ارائه مدل پیش‌بینی شدت تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری

سینا صاحبی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت‌مدرس و کارشناس پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه، تهران، ایران

بابک میربها (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

علیرضا ماهپور، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس و کارشناس‌ارشد پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه، تهران، ایران

محمدحسین نوروزعلیایی، کارشناس‌ارشد، پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه، تهران، ایران

E-mail: mirbaha@IKIU.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۳۰ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۰

چکیده:

مطالعه حاضر با هدف پیش‌بینی و ارزیابی عوامل موثر بر شدت تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری انجام شده است. به این سبب، عوامل موثر بر جرحی یا فوتی بودن تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری استان تهران، طی سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۰، با استفاده از مدل لوجیت دوتایی مورد تحلیل قرار گرفت. متغیرهای بررسی‌شده در این مدل شامل ویژگی‌هایی نظیر مشخصات راننده، زمان وقوع تصادف، وسیله نقلیه درگیر در تصادف، مقصر بودن عابر پیاده، فاصله از نزدیک‌ترین پاسگاه، علت تامه ثبت‌شده در صحنه تصادف و تعداد وسایل درگیر در تصادف می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که تخطی عابر پیاده، وقوع تصادف در هنگام عصر، وقوع تصادف در مناطق دشتی، وزن خودرو مواجه شده با عابر پیاده و تعداد خودروهای درگیر در تصادف مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر شدت جراحت عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری هستند. بررسی‌های پس از ساخت مدل نشان داد، تخطی عابر پیاده، دارای بیشترین اثر حاشیه درمیان متغیرهای معنادار است. ماتریس بی‌نظمی مدل پیشنهادی نشان می‌دهد مدل ارائه شده، از قابلیت مناسبی در تخمین شدت تصادفات برخوردار است. مدل ساخته‌شده، ۱۰۰ درصد تصادفات جرحی، ۶ درصد تصادفات فوتی و ۶۵ درصد کل تصادفات را به‌درستی پیش‌بینی کرده است. با توجه به اینکه ضرایب مدل ساخته‌شده معنادار هستند و بر اساس ماتریس بی‌نظمی دقت پیش‌بینی مدل (٪۶۵) نیز مناسب است، نتیجه‌گیری‌های حاصل از تفسیر مدل می‌تواند قابل‌قبول و قابل استناد باشد. نتایج این مقاله می‌تواند مسئولان مربوط را در شناخت بیشتر ماهیت تصادفات و ارائه برنامه‌های کنترلی و نظارتی بیشتر یاری کند..

واژه‌های کلیدی: مدل پیش‌بینی، شدت تصادفات، راه‌های برون‌شهری، لوجیت.

۱. مقدمه

کاهش شمار قربانیان و جراحات ناشی از حوادث جاده‌ای در هر نظام ارزشی مشترک اخلاق محور، امری مؤکد و اجتناب‌ناپذیر است. به این ترتیب یافتن عوامل موثر بر شدت جراحات وارده در سانحه جاده‌ای را می‌توان گامی موثر در راستای نیل به ارزش‌ها تلقی کرد. یافتن عوامل موثر بر شدت جراحات با تاکید بر اثر سنجی آماری عوامل سیاست پذیر موثر، به‌عنوان ابزاری مناسب در سطح میانی مدیریت ایمنی راه، کاربرد خواهد داشت. در اکثر موارد کاهش شمار تصادفات معیار الویت بندی اقدامات ایمن‌سازی قرار می‌گیرد. درحالی‌که منحصر ساختن تاکید بر شمار تصادفات موجب نادیده گرفتن اثرگذاری اقدامات ایمن‌سازی راه بر میزان خسارات ناشی از تصادف می‌شود.

هر چند ایمنی راه در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته و موجب پیشرفت در این زمینه شده است، اما این پیشرفت به طور یکسان ایمنی کاربران را تأمین نکرده است و کاربران آسیب‌پذیر، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند [Shinar, 2012]. مطابق تعریف، مؤلفه‌های سازنده ترافیک بدون سلول محافظت‌کننده خارجی، کاربران آسیب‌پذیر راه نامیده می‌شوند. مصداق این تعریف شامل عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران است [Otte and Haasper, 2012]. ضرورت پرداختن به این مهم، زمینه تحقیق پیرامون ارزیابی عوامل موثر بر شدت تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری را فراهم ساخت.

برای شناخت عوامل موثر بر شدت جراحات ناشی از سوانح رانندگی، استفاده از مدل‌های آماری لوجیت در مطالعات بسیاری [Gray and Quddus, 2008] دیده می‌شود. یکی از مزیت‌های این مدل‌ها قابلیت تعیین میزان اثرگذاری متغیرها بر احتمال بروز نوع جراحت است. این مقاله در صدد ارائه ابزاری برای تصمیم‌گیری بهتر در راستای کاهش جراحات عابران پیاده در سوانح رانندگی راه‌های برون‌شهری است.

۲. مطالعات پیشین

هر چند تصادفات وقایعی تصادفی‌اند، اما چنانچه مجموعه‌ای از تصادفات در طول زمان قابل‌توجه (حداقل دوره زمانی مدل‌سازی تصادفات عموماً ۳ سال است) در نظر گرفته شوند، می‌توان با کاربرد فن‌های آماری، قابلیت پیش‌بینی تعداد تصادفات را به دست آورد [Shahi, Ahmadinejad and Sheikholeslam, 2005]. امروزه گسترش نرم‌افزارهای آماری باعث شده تا دست‌یابی به مدل‌ها سهل شده و این امر پیشرفت بسیاری را در مدل‌سازی در بخش ایمنی حمل و نقل فراهم آورده است. با این حال، در بسیاری از موارد، پژوهشگران به مسائل آماری مربوط به تکنیک مدل‌سازی از قبیل کنترل فرضیات دربرگیرنده هر مدل و حوزه کاربرد صحیح نتایج آن توجه کافی نمی‌کنند و این امر منجر به ارائه نتایج نادرست و شتاب زده می‌شود [Shams and Rahimi-Movaghar, 2009]. قابل‌توجه بودن تعداد تصادفات، توجه جهانی را به حساسیت مسئله معطوف داشته و سال‌های متمادی است که کشورهای توسعه‌یافته، در پی تدوین برنامه‌های جامع ایمنی و تدوین استراتژیهای مؤثر کاهش تصادفات و تلفات ناشی از آن هستند [Delen and Bessonov, 2006] تدوین چنین برنامه‌هایی در گام اول مستلزم شناخت و کسب قدرت پیش‌بینی است که هر دو مورد درصورت مدلسازی تصادفات قابل تحقق است. به همین دلیل، فعالیت گسترده‌ای در زمینه مدل‌سازی تصادفات طی سال‌های اخیر در کشورهای توسعه‌یافته صورت گرفته و دستاوردهای مهمی به دنبال داشته است [Ri-faat, Tay and De Barros, 2011]. به طور عمده عوامل دخیل در تصادفات را می‌توان به ٤ دسته انسان، وسیله نقلیه، جاده و محیط تقسیم‌بندی نمود [Behbahani and Fakharian, 2010]. ازآنجا که تمامی عوامل شامل انسان، راه و وسیله نقلیه به نوعی در تصادفات نقش دارند، پیش‌بینی تعداد تصادفات و مشخصات آن‌ها به دلیل تعدد عوامل مؤثر و تعامل پیچیده آن‌ها کار پیچیده‌ای است [Rasouli, 2008].

بسیاری از محققان به بررسی عوامل موثر بر شدت جراحت ناشی از تصادف عابران پیاده پرداخته‌اند. در اغلب این مطالعات از اقسام

مدل‌های انتخاب خاصه مدل لوجیت دوتایی و لوجیت ترتیبی استفاده شده است. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۷ با استفاده از داده‌های بیمارستانی در هنگ‌کنگ انجام شد، نتایج مدل لوجیت دوتایی نشان داد که سن زیر ۱۵ سال، مرد بودن، بودن در مناطق پر ازدحام و تصادف در روز، احتمال فوت ناشی از تصادف عابر پیاده را کاهش می‌دهد [Sze and Wong, 2007]. همچنین در این مطالعه [Sze and Wong, 2007] مشخص شد سن بالای ٦٥ سال، ضربه به سر، تصادف در محدوده ۱۵ متری محل عبور عابران و تصادف در مسیرهای با سرعت مجاز بالای ۵۰ کیلومتر بر ساعت احتمال فوت عابر در تصادفات را افزایش می‌دهد. الورو و همکاران [Eluru, Bhat and Hensher, 2008] با استفاده از مدل لوجیت ترتیبی ترکیبی تعمیم‌یافته دریافتند افزایش سن فرد، افزایش حد سرعت مجاز در مسیر، تصادف در تقاطعات بدون چراغ و رخ دادن تصادف در شب، احتمال تشدید مصدومیت عابر را افزایش می‌دهد. کیم و همکاران [Kim et al. 2008] با تحلیل داده‌های تصادفات عابران پیاده طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰ در کارولینای شمالی دریافتند افزایش سن عابر، مرد بودن راننده، مست بودن راننده، تصادف در مکان‌های تجاری، تاریکی مسیر در زمان تصادف، تصادف عابر با کامیون، تصادف عابر در بزرگراه، تصادف عابر در راه‌های جداشده دو طرفه، مقصر بودن همزمان عابر و راننده و همچنین تنها مقصر بودن عابر احتمال فوت عابر پیاده در سوانح ترافیکی را افزایش می‌دهد.

در مطالعه‌ای دیگر [Clifton, Burnier and Akar, 2009] داده‌های تصادفات عابران پیاده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰٤ در شهر بالتیمور با استفاده از مدل پرابیت ترتیبی تحلیل شد. نتایج این تحلیل نشان داد که کودکان و سالمندان، به‌عنوان عابران پیاده درگیر در تصادف بیشتر در معرض جراحت شدید قرار دارند. علاوه بر این، نتایج این مطالعه نشان داد عابرانی که به چراغ راهنمایی توجه نمی‌کنند، از محل‌های مشخص عبور عابران پیاده‌گذر نمی‌کنند و عابرانی که تصادف آن‌ها در تاریکی رخ داده، احتمال مصدومیت بیشتری در تصادفات دارند. مودون و همکاران [Moudon et al. 2011] با تحلیل داده‌های تصادفات عابران پیاده طی سال‌های ۱۹۹۹ الی ۲۰۰٤ در راه‌های برون‌شهری و طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰٤ در راه‌های درون‌شهری ایالت کینگ و استفاده از مدل لوجیت دوتایی و لوجیت ترتیبی نتیجه گرفتند افزایش سن عابر پیاده، حرکت مستقیم خودرو در مسیر و چرخش به راست خودرو از عواملی‌اند که با کاهش شدت جراحت ناشی از تصادفات عابران در ارتباط‌اند. آن‌ها همچنین دریافتند با حضور بیش از یک عابر در تصادفات، احتمال افزایش شدت جراحت بیش از دو برابر می‌شود.

دای [Dai, 2012] با استفاده از فن دسته‌بندی فضایی[1] عوامل موثر بر شدت جراحت عابران پیاده را مورد بررسی قرارداد. او دریافت که بروز تصادف در مسیرهای پر رفت‌وآمد حاشیه شهر و مسیرهای فرعی احتمال فوت عابر پیاده در تصادفات را افزایش می‌دهد. علاوه بر این دریافت که شدت جراحت عابر پیاده در تصادفاتی که در تابستان رخ می‌دهد، در انتهای هفته و از عصر تا سحر شدت می‌یابد. دای نتیجه گرفت که افزایش سن عابر و مناسب نبودن وضعیت روشنایی موجب افزایش احتمال فوت عابر پیاده می‌شوند. در مطالعه‌ای دیگر عزیز و همکاران [Aziz Ukkusuri and Hasan, 2013] با استفاده از مدل لوجیت با اثر تصادفی با تحلیل داده‌های تصادفات نیویورک نشان دادند که وقوع تصادف در مسیرهای مستقیم، وقوع تصادف در شرایط نور نامناسب، تصادف عابر پیاده و اتوبوس یا کامیون، میان سالگی عابر پیاده (٥٥-٤٥ سال) ، پیری عابر پیاده (بیش از ٦٥ سال) و تصادف در شرایطی که خودرو در حال گردش‌به‌چپ است، احتمال فوت عابر پیاده را افزایش می‌دهد. تاریخچه مطالعات نشان می‌دهد علی‌رغم ضرورت شناخت عوامل تأثیرگذار بر ایمنی عابران پیاده، این امر در راه‌های برون‌شهری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این متدلوژی‌های مورد استفاده در مدل‌سازی شدت جراحات ناشی از تصادف در مطالعات پیشین، نشان‌دهنده قابلیت تعمیم استفاده از مدل‌های لوجیت و تفسیر جامع‌تر این مدل‌ها جهت پیش‌بینی شدت تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری است.

۳. داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در ارزیابی عوامل موثر بر شدت جراحات ناشی از تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری به راه‌های برون‌شهری استان تهران طی سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۰ مربوط است. این داده‌ها از اطلاعات ثبت‌شده در پاسگاه‌های نیروی انتظامی در محورهای آزادراه تهران کرج، ماهدشت، آزادراه کرج–قزوین، کمال‌آباد، کرج–چالوس، آبعلی، دماوند، شریف‌آباد، گدوک، آزادراه تهران–قم، تهران–شهریار، تهران–قم و رباط‌کریم در صحنه تصادفات توسط پلیس گردآوری شدند.

مجموع تصادفات رخ داده طی سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۰، در راه‌های برون‌شهری استان تهران ۳۳۶۱ گزارش شد. شمار تصادفات عابران طی این ۳ سال ۹۱۵ مورد بوده که از این تعداد ۲۱۸ مورد فوتی گزارش شدند. بیش از ٦۰ درصد تصادفات عابران پیاده راه‌های برون‌شهری استان تهران در محورهای فیروزکوه–دماوند، آزادراه تهران– قم، قدیم تهران– قم، شریف‌آباد، قدیم تهران–رباط کریم–ساوه بزرگراه امام رضا(ع)، جاجرود، بومهن–رودهن–دماوند و محور تهران–شهریار رخ دادند.

در ابتدا تصادفات بر حسب حضور و عدم حضور عابر پیاده جداسازی شد. با حذف نمونه‌های ناقص و مشاهداتی که بیش از یک اطلاعات نامشخص و تاثیرگذار در مدلسازی داشتند، در نهایت ۳۸٦ تصادف عابر پیاده در راه‌های برون‌شهری بررسی شد. شدت جراحت ناشی از تصادف عابر به دو دسته جرحی و فوتی تقسیم شد. تصادفات جرحی،٦۷ درصد و تصادفات فوتی ۲۳ درصد از کل تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری استان تهران را تشکیل دادند. این متغیر با عنوان شدت جراحت عابر به‌عنوان متغیر وابسته در تحلیل شدت جراحت ناشی از تصادف عابر پیاده در نظر گرفته شد.

شدت جراحت عابر پیاده با استفاده از داده‌های مرتبط با ویژگی‌های عابر، شرایط محیطی تصادف، مشخصات مسیر و شرایط تصادف توصیف شد. متغیرهای مربوط به‌ویژگی‌های عابر شامل سن عابر پیاده و تخلف عابر پیاده ، متغیرهای مربوط به‌ویژگی‌های تصادف شامل زمان وقوع تصادف (در ٦ دسته شامل صبح، پیش از ظهر، بعدازظهر، عصر، شب، نیمه شب)، نوع وسیله درگیر در تصادف، وزن خودرو درگیر در تصادف (دسته‌بندی شده در ٤ گروه از سبک تا سنگین)، شمار خودروهای درگیر در تصادف و علت تامه تصادف (خواب‌آلودگی راننده، عدم توجه به جلو ، تخطی از سرعت مطمئنه) و متغیرهای مربوط به شرایط محیطی شامل فاصله محل وقوع تصادف تا ایستگاه پلیس، وضعیت ناهمواری‌های منطقه وقوع تصادف (دشت و تپه‌ماهور) و منطقه جغرافیایی وقوع تصادف (شرق استان تهران، غرب استان تهران و منطقه البرز) شدند. جدول ۱ توصیفات آماری برخی از متغیرهای بررسی‌شده در مدل را نشان می‌دهد.

٤. روش تحقیق

نگاشت شدت تصادف در مقاله پیش رو، با رویکرد استفاده از مدل‌های انتخاب مدل‌سازی شده است. داده‌های شدت تصادفات موجود در پایگاه داده به ۲ دسته تصادفات منجر به جرح متناظر با مقدار ۰ و تصادفات منجر به فوت متناظر با مقدار ۱ تفکیک شدند. مدل‌های دوتایی بیشترین تناسب با هدف مورد بررسی مقاله را نشان داد. داده‌های موجود در پایگاه داده به‌صورت مقطع زمانی با تکرر مشاهده هر نوع از شدت تصادفات مدل‌سازی شدند. داده‌ها از اطلاعات تصادفات ارائه شده توسط پلیس راهور استخراج شده و فرض می‌شود که داده‌ها روا و پایا هستند.

در مدل لوجیت دوتایی متغیر وابسته به‌صورت دوتایی تعریف می‌شود. مدل‌های لوجیت دوتایی قادرند این متغیر وابسته را به‌صورت تابعی از متغیرها پیوسته و گسسته توصیف کنند. در مدل لوجیت دوتایی، متغیر وابسته به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود [Lemeshow and Hosmer, 1982]:

$$g(x)=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\ldots+\beta_jx_j+\ldots+\beta_px_p \quad (۱)$$

که در این رابطه x_j مقدار متناظر با $j-$امین متغیر وابسته است و β_j ضریب متناظر با متغیر $j-$ام به ازای $j=1,2,3,\ldots,p$ است و p شمار تمامی متغیرهای مستقل است. باوجود این متغیرها، احتمال انتخاب x به‌صورت زیر مشخص می‌شود:

$$\pi(x)=\frac{\exp(g(x))}{1+\exp(g(x))} \quad (۲)$$

جدول ۱. توصیفات آماری متغیرهای بررسی‌شده در مدل تحلیل شدت جراحات ناشی از تصادفات عابران

متغیر مستقل	شرح متغیر	میانگین	انحراف معیار
فاصله محل وقوع تصادف تا ایستگاه پلیس	بر حسب کیلومتر	۱۴/۹۳	۱۴/۵۱
سن عابر پیاده	برحسب سال	۳۷/۵۲	۱۷/۳۷
شمار خودروهای درگیر در تصادف	تعداد	۱/۰۷	۰/۲۶
وزن خودرو مواجه شده با عابر	مرتب شده از ۱ تا ۴	۱/۴۸	۰/۸۱
تخطی عابر پیاده	چنانچه عابر پیاده درگیر در تصادف مرتکب تخطی شده باشد، برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۱۵	۰/۳۵
وقوع تصادف در منطقه دشتی	چنانچه تصادف در منطقه دشتی واقع شده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۵	۰/۵
وقوع تصادف در منطقه تپه‌ماهور	چنانچه تصادف در منطقه تپه‌ماهور واقع شده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۱۶	۰/۳۷
وقوع تصادف در منطقه البرز	چنانچه تصادف در منطقه البرز واقع شده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۱۵	۰/۳۶
وقوع تصادف در غرب استان تهران	چنانچه تصادف در منطقه غرب استان تهران واقع شده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۳۷	۰/۴۸
وقوع تصادف در شرق استان تهران	چنانچه تصادف در منطقه شرق استان تهران واقع شده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۴۷	۰/۵۰
وقوع تصادف در هنگام عصر	چنانچه تصادف در هنگام عصر رخ داده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۳۴	۰/۴۸
تصادف عابر با تریلی	چنانچه تصادف عابر با تریلی رخ داده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۰۲	۰/۱۴
تصادف عابر با کامیون	چنانچه تصادف عابر با کامیون رخ داده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۱۲	۰/۳۲
تصادف عابر با موتور	چنانچه تصادف عابر با موتور رخ داده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۰۸	۰/۲۸
تصادف عابر با خودرو سنگین	چنانچه تصادف عابر با خودرو سنگین شامل کامیون و تریلی رخ داده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۱۵	۰/۳۶

ادامه جدول ۱. توصیفات آماری متغیرهای بررسی‌شده در مدل تحلیل شدت جراحات ناشی از تصادفات عابران

متغیر مستقل	شرح متغیر	میانگین	انحراف معیار
تصادف عابر با خودروی باری	چنانچه تصادف عابر با خودروی باری رخ داده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۲۰	۰/۴۰
عدم توجه به جلو	چنانچه علت تامه تصادف عدم توجه به جلوی راننده بوده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۷۱	۰/۴۵
عدم توانایی راننده در کنترل وسیله نقلیه	چنانچه علت تامه تصادف عدم توانایی راننده در کنترل وسیله نقلیه بوده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۰۲	۰/۱۴
تخطی از سرعت مطمئنه	چنانچه علت تامه تصادف تخطی از سرعت مطمئنه بوده باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته شد.	۰/۰۸	۰/۲۶

جهت کالیبره کردن ضرایب متغیرهای وابسته در مدل از روش حداکثر درست نمائی استفاده می‌شود. در روش حداکثر درست نمائی احتمال وقوع پدیده‌های مشاهده‌شده حداکثر می‌شود. به بیان ریاضی ابتدا احتمال وقوع مشاهدات با فرض استقلال وقوع، با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود و سپس ضرایب به گونه‌ای کالیبره می‌شود که به این احتمال مقدار حداکثر تخصیص یابد.

$$l(\beta)=\prod_{i=1}^{n}\pi(x_i)^{y_i}\left(1-\pi(x_i)\right)^{1-y_i} \qquad (۳)$$

در این رابطه y_i مشخص‌کننده i- امین مشاهده متغیر وابسته با مقدار ۰ یا ۱ است و i از یک تا n (تعداد مشاهدات) ادامه می‌یابد. برای حداکثر سازی رابطه (۳) و کالیبره کردن ضرایب مدل از حداکثر سازی لگاریتم احتمال که در رابطه (٤) نشان داده شده است استفاده می‌شود [Lemeshow and Hosmer, 1982].

$$LL(\beta)=\ln\left(l\left(\beta\right)\right)= \qquad (٤)$$
$$\sum_{i=1}^{n}\left\{y_i\ln\left(\pi\left(x_i\right)\right)+\left(1-y_i\right)\ln\left(1-\pi\left(x_i\right)\right)\right\}$$

به‌این‌ترتیب ضرایب متغیرهای مستقل مدل در تناظر با حداکثر مقدار لگاریتم احتمال وقوع مشاهدات[۲] که به اختصار با LL نشان داده می‌شوند، محاسبه خواهند شد.

۵. نتایج

در فرایند ساخت مدل، با واردکردن متغیرهای مستقل مختلف به مدل و ارزیابی قابلیت توصیف مدل و سنجش سطح معناداری متغیرهای به‌کاررفته، مدل لوجیت دوتایی نهایی متشکل از متغیرهای مشروح در جدول ۲ ساخته شد. در فرآیند مدل‌سازی از هر دو روش پیشرو و پس‌گشت استفاده شد. متغیرهای با سطح معناداری بیشتر از ۰/۱ از مدل کنار گذاشته شدند. ارزیابی قابلیت توصیف مدل با استفاده از شاخص‌های ρ_0^2 و ρ_c^2[۳] صورت گرفت. در جدول ۲ علاوه بر گزارش متغیرهای به‌کاررفته در مدل، سطح معناداری و انحراف معیار ضرایب، شاخص‌های برازش مدل نیز گزارش شده است.

در ستون اول جدول ۲ عنوان متغیر نوشته شده است. در ستون دوم ضرایب مربوط به متغیرها ارائه‌شده است و ستون آخر سطح معناداری ضریب را نشان می‌دهد. شمار زیادی از متغیرهای موجود در اطلاعات، به دلیل معنادار نبودن یا همبستگی با

جدول ۲. نتایج مدل لوجیت دوتایی شدت جراحت عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری

متغیر مستقل	تخمین پارامتر	انحراف معیار	آماره z	P-value
تخطی عابر پیاده	۰/۹۸۴	۰/۴۰۰	۲/۴۶	۰/۰۱۴
وقوع تصادف در منطقه دشتی	۱/۰۱۳	۰/۳۲۷	۳/۰۹	۰/۰۰۲
وقوع تصادف در هنگام عصر	−۰/۵۲۴	۰/۳۰۷	−۱/۷۱	۰/۰۸۸
وزن خودرو مواجه شده با عابر پیاده	۰/۴۵۷	۰/۱۶۱	۲/۸۴	۰/۰۰۵
وقوع تصادف در شرق استان تهران	۱/۱۱۶	۰/۳۳۱	۳/۳۷	۰/۰۰۱
تعداد خودروهای درگیر در تصادف	۰/۹۴۸	۰/۴۸۸	۱/۹۴	۰/۰۵۲
Constant	−۴/۱۴۷	۰/۷۴۱	−۵/۶۰	۰/۰۰۰
شمار مشاهدات		۳۳۸		
لگاریتم احتمال		−۱۵۸/۳۴۰		
ρ_0^2		۰/۳۲۴		
ρ_c^2		۰/۰۹۵		
AIC		۰/۹۷۸		

سایر متغیرها در فرآیند مدل‌سازی حذف‌شده‌اند. شاخص ρ_0^2 در این جدول نشان می‌دهد لگاریتم احتمال مشاهدات در مدل کالیبره شده ۳۲ درصد بیشتر از لگاریتم احتمال مشاهدات با فرض احتمال انتخاب برابر مشاهدات است. و همچنین شاخص ρ_c^2 در این جدول نشان می‌دهد لگاریتم احتمال مشاهدات در مدل کالیبره شده ۹ درصد بیشتر از لگاریتم احتمال مشاهدات با فرض احتمال انتخاب برابر مشاهدات است. یکی دیگر از شاخص‌های برازش مدل‌های انتخاب گسسته معیار اطلاعات آکایک[۴] است. مطابق این معیار مدل با کمترین مقدار AIC انتخاب می‌شود. مقدار متناظر با این معیار در مدل نهایی در جدول ۲ گزارش شده است.

نتایج نشان داد، وقوع تصادف در منطقه دشتی *(P-value<0/05)*، وقوع تصادف در هنگام عصر *(P-value<0/1)*، وقوع تصادف در شرق استان تهران *(P-value<0/05)*، وزن خودرو مواجه شده با عابر پیاده *(P-value<0/05)*، تعداد خودروهای مواجه شده با عابر پیاده *(P-value<0/1)* و تخطی عابر پیاده *(P-value<0/05)* اثرگذارترین عواملی هستند که در سطح معناداری قابل قبول، شدت جراحت عابر پیاده در راه‌های برون شهری را توصیف می‌کنند. علامت مثبت متغیر وقوع تصادف در منطقه دشتی در مدل نشان می‌دهد شدت جراحت ناشی از تصادف عابران پیاده در مناطق دشتی تشدید می‌شود. مطالعات گذشته مطابق با آن چه در مرور ادبیات شرح داده شد، نشان می‌دهد سرعت خودرو در حین تصادف، یکی از مهمترین عوامل موثر بر شدت جراح ناشی از تصادف عابر پیاده است. با توجه به این‌که متغیر سرعت خودرو حین تصادف به دلیل نبود این داده در مدل دیده نشده است، محتمل است که تشدید شدت جراحت عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری از سرعت بیشتر خودروها در این

مناطق به دلیل همواری توپوگرافی منطقه ناشی شود. متغیر وقوع تصادف در هنگام عصر نشان داد وقوع عصر هنگام تصادف از احتمال فوت عابر پیاده در تصادفات راه‌های برون‌شهری می‌کاهد. متغیر وزن خودرو مواجه شده با عابر نشان داد، به همان نسبت که وزن خودرو مواجه شده افزایش می‌یابد، شدت جراحت عابر پیاده افزایش می‌یابد. این نتیجه با آنچه در جذب انرژی ناشی از تصادف روی می‌دهد سازگار است. متغیر تخطی عابر پیاده نشان می‌دهد، احتمال فوت عابر پیاده در شرایطی که خود مقصر بوده باشد، بیشتر از شرایطی است که عابر پیاده مقصر نبوده باشد.

متغیر وقوع تصادف در شرق استان تهران نشان می‌دهد که وضعیت خاص مشخصات جغرافیایی، رفتار عابر پیاده، رفتار راننده و ویژگی مسیرها در منطقه شرق استان تهران منجر به افزایش شدت جراحت عابر پیاده درگیر در تصادف می‌شود. محتمل است، تراکم مناطق مسکونی در نواحی برون‌شهری در ناحیه جغرافیایی شرق استان تهران باعث تمایز و تاثیر گذاری بر شدت تصادفات واقع شده در این ناحیه شده باشد.

اثر حاشیه‌ای متغیرها در مدل لوجیت دوتایی شدت جراحت عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری در جدول ۳ و جدول ٤ ارائه‌شده است. در جدول ۳ اثر حاشیه‌ای متغیرها در شرایط تخطی عابر و قرار گرفتن نقاط مرجع سایر متغیرها برابر مقدار میانگین آن‌ها محاسبه شد. در جدول ٤ اثر حاشیه‌ای متغیرها در شرایط عدم تخطی عابر و قرار گرفتن نقاط مرجع سایر متغیرها برابر مقدار میانگین آن‌ها محاسبه شد.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد تخطی عابر، ۱۸ درصد احتمال فوت عابر پیاده را در شرایطی که سایر متغیرها برابر میانگینشان هستند، افزایش می‌دهد. همچنین این جدول نشان می‌دهد در شرایطی که عابر پیاده مرتکب تخطی شده است، افزایش یک مقیاس وزن وسیله نقلیه (مرتب شده از ۱ تا ٤)، ۱۰ درصد احتمال فوت عابر را افزایش می‌دهد و اضافه شدن یک خودرو به تعداد خودروهای مواجه شده با عابر ۲۱ درصد احتمال فوت عابر را افزایش می‌دهد. نتایج جدول ٤ نشان می‌دهد در شرایطی که عابر پیاده مرتکب تخطی نشده است، افزایش یک مقیاس وزن وسیله نقلیه (مرتب شده از ۱ تا ٤)، ٦ درصد احتمال فوت عابر را افزایش می‌دهد و اضافه شدن یک خودرو به تعداد خودروهای مواجه شده با عابر ۱۳ درصد احتمال فوت عابر را افزایش می‌دهد. مقایسه نتایج این دو جدول نشان می‌دهد کشسانی تمامی متغیرها در شرایط تخطی عابر پیاده افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر تخطی عابر پیاده شرایط حساس‌تری برای بروز فوت عابر پیاده در تصادفات راه‌های برون‌شهری فراهم می‌آورد.

رسم توضیحی ۱ و رسم توضیحی ۱۲ تغییرات احتمال فوت

جدول ۳. اثر حاشیه‌ای متغیرها در مدل لوجیت دوتایی شدت جراحت عابران پیاده در شرایط میانگین و تخطی عابر

متغیر مستقل	اثر حاشیه‌ای	انحراف معیار
تخطی عابر پیاده	۰/۱۸۲	۰/۰۸۴
وقوع تصادف در منطقه دشتی	۰/۲۲۶	۰/۰۷۵
وقوع تصادف در هنگام عصر	−۰/۱۱۶	۰/۰۶۶
وزن خودرو مواجه شده با عابر پیاده	۰/۱۰۴	۰/۰۳۹
وقوع تصادف در شرق استان تهران	۰/۲۵۱	۰/۰۸۱
تعداد خودروهای درگیر در تصادف	۰/۲۱۵	۰/۱۱۳

جدول ٤. اثر حاشیه‌ای متغیرها در مدل لوجیت دوتایی شدت جراحت عابران پیاده در شرایط میانگین و عدم تخطی عابر

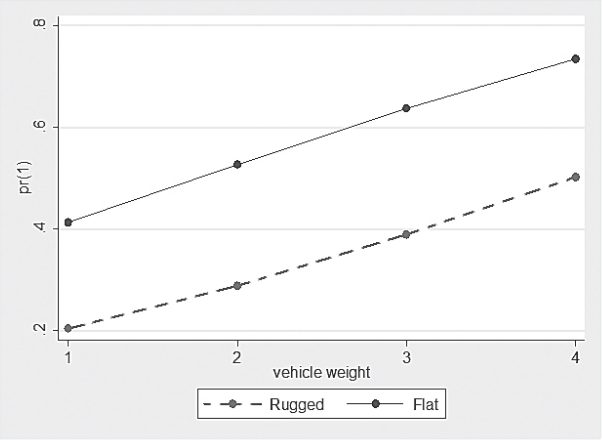
متغیر مستقل	اثر حاشیه‌ای	انحراف معیار
تخطی عابر پیاده	۰/۱۸۲	۰/۰۸۴
وقوع تصادف در منطقه دشتی	۰/۱۴۱	۰/۰۴۵
وقوع تصادف در هنگام عصر	-۰/۰۶۹	۰/۰۳۹
وزن خودرو مواجه شده با عابر پیاده	۰/۰۶۳	۰/۰۲۲
وقوع تصادف در شرق استان تهران	۰/۱۶۰	۰/۰۴۶
تعداد خودروهای درگیر در تصادف	۰/۱۳۱	۰/۰۶۷

عابر پیاده در تناظر با افزایش وزن خودرو مواجه شونده با عابر را با در نظر گرفتن ساختن شرایط تخطی عابر و وقوع تصادف در منطقه دشتی تصویر می‌کند. خطوط سبز رنگ مبین وقوع تصادف در منطقه دشتی و خطوط آبی‌رنگ مبین وقوع تصادف در منطقه کوهستانی و تپه‌ماهور است. رسم توضیحی ۱ و ۲ نشان می‌دهند افزایش وزن خودرو مواجه شده با عابر در هر چهار شرایط تصویر شده باعث افزایش احتمال فوت عابر پیاده می‌شود. اما میزان اثرگذاری تخطی عابر پیاده بیش از اثرگذاری وضعیت ناهمواری منطقه وقوع تصادف است. مقایسه این دو شکل نشان می‌دهد، افزایش وزن خودرو در شرایط عدم تخطی عابر پیاده با افزایش شیب بیشتری همراه است. به بیان واضح‌تر افزایش وزن خودرو در شرایط عدم تخطی عابر پیاده با حساسیت بیشتری نسبت به شرایط تخطی عابر پیاده افزایش می‌یابد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت، احتمال فوت عابر پیاده در تصادفات برون‌شهری در شرایط عدم تخطی عابر پیاده بیشترین حساسیت و در شرایط تخطی عابر پیاده حساسیت را نسبت به افزایش وزن خودرو نشان می‌دهد.

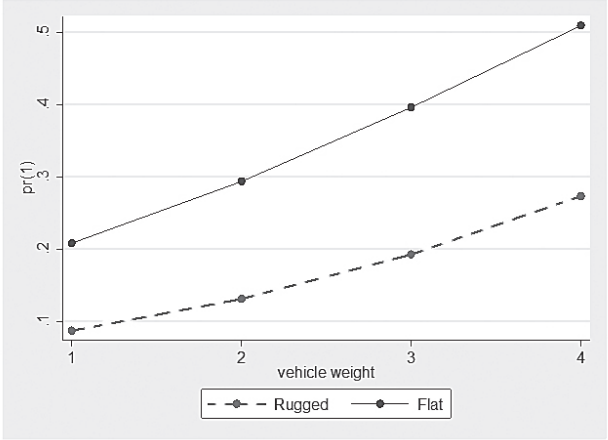
با توجه به تعداد کم متغیرها، مدل بیشتر جنبه پیش‌بینی (در مقابل مدل توصیفی) شدت تصادفات را خواهد داشت. جهت اعتبار سنجی مدل ساخته‌شده با استفاده از دستور RND اعدادی تصادفی تولید شد و نمونه‌های متناظر با اعداد کمتر از ۰/۱۵ جهت اعتبارسنجی مدل جدا شدند. در نهایت با کاربست مدل برای پیش‌بینی احتمال بروز جرح و فوت در ٤٨ نمونه مختص اعتبار سنجی، ماتریس بی‌نظمی پیش‌بینی مدل در جدول ٤ ارائه‌شده است. مدل ساخته‌شده ۱۰۰ درصد تصادفات جرحی، ٦ درصد تصادفات فوتی و ٦٥ درصد کل تصادفات را به‌درستی پیش‌بینی کرده است. با توجه به اینکه ضرایب مدل ساخته‌شده معنادار هستند و بر اساس ماتریس بی‌نظمی دقت پیش‌بینی مدل (٦٥٪) نیز مناسب است، نتیجه‌گیری‌های حاصل از تفسیر مدل می‌تواند قابل‌قبول و قابل استناد باشد.

٦. نتیجه‌گیری

این پژوهش با به‌کارگیری مدل لوجیت دوتایی به بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری پرداخته است. در این راستا از اطلاعات تصادفات رخ داده در راه‌های برون‌شهری استان تهران استفاده شد. ابتدا تصادفات بر حسب حضور و عدم حضور عابر پیاده جداسازی شد. با در نظر گرفتن دو سطح شدت جرحی و فوتی، به عنوان متغیر وابسته، مدل انتخاب گسسته متناظر با این دسته از تصادفات پرداخت شد. سپس با توجه به معناداری متغیرهایی موجود در مدل نهایی، عوامل مؤثر و میزان اثر آن‌ها بر احتمال افزایش شدت تصادفات شناسایی شد. و در نهایت با استفاده از ماتریس بی‌نظمی پیش‌بینی،



رسم توضیحی ۱- شرایط عدم تخطی عابر پیاده



رسم توضیحی ۲- شرایط تخطی عابر پیاده

مدل اعتبار سنجی شد. مطالعات گذشته نیز مطابق با آن چه در مرور ادبیات شرح داده شد، نشان می‌دهد سرعت خودرو در حین تصادف، یکی از مهمترین عوامل موثر بر شدت جراحت ناشی از تصادف عابر پیاده است.

به طور خلاصه نتایج نشان داد؛ شدت جراحت ناشی از تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری در تناسب با افزایش وزن خودرو به شدت افزایش می‌یابد، بروز تصادف عابر پیاده در هنگام عصر احتمال فوت عابر پیاده را کاهش می‌دهد، بروز تصادف عابر پیاده در مناطق جغرافیایی شرق استان تهران در تناسب با ویژگی‌های رفتاری و جغرافیایی که در مدل دیده نشده است، موجب افزایش شدت جراحت ناشی از تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری می‌شود، مقصر بودن عابر پیاده در تصادفات برون‌شهری، احتمال فوت عابر پیاده را افزایش می‌دهد، تصادف عابر پیاده در مناطق دشتی احتمال فوت عابر را افزایش می‌دهدو افزیش شمار خودروهای درگیر در تصادف موجب افزایش بروز شدت جراحت ناشی از تصادف عابر در راه‌های برون‌شهری می‌شود.

با توجه به مقایسه تغییرات احتمال فوت عابر پیاده در تناظر با افزایش وزن خودرو مواجه شونده با عابر را با در نظر گرفتن شرایط تخطی عابر و وقوع تصادف در منطقه دشتی می‌توان نتیجه گرفت، افزایش سرعت خودروهای سنگین در مناطق دشتی به شدت بر افزایش احتمال فوت عابر در تصادفات برون‌شهری موثر است. با توجه به این‌که متغیر سرعت خودرو حین تصادف به دلیل نبود این داده در مدل دیده نشده است، محتمل است که تشدید شدت جراحت عابران پیاده در راه‌های برون-شهری در مناطق دشتی از سرعت بیشتر خودروها در این مناطق به دلیل همواری توپوگرافی منطقه ناشی شود. با توجه به دو نتییجه مذکور وجود داده‌های سرعت در حین تصادف جهت ارائه سیاست‌های مناسب ضرورت می‌یابد. با توجه به اینکه شدت جراحت ناشی از تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری در تناسب با افزایش وزن خودرو به شدت افزایش می‌یابد، پیشنهاد می‌شود، اقدامات مربوط به احداث تسهیلات گذر عابر پیاده در مناطقی که محل تردد خودروهای سنگین است در الویت قرار گیرد.

متغیر تخطی عابر پیاده نشان می‌دهد، احتمال فوت عابر پیاده در شرایطی که خود مقصر بوده باشد، بیشتر از شرایطی است که عابر پیاده مقصر نبوده باشد. با توجه به این نکته که توجه و دقت عمل عابر پیاده در حین عبور از مکان‌های ممنوع برای تردد عابر پیاده افزایش می‌یابد، پدیده آماری مشاهده شده در نتایج مدل‌سازی می‌تواند محل بحث باشد.از این رو بررسی درونزایی متغیر تخطی عابر پیاده در راه‌های برون‌شهری در مدل‌های بازگشتی انتخاب گسسته به عنوان موضوع پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

تبیین نتایج این پژوهش در معرض گروه هدف عابران پیاده، منجر به درونی کردن باورها و مقررات خواهد شد. بنابراین با این فرض که چنانچه افراد از رفتاری که سلامتی و ایمنی آن‌ها را افزایش

می‌دهد آگاه باشند و به انجام آن رفتارها تشویق شوند، آن را انجام خواهند داد. رویکرد پیشنهادی مطرح در این خصوص ایجاد انگیزه در مردم برای انجام اقدامات متناسب از طریق اطلاع‌رسانی عمومی، برنامه‌های آموزشی، رسانه‌های ارتباط‌جمعی و پرورش فردی است.

۷. پی نوشتها

1- Spatiotemporal Clustering Technique
2- Maximum Likelihood Estimation method
3- McFadden Pseudo R-squared
4- Akaike Information Criterion (AIC)

۸. مراجع

– بهبهانی، حمید و فخاریان، سمیه (۱۳۸۹) "مدل توصیفی تعداد تصادفات وسایل نقلیه در جاده های برون‌شهری ایران و تعیین وزن علت وقوع تصادفات"، دهمین کنفرانس بین المللی حمل و نقل و مهندسی ترافیک، تهران، ایران.

– رسولی سرابی، اسحاق (۱۳۸۷). "بررسی تصادفات جاده‌های برون‌شهری در کشور و میزان کارایی اقدامات پیشگیرانه در جهت کاهش آن در سال‌های اخیر"، هشتمین کنفرانس بین المللی حمل و نقل و مهندسی ترافیک، تهران، ایران.

– شاهی، جلیل، احمدی‌نژاد، محمود و شیخ الاسلامی، عبدالرضا (۱۳۸٤) "مدل پیش‌بینی تصادفات موتورسیکلت در تقاطع‌های شهر تهران"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، زمستان ۱۳۸٤، سال دوم، شماره ٤.

- Aziz, H. M. A., Ukkusuri, S. V. and Hasan, S. (2013) "Exploring the determinants of pedestrian–vehicle crash severity in New York City." Accident Analysis and Prevention. 50(0), pp.1298-1309.

- Clifton, K. J., Burnier, C. V. and Akar, G. (2009) "Severity of injury resulting from pedestrian–vehicle crashes: What can we learn from examining the built environment?". Transportation Research Part D: Transport and Environment. 14(6), pp.425-436.

- Dai, D. (2012) "Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian–vehicle crashes in a GIS environment", Journal of Transport Geography, 24(0), pp.206-214.

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

- Eluru, N., Bhat, C. R. and Hensher, D. A. (2008) "A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes." Accident Analysis and Prevention, 40(3).

- Gray, R. C. and Quddus, M. A. (2008) "Injury severity analysis of accidents involving young male drivers in Great Britain." Journal of Safety Research. 39(5), pp.483- 495.

- Kim, J.-K., Ulfarsson, G. F., Shankar, V. N. and Kim, S. (2008) "Age and pedestrian injury severity in motor-vehicle crashes: A heteroskedastic logit analysis." Accident Analysis and Prevention. 40(5), pp.1695-1702.

- Moudon, A. V., Lin, L., Jiao, J., Hurvitz, P. and Reeves, P. (2011) "The risk of pedestrian injury and fatality in collisions with motor vehicles, a social ecological study of state routes and city streets in King County, Washington", Accident Analysis and Prevention.43(1), pp.11-24.

- Lemeshow, S. and Hosmer, D. W. (1982) "A review of goodness of fit. statistics for use in the development of logistic regression models", American Journal of Epidemiology. 115(1), 92-106.

- Otte, D., Jansch, M. and Haasper, C. (2012) "Injury protection and accident causation parameters for vulnerable road users based on German In-Depth Accident Study GIDAS." Accident Analysis and Prevention.44(1). pp.149- 153.

- Rifaat, S. M., Tay, R. and De Barros, A. (2011) "Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users." Accident Analysis and Prevention. 43(1), pp 276- 283.

- Shams, M. and Rahimi-Movaghar, V. (2009) “Risky driving behaviors in Tehran, Iran”, Traffic Injury Prevention, 10(1), pp 91- 94.

- Shinar, D. (2012) "Safety and mobility of vulnerable road users: pedestrians, bicyclists, and motorcyclists, [Editorial]." Accid Anal Prev. 44(1), pp.10-20.

- Sze, N. N., and Wong, S. C. (2007). "Diagnostic analysis of the logistic model for pedestrian injury severity in traffic crashes." Accident Analysis and Prevention. 39(6), 1267-1278.