مدل لاجیت ترتیبی برای پیش‌بینی شدت تصادفات و تعیین میزان اثرگذاری هر یک از پارامترها پرداخته شده است. نتایج مدل‌سازی پیشنهادی با مدل‌های رایج مانند شبکه عصبی نیز مقایسه شده است.

**یافته‌ها:** بحث روی نتایج نشان می‌دهد که مدل لاجیت ترتیبی، کارایی بیشتری نسبت به مدل شبکه عصبی دارد. علاوه بر آن، حضور عابرین پیاده، بیشترین اثر افزایشنده در شدت تصادفات را دارد و تصادف عقب به پهلوی راست، بیشترین اثر کاهشنده را در بین پارامترهای مؤثر دارد. از طرفی، فاصله از مبدأ کمترین اثر افزایشنده و تصادف در ساعات اولیه صبح، کمترین اثر کاهشنده را در شدت تصادفات دارند. بعد از عابر پیاده، حضور خودروهای سنگین در شب، بیشترین سهم را در افزایش شدت تصادفات به خود اختصاص داده است.

**پیشنهادها:** در پژوهش‌های آتی برای پیش‌بینی شدت تصادفات، تأثیر پارامتری مانند میزان آشنایی راننده با مسیر بررسی گردد. همچنین تحلیل‌های مکانی - زمانی می‌تواند کمک شایانی به پیشبرد پژوهش‌ها در زمینه شدت تصادفات کند. از نظر کاربردی هم پیشنهاد می‌شود که آموزش رانندگان وسایل نقلیه عمومی در خصوص پارامترهای مؤثر در افزایش شدت تصادف توسط سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای در دستور کار قرار گیرد.

**واژگان کلیدی:** پیش‌بینی تصادفات، الگوی تصادفات، شدت تصادفات، مدل لاجیت ترتیبی، مدل انتخاب گسسته.

۱. گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، ایران، mohsenganb@gmail.com

۲. دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، ایران، (نویسنده مسئول)، amrahimi@znu.ac.ir

۳. استادیار دانشکده عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، ایران، M.aboutalebi.e@eng.ui.ac.ir

## مقدمه

قدرت اقتصادی یک کشور و سطح رفاه عمومی و کیفیت زندگی در آن متأثر از زیرساخت‌های آن کشور می‌باشد. در واقع موفقیت و پیشرفت در یک جامعه، کاملاً وابسته به ظرفیت توزیع بهینه منابع و سرویس‌دهی سریع به عموم جامعه می‌باشد. از این‌رو شبکه حمل‌ونقل، مهم‌ترین زیرساخت در یک جامعه می‌باشد. زیرساخت‌های حمل‌ونقل اساساً منجر به پیشرفت اقتصادی و اجتماعی یک جامعه شده و مدیریت پایدار در آن به کیفیت در بهره‌برداری بهینه و ایمن از آن منجر می‌شود. در کنار مزیت‌های مهم ذکر شده، شبکه‌های حمل‌ونقل منجر به مرگ‌ومیر و خسارت‌های جانی و مالی فراوان نیز می‌شود. از این‌رو، بررسی علت تصادفات و مدیریت برای کاهش خسارات ناشی از آن، امری ضروری بوده و به یک وظیفه برای تمام جوامع تبدیل شده است. یکی از پیچیدگی‌های موجود در این مسئله، تصادفی بودن وقوع یک حادثه جاده‌ای است. تصادفات اساساً در سه دسته کلی خسارتی، جرحی و فوتی طبقه‌بندی می‌شوند. اصولاً جاده‌های بین‌شهری شاهد بیشترین آمار تصادفات منجر به جرح و فوت می‌باشد. تصادفات جاده‌ای، یکی از عوامل اصلی مرگ‌ومیر به‌شمار می‌آید؛ برای مثال، از بین عوامل مرگ‌ومیر، تصادفات در سال ۲۰۰۴ میلادی در رتبه ۹ علل مرگ‌ومیر در دنیا قرار گرفته است. این در حالی است که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۳۰ میلادی، این عدد به رتبه ۵ کاهش یابد. در کنار هر تصادف جاده‌ای منجر به جرح یا فوت، عده‌ای از مجروحان نیز به‌علت نقص عضو از انجام فعالیت‌های اجتماعی ناتوان شده و خسارات روحی - روانی، اجتماعی و مالی فراوانی به خود فرد و جامعه پیرامونش وارد می‌شود.

عوامل انسانی، سهم قابل توجهی در تصادفات دارند. این عوامل شامل خستگی، عدم توجه به جلو (مکالمه با تلفن همراه یا سایر سرنشینان)، عصبانیت، سن رانندگان (توانایی در عکس‌العمل سریع)، مانور و تغییر خط ناگهانی (اجباری و احتیاطی)، عدم

توجه به سرعت مجاز و ... می‌باشد. هریک از این عوامل می‌توانند سهم بسزایی در علت و شدت یک تصادف داشته باشند؛ بنابراین شناسایی الگوهای رفتاری رانندگان و برآورد سهم هریک از عوامل در تصادفات جاده‌ای، امری ضروری است. نوع خودرو و عوامل مربوط به آن نیز امروزه سهم بسزایی در تصادفات ایران دارد. ایمنی و کیفیت پایین بعضی از خودروها بر شدت و علت تصادفات افزوده است. سطح استانداردهای ایمنی خودروها، یکی از معیارهایی است که با بهبود آن می‌توان شاهد کاهش تصادفات و به‌خصوص تلفات ناشی از آن بود. نقش خودروهای سنگین و موتورسیکلت‌ها در تصادفات جرحی و فوتی، بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر موارد فوق، عوامل محیطی نیز از دیگر عوامل مؤثر در تصادفات و شدت آن است. این دسته از عوامل، خود شامل بخش‌های متعددی همچون وضعیت آب‌وهوا، وضعیت روسازی و وضعیت طرح هندسی است. محل نصب تابلوهای تبلیغاتی و راهنمای مسیر، از جمله عوامل مربوط به محیط می‌باشد که می‌توانند در بروز یک تصادف اثر داشته باشد. همان‌طور که گفته شد، تصادفات، هزینه‌های زیادی به جوامع تحمیل کرده است. این هزینه‌ها شامل هزینه نیروی انسانی، هزینه‌های اقتصادی، هزینه‌های اجتماعی و پزشکی می‌شود. از این رو، درک پارامترهای مؤثر در بروز تصادفات، یک امر حیاتی است. یکی از راهکارهای مؤثر در جلوگیری از تصادفات، پیش‌بینی آن قبل از وقوع می‌باشد. در واقع با پیش‌بینی تصادف، این شانس به رانندگان داده می‌شود که از بروز آن جلوگیری کنند یا با عکس‌العمل‌های به‌موقع از شدت آن کم کنند.

### پیشینه

بخش مهمی از مطالعات صورت‌گرفته در زمینه ایمنی در تصادفات به پیش‌بینی نرخ تصادفات در کوتاه‌مدت و بلندمدت و نیز شدت تصادفات پرداخته‌اند. چنگ و

منرینگ (۱۹۹۹) با استفاده از مدل لاجیت آشیانه‌ای و با تفکیک تصادفات به تصادفاتی که شامل خودروهای سنگین یا فاقد آن می‌باشد، به تحلیل شدت تصادفات و نقش خودرو در آن پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که برای تصادفات شامل وسایل نقلیه سنگین، سرعت و نحوه برخورد، بیشترین تأثیر را بر شدت تصادفات داشته است. در واقع، شدت جراحات وارده به سرنشینان در زمانی که یکی از خودروها کامیون یا هر نوع خودرو سنگین دیگر باشد، به شدت افزایش می‌یابد. همچنین تأثیر وجود کامیون در شدت جراحات، وقتی که تصادف از نوع چندخوردویی باشد، بیشتر از حالتی است که تنها یک خودرو در تصادف دخیل باشد.

آتی و عبدالوهاب (۲۰۰۴) نیز یک مدل مشابه برای بررسی تأثیر انواع خودروهای سنگین (کامیون، ون و اتوبوس) در دید رانندگان و تصادفات جلو - عقب بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که دید رانندگان، سرعت و عدم توجه به جلو، از علل اصلی بروز تصادفات جلو - عقب در این نوع خودروها می‌باشد. خاتک و همکارانش (۲۰۰۳)، یک مدل پرابیت باینری برای سنجش شدت تصادفات خودروهای سنگین در تصادفات تک‌خوردویی ارائه کرده‌اند. نتایج مدل آن‌ها نشان می‌دهد که رفتار رانندگان مانند مصرف مواد مخدر، سرعت غیرمجاز و تخلفات راهنمایی رانندگی، بیشترین اثر را در بروز تصادفات تک‌خوردویی خودروهای سنگین دارد. لیمان و براورت نیز (۲۰۰۳) یک تحلیل روی داده‌های مربوط به تصادفات در طی ۲۵ سال انجام دادند. آن‌ها از معیارهایی مانند تلفات در هر ۱۰۰۰ نفر جمعیت، تلفات در هر ۱۰۰۰۰ گواهینامه، تلفات در هر ۱۰۰۰۰ کامیون ثبت شده و یا تلفات در هر ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - سفر استفاده کردند.

کانتور و همکارانش (۲۰۱۰) روی مدل‌سازی تصادفات خودروهای سنگین با استفاده از رگرسیون پواسون کار کردند. سن راننده، وزن، جنسیت و پارامترهای

دیگری از جمله فرسودگی وسیله نقلیه، از پارامترهایی هستند که در پژوهش آن‌ها روی آن تمرکز شده است. مطالعات بسیاری از مدل رگرسیون لاجستیک در تحلیل شدت تصادفات استفاده کرده‌اند. خورشادی و همکارانش (۲۰۰۵) از داده‌های پنج‌ساله کالیفرنیا استفاده کرده و یک مدل لاجیت چندجمله‌ای برای تعیین تفاوت شدت جراحات در تصادفات خودروهای سنگین درون شهری و برون شهری ارائه کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که در محل تقاطع‌ها در جاده‌های برون شهری، جراحات ناشی از این‌گونه تصادفات بیشتر می‌باشد. همچنین عواملی مانند هندسه راه، شرایط محیطی و عکس‌العمل راننده، بیشترین اثر را در شدت تصادفات خواهد داشت. نصیری و ادیسی (۲۰۰۶) مقایسه بین شبکه‌های عصبی و مدل لاجیت را برای تصادفات خودروهای سنگین در جاده‌های بین شهری دوخطه انجام دادند. آن‌ها در هر دو مدل، پارامترهایی چون جاده، محیط و راننده را در نظر گرفتند و نتایج هر دو مدل، کارآمد و مصدق یکدیگر بود. چن و چن (۲۰۱۱) نیز یک مدل لاجیت ترکیبی برای نشان دادن تفاوت در شدت تصادفات خودروهای سنگین در تصادفات تک‌خودرویی و چندخودرویی ارائه کردند. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که پارامترهای زیادی از جمله سن، خستگی، حمل مواد خطرناک و... بیشترین اثر را در شدت تصادفات دارند.

یک رویکرد جدید در بررسی شدت تصادفات توسط ایسلام و هرناندز (۲۰۱۱) مورد استفاده قرار گرفت. آن‌ها یک مدل رگرسیون تویبت با پارامترهای تصادفی ارائه کردند و در آن به جای استفاده از تعداد تکرار تصادفات، نرخ تصادفات را جایگزین کردند. پارامترهایی که در این تحلیل، معنادار و دارای اهمیت شد، عبارتند از مقدار سفر کامیون برحسب مایل، مقدار بار نسبت به مسافت برحسب تن بر مایل، شرایط روسازی راه، شکل هندسی راه، زمان، روز و ماهی که تصادف در آن رخ داده است. لمپ و همکارانش (۲۰۱۱) بیان کردند که ابعاد و وزن خودروهای سنگین، مشکل

تصادفات این‌گونه خودروها است. آن‌ها از یک مدل پرابیت مرتب‌شده برای مطالعه روی تأثیر ظرفیت، خودرو، راننده و شرایط محیطی در شدت تصادفاتی که خودروهای سنگین در آن دخیل هستند، استفاده کردند. در نتایج اشاره شده است که عدم وجود نور کافی و شرایط نامناسب روسازی راه باعث افزایش شدت تصادفات شده و همچنین افزایش تعداد خودروهای سنگین از نوع تریلر باعث افزایش خطر تصادفات فوتی می‌شود. هم‌زمان پژوهش مشابهی توسط ژو و سیرینیواسان (۲۰۱۱) ارائه شد که در آن، رفتار رانندگان مانند مصرف مواد مخدر، عدم توجه به جلو و رانندگی خطرناک، از اهمیت بالایی در پیش‌بینی شدت تصادفات برخوردار می‌باشد. آشنایی راننده با خودرو، پارامتر مهم دیگری بود که در این پژوهش به آن توجه شد و مشخص گردید که شدت تصادفات در رانندگانی که مالک خودرو بوده و به آن آشنایی داشتند، به مراتب کمتر از رانندگانی است که با خودرو آشنایی نداشتند. آن‌ها در یک پژوهش جداگانه، یک مدل تجربی ارائه کردند که در آن، عواملی چون حواس‌پرتی راننده، مصرف مواد و عوامل احساسی رانندگان نیز در نظر گرفته شده است.

در نهایت چنگ و چین (۲۰۱۳) از یک روش طبقه‌بندی درخت تصمیم استفاده کردند تا ارتباط بین شدت تصادفات خودروهای سنگین با عوامل انسانی و خودرویی را در یک آزادراه در تایوان برآورد کنند. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل در شدت تصادفات خودروهای سنگین در آزادراه، مصرف مواد و مشروبات توسط رانندگان خودروهای سنگین می‌باشد. نوع خودرو و تعداد خودروهای سنگین در تصادف نیز از پارامترهای مهمی بودند که در این پژوهش برآورد شدند. وی و همکارانش (۲۰۱۶) به بررسی شدت تصادفات خودروهای سنگین با تمرکز بر مکان و زمان تصادف پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد تصادفاتی که در عصر یا شب رخ می‌دهند، برای تصادفات تک‌خودرویی منجر به جراحت کمتر می‌شود؛

در حالی که در تصادفات چندخودرویی منجر به جراحت بیشتر می‌گردد. شانکار و همکارانش (۱۹۹۶) از مدل لاجیت آشیانه‌ای برای تحلیل شدت تصادفات استفاده کردند. آن‌ها این مدل را روی داده‌های ۵ ساله از ۶۱ کیلومتر جاده بین ایالتی در آمریکا پیاده‌سازی کردند و نتایج نشان داد که شرایط آب‌وهوایی، طراحی راه، نحوه برخورد، رفتار رانندگان و ویژگی‌های خودرو، تأثیر قابل توجهی در شدت تصادفات دارند.

ادوارد (۱۹۹۹) نیز یک‌سری از تحلیل‌های طبقه‌بندی‌شده برای تحلیل شدت تصادفات انجام داد و متغیرهایی از جمله موقعیت تصادف، نوع و متغیرهای مربوط به راننده را در نظر گرفت. تصادف بین خودرو سبک و خودروهای مینی‌ون، بیشترین احتمال وقوع همراه با جراحت بالا را داشتند. دسپریا و همکارانش (۲۰۰۶) شدت تصادفاتی را که در آن‌ها، رانندگان مواد یا مشروبات الکلی مصرف کرده بودند با تصادفاتی که این دو عامل در آن‌ها نقش ندارند، مقایسه نمودند. کهنرت و همکارانش (۲۰۰۰) با مقایسه روش‌های غیر پارامتریک مانند رگرسیون‌های چندمتغیره اسپیلاین با رگرسیون لاجستیک به بیان مزایای این روش‌ها پرداختند. چنگ و ونگ (۲۰۰۹) نیز با استفاده از همین مدل‌ها نتیجه گرفتند که متغیرهای خودرویی، بیشترین اثر را در شدت تصادفات داشتند. داس و عبدالتی (۲۰۰۹) یک مدل شرطی پیش‌بینی‌کننده برای بررسی اثر ترافیک و ویژگی‌های رانندگان بر شدت و تلفات ناشی از تصادفات درون‌شهری توسعه دادند.

شبکه‌های عصبی هوشمند نیز به‌طور گسترده در مطالعات مربوط به ایمنی تصادفات به کار برده شده است. عبدالوهاب و عبدالتی (۲۰۰۲) یک مدل فازی عصبی برای تحلیل شدت جراحت ناشی از تصادفات در راه‌ها و تقاطع‌های چراغ‌دار ارائه کردند. در پژوهش آن‌ها، سرعت به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در شدت جراحات در زمان تصادف شناخته شده است. همچنین رانندگان خودروهای کوچک،

احتمال جراحی بیشتری نسبت به رانندگان خودروهای ون و خودروهای بزرگ‌تر دارند. از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به بالابودن ریسک تصادفات جراحی در جاده‌های برون‌شهری مخصوصاً در شب اشاره کرد. عبدالاتی و عبدالوهاب (۲۰۰۴) به‌منظور مقایسه روش‌های مختلف یک مدل شبکه عصبی چندلایه، یک مدل عصبی - فازی و یک مدل پرابیت برای سنجش شدت تصادفات ارائه کردند. نتایج آن‌ها، جنسیت، سرعت وسایل نقلیه، استفاده از کمربند، نوع خودرو، محل تصادف و ناحیه تصادف (درون‌شهری، برون‌شهری) را به‌عنوان مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در شدت جراحات ناشی از تصادفات نشان می‌دهد. به‌علاوه نتایج نشان داد که رانندگان زن و همچنین رانندگانی مواد و مشروبات الکلی مصرف کرده‌اند، شانس بیشتری برای تجربه یک تصادف با جراحی بالا دارند. همچنین رانندگی در شب در جاده‌های برون‌شهری، خطر بروز تصادفات جراحی را افزایش می‌دهد. افزایش نرخ سرعت نیز تأثیر مثبتی روی شدت تصادفات داشته است.

درنهایت، دالن و همکارانش (۲۰۰۶) از هشت مدل شبکه عصبی چندلایه دودویی برای تعیین ارتباط غیرخطی بین فاکتورهای مرتبط با تصادف و شدت تصادف استفاده کرده‌اند. در پژوهش‌های آن‌ها، عامل‌هایی مانند بستن کمربند، جنسیت، مصرف مواد مخدر و نقش وسایل نقلیه، در شدت تصادفات مؤثر بودند. این در حالی است که تأثیر وضعیت آب‌وهوا بر شدت تصادفات چندان به چشم نخورد. القمی (۲۰۰۲) از یک مدل رگرسیون لجستیک دودویی برای تعیین نقش متغیرهای مختلف در شدت تصادفات استفاده کرد. در این مدل، موقعیت تصادف و علت آن به‌عنوان متغیرهای معنادار و تأثیرگذار شناخته شدند؛ برای مثال در علت تصادفات، سرعت، نقش بیشتری نسبت به مقطع راه داشت. همچنین مدل لاجیت دودویی، توسط کیلوسکی، با متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بیشتری مانند نحوه مانور و برخورد، با رویکرد شدت تصادفات استفاده شده است.



یک مدل لاجیت دودویی دیگر نیز توسط زی و وانگ (۲۰۰۷) برای تعیین نقش پارامترهای مختلف در شدت تصادفات مورد استفاده قرار گرفت. داس و همکارانش (۲۰۰۸) از دو مدل لاجیت و پرابیت برای بررسی شدت تصادفات در تقاطع‌های راه‌های شهری استفاده کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که شدیدترین تصادفات در مقاطعی با روسازی آسفالتی، روسازی عریض‌تر و AADT کمتر اتفاق می‌افتد. در بعضی شرایط، سطح خشک روسازی نیز باعث افزایش شدت تصادفات شده است. نوازز و همکارانش (۲۰۰۹) از مدل‌های رگرسیون لجستیک در دو فاز استفاده کردند. در فاز اول، مدل شامل رانندگان و موقعیت راه‌ها بود و در فاز دوم، این مدل‌ها با پارامتر نوع تصادف گسترش داده شدند. مدل‌های مربوط به نوع تصادفات، اهمیت پارامترهایی مثل سرعت، مصرف مواد و نوع وسیله نقلیه را نشان داد. هوانگ و همکارانش (۲۰۱۰) یک مدل لاجیت چندمتغیره مرتب برای سنجش اثر پارامترهای مختلف در شدت تصادفات در هوای مه‌آلود یا هوای آلوده به ریزگرد و دود ارائه کردند. مطابق نتایج به دست آمده، سرعت زیاد، عدم وجود پیاده‌رو در کنار خیابان، راه‌های دوخطه برون‌شهری و رانندگی در مسیرهای با نور ناکافی در شب، خطر تصادفات با شدت بالا را افزایش می‌دهد. تئوفیلاتوس و همکارانش (۲۰۱۲) نیز به ارائه یک مدل لاجیت باینری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در جاده‌های برون‌شهری، نقش موتورسیکلت و دوچرخه و اتوبوس در بروز حوادث شدید پررنگ‌تر می‌باشد؛ درحالی‌که وضعیت آب‌وهوایی و نقش اتوبوس و موتورسیکلت در تصادفات درون‌شهری برجسته‌تر نشان داده شد. تئوفیلاتوس و یانيس (۲۰۱۴) یک مطالعه مروری در این زمینه با تأکید بر بررسی تأثیرات آب‌وهوا و عوامل مربوط به ترافیک انجام داده‌اند.

بهلولوم و همکارانش (۲۰۱۷) به تعیین نقش عوامل مؤثر در شدت تصادفات دوچرخه‌سواران پرداخته‌اند. علاوه بر این، به مقایسه دو مدل پرابیت و لاجیت ترتیبی

پرداخته‌اند؛ به طوری که نتایج نشان می‌دهد پرابیت ترتیبی، کارایی و پاسخ‌های مناسب‌تری نسبت به مدل لاجیت ترتیبی ارائه می‌کند. پارامترهایی که در این مدل مهم ارزیابی شده‌اند، عبارتند از سن دوچرخه‌سوار، استفاده از کلاه ایمنی، وضعیت روشنایی، موقعیت مکانی تصادف، وضعیت سطح روسازی راه و محدودۀ سرعت. کوخلمن و کوئن (۲۰۰۲) از مدل‌های پرابیت مرتب‌شده در بررسی شدت تصادفات استفاده کردند. آن‌ها تصادفات را در سه دسته تصادفات کلی، تصادفات خودرو با خودرو و تصادفات تک‌خودرویی تقسیم‌بندی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که خودروهای تفریحی و خودروهای ون نسبت به خودروهای کوچک‌تر، در تصادفات تک‌خودرویی بیشتر آسیب‌پذیر هستند. همچنین نتیجه گرفتند که کامیون‌های سبک نسبت، ایمنی راننده خود را بیشتر از هر خودرو دیگری حفظ می‌کنند.

آتی (۲۰۰۳) از مدل پرابیت مرتب‌شده و لاجیت آشیانه‌ای برای این منظور استفاده کرد و مقاطع راه‌ها، تقاطع‌های چراغ‌دار و محل‌های عوارضی را برای بررسی مدل خود در نظر گرفت. وی نتیجه گرفت که در مقاطع راه‌ها، نور ناکافی، مهم‌ترین عامل بوده و خودروهای کوچک با سرعت بالا، بیشترین احتمال در بروز حوادث با شدت بالا را دارا می‌باشند. آتی و کلر (۲۰۰۵) نیز دو مدل، یکی مبتنی بر پرابیت مرتب‌شده و یکی مبتنی بر رگرسیون درختی پیشنهاد کرد. مدل پرابیت مرتب‌شده نشان داد که هر چند تصادفاتی که در آن‌ها، افراد پیاده یا دوچرخه‌سواران دخیل باشند، ریسک جراحت بالایی دارد؛ باین حال، افزایش سرعت مجاز می‌تواند از شدت تصادفات بکاهد. از طرفی، مدل رگرسیون درختی آن‌ها نشان داد که در راه‌های با درجه پایین‌تر نیز افزایش سرعت مجاز باعث کاهش شدت تصادفات می‌شود.

حلیم و عبدالاتی (۲۰۱۰) نیز سه رویکرد مدل‌سازی را برای این موضوع پیشنهاد کردند. در رویکرد اول، آن‌ها یک مدل پرابیت ترتیبی ارائه کردند که شدت تصادفات را در ۵ سطح بررسی می‌کند. در رویکرد دوم، یک مدل پرابیت دودویی ارائه شده که

دو حالت تصادفات جرحی و خسارتی را بررسی می‌کند و نهایتاً در مدل سوم، از یک لاجیت آشیانه‌ای برای مدل‌سازی شدت تصادفات استفاده شده است.

یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد در این زمینه، استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی می‌باشد؛ برای مثال، داس و عبدالاتی (۲۰۱۰) با استفاده از این مدل به مطالعه روی فاکتورهای محیطی و جاده پرداختند و نتایج کارشان نشان داد که سطح خشک روسازی، شرایط بهتر روسازی و عرض بیشتر شانه‌ی راه و پیاده‌روها باعث کاهش شدت تصادفات می‌شود. از طرفی، بر اساس این روش نشان داده شد که سرعت مجاز بالاتر به افزایش احتمال وقوع تصادف با جراحت بالا منجر می‌شود. علاوه بر بررسی شدت تصادفات، پیش‌بینی وقوع تصادفات نیز در بین پژوهشگران از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. دنوبلین و همکارانش (۲۰۱۲) یک متدولوژی جدید برای پیش‌بینی وقوع تصادفات مبتنی بر سه روش آماری ارائه کردند. روش اول، به‌روزرسانی کامل در نرخ وقوع تصادفات جرحی؛ روش دوم، رگرسیون لگاریتمی پواسون و روش سوم، استفاده از شبکه‌های بیزین بود.

جدان و همکارانش (۲۰۱۴) نیز با ارائه یک مدل شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی تصادفات در آینده پرداختند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان‌دهنده خطای کم در پیش‌بینی و نزدیکی جواب‌های پیش‌بینی شده به واقعیت در داده‌های آزمایش بود. آن‌ها در مدل خود از ۳ لایه پنهان در شبکه عصبی استفاده کرده و معیار  $R^2$  در مدل آن‌ها ۰/۹۲ گزارش شده که بیانگر خطای برآزش قابل قبول می‌باشد. الخدر و همکارانش (۲۰۱۷) یک مدل شبکه عصبی مصنوعی ارائه کردند و آن‌ها برای افزایش کارایی آن، داده‌های تصادفات را با روش کی - مینز به سه دسته تقسیم کردند؛ سپس شبکه عصبی را برای هر دسته به کار بردند. آن‌ها از مدل پرابیت ترتیبی برای مقایسه نتایج استفاده کردند. در این پژوهش، آن‌ها شدت تصادفات را به چهار دسته کم، معمولی، شدید و فوتی تقسیم کردند.

معین‌الدینی و همکارانش (۲۰۱۴) نیز به بررسی ابعاد جدیدی از ایمنی راه پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل لاجیت به بررسی رابطه آماری تصادفات جرحی و فوتی در یک مسیر در انتخاب آن مسیر توسط کاربران پرداختند. نتایج نشان داد که عوامل مؤثر در بروز تصادفات جرحی باعث کاهش تمایل کاربران از استفاده از آن مسیر می‌شود. ونگ و همکارانش (۲۰۱۵) نیز به ارائه روش غیرخطی رگرسیون درختی سرعت‌یافته پرداختند و نتایج آن را در بررسی شدت تصادفات با روش‌های خطی مثل رگرسیون پواسون مقایسه کردند. نتایج نشان داد که این مدل‌ها نتایج بهتری ارائه می‌کند؛ علاوه بر آن مشخص گردید که متغیرهای عمده‌ای در تقاطع‌های چراغ‌دار می‌تواند بر شدت تصادفات اثرگذار باشد. روش‌های مختلف داده‌کاوی، اخیراً در حوزه‌های مهندسی ترافیک و به‌خصوص در بحث پیش‌بینی تصادفات و ایمنی راه‌ها به کار رفته است.

پارک و همکارانش (۲۰۱۶) با استفاده از روش‌های داده‌کاوی به تفکیک مقاطع راه بر اساس ویژگی‌های منجر به تصادفات شدید پرداخته‌اند. برای این منظور، آن‌ها از روش کی - مینز برای دسته‌بندی داده‌ها استفاده کرده و در هر دسته با استفاده از رگرسیون لجستیک، به پیش‌بینی اثر پارامترهای مختلف بر شدت تصادفات اقدام کردند.

با توجه به موارد فوق، بررسی علت تصادفات و تعیین سهم پارامترهای مختلف در وقوع یک تصادف، مسئله اصلی پژوهش حاضر می‌باشد. هدف این مقاله، تعیین عوامل مؤثر بر شدت تصادفات بین‌شهری و سهم هریک از این عوامل در شدت تصادفات است. در این مقاله با استفاده از مدل‌های انتخاب گسسته، داده‌های مربوط به تصادفات در محور اصفهان - شهرکرد را دسته‌بندی و سپس سهم عوامل مختلف در شدت تصادفات با استفاده از روش لاجیت ترتیبی مدل‌سازی و نهایتاً، کارایی مدل پیشنهادی با روش شبکه عصبی مقایسه شد. علاوه بر آن، در این پژوهش، پارامترهایی

در نظر گرفته شد که در پژوهش‌های پیشین به آن‌ها کمتر توجه شده است؛ به عنوان مثال، نحوه برخورد خودروها با یکدیگر.

## مبانی نظری

مدل‌های لوجیت ترتیبی، قابلیت تحلیل داده‌های ترتیبی مانند شدت تصادفات را دارد. در این مدل از  $S_n$  به عنوان شدت تصادفات مشاهده شده برای راننده  $n$ ،  $S_n^*$  متغیر پنهان از شدت تصادفات مشاهده نشده و  $\mu_i$  سطوح تغییر شدت تصادفات می‌باشد.

تصادف خسارتی  $-\infty \leq S_n^* \leq \mu_1$  اگر  $S_n = 1$

تصادف جرحی  $\mu_1 \leq S_n^* \leq \mu_2$  اگر  $S_n = 2$

تصادف فوتی  $\mu_2 \leq S_n^* \leq +\infty$  اگر  $S_n = 3$

متغیر پنهان فوق را نیز می‌توان به صورت رابطه ۱ مدل کرد.

$$S_n^* = \beta'X_n + \varepsilon_n \quad (1)$$

در اینجا، احتمال انتخاب غیرشرطی برابر است با انتگرال احتمال انتخاب شرطی که در رابطه ۲ بیان شده است:

$$P_{S_n} = \int L_{S_n}(\beta')f(\beta'|\theta)d\beta' \quad (2)$$

## نحوه تخمین مدل

در این حالت، روش حداکثر درست‌نمایی شبیه‌سازی شده استفاده می‌شود. فرض می‌شود که ضرایب  $\beta$  از توزیع نرمال پیروی می‌کند. حداکثر درست‌نمایی شبیه‌سازی شده، اصولاً در چهار مرحله صورت می‌گیرد:

۱- نحوه محاسبه درست‌نمایی شرطی در رابطه ۳ آورده شده است.

$$L_{S_n} = F(\mu_j - \beta'X_i) - F(\mu_{j-1} - \beta'X_i) \quad (3)$$

۲- مرحله ۱ به تعداد زیاد تکرار می‌شود.

۳- احتمال شبیه‌سازی، برابر است با میانگین درست‌نمایی شرطی مراحل قبل که در رابطه ۴ آورده شده است.

$$PS_n = \frac{1}{R} \left( \sum_{r=1}^R LS_n(\beta^r) \right) \quad (4)$$

۴- سپس این احتمال شبیه‌سازی شده در تابع درست‌نمایی لگاریتمی وارد می‌شود و تابع درست‌نمایی لگاریتمی شبیه‌سازی شده را ایجاد می‌کند که رابطه ۵، آن را بیان می‌کند.

$$SLL(\beta) = \sum_{n=1}^N \sum_{s_n=0}^4 d_{ns_n} \ln PS_n \quad (5)$$

## ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل از شاخص ارزیابی درست‌نمایی  $\rho$  در رابطه ۶ استفاده می‌شود.

$$\rho = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \quad (6)$$

که در آن،  $LL(\beta)$  برابر مقدار درست‌نمایی لگاریتمی با همه متغیرهای تخمین‌زده شده می‌باشد و  $LL(0)$  برابر با مقدار تابع درست‌نمایی لگاریتمی بدون عدد ثابت است که در رابطه ۷ آورده شده است.

$$LL(0) = -N \ln(J) \quad (7)$$

که در آن،  $J$  تعداد اعضای مجموعه انتخاب می‌باشد.

## روش

متغیر وابسته، احتمال شدت تصادفی است که در هر تصادف تجربه شده است. متغیرهای مستقل به سه دسته کلی تقسیم شده‌اند: محیط (جاده)، انسان و خودرو.

از آنجایی که ترکیبی از این فاکتورها نیز می‌تواند در شدت تصادفات دخیل بوده باشد، تعدادی متغیر ترکیبی نیز ایجاد شده است.

داده‌های تصادفات محور اصفهان به شهرکرد مربوط به سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ از پلیس راه استان اصفهان جمع‌آوری شده است. این اطلاعات شامل ساعت، تاریخ، وضعیت جاده، نوع جاده، وضعیت آب‌وهوا، نحوه تصادف، نوع خودرو، تعداد خودرو، شدت تصادف، وضعیت راننده، موقعیت تصادفات و جهت جاده می‌باشد. جدول ۱، وضعیت تصادفات را در طی این سال‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۱. اطلاعات تصادفات به تفکیک شدت آن در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵

شدت تصادف	سال ۱۳۹۲	سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۹۴	سال ۱۳۹۵
خسارتی	۱۲۲۹	۹۴۸	۳۳۵	۱۷۴
جرحی	۸۲۸	۶۳۸	۲۹۱	۱۱۳
فوتی	۵۱	۴۱	۱۸	۱۸

بعد از آماده‌سازی داده‌ها لازم است فرایند پیش‌پردازش داده‌ها صورت گیرد. در این مرحله، سطرهایی از مجموعه داده که دارای اطلاعات ناقص هستند، حذف می‌شوند. این امر به دلیل ایجاد خطای قابل توجه توسط این داده‌ها در نتایج مدل می‌باشد. لازم به ذکر است که علاوه بر متغیرهای ذکر شده، ۹۱ متغیر ترکیبی نیز که ترکیبی از متغیرهای فوق می‌باشد، برای مدل در نظر گرفته شده است.

### یافته‌ها

بعد از آماده‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Nlogit به تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل لاجیت ترتیبی پرداخته شد که نتایج کلی آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. مشخصات عددی مدل

مدل لوجیت مختلط ترتیبی	
متغیر وابسته	شدت تصادفات
مقدار تابع لگاریتم درست‌نمایی	۱۴۱۲/۸۲۵۹۶-
تعداد مشاهدات	۲۴۳۳

تعداد مشاهدات مدل یا به عبارتی تعداد داده‌های ورودی به مدل، ۲۴۳۳ عدد و حداکثر مقدار تابع لگاریتم درست‌نمایی برابر با ۱۴۱۲/۸۲۵۹۶- است. جدول ۳، نتایج مدل همراه با پارامترهای معنی دار شده آن را نشان می‌دهد. ثابت مدل برابر ۱/۶۹۵۸۲ می‌باشد و ۱۴ متغیر از میان تمام متغیرهای مورد بررسی معنی دار شده‌اند. ۱۲ مورد مربوط به متغیرهای مستقل اصلی و ۲ مورد از متغیرهای ترکیبی (ترکیب متغیر شب و خودرو سنگین و ترکیب شب با خودروی سبک) است. به عبارت دیگر، اگر در تصادفی شب باشد و یکی از خودروها سنگین یا سبک باشد، با احتمال بیشتری، تصادف با شدت بالا (جراحی یا فوتی) رخ خواهد داد.

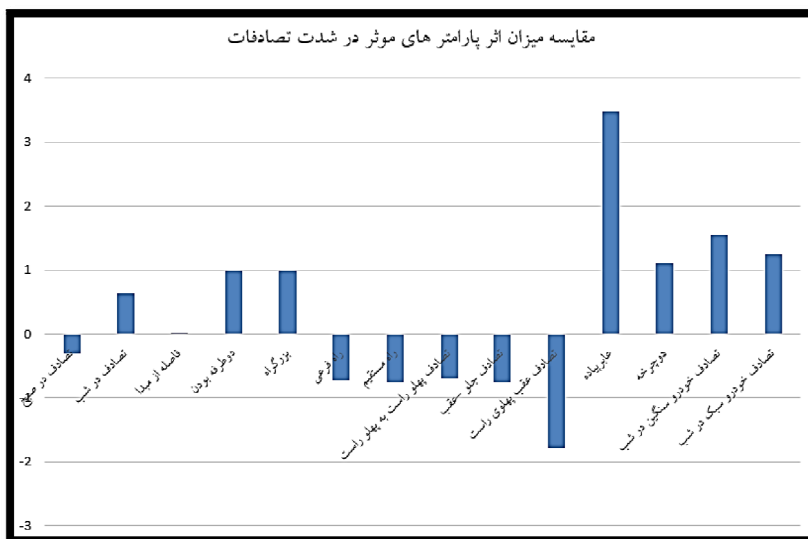
یکی از راه‌های سنجش کارایی مدل، توجه به علامت‌های پارامترها است که باید معنی و مفهومی منطقی و موردانتظار با واقعیت داشته باشند؛ برای مثال، متغیر صبح منفی شده که نشان‌دهنده شدت تصادفات کمتر در ساعات اولیه روز است. علامت متغیر شب، مثبت و بیانگر آن است که شدت تصادفات در شب افزایش می‌یابد. ضریب متغیر فاصله از مبدأ نسبت به بقیه متغیرها خیلی کمتر است؛ این حالت نشان می‌دهد که فاصله از مبدأ با اینکه معنادار شده، ولی تأثیر کمتری روی شدت تصادفات دارد. از طرفی، این علامت مثبت بوده و نشان‌دهنده تأثیر افزایش در شدت تصادفات می‌باشد که البته منطقی است؛ زیرا هرچه راننده مسافت بیشتری نسبت به مبدأ طی کند، خستگی در وی باعث افزایش شدت تصادفات می‌شود. دوطرفه بودن مسیر به دلیل احتمال برخورد خودروها از روبه‌رو و یا انحراف آن‌ها به خط مقابل، و همچنین اگر نوع راه بزرگراه باشد، به دلیل سرعت بالای خودروها باعث افزایش



شدت تصادفات می‌شود. حال آنکه ضریب منفی در راه‌های فرعی، نشان‌دهنده کاهش احتمال تصادفات با شدت بالا در این راه‌ها می‌باشد؛ چراکه سرعت خودروها در این مسیرها پایین‌تر بوده و کنترل خودرو آسان‌تر می‌باشد. از جنبه وضعیت مسیر، هرچه مسیر مستقیم‌تر باشد، شدت تصادف در آن کاهش می‌یابد؛ چراکه دید در مسیر مستقیم بیشتر بوده و تمرکز راننده بر جاده بیشتر است. از بین حالات تصادفات در سه حالت تصادف پهلوی راست به پهلوی راست، تصادفات جلو - عقب و تصادف عقب - پهلوی راست، شدت تصادفات کاهش می‌یابد. سه عامل حضور عابر پیاده و دوچرخه در تصادفات و همچنین خودروهای سنگین در شب می‌تواند اثر بسزایی بر شدت تصادفات بگذارد. نمودار میله‌ای شکل ۱، مقدار بزرگی اثرگذاری هریک از این پارامترها را با یکدیگر مقایسه می‌کند.

جدول ۳. نتایج مدل لاجیت ترتیبی برای بررسی شدت تصادفات

confidence Interval ٪۹۵		Prob.  Z  > Z*	Z	خطای استاندارد	ضریب تأثیر	پارامتر مؤثر
۲.۱۳۳۴	۱.۲۵۷۳۰	۰.۰۰۰۰	۷.۵۸	۰.۲۲۳۷۴	***۱.۶۹۵۸۲	ضریب ثابت
-۰.۰۶۹۵۹	-۰.۵۱۵۸۶	۰.۰۱۰۱	-۲.۵۷	۰.۱۱۳۸۵	**۰.۲۹۲۷۱	تصادف در صبح
۰.۹۶۹۴۶	۰.۳۱۳۹۱	۰.۰۰۰۱	۳.۸۴	۰.۱۶۷۲۳	***۰.۶۴۱۶۸	تصادف در شب
۰.۰۱۶۷۹	۰.۰۰۱۰۸	۰.۰۲۵۸	۲.۲۳	۰.۰۰۴۰۱	**۰.۰۰۸۹۴	فاصله از مبدأ
۱.۲۲۲۶۰	۰.۷۴۷۶۶	۰.۰۰۰۰	۸.۱۳	۰.۱۲۱۱۶	***۰.۹۸۵۱۳	دوطرفه بودن
۱.۳۳۳۹	۰.۶۳۹۲۳	۰.۰۰۰۰	۵.۵۵	۰.۱۷۸۱۰	***۰.۹۸۸۳۱	بزرگراه
-۰.۴۷۵۵۶	-۰.۹۶۵۵۶	۰.۰۰۰۰	-۵.۷۶	۰.۱۲۵۰۰	***۰.۷۲۰۵۶	راه فرعی
-۰.۳۷۳۷۵	-۱.۱۳۳۶۵	۰.۰۰۰۱	-۳.۸۹	۰.۱۹۳۸۶	***۰.۷۵۳۷۰	راه مستقیم
-۰.۲۸۹۱۷	-۱.۱۰۱۹۶	۰.۰۰۰۸	-۳.۳۵	۰.۲۰۷۳۵	***۰.۶۹۵۵۷	تصادف پهلو راست به پهلو راست
-۰.۴۸۹۰۹	-۱.۰۱۳۱۶	۰.۰۰۰۰	-۵.۶۲	۰.۱۱۳۶۹	***۰.۷۵۱۱۳	تصادف جلو -عقب
-۰.۷۴۴۴۰	-۲.۸۳۲۶۵	۰.۰۰۰۸	-۳.۳۶	۰.۵۳۲۷۳	***۰.۱۷۸۸۵۳	تصادف عقب پهلوی راست
۴.۵۷۸۶۰	۲.۳۷۹۱۲	۰.۰۰۰۰	۶.۲۰	۰.۵۶۱۱۰	***۳.۴۷۸۸۶	عابر پیاده
۱.۴۴۰۵۹	۰.۷۸۸۹۶	۰.۰۰۰۰	۶.۷۱	۰.۱۶۶۲۴	***۱.۱۱۴۷۷	دوچرخه
۲.۷۳۵۶۹	۰.۳۷۳۵۸	۰.۰۰۹۹	۲.۵۸	۰.۶۰۲۵۹	***۱.۵۵۴۶۴	تصادف خودرو سنگین در شب
۱.۸۵۸۳۷	۰.۶۲۷۱۳	۰.۰۰۰۱	۳.۹۶	۰.۳۱۴۱۰	***۱.۲۴۲۷۵	تصادف خودرو سبک در شب



شکل ۱. نمودار میله‌ای مقایسه بزرگی تأثیر پارامترهای معنی‌دار شده

حضور عابر پیاده، بیشترین اثر افزایشنده را در شدت تصادفات و تصادف عقب به پهلوی راست، بیشترین اثر کاهشنده را در بین پارامترهای مؤثر دارد. از طرفی، فاصله از مبدأ، کمترین اثر افزایشنده و تصادف در ساعات اولیه صبح، کمترین اثر کاهشنده را در شدت تصادفات دارد. بعد از عابر پیاده، حضور خودروهای سنگین در شب، بیشترین سهم را در افزایش شدت تصادفات در مسیر مورد مطالعه دارد.

یکی از آزمون‌های آماری که در مدل‌های انتخاب گسسته بسیار استفاده می‌شود، آزمون  $Z$  یا ارزش  $t$  می‌باشد. این آزمون برای سنجش ارزش متغیرها ارائه شده است؛ برای مثال ممکن است یک متغیر، مقدار عددی بسیار بزرگی داشته باشد، ولی این مقدار عددی بزرگ در مدل هیچ تأثیری نداشته باشد. در این آزمون، قدرمطلق مقدار  $Z$  باید از  $1/96$  بزرگ‌تر باشد که در جدول ۳، تمامی مقادیر  $Z$  در این بازه قرار دارند. یکی دیگر از آزمون‌های کارایی مدل، روش بازه اطمینان ۵ درصد می‌باشد. در این حالت، نباید مقدار اهمیت هر متغیر بیشتر از ۵ درصد باشد. در نرم‌افزار Nlogit،

متغیرهایی که در این شرط صدق می‌کنند، با ۲ یا ۳ ستاره علامت‌گذاری شده و در صورتی که تا ۱۰ درصد هم مقدار اهمیت آن‌ها افزایش یابد، آن‌ها را با ۱ ستاره نمایش می‌دهد. تمام متغیرهای معنی‌دار مدل دارای ۲ یا ۳ ستاره هستند و این نشان‌دهنده اهمیت بالای این متغیرها در مدل می‌باشد. ستون مربوط به خطای استاندارد در جدول ۳ نیز خطای پیش‌بینی در فرایند آموزش را برای هر یک از پارامترها نشان می‌دهد که خطای مدل برای پارامترهای مختلف بسیار اندک می‌باشد. شاخص ارزیابی درست‌نمایی نیز باید بیشتر از ۰/۲ باشد و هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، بهتر است. مقدار شاخص ارزیابی درست‌نمایی در این مدل برابر ۰/۴۷ شده که بیانگر اعتبار بالای این مدل می‌باشد.

$$\rho = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} = 1 - \frac{-1412/12596}{-2672/9236} = 0/47$$

### آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت برای بررسی میزان اثر هر یک از پارامترها به صورت مستقل در متغیر وابسته می‌باشد. به عبارتی دیگر، آنالیز حساسیت بیان می‌کند که اگر هر یک از متغیرهای معنی‌دار یک واحد تغییر کند، تابع هدف که بیشترین درست‌نمایی شدت تصادفات است، چه میزان تغییر می‌کند؟ میزان اثرات حاشیه‌ای در سه حالت تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی برای متغیرهای معنی‌دار شده بررسی شده است. در جدول ۴، میزان اثر حاشیه‌ای روی متغیرهای معنادار شده برای حالت تصادفات خسارتی نشان داده شده است. توجه شود که در آنالیز حساسیت، میزان اثر پارامترها بدون در نظر گرفتن ضریب ثابت در مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۴. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت تصادفات خسارتی

confidence Interval %۹۵	Prob.  Z  > z*	Z	خطای استاندارد	ضریب تأثیر	پارامتر مؤثر
اثرات حاشیه‌ای در متغیرهای مستقل معنی‌دار شده در حالت تصادف خسارتی					
۰.۰۶۷۵۵	۰.۰۰۷۶۵	۰.۰۱۳۹	۲.۴۶	۰.۳۸۴۶۸	۰.۰۳۷۶۰ <sup>oo</sup>
-۰.۰۳۸۱۲	-۰.۰۹۴۸۲	۰.۰۰۰۰	-۴.۵۹	-۰.۶۸۰۰۸	-۰.۰۶۶۴۷ <sup>oo</sup>
-۰.۰۰۰۱۳	-۰.۰۰۲۰۶	۰.۰۲۵۶	-۲.۲۳	-۰.۱۹۰۲۹	-۰.۰۰۱۱۰ <sup>oo</sup>
-۰.۰۹۸۱۷	-۰.۱۶۷۶۳	۰.۰۰۰۰	-۷.۵۰	-۱.۳۵۹۷۵	-۰.۱۳۳۹۰ <sup>oo</sup>
-۰.۰۶۸۱۹	-۰.۱۱۷۹۰	۰.۰۰۰۰	-۷.۳۴	-۰.۹۵۱۹۹	-۰.۰۹۳۰۵ ***
۰.۱۴۰۹۱	۰.۰۶۲۸۲	۰.۰۰۰۰	۵.۱۱	۱.۰۴۲۲۰	***۰.۱۰۱۸۶
۰.۱۰۲۶۵	۰.۰۴۴۶۲	۰.۰۰۰۰	۴.۹۷	۰.۷۵۳۴۱	***۰.۰۷۳۶۴
۰.۱۷۸۶۱	۰.۰۳۲۰۴	۰.۰۰۴۸	۲.۸۲	۱.۰۷۷۶۳	***۰.۱۰۵۳۳
۰.۱۵۴۸۵	۰.۰۶۵۵۶	۰.۰۰۰۰	۴.۸۴	۱.۱۲۷۵۱	***۰.۱۱۰۲۰
۰.۶۱۴۶۷	۰.۰۹۵۵۱	۰.۰۰۷۳	۲.۶۸	۳.۶۳۳۰۵	***۰.۳۵۵۰۹
-۰.۱۲۵۳۵	-۰.۱۵۵۷۱	۰.۰۰۰۰	-۱۸.۱۵	-۱.۴۳۷۷۶	-۰.۱۴۰۵۳ ***
-۰.۰۸۰۱۱	-۰.۱۲۴۴۱	۰.۰۰۰۰	-۹.۰۵	-۱.۰۴۶۲۶	-۰.۱۰۲۲۶ ***
-۰.۰۶۹۰۲	-۰.۱۵۱۱۱	۰.۰۰۰۰	-۵.۲۶	-۱.۱۲۶۱۰	-۰.۱۱۰۰۷ ***
-۰.۰۷۰۰۱	-۰.۱۳۰۲۷	۰.۰۰۰۰	-۶.۵۱	-۱.۰۲۴۵۷	-۰.۱۰۰۱۴ ***

در جدول ۴ مشخص است که ضریب تأثیر حاشیه‌ای تصادفات در صبح برای تصادفات خسارتی مثبت شده، حال آنکه در جدول ۳ نشان داده شد که این ضریب در شدت تصادفات، نقش کاهنده دارد. دلیل مثبت شدن این پارامتر در تصادفات خسارتی در جهت تأیید آن در تحلیل شدت تصادفات می‌باشد؛ به این صورت که مثبت بودن این پارامتر در تصادفات خسارتی به آن معنی است که اگر تصادفی در صبح اتفاق افتد، احتمال خسارتی بودن آن افزایش می‌یابد. همچنین در سلسله‌مراتب ترتیبی، تصادفات خسارتی، پایین‌ترین شدت را به خود اختصاص می‌دهند و این خود به معنای کاهش شدت تصادفات است؛ بنابراین با کمی دقت متوجه می‌شویم که

علامت متغیرهای مستقل معنی دار در آنالیز حساسیت مربوط به تصادفات خسارتی، عکس علامت آن‌ها در مدل تحلیلی شدت تصادفات می‌باشد که توجیهی کاملاً منطقی دارد و از این رو، تأییدی بر نتایج مدل تحلیلی شدت تصادفات است.

جدول ۵. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت تصادفات جرحی

confidence Interval %۹۵	Prob.  Z  > z*	z	خطای استاندارد	ضریب تأثیر	پارامتر مؤثر	
اثرات حاشیه‌ای در متغیرهای مستقل معنی دار شده در حالت تصادف جرحی						
-۰.۰۰۵۰۷	-۰.۰۵۲۶۴	۰.۰۱۷۴	-۲.۳۸	۰.۳۴۵۲	۰.۰۲۸۸۶**	تصادف در صبح
۰.۰۵۵۱۳	۰.۰۲۶۶۱	۰.۰۰۰۰	۵.۶۲	۰.۰۴۸۹۰	۰.۰۴۰۸۷***	تصادف در شب
۰.۰۰۱۵۳	۰.۰۰۰۱۰	۰.۰۲۶۴	۲.۲۲	۰.۰۱۶۵۱	۰.۰۰۰۸۱**	فاصله از مبدا
۰.۰۱۳۳۵۹	۰.۰۷۴۹۷	۰.۰۰۰۰	۶.۹۷	۰.۱۲۴۷۶	۰.۱۰۴۲۸***	دوطرفه بودن
۰.۰۶۱۱۲	۰.۰۳۴۱۷	۰.۰۰۰۰	۶.۹۳	۰.۰۵۷۰۱	۰.۰۴۷۶۵***	بزرگراه
-۰.۰۴۸۷۴	-۰.۱۱۶۶۰	۰.۰۰۰۰	-۴.۷۸	-۰.۰۹۸۹۱	-۰.۰۸۲۶۷***	راه فرعی
-۰.۰۲۹۰۴	-۰.۰۵۳۲۵	۰.۰۰۰۰	-۶.۶۶	-۰.۰۴۹۳۳	-۰.۰۴۱۱۵***	راه مستقیم
-۰.۰۲۲۴۳	-۰.۱۵۴۸۴	۰.۰۰۸۷	-۲.۶۲	-۰.۱۰۶۰۴	-۰.۰۸۱۶۳***	تصادف پهلوی راست به پهلوی راست
-۰.۰۵۱۴۹	-۰.۱۳۰۹۶	۰.۰۰۰۰	-۴.۵۰	-۰.۱۰۹۱۵	-۰.۰۹۱۲۳***	تصادف جلو - عقب
-۰.۰۷۴۱۹	-۰.۵۸۱۲۱	۰.۰۱۱۳	-۲.۵۳	-۰.۳۹۲۰۸	-۰.۳۲۷۷۰**	تصادف عقب به پهلوی راست
-۰.۰۷۱۴۰	-۰.۶۱۸۶۹	۰.۰۱۳۵	-۲.۴۷	-۰.۴۱۲۸۳	-۰.۳۴۵۰۴**	عابر پیاده
۰.۰۶۴۲۸	۰.۰۳۳۳۲	۰.۰۰۰۰	۶.۱۸	۰.۰۵۸۳۹	۰.۰۴۸۱۰***	دوچرخه
۰.۱۰۷۵۱	-۰.۰۹۵۸۹	۰.۰۹۱۰۹	۰.۱۱	۰.۰۰۶۹۵	۰.۰۰۵۸۱	تصادف خودرو سنگین در شب
۰.۰۶۲۲۴	-۰.۰۱۰۶۵	۰.۰۶۳۱	۱.۸۶	۰.۰۳۶۲۵	۰.۰۳۰۲۹**	تصادف خودرو سبک در شب

در جدول ۵ نیز با تغییر حالت از تصادف خسارتی به جرحی، شدت تصادفات افزایش یافته و در این حالت، ضریب پارامتر عابر پیاده منفی است؛ این به آن معنی است که حضور عامل پیاده در تصادفات جرحی، نقش کاهنده دارد. علت این امر این است که حضور عابر پیاده در تصادفات همواره یا در بیشتر مواقع منجر به فوت شده است؛ لذا در آنالیز حساسیت تصادفات جرحی، نقش این عامل کاهنده به دست آمده

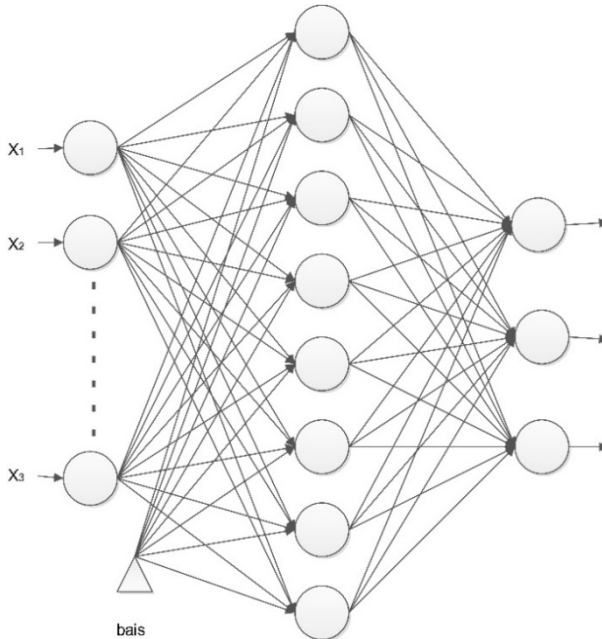
است. مابقی ضرایب نیز به جز تصادف در صبح با الگوی تصادفات در تحلیل کلی شدت تصادفات هم‌خوانی دارد. علت مثبت شدن ضریب تأثیر حاشیه در تصادفات صبح هنگام، این پیام را دارد که تصادفات در این بازه زمانی محتمل به منجر به جرح شدن است.

جدول ۶ هم آنالیز حساسیت برای حالت تصادفات منجر به فوت را نشان می‌دهد. در این جدول، از نظر علامت ضرایب تأثیر حاشیه‌ای، متغیرها کاملاً شبیه مدل کلی تحلیل شدت می‌باشند که تأییدی بر صحت مدل مذکور است.

جدول ۶. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت تصادفات فوتی

confidence Interval %۹۵		Prob.  Z  > z*	z	خطای استاندارد	ضریب تأثیر	پارامتر مؤثر
اثرات حاشیه‌ای در متغیرهای مستقل معنی‌دار شده در حالت تصادف فوتی						
-۰.۰۰۲۳۰	-۰.۰۱۵۹۱	۰.۰۰۷۸	-۲.۶۶	-۰.۱۳۱۵۶	-۰.۰۰۸۷۳***	تصادف در صبح
۰.۰۴۲۳۶	۰.۰۰۸۸۵	۰.۰۰۲۷	۳.۰۰	۰.۳۸۵۲۷	۰.۰۲۵۶۰***	تصادف در شب
۰.۰۰۰۵۴	۰.۰۰۰۰۳	۰.۰۲۸۳	۲.۱۹	۰.۰۷۲۲۰	۰.۰۰۰۲۸**	فاصله از مبدا
۰.۰۳۶۴۵	۰.۰۲۰۸۰	۰.۰۰۰۰	۷.۱۷	۰.۴۳۰۷۵	۰.۰۲۸۶۲***	دوطرفه بودن
۰.۰۶۸۸۹	۰.۰۲۱۹۲	۰.۰۰۰۲	۳.۷۹	۰.۶۸۳۲۱	۰.۰۴۵۴۰***	بزرگراه
-۰.۰۱۲۹۸	-۰.۰۲۵۴۱	۰.۰۰۰۰	-۶.۰۵	-۰.۲۸۸۸۴	-۰.۰۱۹۱۹***	راه فرعی
-۰.۰۱۰۲۸	-۰.۰۵۴۷۱	۰.۰۰۴۱	-۲.۸۷	-۰.۴۸۸۹۳	-۰.۰۳۲۴۹***	راه مستقیم
-۰.۰۰۹۰۸	-۰.۰۲۴۳۲	۰.۰۰۰۰	-۴.۲۹	-۰.۲۵۱۲۳	-۰.۰۱۶۷۰***	تصادف پهلوی راست به پهلوی راست
-۰.۰۱۳۰۴	-۰.۰۲۴۹۱	۰.۰۰۰۰	-۶.۲۷	-۰.۲۸۵۵۸	-۰.۰۱۸۹۸***	تصادف جلو - عقب
-۰.۰۲۰۳۵	-۰.۰۳۴۴۴	۰.۰۰۰۰	-۷.۶۲	-۰.۴۱۲۲۰	-۰.۰۲۷۳۹***	تصادف عقب به پهلوی راست
۰.۰۷۶۲۵۵	۰.۲۰۸۵۹	۰.۰۰۰۶	۳.۴۴	۷.۳۰۶۹۱	۰.۴۸۵۵۷***	عابر پیاده
۰.۰۱۷۷۵۶	۰.۰۲۹۳۶	۰.۰۰۰۰	۴.۳۵	۰.۸۰۴۵۱	۰.۰۵۳۴۶***	دوچرخه
۰.۰۲۴۳۷	۰.۰۳۵۱۶	۰.۱۴۲۷	۱.۴۷	۱.۵۶۸۸۶	۰.۱۰۴۲۶	تصادف خودرو سنگین در شب
۰.۱۲۵۹۶	۰.۰۱۳۷۴	۰.۰۱۴۷	۲.۴۴	۱.۰۵۱۰۶	۰.۰۶۹۸۵**	تصادف خودرو سبک در شب

علاوه بر مدل لاجیت ترتیبی برای مقایسه و کنترل صحت و کارایی مدل پیشنهادی، داده‌های موجود با استفاده از شبکه عصبی چندلایه نیز مدل شد. شبکه عصبی به‌عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های بررسی شدت تصادفات است که در مطالعات پیشین به آن اشاره شد. برای این شبکه عصبی، ۱ لایه پنهان و ۱ لایه خروجی نیز در نظر گرفته شد. تعداد نورون‌های لایه پنهان، ۸ عدد و تعداد نورون‌های لایه خروجی با توجه به سه حالت خسارتی، جرحی و فوتی، برابر ۳ در نظر گرفته شده است. شکل ۲، نمایی از شبکه عصبی طراحی شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲. شبکه عصبی با ۸ نورون در لایه پنهان و ۳ نورون در لایه خروجی

تعداد لایه‌ها و نورون‌های لایه پنهان با استفاده از سعی و خطا به دست آمده است. از بین ۲۴۳۳ داده موجود برای تصادفات، تعداد ۱۷۰۰ رکورد اطلاعاتی برای فرایند آموزش و تعداد ۷۳۳ رکورد اطلاعاتی برای فرایند آزمایش استفاده شده است.

یکی از پارامترهای مهم که برای ارزیابی روش‌های پیش‌بینی شدت تصادفات، در بیشتر مطالعات استفاده می‌شود، رابطه میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) می‌باشد که در رابطه ۸ و نتایج حاصل از تحلیل شبکه عصبی در جدول ۷ آورده شده است.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{t(i) - y(i)}{t(i)} \right| * 100 \quad (8)$$

جدول ۷. نتایج حاصل از تحلیل شبکه عصبی

نوع داده	MSE	MAPE
آموزش	۲.۰۶۳۲	۴.۹
آزمایش	۹.۸۰۱	۷.۳
همه داده‌ها	۷.۲۰۸	۵.۶

یکی دیگر از معیارهایی که برای ارزیابی عملکرد روش‌های پیش‌بینی و برازش مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقدار ضریب رگرسیون R می‌باشد. ضریب رگرسیون، معیاری برای سنجش میزان نزدیکی پاسخ‌های پیش‌بینی شده به مقدار مشاهده شده است. به عبارت دیگر، R شیب خط برازش دهنده نمودار مقادیر واقعی بر حسب مقادیر پیش‌بینی می‌باشد. از این رو، هرچه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج پیش‌بینی، غیرقابل اعتماد و هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، نتایج پیش‌بینی به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد. در این مدل، R برابر ۰/۹۵۳ به دست آمده که نشان‌دهنده میزان نزدیکی نتایج پیش‌بینی به واقعیت است. با توجه به مقدار R و مقادیر جدول ۷ می‌توان گفت که شبکه به‌خوبی آموزش دیده و شدت تصادفات را با خطای قابل قبولی پیش‌بینی کرده است.

حال برای مقایسه این روش با مدل‌های لاجیت ترتیبی و پرایت ترتیبی، لازم است که ضرایب وزنی متغیرهای مدل را نیز از شبکه استخراج کنیم. با توجه به اینکه استخراج این ضرایب از لایه پنهان در فرایند پیشخور در حالت عادی امکان‌پذیر نیست، این شبکه با استفاده از تولباکس نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شد و با تغییر و



کدنویسی در ساختار آن، این ضرایب طی فرایند آموزش در ماتریسی ذخیره و سپس بازیابی شده است. این ضرایب در جدول ۸ آمده و از آوردن متغیرهایی که وزن آن‌ها از ۰/۰۰۱ کمتر است، اجتناب شد.

همان‌طور که در جدول ۸ مشخص است، پارامترهایی که در شبکه عصبی معنی‌دار شده‌اند، مشابه پارامترهایی هستند که معنی‌داری خود را در مدل لاجیت ترتیبی نشان داده بودند؛ با این تفاوت که سه متغیر حضور خودرو سنگین، هوای برفی و هوای بارانی، با ضرایب تأثیر بسیار پایین در مدل شبکه عصبی معنی‌دار شده‌اند. توجیه علامت متغیرها کاملاً شبیه مدل لاجیت ترتیبی است و با آن مدل هم‌خوانی دارد؛ لذا از تکرار آن پرهیز شده است.

**جدول ۸. ضرایب تأثیر و خطا در شبکه عصبی**

MSE	ضریب تأثیر	پارامتر مؤثر
۰.۰۱۵۲۴	۱.۰۲۶۸۴	ضریب ثابت
۰.۰۸۱۲۶	-۰.۲۳۸۷۶	تصادف در صبح
۰.۰۲۶۵۳	۰.۳۷۵۸۱	تصادف در شب
۰.۰۱۲۷۵	۰.۰۰۸۹۱	فاصله از مبدأ
۰.۰۴۵۴۸	۰.۵۱۲۶۴	دوطرفه‌بودن
۰.۰۵۴۱۲	۰.۵۷۸۱۶۲	بزرگراه
۰.۵۸۷۱	-۰.۳۶۲۵۱۹	راه فرعی
۰.۰۹۲۴۹	-۰.۳۲۵۱۶	راه مستقیم
۰.۰۱۸۳۱	-۰.۴۸۲۱۶۴	تصادف پهلوی راست به پهلوی راست
۰.۰۶۳۱۱	-۰.۳۸۶۲۵۴	تصادف جلو - عقب
۰.۲۲۶۱۶	-۱.۱۲۶۵۴۲	تصادف عقب به پهلوی راست
۰.۴۳۲۹۵	۲.۳۱۶۵۸۱	عابر پیاده
۰.۰۲۸۴۳	۰.۹۱۱۳۶۱	دوچرخه
۰.۱۱۷۵۱	۰.۷۷۲۶۴۵	تصادف خودرو سنگین در شب
۰.۱۷۱۹۱	۰.۵۹۳۵۱۶	تصادف خودرو سبک در شب
۰.۰۱۴۶۰	۰.۰۰۲۱۵	حضور خودرو سنگین
۰.۰۷۵۱۱	۰.۰۰۱۵۴	هوای برفی
۰.۰۰۰۱۴	۰.۰۰۱۲۷	هوای بارانی

### مقایسه روش‌ها

دو روش محبوب تحلیل شدت تصادفات روی داده‌های تصادفات موجود پیاده‌سازی و ارائه شد. هرچند از نظر خروجی مطلوب نشان داده شده که هر دو روش به نتایج مشابه و نزدیک به هم دست یافتند؛ در این بخش به مقایسه نحوه عملکرد این دو روش پرداخته شده است. شاخص ارزیابی روش شبکه عصبی این مدل  $0/95$  می‌باشد که بسیار به یک نزدیک بوده، ولی خطای مدل  $7/208$  می‌باشد که به نسبت عدد قابل ملاحظه‌ای است. در مدل لاجیت، شاخص ارزیابی  $0/47$  به دست آمده که بیانگر اعتبار بالاتر این مدل از نظر آماری می‌باشد؛ علاوه بر آن، خطای لاجیت از  $0/5$  تجاوز نمی‌کند. با توجه به این توضیحات می‌توان گفت هرچند شاخص ارزیابی شبکه عصبی بسیار بالاتر از مدل لاجیت است؛ اما خطای آن، قابلیت اعتماد به این مدل را نسبت به مدل‌های لاجیت کمتر می‌کند. باید در نظر داشت که در مواقعی که این پیش‌بینی صحیح نیست، خطای آن بالا می‌باشد. از این رو به نظر می‌رسد که مدل لاجیت به دلیل شاخص ارزیابی بالا و خطای کم، نتایج قابل قبول‌تر و قابل اعتمادتری نسبت به شبکه عصبی ارائه کند.

### نتایج و پیشنهادها

یکی از جنبه‌های مهم ایمنی در تصادفات، کاهش شدت آن می‌باشد. کاهش شدت تصادفات نیازمند شناخت پارامترهای مؤثر در آن و بررسی میزان اثرگذاری هریک از آن‌ها می‌باشد. این مهم سبب شد تا در این پژوهش به بررسی تعیین سهم پارامترهای مختلف در شدت تصادفات جاده‌ای پرداخته شود. پارامترهای بسیاری می‌تواند در شدت تصادفات اثرگذار باشد. این پارامترها عبارتند از زمان، وضعیت آب‌وهوا، وضعیت جاده، نوع خودرو، نوع جاده، سرعت و نحوه برخورد. در این پژوهش، تعداد ۲۴۳۴ داده مربوط به تصادفات از سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ از پلیس راه اصفهان

- شهرکرد دریافت شد. این داده‌ها علاوه بر موارد فوق شامل فیلدهای اطلاعاتی بسیاری از جمله جنسیت راننده مقصر، نوع گواهینامه، سن و سهم عامل انسانی نیز می‌باشد. از آنجایی که شدت تصادفات، یک داده ترتیبی است یا به عبارتی می‌توان بین تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی، شدت و ضعف قائل شد. طبق نتایج مدل‌سازی آماری لاجیت ترتیبی مشخص شد که از بین پارامترهای موجود، ۱۲ پارامتر اصلی و ۲ پارامتر ترکیبی در شدت تصادفات تأثیرگذار هستند. این پارامترها عبارتند از وضعیت زمانی از نظر صبح یا شب‌بودن، فاصله از مبدأ، دوطرفه‌بودن، نوع راه (بزرگراه و راه‌های خاکی)، نحوه برخورد (پهلوی راست به پهلوی راست، جلو به عقب و عقب به پهلوی راست)، وضعیت راه در زمان تصادفات، عابرین پیاده و وجود موتورسیکلت یا دوچرخه در تصادفات. در این مقاله، علاوه بر مدل لاجیت ترتیبی، از یک مدل معروف دیگر به نام شبکه عصبی پیشخور نیز برای پیش‌بینی شدت تصادفات استفاده شده است. از مقایسه این روش‌ها با یکدیگر، این مهم به دست آمد که مدل لاجیت ترتیبی در تحلیل شدت تصادفات، کارایی و قابلیت اعتماد بیشتری دارد. پیشنهاد می‌شود که در زمینه پژوهش‌های آتی برای پیش‌بینی شدت تصادفات، تأثیر پارامتری مانند میزان آشنایی راننده با مسیر بررسی گردد. همچنین تحلیل‌های مکانی - زمانی می‌تواند کمک شایانی به پیشبرد پژوهش‌هایی در زمینه شدت تصادفات کند. از نظر کاربردی هم پیشنهاد می‌شود که آموزش رانندگان وسایل نقلیه عمومی در خصوص پارامترهای مؤثر در افزایش شدت تصادف توسط سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای در دستورکار قرار گیرد.

- Abdel-Aty, M. (2003). Analysis of driver injury severity levels at multiple locations using ordered probit models. *Journal of safety research*, 34(5): p. 597-603.
- Abdel-Aty, M. and H. Abdelwahab. (2004). Modeling rear-end collisions including the role of driver's visibility and light truck vehicles using a nested logit structure. *Accident Analysis & Prevention*, 36(3): p. 447-456.
- Abdel-Aty, M. and J. Keller. (2005). Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 37(3): p. 417-425.
- Abdel-Aty, M.A. and H.T. Abdelwahab. (2004). Predicting injury severity levels in traffic crashes: a modeling comparison. *Journal of transportation engineering*, 130(2): p. 204-210.
- Abdelwahab, H.T. and M.A. Abdel-Aty. (2002). Investigating driver injury severity in traffic accidents using fuzzy ARTMAP. *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 17(6): p. 396-408.
- Al-Ghamdi, A.S. (2002). Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity. *Accident Analysis & Prevention*, 34(6): p. 729-741.
- Alkheder, S., M. Taamneh, and S. Taamneh. (2017). Severity Prediction of Traffic Accident Using an Artificial Neural Network. *Journal of Forecasting*, 36(1): p. 100-108.
- Bahrololoom, S., et al. (2017). *Exploring the Factors Affecting Bicycle Crash Severity in Victoria, Australia*.
- Cantor, D.E., et al. (2010). A driver focused truck crash prediction model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5): p. 683-692.
- Chang, L.-Y. and F. Mannering. (1999). Analysis of injury severity and vehicle occupancy in truck-and non-truck-involved accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 31(5): p. 579-592.
- Chang, L.-Y. and J.-T. Chien. (2013). Analysis of driver injury severity in truck-involved accidents using a non-parametric classification tree model. *Safety Science*, 51(1): p. 17-22.
- Chen, F. and S. Chen. (2011). Injury severities of truck drivers in single-and multi-vehicle accidents on rural highways. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5): p. 1677-1688.
- Das, A. and M. Abdel-Aty. (2010). A genetic programming approach to

explore the crash severity on multi-lane roads. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2): p. 548-557.

– Das, A., et al. (2008). Characteristics of urban arterial crashes relative to proximity to intersections and injury severity. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2083): p. 137-144.

– Das, A., M. Abdel-Aty, and A. Pande. (2009). Using conditional inference forests to identify the factors affecting crash severity on arterial corridors. *Journal of safety research*, 40(4): p. 317-327.

– Delen, D., R. Sharda, and M. Bessonov. (2006). Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3): p. 434-444.

– Desapriya, E., I. Pike, and P. Raina. (2006). Severity of alcohol-related motor vehicle crashes in British Columbia: case-control study. *International journal of injury control and safety promotion*, 13(2): p. 89-94.

– Deublein, M., et al. (2013). Prediction of road accidents: A Bayesian hierarchical approach. *Accident Analysis & Prevention*, 51: p. 274-291.

– Edwards, J.B. (1999). The relationship between road accident severity and recorded weather. *Journal of Safety Research*, 29(4): p. 249-262.

– Haleem, K. and M. Abdel-Aty. (2010). Examining traffic crash injury severity at unsignalized intersections. *Journal of safety research*, 41(4): p. 347-357.

– Huang, H., H.C. Chin, and M.M. Haque. (2008). Severity of driver injury and vehicle damage in traffic crashes at intersections: a Bayesian hierarchical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1): p. 45-54.

– Islam, M.B. and S. Hernandez. (2011). An Empirical Analysis of Fatality Rates for Large Truck Involved Crashes on Interstate Highways. *In 3rd International Conference on Road Safety and Simulation*.

– Jadaan, K.S., M. Al-Fayyad, and H.F. Gammoh. (2014). Prediction of road traffic accidents in Jordan using artificial neural network (ANN). *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 2(2).

– Khattak, A.J., R.J. Schneider, and F. Targa. (2003). Risk factors in large truck rollovers and injury severity: analysis of single-vehicle collisions. *Transportation Research Record*, 40.

– Khorashadi, A., et al. (2005). Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: an exploratory analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 37(5): p. 910-921.

– Kockelman, K.M. and Y.-J. Kweon. (2002). Driver injury severity: an

- application of ordered probit models. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3): p. 313-321.
- Kuhnert, P.M., K.-A. Do, and R. McClure. (2000). Combining non-parametric models with logistic regression: an application to motor vehicle injury data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 34(3): p. 371-386.
  - Lemp, J.D., K.M. Kockelman, and A. Unnikrishnan. (2011). Analysis of large truck crash severity using heteroskedastic ordered probit models. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1): p. 370-380.
  - Lyman, S. and E.R. Braver. (2003). Occupant deaths in large truck crashes in the United States: 25 years of experience. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5): p. 731-739.
  - Moeinaddini, M., et al. (2015). Analyzing the relationships between the number of deaths in road accidents and the work travel mode choice at the city level. *Safety science*, 72: p. 249-254.
  - Nassiri, H. and A. Edrissi. (2006). Modeling truck accident severity on two-lane rural highways. *Scientia Iranica*, 13(2): p. 193-200.
  - Nevarez, P., et al. (2009). Large-scale injury severity analysis for arterial roads: modeling scheme and contributing factors. *In Transportation Research Board 88th Annual Meeting*.
  - Park, S.-h., S.-m. Kim, and Y.-g. Ha. (2016). Highway traffic accident prediction using VDS big data analysis. *The Journal of Supercomputing*, 72(7): p. 2815-2831.
  - Shankar, V., F. Mannering, and W. Barfield. (1996). Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Accident Analysis & Prevention*, 28(3): p. 391-401.
  - Sze, N.-N. and S. Wong. (2007). Diagnostic analysis of the logistic model for pedestrian injury severity in traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6): p. 1267-1278.
  - Theofilatos, A. and G. Yannis. (2014). A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 72: p. 244-256.
  - Theofilatos, A., D. Graham, and G. Yannis. (2012). Factors affecting accident severity inside and outside urban areas in Greece. *Traffic injury prevention*, 13(5): p. 458-467.
  - W.H.O., Global Status Report on Road Safety. (2013). Supporting a decade of action. *World Health Organization (WHO)*.
  - Wang, K., et al. (2016). How the choice of safety performance function affects the identification of important crash prediction variables. *Accident Analysis & Prevention*, 88: p. 1-8.

- Zhu, X. and S. Srinivasan. (2011). Modeling occupant-level injury severity: An application to large-truck crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 43(4): p. 1427-1437.
- Zou, W., X. Wang, and D. Zhang. (2017). Truck crash severity in New York city: an investigation of the spatial and the time of day effects. *Accident Analysis & Prevention*, 99: p. 249-261.

