مدل‌سازی شدت خطرپذیری عابران‌پیاده بر اساس رتبه‌بندی شاخص ترکیبی: زمان تا تصادف و سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده (نمونه موردی: شهر قزوین)

زهرا جهاندیده، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
بابک میربها (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
امیرعباس رصافی، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

E-mail: bmirbaha@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۸ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۶

چکیده

هنگامی که یک عابرپیاده قصد عبور از خیابان را دارد، تعامل او با وسایل‌نقلیه موتوری اجتناب‌ناپذیر است. عابرین‌پیاده ممکن است با قضاوت نادرست درمورد زمان تا تصادف انتخاب شده و سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در معرض حوادث قرار بگیرند. از این رو هدف در این پژوهش شناسایی پارامترهای مؤثر بر شدت ریسک عابرین‌پیاده بر اساس رتبه‌بندی شاخص ترکیبی زمان تا تصادف انتخاب شده و سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط هنگام عبور از گذرگاه‌های عرضی در معابر شهری است. بدین منظور، زمان تا تصادف و سرعت وسیله‌نقلیه انتخاب شده برای ۸۰۰ عابرپیاده با استفاده از روش فیلم‌برداری در هر خط عبور در شهر قزوین برداشت شد و ترکیب بحرانی این دو پارامتر به عنوان شاخص خطر در نظر گرفته شد. پس از رتبه‌بندی شدت خطر عابرین‌پیاده از مدل لوجیت رتبه‌ای برای مدل‌سازی استفاده شد. جمع‌بندی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که متوسط زمان تا تصادف انتخاب شده توسط عابران‌پیاده مرد (۵/۹ ثانیه) کمتر از عابران‌پیاده زن (۶/۶ ثانیه) است اما متوسط سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده انتخاب شده توسط آنها (۲۵ کیلومتر بر ساعت) برای هر دو جنسیت یکسان است. همچنین سرعت وسایل‌نقلیه نزدیک‌شونده به عنوان مهم‌ترین معیار در اولویت‌بندی شدت ریسک عابرین شناسایی شد. بیش از ۷۰ درصد از عابرین در زمان نزدیک شدن وسایل‌نقلیه با سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت، اقدام به عبور پرخطر کردند. پارامترهایی مانند جنسیت، همراه داشتن، سرعت عابرپیاده، استفاده از تلفن همراه یا موسیقی، سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده و زمان تا تصادف بر خطرپذیری عابرین‌پیاده نقش به سزایی دارد. تجزیه و تحلیل الاستیسیته نشان داد که متغیر سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط تاثیرگذارترین متغیر در خطرپذیری عابرین‌پیاده است.

واژه های کلیدی: زمان تا تصادف، سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده، شدت خطر، مدل لوجیت رتبه‌ای.

۱. مقدمه

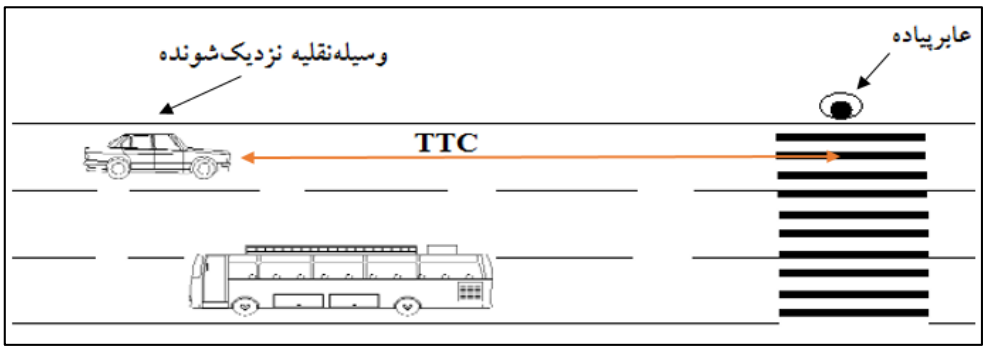
با رشد روزافزون تعداد وسایل‌نقلیه، در مقابل ارتقاء سطح رفاه جوامع بشری پیامدهای منفی‌ای مانند تصادفات و آسیب‌های جانی و مالی پدید آمده است. عابرین‌پیاده به عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین کاربران راه اهمیت بالایی در تحلیل ایمنی ترافیک دارند. به طور کلی، خطر مرگ و میر و جراحت جدی برای عابران‌پیاده از سن بالای ۳۵ سال شروع به افزایش می‌کند. نرخ وقوع تصادفات مربوط به افراد مسن بالای ٦٥ سال زیاد نیست، احتمالاً به خاطر اینکه تحرک و فعالیت آنها در جامعه کمتر است، اما نسبت کشته‌های آنها در حوادث بالاست. نسبت قابل وجهی از آسیب‌های جدی عابران‌پیاده در متوسط سرعت ۳۰ km/h رخ می‌دهد اما حوادث منجر به مرگ عابرپیاده عمدتاً در سرعت‌های ٤٠-٥٠ km/h اتفاق می‌افتد [Kröyer, 2015].

در بین حرکت‌های عابرین‌پیاده، حرکت عرضی از معابر و تقاطعات شهری، به دلیل پتانسیل بالای برخورد با وسایل‌نقلیه در حال حرکت و بروز موقعیت‌های خطرناک، بحرانی‌ترین نوع حرکت عابرین‌پیاده است. عابرین‌پیاده‌ای که به نقض چراغ‌های ترافیکی می‌پردازند در معرض خطر آسیب‌های بیشتری هستند. این عابرین‌پیاده غیرسازگار معمولاً به عنوان متخلفان شناخته می‌شوند که باعث نگرانی‌های ایمنی ترافیکی هستند [Koh and Wong, 2014]. با این حال اگر عابرین‌پیاده از چراغ‌های راهنمایی اطاعت کنند، شانس تبدیل شدن آنها به قربانیان حوادث رانندگی بسیار کاهش می‌یابد [Koh, Wong and Chandrasekar, 2014]. مطابق گزارش‌های ایمنی، فراوانی تصادفات عابرین‌پیاده در ایران در سال ۱۳۹۲ برابر ٤٢٤٨ نفر بوده است [Five- years safety program, 2015].

تقاطع چراغ‌دار با گذرگاه خط‌کشی عابرپیاده به جهت‌بندی جریان ترافیک عابرپیاده کمک می‌کند. طراحی مناسب و ایجاد تسهیلات عابرپیاده، کاربران را تشویق به عبور از مکان‌های تعیین‌شده می‌کند. با این حال، اثبات می‌شود که گذرگاه خط‌کشی عابرپیاده قادر به متقاعد کردن عابرین‌پیاده به پیروی از چراغ‌های ترافیکی نیست و عابرین‌پیاده همیشه مطابق با قوانین عبور رفتار نمی‌کنند [Koh, Wong and Chandrasekar, 2014]. درک و تصمیم‌گیری عابران‌پیاده در عبور از جاده یک موضوع مهم ایمنی ترافیک است. عابرین‌پیاده هنگام عبور از راه به تصمیم‌گیری درمورد زمان تا تصادف (TTC)[1] و پیش‌بینی سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده (SAV)[2] نیاز دارند. تصمیم‌گیری عبور از راه عمدتاً بر اساس فاصله بین عابرپیاده و وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده انجام می‌شود، افزایش در سرفاصله زمانی (GT)[3] تاثیر قابل‌توجهی در افزایش ایمنی عبور از جاده دارد. اگر چه عابران‌پیاده در هنگام تصمیم‌گیری برای عبور از راه باید به سرعت وسیله‌نقلیه توجه داشته باشند اما آنها معمولاً نمی‌توانند سرعت واقعی وسایل‌نقلیه نزدیک‌شونده را تخمین بزنند [Liu and Tung, 2014]. مطابق شکل (۱)، TTC یا GT برای یک عابرپیاده حین عبور از گذرگاه عرضی، به صورت زمان لازم برای رسیدن وسیله‌نقلیه به گذرگاه عرضی در زمان عبور عابرپیاده تعریف می‌شود و عابر بر اساس این زمان می‌تواند در ارتباط با تصمیم در خصوص پذیرش ریسک و اقدام در ارتباط با عبور یا عدم عبور تصمیم‌گیری نماید.

در این مطالعه، رفتار خطرپذیری عابرین‌پیاده در حین عبور از عرض خیابان مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات بسیاری در گذشته در ارتباط با تسهیلات عبور عابرین‌پیاده، شناسایی عوامل موثر بر تخلفات عابران‌پیاده، پذیرش سرفاصله زمانی و مکانی و سرعت وسیله‌نقلیه توسط عابران، شناسایی سرفاصله زمانی بحرانی با معیارهای مختلف و غیره انجام شده است؛ اما در مطالعات کمتری نسبت به تحلیل شدت و رتبه‌بندی تخلفات عابرین توجه شده است. همچنین استفاده از یک شاخص ترکیبی برای تعریف ریسک‌پذیری عابرین در مقایسه با شاخص‌های منفرد یکی دیگر از مشخصات این مطالعه بشمار می‌رود. در این مطالعه با توجه به دو معیار زمان تا تصادف (TTC) و سرعت وسیله نقلیه نزدیک‌شونده (SAV) که در مطالعات گذشته به عنوان شاخص ریسک‌پذیری عابرین‌پیاده مورد تحلیل قرار گرفته است، یک شاخص ترکیبی برای ریسک ارائه شده است. با توجه به شاخص پیشنهادی، شدت خطرپذیری عابرین‌پیاده بر اساس میزان ریسک قبول شده توسط عابرین با استفاده از مدل لوجیت رتبه‌ای مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

در ادامه این پژوهش، مروری بر ادبیات مرتبط با موضـــوع، روش‌شـناسی مطالعه و نحوه جمع‌آوری داده‌ها مورد بحث قرار گرفته اســـت و ســـپس در ارتباط با نتایج مدل‌ســـازی بحث و تحلیل شـــده اســـت. در انتها نتایج بدســـت آمده از این مطالعه گزارش شده است.



شکل ۱. نمایش شماتیک برای توصیف مفهوم TTC

۲. مرور ادبیات

رفتار عبور عابرپیاده عمدتاً توسط نظریه پذیرش سرفاصله اداره می‌شـود. سـرفاصـلـه‌ها اغلب با اسـتفاده از توزیع‌های احتمال توصـیف یا با اسـتفاده از مدل رگرسـیون خطی تخمین زده می‌شـونـد [Serag, 2014]. تخلفات عابرپیاده می‌تواند به عنوان نتیجه تضـاد بین عوامل خارجی و عوامل انسـانی در نظر گرفته شـود. عجله داشـتن عابرین‌پیاده یا تمایل آنها به حفظ امتداد حرکت خود در مسـیر، مهم‌ترین دلایل ذهنی آنها برای عدم انطباق با چراغ راهنمایی یا تسـهیلات عبور است. قضاوت عـابرین‌پیاده در مورد زمان و مکان عبور از جاده و تمایلات ذهنی عابرپیاده بسـیار پیچیده اسـت [Guo et al. 2014]. دلایل بسـیاری وجود دارد که چرا یک عابرپیاده گاهی‌اوقات برای عبور از جاده خود را در معرض خطر قرار می‌دهد و یا به نقض چراغ‌های ترافیکی می‌پردازد. این دلایل را می‌توان به سـه گروه اصلی ویژگی‌های فردی، شرایط ترافیکی و شرایط محیطی تقسیم کرد [Koh, Wong and Chandrasekar, 2014].

وانـگ و همکـارانش در سـال ۲۰۱۰ در چین، پـذیرش سـرفاصله توسط عابرین‌پیاده را بر پایه رویکرد انتخاب گسسته با استفاده از روش فیلم‌برداری و مدل لوجیت دوگانه مدل‌سازی کردند. نتایج حاصـل شـده نشان داد که اگر تعداد در یک گروه افزایش یـابد، عابرین‌پیاده تهاجمی‌تر رفتار می‌کنند و در نتیجه ممکن اسـت سـرفاصـلـه‌های کوچکتر را بپذیرند. عابرین‌پیاده مسن محتاط‌تر هستند و برای یافتن یک سرفاصله زمانی بزرگتر برای شـروع عبور در خط اول منتظر می‌ایستند، در نتیجه تاخیر این عابرین‌پیاده بیشـتر است [Wang et al., 2010]. پاوار و پتیل در سـال ۲۰۱۵ برای بررسـی پذیرش سـرفاصـله زمانی و مکـانی عابرین‌پیاده در گذرگاه‌های کنترل‌نشـده بین‌تقاطعی در کشـور هند از مدل لوجیت دوگانه اسـتفاده کردند. آنها متغیر جنسیت را به عنوان متغیر ناچیز یافتند و بیان کردند که احتمال پذیرش سـرفاصله مکانی با توجه به افزایش سرعت وسیله‌نقلیه کاهش می‌یابد [Pawar and Patil, 2015]. لی و همکارانش در سـال ۲۰۱۳ در چین برای بررسی رفتار عبور عابران‌پیاده در گذرگاه‌های بین‌تقاطعی بدون‌چراغ در اطراف مدارس ابتدایی پژوهشـی را انجام دادند. آنها ویژگی چهار رفتار عبور (سرعت عبور، زمان انتظار قبل از عبور، دویدن حین عبور از خیابان، نگـاه نکردن قبل از عبور) را در سـه گروه از عابرین پیاده (بزرگسـالان تنها، بزرگسـالان به همراه کودک، کودکان تنها) در چهار گذرگاه بین‌تقاطعی بدون‌چراغ تجزیه و تحلیل کردند. آنها به این نتیجه رسـیدند که کودکان اغلب به دلیل قضاوت مشکل برای اینکه چه وقت و چگونه از خیابان عبور کنند احسـاس دسـت و پـاچـه شـدن می‌کننـد و معمولاً مرتکب رفتارهای خطرنـاکی مـانـنـد دویدن و نگاه نکردن به جریان ترافیک حین عبور از گذرگاه‌ها می‌شوند [Li et al., 2013]. حامد در سال ۲۰۰۱ در اردن، برای خیابان‌های جداشـده و جدانشـده با میانه، زمـان انتظـار در کناره خیابان و تعداد تلاش‌های موردنیاز برای عبور موفقیت‌آمیز از خیابان را تخمین زد. نتایج به دسـت آمده نشـان داد که عابرین‌پیاده‌ای که غالباً از گذرگاه‌های عابرپیاده نزدیک محل زندگیشان استفاده می‌کنند در معرض خطر بیشتری قرار دارند و زمان انتظارشـان در عبور کمتر اسـت. از سـوی

دیگر، داشتن یک تصادف درگذشته، عابرپیاده را در پذیرش خطرات بالاتر مهار می‌کند. عابرپیاده برای عبور از یک طرف خیابان به پناهگاه مرکزی زمان انتظار بیشتری را نسبت به عبور از پناهگاه مرکزی به طرف دیگر خیابان صرف می‌کند [Hamed, 2001]. آنلسین و آلوار در سال ۲۰۱۵ برای تعیین سرفاصله مکانی و زمان ادراک سرفاصله عابرین‌پیاده برای عبور ایمن از راه، شش تقاطع چراغ‌دار در ترکیه را مورد بررسی و فیلم‌برداری در ساعات اوج قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که مردان تصمیم‌گیری امن‌تری را در مقایسه با زنان در انتخاب سرفاصله مکانی دارند. هنگامی که یک وسیله‌نقلیه سنگین در ۲۵ متری از گذرگاه بود، هیچ عابرپیاده‌ای عبور را آغاز نمی‌کرد. زمانی که سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده بیش از ۳۰ km/h باشد عابرین‌پیاده عبور را زمانی که خودرو در فاصله بیش از ۷۵ متری گذرگاه قرار دارد شروع می‌کنند [Onelcin and Alver, 2015]. روسنبلوم و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به منظور انجام آزمون درک خطر برای عابرین‌پیاده از مکان‌های مختلف با عناصر خطر مشابه فیلم‌برداری کردند. فیلم‌ها داری سناریو خطر همگرا شدن وسایل‌نقلیه از سمت راست جاده بودند و شرکت‌کنندگان در صورت شناسایی یک موقعیت خطرناک کلید موردنظر در صفحه کلید را فشار می‌دادند. نتایج حاکی از آن بود که نمره مردان نسبت به زنان در آزمون درک خطر عابرین‌پیاده بالاتر بود و مردان اغلب بیشتر از کلید شناسایی خطر استفاده می‌کردند. در بررسی متغیر سن مشخص شده که نمره کسب شده برای درک خطر توسط بزرگسالان از کودکان و کودکان از افراد مسن بالاتر بوده است [Rosenbloom et al. 2015].

همانطور که از مرور مطالعه‌های مرتبط با موضوع پیداست، تاکنون در ارتباط با اولویت‌بندی شدت خطرپذیری عابرین‌پیاده بررسی انجام نگرفته است. همچنین، غالباً معیارهای منفرد برای تحلیل ریسک‌پذیری مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته و از معیارهای ترکیبی کمتر در ارتباط با این مطالعات بهره گرفته شده است. در این مطالعه سعی بر آن بوده تا به نحوی با استفاده از شاخص‌های ریسک‌پذیری ترکیبی شدت خطر عابرین در حین عبور از تقاطع مورد بررسی قرار گیرد.

۳. روش تحقیق

۳- ۱ رویکرد مطالعه

در این تحقیق سعی شد تا رفتار پرخطر عابرین‌پیاده هنگام عبور از گذرگاه‌های عرضی معابر شهری بر اساس رتبه‌بندی شاخص TTC و SAV بررسی شود. بر این اساس نحوه عبور هر عابرپیاده از فیلم‌های گرفته شده و با استفاده از پردازش تصویر از طریق نرم افزار ImageJ و کالیبره کردن فیلم‌ها بر اساس اندازه‌گیری طول گذرگاه‌ها و بخشی از خیابان توسط برداشت میدانی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به داشتن طول‌های عبور عابران‌پیاده و وسایل‌نقلیه و داشتن پارامتر زمان از نرم افزار ImageJ، متغیرهای زمان تا تصادف، سرعت وسیله‌نقلیه و سرعت عابرپیاده بدست آمد. در این مطالعه میانگین TTC انتخاب شده برای مردان ۵/۹ ثانیه و برای زنان ٦/٦ ثانیه بدست آمد. همچنین در بررسی سرعت وسایل‌نقلیه مشخص شد که میانگین SAV انتخاب شده برای مردان ۲٤/۷ کیلومتر بر ساعت و برای زنان ۲۵ کیلومتر بر ساعت است. بررسی سرعت عابرین‌پیاده در تقاطعات مورد مطالعه نشان داد که متوسط سرعت عابرین‌پیاده مرد هنگام عبور از گذرگاه عرضی ۱/٤ متر برثانیه و عابرین‌پیاده زن ۱/۲۵ متر بر ثانیه است.

TTC و SAV برای تمام عابرین‌پیاده در هر خط عبور برداشت شد. با توجه به این نکته که هرچه TTC انتخاب شده از سوی عابران‌پیاده کوچکتر و SAV انتخابی از سوی آنها بزرگتر باشد، خطرپذیری عابران بیشتر است، شاخص خطر (Risk Index) مطابق رابطه (۱) تعریف شد. به عبارت دیگر یک شاخص خطر بر اساس TTC و SAV که توسط عابران‌پیاده انتخاب شده است، توسعه داده شد:

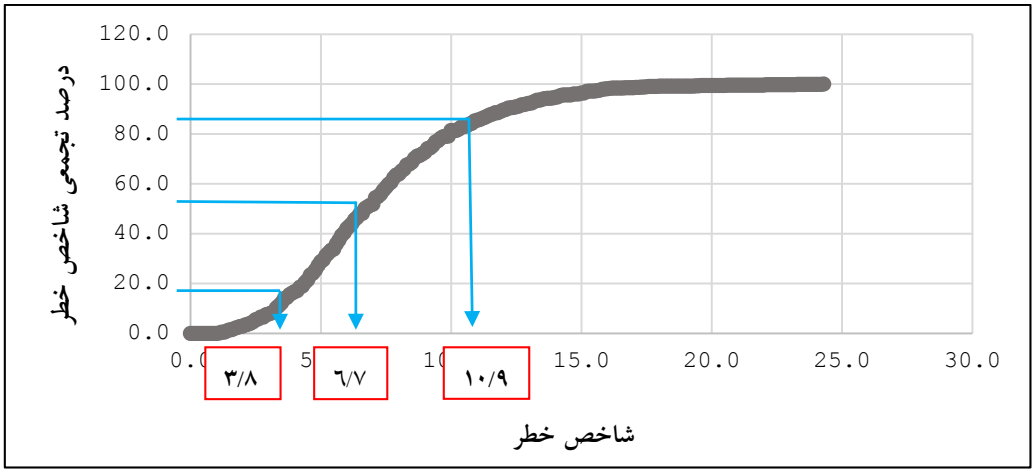
$$Risk\ Index \approx \frac{SAV}{TTC} \qquad (۱)$$

به تعداد خطوط گذرگاه برای هر عابرپیاده شاخص خطر بدست آمد که بزرگترین شاخص خطر برای هر عابرپیاده به عنوان معیار بررسی خطر قرار گرفته شد. در ادامه نمودار درصد تجمعی شاخص خطر برای تمام عابران رسم شد (شکل ۲). ۸۵امین ، ۵۰امین و ۱۵امین درصد به عنوان مرز رتبه‌بندی خطر در نظر گرفته شد. طبق شکل (۲)، عابرین‌پیاده‌ای که شاخص خطری بیشتر از ۱۰/۹ (بزرگتر از ۸۵امین درصد تجمعی شاخص خطر) را انتخاب کردند به عنوان پرخطرترین

عابرین‌پیاده انتخاب شدند. عابران‌پیاده با انتخاب شاخص خطر بین ٦/٧ تا ١٠/٩ (بین ٥٠امین تا ٨٥امین درصد تجمعی شاخص خطر) افراد با خطر متوسط و آن دسته از عابرینی که شاخص خطر مابین ٣/٨ تا ٦/٧ (بین ١٥امین تا ٥٠امین درصد تجمعی شاخص خطر) را قبول کردند به عنوان عابرین‌پیاده کم خطر شناخته شدند. و در نهایت کسانی که شاخص خطر کمتر از ٣/٨ (کوچکتر از ١٥امین درصد تجمعی شاخص خطر) را انتخاب کرده بودند، عابرین‌پیاده بی‌خطر شناسایی شدند. جدول (١) توزیع فراوانی این گروه‌ها و رتبه‌بندی متغیر وابسته برای ساخت مدل رتبه‌ای را نشان می‌دهد.

٣-٢ داده‌ها

به منظور شناسایی پارامترهای تاثیرگذار بر شدت خطر عابران‌پیاده بر اساس رتبه‌بندی TTC و SAV انتخاب شده توسط عابرین‌پیاده هنگام عبور از گذرگاه‌های عرضی، شش گذرگاه با طیف گسترده‌ای از عابرین‌پیاده با عرض‌های مختلف در شهر قزوین انتخاب شدند که فاقد چراغ راهنمایی با شمارش معکوس برای عابرین‌پیاده و وسایل‌نقلیه بودند (وجود چراغ‌های راهنمایی با شمارش معکوس به دلیل اطلاع‌رسانی به رانندگان و عابران‌پیاده از زمان باقی‌مانده برای عبور، احتمال تخلف از چراغ را کاهش می‌دهد [Xiong et al., 2014]. مشخصات مربوط به هر گذرگاه در جدول (٢) آمده و شکل (٣) نشان‌دهنده نمایی از هر گذرگاه است. در پژوهش پیش‌رو برای دستیابی به متغیرهای موردنظر و جمع‌آوری داده‌ها از روش فیلم‌برداری رفتار عبور عابرین‌پیاده بدون آگاهی آنها استفاده شد. زمان جمع‌آوری داده‌ها، ساعات اوج صبح و عصر در سه روز کاری پشت سرهم در ماه مهر سال ١٣٩٤ در نظر گرفته شد. پوشش ویدئویی شامل منطقه انتظار عابرپیاده در دو انتهای یک گذرگاه، طول گذرگاه و چراغ راهنمایی بود.



شکل٢. نمودار درصد تجمعی شاخص خطر برای عابران‌پیاده بررسی‌شده

جدول١. توزیع فراوانی عابرین‌پیاده و رتبه‌بندی متغیر وابسته

رتبه‌بندی	محدوده	تعریف	فروانی	
			تعداد	درصد
Y=٠	Risk > ١٠/٩	عابرین‌پیاده پر خطر	١٢٥	١٥/٦
Y= ١	٦/٧ < Risk ≤ ١٠/٩	عابرین‌پیاده با خطر متوسط	٢٦٨	٣٣/٥
Y= ٢	٣/٨ < Risk ≤ ٦/٧	عابرین‌پیاده کم خطر	٢٨٨	٣٦
Y= ٣	٠< Risk ≤ ٣/٨	عابرین‌پیاده بدون خطر	١١٩	١٤/٩

بر اساس فرمول شارل کوکران (طبق رابطه ۲) و قرار دادن درجه اطمینان ۹۵ درصد و جمعیت ۳۸۱۵۹۸ نفری برای شهر قزوین، حداقل تعداد نمونه مورد نیاز ۳۸٤ نمونه بدست آمد.

$$n=\frac{\frac{z^2\,pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2\,pq}{d^2}-1\right)} \qquad (۲)$$

n = حجم نمونه

N = حجم جمعیت آماری

z = درصد خطای معیار ضریب اطمینان قابل قبول (z=1.96)

p = نسبتی از جمعیت دارای صفت معین (p=1)

q = نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین (q=1-p)

d = درجه اطمینان (d=0.05) [Hensher, Rose and Greene, 2005]

.

شکل ۳. نمایی از گذرگاه‌های عابرپیاده انتخاب شده

جدول ۲. جزئیات گذرگاه‌های عرضی عبور عابرپیاده انتخاب شده

نام تقاطع	تعداد خطوط عبور	طول عبور یک نیمه از گذرگاه (متر)	میانگین طول دوره چراغ (ثانیه)	میانگین زمان سبز (ثانیه)	متوسط حجم عبور وسایل‌نقلیه هر ۱۵ دقیقه	متوسط حجم عبور عابرین‌پیاده هر ۱۵ دقیقه
تقاطع عدل	۳	۱۸/٦	۹۰	۵۰	۲۳۰	۱٥٤
تقاطع ولیعصر	۳	۲۱/۳	۱۳۰	۳۰	٤۸۸	۱۲۳
تقاطع فردوسی	۲	۱۱/۷	٤۰	۲۰	۱۹٤	۷۳
تقاطع شهدا	۲	۷	۱۰۰	۳۰	۲۳٤	۵۰
سه‌راه خیام	۲	۱۲/۵	کنترل‌نشده		۳٦۸	۱٦۵
بین‌تقاطعی ولیعصر	۲	۱۰	کنترل‌نشده		۳٦۳	۵۹

بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده، اطلاعات در غالب متغیرهای مستقل و وابسته تقسیم‌بندی شدند. متغیرهای مستقل در ۳ دسته ویژگی‌های فردی، شرایط محیطی و شرایط ترافیکی تقسیم‌بندی شدند. جدول ۳ نشان‌دهنده اطلاعات توصیفی مربوط به متغیرهایی است که در این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول۳. انواع متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی همراه با تحلیل توصیفی آنها

	دسته‌بندی متغیرها		واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
ویژگی‌های فردی	همراه داشتن	بدون همراه	---	۰	۱	۰/٤٦	۰/٤۸
		۱ همراه	---	۰	۱	۰/۲٦	۰/٤۳
		بیش از ۱ همراه	---	۰	۱	۰/۱	۰/۳
	داشتن مانع حرکتی	کیف	---	۰	۱	۰/۲٦	۰/٤٤
		استفاده از تلفن‌همراه یا موسیقی	---	۰	۱	۰/۰۲	۰/۱۵
		کودک	---	۰	۱	۰/۰۵	۰/۲۲
		سرعت عابرپیاده	m/s	۰/۷	۳/۵	۱/۳۲	۰/۳٤
	جهت حرکت	نیمه اول عبور=۱ نیمه دوم عبور=۰	---	۰	۱	۰/۵۲	۰/۵
	جنسیت	مرد=۱ زن=۰	---	۰	۱	۰/۵٤	۰/۵
	سن	کودک – نوجوان	---	۰	۱	۰/۰۷٦	۰/۲٦۵
		جوان – میانسال	---	۰	۱	۰/۸٦	۰/۳۵
		مسن	---	۰	۱	۰/۰٦٦	۰/۲۵

دسته‌بندی متغیرها			واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
	پوشش	مرد – کت و شلوار	---	۰	۱	۰/۰۳۳	۰/۱۸
		مرد – اسپرت	---	۰	۱	۰/۵۱	۰/۵
		زن – مانتو	---	۰	۱	۰/۲۸	۰/٤٥
		زن – چادر	---	۰	۱	۰/۱۸	۰/۳۸
شرایط محیطی		طول عبور	متر	۷	۲۱/۳	۱٤	٤/٤۸
	زمان روز	صبح=۱ عصر=۰	---	۰	۱	۰/٤۹	۰/۵
	پارک حاشیه‌ای	وجود پارک حاشیه‌ای=۱ عدم وجود پارک حاشیه‌ای=۰	---	۰	۱	۰/۲٦	۰/٤٤
	وجود متخلفان دیگر	وجود متخلفان دیگر=۱ عدم وجود متخلفان دیگر=۰	---	۰	۱	۰/٦٤	۰/٤۸
		زمان انتظار	ثانیه	۰	۵۰	۱/۵٦	٤/۰۵
	جهت حرکت	نیمه اول عبور=۱ نیمه دوم عبور=۰	---	۰	۱	۰/۵۲	۰/۵
	موقعیت عبور	عبور از محل خط‌کشی=۱ عبور از خارج از محل خط‌کشی=۰	---	۰	۱	۰/٦٤	۰/٤۸
شرایط ترافیکی		زمان تا تصادف	ثانیه	۱/۱	۵۳/۵	٦/۲۵	٦/۱
		سرعت وسیله‌نقلیه	Km/h	۱۰	۵۵	۲۵/۲	۸/۳
		تعداد عابرین‌پیاده در ناحیه انتظار	تعداد	۰	۵	۰/۲۵	۰/۸
		حجم عابرپیاده	Ped/15min	۹	۱۹۱	۹۸/۱	۵٦/۱
		حجم وسیله‌نقلیه	Veh/15min	۹٤	۵۳۰	۲۸۰/۹	۱۳۲/٤

۳- ۳ روش مدل‌سازی

روش مدل‌سازی مطالعه فعلی با توجه به ماهیت رویدادها و توجه به این موضوع که هدف تعیین اولویت خطرپذیری افراد در حین عبور از معبر است، با استفاده از لوجیت رتبه‌ای انجام می‌شود. فرض زیربنایی و اساسی مدل‌های انتخاب رتبه‌ای آن است که یک متغیر پیوسته غیرقابل مشاهده، که متغیر نهانی نامیده می‌شود، میزان تمایل فرد به گزینه مورد نظر را نشان می دهد. در مقابل، آنچه که مشاهده می‌شود انعکاسی است از این تمایل نهانی که بصورت متغیری گسسته تعریف می‌شود. مدل‌های رتبه‌ای به دو شکل کلی لوجیت و پروبیت مطرح شده [Green, 2002 , Mckelvey and Zavoina, 1975] و دارای شکل کلی زیرند [Kermanshah and mamdoohi, 1998]:

$$Y_i = \beta X_i + \varepsilon_i \quad (۳)$$

که در آن، Y_i متغیر وابسته غیرقابل مشاهده از نوع فاصله‌ای مربوط به مشاهده i که اولویت گزینه مورد نظر را تعیین می‌کند، X_i بردار ویژگی‌های مرتبط با مشاهده i ، β بردار ضرایب مدل، و ε_i قسمت تصادفی مشاهده i است. حال فرض می‌شود که Z_i واکنش قابل اندازه‌گیری از نوع رتبه‌ای مربوط به مشاهده i و متناظر Y_i بوده، و دارای M گروه واکنش R_1 , R_2 , ... R_M, و منتج از متغیر Y_i به صورت زیر است. فرض می‌شود M+1 عدد حقیقی μ_0 , μ_1 , ... μ_M, با شرط زیر وجود دارند:

$$\mu_0 \quad \mu_1 \leq \cdots \leq \mu_M \quad (٤)$$

$$Z_i \in R_j \Leftrightarrow \mu_{j-1} \leq Y_i \leq \mu_j \quad (٥)$$

μ_j آستانه بالای گروه واکنشی j است که Z_i و مقدار آن را تعیین می‌کند. از آنجا که Z_i رتبه‌ای است، می‌تواند به صورت مجموعه‌ای از متغیرهای ساختگی مانند رابطه (٦) و (٧) تعریف شود:

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & Z_i \in R_j \\ 0, & \text{وگرنه} \end{cases} \quad ; 1 \leq i \leq n \quad 1 \leq j \leq M \quad (٦)$$

$$Z_{ij} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \mu_{j-1} \leq Y_i \leq \mu_j \quad \Leftrightarrow \quad \mu_{j-1} \leq \sum_k \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \leq \mu_j \quad \Leftrightarrow \quad (\mu_{j-1} - \sum_k \beta_k X_{ki}) / \sigma \leq \varepsilon_i / \sigma \leq (\mu_j - \sum_k \beta_k X_{ki}) / \sigma \quad (٧)$$

k = 1, … , K نشان‌دهنده K ویژگی گزینه و σ انحراف معیار ε_i است. اگر ε_i دارای توزیع لوجستیک باشد، مدل لوجیت رتبه‌ای و چنانچه دارای توزیع نرمال باشد، مدل پروبیت رتبه‌ای حاصل می‌گردد. لوجیت رتبه‌ای به صورت رابطه (٨) است:

$$\text{pr}(Z_{ij} = 1) = \text{pr}(Z_i \in R_j) = F((\mu_j - \sum_k \beta_k X_{ki}) / \sigma) - F((\mu_{j-1} - \sum_k \beta_k X_{ki}) / \sigma) \quad (٨)$$

که در آن F (t) تابع توزیع تجمعی لوجستیک به صورت $(1 + e^{-t})^{-1}$ است.

هنگامی که مدل اولیه تخمین زده می‌شود، بهترین ارزیابی، بررسی علامت ضرایب برآورد شده، مقادیر آن‌ها و بررسی سطح معنی‌داری هر پارامتر است. اما به منظور مقایسه مدل مورد نظر با مدل‌های دیگری که برآورد می‌شوند، ضرایب خوبی برازش تعریف می‌شوند که نشان‌دهنده بهبود یا عدم بهبود مدل‌های بعدی است. ضریب برازندگی مدل پرداخت شده برای نمونه مورد بررسی که در بازه [۱-۰] قرار دارد، به صورت رابطه (٩) تعریف می‌گردد [Kanafani, 1983, Ortuzar and Willumsen, 2011]:

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \quad (٩)$$

ضریب برازندگی هنگامی که تنها ضرایب ثابت غیر صفر باشند نیز از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_C^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(C)} \quad (١٠)$$

در این روابط LL(β)، مقدار لگاریتم تابع احتمال تخمین زده شده برای تمامی پارامترها، LL(C) مقدار تابع لگاریتم احتمال تنها برای جملات ثابت (سهم بازار) و LL(0)، مقدار تابع لگاریتم احتمال برای مدل با پارامترهای صفر است (سهم مساوی). مقدار این آماره‌ها بین صفر و یک بوده و نزدیکی به عدد یک نشان از برازش بهتر مدل دارد.

٤. بحث و تحلیل نتایج

پس از تحلیل آماری متغیرهای مؤثر برای شناسایی خطرپذیری عابرین‌پیاده، مدل لوجیت رتبه‌ای[٤] توسط نرم‌افزار NLOGIT 4.0 برای عابرین‌پیاده شهر قزوین ساخته شد و نتایج پرداخت آن در جدول (٤) آورده شده است. همان‌گونه که از جدول (٤) قابل مشاهده است تمامی متغیرهای مستقل موجود در مدل در سطح معناداری بیش از ۹۰ درصد قرار دارند.

۱. متغیر استفاده از تلفن‌همراه در هنگام عبور از گذرگاه عرضی با علامت مثبت در مدل معنادار شده است که حاکی از

آن است که عابرین‌پیاده در صورت استفاده از تلفن همراه در قضاوت در مورد TTC و SAV امن بسیار ضعیف عمل می‌کنند. به عبارت دیگر استفاده از تلفن‌همراه باعث افزایش شاخص خطر یا خطرپذیری عابرین‌پیاده می‌شود. استفاده از تلفن همراه می‌تواند شامل صحبت کردن با تلفن یا استفاده از موسیقی باشد.

۲. در نمونه برداشت شده برای این مطالعه مردان نسبت به زنان خطرپذیرترند و در انتخاب TTC و SAV جسورانه‌تر عمل می‌کنند. این نتیجه با بسیاری از مطالعات گذشته مطابقت دارد [Koh, Wong and Chandrasekar, 2014 ; Tiwari et al., 2007] و با برخی از مطالعات نیز در تناقض است [Onelcin and Alver, 2015].

۳. علامت مثبت متغیر همراه داشتن در مدل نشان می‌دهد که با افزایش تعداد همراه به بیش از یک نفر، میزان خطرپذیری عابرین‌پیاده نیز افزایش می‌یابد. عابرین‌پیاده در گروه اغلب در انتخاب TTC و SAV نسبت به عابران‌پیاده تنها ریسک‌پذیرتر عمل می‌کنند و بیشتر خود را در معرض خطر قرار می‌دهند. دلیل این موضوع می‌تواند حواس‌پرتی و کاهش توجه به محیط اطراف هنگام قرار گرفتن در یک جمع گروهی باشد.

٤. متغیر سرعت عابرپیاده در مدل با اثر مثبت معنادار گردید بنابراین با افزایش سرعت عابرین‌پیاده خطرپذیری آنها هم بیشتر می‌شود. احتمالاً عابرین‌پیاده‌ای که سریع حرکت می‌کنند، تصور دارند که می‌توانند از TTCهای کوچکتر و SAVهای بیشتر به راحتی عبور کنند.

۵. با توجه به تعریف متغیر پاسخ، مدل نشان می‌دهد که عابرین‌پیاده‌ای که در خطوط اول یا دوم عبور خود

TTC کوچکتری را انتخاب می‌کنند، دارای شاخص خطر بیشتر هستند.

٦. با توجه به مدل مشاهده می‌شود، متغیر سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط اول یا دوم عبور عابرپیاده، نقش مهم و معناداری دارد و دارای علامت مثبت است. متغیر فوق حاکی از آن است که هرچقدر سرعت وسیله‌نقلیه بیشتر باشد و عابر اقدام به عبور کند، شاخص خطر یا خطرپذیری عابرپیاده مذکور بیشتر است.

جدول٤. نتایج پرداخت مدل شدت خطرپذیری عابرین‌پیاده با استفاده از مدل لوجیت رتبه‌ای

متغیر	نماد	ضرایب	سطح معناداری	خطای استاندارد
استفاده از تلفن‌همراه یا موسیقی	Mobile	٠/٤٦٤١ *	٠/٠٩٤٤	٠/٢٧٧٥
جنسیت	Gender	٠/٢٤٥١ ***	٠/٠٠٥٣	٠/٠٨٣٩
بیش از یک همراه داشتن	Along2	٠/٢١٧٦ *	٠/١٠٠٠	٠/١٣٤٧
سرعت عابرپیاده	Sped	٠/٢٨٠١ ***	٠/٠٠٠٩	٠/٠٨٤٤
زمان تا تصادف در خط اول عبور	TTC1	-٠/١١٨١ ***	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٩٨
زمان تا تصادف در خط دوم عبور	TTC2	-٠/١٧٨٤ ***	٠/٠٠٠٠	٠/٠١٠٧
سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط اول عبور	SAV1	٠/٠٦٢ ***	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٥٢
سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط دوم عبور	SAV2	٠/٠٥٥٧ ***	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٥٧
آستانه ١	Mu (1)	١/٥٥٥ ***	٠/٠٠٠٠	٠/٠٥٨٣
آستانه ٢	Mu (2)	٣/١١٢٩ ***	٠/٠٠٠٠	٠/٠٧٨٧
لگاریتم احتمال (سهم مساوی ضرایب)LLj(0)			-١١٠٩/٠٣	
لگاریتم احتمال (سهم بازار) LLj(C)			-١٠٤٦/١١	
لگاریتم احتمال (ضرایب مدل) LLj(β)			-٧٦٢/٠٤	
$\rho^2_0 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)}$			٠/٣١	
$\rho^2_c = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(C)}$			٠/٢٧	

*، **، *** = سطح معنی‌داری آماری به ترتیب، برابر ١٠ درصد، ٥ درصد و ١ درصد

در ادامه به منظور نشان دادن تاثیر هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته، تجزیه و تحلیل الاستیسیته (E) انجام شد. تحلیل الاستیسیته مطابق جدول (۵) نشان می‌دهد که، در میان متغیرهای مختلف، سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط اول و دوم تاثیرگذارترین متغیرها در پذیرش خطر هستند زیرا این متغیرها بالاترین الاستیسیته را دارند، لازم به ذکر است که افزایش در سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده تاثیرگذاری بیشتری بر عملکرد عابرین‌پیاده بی‌خطر (Y=1) دارد. همچنین متغیر بیش از یک همراه داشتن کمترین اثر را حین عبور از راه دارد. تحلیل الاستیسیته نشان داد که یک درصد افزایش در هریک از متغیرهای مستقل باعث بیشترین درصد تغییر (افزایش یا کاهش) در رتبه ۱ شدت خطرپذیری (عابرین‌پیاده بی‌خطر (Y=1)) می‌شود زیرا الاستیسیته رتبه خطر ۱ برای عابران‌پیاده از مابقی رتبه‌های خطر بیشتر شده‌است.

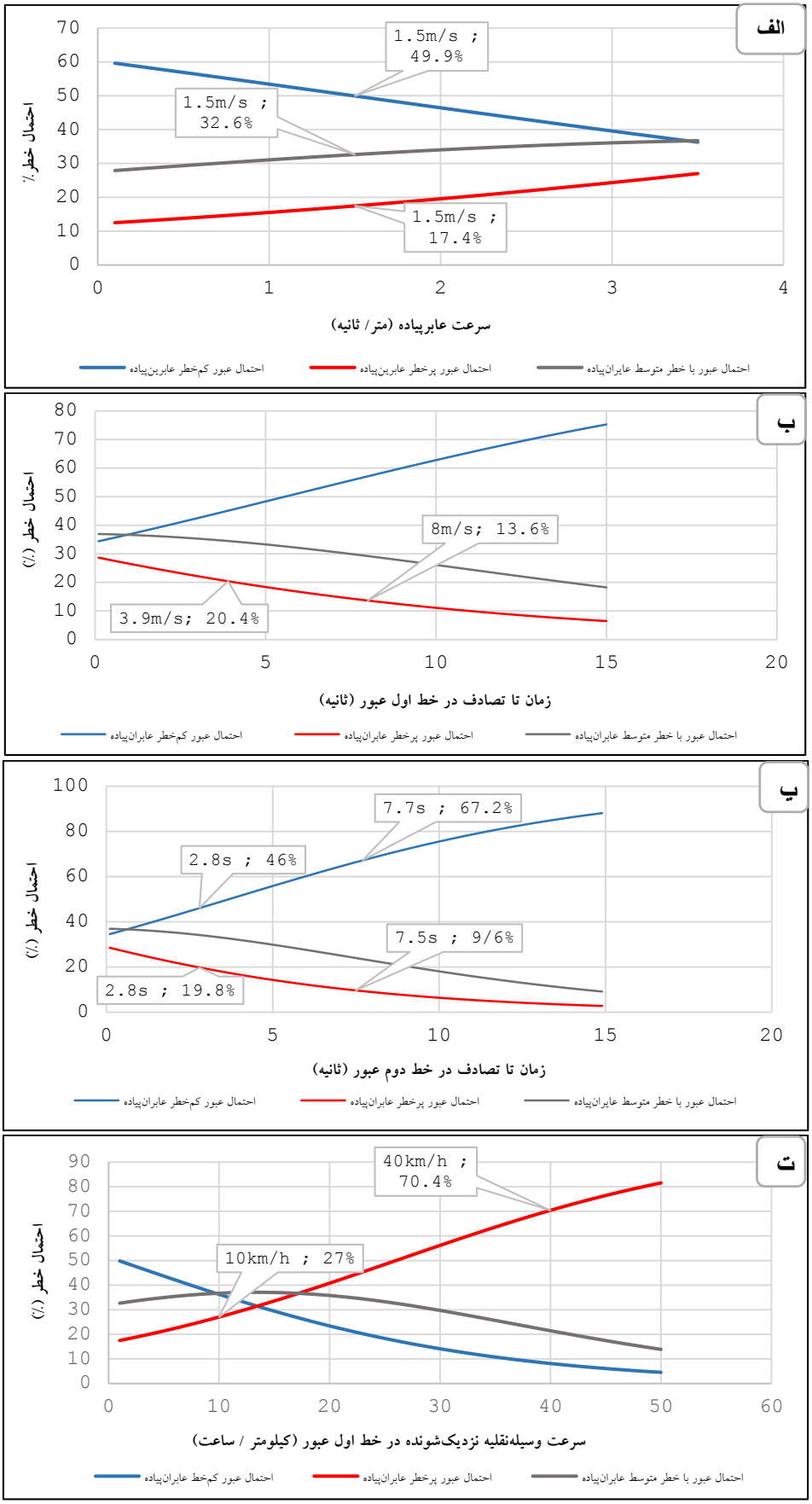
جدول ۵. الاستیسیته متغیرهای مستقل در مدل لوجیت رتبه‌ای

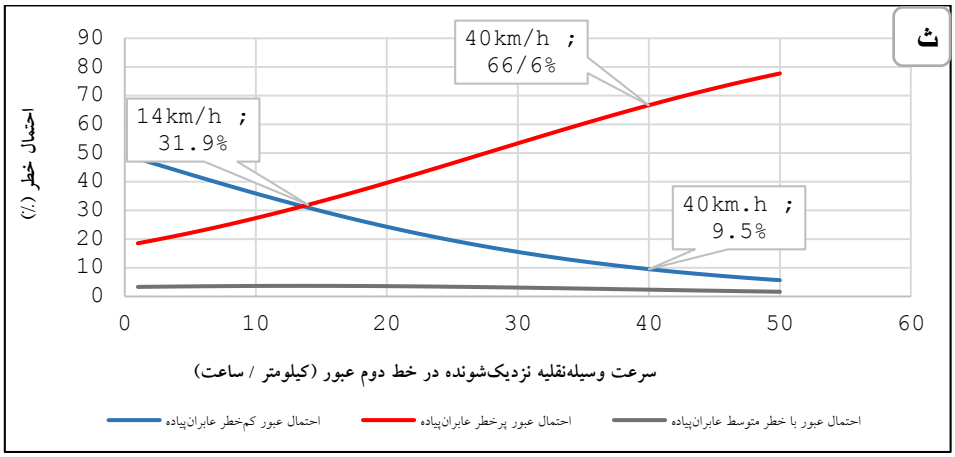
متغیر مستقل	نماد	متغیر وابسته	الاستیسیته
استفاده از تلفن‌همراه یا موسیقی	Mobile	Y = ۰	−۰/۷٤
		Y = ۱	−۰/۳۲
		Y = ۲	۰/۲٤
		Y = ۳	۱/۰۹
جنسیت	Gender	Y = ۰	−۰/۵٦
		Y = ۱	−۰/۱۵
		Y = ۲	۰/۱۵
		Y = ۳	۰/٤
بیش از یک همراه داشتن	Along2	Y = ۰	−۰/٤۳
		Y = ۱	−۰/۱٤
		Y = ۲	۰/۱۳
		Y = ۳	۰/٤
سرعت عابرپیاده	Sped	Y = ۰	−۰/۸۵
		Y = ۱	−۰/۲۳
		Y = ۲	۰/۲۳
		Y = ۳	۰/٦۳
زمان تا تصادف در خط اول عبور	TTC1	Y = ۰	۱/۵۸
		Y = ۱	۰/٤٤
		Y = ۲	−۰/٤٤
		Y = ۳	−۱/۱۷
زمان تا تصادف در خط دوم عبور	TTC2	Y = ۰	۲/٤٤
		Y = ۱	۰/٦۸
		Y = ۲	−۰/٦۸
		Y = ۳	−۱/۸
سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط اول عبور	SAV1	Y = ۰	−۳/۲

متغیر مستقل	نماد	متغیر وابسته	الاستیسیته
		Y = ۱	-۰/۸۹
		Y = ۲	۰/۹
		Y = ۳	۲/۳٦
سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط دوم عبور	SAV2	Y = ۰	-۳/۰۳
		Y = ۱	-۰/۸۵
		Y = ۲	۰/۸۵
		Y = ۳	۲/۲۳

در مرحله آخر به بررسی و تحلیل حساسیت هر یک از رتبه‌های خطر نسبت به متغیرهای پیوسته‌ای همچون سرعت عابرپیاده (Sped)، زمان تا تصادف (TTC) و سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده (SAV) پرداخته می‌شود. مطابق قسمت الف در شکل ٤، رابطه سرعت عابران‌پیاده (Sped) با احتمال خطر (عابران کم‌خطر، با خطر متوسط و پرخطر) نشان می‌دهد که افزایش سرعت عابران‌پیاده هنگام عبور از گذرگاه باعث کاهش سهم عابران‌پیاده کم‌خطر و افزایش سهم عابران‌پیاده پرخطر و با خطر متوسط می‌شود. با توجه به نمودار الف مشخص می‌شود که به عنوان مثال اگر سرعت عابرپیاده ۱/۵ متر بر ثانیه باشد و متغیرهای دیگر مقدار متوسط خود را داشته باشند، احتمال پرخطر بودن عابرین‌پیاده ۱۷/٤ درصد، خطر متوسط ۳۲/٦ درصد و کم‌خطر ٤۹/۹ درصد پیش‌بینی می‌شود. نمودار ب تاثیرات زمان تا تصادف در خط اول را در رتبه‌بندی مختلف خطر نشان می‌دهد. بر این اساس وقتی زمان تا تصادف در خط عبور اول حدود ۳/۹ ثانیه باشد احتمال عبور پرخطر عابران‌پیاده ۲۰/٤ درصد است، در حالی که اگر متغیر زمان تا تصادف به مقدار ۸ ثانیه افزایش یابد، احتمال عبور پرخطر به ۱۳/٦ درصد کاهش می‌یابد. نمودار پ نیز تفسیری مشابه نمودار ب دارد و نشان می‌دهد که افزایش زمان تا تصادف در خط دوم عبور، باعث افزایش سهم عابران‌پیاده کم‌خطر و کاهش سهم عابران‌پیاده پرخطر و با خطر متوسط می‌شود. نمودار پ و ت نیز به ترتیب روند تغییرات احتمال خطر را بر اساس دو متغیر سرعت خودرو در خط اول و خط دوم عبور، نشان می‌دهد. همانگونه که انتظار می‌رود، افزایش سرعت وسیله‌نقلیه، سهم عابرین‌پیاده پرخطر را افزایش و سهم عابرین‌پیاده کم خطر و با خطر متوسط (در خط عبور دوم بسیار ناچیز) را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال اگر سرعت خودرو در خط دوم عبور ١٤ کیلومتر بر ساعت باشد، احتمال عبور پرخطر و کم‌خطر عابر ۳۱/۹ درصد پیش‌بینی می‌شود، درحالی که با افزایش سرعت خودرو به ٤۰ کیلومتر بر ساعت، احتمال عبور پرخطر به میزان ٦٦/٦ درصد افزایش و عبور کم‌خطر به میزان ۹/۵ درصد کاهش می‌یابد.

.


الف
1.5m/s ; 49.9%
1.5m/s ; 32.6%
1.5m/s ; 17.4%
احتمال خطر٪
سرعت عابرپیاده (متر/ ثانیه)
احتمال عبور کم‌خطر عابرپیاده
احتمال عبور پرخطر عابرپیاده
احتمال عبور با خطر متوسط عابرپیاده
ب
8m/s; 13.6%
3.9m/s; 20.4%
احتمال خطر (٪)
زمان تا تصادف در خط اول عبور (ثانیه)
پ
7.7s ; 67.2%
2.8s ; 46%
7.5s ; 9/6%
2.8s ; 19.8%
زمان تا تصادف در خط دوم عبور (ثانیه)
ت
40km/h ; 70.4%
10km/h ; 27%
سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط اول عبور (کیلومتر / ساعت)



شکل ٤. احتمال خطر رتبه‌بندی مختلف عابرپیاده (کم‌خطر (Y=1)، خطر متوسط (Y=2) و پرخطر (Y=3)) بر اساس متغیرهای الف) سرعت عابرپیاده ب) زمان تا تصادف در خط اول پ) زمان تا تصادف در خط دوم ت) سرعت وسیله‌نقلیه در خط اول ث) سرعت وسیله‌نقلیه در خط دوم

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این مطالعه شناسایی پارامترهای مؤثر بر شدت خطرپذیری عابرین‌پیاده بر اساس رتبه‌بندی شاخص ترکیبی زمان تا تصادف و سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده انتخاب شده در خط هنگام عبور از گذرگاه‌های عرضی در معابر شهری است. از این رو اطلاعات مورد نیاز با استفاده از روش فیلم‌برداری از ٦ تقاطع در شهر قزوین برای ۸۰۰ عابرپیاده برداشت شد. با کمک ترکیب دو متغیر زمان تا تصادف و سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط یک شاخص خطر در مطالعه جاری توسعه یافت. شاخص خطر با استفاده از رسم نمودار درصد تجمعی رتبه‌بندی و با استفاده از مدل لوجیت رتبه‌ای مدل‌سازی شد. برای بررسی تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته، تجزیه و تحلیل الاستیسیته و برای پیش‌بینی احتمال رخداد رتبه‌های مختلف خطر برای عابران‌پیاده، تحلیل حساسیت انجام شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی، تحلیل الاستیسیته و تحلیل حساسیت در پژوهش حاضر به شرح زیر است:

– عابرین‌پیاده در صورت استفاده از تلفن‌همراه اقدام به انتخاب TTC و SAV ناامن می‌کنند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تلفن همراه موجب عدم تمرکز و در نتیجه درک ضعیف عابرین حین عبور می‌شود. اطلاع‌رسانی، تبلیغات و برگزاری برنامه‌های آموزشی برای افراد جامعه می‌تواند در کاهش این شرایط موثر باشد.

– عابرین‌پیاده مرد نسبت به زنان ریسک‌پذیرترند.

– با افزایش همراهان عابران‌پیاده، شدت خطرپذیری آنها افزایش می‌یابد.

– عابرین‌پیاده با سرعت پیاده‌روی بیشتر حین عبور از گذرگاه، احتمالاً به انتخاب TTCهای کوچکتر و SAVهای بیشتر اقدام می‌کنند. می‌توان نتیجه گرفت که عابرین عجول‌تر بیشتر در معرض ریسک خطر برخورد قرار دارند. در ارتباط با این موضوع نیز بکارگیری اطلاع‌رسانی و برنامه‌های آموزشی بسیار موثر است. همچنین می‌توان در زمان آموزش رانندگان نیز به آنها در ارتباط با احتیاط در خصوص عابرین عجول هشدار داد.

– با توجه به تجزیه و تحلیل الاستیسیته متغیر سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط تاثیرگذارترین متغیرها در خطرپذیری عابرین‌پیاده است زیرا بیشترین مقدار الاستیسیته را به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر، سرعت وسایل نقلیه در شدت ریسک تصادف عابرین از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. بکارگیری روش‌های آرام‌سازی ترافیک و یا اعمال قانون با تعیین محدودیت سرعت در نزدیکی تقاطع‌ها یا محل‌های عبور عابرین در جهت بهبود این شرایط بسیار موثر است.

– تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که افزایش دو متغیر سرعت عابرپیاده و سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک‌شونده در خط، باعث کاهش سهم عابران‌پیاده کم‌خطر و افزایش سهم عابران‌پیاده پرخطر می‌شود، درحالی که افزایش متغیر زمان تا تصادف باعث پیش‌بینی نتیجه‌ای عکس خواهد شد.

انتظار می‌رود یافته‌های مطالعه حاضر به تشخیص بهتر رفتار عابران‌پیاده در گذرگاه‌های عبور کمک کند. با توجه به اینکه رفتار عابران‌پیاده با کمک مدل انتخاب گسسته توضیح داده شد اما بررسی اثر ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی عابران نیز می‌تواند به رسیدن به نتایج بهتر کمک کند.

٦. پی‌نوشتها

1. Time to Collision
2. Speed of Approaching Vehicle
3. Gap Time
4. Ordered logit model

۷. سپاسگزاری

از مرکز کنترل ترافیک قزوین که نهایت همکاری را با پژوهشگران داشته و بخشی از اطلاعات لازم برای انجام این پژوهش را در اختیار قرار دادند، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

۸. مراجع

– برنامه ۵ ساله ایمنی ایران، انتشارات وزارت راه و شهرسازی کشور، جلد اول، ۱۳۹۲.

– کرمانشاه، م و ممدوحی، ا لف. (۱۳۷۷) " نقش ارتباطات در رفتار سفر شهری" ، مجموعه مقالات پژوهشی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

- De Dios OrtÃozar, J. and Willumsen, L.G. (2011) "Modelling transport", John Wiley & Sons

- Greene, W.H (2002) "Econometric analysis", 5th edition, New York University.

- Guo, H., Zhao, F., Wang, W., Zhou, Y., Zhang, Y. and Wets, G. (2014) "Modeling the perceptions and preferences of pedestrians on crossing facilities", Discrete Dynamics In Nature And Society, No.2014

- Hamed, M.M. (2001) "Analysis of pedestrians' behavior at pedestrian crossings", Safety Science, Vol. Vol. 38, No. 1, pp.63-82.

- Hensher DA, Rose JM, Greene WH (2005) "Applied choice analysis: a primer", Cambridge University Press

- Kanafani A (1983) "Transportation demand analysis", McGraw-Hill. Inc.,

- Koh, P. P. and Wong, Y. D. (2014) "Gap acceptance of violators at signalized pedestrian crossings", Accident Analysis & Prevention, Vol.62, No.2014, pp.178-185.

- Koh, P. P., Wong, Y. D. and Chandrasekar, P. (2014) "Safety evaluation of pedestrian behavior and violations at signalized pedestrian crossings", Safety science, Vol.70, No.2014, pp.143-152.

- Kröyer, H. R. (2015) "The relation between speed environment, age and injury outcome for bicyclists struck by a motorized vehicle–a comparison with pedestrians", Accident Analysis & Prevention, Vol.76, No.2015, pp.57-63.

- Li, P., Bian, Y., Rong, J., Zhao, L. and Shu, S. (2013) "Pedestrian crossing behavior at un-signalized mid-block crosswalks around the primary school", Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol.96, No.2013, pp.442-450.

- Liu, Y. C. and Tung, Y. C. (2014) "Risk analysis of pedestrians' road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed", Safety Science, Vol.63, No.2014, pp.77-82.

- McKelvey, R. D. and Zavoina, W. (1975) "A statistical model for the analysis of ordinal

International Journal of Civil and Structural Engineering, Vol. 4(3), No.2014 Jan 1, pp.274.

- Tiwari, G., Bangdiwala, S., Saraswat, A. and Gaurav, S. (2007) "Survival analysis: Pedestrian risk exposure at signalized intersections", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, Vol. 10(2), No.2007 Mar 31, pp.77-89.

- Wang, T., Wu, J., Zheng, P. and McDonald, M. (2010) "Study of pedestrians' gap acceptance behavior when they jaywalk outside crossing facilities", In Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference on 2010 Sep 19 (pp. 1295-1300). IEEE.

- Xiong, H., Xiong, L., Deng, X. and Wang, W. (2014) "Evaluation of the impact of pedestrian countdown signals on crossing behavior", Advances in Mechanical Engineering. Vol.17, No.2014 Feb, 6:518295.

level dependent variables", Journal of mathematical sociology, Vol.4, No. 1, pp.103-120.

- Onelcin, P. and Alver, Y. (2015) "Illegal crossing behavior of pedestrians at signalized intersections: factors affecting the gap acceptance", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, Vol.31, No.2015 May 31, pp.124-132.

- Pawar, D. S. and Patil, G. R. (2015) "Pedestrian temporal and spatial gap acceptance at mid-block street crossing in developing world", Journal of safety research, Vol.52, No.2015 Feb 28, pp.39-46.

- Rosenbloom, T., Mandel, R., Rosner, Y. and Eldror, E. (2015) "Hazard perception test for pedestrians", Accident Analysis & Prevention, Vol.79, pp.160-169.

- Serag, M. S. (2014) "Modelling pedestrian road crossing at uncontrolled mid-block locations in developing countries",

زهرا جهاندیده درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۲ و درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه‌ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه بین‌المللی امام خمینی اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان رویکرد فعالیت مبنا در مدل‌سازی رفتاری، برنامه‌ریزی حمل و نقل، استفاده از تکنولوژی‌های جدید در حمل و نقل و حمل و نقل پایدار بوده و در حال حاضر پژوهشگر پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه است.

دکتر بابک میربهاء، درجه کارشناسی در رشته عمران را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه آزاد اسلامی – واحد تهران مرکز و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران – راه و ترابری را در سال ۱۳۸٤ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته عمران – راه و ترابری از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدلسازی رفتاری در ایمنی راه، سیستمهای حمل و نقل هوشمند و تحلیل ترافیک بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی است.

دکتر امیرعباس رصافی، در سال ۱۳۷۰ درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران- عمران را از دانشگاه صنعتی شریف، در سال ۱۳۷٦درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران – مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل را از همان دانشگاه اخذ کرد و در سال ۱۳۸۳ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران – مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل از دانشگاه صنعتی شریف شد. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان توسعه پایدار و محیط زیست، تحلیل تصمیم، و مدلسازی تقاضا بوده و در حال حاضر دانشیار گروه حمل و نقل در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی[زه] است.