

تحلیل رفتار رانندگان در انتخاب عبور یا توقف پس از زمان زرد در تقاطع‌های چراغدار (مطالعه موردی: شهر قزوین)

علیرضا عبدالرزاقی^۱، بابک میربهاء^{۲*}، امیرعباس رصافی^۳

- ۱- کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
- ۲- استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
- ۳- دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

*Mirbaha@ENG.ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۶/۲/۳۱]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۱۲/۱۶]

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 با ریسک بالای برخورد در تقاطع همراه شود.

در این مطالعه پس از برداشت داده‌های واقعی از چهار تقاطع چراغدار شهرفزوین 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 نسبت به تحلیل ریسک‌پذیری رانندگان از تقاطع در فاز زرد و قرمز با استفاده از مدل لوجیت دوتایی اقدام شد. تحلیل اولیه اطلاعات برداشت شده نشان داد که ۵۴٪ رانندگان توقف و ۴۶٪ رانندگان عبور را انتخاب کردند و همینطور ۳۹٪ در شرایط بارانی و ۴۵٪ در شرایط آفتابی تصمیم به عبور گرفتند. نتایج بدست آمده از مدل حاکی از آن است که وجود عابریاده در سواره‌رو و افزایش مدت زمان سپری شده از فاز قرمز و افزایش سرفاصله مکانی خودروها مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار برتوقف رانندگان در فاز زرد یا قرمز است و همین‌طور افزایش سرعت خودرو و زمان انتظار راننده (مدت زمان قرمز رویکرد) مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار برعبور رانندگان در فاز زرد و یا قرمز است. همچنین در صورتی که راننده در ابتدای چراغ زرد کمتر از یک متر از تقاطع فاصله داشته باشد و خودرو در زمان زرد چراغ سرعت متوسطی بیش از ۲۰ متر برثانیه را دارد احتمال عبور از تقاطع به ترتیب بیش از ۷۴ و ۹۰ درصد است و همچنین اگر فاصله خوردو از تقاطع در هنگام چراغ زرد بیش از ۳۵ متر باشد احتمال عبور از تقاطع کمتر از ۲ درصد خواهد بود. همچنین، میزان بارش باران بر رفتار رانندگان در انتخاب عبور و یا توقف بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان بارش باران، احتمال عبور رانندگان از فاز زرد و یا قرمز افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: تقاطع چراغدار، رفتار رانندگان، لوجیت دوتایی

تقاطع‌های زمان بندی شده، نقش مهمی در بالا بردن ظرفیت تقاطع، جلوگیری از تصادفات و کاهش تأخیر وسایل نقلیه در تقاطع ایفا کند. رانندگان در تقاطع‌های چراغدار به دقت بالا و

۱-مقدمه

بررسی رفتار رانندگان در زمان زرد و ابتدای زمان قرمز در

تصمیم راننده تحلیل شده 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 SCATS³ در هر سیکل استفاده شد. رفتار عبور یا توقف رانندگان با استفاده از یک مدل لوجیت دوتایی تحلیل شد. در ادامه، به سوالات زیر پاسخ داده می‌شود:

۱. چه عواملی بر رفتار رانندگان در تقاطع‌های زمان‌بندی شده به هنگام شروع زمان زرد چراغ و ابتدای زمان قرمز (۳ ثانیه ابتدایی) تأثیرگذار است؟

۲. کدام متغیرها بر عبور رانندگان در تقاطع‌های زمان‌بندی شده در فاز زرد چراغ و ابتدای زمان قرمز (۳ ثانیه ابتدایی) تأثیرگذاری بیشتری دارند؟

۳. تأثیرگذاری شرایط جوی بر رفتار رانندگان در تقاطع‌های زمان‌بندی شده به هنگام شروع زمان زرد چراغ و ابتدای زمان قرمز (۳ ثانیه ابتدایی) به چه میزان است؟

۲- ادبیات تحقیق

پژوهش‌های فراوانی درباره رفتار رانندگان در تقاطع‌ها برای کاهش برخوردها انجام شده است. بیشتر پژوهش‌ها روی رفتار رانندگان در ناحیه تردید تمرکز دارد. ناحیه‌ای که رانندگان باید به سرعت تصمیم بگیرند آیا به شکل ایمن می‌توانند از تقاطع عبور کنند [2]. این مطالعات میزان تأثیرگذاری متغیرهای مختلف تقاطع (برای نمونه زمان‌بندی، طرح هندسی، خودرو (برای نمونه نوع خودرو) و راننده (سن و جنسیت) را بر تصمیم‌گیری رانندگان در عبور و یا توقف از تقاطع در ابتدای زمان زرد ارزیابی می‌کنند. در صورت تصمیم‌گیری دیر هنگام به عبور از تقاطع احتمال تصادف به دلیل عبور از چراغ قرمز افزایش می‌یابد، درحالی که تصمیم‌گیری زود هنگام به توقف احتمال تصادف با خودرو عقبی را افزایش می‌دهد. اولین پژوهش در این زمینه در سال ۱۹۷۶ توسط کونسینی⁴ 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

شناخت مؤثر و ایمن نیاز دارند. رانندگان باید به ویژه 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 [1]. خطای رانندگان یک فاکتور اصلی در چنین شرایطی بروز تصادفات جرحی و فوتی در تقاطع است [2]. در تقاطع‌های زمان‌بندی 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 ایی قبل از تقاطع بوجود می‌آید که هر راننده در صورت قرارگرفتن در این محدوده، در صورتی که 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 بلاتکلیفی و یا ناحیه تردید¹) می‌نامند [3]. لوم و همکارانش² نشان دادند که دودلی رانندگان و تردید آنها 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 در ۲ یا ۳ ثانیه اول فاز قرمز با توجه به شرایط ترافیکی (به ویژه در ترافیک کم) تصمیم به عبور می‌گیرند [4]. مقاله پیش رو از میان مجموعه پژوهش‌های رفتاری رانندگان، روی رفتار رانندگان در برابر چراغ زرد در ساعات اوج و غیر اوج ترافیک و در شرایط مختلف جوی به عنوان یک مسئله شناختی در برابر رفتار رانندگان در تقاطع‌های چراغ‌دار متمرکز می‌شود. رفتار رانندگان در این شرایط وابسته به عوامل متعددی است. برطبق پژوهش‌های پیشین [5] رانندگان می‌توانند بر اساس شرایط جاده و رفتار دیگر رانندگان رفتار خود را تغییر دهند.

در این مطالعه رفتار رانندگان در فاز زرد بررسی می‌شود. متغیرهای محیطی و رفتار رانندگی به عنوان متغیرهای اصلی در

³ Sydney Coordinated Adaptive Traffic System

⁴ Konecni

1 Dilemma zone

2 Lum

رفتار رانندگان در طول زمان زرد چراغ در حالت علامت‌گذاری شده با نشده در ناحیه سردرگمی، ۴۲ کاربر در ۳۲ تقاطع چراغدار را بررسی کردند، آنها با استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی رانندگی (USF) به جمع‌آوری اطلاعات پرداختند و از معناداری آماری (p-value) و تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده نمودند. هر کاربر ۱۶ تقاطع چراغدار را امتحان کرد. طبق نتایج حاصل از پژوهش آنها تقاطعاتی که دارای ناحیه سردرگمی علامت‌گذاری شده‌اند با کاهش ۷۴/۳ درصدی حرکت در زمان فاز چراغ قرمز روبه‌رو بودند [12]. لانگ^۶ و همکاران با مطالعه‌ای روی تأثیر ثانیه‌شمار معکوس چراغ راهنمایی در فاز زرد در چهار تقاطع شهری از شهرستان شانگشای نشان دادند هنگامی که ثانیه‌شمار معکوس در تقاطع وجود دارد، رانندگان بیشتر تمایل به عبور از تقاطع پس از شروع فاز زرد را دارند [13]. همینطور یانگ^۷ و همکاران پژوهشی در مورد تأثیر ثانیه‌شمار معکوس بر رفتار رانندگان در تقاطع‌ها در فاز زرد انجام دادند، که با بهره‌گیری از رگرسیون لجستیک و الگوریتم‌های درخت تصمیم‌گیری فازی، مشخص شد که احتمال توقف وسیله نقلیه در تقاطع بدون ثانیه‌شمار معکوس چراغ راهنمایی بیشتر از همان تقاطع با وجود این دستگاه است. طبق نظر آنها با ساخت مدل درخت تصمیم‌گیری می‌توان دریافت که فاصله وسیله نقلیه از خط توقف بیشترین اثر را بر تصمیم‌گیری رانندگان دارد [14]. در پژوهش‌های پیشین بطور معمول برای بررسی رفتار رانندگان در مقابل فازهای مختلف چراغ راهنمایی و تجهیزات مختلف کنترلی در تقاطع از شبیه‌سازهای رانندگی و تصاویر ویدئویی استفاده می‌کردند. بر همین مبنا گیتز^۸ دریافت که عملکرد خودروها در خط مجاور بر ناحیه تردید تأثیر می‌گذارد [7]. همچنین کایرد^۹ و همکاران در شبیه‌سازهای رانندگی، رفتار رانندگان جوان و پیر در شروع زمان زرد در تقاطع‌های چراغ‌دار را بررسی کردند، آنها دریافتند که هرچه فاصله زمانی رانندگان از خط توقف بیشتر باشد، تمایل تمامی رانندگان به عبور از چراغ زرد کاهش می‌یابد [15]. همین‌طور کیم^{۱۰} و همکاران با استفاده از آزمایش شبیه‌ساز رانندگی و با استفاده از مدل لوجیت دوتایی به

۴۰ تا ۵۵ متری از تقاطع در هنگام تغییر رنگ چراغ بیشتر از دیگران مرتکب تخلف در چراغ قرمز می‌شوند [6].

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 محیطی است 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 [7].

در ادامه ال‌شربی^۱ 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 پژوهش حرکت و توقف رانندگان در آغاز زمان زرد در سرعت‌های بالا به فاصله از تقاطع، جنسیت و سن وابسته است و همچنین هر چه فاصله خودرو از تقاطع در ابتدای چراغ زرد بیشتر باشد، احتمال توقف راننده افزایش می‌یابد [8]. پژوهش‌های پایونو^۲ نشان می‌دهد که رانندگانی که بیش از سرعت مجاز رویکرد حرکت می‌کنند، بیشتر در ناحیه تردید گرفتار شوند که این امر باعث می‌شود راننده مجبور به گرفتن تصمیم‌های غیرایمن در شروع فاز زرد شود [9]. در پژوهش المتری^۳ متغیرهای فاصله از خط ایست، سرعت عملکردی و وضعیت جوی براساس تحلیل داده‌ها بر پایه تصاویر ویدئویی (در تقاطع‌ها با سرعت بالا) بررسی شد. المتری دریافت که متغیرهای مذکور بر تخلف از چراغ قرمز و عبور و یا توقف در طول چراغ زرد بطور مستقیم تأثیرگذار هستند [10]. رتینگ^۴ و همکاران به بررسی تأثیر تجهیزات کنترلی بر رفتار رانندگان در تقاطع‌های چراغ‌دار پرداختند آنها دریافتند که وجود دوربین ثبت تخلف از چراغ قرمز در تقاطع، عبور از چراغ قرمز توسط رانندگان را کاهش می‌دهد [11]. یان^۵ و همکاران در پژوهشی برای ارزیابی

⁶ Long

⁷ Yang

⁸ Gates

⁹ Caird

¹⁰ Kim

1 El-Shawarby

2 Papaioannou

3 Elmitiny

4 Retting

5 Yan

بر عبور به هر شکلی از تقاطع می‌شود، این در حالی است که وجود تجهیزات کنترلی و عوامل محیطی در فاز زرد می‌تواند بر عدم ریسک رانندگان تأثیرگذار باشد. در این مطالعه با توجه به داده‌های مرتبط با رفتار رانندگی در ایران نسبت به انجام این مطالعه اقدام می‌شود. در ادامه فرآیند و روش انجام تحقیق تشریح شده است.

۳- روش تحقیق

۳-۱- داده‌های استفاده شده

در این مطالعه از رویکرد مبنی بر فیلمبرداری ویدیویی برای برداشت اطلاعات استفاده شده است. چهار تقاطع از شهر قزوین که دارای مشخصات فیزیکی و ترافیکی متفاوت بودند برای جمع-آوری داده‌ها انتخاب شدند. تقاطع‌ها در دو حالت ساعت اوج و غیراوج ترافیک و همینطور در دو شرایط جوی بارانی و آفتابی بررسی شد. داده‌ها از چهار تقاطع شهدا (وجود پلیس در ساعت اوج، وجود کاربری در حاشیه تقاطع، ۳ فازه بودن تقاطع)، فلسطین (عدم حضور پلیس، عدم وجود کاربری در حاشیه تقاطع، ۳ فازه بودن تقاطع)، عدل (وجود پلیس در ساعت اوج، وجود کاربری در حاشیه تقاطع، ۲ فازه بودن تقاطع)، نظام وفا (عدم حضور پلیس، عدم وجود کاربری در حاشیه تقاطع، ۲ فازه بودن تقاطع) که دارای ویژگی‌هایی متفاوت است در شهر قزوین بدست آمده است. 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 تحلیل و بررسی شود. تخمین هر مدل آماری به تعداد درجه آزادی مطمئنی نیاز دارد. کافی نبودن تعداد نمونه آماری، باعث ایجاد نتایج ناسازگار، غیر قابل اطمینان و بعضی مواقع هیچ مدلی ساخته نمی‌شود. کمینه تعداد نمونه آماری مورد نیاز، با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است [20]:

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

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 بر اساس پیشنهاد کوکران مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شود. در این حالت، مقدار پراکنش

مطالعه ترکیب عوامل محیطی مانند ویژگی‌های ترافیکی و نظارتی جاده پراختند که باعث ایجاد یک مدل واقع بینانه تر برای تصمیم‌گیری راننده در ناحیه تردید شد. نتایج تجربی نشان دادند که مدل ناحیه تردید پیشنهاد شده قادر به پیش‌بینی تصمیمات رانندگان با دقت خوبی بود. به طور خاص، مدل یافته از مطالعه شبیه‌ساز رانندگی تایید کرد که تغییرات در شرایط محیطی جاده، تعداد موارد عبور از چراغ قرمز را در تقاطع می‌تواند کاهش دهد [16]. در مطالعه‌ای 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 به صورت تقریبی افزایش پیدا کرد و در وضعیت برفی شروع ناحیه تردید از خط ایست ۹ فوت و انتهای آن به ۲۲ فوت افزایش پیدا کرد [17]. پژوهش‌های پیشین درباره تصمیم به عبور و یا توقف در ابتدای چراغ زرد بر توسعه مدل‌های تخمین گرایش عبور از چراغ زرد که تابع سرعت رانندگی، فاصله از خط ایست و ویژگی‌های جمعیت‌شناسی (همچون جنسیت و سن) بود، تأکید می‌کرد [18]. سستی^۱ و همکاران در تحلیل زمان عکس‌العمل و انجام ترمز در سرعت‌های بالا در شروع فاز زرد از کاربرد استفاده کردند آن‌ها نتیجه گرفتند که ۸۵ درصد از نمونه‌ها زمان عکس‌العملی برابر ۱ ثانیه داشتند. همین‌طور آن‌ها پیشنهاد کردند که زمان عکس‌العمل تا انجام ترمز بین ۲/۲ تا ۴/۴ ثانیه در نظر گرفته شود. آن‌ها همین‌طور اثبات کردند که مدل‌های زمان عکس‌العمل تا انجام ترمز رانندگان از توزیع لگاریتمی نرمال و توزیع بتا پیروی می‌کنند 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 می‌کنند [19]. با توجه به مطالعات انجام شده در پژوهش‌های مختلف به نظر می‌رسد که رفتار رانندگان در فاز زرد در کشورهای مختلف نتایج متفاوتی در برداشته است. پژوهشگران مشاهده کردند که عوامل تأثیرگذار در رفتار رانندگان در فاز زرد و ثانیه‌های چراغ قرمز در یک کشور از یک شهر به شهر دیگر و حتی بعضاً از یک منطقه به منطقه دیگر نیز می‌تواند متفاوت باشد. بسیاری از مطالعات انجام شده نشان داد که میزان فاصله از تقاطع و سرعت خودرو در ابتدای فاز زرد سبب تصمیم رانندگان مبنی

به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

جدول ۱. توزیع آماری مشاهدات

S.D	Mean	Maximum	Minimum	Unit	
continuous variables					
6.05	3.84	33.70	0.00	meter	(Headway)
12.09	14.47	63.3	0.00	meter	(Disyell)
2.68	5.81	20.00	0.25	m/s	(speedyell)
2.41	5.96	16.66	0.31	m/s	(Speed20)
1.11	0.503	3	0.00	sec	(redtime)
30.32	95.02	135	40	sec	(cycle)
4.762	3.68	11.0	.00	ml	(rain)
5.872	31.59	38.5	24.0	meter	(Distance inter)
0.50	2.47	3	2	count	(Phase)
12.19	39.07	68	21	sec	(Effective green time)
24.651	53.54	94	13	sec	(Waiting time)
Bivariates variables					
.230	1	0	---	No pedestrian in yellow phase in street =0	Pedestrian in yellow phase in street =1 (ped)

Table 1. Descriptive statistics

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 [21-23]. در مجموع افرادی که مورد بررسی قرار گرفتند ۵۴٪ رانندگان توقف و ۴۶٪ رانندگان عبور را انتخاب کردند و همینطور ۳۹٪ در شرایط بارانی و ۴۵٪ 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

q نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین (p-1) است و d مقدار خطای مجاز که معمولاً ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. بر اساس رابطه (۱) و با در نظر گرفتن جمعیت ۳۸۱۵۹۸ نفری شهر قزوین برای جامعه آماری و سطح اطمینان ۹۵٪، ۱/۹۶ بوده و کمینه نمونه لازم برای انجام پژوهش، ۳۸۴ مشاهده است. در این پژوهش ۶۵۲ 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 سیگنالینگ (میزان زمان سپری شده از فاز قرمز، طول سیکل و تعداد فاز و زمان سبز چراغ)، شرایط فیزیکی (ویژگی‌های هندسی، میزان طول عبور خودرو در تقاطع، وجود و یا عدم وجود تابلوهای تبلیغاتی و وجود رفیوژ میانی برای عابرپیاده)، شرایط ترافیکی (وجود و یا عدم وجود عابر پیاده در

شمار تمامی متغیرهای مستقل است. با وجود این متغیرها، احتمال انتخاب x با استفاده از رابطه (۳) مشخص می‌شود:

$$\pi(x) = \frac{\exp(g(x))}{1 + \exp(g(x))} \quad (3)$$

برای کالیبره کردن ضرایب متغیرهای وابسته در مدل از روش بیشینه درشت نمائی استفاده می‌شود. در روش حداکثر درشت نمائی 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.

$$l(\beta) = \prod_{i=1}^n \pi(x_i)^{y_i} (1 - \pi(x_i))^{1-y_i} \quad (4)$$

در این رابطه y_i مشخص کننده $-i$ مین مشاهده متغیر وابسته با مقدار ۰ یا ۱ است و y_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 [24]:

$$LL(\beta) = \ln(l(\beta)) = \sum_{i=1}^n \{y_i \ln(\pi(x_i)) + (1 - y_i) \ln(1 - \pi(x_i))\} \quad (5)$$

به این ترتیب ضرایب متغیرهای مستقل مدل در تناظر با بیشینه مقدار لگاریتم احتمال وقوع مشاهدات که به اختصار با LL نشان داده می‌شوند، محاسبه خواهند شد. در شکل (۱) فلوچارت مراحل پژوهش به نمایش درآمده است.

جوی آفتابی سبب توقف تنها ۲۹٪ از رانندگان می‌شود. در حالتی که در وضعیت جوی بارانی این تصمیم‌گیری مبنی بر توقف به ۶۱٪ می‌رسد. این نشانگر این است که وضعیت جوی بارانی در فاصله ۵ تا ۱۰ متری تاثیر مثبت بر توقف رانندگان دارد. جدول (۱) توصیف آماری متغیرهای پیوسته و دوگانه بررسی شده در مدل را نشان می‌دهد.

۳-۲- روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه با توجه به ماهیت گسسته متغیر وابسته مورد مطالعه (عبور یا عدم عبور از فاز زرد) 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 (۳ ثانیه ابتدایی) است. با توجه به تعریف مفهوم خطرپذیری بیان شده عبور از انتهای چراغ زرد و ابتدای چراغ قرمز، در مدل لجیت دوگانه به عنوان رانندگان خطرپذیر معرفی شدند [4]. به عبارت دیگر در مدلسازی مدل لجیت دوگانه، برای این رانندگان عدد ۱ به متغیر وابسته تعلق گرفت. در مدل لجیت دوتایی متغیر وابسته به صورت دوتایی تعریف می‌شود. مدل‌های لجیت دوتایی قادرند این متغیر وابسته را به صورت تابعی از متغیرها پیوسته و گسسته توصیف کنند. در مدل لجیت دوتایی، متغیر وابسته به صورت رابطه (۲) فرمول‌بندی می‌شود [24]:

$$g(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_p x_p \quad (2)$$

که در این رابطه x_j مقدار متناظر با $-j$ امین متغیر وابسته است و β_j ضریب متناظر با متغیر $-j$ ام به ازای $j = 1, 2, \dots, p$ است و p

شکل ۱. فلوچارت مراحل تحقیق

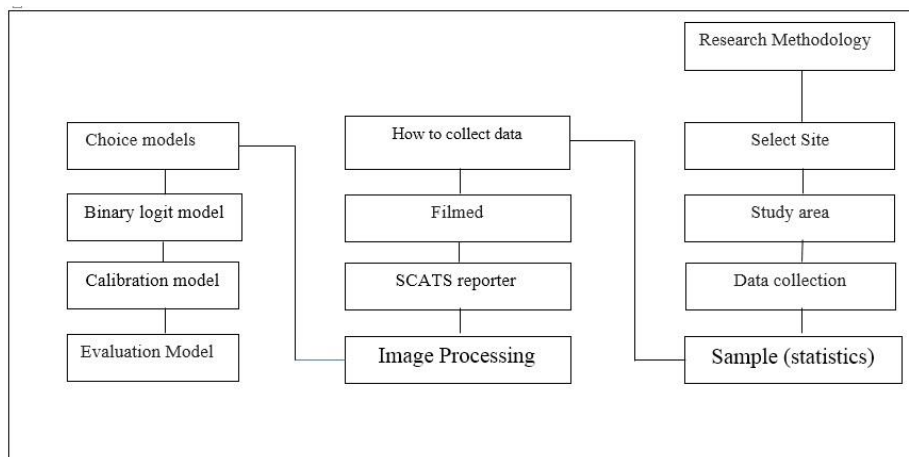


Fig. 1. Research Process Flowchart

۴- نتایج

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 دوتایی نهایی متشکل از متغیرهای مشروح در جدول (۲) با استفاده از نرم افزار NLOGIT^۴ ساخته شد. در فرآیند مدلسازی از هر دو روش پیشرو و پس گشت^۱ استفاده شد [25، 26] متغیرهای با سطح معناداری بیشتر از ۰/۱ از مدل کنار گذاشته شدند. ارزیابی قابلیت توصیف مدل با استفاده از شاخص‌های m_e^2 و m_o^2 صورت گرفت. در جدول‌های (۲) و (۳) علاوه بر گزارش متغیرهای به کاررفته در مدل، سطح معناداری و خطای استاندارد، شاخص‌های برازش مدل نیز گزارش شده است. تمامی ضرایب متغیرها در مدل از علامت و مقدارهای نسبی قابل انتظار برخوردار بودند ضرایب مثبت به معنی تأثیرگذاری مثبت در ریسک پذیری راننده و علامت منفی به معنی تأثیرگذاری مثبت در توقف راننده است. شاخص‌های m_e^2 و m_o^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 برابر با ۰/۲۷ و ۰/۲۵ است. شایان ذکر است که هرچه این مقادیر بیشتر و به سمت عدد ۱ میل نمایند، میزان برازندگی مدل بیشتر است. همچنین آزمون نسبت درست‌نمایی به منظور اعتباریابی کل مدل و همچنین مقایسه بین دو مدل استفاده می‌شود. آزمون نسبت درست‌نمایی نشان می‌دهد که توضیح‌دهندگی مدل لوجیت دوگانه نسبت به سهم مساوی (۸۶۵/۲۴۴ در برابر مقدار بحرانی ۲۴/۷۲۵) و سهم بازار (۵۵۵/۲۷۷ در برابر مقدار بحرانی ۲۴/۷۲۵)، در سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد، معنی‌دار است. مقدار متناظر با این معیار در مدل نهایی در جدول (۳) گزارش شده است. با توجه به نتایج ارائه شده جدول (۲) تمامی متغیرهای توضیحی مدل در سطح اطمینان بیش از ۹۵ درصد، معنی‌دار هستند. متغیر headway و rain نیز با سطح اطمینان بیش از ۹۰ درصد معنی‌دار هستند. تحلیل نتایج مدل

1 Forward and Backward Stepwise

نشان می‌دهد وجود عابرین پیاده (ped) در خیابان هنگام چراغ زرد، باعث می‌شود که رانندگان محتاط‌تر عمل کرده و به عبارت دیگر برای حفاظت از عابریاده و به دلیل ریسک برخورد بیشتر، کمتر خطر کنند. این متغیر دارای علامت ضریب منفی در مدل‌های فوق است. متغیر سرعت راننده در فاصله ۲۰ متری (speed20) از تقاطع در مدل فوق معنادار و ضریب آن 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 [12، 13] هماهنگی دارد. متغیر دیگر با اثر مثبت در مدل، طول عبوری در داخل تقاطع برای راننده (Dittance inter) است که هرچه طول عبوری در تقاطع افزایش یابد باعث پذیرش خطر بیشتری شده است. طبیعتاً هرچه مسافت طی شده در داخل تقاطع بیشتر باشد قدرت مانور خودرو افزایش می‌یابد در نتیجه راننده ریسک‌پذیرتر می‌شود و همین‌طور فاصله چراغ دارای پایه کنسولی از راننده بیشتر می‌شود که همین امر باعث افزایش فاصله چراغ تا چشم راننده می‌شود. که سبب کاهش دید راننده هنگام رسیدن به تقاطع می‌شود که این موضوع می‌تواند باعث قضاوت اشتباه شود و به دلیل نداشتن دید کافی عبور را انتخاب کند. در نمونه برداشت شده برای این مطالعه متغیر طول سیکل (cycle) با علامت مثبت معنی‌دار شده است، به این معنی که با افزایش طول سیکل چراغ خطرپذیری رانندگان افزایش می‌یابد و در عبور از تقاطع جسورانه‌تر عمل می‌کنند. علامت منفی متغیر فاصله خودرو از تقاطع هنگامی که چراغ زرد (disyell) می‌شود، در مدل نشان می‌دهد که با افزایش فاصله، میزان خطرپذیری رانندگان هم 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

سپری شده از انتهای زمان زرد (redtime) در مدل با اثر منفی معنادار شد. پس با افزایش زمان قرمز، رانندگانی که در طول معبر با چراغ زرد روبه رو شده اند و در نزدیکی تقاطع با چراغ قرمز روبه رو می شوند خطرپذیری آنها هم کمتر می شود. احتمالاً رانندگانی که سریع حرکت می کنند، تصور دارند که می توانند از حتی در ابتدای زمان قرمز به راحتی از تقاطع عبور کنند. یکی از نوآوری های این پژوهش بررسی میزان بارش باران در رفتار رانندگان (rain) است که با توجه به نتایج مدل دریافت شد که افزایش میزان بارش باران باعث افزایش ریسک پذیری رانندگان می شود که این امر به دلیل کاهش دید رانندگان با افزایش بارش باران است که می تواند باعث قضاوت اشتباه شود.

تقاطع در هنگام چراغ زرد کمتر باشد تمایل راننده را به تخلف برای جلوگیری از ماندن در پشت چراغ افزایش می دهد. بررسی اثر سرعت خودرو از زمانی که چراغ زرد (speedyell) را مشاهده می کند تا به خط ایست می رسد، نشان می دهد که خودروهایی که دارای سرعت بالاتری در این زمان هستند، خطرپذیری بیشتری دارند. سرعت بالاتر نشان از ریسک پذیری بالاتر و کاهش زمان عکس العمل راننده است. زمان انتظار راننده (Waiting time) هم متغیر دیگری با علامت ضریب مثبت است که در افزایش احتمال خطرپذیری رانندگان تأثیر مثبت دارد. زمان انتظار بالاتر سبب کاهش تحمل راننده و افزایش تمایل راننده به تخلف است. به عبارت دیگر زمان قرمز بالاتر برای رویکرد باعث افزایش تمایل رانندگان به تخلف از چراغ زرد و قرمز می شود. متغیر زمان قرمز

جدول ۲. نتایج پرداخت مدل لجوجیت دوگانه برای خطرپذیری رانندگان

Standard Error	p-value	Coefficient	Variable	Description
1.38392	0.0000	-6.17322	Constant	Constant
0.25815	0.0177	-0.61241	Ped	Presence or absence of pedestrain
0.06894	0.0000	+0.37987	speed20	The average speed of the vehicle at a distance of 20m from the intersection
0.02685	0.0013	0.0864	Distance inter	Distance intersection
0.00558	0.0285	0.012	cycle	cycle
0.01374	0.0000	-0.10195	disyell	The distance from the intersection onset of yellow time
0.06560	0.0087	0.172	speedyell	Vehicle speed at yellow time
0.33315	0.0095	0.864	Waiting time	Waiting time (red phase of approach)
0.17380	0.0020	-0.53836	redtime	red Time elapsed from the beginning of yellow phase
1.09915	0.0854	-1.89062	headway	headway
0.02257	0.0810	0.03938	rain	The amount of rain

table 2. The results of Binary logistic model for Risk Drivers

جدول ۳. آثار حاشیه ای متغیرهای پیوسته برای مدل لجوجیت دوگانه

Marginal Effects in binary logit model	Variable	Row
-0.13313	Ped	1
0.08744	speed20	2
0.01989	Dittance inter	3
0.00281	cycle	4
-0.02347	disyell	5
0.03691	speedyell	6
0.20621	Waiting time	7
-0.12393	redtime	8
-0.28581	headway	9
0.00907	rain	10

Table 3. Marginal Effects for Continuous Variables in binary logit model

جدول ۴. شاخص های برازش مدل لجیت دوگانه وضعیت عبور/توقف

value	index
451.9319-	LL (0)
443.2770-	LL (C)
329.4994-	LL (β)
0.2709	$\rho_0^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)}$
0.2566	$\rho_c^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(c)}$
$-2[LL(0) - LL(\beta)] = 244.865$	$\chi_{11}^2(0.01 d.f) = 24.725$
$-2[LL(C) - LL(\beta)] = 277.555$	
1.0445	AIC
The number of independent variables=10	Number of observation=652

Table 4. Measures of Fit for binary logit model(the situation of crossing/stop)

شکل ۲. نمودار میانگین متوسط سرعت رانندگان (در زمان زرد می شود) به

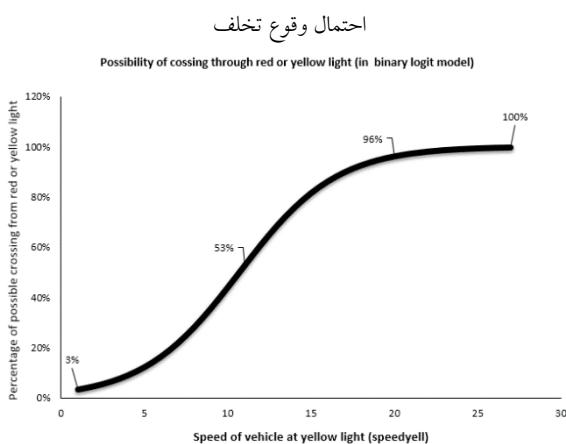


Fig. 2. Diagram of the drivers' average speed (over yellow light) for the likelihood of violation

شکل ۳. نمودار فاصله خودرو از خط ایست (هنگامی که چراغ زرد) به

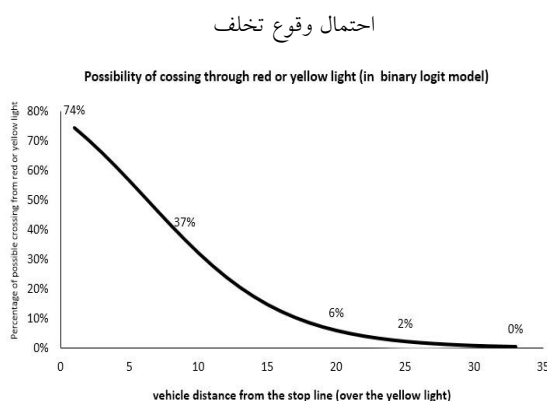


Fig. 3. Diagram of vehicle speed from the stop line (during yellow light) versus the probability of violation

در شکل (۳) نیز آثار فاصله خودرو از خط ایست (dissyell) بر وضعیت عبور مشاهده می شود که براساس این نمودار، وقتی

با توجه به مدل مشاهده می شود، متغیر سرفاصله مکانی خودروها (headway)، نقش مهم و معناداری دارد و دارای علامت منفی است. لازم به ذکر است که هرچه سرفاصله مکانی خودروها بیشتر باشد احتمال برخورد با خودروی جلویی کاهش می یابد همین باعث افزایش سرعت و در نتیجه افزایش ریسک پذیری راننده می شود. متغیر فوق حاکی از آن است که هرچقدر سرفاصله مکانی خودرو کمتر باشد، تمایل راننده به خطر و پذیرش تخلف کمتر می شود. به منظور نشان دادن تاثیر هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته، تجزیه و تحلیل آثار حاشیه ای انجام شد. همانطور که جدول (۴) نشان می دهد، متغیر ped و headway متغیر با بیشترین تاثیر روی خطرپذیری رانندگان هستند زیرا بیشترین مقدار را دارند. متغیر rain دارای کمترین میزان تاثیر است. در مرحله آخر به بررسی و تحلیل حساسیت هریک از گزینه ها نسبت به عواملی همچون تغییرات سرعت خودرو در زمان زرد چراغ (speedyell) و فاصله خودرو از خط ایست (disyell) پرداخته شود. در خصوص رابطه سرعت خودرو (speedyell) با وضعیت عبور از تقاطع (توقف، عبور از چراغ زرد و یا ابتدای قرمز) بالطبع انتظار می رود که با افزایش سرعت، سهم متخلفین افزوده شود. با توجه به شکل (۲)، مشخص می شود که اگر سرعت خودرو در ابتدای زمان زرد چراغ برابر ۲۷ متر بر ثانیه باشد و پارامترهای دیگر مقدار متوسط خود را داشته باشند. به احتمال ۱۰۰ درصد عبور خودرو پیش بینی می شود و اگر سرعت خودرو در همان شرایط به ۱۱ متر بر ثانیه کاهش یابد به احتمال ۵۳ درصد عبور خودرو پیش بینی می شود.

توجهی در عبور از چراغ قرمز و زرد دارد. در نتیجه هرچه زمان انتظار افزایش پیدا کند احتمال تخلف راننده افزایش خواهد یافت. ۴- یکی از اهداف این پژوهش از ابتدا بررسی رفتار رانندگان در شرایط جوی متفاوت بود. نتایج نشان داد که با افزایش بارش باران احتمال تخلف راننده از چراغ قرمز و زرد افزایش می‌یابد. که یکی از دلایل آن می‌توان به کاهش دید راننده به چراغ راهنمایی و سرعت واکنش نام برد. همچنین طبق پژوهشی که شرما در شرایط برفی و بارانی انجام داد با بارش باران و برف میزان طول ناحیه تردید افزایش می‌یابد [17].

۵- 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 ۱۰ تا ۲۰ متری در وضعیت جوی آفتابی سبب توقف تنها ۲۹٪ از رانندگان می‌شود. در حالتی که در وضعیت جوی بارانی این تصمیم‌گیری مبنی بر توقف به ۶۱٪ می‌رسد. این نشانگر این است که وضعیت جوی بارانی در فاصله ۱۰ تا ۲۰ متری تاثیر مثبت بر توقف رانندگان دارد.

۶- مراجع

- [1] Gazis, D., R. Herman, and A. Maradudin. 1960, The problem of the amber signal light in traffic flow. *Operations Research*, 8(1), 112-132.
- [2] 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 models. *Accident Analysis & Prevention*, 96, 300-307.
- [3] Stimpson, W., P.L. Zador, and P. Tarnoff. 1980, Influence of the time duration of yellow traffic signals on driver response. *ITE journal*, 50(11), 22-29.
- [4] Lum, K. and Y. 2003, Tan, Driver response at a signalized T-intersection during an amber blackout. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(3), 183-195.
- [5] Wierwille, W. W. 1993, An initial model of visual sampling of in-car displays and controls. *Vision in vehicles*, 4, 271-280.
- [6] Konecni, V., E.B. Ebbeson, and D.K. Konecni. 1976, Decision processes and risk taking in traffic: Driver response to the onset of yellow light. *Journal of Applied Psychology*, 61(3), 359.
- [7] Gates, T., et al. 2007, Analysis of driver behavior in dilemma zones at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2030, pp. 29-39.
- [8] El-Shawarby, I., et al. 2007, Age and gender impact on driver behavior at the onset of a yellow phase on high-speed signalized intersection approaches. in

فاصله خودرو در هنگام زرد شدن چراغ راهنمایی بیش از ۳۳ متر باشد احتمال عبور از چراغ برای خودرو صفر می‌شود و همین‌طور اگر خودرو در فاصله ۲۰ متری از تقاطع قرار داشته باشد و متغیرهای دیگر در متوسط میزان خود باشند به احتمال ۶ درصد خودرو تخلف می‌کند. همین‌طور این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش فاصله خودرو، تمایل رانندگان به تخلف با شیب بالاتری نسبت به کاهش سرعت، کاهش می‌یابد.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر عوامل فیزیکی، ترافیکی و محیطی بر رفتار رانندگان در تقاطع‌های قزوین بررسی شد. نتایج این مقاله می‌تواند مسئولان مربوط را در شناخت بیشتر ماهیت رفتار رانندگان در تقاطع‌های چراغدار و ارائه برنامه‌های کنترلی و نظارتی بیشتر یاری کند. 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 زمان‌بندی 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 تاثیر منفی بر رفتار رانندگان دارد. زیرا با افزایش سرعت میزان زمان برای راننده در تصمیم‌گیری کاهش محسوسی 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 پایینو و المتری است [9, 10].

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

۳- میزان زمان انتظار راننده (زمان قرمز چراغ) تأثیرگذاری قابل

- [17] Sharma, A., N. Burnett, and D.M. Bullock. 2010, Impact of inclement weather on dilemma zone boundaries. in Transportation Research Board 89th Annual Meeting(No. 10-2356).
- [18] Haque, M., et al. 2016, Decisions and actions of distracted drivers at the onset of yellow lights. *Accident Analysis & Prevention*, **96**, 290-299.
- [19] Setti, J.R., H.A. Rakha, and I. El-Shawarby. 2006, Analysis of brake perception-reaction times on high-speed signalized intersection approaches. In *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC'06. IEEE*, 689-694.
- [20] Hensher, D.A., J.M. Rose, and W.H. Greene. 2005, *Applied choice analysis: a primer*. Cambridge University Press.
- [21] Gates, T. and D. Noyce. 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*, (2149), 84-93.
- [22] Hurwitz, D.S., M.A. Knodler Jr, and B. Nyquist. 2010, Evaluation of driver behavior in type II dilemma zones at high-speed signalized intersections. *Journal of transportation engineering*, **137**(4), 277-286.
- [23] Huang, M., M. Fujita, and W. Wisetjindawat. 2017, Countdown timers, video surveillance and drivers' stop/go behavior: Winter versus summer. *Accident Analysis & Prevention*, **98**. 185-197.
- [24] Lemeshow, S. and D.W. Hosmer. 1982, A review of goodness of fit statistics for use in the development of logistic regression models. *American journal of epidemiology*, **115**(1), 92-106.
- [25] Gujarati, D.N., & Poter, D. 2009, *Basic econometrics* McGraw-Hill Education international Edition.
- [26] Washington, S.P., M.G. Karlaftis, and F. Mannering. 2010, *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. CRC press.
- Transportation Research Board 86th Annual Meeting (No. 07-0208).
- [9] Papaioannou, P. 2007, Driver behavior dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece. *Accident Analysis & Prevention*, **39**(1), 147-158.
- [10] Elmitiny, N., et al. 2010, Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation. *Accident Analysis & Prevention*, **42**(1), 101-111.
- [11] Retting, R.A., et al. 1999, Evaluation of red light camera enforcement in Oxnard, California. *Accident Analysis & Prevention*, **31**(3), 169-174.
- [12] Yan, X., et al. 2005, *Driver Behavior During Yellow Change Interval*. Proceedings of DSC North America, Orlando.
- [13] Long, K., L.D. Han, and Q. Yang. 2011, Effects of countdown timers on driver behavior after the yellow onset at Chinese intersections. *Traffic injury prevention*, **12**(5), 538-544.
- [14] Zhaosheng Yang, X.T. 2014, *Research on Driver Behavior in Yellow Interval at Signalized Intersections*. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.
- [15] Caird, J.K., et al. 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 behavior*, **10**(5), 383-396.
- [16] Kim, S., et al. 2016, Impact of road environment on drivers' behaviors in dilemma zone: Application of agent-based simulation. *Accident Analysis & Prevention*, **96**, 329-340.

Analyzing Driver Crossing Behaviour at Signalized Intersections in Yellow Intervals (Case Study of Qazvin City)

Alireza abdolrazaghi¹, Babak Mirbaha^{*2}, Amir Abbas Rassafi³

1- M.Sc. Transportation Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3- Associate professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

* 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 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(Coef.=-0,61241; p-value=0,0177), time passed in red phase(Coef.=-0.53836; p-value=0,0177), and headway(Coef.=-1,89062; p-value=0,0854) are the most effective factors on drivers' pauses in yellow or red phase. High speed of cars(Coef.=+0,172; p-value=0,0087) and also waiting time (red phase) (Coef.=+0,864; p-value=0,0095) are the most influential factors on drivers motion in yellow or red phases. I addition, in the situations in which drivers distance to intersection is less than one meter at the beginning of yellow phase and speed is higher than 20 m/s, passing probabilities are 74 and 90%, respectively. One of the innovations of this study is evaluating the effect of rain on the behavior of drivers. The results of model show the possibility that the drivers pass the traffic light in yellow or red phase will be increased by rising the amount of rainfall. Our results are able to inform officials about drivers' behavior at intersections with traffic lights and facilitate their control and surveillance.

Keywords: signalized intersections ,driver behavior, binary logit model.