

## مدل سازی و تحلیل شدت تصادفات اتوبوس های درون و برون شهری

حسام الدین راضی اردکانی<sup>۱</sup> و محمدرضا احدی<sup>۲\*</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>واژگان کلیدی:</b> شدت تصادف، اتوبوس های درون شهری، اتوبوس های برون شهری، مدل لوجیت ترتیبی.</p>	<p>اتوبوس یکی از قدیمی ترین وسایل نقلیه همگانی می باشد. ایمنی این وسایل، از چالش های اصلی هر سیستم حمل و نقل همگانی است. در این میان، تاکنون مسئله شدت تصادفات این دسته از وسایل نقلیه کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است. در سال های اخیر برای اولین بار چند مطالعه پیرامون تحلیل شدت تصادفات اتوبوس ها در سطح جهان انجام گرفته است. از این رو این پژوهش در تلاش است که با استفاده از اطلاعات تصادفات ایران که توسط پلیس پس از وقوع تصادفات به ثبت رسیده است، عوامل مؤثر بر شدت تصادفات که در آن ها اتوبوس درگیر بوده است را در معابر شهری و بین شهری به صورت جداگانه شناسایی و بررسی کند. در این راستا از مدل لوجیت ترتیبی استفاده شده است. در فرآیند مدل سازی، تأثیر پارامترهایی گوناگونی چون ویژگی های زمان تصادف، ویژگی های راننده، تصادف و معبر، بررسی شده است. براساس نتایج حاصله، در معابر درون شهری و برون شهری افزایش سابقه رانندگی کاهش شدت تصادف را به دنبال داشته است. در حالی که در معابر درون شهری عواملی چون وقوع تصادف در شب، سن بالای ۶۰ سال راننده، تصادف با عابر یا چند وسیله، سرعت غیرمجاز، عبور از چراغ قرمز و وقوع در بزرگراه، با افزایش شدت تصادفات اتوبوس ها همراه بوده است. در معابر برون شهری، فصل بهار و تابستان، جوان بودن راننده، تخلف عمدی وی، مصرف الکل یا مواد مخدر، خستگی و خواب آلودگی، واژگونی و سقوط، عدم توجه به جلو، روسازی خیس، شیب دار و قوس دار بودن مسیر، افزایش شدت تصادفات اتوبوس ها را به دنبال داشته است. امید است این نتایج، بتواند به اتخاذ سیاست های ارتقاء ایمنی حمل و نقل همگانی کمک شایانی کند.</p>

### ۱- مقدمه

براساس یک تعریف ساده، دستیابی به مقصد سفر در راستای هدف سفر بدون بروز آسیب جانی و مالی است. تصادفات ترافیکی حوادث پیچیده ای هستند که عوامل فراوانی از جمله طرح هندسی جاده، مشخصات روسازی، رفتار و فاکتورهای فردی راننده، ویژگی های ترافیکی، خصوصیات وسایل نقلیه و شرایط محیطی در آنها دخیل هستند. خسارات ناشی از تصادفات جاده ای دارای ابعاد گوناگون اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، زیست محیطی،

حمل و نقل یکی از اصلی ترین مؤلفه های زندگی مدرن امروزی است و یکی از مهم ترین خصوصیات هر شبکه حمل و نقل ایمنی است. منظور از ایمنی در حمل و نقل

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: ahadi@rahiran.ir

۱. دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۲. استادیار، عضو هیئت علمی، پژوهشکده حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران

پژوهش در تلاش است که با استفاده از اطلاعات تصادفات ایران که توسط پلیس پس از وقوع تصادفات به ثبت رسیده است، عوامل مؤثر بر شدت تصادفاتی که در آن‌ها اتوبوس درگیر بوده است را شناسایی کند. در این راستا از مدل‌های انتخاب گسسته (لوجیت) استفاده خواهد شد. در فرآیند مدل‌سازی، تأثیر پارامترهایی گوناگونی از جمله زمان تصادف، زمان وقوع، شرایط آب و هوایی و روشنایی، ویژگی‌های راننده مانند جنسیت، سن و خطاهای راننده و ویژگی‌های تصادف مانند ویژگی‌های وسیله درگیر با اتوبوس، نوع و نحوه برخورد، ویژگی‌های معبر مانند قوس و شیب بررسی می‌شود.

در ادامه ابتدا مطالعات انجام شده در این زمینه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. سپس به معرفی داده‌های مورد بررسی و ساختار مدل‌سازی پرداخته می‌شود. اطلاعات مورد استفاده با توجه به محل وقوع تصادف، به دو دسته (درون‌شهری و برون‌شهری) تقسیم شده و عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات هر دسته، در قالب پرداخت مدل لوجیت<sup>۱</sup> ترتیبی، جداگانه بررسی می‌شوند. در انتها عوامل مؤثر در هر دسته شناسایی شده و ضرایب مدل به تفکیک درون‌شهری و برون‌شهری ارائه و مقایسه می‌شود. همچنین با توجه به مقادیر کشش<sup>۲</sup> متغیرهای مؤثر، میزان اهمیت پارامترها در افزایش احتمال شدت تصادفات با توجه به محل تصادف مشخص می‌شود.

## ۲- مرور ادبیات

تاکنون مطالعات بسیار اندکی در زمینه مدل‌سازی شدت تصادفات اتوبوس‌ها در سطح جهان انجام پذیرفته است. اولین مطالعه توسط باروا و تی [۵] در کشور بنگلادش انجام گرفته است. آن‌ها به بررسی تصادفات اتوبوس‌های شهر داکا طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵، پرداخته‌اند. مدل لوجیت ترتیبی برای تحلیل شدت تصادفات به کار

بهداشتی و روانی است. هر ساله نزدیک به ۱/۳ میلیون نفر در جهان بر اثر تصادفات ترافیکی جان خود را از دست می‌دهند و ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر بر اثر این حوادث مجروح می‌شوند. تصادفات جاده‌ای یکی از سه عامل اصلی مرگ‌ومیر افراد بین سنین ۵ تا ۴۴ سال در سطح جهان است [۱]. کشور ایران نیز امروزه در امر ترافیک شبکه معابر و ایمنی راه‌ها با مشکلات عمده‌ای مواجه است. آمار نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر تعداد تصادفات جاده‌ای به طور چشم‌گیری در کشور رو به رشد نهاده و متعاقباً خسارات جانی و مالی ناشی از این تصادفات نیز هزینه سنگینی را به کشور وارد کرده است. در ۶ ماهه نخست سال ۱۳۹۰، در مجموع ۱۱ هزار و ۲۰۱ نفر بر اثر تصادفات رانندگی در کشور کشته و ۱۶۳ هزار نفر مصدوم شده‌اند. به عبارتی روزانه ۶۰ نفر و هر ساعت ۲/۵ نفر بر اثر تصادفات جان خود را از دست می‌دهند [۲]. براساس تحقیقاتی که در زمینه برآورد هزینه‌های تصادفات درون‌شهری و برون‌شهری در راه‌های ایران توسط پژوهشکده حمل‌ونقل وزارت راه و شهرسازی انجام گرفته است، هزینه تصادفات ترافیکی ایران در سال ۸۶ با احتساب یارانه‌ها بالغ بر ۱۸۰ هزار میلیارد ریال برآورد شده است که با این هزینه می‌توان برای بیش از ۱۵۰ شهر ناوگان قطار شهری خریداری نمود [۳]. آیتی هزینه تصادفات ایران در سال ۸۰ را، بیش از ۳/۵٪ تولید ناخالص ملی برآورد کرده است [۴].

اتوبوس، یکی از قدیمی‌ترین وسایل نقلیه همگانی می‌باشد. ایمنی این وسایل، از چالش‌های اصلی هر سیستم حمل‌ونقل همگانی است. در این میان، تاکنون مسئله شدت تصادفات این دسته از وسایل نقلیه کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است. علت انتخاب شدت تصادف به جای تعداد و یا نوع تصادف، اهمیت بالای درک عوامل منجر به افزایش شدت تصادفات و در نتیجه افزایش شدت آسیب‌دیدگی سرنشینان است. در سال‌های اخیر برای اولین بار چند مطالعه پیرامون تحلیل شدت تصادفات اتوبوس‌ها در سطح جهان انجام گرفته است. از این‌رو این

<sup>1</sup> Logit

<sup>2</sup> Elasticity

بدین منظور آن‌ها از مدل لوجیت ترتیبی تعمیم‌یافته استفاده کرده‌اند. سطح شدت در پنج سطح بدون جراحت، جراحت احتمالی، جراحت بدون نقص عضو، با نقص عضو و فوت، در نظر گرفته شده است. ویژگی‌ها گوناگونی از تصادف و وسیله درگیر، وارد مدل‌سازی گردیده است. نتایج نشان داد که راننده جوان با سن کمتر از ۲۵ سال، بیش از ۵۵ سال، راننده زن، معابر با سرعت مجاز بالای ۶۵ مایل بر ساعت و زیر ۲۰ مایل بر ساعت، تقاطع‌ها و رانندگی پر خطر از عوامل مؤثر بر افزایش شدت تصادفات اتوبوس‌ها بوده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، حوزه این مطالعات تنها به سه مطالعه طی سال‌های اخیر محدود می‌گردد. بنابراین اطلاعات زیادی پیرامون بررسی شدت تصادفات اتوبوس‌ها در دسترس نمی‌باشد.

به دلیل ماهیت گسسته بودن سطوح شدت تصادف، استفاده از مدل‌های انتخاب گسسته یکی از رایج‌ترین رویکردهای مورد استفاده در پژوهش‌های سال‌های اخیر بوده است [۸]. با توجه به تعداد سطوح شدت و داده مورد استفاده، تاکنون مدل‌های انتخاب گسسته متنوعی در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته است.

رایج‌ترین مدل استفاده شده در این حوزه، لوجیت یا پروبیت ترتیبی می‌باشد. همچنین بهترین مدل در میان سایر مدل‌ها یعنی لوجیت ترکیبی، به دلیل زمان بسیار زیاد فرآیند تخمین، دستیابی به مدل نهایی را بسیار مشکل می‌کند. بنابراین در پژوهش حاضر، مدل لوجیت ترتیبی برای تحلیل شدت تصادفات، مورد استفاده قرار گرفته است.

از مطالعاتی که در زمینه شدت تصادفات در کشورمان انجام گرفته است می‌توان به پژوهش نصیری و طلوعی [۹] اشاره کرد که در آن به بررسی و شناسایی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات جلو به جلو در جاده‌های دو خطه برون‌شهری پرداخته شده است. همچنین نصیری و ادیسی [۱۰] با استفاده از مدل لوجیت و شبکه عصبی به شناسایی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات کامیون‌ها در جاده‌های دو خطه برون‌شهری پرداختند.

گرفته شده است. اطلاعات مورد استفاده نشان داد که طی سال‌های مذکور شدت تصادفات این وسایل، رو به افزایش بوده است. عواملی چون وقوع تصادف در روز تعطیل، مسیر دوطرفه، درگیر با یک وسیله و درگیر با عابر از جمله عوامل افزایش دهنده شدت تصادفات بوده است. در نقطه مقابل، معابر با رفیوژ میانی، کنترل پلیس، برخورد با جسم ثابت، برخورد با وسیله پارک شده و برخورد پهلو به پهلو، با شدت تصادفات کمتری همراه بوده است. از این رو کاهش سرعت اتوبوس‌های شهری در روزهای تعطیل و زمان‌ها پیک ترافیک، می‌تواند به کاهش شدت تصادفات کمک کند.

رامن و همکاران [۶] به بررسی شدت تصادفات اتوبوس‌ها در استان آذربایجان شرقی پرداخته‌اند. از اطلاعات تصادفات سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ استفاده گردیده است. تمامی انواع اتوبوس‌ها مانند اتوبوس‌های شهری و بین‌شهری در نظر گرفته شده است. چهار مدل به شرح زیر ساخته شده است:

۱- تصادفات تک وسیله در بزرگراه‌ها،

۲- تصادفات تک وسیله در غیر بزرگراه‌ها،

۳- تصادفات دو وسیله در بزرگراه‌ها،

۴- تصادفات دو وسیله در غیر بزرگراه‌ها.

نتایج نشان داد که وضعیت جوی نامناسب در تمامی مدل‌ها یا کاهش شدت تصادفات همراه بوده‌اند. در تمامی مدل‌ها عوامل مؤثر بر شدت تصادفات مواردی چون، نوع برخورد، سن راننده وسیله مقابل و راننده اتوبوس شناسایی شده است. برای تصادفات بزرگراهی، تصادف با اتوبوس دیگر، کامیون و موتورسیکلت با افزایش شدت تصادفات همراه بوده است. برخورد جلو به جلو، نیز اثری مشابه داشته است. برای معابر غیر از بزرگراه، وقوع تصادف در نزدیکی تونل، پل و تقاطع با افزایش شدت تصادفات همراه بوده است. تصادفات با عابران پیاده در معابر غیر از بزرگراه نیز با افزایش شدت تصادفات همراه بوده است.

کاپلان و پراتو [۷] به بررسی شدت تصادفات اتوبوس‌ها در سطح آمریکا، طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ پرداخته‌اند.

مدل لوجیت ترتیبی به عنوان رایج‌ترین و معتبرترین مدل استفاده شده در این زمینه شناخته شد.

### ۳- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق تصادفات درون‌شهری و برون‌شهری تهران که در آن‌ها حداقل یک اتوبوس درگیر بوده و در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به وقوع پیوسته‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است. با حذف نمونه‌های ناقص و مشاهداتی که یک یا برخی از اطلاعات مربوط به آن‌ها نامشخص می‌باشد و همچنین جداسازی تصادفاتی که در آن‌ها عابر یا موتورسیکلت دخیل بوده‌اند، در نهایت ۷۰۳۵ تصادف بررسی شده است. از این میان تنها ۱۳ درصد از خودروها در معابر برون‌شهری و ۸۷ درصد در معابر درون‌شهری به وقوع پیوسته‌اند. متغیر وابسته مدل که همان شدت تصادفات می‌باشد، به صورت سه گانه (خسارتی، جرحی و فوتی) تعریف شده است. در معابر درون‌شهری، تصادفات خسارتی، ۹۲/۸ درصد، جرحی، ۷/۰ درصد و فوتی ۰/۲ درصد و در معابر برون‌شهری، تصادفات خسارتی، ۸۹/۱ درصد، جرحی، ۷/۷ درصد و فوتی ۳/۲ درصد داده‌های موجود را شامل می‌شوند. در مدل‌سازی با مدل‌های انتخاب گسسته، محدودیتی برای حداقل تعداد مشاهدات لازم در پرداخت مدل وجود ندارد. در صورتی که پس از ساخت مدل، ضرایب معنادار گردیده و مدل دارای برآزش مناسب بر مشاهدات باشد، قابل دفاع بوده و برای تحلیل استفاده می‌گردد. در ادبیات تحقیق، مدل‌هایی با ۲۷ مشاهده نیز دیده می‌شود [۱۷].

پارامترهای مورد بررسی شامل طیف گسترده‌ای از متغیرها از جمله ویژگی‌های زمان تصادف، ویژگی‌های راننده، تصادف و معبر، بررسی شده است. مشخصات متغیرهای موجود در اطلاعات، در جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است، تمامی متغیرهای موجود در جدول ۱ ارائه شده است، درحالی‌که طی فرآیند مدل‌سازی

مدل ترتیبی، یکی از رایج‌ترین مدل‌های مورد استفاده برای بررسی شدت تصادفات است. دنگ و همکاران [۱۱] با به کارگیری یک مدل پروبیت ترتیبی به بررسی شدت تصادفات در ایالت کنکتیکت پرداختند. بررسی عوامل گوناگون نشان داد سطح خیزی روسازی و وقوع تصادف در شب همبستگی زیادی با شدت تصادف دارد؛ در حالی که افزایش عرض خط باعث کاهش شدت تصادفات فوق می‌شود. مرکیر و همکاران [۱۲] با به کارگیری رگرسیون لجستیک به بررسی تأثیر سن و جنسیت راننده بر میزان آسیب‌دیدگی در تصادفات پرداختند. فرضیه مورد مطالعه در این تحقیق این بود که احتمال آسیب‌دیدگی افراد مسن در تصادفات به دلیل تغییرات فیزیولوژیکی بدنشان، بیشتر از احتمال آسیب‌دیدگی افراد جوان است. هلیم و ابدل‌اتی [۱۳] برای تحلیل تصادفات بوقوع پیوسته در چهارراه‌های بدون چراغ از مدل پروبیت دوگانه با دو سطح شدت جرحی و بدون جرح پرداختند. پیک‌آسا و همکاران [۱۴] نیز با استفاده از رگرسیون لجستیک به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر شدت تصادفات برون‌شهری جوانان پرداخته‌اند.

جمع‌بندی مطالعات انجام شده در سطح دنیا نشان می‌دهد که در زمینه بررسی شدت تصادفات اتوبوس‌ها مطالعات بسیار محدودی انجام شده است و در ایران نیز هیچ‌گونه مطالعه رسمی در این زمینه انجام نگرفته است. تعیین عوامل مؤثر بر شدت تصادفات اتوبوس‌های درون‌شهری و برون‌شهری، امری ضروری است. همان‌طور که از مطالعات بالا مشخص می‌شود، تصادفات فوق کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، و لازم است این نوع تصادفات جداگانه تحلیل شوند. تفکیک میان تصادفات درون‌شهری و برون‌شهری به همراه یافتن تفاوت عوامل مؤثر بر شدت تصادفات می‌تواند نتایج حاصل از مطالعات گذشته را تکمیل نماید. مدل‌های گوناگونی در زمینه شدت تصادفات مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توان با کارگیری آنان بر روی داده‌های تصادفات ایران، به تحلیل تصادفات بوقوع پیوسته در ایران پرداخت. با توجه به مطالعات انجام شده،

متغیرهایی چون سه دسته سن به طور هم‌زمان وارد مدل نگردیده است.

جدول ۱- معرفی متغیرهای مورد بررسی

سهم به درصد		توصیف متغیر	نام متغیر	نوع متغیر
بین شهری	شهری			
۸۹/۱	۹۲/۸	-	خسارتی	متغیر وابسته (شدت تصادف)
۷/۷	۷/۰	-	جرחי	
۳/۲	۰/۲	-	فوتی	
۱۵/۱	۷/۵	۱ = تعطیل، ۰ = در غیر اینصورت	روز تصادف	زمان تصادف
۱۰/۲	۱۲/۸	۱ = ساعت اوج صبح، ۰ = در غیر اینصورت	ساعت تصادف	
۳۷/۱	۱۵/۳	۱ = شب، ۰ = در غیر اینصورت	شرایط نور	
۵۸/۴	۸۳/۸	۱ = روز، ۰ = در غیر اینصورت	شرایط نور	
۴/۵	۰/۹	۱ = طلوع یا غروب خورشید، ۰ = در غیر اینصورت	شرایط نور	
۲۷/۶	۳۵/۸	۱ = بهار، ۰ = در غیر اینصورت	فصل	
۲۶/۴	۲۴/۱	۱ = تابستان، ۰ = در غیر اینصورت	فصل	
۲۷/۶	۲۲/۸	۱ = پائیز، ۰ = در غیر اینصورت	فصل	
۱۸/۷	۱۷/۲	۱ = زمستان، ۰ = در غیر اینصورت	فصل	
۰/۲	۹۵/۴	۱ = مرد، ۰ = در غیر اینصورت	جنسیت راننده	
۶۱/۱	۴۸/۸	۱ = کمتر از ۲۵ سال، ۰ = در غیر اینصورت	سن راننده	
۳۸/۰	۵۰/۰	۱ = ۲۵ تا ۶۰ سال، ۰ = در غیر اینصورت	سن راننده	
۰/۹	۱/۲	۱ = بیشتر از ۶۰ سال، ۰ = در غیر اینصورت	سن راننده	
۴/۶	۳/۹۳	زمان بین صدور گواهینامه و روز تصادف (سال)	سابقه رانندگی	
(۴/۷۵) ۰/۵			سابقه رانندگی	
۲/۵	۱/۱	۱ = بی‌سواد، ۰ = در غیر اینصورت	تحصیلات راننده	
۳۷/۴	۳۱/۹	۱ = سیکل، ۰ = در غیر اینصورت	تحصیلات راننده	
۵۳/۳	۵۲/۸	۱ = دیپلم، ۰ = در غیر اینصورت	تحصیلات راننده	
۱/۲	۱/۷	۱ = بالای دیپلم، ۰ = در غیر اینصورت	تحصیلات راننده	
۹۶/۲		۱ = مقصر، ۰ = در غیر اینصورت	نقش راننده	
۵۸/۶	۶۶/۹	۱ = بی‌توجهی به مقررات، ۰ = در غیر اینصورت	نقش راننده	
۰/۴	۰/۲	۱ = تخلف عمدی، ۰ = در غیر اینصورت	نقش راننده	
۰/۲	۰/۴	۱ = خستگی و خواب‌آلودگی، ۰ = در غیر اینصورت	نقش راننده	
۲۱/۹	۲۲/۰	۱ = عجله و شتاب بی‌مورد، ۰ = در غیر اینصورت	خطای راننده	
۰/۲	۰/۳	۱ = عدم آشنایی با جاده، ۰ = در غیر اینصورت	خطای راننده	
۱/۵	۱/۱	۱ = عدم تشخیص سهم عبور، ۰ = در غیر اینصورت	خطای راننده	
۰/۱	۰/۰	۱ = مصرف الکل یا مواد مخدر، ۰ = در غیر اینصورت	خطای راننده	
۶/۶	۶/۸	۱ = سایر عوامل انسانی دخیل، ۰ = در غیر اینصورت	خطای راننده	
۵/۵	۶۸/۲	۱ = اگر راننده مانع دید داشته، ۰ = در غیر اینصورت	مانع دید	
۲۷/۳	۴۵/۵	۱ = سواری، ۰ = در غیر اینصورت	نوع طرف درگیر در تصادف (وسیله یا عابر)	ویژگی‌های تصادف
۲/۷	۱/۶	۱ = وانت‌بار، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۷	۰/۸	۱ = مینی‌بوس یا ون، ۰ = در غیر اینصورت		
۱/۲	۴/۶	۱ = اتوبوس، ۰ = در غیر اینصورت		
۱۲/۴	۲/۲	۱ = وسیله نقلیه سنگین، ۰ = در غیر اینصورت		
۱/۱	۰/۸	۱ = موتورسیکلت، ۰ = در غیر اینصورت		

سهم به درصد		توصیف متغیر	نام متغیر	نوع متغیر
بین شهری	شهری			
۰/۰	۰/۰	۱ = دوچرخه، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۹	۳/۷	۱ = عابر، ۰ = در غیر اینصورت		
۱/۰	۰/۰	۱ = حیوان، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۱	۰/۱	۱ = با وسیله پارک شده، ۰ = در غیر اینصورت		
۴/۸	۱/۳	۱ = با جسم ثابت، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۵	۰/۰	۱ = خروج از مسیر، ۰ = در غیر اینصورت		
۲/۴	۰/۱	۱ = واژگونی و سقوط، ۰ = در غیر اینصورت		
۱۷/۶	۳۲/۰	۱ = پهلوی به پهلوی، ۰ = در غیر اینصورت	نوع برخورد	
۱۵/۵	۲۱/۰	۱ = زاویه ای، ۰ = در غیر اینصورت		
۵/۷	۲/۲	۱ = جلو به جلو، ۰ = در غیر اینصورت		
۴۲/۴	۲۸/۴	۱ = جلو به عقب، ۰ = در غیر اینصورت		
۱۶/۷	۹/۹	۱ = سایر انواع برخورد، ۰ = در غیر اینصورت		
۷۸/۴	۸۶/۲	۱ = یک وسیله، ۰ = در غیر اینصورت	تعداد وسایل نقلیه درگیر	
۷/۸	۵/۵	۱ = چند وسیله، ۰ = در غیر اینصورت		
۲۴/۳	۲۱/۹	۱ = عدم توجه به جلو، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۰	۰/۱	۱ = عدم مهارت کافی در رانندگی، ۰ = در غیر اینصورت		
۴/۷	۰/۱	۱ = عدم توانایی در کنترل خودرو، ۰ = در غیر اینصورت		
۱/۰	۰/۴	۱ = عدم رعایت سرعت مجاز، ۰ = در غیر اینصورت	علت تامه تصادف	
۲/۰	۰/۶	۱ = انحراف به چپ، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۴	۰/۴	۱ = حرکت در جهت خلاف، ۰ = در غیر اینصورت		
۷/۱	۱۲/۴	۱ = تغییر مسیر ناگهانی، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۰	۰/۸	۱ = عدم توجه به چراغ راهنمایی، ۰ = در غیر اینصورت		
۸۳/۳	۸۹/۸	۱ = صاف، ۰ = در غیر اینصورت		
۴/۵	۵/۶	۱ = ابری، ۰ = در غیر اینصورت		
۸/۴	۴/۰	۱ = بارانی، ۰ = در غیر اینصورت	وضعیت هوا	
۲/۶	۰/۳	۱ = برفی، ۰ = در غیر اینصورت		
۱/۱	۰/۳	۱ = مه آلود، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۱	۰/۱	۱ = سایر، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۱	۰/۱	۱ = شنی یا خاکی، ۰ = در غیر اینصورت		ویژگی های معبر
۸۶/۵	۹۴/۸	۱ = خشک، ۰ = در غیر اینصورت		
۱۰/۹	۴/۵	۱ = خیس، ۰ = در غیر اینصورت	شرایط روسازی راه	
۲/۴	۰/۱	۱ = یخی، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۱	۰/۰	۱ = گلی، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۰	۰/۳	۱ = سایر، ۰ = در غیر اینصورت		
۰/۱	۵/۹	۱ = بزرگراه، ۰ = در غیر اینصورت	نوع معبر	
۰/۱	۲/۷	۱ = تقاطع، ۰ = در غیر اینصورت		

سهم به درصد		توصیف متغیر	نام متغیر	نوع متغیر
بین شهری	شهری			
۱/۰	۸/۶	۱ = میدان، ۰ = در غیر اینصورت		
۶/۸	۲/۸	۱ = کم عرض بودن معبر، ۰ = در غیر اینصورت		
۲/۰	۴/۵	۱ = نقص علائم افقی یا عمودی، ۰ = در غیر اینصورت	نقص راه	
۰/۱	۰/۵	۱ = وجود مانع و دست‌انداز، ۰ = در غیر اینصورت		
۲/۸	۰/۴	۱ = شیب‌دار و قوس، ۰ = در غیر اینصورت		
۵/۳	۴/۲	۱ = مسطح و قوس، ۰ = در غیر اینصورت	مشخصات هندسی	
۴/۵	۲/۴	۱ = شیب‌دار و مستقیم، ۰ = در غیر اینصورت		
۸۷/۴	۹۳/۰	۱ = مسطح و مستقیم، ۰ = در غیر اینصورت		

#### ۴- روش تحقیق

می‌باشد. در شرایطی که دو گزینه برای تصادف-راننده تعریف شود، گزینه ۱ برای تصادف-راننده  $n$  در صورتی مشاهده می‌شود که تابع مطلوبیت آن برای این تصادف-راننده از مطلوبیت گزینه ۲ بیشتر باشد. عموماً بخش معین تابع مطلوبیت  $V_{nj}$  به صورت تابعی خطی از ویژگی‌های تصادف-راننده در نظر گرفته می‌شود. احتمال مشاهده گزینه ۱ برای تصادف-راننده  $n$ ، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_{n1} = P(U_{n1} \geq U_{n2}) = P(V_{n1} + \varepsilon_{n1} \leq V_{n2} + \varepsilon_{n2}) \quad (2)$$

و احتمال مشاهده گزینه ۲ برای تصادف-راننده  $n$  می‌شود:

$$P_{n2} = 1 - P_{n1} \quad (3)$$

توزیع نرمال، مدل پروبیت را بدست می‌دهد. احتمال پروبیت از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$P_{n1} = \Phi\left(\frac{V_{n1} - V_{n2}}{\sigma}\right) \quad (4)$$

که  $\Phi$  بیانگر توزیع تجمعی نرمال استاندارد<sup>۱</sup> و  $\sigma$  انحراف معیار پارامتر تصادفی<sup>۲</sup> می‌باشد. اگر بخش غیرقابل مشاهده دارای توزیع گامبل فرض شود، تفاضل دارای توزیع لجستیک بوده و مدل لوجیت دوگانه را بدست می‌دهد. به دلیل فرم بسته انتگرال مدل لوجیت، احتمال مدل لوجیت دوگانه به رابطه ساده زیر تبدیل می‌شود:

#### ۴-۱- مدل‌های انتخاب

مبنای شکل‌گیری بسیاری از مدل‌های انتخاب گسسته نظریه اقتصادی مطلوبیت تصادفی است. در این مدل‌ها فرض بر آن است که انتخاب براساس مطلوبیت گزینه‌ها که ناشی از ویژگی‌های فرد، گزینه و محیط است، صورت می‌گیرد. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل‌های انتخاب، احتمال مشاهده میزان شدت تصادف (گزینه  $j$ ) براساس ویژگی‌های تصادف و راننده ( $n$ ) برآورد می‌شود. هر مشاهده موجود در اطلاعات مورد استفاده، مربوط به یک تصادف می‌باشد که شامل ویژگی‌های راننده و تصادف درگیر در آن است. با توجه به نوع مشاهدات، مطلوبیت به صورت تابع زیر تعریف می‌شود:

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (1)$$

که در آن:

$U_{nj}$ : تابعی خطی از ویژگی‌های تصادف-راننده  $n$  برای گزینه  $j$

$V_{nj}$ : قسمت قابل اندازه‌گیری مطلوبیت گزینه  $j$  برای تصادف-راننده  $n$

$\varepsilon_{ni}$ : قسمت غیرقابل مشاهده مطلوبیت گزینه  $j$  برای تصادف-راننده  $n$

<sup>1</sup> Standardized Cumulative Normal Distribution

<sup>2</sup> Standard Deviation of Random Component

در شرایطی که نوع داده‌ها رتبه‌ای باشند، به دلیل ماهیت ترتیبی گزینه‌ها، استفاده از مدل‌های ترتیبی نسبت به مدل‌های لوجیت و پروبیت چندگانه متداول‌تر است. در مدل‌سازی انتخاب گسسته، دو نوع داده گسسته عادی و رتبه‌ای استفاده می‌شود. انتخاب‌های رتبه‌ای ماهیت ترتیبی نسبت به هم دارند. به عنوان مثال در بحث مالکیت وسیله، انتخاب تعداد خودرو ترتیبی است یعنی مقدار هر گزینه از تعدادی از گزینه‌ها بزرگتر و از تعدادی از گزینه‌ها کوچکتر است. انتخاب دو خودرو بیش از انتخاب یک یا صفر خودرو است در حالی که انتخاب فوق، کمتر از سه خودرو است. انتخاب‌های عادی ماهیت ترتیبی نسبت به هم ندارند. به عنوان مثال، در بحث انتخاب وسیله، انتخاب وسیله نقلیه عمومی و وسیله نقلیه شخصی برای سفر هیچ ترتیبی نسبت به هم ندارند. مزیت این مدل‌ها تخمین تعداد کمتری ضریب و در نتیجه تفسیر روشن‌تر نتایج حاصله است. این وضعیت به طور مشخص در بخش تحلیل شدت تصادفات که سطوح شدت ماهیت ترتیبی نسبت به هم دارند، مشاهده می‌شود. در این حالت استفاده از مدل‌های ترتیبی به عنوان رایج‌ترین روش‌های مدل‌سازی در مطالعات انجام شده پیرامون تحلیل شدت تصادفات گزارش شده است.

فرضیه مدل‌های ترتیبی آن است که همواره یک متغیر پیوسته غیرقابل مشاهده (متغیر نهانی<sup>۴</sup>) با یک متغیر گسسته مشاهده شده در ارتباط است. شکل عمومی این مدل‌ها طبق رابطه (۹) است:

$$Y_n^* = \beta X_n + \varepsilon_n \quad (9)$$

که در آن:

$Y_n^*$ : متغیر وابسته غیر قابل مشاهده (نهانی)

$X_n$ : متغیرهای توصیفی (ویژگی‌های تصادف-راننده  $n$ )

$\beta$ : بردار ضرایب متغیرهای توصیفی

$\varepsilon_n$ : خطای غیر قابل مشاهده

$$P_{n1} = \frac{e^{V_{n1}}}{e^{V_{n1}} + e^{V_{n2}}} \quad (5)$$

رابطه (۵) را می‌توان به صورت رابطه (۶) بازسازی کرد:

$$P_{n1} = \frac{e^{V_{n2}}}{e^{V_{n2}}(1 + e^{V_{n1}/e^{V_{n2}}})} = \frac{1}{1 + e^{V_{n1}-V_{n2}}} \quad (6)$$

#### ۴-۲- مدل‌های انتخاب چندگانه<sup>۱</sup>

در شرایطی که تعداد گزینه‌ها بیش از دو باشد، احتمال وقوع یک گزینه با استفاده از مدل‌های چندگانه برآورد می‌شود. از جمله متداول‌ترین این نوع مدل، لوجیت چندگانه است. رابطه (۷) این ساختار را نشان می‌دهد. در این رابطه احتمال مشاهده گزینه  $a$  برای تصادف-راننده  $n$  برآورد می‌شود.

$$P_{na} = \frac{e^{V_{na}}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}}} \quad (7)$$

که  $J$  مجموعه گزینه‌ها و  $V_{na}$  مطلوبیت گزینه  $a$  برای تصادف-راننده  $n$  است. جزئیات چگونگی استخراج مدل لوجیت چندگانه در مرجع [۱۶] گزارش شده است. یکی از ویژگی‌های اصلی این مدل استقلال گزینه‌های نامرتبط است<sup>۲</sup>. در این صورت، نسبت احتمال مشاهده دو گزینه مستقل از حضور گزینه سوم است. یعنی رابطه زیر بین احتمال مشاهده گزینه  $a$  و  $b$  برای تصادف-راننده  $n$  برقرار است.

$$\frac{P_{na}}{P_{nb}} = e^{V_{na}-V_{nb}} \quad (8)$$

#### ۴-۳- مدل‌های انتخاب ترتیبی<sup>۳</sup>

<sup>1</sup> Multinomial Choice Models

<sup>2</sup> Independence of Irrelevant Alternatives (IIA)

<sup>3</sup> Ordered Response Models

<sup>4</sup> Latent Variable



در این روابط اگر  $\varepsilon$  دارای توزیع لجستیک با میانگین صفر و پراکنش مجذور عدد پی تقسیم بر سه باشد، مدل لوجیت ترتیبی نتیجه می‌شود و چنانچه  $\varepsilon$  دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و پراکنش یک باشد، مدل پروبیت ترتیبی حاصل می‌گردد [۱۸]. پرداخت مدل فوق به روش بیشینه درستنمایی می‌باشد و لگاریتم درستنمایی طبق رابطه (۱۴) نوشته می‌شود:

$$\log L = \sum_{n=1}^N \sum_{j=0}^J m_{nj} \log [F(\mu_j - \beta' X_n) - F(\mu_{j-1} - \beta' X_n)] \quad (16)$$

که  $m_{nj} = 1$  اگر  $Y_n = j$ ، در غیر اینصورت صفر می‌باشد. بیشینه‌سازی با توجه به محدودیت‌های  $\mu_0 = -\infty$  و  $\mu_J = +\infty$  انجام می‌پذیرد. قابل ذکر است که در رابطه (۱۵) بازه انتهایی برای گزینه ۴، تنها با تخمین  $\mu_3$  معین می‌گردد، در نتیجه سه مقدار آستانه  $\mu$  تخمین زده می‌شود.

یکی از فرض‌های مدل لوجیت ترتیبی، فرض روند موازی<sup>۱</sup> می‌باشد. فرض فوق به نام‌های دیگری مانند شانس‌های متناسب یا خطوط موازی نیز خوانده می‌شود. همان گونه که در رابطه (۱۱) مشاهده می‌شود، ضرایب متغیرها ( $\beta$ ) برای محاسبه احتمال مشاهده تمامی سطوح  $Y_n$ ، یکسان است. ماهیت برابر بودن  $\beta$ ها برای گزینه‌ها در مدل فوق، فرض روندگر موازی نامیده می‌شود.

#### ۴-۴- ارزیابی مدل‌ها

شاخص برازندگی [۱۹] ملاکی است که میزان خوبی برازش مدل بر داده‌ها و مشاهدات را تعیین می‌کند؛ مقدار این ضریب بین صفر و یک تغییر می‌کند. شاخص

می‌باشد. از نظر ریاضی رابطه بین  $Y_n^*$  و  $Y_n$  (سطح شدت مشاهده شده) به صورت زیر قابل بیان است:

$$Y_n = j \quad \text{اگر} \quad (10)$$

$$\mu_{j-1} \leq Y_n^* \leq \mu_j \quad \text{و} \quad j = 1, 2, 3, \dots$$

که در آن‌ها  $\mu_j$ ها آستانه‌های متغیر نهانی هستند که حدود شدت تصادف را تعریف می‌کنند.  $j$  نیز سطوح شدت تصادف است. با توجه به روابط (۹) و (۱۰) می‌توان نوشت [۱۷]:

$$Y_n = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_0 < \beta X_n + \varepsilon_n \leq \mu_1 \\ 2 & \text{if } \mu_1 < \beta X_n + \varepsilon_n \leq \mu_2 \\ 3 & \text{if } \mu_2 < \beta X_n + \varepsilon_n \leq \mu_3 \\ 4 & \text{if } \mu_3 < \beta X_n + \varepsilon_n \leq \mu_4 \end{cases} \quad (11)$$

در این روابط  $\mu_0 = -\infty$  و  $\mu_4 = +\infty$  فرض می‌شوند. بنابراین، مشاهده  $Y_n = 1$  (یعنی مشاهده سطح شدت ۱ برای تصادف-راننده  $n$ ) نظیر حالتی است که  $Y_n^*$  بین  $-\infty$  و  $\mu_1$  قرار گیرد، احتمال وقوع آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Pr(Y_n = 1 | X_n) = \Pr(\mu_0 \leq Y_n^* \leq \mu_1 | X_n) \quad (12)$$

با جایگذاری  $Y_n^* = \beta x_n + \varepsilon_n$  خواهیم داشت:

$$\Pr(Y_n = 1 | X_n) = F(\mu_1 - \beta' X_n) \quad (13)$$

که در آن  $F$  تابع توزیع تجمعی مقدار  $\varepsilon$  است. در حالت عمومی وقتی که  $Y_n = j$  باشد می‌توان نوشت:

$$\Pr(Y_n = j | X_n) = F(\mu_j - \beta' X_n) - F(\mu_{j-1} - \beta' X_n) > 0 \quad (14)$$

با ترکیب روابط (۱۱) و (۱۴) می‌توان نوشت:

$$Y_n = \begin{cases} 1 & \text{if } F(\mu_1 - \beta' X_n) \\ 2 & \text{if } F(\mu_2 - \beta' X_n) - F(\mu_1 - \beta' X_n) \\ 3 & \text{if } F(\mu_3 - \beta' X_n) - F(\mu_2 - \beta' X_n) \\ 4 & \text{if } 1 - F(\mu_3 - \beta' X_n) \end{cases} \quad (15)$$

<sup>1</sup> Parallel Regression Assumption

این فرض باید میان متغیرهای مورد استفاده در مدل لوجیت (به دلیل رابطه خطی آنها در توابع مطلوبیت)، برقرار باشد. از عامل افزایش دهنده پراکنش<sup>۲</sup> ضرایب برآورد شده برای تشخیص هم خطی میان متغیرهای استفاده می شود. مقدار این شاخص از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (19)$$

که  $R_j^2$  مربوط به برازندگی مدل روندگرایی خطی هر متغیر  $j$  بر روی سایر متغیرهای توصیفی مدل است. اگر مقدار شاخص فوق برای متغیری بیش از ۵ باشد، خطاری مبنی بر هم خطی چندگانه آن متغیر با متغیرهای دیگر است [۱۹].

#### ۴-۵- تحلیل حساسیت در مدل ها

از آنجایی که مقادیر ضریب متغیرها به تنهایی نمی تواند توصیف کننده مناسبی برای اثر متغیرها در احتمال مشاهده هر گزینه باشد، معمولاً از پارامتر کشش برای تفسیر بهتر نتایج استفاده می گردد. برای متغیرهای پیوسته کشش عبارت است از تغییر میزان احتمال انتخاب یک گزینه به ازای تغییر یک درصدی در متغیر مستقل مورد نظر. این کشش به کمک رابطه (۲۰) محاسبه می گردد.

$$E_{x_{kj}}^{P_j} = \frac{\partial P_j}{\partial x_{kj}} \times \frac{x_{kj}}{P_j} \quad (20)$$

که در آن  $P_j$  احتمال مشاهده گزینه  $j$  و  $x_{kj}$  مقدار متغیر پیوسته  $k$ ام گزینه  $j$  می باشد. متداول ترین نقطه محاسبه مقدار کشش در میانگین متغیرها است. ولی روش بهتر، محاسبه کشش برای هر مشاهده و گرفتن میانگین کشش برای تمامی مشاهدات است [۱۶].

برازندگی برای مدل هایی که به روش درستنمایی بیشینه پرداخت می شوند نظیر لوجیت به صورت زیر تعریف می شود.

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \quad (17)$$

که در آن  $LL(0)$  مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازای ضرایب صفر و  $LL(\beta)$  مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازای ضرایب برآورد شده را نمایش می دهند [۱۶].

برای مقایسه دو مدل در حالتی که مجموعه متغیرهای مدل دوم زیرمجموعه ای از متغیرهای مدل اول باشد، از آزمون نسبت درستنمایی استفاده می گردد. در شرایط گوناگونی می توان از این آزمون استفاده کرد. به عنوان مثال ارزیابی اعمال محدودیتی در مدل اول، به کمک این آزمون قابل سنجش است. اگر لگاریتم درستنمایی مدل

اولیه برابر  $LL_{base\ model}$  باشد و پس از اعمال تغییرات

برابر  $LL_{estimated\ model}$  باشد. رابطه زیر بین مقادیر فوق برقرار است:

$$-2(LL_{base\ model} - LL_{estimated\ model}) \sim \chi^2 \quad (18)$$

$\chi^2$  حاصل دارای درجه آزادی برابر اختلاف بین درجه آزادی دو مدل بالا است. از مقایسه آماره فوق با مقادیر توزیع  $\chi^2$  اهمیت آماری متغیرهای حذف شده در مدل جدید بدست آید.

برای ارزیابی اهمیت یک متغیر، از آماره  $t$  برای رد فرضیه صفر بودن مقدار ضریب متغیر ( $\beta$ ) استفاده می شود. در این پژوهش معیار تأثیرگذاری متغیری بر انتخاب گزینه ها، معناداری ضریب آن در سطح اطمینان بیش از ۹۰ درصد فرض شده است. همچنین یکی از مهم ترین ویژگی های مدل های خطی، اطمینان از عدم وجود هم خطی<sup>۱</sup> بین متغیرهای توصیفی است. در صورت وقوع هم خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل، پراکنش ضرایب برآورد شده به سمت بینهایت میل خواهد نمود.

<sup>2</sup> Variance Inflation Factor

<sup>1</sup> Multicollinearity

معناداری ضریب را نشان می‌دهد. هرچه مقدار این سطح اطمینان بزرگ‌تر باشد یا به عبارتی میزان  $t$  بزرگ‌تر باشد، اهمیت آن متغیر بالاتر است. بسیاری از متغیرهای موجود در اطلاعات، به دلیل معنادار نبودن یا همبستگی با سایر متغیرها در فرآیند مدل‌سازی حذف شده‌اند.

مشخصات مدل نشان می‌دهد که ضریب خوبی برازش مدل ۴۲٪ می‌باشد، که بسیار مناسب است. با توجه به جدول ۳ به بررسی ضرایب متغیرها در مدل تصادفات درون‌شهری می‌پردازیم. همان‌گونه که مشاهده می‌شود وقوع تصادف در شب با افزایش شدت تصادفات همراه بوده است. بنابراین تاریک بودن مسیر باعث افزایش شدت جراحات تصادفات شده است. می‌توان دلیل این اثر را دید ناکافی راننده در تاریکی دانست. این نتیجه توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است [۱۹]. رانندگان با سنین بیشتر از ۶۰ سال تصادفات با شدت بیشتری را تجربه کرده‌اند. این نتیجه مطابق تعدادی از مطالعات انجام گرفته در این حوزه است [۲۰، ۲۱]. افزایش سابقه رانندگان نیز با کاهش شدت تصادفات همراه بوده است. این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد. راننده با افزایش مدت زمان رانندگی، مهارت بیشتری در این امر پیدا می‌کند و طبیعتاً تصادفات با شدت کمتری را تجربه می‌کند. از این رو یکی از راهکارهای کاهش شدت تصادفات اتوبوس‌ها آموزش بیشتر رانندگان و افزایش سطح مهارت‌های آنان می‌باشد. مقصر بودن راننده اتوبوس با شدت تصادفات کمتری همراه است. به نظر می‌رسد در تصادفات شدیدی که اتوبوس‌ها درگیر هستند نقش راننده وسیله مقابل مهم‌تر است. به عبارتی رانندگان اتوبوس محتاط‌تر عمل کرده و در نتیجه تصادفاتی که عامل آن‌ها رانندگان فوق می‌باشد، شدت کمتری را دارا بوده‌اند.

برای متغیرهای دوگانه شبه-کشش<sup>۱</sup> محاسبه می‌شود. به دلیل این که متغیرهای فوق تنها می‌توانند دو مقدار صفر یا یک را اختیار کنند. تغییر یک درصدی در آن‌ها معنی ندارد و در نتیجه تغییر احتمال مشاهده گزینه به دنبال تغییر مقدار هر متغیر از صفر به یک محاسبه می‌شود. مقدار شبه-کشش از رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود.

$$E_{x_{kj}}^{P_j} = \frac{P_j[x_{kj} = 1] - P_j[x_{kj} = 0]}{P_{kj}[x_{kj} = 0]} \quad (21)$$

روش بهتر بدست آوردن مقدار شبه-کشش نیز محاسبه آن برای هر مشاهده و گرفتن میانگین کشش برای تمامی مشاهدات است [۱۷].

## ۵- مدل‌سازی و نتایج آن

بعد از جداسازی تصادفات جلو به جلو و آماده‌سازی اطلاعات برای مدل‌سازی، با استفاده از ماتریس هم‌بستگی، متغیرهایی که هم‌بستگی در سطح ۹۵ درصد میانشان وجود داشت، از داده‌ها حذف شده‌اند. به منظور کاهش تعداد زیاد متغیرهای موجود، به کمک آزمون استقلال کای دو<sup>۲</sup> پارامترهای تأثیرگذار بر شدت تصادفات شناسایی شده‌اند. با توجه به اهمیت متغیرهای موجود که بر اساس مرور بر پژوهش‌های مرتبط شناسایی شده‌اند، پارامترهای مناسب وارد مدل شده و ضرایب تخمین زده شده‌اند و معناداری متغیرهای وارد شده براساس آماره  $t$  بررسی شده است. در نهایت با کنترل ترکیبات مختلفی از متغیرها، بهترین مدل انتخاب شده است. جدول ۲ نتایج مدل لوجیت ترتیبی شدت تصادفات درون‌شهری را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که اعداد مثبت بیانگر افزایش احتمال وقوع تصادفات جرحی و در نتیجه افزایش احتمال شدت تصادف به ازای افزایش مقادیر متغیر مربوطه است. در ستون اول ضرایب مربوط به متغیرها ارائه شده است. ستون دوم آماره  $t$  و ستون بعد از آن سطح اطمینان

<sup>1</sup> Pseudo-Elasticity

<sup>2</sup> Chi-Squared

جدول ۳: ضرایب مدل لوجیت ترتیبی برای تصادفات اتوبوس های برون شهری

معناداری	آماره t	ضریب	متغیر	نوع متغیر
۰/۰۵۲	۱/۹۴	۰/۷۰۰	در بهار	زمان تصادف
۰/۰۳۰	۲/۱۷	۰/۶۳۵	در تابستان	
۰/۰۰۰	۴/۴۷	۱/۲۱۹	سن ۱۸ تا ۲۴ سال	ویژگی های راننده
۰/۰۵۴	-۱/۹۲	-۰/۰۳۶	سابقه رانندگی	
۰/۰۰۳	-۲/۹۷	-۰/۹۱۹	مقصر	
۰/۱۲۷	۱/۵۳	۱/۵۱۰	تخلف عمدی	
۰/۰۶۱	۱/۸۷	۲/۹۲۰	مصرف الکل یا مخدر	
۰/۰۹۹	۱/۶۵	۰/۷۲۰	خستگی و خواب آلودگی	
۰/۰۰۰	۶/۰۴	۴/۱۴۳	تصادف با عابر	ویژگی های تصادف
۰/۰۰۰	۴/۷۶	۱/۷۸۹	برخورد جلو به جلو	
۰/۰۰۰	۵/۰۱	۲/۵۹۰	واژگونی یا سقوط	
۰/۰۶۳	۱/۸۶	۰/۶۱۵	عدم توجه به جلو	
۰/۱۲۰	۱/۵۵	۰/۶۰۳	روسازی خیس	ویژگی های معبر
۰/۰۶۱	۱/۸۷	۰/۷۰۷	شیب دار و قوس	
	۸۰۷		تعداد نمونه	ویژگی های مدل
	-۲۶۸/۰۵۷		لگاریتم درست نمایی	
	۰/۱۹۱		$\rho^2 \rho^2$	

دارای سرعت های مجاز و عملکردی پایین تر هستند موجب می شود که این عامل تأثیر بسزایی در افزایش شدت تصادفات داشته باشد. عبور از چراغ قرمز، شدت تصادفات را افزایش داده است. عبور از چراغ قرمز یکی از رایج ترین تخلفات معابر درون شهری است که نتایج نشان می دهد کنترل بیشتر روی آن می تواند کاهش شدت تصادفات را به دنبال داشته باشد. آموزش رانندگان اتوبوس های شهری و روشن نمودن تأثیر تخلفات بر کاهش ایمنی معابر، می تواند از راهکارهای پیشنهادی برای کاهش شدت تصادفات باشد.

در هوای صاف شدت تصادفات اتوبوس ها افزایش پیدا کرده است. در این شرایط رانندگان با آسودگی خاطر رانندگی می کنند و در نتیجه توجه کمتری به رانندگی خود می کنند. این موضوع باعث وقوع تصادفات شدیدتری می گردد. تصادفات به وقوع پیوسته در بزرگراه ها با شدت بیشتری همراه هستند. با توجه به سرعت عملکردی بالای این معابر، برخورد اتوبوس ها در بزرگراه ها با تصادفات

تصادف با عابر با مقدار معناداری بسیار مناسبی در افزایش شدت تصادفات مؤثر بوده است. با توجه به وزن بسیار بالای اتوبوس ها و ساختار قسمت جلوی آن ها، منطقی است که با کوچک ترین برخورد میان اتوبوس و عابر، صدمات شدیدی به عابر وارد می گردد. یکی از راه های افزایش ایمنی اتوبوس ها، اصلاح نقاط تقابل عابران با اتوبوس ها است [۷]. برخورد جلو به عقب و پلو به پهلوی با کاهش تصادفات همراه است. به نظر منطقی می رسد که این نوع برخوردها تنها تصادفات خسارتی را به دنبال داشته باشد و کمتر احتمال دارد که این نوع برخوردها به فوت منجر شود. تصادف با چند وسیله با افزایش شدت تصادفات همراه بوده است. افزایش تعداد وسایل نقلیه درگیر، احتمال درگیر افراد را افزایش می دهد که این مسئله موجب تبدیل شدن یک تصادف خسارتی به جرحی یا فوتی می شود. سرعت غیر مجاز یک عامل بسیار مهم در افزایش شدت تصادفات شناخته شده است. با توجه به این موضوع که افزایش سرعت در معابر شهری که معمولاً

افزایش سخت‌گیری‌ها برای کنترل وضعیت رانندگان خصوصاً در پاسگاه‌های پلیس دارد. خستگی و خواب‌آلودگی نیز از قدیمی‌ترین عوامل وقوع و افزایش شدت تصادفات رانندگان اتوبوس‌های بین‌شهری و وسایل نقلیه سنگین است، که برای حل آن تلاش، لازم است تلاش‌های کافی صورت پذیرد. تصادف با عابر نیز با افزایش احتمال شدت تصادفات همراه بوده است. برخورد جلو به جلو که ناشی از انحراف به چپ رانندگان و یا سبقت‌های غیرمجاز است، از دیگر عوامل مؤثر بر افزایش شدت تصادفات شناخته شده است. این برخوردها مخصوصاً به دلیل اختلاف وزن اتوبوس‌ها با سایر وسایل، تصادفات شدیدی را به دنبال دارد. واژگونی و سقوط نیز از دیگر عوامل افزایش دهنده شدت تصادفات هستند. این نتیجه نیز منطقی به نظر می‌رسد. روسازی خیس، شیب‌دار و قوس‌دار بودن مسیر نیز با افزایش شدت تصادفات اتوبوس‌ها همراه بوده است. در معابر با روسازی خیس، ترمزگیری وسایل نقلیه سنگین همچون اتوبوس‌ها مشکل می‌گردد که این مسئله افزایش شدت تصادفات این وسایل نقلیه را به دنبال دارد. با توجه به نتایج پرداخت دو مدل، تحلیل پارامترهای مورد بررسی انجام شد. برای بررسی تفاوت شدت تصادفات اتوبوس‌های درون‌شهری و برون‌شهری، مقادیر کشش متغیرهای دو مدل محاسبه شده و در جدول ۴ ارائه شده است. مقدار کشش میزان تغییر در احتمال افزایش شدت تصادف به ازای تغییر در متغیرهای توصیفی مربوطه را نشان می‌دهد. نتایج بیان شده در زیر حاصل از تحلیل ضرایب مدل‌ها و مقادیر کشش متغیرهای معنادار مدل‌ها است.

با توجه به مقادیر کشش متغیرها، مؤثرترین عوامل افزایش شدت تصادفات درون‌شهری اتوبوس‌ها، تصادف با عابر (۶۰۵/۸٪)، سرعت غیرمجاز (۱۸۹/۸٪) و تصادف با چند وسیله (۱۱۱/۰٪) است. در معابر برون‌شهری، مؤثرترین عوامل افزایش شدت تصادفات درون‌شهری اتوبوس‌ها، تصادف با عابر (۳۵۶/۶٪)، مصرف الکل و مواد مخدر

شدیدتری نسبت به معابر دیگر شهری همراه است. در نتیجه، توصیه می‌گردد که رانندگان اتوبوس‌ها در بزرگراه‌ها با سرعت مطمئنه و احتیاط بیشتری حرکت کنند.

با توجه به جدول ۳ به بررسی ضرایب متغیرهای مدل برون‌شهری می‌پردازیم. قابل ذکر است که ضریب خوبی برازش مدل در حدود ۲۰٪ می‌باشد که با توجه به ماهیت مسئله مناسب است. از نظر زمان تصادف، وقوع تصادفات اتوبوس‌های برون‌شهری در فصل‌های بهار و تابستان با افزایش شدت تصادفات همراه بوده است. این دو فصل دارای یک ویژگی مشترک هستند. بسیاری از سفرهای تفریحی انجام شده در طول سال در این دو ماه انجام می‌گیرد. در نتیجه اتوبوس‌ها به عنوان یک وسیله نقلیه همگانی، نقش مهمی در جابجایی مسافران بین‌شهری را دارا می‌باشد.

این مسئله تعداد افراد در معرض خطر را افزایش داده و موجب افزایش شدت تصادفات اتوبوس‌های برون‌شهری می‌گردد. رانندگان جوان اتوبوس، یعنی سن بین ۱۸ تا ۲۴ سال، شدت تصادفات بیشتری را تجربه کرده‌اند. این گروه سنی رفتارهای مخاطره‌آمیز بیشتری نسبت به سایر رانندگان انجام می‌دهند و به طور کلی کمتر احتیاط می‌کنند. در نتیجه در آموزش رانندگان اتوبوس‌ها توصیه می‌شود توجه ویژه‌ای به جوانان گردد. سابقه رانندگی مانند تصادفات درون‌شهری، یک عامل مهم در کاهش شدت تصادفات شناخته شده است. این امر، اهمیت تجربه و مهارت رانندگی را در کاهش شدت تصادفات نشان می‌دهد. مقصر بودن راننده، دیگر عامل از میان عوامل انسانی، تخلف عمدی، مصرف الکل یا مواد مخدر و خستگی و خواب‌آلودگی یک عامل تأثیرگذار بر افزایش شدت تصادفات اتوبوس‌ها شناخته شده‌اند. در بحث تخلف، اولین گام آموزش بیشتر رانندگان و تبیین اثرات زیان‌بار تخلف بر سلامتی سرنشینان اتوبوس‌ها است. مصرف الکل و مواد مخدر که متأسفانه یک عمل رایج میان این دسته از رانندگان است، نیاز به آموزش رانندگان و همچنین

(۲۵۱/۴٪)، واژگونی و سقوط (۲۲۰/۸٪)، برخورد جلو به جلو (۰/۱۵۴٪) و تخلف عمدی (۱۳۰/۰٪) است.

جدول ۴: کشش متغیرهای مدل لوجیت ترتیبی برای تصادفات اتوبوس های درون شهری و برون شهری

نوع متغیر	متغیر	کشش متغیرهای درون شهری (%)		کشش متغیرهای برون شهری (%)	
		جرحی	فوتی	جرحی	فوتی
زمان تصادف	در شب	۲۵/۳	۲۷/۲	-	-
	در بهار	-	-	۶۷/۸	۶۰/۳
	در تابستان	-	-	۶۱/۵	۵۴/۶
ویژگی های راننده	سن ۱۸ تا ۲۴ سال	-	-	۱۱۸/۱	۱۰۴/۹
	سن بالای ۶۰ سال	۷۳/۷	۷۹/۴	--	-
	سابقه رانندگی (سال)	-۸/۵	-۹/۱	-۲/۵	-۳/۱
	مقصر	-۶۱/۷	-۶۶/۵	-۸۹/۱	-۷۹/۱
	تخلف عمدی	-	-	۱۴۶/۳	۱۳۰/۰
	مصرف الکل یا مخدر	-	-	۲۸۲/۹	۲۵۱/۴
	خستگی و خواب آلودگی	-	-	۶۹/۷	۶۱/۹
	تصادف با عابر	۶۰۵/۸	۶۵۲/۸	۴۰۳/۳	۳۵۶/۶
ویژگی های تصادف	برخورد جلو به جلو	-	-	۱۷۳/۲	۱۵۴/۰
	برخورد جلو به عقب	-۵۶/۳	-۶۰/۷	-	-
	برخورد پهلو به پهلو	-۱۳۴/۰	-۱۴۴/۴	-	-
	واژگونی یا سقوط	-	-	۲۵۰/۸	۲۲۰/۸
	تصادف با چند وسیله	۱۱۱/۰	۱۱۹/۶	-	-
	عدم توجه به جلو	-	-	۵۹/۶	۵۲/۹
	سرعت غیر مجاز	۱۸۹/۸	۲۰۴/۵	-	-
	عبور از چراغ قرمز	۸۵/۸	۹۲/۴	-	-
ویژگی های معبر	روسازی خیس	-	-	۵۸/۴	۵۱/۹
	در هوای صاف	۴۴/۸	۴۸/۳	-	-
	در بزرگراه	۶۴/۹	۷۰/۰	-	-
	شیب دار و قوس	-	-	۶۸/۵	۶۰/۸

## ۶- نتیجه گیری

شدت تصادفات شناسایی شده است. پرداخت مدل های آماری نشان داد که دقت آن ها برای این منظور بالا می باشد. از جمله نتایج مهم استخراج شده از فرآیند مدل سازی می توان به موارد زیر اشاره نمود؛ قابل ذکر است که در اینجا منظور از تصادف، تصادفات اتوبوس ها می باشد.

این پژوهش با به کارگیری مدل لوجیت ترتیبی، به بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات اتوبوس های درون شهری و برون شهری پرداخته است. در این راستا از اطلاعات تصادفات رخ داده در ایران استفاده گردیده است. با در نظر گرفتن سه سطح شدت فوتی، جرحی و خسارتی، برای تصادفات، دو مدل به صورت جداگانه پرداخت شده و سپس با توجه به معناداری متغیرهایی موجود در مدل نهایی، عوامل مؤثر و میزان اثر آن ها بر احتمال افزایش

## ۱-۶- تصادفات اتوبوس‌های درون‌شهری:

۱. شدت تصادفاتی که در شب اتفاق می‌افتند، بیشتر از تصادفات به وقوع پیوسته در روز است.
  ۲. سن بالای ۶۰ سال رانندگان اتوبوس‌ها، باعث افزایش شدت تصادف می‌شود.
  ۳. افزایش سابقه رانندگی راننده اتوبوس، کاهش شدت تصادفات را به دنبال دارد.
  ۴. مقصر بودن راننده اتوبوس، شدت تصادف را کاهش داده است.
  ۵. تصادفات با عابران پیاده یا چند وسیله دیگر با افزایش شدت تصادفات همراه است.
  ۶. برخورد پهلو به پهلو و جلو به عقب، تصادفات با شدت کمتری را به دنبال دارد.
  ۷. در میان علل تامه تصادف، دو عامل سرعت غیرمجاز و عبور از چراغ قرمز باعث افزایش شدت تصادفات شده است.
  ۸. تصادفات در هوای صاف با افزایش شدت، نسبت به هوای غیر عادی، همراه است.
  ۹. شدت تصادفاتی که در بزرگراه‌ها رخ می‌دهند، بیشتر می‌باشد.
- ۱-۶- تصادفات اتوبوس‌های درون‌شهری:
۱. شدت تصادفاتی که در فصل بهار یا تابستان اتفاق می‌افتند، بیشتر از تصادفات به وقوع پیوسته در سایر فصول است.
  ۲. سن بین ۱۸ تا ۲۴ سال رانندگان اتوبوس‌ها، باعث افزایش شدت تصادف می‌شود.
  ۳. افزایش سابقه رانندگی راننده اتوبوس همانند تصادفات معابر درون‌شهری، با کاهش شدت تصادفات همراه است.
  ۴. مقصر بودن راننده اتوبوس، شدت تصادف را کاهش داده است.
  ۵. در رانندگان، سه عامل تخلف عمدی، مصرف الکل یا مواد مخدر و خستگی و خواب‌آلودگی، باعث افزایش شدت تصادفات شده است.
  ۶. تصادفات با عابران پیاده با افزایش شدت تصادفات همراه است.
  ۷. برخورد جلو به جلو، تصادفات با شدت بیشتری را به دنبال دارد.
  ۸. واژگونی و سقوط، موجب افزایش شدت تصادفات می‌شود.
  ۹. علت تامه عدم توجه به جلو، باعث افزایش شدت تصادفات شده است.
  ۱۰. تصادفات بر روی روسازی با وضعیت خیس، با شدت بیشتری به وقوع پیوسته‌اند.
- شدت تصادفاتی که در معابر شیب‌دار و قوس‌دار رخ می‌دهند، بیشتر بوده است.

## مراجع

- [1] WHO. (2011). "A Decade of Action for Road Safety: A Brief Planning Document". World Health Organization, [www.who.int/roadsafety/Decade\\_of\\_action.pdf](http://www.who.int/roadsafety/Decade_of_action.pdf)
- [2] Tehran Safe Community. <http://www.tehransafe14.com/Default.aspx?PageID=604&RelatedID=vnHvndy>.
- [3] Transportation Research Institute. Iran University of Science & Technology, <http://www.tri.gov.ir>. Accessed Date: 2013.
- [4] آیتی اسماعیل، هزینه تصادفات ترافیکی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۴.
- [5] Barua, U., R. Tay. (2010). "Severity of Urban Transit Bus Crashes in Bangladesh". Journal of Advanced Transportation, Vol. 44(1), pp. 34-41.

- [6] Rahman, M. M., L. Kattan and R. Tay. (2011). "Injury Risk in Collisions Involving Buses in Alberta, Canada". *Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.*, pp. 13-26.
- [7] Kaplan, S., C. G. Prato. (2012). "Risk Factors Associated with Bus Accident Severity in the United States: A Generalized Ordered Logit Model". *Journal of Safety Research, Vol. 43(3)*, pp. 171-180.
- [8] Savolainen, P. T., F. L. Mannering, D. Lord and M. A. Quddus. (2011). "The Statistical Analysis of Highway Crash-Injury Severities: A Review and Assessment of Methodological Alternatives". *Accident Analysis and Prevention, Vol. 43(5)*, pp. 1666-1676.
- [۹] نصیری، ح. ا.، ر. طلوعی. (۱۳۸۴). شناسایی عوامل موثر در شدت تصادفات جلو به جلو با استفاده از مدل پروبیت ترتیبی. اولین کنفرانس بین‌المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای.
- [۱۰] نصیری، ح. ا.، ع. ادریسی. (۱۳۸۲). مدل‌سازی و شناسایی عوامل موثر در شدت تصادفات کامیون‌ها در جاده‌های دوخطه برون‌شهری با استفاده از مدل لوجیت و شبکه عصبی. ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران.
- [11] Zuxuan, D., J. N. Ivan and P. Gårder. (2006). "Analysis of Factors Affecting the Severity of Head-on Crashes Two-Lane Rural Highways in Connecticut". *TRB 2006 Annual Meeting CD-ROM*.
- [12] Mercier, C. R., M. C. Shelley Ii, J. B. Rimkus and J. M. Mercier. (1997). "Age and Gender as Predictors of Injury, Severity in Head-on Highway Vehicular Collisions". *Transportation Research Record, Vol. 1581*, pp. 37-46
- [13] Haleem, K. and M. Abdel-Aty. (2010). "Examining Traffic Crash Injury Severity at Unsignalized Intersections". *Journal of Safety Research, Vol. 41(4)*, pp. 347-357.
- [14] Peek-Asa, C., C. Britton, T. Young, M. Pawlovich and S. Falb. (2010). "Teenage Driver Crash Incidence and Factors Influencing Crash Injury by Rurality". *Journal of Safety Research, Vol. 41(6)*, pp. 487-492.
- [15] Hensher, D. A., J. M. Rose and W. H. Greene. (2005). "Applied Choice Analysis: A Primer". Cambridge University Press.
- [16] Washington, S. P., M. G. Karlaftis and F. L. Mannering. (2003). "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis". CHAPMAN & HALL/CRC.
- [17] Greene, W. H. and D. A. Hensher. (2009). "Modeling Ordered Choices: A Primer and Recent Developments". Cambridge: Cambridge University Press.
- [18] Train, K. E. "Discrete Choice Methods with Simulation". (2007). Cambridge University Press, United States of America.
- [19] Gray, R. C., M. A. Quddus and A. Evans. (2008). "Injury Severity Analysis of Accidents Involving Young Male Drivers in Great Britain". *Journal of Safety Research, Vol. 39(5)*, pp. 483-495.
- [20] Paleti, R., N. Eluru and C. R. Bhat. (2010). "Examining the Influence of Aggressive Driving Behavior on Driver Injury Severity in Traffic Crashes". *Accident Analysis and Prevention, Vol. 42(6)*, pp. 1839-1854.
- [21] Xie, Y., Y. Zhang and F. Liang. (2009). "Crash Injury Severity Analysis Using Bayesian Ordered Probit Models". *Journal of Transportation Engineering, Vol. 135(1)*, pp. 18-25.