

اثر سنجی مشخصات ظاهری و وضعیت تحرک عابران پیاده بر احتمال وقوع تصادف در راه‌های جداشده برون‌شهری

امین میرزا بروجردیان (نویسنده مسئول)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

سینا شیخ‌الاسلامی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

E-mail: boroujerdian@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۹

چکیده دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲

چکیده

ایمینی تردد مهم‌ترین معیار در طراحی مهندسی راه‌های برون‌شهری است. آمار تصادفات جاده‌ای در سال‌های اخیر نشان از قابل توجه بودن تصادفات عابران پیاده دارد. از دیدگاه ایمنی، رانندگان باید به میزان کافی فرصت برای درک خطرانی نظیر عابران و انجام واکنش داشته و این خطرات از فاصله‌ای دورتر از فاصله دید توقف حداقل، قابل رؤیت باشند. اما در صورتی که ویژگی‌های هندسی و فیزیکی و چیدمان حاشیه راه، دید راننده را مسدود ننماید، میزان بازه زمانی مذکور به ویژگی‌های انسانی راننده و مشخصات عابر در راه وابسته است. ازجمله اهم مشخصات ظاهری عابران پیاده می‌توان به رنگ و ثابت یا متحرک بودن آن اشاره کرد. در این پژوهش با انتخاب متغیرهایی که مشخصات ظاهری عابر را نشان می‌دهند مدل احتمال وقوع تصادف پرداخته شده و نحوه اثرگذاری ویژگی‌های عابر بر احتمال وقوع تصادف و نحوه‌ی اندرکنش این خصوصیات با سایر متغیرها بررسی شد. در این مطالعه استفاده از دستگاه شبیه‌ساز رانندگی در راستای فراهم کردن شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد. با انتخاب تصادفی ۸۰ نفر آزمودنده از بین افراد دارنده گواهی‌نامه بالای ۱۸ سال و شبیه‌سازی مسیری مستقیم با منظر دشتی آزمایش انجام شد. در این مسیر دید راننده مسدود نبود. رانندگان در این مسیر به‌طور میانگین ۱۴ مواجهه با خطر داشته که شامل تعدادی عابر با پوشش سیاه یا سفید در حال عبور از عرض معبر و تعدادی سنگ با رنگ‌های تیره و روشن جهت مقایسه اثر تحرک عابران و رنگ بود. بر اساس یافته‌های این پژوهش، سرعت تردد موجب افزایش احتمال تصادف و تعداد مواجهات پیشین راننده با خطرات سبب کاهش احتمال وقوع تصادفات می‌شود اما میزان این اثرات اندک است (به ترتیب ۰/۲٪ و ۰/۷٪). همچنین، احتمال وقوع تصادف با عابران با رنگ پوشش تیره و مشکی در شب به میزان ۲۵٪ بیشتر و در روز به میزان ۲٪ کمتر از احتمال وقوع تصادف با عابران با رنگ پوشش سفید است. احتمال برخورد با عابر به دلیل متحرک بودن آن نسبت به یک شی ثابت حدود ۱۱ درصد کمتر است.

واژه‌های کلیدی: احتمال وقوع تصادف، مشخصات خطر، تحرک عابر، رنگ پوشش عابر، شبیه‌ساز رانندگی، مدل

تصادفات

۱. مقدمه

بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی سالانه ۱/۲۵ میلیون نفر جان خود را از دست می‌دهند. از این میان حدود نیمی از تلفات از کاربران آسیب‌پذیر راه شامل عابران پیاده، دوچرخه و موتورسواران تشکیل شده است [WHO, 2015].

آمار تصادفات عابر پیاده در ایران ارقام قابل توجهی را در برمی‌گیرد. به گونه‌ای که بر اساس آمار رسمی پزشکی قانونی، حدود یک‌چهارم از کل تصادفات منجر به فوت از نوع برخورد با عابران پیاده است. همچنین نزدیک به نیمی از تلفات تصادفات، در حوادث خارج شهرها و حدود یک‌سوم کل تلفات در راه‌های بین‌شهری اتفاق می‌افتد. با توجه به تلفات بالای تصادفات راه‌های برون‌شهری و اهمیت تلفات عابران پیاده به عنوان کاربران آسیب‌پذیر راه، اهمیت و اولویت بررسی عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات عابران پیاده و تلاش برای پیش‌بینی این گونه تصادفات آشکار می‌گردد. [Iranian

Legal Medicine Origination, 2011]

با وجود اینکه در زمان وقوع تصادفات، از عامل مؤثر و علت تامه در بروز تصادف نام برده می‌شود، اما در حقیقت در اغلب موارد تصادف نتیجه‌ی همگرایی وقایعی است که تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل به وجود می‌آیند (مانند زمان در شبانه‌روز، بی‌توجهی راننده، سرعت، خصوصیات وسیله نقلیه، طراحی هندسی راه و غیره). این عوامل منجر به پیدایش زنجیره‌ای از وقایع قبل، در هنگام و بعد از وقوع تصادف می‌شوند [Kolody et al, 2014].

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که رانندگان، چه باتجربه و سابقه طولانی در رانندگی و یا بی‌تجربه، در مواجهه با خطرات باید هوشیار باشند و عکس‌العمل‌ها و مانورهای به موقع انجام دهند [Michalaki et al. 2015; Pisano, Goodwin and Rossetti, 2008]

از دیدگاه ایمنی، رانندگان باید به میزان معقولی فرصت برای درک مانع و واکنش داشته باشند و این فرصت باید

به صورت بازه‌ای از زمان باشد. بدین معنی که مانع باید از نقطه‌ای عقب‌تر از نقطه فاصله دید توقف حداقل، قابل رؤیت باشد. اما در صورتی که ویژگی‌های هندسی و فیزیکی و چیدمان حاشیه راه دید راننده را مسدود ننماید، میزان بازه زمانی مذکور به مشخصات خطر در راه وابسته است. اگر این خطر یک عابر پیاده باشد از جمله اهم این مشخصات آن می‌توان به رنگ و ثابت یا متحرک بودن آن و نور محیطی اشاره کرد.

در این پژوهش مهم‌ترین هدف استخراج نحوه اثرگذاری مشخصات ظاهری یک عابر پیاده بر احتمال وقوع تصادف به کمک دستگاه شبیه‌ساز رانندگی است. همچنین، بررسی نحوه اثرگذاری عوامل دیگر نظیر سرعت حرکت خودرو به هنگام مواجهه با عابر و شب یا روز بودن زمان حرکت، موردنظر قرار گرفته است. لذا، با انتخاب متغیرهایی که مشخصات ظاهری عابر را نشان می‌دهند و برخی متغیرهای حاصل ضربی به تعیین نحوه اثرگذاری این ویژگی‌ها بر احتمال وقوع تصادف پرداخته و اندرکنش آن‌ها باهم و با سرعت تردد خودرو بررسی شد. در این مطالعه از شبیه‌ساز رانندگی استفاده شد تا اطلاعات در شرایط آزمایشگاهی استخراج شود که در آن کنترل همه شرایط جانبی امکان‌پذیر بوده و مواجهه با یک خطر از ابتدا تا انتها به دقت ثبت و ضبط می‌گردد.

۲. پیشینه پژوهش

محققین در زمینه تصادفات جاده‌ای دسته‌بندی و تحلیل‌های گوناگونی از تصادفات ارائه نموده‌اند. از آن جمله می‌توان به تصادفات با عامل ثانویه غیر خودرویی اشاره نمود. مطالعه بر روی این دسته از تصادفات در صورتی که در شرایط آزمایشگاهی و کنترل شده شبیه شرایط قابل ایجاد در یک دستگاه شبیه‌ساز رانندگی انجام شود، می‌تواند به نتایج قابل اطمینان‌تری منجر شود [Boyle and. Lee, 2010].

همچنین، استفاده از روش‌های مدل سازی آماری با استفاده از داده‌های تصادفات سبب شده تا پژوهشگران بتوانند به طور

اثر سنجی مشخصات ظاهری و وضعیت تحرک عابران پیاده بر احتمال وقوع تصادف در

می‌رود، در زمینه مطالعه عوامل رفتاری و آثار تکنولوژی در رانندگی بسیار راه‌گشا بوده است [Bham et al. 2014].

در زمینه تصادفات عابران پیاده، ازجمله مطالعات با محوریت آمار تصادفات، مطالعه‌ای در کشور اتیوپی است که با مدل‌سازی به روش دوجمله‌ای منفی با پارامتر تصادفی^۱ مشخص شد که در کنار اثرگذاری خصوصیات مسیر عبور، مشخصات خود عابر نیز بر احتمال وقوع تصادف اثر دارد. بر اساس این پژوهش در صورتی که عابران به صورت گروهی از راه عبور کنند احتمال وقوع تصادف برای آن‌ها کمتر است [Tulu et al. 2015]. در پژوهش الورو با استفاده از مدل لجیت ترتیبی ترکیبی تعمیم‌یافته مشخص شد که 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 [Eluru, Bhat and. Hensher, 2008].

Sze در سال ۲۰۰۷ شدت جراحات وارده به عابران را به روش لجیت دوتایی مدل نمود. بر اساس این پژوهش، عابران با سن زیر ۱۵ سال، مردان، تصادف در روز و در نواحی پرازدحام احتمال فوت کمتری داشته و سن بالای ۶۵ سال، ضربه به سر، تصادف در محدوده فاصله ۱۵ متری محل عبور عابران و سرعت مجاز معبر بالای ۵۰ کیلومتر بر ساعت با احتمال فوت بیشتری همراه است.

Dai نیز با استفاده از آمار تصادفات در سال ۲۰۱۲ عوامل مؤثر بر شدت صدمات عابر را به کمک روش خوشه‌بندی فضایی بررسی نمود. بر اساس این پژوهش احتمال مرگ عابران در تصادفاتی که در مسیرهای پرتردد حاشیه شهرها رخ می‌دهد بیشتر است. همچنین، عواملی نظیر فصل تابستان، تصادف در آخر هفته، و تصادف در طول شب تا سحر با شدت جراحات بیشتری همراه است. دای در این پژوهش بالا بودن سن عابر و

دقیق‌تری به بررسی و توصیف نحوه اثرگذاری عوامل مختلف بر وقوع تصادفات پرداختند.

تاکنون مطالعات زیادی در خصوص بررسی عوامل مؤثر و پیش‌بینی شدت، شمار، نرخ، نوع و ... تصادفات انجام شده است. اکثر این مطالعات باهدف شناسایی عوامل مهم و اثرگذار برافزایش شمار یا شدت تصادف صورت گرفته است تا با حذف یا کنترل آن‌ها، از وقوع تصادف‌ها و شدت آن‌ها کاسته شود. از دیدگاه نظری، مدل‌های آماری لجیت یکی از پرکاربردترین مدل‌های بکار رفته در تحلیل شدت تصادف‌ها هستند [Al-Ghamdi, 2002].

هرچند بخش عمده‌ای از پراکندگی مشاهدات تصادف، ماهیتی تصادفی دارد، اما چنانچه مجموعه‌ای از تصادفات در طول زمان قابل توجه (حداقل دوره زمانی مدل‌سازی تصادفات عموماً ۳ سال است) در نظر گرفته شوند می‌توان با کاربرد روش‌های آماری، به طور سیستماتیک عوامل زمینه‌ساز و مسبب تصادفات را استخراج نموده و علاوه بر درک نحوه تأثیر آن‌ها، [Shahi, Ahmadinejad, Sheikholeslami, 2011] قابلیت پیش‌بینی تعداد تصادفات را نیز به دست آورد

مدل‌های مختلفی به پیش‌بینی تصادفات پرداخته است. در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی تصادفات عابر پیاده از جهت داده‌های مورد استفاده سه رویکرد کلی وجود دارد. برخی از محققین با استفاده از داده‌های تصادفات به توصیف آماری یا ساخت مدل‌های ریاضی و آماری پرداخته [صاحبی et al. 2015] و برخی دیگر با استفاده از داده‌های ترافیکی مانند سرعت و زمان تردد به توسعه شاخص‌هایی پرداخته‌اند که به صورت معیاری جایگزین برای وقوع تصادف امکان پیش‌بینی احتمال و شدت تصادفات را فراهم نموده‌اند [Cafiso et al. 2011]. روش سوم جهت استحصال داده برای انجام مطالعات ایمنی استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی است. این روش که اخیراً به طور گسترده در زمینه‌های مختلف به کار

کمبود نور محیطی را موجب افزایش احتمال فوت عابر دانسته است [Dai, 2012].

بر اساس دامنه گسترده مطالعات ایمنی عابران استفاده از مدل‌های انتخاب گسسته نظیر مدل‌های لجیت و پروبیت دوتایی، ترتیبی و چندجمله‌ای کاربرد فراوانی در مطالعه تصادفات عابران پیاده داشته است.

علاوه بر رویکرد استفاده از آمار تصادفات و مدل‌سازی به کمک آن رویکرد استفاده از شاخص‌های ترافیکی جایگزین در مطالعات ایمنی عابران پیاده نیز مشاهده می‌شود.

کافیسو در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۱ با استفاده از روش شاخص‌های تداخل ترافیکی^۲ به توسعه نوعی شاخص ترافیکی پرداخت که بدون نیاز به داده تصادفات هم احتمال وقوع یک تصادف با عابر در حال عبور از محل عبور عابر پیاده و هم شدت تصادف احتمالی آن را به دست می‌دهد. این معیار که شاخص ریسک عابر پیاده نام گرفته است توانایی قابل توجهی در پیش‌بینی احتمال و شدت احتمالی یک تصادف با عابر پیاده گذرنده از عرض معبر از خود نشان داده است [Cafiso et al. 2011].

بر اساس مطالعه Alhajyaseen شاخص TTC^۳ یک شاخص مناسب از احتمال وقوع تصادف در تداخل‌های جلو به عقب و شاخص PET^۴ یا زمان پس از ورود به ناحیه تداخلی، یک شاخص بسیار مناسب برای احتمال وقوع تصادفات جلو به پهلو است. بر اساس این مطالعه این شاخص‌ها و اکثر شاخص‌های از این دست، توان ارزیابی عمومی ایمنی یک معبر را ندارند. چراکه میزان شدت و احتمال وقوع تصادف را به طور هم‌زمان بررسی نمی‌کنند. این پژوهشگران با توسعه‌ی معیاری به نام شاخص تداخل^۵ که احتمال وقوع تصادف و میزان انرژی جنبشی تلف‌شده در تصادف را در برمی‌گیرد، به طور هم‌زمان شدت و احتمال وقوع تصادف را بررسی نموده‌اند [Alhajyaseen, 2014].

پژوهشگران در سالهای اخیر بجز استفاده از داده‌های تصادفات یا داده‌های ترافیکی واقعی در مطالعات ایمنی از داده‌های حاصل از انجام آزمون به کمک یک دستگاه شبیه‌ساز رانندگی استفاده فراوانی نموده‌اند. شبیه‌سازها بخشی از علم واقعیت مجازی هستند که کاربر را در محیط مجازی قرار می‌دهند و احساس حضور در محیط واقعی را برای او ایجاد می‌کنند [Weir, 2010]. با استفاده از شبیه‌سازهای رانندگی، کاربر (راننده) در معرض یک محیط شبیه‌سازی‌شده قرار می‌گیرد. کاربر در حین انجام آزمایش بازخوردهای نیرویی همانند خودروی واقعی دریافت می‌کند؛ به‌طوری‌که احساس حضور در محیط واقعی به او دست خواهد داد. علاوه بر این، دستگاه شبیه‌ساز رانندگی امکان برداشت اطلاعات آزمون و اطلاعاتی راجع به وضعیت کاربر را فراهم می‌سازد. [Freeman et al. 1995; Weir, 2010]

Jurecki در مطالعه‌ای به کمک شبیه‌ساز رانندگی دریافت که زمان واکنش راننده به ورود یک عابر پیاده به راه وابستگی بالایی به TTC این تداخل دارد. همچنین زمان واکنش راننده برای عابرانی که از سمت چپ وارد مسیر می‌شوند، طولانی‌تر است [Jurecki and. Stańczyk, 2014]. همانند این پژوهش در علم ایمنی حمل‌ونقل از شبیه‌سازهای رانندگی عموماً در راستای بررسی چگونگی اثرپذیری رفتار راننده و اندرکنش آن با عوامل دیگر بهره گرفته شده است.

بنابر این پیشینه، در پژوهش حاضر استفاده از داده آزمایش شبیه‌ساز رانندگی و ساخت یک مدل آماری جهت بررسی اثر مشخصات ظاهری و نور محیطی بر احتمال وقوع تصادف با عابران پیاده مورد نظر قرار گرفت.

۳. روش تحقیق

در این پژوهش سعی گردیده تا مواجهه با عابران پیاده در حال عبور از نواحی به‌غیراز گذرگاه عابر پیاده در راه‌های جداشده‌ی برون‌شهری و مشخصات آن‌ها در شبیه‌ساز رانندگی مطالعه شده

اثر سنجی مشخصات ظاهری و وضعیت تحرک عابران پیاده بر احتمال وقوع تصادف در

پوشش گیاهی تنک و تعدادی درخت و تپه و علائم ترافیکی شبیه‌سازی شد. شکل نمایی از محیط شبیه سازی شده و دو عابر در شب و روز را نشان می‌دهد. همان طور که پیدا است. تغییر متغیرها به وسیله تغییر در خصوصیات و ظاهر عابر حاصل می‌شود. به عنوان مثال یک عابر مشکی پوش در محیط شب به منزله یک مشاهده رنگ تیره، محیط شب، و خطر متحرک، و وجود یک سنگ با رنگ روشن در روز در میانه جاده به منزله خطر ثابت، رنگ روشن و محیط روز، است. مجموعه‌ای از این خطرات در یک سناریو جمع‌آوری شده و چندین راننده در محیط شبیه‌سازی شده با آنها مواجه شدند. در آزمایش از ۱۰۰ نفر بالای ۱۸ سال و دارای گواهی‌نامه دعوت شد که رانندگان کم تجربه تا حرفه‌ای را شامل می‌شدند. از این میان، داده‌های حاصل از ۸۰ آزمون قابل استفاده بود. در این آزمایش تلاش شد تا شرکت کنندگان در آزمایش به تعداد کافی و به جهات مختلف نظیر سَن، جنس، تجربه رانندگی، سطح تحصیلات، شغل و وضعیت تأهل دارای پراکندگی

و با ساخت مدل‌های ریاضی نحوه‌ی اثرگذاری این مشخصات بر احتمال وقوع تصادف استخراج گردد. عابران پیاده در این آزمون با رنگ لباسهای سیاه و سفید شبیه سازی شدند. جهت مقایسه و استخراج اثر متحرک بودن عابران بر واکنش راننده، موانع ثابتی به صورت سنگ نیز در دو رنگ سیاه و سفید شبیه سازی شد.

در این پژوهش از یک شبیه ساز رانندگی شامل دو بخش عمده‌ی ساختار فیزیکی و نرم افزار شبیه ساز محیط مجازی استفاده شد. اجزا بخش فیزیکی دستگاه شامل، شبیه ساز سواری پراید یک دوم خودرو، رایانه، نمایشگرها و خصوصیات بخش نرم افزاری آن شامل مدل دینامیکی خودروی واقعی (۱۴ درجه آزادی) با امکان شبیه سازی محیط واقعی است. شکل نمایی از دستگاه شبیه ساز رانندگی و یک آزمون دهنده در حال آزمون را نشان می‌دهد.

مسیر آزمایش مسیری مستقیم در محیطی کاملاً دشتی بود که خصوصیات آن شامل منظر حاشیه به صورت خاکی با

جدول ۱. رده بندی سنی آزمون دهندگان

رده سنی	۱۸ تا ۲۰ سال	۲۰ تا ۲۸ سال	۲۸ تا ۳۸ سال	بالای ۳۸ سال
درصد در رده سنی	۹/۲	۳۱	۲۸/۷	۱۹/۵

جدول ۱. میزان تحصیلات آزمون دهندگان

میزان تحصیلات	سیکل	دیپلم	فوق دیپلم	کارشناسی	کارشناسی ارشد	دکتری
درصد	۶/۹	۱۳/۸	۳/۴	۲۱/۸	۵۱/۷	۲/۳

جدول ۳. وضعیت جنسیت و تأهل آزمون دهندگان

وضع جنسیت و تأهل	جنسیت		تأهل		وضعیت	
	زن	مرد	متأهل	مجرد	مرد متأهل	مرد مجرد
درصد	۴۹/۴	۵۰/۶	۵۰/۶	۴۹/۴	۲۳/۰	۲۷/۶

جدول ۲. رده بندی تجربه آزمون دهندگان

رده تجربه رانندگی	بسیار کم تجربه	کم تجربه	بانتجربه متوسط	بانتجربه	حرفه ای
درصد	۲۶/۴	۲/۳	۵۰/۶	۴/۶	۱۶/۱

مناسبی باشند. جدول درصد شرکت‌کنندگان در هر رده سنی را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱ شرکت‌کنندگان به لحاظ تحصیلات از سطح سیکل تا سطح دکترا را شامل می‌شدند. پراکندگی شرکت‌کنندگان به لحاظ وضع تأهل و جنسیت، در جدول نمایش داده شده است. مطابق این جدول زنان و مردان هر کدام تقریباً نزدیک به ۵۰ درصد از شرکت‌کنندگان را شامل می‌شوند. همچنین نزدیک به نیمی از شرکت‌کنندگان را افراد متأهل تشکیل می‌دادند.

این شرکت‌کنندگان به لحاظ تجربه رانندگی در بازه‌ای بین حالت کم‌تجربه تا رانندگان حرفه‌ای را شامل می‌شدند. جدول ۲ پراکندگی حضور شرکت‌کنندگان در هر رده تجربه را نشان می‌دهد. بنابراین نتایج حاصل از پژوهش حاضر در دامنه شمول آزمایش انجام شده معتبر است.

با مواجهه‌ی هر راننده با خطرات سناریو، واکنش و نتیجتاً وقوع یا عدم وقوع تصادف مشاهده و متغیرهای مستقل مطابق توضیحات به صورت داده‌های آماری ذخیره و در فرایند مدل‌سازی استفاده گردید.

جهت توسعه‌ی یک مدل احتمال تصادف، از میان روش‌های مختلف مورد استفاده، در این پژوهش از مدل احتمال خطی با ابزار تخمین OLS^۱ استفاده شد تا عملکرد این روش مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته و هم به جهت ساده سازی، خروجی مدل به طور مستقیم مقادیر احتمال مورد نظر را نشان دهد. در ساخت مدل ریاضی، در صورتی که متغیر وابسته در یک مدل رگرسیون، یک متغیر دوتایی با مقادیر صفر و یک باشد، خروجی مدل به صورت احتمال رخداد مقدار یک (یا موفقیت) در وضعیت وجود مقادیر مشخص متغیرهای مستقل خواهد بود. این مدل را یک مدل احتمال خطی (LPM)^۲ می‌نامند. در این حالت رابطه‌ی (۱) صادق است [Wooldridge, 2015].

$$P(y = 1|x) = E(y = 1|x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k \quad (1)$$

در این مدل β ها پارامترهای مدل و x ها متغیرهای مورد مطالعه هستند. در یک مدل احتمال خطی پارامترهای مدل میزان تغییر در احتمال موفقیت با تغییر یک واحد در متغیر وابسته مربوطه را نشان می‌دهند [۱۵]. این میزان از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\Delta P(y = 1|x) = \beta_j \Delta x_j \quad (2)$$

خروجی مدل‌های احتمال خطی مقداری پیوسته از جنس احتمال است که گاه ممکن است مقداری بیش از یک یا کمتر از صفر هم به دست دهد. خروجی گاهی به صورت گسسته و با مقادیر صفر و یک مطلوب است. در این صورت می‌توان با در نظر گرفتن یک مرز احتمال مشخص، مثلاً میزان احتمال ۰/۵ یا ۵۰ درصد، مقادیر احتمال بیش از این مرز را وقوع رخداد موفقیت یا مقدار ۱ و مقادیر کمتر را عدم موفقیت و مقدار صفر در نظر گرفت [Wooldridge, 2015].

در صورتی که مفروضات پنج‌گانه گاوس-مارکوف در رگرسیون خطی برقرار باشند، می‌توان به تحلیل و ارزیابی مدل پرداخت. بدین منظور خوبی و نکویی برازش مدل بر داده و میزان اهمیت و معناداری آن بررسی می‌شود. برای بررسی نکویی برازش از آماره‌ی R^2 و نسبت تعداد مشاهدات به درستی پیش‌بینی‌شده؛ و برای بررسی معناداری مدل و پارامترها از آماره‌های F و t استفاده شد [Wooldridge, 2015].

در این پژوهش فرایند مدل‌سازی به کمک نرم‌افزار STATA V14 صورت گرفت.

۴. ساخت مدل ریاضی و استخراج نتایج

پس از انجام آزمایش‌ها و استخراج داده، با استفاده از مدل‌سازی ریاضی به بررسی نحوه اثربخشی متغیرها پرداخته و فرضیات تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور استخراج مدل احتمال وقوع تصادف در اثر مواجهه با عابران با ویژگی‌های مختلف متغیر وابسته مورد استفاده در این پژوهش یک متغیر دوتایی بانام «تصادف» بوده است که در

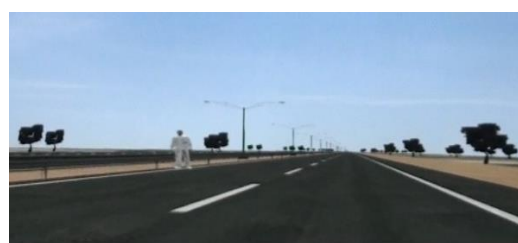
اثر سنجی مشخصات ظاهری و وضعیت تحرک عابران پیاده بر احتمال وقوع تصادف در



شکل ۱. نمایی از دستگاه شبیه‌ساز رانندگی و یک آزمون‌دهنده در حال آزمون



ب



الف

شکل ۲. نمایی از محیط شبیه‌سازی شده. الف) یک عابر سفید پوش در روز ب) یک عابر سیاه پوش در شب

جدول ۵. تشریح متغیرهای آزمون و توصیف آماری آنها

نام متغیر	شرح	واحد	میانگین	انحراف معیار
تصادف	مشاهده وقوع یا عدم وقوع تصادف در مواجهه با خطر (شامل برخورد با خطر یا تصادف از نوع دیگر بدون برخورد با خطر)	دوتایی	۰/۱۶۵۶	۰/۳۷۱۹
سرعت	سرعت حرکت آزمون دهنده در لحظه شروع واکنش	کیلومتر بر ساعت	۹۱/۱۰	۱۷/۷۷
تعداد مواجهه	تعداد مواجهات قبلی آزمون‌دهنده در هنگام مواجهه با هر خطر	بین ۰ تا ۱۶	-	-
روز	شب یا روز بودن محیط شبیه‌سازی شده	دوتایی	۰/۵۶۹۵	۰/۴۹۵۴
متحرک	ثابت یا متحرک بودن خطر (عابر یا سنگ بودن)	دوتایی	۰/۶۹۹۱	۰/۴۵۸۸
رنگ	رنگ پوشش عابر (سیاه و سفید)	دوتایی	-	-

مقدار صفر را به خود می‌گیرد. متغیرهای دیگر مورد استفاده در جدول توضیح داده شده است.

صورت وقوع رخداد تصادف (چه از نوع برخورد با عابر یا سنگ و چه هر نوع تصادف دیگر در اثر واکنش راننده به این خطرات بدون برخورد با آنها) مقدار یک و در غیر این صورت

با در نظر گرفتن متغیر «تصادف» به عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرهای جدول به عنوان متغیرهای مستقل پرداخت مدل آغاز گردید. در طی فرایند مدل سازی، از بین حالت های مختلف وجود یا عدم وجود متغیرهای جدول و متغیرهای حاصل ضربی بین این متغیرها جهت دستیابی به برهم کنش بین آن ها مدل مطلوب مطابق جدول ۳ حاصل شد.

همانطور که در بخش روش تحقیق بیان شد، مدل جهت پرداخت به صورت خطی در پارامترها فرض شده که مبین برقراری فرض اول گاوس مارکوف است. به جهت تأمین فرض نمونه برداری تصادفی به عنوان فرض دوم گاوس مارکوف تلاش شد تا شرکت کنندگان در آزمایش به تعداد کافی و به جهات مختلف دارای پراکندگی باشند. بدین جهت از افرادی مطابق توضیحات بخش روش تحقیق جهت شرکت در آزمایش دعوت شد. بنابراین نتایج مورد ادعای این پژوهش و مدل حاصل از آن، در محدوده نمونه های مورد آزمایش است.

جهت بررسی فرض سوم گاوس مارکوف در مورد عدم وجود همبستگی چندخطی بین متغیرهای مستقل آماره VIF^A محاسبه شد. جدول ۴ مقادیر این آماره را نشان می دهد هیچ یک از آماره ها از ۱۰ بیشتر نیست و فرض چهارم برقرار است.

در مورد فرض صفر بودن میانگین شرطی خطای مدل علل مختلفی می تواند باعث نقض این فرض شود. این علل شامل حذف متغیر مهم از مدل، و نقص در ساختار تابعی است. اما به طور کلی مفهوم بنیادین این شرط بیانگر نبودن ارتباط بین متغیرهای مستقل مدل و جمله ی خطای مدل است. از آنجا که

مدل حاصل در زمینه دو علت عمده مذکور بررسی شده و مسائل مربوط به آن در فرایند مدل سازی حل شده است، دلیلی برای نقض این فرض وجود ندارد. با این وجود علاوه بر مشاهده نزدیکی عملی بسیار زیاد خطای برآورد شده مدل به عدد صفر ($10^{-10} \times 4/7$) جهت انجام یک بررسی کلی، پس از محاسبه مقادیر خطای مدل برای هر مشاهده، مدلی با در نظر گرفتن مقادیر خطا به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل مدل اصلی پرداخت گردید. در این مدل مقادیر آماره های t ، آماره F و R^2 کلی، همگی تا چهار رقم اعشار برابر صفر حاصل شد که نشان از عدم وجود هر گونه ارتباط بین متغیرهای مستقل و خطای برآورد شده داشتند. علاوه بر این بررسی ها متاسفانه راهی برای احراز اطمینان از عدم ارتباط بین متغیرهای مستقل در مدل حاصل از نمونه برداری با خطای مدل برای جامعه وجود ندارد [Wooldridge, 2015]. از آنجا که بین پراکندگی خطا با هیچ کدام از متغیرهای مستقل ارتباطی برقرار نیست، می توان اطمینان نسبی داشت که با استفاده از روش تفسیر روباست مشکلی در استنتاج از مدل وجود نخواهد داشت. علاوه بر این موضوع با استفاده از نرم افزار STATA آزمون آماری BP انجام شد که میزان آماره LM با توزیع χ^2 برابر $4/409$ حاصل شده که معادل P-Value برابر $0/1103$ خواهد بود. بنابراین، در سطح معناداری ۵٪ فرض عدم وجود ناهمسانی واریانس ها رد نمی شود.

جدول ۳. مدل احتمال خطی وقوع تصادف در مواجهه با عابران پیاده و موانع ثابت از نوع سنگ با توجه به مشخصات این خطرات

متغیر وابسته	متغیر مستقل	تخمین پارامتر	انحراف معیار	آماره t	P-Value
تصادف	سرعت	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۵۳	۴/۴۸	۰/۰۰۰
	تعداد مواجهه	-۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۲۴۷	-۲/۹۱	۰/۰۰۴
	متحرک	-۰/۱۱۳۷	۰/۰۲۳۶۸	-۴/۸۰	۰/۰۰۰
	رنگ مشکی	۰/۲۴۱۷	۰/۰۲۵۵	۹/۴۹	۰/۰۰۰
	روز × رنگ مشکی	-۰/۲۶۲۴	۰/۰۳۰۳	-۸/۶۷	۰/۰۰۰
	عرض از مبدأ	۰/۰۲۳۴	۰/۰۵۱۲۷	۴/۶۰	۰/۰۰۰

اثر سنجی مشخصات ظاهری و وضعیت تحرک عابران پیاده بر احتمال وقوع تصادف در

۰/۷۸۳۰	R2	شاخص‌ها
۳۵/۶۸	F	
۱۰۶۸	شمار مشاهدات	
۰/۷۰۴۱	نسبت مطابقت برآورد به مشاهده	
$4/7 \times 10^{-10}$	E(u)	میانگین جمله خطای مدل

جدول ۴. میزان آماره VIF هر متغیر در مدل LPM جهت بررسی عدم وجود همبستگی چندخطی.

متغیر	سرعت	روز	متحرک	تعداد مواجهه	رنگ مشکی	رنگ مشکی × روز	میانگین
VIF	۱/۰۴	۲/۰۶	۱/۸۲	۱/۱۲	۱/۵۷	۴/۵۷	۲/۵۰

۴-۱. بررسی و استنتاج مدل

خروجی مدل حاضر احتمال رخداد موفقیت یا احتمال رخداد وقوع تصادف را نشان می‌دهد. باوجود آنکه به دلیل ماهیت احتمالی این پارامتر، باید مقداری بین صفر و یک داشته باشد، اما تعداد ۹۱ مشاهده برآورد احتمالی کمتر از صفر داشته‌اند. جدول ۵ توصیفی از برآوردهای مدل را نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۳ میزان خوبی برازش مدل مطابق پارامتر R2 برابر ۷۸/۳ درصد بوده است. همچنین میزان نسبت مطابقت برآورد به مشاهده، با تعیین میانگین برآورد به عنوان مرز تعیین موفقیت در مشاهده رخداد تصادف محاسبه گردید. بدین ترتیب، مدل حاضر ۷۰/۴۱ درصد وقوع تصادف در مشاهدات را به درستی پیش‌بینی می‌نماید. همچنین این مدل ۷۹/۰۱ درصد از تصادف‌های ثبت‌شده را به درستی پیش‌بینی نموده است.

با بررسی آماره‌های t و P-Value‌های متناظر با هر کدام از پارامترها در جدول ۳ مشاهده می‌شود که همه پارامترها از معناداری بسیار خوبی برخوردار بوده و فرض صفر بودن آنها در سطح معناداری سستی ۵ درصد قابل رد کردن است.

پارامتر ضریب «سرعت» در مدل برابر ۰/۰۲۳ برآورد شده است. بنابراین با افزایش سرعت به میزان ۱ کیلومتر بر ساعت

احتمال تصادف ۰/۲۳ درصد افزایش یافته و با افزایش سرعت به میزان ۱۰ کیلومتر بر ساعت این احتمال به میزان ۲/۳ درصد زیاد می‌شود.

در این مطالعه انسان به عنوان راننده و سوژه‌ی مطالعه مورد نظر بوده است. با توجه به امکان یادگیری انسان در مواجهه با خطرات، متغیر «تعداد مواجهه» تعریف شد تا بتواند اثر یادگیری را از اثر مشخصات خطر جدا کند. مقادیر آن نشان‌دهنده تعداد مواجهات راننده با خطرات (عابر و سنگ) پیش از مواجهه با خطر مورد بررسی است. ضریب این متغیر نشان می‌دهد که هر یک مواجهه‌ی بیشتر رانندگان با خطرات احتمال وقوع تصادف را به میزان ۰/۷۲ درصد کاهش می‌دهد.

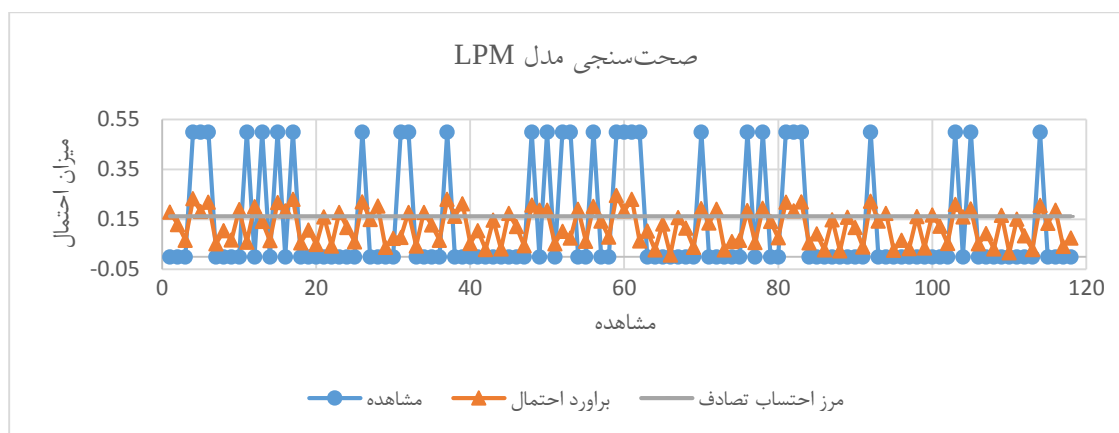
پارامتر برآورد شده برای متغیر «متحرک» برابر ۰/۱۱۳۷- محاسبه شده است. این موضوع بدین معنا است که تصادف با خطرات متحرک که در این پژوهش عابران بودند، به میزان ۱۱/۳۷ درصد نسبت خطرات ثابت یا سنگ‌ها کمتر محتمل است. به عبارتی عابر به دلیل متحرک بودن با جلب توجه راننده

جدول ۵. توصیف آماری بر آورد مدل LPM

مقدار		تعداد	
میانگین	۰/۱۵۱۷	بیشتر از ۱	۰
انحراف معیار	۰/۱۳۵۳	بیشتر از ۰.۵	۱۴
حداکثر	۰/۵۳۸۰	پیش‌بینی‌های درست*	۷۵۲
حداقل	-۰/۱۵۷۲	پیش‌بینی‌های ناصاف*	۱۶۲
مشاهدات	۱۰۶۸	تصادف ثبت‌شده	(۱۲۸ از کل ۱۶۲)
کمتر از ۰	۹۳		

*در محاسبه تعداد پیش‌بینی‌های درست تصادف مرز احتمالی که بیش از آن وقوع تصادف در نظر گرفته می‌شود

به این میانگین به آورد مدل در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. نمایش احتمال برآورد شده برای هر یک از مشاهدات داده‌ی صحت‌سنجی توسط مدل LPM در مقابل وقوع

یا عدم وقوع تصادف در آن مشاهده

صحت‌سنجی و گسسته‌سازی این برآوردها، مقایسه مقادیر آن نشان از $65/78$ درصد پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع تصادف درست داشت. مدل به روش مذکور موفق شد 27 تصادف از 30 تصادف معادل 90 درصد از تصادف‌های داده‌ی صحت‌سنجی را به‌درستی پیش‌بینی کند. در شکل ۳. میزان احتمال برآورد شده برای هر یک از مشاهدات داده صحت‌سنجی در کنار مشاهده وقوع یا عدم وقوع تصادف ترسیم شده است.

با توجه به شکل ۳، مشاهده می‌شود که برخی از مشاهدات تصادف در داده توسط مدل نیز تصادف پیش‌بینی شده است. مطابق این شکل برخی از تصادف‌های پیش‌بینی شده با مشاهده مطابق نبوده و برخی از مشاهدات تصادف نیز به صورت وقوع تصادف پیش‌بینی نشده‌اند.

۱۱/۳۷ درصد احتمال وقوع تصادف کمتری نسبت به یک شیء ثابت نظیر سنگ ایجاد می‌کند.

در این مدل اثر رنگ مشکی و سفید به عنوان پوشش عابر و رنگ سنگ به کمک متغیر «رنگ مشکی» سنجیده شده است. همچنین به کمک متغیر حاصل ضربی روز $\times$ رنگ مشکی تفاوت اثر این رنگ‌ها در شب و روز مقایسه شده است. میزان ضریب برآورد شده برای هر یک از این دو متغیر حاکی از آن است که احتمال وقوع برخورد با خطری که رنگ مشکی دارد در شب به میزان $24/17$ درصد بیشتر از رنگ سفید و در روز به میزان $2/07$ درصد کمتر از رنگ سفید است.

۴-۲ صحت سنجی، مدل

جهت صحت‌سنجی مدل، حدود ۱۰ درصد داده‌ها جدا شد. برای انجام صحت‌سنجی، پس از محاسبه میزان احتمال وقوع تصادف در شرایط موجود در مشاهدات داده‌ی

اثر سنجی مشخصات ظاهری و وضعیت تحرک عابران پیاده بر احتمال وقوع تصادف در

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از یک دستگاه شبیه‌ساز رانندگی ۸۰ نفر دارنده‌ی گواهینامه رانندگی با تعدادی عابر پیاده در حال عبور از عرض معبر جداشده برون‌شهری و تعداد سنگ ثابت در مسیر حرکت مواجه شدند. مواجهه با سنگ‌ها جهت مقایسه‌ی اثر متحرک بودن عابران بر احتمال وقوع تصادف صورت گرفت. در ادامه، با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌ها، مدل احتمال خطی تصادف جهت برقراری ارتباط بین مشخصات این خطرات شامل رنگ، نور محیطی و متحرک بودن آن‌ها با احتمال وقوع تصادف پرداخت گردید.

مطابق آنچه پژوهشگران دیگر، قبلاً دریافته بودند، احتمال تصادف در شب بیش از روز است. عبور عابران در جایی که انتظار نمی‌رود مانند ۱۵ متری محل عبور عابر (خارج از محل عبور) با احتمال تصادف بیشتری همراه است. سرعت حرکت بالا با شدت تصادف بالاتر همراه است. این پژوهش علاوه بر تأیید موارد فوق موفق شد تا نتایج زیر را نیز حاصل نماید.

با توجه به معنادار شدن کلی مدل و معنادار شدن متغیرهای مذکور در مدل می‌توان ادعا کرد که مشخصات مذکور بر احتمال وقوع یک تصادف اثر معناداری دارد. از طرفی علی‌رغم طبیعت غالباً تصادفی رخداد تصادف و اثرگذار بودن انبوهی از عوامل بر پراکندگی آن، مدل حاضر توانست نزدیک به ۷۹٪ از این پراکندگی را توصیف نماید. همچنین نسبت مطابقت برآورد به مشاهده، حاکی از صحت حدود ۷۰٪ از پیش‌بینی‌های مدل بوده و در فرایند صحت‌سنجی نیز نزدیک به دوسوم رخدادهای به‌درستی پیش‌بینی شده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مدل حاصل از توانایی مطلوبی در توصیف نحوه اثرگذاری و پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع یک تصادف با عابر با توجه به رنگ پوشش آن و نور محیطی، برخوردار است. همچنین معنادار شدن متغیر حاصل‌ضربی حاکی از وجود اندرکنش بین متغیرهای مدل است.

احتمال وقوع یک تصادف در مواجهه با یک عابر به دلیل تحرک آن نسبت به یک خطر ثابت یا سنگ به طور مهم و به میزان ۱۱/۳۷ درصد کمتر است. ممکن است منطق حاکی از پیچیدگی زیاد بارکار راننده به هنگام مواجهه با یک عابر به دلیل تحرک و حرکت ناگهانی آن به درون جاده و نتیجتاً احتمال برخورد بیشتر باشد؛ اما این موضوع در شرایطی منطقی است که ورود عابر به مسیر یا مواجهه با سنگ در فاصله‌ای کمتر از فاصله دید توقف رخ دهد. حال آنکه یکی از فرض‌های این پژوهش تأمین فرصت واکنش بیش از فاصله دید توقف است. با توجه به این موضوع از دیدگاه احتمال تصادف برخورد با اشیا ثابت نسبت به اشیا متحرک در صورت وجود دید کافی به این خطرات احتمال کمتری دارد.

افزایش سرعت موجب افزایش احتمال وقوع یک تصادف است. اما مشاهده می‌شود که مقدار عددی این اثر بسیار اندک بوده به‌طوری‌که مطابق مدل احتمال خطی، افزایش سرعت به میزان ۱۰ کیلومتر بر ساعت ۲/۳ درصد افزایش احتمال برخورد را سبب می‌شود. بر این مبنا گرچه سرعت حرکت در تبدیل شدن واکنش راننده به یک تصادف مؤثر است. ولی این اثر بسیار اندک بوده و راه‌کارهای مربوط به کاهش سرعت در راستای افزایش ایمنی عابران پیاده از جنبه احتمال تصادف اثر چندانی نخواهد داشت.

از آنجا که متغیر تعداد مواجهات پیشین با خطرات معنی‌دار شده است می‌توان ادعا کرد که آگاهی و هشیار بودن راننده از احتمال عبور عابر یا وجود موانع ثابت در مسیر و تمرین مواجهه با آنها از احتمال وقوع تصادف می‌کاهد. از طرفی، میزان این اثر کاهش‌ی چندانی زیاد نبوده و نمی‌تواند اثر مشخصات این خطرات در افزایش احتمال برخورد را جبران می‌کند. بنابراین رانندگان و همچنین مسئولین نباید انتظار داشته باشند که حتی رانندگان محلی که سابقه‌ی مواجهه با چنین

-Bham, G. H., Leu, M. C., Vallati, M., and Mathur, D. R. (2014). Driving simulator validation of driver behavior with limited safe vantage points for data collection in work zones. *Journal of Safety Research*, 49(February), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.02.012>

-Boyle, L. N. and Lee, J. D. (2010, May 1). Using driving simulators to assess driving safety. *Accident Analysis and Prevention*, Vol 42, No. 3, pp. 785–787. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.006>

-Cafiso, S., Garcia, A., Cavarra, R., and Rojas, M. A. R. (2011) "Crosswalk safety evaluation using a pedestrian risk index as traffic conflict measure", 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, 15.

-Dai, D. (2012) "Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian-vehicle crashes in a GIS environment", *Journal of Transport Geography*, 24, 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.02.005>

-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*, Vol. 40, No. 3, pp. 1033–1054. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.11.010>

-Freeman, J. S., Watson, G., Papelis, Y. E., Lin, T. C., Tayyab, A., Romano, R. A. and Kuhl, J. G. (1995) "The Iowa driving simulator: an implementation and application overview, (March 2015). <https://doi.org/10.4271/950174>

خطراتی را داشته‌اند از افزایش مهارت و کاهش احتمال تصادف با چنین خطراتی برخوردار شوند.

بر اساس یافته‌های این پژوهش رنگ پوشش عابر و رنگ سنگ اندرکنش قابل توجهی با روز یا شب بودن زمان تردد دارد. این اثر در شب به صورت افزایش احتمال برخورد به میزان حدود ۲۵ درصد برای رنگ تیره و مشکی نسبت به رنگ سفید و در روز به صورت کاهش احتمال تصادف به میزان حدود ۲ درصد برای رنگ تیره و مشکی نسبت به رنگ سفید است. بر این اساس در شرایطی که به دلیل فرهنگ و رسوم موجود، استفاده از لباس‌های با رنگ سیاه یا سفید نسبت به سایر رنگ‌ها رواج بیشتری داشته باشد، توجه به ایمنی به خصوص ایمنی عابران تیره پوش در شب اهمیت به سزایی خواهد داشت.

۶. پی‌نوشت‌ها

- 1- Random Parameter Negative Binomial
- 2- Traffic Conflict Technique
- 3- Time To Collision
- 4- Post Encroachment Time
- 5- Conflict Index
- 6- Ordinary Least Squares
- 7- Linear Probability Model
- 8- Variance Inflation Factor

۷. مراجع

-Al-Ghamdi, A. S. (2002) "Pedestrian-vehicle crashes and analytical techniques for stratified contingency tables", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 34, No. 2, pp. 205–214.

-Alhajyaseen, W. K. M. (2014) "The development of conflict index for the safety assessment of intersections considering crash probability and severity", *Procedia Computer Science*, 32, pp.364–371.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.436>

-Weir, D. H. (2010) "Application of a driving simulator to the development of in-vehicle human-machine-interfaces", IATSS Research, Vol. 34, No. 1, pp. 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2010.06.005>

-WHO (2015) "Global Status Report on Road, 340. Retrieved from www.who.int

-Wooldridge, J. M. (2015) "Introductory econometrics: A modern approach", Nelson Education.

-سازمان پزشکی قانونی (۱۳۹۰) "گزارش تحلیلی حوادث رانندگی کشور".

-شاهی، ج.، احمدی نژاد، م. و شیخ الاسلامی، ع. (۱۳۹۳) "مدل پیش بینی تصادفات موتور سیکلت در تقاطع‌های شهر تهران"، پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۲، شماره ۴، ص. ۱۹۷–۲۰۳.

-صاحبی، س.، میربها، ب.، ماهپور، ع. و. نوروزعلیایی، م. (۲۰۱۵) "ارائه مدل پیش بینی شدت تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون شهری"، فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی حمل و نقل، دوره ۶، شماره ۴، ص. ۵۸۱–۵۹۲.

-Jurecki, R. S. and. Stańczyk, T. L. (2014) "Driver reaction time to lateral entering pedestrian in a simulated crash traffic situation", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 27(PA), pp.22–36. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.08.006>

-Kolody, K., Perez-Bravo, D., Zhao, J., and Neuman, T. R. (2014) "Highway Safety Manual User Guide".

-Michalaki, P., Quddus, M. A., Pitfield, D. and. Huetson, A. (2015) "Exploring the factors affecting motorway accident severity in England using the generalised ordered logistic regression model", Journal of Safety Research, 55, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2015.09.004>

-Pisano, P. A., Goodwin, L. C. and Rossetti, M. A. (2008) "U.S. highway crashes in adverse road weather conditions", 24th Conference on Institutional Information Processing System pp. 1–15. <https://doi.org/10.1029/2002JD002184.W00>

-Tulu, G. S., Washington, S., Haque, M. M. and King, M. J. (2015) "Investigation of pedestrian crashes on two-way two-lane rural roads in Ethiopia", Accident Analysis and Prevention, No. 78, pp. 118–126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.011>

امین میرزا بروجردیان، درجه کارشناسی در رشته عمران- عمران را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران- راه و ترابری را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه تربیت مدرس تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته عمران - راه و ترابری از دانشگاه تربیت مدرس تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی و طرح هندسی راه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه تربیت مدرس است.



سینا شیخ الاسلامی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی راه و ترابری در سال ۱۳۹۵ را از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. او، در حال حاضر دانشجوی دکتری در رشته برنامه ریزی حمل و نقل در دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی جاده ای، رفتار راننده و رفتار ترافیکی است.

