

## ساخت مدل احتمال عبور دانش‌آموزان از عرض جاده‌های برون‌شهری

فرشیدرضا حقیقی\*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران  
شهرام عباسی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Haghghi@nit.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۳/۰۱ - پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۵

صفحه ۶۷-۷۸

### چکیده

یکی از بخش‌های بسیار مهم مهندسی ترافیک مسئله‌ی عبور پیاپی است. به علت ویژگی‌های معمول شخصیتی، انتظار رفتار غیرمحتاطانه از عابرین نوجوان دور از ذهن نیست. همچنین در کشور ایران تعداد بسیار زیادی از مراکز تحصیلی و آموزشی که اساساً مورد استفاده‌ی نوجوانان قرار می‌گیرند در حاشیه‌ی راه‌های برون‌شهری واقع هستند و تردد عابرین پیاپی در کنار چنین موسساتی مکرراً مشاهده می‌گردد. بررسی اندرکنش عابرین با وسایل نقلیه و جریان ترافیک در این نواحی می‌تواند در راستای بهبود ایمنی و تسهیلات عابرین نتایج مفیدی را ارائه کند. در این پژوهش دانش‌آموزان به عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین قشرهای عابرین پیاپی در جاده‌های برون‌شهری مورد بررسی قرار گرفتند و داده‌ها از فیلم ویدئویی ضبط شده از محل عبور دانش‌آموزان ۳ مدرسه، در جاده‌ی برون‌شهری واقع در شهرستان محمودآباد استان مازندران، طی سه روز کاری هفته استخراج گردید. سپس احتمال عبور عابرین از عرض خیابان با استفاده از نرم افزار *SPSS* و مدل رگرسیون لجستیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که متغیرهای زمان انتظار قبل از عبور، فاصله وسیله نقلیه خط دور و مقدار سرفاصله بر احتمال عبور عابرین از عرض جاده تاثیر بسزایی دارند. همچنین در بین متغیرهای تاثیرگذار مقدار سرفاصله بیشترین تاثیر را در احتمال عبور عابرین داشته است.

واژه‌های کلیدی: عابرین پیاپی، ایمنی، احتمال عبور، رگرسیون لجستیک، سرفاصله

### ۱- مقدمه

پیاپی تشکیلی می‌دهند، که اکثر این تصادفات به علت عدم رعایت مقررات مربوط به ترافیک از طرف عابرین پیاپی و یا رانندگان اتفاق می‌افتند. براساس آمار پزشکی قانونی ۳۸ درصد از تلفات عابرین پیاپی در راه‌های برون‌شهری اتفاق می‌افتد [سازمان پزشکی قانونی ایران ۱۳۹۳]؛ با توجه به بالا بودن سرعت وسایل نقلیه در راه‌های برون‌شهری و مد نظر قرار دادن این نکته که در سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت، احتمال آسیب‌دیدگی عابر کمتر از ۱۰ درصد بوده در حالیکه برخورد یک وسیله نقلیه با سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت با عابر، به احتمال قریب به یقین منجر به فوت عابر خواهد شد [OECD/ECMT Transport research, 2006]

یکی از عوامل مهم در مهندسی ترافیک، ایمنی تردد عابر پیاپی است. بررسی پارامترهای رفتاری عابرین پیاپی و همچنین خصوصیات ترافیکی محل عبور عابرین در شناسایی عوامل موثر در بروز تصادفات عابرین پیاپی نقش مهمی دارند با نگاهی به آمار تصادفات عابرین پیاپی مشاهده می‌شود که اغلب حوادثی که برای عابرین پیاپی رخ می‌دهد، معمولاً با تلفات و یا معلولیت‌های جسمی همراه می‌گردد. این رویه برای کشورهای در حال توسعه مانند ایران که ۲۵ درصد از آن را قشر جوان تشکیلی می‌دهند از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. در ایران بیش از ۳۰ درصد تصادفات و نیز ۲۳ درصد تلفات رانندگی را عابرین

al]. کلیفتون و فالترس در سال ۲۰۰۷ در آمریکا به بررسی تصادفات عابر پیاده با وسایل نقلیه در نزدیکی مدارس دولتی و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی و اجتماعی در نزدیکی مدارس پرداختند. داده‌های این تحقیق، آمار تصادفات وسایل نقلیه با عابرین پیاده در منطقه‌ی مورد بررسی طی مدت ۳ سال بوده است. نتایج تحقیق نشان داد که قرار گرفتن یک پارکینگ مقابل ورودی مدرسه و یا چرخش در ورودی مدرسه وقوع تصادفات و شدت صدمات را کاهش می‌دهد. در حالیکه وجود امکانات تفریحی در مدرسه موجب افزایش شدت تصادفات می‌گردد [Clifton and Fufts, 2007].

خاتون و همکاران در سال ۲۰۱۳ در هند رفتار عبور ناامن<sup>۳</sup> (عبور در فاز سبز وسایل نقلیه در تقاطعات و عدم عبور از پل عابر در اواسط جاده‌ها) ۲۵۱ عابر پیاده را مدلسازی کرده و مقایسه‌ای بین رفتار عابرین در گذرگاه با چراغ و بدون چراغ انجام دادند که برای بررسی احتمال عبور عابرین از عرض خیابان از مدل لجستیک دودویی استفاده شد؛ نتایج مدلسازی نشان داد که در گذرگاه با چراغ راهنمایی فقط متغیر سرفاصله‌ی قابل قبول و در گذرگاه بدون چراغ، متغیرهای سرفاصله‌ی قابل قبول، جنسیت، نوع حرکت (گروهی یا فردی)، نوع وسیله نقلیه و حجم ترافیک در احتمال عبور عابرین اثر گذارند. همچنین بررسی ضرایب مدل نشان داد که تمایل به عبور ناامن، وقتی که عابر پیاده تنها از خیابان عبور می‌کند، ۲/۲ بار بیشتر از وقتی است که عابرین گروهی حرکت می‌کنند [khatoon, tiwarri and chatterjee, 2013]. بدلی و همکاران در سال ۲۰۱۳ در آمریکا عوامل موثر در رفتار عبور عابرین پیاده به هنگام عبور از عرض خیابان را با استفاده از شبکه‌های بی‌زین<sup>۴</sup> مدلسازی کردند. نتایج نشان داد که رفتار عبور عابر پیاده بیشتر به عوامل انسانی مانند انگیزه‌ی عابر برای رعایت علائم راهنمایی و رانندگی بستگی دارد تا به عوامل محیطی. همچنین مشخص شد که رفتار عابر به طول زمان بندی چراغ عابر در تقاطع بستگی دارد؛ زیرا در حالی که عابرین منتظر

center] و همچنین با توجه به اینکه اکثر مطالعات و تحقیقاتی که در زمینه‌ی ایمنی عابر پیاده انجام شده، مربوط به خیابان‌های درون شهری است؛ می‌توان نتیجه گرفت که بررسی رفتار عابرین پیاده هنگام عبور از عرض خیابان و شناسایی عوامل موثر بر رفتار آن‌ها، در جاده‌های برون شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در عمل اثرات متقابل بین عابر و وسایل نقلیه هنگامی اتفاق می‌افتد که عابرین در عبور از عرض خیابان در تقاطع و یا بین دو تقاطع باید سرفاصله‌ی مناسب را برای عبور از بین جریان ترافیک انتخاب کنند. از آنجایی که فرض بر آنست که عابرین پیاده در گذرگاه‌های کنترل نشده حق عبور کمتری دارند، بنابراین عابرین پیاده باید منتظر یک سرفاصله‌ی مناسب برای عبور از عرض خیابان بمانند. در عبور از جاده‌های چندخطه عابرین پیاده اغلب به صورت مرحله‌ای از هر خط عبور می‌کنند و تصمیم عبور یا عدم عبور عابرین به عوامل زیادی وابسته است. مباحث فوق اهمیت نیاز به درک رفتار عبور عابر پیاده در گذرگاه‌های کنترل نشده را تایید می‌کند. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان تسهیلات بهتر و ایمن‌تری را برای مکان‌هایی که سرفاصله‌ی کافی برای عبور عابر پیاده وجود ندارد طراحی کرد.

## ۲- پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر بسیاری از محققان، مطالعاتی در مورد رفتار عابرین پیاده هنگام عبور از عرض خیابان انجام داده‌اند. سان و همکاران در سال ۲۰۰۳ در آمریکا به مدلسازی اندرکنش<sup>۱</sup> بین عابر و وسایل نقلیه در گذرگاه‌های کنترل نشده<sup>۲</sup> با استفاده از مدل لجستیک پرداختند. داده‌ها از طریق فیلم برداری در یک گذرگاه روبروی یک مدرسه در ساعات اوج ترافیک و طی یک دوره ۵ روزه ضبط شد. نتایج نشان داد که حداقل سرفاصله‌ی قابل قبول عابرین با طولانی شدن زمان انتظار افزایش می‌یابد، دلیل این امر اینست که عابرینی که زمان زیادی منتظر می‌مانند، فقط سرفاصله‌های ایمن را برای عبور می‌پذیرند. همچنین طبق نتایج بدست آمده از این پژوهش، در زمینه‌ی انتخاب سرفاصله‌ی عبور، عابرین مسن محتاط‌تر از عابرین جوان رفتار می‌کنند [Sun ( et .), 2003]

زمانی و مکانی عابرین پیاده را در اواسط خیابان‌های کنترل نشده بررسی کردند. هدف از این مطالعه بررسی عوامل موثر بر پذیرش سرفاصله و همچنین احتمال پذیرش سرفاصله بوده است. در این پژوهش عبور از هر لین جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و از مدل رگرسیون لجستیک دودویی برای تجزیه و تحلیل سرفاصله زمانی و مکانی استفاده شده است. نتایج نشان داد که احتمال پذیرش سرفاصله مکانی با افزایش سرعت وسایل نقلیه نزدیک شونده کاهش می‌یابد، همچنین مشخص شد که عابرین در مواجهه با وسایل نقلیه کوچکتر سرفاصله‌های کوچکتری را می‌پذیرند. مقادیر سرفاصله ۵۰ و ۸۵ درصد زمانی برای عابرین پیاده به ترتیب از ۱/۸ تا ۴/۸ ثانیه و از ۵ تا ۵/۸ ثانیه و مقادیر سرفاصله ۵۰ و ۸۵ درصد مکانی به ترتیب از ۶۷ تا ۷۹ متر و از ۸۲ تا ۹۵ متر بوده است.

مقادیر سرفاصله ۵۰ و ۸۵ درصد در محل این پژوهش کمتر از مقادیر گزارش شده در HCM<sup>۵</sup> بوده است؛ این نشان می‌دهد که عابرین پیاده در کشور هند رفتار تهاجمی‌تر و پرخطرتری دارند [Pawar and Patil, 2015]. نصیری و ساجد در سال ۱۳۸۱ در تهران عوامل موثر بر تصادفات عابرین پیاده و همچنین رفتار آن‌ها به هنگام عبور از عرض خیابان را مورد بررسی قرار دادند.

در این تحقیق با فیلم برداری از محل عبور عابرین پیاده و استخراج اطلاعات لازم از طریق مشاهدات ویدئویی، رفتار عابرین (عبور کامل، عدم عبور کامل و یا توقف کامل) با استفاده از مدل‌های لجیت و لجیت آشیانه‌ای مدل‌سازی شد.

نتایج نشان داد که فاصله وسایل نقلیه در خط‌های ترافیکی از محل عبور عابرین پیاده، تعداد و سرعت نزدیک شدن وسایل نقلیه در خط عبور به این محل، سن و جنسیت عابرین پیاده و موقعیت آن‌ها در خیابان، در تصمیم عابرین پیاده برای عبور از عرض خیابان و موفقیت در انجام این عمل نقش بسزایی داشتند [نصیری و ساجد ۱۳۸۱].

می‌مانند تا در زمان چراغ سبز عابر، به طور قانونی از تقاطع عبور کنند؛ بی‌حوصله شده و به دنبال فرصت، برای عبور غیرقانونی هستند [Bedeley, Attoh- Lee, 2013 and Okine]. آرمان و همکاران در سال ۲۰۱۴ رفتار سرفاصله‌ی قابل قبول ۶۲۳ عابر پیاده را در یک تقاطع بدون چراغ و رفتار ۶۰۷ عابر را در یک گذرگاه در تهران بررسی کردند. نتایج حاصل از مدل لجستیک نشان داد که اگرچه اندازه‌ی سرفاصله یک عامل مهم در پذیرش یا عدم پذیرش یک سرفاصله است؛ با این حال عوامل رفتاری مانند جنسیت، استفاده از تلفن همراه و همراه داشتن کودک حین عبور تاثیر بیشتری در قضاوت عابرین برای عبور از عرض خیابان دارند که این امر در تقابل با مطالعات یانینس و همکاران است. [Arman, Rafe and Kretz, 2014]. در پژوهش دیگری

در مصر رفتار عابرین پیاده مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج تحقیقات سراگ نشان داد که تصمیم عبور یا عدم عبور، به سرعت خودرو، حرکت میان وسایل نقلیه و تعداد تلاش برای عبور بستگی دارد. در این تحقیق مشخص شد که عابرین پیاده، سرفاصله خودروها را با توجه به سرعت قبول می‌کنند، و نه با توجه به نوع خودرو (بزرگ یا کوچک). یعنی عابرین با مشاهده خودرو سبک با سرعت بالا عبور نمی‌کنند؛ در حالیکه با مشاهده خودرو سنگین با سرعت کم شاید عبور کنند [serag]. در پژوهش دیگری که توسط یانینس و همکاران روی ۲۴۳ مورد عبور عابر برای بررسی احتمال عبور در اواسط خیابان‌های شهری، با تصویر برداری از محل عبور عابرین انجام شد؛ نتایج آن نشان داد که احتمال عبور عابرین، به سرفاصله ترافیک، زمان انتظار، نوع وسیله نقلیه و پارکینگ‌های غیر قانونی بستگی دارد. همچنین در این تحقیق مشخص شد که پذیرش سرفاصله به شدت به فاصله از وسیله نقلیه بستگی دارد؛ و کمتر به سرعت وسیله نقلیه وابسته است. زیرا عابر فاصله را بهتر از سرعت تشخیص می‌دهد [Yannis, apadimitriou and Theofilatos, 2013]. پاور و پاتیل در سال ۲۰۱۵ در هند سرفاصله قابل قبول

### ۳- روش تحقیق

#### ۳-۱- مدل مورد استفاده

جاده‌های برون‌شهری است. لذا مدل‌سازی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک انجام شده است. مدل رگرسیون لجستیک توسط رابطه (۱) معرفی می‌شود.

هنگامی که هدف مدل‌سازی یک متغیر وابسته دو حالتی باشد از مدل رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود. در این تحقیق هدف، یافتن احتمال عبور یا عدم عبور عابرین از عرض

$$P = P_r(Y_i = 1 | X) = \frac{e^{\alpha + \beta_1 x_{1,i} + \beta_2 x_{2,i} + \dots + \beta_k x_{k,i}}}{1 + e^{\alpha + \beta_1 x_{1,i} + \beta_2 x_{2,i} + \dots + \beta_k x_{k,i}}} \quad (1)$$

نیاز به تبدیل این تابع است. یکی از تبدیل‌های این تابع که در این پژوهش از آن استفاده شده، تبدیل لاجیت است. اگر فرض کنیم تابع رگرسیون لجستیک احتمال وقوع پارامتر وابسته  $P(y=1)$  را محاسبه کند. احتمال عدم وقوع پارامتر وابسته از رابطه (۲) به دست می‌آید.

در این فرمول  $y$  متغیر وابسته و  $P(y)$  احتمال وقوع متغیر وابسته است.  $X$  بردار پارامترهای موثر بر وقوع متغیر وابسته است و  $\beta$  ضرایب پارامترها هستند. ضرایب موجود در رگرسیون لجستیک قابل تفسیر نیست، برای اینکه ضرایب این مدل مانند ضرایب مدل‌های رگرسیون خطی قابل تفسیر

$$P(y=0 | X=(X_1 : X_n)) = 1 - \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)}} = \frac{1}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)}} \quad (2)$$

حال اگر احتمال وقوع و احتمال عدم وقوع را برهم تقسیم کنیم، به رابطه (۳) می‌رسیم.

$$\frac{P(Y=1|X=(X_1: X_n))}{P(Y=0|X=(X_1: X_n))} = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)} \quad (3)$$

در این رابطه  $\frac{p(y=1)}{p(y=0)}$  نسبت احتمال وقوع به عدم وقوع است، که به آن نسبت بخت می‌گویند.

$$\text{Odds} = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)}$$

اگر از بخت پیشامد لگاریتم طبیعی بگیریم، لگاریتم بخت بدست می‌آید که به آن لاجیت می‌گویند. مقدار بخت از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$\ln(\text{odds}) = \text{logit} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (4)$$

باشد.

۲- متغیرهای مستقل می‌توانند هم در سطح کمی (فاصله‌ای یا نسبی) و هم در سطح کیفی طبقه بندی شده (اسمی یا ترتیبی) باشند.

۳- لزوم تبعیت داده‌های متغیرهای مستقل از توزیع نرمال ضروری نیست، اما چنانچه این متغیرها دارای توزیع نرمال باشند، در آن صورت برازش مدل بهتر خواهد بود.

۴- چند هم خطی نبودن متغیرهای مستقل، از دیگر مفروضات

مقدار لاجیت یک معادله خطی است که تفسیر آن ساده شده است [حبیب‌پور و صفری ۱۳۹۱]. از این رابطه برای مدل‌سازی احتمال عبور در این پژوهش استفاده شده است. در صورتی می‌توان از مدل لاجیت استفاده کرد که شرایط زیر برقرار باشد:

۱- متغیر وابسته حتما باید در سطح سنجش اسمی دو وجهی

### ۲-۳- محل مورد بررسی

محل مورد مطالعه مقطعی از یک بزرگراه در شهرستان محمودآباد استان مازندران است که سه دبیرستان پسرانه مجاور هم در حاشیه آن واقع شده است. این راه، دوطرفه‌ی جدا شده توسط میانه‌ای به عرض ۳/۲ متر است که در هر طرف آن دوخط عبور ۴/۵ متری وجود دارد که در شکل (۱) محدوده مورد بررسی، موقعیت مدارس و محل نصب دوربین در گوگل ارث نشان داده شده است.

رگرسیون لجستیک می‌باشد. چرا که در صورت چند هم خطی بودن این متغیرها، برآوردها دارای اریب بوده و خطاهای استاندارد نیز نوسان زیادی خواهند داشت [حبیب‌پور و صفری ۱۳۹۱]. پس از مدلسازی نیاز به بررسی دقت برازش مدل‌هاست که این کار با شاخص‌های مختلف صورت می‌گیرد. در این پژوهش برازش کلی مدل توسط آماره مربع کای بررسی شده است.



شکل ۱. محدوده مورد بررسی در گوگل ارث

### ۳-۳- جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های رفتار عبوری عابرین از طریق فیلم برداری از محل مورد بررسی جمع‌آوری شد. به این منظور یک دوربین با کیفیت بالا (۳۰ فریم بر ثانیه) در طبقه‌ی هفتم ساختمان مشرف بر محل مورد مطالعه نصب شد. فیلم برداری از ساعت ۷:۱۵ تا ۸ صبح در سه روز شنبه نهم، یکشنبه دهم و دوشنبه یازدهم اسفند ۱۳۹۳ انجام شد که در طول روزهای فیلم برداری شرایط آب و هوایی صاف و آفتابی بوده است. برای اندازه‌گیری دقیق متغیرها در مقطع مورد مطالعه ۱۲۰ متر از طول جاده با استفاده از رنگ به صورت مخفی علامت گذاری شد، به نحوی که در فیلم‌ها برای اندازه‌گیری فواصل قابل تشخیص باشد.

### ۴-۳- استخراج داده‌ها

در این پژوهش براساس تحقیقات پیشین عواملی که انتظار می‌رود احتمال عبور عابرین را تحت تاثیر قرار دهد به شرح جدول (۱) مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که به نظر می‌رسد عابر عبور از هر خط را به عنوان یک مرحله عبور مستقل در نظر می‌گیرد [Brewer(et al.),2006]؛ بنابراین هرخط از مسیر برای هر مورد جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین هر تک عابر یا گروهی از عابرین که با هم از عرض راه عبور می‌کنند یک مورد در نظر گرفته شد. فیلم‌های ضبط شده، توسط نرم افزار tracker فریم به فریم مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱. معرفی متغیرهای مدل احتمال عبور

نماد متغیر	متغیر	نوع متغیر	واحد یا کد متغیر	توضیحات
<b>STCROSS</b>	مرحله عبور	گسسته	خط نزدیک: ۰؛ خط دور: ۱	
<b>NOBSER</b>	تعداد مشاهدات عابر		تعداد مشاهدات عابر در خطوط مرزی برای قبول سرفاصله مناسب	
<b>GRSIZE</b>	اندازه مورد		تعداد	تعداد عابری که عبور می‌کند
<b>VTYPE</b>	نوع وسیله نقلیه		سبک: ۰؛ سنگین: ۱	
<b>CROSSING</b>	عبور کردن عابر		خیر: ۰؛ بله: ۱	
<b>FATM</b>	تعداد تلاش برای عبور		تعداد تلاش عابر برای قبول سرفاصله‌ی مناسب برای عبور	
<b>NVEHSPEED</b>	سرعت وسیله نقلیه خط نزدیک		پیوسته	کیلومتر بر ساعت
<b>FVEHSPEED</b>	سرعت وسیله نقلیه خط دور			
<b>NDISTANCE</b>	فاصله وسیله نقلیه خط نزدیک	متر		
<b>FDISTANCE</b>	فاصله وسیله نقلیه خط دور			
<b>WTIME</b>	زمان انتظار قبل از عبور	مدت زمانی که هر عابر در محدوده‌ی خطوط مرزی منتظر می‌ماند تا یک سرفاصله را بپذیرد.		
<b>TEGAPAC</b>	سرفاصله پذیرفته شده	ثانیه		اختلاف زمانی بین لحظه‌ای که عابر آماده عبور از عرض خیابان است و لحظه‌ای که جلوی وسیله نقلیه از خط مجازی عبور عابر می‌گذرد

حذف شدند. در این مدل، علاوه بر ۳۱۸ مورد سرفاصله‌ی پذیرفته شده، ۱۰۰ مورد سرفاصله‌ی رد شده که با انتخاب عابر بوده، ثبت گردید. یک مورد استخراج داده از فیلم ضبط شده در شکل نشان داده شده است.

در استخراج داده‌های مدل احتمال عبور، سرفاصله‌های رد شده‌ی دارای زمان صفر (سرفاصله‌هایی که همزمان با رسیدن عابر به لبه جاده، وسیله نقلیه نیز به روبروی عابر رسیده است) به دلیل دخیل نبودن تصمیم عابر در رد آن،



شکل ۲. یک نمونه استخراج داده از فیلم ضبط شده در داخل نرم افزار tracker

#### ۴- مدلسازی

##### ۴-۱- ساخت مدل

وسیله نقلیه رابطه دارد. از بین متغیرهایی که دو به دو با هم رابطه (هم خطی) داشتند، متغیرهای تعداد تلاش برای عبور، فاصله وسیله نقلیه خط نزدیک، تعداد مشاهدات عابر، سرعت وسیله نقلیه خط دور و مرحله‌ی عبور را به دلیل اینکه ضریب همبستگی کمتری با متغیر وابسته داشتند حذف و سپس فرایند مدلسازی با استفاده از متغیرهای مستقل باقی مانده انجام شد. در مدل اولیه‌ی رگرسیون لجستیک، با استفاده از نرم افزار SPSS، همه‌ی متغیرها (به جز متغیرهایی که با هم رابطه داشتند) با روش همزمان مورد بررسی قرار گرفتند. سپس متغیرهایی که تأثیر ناچیزی بر روی متغیر هدف مدل (قبول یا رد سرفاصله) داشتند ( $sig > 0.05$ )، از مدل کنار گذاشته شدند. در گام بعدی، مدل سازی با متغیرهای باقیمانده مجدداً انجام شد که مدل با بهترین برازش تعیین گردید و ضرایب متغیرهای مستقل و مقدار ثابت آنها محاسبه شدند. بنابراین احتمال عبور عابرین از عرض خیابان به صورت معادله (۵) می‌باشد.

به منظور مدلسازی و شناسایی عوامل موثر بر احتمال عبور عابرین پیاده از عرض جاده‌های برون‌شهری، از نرم افزار SPSS و مدل رگرسیون لجستیک دو وجهی مطابق معادله عمومی (۱) استفاده شده است. از آنجا که یکی از فرضیات مدل رگرسیون لجستیک همانند مدل خطی نبود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است، بنابراین جهت جلوگیری از همبستگی بین متغیرهای مستقل (هم خطی) و تأثیر منفی آن بر روی متغیر وابسته، از آزمون همبستگی پیرسون برای متغیرهای کمی و از آزمون کای دو برای متغیرهای اسمی استفاده شد. با بررسی نتایج ملاحظه گردید که در بین متغیرهای کمی متغیر تعداد تلاش برای عبور با تعداد مشاهدات عابر، سرفاصله‌ی پذیرفته شده با فاصله‌ی وسیله نقلیه خط نزدیک، تعداد مشاهدات عابر با زمان انتظار، تعداد تلاش برای عبور با زمان انتظار، فاصله‌ی وسیله نقلیه خط دور با سرعت وسیله نقلیه خط دور و سرعت وسیله نقلیه خط نزدیک با سرعت وسیله نقلیه خط دور رابطه داشته و در بین متغیرهای اسمی نیز متغیر مرحله‌ی عبور با متغیر نوع

$$\text{احتمال عبور از عرض خیابان} = \frac{e^U}{1+e^U} \quad (5)$$

$$U = -5.534 - .052 * WTIME + .034 * FDISTANCE + 1.254 * TEGAPAC$$

این عابر با احتمال ۱۹/۹۶ درصد با این شرایط از خیابان عبور خواهد کرد. با استفاده از مدل (۵) می‌توان احتمال عبور عابرین از عرض خیابان را در مکان‌های مشابه محاسبه کرد و در صورتی که عابرین با احتمال بالایی در سرفاصله‌های غیر ایمن از خیابان عبور می‌کنند، با استفاده از تسهیلات مناسب، از عبور عابرین از سطح راه جلوگیری به عمل آورد.

برای بیان صریح‌تر و روشن‌تر مدل بدست آمده، یک مثال ارائه می‌شود. با توجه به شکل (۳) اگر فرض شود یک عابر پیاده مدت زمان دو ثانیه برای عبور از عرض خیابان منتظر بماند و در یک لحظه سرفاصله‌ای به اندازه ۲/۲۵ ثانیه در خط نزدیک به عابر بوجود بیاید و همزمان وسیله نقلیه‌ای با فاصله‌ی ۴۲ متر از عابر در خط دور از عابر قرار داشته باشد، بر اساس مدل بدست آمده و جایگذاری مقادیر در معادله (۵)



شکل ۳. مثال مدل احتمال عبور

جدول ۲. آزمون اومنیوس و هاسمر - لمشو

سطح معناداری (sig)	کای دو	آزمون
۰/۰۰	۱۸۲/۴۹۴	امینیوس
۰/۹۴۷	۲/۷۹۴	هاسمر - لمشو

#### ۲-۴- ارزیابی مدل

دهنده‌ی تطابق بین تعداد موارد مشاهده شده و مورد انتظار برای دو طبقه عبور یا عدم عبور می‌باشد، آورده شده است. درصد آزمون هاسمر- لمشو ( $sig > 0.05$ )، نشان دهنده‌ی مناسب بودن برازش مدل نهایی می‌باشد.

جدول (۳) نتایج مربوط به دو آماره لگاریتم درست نمایی و ضریب تعیین پزودو (شامل ضریب تعیین کاکس و نل و ضریب تعیین نگل کرک) را نشان می‌دهد. این ضرایب،

در جدول (۲) نتایج آزمون اومنیوس مربوط به ارزیابی کل مدل رگرسیونی لجستیک و آزمون هاسمر-لمشو که نشان زمون اومنیوس به بررسی این موضوع می‌پردازد که مدل تا چه اندازه قدرت تبیین و کارایی دارد [حبیب‌پور و صفری ۱۳۹۱]؛ که با توجه به نتایج حاصل از آزمون اومنیوس، برازش مدل قابل قبول و در سطح خطای کوچک‌تر از ۰/۰۱ معنی‌دار است. همچنین سطح معناداری بیشتر از ۵



مستقل این مدل از قدرت تبیین مناسبی در خصوص واریانس و تغییرات متغیر وابسته‌ی احتمال عبور برخوردارند. در جدول ۴ صورت توافقی نسبت‌های پاسخ مشاهده شده در طبقات متغیر وابسته (قبول یا رد سرفاصله) را به پاسخ مورد انتظار در همان طبقات نشان می‌دهد. این جدول به ما کمک می‌کند تا میزان عملکرد پیش‌بینی‌پذیری مدل را ارزیابی کنیم. همانطور که در جدول ملاحظه می‌شود، درصد صحت پیش‌بینی مدل ۸۵/۹ درصد است. این مقدار صحت پیش‌بینی نشان می‌دهد که با اطمینان ۸۵/۹ درصد می‌توانیم بگوییم با استفاده از مجموع ۳ متغیر مستقل در این تحقیق، قادریم تغییرات متغیر وابسته‌ی عبور یا عدم عبور را تبیین کنیم. ضمن آن‌که اشتباه پیش‌بینی بدین صورت بوده است که ۴۳ مورد سرفاصله‌ی رد شده به اشتباه در گروه سرفاصله‌های قبول شده و ۱۶ مورد از سرفاصله‌های قبول شده به اشتباه در گروه سرفاصله‌های رد شده قرار گرفته‌اند.

تقریب‌های ضریب تعیین ( $R^2$ ) در رگرسیون خطی هستند که در این‌جا در رگرسیون لجستیک استفاده می‌شوند. در رگرسیون لجستیک، چون محاسبه‌ی دقیق مقدار ضریب تعیین دشوار است، بنابراین از مقادیر آماره‌های فوق برای این کار استفاده می‌شود تا مشخص گردد که متغیرهای مستقل توانسته‌اند تا چه میزان از واریانس متغیر وابسته را تبیین کنند. مقادیر آماره‌های ضریب تعیین پزودو بین ۰ تا ۱ نوسان دارد و هر چه مقدار این آماره‌ها به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان می‌دهد که نقش متغیرهای مستقل در تبیین واریانس متغیر وابسته زیاد است و برعکس، مقادیر نزدیک به ۰ دلالت بر نقش ضعیف متغیرها در این امر دارد. با توجه به اینکه از نظر خاتون و همکاران مقدار ۰/۴۱۷ برای ضریب تعیین نگل کرک مدل احتمال عبور کافی است [Khatoun, Tiwari and Chatterjee, 2013]. بنابراین با توجه به جدول (۳) و مقدار نگل کرک ۰/۵۳۰ می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای

جدول ۳. خلاصه مدل

ضریب تعیین نگل کرک	ضریب تعیین کاکس و نل	لگاریتم درست‌نمایی
۰/۵۳۰	۰/۳۵۴	۲۷۷/۴۶۹

جدول ۴. دقت پیش‌بینی مدل احتمال عبور

پیش‌بینی شده			مشاهده شده	
درصد درست	قبول یا رد سرفاصله			
	قبول	رد	رد	قبول یا رد سرفاصله
۵۷	۴۳	۵۷	رد	قبول یا رد سرفاصله
۹۵	۳۰۲	۱۶	قبول	
۸۵/۹			درصد کلی	

جدول ۵. ضرایب مدل اولیه‌ی رگرسیون لجستیک

نسبت بخت	سطح معنی داری	آماره‌ی والد	خطای استاندارد	ضریب	متغیر	نشانه متغیر
۰/۹۴۹	۰/۰۶۳	۳/۴۶۵	۰/۰۲۸	-۰/۰۵۳	زمان انتظار	WTIME
۱/۰۳۳	۰/۰۰۰	۴۷/۵۹۳	۰/۰۰۵	۰/۰۳۳	فاصله وسیله نقلیه خط دور	FDISTANCE
۳/۵۶۴	۰/۰۰۰	۶۳/۰۸۰	۰/۱۶۰	۱/۲۷۱	سرفاصله قابل قبول	TEGAPAC
۰/۹۴۲	۰/۸۱۱	۰/۰۵۷	۰/۲۴۹	-۰/۰۵۹	اندازه گروه	GRSIZE
۱/۶۸۳E۸	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۱۰۲۲۲/۱۶۶	۱۸/۹۴۱	نوع وسیله نقلیه	VETYPE
۰/۹۷۸	۰/۱۴۸	۲/۰۸۸	۰/۰۱۶	-۰/۰۲۳	سرعت وسیله نقلیه خط نزدیک	NSPEED
۰/۰۲۲	۰/۰۰۶	۷/۶۱۹	۱/۳۸۵	-۳/۸۲۲	مقدار ثابت	Constant

جدول ۶. ضرایب مدل نهایی رگرسیون لجستیک

نسبت بخت	سطح معنی داری	آماره‌ی والد	خطای استاندارد	ضریب B	متغیر	نشانه متغیر
۰/۹۴۹	۰/۰۵۸	۳/۳۳۰	۰/۰۲۸	-۰/۰۵۲	زمان انتظار	WTIME
۱/۰۳۵	۰/۰۰۰	۶۰/۲۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۳۴	فاصله وسیله نقلیه خط دور	FDISTANCE
۳/۵۰۵	۰/۰۰۰	۶۳/۲۶۷	۰/۱۵۸	۱/۲۵۴	سرفاصله قابل قبول	TEGAPAC
۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۵۹/۶۴۵	۰/۷۱۷	-۵/۵۳۴	مقدار ثابت	Constant

## ۵- تفسیر نتایج مدل‌سازی

مقدار سرفاصله بر احتمال عبور عابرین از عرض جاده تاثیر گذارند. از جدول (۶) و نسبت بخت می‌توان مشاهده کرد که سرفاصله قابل قبول بیشترین اثر را در احتمال عبور عابرین پیاده دارد. نسبت بخت این متغیر برابر با ۳/۵۰۵ است که نشان می‌دهد با افزایش مقدار سرفاصله، احتمال عبور عابرین به اندازه ۳/۵۰۵ برابر و یا بیش از سه و نیم برابر افزایش می‌یابد که این نتیجه با مشاهدات یانیس و همکاران (۲۰۱۳)، خاتون و همکاران (۲۰۱۳) و سراگ (۲۰۱۴) نیز همخوان

جدول (۵) ضرایب متغیرهای مستقل را در مدل اولیه‌ی رگرسیون لجستیک و جدول (۶) ضرایب متغیرهای مستقل را در مدل نهایی رگرسیون لجستیک نشان می‌دهند. این جدول، مهم‌ترین جدول در تفسیر نتایج مربوط به معنی داری و میزان تاثیر هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته می‌باشد. نتایج حاصل از مدل نهایی جدول (۶) نشان داد که از بین متغیرهای در نظر گرفته شده، با توجه به سطح معناداری کوچکتر از ۵ درصد، متغیرهای زمان انتظار، فاصله وسیله نقلیه خط دور و

رفتار را می‌توان این‌گونه بیان کرد که عابرین پیاده در سرعت‌های بالای عبور وسایل نقلیه قادر به تشخیص سرعت نبوده و بر اساس سرفاصله موجود، تصمیم به عبور از عرض خیابان می‌گیرند. با توجه به اینکه عابرین پیاده هنگام عبور از عرض خیابان قادر به تشخیص سرعت وسایل نقلیه نیستند و این امر خطرات جدی را برای جان دانش‌آموزان در پی دارد می‌توان با مکان‌یابی صحیح تابلوها و سرعت‌کاه‌ها و همچنین آرام‌سازی ترافیک در حوالی مدارس، به نحوی که سرفاصله‌ی بیشتری برای عبور دانش‌آموزان فراهم شود؛ رفتار پر خطر دانش‌آموزان را به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

می‌باشد. دومین عامل موثر بر احتمال عبور عابرین فاصله وسیله نقلیه خط دور، از عابرین می‌باشد که نسبت بخت این متغیر ۱/۰۳۵ می‌باشد، یعنی با افزایش فاصله وسیله نقلیه خط دور از عابر احتمال عبور عابر به اندازه ۱/۰۳۵ و بیش از یک برابر افزایش می‌یابد که مشاهدات نصیری و ساجد (۱۳۸۱) نیز در همین راستا بوده است. اما متغیری که کم‌ترین تاثیر را بر احتمال عبور دارد، زمان انتظار قبل از عبور می‌باشد که با افزایش زمان انتظار، احتمال عبور عابرین کاهش می‌یابد که این نتیجه در تحقیقات سان و همکاران (۲۰۰۳) و یانیس و همکاران (۲۰۱۳) نیز مشاهده گردید. در حالیکه بدلی و همکاران (۲۰۱۳) معتقدند با افزایش زمان انتظار، عابرین بی‌حوصله شده و احتمال عبور غیر قانونی آن‌ها افزایش می‌یابد.

به طور خلاصه، احتمال عبور عابرین زمانی بیشتر است که :

۱- سرفاصله‌ی موجود بیش‌تر باشد

۲- فاصله‌ی وسیله نقلیه خط دور از عابر بیش‌تر باشد.

۳- زمان انتظار عابر قبل از عبور کم‌تر باشد.

#### ۷- پی‌نوشت‌ها

1. Interaction
2. Uncontrolled Mid-block Crosswalks
3. Unsafe road crossing
4. Bayesian networks
5. Highway Capacity Manual

#### ۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش عوامل موثر بر احتمال عبور دانش‌آموزان از عرض جاده‌های برون شهری برای ۳ مدرسه در شهرستان محمودآباد استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت که برای شناسایی عوامل موثر در احتمال عبور دانش‌آموزان از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد. نتایج نشان داد که از بین متغیرهای در نظر گرفته شده، با توجه به سطح معناداری کوچکتر از ۵ درصد، متغیرهای زمان انتظار، فاصله وسیله نقلیه خط دور و مقدار سرفاصله بر احتمال عبور عابرین از عرض جاده تاثیر گذارند؛ همچنین بر اساس نتایج مدل‌سازی مشخص شد که از بین متغیرهای معنادار، سرفاصله قابل قبول بیشترین تاثیر و زمان انتظار قبل از عبور کمترین تاثیر را در احتمال عبور عابرین داشته است. در این پژوهش مشخص شد که احتمال عبور عابرین از عرض خیابان به مقدار سرفاصله وابسته است و نه به سرعت وسایل نقلیه. دلیل این

#### ۸- مراجع

- سازمان پزشکی قانونی ایران، (۱۳۹۳). "گروه آمار سازمان پزشکی قانونی کشور"، [www.lmo.ir](http://www.lmo.ir).
- حبیب‌پور، ک.، صفری، ر. (۱۳۹۱). "راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی، متفکران، تهران.
- نصیری، ح. ساجد عموقین، ی.، (۱۳۸۱). "بررسی و شناسایی عوامل موثر بر تصادف عابرین پیاده در ایران و مدل‌سازی رفتار آن‌ها به هنگام عبور از عرض خیابان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.
- Arman, M. A., Rafe, A. and Kretz, T. (2014), "Pedestrian Gap Acceptance Behavior, A Case Study: Tehran, Conference: Annual Meeting of the

OECD/ECMT Transport research center. Speed management report. Paris, (2006).

-Pawar, D. and Patil, G. (2015), "Pedestrian temporal and spatial gap acceptance at mid-block street crossing in developing world", *Journal of Safety Research*, Volume 52, pp.39-46.

-Serag, M.S. (2014), "Modeling pedestrian road crossing at uncontrolled mid-block locations in developing countries". *International Journal of civil and structural Engineering*, ISSN. 0976 – 4399, Volume 4, No 3.

-Sun, D., Ukkusuri, S.V.S.K., Benekohal, R. F. and Waller, S. T. (2003), "Modeling of Motorist-Pedestrian Interaction at Uncontrolled Mid-block Crosswalks", 82nd Annual Transportation Research Board Meeting.

-Yannis, G. Papadimitriou, E. and Theofilatos, A. (2013), "Pedestrian gap acceptance for mid-block street crossing". *Transportation Planning and Technology*, Vol. 36, No. 5, pp.450-462.

Transportation Research Board", At Washington DC, Volume, 94.

- Bedeley, R.T., Attoh-Okine, N.O. and Lee, E.R. (2011), "Modeling pedestrian crossing behavior using Bayesian networks, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers- transport*", Volume 166, Issue TR5, ISSN: 0965-092X.

- Brewer M. A., Fitzpatrick K., Whitacre J. A. and Lord, D. (2006), "Exploration of pedestrian gap-acceptance behavior at selected locations", *Transportation research record 1982, Journal of the transportation research board, Washington D.C.*, pp. 132-140.

- Clifton, K. J. and Fults, K. (2007), "An examination of the environmental attributes associated with pedestrian-vehicular crashes near public schools, *Accident Analysis and Prevention*, Volume 39, Issue 4, pp. 708-715.

- Khatoon, M., Tiwari, G. and Chatterjee, N. (2013), "Modeling of pedestrian unsafe road crossing behavior: A comparison at a signalized and a non-3 signalized crosswalk, In *TRB 92nd Annual Meeting*" (No. 13-4086).