

مدلسازی رفتار رانندگان در انتخاب عبور یا توقف در ابتدای فاز قرمز در تقاطع‌های چراغ‌دار (مطالعه موردی: شهر قزوین)

بابک میربهاء*، استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
علیرضا عبدالرزاقی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Mirbaha@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۶/۲۵ - پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۵

صفحه ۱۵۴-۱۴۵

چکیده

عبور از چراغ قرمز یک عمل بسیار خطرناک رانندگی است. که کاهش این رفتار مخاطره آمیز بستگی به درک شیوع آن و همچنین عوامل تأثیرگذار بر این رفتار دارد. با این هدف 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 نسبت به تحلیل ریسک‌پذیری رانندگان از تقاطع در فاز قرمز با استفاده از مدل لوجیت باینری اقدام شد. معمولاً عبور از چراغ قرمز امری تعمدی نمی باشد، به طور کلی طبق مشاهدات انجام گرفته ۹۶ درصد متخلفان در ۲ ثانیه ابتدایی از فاز قرمز چراغ اقدام به عبور کردند. همچنین نتایج بدست آمده از مدل، حاکی از آن است که وجود عابر پیاده در سواره رو، فاصله خودرو از خط ایست در ابتدای فاز زرد و مدت زمان سپری شده از فاز قرمز مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر توقف رانندگان در فاز قرمز است. همین‌طور افزایش سرعت خودرو مهمترین عامل تأثیرگذار بر عبور رانندگان در فاز قرمز است. همچنین اگر فاصله خودرو در هنگام زرد شدن چراغ راهنمایی بیش از ۲۰ متر باشد احتمال عبور از چراغ برای خودرو صفر می‌گردد و اگر خودرو در فاصله ۹ متری از تقاطع قرار داشته باشد و متغیرهای دیگر در متوسط میزان خود باشند به احتمال ۵۱ درصد خودرو تخلف می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تقاطع چراغ‌دار، فاز قرمز، رفتار رانندگان، لوجیت باینری

۱- مقدمه

است (NHTSA, 2004). به همین دلیل برای کاهش عبور از چراغ قرمز و تصادفات مربوط به آن، شناسایی عوامل تأثیرگذار بر عبور از چراغ قرمز در رانندگان و بر طبق آن اجرای اقدامات پیشنهادی مهندسی امری ضروری است. 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 فاصله‌اش از تقاطع محدوده‌ای قبل از تقاطع به وجود می‌آید که هر راننده در صورت قرارگرفتن در این محدوده، در صورتیکه اقدام به عبور

عبور از چراغ قرمز به عنوان یک عامل اصلی در تصادفات در تقاطع‌های چراغ‌دار تبدیل به یک مسئله ملی و جهانی شده است (NHTSA, 2008a). بر طبق گزارش اداره ملی ایمنی ترافیک بزرگراه‌های آمریکا بیش از ۲/۳ میلیون مورد تصادف مربوط به تقاطعات گزارش شده بود، که در نتیجه بیش از ۷۷۰۰ فرد در این تصادفات کشته شدند. از این آمار، ۷۶۲ تصادف فوتی (۹/۸۲ درصد) و ۱۶۵ تصادف جرحی به دلیل عبور از چراغ قرمز رخ داده است (NHTSA, 2008b). طبق مصاحبه‌های انجام شده در ایالات متحده آمریکا از ۴۰۱۰ راننده، ۹۷ درصد از رانندگان معتقد هستند که عبور از چراغ قرمز یک تهدید بسیار خطرناک برای ایمنی رانندگان دیگر

اطلاعات لازم از تصاویر ویدیویی چهار تقاطع با ویژگی‌های فیزیکی مختلف و در شرایط جوی صاف و بارانی جمع‌آوری شد. همچنین داده‌های مربوط به حجم و اطلاعات چراغ‌ها نیز مطابق با پژوهش پشین (Liu, Wu, Ma, & Hu, 2009) با استفاده از خروجی‌های تقاطع‌های هوشمند (SCATS) در هر سیکل چراغ مورد استفاده قرار گرفت. رفتار عبور یا توقف رانندگان در برابر چراغ قرمز با استفاده از یک مدل لوجیت باینری تحلیل شد. در ادامه، به سوالات زیر پاسخ داده می‌شود:

۱. چه عواملی بر رفتار رانندگان در تقاطع‌های زمان بندی شده به هنگام فاز قرمز (۵ ثانیه ابتدایی) تأثیرگذار است؟
۲. کدام متغیرها بر عبور رانندگان در تقاطع‌های زمان بندی شده در فاز قرمز (۵ ثانیه ابتدایی) تأثیرگذاری بیشتری دارند؟
۳. تأثیرگذاری مدت زمان سپری شده از فاز قرمز بر رفتار رانندگان در تقاطع‌های زمان بندی شده به چه میزان است؟
۴. آیا وجود عابر پیاده در سواره رو باعث محتاط تر شدن رانندگان می‌شود؟

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 (به طور مثال زمان بندی، طرح هندسی و...) و خودرو (سرعت خودرو و فاصله خودرو از تقاطع و سرفاصله مکانی و...) را بر تصمیم‌گیری رانندگان در عبور و یا توقف از تقاطع در فاز قرمز ارزیابی می‌کنند. در صورت تصمیم‌گیری دیرهنگام به عبور از تقاطع احتمال تصادف به دلیل عبور از چراغ قرمز افزایش می‌یابد، درحالی که تصمیم‌گیری زودهنگام به توقف احتمال تصادف با خودرو عقبی را افزایش می‌دهد. تخلف از چراغ قرمز یکی از مهمترین عوامل بروز تصادف در تقاطع‌های چراغدار است (Retting & Williams, 1996). در مطالعه‌ای در آمریکا میزان تخلفات از چراغ قرمز ۴/۱ به ازای هر ۱۰۰۰ وسیله نقلیه (Bonneson & Son, 2003) و در تحقیقی دیگر در پورتوریکو (Gonzalez & Figueroa

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 ناحیه تردید (Stimpson, Zador, & Tarnoff, 1980) می‌نامند. تصمیمات متفاوت رانندگان در این شرایط به توقف/عبور، می‌تواند باعث تصادف خودرو و یا عبور از چراغ قرمز گردد. به طور کلی، عبور از چراغ قرمز به معنی عبور راننده از خط ایست در فاز قرمز است، که در این زمینه مطالعات بسیاری انجام گرفته است (J Bonneson, Brewer, & Zimmerman, 2001). با وجود فاز زرد جهت هشدار به رانندگان به تغییر فاز چراغ، معمولاً عبور از چراغ قرمز توسط رانندگان رخ می‌دهد (Elmitiny, Yan, Radwan, Russo, & Nashar, 2010). به همین جهت طی پژوهشی به طور خلاصه رفتار رانندگان جهت عبور از چراغ قرمز به سه صورت تعریف می‌شود (Tim Gates, Noyce, Laracuate, & Nordheim, 2007):

۱) راننده‌ای که می‌تواند قبل از آغاز فاز قرمز عبور نماید، اما به دلیل کندی در تصمیم‌گیری و یا وجود ترافیک با تأخیری بیشتری از تقاطع عبور می‌کند.

۲) راننده‌ای که در ناحیه تردید قرار می‌گیرد.

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

مقاله پیش رو از میان مجموعه پژوهش‌های رفتاری، بر روی رفتار رانندگان در برابر چراغ قرمز در ساعات اوج و غیراوج ترافیک و در شرایط مختلف جوی به عنوان یک مسئله شناختی در برابر رفتار آنان در تقاطع‌های چراغ دار متمرکزی شود. رفتار رانندگان در این شرایط وابسته به عوامل متعددی است. در پژوهش‌های پیشین متغیرهای ترافیکی، زمان بندی و هندسی مرتبط با عبور از چراغ قرمز به عنوان عوامل مؤثر در عبور شناسایی شدند (FHWA, 2009). در این پژوهش نیز این متغیرها به عنوان متغیرهای اصلی در تصمیم‌گیری راننده مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. برای تجزیه و تحلیل عوامل تأثیرگذار بر عبور رانندگان از چراغ قرمز، اطلاعات مختلفی از تقاطعات جمع‌آوری می‌شوند، که در اکثر تحقیقات با استفاده از تصاویر ضبط شده، داده‌های مورد نیاز بدست می‌آید (Gates, Noyce, Laracuate, & Nordheim, 2007; Yang & Najm, 2007). در این پژوهش نیز

قرمز و عبور و یا توقف در طول چراغ زرد به طور مستقیم تأثیرگذار هستند (Elmitiny, Yan, Radwan, Russo, 2010). رتینگ^۵ و همکاران به بررسی تأثیر تجهیزات کنترلی بر رفتار رانندگان در تقاطع های چراغ دار پرداختند آن‌ها دریافتند که وجود دوربین ثبت تخلف از چراغ قرمز در تقاطع، عبور از چراغ قرمز توسط رانندگان را کاهش می‌دهد (Retting & Williams, 1996).

لانگ^۶ و همکاران با مطالعه‌ای که بر 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 (Long, Han, & Yang, 2011). همینطور یانگ^۷ و همکاران پژوهشی در مورد تأثیر معکوس‌شمار 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 می‌باشد. طبق نظر آنها با ساخت مدل درخت تصمیم‌گیری می‌توان دریافت که فاصله وسیله نقلیه از خط توقف بیشترین اثر را بر تصمیم‌گیری رانندگان دارد (Yang, Tian, Wang, Zhou, 2014). همچنین کاربرد^۸ و همکاران در شبیه‌سازهای رانندگی، رفتار رانندگان جوان و پیر در شروع زمان زرد در تقاطع های چراغ دار را مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها دریافتند که هرچه فاصله زمانی رانندگان از خط توقف بیشتر باشد، تمایل تمامی رانندگان به عبور از چراغ زرد کاهش می‌یابد (Caird, Chisholm, Edwards, & Creaser, 2007). همین‌طور کیم^۹ و همکاران با استفاده از آزمایش شبیه‌ساز رانندگی و با استفاده از مدل لوجیت باینری به مطالعه ترکیب عوامل محیطی مانند ویژگی های ترافیکی و نظارتی جاده پرداختند که باعث ایجاد یک مدل واقع بینانه‌تر برای تصمیم‌گیری راننده در ناحیه تردید گردید. نتایج تجربی نشان دادند که مدل ناحیه تردید پیشنهادشده قادر به پیش‌بینی تصمیمات رانندگان با دقت خوبی بود. به طور خاص، مدل یافته از مطالعه شبیه‌ساز رانندگی تأیید کرد که تغییرات در شرایط محیطی جاده، تعداد موارد عبور از چراغ قرمز رادر تقاطع می‌تواند کاهش دهد (Kim, Son, Chiu, Jeffers, 2007).

(Medina, 2012) یک تخلف در هر ۴ دقیقه ارزیابی شده است. هرچه وسایل نقلیه در نزدیکی تقاطع سرعت بیشتری داشته باشند و یا به صورت گروهی به تقاطع نزدیک شوند، میزان تخلف از چراغ قرمز افزایش می‌یابد (Bonneson & Son, 2003). در سال ۱۹۷۶ توسط کونسینی^{۱۰} و همکاران 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, & Konecni, 1976). همچنین 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 (Tim Gates, Noyce, Laracuate, & Nordheim, 2007).

در ادامه ال-شربی^{۱۱} 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^۲ (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, Rakha, Inman, & Davis, 2007). تحقیقات پاپیونو^{۱۲} 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 گردد (Papaioannou, 2007). در تحقیق المتری^{۱۳} 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

وانگ^{۱۳} و همکاران با استفاده از مدل لوجیت احتمال عبور رانندگان از چراغ قرمز را بررسی کرده اند (Wang, Yu, & Zhong, 2016). در این مطالعه نیز جهت بررسی رفتار رانندگان در فاز قرمز از مدل لوجیت استفاده شده است. در این مطالعه با توجه به داده‌های مرتبط با رفتار رانندگی در ایران نسبت به بررسی احتمال انتخاب عبور و یا توقف در فاز قرمز 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. چهار تقاطع از شهر قزوین که دارای مشخصات فیزیکی و ترافیکی متفاوت بودند برای جمع‌آوری داده‌ها انتخاب شدند. تقاطع‌ها در دو حالت ساعت اوج و غیراوج ترافیک و همبسطور در دو شرایط جوی بارانی و آفتابی مورد بررسی قرار گرفت. 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 هستند، 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 مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. تخمین هر مدل آماری به تعداد درجه آزادی مطمئنی نیاز دارد. کافی نبودن تعداد نمونه آماری، باعث ایجاد نتایج ناسازگار، غیر قابل اطمینان می‌شود. حداقل تعداد نمونه آماری موردنیاز، با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است (Hensher, Rose, & 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 می‌باشد که اگر در اختیار نباشد می‌توان بر

(Yang, 2015). 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 بصورت 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 (Sharma, Burnett, & Bullock, 2010). 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 (Haque, Ohlhauser, Washington, & Boyle, 2016). سستی^{۱۴} و همکاران در تحلیل زمان عکس‌العمل و انجام ترمز در سرعت‌های بالا در شروع فاز زرد از ۶۰ کاربر استفاده کردند آن‌ها نتیجه گرفتند که ۸۵ درصد از نمونه‌ها زمان عکس‌العملی برابر ۱ ثانیه داشتند. همین طور آن‌ها پیشنهاد کردند که زمان عکس‌العمل تا انجام ترمز را بین ۲،۲ تا ۴،۴ ثانیه در نظر گرفته شود. آن‌ها همین طور 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 (Setti, Rakha, & El-Shawarby, 2006). 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, & Dingus, 2016). برای مثال، رتینگ و ویلیام گزارش کرده اند که ۴۸ درصد تخلفات در بین ۰،۵ و ۰،۹ ثانیه بعد از شروع فاز قرمز، ۳۴ درصد تخلفات بین ۱ و ۱،۴ ثانیه، ۱۱ درصد تخلفات بین ۱،۵ و ۱،۹ ثانیه و ۷ درصد باقیمانده بیش از ۲ ثانیه رخ می‌دهد (Retting & Williams, 1996). 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 (Wang, Yu, & Zhong, 2016). برای شناسایی عوامل مؤثر بر رفتار عبور از چراغ قرمز، محققان روش‌های مختلفی را پیشنهاد کرده اند. به عنوان مثال،

خودرو، فاصله خودرو از خط توقف در ابتدای فاز زرد) و ویژگی‌های جوی (میزان بارش باران) دسته‌بندی می‌شوند. (Timothy Gates & Noyce, 2010; Huang, Fujita, & Wisetjindawat, 2017; Hurwitz, Knodler Jr, & Nyquist, 2010). در مجموع افرادی که مورد بررسی قرار گرفتند ۱۶۰ راننده با فاز قرمز روبه رو شده اند که ۹۶ درصد رانندگان در ۲ ثانیه ابتدایی فاز قرمز اقدام به عبور کردند، همینطور ۴۷ درصد در شرایط بارانی و ۵۳ درصد در شرایط آفتابی تصمیم به عبور گرفتند. با توجه به داده های آماری این پژوهش، ۸۲ درصد رانندگان در طول سیکل بالای ۶۰ ثانیه در فاز قرمز عبور را انتخاب کردند، همچنین ۶۷ درصد رانندگان تخلف از چراغ قرمز را زمانی انتخاب کردند که طول فاز قرمز رویکرد بیش از ۴۵ ثانیه بوده است.

اساس 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-۱) است و d مقدار خطای مجاز که معمولاً ۵ 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 ۷۰۰ 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

جدول ۱. توزیع آماری مشاهدات

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	واحد	متغیرهای پیوسته
۷/۲۹	۴/۱۰	۳۳/۷۰	۰/۰۰	متر	سرفاصله مکانی (Headway)
۱۰/۹۳۲	۲۱/۴۷	۶۳/۳	۱/۰۰	متر	فاصله از تقاطع وقتی چراغ زرد می شود (Disyell)
۲/۴۰	۷/۲۱	۱۴/۵۲	۳/۰۰	m/s	سرعت خودرو در زمان زرد چراغ (speedyell)
۱/۸۹	۵/۶۹	۱۱/۱۱	۱/۰۰	m/s	سرعت در فاصله ۲۰ متری از تقاطع (Speed20)
۱/۱۱	۱/۹۵۶	۵	۱/۰۰	ثانیه	مدت زمان سپری شده از فاز قرمز (time red)
۳۱/۴۴	۹۵/۶	۱۳۵	۴۰	ثانیه	طول سیکل چراغ (cycle)
۴/۶۲	۳/۳	۱۱/۰	۰/۰۰	میلی لیتر	میزان بارش باران (rain)
۷/۴۷	۳۱/۱۹	۴۵	۲۶	متر	طول عبور خودرو از خط ایست تا طرف مقابل تقاطع (Distance inter)
۰/۵۰	۲/۵۳	۳	۲	تعداد	تعداد فاز (Phase)
۱۱/۱۲	۳۷/۳۲	۶۳	۲۲	ثانیه	میزان زمان سبز رویکرد (Effective green time)
۲۴/۷	۵۳/۳۵	۹۴	۱۴	ثانیه	زمان انتظار در رویکرد تا سبز شدن چراغ (Waiting time)
متغیر دوگانه					
۰/۴۷۴	۱	۰	---	عدم وجود عابر پیاده در فاز زرد در خیابان = ۰	وجود و یا عدم وجود عابر پیاده در فاز زرد در خیابان = ۱
متغیر دوگانه					
وجود و یا عدم وجود عابر پیاده در سواره رو (ped)					

۳-۱ مدل سازی

در این مطالعه با توجه به ماهیت گسسته متغیر وابسته مورد

$$LL(\beta) = \ln(l(\beta)) = \sum_{i=1}^n \{y_i \ln(\pi(x_i)) + (1 - y_i) \ln(1 - \pi(x_i))\} \quad (2)$$

مطالعه (عبور یا عدم عبور از ابتدای فاز قرمز (۵ ثانیه ابتدایی)) از مدلسازی گسسته برای تحلیل استفاده شد. متغیر وابسته (Y) مورد مدل سازی در این بخش، خطرپذیر بودن یا نبودن رانندگان در عبور از ثانیه های آغازین چراغ قرمز (۵ ثانیه ابتدایی) است. با توجه به اینکه راننده با دو انتخاب عبور و یا توقف روبه رو است از مدل لوجت باینری جهت تحلیل رفتار رانندگان استفاده گردید. در مدل لوجیت باینری با توجه به تعریف مفهوم خطرپذیری بیان شده، عبور از چراغ قرمز به عنوان راننده خطرپذیر معرفی شد (Gates, Noyce, Laracuente, & Nordheim, 2007).

به عبارت دیگر در مدل سازی مدل لوجیت باینری، برای رانندگانی که عبور می کنند، عدد ۱ به متغیر وابسته تعلق گرفت. در مدل لوجیت باینری متغیر وابسته به صورت دوتایی تعریف می شود. مدل های لوجیت باینری قادرند این متغیر وابسته را به صورت تابعی از متغیرها پیوسته و گسسته توصیف کنند. در مدل لوجیت باینری، متغیر وابسته به صورت رابطه (۲) فرمول بندی می شود (Lemeshow & Hosmer, 1982):

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

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 شمار تمامی متغیرهای مستقل است. با وجود این متغیرها، احتمال انتخاب X با استفاده از رابطه (۳) مشخص می شود.

جهت کالیبره کردن ضرایب متغیرهای وابسته در مدل از روش حداکثر درست نمائی استفاده می شود. در روش حداکثر درست نمائی احتمال وقوع پدیده های مشاهده شده حداکثر می شود. به بیان ریاضی ابتدا احتمال وقوع مشاهدات با فرض

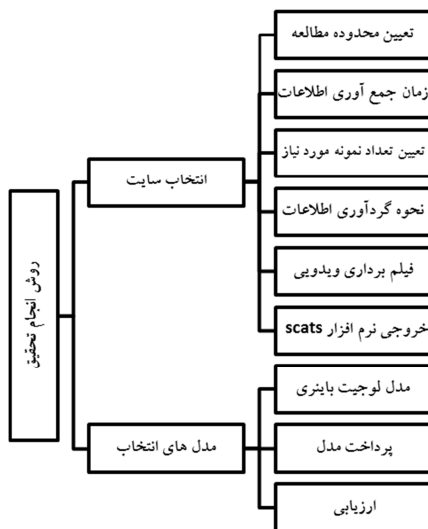
$$l(\beta) = \prod_{i=1}^n \pi(x_i)^{y_i} (1 - \pi(x_i))^{1-y_i} \quad (3)$$

استقلال وقوع، با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود و سپس ضرایب به گونه ای کالیبره می شود که به این احتمال مقدار حداکثر تخصیص یابد.

در این رابطه y_i مشخص کننده مین مشاهده متغیر وابسته با

مقدار ۰ یا ۱ است و از یک تا n (تعداد مشاهدات) ادامه می یابد. برای حداکثر سازی رابطه (۴) و کالیبره کردن ضرایب مدل از حداکثر سازی لگاریتم احتمال که در رابطه (۵) نشان داده شده است، استفاده می شود (Lemeshow & Hosmer, 1982).

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 شکل (۱) فلوچارت مراحل تحقیق به نمایش درآمده است.



شکل ۱. فلوچارت مراحل تحقیق

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 باینری نهایی متشکل از متغیرهای مشروح در جدول ۱ با استفاده از نرم افزار NLOGIT ساخته شد. در فرآیند مدلسازی از هر دو روش پیشرو و پس گشت^{۲۰} استفاده شد (Ben-Akiva et al., 2002). متغیرهای با سطح معناداری بیشتر از ۰/۱ از مدل کنار گذاشته شدند. ارزیابی قابلیت توصیف مدل با استفاده از شاخص های ρ_c^2 و ρ_o^2 صورت گرفت. در جدول (۳) علاوه بر گزارش متغیرهای به کاررفته در مدل، سطح معناداری و خطای استاندارد، شاخص های برازش مدل ها نیز گزارش شده است. تمامی ضرایب متغیرها در مدل از علامت و مقدارهای نسبی

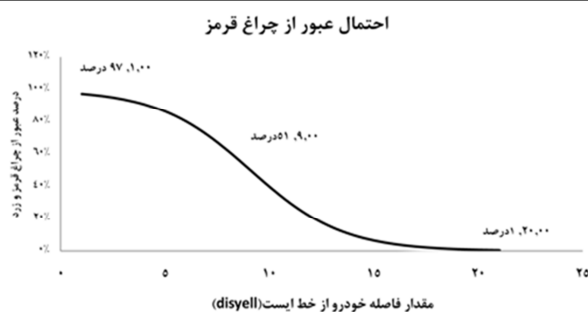
خودروهایی که دارای سرعت بالاتری در این زمان هستند، خطرپذیری بیشتری دارند. سرعت بالاتر نشان از ریسک پذیری بالاتر و کاهش زمان عکس العمل راننده است.

در تابع $(U(1))$ ، فاصله از خط ایست در ابتدای فاز زرد است که هرچه این فاصله در تقاطع افزایش یابد باعث کاهش پذیرش خطرپذیری راننده شده است. هرچه فاصله خودرو از تقاطع هنگامی که چراغ زرد می شود بیشتر باشد، مسافت بیشتری برای تصمیم گیری 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 راننده را به تخلف افزایش می دهد، این نتیجه نیز با نتایج پژوهش های پیشین مطابقت دارد (Sharma, Burnett, & Bullock, 2010). بررسی اثر سرعت خودرو از زمانی که چراغ زرد 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 فاز سپری شده از فاز قرمز هم متغیر دیگری با علامت ضریب منفی در تابع $(U(1))$ است که در افزایش احتمال خطرپذیری رانندگان تأثیر منفی دارد. طبق تعریف اشاره شده در مورد رفتار رانندگان در برابر چراغ قرمز تنها افرادی در زمان های بالای فاز قرمز اقدام به عبور می کنند که می توانند در فاز قرمز توقف نمایند اما عبور از چراغ قرمز را انتخاب می نمایند. به منظور نشان دادن تأثیر هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته، تجزیه و تحلیل اثرات حاشیه ای انجام شد. همانطور که جدول (۲) نشان می دهد، متغیر ped بیشترین تأثیر بر روی خطرپذیری رانندگان دارد که باعث کاهش قابل توجه احتمال عبور رانندگان از چراغ قرمز می شود. در مرحله آخر به بررسی و تحلیل حساسیت هریک از گزینه ها نسبت به عواملی همچون فاصله خودرو از خط ایست پرداخته شود. در نمودار شکل (۲) نیز تأثیرات فاصله خودرو از خط ایست بر وضعیت عبور مشاهده می شود که براساس این نمودار، وقتی فاصله خودرو در هنگام زرد شدن چراغ راهنمایی بیش از ۲۰ متر باشد احتمال عبور از چراغ برای خودرو صفر می گردد و همین طور اگر خودرو در فاصله ۹ متری از تقاطع قرار داشته باشد و متغیرهای دیگر در متوسط میزان خود باشند به احتمال ۵۱ درصد خودرو تخلف می کند. همین طور این نمودار نشان می دهد که با افزایش فاصله خودرو، تمایل رانندگان به تخلف با شیب قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

قابل انتظار برخوردار بودند ضرایب مثبت در $(U(1))$ به معنی تأثیرگذاری مثبت در ریسک پذیری راننده و علامت منفی به معنی تأثیرگذاری منفی آن است. شاخص های ρ_0^2 و ρ_C^2 به ترتیب نشان دهنده خوبی برازش مدل کالیبره شده نسبت به مدل پایه (سهم مساوی گزینه ها) و مدل با ضرایب ثابت (سهم بازار) هستند که مقادیر آنها به ترتیب برای مدل باینری برابر با ۰/۶۷ و ۰/۶۳ می باشد. شایان ذکر است که هرچه این مقادیر بیشتر و به سمت عدد ۱ میل نمایند، میزان برازندگی مدل بیشتر است. همانطور که مشاهده می شود میزان برازش مدل با ضرایب پایه (ρ_C^2) در مدل لوجیت باینری میزان مناسبی می باشد، که این امر به معنی دقت بالای مدل لوجت باینری جهت ارزیابی رفتار رانندگان در برابر چراغ قرمز می باشد. همچنین آزمون نسبت درست نمایی برای مدل ها به منظور اعتباریابی کل مدل و همچنین مقایسه بین دو مدل استفاده می شود. آزمون نسبت درست نمایی نشان می دهد که توضیح دهنده گی مدل لوجیت باینری نسبت به سهم مساوی (۴۸/۲۰) ادر برابر مقدار بحرانی (۱۵/۰۸۶) و سهم بازار (۲۶/۶۹) ادر برابر مقدار بحرانی (۱۵/۰۸۶)، در سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد، معنی دار است. با توجه به نتایج ارائه شده جدول (۳) برای مدل لوجیت باینری تمامی متغیرهای توضیحی مدل (به جز متغیر $spend\ Tim$) در سطح اطمینان بیش از ۹۵ درصد، معنی دار هستند. تحلیل نتایج مدل باینری نشان می دهد وجود عابرین پیاده (PED) در خیابان در هنگامی که چراغ قرمز می شود باعث می شود که رانندگان محتاط تر 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 می دهد، رانندگانی که دارای سرعت بالاتری در فاصله ۲۰ متری از تقاطع هستند ریسک پذیرتر عمل می کنند. دلیل این موضوع می تواند این باشد که رانندگان با سرعت بالاتر در خیابان، عبور خود را تمام شده فرض می کنند و در انتخاب توقف در پشت چراغ دقت کافی را نمی کنند. این نتیجه با نتایج مرجع (Long, Han, & Yang, 2011) مطابقت دارد. بررسی اثر سرعت خودرو از زمانی که چراغ زرد را مشاهده می کند تا به خط ایست می رسد، نشان می دهد که

جدول ۲. اثرات حاشیه‌ای متغیرهای پیوسته برای مدل لوجیت دوگانه

ردیف	متغیر	اثرات حاشیه‌ای در مدل باینری
۱	one	-۰/۲۴۸
۲	speed20	۰/۰۴۳۳
۳	disyell	-۰/۰۱۱۸
۴	speedyell	۰/۰۳۶۰
۵	ped	-۰/۱۵۵
۶	spendtim	-۰/۰۴۷۱



شکل ۲. نمودار فاصله خودرو از خط ایست (هنگامی که چراغ زرد می شود) به احتمال وقوع تخلف

جدول ۳. توابع مطلوبیت گزینه های موجود در مدل لوجیت دوگانه

$$(1) = \text{constant} + a1 * \text{disyell} + a2 * \text{speed20} + a3 * \text{speadav} + a4 * \text{ped} + a5 * \text{spendtime}$$

نوع متغیر	ضریب	انحراف معیار	b/st.er	سطح معناداری
constant	-۴/۷۳۷۷	۱,۶۱۷۲	-۲/۹۲۹	۰/۰۰۳۴
disyell	-۰/۲۲۶۷	۰/۰۵۴۲۱	-۴/۱۸۳	۰/۰۰۰۰
speed20	۰/۸۲۸۷	۰/۲۱۸۹	۳/۷۸۵	۰/۰۰۰۲
speedav	۰/۶۸۸۲	۰/۱۷۸۸	۳/۸۴۹	۰/۰۰۰۱
ped	-۳/۵۱۷۵	۰/۹۰۴۴	-۳/۸۸۹	۰/۰۰۰۱
spendtim	-۰/۹۰۰۶	۰/۵۳۹۸	-۱/۶۶۸	۰/۰۹۵۲
LL (0)	لگاریتم احتمال (سهم مساوی ضرایب)			-۱۱۰/۹
LL (c)	لگاریتم احتمال (سهم بازار)			-۱۰۰/۱۵
LL (β)	لگاریتم احتمال (ضرایب مدل)			-۳۶/۸۰
	ρ_0^2			۰/۶۷
	ρ_c^2			۰/۶۳
	$x_5^2 = (0.01df) = 15.086$		$-2[LL(0)-LL(B)]=148.20$	
			$-2[LL(c)-LL(B)]=126.69$	

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر عوامل فیزیکی، ترافیکی و محیطی بر رفتار رانندگان در تقاطعات قزوین مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش از مدل لوجیت باینری جهت ارزیابی رفتار رانندگان در برابر چراغ قرمز استفاده کرد. همچنین نتایج این مقاله حاکی از آن است که میزان تأثیرگذاری متغیر وجود عابرپیاده در سواره رو بیشترین تأثیر در کاهش تخلف راننده دارد. همچنین نتایج این مقاله می تواند مسئولان مربوط را در شناخت بیشتر ماهیت رفتار رانندگان در تقاطع های چراغدار و ارائه برنامه های کنترلی و نظارتی همچون نصب دوربین های ثبت تخلف چراغ قرمز پشتیبانی کند. این مطالعه بیان می کند سرعت راننده در هنگام رسیدن به تقاطع تأثیرگذاری قابل ملاحظه ای در عبور رانندگان از فاز قرمز دارد. در نتیجه مسئولان و کارشناسان با آموزش به رانندگان و اعمال قانون سرعت در تقاطع ها باعث کاهش قابل تخلف چراغ قرمز خواهند شد. به طور کلی، مهمترین نتایج بدست آمده از این مطالعه را می توان 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 تصمیم گیری کاهش محسوسی پیدا می کند و همین طور 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 نمی کند. این نتیجه مطابق پژوهش های پاپائو است (Papaioannou, 2007). ۲- میزان سپری شده از فاز قرمز تأثیرگذاری قابل توجهی در عبور از چراغ قرمز دارد. زمان فاز سپری شده از فاز قرمز (spend time) در افزایش احتمال خطرپذیری رانندگان تأثیر منفی دارد. طبق تعریف اشاره شده در مورد رفتار رانندگان در برابر چراغ قرمز تنها افرادی در زمان بالای فاز قرمز اقدام به عبور می کنند که می توانند در فاز قرمز توقف نمایند اما عبور از چراغ قرمز را انتخاب می نمایند (Gates & Noyce, 2010). ۳- یکی از اهداف این پژوهش از ابتدا بررسی تأثیرگذاری فاصله خودرو از تقاطع در هنگام شروع فاز زرد چراغ (disyll) است. این متغیر در مدل دارای ضریب منفی است، که به این معنا است که هرچه فاصله راننده از تقاطع بیشتر باشد احتمال تخلف راننده کاهش می یابد. هرچه فاصله خودرو از تقاطع هنگامی که چراغ زرد می شود بیشتر باشد، مسافت بیشتری برای تصمیم گیری رانندگان وجود دارد که محتاط تر عمل کنند و یا با افزایش سرعت، خود را در معرض خطر قرار دهند.

۶- پی نوشت ها

1. Dilemma zone
2. Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
3. Konecni
4. El-Shawarby
5. papaioannou
6. Elmitiny
7. Retting
8. Long
9. Yang
10. Caird
11. Kim
12. Setti
13. wang

۷. مراجع

- Bolduc, D. and Ben-AkiWand, M. (1996), "Multinomial Probit with a Logit Kernel and a General Parametric Specification of the Covariation Structure", Massachusetts Institute of Technology: Cambridge Mass.
- Bonneson, J. (2003), "Institute of Transportation Engineers, Making Intersections Safer: A Toolbox of Engineering Countermeasures to Reduce Red-Light Running: An Informational Report", Washington DC.
- Bonneson, J., Brewer, M., & Zimmerman, K. (2001), "Review and evaluation of factors that affect the frequency of red-light-running", No. FHWA/TX-02/4027-1.
- Bonneson, J., & Son, H. (2003), "Prediction of expected red-light-running frequency at urban intersections". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (1830), 38-47.
- 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.
- El-Shawarby, I., Rakha, H. A., Inman, V. W., & Davis, G. W. (2007), "Age and gender impact on driver behavior at the onset of a yellow phase on high-speed signalized intersection approaches", Paper presented at the Transportation Research Board 86th Annual Meeting.
- Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C., & 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.

- “Real-time queue length estimation for congested signalized intersections”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.17, No.), pp. 412-427.
- Long, K., Han, L. D., and Yang, Q. (2011), “Effects of countdown timers on driver behavior after the yellow onset at Chinese intersections”, *Traffic injury prevention*, Vol.12, No. 5, pp. 538-544.
- NHTSA, (2008a) “Traffic Safety Facts 2008 Report”(<<http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811170.PDF>>Accessed 30 July 2012).
- NHTSA, (2008b) “Fatality Analysis Reporting system.
- NHTSA, (2004), “The National Survey of Speeding and Other Unsafe Driver Actions”, Vol. 2: Findings. Report No. DOT HS 809 730.
- 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.
- 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. 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.
- Wang, X., Yu, R., & Zhong, C. (2016), “A field investigation of red-light-running in Shanghai, China”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, Vol. 37, pp.144-153.
- Yang, C. D., & Najm, W. G. (2007), Examining driver behavior using data gathered from red light photo enforcement cameras. *Journal of Safety Research*, Vol.38, No.3, pp.311-321.
- FHWA, (2009), “Engineering Countermeasures to Reduce Red-Light Running”, FHWA-SA-10-005, Washington, D.C.
- 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., Laracuate, L., & 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.
- Gonzalez, F. E. B., & Figueroa Medina, A. M. (2012), *Red Light Running Behavior at Signalized Intersections in Puerto Rico*. No. 12-3095.
- 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.
- Kim, S., Son, Y.-J., Chiu, Y.-C., Jeffers, M. A. B., & Yang, C. D. (2015), “Impact of road environment on drivers’ behaviors in dilemma zone: Application of agent-based simulation”, *Accident Analysis & Prevention*.
- 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., & 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.
- Liu, H. X., Wu, X., Ma, W., & Hu, H. (2009),

فصلنامه علمی - ترویجی جاده، شماره ۹۷، زمستان ۱۳۹۷