مدلسازی تعاملات رفتاری راننده- عابرین پیاده در تقاطعات شهری بدون چراغ راهنمایی

مقاله پژوهشی

امین فرج اللهی، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
امین چوبدار، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
سید روح اله معافی مدنی*، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی رحمان، رامسر، مازندران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: R.Moafimadani@gmail.com

دریافت: ۹۹/۱۱/۱۸- پذیرش: ۱٤۰۰/۰٦/۰۵
صفحه ٢٤٤-٢٢٣

چکیده

پیاده روی جایگاه برجسته ای در سیستم حمل و نقل شهری دارد. زیرا بخش قابل توجه ای از سفرهای درون شهری به صورت پیاده انجام می گیرد. افزایش وسایل نقلیه موتوری و در نتیجه ازدحام معابر، آلودگی هوا، افزایش قیمت سوخت و همچنین توجه روزافزون مردم به کیفیت سلامتی شان، شیوه‌های حمل و نقل غیر موتوری خصوصاً پیاده روی، بیش از گذشته مورد توجه مردم قرار گرفته است. از طرفی با توجه به این مسائل، عدم توجه به مقوله ی ایمنی عابرین پیاده منجر به وقوع حوادث رانندگی متعددی طی سالیان گذشته شده است. تجزیه و تحلیل ایمنی مسیرها به طور متداول، اغلب با سوابق آمار تصادف و بکارگیری مدل های آماری در راستای تعیین نقاط حادثه خیز و ناامن صورت می‌پذیرد. دلایل متعددی نشان می‌دهد که این شیوه ابزار چندان مناسب جهت ارزیابی ایمنی نیست. به همین دلیل استفاده از روش های جایگزین یا مکمل مبتنی بر داده های غیرتصادف برای بهبود ایمنی ترافیک، مورد توجه محققین علم ترافیک قرار گرفته است که از مهمترین روشهای آن می‌توان به استفاده از شاخصهای تعامل ترافیکی اشاره کرد. در پژوهش حاضر سعی شده است که موضوع ایمنی عابرین پیاده در تقاطع های کنترل نشده درون شهری با استفاده از روش شبکه عصبی و روش جایگزین مبتنی بر داده‌های غیرتصادف مورد ارزیابی قرارگیرد. ابتدا با بهره گیری از روش شبکه عصبی، عوامل موثر در وقوع یک تعامل بین خودرو و عابرین پیاده تعیین شدند و در نهایت با استفاده از شاخص های زمان سپری شده از تخطی (PET) و زمان مانده تا برخورد (TTC) آستانه بحرانی احتمال وقوع تعاملات خودرو- عابر در تقاطعات کنترل نشده شهری مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: ترافیک، عابرین پیاده، تعاملات، شاخص‌های تعامل ترافیکی، رانندگان

۱-مقدمه

امروزه مرگ و جراحت های ناشی از تصادفات، یکی از عوامل مهم مرگ‌ومیر در جهان می‌باشد؛ به‌طوری‌که تصادفات ترافیکی یکی از نه عامل مهم مرگ ومیر در جهان به شمار می‌رود و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ میلادی، یکی از سه عامل مهم مرگ‌ومیر در جهان شود. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی (۲۰۱۵)، همه‌ساله بیش از ۱/۲۵ میلیون نفر در سوانح جاده ای کشته و بیش از ۵۰ میلیون نفر دچار آسیب های جدی می شوند؛ به‌طوری‌که بیش از ۷۵ درصد از تصادفات فوتی در کشورهای درحال‌توسعه اتفاق می‌افتد و این در حالی است که تنها ۳۳ درصد از وسایل نقلیه کل دنیا را دارا می‌باشند .(World Health Organization (2015). در کشور ایران براساس گزارش سازمان پزشکی قانونی، تلفات جاده‌ای به‌قدری بالاست که با آمار ارائه شده توسط سازمان حمل ونقل جاده‌ای جهان در سال ۲۰۱۵ میلادی، ایران جزو پنج کشور اول در جهان از نظر نرخ تلفات ناشی از تصادفات می باشد. در ایران، بر اساس آمار چند سال اخیر

سازمان پزشکی قانونی کشور و سازمان بهداشت جهانی حدود ۲۷ درصد از کشته شدگان مربوط به عابرین پیاده می باشند (سازمان پزشکی قانونی ایران، (۱۳۹۳)). میانگین تلفات جاده‌ای در ایران بیش از ۱/۵ برابر میانگین جهانی است. از سوی دیگر، این مسئله در کشورهای در حال توسعه به دلیل وجود نقص در زیرساخت های حمل و نقل با توجه به تعداد بیشتر تصادفات حائز اهمیت است و در نتیجه هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم آن هم در مقایسه با سایر کشورها بیشتر می‌باشد. بطور کلی، عوامل موثر در وقوع تصادفات در حالت کلی به عوامل انسانی، محیطی و وسیله ی نقلیه دسته بندی می شوند (بهشتی و همکاران، ۱۳۹۳). عامل محیطی شامل عرض و مشخصات هندسی مسیر، تابلوها و دیگر ابزارهای کنترل مسیر، وضعیت روشنایی مسیر، موانع دید راننده، فقدان حفاظ و غیره می باشد. عوامل انسانی مانند عدم توجه به جلو، سبقت‌های غیرمجاز و عدم رعایت فاصله ی طولی و عرضی می باشد. بر اساس آمارهای برآورد شده در ایران، هزینه‌های اقتصادی مرگ و میر و صدمات جانی ناشی از تصادفات رانندگی ۸/٤ درصد تولید ناخالص داخلی را در بر می‌گیرد (World Health Organization, 2015). گزارش‌ها حاکی از آن است که تصادفات رانندگی با ۳۲ درصد از کل متوفیان کشور مهم ترین عامل مرگ و-میر در ایران محسوب می‌شود. همچنین، در این بین تقاطع ها از جمله مکان‌هایی است که آمار تصادفات مربوط به آن بالاست. در تقاطع‌ها به علت ادغام مسیرهای مختلف با یکدیگر و انجام انواع مختلف حرکات گردشی یا مستقیم، برخوردهای وسایل نقلیه با یکدیگر یا با عابرین، موتورسیکلت و دوچرخه زیاد می باشد، لذا بحث ایمنی در تقاطع‌های شهری از اهمیت بالایی برخوردار است (بهشتی و همکاران، ۱۳۹۳). پیچیدگی رفتار عبوری عابرین پیاده و همچنین عملکرد رانندگان در زمان عبور آنها خصوصاً در مکانهای فاقد ابزارهای کنترل کننده ی ترافیک، از جمله دلایلی است که اهمیت مطالعات رفتاری هم زمان راننده و عابر پیاده را بیش از مطالعات جداگانه‌ی هریک از آن ها، با اهمیت تر جلوه می دهد. ژائو و همکاران (۲۰۱۸) اقدام به بررسی تفاوت های رفتاری بین رانندگان با گروه های سنی مختلف به هنگام انتخاب مسیر کردند. انتخاب مسیر از طریق سیستم GPS[1] خودرو قابل تشخیص بود و سایر عوامل عملکردی مانند سرعت رانندگی نیز اندازه گیری شد. نتایج تحقیق نشان داد که عامل سن می تواند در خصوص انتخاب مسیر حرکت ایمن جهت انتخاب سرعت، تفاوت ایجاد کند. در این مطالعه مشخص گردید که رانندگان مسن (بالای ٦٠ سال) تمایل بیشتری در انتخاب مسیر با سرعت بالا دارند. به عبارت دیگر، این گروه سنی نسبت به کاهش سرعت لازم برای عدم تعامل با سایر خودروها تمایلی نشان ندادند و با بروز رفتار تهاجمی اقدام به حرکت کردند. ون هاپرن و همکاران (۲۰۱۸) به منظور بررسی زمان تا تصادف (TTC)[2] بین خودرو و موتورسیکلت در تقاطع ها، چهار تقاطع شهری در کشور بلژیک را مورد مطالعه قرار دادند. رفتارهای کاربران طی تعارض‌های ترافیکی در مسیر مورد ارزیابی تیم تحقیقیاتی آنها قرار گرفت و ویدیوگرافی تقاطع‌ها به منظور بررسی دقیق مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که عامل زمان تا تصادف (TTC) عامل اصلی رفتار تسلیمی از سوی رانندگان موتورسیکلت به هنگام وقوع تعامل‌ها بود. موتورسیکلت سواران با اطلاع از شرایط موجود، سرعت و فاصله خود تا سایر کاربران راه، عملکردهای متفاوتی جهت جلوگیری از وقوع تصادف از خود نشان دادند. لین و همکاران (۲۰۱٦) به مطالعه تصادفات گردش به راست خودروها در کشور چین پرداختند. مطالعات تصادفات دو محل در پژوهش آنها نشان داد که احتمال وقوع تصادفات در صورت انجام رفتارهای سه گانه ایمنی راننده کاهش می یابد که این سه گام عبارتند از:

الف) کاهش سرعت وسیله نقلیه پیش از نزدیک شدن به محل حرکت

ب) رانندگی با کمترین سرعت ممکن درست پیش از انجام حرکت

ج) ترمز گیری جهت عبور جریان ترافیک مسیر روبرو و سپس افزایش سرعت.

چونگ و چانگ (۲۰۱۵) به منظور دقت اطلاعات ثبت شده در پایگاه تصادفات شهر سئول کره‌جنوبی، اقدام به مطالعات تصادفات صورت گرفته از دو طریق داده‌های ثبت شده پلیس و اطلاعات جمع‌آوری شده از دوربین جعبه سیاه خودرو کردند. مطالعه بر روی متغیرهای متعددی نظیر سرعت خودرو حین تصادف، محل وقوع تصادف، علت تامه تصادف و سایر شرایط هندسی، ترافیکی، محیطی و جوی انجام شد. اگرچه نتایج تحقیق تا حد قابل قبولی بیانگر کارآمد بودن استفاده از داده‌ها پایگاه تصادفات مناطق مورد بررسی بود اما در خصوص برخی از متغیرها تفاوت‌هایی مشاهده گردید. تحلیل نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های پایگاه تصادفات می‌تواند منجر به خطا در اندازه‌گیری دقیق سرعت خودرو حین تصادف، محل وقوع تصادف و زمان تصادف شود. اختلاف ۸۵ متری در تعیین مکان دقیق تصادف، تفاوت ۹ کیلومتربرساعتی در تعیین سرعت دقیق خودرو و اختلاف زمانی در حدود ۱۹ دقیقه نشانگر تفاوت‌های قیاسی بین دو روش مذکور در طرح پژوهش آنها

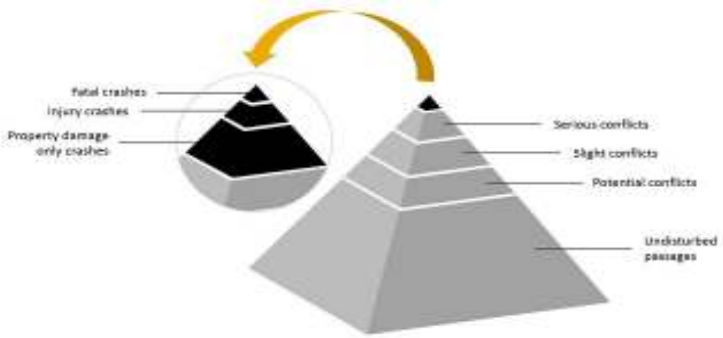
بود. در سال (٢٠١٦) پژوهشی توسط ریتچر و همکاران انجام شد (Richter et al, 2016) با هدف جلوگیری از وقوع تصادف ناشی از سبقت‌گیری در جاده‌های برون شهری دوخطه در آلمان صورت گرفت. ریچتر و همکارانش بررسی رفتارهای رانندگان براساس متغیرهای درگیر با متغیرهای ترافیکی و زیربنایی مسیرهای مطالعاتی را در دستور کار قرار دادند. مطالعات آمار تصادفات در ۵۰ مقطع انتخابی به طول مجموع ۳ کیلومتر انجام شد که حجم نمونه ۱۵۵۷ تصادف در این مسیرها ثبت شده بود. نتایج مطالعات نشان داد که عدم کنترل خودرو توسط راننده مهمترین عامل وقوع تصادفات به هنگام سبقت‌گیری بوده است. فقدان توانایی و ضعف در کنترل خودرو منجر به وقوع شرایطی چون سر خوردن خودرو در مسیر و برخورد خودرو با خودروی کناری شده است. همچنین عدم زمان بندی صحیح رانندگان منجر شده که خودرو با خودروهایی که از قبل در حال سبقت بوده‌اند برخورد کنند.

۲-روش تحقیق

بکارگیری مدل سازی آماری توسط پژوهشگران، از جمله ابزارهای مهم فرآیند مطالعاتی پژوهای ایمنی ترافیک می‌باشد. با استفاده از این مدل ها، امکان بررسی تأثیر احتمالی یک عامل و یا ایجاد ارتباط بین چندین عامل امکان پذیر است. در پژوهش حاضر، روش های شبکه عصبی و شاخص جایگزین تصادف به منظور تحلیل داده‌ها و مدلسازی موضوع پژوهش مورد استفاده قرار خواهد گرفت که در ادامه معرفی روش‌ها و ویژگی‌های ذاتی آن‌ها آورده شده است. بدین منظور برای مدلسازی عوامل موثر بر انجام وقوع تعامل بین خودرو- عابر از مدل شبکه عصبی استفاده شده است. از طرفی دیگر با استفاده از شاخص جایگزین تصادف به دسته بندی تعاملات صورت گرفته پرداخته خواهد شد و احتمال وقوع تعاملات براساس شاخص جایگزین بررسی می‌شود.

۲-۱- رویکردهای نزدیک به تصادف (شاخص‌های جایگزین تصادفات)

به منظور تعریف رویکردهای نزدیک به تصادف، محققان، تعاملات ترافیکی کاربران راه را به صورت زنجیره‌ای از رویدادها تعریف کرده‌اند. به عبارت دیگر، تعاملات میان کاربران راه، رویدادهای ترافیکی را به وجود می آورند که این رویدادها، طیفی از «رویدادهای عادی» (عبور ایمن و بدون مزاحمت کاربران از کنار یکدیگر) گرفته تا «تصادفات منجر به فوت» را تشکیل می‌دهند. محققان معتقدند که میزان خطرناک بودن (شدت) تعاملات ترافیکی با فراوانی این تعاملات نسبت معکوس دارد. هایدن این مفهوم را به صورت کامل‌تر و به شکل هرمی نشان داد که این رویدادهای عادی در قاعده این هرم و نادرترین و شدیدترین تعاملات ترافیکی یعنی تصادفات فوتی در نوک این هرم قرار می‌گیرند. همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، این هرم براساس شدت رویدادهای ترافیکی به چندین لایه تقسیم شده است. هریک از لایه‌های این هرم نشان دهنده‌ی یک گروه از رویدادهای با شدت یکسان می‌باشد و حجم هر لایه، فراوانی رویدادهای مربوط به آن لایه را به طور کیفی نشان می‌دهد. بدین ترتیب، نادرترین و شدیدترین رویدادهای ترافیکی (یعنی تصادفات فوتی) در نوک این هرم قرار می‌گیرند. در واقع، شکل هرمی به این دلیل انتخاب شده که منعکس‌کننده مفهوم کاهش فراوانی به ازای افزایش شدت تعامل کاربران راه باشد. محققان پیشنهاد دادند که تعاملاتی که شدت کمتر، اما فراوانی بیشتری دارند نیز در برآورد ایمنی ترافیک مورد استفاده قرار بگیرند، زیرا این رویدادها ممکن است اطلاعات سودمند در مورد وضعیت ایمنی ترافیک ارائه دهند. این موضوع، سرآغازی برای استفاده از رویدادهای نزدیک به تصادف برای پیش بینی فراوانی تصادفات بود. از طرف دیگر، یکی از چالش های موجود در این زمینه، این بود که در حالی که رویدادهایی که در دو انتهای این هرم قرار می‌گیرند (یعنی تصادفات و عبور بدون مزاحمت) به راحتی قابل شناسایی هستند؛ اما رویدادهایی که در میانه این طیف قرار گرفته اند، فاقد یک تعریف و مرز مشخص بوده و روند معینی برای اندازه‌گیری این رویدادها وجود ندارد. به عبارت دیگر، برای این که بتوان از این مفهوم استفاده کرد می‌بایست سلسله مراتب تعاملات میان کاربران راه را براساس قواعد معینی به پارامترهای قابل اندازه‌گیری تبدیل کرد. بدین معنا که میزان نزدیکی هر تعامل با وقوع تصادف بالقوه می‌تواند شاخصی از شدت آن تعامل باشد. در مطالعات گذشته، شاخص‌های زیادی برای ارزیابی میزان نزدیکی مکانی و زمانی خودروهای درگیر در یک تعامل معرفی شده‌اند. این شاخص ها در ادبیات ایمنی ترافیک به «شاخص‌های جایگزین» معروف هستند.



هرم هایدن

۲-۱-۱-زمان سپری شده از تخطی (PET) [3]

زمان و مکان برخورد یک شرایط کاملاً ضروری برای وقوع تصادف است. با این حال، وضعیت های زمانی و مکانی نزدیک به برخورد نیز می‌تواند دارای اهمیت باشد. زیرا تغییر کوچک در آن‌ها ممکن است موجب برخورد و وقوع تصادف احتمالی گردد. منظور از زمان سپری شده از تجاوز(PET)، مدت زمان سپری شده از لحظه عبور کاربر اول از نقطه تداخل تا لحظه رسیدن کاربر دوم به آن نقطه می‌باشد که طبق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$PET = t_2 - t_1 \qquad (۱)$$

برای هر تداخل تنها یک مقدار برای PET به دست می‌آید و برای محاسبه‌ی PET برای یک رویداد، تنها لازم است بازه زمانی میان عبور یک استفاده کننده از یک نقطه مکانی و ورود یک استفاده کننده دیگر به همان نقطه، اندازه‌گیری شود و می‌تواند مستقیماً تنها با استفاده از یک کرنومتر محاسبه گردد. بنابراین به‌نظرمی‌رسد PET، به‌خصوص برای تحلیل‌های مبتنی بر تصویربرداری، نسبتاً راحت اندازه گیری گردد.

۲-۱-۲-زمان مانده به برخورد (TTC)

یکی از اولین مطالعاتی که از نزدیکی زمانی برای درجه بندی تداخلات با توجه به شدت آن‌ها استفاده کرد، در سال ۱۹۷۲ در ایالت متحده آمریکا انجام شد. هایوارد شاخصی را با عنوان زمان اندازه‌گیری شده تا برخورد (TMTC)[4] پیشنهاد کرد. زمان اندازه‌گیری شده تا برخورد به صورت «زمان مورد نیاز برای برخورد دو کاربر راه، اگر سرعت و مسیر حرکت بدون تغییر باقی بماند» تعریف شده است.

بعدها، نام این شاخص به زمان تا تصادف (TTC) تغییر پیدا کرد. شاخص TTC ، به دلیل در نظرگیری همزمان نزدیکی و سرعت، عملکرد خوبی را ارایه می‌دهد. از مهمترین و پر کاربردترین شاخص‌های مبتنی بر زمان است. زمان تا تصادف با ریسک تصادف رابطه معکوس دارد (مقادیر کوچک TTC نشان دهنده ریسک بالاتر تصادف است و بالعکس). تمامی تداخل‌های با زمان مانده به برخورد برابر، به یک اندازه خطرناک نیستند یا به عبارت دیگر سطح شدت مشابه ای نخواهد داشت. در واقع زمان مانده به برخورد، امکان انجام عکس‌العمل ناگهانی پس از وقوع تداخل را در نظر نمی‌گیرد. حقیقت این است که زمان عکس العمل رانندگان و نیز قدرت ترمز خودروها در سرعت‌ها و شرایط ترافیکی مختلف، متغییر است. بنابراین، خطر بالقوه تبدیل شدن به تصادف برای انواع مختلف تداخل‌ها حتی با زمان مانده به برخورد یکسان نیز می‌تواند متفاوت باشد. این شاخص نیز در گذشته با روش مشاهده مستقیم توسط افراد آموزش دیده، به صورت میدانی اندازه گیری می‌شد.

۲-۲-مکان‌های مورد مطالعه

به منظور بررسی موضوع پژوهش تقاطع‌های مختلف کنترل نشده شهری در شهر بابل استان مازندران در نظر گرفته شد. تقاطع‌های موجود در خیابان ولیعصر (کمربندی شرقی)، خیابان مدرس و خیابان شریعتی (هسته مرکزی شهر) و خیابان جانبازان (کمربندی غربی) که فاقد هرگونه ابزار کنترل ترافیک بودند، به عنوان مکان‌های مورد مطالعه انتخاب شدند.

شکل ۲. مکان‌های مورد مطالعه

۲-۳-شرکت‌کنندگان در بررسی موضوع پژوهش

برای انجام پژوهش حاضر از ۲۳ نفر راننده (۱۲ مرد و ۱۱ زن با محدوده ی سنی ۱۸- ۵۵ سال با مدرک تحصیلی و شغل های متفاوت)، خواسته شد که در مسیرهای موردمطالعه، با استفاده از خودروی سواری پژو اقدام به رانندگی کنند. رفتار و عملکرد شرکت کنندگان به هنگام رانندگی به وسیله‌ی دوربین نصب شده درون خودرو ثبت گردید. حین مطالعات انجام شده، ۱۷٦ تعامل بین خودرو و عابرین در حال گذر مشاهده گردید. آمارگیری در روزهای مختلف هفته طی سه ماه اردیبهشت، خرداد، تیر صورت پذیرفت.

۲-٤-دوربین فیلم‌برداری مورد استفاده در پژوهش

برای فیلم برداری از دوربین مداربسته خودرو موسوم به جعبه سیاه خودرو استفاده شده است. این دوربین با نصب درون خودرو تمامی تصاویر محیط را ثبت و ضبط می‌کند و قادر است به صورت همزمان از داخل و بیرون خودرو فیلم‌برداری نماید و قابل نصب بر روی داشبورد و یا شیشه خودرو می‌باشد. مدل این دوربین در شکل زیر قابل مشاهده است. در شکل زیر محیط فیلم‌برداری در پژوهش حاضر، نمای داخل و بیرون خودرو و محل نصب دوربین قابل مشاهده است.

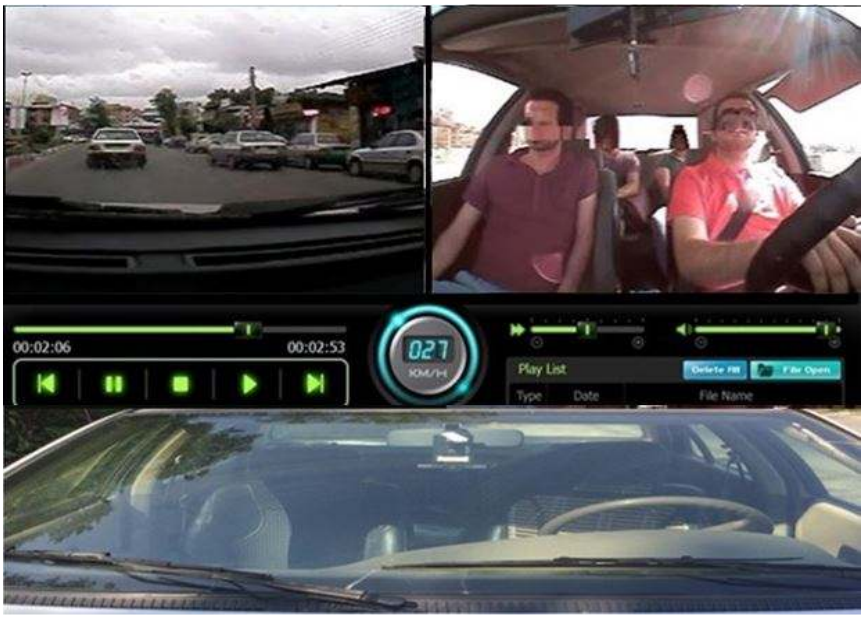
شکل ۳. دوربین مورد استفاده در تحقیق

۲-۵-متغیرهای مورد بررسی

در این مطالعه بر اساس تحقیقات پیشین، مجموعه‌ای از متغیرهایی که انتظار می‌رود بر روی عملکرد و رفتار راننده و نیز نوع تصمیم‌گیری راننده، به هنگام مشاهده‌ی عابرین پیاده و سایر خودروها تأثیر بگذارد، مطابق جدول شماره ۱ تهیه شد. با شناخت مجموعه متغیرهای مستقل تأثیر گذار بر متغیر هدف (تعاملات خودرو- عابر پیاده)، به دسته بندی آنها پرداختیم.

۲-٦- مدلسازی متغیرهای تأثیرگذار بر روی متغیر هدف پژوهش با استفاده از روش شبکه عصبی

در این قسمت، ابتدا داده‌های استخراج شده از فیلم ضبط شده از رانندگی افراد شرکت کننده حین بوجود آمدن تعاملات خودرو- عابر مورد مطالعه قرار می‌گیرد. داده‌های مربوط به هر یک از متغیرهای موجود در جدول (۱) استخراج می‌شوند. در این پژوهش برای مدلسازی به روش شبکه عصبی از نرم افزار SPSS استفاده شده است.



شکل ٤. محیط فیلم‌برداری در تحقیق حاضر

۲-۷-مدل تعاملات خودرو- عابرپیاده

جدول ۱ خلاصه فرآیند انجام شده شامل ۱۷٦ مورد از تعاملات شناسایی شده از طریق فیلم‌ها که بین خودروی مورد آزمایش و عابرین پیاده در مسیر رخ داد را نشان می‌دهد. ۱۲۰ نمونه در گروه نمونه‌های آموزش و ٥٦ نمونه در گروه نمونه‌های آزمایش قرار گرفته‌اند. که در نهایت تمامی۱۷٦ نمونه تعاملات از نظر آمادگی جهت مدلسازی با روش شبکه عصبی معتبر هستند و هیچ یک از نمونه‌ها از تحلیل خارج نشده‌اند.

۲-۸-اطلاعات شبکه

جدول اطلاعات شبکه، اطلاعات مربوط به شبکه های عصبی که شامل متغیرهای مستقل و وابسته، تعداد واحدهای لایه های ورودی و خروجی، تعداد واحدهای لایه‌های پنهان و توابع فعال‌کننده هستند را، نشان می‌دهد و برای حصول اطمینان از اینکه موارد اختصاص یافته صحیح می‌باشند، کاربرد دارد. ساختار گزینش اتوماتیک، ۷ واحد را در لایه پنهان انتخاب کرده است. با توجه به جدول ۳، متغیرهای تعریف شده در بخش قبل به عنوان لایه‌های ورودی در مدل اطلاعات شبکه، قابل مشاهده هستند. سایر اطلاعات مربوط به شبکه نیز نمایش داده شده است.

جدول ۱. فهرست متغیرها

نشانه کد	متغیر	نوع متغیر	واحد یا کد متغیر	توصیف
Spd	سرعت خودرو	پیوسته	کیلومتر بر ساعت	سرعت نزدیک شدن خودرو به عابر
Dis	فاصله خودرو تا عابر		متر	
P.Volume	حجم عابرین		تعداد	تعداد حین عبور

Zebra	**محل عبور عابر**	**گسسته**	**خط کشی دارد: ۱ ، خط کشی ندارد: ۰**	
Int	**نوع تقاطع**		**میدان: ۱ ، چندراهه: ۰**	
P.Att	**وضعیت رفتاری عابر**		**عبور با کنترل وضعیت: ۱** **عبور با بی دقتی: ۰**	**توجه کردن یا نکردن به وضعیت چریان ترافیک**
MED	**میانه**		**مقطع دارای میانه است: ۱**	**مقطع دارای میانه نیست: ۰**
P.Cross	**نحوه ی عبور عابر**		**دویدن : ۰ ، راه رفتن: ۱**	
D.Gender	**جنسیت راننده آزمایشی**		**مرد: ۰ ، زن: ۱**	
P.Gender	**جنسیت عابر**			
P.Work	**عامل مشغول بودن عابر**		**تلفن همراه: ۰ ، صحبت با دیگران: ۱ ، بدون عامل: ۲**	
D.Att	**توجه راننده**		**توجه دارد: ۱ ، توجه ندارد: ۰**	**توجه به جریان ترافیک مسیر**
Obs	**محدودیت دید راننده**		**محدودیت دید دارد: ۱** **محدودیت دید ندارد: ۰**	**موانع دیدن عابر یا سایر خودروها توسط راننده نظیر: خودروی پارک شده در مسیر**
Req	**اجازه عبور خواستن**		**درخواست اجازه: ۱** **عدم درخواست اجازه: ۰**	**درخواست اجازه عبورتوسط عابر**
Conflict	**تعامل خودروی آزمایشی با عابرین پیاده**		**وقوع تعامل : ۱** **عدم وقوع تعامل : ۰**	**اینکه راننده مورد آزمایش یا عابر جهت جلوگیری از برخورد در نقطه‌ای که بهم می‌رسند، واکنشی انجام می‌دهند.**

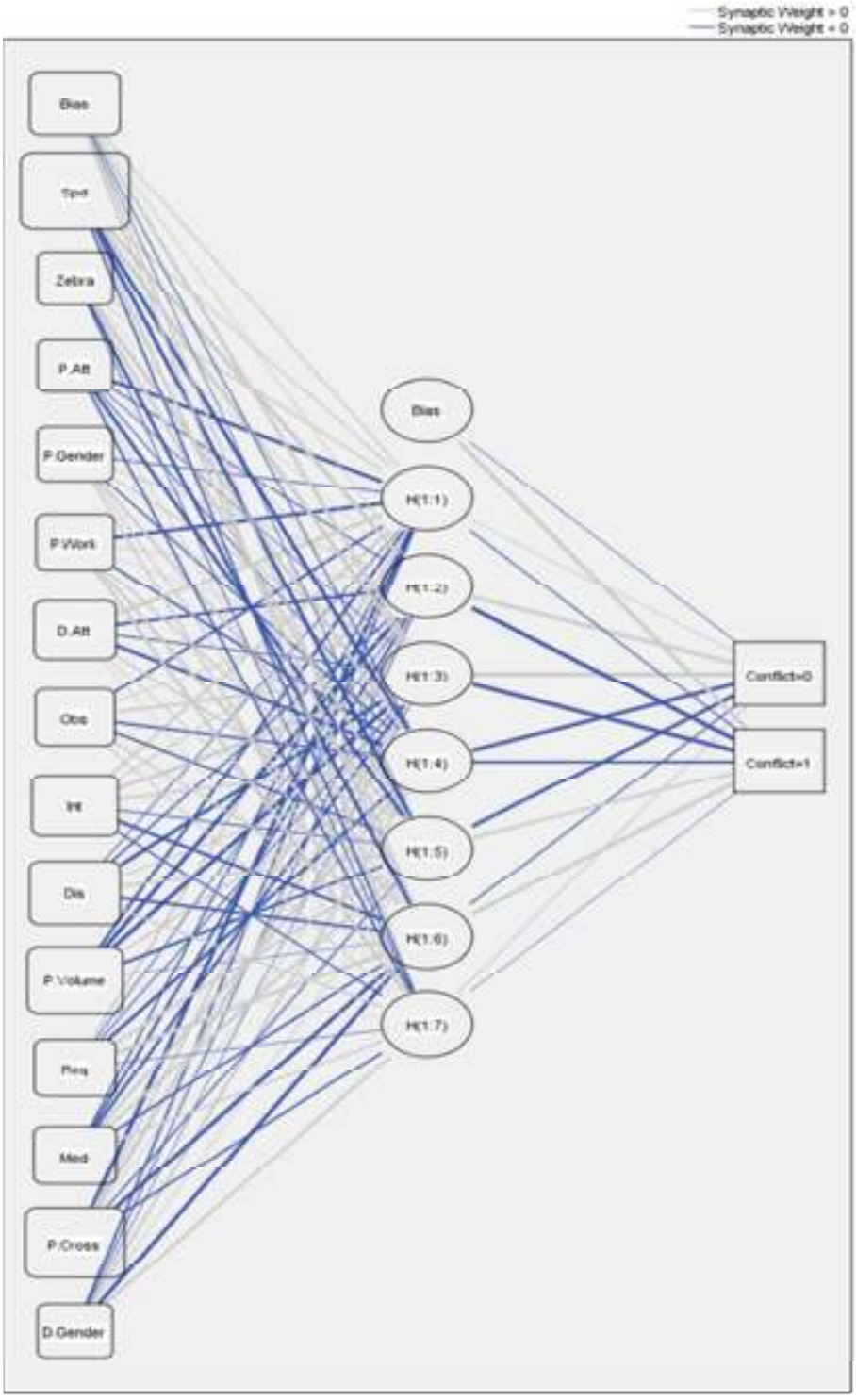
جدول ۲. خلاصه فرآیند انجام شده

		N	Percent
Sample	Training	120	68.2%
	Testing	56	31.8%
Valid		176	100.0%
Excluded		0	
Total		176	

جدول ۳. اطلاعات شبکه

Input Layer	Factors	1	Spd
		2	Dis
		3	P.Volume
		4	Zebra
		5	Int
		6	P.Att
		7	Med
		8	P.Cross
		9	D.Gender
		10	P.Gender
		11	P.Work
		12	D.Att
		13	Obs
		14	Req
	Number of Unitsa		14
Hidden Layer(s)	Number of Hidden Layers		1
	Number of Units in Hidden Layer 1a		7
	Activation Function		Hyperbolic tangent
Output Layer	Dependent Variables	1	Conflict
	Number of Units		2
	Activation Function		Softmax
	Error Function		Cross-entropy

a. Excluding the bias unit



شکل ۵. لایه‌های پنهان و روابط بین متغیرها در مدل شبکه عصبی

۳-خلاصه مدل

جدول ٤ خلاصه مدل را نشان می‌دهد. در بخش Model Summary اطلاعات مربوط به نتایج آموزش انجام شده و استفاده از شبکه نهایی در مورد نمونه‌های آزمایش شده (Testing) را می توان مشاهده کرد. این جدول خلاصه‌ای از نتایج شبکه عصبی را به شکل کامل و به تفکیک ارائه می‌دهد. از جمله این موارد می‌توان به خطای نسبی (درصد پیشبینی نادرست) اشاره نمود.

جدول ٤. خلاصه مدل

Training	Cross Entropy Error	39.091
	Percent Incorrect Predictions	15.8%
	Stopping Rule Used	1 consecutive step(s) with no decrease in errora
	Training Time	0:00:00,16
Testing	Cross Entropy Error	15.648
	Percent Incorrect Predictions	10.7%

Dependent Variable: Conflict
a. Error computations are based on the testing sample.

-خطای آنتروپی (Cross entropy error) به دلیل آنکه در لایه خروجی از تابع فعال‌کننده softmax استفاده شده است، در جدول آورده شده است. شبکه در طی فرآیند خود سعی دارد میزان این تابع خطا را به کمترین مقدار خود برساند.

- میزان پیش‌بینی‌های اشتباه که به صورت درصد نشان داده می‌شوند، از جدول طبقه بندی (Classification table)، که در صفحه بعد به آن می‌پردازیم گرفته شده است.

۳-۱-طبقه‌بندی

جدول طبقه‌بندی، یک جدول طبقه‌بندی برای هر متغیر وابسته مطلق به‌صورت جزیی و کلی ارائه می‌دهد. هر جدول تعداد مواردی را که در هر یک از دسته‌بندی‌های مربوط به متغیر وابسته، به‌صورت درست یا نادرست طبقه‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد. درصد کل حالت‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند نیز گزارش می‌شود. جدول۵ نتایج خاصی که حاصل از استفاده از شبکه می‌باشد را نشان می‌دهد.

جدول ۵. طبقه‌بندی

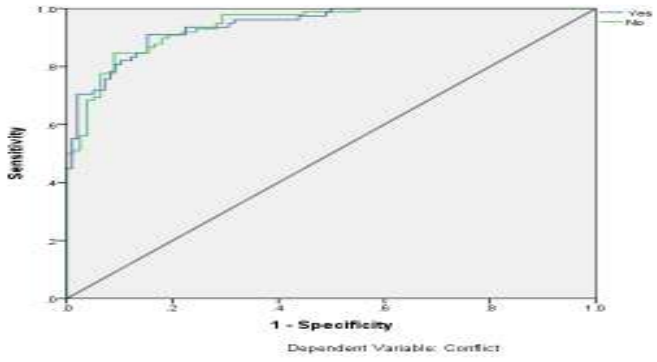
		Predicted		
Sample	**Observed**	NO	YES	Percent Correct
Training	NO	44	11	80.0%
	YES	8	57	87.7%
	Overall Percent	43.3%	56.7%	84.2%
Testing	NO	22	1	95.7%
	YES	5	28	84.8%
	Overall Percent	48.2%	51.8%	89.3%

Dependent Variable: Conflict

در بین مواردی که از آنها برای آموزش مدل استفاده شده است، ٤٤ مورد از ٥٥ موردی که در دسته عدم وقوع تعامل (No) قرار داشته‌اند، به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و تعداد ٥٧ مورد از ٦٥ موردی که در دسته وقوع تعامل (Yes) قرار داشته‌اند، نیز به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. به‌صورت کلی ٨٤.٢ ٪ درصد مواردآموزش به درستی طبقه‌بندی شده و میزان باقی مانده یعنی ١٥.٨٪ درصد موارد اشتباه در جدول خلاصه مدل نشان داده شده است. به عبارت دیگر برای نمونه آموزش، مدل شبکه عصبی ساخته شده به میزان ٨٤.٢ ٪ قادر به پیش بینی روابط بین متغیرهای موثر تحقیق و درنتیجه مدل می‌باشد. عملکرد مدلی مناسب‌تر ارزیابی می‌گردد که درصد بیشتری از موارد صحیح را نشان داده و مشخص نماید. (تعداد نمونه‌ها به صورت رندم و تصادفی از میان تعداد نمونه‌های موجود توسط نرم افزار انتخاب می‌شوند.) در بین مواردی که از آنها برای آزمایش مدل استفاده شده است، ٢٢ مورد از ٢٣ موردی که در دسته عدم وقوع تعامل (No) قرار داشته‌اند، به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و تعداد ٢٨ مورد از ٣٣ موردی که در دسته وقوع تعامل (Yes) قرار داشته‌اند، نیز به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. به‌صورت کلی ٨٩.٣ ٪ درصد مواردآزمایش به درستی طبقه‌بندی شده و میزان باقی‌مانده یعنی ١٠.٧٪ درصد موارد اشتباه در جدول خلاصه مدل نشان داده شده است. به عبارت دیگر برای نمونه آزمایش، مدل شبکه عصبی ساخته شده به میزان ٨٩.٣ ٪ قادر به پیش بینی روابط بین متغیرهای موثر تحقیق و درنتیجه مدل می‌باشد.

٣-٢-منحنی ROC

منحنی ROC[5] یا منحنی مشخصه عملکرد سیستم یا منحنی عملیاتی به ارائه تصویری گویا از میزان حساسیت مدل تنها در یک نمودار و به طور همزمان می‌پردازد که بسیار واضح‌تر و توانمندتر از جداول می‌تواند عمل کند. برای هر متغیر وابسته مطلق این منحنی نمایش داده می‌شود. همچنین جدولی که نمایانگر سطح زیر هر منحنی است، ارایه می‌گردد. نمودار شکل ٦ دو منحنی را نشان می دهد، یکی از آنها گروه وقوع تعامل (YES) و دیگری عدم وقوع آن (NO) را نمایندگی می‌کنند. این نمودار براساس ترکیبی از نمونه‌های آموزشی و آزمایشی استوار است. هر چه نقاط به سمت بالا و چپ نزدیک‌تر باشد مناسب‌تر است و مدل پیش‌بینی به حالت ایده‌آل خود نزدیک‌تر است. فضای زیر منحنی، خلاصه و چکیده‌ای عددی از منحنی ROC است و عددهایی که در جدول آمده است نشان دهنده این نکته هستند که در هر دسته، احتمالی که به عنوان شبه احتمال برای حضور در دسته مشخصی پیش‌بینی شده است، در مواردی که به صورت تصادفی در آن دسته انتخاب شده‌اند نسبت به حالتی که به صورت تصادفی اما نه در آن دسته مشخص انتخاب شده‌اند، بیشتر است. فضای زیر منحنی یک خلاصه آماری مناسب و مفید جهت نمایش صحت عملکرد شبکه ارائه می‌دهد. با توجه به خروجی نرم افزار، ٩٤.٢٪ درصد احتمال دارد که مدل پیش‌گو اقدام به پیش‌بینی صحیح مدل نماید.

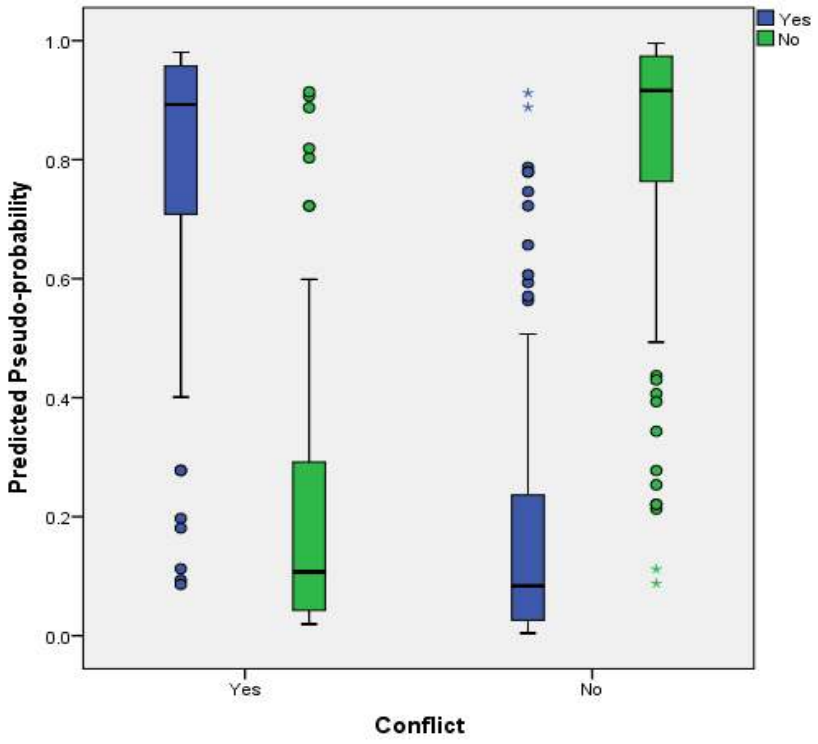


شکل ٦. منحنی ROC

جدول ۷. مساحت زیر منحنی

		Area
Conflict	NO	.942
	YES	.942

۳-۳-نمودار پیش بینی براساس مشاهده (Predicted-by-Observed Chart)

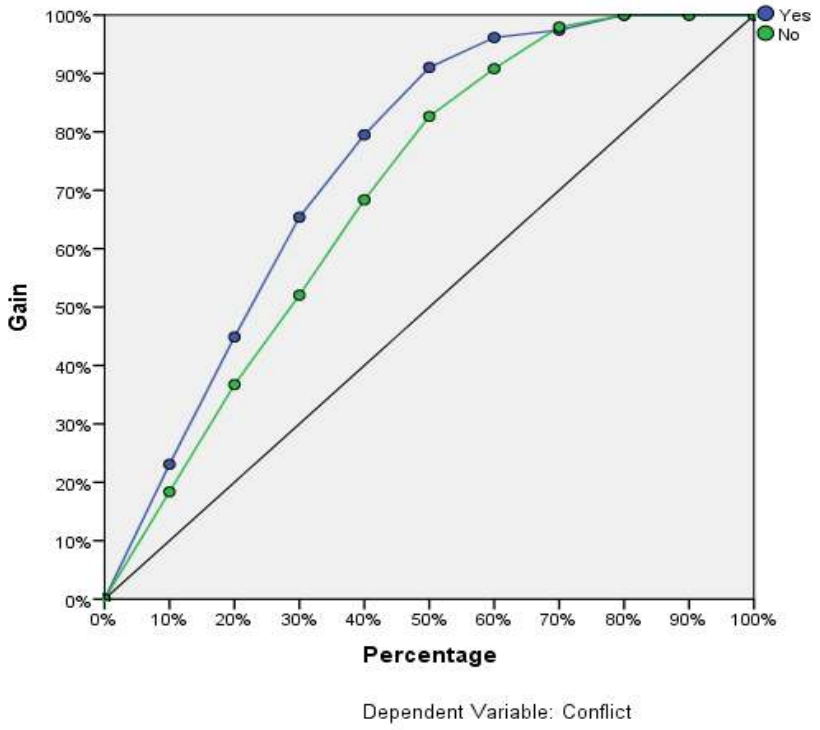


شکل ۷. نمودار پیش‌بینی بر اساس مشاهدات

شکل ۷، نمودار پیش بینی براساس مشاهده برای متغیرهای وابسته در هر دسته، متشکل از نمودارهای میله ای تجمعی مربوط به احتمالات پیش‌بینی شده است که برای مجموعه‌ای مرکب از نمونه‌های آموزشی و آزمایشی به دست آمده‌اند. نمودار میله ای که در منتهی الیه سمت چپ قرار دارد، نشان دهنده میزان احتمال پیش‌بینی شده دسته وقوع تعامل (YES)، برای مواردی است که در دسته (YES) قرار گرفته اند. قسمتی از نمودار میله‌ای که در بالای عدد ۰/۵ (که برروی محور y مشخص شده است) قرار گرفته نشان دهنده پیش‌بینی‌های صحیحی است که در جدول طبقه بندی آورده شده بود. شبکه در پیش بینی مواردی که در دسته (YES) قرار می‌گیرند و شرط توقف ۰/۵ را برای آنان لحاظ شده است، بسیار خوب عمل می‌نماید. نمودار میله‌ای بعدی که با حرکت به سمت راست به آن می‌رسیم، نشان دهنده احتمال پیش بینی شده دسته عدم وقوع تعامل (NO)، برای مواردی است که در دسته وقوع تعامل (YES) قرار می‌گیرد. از آنجایی که در این پژوهش تنها دو دسته‌بندی برای متغیر هدف وجود دارد، دو نمودار میله‌های اول نسبت به خط افقی متقارن می باشد. سومین نمودار میله‌ای نشان دهنده احتمال پیش‌بینی شده دسته وقوع تعامل (YES) برای مواردی است که در دسته عدم وقوع تعامل (NO) قرار گرفته‌اند. این نمودار و آخرین نمودار میله‌ای نسبت به خط افقی ۰/۵ متقارن می‌باشند. آخرین نمودار میله‌ای نشان‌دهنده،

شبه احتمال پیش‌بینی شده دسته عدم وقوع تعامل (NO) برای مواردی است که در دسته عدم وقوع تعامل(NO) قرار گرفته‌اند که با توجه به شکل مشخص است که مدل بسیار خوب عمل کرده است. خطی که به صورت افقی در داخل نمودار میله‌ای وجود دارد بیانگر میانگین داده‌های آن دسته می‌باشد. بنابراین با توجه به شکل ۷ در نمودار میله‌ای اول از سمت چپ در دسته وقوع تعامل (Yes)، که بیانگر پیش بینی‌های درست در این دسته است، حدود۹۰٪ درصد پیش بینی مدل درست بوده است و در نمودار میله‌ای آخر در دسته عدم وقوع تعامل (No)، که بیانگر پیش بینی‌های درست در این دسته است، حدود ۹۲٪ درصد پیش بینی مدل درست بوده است.

۳-٤-نمودار بهره تجمعی (Cumulative Gains and lift charts)



شکل ۸ نمودار بهره تجمعی

نمودار بهره تجمعی نشان می‌دهد که با قرار دادن درصد مشخصی از کل موارد در دسترس، چه درصدی از تعداد موارد را در هر دسته شامل می‌شود. برای مثال، نقطه‌ای بر روی شکل ۸ مدل پژوهش حاضر، که بر روی منحنی دسته عدم وقوع تعامل (NO) دارای مختصاتی به صورت (٦٨٪ و ٤٠٪) می‌باشد. این مختصات بدین معناست که چنانچه شما یک مجموعه ای از داده‌ها را به وسیله شبکه ثبت نموده و تمامی موارد در دسترس‌تان را با احتمال پیش‌بینی شده (NO) منظم نمایید، می‌توان انتظار داشته باشید که ٤٠٪ آنها حدودا شامل ٦٨٪ از تمام مواردی باشد که در واقع در دسته (YES) قرار گرفته‌اند. خط قطری را که مشاهده می‌نمایید یک منحنی مبنا است. به این معنا که، چنانچه شما ٤٠ درصد از موارد موجود در مجموعه داده‌های خود را به صورت تصادفی انتخاب نمایید، می‌بایست انتظار داشته باشید که در حدود ٦٨ ٪ از تمام مواردی که در واقع در دسته (YES) قرار می‌گیرند شامل شود، بالاتر از این منحنی مبنا، نمودارها به صورتی هستند که هر چه قدر درصد بیشتری انتخاب گردد، درصد بزرگتری از موارد موجود در دسته موردنظر بدست خواهد آمد.

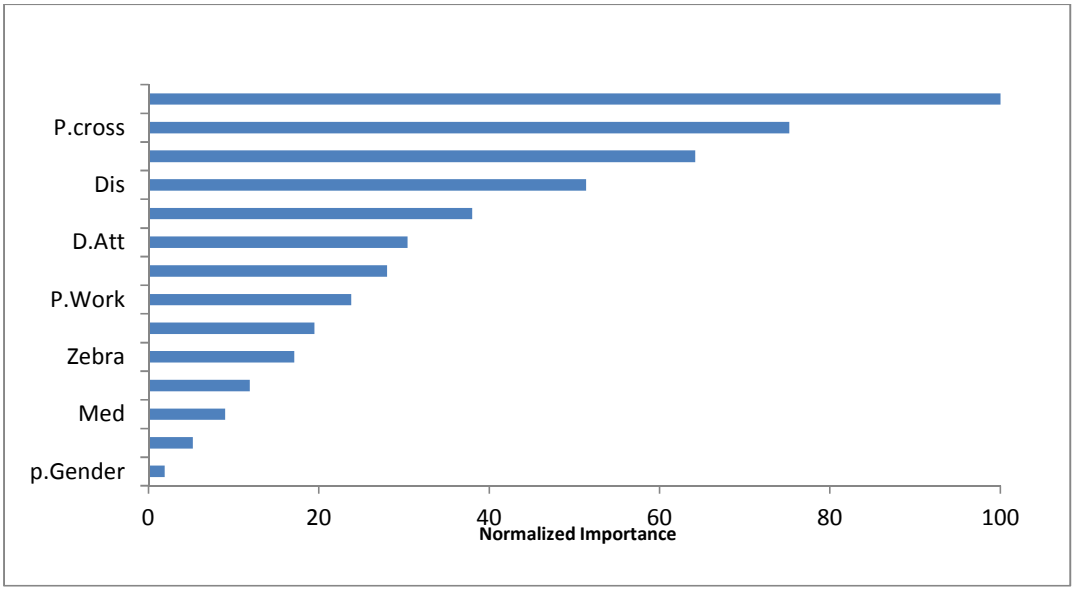
۳-۵-اهمیت متغیرهای مستقل

در جدول ۸ تأثیرمتغیرهای مستقل بر روی متغیر هدف پژوهش (وقوع تعامل خودرو- عابر) با استفاده از شبکه عصبی نشان داده شده است. اهمیت متغیرهای مستقل در تشخیص این نکته است که به چه میزان مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه، با تغییر مقادیر متغیر مستقل، تغییر می‌نماید. نرمال سازی این اهمیت بسیار ساده است و با تقسیم مقادیر اهمیت بر بزرگترین مقدار آن حاصل می‌شود و به‌صورت درصد بیان می گردد.

جدول ۸. اهمیت متغیرهای مستقل

	Importance	Normalized Importance
Spd	.210	100.0%
Dis	.108	51.4%
P.Volume	.135	64.2%
Zebra	.036	17.1%
Int	.080	38%
P.Att	.025	11.9%
Med	.019	9%
P.cross	.158	75.2%
D.Gender	.011	5.2%
P.Gender	.004	1.9%
P.work	.050	23.8%
D.Att	.064	30.4%
Obs	.059	28%
Req	.041	19.5%

نمودار Importance chart یک نمودار میله‌ای ساده حاصل از مقادیر موجود در جدول ۸ می‌باشد که این مقادیر به صورت نزولی مرتب شده‌اند.



شکل ۹. نمودار اهمیت

همان‌طور که از نمودار بالا قابل مشاهده است، از بین تمامی متغیرهای معرفی شده، میزان تأثیر هر یک از عوامل بر روی احتمال وقوع تعامل خودرو- عابر مشخص است. برخی از این عوامل نظیر سرعت خودرو (Spd)، نحوه‌ی عبور عابر (P.Cross)، حجم عابرین پیاده (P.Volume) و فاصله خودرو تا عابر (Dis)، نوع تقاطع (Int)، توجه راننده به جریان ترافیک مسیر(D.Att)، تأثیر بالایی بر روی وقوع تعامل دارند. نقش هریک از متغیرهای تأثیرگذار جدول ۸ بر روی احتمال وقوع تعامل به شرح زیر است:

سرعت (Spd): مهمترین متغیر تأثیرگذار بر روی احتمال وقوع تعامل بین خودرو- عابر، سرعت وسیله نقلیه است. بنابر تحلیل داده‌ها بر مبنای فیلم‌های ضبط شده، حدود ۱۱۳ تعامل زمانی رخ داد (از بین ١٧٦ تعامل خودرو- عابر) که راننده شرکت کننده با سرعتی بیش از حد مجاز در مسیر در حال حرکت بود. بنابر جدول (٤-٧)، اهمیت نرمال شده برای این متغیر ١٠٠٪ درصد است، به عبارت دیگر این متغیر بصورت کاملاً مستقیم بر احتمال وقوع تعامل تأثیرگذار است. یعنی با افزایش سرعت، بر میزان احتمال وقوع تعامل نیز افزوده خواهد شد.

نوع حرکت عابر (P.Cross): دومین عامل مهم در وقوع تعامل بین خودرو و عابر به نحوه‌ی تصمیم عابر برای عبور از خیابان مرتبط است. در پژوهش حاضر در بین ١٧٦ تعامل ثبت شده، ۹۲ تعامل زمانی بوجود آمد که عابرین اقدام به دویدن در مسیر کردند. دور از انتظار نخواهد بود که انجام این عمل ناگهانی مانع از تصمیم‌گیری و عملکرد مناسب راننده شود و پتانسیل وقوع تصادف را افزایش دهد. اهمیت نرمال شده برای این متغیر٧٥.٢٪ درصد است.

حجم عابرین (P.Volume): سومین عامل مهم در وقوع تعامل بین خودرو و عابر، حجم عابرین پیاده است. بنابر این متغیر، هرچه تعداد عابرین افزایش یابد احتمال وقوع تعامل بین خودرو و عابرین نیز افزایش می‌یابد. افزایش تعداد عابرین موجب سردرگمی راننده در اتخاذ تصمیم درست و واکنش سریع جهت جلوگیری از تعامل می‌گردد. در هنگام زیاد بودن تعداد عابرین، عابرین به دو صورت اقدام به عبور می‌کردند. گروهی از عابرین به صورت متمرکز برای عبور، کنار هم جمع می‌شدند و گروهی از عابرین در گروه‌های پراکنده و نامنظم اقدام به عبور می‌کردند. حین مشاهدات فیلم‌های ضبط شده مشاهده گردید در گروهی که عابرین به صورت متمرکز برای عبور کنار هم جمع می‌شدند، تمایل رانندگان مبنی بر کاهش سرعت و یا هر اقدامی دیگر که سبب تردد ایمن و راحت گروه عابرین منتظر شود، قابل تشخیص بود. جدول نتایج پژوهش نیز نشان می‌دهد که به میزان بالایی این عامل بر روی ایمنی عبور عابرین تأثیرگذار است. اهمیت نرمال شده برای این متغیر ٦٤.٢٪ درصد است.

فاصله خودرو تا عابر (Dis): چهارمین عامل مهم در وقوع تعامل بین خودرو و عابرین پیاده فاصله خودرو تا عابر است. به طور کلی عامل فاصله به همراه اثر توامان دیگر عوامل نظیر سرعت بالا (در فاصله کم) و یا حتی حواس‌پرتی راننده (چه در فاصله زیاد چه در فاصله کم تا محل برخورد) می‌تواند زمینه‌ساز وقوع برخورد گردد. تحلیل داده‌های استخراجی از فیلمها نشان داد که در درصد بالایی از تعاملات صورت گرفته، فاصله‌ی بین خودرو تا عابر پیاده کمتر از ۱۰ متر بوده است. اهمیت نرمال شده برای این متغیر ٥١.٤٪ درصد است.

نوع تقاطع (Int): میزان تعاملات صورت گرفته در تقاطع‌های مطالعاتی بین خودرو و عابرین پیاده یکسان نبود. شرایط رانندگی در تقاطع‌های چندراهه به نسبت میادین و یا تقاطع‌های سه راهی به مراتب پیچیده‌تر است. در این پژوهش نیز نتایج خروجی نرم افزار نشان داد که احتمال بروز خطا و یا اشتباه از سوی رانندگان و عابرین پیاده با افزایش تعداد خطوط و نیز وضعیت ساختاری تقاطع، افزایش می یابد. اهمیت نرمال شده برای این متغیر ۳۸٪ درصد است.

توجه راننده (D.Att): حواس پرتی راننده و کم توجهی نسبت به جریان ترافیک و مسیر روبرو می‌تواند ناشی از تبلیغات فروشگاه‌ها، تابلوهای پیام متغیر و یا مشاهده‌ی رویداد در سمت دیگر مسیر حرکت باشد. در این پژوهش، متغیر توجه راننده به مسیر (D.Att) از جمله متغیرهای موثر در عدم بروز تعامل در مسیرهای مطالعاتی بود. بنابر نتایج مدل، نقش عدم توجه راننده به مسیر به میزان ٣٠.٤٪ درصد می‌تواند در وقوع تعامل موثر باشد. سایر متغیرهای تأثیرگذار بر روی وقوع تعاملات بین خودرو و عابرین پیاده قابل مشاهده است. میزان اهمیت سایر متغیرهای تأثیرگذار در جدول ۸ بنابر ستون اهمیت نرمال شده برای هر متغیر قابل تفسیر است.

٤-محاسبه احتمال وقوع تعامل با استفاده از شاخص‌های جایگزین تصادفات

در بخش قبلی اشاره شد که به شیوه مطالعات رانندگی طبیعی (NDS)، ۲۳ شرکت کننده در مسیرهای مختلف شهر اگر عابر ابتدا منطقه تداخلی را ترک کند. بابل مورد ارزیابی قرار گرفتند. هدف از مطالعات، ارزیابی عوامل موثر بر تعاملات خودرو- عابرین پیاده در تقاطع‌های کنترل نشده شهری بود. فیلمبرداری درون خودرویی از رانندگی افراد شرکت کننده طی مطالعات پژوهش صورت گرفت و با بازبینی چندباره فیلم‌ها مشخص گردید که ١٧٦ تعامل خودرو- عابر در حین انجام پژوهش بوجود آمده است. در بخش قبلی همین فصل، بر اساس روش شبکه عصبی، شبکه تربیت شده‌ای در خصوص مدل تعاملات خودرو- عابرپیاده ارائه شد و متغیرهای مهم در بوجودآوردن تعاملات شناسایی شدند. سایر اطلاعات شبکه از جمله میزان حساسیت مدل و میزان دقت مدل در پیش‌بینی تعاملات نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بخش سعی بر این شده که براساس شاخص‌های جایگزین تصادفات، احتمال وقوع تعامل خودرو- عابر مورد ارزیابی قرار گیرد. پیش‌بینی می‌شود تعیین آستانه بحرانی وقوع تعاملات را بتوان بعنوان شاخص احتمال ریسک وقوع تعامل در پژوهش حاضر عنوان کرد. به منظور افزایش دقت تحلیل داده‌ها و تعیین احتمال وقوع تعاملات، قرار بر این شد که سه سناریوی مختلف در تحلیل داده‌ها درنظر گرفته شود. سه سناریوی انتخابی در واقعیت سه نوع حرکت خودرو پیش از وقوع تعامل با عابرین پیاده در مسیر است. لذا سناریوهای مورد ارزیابی عبارتند از:

١) تعامل بوجود آمده در زمان حرکت گردش به چپ خودرو در تقاطع

٢) تعامل بوجود آمده در زمان حرکت گردش به راست خودرو در تقاطع

٣) تعامل بوجود آمده در زمان حرکت مستقیم خودرو در تقاطع

٤-١-محاسبه شاخص‌های تداخلی

روش‌های محاسبه PET و TTC به شرح زیر است:

- محاسبه شاخص PET :

PET مدت زمان سپری شده از لحظه عبور کاربر اول از نقطه تداخل تا لحظه رسیدن کاربر دوم به آن نقطه می‌باشد.

$$PET = t_{C1} - t_{P2} \quad (٢)$$

اگر خودرو ابتدا منطقه تداخلی را ترک کند:

$$PET = t_{P1} - t_{C2} \quad (٣)$$

t_{C1}: زمانی که وسیله نقلیه وارد منطقه محل برخورد احتمالی می‌شود

t_{C2}: زمانی که وسیله نقلیه خارج منطقه محل برخورد احتمالی می‌شود

t_{P1} : زمانی که عابر وارد منطقه محل برخورد احتمالی می‌شود

t_{P2} زمانی که عابر خارج منطقه محل برخورد احتمالی می‌شود

- محاسبه شاخص TTC

زمان مانده تا برخورد خودرو و عابر، از لحظه دیده شدن عابر توسط راننده تا وقوع عکس‌العمل از سوی راننده یا عابرپیاده، به عنوان زمان مانده تا تعامل، تعبیر شده است.

محاسبات شاخص‌های تداخلی برای داده‌های پژوهش

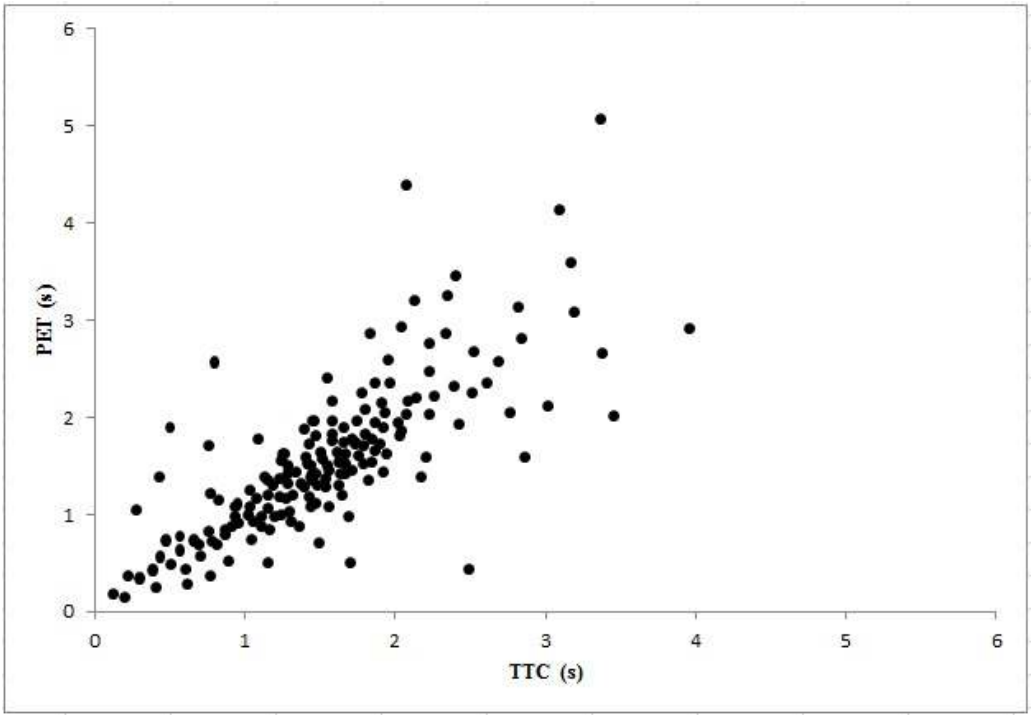
پس از استخراج پارامترهای زمانی برای وسایل نقلیه و عابرین پیاده که دارای نقطه تداخل و برخورد بودند، مقادیر شاخص‌های PET و TTC محاسبه شد. در مجموع برای ١٧٦ تعامل شناسایی شده در پژوهش حاضر، اطلاعات شاخصهای مربوط به چند رویداد در جدول ٩ آورده شده است.

جدول ٩. اطلاعات رویدادهای تداخلی

محل عبور عابر	تقدم عبور	نوع حرکت (سناریو)	PET	TTC	تعامل
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	گردش به چپ	٢/٦٥	٢/١٩	١
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	گردش به چپ	٠/٧٢	١/٢٦	٢
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	گردش به چپ	٢/٢٧	٢/٥٦	٣
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	مستقیم	٣/٥٥	٣/٣٢	٤
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	گردش به چپ	٢/٠٥	١/٦٥	٥
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	مستقیم	٠/٤٤	٠/٧٨	٦
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	گردش به چپ	٢/٤٨	٢/٣٥	٧
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	گردش به راست	٢/٤٨	٢/٣٥	٨
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	گردش به چپ	٣/١٥	٣/٦٩	٩
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	گردش به راست	١/٤٥	٢/٨٢	١٠

دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	مستقیم	۱/۵۵	۱/٦۲	۱۱
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	گردش به چپ	۲/۰۹	۲/۳۳	۱۲
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	گردش به راست	۲/۰۹	۲/۳۳	۱۳
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	مستقیم	۱/۸۷	۲/٤۲	١٤
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	مستقیم	۰/۸۵	۱/۲۱	۱۵
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	گردش به چپ	۱/۱۷	۰/۹۳	١٦
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	گردش به راست	۱/۵۷	۱/٤۸	۱۷
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور عابر	مستقیم	۲/۹۳	۳/۷۹	۱۸
دارای خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	گردش به چپ	۱/۲٦	۱/۷۷	۱۹
دارای خط کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	مستقیم	۱/۵۷	۲/۳۹	۲۰
....	....	....	....	....	....
فاقد خط‌کشی تردد عابر	اول عبور خودرو	گردش به چپ	۲/۳٤	۲/٦۲	۱۷٦

در شکل ۱۰ پراکندگی و توزیع تعاملات بر اساس شاخص‌های تداخلی PET و TTC قابل مشاهده است.



شکل ۱۰. توزیع تعاملات

٤-٢-نتایج دسته بندی ریسک وقوع تعاملات

همانطور که در فصل دوم بدان اشاره شد، رانندگان وسایل نقلیه با انجام عکس‌العمل‌های متفاوتی در شرایط پیچیده ترافیکی، اقدام به جلوگیری از برخورد با سایر کاربران راه و یا المان‌های موجود در مسیر می‌کنند. در پژوهش حاضر نیز رانندگان با انجام سه مجموعه عکس‌العمل، از وقوع برخورد با عابرین پیاده جلوگیری کردند. لذا، در این بخش مقادیر بحرانی دو شاخص جایگزین تصادفات (PET و TTC) به ازای هریک از عملکردهای رانندگان مورد ارزیابی قرار گرفت. مجموعه تعاملات صورت گرفته در سه مجموعه کلی دسته‌بندی شد که عبارتند از:

١) تعامل عادی: در این حالت پس از مشاهده شدن عابر توسط راننده، پیش از آن که راننده اقدام به عکس‌العمل کند، خود عابر با تغییر رفتار حرکتی خود مانع از برخورد در نقطه برخورد احتمالی می‌گردد. در واقع در این تعامل راننده عکس‌العمل نشان نمی‌دهد.

٢) تعامل نرم: در این حالت پس از مشاهده شدن عابر توسط راننده، راننده اقدام به عکس‌العمل تدریجی مثل کاهش سرعت، افزایش سرعت و یا تغییر خط حرکت خود می‌کند.

٣) تعامل سخت: در این حالت پس از مشاهده‌شدن عابر توسط راننده، راننده فوراً اقدام به فشردن پدال ترمز می‌کند و مجبور به توقف کامل می‌شود. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که میزان آستانه هریک از شاخص‌های جایگزین تصادفات تحت تعاملات مختلف نشان داده شده است.

حدود مرزی هریک از دسته تعاملات در نظر گرفته شده در پژوهش حاضر نشان داده شده است. با توجه به جدول قابل توجه است که کلیه تعاملات سخت و نرم به عنوان تعاملات جدی بین خودرو و عابر در نظر گرفته شوند. در اینگونه تعاملات در صورت عدم تصمیم‌گیری مناسب و عملکرد به موقع از سوی رانندگان وقوع برخورد حتمی است. از طرف دیگر، لزوم بکارگیری رفتار حرکتی مناسب از سوی عابرین پیاده می‌تواند از طریق بهبود ایمنی تردد تحت تعاملات عادی با خودرو، سبب کاهش احتمال برخوردها و به تبع تصادفات عابرین پیاده گردد.

٤-٣-تجزیه و تحلیل تعاملات بر اساس نوع حرکت خودرو

همانطور که در بخش‌های قبل بدان اشاره شد، تعاملات بین خودرو و عابرین پیاده براساس حرکت خودرو به سه دسته تقسیم شدند. تعامل در حین گردش به راست خودرو، تعامل در زمان حرکت مستقیم و تعامل در حین گردش به چپ خودرو سه گروه تفکیکی تعاملات براساس حرکت خودروها هستند. در جدول ١١ احتمال وقوع تعاملات براساس نوع حرکت خودرو نشان داده شده است.

جدول بالا نشان می‌دهد که حرکات گردش به چپ و مستقیم بیشترین تعاملات سخت را تشکیل می‌دهند. علت وجود تعاملات سخت عابرین با خودروهای دارای حرکت مستقیم را می‌توان به نبود ابزار کنترل کننده در مسیر جهت کاهش سرعت وسایل نقلیه اشاره کرد. در این شرایط که راننده با سرعتی دلخواه در حال رانندگی است، به هنگام دیدن عابر، تصمیم اولیه مبنی بر واکنش به صورت فشردن پدال ترمز خواهد بود. از سوی دیگر در بیشتر تعاملات سخت حین حرکت گردش به چپ مشاهده شد که محدودیت دید راننده به علت طرح نامناسب هندسی و یا خودروهای پارک شده در کنار مسیر، همچنین رفتارهای پرخطر ترددی نظیر عبور عابر بصورت دویدن در مسیر منجر به بروز عملکردهایی مانند توقف خودرو جهت جلوگیری از برخورد با عابرین پیاده گردید.

٤-٤-تجزیه و تحلیل تعاملات بر اساس مکان عبور عابرین پیاده

حین استخراج داده‌ها، مشاهده شد که درصد تعاملات صورت گرفته در قسمت‌های خط کشی شده و فاقد خط کشی عابر پیاده مشابه نیست. جدول زیر تعداد تکرار هریک از دسته تعاملات بوجود آمده بین عابر و خودرو را در دو مکان مورد بحث نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشخص است که میزان تعاملات جدی (نرم و سخت) در مسیرهای فاقد خط‌کشی به مراتب بیشتر از تعداد به وجود آمده در مکان دارای خط کشی است. لزوم بکارگیری خط کشی عابرین پیاده در گذرگاه پرتردد شهری می‌تواند گامی مثبت در راستای افزایش ایمنی تردد عابرین پیاده باشد.

جدول ١٠. شاخص دسته‌بندی تعاملات

شاخص	ریسک		
	زیاد	کم	
	تعامل سخت	تعامل نرم	تعامل عادی
TTC	١/٠٣	٢/١٧	٣/٤٣
PET	١/٣١	٢/٢٨	٣/٦٢

جدول ١١. تجزیه و تحلیل تعاملات بر اساس نوع حرکت خودرو

	کل	گردش به راست	مستقیم	گردش به چپ
تعداد	١٧٦	٦٣	٣٨	٧٥
درصد	١٠٠	٣٥/٨٠	٢١/٥٩	٤٢/٦١

در جدول ١٢ احتمال وقوع تعاملات براساس نوع حرکت خودرو تحت تعاملات مختلف نشان داده شده است.

جدول ١٢. تجزیه و تحلیل تعاملات بر اساس نوع حرکت خودرو تحت تعاملات مختلف

نوع تعامل	گردش به راست	مستقیم	گردش به چپ
تعامل عادی	٤١	١٤	٤٦
تعامل نرم	١٥	١١	١٧
تعامل سخت	٧	١٣	١٢
جمع	٦٣	٣٨	٧٥

جدول ١٣. تجزیه و تحلیل تعاملات بر اساس مکان عبور عابرین پیاده

نوع تعامل	مسیر دارای خط کشی عابر	مسیر فاقد خط کشی عابر
تعامل عادی	٣٩	٦٢
تعامل نرم	١٤	٢٩
تعامل سخت	٦	٢٦
جمع	٥٩	١١٧

٥-جمع‌بندی

با افزایش سریع وسایل نقلیه شهری و تشدید تراکم ترافیک، مطالعات ترافیکی زیادی بر تعامل خودروها متمرکز شد، اما نمی‌بایست تعامل بین عابرپیاده و وسیله نقلیه را نادیده گرفت. هدف از این پژوهش، بررسی پارامترهای موثر بر وقوع تعامل بین خودروی شبیه‌ساز شده (نصب دوربین درون خودرو و استفاده از افراد شرکت کننده به عنوان راننده آزمایش) و عابرین پیاده در حال عبور از مسیر بود. مجموعه رفتارهای رانندگان و عابرین پیاده از طریق تحلیل فیلم‌ها انجام شد و پارامترهای موثر بر وقوع تعامل‌ها مشخص شدند. نتایج مدل شبکه عصبی نشان داد که سرعت خودرو، نحوه‌ی عبور عابر، حجم عابرین پیاده و فاصله خودرو تا عابر، نوع تقاطع، عدم توجه راننده به مسیر، محدودیت‌های دید برای رانندگان در محل گذرگاه عابرین پیاده با تأثیرگذاری بر رفتار و عملکرد رانندگان، می‌تواند منجر به

بروز حوادث حادثه‌ساز بین خودرو و عابرین پیاده گردد. در واقع هریک از این عوامل از جمله مواردی هستند که منجر به کاهش عملکرد رانندگان حین رانندگی و در نتیجه وقوع تعامل بین خودرو و عابرین پیاده می شوند. از سوی دیگر، عواملی مانند عامل مشغول بودن عابرین پیاده حین عبور مثل استفاده از تلفن همراه و یا صحبت با دیگران، تعداد حجم عابرین منتظر جهت عبور از عرض خیابان، عدم درخواست اجازه عبور از رانندگان مبنی بر دادن حق تقدم عبور به عابرین و یا رفتار عبوری عابر پیاده مثل دویدن، می‌تواند منجر به ایجاد خطا در نحوه تصمیم‌گیری صحیح رانندگان از محیط جریان ترافیک و وضعیت عبوری عابرین پیاده گردد. در گام بعدی با استفاده از دو شاخص جایگزین تصادفات، PET (زمان سپری شده از تخطی) و TTC (زمان مانده تا برخورد)، احتمال ریسک وقوع تعاملات بین خودرو و عابرین پیاده براساس سه نوع حرکت خودروها در تقاطع‌ها محاسبه شد. مقدار PET و TTC هریک از تعاملات حین مانور گردش به چپ، مانور گردش به راست و حرکت مستقیم رانندگان در تقاطع‌ها اندازه‌گیری شد و آستانه زمانی بحرانی برای هریک از مانورها ارائه گردید. پیش‌بینی می‌شود اهداف مورد نظر این پژوهش و از جمله تعیین آستانه بحرانی زمانی قبل از برخورد بین خودرو و عابرین پیاده، حین حرکات مختلف وسایل نقلیه در تقاطع‌ها، گامی بلند در راستای بهبود ایمنی حرکت متعدد خودروها در راستای جلوگیری از وقوع تصادفات عابرین پیاده از طریق بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمندکمک‌رانندگی شود.

٦-پی‌نوشت‌ها

1- Global position system
2- Time to Collision
3- Post-Encroachment Time
4- Time Measured To Collision
5- Receiver Operating Characteristic

٧-مراجع

-سازمان پزشکی قانونی ایران، (١٣٩٣)، "گروه آمار سازمان پزشکی قانونی کشور"،www.lmo.ir.

-بهشتی، س.ا.ح.، مهرآبادی، ع. و امیرپاشائی، ن.، (١٣٩٣)، "بررسی پارامتر سرعت در تقاطعات غیرهمسطح شهری به عنوان عامل انسانی وقوع تصادفات وسایل نقلیه"، سومین کنفرانس ملی تصادفات جاده‌ای، سوانح ریلی و هوایی، زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.

-Chung, Y. & Chang, I., (2015), "How accurate is accident data in road safety research? An application of vehicle black box data regarding pedestrian-to-taxi accidents in Korea", Accident Analysis & Prevention, 84, pp.1–8. https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.001.

-Richter, T., Ruhl, S., Ortlepp, J. & Bakaba, E., (2016), "Prevention of Overtaking Accidents on Two-lane Rural Roads", Transportation Research Procedia, 14, pp.4140–4149. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.385.

-Shesterov, E. & Mikhailov, A., (2017), "Accident Rates at Signalized Intersections", Transportation Research Procedia, 20, pp.613–617. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.099.

-"World Health Organization", (2015), "Global status report on road safety 2015: supporting a decade of action.Geneva", Switzerland, WHO.

-Zhao, Y., Yamamoto, T. & Morikawa, T., (2018), "An analysis on older driver's driving behavior by GPS tracking data: Road selection, left/right turn, and driving speed", Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 5(1), pp.56–65.

Modelling of Driver-Pedestrian Conflicts on Unsignalized Intersections

Amin Farajollahi, Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

Amin Choubdar, M.Sc., Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

Seyed Rohalah Moafimadani, Department of Civil Engineering, Rahman Institute of Higher Education, Ramsar, Mazandaran, Iran.

R.Moafimadani@gmail.com

Received: July 2021-Accepted: August 2021

ABSTRACT

Walking is a prominent place in the urban transport system, as a significant part of intra-city trips takes place on foot. Increasing motor vehicles, resulting in traffic congestion, air pollution, rising fuel prices, as well as the increasing attention of people to their health, the ways of transport and motor vehicles, especially walking, have become more popular than ever before. On the other hand, due to these issues, the lack of attention to the pedestrian safety category has led to numerous road accidents over the past years. Safety analysis of paths is commonly used, often with accident statistics data, and the use of statistical models to determine accidental and insecure points. Several reasons indicate that this method is not a suitable tool for evaluating safety. Therefore, the use of alternative methods or complementary methods for non-accidental data to improve traffic safety has been considered by researchers in traffic science. One of the most important methods is the use of traffic interaction indicators. . In the present study, we tried to assess the safety of pedestrians in uncontrolled intersections in urban areas by using neural network method and alternative method based on non-random data. At first, by using the neural network method, factors affecting the occurrence of an interaction between cars and pedestrians were determined and finally, by using Post Encroachment Time (PET) and Time-To-Collision (TTC) indicators of critical thresholds the probability of automobile-pedestrian interactions in uncontrolled intersections of the city was determined.

Keywords: Traffic, Pedestrians, Conflict, Traffic Conflict Techniqes, Drivers