

مدلسازی رفتار تردید رانندگان در انتخاب عبور یا توقف پس از زمان زرد در تقاطع‌های چراغدار با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی (مطالعه موردی شهر قزوین)

علیرضا عبدالرزاقی، کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

بابک میربهاء (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

امیرعباس رصافی، دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

E-mail: mirbaha@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۶ پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۹

چکیده

رانندگان در پایان زمان سبز هر فاز حرکتی و در شرایط تغییر به زمان قرمز با تردید در خصوص توقف یا ادامه مسیر روبرو می‌شوند و این امکان وجود دارد که در زمان زرد فاز یا حتی ثانیه‌های ابتدایی زمان قرمز اقدام به عبور نمایند که این امر می‌تواند همواره باریک‌بالی برخورد در تقاطع همراه گردد. در این مطالعه پس از برداشت داده‌های واقعی از چهار تقاطع چراغدار شهر قزوین، با استفاده از دوربین‌های نظارت تصویری و نرم‌افزار چراغ‌های هوشمند مرکزی در دو زمان اوج و غیر اوج ترافیک و شرایط جوی بارانی و آفتابی و همچنین با توجه به مفهوم عدم اطمینان تصمیم‌گیری رانندگان در توقف و عبور از چراغ زرد و چراغ قرمز (۲ ثانیه ابتدایی) نسبت به تحلیل ریسک‌پذیری رانندگان از تقاطع در فاز زرد و قرمز با استفاده از مدل لوجیت دوتایی و ترکیبی اقدام شد. نتایج مدل‌ها نشان داد که مدل لوجیت ترکیبی نسبت به مدل لوجیت باینری دقت بالاتری جهت پیش‌بینی رفتار رانندگان را دارد. همچنین نتایج بدست آمده از مدل‌ها حاکی از آن است که وجود عابر پیاده در سواره‌رو و فاصله خودرو از خط ایست در ابتدای فاز زرد و افزایش سرفاصله مکانی خودرو و مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر توقف رانندگان در فاز زرد و یا قرمز است. همین‌طور افزایش سرعت خودرو و زمان انتظار راننده (مدت زمان قرمز رویکرد) مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عبور رانندگان در فاز زرد و یا قرمز هستند. یکی از نوآوری‌های این تحقیق بررسی تأثیر سلیقه رانندگان در عبور یا توقف از چراغ با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی است. پارامتر تصادفی در این مدل فاصله از تقاطع در ابتدای چراغ زرد است. همچنین نتایج این مدل ناحیه تردید را تصریح می‌کند و همین‌طور می‌توان دریافت که فاصله بلاتکلیفی برای رانندگان دارای یک ضریب تصادفی متناسب با سلیقه فرد است و ضریب متغیر فاصله از چراغ زرد دارای یک توزیع نرمال است و بین رانندگان این ضریب تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تخلف، رفتار رانندگان، لوجیت ترکیب

در ۲ یا ۳ ثانیه اول فاز قرمز با توجه به شرایط ترافیکی (بوئزه در ترافیک کم) تصمیم به عبور می‌گیرند [Lum and Tan, 2003]. مقاله پیش رو از میان مجموعه پژوهش‌های رفتاری، بروی رفتار رانندگان در برابر چراغ زرد در ساعات اوج و غیراوج ترافیک و در شرایط مختلف جوی به عنوان یک مسئله شناختی در برابر رفتار آنان در تقاطع‌های چراغ‌دار متمرکز می‌شود. رفتار رانندگان در این شرایط وابسته به عوامل متعددی است. در پژوهشی رفتار رانندگان در فاز زرد تقسیم‌بندی‌های ذیل انجام می‌شود [Lum and Tan, 2003]:

۱) راننده‌ای که می‌تواند در طول چراغ زرد عبور نماید اما به دلیل کاهش سرعت خود در طول چراغ قرمز عبور می‌کند.
۲) راننده‌ای که نمی‌تواند در در ابتدای چراغ قرمز توقف نماید و عبور می‌کند.

۳) راننده‌ای که می‌تواند در ابتدای چراغ قرمز توقف نماید اما عبور از چراغ قرمز را انتخاب می‌کند.

در این پژوهش متغیرهای محیطی به عنوان متغیرهای اصلی در تصمیم‌گیری راننده مورد تحلیل قرار گرفته است. اطلاعات لازم از تصاویر ویدیویی چهار تقاطع با ویژگی‌های فیزیکی مختلف و در شرایط جوی صاف و بارانی جمع‌آوری شد و اطلاعات چراغ‌ها نیز با استفاده از خروجی‌های برنامه SCATS^۳ در هر سیکل مورد استفاده قرار گرفت. زمانی که چراغ زرد می‌شود احتمال تصادفی بودن و یا عدم اطمینان در انتخاب عبور و یا توقف افزایش می‌یابد. به همین منظور رفتار عبور یا توقف رانندگان با استفاده از مدل لوجیت باینری و ترکیبی تحلیل شد. در ادامه، به سوالات زیر پاسخ داده می‌شود:

۱. چه عواملی بر رفتار رانندگان در تقاطع‌های زمان بندی شده به هنگام شروع زمان زرد چراغ و ابتدای زمان قرمز (۲ ثانیه ابتدایی) تأثیرگذار است؟

۲. کدام متغیرها بر عبور رانندگان در تقاطع‌های زمان بندی شده در فاز زرد چراغ و ابتدای زمان قرمز (۲ ثانیه ابتدایی) تأثیرگذاری بیشتری دارند؟

۱. مقدمه

بررسی رفتار رانندگان در زمان زرد و ابتدای زمان قرمز در تقاطع‌های زمان بندی شده، نقش مهمی در بالا بردن ظرفیت تقاطع و جلوگیری از تصادفات و کاهش تأخیر وسایل نقلیه ایفای می‌کند. رانندگان در تقاطع‌ها چراغ‌دار به دقت بالا و شناخت مؤثر و ایمن نیاز دارند. رانندگان باید مخصوصاً در ابتدای زمان زرد تصمیم‌گیری سریعی داشته باشند. در ابتدای فاز زرد رانندگان اغلب در شرایط تردید قرار می‌گیرند، جایی که رانندگان به راحتی نمی‌توانند قبل از شروع فاز قرمز بدون تغییر شتاب زیاد قبل از خط ایست توقف کنند [Gazis, Herman and Maradudin, 1960]. در چنین شرایطی خطای رانندگان یک فاکتور اصلی در جهت بروز تصادفات جرحی و فوتی در تقاطع است [Savolainen, 2016].

در تقاطع‌های زمان بندی شده با شروع زمان زرد برای رانندگانی که در حال نزدیک شدن به تقاطع هستند، دو انتخاب یا تصمیم وجود خواهد داشت، یا به حرکت خود ادامه داده و از تقاطع عبور کنند و یا با ترمز کردن توقف نمایند. در این موقع برای هر وسیله نقلیه با توجه به سرعت و فاصله اش از تقاطع محدوده ای قبل از تقاطع به وجود می‌آید که هر راننده در صورت قرار گرفتن در این محدوده، در صورتیکه اقدام به عبور از تقاطع کند قادر نخواهد بود که به موقع و قبل از اتمام زمان زرد از تقاطع عبور کرده و آن را تخلیه کند و در صورتی که اقدام به توقف کند، این توقف بسیار ناگهانی و شدید خواهد بود. این محدوده را بنا به تعریف حوزه بلا تکلیفی و یا ناحیه تردید می‌نامند [Stimpson, Zador and Tarnoff, 1980].

لوم^۲ و همکارانش نشان دادند که تردید رانندگان با تغییر فاز چراغ راهنمایی در مرحله فاز زرد، می‌تواند مشکلاتی را برای آنها ایجاد کند. به طوری که رانندگان ابتدا سرعت خود را کم می‌کنند و پس از آن در صورت پیدا کردن فرصت عبور از تقاطع

مدلسازی رفتار تردید رانندگان در انتخاب عبور یا توقف پس از زمان زرد در تقاطع‌های چراغدار ...

در ادامه ال-شربی و همکاران در مقاله‌ای به منظور بررسی تأثیر فاصله از تقاطع، سن و جنسیت در رفتار رانندگان در شروع فاز زرد، ۶۰ راننده را در دو گروه سنی جوان و پیر مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از سیستم مکان‌دهی جهانی و اکتساب اطلاعات از وضعیت ترمز خودروها به جمع‌آوری داده پرداختند و با استفاده از آزمون مربع کای (χ^2) تجزیه و تحلیل اطلاعات را انجام دادند. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، حرکت و توقف رانندگان در آغاز زمان زرد در سرعت‌های بالا به فاصله از تقاطع، جنسیت و سن وابسته است و همچنین هرچه فاصله خودرو از تقاطع در ابتدای چراغ زرد بیشتر باشد، احتمال توقف راننده افزایش می‌یابد [El-Shawarby et al. 2007]. تحقیقات پایپونو^۶ نشان می‌دهد که رانندگانی که بیش از سرعت مجاز رویکرد حرکت می‌کنند، بیشتر در ناحیه تردید گرفتار می‌شوند که این امر باعث می‌شود راننده مجبور به گرفتن تصمیم‌های غیر ایمن در شروع فاز زرد گردد [Papaioannou, 2007]. در تحقیق المتری^۷ متغیرهای فاصله از خط ایست، سرعت عملکردی و وضعیت جوی براساس تحلیل داده‌ها بر پایه تصاویر ویدئویی (در تقاطع‌ها با سرعت بالا) مورد بررسی قرار گرفت. المتری دریافت که متغیرهای مذکور بر تخلف از چراغ قرمز و عبور و یا توقف در طول چراغ زرد به طور مستقیم تأثیرگذار هستند [Elmitiny et al. 2010].

پژوهش‌های پیشین در مورد عبور از چراغ قرمز بیان می‌کنند که بیشتر موارد عبور از چراغ قرمز به ناحیه تردید مربوط می‌شود که در این ناحیه راننده نمی‌تواند تصمیم درستی در جهت توقف/عبور بگیرد [Jahangiri, Rakha and Dingus, 2016]. همچنین تحلیل رفتار عبور از چراغ قرمز رانندگان در شانگ-های چین نشان داد که حدود ۹۶ درصد رانندگان در ۳،۴ ثانیه پس از زمان قرمز رخ می‌دهد، همچنین وانگ و همکاران با استفاده از مدل لجیت احتمال عبور رانندگان از چراغ قرمز را بررسی کرده‌اند [Wang, Yu, and Zhong, 2016].

۳. آیا عبور و یا توقف راننده در فاز زرد و یا ابتدای فاز قرمز (۲ ثانیه ابتدایی) با سلیقه فرد مرتبط است؟
 ۴. ضریب و توزیع پارامتر تصادفی تأثیرگذار بر رفتار رانندگان چه مقدار است؟

۲. پیشینه تحقیق

محققان، پژوهش‌های فراوانی درباره رفتار رانندگان در تقاطع‌ها برای کاهش برخوردها انجام داده‌اند. اغلب پژوهش‌ها بر روی رفتار رانندگان در ناحیه تردید تمرکز دارد. ناحیه‌ای که رانندگان باید به سرعت تصمیم بگیرند که آیا به شکل ایمن می‌توانند از تقاطع عبور کنند یا نه [Savolainen, 2016]؟ این مطالعات میزان تأثیرگذاری متغیرهای مختلف موجود در تقاطع را بر تصمیم‌گیری رانندگان در عبور و یا توقف از تقاطع در ابتدای زمان زرد و قرمز ارزیابی می‌کنند. در صورت تصمیم‌گیری دیر هنگام به عبور از تقاطع احتمال تصادف به دلیل عبور از چراغ قرمز افزایش می‌یابد، در حالی که تصمیم‌گیری زودهنگام به توقف احتمال تصادف با خودرو عقبی را افزایش می‌دهد. اولین تحقیق در این زمینه در سال ۱۹۷۶ توسط کونسینی^۸ و همکاران انجام شد، آن‌ها دریافتند که بین فاصله خودرو از تقاطع در ابتدای چراغ زرد و سرعت خودرو با عبور و یا توقف خودرو از تقاطع ارتباط وجود دارد آن‌ها دریافتند که جوانان در فاصله ۴۰ تا ۵۵ متری از تقاطع در هنگام تغییر رنگ چراغ از زرد به قرمز، بیشتر از دیگران مرتکب تخلف در چراغ قرمز می‌شوند [Konecni, Ebbeson and Konecni, 1976].

براساس مطالعه تجربی ۸ تقاطع در شهر مدیسون ایالت ویسکانسین، تصمیم رانندگان تنها تحت تأثیر شرایط حرکتی راننده (همچون سرعت، فاصله از خط ایست) نیست بلکه تحت تأثیر شرایط محیط نیز هست. آن‌ها دریافتند که ۸۵ درصد رانندگان که در فاصله زمانی ۲/۷۲ ثانیه از تقاطع در ابتدای چراغ زرد قرار داشتند، عبور را انتخاب کرده‌اند [Gates et al. 2007].

وضعیت برفی شروع ناحیه تردید از خط ایست ۹ فوت و انتهای آن به ۲۲ فوت افزایش پیدا کرد [Sharma, Burnett and Bullock, 2010]. پژوهش های پیشین درباره تصمیم به عبور و یا توقف در ابتدای چراغ زرد بر توسعه مدل های تخمین گرایش عبور از چراغ زرد که تابع سرعت رانندگی، فاصله از خط ایست و ویژگی های جمعیت شناسی (همچون جنسیت و سن) بود، تأکید می کرد [Haque et al. 2016]. سنی ۱۳ و همکاران در تحلیل زمان عکس العمل و انجام ترمز در سرعت های بالا در شروع فاز زرد از ۶۰ کاربر استفاده کردند آن ها نتیجه گرفتند که ۸۵ درصد از نمونه ها زمان عکس العملی برابر ۱ ثانیه داشتند. همین طور آن ها پیشنهاد کردند که زمان عکس العمل تا انجام ترمز را بین ۲,۲ تا ۴,۴ ثانیه در نظر گرفته شود. آن ها همین طور اثبات کردند که مدل های زمان عکس العمل تا انجام ترمز رانندگان از توزیع لگاریتمی نرمال و توزیع بتا پیروی می کنند در نتیجه در صورتی که رانندگان کمتر از ۳,۲ ثانیه از تقاطع فاصله زمانی داشته باشند و در این فاصله زمانی چراغ زرد را مشاهده نمایند، در انتهای فاز زرد و یا ابتدای فاز قرمز از تقاطع عبور می کنند [Setti, Rakha and El-Shawarby, 2006]. با توجه به مطالعات انجام شده در پژوهش های مختلف به نظر می رسد زمانی که چراغ زرد می شود احتمال تصادفی بودن و یا عدم اطمینان در انتخاب عبور و یا توقف افزایش می یابد و همچنین در تحقیقات محققین مشاهده شد که عوامل تأثیر گذار در رفتار رانندگان در فاز زرد و ثانیه های ابتدایی چراغ قرمز علاوه بر شرایط مختلف محیطی به سلیقه راننده وابسته است. بسیاری از مطالعات انجام شده نشان داد که میزان فاصله از تقاطع و سرعت خودرو در ابتدای فاز زرد سبب تصمیم رانندگان مبنی بر عبور به هر نحوی از تقاطع می گردد، این در حالی است که فاصله از تقاطع در فاز زرد می تواند برای هر راننده دارای ضریبی متفاوت باشد. در این مطالعه با توجه به داده های مرتبط با رفتار رانندگی در ایران نسبت به بررسی احتمال تصادفی بودن و یا عدم اطمینان در انتخاب عبور و یا توقف متناسب با سلیقه فرد

لانگ ۸ و همکاران با مطالعه ای که بر روی تأثیر ثانیه شمار معکوس چراغ راهنمایی در فاز زرد در چهار تقاطع شهری از شهرستان شانگشای نشان دادند هنگامی که ثانیه شمار معکوس در تقاطع وجود دارد، رانندگان بیشتر تمایل به عبور از تقاطع پس از شروع فاز زرد را دارند [Long et al. 2011]. همینطور یانگ ۹ و همکاران پژوهشی در مورد تأثیر معکوس شمار بر رفتار رانندگان در تقاطع ها در فاز زرد انجام دادند، که با بهره گیری از رگرسیون لجستیک و الگوریتم های درخت تصمیم گیری فازی، مشخص شد که احتمال توقف وسیله نقلیه در تقاطع بدون ثانیه شمار معکوس چراغ راهنمایی بیشتر از همان تقاطع با وجود این دستگاه است. طبق نظر آنها با ساخت مدل درخت تصمیم گیری می توان دریافت که فاصله وسیله نقلیه از خط توقف بیشترین اثر را بر تصمیم گیری رانندگان دارد [Yang et al. 2014]. همچنین کاربرد ۱۱ و همکاران در شبیه سازی رانندگی، رفتار رانندگان جوان و پیر در شروع زمان زرد در تقاطع های چراغ دار را مورد بررسی قرار دادند، آن ها دریافتند که هر چه فاصله زمانی رانندگان از خط توقف بیشتر باشد، تمایل تمامی رانندگان به عبور از چراغ زرد کاهش می یابد [Caird et al. 2007]. همین طور کیم ۱۲ و همکاران با استفاده از آزمایش شبیه ساز رانندگی و با استفاده از مدل لوجیت دوتایی به مطالعه ترکیب عوامل محیطی مانند ویژگی های ترافیکی و نظارتی جاده پرداختند که باعث ایجاد یک مدل واقع بینانه تر برای تصمیم گیری راننده در ناحیه تردید گردید. نتایج تجربی نشان دادند که مدل ناحیه تردید پیشنهاد شده قادر به پیش بینی تصمیمات رانندگان با دقت خوبی بود. به طور خاص، مدل یافته از مطالعه شبیه ساز رانندگی تأیید کرد که تغییرات در شرایط محیطی جاده، تعداد موارد عبور از چراغ قرمز رادر تقاطع می تواند کاهش دهد [Kim et al. 2015].

در مطالعه ای تأثیر وضعیت بارانی و برفی را برای اندازه ناحیه تردید بررسی کردند در شرایط بارانی ابتدای ناحیه تردید ۲ فوت و انتهای ناحیه ۵ فوت بصورت تقریبی افزایش پیدا کرد و در

مدلسازی رفتار تردید رانندگان در انتخاب عبور یا توقف پس از زمان زرد در تقاطع‌های چراغدار ...

درصد در نظر گرفته می‌شود. براساس رابطه (۱) و با در نظر گرفتن جمعیت ۳۸۱۵۹۸ نفری شهر قزوین برای جامعه آماری و سطح اطمینان ۹۵ درصد، ۱/۹۶ بوده و حداقل نمونه لازم برای انجام پژوهش، ۳۸۴ مشاهده است. در این تحقیق ۵۸۹ وسیله نقلیه به عنوان حجم نمونه انتخاب و در آن، وضعیت عبور و یا توقف پشت چراغ به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل شامل ۴ دسته ویژگی‌های زمان‌بندی (میزان زمان سپری شده از فاز قرمز)، شرایط فیزیکی (میزان طول عبور خودرو در تقاطع)، شرایط ترافیکی (وجود و یا عدم وجود عابر پیاده در سواره رو، سرعت متوسط در ابتدای فاز زرد و همینطور در فاصله ۲۰ متری از تقاطع، سرفاصله مکانی خودرو، فاصله خودرو از خط توقف در ابتدای فاز زرد) و ویژگی‌های جوی (میزان بارش باران) دسته‌بندی می‌شوند [Gates and Noyce, 2010; Huang, Fujita and Wisetjindawat, 2017; Hurwitz et al. 2010]. در مجموع افرادی که مورد بررسی قرار گرفتند ۵۰ درصد رانندگان توقف و ۵۰ درصد رانندگان عبور را انتخاب کردند و همینطور ۵۳ درصد در شرایط بارانی و ۴۷ درصد در شرایط آفتابی تصمیم به عبور گرفتند. هرچه میزان سرفاصله مکانی خودروها در فاز زرد افزایش یابد احتمال تخلف راننده کاهش می‌یابد. با توجه به داده‌های آماری این پژوهش، در سرفاصله مکانی کمتر از ۵ متر، وضعیت بارانی و آفتابی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر تصمیم رانندگان مبنی بر عبور و یا توقف از تقاطع ندارد ولی در فاصله بین ۵ تا ۱۰ متری در وضعیت جوی آفتابی سبب توقف تنها ۲۹ درصد از رانندگان می‌شود. در حالتی که در وضعیت جوی بارانی این تصمیم‌گیری مبنی بر توقف به ۶۱ درصد می‌رسد. نشانگر این است که وضعیت جوی بارانی در فاصله ۵ تا ۱۰ متری تاثیر مثبت بر توقف رانندگان دارد. در جدول (۱) میزان همبستگی متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش ذکر گردیده و همچنین در جدول (۲) توزیع آماری تمامی متغیرها به تشریح ارائه شده است.

اقدام می‌گردد. در ادامه فرآیند و روش انجام تحقیق تشریح شده است.

۳. داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از رویکرد مبنی بر فیلمبرداری ویدئویی در جهت برداشت اطلاعات استفاده شده است (شکل (۱)). چهار تقاطع از شهر قزوین که دارای مشخصات فیزیکی و ترافیکی متفاوت بودند برای جمع‌آوری داده‌ها انتخاب شدند. آماربرداری در ۴ روز کاری در ساعات ۹ الی ۱۰ (غیراوج) و ۱۲ الی ۱۳ (اوج) انجام گرفت. تقاطع‌ها در دو حالت ساعت اوج و غیراوج ترافیک و همینطور در دو شرایط جوی بارانی و آفتابی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌ها از چهار تقاطع شهدا (تقاطع ۳ فاز)، فلسطین (تقاطع ۳ فاز)، عدل (تقاطع ۲ فاز)، نظام وفا (تقاطع ۲ فاز) که دارای ویژگی‌هایی متفاوت هستند، در شهر قزوین بدست آمده است (شکل (۲)). برای بررسی رفتار یک جامعه، از آنجا که بررسی کل جامعه با توجه به محدودیت‌های زمان و بودجه امکان‌پذیر نیست، باید قسمتی از جامعه آماری مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. تخمین هر مدل آماری به تعداد درجه آزادی مطمئن نیاز دارد. کافی نبودن تعداد نمونه آماری، باعث ایجاد نتایج ناسازگار، غیر قابل اطمینان می‌شود. حداقل تعداد نمونه آماری مورد نیاز، با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است

[Hensher, Rose and Greene, 2005]:

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{n} \left(\frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

که در آن، N تعداد جامعه آماری، n حجم نمونه، Z مقدار متغیر نرمال (واحد استاندارد) است. همچنین p مقدار صفت موجود در جامعه است که اگر در اختیار نباشد می‌توان براساس پیشنهاد کوکران، مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شود. در این حالت، مقدار پراکنش به حداکثر مقدار خود می‌رسد. q نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین $(p-1)$ است و d مقدار خطای مجاز که معمولاً ۵

علیرضا عبدالرزاقی، بابک میربهاء، امیرعباس رصافی



شکل ۱. تصاویر دوربین های نظارت تصویری مورد استفاده



شکل ۲. موقعیت تقاطع های انتخاب شده در شهر قزوین

مدلسازی رفتار تردید رانندگان در انتخاب عبور یا توقف پس از زمان زرد در تقاطع‌های چراغدار ...

جدول ۱. میزان همبستگی متغیرهای مستقل

		BARESH	Distance inter	CYCLE	PHASE	Effective green time
BARESH	Pearson Correlation	۱	۰/۰۱۵	-۰/۱۹۹	-۰/۰۴۷	-۰/۲۲۲
	Sig. (2-tailed)		۰/۶۱۱	۰/۰۰۰	۰/۱۰۳	۰/۰۰۰
Distance inter	Pearson Correlation	۰/۰۱۵	۱	۰/۶۶۷	۰/۹۴۹	۰/۰۲۸
	Sig. (2-tailed)	۰/۶۱۱		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۲۶
CYCLE	Pearson Correlation	-۰/۱۹۹	-۰/۶۶۷	۱	۰/۵۸۴	۰/۶۵۷
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
PHASE	Pearson Correlation	-۰/۰۴۷	-۰/۹۴۹	۰/۵۸۴	۱	-۰/۰۰۶
	Sig. (2-tailed)	۰/۱۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۰/۰۳۸
Effective green time	Pearson Correlation	-۰/۲۲۲	۰/۰۲۸	۰/۶۵۷	-۰/۰۰۶	۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۳۲۶	۰/۰۰۰	۰/۰۳۸	
redtime	Pearson Correlation	-۰/۱۴۶	-۰/۸۴۴	۰/۹۲۱	۰/۷۵۸	۰/۳۴۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
HEADWAY	Pearson Correlation	۰/۱۰۱	-۰/۰۱۹	-۰/۱۸	-۰/۰۲	-۰/۲۵۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۵۰۴	۰/۰۰۰	۰/۴۹۴	۰/۰۰۰
Disyell	Pearson Correlation	۰/۱۴۴	۰/۰۸۷	-۰/۱۷۳	-۰/۱۵۴	-۰/۱۸۷
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
speedyell	Pearson Correlation	۰/۰۱۶	-۰/۰۱۱	-۰/۲۷۷	۰/۰۰۲	-۰/۳۷۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۵۸۳	۰/۶۹۹	۰/۰۰۰	۰/۹۳۴	۰/۰۰۰
SPEED20	Pearson Correlation	۰/۰۳۷	۰/۰۱۱	-۰/۲۹۵	-۰/۰۰۱	-۰/۳۷۳
	Sig. (2-tailed)	۰/۲۰۵	۰/۷۰۸	۰/۰۰۰	۰/۹۸۱	۰/۰۰۰
PED	Pearson Correlation	-۰/۱۷۳	۰/۱۱۳	۰/۲۳۱	-۰/۱۳۱	۰/۴۵۲
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

ادامه جدول ۱. میزان همبستگی متغیرهای مستقل

		redtime	HEADWAY	Disyell	speedyell	SPEED20	PED
BARESH	Pearson Correlation	-۰/۱۴۶	۰/۱۰۱	۰/۱۴۴	۰/۰۱۶	۰/۰۳۷	-۰/۱۷۳
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۸۳	۰/۲۰۵	۰/۰۰۰
Distance inter	Pearson Correlation	۰/۸۴۴	-۰/۰۱۹	۰/۰۸۷	-۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۱۱۳
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۵۰۴	۰/۰۰۳	۰/۶۹۹	۰/۷۰۸	۰/۰۰۰
CYCLE	Pearson Correlation	۰/۹۲۱	-۰/۱۸۰	-۰/۱۷۳	-۰/۲۷۷	-۰/۲۹۵	۰/۲۳۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
PHASE	Pearson Correlation	۰/۷۵۸	-۰/۰۲	-۰/۱۵۴	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	-۰/۱۳۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۴۹۴	۰/۰۰۰	۰/۹۳۴	۰/۹۸۱	۰/۰۰۰
Effective green time	Pearson Correlation	۰/۳۴۱	-۰/۲۵۱	-۰/۱۸۷	-۰/۳۷۱	-۰/۳۷۳	۰/۴۵۲
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
redtime	Pearson Correlation	۱	-۰/۰۹	-۰/۱۱۳	-۰/۱۵۶	-۰/۱۷۴	۰/۰۸۱
	Sig. (2-tailed)		۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵
HEADWAY	Pearson Correlation	-۰/۰۹	۱	۰/۲۹۲	۰/۳۲۱	۰/۳۶۴	-۰/۱۸۹
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۲		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Disyell	Pearson Correlation	-۰/۱۱۳	۰/۲۹۲	۱	۰/۴۴۷	۰/۱۹۷	-۰/۰۱۴
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۲۲
speedyell	Pearson Correlation	-۰/۱۵۶	۰/۳۲۱	۰/۴۴۷	۱	۰/۷۶۱	-۰/۱۶۵
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
SPEED20	Pearson Correlation	-۰/۱۷۴	۰/۳۶۴	۰/۱۹۷	۰/۷۶۱	۱	-۰/۱۸۳
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰
PED	Pearson Correlation	۰/۰۸۱	-۰/۱۸۹	-۰/۰۱۴	-۰/۱۶۵	-۰/۱۸۳	۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۶۲۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	

مدلسازی رفتار تردید رانندگان در انتخاب عبور یا توقف پس از زمان زرد در تقاطع‌های چراغدار ...

۳-۱ مدل‌سازی

در رابطه‌ی اخیر $L_{ni}(\beta)$ تابع احتمال مدل لجیت استاندارد است، و $f(\beta)$ تابع چگالی از پارامتر β است. در بیشتر کاربردهای مدل لجیت ترکیبی، $f(\beta)$ به صورت تابع پیوسته تعریف می‌گردد. در این پژوهش، با فرض تابع چگالی β به صورت توزیع نرمال بامیانگین و هم پراکنش (W) تابع احتمال انتخاب لجیت ترکیبی به صورت رابطه‌ی (۳) نوشته می‌شود.

$$p_{ni} = \int \frac{e^{\beta' x_{ni}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta' x_{nj}}} \phi\left(\frac{\beta}{b}, w\right) d(\beta) \quad (3)$$

که در آن $\phi\left(\frac{\beta}{b}, w\right)$ تابع چگالی توزیع نرمال بامیانگین b و هم پراکنش W است، و در آن محقق با پرداخت مدل، مقدار b و W را تعیین می‌کند. توزیع نرمال، به عنوان پرکاربردترین توزیع مورد استفاده در مدل‌های لجیت ترکیبی است [Bolduc, 1996; Hensher and Greene, 2002; McFadden and Train, 2000]. که در این مطالعه نیز از این توزیع استفاده شد. این توزیع حول میانگین، متقارن است و تابع چگالی آن به صورت رابطه‌ی (۴) نوشته می‌شود.

$$\phi(\beta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\beta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

که در آن $\beta \in (-\infty, +\infty)$ است. جهت کالیبره کردن ضرایب متغیرهای وابسته در مدل از روش حداکثر درست نمایی استفاده می‌شود. در روش حداکثر درست نمایی احتمال وقوع پدیده‌های مشاهده شده حداکثر می‌شود. به بیان ریاضی ابتدا احتمال وقوع مشاهدات با فرض استقلال وقوع، با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود و سپس ضرایب به گونه‌ای کالیبره می‌شود که به این احتمال مقدار حداکثر تخصیص یابد.

$$l(\beta) = \prod_{i=1}^n \pi(x_i)^{y_i} (1 - \pi(x_i))^{1-y_i} \quad (5)$$

در این رابطه y_i مشخص کننده i -مین مشاهده متغیر وابسته با مقدار ۰ یا ۱ است و i از یک تا n (تعداد مشاهدات) ادامه می‌یابد. برای حداکثر سازی رابطه (۴) و کالیبره کردن ضرایب مدل از حداکثر سازی لگاریتم احتمال که در رابطه (۵) نشان داده شده است، استفاده می‌شود [Lemeshow and Hosmer, 1982].

$$\sum_{i=1}^n \{y_i \ln(\pi(x_i)) + (1 - y_i) \ln(1 - \pi(x_i))\} \quad (6)$$

در این مطالعه با توجه به ماهیت گسسته متغیر وابسته مورد مطالعه (عبور یا عدم عبور از فاز زرد و ابتدای فاز قرمز (۲ ثانیه ابتدایی)) از مدلسازی گسسته برای تحلیل استفاده شد. متغیر وابسته (Y) مورد مدل‌سازی در این بخش، خطرپذیر بودن یا نبودن رانندگان در عبور از ثانیه‌های چراغ زرد و ثانیه‌های آغازین چراغ قرمز (۲ ثانیه ابتدایی) است. در ابتدا جهت مقایسه مدل باینری ساخته شده و با توجه به اینکه یکی از وضعیت‌های راننده پشت چراغ زرد حالتی است که راننده می‌تواند توقف کند اما بر اساس نظر خود عبور و یا توقف را انتخاب می‌کند از مدل لجیت ترکیبی استفاده گردید [Lum and Tan, 2003]. به عبارت دیگر در مدل‌سازی مدل لجیت ترکیبی، برای رانندگانی که عبور می‌کنند، عدد ۱ به متغیر وابسته تعلق گرفت. این مدل یکی از انعطاف پذیرترین ساختارهای مدل‌های انتخاب گسسته است، که به کمک آن میتوان تقریباً هر ساختار دیگری در مدل‌های مطلوبیت تصادفی را تخمین زد. توصیف بسیار خوبی از این مدل و ویژگی‌های آن در سال ۲۰۰۰ توسط مکفادن و ترین^{۱۴} ارائه شده است [McFadden and Train, 2000]. این مدل امکان تغییرات در سلیقه‌های تصادفی، استفاده از انواع الگوهای جانشینی و نیز همبستگی در جزء مشاهده نشده در زمان رابرای مدل‌ساز فراهم می‌آورد. همچنین برخلاف مدل لجیت استاندارد به یک توزیع خاص محدود نبوده و توانایی یافتن ناهمگونی در رفتار افراد و حتی منبع ناهمگونی را دارد. مدل لجیت ترکیبی بسته به نظر مدلساز، بر اساس محدوده‌ی وسیعی از ویژگی‌های رفتاری قابل تخمین زدن و تفسیر است. تابع احتمال انتخاب یک مدل لجیت ترکیبی در حقیقت یک انتگرال از تابع احتمال انتخاب مدل لجیت استاندارد روی یک تابع چگالی از پارامترها است. در حالت کلی این تابع احتمال تعریفی به فرم رابطه‌ی (۲) دارد.

$$p_{ni} = \int L_{ni}(\beta) f(\beta) d(\beta) \quad (2)$$

آزمون با استفاده از توزیع مربع کای (χ^2) انجام می شود. به این منظور باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$-2[LL(0) - LL(\beta)] > \chi_{N,1-\alpha}^2 \quad (5)$$

که در آن:

$L(0)$ = لگاریتم تابع تمایل با فرض صفر بودن همه پارامترها

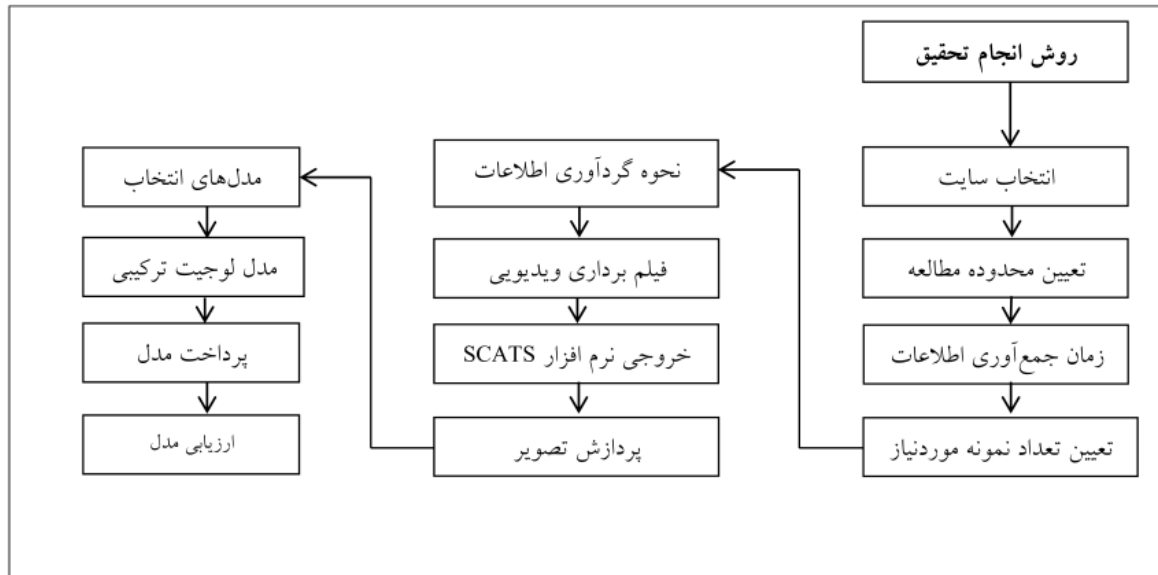
$L(\beta)$ = لگاریتم تابع تمایل بعد از پرداخت مدل.

$\chi_{N,1-\alpha}^2$ = آماره با توزیع χ_N^2 با N درجه آزادی و بازه اطمینان $1 - \alpha$ در شکل (۳) فلوجارت مراحل تحقیق به نمایش درآمده است.

به این ترتیب ضرایب متغیرهای مستقل مدل در تناظر با حداکثر مقدار لگاریتم احتمال وقوع مشاهدات که به اختصار با LL داده می شوند، محاسبه خواهند شد.

در جهت اعتبارسنجی مدل های لجستیک آزمون ذیل پیشنهاد می شود [Hensher, Rose and Greene, 2005]:

آزمون نسبت درست نمایی (تمایل): به منظور اعتباریابی کل مدل در مدل های دوگانه و چندگانه از این آزمون استفاده می شود. روش کار به این صورت است که باید مشخص شود میزان تفاوت $L(0)$ از $L(\beta)$ برای مدل موردنظر دارای معنی است یا نه. این



شکل ۳. فلوجارت مراحل تحقیق

مدلسازی رفتار تردید رانندگان در انتخاب عبور یا توقف پس از زمان زرد در تقاطع‌های چراغدار ...

۴. بحث و نتایج

استفاده می‌شود. آزمون نسبت درست‌نمایی نشان می‌دهد که توضیح‌دهندگی مدل لوجیت ترکیبی نسبت به سهم مساوی (۲۳۸/۳۶۷۸ در برابر مقدار بحرانی ۲۰/۰۹۰۲) و سهم بازار (۲۳۲/۳۳۷۶ در برابر مقدار بحرانی ۲۰/۰۹۰۲)، در سطح اطمینان بیش از ۹۵ درصد، معنی‌دار است برای لوجیت باینری توضیح‌دهندگی مدل نسبت به سهم مساوی (۲۸۸/۶۰۱) در برابر مقدار بحرانی (۲۱/۶۶۶) و سهم بازار (۲۲۵/۰۱۹۳) در برابر مقدار بحرانی (۲۱/۶۶۶)، در سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد، معنی‌دار است. جهت ارائه شاخص درصد برآورد صحیح، پس از پرداخت مدل‌ها، احتمال انتخاب هر گزینه برای تمام مشاهدات محاسبه شده و گزینه‌ای که بیشترین احتمال داشته باشد به عنوان گزینه انتخابی مدل برای مشاهده مذکور در نظر گرفته می‌شود. درصد تطابق پیش‌بینی با مشاهدات را، درصد برآورد صحیح می‌نامند. نتایج این شاخص برای مدل لوجیت ترکیبی به ترتیب برای توقف ۷۵/۷۴٪ و عبور ۳۹/۶۷٪ بدست آمده است. با توجه به نتایج ارائه شده جدول (۳) برای مدل لوجیت ترکیبی تمامی متغیرهای توضیحی مدل در سطح اطمینان بیش از ۹۵ درصد، معنی‌دار هستند. تحلیل نتایج مدل ترکیبی نشان می‌دهد وجود عابرین پیاده (PED) در خیابان در هنگامی که چراغ زرد می‌شود باعث می‌شود که رانندگان محتاط‌تر عمل کرده و به عبارت دیگر برای حفاظت از عابر پیاده و به دلیل ریسک برخورد بیشتر، کمتر خطر کنند. این متغیر دارای علامت ضریب منفی در تابع (U(1)) است. متغیر سرعت راننده در فاصله ۲۰ متری (speed20) از تقاطع در مدل معنادار و ضریب آن در تابع (U(1)) دارای علامت مثبت است که نشان می‌دهد، رانندگانی که دارای سرعت بالاتری در فاصله ۲۰ متری از تقاطع هستند ریسک پذیرتر عمل می‌کنند. دلیل این موضوع می‌تواند این باشد که رانندگان با سرعت بالاتر در خیابان، عبور خود را تمام شده فرض می‌کنند و در انتخاب توقف در پشت چراغ دقت کافی را نمی‌کنند. این نتیجه با نتایج مرجع [and Han et al, 2011] مطابقت دارد. متغیر دیگر با اثر منفی در تابع (U(0))، طول

در فرایند ساخت مدل، با وارد کردن متغیرهای مستقل مختلف به مدل و ارزیابی قابلیت توصیف مدل و سنجش سطح معناداری متغیرهای به کاررفته، مدل لوجیت ترکیبی و دوتایی نهایی متشکل از متغیرهای مشروح در جدول (۳) و (۴) با استفاده از نرم افزار NLOGIT ساخته شد. در فرآیند مدلسازی از هر دو روش پیشرو و پس‌گشت ۲۰ استفاده شد [Bolduc, and Ben-AkiWand, 1996; Revelt and Train, 2000]. متغیرهای با سطح معناداری بیشتر از ۰/۰۵ از مدل کنار گذاشته شدند. ارزیابی قابلیت توصیف مدل با استفاده از شاخص‌های ρ_c^2 و ρ_0^2 صورت گرفت. در جدول (۳) و (۴) علاوه بر گزارش متغیرهای به کاررفته در مدل، سطح معناداری و خطای استاندارد، شاخص‌های برازش مدل‌ها نیز گزارش شده است. تمامی ضرایب متغیرها در مدل از علامت و مقدارهای نسبی قابل انتظار برخوردار بودند ضرایب مثبت در (U(1)) به معنی تأثیرگذاری مثبت در ریسک‌پذیری راننده و علامت منفی به معنی تأثیرگذاری مثبت در توقف راننده است و همچنین ضرایب مثبت در (U(0)) به معنی تأثیرگذاری مثبت در توقف راننده و علامت منفی به معنی تأثیرگذاری مثبت در ریسک‌پذیری راننده است. شاخص‌های ρ_c^2 و ρ_0^2 به ترتیب نشان‌دهنده‌ی خوبی برازش مدل کالیبره شده نسبت به مدل پایه (سهم مساوی گزینه‌ها) و مدل با ضرایب ثابت (سهم بازار) هستند که مقادیر آن‌ها به ترتیب برای مدل باینری برابر با ۰/۳۱۹۲ و ۰/۲۶۶۷، برای مدل ترکیبی برابر با ۰/۲۸۷۵ و ۰/۲۸۳۳ است. شایان ذکر است که هرچه این مقادیر بیشتر و به سمت عدد ۱ میل نمایند، میزان برازندگی مدل بیشتر است. همانطور که مشاهده می‌شود میزان برازش مدل با ضرایب پایه (ρ_c^2) در مدل لوجیت ترکیبی بیش از مدل باینری است، این امر به معنی دقت بالاتر مدل لوجیت ترکیبی جهت ارزیابی رفتار رانندگان در برابر چراغ زرد است. همچنین آزمون نسبت درست‌نمایی برای مدل‌ها به منظور اعتباریابی کل مدل و همچنین مقایسه بین دو مدل

بررسی اثر سرعت خودرو از زمانی که چراغ زرد (speedyell) را مشاهده می‌کند تا به خط ایست می‌رسد، نشان می‌دهد که خودروهایی که دارای سرعت بالاتری در این زمان هستند، خطرپذیری بیشتری دارند. سرعت بالاتر نشان از ریسک‌پذیری بالاتر و کاهش زمان عکس‌العمل راننده است. زمان انتظار راننده (Waiting time) هم متغیر دیگری با علامت ضریب منفی در تابع $U(0)$ است که در افزایش احتمال خطرپذیری رانندگان تأثیر مثبت دارد. زمان انتظار بالاتر سبب کاهش تحمل راننده و افزایش تمایل راننده به تخلف است.

با توجه به مدل مشاهده می‌شود، متغیر سرفاصله مکانی خودروها (headway)، نقش مهم و معناداری دارد و دارای علامت منفی در تابع $U(1)$ است. لازم به ذکر است که هرچه سرفاصله مکانی

خودروها بیشتر باشد، احتمال برخورد با خودروی جلویی کاهش می‌یابد، همین امر باعث افزایش سرعت و در نتیجه افزایش ریسک‌پذیری راننده می‌گردد. متغیر فوق حاکی از آن است که هرچقدر سرفاصله مکانی خودرو کمتر باشد، تمایل راننده به خطر و پذیرش تخلف کمتر می‌شود

عبوری در داخل تقاطع برای راننده (Ditsance inter) است که هرچه طول عبوری در تقاطع افزایش یابد باعث پذیرش خطر بیشتری شده است. پارامتر تصادفی در این مدل فاصله از تقاطع وقتی چراغ زرد می‌شود (disyell) است. زمانی که چراغ زرد می‌شود احتمال تصادفی بودن و یا عدم اطمینان در انتخاب عبور و یا توقف افزایش می‌یابد. نتایج این مدل ناحیه تردید را تصریح می‌کند و همینطور این موضوع را می‌افزاید که فاصله بلا تکلیفی برای رانندگان دارای یک ضریب تصادفی متناسب با سلیقه فرد است و نشان داد که ضریب متغیر فاصله از چراغ زرد (disyell) دارای یک توزیع نرمال است و بین رانندگان این ضریب تغییر می‌کند. علامت پارامتر تصادفی در انتخاب تخلف $U(1)$ منفی است که به این معنا است هرچه فاصله راننده از تقاطع بیشتر باشد احتمال تخلف راننده کاهش می‌یابد. هرچه فاصله خودرو از تقاطع هنگامی که چراغ زرد می‌شود بیشتر باشد، مسافت بیشتری برای تصمیم‌گیری رانندگان وجود دارد که محتاط‌تر عمل کنند و یا با افزایش سرعت، خود را در معرض خطر قرار دهند. به عبارت دیگر هرچه فاصله خودرو از تقاطع در هنگام چراغ زرد کمتر باشد تمایل راننده را به تخلف افزایش می‌دهد.

جدول ۳. توابع مطلوبیت گزینه‌های موجود در مدل لوجیت ترکیبی

متغیر	مدل لوجیت ترکیبی	
$U(1)$ = انتخاب تخلف عبور از چراغ زرد و یا ثانیه ابتدایی فاز قرمز (۲ ثانیه ابتدایی)	$U(1) = a1 * disyell + a2 * speed20 + a3 * headway + a4 * ped$	
$U(0)$ = انتخاب توقف	$U(0) = a5 + a6 * Dittance inter + a7 * Waiting time + a8 * speedyell$	
نوع متغیر	ضریب	سطح معناداری
constant	۴/۷۲۵۹۲	۰/۰۰۰
disyell	-۰/۱۳۶۵۲	۰/۰۰۰۰
speed20	۰/۳۹۵۵۳	۰/۰۰۰
headway	-۳/۳۲۵۵۴	۰/۰۰۶۳
ped	-۰/۵۳۱۷۶	۰/۰۳۸۶
Distance inter	-۰/۰۷۴۰۲	۰/۰۰۴۶
Waiting time	-۱/۲۵۲۹۲	۰/۰۰۰۴

مدلسازی رفتار تردید رانندگان در انتخاب عبور یا توقف پس از زمان زرد در تقاطع‌های چراغدار ...

0/002	-0/26429	پیوسته	speedyell
-	-	پیوسته	cycle
-	-	پیوسته	redtime
-	-	پیوسته	Baresh
0/0074	0/042	پارامتر تصادفی	NS(dis yell)
-295/3181			LL (β) لگاریتم احتمال (ضرایب مدل)
0/2875			ρ_0^2
0/2833			ρ_c^2

جدول ۴. توابع مطلوبیت گزینه های موجود در مدل لوجیت دوگانه

متغیر	مدل لوجیت دوگانه	
توابع مطلوبیت	$U(1)=a1*disyell+a2*speed20 +a3*ped +a4* Dittance inter +a5*Waitingtime+a6*speedyell+a7*Baresh+a8*cycle+a9*redtime+a10$ <p>چراغ زرد و یا ثانیه ابتدایی فاز قرمز (۲ ثانیه ابتدایی)</p>	
	$U(0) = \text{انتخاب توقف}$	
نوع متغیر	ضریب	سطح معناداری
constant	-1/744	0/000
disyell	-0/02826	0/000
speed20	0/102	0/000
headway	-	-
ped	-0/175	0/0018
Distance inter	0/0258	0/0001
Waiting time	0/246	0/0027
speedyell	0/0431	0/0098
cycle	0/0036	0/0103
redtime	-0/2214	0/000
Baresh	0/0117	0/0394
NS(dis yell)	-	-
-307/6311		LL (β) لگاریتم احتمال (ضرایب مدل)
0/3192		ρ_0^2
0/267		ρ_c^2

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر عوامل فیزیکی، ترافیکی و محیطی بر رفتار رانندگان در تقاطع‌های چراغدار مورد بررسی قرار گرفت. یکی از نوآوری‌های این پژوهش بررسی تأثیرگذاری سلیقه رانندگان در عبور و یا توقف در برابر چراغ راهنمایی است. نتایج این مقاله حاکی از آن است که میزان تأثیرگذاری متغیر فاصله از تقاطع در هنگام چراغ زرد برای هر راننده در عبور و یا توقف مقدار ثابتی نمی‌باشد و با توجه به سلیقه فرد تغییر می‌کند. همچنین این پژوهش دریافت که مدل لوجیت ترکیبی دقت بالاتری نسبت به مدل لوجیت باینری در جهت ارزیابی رفتار رانندگان دارد. با بررسی نتایج این مقاله، می‌توان شناخت بیشتری نسبت به ماهیت رفتار رانندگان در تقاطع‌های چراغدار داشت و برنامه‌های کنترلی و نظارتی بیشتر در جهت کاهش تخلفات ارائه داد. نتایج نشان داد که میزان زمان انتظار راننده در پشت چراغ قرمز، طول سیکل چراغ راهنمایی و سرعت خودرو در افزایش ریسک راننده در عبور از تقاطع تأثیرگذار است. در نتیجه این مطالعه بیان می‌کند زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و سرعت راننده در هنگام رسیدن به تقاطع تأثیرگذاری قابل ملاحظه‌ای در عبور رانندگان از فاز زرد دارد. مسئولان و کارشناسان با آموزش به رانندگان و اعمال قانون سرعت در تقاطع‌ها در کاهش سرعت و با در نظر گرفتن مؤلفه صبر رانندگان در زمان بندی چراغ‌ها می‌توانند ریسک‌پذیری رانندگان را کاهش دهند. به طور کلی، مهمترین نتایج بدست آمده از این مطالعه را می‌توان به صورت ذیل برشمرد:

۱- سرعت خودرو در لحظه شروع فاز زرد تأثیر منفی بر رفتار رانندگان دارد. زیرا با افزایش سرعت میزان زمان برای راننده در تصمیم‌گیری کاهش محسوس پیدا می‌کند و همین‌طور راننده در پایان زمان باقی مانده از فاز زرد، تصمیم خود مبنی بر عبور را گرفته و با دیدن تغییر فاز به قرمز معمولاً تغییری در تصمیم خود ایجاد نمی‌کند، این نتیجه مطابق پژوهش‌های پاپینو و المیتینی است [Elmitiny et al. 2010; Papaioannou, 2007].

۲- با توجه به نتایج حاصل از مدل لوجیت ترکیبی، مهمترین و تأثیرگذارترین عامل در ریسک‌پذیری راننده سرفاصله مکانی خودروها است.

۳- میزان زمان انتظار راننده (زمان قرمز چراغ) تأثیرگذاری قابل توجهی در عبور از چراغ قرمز و زرد دارد. در نتیجه هرچه زمان انتظار افزایش پیدا کند احتمال تخلف راننده افزایش خواهد یافت.

۴- زمانیکه چراغ زرد می‌شود احتمال تصادفی بودن و یا عدم اطمینان در انتخاب عبور و یا توقف افزایش می‌یابد. یکی از اهداف این پژوهش از ابتدا بررسی تأثیرگذاری فاصله خودرو از تقاطع در هنگام شروع فاز زرد چراغ (disyell) است. نتایج مدل نشان داد که فاصله خودرو (disyell) برای رانندگان دارای یک ضریب تصادفی متناسب با سلیقه فرد است و نشان داد که ضریب آن دارای یک توزیع نرمال است و بین رانندگان این ضریب تغییر می‌کند. علامت پارامتر تصادفی در انتخاب عبور (U(1) مانند دیگر پژوهش‌ها [Konecni, Ebbeson and Konecni, 1976; Stimpson, Zador and Tarnoff, 1980] منفی است که به این معنا است که هرچه فاصله راننده از تقاطع بیشتر باشد احتمال تخلف راننده کاهش می‌یابد. هرچه فاصله خودرو از تقاطع هنگامی که چراغ زرد می‌شود بیشتر باشد، مسافت بیشتری برای تصمیم‌گیری رانندگان وجود دارد که محتاط تر عمل کنند و یا با افزایش سرعت، خود را در معرض خطر قرار دهند به عبارت دیگر هرچه فاصله خودرو از تقاطع در هنگام چراغ زرد کمتر باشد تمایل عبور راننده را به تخلف در جهت جلوگیری از ماندن در پشت چراغ افزایش می‌دهد.

۷. پی‌نوشت‌ها

- 1-Dilemma zone
- 2-Lum
- 3-Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
- 4-Konecni
- 5-El-Shawarby
- 6-papaioannou
- 7-Elmitiny
- 8-long
- 9-yang
- 10-Gates

112-132.

-Haque, M. M., Ohlhauser, A. D., Washington, S. and Boyle, L. N. (2016) "Decisions and actions of distracted drivers at the onset of yellow lights", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.96, pp. 290-299.

-Hensher, D. A., Rose, J. M. and Greene, W. H. (2005) "Applied choice analysis: a primer", New York: Cambridge University Press.

-Huang, M., Fujita, M. and Wisetjindawat, W. (2017) "Countdown timers, video surveillance and drivers' stop/go behavior: Winter versus summer", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.98, pp. 185-197.

-Hurwitz, D. S., Knodler Jr, M. A., & Nyquist, B. (2010) "Evaluation of driver behavior in type II dilemma zones at high-speed signalized intersections", *Journal of Transportation Engineering*, Vol.137, No. 4, pp. 277-286.

-Jahangiri, A., Rakha, H. and Dingus, T. A. (2016) "Red-light running violation prediction using observational and simulator data", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.96, pp. 316-328.

-Kim, S., Son, Y.-J., Chiu, Y.-C., Jeffers, M. A. B. and Yang, C. D. (2015) "Impact of road environment on drivers' behaviors in dilemma zone: Application of agent-based simulation", *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 96, pp. 329-340.

-Konecni, V., Ebbeson, E. B. and Konecni, D. K. (1976) "Decision processes and risk taking in traffic: Driver response to the onset of yellow light", *Journal of Applied Psychology*, Vol. 61, N. 3, pp.359.

-Lemeshow, S. and Hosmer, D. W. (1982) "A review of goodness of fit statistics for use in the development of logistic regression models", *American Journal of Epidemiology*, Vol.115, No. 1, pp. 92-106.

-Long, K., Han, L. D. and Yang, Q. (2011) "Effects of countdown timers on driver behavior

11-Caird

12-Kim

13-Setti

14-McFadden & Train

۸ مراجع

-Bolduc, D. and Ben-AkiWand, M. (1996) "Multinomial probit with a logit Kernel and a general parametric specification of the covariate structure", Massachusetts Institute of Technology: Cambridge Mass.

-Caird, J. K., Chisholm, S., Edwards, C. J. and Creaser, J. I. (2007) "The effect of yellow light onset time on older and younger drivers' perception response time (PRT) and intersection behavior", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.10, No. 5, pp 383-396.

-Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C. and Nashar, D. (2010) "Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.42, No. 1, pp. 101-111.

-El-Shawarby, I., Rakha, H. A., Inman, V. W. and Davis, G. W.(2007) "Age and gender impact on driver behavior at the onset of a yellow phase on high-speed signalized intersection approaches", in *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*.

-Gates, T. and Noyce, D. (2010) "Dilemma zone driver behavior as a function of vehicle type, time of day, and platooning", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2149, pp. 84-93.

-Gates, T., Noyce, D., Laracuente, L. and Nordheim, E. (2007) "Analysis of driver behavior in dilemma zones at signalized intersections", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.2030, pp. 29-39.

-Gazis, D., Herman, R. and Maradudin, A. (1960) "The problem of the amber signal light in traffic flow", *Operations Research*, Vol.8, No. 1. pp.

300-307.

-Setti, J. R., Rakha, H. A. and El-Shawarby, I. (2006) "Analysis of brake perception-reaction times on high-speed signalized intersection approaches", Paper presented at the 2006 IEEE intelligent transportation systems conference.

-Sharma, A., Burnett, N. and Bullock, D. M. (2010) "Impact of inclement weather on dilemma zone boundaries", Paper presented at the Transportation Research Board 89th Annual Meeting.

-Stimpson, W., Zador, P. L. and Tarnoff, P. (1980) "Influence of the time duration of yellow traffic signals on driver response", ITE Journal, Vol.50, No.11, pp. 22-29.

-Wang, X., Yu, R. and Zhong, C. (2016) "A field investigation of red-light-running in Shanghai", China. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 37, pp. 144-153.

-Yan, X., Radwan, E., Klee, H. and Guo, D. (2005) "Driver behavior during yellow change interval", Proceedings of DSC North America, Orlando.

-Yang, Z., Tian, X., Wang, W., Zhou, X. and Liang, H. (2014) "Research on driver behavior in yellow interval at signalized intersections", Mathematical Problems in Engineering, Volume 2014, Article ID 518782, 8 pages

after the yellow onset at Chinese intersections", Traffic Injury Prevention, Vol.12, No. 5, pp. 538-544.

-Lum, K. and Tan, Y. (2003) "Driver response at a signalized T-intersection during an amber blackout", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol.6, No. 3, pp.183-195.

-McFadden, D. and Train, K. (2000) "Mixed MNL models for discrete response", Journal of Applied Econometrics, Vol.15, No. 5, pp. 447-470.

-Papaioannou, P. (2007) "Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece", Accident Analysis & Prevention, Vol.39, No. 1, pp. 147-158.

-Retting, R. A., Williams, A. F., Farmer, C. M. and Feldman, A. F. (1999) "Evaluation of red light camera enforcement in Oxnard", Accident Analysis & Prevention, Vol.31, No. 3, pp. 169-174.

-Revelt, D. and Train, K. (2000) "Customer-specific taste parameters and mixed logit: Households' choice of electricity supplier", California: Department of Economics, UCB.

-Savolainen, P. T. (2016) "Examining driver behavior at the onset of yellow in a traffic simulator environment: comparisons between random parameters and latent class logit model", Accident Analysis & Prevention, Vol. 96, pp.

Modeling for Driver's Dilemma Behavior in Choosing Pass/Stop After Yellow Time with Mixed Logit Models (Case study of Qazvin)

A. Abdolrazaghi¹, MSc. Grad., Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

B. Mirbaha, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

A. A. Rassafi, Associate Professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

E-mail: mirbaha@eng.ikiu.ac.ir

Abstract

At the onset of the yellow phase, drivers often come across a dilemma situation where they are unable to stop comfortably before the stop line or clear the intersection (without excessive acceleration) prior to the onset of the red signal phase. Yellow time is designed to inform drivers about passing time and preventing extreme changes in cars' speed in timing of intersections with traffic lights. However, studies have confirmed that drivers face high level of uncertainty during yellow time. Drivers visually sample their surroundings while driving so they are able to change their behavior based on other vehicles' movements, the roadway environment and traffic signal data. This implies that drivers' behaviors are affected by surrounding factors such as other vehicles' headway or intersection conditions. In the dilemma zone, drivers' decisions are influenced not only by their own condition (e.g., distance to the stop line, speed, red time) but also by the surrounding environment at an intersection. The primary goal of the research described here was to develop a comprehensive knowledge of the stopping characteristics of dilemma zone drivers at signalized intersections. Physical, traffic, timing and phasing of intersections and weather conditions are assessed factors. The research performed here involved macroscopic evaluation of driver behavior; thus, characteristics of individual drivers were not investigated as it was not feasible to determine information such as age, experience, route familiarity, and sex of each driver. This study investigates actual data of traffic cameras and central smart program in four intersections in Qazvin in which traffic lights are set up. Peak, normal sunny and rainy conditions and drivers' behavior in yellow and red times are studied using binary and mixed logit model. A field study was performed using a video-based data collection system to record several attributes related to the behavior of the last vehicle to go through and the first vehicle to stop in each lane during each yellow interval. The researchers concluded that a driver's decision to stop or go through when presented with a yellow indication is complex but can be predicted reasonably well based on several factors. Pedestrians in streets and headway are the most effective factors on drivers' pauses in yellow or red phase. High speed of cars and also waiting time (red phase) are the most influential factors on drivers' motion in yellow or red phases. The results of model show binary logit model has a higher accuracy than the combined logit model for assessing driver behavior.

Keywords: Violation, driver behavior, mixed logit

علیرضا عبدالرزاقی، بابک میربهاء، امیرعباس رصافی

علیرضا عبدالرزاقی، در سال ۱۳۹۳ درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران- عمران را از دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، در سال ۱۳۹۵ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل را از همان دانشگاه اخذ کرد. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل‌های رفتاری رانندگان و عابرین پیاده، تحلیل تقاضا و شبیه سازی ترافیکی بوده و در حال حاضر به عنوان مسئول مطالعات در مرکز کنترل ترافیک شهرداری قزوین مشغول به کار است.



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 ۱۳۸۴ 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 ترافیک بوده و در حال حاضر استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی است.



امیرعباس رصافی، در سال ۱۳۷۰ درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران-عمران را از دانشگاه صنعتی شریف، در سال ۱۳۷۶ درجه 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 همان دانشگاه 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 بین المللی امام خمینی(ره) است.

