

بررسی شدت تصادفات شهر تهران به کمک مدل‌های آماری و داده‌کاوی

حسام‌الدین رازی اردکانی*^۱، محمدرضا احدی^۲

^۱ دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

^۲ استادیار، عضو هیئت علمی، پژوهشکده حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

سابقه و هدف: استان تهران، پس از استان خراسان رضوی بالاترین تعداد کشته شدگان حوادث رانندگی کشور در سال ۱۳۹۰ را داشته است. با توجه به این‌که بیشتر پژوهش‌های انجام شده در حوزه تصادفات به بررسی تصادفات برون‌شهری پرداخته‌اند، تحقیق حاضر بر آن است که با به کارگیری مدل‌های لوجیت و شبکه عصبی مصنوعی به بررسی عوامل دخیل در شدت تصادفات درون‌شهری (تهران) بپردازد.

روش بررسی: در میان انواع تصادفات، تصادفات جلو به جلو به عنوان شدیدترین انواع تصادف مورد بررسی قرار گرفته است و از اطلاعات تصادفات به وقوع پیوسته در شهر تهران استفاده شده است. در فرآیند مدل‌سازی، متغیر وابسته، شدت تصادفات (جرحی و خسارتی) و متغیرهای مستقل، پارامترهایی چون ویژگی‌های راننده، زمان وقوع حادثه، مشخصات محیطی و ترافیکی می‌باشند. در انتها علاوه بر مقایسه دقت پیش‌بینی دو مدل، کشش متغیرها در مدل لوجیت با تحلیل حساسیت شبکه عصبی مقایسه شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که عواملی چون جنسیت، سن و تحصیلات راننده در افزایش شدت تصادفات مؤثر بوده است. تصادفات به وقوع پیوسته به دلیل بی‌توجهی به مقررات، عجله و شتاب بی‌مورد، انحراف به چپ یا تغییر مسیر ناگهانی وسیله با شدت بیشتری همراه بوده است. همچنین عواملی چون نوع وسیله مقصر، وضعیت روسازی، زمان تصادف و عرض معبر، در افزایش احتمال جرحی بودن تصادف مؤثر بوده است.

نتیجه‌گیری: مدل شبکه عصبی مصنوعی همچون مدل‌های آماری می‌تواند کارایی مناسبی در تحلیل اثر عوامل دخیل بر شدت تصادفات داشته باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، خطاهای انسانی و بی‌سوادی رانندگان تأثیر بسزایی در افزایش شدت تصادفات داشته‌اند، از این رو، آموزش رانندگان می‌تواند از اولین راه‌کارهای کاهش شدت تصادفات باشد. در این میان باید توجه ویژه‌ای به گروه سنی رانندگان جوان بشود.

واژگان کلیدی: مدل لوجیت، مدل شبکه عصبی مصنوعی، شدت تصادفات و مدل‌های آماری.

مقدمه

یکی از مسائلی که توسعه حمل‌ونقل شهری در پی داشته است، مشکل تصادفات است. تصادفات علاوه بر خسارات مالی و جانی، به دلیل اعمال تأخیر در خیابان‌ها، زمان زیادی از وقت مفید افراد را تلف می‌کنند. این امر در شهرهای شلوغ و پرجمعیت، از جمله معضلات اساسی محسوب می‌شود. هزینه تصادفات ترافیکی ایران در سال ۸۶ با احتساب یارانه‌ها بالغ بر ۱۸۰ هزار میلیارد ریال برآورد شده است (۱). استان تهران با ۹۲۵ کشته، پس از استان

خراسان رضوی بالاترین تعداد کشته‌شدگان حوادث رانندگی کشور در سال ۱۳۹۰ را داشته است. همچنین در ۶ ماهه اول سال ۱۳۹۱، ۶۷۹ نفر در تصادفات ترافیکی شهر تهران کشته شده‌اند (۲). تعداد تصادفات و شدت آن‌ها بر حسب عوامل مختلف، متفاوت می‌باشد. به طور عمده عوامل دخیل در تصادفات را می‌توان به ۴ دسته انسان، وسیله نقلیه، جاده و محیط تقسیم‌بندی نمود (۳). اهمیت بالای بررسی تصادفات درون‌شهری محققین را ملزم به شناخت عوامل مؤثر در بروز آن‌ها کرده است. از جمله انواع مختلف تصادفات درون‌شهری، تصادم ناشی از برخورد جلو به جلو دو وسیله است. عمده‌ی این نوع تصادف در

روسازی و وقوع تصادف در شب همبستگی زیادی با شدت تصادف دارد؛ درحالی که افزایش عرض خط باعث کاهش شدت تصادفات فوق می‌شود (۹). در یک مطالعه با به‌کارگیری رگرسیون لجستیک به بررسی تأثیر سن و جنسیت راننده بر میزان آسیب دیدگی در تصادفات جلو به جلو پرداخته شد. فرضیه مورد مطالعه در این تحقیق این بود که احتمال آسیب دیدگی افراد مسن در تصادفات جلو به جلو، بیشتر از احتمال آسیب دیدگی افراد جوان است (۱۰). برای تحلیل تصادفات به وقوع پیوسته در چهارراه‌های بدون چراغ از مدل پروبیت دوگانه با دو سطح شدت جرحی و بدون جرح پرداخته شده است (۱۱). همچنین با استفاده از رگرسیون لجستیک به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر شدت تصادفات برون‌شهری جوانان پرداخته شده است (۱۲).

با استفاده از مدل لوجیت دوگانه، شدت تصادفات به وقوع پیوسته در کشور آمریکا تحلیل شد. نتایج نشان داد که استفاده از کمربند ایمنی و نحوه برخورد مهم‌ترین پارامترهای دخیل در شدت تصادفات می‌باشند (۱۳). همچنین محققین با به‌کارگیری رگرسیون لجستیک دریافتند که شدت تصادفات به وقوع پیوسته در هوای برفی، برای رانندگان مرد و کهن‌سال در زمان شب بیشتر است (۱۴).

گروهی از محققین با استفاده از مدل شبکه عصبی به بررسی شدت تصادفات بر حسب شدت آسیب دیدگی راننده در پنج سطح پرداختند. متغیرهای مستقل این مطالعه شامل خصوصیات راننده، ویژگی‌های خودرو و اطلاعات مربوط به تصادف بوده است و علاوه بر مدل شبکه عصبی مرسوم، مدل‌های ترکیب شده با شبکه عصبی نیز آزمایش شده‌اند. مدل نهایی مشاهدات مربوط به هر پنج دسته از شدت تصادفات را با دقت بالای ۵۸ درصد پیش‌بینی کرده است (۱۵).

همچنین از شبکه عصبی مصنوعی نیز برای شناسایی عوامل موثر بر شدت تصادفات استفاده کرده‌اند. پنج سطح شدت تصادفات در قالب مدل‌های دوگانه، دو به دو بررسی شدند. سپس با تحلیل حساسیت شبکه عصبی مصنوعی براساس پارامترهای ورودی، متغیرهای موثر شناسایی شدند (۱۶). برای بررسی شدت تصادفات به وقوع پیوسته در چهارراه‌های چراغ‌دار از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و شبکه عصبی فازی استفاده شد. نتایج نشان داد که نوع پرسپترون چند لایه با دقت بالاتری شدت تصادفات را پیش‌بینی می‌کند (۱۷). تعیین عوامل موثر بر شدت تصادفات جلو به جلو به خصوص در مناطق درون‌شهری که دارای بیشترین نرخ تلفات در انواع تصادفات شهری است، امری ضروری است.

مسیرهای دو خطه برون‌شهری رخ می‌دهد (۴). با این حال وقوع چنین تصادفی در معابر درون‌شهری و با سرعت‌های بالا می‌تواند بسیار خطرناک باشد. بررسی الگوهای مؤثر در تصادفات به تفکیک نوع برخورد می‌تواند در تعیین سیاست‌های کلان کشوری در جهت افزایش ایمنی ترافیکی کمک کند.

براساس داده‌های استفاده شده در پژوهش حاضر که مربوط به تصادفات به وقوع پیوسته در معابر اصلی شهر تهران طی سال‌های ۸۹ و ۹۰، تصادفات جلو به جلو با اینکه سهم ۱۱/۷۸ درصدی از کل تصادفات را شامل می‌شوند ولی باعث بیشترین درصد تصادفات جرحی و فوتی بوده است. با توجه به اینکه بیشتر پژوهش‌های انجام شده در حوزه تصادفات به بررسی تصادفات برون‌شهری پرداخته‌اند، تحقیق حاضر بر آن است که با به‌کارگیری مدل‌های لوجیت^۲ و شبکه عصبی مصنوعی به بررسی عوامل دخیل در شدت تصادفات جلو به جلوی درون‌شهری بپردازد. علت انتخاب شدت تصادف به جای تعداد و یا نوع تصادف به عنوان رویکرد اصلی این مقاله، اهمیت بالای درک عواملی است که منجر به افزایش شدت تصادفات و در نتیجه افزایش شدت آسیب دیدگی سرنشینان می‌شود. تاکنون مطالعات متنوعی پیرامون تصادفات جلو به جلو در سطح جهان انجام گرفته است. با تحلیل داده‌های تصادفات در کشور نروژ دریافتند که خطر مرگ در تصادفات جلو به جلو بیشتر از تصادفات جلو به عقب و پهلو به پهلو است (۵). با شناسایی عوامل مؤثر در افزایش شدت تصادفات جلو به جلوی دو خودروی سبک سواری، نتایج نشان داد علاوه بر سرعت خودرو، سن رانندگان نیز تأثیر عمده‌ای بر شدت آسیب دیدگی اندام‌های داخلی آن‌ها داشته است (۶). نتایج مدل‌سازی تصادفات براساس نوع برخورد نشان داد شدت تصادفات جلو به جلو نسبت به برخورد از پهلو بیشتر است (۷). در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین ویژگی‌های مقطع راه و شدت تصادفات جلو به جلو در تصادفات بزرگراه‌های دو خطه برون‌شهری پرداخته شد. در این مطالعه ذکر شده است که تصادفات جلو به جلو تنها پنج درصد از تصادفات را شامل می‌شوند، اما حدود پنجاه درصد از قربانیان تصادفات ترافیکی منطقه از این نوع تصادفات ناشی شده است. دو عامل اصلی در تصادفات جلو به جلو، تخطی از سرعت مجاز و بی‌توجهی به خط مرکزی مسیر معرفی شده‌اند (۸).

بررسی شدت تصادفات جلو به جلو با به‌کارگیری یک مدل پروبیت ترتیبی در ایالت کنکتیکت نشان داد سطح خیس

^۲Logit

عدم توجه به جلو، عدم مهارت کافی در رانندگی، عدم توانایی در کنترل خودرو، عدم رعایت سرعت مجاز، انحراف به چپ، گردش به طرز غلط، حرکت به سمت عقب، عیب فنی در خودرو، گردش ناگهانی و عدم توجه به چراغ راهنمایی) و مشخصات معبر شامل شرایط روسازی راه (شنی، خشک، خیس و یخی) و عرض معبر می‌باشد.

۱- مدل آماری لوجیت

تاکنون محققین به منظور شناسایی و تحلیل عوامل موثر بر سطح شدت تصادفات از مدل‌های گوناگونی استفاده کرده‌اند. رایج‌ترین این مدل‌ها یعنی مدل لوجیت دوگانه (رگرسیون لجستیک) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. خروجی این مدل، احتمال وقوع تصادف جرحی یا فوتی را بدست می‌دهد. احتمال فوق از رابطه زیر حاصل می‌شود (۱۸).

$$P(i) = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n}} \quad (1)$$

در این رابطه، x ها متغیرهای مؤثر بر تصادفات مانند جنسیت راننده و β ها ضرایب متغیرها می‌باشند که اثر هر متغیر را بر افزایش احتمال تصادف جرحی یا فوتی نشان می‌دهد. ضریب خوبی برازش^۳، ρ^2 یکی از معیارهای مورد استفاده برای ارزیابی میزان خوبی برازش مدل بر داده‌ها و مشاهدات می‌باشد؛ مقدار این ضریب بین صفر و یک تغییر می‌کند (۱۹). برای تخمین مدل از نرم افزار لیمدپ^۴ استفاده شده است. یکی از ابزارهای ارزیابی اثر هر متغیر بر شدت تصادف، مقدار کشش هر متغیر است. کشش برای متغیرهای دوگانه عبارت است از تغییر احتمال مشاهده شدت تصادف جرحی یا فوت به دنبال تغییر مقدار هر متغیر از صفر به یک. به عنوان مثال، کشش متغیر راننده مرد نشان می‌دهد در صورتی که راننده مرد باشد ($x_{kj} = 1$)، احتمال شدت تصادف نسبت به حالتی که زن باشد ($x_{kj} = 0$)، چه میزان افزایش می‌یابد. مقدار کشش از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۹).

$$E_{x_{kj}}^{P_j} = \frac{P_j[x_{kj} = 1] - P_j[x_{kj} = 0]}{P_{kj}[x_{kj} = 0]} \quad (2)$$

همان‌طور که از مطالعات بالا مشخص می‌شود، تصادفات جلو به جلو ویژگی‌های خاصی دارند که لازمه شناسایی این خصوصیات تحلیل جداگانه این نوع تصادفات است. همچنین مدل‌های گوناگونی در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توان با به‌کارگیری و مقایسه کارایی آنان بر روی داده‌های تصادفات ایران، روش‌های مناسب برای تحلیل تصادفات به وقوع پیوسته در ایران را شناسایی نمود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق تصادفات درون‌شهری معابر اصلی شهر تهران در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰، مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مربوط به مشخصات ترافیکی از قبیل حجم ترافیک و سرعت جریان ترافیک و مشخصات هندسی راه‌ها به ترتیب از سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران و شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران جمع‌آوری شده است. اطلاعات مربوط به تصادفات نیز از بانک اطلاعاتی اداره راهنمایی و رانندگی شهر تهران اخذ شده است.

ابتدا تصادفات بر حسب نوع برخورد جداسازی شده است. با حذف نمونه‌های ناقص و مشاهداتی که یک یا برخی از اطلاعات مربوط به آن‌ها نامشخص می‌باشد و همچنین حذف تصادفاتی که در آن‌ها عابر یا موتورسیکلت دخیل بوده‌اند، در نهایت ۶۹۶ تصادف بررسی شده است. متغیر وابسته به دو دسته خسارتی و جرحی تقسیم شده است. لازم به ذکر است که به دلیل کم بودن تعداد تصادفات فوتی، تصادفات جرحی شامل تصادفات فوتی نیز می‌شود. تصادفات خسارتی، ۸۸/۲۲ درصد و تصادفات جرحی ۱۱/۷۸ درصد از کل تصادفات را تشکیل داده‌است. پارامترهای مورد بررسی دربرگیرنده طیف گسترده‌ای از متغیرها از جمله خصوصیات راننده مانند جنسیت (مرد و زن)، سن (جوان، میان‌سال و مسن)، سطح تحصیلات (بی‌سواد، زیر دیپلم و بالای دیپلم)، خطای راننده (خواب‌آلودگی و خستگی، بی‌توجهی به مقررات، عجله و شتاب بی‌مورد و تخلف عمدی)، زمان تصادف شامل ساعت تصادف (ساعت اوج و غیراوج) روز تصادف (کاری، غیرکاری)، شرایط روشنایی (روز و شب)، مشخصات تصادف شامل نوع وسیله نقلیه مقصر (سواری، سواری کرایه، مینی‌بوس، اتوبوس، وانت‌بار، کامیون و تریلر)، علت تصادف (عدم رعایت فاصله طولی، عدم رعایت فاصله عرضی، عدم رعایت حق تقدم،

^۳. Goodness of Fit

^۴. Limdep (Ver.9)

۲- مدل داده‌کاوی شبکه عصبی مصنوعی با ساختار

پرسپترون چند لایه

شبکه عصبی مصنوعی مدلی ریاضی است که توانایی مدل‌سازی و ایجاد روابط غیرخطی بین متغیرهای توصیفی و وابسته را دارا می‌باشد. این مدل با ساختار پرسپترون چند لایه به طور کلی از سه لایه و هر لایه از تعدادی واحد پردازشگر تشکیل شده است. اولین لایه هر شبکه را لایه ورودی گویند که در آن بردار داده‌های ورودی مورد نظر قرار می‌گیرد. در این لایه، هیچ‌گونه پردازشی انجام نخواهد شد. لایه‌ی آخر هر شبکه نیز لایه خروجی است که در آن بردارهای خروجی استقرار می‌یابند. همچنین هر پرسپترون از تعدادی لایه میانی که لایه‌های پنهان نامیده می‌شوند، تشکیل شده است. تعداد این لایه‌ها و تعداد نرون‌ها در هر لایه، توسط طراح و طی فرآیند آزمون و خطا بدست می‌آیند. به طور معمول، نرون‌های هر لایه به کلیه‌ی نرون‌های لایه مجاور از طریق یک رابطه جهت‌دار مرتبط می‌باشند. اطلاعات بین نرون‌ها از طریق این اتصالات منتقل می‌شوند. هر یک از این اتصالات دارای وزن‌های مختص به خود هستند که در اطلاعات انتقال یافته از یک نرون به نرون دیگر ضرب می‌شود. نرون‌ها برای محاسبه خروجی خود Y_i ، ورودی دریافتی را از یک تابع فعال‌سازی (آستانه) عبور می‌دهند. مرسوم‌ترین توابع در این زمینه، تابع سیگموئیدی است. منظور از آموزش در شبکه‌های عصبی مصنوعی، محاسبه وزن اتصالات مختلف آن است. برای آموزش یک شبکه، از تعدادی الگوی آموزشی که هر الگو شامل یک بردار ورودی و یک بردار خروجی متناظر با آن می‌باشد، استفاده می‌شود. تعداد نرون‌های لایه‌های ورودی و خروجی به ترتیب برابر با تعداد بردارهای ورودی و خروجی است. در آموزش شبکه، وزن‌های اتصالات شبکه به گونه‌ای محاسبه می‌شود که با اعمال هر بردار ورودی از داده‌ها، شبکه بتواند خروجی مدل را که در این جا شدت تصادفات است پیش‌بینی کند. در این پژوهش از شبکه عصبی با ساختار پرسپترون چند لایه، تابع فعال‌سازی سیگموئید استفاده شده است (۲۰). به طور معمول پیش از آغاز کار با شبکه عصبی، داده‌ها را به دو دسته آموزشی و آزمون تقسیم می‌کنند. در پژوهش حاضر برای تقسیم داده‌ها و آموزش شبکه، روش اعتباریابی مقطعی K تایی به کار گرفته شده است. این روش ویژگی‌هایی دارد که تضمین می‌کند شبکه آموزش دیده برای داده‌های دیده نشده نیز خوب عمل کند.

برای ساخت شبکه عصبی از نرم‌افزار متلب^۵ استفاده شده است (۲۱).

یافته‌ها

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^۶ پارامترهای تأثیرگذار بر شدت تصادفات شناسایی شده‌اند. با توجه به اهمیت متغیرهای موجود که براساس مرور بر پژوهش‌های مرتبط شناسایی شده‌اند، پارامترهای مناسب وارد مدل شده و ضرایب تخمین زده شده‌اند و معنی‌داری متغیرهای وارد شده براساس آماره t بررسی شده است.

در نهایت با کنترل ترکیبات مختلفی از متغیرها، بهترین مدل انتخاب شده است. جدول ۱ نتایج مدل لوجیت را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که اعداد مثبت بیانگر افزایش احتمال وقوع تصادفات جرحی و در نتیجه افزایش احتمال شدت تصادف به ازای متغیر مربوطه است.

در ستون اول ضرایب مربوط به متغیرها ارائه شده است. ستون دوم آماره t و ستون بعد از آن سطح معنی‌داری ضریب را نشان می‌دهد. هر چه مقدار این سطح معنی‌داری کوچک‌تر باشد یا به عبارتی میزان t بزرگ‌تر باشد، اهمیت آن متغیر بالاتر است. بسیاری از متغیرهای موجود در اطلاعات، به دلیل معنی‌دار نبودن یا همبستگی با سایر متغیرها در فرآیند مدل‌سازی حذف شده‌اند. درصد پیش‌بینی صحیح مدل ۹۳/۴ درصد و میزان ضریب خوبی برازش مدل ۰/۵۰۸ می‌باشند که نشان دهنده توانایی بالای مدل در تخمین شدت تصادفات است.

برای ساخت شبکه عصبی مصنوعی از متغیرهای معنی‌دار مدل‌های لوجیت و پروبیت استفاده شده است. مقدار K برای آموزش برابر ۱۰ انتخاب شده است؛ زیرا مطالعات تجربی نشان می‌دهد که ۱۰ مقدار بهینه برای حداقل کردن اربیبی در جواب‌ها می‌باشد (۲۲). شبکه عصبی مصنوعی شامل ۱۷ نرون ورودی متناظر با هر یک از متغیرهای مستقل، دو لایه پنهان هر یک با ۱۰

^۵ Matlab 2011^۶ Chi-Squared

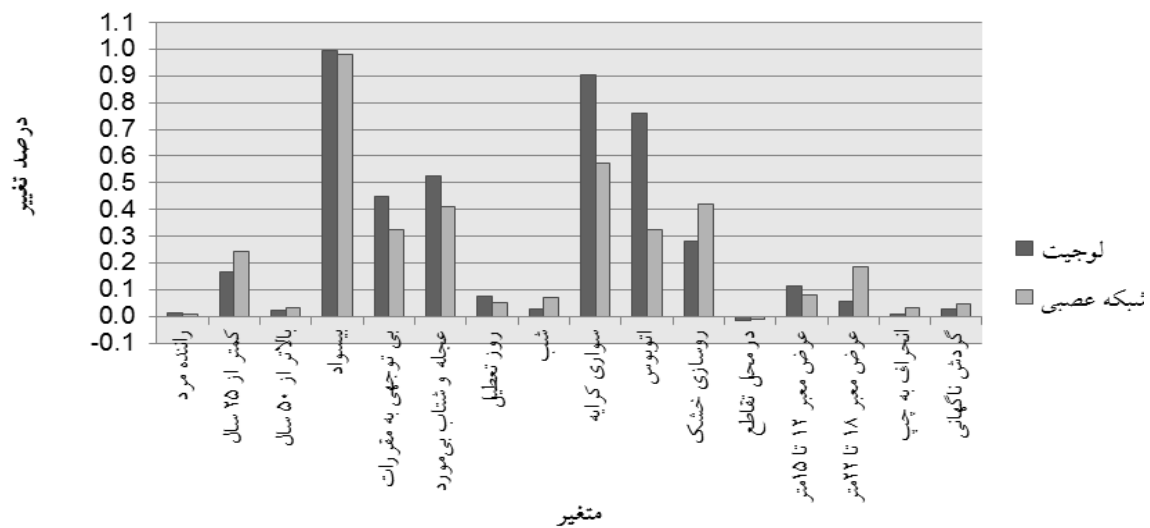
جدول ۱: ضرایب مدل لوجیت برای تصادفات جلو به جلو

متغیر	ضریب	آماره t	معناداری
ثابت	-۱۷/۱۲	-۴/۷۳	<۰/۰۰۱
راننده مرد	۲/۶۴	۲/۰۴	<۰/۰۴۱
کمتر از ۲۵ سال	۳/۶۴	۲/۶۷	<۰/۰۰۷
بالتر از ۵۰ سال	۲/۵۶	۱/۹۱	<۰/۰۵۱
بی‌سواد	۱۳/۳۲	۵/۹۱	<۰/۰۰۱
بی توجهی به مقررات	۸/۸۴	۵/۰۲	<۰/۰۰۱
عجله و شتاب بی‌مورد	۷/۶۵	۴/۲۴	<۰/۰۰۱
روز تعطیل	۲/۳۲	۳/۱۶	<۰/۰۰۲
شب	۵/۳۲	۳/۹۱	<۰/۰۰۱
سواری کرایه	۷/۰۸	۴/۸۴	<۰/۰۰۱
اتوبوس	۵/۹۳	۴/۰۴	<۰/۰۰۱
روسازی خشک	۴/۰۱	۶/۰۸	<۰/۰۰۱
در محل تقاطع	-۲/۳۳	-۲/۹۶	<۰/۰۰۳
عرض معبر ۱۲ تا ۱۵ متر	۲/۷۷	۳/۹۹	<۰/۰۰۱
عرض معبر ۱۸ تا ۲۲ متر	۱/۹۹	۲/۷۸	<۰/۰۰۵
انحراف به چپ	۱/۲۹	۲/۳۹	<۰/۰۱۷
گردش ناگهانی	۱/۹۲	۵/۴۷	<۰/۰۰۱
تعداد نمونه	۶۹۶		
R^2	۰/۵۰۸		

زیر ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سال با ضرایب مثبت دیده می‌شوند و این بدان معنی است که احتمال جرحی بودن تصادفاتی که راننده آن‌ها سنی کمتر از ۵۰ سال دارد، بیشتر بوده است. قابل ذکر است که اثر جوانی در افزایش شدت تصادفات بیشتر از اثر میان‌سالگی است. بی‌سوادی راننده باعث افزایش شدت تصادفات به وقوع پیوسته شده است. اگر چه درصد رانندگان بی‌سواد کم بوده است، ولی یکی از مؤثرترین پارامترهای دخیل در شدت تصادفات می‌باشد. دو متغیر دیگر نشان‌دهنده سطح تحصیلات (زیر دیپلم و دیپلم به بالا) در مدل نهایی معنی‌دار نشده‌اند. در بررسی عوامل انسانی دخیل در تصادف، ۶ عامل به عنوان متغیر مستقل در ساخت مدل به کار گرفته شده است. دو عامل بی‌توجهی به مقررات و عجله و شتاب بی‌مورد باعث افزایش احتمال جرحی بودن تصادفات شده‌اند. البته اثر بی‌توجهی به مقررات بعد از عامل تحصیلات بیشترین تأثیر را در افزایش شدت تصادفات داشته است. شاید این امر بیانگر پایین‌بودن رانندگان درگیر در تصادفات جلو به جلو به عنوان راهنمایی و رانندگی باشد. این نتایج با مطالعات دیگری که پیرامون رانندگان تهران انجام شده است نیز مطابقت دارد (۲۴). تصادفات به وقوع پیوسته در روزهای تعطیل با احتمال افزایش شدت، نسبت به روزهای

نرو و دو نرون خروجی متناظر با دو سطح شدت جرحی و فوتی می‌باشد. جدول ۲ مقادیر پیش‌بینی شده توسط دو مدل را نشان می‌دهد. دقت، برای هر دسته و کل مشاهدات جداگانه محاسبه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مجموع دقت مدل شبکه عصبی بالاتر از مدل لوجیت است. در انتها برای بررسی تأثیر متغیرهای معنی‌دار بر شدت تصادفات مقادیر کشش متغیرهای دو مدل محاسبه شده است. کشش میزان تغییر احتمال وقوع شدت تصادف جرحی یا فوتی را به ازای هر متغیر نشان می‌دهد. کشش مدل شبکه عصبی با استفاده از تحلیل حساسیت مدل فوق محاسبه شده است. مقادیر کشش برای دو مدل به صورت میله‌ای در شکل ۱ نمایش داده شده است. تحلیل اصلی نهایی بر مبنای ضرایب مدل لوجیت و مقادیر کشش (اثر) متغیرهای معنی‌دار ارائه می‌شود. برابرنتیج، تصادفاتی که رانندگان مرد در آن‌ها مقصر بوده‌اند با شدت بیشتری همراه بوده است. این نکته که مردان دارای ریسک‌پذیری بالاتری بوده و در سرعت‌های بالاتری نسبت به زنان رانندگی می‌کنند، تاکنون توسط بسیاری از محققین بیان شده است (۲۳). دو عامل فوق موجب افزایش شدت تصادفات به وقوع پیوسته با رانندگان مرد می‌شود. متغیرهای دو گروه سنی

میزان اثر (کشش) متغیرها در افزایش شدت تصادف



شکل ۱- مقایسه کشش مدل‌های لوجیت با تحلیل حساسیت شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۲- ماتریس پیش‌بینی برای مدل‌های لوجیت و شبکه عصبی مصنوعی

نوع مدل	شدت واقعی	شدت پیش‌بینی شده		مجموع	دقت
		جرحی	خسارتی		
لوجیت	خسارتی	۱۱	۶۰۳	۶۱۴	۹۸/۲٪
	جرحی	۵۱	۳۱	۸۲	۶۲/۲٪
	مجموع	۶۲	۶۳۴	۶۹۶	۹۳/۹٪
شبکه عصبی	خسارتی	۹	۶۰۵	۶۱۴	۹۸/۵٪
	جرحی	۵۹	۲۳	۸۲	۷۱/۹٪
	مجموع	۶۸	۶۲۸	۶۹۶	۹۵/۴٪

به جلویی که در تقاطع‌ها رخ می‌دهند با شدت کمتری همراه بوده است. همچنین عرض معبر ۱۲ تا ۱۵ متر و ۱۸ تا ۲۲ متر باعث افزایش احتمال جرحی بودن تصادفات فوق شده است. در بحث علت تصادف، تصادفاتی که به علت‌هایی چون انحراف به چپ و تغییر مسیر ناگهانی راننده رخ داده است؛ با شدت بیشتری همراه بوده است که می‌تواند دلیل آن ماهیت این نوع برخوردها باشد زیرا حرکاتی غیرعادی محسوب شده و به علت وقوع ناگهانی فرصت تصمیم‌گیری و کاهش سرعت را به رانندگان دخیل در تصادف نداده است. قابل ذکر است که سایر متغیرهای علت تصادف و همچنین متغیرهای مربوط به حجم و متوسط سرعت ترافیک در مدل نهایی معنی‌دار نشده است. دقت پیش‌بینی دو مدل مورد استفاده، در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که

عادی همراه است؛ که شاید منشأ آن بی‌توجهی و عدم دقت کافی رانندگان در سفرهای تفریحی در روزهای تعطیل و یا خلوت بودن معابر شهری باشد. در مورد ساعت تصادف، متغیری معنی‌دار شناخته نشده است. تصادفاتی که در شب اتفاق افتاده است، احتمال جرحی بودن بیشتری داشته است. عامل فوق در پژوهش‌های دیگر نیز موثر شناخته شده است (۱۴ و ۹). تصادفات جلو به جلویی که وسیله نقلیه مقصر سواری کرایه یا اتوبوس بوده است با افزایش احتمال جرحی بودن تصادف همراه است. شدید بودن تصادفات با اتوبوس، ناشی از اندازه و جرم بیشتر وسیله است که باعث افزایش شدت تصادفات به وقوع پیوسته شده است. در مورد شرایط روسازی راه، تصادفات بر روی روسازی خشک با شدت بیشتری همراه بوده است. در مورد نوع معبر، تصادفات جلو

اثر بیشتری معرفی شده است. به طور کلی برای استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در این مورد نیاز به بررسی بیشتری می‌باشد تا بتوان از عملکرد مناسب این مدل‌ها مطمئن شد.

نتایج حاصله از پژوهش حاضر نشان‌دهنده کارایی قابل قبول شبکه‌های عصبی مصنوعی در تحلیل عوامل موثر بر شدت تصادفات می‌باشد. در کل با توجه به مقادیر کشش و تحلیل حساسیت مهم‌ترین متغیرهای موثر بر شدت تصادفات بی‌سوادی راننده، نوع وسیله مقصر سواری کرایه یا اتوبوس، وقوع تصادف به علت عجله و شتاب بی‌مورد راننده یا بی‌توجهی وی به مقررات و جوان بودن راننده می‌باشد.

بحث

این پژوهش با به‌کارگیری دو مدل مختلف به بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات جلو به جلو درون شهری پرداخته است. در این راستا از اطلاعات تصادفات رخ داده در شهر تهران استفاده شده است. با در نظر گرفتن دو سطح شدت جرحی- فوتی و خسارتی، برای تصادفات جلو به جلو مدل لوجیت دوگانه پرداخته شده است. سپس با توجه به معنی‌داری متغیرهای موجود در مدل نهایی، عوامل مؤثر و میزان اثر آن‌ها بر احتمال افزایش شدت تصادفات شناسایی شده است. پرداخت مدل‌های آماری نشان داد که دقت آن‌ها برای این منظور بالا می‌باشد. سپس با استفاده از متغیرهای معنی‌دار، بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی شناسایی شده و شبکه براساس آن آموزش دیده است؛ همچنین علاوه بر محاسبه دقت پیش‌بینی دو مدل، کشش حاصل از مدل‌های آماری با تحلیل حساسیت شبکه عصبی مقایسه و تحلیل شده است تا با دقت بالاتری به اهمیت نسبی پارامترهای مختلف در مقایسه با یکدیگر پی ببریم.

از جمله نتایج مهم استخراج شده از فرآیند مدل‌سازی لوجیت می‌توان به موارد زیر اشاره نمود؛ قابل ذکر است که در این‌جا منظور از تصادف، تصادفات ناشی از برخورد جلو به جلو می‌باشد.

- رانندگان مرد تصادفات با شدت بیشتری را تجربه کرده‌اند. بنابراین توصیه می‌شود در تدوین سیاست‌های ارتقای ایمنی، توجه ویژه‌ای به رانندگان مرد شود.
- سن بین ۲۵ تا ۵۰ سال رانندگان، باعث افزایش شدت تصادف می‌شود.

قابل مشاهده است؛ دقت پیش‌بینی کلی دو مدل تفاوت چندانی ندارد ولی با توجه به اینکه در مسئله دسته‌بندی حاضر، دسته تصادفات جرحی با تعداد به نسبت کم یعنی تنها ۱۰ درصد داده‌های ما را شامل می‌شود؛ دقت پیش‌بینی دو مدل باید بر مبنای دقت دسته‌بندی دسته کم ارزیابی شود. بر این اساس مدل شبکه عصبی مصنوعی برتر از لوجیت می‌باشد. قدرت پیش‌بینی بهتر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در مطالعات دیگر نیز نشان داده شده است (۲۵ و ۱۶). با توجه به دقت بالای مدل‌های فوق، گزینه‌ای مناسب برای پیش‌بینی شدت تصادفات می‌باشند.

یکی از موانع موجود بر سر راه استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی عملکرد مدل‌های فوق به شکل جعبه سیاه است. به عبارتی قدرت تفسیر روابط برقرار شده در فرآیند آموزش شبکه، برای ما وجود ندارد. در اینجا تلاش شده است که تأثیر متغیرهای ورودی به شبکه عصبی بر شدت، با تحلیل حساسیت شبکه عصبی محاسبه شود. مقایسه کشش مدل‌های آماری و تحلیل حساسیت شبکه مصنوعی نتایج جالبی را به دنبال داشته است. اولین نکته این است که علامت‌های مقادیر تحلیل حساسیت شبکه عصبی با علامت‌های مقادیر کشش مطابقت دارد که تا حدودی نتایج تحلیل حساسیت شبکه عصبی را قابل اعتماد می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است برای اکثر متغیرها مقادیر کشش مدل لوجیت نزدیک به هم است. در متغیرهایی چون جنسیت، سن کمتر از ۲۵ سال، بی‌سوادی، روز تصادف، نوع معبر و تغییر مسیر ناگهانی، مقادیر تحلیل حساسیت نیز تقریباً با دو مدل آماری یکسان است. در متغیرهای روسازی خشک و عرض معبر بین ۱۸ تا ۲۲ متر، شبکه عصبی مصنوعی تأثیر پارامترهای فوق را بیشتر از دو مدل دیگر نشان می‌دهد. در سایر متغیرها یعنی سن بین ۲۵ تا ۵۰ سال، بی‌توجهی به مقررات، عجله و شتاب بی‌مورد، وسیله مقصر سواری کرایه یا اتوبوس، عرض معبر بین ۱۲ تا ۱۵ متر و علت تصادف انحراف به چپ تحلیل حساسیت شبکه عصبی مقادیر کمتری را بدست داده است.

به نظر می‌رسد که در مواردی نتایج حاصل از شبکه عصبی منطقی‌تر می‌باشد؛ به عنوان نمونه تأثیر متغیر وسیله مقصر سواری کرایه در دو مدل آماری بیش از حد انتظار حاصل شده است و به نظر می‌رسد شبکه عصبی اثر کمتر و واقعی‌تری را ارائه داده است. همچنین هوای تاریک که در مطالعات انجام شده تاکنون یک عامل مهم شناخته شده است توسط شبکه عصبی با

- شدت تصادفاتی که راننده آن سنی کمتر از ۲۵ سال داشته باشد، نیز بیشتر است. قابل ذکر است که اثر جوانی در افزایش شدت تصادفات بیشتر از اثر میان‌سالی است. می‌توان این‌طور برداشت نمود که رانندگان جوان به‌طور معمول در سرعت‌های بالاتری رانندگی می‌کنند و هیجان طلبی در رانندگی آن‌ها بیشتر دیده می‌شود که این دو عامل منجر می‌شود آنان تصادفات با شدت بیشتری را تجربه کنند. بر این اساس، آموزش جوانان و اصلاح رفتارهای مخاطره‌آمیز آنان در رانندگی می‌تواند کمک شایانی در جلوگیری از مصدومیت‌های ترافیکی کند.
- بی‌سوادی راننده باعث افزایش شدت تصادفات شده است. این پارامتر بیشترین اثر را بر شدت تصادف داشته است. در نتیجه آموزش رانندگان و ارتقای دانش آنان موجب کاهش شدت تصادفات خواهد شد.
- در رانندگان، دو عامل بی‌توجهی به مقررات و عجله و شتاب بی‌مورد باعث افزایش شدت تصادفات شده است، که البته اثر بی‌توجهی به مقررات بیشتر از دیگر عوامل انسانی مؤثر بوده است. از این رو به نظر می‌رسد بهبود کنترل اجرای قوانین راهنمایی و رانندگی باعث افزایش پایداری رانندگان به اجرای قوانین و به دنبال آن کاهش میزان شدت تصادفات ترافیکی خواهد شد.
- تصادفات در روزهای تعطیل با افزایش شدت، نسبت به روزهای عادی همراه بوده است. توصیه می‌شود پلیس، کنترل اجرای قوانین را در روزهای تعطیل کاهش ندهد. زیرا خلوتی معابر و سرعت غیر مجاز وسایل نقلیه یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش شدت تصادفات در این روزها است.
- شدت تصادفاتی که در شب اتفاق می‌افتند، بیشتر از تصادفات به وقوع پیوسته در روز است. بر این اساس، افزایش میزان روشنایی معابر، می‌تواند یکی از راه‌کارهای کاهش میزان مصدومیت‌های تصادفات درون‌شهری باشد.
- تصادفات بر روی روسازی با وضعیت خشک با شدت بیشتری به وقوع پیوسته‌اند.
- شدت تصادفاتی که در تقاطع‌ها رخ می‌دهند، کمتر بوده است.
- عرض معبر ۱۲ تا ۱۵ متر و ۲۲ تا ۲۵ متر باعث افزایش شدت تصادفات شده است.
- تصادفات به وقوع پیوسته به دلیل انحراف به چپ یا تغییر مسیر ناگهانی، با شدت بیشتری همراه بوده‌اند. از این رو، تأکید بیشتر به رانندگان پیرامون حفظ خط حرکت و حرکت در میان خطوط می‌تواند موجب کاهش میزان مصدومیت تصادفات شود.
- به‌طور کلی، عامل انسانی مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر شدت تصادفات شناخته شده است. با توجه به اهمیت تأثیر بی‌سوادی راننده و بی‌توجهی به مقررات، در افزایش شدت تصادفات، توصیه می‌شود برنامه‌های آموزش رانندگان، در اولویت‌های اصلی سیاست‌های ارتقای ایمنی ترافیکی قرار گیرد. همچنین با توجه به شدیدتر بودن تصادفات رانندگان جوان، مطالعات بیشتر پیرامون رفتار رانندگی این گروه سنی می‌تواند به کاهش شدت تصادفات کمک کند. موارد زیر نیز از پرداخت دو مدل آماری و داده کاوی و مقایسه نتایج حاصل می‌شود:
- شبکه عصبی مصنوعی بهترین دقت پیش‌بینی (کل و در هر دسته) را نسبت به مدل لوجیت ارائه می‌دهد.
- علامت مقادیر تحلیل حساسیت شبکه عصبی مصنوعی با علامت کشش حاصل از مدل آماری یکسان است.
- در متغیرهایی چون جنسیت، سن کمتر از ۲۵ سال، بی‌سوادی، روز تصادف، نوع معبر و تغییر مسیر ناگهانی، مقادیر تحلیل حساسیت تقریباً با مدل آماری لوجیت یکسان است.
- به نظر می‌رسد در مواردی نتایج حاصل از تحلیل حساسیت شبکه عصبی به واقعیت نزدیک‌تر باشد. روش ارائه شده برای استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار تحلیلی علاوه بر پیش‌بینی، نتایج منطقی را به دنبال داشته است که این شیوه می‌تواند شروعی برای استفاده از مدل‌های فوق در مطالعات ایمنی باشد.

REFERENCES

1. Ayati E. The Cost of Traffic Accidents in Iran. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad; 2008.
2. Tehran Safe Community. 2012; Available from: www.tehransafe14.com/Default.aspx?04&RelatedID=vneHvndy.
3. Pei X, Wong S C, Sze N.N. The Roles of Exposure and Speed in Road Safety Analysis. *Accid Anal Prev.* 2012; 48: 464-71.
4. National Highway Traffic Safety Administration, Traffic Safety Facts Fars/Ges Annual Report, Proceedings of 90th 2011; Washington, D.C.
5. Jones A P, Jorgensen S H. The Use of Multilevel Models for the Prediction of Road Accident Outcomes. *Accid Anal Prev.* 2003; 35(1): 59-69.
6. Miltner E, Salwender H J. Influencing Factors on the Injury Severity of Restrained Front Seat Occupants in Car-to-Car Head-on Collisions. *Accid Anal Prev.* 1995; 27(2): 143-50.
7. Srinivasan K K. Injury Severity Analysis with Variable and Correlated Thresholds: Ordered Mixed Logit Formulation. *Transp Res Rec.* 2002; 1784: 132-42.
8. Garder P. Segment Characteristics and Severity of Head-on Crashes on Two-Lane Rural Highways in Maine. *Accid Anal Prev.* 2006; 38(4): 652-61.
9. Zuxuan D, Ivan J.N, Gårder P. Analysis of Factors Affecting the Severity of Head-on Crashes Two-Lane Rural Highways in Connecticut 2006; 41: 137-46.
10. Mercier CR, Shelley Ii MC, Rimkus J B, Mercier J M. Age and Gender as Predictors of Injury Severity in Head-on Highway Vehicular Collisions. 1997; 24: 37-46.
11. Haleem K, Abdel-Aty M. Examining Traffic Crash Injury Severity at Unsignalized Intersections. *J Safety Res.* 2010; 41(4): 347-57.
12. Peek-Asa C, Britton C, Young T, Pawlovich M, Falb S. Teenage Driver Crash Incidence and Factors Influencing Crash Injury by Rurality. *J Safety Res.* 2010; 41(6): 487-92.
13. Kononen D W, Flannagan C A C, Wang S C. Identification and Validation of a Logistic Regression Model for Predicting Serious Injuries Associated with Motor Vehicle Crashes. *Accid Anal Prev.* 2011; 43(1): 112-22.
14. Rifaat S M, Tay R, De Barros A. Effect of Street Pattern on the Severity of Crashes Involving Vulnerable Road Users. *Accid Anal Prev.* 2011; 43(1): 276-83.
15. Chong M, Abraham A, Paprzycki M. Traffic accident analysis using machine learning paradigms. *Inform* 2005; 29(1): 89-98.
16. Delen D, Sharda R, Bessonov M. Identifying Significant Predictors of Injury Severity in Traffic Accidents Using a Series of Artificial Neural Networks. *Accid Anal Prev.* 2006; 38(3): 434-44.
17. Abdelwahab HT, Abdel-Aty MA. Development of Artificial Neural Network Models to Predict Driver Injury Severity in Traffic Accidents at Signalized Intersections 2001.
18. Hensher DA, Rose JM, Greene WH. *Applied Choice Analysis: A Primer*: Cambridge University Press 2005.
19. Train KE. *Discrete Choice Methods with Simulation*. United States of America Cambridge University Press 2007.
20. Pal SK, Mitra S. Multilayer Perceptron, Fuzzy Sets, and Classification, *IEEE Transactions on Neural Networks* 1992.
21. Baykan N A, Yilmaz N A. Mineral Classification System with Multiple Artificial Neural Networks Using K-Fold Cross Validation. *J Comput Math.* 2011; 16(1): 22-30.
22. Izenman AJ. *Modern Multivariate Statistical Techniques*, Springer Science and Business Media 2008.
23. Elvik R. Speed and Road Safety: Synthesis of Evidence from Evaluation Studies. *Transp Res Rec.* 2005; 1908: 59-69.
24. Shams M, Rahimi-Movaghar V. Risky Driving Behaviors in Tehran, Iran. *Traffic Inj Prev.* 2009; 10(1): 91-4.
25. Abdelwahab HT, Abdel-Aty M A. Development of Artificial Neural Network Models to Predict Driver Injury Severity in Traffic Accidents at Signalized Intersections. *Transp Res Rec.* 2001; 1746: 6-13.