بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی راه و ترابری

مطالعه ناحیه تردید در میدان‌های چراغ‌دار

نگارنده:

احمد نجمی اترآباد

اساتید راهنما:

دکتر ایمان آقایان

دکتر عبدالاحد چوپانی

استاد مشاور:

مهندس عباس محمدی

بهمن ۱۳۹۶

شماره: ۹۶/۳۱۲
تاریخ: ۹۶/۱۱/۳

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای احمد نجمی اتر اباد با شماره دانشجویی ۹۴۱۷۹۶۴ رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری تحت عنوان مطالعه ناحیه تردید در میدان‌های چراغ‌دار که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۰۳ با حضور هیات محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: عالی).....) ☐ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☒ عملی ☐

عضو هیات داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر ایمان اقایان	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	دکتر عبدالاحد چوپانی	استادیار	
۳- استاد مشاور	مهندس عباس محمدی	مربی	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر سعید گلیان	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر حسین قاسم‌زاده	استادیار	
۶-ـ استاد ممتحن دوم	دکتر علی حسینی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر احمد احمدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۱۳۹۶/۱۱/۰۳

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی شاهرود

تبصره: در صورتی که کسب مردود شود حداکثر دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم ،

مادر مهربانم که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم .

پدر ، مهربانی مشفق ، بردبار و حامی .

بوسه بر دستان پر مهرتان

حمد و سپاس یکتای بی همتا را که لطفش بر ما عیان است، ادای شکرش را هیچ زبان و دریای فضلش را هیچ زبان و دریای فضلش را هیچ کران نیست و اگر در این وادی هستیم، همه محبت اوست. الهی ای مهربانتر از ما به ما، از تو می خواهم همه کسانی را که حتی ذره ای در انجام این امر مرا یاری نموده اند، در سایه لطف و محبت بی کرانت، سلامت، شادکام و موفق بدار.

کمال تشکر را از استادان عزیزم دکتر ایمان آقایان و دکتر عبدالاحد چوپانی دارم بابت راهنمایی های بی دریغشان

همچنین از مهندس محمدی که با لطف و کمک های خود گام بزرگی در انجام این اثر برداشتند.

تعهد نامه

این‌جانب احمد نجمی اترآباد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته راه و ترابری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **مطالعه ناحیه تردید در میدان‌های چراغ‌دار** تحت راهنمایی دکتر ایمان آقایان و دکتر عبدالاحد چوپانی و مشاوره مهندس عباس محمدی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این‌جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

امروزه با افزایش حمل و نقل، نیاز به راه‌کارهای مختلف برای بهبود وضعیت ترافیک بیشتر شده است. زمان‌بندی میدان‌ها از جمله‌ی این روش‌ها هستند. با توجه بهره‌برداری بالا از میدان‌های چراغ‌دار در ایران، تاکنون تحقیق جامعی در مورد رفتار راننده در میدان‌های چراغ‌دار انجام نگرفته است. در این پایان‌نامه، طول ناحیه تردید نوع ۲ در میدان‌های چراغ‌دار بر اساس شاخص‌های مکانی و زمانی (فاصله تا خط توقف (DTS) و زمان تا خط توقف (TTS)) حاصل می‌شود، که وابسته به تغییرات رفتار رانندگان است. هم‌چنین این پژوهش به دنبال تعیین تأثیر پارامترهای رفتار راننده نظیر شتاب کاهنده (a_m) و شتاب افزاینده (a_s) خودروها و زمان درک و واکنش (δ_s) رانندگان بر طول ناحیه تردید نوع ۲ است. تعیین زمان تمام‌قرمز با روش سینماتیک حرکت و برخورد ترافیکی و تعیین تابع احتمال توقف لوجیت، از دیگر اهداف است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، (TTS) شاخص بهتری در مقایسه با (DTS) برای تعیین موقعیت و طول ناحیه تردید است؛ چون بر اساس (DTS)، ناحیه تردید بسیار طولانی می‌شود. طول ناحیه تردید، برابر ۱/۵ تا ۴/۵ ثانیه از خط توقف پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد هماهنگی خوبی بین شاخص‌های تمرکز و پراکنش برای (δ_s) در مطالعه جاری و مطالعات پیشین وجود دارد. اما چنین الگویی برای (a_m) و (a_s) مشاهده نشد. (a_s) در تقاطعات ۳ و ۳/۳۶ متر بر مجذور ثانیه است (ITE و AASTHO). اما در میدان‌های چراغ‌دار ۱/۲۶ متر بر مجذور ثانیه که حدود یک‌سوم مقادیر پیشنهادی است. رانندگان میدان‌های چراغ‌دار در مقایسه با تقاطعات چراغ‌دار، رانندگان محافظه‌کارتری هستند. نتایج مربوط به احتمال توقف لوجیت نشان می‌دهد، در بین خودروها، خودروهای باری سنگین/اتوبوس بیشترین تأثیر را بر احتمال توقف دارند و در پارامترهای سرعت، DTS، TTS معمولا اثرگذار بر احتمال توقف و پارامتر زمان زرد تأثیری بر احتمال توقف ندارد.

واژه‌های کلیدی: میدان چراغ‌دار، زمان‌بندی چراغ راهنمایی، ناحیه تردید نوع ۲، پارامترهای رفتار راننده، زمان تمام‌قرمز، تابع احتمال توقف لوجیت.

لیست مقالات مستخرج:

نجمی، احمد. آقایان، ایمان. چوپانی، عبدالاحد. (۱۳۹۶). اولین کنفرانس ملی حمل و نقل، دستاوردهای اخیر در مهندسی و برنامه ریزی. دانشگاه بین المللی امام خمینی.

فهرست مطالب

۱- فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق ۳

۱-۳- نوآوری تحقیق ۳

۱-۴- اهداف تحقیق ۴

۱-۴-۱- بررسی پارامترهای مربوط به رفتار راننده به‌صورت دینامیکی با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات میدانی و مقایسه آن با تقاطعات چراغ‌دار ۴

۱-۴-۲- تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ در میدان چراغ‌دار و مقایسه آن با تقاطع چراغ‌دار ۴

۱-۴-۳- تعیین زمان تمام‌قرمز ۵

۱-۴-۴- تعیین تابع احتمال توقف ۵

۱-۵- ساختار تحقیق ۵

۲- فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۱-۱- چراغ راهنمایی ۸

۲-۱-۲- ناحیه تردید ۹

۲-۱-۳- بازده زرد و تمام‌قرمز ۹

۲-۲- مروری بر کارهای گذشته ۱۰

۲-۲-۱- مطالعات مربوط به ناحیه تردید نوع ۱ ..... ۱۰

۲-۲-۲- مطالعات مربوط به ناحیه تردید نوع ۲ ..... ۱۴

۲-۲-۳- مطالعات مربوط به زمان زرد و تمام‌قرمز ۲۱

۲-۲-۴- سایر مطالعات مرتبط ۲۴

۲-۳- جمع بندی و نتیجه‌گیری فصل ۲۵

۳- فصل سوم: روش تحقیق ۲۹

۳-۱- مقدمه ۳۰

۳-۲- شرط لازم برای انتخاب میدان‌ها ۳۰

۳-۳- ویژگی و مشخصات هندسی میدان‌های انتخاب شده ۳۱
۳-۴- جمع‌آوری اطلاعات میدانی ۳۴
۳-۵- استخراج اطلاعات ۳۶
۳-۵-۱- اطلاعات جمع‌آوری شده برای هر دو گروه خودرو ۳۸
۳-۵-۲- اطلاعات جمع‌آوری شده برای خودروهای عبوری در زمان زرد ۳۹
۳-۵-۳- اطلاعات جمع‌آوری شده برای اولین خودروهای توقفی ۴۰
۳-۶- دسته‌بندی و پردازش اطلاعات ۴۲
۳-۷- اصلاحات اطلاعات بدست آمده ۴۳
۳-۸- رگرسیون لجستیک ۴۳
۳-۸-۱- تعریف متغیرها ۴۳
۳-۸-۲- مفاهیم کاربردی در رگرسیون لجستیک ۴۴
۳-۸-۳- روش انتخاب متغیرها در رگرسیون لجستیک ۴۶
۴- فصل چهارم: نتایج ۴۹
۴-۱- مقدمه ۵۰
۴-۲- اطلاعات آماری توصیفی ۵۰
۴-۲-۱- اطلاعات آماری توصیفی مربوط به خودروهای عبوری در زمان زرد و خودروهای توقفی ۵۱
۴-۳- پارامترهای رفتار راننده ۵۷
۴-۳-۱- a_m (شتاب خودروهای عبوری) ۵۷
۴-۳-۲- a_s (شتاب کاهنده خودروهای توقفی) ۵۷
۴-۳-۳- δ_s (زمان درک و واکنش خودروهای توقفی) ۵۸
۴-۳-۴- δ_m (زمان درک و واکنش خودروهای عبوری) ۵۹
۴-۳-۵- نتیجه‌گیری ۶۰
۴-۴- ناحیه تردید نوع ۲ (L_{dz2}) ۶۰
۴-۴-۱- ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس شاخص مکانی ۶۰
۴-۴-۲- ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس شاخص زمانی ۶۲
۴-۴-۳- مقایسه دو روش تعیین ناحیه تردید نوع ۲ ..... ۶۵
۴-۵- تعیین زمان تمام‌قرمز ۶۵

۴-۵-۱- تعیین زمان تمام‌قرمز با روش سینماتیک حرکت ۶۵
۴-۵-۲- تعیین زمان تمام‌قرمز با روش تکنیک برخورد ۶۶
۴-۵-۳- مقایسه دو روش تعیین زمان تمام‌قرمز ۶۸
۴-۵-۴- مقایسه زمان تمام‌قرمز در میدان‌ها و تقاطعات چراغ‌دار ۶۹
۴-۶- تحلیل احتمال توقف ۶۹
۴-۶-۱- تحلیل احتمال توقف (مرحله اول، خودروهای سواری و شاسی‌بلند) ۷۱
۴-۶-۲- تحلیل احتمال توقف (مرحله اول، خودروهای باری و اتوبوس) ۷۳
۴-۶-۳- تحلیل احتمال توقف (مرحله اول، همه خودروها) ۷۴
۴-۶-۴- تحلیل احتمال توقف (مرحله دوم، خودروهای سواری و شاسی‌بلند) ۷۷
۴-۶-۵- تحلیل احتمال توقف (مرحله دوم، خودروهای باری و اتوبوس)..... ۷۹
۴-۶-۶- تحلیل احتمال توقف (مرحله دوم، همه خودروها)..... ۸۰
۴-۷- نتایج مربط به تحلیل احتمال توقف ۸۲
۵- فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری ۸۳
۵-۱- خلاصه تحقیق ۸۴
۵-۲- نتایج تحقیق ۸۴
۵-۳- پیشنهاد جهت مطالعه آینده ۸۵
پیوست ۸۷
پیوست الف: داده‌های ورودی به اکسل ۸۸
پیوست ب: تصاویری از محیط نرم‌افزار Adobe premiere ۸۹
منابع ۹۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: ناحیه تردید نوع ۱ ..... ۱۱
شکل ۲-۲: ناحیه تردید نوع ۲ (تعریف اول) ۱۵
شکل ۲-۳: ناحیه تردید نوع ۲ (تعریف دوم) ۱۵
شکل ۳-۱: موقعیت سه میدان در شهر مشهد ۳۳
شکل ۳-۲: مسیر برداشت شده در میدان تقی‌آباد ۳۳
شکل ۳-۳: مسیر برداشت شده در میدان ابوطالب ۳۳
شکل ۳-۴: مسیر برداشت شده در میدان شهدای غواص ۳۴
شکل ۳-۵: نحوه استقرار دوربین برای پوشش میدان ۳۵
شکل ۳-۶: مسیر طی شده در میدان برای خودروهای مستقیم‌رو و نقطه برخورد آن با جریان متداخل در نیمه میدان ۳۵
شکل ۳-۷: موقعیت یک خودرو در دو حالت الف) ابتدای زمان زرد، ب) دو ثانیه قبل از زمان زرد در نرم‌افزار Adobe premiere ۳۷
شکل ۴-۱: مقدار زمان و فاصله از خط توقف. الف) میدان تقی‌آباد، ب) میدان ابوطالب، ج) میدان شهدای غواص. ۶۴
شکل ۴-۲: تابع توزیع جمعی زمان و فاصله از خط توقف. الف) میدان تقی‌آباد، ب) میدان ابوطالب، ج) میدان شهدای غواص ۶۸
شکل ۰-۱: تصاویری از محیط نرم‌افزار Adobe premiere ۸۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱: مطالعات مربوط به ناحیه تردید نوع ۱ ..... ۲۵

جدول ۲-۲: مطالعات مربوط به ناحیه تردید نوع ۲ ..... ۲۶

جدول ۲-۳: مطالعات مربوط به زمان زرد و تمام‌قرمز ۲۷

جدول ۲-۴: سایر مطالعات مرتبط ۲۷

جدول ۳-۱: مشخصات هندسی میدان‌ها ۳۲

جدول ۳-۲: داده‌های مطالعه‌ی جاری ۴۲

جدول ۴-۱: اطلاعات مربوط به تعداد خودروهای عبوری در زمان زرد و اولین خودروهای توقفی در هر میدان (تعداد خودرو برداشت شده) ۵۱

جدول ۴-۲: اطلاعات مربوط به زمان چراغ زرد و قرمز در هر میدان (ثانیه) ۵۱

جدول ۴-۳: اطلاعات مربوط به فاصله از خط توقف برای خودروهای عبوری در ابتدای زمان زرد (متر) ۵۲

جدول ۴-۴: اطلاعات مربوط به فاصله از خط توقف برای خودروهای توقفی در ابتدای زمان زرد (متر) ۵۲

جدول ۴-۵: اطلاعات مربوط به سرعت برای خودروهای عبوری در ابتدای زمان زرد (کیلومتر بر ساعت) ۵۳

جدول ۴-۶: اطلاعات مربوط به سرعت برای اولین خودروهای توقفی در ابتدای زمان زرد (کیلومتر بر ساعت) ۵۳

جدول ۴-۷: اطلاعات مربوط به سرعت برای خودروهای عبوری در بازه‌ی زمان زرد (کیلومتر بر ساعت) ۵۴

جدول ۴-۸: اطلاعات مربوط به سرعت برای خودروهای عبوری در میدان (کیلومتر بر ساعت) ۵۴

جدول ۴-۹: اطلاعات مربوط به شتاب برای خودروهای عبوری در بازه‌ی زمان زرد (متر بر مجذور ثانیه) ۵۵

جدول ۴-۱۰: اطلاعات مربوط به شتاب برای خودروهای عبوری در میدان (متر بر مجذور ثانیه) ۵۵

جدول ۴-۱۱: اطلاعات مربوط به زمان درک و واکنش برای خودروهای توقفی (ثانیه) ۵۶

جدول ۴-۱۲: اطلاعات مربوط به شتاب کاهنده برای خودروهای توقفی (متر بر مجذور ثانیه) ۵۶

جدول ۴-۱۳: مقادیر a_m، a_s و δ_s برای میدان‌های چراغدار ۵۹

جدول ۴-۱۴: مقایسه مقادیر a_m, a_s, δ_s برای میدان‌ها و تقاطعات چراغدار ۵۹

جدول ۴-۱۵: ناحیه تردید نوع ۲ براساس شاخص مکانی در میدان‌ها و تقاطعات چراغدار. الف) میدان چراغدار مطالعه جاری، ب) تقاطعات چراغدار مطالعات پیشین ۶۱

جدول ۴-۱۶: تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس احتمال توقف و هم‌چنین بر اساس TTS پیشنهادی ۲/۵ تا ۵/۵ ..... ۶۳

جدول ۴-۱۷: زمان تمام‌قرمز (R) میدان‌های چراغدار ۶۸

جدول ۴-۱۸: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله اول) ۷۱

جدول ۴-۱۹: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله اول) ۷۱
جدول ۴-۲۰: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله اول) ۷۲
جدول ۴-۲۱: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف خودروهای باری و اتوبوس (مرحله اول) .. ۷۳
جدول ۴-۲۲: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی خودروهای باری و اتوبوس (مرحله اول) ۷۳
جدول ۴-۲۳: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف خودروهای باری و اتوبوس (مرحله اول) ۷۳
جدول ۴-۲۴: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف همه خودروها (مرحله اول) ۷۴
جدول ۴-۲۵: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی همه خودروها (مرحله اول) ۷۵
جدول ۴-۲۶: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف همه خودروها (مرحله اول) ۷۶
جدول ۴-۲۷: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله دوم) ۷۷
جدول ۴-۲۸: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله دوم).... ۷۷
جدول ۴-۲۹: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله دوم) ۷۸
جدول ۴-۳۰: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف خودروهای باری و اتوبوس (مرحله دوم).. ۷۹
جدول ۴-۳۱: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی خودروهای باری و اتوبوس (مرحله دوم) ۷۹
جدول ۴-۳۲: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف خودروهای باری و اتوبوس (مرحله دوم)..... ۷۹
جدول ۴-۳۳: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف همه خودروها(مرحله دوم) ۸۰
جدول ۴-۳۴: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی همه خودروها (مرحله دوم)..... ۸۰
جدول ۴-۳۵: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف همه خودروها (مرحله اول)..... ۸۱
جدول ۰-۱: داده‌های ورودی به اکسل برای خودروهای عبوری در زمان زرد ۸۸
جدول ۰-۲: داده‌های ورودی به اکسل برای اولین خودروهای توقفی ۸۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه مشکلاتی مثل تراکم، ازدحام، آلودگی هوا و درصد بالای تصادفات از جمله مشخصه‌های عمده‌ی اغلب شهرهای بزرگ بخصوص شهرهای واقع در کشورهای درحال‌توسعه است. افزایش غیر قابل قبول زمان سفرهای درون‌شهری، تأخیرهای طولانی در پشت چراغ‌های راهنمایی و عدم کارایی سیستم-های حمل و نقل عمومی سبب ایجاد تنش‌های روحی و روانی ساکنین این شهرها و بروز مشکلات اجتماعی و روانی برای آنان گردیده است.

توسعه‌ی روزافزون شهرها، جابجایی انسان و کالا را به‌صورت مسئله‌ای پیچیده درآورده است. رشد و کارایی نواحی شهری، ملزم به برنامه‌ریزی و ساخت امکانات کافی برای حمل و نقل عمومی و خصوصی است. عملکرد این برنامه‌ریزی باید به نحوی باشد که حرکت روان و مناسبی را برای کل ترافیک فراهم نماید. بدین منظور، نیاز به طراحی شبکه ترافیکی با ظرفیت مطلوب و کاهش نرخ تصادفات در میدان‌های چراغ‌دار[1] و بدون چراغ همواره از مهم‌ترین دغدغه‌های مهندسین حمل و نقل و ترافیک بوده است.

ایمنی در میدان‌های چراغ‌دار به عوامل مختلفی چون: طرح هندسی میدان، حجم ترافیک در ورودی‌های میدان، فازبندی و زمان‌بندی چراغ[2] و رفتار کاربران راه (راننده و عابر پیاده) بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل در بروز تصادفات در میدان‌های چراغ‌دار که ارتباط نزدیکی با فرآیند تصمیم‌گیری راننده و عملکرد وسیله نقلیه دارد، محدوده ناحیه تردید[3] در میدان‌های چراغ‌دار است. ناحیه تردید به محدوده‌ای گفته می‌شود که درصدی از رانندگان پس از رؤیت چراغ زرد تصمیم به عبور از تقاطع می‌گیرند و بقیه با رؤیت چراغ زرد تصمیم به توقف می‌گیرند. توجه به رفع مشکل این مسئله نقش بسزایی در کاهش تصادفات دارد.

[1] Signalized roundabout
[2] Signal timing
[3] Dilemma zone

۱-۲- تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق

میدان‌ها در شبکه‌ی ترافیک نقش و اهمیت ویژه‌ای دارند و روش‌های مختلفی برای کنترل آن‌ها پیشنهاد شده است. از موارد مهم زمان‌بندی چراغ راهنمایی تعیین زمان زرد است. زمان نامناسب زرد می‌تواند راننده را در محدوده‌ی تردید قرار دهد. در این وضعیت وقتی راننده به تقاطع نزدیک می‌شود نه می‌تواند به‌صورت کامل از تقاطع عبور کند و نه می‌تواند پشت خط ایست، به‌صورت ایمن توقف کند.

وجود ناحیه‌ی تردید باعث بروز تصادفات و افزایش شدت آن‌ها می‌گردد. در ۲۰ سال گذشته، تحقیقات زیادی در ارتباط با شناسایی رفتار راننده و تعیین مرزهای این ناحیه انجام گرفته است. با توجه به تنوع در رفتار رانندگان و وسایل نقلیه، لزوم بررسی ناحیه تردید به صورت دینامیکی یعنی بررسی نحوه‌ی تصمیم‌گیری رانندگان و شناسایی پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر آن به‌صورت پویا و متغیر، احساس می‌شود.

ناحیه تردید، زمان زرد و تمام‌قرمز[1] از جمله مباحثی است که فقط در تقاطع‌ها بررسی شده است و در میدان‌های چراغ‌دار مورد بحث قرار نگرفته است. امروزه با افزایش تراکم شهری و تشکیل صف[2] در میدان‌ها و همچنین افزایش تصادفات نیاز به بررسی زمان‌بندی‌های مختلف و بررسی ناحیه تردید و عوامل مؤثر بر آن باید پیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد.

۱-۳- نوآوری تحقیق

با مروری بر کارهای انجام گرفته تاکنون، می‌توان گفت که تاکنون تحقیق جامعی در زمینه‌ی بررسی ناحیه تردید دینامیکی، پارامترهای رفتار راننده، زمان تمام‌قرمز و تابع احتمال توقف لوجیت در میدان‌های چراغ‌دار انجام نشده است، برای بررسی ناحیه تردید از اطلاعات میدانی مربوط به سه میدان چراغ‌دار در مشهد استفاده شده است و پارامترهای مربوط بر رفتار راننده مانند سرعت، زمان درک و

[1] All red
[2] Queue

واکنش، فاصله از خط توقف، شتاب کاهنده و افزاینده با اطلاعات مربوط به فازبندی و زمان‌بندی و همچنین مشخصات فیزیکی میدان مانند تعداد خطوط ورودی، شعاع میدان و ... بررسی می‌شود.

۱-۴- اهداف تحقیق

در این پژوهش اهداف به پنج قسمت تقسیم می‌شود

۱-۴-۱- بررسی پارامترهای مربوط به رفتار راننده به‌صورت دینامیکی با استفاده از جمع-آوری اطلاعات میدانی و مقایسه آن با تقاطعات چراغ‌دار

در ابتدا خودروها به دو گروه "خودروهای عبوری در زمان زرد[۱]" و "اولین خودروهای توقفی[۲]" تقسیم‌بندی می‌شوند. سپس پارامترهای مربوط به راننده و خودرو مانند "شتاب خودروهای عبوری از تقاطع[۳] a_m، شتاب کاهنده خودروهای توقفی[۴] a_s، زمان درک و واکنش[۵] δ_s که ماهیتی پویا و دینامیکی دارند و بر طول ناحیه تردید نوع ۲ و زمان تمام‌قرمز تأثیرگذار هستند، از مشاهده فیلم به دست می‌آید. سپس با پارامترهای رفتار راننده در تقاطع که توسط آیین‌نامه‌های مختلف بیان شده است، مقایسه گردد.

۱-۴-۲- تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ در میدان چراغ‌دار و مقایسه آن با تقاطع چراغ-دار

در این قسمت، محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس شاخص مکانی (فاصله تا خط توقف، DTS[۶] و شاخص زمانی (زمان تا خط توقف، TTS[۷]) تعیین می‌شود. بدین‌صورت ابتدای ناحیه تردید نوع ۲ جایی است که ۹۰ درصد خودروها و انتهای ناحیه تردید نوع ۲ جایی است که ۱۰ درصد خودروها توقف می‌کنند. سپس این محدوده ناحیه تردید با تقاطع مقایسه می‌گردد.

---

[1] Yellow light running
[2] First to stop
[3] acceleration
[4] decleration
[5] Perception reaction time
[6] Distance to stop line
[7] Time to stop line

۱-۴-۳- تعیین زمان تمام‌قرمز

در این مرحله، زمان تمام‌قرمز از دو روش سینماتیک حرکت و زمان تا برخورد[1] (تکنیک برخورد) حاصل می‌شود. در روش اول، زمان رسیدن خودرو به نیمه میدان به‌عنوان زمان تمام‌قرمز در نظر گرفته می‌شود. در روش دوم، زمان تمام‌قرمز طوری تعیین می‌شود که خودروهای عبوری، زمان کافی برای عبور از نیمه میدان را داشته باشند و امکان برخورد آنها با جریان متقاطع، حذف شود. هدف زمان تمام‌قرمز عبور ایمن خودرو از داخل تقاطع یا میدان است که در این تحقیق با توجه به زمان‌بندی داخل میدان، هدف زمان تمام‌قرمز حذف نقطه‌ی برخورد با رویکرد سمت راست و عبور ایمن از آن است.

۱-۴-۴- تعیین تابع احتمال توقف

در این مرحله احتمال توقف و حرکت خودرو به‌عنوان پارامتر وابسته و به‌صورت باینری (عبور عدد صفر، توقف عدد یک) و پارامترهای نوع خودرو، زمان زرد، TTS، DTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/افزاینده دو مرحله به‌عنوان پارامتر مستقل وارد نرم‌افزار SPSS می‌گردند. هدف در این قسمت، بررسی تأثیر پارامترهای ذکر شده بر احتمال توقف با استفاده از رگرسیون لوجیت[2] است.

۱-۵- ساختار تحقیق

در فصل اول به معرفی و ضرورت انجام تحقیق پرداخته شد. سپس جنبه‌ی نوآوری و اهداف تحقیق مورد بررسی قرار گرفت است. این اهداف به چهار قسمت تقسیم شد که به آنها اشاره شده است.

در فصل دوم، به تعریف چراغ راهنمایی و ناحیه تردید و تأثیرات آن بر رفتار رانندگان و مطالعات گذشته‌ی مربوط به آن‌ها پرداخته می‌شود. ابتدا انواع ناحیه تردید تعریف شده و نمونه‌ای از آن‌ها ارائه می‌گردد. سپس مطالعات مربوط به ناحیه تردید دینامیکی نوع ۱ و ۲ و زمان تمام‌قرمز از طریق جمع-آوری اطلاعات میدانی بررسی و در نهایت به‌صورت خلاصه در جدولی ارائه شده است.

[1] Time to collision
[2] Logit regression

در فصل سوم، مراحل انجام تحقیق مانند، تعیین ویژگی‌های میدان‌های مورد نظر، نحوه انتخاب میدان، مشخصات هندسی میدان‌های انتخابی و موقعیت قرارگیری آن‌ها، بررسی میکروسکوپیک هر خودرو برای تعیین پارامترهای مکان، سرعت، لاین[1] قرارگیری خودرو، نوع خودروها و طول سیکل زمان‌بندی و پارامترهای مربوط به رفتار راننده و به‌صورت بانک اطلاعاتی در نرم‌افزار اکسل[2] ارائه می‌شود. در این مرحله از نرم‌افزار Adobe Premier برای برداشت اطلاعات از فیلم‌ها استفاده شد.

در فصل چهارم، با توجه به بانک‌های اطلاعاتی پارامترهای رفتار راننده و تصمیم‌گیری برای عبور یا عدم‌عبور از تقاطع هنگام شروع زمان زرد، تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲، زمان تمام‌قرمز و تابع احتمال توقف لوجیت برای عبور ایمن خودروهای وارد شده به میدان در زمان زرد بررسی می‌شود و با تقاطعات چراغ‌دار مقایسه می‌گردد.

فصل پنجم نیز خلاصه‌ای از تحقیق ارائه می‌دهد که شامل مراحل انجام تحقیق و تحلیل نتایج و پیشنهادات می‌باشد.

[1] lane
[2] Excel

فصل دوم

مروری بر کارهای گذشته

۲-۱- مقدمه

هدف استفاده از تقاطع‌ها و میدان‌های چراغ‌دار به حداقل رساندن متوسط تأخیر به ازای هر وسیله نقلیه است. در این فصل به بررسی پیشینه‌ی تحقیق در ارتباط با موضوع پرداخته شده است. در وهله‌ی اول شرح چراغ راهنمایی، معیارهای بازه‌های زمان زرد و تمام‌قرمز، سپس مطالعات و پژوهش‌های انجام شده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱-۱- چراغ راهنمایی

به‌طور کلی وسایل کنترل ترافیک شامل تابلوها، علامت‌گذاری‌ها و چراغ‌های راهنمایی می‌باشند. در بین وسایل کنترل ترافیکی، طراحی و نصب چراغ راهنمایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. مفاهیم کاربردی در چراغ راهنمایی به‌صورت زیر می‌باشند:

- زمان سیکل[1]: کل زمان برای یک دور چراغ راهنمایی، یعنی از شروع سبز تا شروع مجدد سبز یک چراغ.
- فاز[2]: حالت‌های جداگانه‌ای که به یک یا چند مسیر حرکت توسط چراغ راهنمایی حق تقدم عبور داده می‌شود.
- زمان بین دو سبز[3]: زمانی است که از انتهای سبز یک فاز تا شروع زمان سبز فاز دیگر طول می‌کشد. این زمان اگر زمان تمام‌قرمز نداشته باشیم برابر طول زرد و زمان قرمز است و در غیر این صورت برابر زمان زرد و قرمز به‌علاوه تمام‌قرمز است.
- زمان تمام‌قرمز: زمان تمام‌قرمز مدت زمانی است که چراغ تمام فازها به‌طور هم‌زمان قرمز است. زمان تمام‌قرمز در تقاطع‌ها و میدان‌های شلوغ برای عبور عابرین پیاده و تخلیه تقاطع و میدان از وسایل نقلیه و همچنین برای تکمیل زمان زرد در زمان‌بندی بعضی چراغ‌های راهنمایی منظور می‌گردد.

[1] Cycle time
[2] Phase
[3] Intergreen period

- زمان هر چراغ[1]: هر یک از چند بخشی از زمان سیکل که در آن فاصله، رنگ چراغ‌ها تغییر نمی‌کند.
- زمان‌بندی چراغ: یک برنامه تنظیم شده قبلی برای زمان هر چراغ در طول یک سیکل کامل را زمان‌بندی چراغ می‌گویند.

۲-۱-۲- ناحیه تردید

هنگام عبور خودروها از تقاطع چراغ‌دار، چنان‌چه چراغ راهنما زرد شود، رانندگان بر اساس سرعت خودرو، مسافت از خط توقف و زمان زرد باقیمانده، باید تصمیم بگیرند که از تقاطع عبور کنند یا این‌که توقف کنند. اگر راننده نزدیک به خط توقف باشد و علی‌رغم برخورداری از زمان زرد کافی برای عبور از تقاطع، تصمیم به توقف بگیرد، ممکن است باعث تصادف از عقب با خودروهای پشت سر خود شود که قصد عبور از تقاطع را داشتند. برعکس آن، اگر خودرو در فاصله بسیار دوری از تقاطع باشد و زمان زرد باقی‌مانده، برای عبور از تقاطع کافی نباشد، اما راننده تصمیم به عبور از تقاطع بگیرد، ممکن است مجبور به عبور از تقاطع در زمان چراغ قرمز شود که خطر تصادف از پهلو[2] با خودروهای جریان متقاطع را دارد. زرد شدن چراغ راهنما، رانندگان را دچار تردید و دوگانگی برای توقف یا عبور از تقاطع خواهد کرد و باعث بروز تصادفات احتمالی خواهد شد. دو گونه تعریف برای ناحیه تردید نوع ۲ ارائه شده است. تعریف اول، که به آن ناحیه عدم تصمیم‌گیری[3] می‌گویند و تعریف دوم، تعیین ناحیه تردید با توجه به شاخص زمانی و مکانی است.

۲-۱-۳- بازه زرد و تمام‌قرمز

بازه زرد به مدت زمان زرد بعد از اتمام چراغ سبز و قبل از شروع چراغ قرمز یا تمام‌قرمز اطلاق می‌شود. کاربرد بازه زرد در زمان‌بندی تقاطع‌های چراغ‌دار این است به وسایل نقلیه‌ای که به تقاطع

[1] Time interval
[2] Right angle collision
[3] Option zone

نزدیک می‌شوند در مورد تغییر حق تقدم هشدار دهد. هم‌چنین به وسایل نقلیه‌ای که فاصله زیادی تا تقاطع دارند اجازه دهند که با اعمال ترمز و کاهش سرعت قبل از رسیدن به خط ایست توقف کنند و یا اگر نزدیک به تقاطع هستند با حفظ سرعت وارد تقاطع شده و آن را تخلیه کنند. عبور چرخ‌های جلوی خودرو از خط ایست به منزله تخلیه تقاطع است. زمان رایج برای بازه زرد در تقاطع‌هایی که سرعت وسایل نقلیه در آن‌ها بالا است، بین ۳ تا ۵ ثانیه پیشنهاد شده است [ITE [1](پند و ولشون (۲۰۱۶)[2]].

بازه تمام‌قرمز این فرصت را به خودروهایی که در بازه زرد وارد تقاطع شده‌اند می‌دهد که با ایمنی تقاطع را قبل از شروع سبز جهت مخالف تخلیه کنند. هم‌چنین زمان زرد و تمام‌قرمز برای تأثیرگذاری و کاهش خودروهای عبوری در زمان قرمز است. در این تحقیق، با توجه به پادساعت‌گرد بودن زمان‌بندی میدان در رویکردهای مختلف، هدف از زمان تمام‌قرمز در میدان کاهش و یا حذف برخورد بین دو دسته خودرویی هست که در دو رویکرد نزدیک یکدیگر قرار گرفته‌اند. زمان رایج برای بازه تمام‌قرمز ۲ ثانیه است[ITE (پند و ولشون ۲۰۱۶)].

۲-۲- مروری بر کارهای گذشته

۲-۲-۱- مطالعات مربوط به ناحیه تردید نوع ۱

محدوده ناحیه تردید به دو نوع طبقه‌بندی می‌شود. ناحیه تردید نوع ۱ که اولین بار توسط گزیس و همکاران[3] (۱۹۶۰) ارائه شد، زمانی اتفاق می‌افتد که زمان زرد کافی برای عبور خودرو از تقاطع موجود نباشد. در این ناحیه، نه امکان توقف ایمن وجود دارد و نه امکان عبور راحت در زمان زرد باقی‌مانده. شکل ۲-۱، ناحیه تردید نوع ۱ را نشان می‌دهد. در این شکل، X_m کمینه فاصله برای عبور از تقاطع است. X_s نیز بیشینه فاصله برای توقف است. خودروهایی که فاصله‌شان از خط توقف (X) به‌گونه‌ای

[1] Institute of Transportation Engineers
[2] Walshone et al.
[3] Gazis et al.

است که $X_m \leq X \leq X_s$ در ناحیه تردید نوع ۱ قرار دارند. X_s و X_m به ترتیب از روابط ذیل به‌دست می‌آید (گزیس و همکاران (۱۹۶۰).

$$X_s = V_0\delta_s + \frac{V_0^2}{2a_s} \qquad (۱-۲)$$

$$X_m = V_0\tau + \frac{a_m(\tau - \delta_m)^2}{2} - W - L \qquad (۲-۲)$$

V_0: سرعت وسیله نقلیه در شروع زمان زرد (متر بر ثانیه)

δ_m: زمان درک و عکس‌العمل راننده برای عبور از تقاطع (ثانیه)

δ_s: زمان درک و عکس‌العمل راننده برای توقف (ثانیه)

a_m: شتاب افزاینده (متر بر مجذور ثانیه)

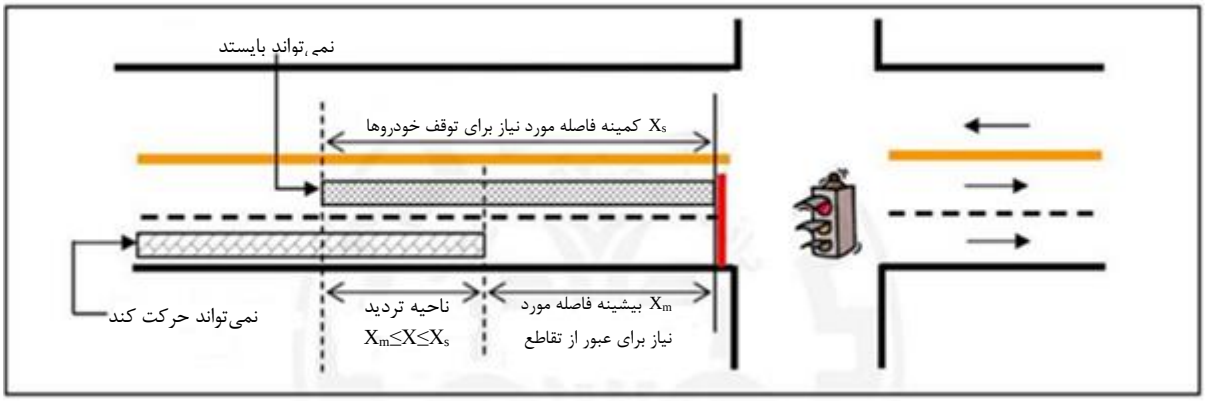
a_s: شتاب کاهنده (متر بر مجذور ثانیه)

τ: زمان زرد (ثانیه)

W: عرض تقاطع (متر)

L: طول خودرو (متر)

خودروهایی که فاصله‌شان ($X \leq X_m$)، در ناحیه عبور-بهتر[1] و خودروهایی که فاصله‌شان ($X_s \leq X$)، در ناحیه توقف-بهتر[2] قرار دارند.



شکل ۲-۱: ناحیه تردید نوع ۱

[1] Should go
[2] Should stop

لیو و همکاران[1] (۱۹۹۶) زمان زرد مناسب را با توجه به فرمول GHM[2] محاسبه کردند و هم‌چنین اثبات کرد خودروهایی که سرعتی کمتر از سرعت مجاز دارند، در صورت تنظیم زمان زرد طبق فرمول GHM و تنها با افزایش شتاب قادر به عبور از تقاطع هستند و برای شتاب افزاینده در فرمول GHM مقداری غیر از صفر در نظر گرفت. همچنین بازه زرد را به دو قسمت زمان زرد و زمان تمام‌قرمز تقسیم‌بندی کرد. در نهایت به این نتیجه رسید، خودروهایی که سرعتی کمتر از محدودیت سرعت دارند، با افزایش شتاب می‌توانند از تقاطع عبور کنند.

مون و همکاران[3] (۲۰۰۳) مفهوم ناحیه تردید دینامیکی و میزان تأخیر خودروهای دنباله‌رو[4] در تقاطعات راه‌آهن را بررسی کردند. خودروها در تقاطعات راه‌آهن ممکن است با چراغ قرمز چشمک‌زن مواجه شوند و این حالت شک و تردید برای عبور و توقف همانند تقاطعات شهری است و می‌توان برای آن ناحیه تردید تعریف کرد. کمینه فاصله برای عبور از تقاطع راه‌آهن (X_m) برابر حاصل‌ضرب زمان باز شدن گیت[5] در سرعت ورودی خودروها است که البته باید فاصله گیت ورودی و خروجی و طول خودرو را از آن کم کرد. بیشینه فاصله برای توقف (X_s) همانند تقاطع به‌دست می‌آید و هنگامی که این دو مقدار با هم برابر باشند مقدار زمان مناسب برای باز شدن و تأخیر گیت ورودی حاصل می‌شود. وقتی که سرعت خودروها و شتاب ورودی و خروجی با توجه به خودروها متغیر باشد، ناحیه تردید پویا داریم. در نهایت این نتیجه حاصل شد که می‌توان با مساوی قرار دادن مقدار (X_m) و (X_s) می‌توان مقدار بهینه تأخیر گیت ورودی را محاسبه کرد. علاوه بر این، می‌توان با تعبیه‌ی دستگاهی در خودرو که مرتبط با چراغ قرمز تقاطع راه‌آهن است، راننده را از ناحیه تردید مطلع نمود.

[1] Liu et al.
[2] Gazis, Herman, Maradudin (GHM)
[3] Moon et al.
[4] Following vehicles
[5] Gate

لیو و همکاران[1] (۲۰۰۷) با مطالعه موردی شش تقاطع چراغ‌دار و ۱۱۲۳ راننده، بر اساس نوع عکس العمل رانندگان در زمان رؤیت چراغ زرد و خصوصیات کلیدی مانند سرعت رسیدن وسیله نقلیه به خط ایست، نرخ افزایش یا کاهش شتاب، فاصله d_c را به عنوان فاصله بحرانی در نظر گرفت و رفتار رانندگان را به ۳ گروه محافظه‌کار، عادی و تهاجمی طبقه‌بندی کرد:

- رانندگان محافظه‌کار: رانندگانی که هنگام مشاهده چراغ زرد، با وجود این که فاصله آنها از خط ایست کمتر از فاصله بحرانی است و امکان عبور ایمن از تقاطع را با حفظ سرعت وسیله نقلیه خود دارند، تصمیم به توقف می‌گیرند.
- رانندگان عادی: رانندگانی که هنگام مشاهده چراغ زرد، اگر فاصله آنها از خط ایست کمتر از فاصله بحرانی باشد، تصمیم به عبور از تقاطع می‌گیرند.
- رانندگان تهاجمی: رانندگانی که هنگام مشاهده چراغ زرد، علی‌رغم این‌که فاصله آنها از خط ایست بیشتر از فاصله بحرانی است، تصمیم به عبور از تقاطع می‌گیرند.

در نهایت بین پارامترهای رفتار رانندگان در این سه میدان آزمون‌های آماری برقرار کردند و نتیجه-گیری کردند، رانندگانی که به‌صورت تهاجمی رانندگی می‌کنند، ناحیه تردید بیشتری را نسبت به دو گروه دیگر تجربه می‌کنند. هم‌چنین طول و محل ناحیه تردید با توجه به سرعت، شتاب کاهنده و افزاینده، زمان درک و عکس‌العمل و زمان زرد متغیر است. هم‌چنین افزایش زمان زرد به‌تنهایی باعث کاهش ناحیه تردید در بین سه گروه رانندگان ذکر شده در بالا نمی‌گردد.

لی و همکاران[2] (۲۰۱۳) با مطالعه موردی چهار تقاطع چراغ‌دار، متغیرهای مؤثر در مرزهای ناحیه تردید (شتاب کاهنده و افزاینده، زمان درک و عکس‌العمل) را با استفاده از کارهای آماری به‌صورت تابعی از سرعت وسیله نقلیه و صدک ۸۵ام سرعت وسیله نقلیه و طول زمان زرد به‌دست آوردند. بر اساس این

[1] Liu et al.
[2] Li et al.

تحقیقات به این نتیجه رسیدند که، حداقل زمان عکس‌العمل رانندگان (PRT)[1] تابعی از سرعت است و با افزایش سرعت وسیله نقلیه حداقل زمان عکس‌العمل رانندگان کاهش می‌یابد. بر همین اساس نرخ حداکثر افزایش شتاب، رابطه معکوس با سرعت وسایل نقلیه و رابطه مستقیم با صدک ۸۵ام سرعت دارد و نرخ حداکثر کاهش شتاب، رابطه مستقیم با سرعت وسیله نقلیه و رابطه معکوس با صدک ۸۵ام سرعت وسایل نقلیه دارد. در پایان، مقایسه‌ای بین ناحیه تردید نوع ۱ (مقادیر ثابت)، ناحیه تردید نوع ۱ (مقادیر دینامیکی) و ناحیه تردید نوع ۲ (احتمال توقف) انجام شد و به نتیجه زیر رسیدند: در پیش‌بینی محدوده بالا و پایین، ناحیه تردید دینامیکی نوع ۱ به ترتیب ۳۴ و ۶۲ درصد بهتر از ناحیه تردید ثابت نوع ۱ و ناحیه تردید دینامیکی نوع ۲ ۶۲ و ۵۶ درصد نسبت به ناحیه تردید ثابت نوع ۲ بهتر عمل کرده است. دلیل این عمکرد بهتر، این است که در اکثر مقالات از مقادیر ثابت برای پارامترهای رفتار راننده استفاده شده است، اما در این تحقیق از مقادیر دینامیکی و پویا برای پارامترهای رفتار راننده استفاده شده است.

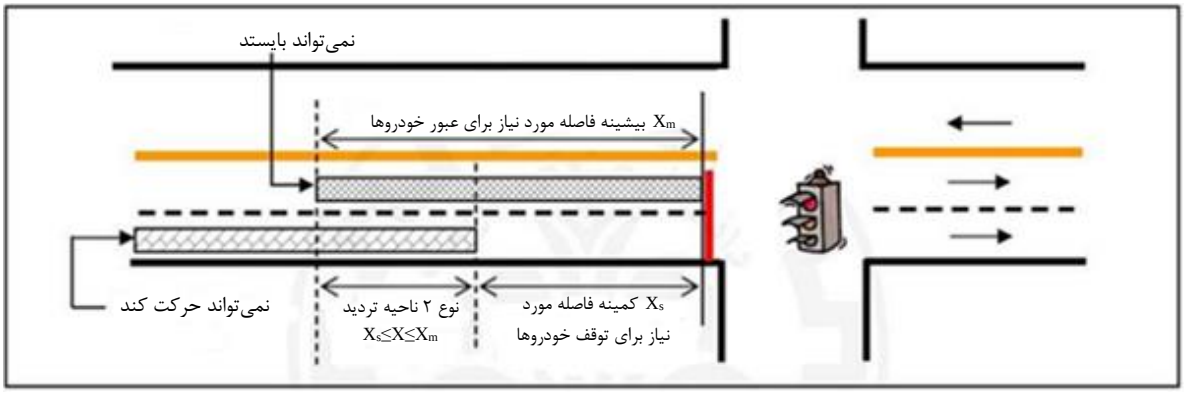
۲-۲-۲- مطالعات مربوط به ناحیه تردید نوع ۲

دو گونه تعریف برای ناحیه تردید نوع ۲ ارائه شده است. در تعریف اول که اولین بار توسط پارسونسون و همکاران[2] (۱۹۷۴) ارائه شد، ناحیه‌ای است که در آن، خودروها هم می‌توانند به راحتی از تقاطع عبور کنند و هم با ایمنی توقف کنند و به آن ناحیه عدم تصمیم‌گیری می‌گویند. برای درک بهتر تفاوت میان ناحیه تردید نوع ۱ و ۲، باید گفت در نوع اول $X_m<X_s$. اما در نوع ۲، $X_s<X_m$ می‌باشد. شکل ۲-۲، تعریف اول ناحیه تردید نوع ۲ را نشان می‌دهد.

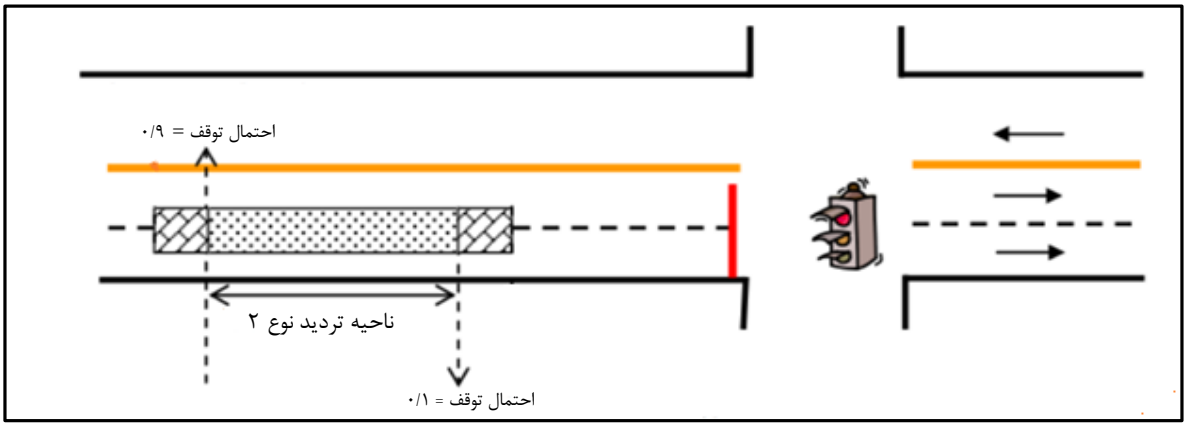
تعریف دوم ناحیه تردید نوع ۲، این ناحیه را حاصل تفاوت رفتار رانندگان در هنگام رانندگی می‌داند. نقطه‌ی شروع و پایان ناحیه تردید نوع ۲ مکانی است که به ترتیب ۹۰ و ۱۰ درصد خودروها توقف می‌کنند (شکل ۲-۳). این تعریف، مستقل از ارتباط بین X_s و X_m است. به عبارتی دیگر، تعریف دوم، ناحیه تردید نوع ۱ را ناشی از یک نگاه قطعی به تردید می‌داند و ناحیه تردید نوع ۲ را حاصل یک نگاه

[1] Perception reaction time
[2] Parsonson et al.

تصادفی. در مقاله پارسونسون و همکاران (۱۹۷۴)، نقطه شروع و پایان ناحیه تردید را بر اساس زمان باقی‌مانده تا خط توقف (TTS) تعریف می‌کند و مقدار TTS را بین ۲/۵ تا ۵ ثانیه قبل از تقاطع فرض می‌کند.



شکل ۲-۲: ناحیه تردید نوع ۲ (تعریف اول)



شکل ۲-۳: ناحیه تردید نوع ۲ (تعریف دوم)

زیگر و همکاران[1] (۱۹۷۸) با مطالعه موردی از ۲۱۰۰ راننده، مرزهای ناحیه تردید نوع ۲ را با عنوان "DTS" از عواملی چون سرعت وسیله نقلیه و زمان طی شده تا خط ایست (TTS) تعیین کردند. آنها بیان کردند که نقطه شروع محدوده در جایی اتفاق می‌افتد که ۹۰ درصد خودروها توقف می‌کنند و انتهای محدوده جایی است که فقط ۱۰ درصد راننده‌ها می‌ایستند. آن‌ها، برای حذف زمان زرد، افزایش زمان سبز[2] را پیشنهاد داده است. برای این کار ۳ تقاطع را قبل و بعد از افزایش زمان سبز بررسی کردند

1 Zegeer et al.
2 Green extention

و به این نتیجه رسیدند که افزایش زمان سبز باعث کاهش ۵۴ درصدی در کل تصادفات و کاهش ۷۵ درصدی در تصادفات از پشت می‌گردد. هم‌چنین با اندازه‌گیری نقاط برخورد، حجم، تأخیر و سرعت در دو تقاطع قبل و بعد از اعمال افزایش زمان سبز به این نتیجه رسید که افزایش زمان سبز باعث کاهش ۶۲ درصد تأخیرات و کاهش شدید تعداد برخوردها در دو تقاطع شده است. در حالی که تغییر قابل توجهی در تأخیرها اتفاق نیفتاده است.

شفی و همکاران[1] (۱۹۸۱) به بررسی رفتار راننده با استفاده از احتمال باینری (توقف یا حرکت) پرداختند. از مزایای این روش این است که، برای تعیین محدوده ناحیه تردید، نیاز به مطالعه موردی و جمع‌آوری داده نمی‌باشد و باعث کاهش هزینه و زمان می‌گردد. خودروهایی که TTS آنها از مقدار زمان بحرانی کمتر باشد، احتمال توقفشان بیشتر است. هم‌چنین یک مدل پروبیت برای احتمال توقف یا حرکت خودرو با نرم‌افزار CHOMP بیان کردند. سپس نتایج به‌دست‌آمده از این مدل و نمودارهای تعیین محدوده‌ی ناحیه تردید مقایسه شدند و در مورد تعیین محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲ نتایج تقریباً مشابه بود. در هر دو روش، سرعت و فاصله از تقاطع یک عامل مهم در توقف یا حرکت خودرو بود.

چنگ و همکاران[2] (۱۹۸۵) به بررسی رفتار راننده در هفت تقاطع مختلف پرداختند و مرزهای ناحیه را بر اساس زمان طی شده تا خط ایست تعریف کردند. آن‌ها نشان دادند که اگر فاصله زمانی راننده‌ها تا خط ایست ۳ ثانیه یا بیشتر باشد، ۸۵ درصد آنها می‌ایستند و اگر این فاصله تا خط ایست ۲ ثانیه یا کمتر باشد، اکثر راننده‌ها بدون توجه به این‌که چه سرعتی دارند به حرکتشان ادامه می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که مکان و طول ناحیه تردید متغیر بوده و با زمان عکس‌العمل راننده، طول زمان زرد، ویژگی‌های وسیله نقلیه، طرح هندسی، مکان وسیله نقلیه در صف و خصوصیات جریان ترافیک رابطه مستقیم دارد.

[1] Sheffi et al.
[2] Change et al.

گیتس و همکاران[1] (۲۰۰۷) با مطالعه موردی چند تقاطع مختلف ناحیه تردید نوع ۲ را بر اساس TTS مشخص کردند، بدین‌صورت که خودروهایی که TTS آنها بین ۲/۵ تا ۵/۵ ثانیه قبل از شروع زرد بود را در نظر گرفتند، سپس با استفاده از کارهای آماری زمان درک و عکس‌العمل راننده، شتاب کاهنده به‌صورت دینامیکی و تابعی از فاصله از خط توقف در شروع زرد، سرعت در ابتدای زمان زرد به دست آوردند و با مطالعات گذشتگان مقایسه کردند. در مرحله بعد احتمال رفتن یا توقف خودرو در زمان زرد با استفاده از رگرسیون باینری به دست می‌آید، پارامتر وابسته احتمال رفتن و توقف و پارامتر مستقل نوع خودرو، عملکرد خودروی کناری[2] و وجود یا عدم وجود خودروی پارک شده است. در نهایت این نتیجه حاصل شد که عملکرد خودروهای کناری و وجود یا عدم‌وجود خودروی پارک شده پارامترهای تأثیرگذار بر احتمال توقف هستند. درنهایت فاکتورهای مؤثر بر خودروهای عبوری در زمان قرمز بررسی می‌گردد. در پایان این نتیجه حاصل شد که نمودارهای زمان درک و عکس‌العمل و شتاب کاهنده و مدل‌سازی خودروهای عبوری از قرمز با نمودارهای کارهای گذشتگان مشابه است. هم‌چنین شتاب کاهنده و درک و عکس‌العمل با سرعت ارتباط دارد، برای مثال خودروهای توقفی که سرعت آنها بیش از ۶۴/۳۷ کیلومتر بر ساعت است، شتاب کاهنده بیشتری نسبت به خودروهای با سرعت کمتر از این مقدار داشته‌اند و هم‌چنین زمان درک و واکنش کمتری داشته‌اند. علاوه بر این‌ها، رفتار راننده برای عبور یا توقف به عواملی مثل محل و خودروهای نزدیک (عکس‌العمل خودروهای کناری) مربوط است. هم-چنین نتیجه دیگر این بود که خودروهای سنگین کمتر از خودروهای سواری تمایل به توقف دارند.

رخا و همکاران[3] (۲۰۰۷) به بررسی رفتار راننده در پنج تقاطع مختلف پرداختند. محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲ را بر اساس احتمال توقف رانندگان، جنسیت و سن رانندگان نیز تعیین کرد. خودروهایی که TTS آنها بین ۱/۶ تا ۵/۵ ثانیه است، احتمال توقف آنها بین ۹ تا ۱۰۰ درصد است. هم‌چنین احتمال توقف برای رانندگان مرد کمتر از زنان است. و با توجه به سن رانندگان نیز، TTS برای رانندگان زیر ۴۰

[1] Gates et al.
[2] Adjacent cars
[3] Rakha et al.

سال را بین ۱/۸۵ تا ۳/۹ ثانیه و TTS برای رانندگان بالای ۷۰ سال بین ۱/۵ تا ۳/۲ ثانیه پیشنهاد کردند. از طرفی دیگر، مشاهده شد که TTS بیش از جنسیت و سن بر زمان درک و عکس‌العمل رانندگان تأثیر دارد. در این مقاله به ارتباط بین حرکت یا توقف راننده با عواملی همچون فاصله از خط توقف، سن و جنسیت رانندگان پی برده شد. برای مثال خودروهایی که در فاصله‌ی نزدیک نسبت به تقاطع قرار دارند، احتمال توقف کمتری دارند و رانندگان مردی که در فاصله ۳۲ تا ۶۶ متری (TTS بین ۱/۶ تا ۳/۳ ثانیه) از تقاطع قرار دارند، تمایل کمتری برای توقف نسبت به رانندگان زن دارند. هم‌چنین رانندگان ۶۵ سال به بالا تمایل بیشتری برای توقف نسبت به رانندگان زیر ۶۵ سال دارند. (۷۴ درصد نسبت به ۶۶ درصد). به‌صورت تخمینی رانندگان جوان ۲۰ درصد بیشتر نسبت به رانندگان مسن‌تر تمایل به عبور دارند. برای رانندگان مسن، بیشترین تصمیمات مربوط به حرکت و توقف خودرو در نزدیکی تقاطع گرفته می‌شود و این بدان معناست که افراد مسن برای تصمیم‌گیری نیاز به زمان بیشتری دارند.

وی و همکاران[1] (۲۰۰۹) با مطالعه موردی به بررسی ماهیت سه ناحیه تردید (ناحیه تردید نوع ۱، ناحیه تردید نوع ۲ تعریف اول و دوم) به‌صورت دینامیکی پرداختند. ابتدا با فرمول‌های تئوری محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۱ را مشخص کردند، سپس با مقادیر به‌دست‌آمده از نتایج مشاهداتی مقایسه شدند (برای این کار، نمودار مکان و سرعت را برای آخرین خودروهای عبوری و اولین خودروهای توقفی رسم کردند و محدوده ناحیه تردید نوع ۱ را مشخص کردند). سپس احتمال توقف را با مدل پروبیت محاسبه کردند. پارامترهای مؤثر بر احتمال توقف، نوع خودرو و TTS بودند که احتمال توقف با نوع خودرو ارتباط بیشتری داشت. در این مدل خودروهای سنگین تمایل کمتری برای توقف داشتند. در نهایت برای ناحیه تردید نوع ۱ به این نتیجه رسیدند که رفتار راننده به پارامترهای شتاب افزاینده و کاهنده و زمان درک و عکس‌العمل بستگی دارد، هم‌چنین با توجه به نمودار، خودروهای مشاهداتی توقفی که سرعتی کمتر از ۷۰/۸۱ کیلومتر بر ساعت دارند، تمایل کمتری برای توقف نسبت به حالت تئوری دارند.

[1] Wei et al.

ولی در سرعت‌های بیش از ۷۰/۸۱ کیلومتر بر ساعت، تمایل بیشتری برای توقف دارند. هم‌چنین برای خودروهای مشاهداتی عبوری که سرعتی کمتر از ۴۶/۶۷ کیلومتر بر ساعت تمایل بیشتری برای عبور نسبت به حالت تئوری دارند ولی برای سرعت‌های بیش از ۴۶/۶۷ کیلومتر بر ساعت، تمایل به عبور کمتر است. در این مقاله، آن‌ها ارتباطی بین پارامترهای رفتار راننده و سرعت برقرار کردند، بدین‌صورت که به هر میزان که سرعت افزایش یابد، شتاب کاهنده افزایش، زمان درک و عکس‌العمل و شتاب افزاینده کاهش می‌یابد. برخی از خودروهای عبوری در زمان قرمز، به دلیل عدم توانایی عبور در زمان زرد، در زمان قرمز عبور کرده‌اند و برخی دیگر نیز با این‌که، در ناحیه تردید نوع ۲ (تعریف اول) قرار داشتند، اما به دلیل رفتار و عملکرد راننده نتوانستند در زمان زرد عبور کنند. در مورد ناحیه تردید نوع ۲ (تعریف دوم) نیز به این نتیجه رسیدند که نوع خودرو در احتمال توقف تأثیر دارد، برای مثال خودروهای سنگین تمایل کمتری برای توقف دارند. در پایان با مقایسه بین ناحیه تردید نوع ۱ و ناحیه تردید نوع ۲ (ناحیه عدم تصمیم‌گیری) به این نتیجه رسیدند که برای سرعت‌های کمتر از ۸۰/۴۶ کیلومتر بر ساعت، ناحیه تردید نوع ۱ از بین رفته و حالت ناحیه تردید نوع ۲ (تعریف اول) به‌وجود می‌آید. در نهایت به این نتیجه رسیدند چون ناحیه نوع ۱ محاسباتی از مشاهداتی کمتر است، بنابراین نمی‌تواند به‌خوبی بیان‌گر حالت ناحیه تردید و خطر باشد. برای ناحیه تردید نوع ۲ (ناحیه عدم تصمیم-گیری) برای سرعت‌های کمتر از ۶۴/۳۷ کیلومتر بر ساعت، انتهای آن (۱۰ درصد توقف) از مقادیر کمترین فاصله برای توقف کمتر است که نباید این‌گونه باشد.

المیتینی و همکاران[1] (۲۰۱۰) با مطالعه موردی به بررسی احتمال حرکت و توقف خودروها پرداختند و با رسم نمودار نشان دادند به هر میزان، فاصله از تقاطع بیشتر شود، احتمال عبور کم و احتمال توقف بیشتر می‌شود و در فاصله ۸۵/۳۵-۹۷/۵۳ متر احتمال عبور و توقف برابر و نزدیک ۰/۵ می‌شود. همین‌طور با توجه به نمودار، خودروهای عبوری در زمان قرمز بیشتر در فاصله‌ی ۸۵/۳۵-

[1] Elminity et al.

۱۱۵/۸۲ متر قرار دارند. سپس با استفاده از نمودار درختی به طبقه‌بندی اطلاعات بر اساس فاصله از خط ایست، مکان خودرو با توجه به لاین، سرفاصله مکانی و زمانی و ... پرداختند. با توجه به این مقادیر، احتمال رفتن و توقف خودرو را بررسی کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که فاصله در ابتدای زمان زرد، سرعت در ابتدای زمان زرد و مکان خودرو از مهم‌ترین پارامترها برای پیش‌بینی احتمال رفتن و توقف خودروها و عبور در زمان قرمز است. برای مثال، هرقدر فاصله در ابتدای زمان زرد برای رانندگان کمتر باشد، تمایل برای عبور از تقاطع بیشتر است. اگر فاصله در ابتدای زمان زرد برای خودروها بین ۸۱/۵۳-۱۱۳/۵۳ متر باشد، سرعت نقش مهمی در احتمال رفتن و توقف خودروها و عبور در زمان قرمز دارد. هم‌چنین بیش از ۵۰ درصد خودروها که در فاصله‌ی بین ۸۹/۱۵-۱۱۳/۵۳ متر قرار دارند، تمایل به عبور در زمان قرمز دارند. ۹۰ درصد خودروهای عبوری در زمان قرمز در فاصله‌ی ۶۱/۲۶-۱۲۸/۰۱ متر قرار دارند. از نتایج دیگر، این بود که خودروهای دنباله‌رو تمایل بیشتری برای عبور دارند، در این حالت، اگر خودروهای جلویی به‌صورت ناگهانی توقف کنند، امکان تصادف از پشت بسیار بالاست و خودروهای دنباله‌رو اغلب در زمان قرمز وارد تقاطع می‌شوند و با توجه به این‌که در تقاطعات شلوغ احتمال این‌که خودروها دنباله‌رو باشند، زیاد است، تعداد تصادفات و خودروهای عبوری در زمان قرمز هم افزایش می‌یابد.

هورفیتز و همکاران[1] (۲۰۱۲) با مطالعه موردی ۵ تقاطع مختلف، به بررسی رفتار راننده با هدف تعیین محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲ پرداختند. آن‌ها، در این مقاله با ترسیم نمودار فاصله خودروها در ابتدای زمان زرد و درصد خودروها، درصد خودروها در ۳ گروه خودروهای عبوری، خودروهای توقفی و خودروهای عبوری در زمان قرمز را در بازه فاصله به دست آوردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که اگر زمان زرد به اندازه کافی طولانی باشد، امکان عبور ایمن‌تر برای خودروها وجود دارد.

[1] Hurwitz et al.

۲-۲-۳- مطالعات مربوط به زمان زرد و تمام‌قرمز

با این‌که هیچ استاندارد طراحی برای محاسبه زمان زرد و تمام‌قرمز وجود ندارد، ITE رابطه‌ای را بر اساس مساوی قرار دادن روابط (۲-۱) و (۲-۲) برای محاسبه زمان زرد پیشنهاد کرده است. فرض می‌شود که W+L در زمان تمام‌قرمز طی می‌شود. لذا W+L حذف می‌شود. هم‌چنین فرض می‌شود خودروهای عبوری دارای شتاب افزایشی صفر هستند ($a_m=0$). در نتیجه، زمان زرد برابر خواهد بود با:

$$\tau = \delta_s + \frac{V_0}{2a_s} \qquad (۲-۳)$$

هم‌چنین، گزیس و همکاران (۱۹۶۰) و اوربانیک و همکاران[1] (۲۰۰۷) و لیو و همکاران (۱۹۹۶) فرمول مشابهی را برای حصول زمان زرد بهینه جهت حذف ناحیه تردید نوع ۱ به‌صورت زیر ارائه نمودند.

$$\tau = \delta_s + \frac{V_0}{2a_s+2Gg} \qquad (۲-۴)$$

که در آن، G شتاب گرانش زمین (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه) و g شیب زمین (درصد) است. تعریف سایر متغیرها، قبلاً اشاره شده است.

ITE (ولشون و همکاران ۲۰۱۶) یک فرمول را برای محاسبه زمان تمام‌قرمز و نسخه‌های قبلی آن ITE (کرفت و همکاران ۲۰۰۹) دو فرمول دیگر هم برای تعیین زمان تمام‌قرمز بر اساس وجود یا عدم وجود عابرین پیاده ارائه کرده است.

$$R=\frac{W+L}{V} \qquad (۲-۵)$$

$$R=\frac{P}{V} \qquad (۲-۶)$$

$$R=\frac{P+L}{V} \qquad (۲-۷)$$

[1] Urbanik et al.

به‌طوری که:

R: بازه زمان تمام‌قرمز (ثانیه)

W: طول تقاطع به‌علاوه عرض خط عابر پیاده (متر)

L: طول خودرو (معمولاً ۶ متر)

V: سرعت طراحی (متر بر ثانیه)

P: عرض تقاطع به‌علاوه عرض خط عابر پیاده (متر)

فرمول (۲-۵) برای مواقعی است که عابر پیاده نداریم. فرمول (۲-۶) در مواقعی است که عابر پیاده در تقاطع وجود دارد و خودروها منتظر عبور عابران هستند. فرمول (۲-۷) در مواقعی است که عابر پیاده در تقاطع وجود دارد و خودروها وارد تقاطع شده‌اند و از نقطه تداخل دور شده‌اند.

علاوه بر روش ITE، چندین روش دیگر برای این محاسبات توسط سازمان‌های دیگر توصیه شده است. برخی از منابع مانند AASHTO (۲۰۱۱) و NCHRP 731 (مک گی و همکاران ۲۰۱۲)، برای تقاطع‌های هم‌سطح، بازه زرد را بر اساس سرعت عملکردی منهای ۱۰ مایل بر ساعت (۱۶/۱ کیلومتر بر ساعت) و زمان تمام‌قرمز را ۲ یا ۳ ثانیه پیشنهاد نموده‌اند.

بوننسون و همکاران[1] (۲۰۰۳) خودروهای عبوری در زمان قرمز را بررسی کردند و عوامل مؤثر بر تعداد خودروهای عبوری در زمان قرمز را شامل نرخ جریان در هر رویکرد، تعداد فازها، احتمال توقف و مدت زمان زرد می‌دانند. زمان زرد در این تحقیق، بر اساس سرعت صدک ۸۵ به دست آمده است. بر اساس این عوامل، مدل احتمال توقف را برای تعداد خودروهای عبوری در زمان قرمز پیشنهاد می‌دهد. در نهایت به این نتیجه رسیدند که نرخ مناسب برای خودروهای عبوری در زمان قرمز یک خودرو به ازای ۱۰۰۰۰ خودرو است و این نرخ در صورت کاهش مقدار زمان زرد از زمان زرد محاسباتی، بیشتر

[1] Bonnenson et al.

می‌گردد. اما اگر مقدار زمان زرد دقیقاً برابر زمان زرد محاسباتی باشد، تعداد خودروهای عبوری به ۰/۸ در هر ۱۰۰۰۰ خودرو کاهش می‌یابد.

لو و همکاران[1] (۲۰۱۵) با مطالعه موردی از طریق استفاده از شناساگرهایی که در ورودی و خروجی تقاطع نصب شده‌اند، زمان دقیق ورودی و خروجی اتومبیل را به‌دست می‌آورند. سپس با استفاده از طول تقاطع و زمان به دست آمده در مرحله‌ی قبل مقدار سرعت خودروها در ورودی و خروجی تقاطع را به‌دست آوردند و برای سرعت و زمان فرمولی ارائه دادند. سپس خودروهای موجود را با توجه به فاصله و زمان از تقاطع به چهار قسمت محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۱ و ۲ و ناحیه‌ی عبور بهتر و توقف بهتر تقسیم‌بندی کردند. سپس با استفاده از آنالیز آماری و نمودار جعبه‌ای مقایسه‌ای بین چهار منطقه‌ی مختلف حرکتی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند خودروهای موجود در ناحیه تردید نوع ۱ میانگین سرعت و شتاب بیشتری نسبت به سایر گروه‌های موجود دارند. سپس زمان تخلیه تقاطع با استفاده از اختلاف بین زمان قرمز و زمان رسیدن خودرو به سمت دیگر تقاطع محاسبه شد. اگر این اختلاف مثبت بود یعنی به زمان تمام‌قرمز برای حرکت ایمن خودروها از تقاطع نیازمندیم و اگر این اختلاف منفی بود به زمان تمام‌قرمز نیازی نداریم. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مقدار اختلاف برای ۹۰ درصد خودروها منفی به‌دست آمد که به این معناست که به زمان تمام‌قرمز نیاز داریم.

گیتس و همکاران[2] (۲۰۱۶) افزایش زمان تمام‌قرمز را بررسی کردند. ابتدا احتمال توقف خودرو با توجه به TTS خودرو رسم می‌شود. در این نمودار احتمال توقف خودروهای عبوری در زمان قرمز و خودروهای توقفی شبیه به هم هستند، یعنی با افزایش زمان تمام‌قرمز احتمال عبور ایمن خودروها فراهم می‌گردد. آن‌ها، اختلاف زمان عبور از تقاطع برای خودروهای مستقیم‌رو و زمان باقی‌مانده برای

[1] Lu et al.
[2] Gates et al.

شروع سبز در رویکرد مقابل را به‌عنوان زمان تمام‌قرمز افزایش‌یافته[1]، ارائه می‌دهند. هدف آن‌ها، ارائه دستورالعمل‌هایی برای زمان‌بندی چراغ زرد و تمام‌قرمز در میدان‌های چراغ‌دار است.

۲-۲-۴- سایر مطالعات مرتبط

لانگ و همکاران[2] (۲۰۱۳) با مطالعه موردی ۴ تقاطع در کشور چین، به بررسی تأثیر شمارش‌گر معکوس[3] بر رفتار راننده بعد از زمان زرد می‌پردازند. هم‌چنین رفتار راننده را به دو حالت افزایش شتاب ناگهانی و کاهش شتاب ناگهانی تقسیم‌بندی کردند. سپس به بررسی احتمال رفتن/توقف خودروها در دو حالت با شمارش‌گر و بدون شمارش‌گر با رگرسیون باینری پرداختند. در نهایت، به این نتیجه رسیدند که در هنگامی که شمارش‌گر معکوس وجود دارد، رانندگان تمایل بیشتری برای ورود به تقاطع بعد از زمان زرد نسبت به بدون شمارش‌گر معکوس دارند. علاوه بر این، چون شمارش‌گر معکوس از تغییر حق تقدم خبر می‌دهد، باعث می‌شود رفتارهای ناگهانی رانندگان کاهش چشم‌گیری پیدا کند.

سالووانین و همکاران[4] (۲۰۱۶) با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات میدانی از ۸۷ تقاطع در ۵ ایالت مختلف به بررسی تأثیر بازه زمان زرد، زمان تمام‌قرمز، سیستم هشداردهنده هوشمند تغییر چراغ و دوربین‌های کنترل سرعت را بر رفتار و تصمیم‌گیری راننده بررسی کردند و احتمال رفتن یا توقف خودرو به‌صورت تابع احتمالی باینری به دست آوردند. در نهایت، به این نتیجه رسیدند که وجود سیستم هشداردهنده تغییر چراغ که ۰/۵ ثانیه قبل از تغییر هشدار می‌دهد، در رفتار رانندگان تأثیرگذار است.

۲-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری فصل

در این فصل ابتدا به تعریف ناحیه تردید نوع ۱ و ۲ و بازه زرد و تمام‌قرمز پرداخته شده است. سپس مطالعاتی که در گذشته در مورد آن‌ها انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعات به صورت جدول در ادامه آورده شده‌اند.

---

[1] extended red light
[2] Long et al.
[3] Countdown timer
[4] Savolainen et al.

جدول ۲-۱: مطالعات مربوط به ناحیه تردید نوع ۱

نویسنده	نوع مطالعه	اهداف تحقیق	نتایج
گزیس و همکاران (۱۹۶۰)	• مطالعه تئوری • ناحیه تردید نوع ۱	• ارائه فرمولی برای حرکت خودرو در تقاطع برای YLR • ارائه فرمولی برای حرکت خودرو در تقاطع برای FTS	• ارائه فرمول برای تعیین زمان زرد با توجه به مشخصات تقاطع • تعیین زمان زرد بهینه • تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۱
لیو و همکاران (۱۹۹۶)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۱	• ارائه جزئیاتی دقیق‌تر نسبت به مقاله گزیس مثلاً بررسی زمان افزایش شتاب برای خودروهایYLR و	• تعیین محدوده و مرزهای ناحیه تردید نوع ۱ • ارائه فرمول برای تعیین زمان زرد با توجه به مشخصات تقاطع
مون و همکاران (۲۰۰۳)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۱ در تقاطعات راه‌آهن با جاده	• محاسبه کمینه فاصله حرکت و بیشینه فاصله توقف برای خودروهای عبوری و توقفی	• تعیین محدوده و مرزهای ناحیه تردید نوع ۱ • محاسبه زمان مناسب برای باز کردن گیت‌های ورودی
لیو و همکاران (۲۰۰۷)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۱	• شناسایی رفتار رانندگان با توجه به نوع عکس‌العمل، سرعت، شتاب کاهنده و افزاینده • مقایسه ناحیه تردید در بین این رفتار مختلف رانندگان	• رانندگانی که تهاجمی رانندگی می‌کنند، طول ناحیه تردید بیشتری تجربه می‌کنند. • افزایش زمان زرد باعث کاهش طول ناحیه تردید نمی‌گردد.
لی و همکاران (۲۰۱۳)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۱ به‌صورت پویا • مقایسه بین ناحیه تردید نوع ۱ و ۲	• ارائه‌ی فرمول ناحیه تردید به‌صورت پویا بر اساس هر خودرو	• مشخص شدن ارتباط بین پارامترهای تأثیرگذار (سرعت اولیه، شتاب، زمان زرد) بر شتاب افزاینده و کاهنده و زمان درک و عکس‌العمل • در پیش‌بینی ابتدا و انتها، ناحیه تردید پویا بهتر عمل کرده است. دلیل آن استفاده از مقادیر پویا و دینامیکی است.
اوربانیک و همکاران (۲۰۰۷)	• مطالعه تئوری	• تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۱ با توجه به مقاله گزیس • تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ با توجه به زمان رسیدن به تقاطع	• تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۱ و به دنبال آن اختصاص زمان زرد و تمام‌قرمز مناسب • تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۱ و به دنبال آن شناسایی خودروهای درگیر در این ناحیه
بونسون و همکاران (۲۰۰۳)	• خودروهای عبوری در زمان قرمز	• مدل احتمال توقف برای تعداد خودروهای عبوری در زمان قرمز	• عوامل مؤثر بر تعداد خودروهای عبوری در زمان قرمز شامل نرخ جریان در هر رویکرد، تعداد فازها، احتمال توقف و مدت زمان زرد • نرخ مناسب برای خودروهای عبوری در زمان قرمز یک خودرو به ازای ۱۰۰۰۰ خودرو است. اما اگر مقدار زمان زرد دقیقاً برابر زمان زرد محاسباتی باشد، تعداد خودروهای عبوری به ۰/۸ در هر ۱۰۰۰۰ خودرو کاهش می‌یابد.

جدول ۲-۲: مطالعات مربوط به ناحیه تردید نوع ۲

نویسنده	نوع مطالعه	اهداف تحقیق	نتایج
پارسونسون و همکاران (۱۹۷۴)	• مطالعه تئوری • ناحیه تردید نوع ۲	• ارائه فرمول برای ناحیه تردید نوع ۲ (تعریف اول) • تعیین شاخص مکانی و زمانی برای ناحیه تردید نوع ۲	• تعیین مرزبندی ناحیه تردید نوع ۲ با توجه به احتمال توقف ۱۰ و ۹۰ درصد بر اساس متر • تعیین مرزبندی ناحیه تردید نوع ۲ با توجه به شاخص مکانی و زمانی بر اساس احتمال توقف
زیگر و همکاران (۱۹۷۸)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۲ • افزایش زمان سبز	• تعیین رفتار راننده در زمان زرد • تعیین مرزبندی ناحیه تردید نوع ۲ • تأثیر افزایش زمان سبز بر تصادفات	• تعیین مرزبندی ناحیه تردید نوع ۲ با توجه به احتمال توقف ۱۰ و ۹۰ درصد بر اساس متر • نقش مثبت افزایش زمان سبز در کاهش تصادفات
شفی و همکاران (۱۹۸۱)	• مدل‌سازی با نرم-افزار CHOMP	• بررسی احتمال حرکت و توقف خودروها با تابع پروبیت • تعیین مرزبندی ناحیه تردید	• خودروهایی که TTS آنها از مقدار زمان بحرانی کمتر باشد، احتمال توقفشان بیشتر است • سرعت و فاصله از تقاطع یک عامل مهم در توقف یا حرکت خودرو
چنگ و همکاران (۱۹۸۵)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۲	• تعیین شتاب کاهنده و زمان واکنش برای انواع گروه رانندگان • تعیین مرزبندی ناحیه تردید	• تعیین مرزبندی ناحیه تردید با توجه به انواع گروه رانندگان بر اساس TTS • ناحیه تردید نوع ۲ متغیر بوده و با زمان عکس‌العمل راننده، طول زمان زرد، ویژگی‌های وسیله نقلیه، طرح هندسی، مکان وسیله نقلیه در صف و خصوصیات جریان ترافیک رابطه مستقیم دارد.
گیتس و همکاران (۲۰۰۷)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۲	• ایجاد ارتباط همبستگی برای زمان درک و عکس‌العمل و شتاب کاهنده با پارامترهای سرعت، فاصله و ... • بیان احتمال توقف و حرکت خودرو	• مقایسه نتایج به دست آمده با مقاله‌های قبلی • ارتباط شتاب کاهنده و درک و عکس‌العمل با سرعت
رخا و همکاران (۲۰۰۷)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۲	• تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس احتمال توقف رانندگان، جنسیت و سن رانندگان	• TTS بیش از جنسیت و سن بر زمان درک و عکس‌العمل رانندگان تأثیر دارد. • ارتباط بین حرکت یا توقف راننده با عواملی همچون فاصله از خط توقف، سن و جنسیت رانندگان • افراد مسن برای تصمیم‌گیری نیاز به زمان بیشتری دارند
وی و همکاران (۲۰۰۹)	• مطالعه موردی • مقایسه سه ناحیه تردید	• مقایسه ناحیه تردید نوع ۱ و ۲ به‌صورت مشاهداتی و فرمولی • بررسی تابع احتمال توقف خودرو	• رفتار راننده به پارامترهای شتاب افزاینده و کاهنده و زمان درک‌و-عکس‌العمل بستگی دارد. • خودروهای مشاهداتی توقفی که سرعتی کمتر از ۴۴ مایل بر ساعت تمایل کمتری برای توقف نسبت به حالت تئوری دارند ولی در سرعت‌های بیش از ۴۴ مایل بر ساعت تمایل بیشتری برای توقف دارند. همچنین برای خودروهای مشاهداتی عبوری که سرعتی کمتر از ۲۹ مایل بر ساعت تمایل بیشتری برای حرکت نسبت به حالت تئوری دارند ولی برای سرعت‌های بیش از ۲۹ مایل بر ساعت این تمایل کمتر است
المیتنی و همکاران (۲۰۱۰)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع۲ • احتمال توقف	• ارائه مدل احتمالی عبور خودروها در زمان زرد	• تأثیر سرعت خودرو، فاصله از خط توقف در ابتدای زرد و موقعیت خودرو بر احتمال توقف
هورویتز و همکاران (۲۰۱۲)	• مطالعه موردی • ناحیه تردید نوع ۲	• تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ با توجه به زمان باقی‌مانده تا تقاطع	• افزایش زمان زرد باعث کاهش ناحیه تردید می‌شود • تعیین محدوده ناحیه تردید

جدول ۲-۳: مطالعات مربوط به زمان زرد و تمام‌قرمز

نویسنده	نوع مطالعه	اهداف تحقیق	نتایج
موسسه ITE	• مطالعه موردی • زمان زرد و تمام‌قرمز	• تعیین زمان زرد • تعیین زمان تمام‌قرمز	• ارائه فرمول برای تعیین زمان زرد و زمان تمام‌قرمز • تعیین زمان زرد به مدت ۵ ثانیه • تعیین زمان تمام‌قرمز به مدت ۲ ثانیه
گزارش NCHRP 731	• مطالعه موردی • زمان زرد و تمام‌قرمز	• تعیین زمان زرد • تعیین زمان تمام‌قرمز • تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۱و ۲	• ارائه فرمول برای تعیین زمان زرد و زمان تمام‌قرمز بر اساس درصد عابرین پیاده و عدم وجود عابرین پیاده • تعیین زمان زرد و تمام‌قرمز با توجه به مشخصات میدان و رفتار راننده • تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۱ با توجه به مشخصات میدان و ناحیه تردید نوع ۲ با توجه به ویژگی‌های راننده
لو و همکاران (۲۰۱۵)	• مطالعه موردی • زمان زرد و تمام‌قرمز	تقسیم‌بندی خودروهای YLR به چهار گروه با توجه به فاصله از تقاطع و مقایسه بین چهار دسته خودرو	• تفاوت رفتار رانندگان در چهار گروه مختلف • تفاوت میانگین سرعت، شتاب خودروهای ناحیه تردید با ۳ گروه دیگر
گیت و همکاران (۲۰۱۶)	• مطالعه تئوری • افزایش زمان تمام‌قرمز	• بررسی تابع احتمال توقف • تعیین زمان تمام‌قرمز افزایش‌یافته	• اختلاف زمان عبور از تقاطع برای خودروهای مستقیم رو و زمان باقی‌مانده برای شروع سبز در رویکرد مقابل را به‌عنوان زمان تمام‌قرمز افزایش‌یافته، ارائه می‌دهد.

جدول ۲-۴: سایر مطالعات مرتبط

نویسنده	نوع مطالعه	اهداف تحقیق	نتایج
سالووانین و همکاران (۲۰۱۶)	• مطالعه موردی • تأثیر دوربین کنترل سرعت و سیستم هشدار دهنده بر رفتار راننده	تأثیر بازه زمان زرد، زمان تمام‌قرمز، سیستم هشداردهنده هوشمند تغییر چراغ و دوربین‌های کنترل سرعت بر رفتار و تصمیم‌گیری راننده	• به دلیل اطلاع رانندگان از زمان زرد و زمان تمام‌قرمز به تصمیم-گیری رانندگان برای توقف و حرکت کمک کند. • اجرای سیستم هشداردهنده هوشمند تغییر چراغ ۰٫۵ ثانیه قبل از تغییر چراغ
لانگ و همکاران (۲۰۱۳)	• مطالعه موردی • تأثیر شمارش‌گر معکوس بر رفتار راننده	تأثیر شمارش گر معکوس در رفتار راننده بعد از زمان زرد	• هنگامی که شمارش‌گر معکوس وجود دارد، رانندگان تمایل بیشتری برای ورود به تقاطع بعد از زمان زرد نسبت به بدون شمارش‌گر معکوس دارند. • علاوه بر این، چون شمارش‌گر معکوس از تغییر حق تقدم خبر می-دهد، باعث می‌شود رفتارهای ناگهانی رانندگان کاهش چشم‌گیری پیدا کند.

فصل سوم

روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

در این فصل از پژوهش، مراحل انتخاب میدان و پارامترهای مورد نیاز و استخراج پارامترها از طریق فیلم پرداخته می‌شود. در وهله‌ی اول، شرایط لازم برای انتخاب میدان‌ها، ویژگی‌ها و مشخصات هندسی میدان‌های انتخاب شده بیان می‌گردد. سپس به نحوه‌ی انجام فیلم‌برداری و استخراج اطلاعات از مشاهدات ویدیویی پرداخته می‌شود.

۳-۲- شرایط لازم برای انتخاب میدان‌ها

در انتخاب میدان موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- میدان چراغ‌راهنمایی داشته باشد.
- میدان انتخابی باید از نظر زمان‌بندی و سنسورهای شمارنده تعداد خودروهای آن با سیستم SCAT[1] برای کسب اطلاعات از سازمان حمل و نقل مشهد در ارتباط باشد.
- هسته‌ی مرکزی میدان دایره مانند باشد.
- خودروهای گردش به راست و خودروهای هر دو جهت باید به‌وسیله‌ی جزیره جدا شوند.
- در محدوده‌ی قبل از میدان محل مناسبی برای استقرار دوربین وجود داشته باشد.
- امکان فیلم‌برداری از داخل میدان هم وجود داشته باشد.
- زمان فیلم‌برداری طوری باشد که نور خورشید داخل لنز دوربین نتابد.
- فیلم‌برداری در شرایط جوی مناسب انجام شود.
- تصادف یا اختلال ترافیکی که موجب تأثیر در کیفیت آمار شود اتفاق نیفتد.
- قبل از شروع، مجوز فیلم‌برداری از معاونت اجتماعی نیروی انتظامی خراسان رضوی گرفته شد.

[1] Sydney Coordinated Adaptive Traffic System

۳-۳- ویژگی و مشخصات هندسی میدان‌های انتخاب‌شده

در نهایت سه میدان به نام‌های میدان تقی‌آباد، میدان ابوطالب و میدان شهدای غواص به دلیل دارا بودن هم‌زمان ویژگی‌های بالا انتخاب گردیدند (شکل ۳-۱).

در میدان تقی‌آباد (حرکت از میدان فلسطین به سمت میدان تقی‌آباد) از حرکت وسیله نقلیه از شمال‌غربی به جنوب‌شرقی فیلم‌برداری شده است (شکل ۳-۲).

در میدان ابوطالب (حرکت از چهارراه ابوطالب به سمت میدان ابوطالب) از حرکت وسیله نقلیه از شمال‌شرق به جنوب‌غرب فیلم‌برداری شده است (شکل ۳-۳).

در میدان شهدای غواص (حرکت از میدان هاشمیه به سمت میدان شهدای غواص) از حرکت وسیله نقلیه از جنوب‌غربی به شمال‌شرقی فیلم‌برداری شده است (شکل ۳-۴).

میدان تقی‌آباد و شهدای غواص دارای ۷ فاز زمان‌بندی و ابوطالب دارای ۶ فاز زمان‌بندی است.

شعاع هسته مرکزی برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب و شهدای غواص به ترتیب برابر ۱۶، ۱۱/۵۰ و ۱۳/۲۵ متر است.

شعاع کل برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب و شهدای غواص به ترتیب برابر ۳۸، ۳۴ و ۳۳/۵۰ متر است.

در نتیجه با توجه به اختلاف بین شعاع کل و شعاع هسته مرکزی، عرض سواره‌رو برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب و شهدای غواص به ترتیب حدوداً برابر ۲۲، ۲۲/۵ و ۲۰/۲۵ متر است.

با توجه به حرکت خودرو در میدان، مسیر حرکت اغلب خودروها مسیری دایره‌ای به شعاع هسته مرکزی به‌علاوه نصف عرض سواره‌رو می‌باشد که برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب و شهدای غواص به ترتیب برابر ۲۷، ۲۲/۷۵ و ۲۳/۴۰ متر است.

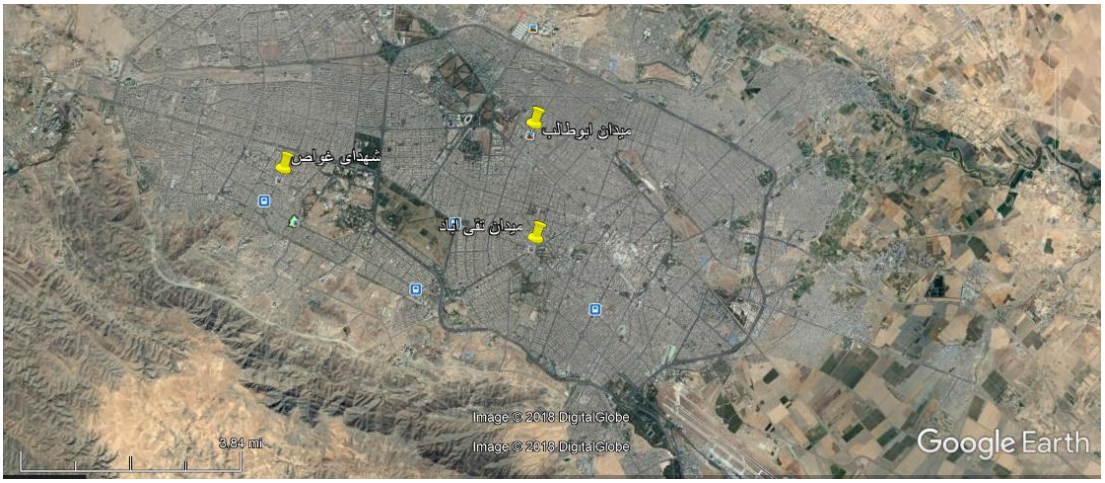
خودروهایی که وارد میدان می‌شوند و مستقیم حرکت می‌کنند، علاوه بر پیمودن نیم دایره‌ای با شعاع مشخص که در بالا توضیح داده شد، دو مسیر در ابتدای ورود و انتهای خروج هم طی می‌کنند که برابر اختلاف شعاع کل و شعاع هسته مرکزی است. در نتیجه، مسیر پیموده شده در حرکت مستقیم

برابر محیط نیم‌دایره به شعاعی برابر شعاع حرکت خودرو به‌علاوه‌ی دو مسیر ابتدایی و انتهایی می‌باشد. مسافت طی شده درون میدان برای خودروهای عبوری برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب و شهدای غواص به ترتیب برابر ۱۰۷، ۹۴ و ۸۸ متر است.

برای خودروهایی که وارد میدان شده و بعد از گردش در هسته مرکزی میدان، گردش به سمت چپ دارند نیز همانند خودروهای مستقیم رو حرکت کرده، با این تفاوت که مسیر پیموده شده برابر محیط سه‌چهارم دایره به شعاعی برابر شعاع حرکت خودرو به‌علاوه دو مسیر ابتدایی و انتهایی است. این طول برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب و شهدای غواص به ترتیب برابر ۱۴۳، ۱۳۰ و ۱۲۳ متر می‌باشد.

جدول ۳-۱: مشخصات هندسی میدان‌ها

مشخصات	ویژگی	میدان		
		تقی آباد	ابوطالب	شهدای غواص
هندسی	شعاع داخلی میدان (متر)	۱۶	۱۱/۵۰	۱۳/۲۵
	شعاع خارجی میدان (متر)	۳۸	۳۴	۳۳/۵۰
	عرض خطوط حرکتی میدان (متر)	۲۲	۲۲/۵	۲۰/۲۵
	تعداد خطوط معبر	۴	۴	۳
	مسافت طی شده درون میدان برای خودروهای عبوری مستقیم رو (متر)	۱۰۷	۹۴	۸۸
	مسافت طی شده درون میدان برای خودروهای عبوری چپ‌گرد (متر)	۱۴۳	۱۳۰	۱۲۳
چراغ راهنمایی	طول چرخه (ثانیه)	۲۴-۱۳۸	۶۰-۱۵۲	۵۰-۱۱۸
	زمان زرد (ثانیه)	۳	۳	۳
	زمان تمام قرمز (ثانیه)	۱	۱	۱
ترافیکی	سرعت صدک ۸۵ام (کیلومتر بر ساعت)	۴۶	۴۶	۵۴
	حجم تردد (خودرو بر ساعت)	۱۷۵۳	۷۳۲	۱۶۵۷
	محدوده پوشش دوربین (متر)	۱۲۰	۱۳۰	۱۳۰



شکل ۳-۱: موقعیت سه میدان در شهر مشهد

شکل ۳-۲: مسیر برداشت شده در میدان تقی‌آباد

شکل ۳-۳: مسیر برداشت شده در میدان ابوطالب

شکل ۳-۴: مسیر برداشت شده در میدان شهدای غواص

۳-۴- جمع‌آوری اطلاعات میدانی

اطلاعات میدانی به‌صورت فیلم‌برداری از میدان‌های چراغ‌دار ذکر شده در بالا از روی ساختمان‌های مرتفع که مشرف به میدان بودند انجام شد. محل قرارگیری دوربین باید به‌نحوی انتخاب می‌شد که بتواند خودروهایی که به‌صورت مستقیم حرکت می‌کنند را تا لحظه‌ی خارج شدن از میدان دنبال کند.

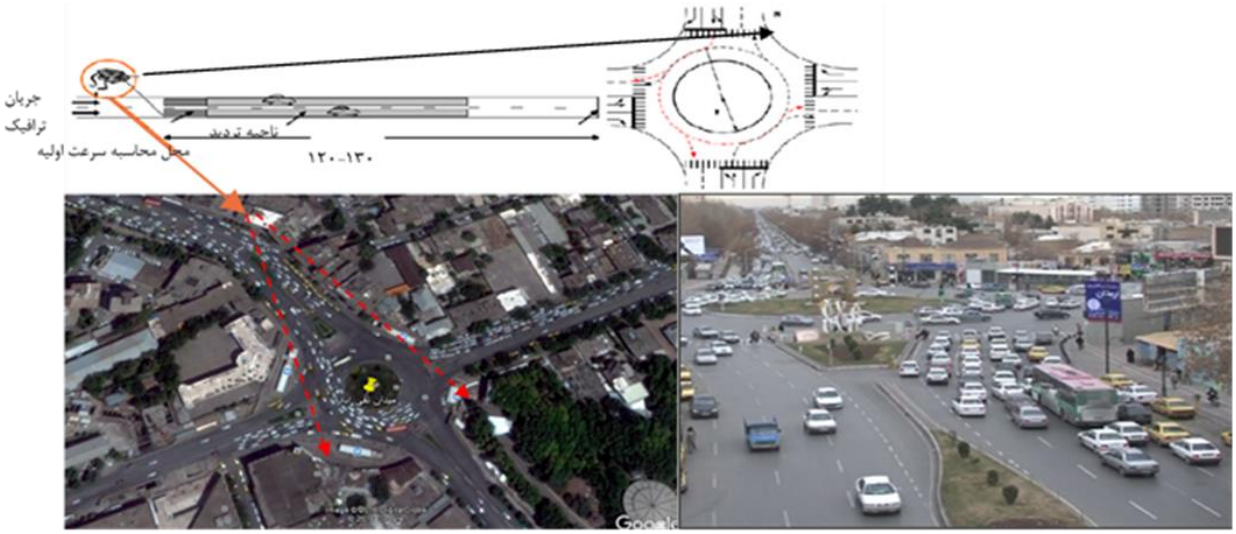
فیلم‌برداری در روزهای آذرماه ۹۵ در سه روز و در دو نوبت صبح و عصر (خارج از ساعت اوج ترافیک) از میدان‌ها انجام گرفت. فیلم‌برداری زمانی انجام شد که خودروها حرکت روان و مناسبی داشتند و زمان فیلم‌برداری از هر میدان یک ساعت و نیم بود.

حجم خودروهای ورودی به میدان در همان رویکرد فیلم‌برداری شده برای میدان‌های تقی‌آباد، شهدای غواص و ابوطالب به‌ترتیب برابر ۲۶۲۹، ۲۴۸۵ و ۱۰۹۸ خودرو است.

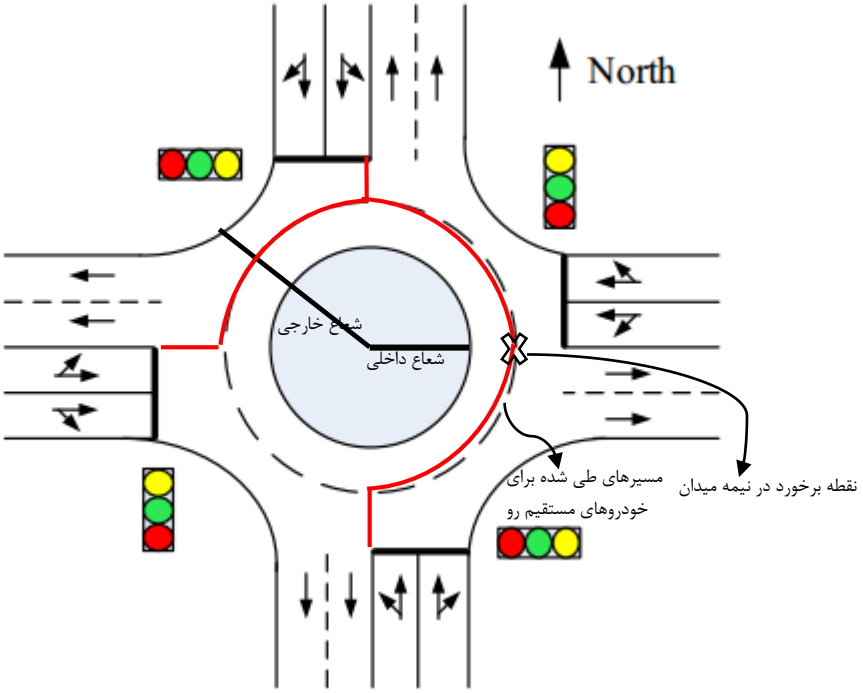
فیلم‌برداری با دوربین SONY HDV انجام شد. سپس با نرم‌افزار EDIUS Pro 6 به فرمت AVI که قابل پخش در رایانه باشد تبدیل گردید.

شکل ۳-۵ نحوه استقرار دوربین برای پوشش میدان را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۶ مسیر طی شده در میدان برای خودروهای مستقیم‌رو و نقطه برخورد آن با جریان متداخل در نیمه میدان را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵: نحوه استقرار دوربین برای پوشش میدان



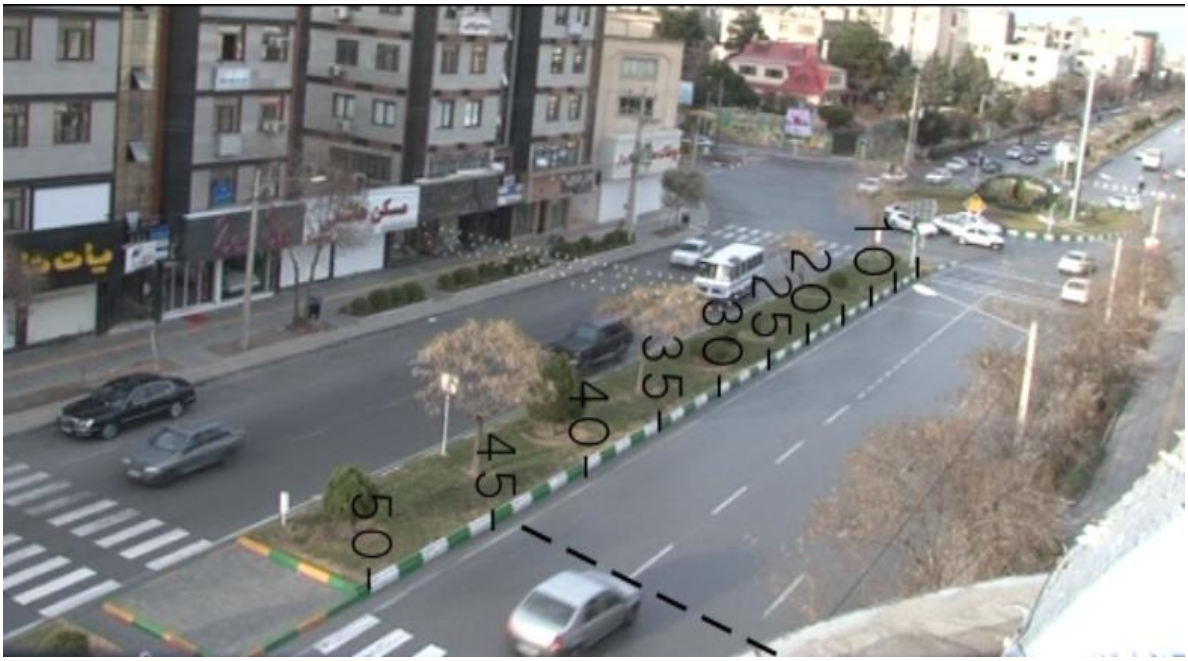
شکل ۳-۶: مسیر طی شده در میدان برای خودروهای مستقیم‌رو و نقطه برخورد آن با جریان متداخل در نیمه میدان

۳-۵- استخراج اطلاعات

فیلم‌های ویدیویی با استفاده از نرم‌افزار Adobe Premiere CS6 بررسی شد. این نرم‌افزار که قابلیت تبدیل یک ثانیه به ۲۵ فریم را دارا می‌باشد برای تعیین سرعت و مکان خودرو بسیار مفید می‌باشد.

برای تعیین فاصله، ابتدا نشانه‌ها و موانعی که در فیلم وجود داشت، به‌عنوان مثال خطوط غیر ممتد وسط خیابان، جداول کنار خیابان که طول آن‌ها نیم یا یک متر بود یا درخت‌ها یا ساختمان‌ها به‌عنوان نشانه تعیین گردیدند و فاصله‌ی آن‌ها تا خط توقف با مشاهده میدانی و هم‌چنین نرم‌افزار Google Earth تعیین گردید. شکل ۳-۷ اندازه‌گذاری فاصله برای برداشت داده‌ها برای یک خودرو در دو حالت الف) ابتدای زمان زرد و ب) دو ثانیه قبل از زمان زرد در نرم‌افزار Adobe Premiere را نشان می‌دهد.

(الف)



(ب)

شکل ۳-۷ موقعیت یک خودرو در دو حالت مختلف الف) ابتدای زمان زرد و ب) دو ثانیه قبل از زمان زرد در نرم-افزار Adobe Premiere

با توجه به این‌که، هدف ما در این تحقیق، تأثیر زمان زرد بر واکنش رانندگان است بنابراین فقط دو گروه خودرو زیر را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

- خودروهای عبوری در زمان زرد: این گروه خودروهایی هستند که در بازه زرد وارد میدان شده‌اند و به سه قسمت تقسیم می‌شوند. دسته اول خودروهایی که وارد میدان شده و مستقیم از میدان خارج می‌شوند. دسته دوم خودروهایی که وارد میدان شده و دور میدان را دور زده و گردش به چپ دارند. دسته سوم خودروهایی که وارد میدان شده و پشت چراغ قرمز در وسط میدان ایستاده و منتظر سبز شدن چراغ باشند.
- اولین خودروهای توقفی: این گروه اولین ردیف خودروهایی هستند که بعد از قرمز شدن چراغ، پشت خط ایست[1] توقف کامل می‌کنند. در واقع این خودروها نتوانستند در زمان زرد از تقاطع عبور کنند و منتظر زمان سبز فاز بعدی هستند.

[1] Stop line

۳-۵-۱- اطلاعات جمع‌آوری شده برای هر دو گروه خودرو

۱. فاصله وسیله‌ی نقلیه تا خط توقف در ابتدای زمان زرد[1]: از آن‌جایی که پیش‌بینی می‌شود تصمیم راننده به عبور یا توقف، در زمان شروع زرد تابع فاصله وسیله‌ی نقلیه تا خط توقف باشد، لازم بود تا این مقدار برای هر دو گروه خودرو به‌دست آید. با توجه به معیارهای اندازه‌گیری فاصله در بالا، با گذاشتن نشان‌گر فاصله عقب خودرو تا خط توقف را اندازه می‌گیریم. در نهایت عدد ۳/۵ متر به‌عنوان فاصله‌ی چرخ عقب تا سپر جلوی وسیله‌ی نقلیه از عدد فوق کسر می‌گردد.

۲. سرعت وسیله‌ی نقلیه در ابتدای زمان زرد[2]: مسیری که خودرو به مدت ۳ یا ۵ ثانیه قبل از زمان زرد طی می‌کند را بر همان زمان اندازه‌گیری تقسیم می‌کنیم. با فرض عدم‌تغییر سرعت در این زمان, سرعت وسیله‌ی نقلیه در ابتدای زمان زرد به‌دست می‌آید.

۳. زمان لازم برای رسیدن وسیله‌ی نقلیه به خط توقف [3]: با توجه به حرکت خودرو، مقدار زمانی که خودرو بعد از زمان زرد طی می‌کند تا از خط توقف عبور کند (برای خودروهای عبوری) و زمان توقف کامل برای اولین خودروهای توقفی ثبت می‌گردد.

۴. لاین خودرو: به دلیل این‌که خودروهایی که به لاین‌های وسط خیابان نزدیک‌تر هستند بیشتر در معرض نقاط برخورد هستند و بر روی رفتار راننده مؤثر است. بنابراین لاینی که خودرو در آن حضور دارد یادداشت می‌گردد.

۵. نوع خودرو: با توجه به تفاوت خودروها در طول و تأثیرگذاری متفاوتشان بر خودروهای دیگر (مانند توقف بیجا و..) خودروها به چهار دسته‌ی سواری، شاسی‌بلند، باری سبک و باری سنگین/اتوبوس تقسیم‌بندی می‌شوند.

---

[1] $X_{\text{onset of yellow}}$
[2] $V_{\text{onset of yellow}}$
[3] $t_{\text{arrive}} - t_{\text{yellow}}$

۶. زمان تا خط توقف: این پارامتر در تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ کاربرد دارد و از تقسیم فاصله وسیله‌ی نقلیه تا خط توقف در ابتدای زمان زرد بر سرعت وسیله‌ی نقلیه در ابتدای زمان زرد به‌دست می‌آید.

۳-۵-۲- اطلاعات جمع‌آوری شده برای خودروهای عبوری در زمان زرد

۱. سرعت در بازه‌ی زرد[1]: با توجه به تأثیر چراغ زرد بر رفتار رانندگان و تغییر سرعت نسبت به قبل از زمان زرد و هم‌چنین مقدار شتاب کاهنده یا افزاینده سرعت در بازه زرد را تعیین می‌کنیم. مقدار سرعت در زمان زرد از تقسیم فاصله وسیله نقلیه تا خط توقف در ابتدای زمان زرد بر زمان عبور از خط توقف به‌دست می‌آید.

۲. شتاب در بازه‌ی زرد[2]: با توجه به تأثیر چراغ زرد بر رفتار رانندگان, مقدار شتاب از تقسیم اختلاف بین سرعت در ابتدای زمان زرد و سرعت در زمان زرد بر زمان رسیدن خودرو به خط توقف به‌دست می‌آید.

۳. زمان رسیدن خودرو به نقطه‌ی برخورد در نیمه‌ی میدان[3]: زمانی که بعد از عبور خودرو از خط توقف تا رسیدن خودرو به وسط میدان سپری می‌شود را اندازه می‌گیریم.

۴. سرعت خودرو در نیمه‌ی میدان (نقطه‌ی برخورد)[4]: این پارامتر از تقسیم مسافت پیموده شده تا نیمه‌ی میدان بر زمان به‌دست آمده در مرحله‌ی ۳ به‌دست می‌آید.

۵. شتاب خودرو در نیمه‌ی میدان (نقطه‌ی برخورد)[5]: این پارامتر از تقسیم اختلاف سرعت خودرو در نیمه‌ی میدان و سرعت در بازه‌ی زرد بر زمان پیموده شده برای رسیدن خودرو به نقطه‌ی توقف حاصل می‌شود.

---

[1] V_{yellow}
[2] $a_{yelllow}$
[3] $t_{½\ square\ -\ t\ arrive}$
[4] $V_{½\ square}$
[5] $a_{½\ square}$

۶. زمان حضور خودرو در میدان[1]: این پارامتر زمان حضور خودرو در میدان از لحظه‌ی ورود تا لحظه‌ی خروج را نشان می‌دهد و از اختلاف بین زمان خروج از میدان و لحظه‌ی عبور خودرو از خط توقف (ورودی میدان) به‌دست می‌آید.

۷. سرعت خودرو در میدان[2]: این پارامتر از تقسیم مسافت پیموده شده در میدان بر زمان حضور خودرو در میدان به‌دست می‌آید.

۸. شتاب خودرو در میدان[3]: این پارامتر از تقسیم اختلاف سرعت خودرو در میدان و سرعت در بازه زرد بر زمان حضور خودرو در میدان به‌دست می‌آید.

۳-۵-۳- اطلاعات جمع‌آوری شده برای اولین خودروهای توقفی

۱. زمان شروع ترمزگیری[4]: به مدت زمان بعد از چراغ زرد که چراغ‌های ترمز برای توقف روشن می‌شود را می‌گویند.

۲. فاصله شروع ترمزگیری[5]: به فاصله‌ای که وسیله‌ی نقلیه از ابتدای شروع زرد تا لحظه‌ی روشن شدن چراغ‌های ترمز می‌پیماید را گویند.

۳. زمان ترمزگیری تا خط توقف[6]: به مدت زمانی که خودرو بعد از روشن شدن چراغ ترمز تا توقف کامل طی می‌کند را زمان ترمزگیری تا خط توقف می‌گویند.

۴. زمان تا برخورد[7]: به مدت زمانی که خودرو بعد از سیز شدن چراغ تا نقطه‌ی برخورد طی می‌کند را زمان تا برخورد می‌گویند (شکل ۳-۶).

۵. شتاب کاهنده: یکی از مهم‌ترین پارامترها برای اولین خودروهای توقفی شتاب کاهنده است. شتاب کاهنده ارتباط مستقیمی با رفتار راننده و سرعت اولیه دارد و برای خودروهایی که

---

[1] t_{square}
[2] V_{square}
[3] a_{square}
[4] t_{brake}
[5] x_{brake}
[6] $t_{stop} - t_{brake}$
[7] $t_{conflict} - t_{stop}$

نمی‌توانند در زمان زرد وارد میدان شوند بسیار حائز اهمیت است. این پارامتر از تقسیم اختلاف سرعت در زمان توقف که صفر است و سرعت در ابتدای زمان زرد بر زمان ترمزگیری تا خط توقف به‌دست می‌آید.

در این میدان‌ها تعداد کمی از خودروها که نتوانسته بودند در زمان زرد وارد میدان شوند، با بی‌توجهی به قوانین راهنمایی رانندگی در زمان چراغ قرمز وارد تقاطع شدند که احتمال خطر تصادف را افزایش می‌دهد. دو روش برای شناسایی این دسته از خودروها وجود دارد، یک روش از طریق مشاهده فیلم و روش دوم از طریق اختلاف بین زمان رسیدن به خط توقف و زمان قرمز. اگر این اختلاف مثبت بود، به این معناست که خودرو در زمان قرمز وارد میدان شده است و اگر منفی بود یعنی در زمان زرد وارد میدان شده است. برای این دسته خودروها علاوه بر پارامترهای به‌دست آمده برای خودروهای عبوری چند پارامتر دیگر هم مانند مکان خودرو در ابتدای زمان قرمز و مقدار اختلاف بین زمان رسیدن به خط توقف و زمان قرمز به‌دست می‌آید.

جدول ۳-۲: داده‌های مطالعه‌ی جاری

خودروها	داده‌ها
اولین خودروهای توقفی یا خودروهای عبوری (در چراغ زرد یا قرمز)	۱.فاصله وسیله‌ی نقلیه تا خط توقف (در ابتدای زمان زرد) ۲.سرعت اولیه وسیله‌ی نقلیه ۳.زمان لازم برای رسیدن وسیله‌ی نقلیه به خط توقف (در ابتدای زمان زرد) ۴.لاین خودرو ۵.نوع خودرو ۶.زمان تا خط توقف
خودروهای عبوری (در چراغ زرد یا قرمز)	۱.سرعت در بازه‌ی زرد ۲.شتاب در بازه‌ی زرد ۳.زمان رسیدن خودرو به نقطه‌ی برخورد در نیمه‌ی میدان ۴.سرعت خودرو در نیمه‌ی میدان ۵.شتاب خودرو در نیمه‌ی میدان ۶.زمان حضور خودرو در میدان ۷.سرعت خودرو در میدان ۸.شتاب خودرو در میدان
اولین خودروهای توقفی	۱.زمان شروع ترمزگیری ۲.فاصله شروع ترمزگیری ۳.زمان ترمزگیری تا خط توقف ۴.زمان تا برخورد ۵.شتاب کاهنده
خودروهای عبوری (در چراغ قرمز)	۱.فاصله از خط توقف در ابتدای زمان قرمز ۲.زمان وارد شدن خودرو به میدان بعد از شروع چراغ قرمز

۳-۶- دسته‌بندی و پردازش اطلاعات

در این تحقیق، رفتار رانندگان در میدان‌های زمان‌بندی شده به هنگام مشاهده‌ی چراغ زرد و تأثیر آن‌ها بر ناحیه تردید با مدل‌های آماری مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. برای این کار لازم است تا ابتدا پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز این اطلاعات دسته‌بندی و پرداخت شوند و بانک اطلاعاتی لازم برای کارهای آماری فراهم شوند. در این پایان‌نامه مراحل زیر به‌منظور دسته‌بندی و پرداخت اطلاعات انجام‌شده‌اند:

۱) استخراج اطلاعات مورد نظر از فیلم‌های تهیه شده: این اطلاعات شامل نوع رفتار رانندگان به هنگام مشاهده چراغ زرد و پارامترهایی که در بخش ۳-۵ برای خودروهای عبوری در زمان زرد و خودروهای توقفی به دست آمد می‌باشد.

۲) وارد کردن اطلاعات استخراج شده به کامپیوتر: در این مرحله اطلاعات استخراج شده از فیلم‌ها، به‌صورت یک پایگاه اطلاعاتی با کمک نرم‌افزار Excel ذخیره می‌شود تا در مرحله‌ی بررسی ناحیه تردید مورد استفاده قرار گیرند.

۳-۷- اصلاحات اطلاعات به‌دست آمده

برخی از اطلاعات برداشت شده از فیلم‌ها در این تحقیق مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و برای محاسبات و کارهای آماری در نظر گرفته نمی‌شود. در این تحقیق خودروهای که بعد از وارد شدن به میدان به سمت راست گردش می‌کنند و هم‌چنین خودروهایی که قبل از وارد شدن به میدان از دوربرگردان دور می‌زنند از این نوع اطلاعات هستند و حذف شده‌اند.

۳-۸- رگرسیون لوجیت

رگرسیون لوجیت یک مدل آماری رگرسیون برای متغیرهای وابسته دوسویی مانند بیماری یا سلامت، مرگ یا زندگی است. این مدل را می‌توان به‌عنوان مدل خطی تعمیم‌یافته‌ای از تابع لوجیت به‌حساب‌آورد. منظور از دو سویی بودن، رخ داد یک واقعه تصادفی در دو موقعیت ممکن است. مثلاً در این پژوهش، متغیر وابسته احتمال توقف بررسی می‌شود. این پارامتر وابسته، یعنی احتمال توقف یک احتمال دو سویی است، یعنی خودرو ممکن است توقف کند یا توقف نکند و مجموع احتمال این دو حالت، برابر یک است.

۳-۸-۱- تعریف متغیرها

رگرسیون لوجیت در دو مرحله انجام می‌گیرد:

در مرحله‌ی اول، زمان زرد، TTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/افزاینده به عنوان پارامتر مستقل و احتمال توقف به عنوان پارامتر وابسته (باینری، عبور عدد صفر، توقف عدد یک) وارد نرم‌افزار SPSS می‌گردد. در این مرحله، اطلاعات برای دو دسته خودرو سواری/شاسی‌بلند و باری/اتوبوس جداگانه وارد نرم‌افزار شده‌اند. در پایان مرحله اول، علاوه بر پارامترهای زمان زرد، TTS، سرعت در ابتدای زرد و

شتاب کاهنده/افزاینده، پارامتر نوع خودرو هم به‌عنوان پارامتر مستقل وارد نرم‌افزار شده است. در پارامتر نوع خودرو، برای خودروهای سواری عدد ۱، خودروهای شاسی‌بلند عدد ۲، خودروهای باری سبک عدد ۳ و خودروهای باری سنگین/اتوبوس عدد ۴ به‌صورت داده‌های طبقه‌بندی[1] وارد نرم‌افزار شده‌اند.

در مرحله‌ی دوم، زمان زرد، DTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/افزاینده به عنوان پارامتر مستقل و احتمال توقف به عنوان پارامتر وابسته (باینری، عبور عدد صفر، توقف عدد یک) وارد نرم‌افزار SPSS می‌گردد. در این مرحله، اطلاعات برای دو دسته خودرو سواری/شاسی‌بلند و باری/اتوبوس جداگانه وارد نرم‌افزار شده‌اند. در پایان مرحله دوم، علاوه بر پارامترهای زمان زرد، DTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/افزاینده، پارامتر نوع خودرو هم به‌عنوان پارامتر مستقل وارد نرم‌افزار شده است. در پارامتر نوع خودرو، برای خودروهای سواری عدد ۱، خودروهای شاسی‌بلند عدد ۲، خودروهای باری سبک عدد ۳ و خودروهای باری سنگین/اتوبوس عدد ۴ به‌صورت داده‌های طبقه‌بندی وارد نرم‌افزار شده‌اند.

۳-۸-۲- مفاهیم کاربردی در رگرسیون لوجیت

آماره والد[2]: در رگرسیون لجستیک آماره والد معنی‌دار بودن حضور هر متغیر مستقل در معادله را نشان می‌دهد. در نتیجه، آماره والد معادل آماره t در رگرسیون خطی است. آماره والد این فرض صفر را به آزمون می‌گذارد که مقدار تمامی بتاها برابر است با صفر. یعنی میزان تأثیر تمامی متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته برابر با صفر است. پس اگر قرار است فرض صفر را رد کنیم مقدار حداقل یکی از بتاها نباید صفر باشد.

بخت‌ها[3]: بخت‌ها عبارت‌اند از احتمال رخ دادن یک واقعه بر احتمال رخ ندادن آن واقعه.

[1] categorical
[2] Wald
[3] Odds

نسبت بخت‌ها[1]: در رگرسیون لوجیت برای تعیین میزان تأثیر هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته از آماره‌ای به نام نسبت بخت‌ها (OR) استفاده می‌شود. نسبت بخت‌ها نشان‌دهنده یک واحد تغییر در بخت‌های وقوع یک پیامد به ازای یک واحد تغییر در متغیر مستقل است. نسبت بخت‌ها در خروجی SPSS با نماد Exp(B) نمایش داده می‌شود.

حساسیت[2]: به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن‌ها را به درستی به عنوان مثبت علامت‌گذاری می‌کند (احتمال پیش‌بینی توقف خودرو را به عنوان حساسیت در نظر می‌گیریم).

ویژگی[3]: به معنی نسبتی از موارد منفی است که آزمایش آن‌ها را به درستی به عنوان منفی علامت‌گذاری می‌کند (احتمال پیش‌بینی عبور خودرو را به عنوان حساسیت در نظر می‌گیریم).

در تفسیر نتایج نسبت بخت‌ها باید قواعد زیر را رعایت کنیم.

۱. هرگاه نسبت بخت‌ها بزرگ‌تر از عدد یک باشد، تغییر متغیرهای مستقل و وابسته مثبت و هم‌جهت است. یعنی با افزایش مقدار متغیر مستقل، متغیر وابسته نیز افزایش می‌یابد (در این حالت مقدار B نیز مثبت است).
۲. هرگاه نسبت بخت‌ها کوچک‌تر از عدد یک باشد، متغیرهای مستقل و وابسته منفی و در جهت مخالف هم هستند. یعنی با افزایش مقدار متغیر مستقل، مقدار متغیر وابسته کاهش می‌یابد. (در این حالت مقدار B نیز منفی است).
۳. هرگاه نسبت بخت‌ها برابر با عدد یک باشد، متغیر مستقل تأثیر معنی‌داری بر متغیر وابسته ندارد و مقدار B یا اثر آن صفر است.

نسبت بخت‌ها را می‌توان به دو صورت زیر تفسیر نمود:

۱. در شیوه اول همان‌گونه که ذکر شد بر اساس نسبت تغییر در متغیر وابسته به ازای یک واحد تغییر در متغیر مستقل تفسیر می‌کنیم.

[1] Odds ratio (OR)
[2] Sensitivity
[3] Specificity

۲. در شیوه دوم می‌توان نسبت بخت‌ها را به‌صورت درصد تفسیر کرد. برای این کار ابتدا نسبت بخت‌ها را از عدد یک‌کم و سپس در عدد صد ضرب می‌کنیم و به‌صورت درصد تفسیر می‌کنیم.

۳-۸-۳- روش انتخاب متغیرها در رگرسیون لوجیت

در رگرسیون لوجیت، روش‌های متعددی برای انتخاب و ورود متغیرها به مدل وجود دارند که به ما کمک می‌کنند تا مشخص کنیم چگونه متغیرهای مستقل وارد تحلیل می‌شوند و نیز بتوانیم مدل‌های رگرسیونی مختلفی را روی یک مجموعه متغیر یکسان ایجاد کنیم.

۱. روش هم‌زمان[1]: در این روش تمامی متغیرها در یک مرحله وارد مدل می‌شوند.

۲. روش پیش رو مشروط[2]: نوعی روش گام‌به‌گام است که در آن ورود متغیرها به تحلیل بر اساس معنی‌داری مقدار آماره نسبت درست‌نمایی و خروج متغیرها از تحلیل بر اساس احتمال این آماره و با توجه به برآوردهای پارامتر مشروط انجام می‌گیرد.

۳. روش پیش‌رو نسبت درست‌نمایی[3]: نوعی روش گام‌به‌گام است که در آن ورود متغیرها به تحلیل بر اساس معنی‌داری مقدار آماره نسبت درست‌نمایی و خروج متغیرها از تحلیل بر اساس احتمال این آماره و با توجه به برآوردهای حداکثر درست‌نمایی جزئی انجام می‌شود.

۴. روش پیش‌رو والد[4]: نوعی روش گام‌به‌گام است که در آن ورود متغیرها به تحلیل بر اساس معنی‌داری مقدار آماره نسبت درست‌نمایی و خروج متغیرها از تحلیل بر اساس احتمال آماره والد انجام می‌گیرد.

۵. روش حذف پس‌رو مشروط[5]: نوعی روش گام‌به‌گام پس‌رو است که در آن خروج متغیرها از تحلیل بر اساس احتمال آماره نسبت درست‌نمایی و با توجه به برآوردهای پارامتر مشروط انجام می‌شود.

---

[1] Enter
[2] Forward Conditional
[3] Forward LR
[4] Forward Wald
[5] Backward Elimination Conditional

۶. روش حذف پس‌رو نسبت درست‌نمایی[1]: نوعی روش گام‌به‌گام پس‌رو است که در آن خروج متغیرها از تحلیل بر اساس احتمال آماره نسبت درستنمایی و با توجه به برآوردهای حداکثر درستنمایی جزئی یا تفکیکی انجام می‌شود.

۷. روش حذف پس‌رو والد[2]: نوعی روش گام‌به‌گام پس‌رو است که در آن خروج متغیرها از تحلیل بر اساس احتمال آماره والد انجام می‌گیرد.

در این تحقیق، داده‌ها به روش ۳ یعنی روش پیش‌رو نسبت درست‌نمایی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

[1] Backward Elimination Likelihood Ratio
[2] Backward Elimination Wald

فصل چهارم

نتایج

۴-۱ مقدمه

در این فصل، ابتدا اطلاعات آماری، توصیفی از داده‌ها مربوط به خودروهای عبوری در زمان زرد و خودروهای توقفی بیان می‌شود. سپس پارامترهای مربوط به رفتار راننده که از جمع‌آوری اطلاعات میدانی به‌دست آمده‌اند و تأثیرگذار بر ناحیه تردید نوع ۲ و زمان تمام‌قرمز هستند بررسی می‌گردد و با تقاطعات چراغ‌دار مقایسه می‌گردند.

در مرحله بعد، طول ناحیه تردید نوع ۲ با توجه به شاخص مکانی و زمانی تعیین می‌گردد و با میدان‌های چراغ‌دار مقایسه می‌گردد.

در مرحله‌ی آخر هم، زمان تمام‌قرمز از دو روش سیتماتیک حرکت و زمان تا برخورد به‌دست می‌آید.

۴-۲- اطلاعات آماری توصیفی

در این مرحله، اطلاعات مربوط به حجم خودروهای عبوری در زمان زرد و اولین خودروهای توقفی در هر میدان (جدول ۴-۱)، اطلاعات مربوط به زمان چراغ زرد و قرمز در هر میدان (جدول ۴-۲) بیان می‌شود.

اطلاعات مربوط به فاصله از خط توقف در ابتدای زمان زرد برای خودروهای عبوری در زمان زرد (جدول ۴-۳) و برای اولین خودروهای توقفی (جدول ۴-۴) بیان می‌شود و مقایسه بین آن‌ها صورت می‌گیرد.اطلاعات مربوط به سرعت در ابتدای زمان زرد برای خودروهای عبوری در زمان زرد (جدول ۴-۵) و برای اولین خودروهای توقفی (جدول ۴-۶) بیان می‌شود و مقایسه بین آن‌ها صورت می‌گیرد. اطلاعات مربوط به سرعت در بازه‌ی زمان زرد برای خودروهای عبوری در زمان زرد (جدول ۴-۷)، اطلاعات مربوط به سرعت در میدان برای خودروهای عبوری در زمان زرد (جدول ۴-۸) بیان می‌شود و مقایسه بین آن‌ها و (جدول ۴-۵) صورت می‌گیرد. اطلاعات مربوط به شتاب در بازه‌ی زمان زرد (جدول ۴-۹) و اطلاعات مربوط به شتاب در میدان (جدول ۴-۱۰)، برای خودروهای عبوری در زمان زرد به تفکیک میدان بیان می‌شود و مقایسه‌ای بین آن‌ها صورت می‌گیرد.

اطلاعات مربوط زمان درک و واکنش رانندگان (جدول ۴-۱۱) و شتاب کاهنده (جدول ۴-۱۲) برای اولین خودروهای توقفی به تفکیک میدان حاصل می‌شود.

۴-۲-۱- اطلاعات آماری، توصیفی مربوط به خودروهای عبوری در زمان زرد و خودروهای توقفی

جدول ۴-۱: اطلاعات مربوط به حجم خودروهای عبوری در زمان زرد و اولین خودروهای توقفی در هر میدان (تعداد خودروهای برداشت شده)

میدان	خودروهای عبوری	خودروهای توقفی
تقی‌آباد	۱۳۶	۲۲۱
ابوطالب	۱۵۰	۱۹۶
شهدای غواص	۱۲۱	۱۱۴
کل	۴۰۷	۵۳۱

جدول ۴-۱ تعداد خودروهای عبوری در زمان زرد و اولین خودروهای توقفی را در هر میدان نشان می‌دهد. دلیل کم‌تر بودن خودروهای عبوری نسبت به خودروهای توقفی این است که برخی خودروها مانند خودروهای گردش به راست و خودروهایی که در نیمه میدان به دلیل چراغ قرمز توقف می‌کنند، حذف شده‌اند.

جدول ۴-۲: اطلاعات مربوط به زمان چراغ زرد و قرمز در هر میدان (ثانیه)

میدان	نوع چراغ	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	زرد	۳/۰۱	۱/۹۲	۳/۳۶	۰/۱۸	۱۳۶
	قرمز	۴۰/۵۶	۱۵/۹۶	۶۵/۱۲	۱۶/۹۴	۲۲۱
ابوطالب	زرد	۳/۰۲	۲/۶۰	۳/۲۰	۰/۰۹	۱۵۰
	قرمز	۹۱/۷۵	۴۰/۱۲	۱۴۷/۸۷	۱۷/۳۰	۱۹۶
شهدای غواص	زرد	۳/۰۳	۲/۶۸	۳/۱۶	۰/۱۰	۱۲۱
	قرمز	۵۷/۶۸	۴۶/۰۴	۸۸/۰۸	۶/۷۲	۱۱۴
کل	زرد	۳/۰۲	۱/۹۲	۳/۳۶	۰/۱۸	۴۰۷
	قرمز	۶۳/۱۳	۱۵/۹۶	۱۴۷/۸۷	۲۷/۸۵	۵۳۱

جدول ۴-۲ زمان زرد و قرمز در هر میدان را نشان می‌دهد. به دلیل سیستم اتوماتیک[1] تعیین زمان چراغ راهنمایی، زمان زرد و قرمز متغیر می‌باشند.

[1] actuated

جدول ۴-۳: اطلاعات مربوط به فاصله از خط توقف برای خودروهای عبوری در ابتدای زمان زرد (متر)

میدان	نوع حرکت	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	مستقیم	۹/۴۶	۰/۱	۴۷	۱۰/۳۲	۷۶
	چپ	۵/۹۵	۰/۱	۳۳/۳۶	۷/۷۴	۶۰
ابوطالب	مستقیم	۸/۴۵	۰/۱	۱۱۵/۷۰	۱۷/۷۰	۱۲۰
	چپ	۸/۱۳	۰/۱۵	۵۵/۵	۱۱/۹۱	۳۰
شهدای غواص	مستقیم	۲۰/۶۴	۰/۱	۱۱۰	۲۴/۲۴	۱۰۶
	چپ	۲۶/۲۶	۰/۲	۱۱۸/۷۵	۳۷/۱۱	۱۵
کل	مستقیم	۱۲/۹۸	۰/۱	۱۱۵/۵	۱۹/۶۸	۴۰۷
	چپ	۲۲/۷۶	۱/۸	۷۹/۲۰	۱۶/۷۷	۵۳۱

جدول ۴-۴: اطلاعات مربوط به فاصله از خط توقف برای اولین خودروهای توقفی در ابتدای زمان زرد (متر)

میدان	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	۵۲/۸۵	۴/۰۰	۱۳۲/۵۰	۳۴/۲۹	۲۲۱
ابوطالب	۸۰/۷۲	۱/۵۰	۱۳۹/۸۷	۳۹/۴۷	۱۹۶
شهدای غواص	۷۷/۹۷	۱۲/۵۰	۱۱۹/۵۰	۲۷/۶۶	۱۱۴
کل	۶۸/۵۳	۱/۵۰	۱۳۹/۸۷	۳۷/۴۳	۵۳۱

جدول ۴-۳ و ۴-۴ اطلاعات مربوط به فاصله از خط توقف برای خودروهای عبوری در زمان زرد و اولین خودروهای توقفی در ابتدای زمان زرد را ارائه می‌دهد. با مقایسه این دو جدول نتیجه می‌گیریم، خودروهای عبوری در زمان زرد در فاصله نزدیک‌تری به میدان نسبت به اولین خودروهای توقفی قرار دارند، بدین صورت که در فاصله دورتر از میدان، احتمال عبور کم‌تر و احتمال توقف بیش‌تر است.

جدول ۴-۵: اطلاعات مربوط به سرعت برای خودروهای عبوری در ابتدای زمان زرد (کیلومتر بر ساعت)

میدان	نوع حرکت	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	مستقیم	۲۰/۲۰	۲/۱۶	۶۹/۳۰	۱۴/۶۷	۷۶
	چپ	۲۰/۵۹	۱/۸۰	۶۱/۲۰	۱۵/۰۴	۶۰
ابوطالب	مستقیم	۱۵/۴۷	۱/۱۰	۷۲/۰۰	۱۴/۵۰	۱۲۰
	چپ	۲۲/۲۲	۱/۸۰	۷۹/۲۰	۱۹/۷۲	۳۰
شهدای غواص	مستقیم	۳۶/۲۸	۳/۷۰	۷۰/۲۰	۱۳/۴۱	۱۰۶
	چپ	۳۲/۵۲	۹/۱۸	۵۳/۲۸	۱۴/۴۳	۱۵
کل	مستقیم	۲۳/۹۷	۱/۱۰	۷۲/۰۰	۱۶/۹۸	۴۰۷
	چپ	۲۲/۷۶	۱/۸۰	۷۹/۲۰	۱۶/۷۷	۵۳۱

جدول ۴-۶: اطلاعات مربوط به سرعت برای اولین خودروهای توقفی در ابتدای زمان زرد (کیلومتر بر ساعت)

میدان	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	۳۱/۹۷	۴/۲۴	۵۷/۶۰	۱۲/۷۸	۲۲۱
ابوطالب	۳۶/۷۹	۳/۶۰	۶۹/۳۰	۱۳/۱۹	۱۹۶
شهدای غواص	۴۳/۷۸	۱۴/۴۰	۶۴/۹۰	۸/۳۲	۱۱۴
کل	۳۵/۷۶	۳/۶۰	۶۹/۳۰	۱۳/۷۳	۵۳۱

جدول ۴-۵ و ۴-۶ اطلاعات مربوط به سرعت برای خودروهای عبوری و خودروهای توقفی در ابتدای زمان زرد را ارائه می‌دهد. با مقایسه این دو جدول نتیجه می‌گیریم، خودروهای عبوری به دلیل نزدیک‌تر بودن به میدان دارای سرعت کم‌تری نسبت به خودروهای توقفی هستند، یعنی به هر میزان که رانندگان به میدان نزدیک‌تر باشند، سرعت کم‌تر و احتیاط آن‌ها بیشتر خواهد بود. هم‌چنین خودروهای توقفی به دلیل فاصله‌ی دورتر از میدان، مقدار سرعت آن‌ها نسبت به خودروهای عبوری بیشتر است.

جدول ۴-۷: اطلاعات مربوط به سرعت برای خودروهای عبوری در بازه‌ی زمان زرد (کیلومتر بر ساعت)

میدان	نوع حرکت	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	مستقیم	۱۸/۷۰	۰/۶۲	۶۴/۸۰	۱۳/۴۴	۷۶
	چپ	۲۰/۶۳	۲/۹۰	۶۰/۸۸	۱۵/۰۲	۶۰
ابوطالب	مستقیم	۱۳/۴۶	۰/۳۶	۶۵/۵۷	۱۱/۷۰	۱۲۰
	چپ	۱۸/۴۶	۳/۲۱	۵۳/۷۵	۱۴/۱۱	۳۰
شهدای غواص	مستقیم	۳۳/۸۰	۴/۰۴	۷۰/۱۰	۱۲/۶۴	۱۰۶
	چپ	۳۱/۳۸	۹/۰۰	۵۵/۱۹	۱۳/۶۴	۱۵
کل	مستقیم	۲۱/۷۷	۰/۳۶	۷۰/۱۰	۱۵/۲۴	۴۰۷
	چپ	۲۱/۵۴	۲/۹۰	۶۰/۸۸	۱۵/۰۳	۵۳۱

جدول ۴-۸: اطلاعات مربوط به سرعت برای خودروهای عبوری در میدان (کیلومتر بر ساعت)

میدان	نوع حرکت	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	مستقیم	۲۳/۷۱	۱۳/۹۵	۴۳/۳۱	۶/۴۸	۷۶
	چپ	۲۶/۱۶	۱۶/۴۶	۴۴/۰۴	۵/۷۲	۶۰
ابوطالب	مستقیم	۲۵/۲۰	۱۳/۹۶	۵۷/۹۳	۱۰/۲۴	۱۲۰
	چپ	۲۵/۱۱	۱۵/۳۰	۳۸/۱۵	۴/۸۴	۳۰
شهدای غواص	مستقیم	۴۰/۳۲	۱۷/۸۲	۶۷/۰۴	۷/۲۷	۱۰۶
	چپ	۲۹/۴۹	۲۱/۰۱	۳۶/۱۹	۵/۵۰	۱۵
کل	مستقیم	۳۰/۱۳	۱۳/۹۵	۶۷/۰۴	۱۱/۱۶	۴۰۷
	چپ	۲۶/۳۴	۱۵/۳۰	۴۴/۰۴	۵/۶۶	۵۳۱

جدول ۴-۷ و ۴-۸ اطلاعات مربوط به سرعت در بازه‌ی زمان زرد و سرعت در میدان را برای خودروهای عبوری ارائه می‌دهد. با مقایسه‌ی جدول ۴-۵ و ۴-۷ نتیجه می‌گیریم خودروها در ابتدای زمان زرد نسبت به بازه‌ی زمان زرد سرعت بالاتری دارند (به دلیل دور بودن از میدان)، یعنی هر میزان خودروها به میدان نزدیک‌تر شده‌اند، محتاط‌تر شده‌اند. با مقایسه‌ی جدول ۴-۷ و ۴-۸ می‌بینیم بعد از این‌که خودروها وارد میدان شده‌اند، سرعت خود را افزایش داده‌اند. در نهایت، نتیجه گرفته شد، خودروهای عبوری در بازه زمان زرد که نزدیکی میدان هستند نسبت به ابتدای زمان زرد و داخل میدان احتیاط بیشتری دارند.

جدول ۴-۹: اطلاعات مربوط به شتاب برای خودروهای عبوری در بازه زمان زرد (متر بر مجذور ثانیه)

میدان	نوع حرکت	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات شتاب منفی	مشاهدات شتاب مثبت
تقی‌آباد	مستقیم	-۰/۴۱	-۳/۱۳	۱/۲۶	۰/۸۷	۵۳	۲۳
	چپ	-۰/۴۱	-۳/۱۷	۱/۸۰	۰/۹۰	۴۳	۱۷
ابوطالب	مستقیم	-۰/۲۵	-۱/۹۹	۲/۱۲	۰/۹۵	۷۲	۴۸
	چپ	-۰/۱۲	-۲/۸۱	۱/۴۰	۱/۱۰	۱۷	۱۳
شهدای غواص	مستقیم	-۰/۶۴	-۳/۳۳	۱/۷۹	۰/۹۸	۸۳	۲۳
	چپ	-۰/۴۰	-۲/۵۰	۱/۷۰	۱/۲۷	۱۱	۰۴
کل	مستقیم	-۰/۴۲	-۳/۱۳	۲/۱۲	۰/۹۶	۲۰۶	۹۶
	چپ	-۰/۳۳	-۳/۱۷	۱/۸	۱/۰۲	۷۱	۳۴

جدول ۴-۱۰: اطلاعات مربوط به شتاب برای خودروهای عبوری در میدان (متر بر مجذور ثانیه)

میدان	نوع حرکت	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات شتاب منفی	مشاهدات شتاب مثبت
تقی‌آباد	مستقیم	۰/۰۹	-۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۲۴	۲۰	۵۶
	چپ	۰/۰۸	-۰/۴۶	۰/۸۵	۰/۲۳	۱۷	۴۳
ابوطالب	مستقیم	۰/۲۶	-۰/۸۸	۲/۰۱	۰/۳۲	۱۰	۱۱۰
	چپ	۰/۱۰	-۰/۴۳	۰/۶۰	۰/۲۲	۶	۲۴
شهدای غواص	مستقیم	۰/۲۸	-۱/۰۸	۱/۴۸	۰/۴۶	۲۹	۷۷
	چپ	۰/۰۴	-۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۲۴	۱۰	۵
کل	مستقیم	۰/۲۲	-۱/۰۸	۲/۰۱	۰/۳۷	۵۹	۲۴۳
	چپ	۰/۰۷	-۰/۴۶	۰/۸۵	۰/۲۳	۳۳	۷۲

جدول ۴-۹ و ۴-۱۰ اطلاعات مربوط به سرعت در بازه‌ی زمان زرد و سرعت در میدان را برای خودروهای عبوری ارائه می‌دهد. با مقایسه‌ی جدول ۴-۹ و ۴-۱۰ نتیجه می‌گیریم، خودروها در بازه زمان زرد و قبل از ورود به میدان سرعت خود را کاهش (دارای شتاب منفی) و بعد از ورود به میدان سرعت خود را افزایش (دارای شتاب مثبت) می‌دهند.

جدول ۴-۱۱: اطلاعات مربوط به زمان درک و واکنش برای خودروهای توقفی (ثانیه)

میدان	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	۱/۱۰	۰/۰۴	۳/۷۸	۱/۱۳	۶۱
ابوطالب	۰/۶۹	۰/۱۶	۳/۹۲	۰/۷۴	۵۵
شهدای غواص	۱/۳۶	۰/۰۴	۴/۰۰	۱/۲۵	۲۷
کل	۱/۱۲	۰/۰۴	۴/۰۰	۱/۱۴	۱۴۳

جدول ۴-۱۱ اطلاعات مربوط به زمان درک و واکنش برای خودروهای توقفی را نشان می‌دهد، تعداد کمتر مشاهدات برای δ_s به خاطر آن است که تعداد زیادی از خودروها، قبل از زرد شدن چراغ شروع به نشان دادن عکس‌العمل نشان داده‌اند. زمان واکنش (δ_s) در مقاله جاری، واکنش رانندگان پس از روشن شدن چراغ زرد است.

جدول ۴-۱۲: اطلاعات مربوط به شتاب کاهنده برای خودروهای توقفی (متر بر مجذور ثانیه)

میدان	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف از معیار	مشاهدات
تقی‌آباد	-۱/۳۹	-۶/۱۶	-۰/۰۱	۰/۹۸	۲۲۱
ابوطالب	-۰/۹	-۸/۵۱	-۰/۱۵	۰/۷۷	۱۹۶
شهدای غواص	-۱/۶۲	-۳/۹۲	-۰/۳۳	-۰/۸۲	۱۱۴
کل	-۱/۲۶	-۸/۵۱	-۰/۰۱	۰/۹۱	۵۳۱

جدول ۴-۱۲ اطلاعات مربوط به شتاب کاهنده برای خودروهای توقفی را بیان می‌کند. این پارامتر از تقسیم سرعت اولیه در ابتدای زمان زرد بر زمان طی شده تا توقف کامل به دست خواهد آمد.

۴-۳- پارامترهای رفتار راننده

پارامترهای رفتار راننده، پارامترهایی هستند که مستقیماً از رفتار راننده برداشت شده‌اند و ماهیت متغیر و دینامیکی دارند. در آیین‌نامه‌های مختلف برای این پارامترها، مقادیر ثابت در نظر گرفته شده است. این پارامترها شامل a_m (شتاب خودروهای عبوری)، a_s (شتاب خودروهای توقفی) و δ_s (زمان درک و واکنش خودروهای توقفی) هستند. هم‌چنین δ_m (زمان درک و واکنش خودروهای عبوری) همانند δ_s در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳-۱- a_m (شتاب خودروهای عبوری)

شتاب خودروهای عبوری از تقاطع (a_m)، از ۳/۱۷– تا ۲/۱۲ تغییر می‌کند(جدول ۴-۱۳). این مقادیر نشان می‌دهد برخی خودروها، برای عبور از میدان شتاب خود را کاهش می‌دهند و برخی دیگر شتاب خود را افزایش می‌دهند و رفتار همسانی ندارند. با توجه به اینکه صدک ۵۰ و ۸۵، (a_m) به ترتیب برابر ۰/۳۴- و ۰/۶۲ است، پس صدکی که به ازای آن شتاب صفر می‌شود، بین ۵۰ و ۸۵ قرار دارد.

بررسی پایگاه داده‌های مشاهداتی، نشان داد ۷۰ درصد خودروهای عبوری از تقاطع (۲۷۹ مشاهده از ۴۰۶ مشاهده) دارای شتاب کاهنده و ۳۰ درصد باقی‌مانده (۱۲۷ مشاهده از ۴۰۶ مشاهده)، دارای شتاب افزاینده هستند ($a_m>0$). معمولاً در تقاطعات چراغ‌دار فرض می‌شود که $a_m=0$. یعنی خودروها بدون تغییر شتاب و با همان سرعت اولیه، از تقاطع چراغ‌دار عبور می‌کنند. اما در میدان‌های چراغ‌دار مشاهده می‌شود ۷۰ درصد خودروهای عبوری، برای عبور از میدان کاهش شتاب می‌دهند. از این‌رو، پیشنهاد مطالعات پیشین که $a_m=0$، برای میدان‌ها چراغ‌دار منطقی نیست و مقدار متوسط ۰/۴- برای a_m پیشنهاد می‌شود.

۴-۳-۲- a_s (شتاب کاهنده خودروهای توقفی)

شتاب کاهنده خودروهای توقف کننده (a_s) از ۶/۱۶ تا ۰/۰۱ (متر بر مجذور ثانیه) تغییر می‌کند و مقدار متوسط آن، برابر ۱/۲۶ متر بر مجذور ثانیه است (جدول ۴-۱۳). مقدار شتاب کاهنده خودروهای

توقفی برای تقاطعات چراغدار در ITE (پند و ولشون ۲۰۱۶)، NCHRP 731 (مک‌گی و همکاران ۲۰۱۲)، مقدار ۳ متر بر مجذور ثانیه و در AASHTO (۲۰۱۱)، مقدار ۳/۳۶ متر بر مجذور ثانیه پیشنهاد شده است. با مقایسه مقادیر (a_s) در میدان و تقاطع چراغدار متوجه می‌شویم که مقادیر (a_s) در میدان-های چراغدار حدود یک‌سوم مقادیر (a_s) در تقاطعات چراغدار است و این تفاوت، به‌دلیل تفاوت رفتار رانندگان در میدان و تقاطع چراغدار است. مقدار پیشنهادی برای a_s برابر مقدار متوسط آن، یعنی ۱/۲۶ متر بر مجذور ثانیه است(جدول ۴-۱۴).

۴-۳-۳- δ_s (زمان درک و واکنش خودروهای توقفی)

زمان درک و واکنش خودروهای توقفی (δ_s) از ۰/۰۴ تا ۴ (ثانیه) تغییر می‌کند و مقدار متوسط آن، برابر ۱/۱۲ ثانیه است (جدول ۴-۱۳). با مقایسه شاخص‌های پراکنش و تمرکز δ_s در مشاهدات جاری و پیشین (در مورد تقاطعات چراغدار)، هماهنگی خوبی مشاهده می‌شود. برای مثال، میانه (صدک ۵۰ام) δ_s در این تحقیق، برابر ۰/۶ ثانیه (جدول ۴-۱۳) و نزدیک به مقدار ۰/۶۶ ثانیه گزارش شده توسط (جانسون و رومار ۱۹۷۱) است. صدک ۸۵ام δ_s در میدان‌های چراغدار برابر ۲/۷ ثانیه است (جدول ۴-۱۳) و نزدیک به مقادیر AASHTO (۲۰۱۱) است که بیان می‌کند ۲/۵ ثانیه زمان درک و واکنش ۹۰ درصد رانندگان را (برای مسافت دید توقف) پوشش می‌دهد(جدول ۴-۱۴). متوسط δ_s برابر ۱/۱۲ ثانیه و نزدیک ۱ ثانیه پیشنهادی توسط ITE (پند و ولشون، ۲۰۱۶)، NCHRP 731 (مک گی و همکاران، ۲۰۱۲) است. مقدار پیشنهادی برای δ_s در مطالعه جاری، با اندکی تقریب ۱ ثانیه (به‌جای ۱/۱۲) و برابر مقدار متوسط آن است(جدول ۴-۱۴).

۴-۳-۴- δ_m (زمان درک و واکنش خودروهای عبوری)

δ_m (زمان درک و واکنش خودروهای عبوری) همانند δ_s در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۴-۱۳: مقادیر a_m ,a_s ,δ_s برای میدان‌های چراغ‌دار

شاخص	a_m*	a_s (شتاب کاهنده)	δ_s**
تعداد مشاهدات	۴۰۶	۵۳۱	۱۴۳
میانگین	-۰/۴	-۱/۲۶	۱/۱۲
کمینه	-۳/۱۷	-۶/۱۶	۰/۰۴
بیشینه	۲/۱۲	-۰/۰۱	۴/۰۰
دامنه	۵/۲۹	۶/۱۵	۳/۹۶
انحراف از معیار	۰/۹۷	-۰/۹۱	۱/۱۳
صدک ۱۵	-۱/۴۶	-۲/۱۶	۰/۱۶
صدک ۵۰	-۰/۳۴	-۱/۰۶	۰/۶
صدک ۸۵	۰/۶۲	-۰/۴۶	۲/۷۰
صدک ۹۰	۰/۸۶	-۰/۳۹	۳/۱۴
صدک ۹۵	۱/۲۵	-۰/۲۴	۳/۷۶
مقدار پیشنهادی (میانگین)	-۰/۴	-۱/۲۶	۱/۱۲

* اعداد منفی به معنی شتاب کاهنده و اعداد مثبت به معنی شتاب افزاینده است.

** تعداد کمتر مشاهدات برای δ_s به خاطر آن است که تعداد زیادی از خودروها، قبل از زرد شدن چراغ شروع به نشان دادن عکس‌العمل نشان داده‌اند. زمان واکنش (δ_s) در مقاله جاری، واکنش رانندگان پس از روشن شدن چراغ زرد است.

جدول ۴-۱۴: مقایسه مقادیر a_m, a_s , δ_s برای میدان‌ها و تقاطعات چراغ‌دار

شاخص	a_m	a_m تقاطع	a_s	a_sتقاطع			δ_s*	δ_s تقاطع		
	جاری	اکثر مطالعات	جاری	ITE	NCHRP 731	AASHTO	جاری	جانسون و همکاران ۱۹۷۱	AASHTO	ITE NCHRP 731
میانگین	-۰/۴	۰	-۱/۲۶	-۳	-۳	-۳/۳۶	۱/۱۲	–	–	۱
کمینه	-۳/۱۷	۰	-۶/۱۶	–	–	–	۰/۰۴	–	–	–
بیشینه	۲/۱۲	۰	-۰/۰۱	–	–	–	۴/۰۰	–	–	–
صدک ۵۰	-۰/۳۴	۰	-۱/۰۶	–	–	–	۰/۶	۰/۶۶	–	–
صدک ۸۵	۰/۶۲	۰	-۰/۴۶	–	–	–	۲/۷۰	–	۲/۵	–
مقدار پیشنهادی (میانگین)	-۰/۴	۰	-۱/۲۶	-۳	-۳	-۳/۳۶	۱/۱۲	–	–	۱

* دلیل تغییرات شدید در مقدار کمینه و بیشینه به اینن دلیل است که، خودروهایی که فاصله دورتری از خط توقف دارند، دارای زمان درک و واکنش بیشتری هستند.

۴-۳-۵- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هماهنگی خوبی بین نتایج تحقیق جاری و تحقیقات پیشین در تقاطعات چراغ‌دار در ارتباط با پراکنش و تمرکز زمان درک و واکنش (δ_s) رانندگان وجود دارد. اما این هماهنگی برای a_m و a_s برقرار نیست. در نهایت در تحقیق جاری مقدار متوسط ۱ ثانیه برای δ_s پیشنهاد می‌شود. مقدار پیشنهادی برای a_m در تحقیق جاری برابر ۰/۴- (متر بر مجذور ثانیه) است، در حالی که در مطالعات پیشین برابر صفر بود. مقدار پیشنهادی برای a_s نیز در مطالعه جاری برابر ۱/۲۶ (متر بر مجذور) ثانیه است در حالی‌که در مطالعات پیشین بین ۳ تا ۳/۳ متغیر بود (جدول ۴-۱۴).

۴-۴- ناحیه تردید نوع ۲ (L_{dz2})

در این مرحله ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس شاخص مکانی و زمانی و با کمک رسم تابع احتمال توقف به‌دست آمده و با تقاطعات چراغ‌دار مقایسه می‌گردد.

۴-۴-۱- ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس شاخص مکانی

با توجه به تعریف تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس شاخص مکانی، نقطه‌ای با احتمال توقف ۹۰ درصد خودروها، ابتدای ناحیه تردید نوع ۲ و نقطه‌ای با احتمال توقف ۱۰درصد خودروها، انتهای ناحیه تردید نوع ۲ است. به همین دلیل، نمودار احتمال توقف برای هر سه میدان با توجه فاصله وسیله نقلیه تا خط توقف (DTS) رسم می‌گردد (شکل ۴-۱). با توجه به شکل ۴-۱، فاصله مکانی ابتدا و انتهای ناحیه تردید نوع ۲ در میدان تقی‌آباد برابر ۱۰۵ و ۱۴ متر، در میدان ابوطالب برابر ۱۲۵ و ۱۵ متر و برای میدان شهدای غواص برابر ۱۱۳ و ۴۰ متر است. بنابراین طول ناحیه تردید نوع ۲ از اختلاف بین فاصله مکانی ابتدا و انتها به‌دست می‌آید که برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب و شهدای غواص به ترتیب برابر است با ۹۱، ۱۱۰ و ۷۳ متر است. (جدول ۴-۱۵ الف).

با مقایسه بین محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲ در میدان‌ها و تقاطعات چراغ‌دار به این نکته پی می‌بریم که طول ناحیه تردید نوع ۲ در تقاطعات چراغ‌دار، از ۲۰ تا ۵۰ متر متغیر است (جدول ۴-۱۵ ب).

این تفاوت بین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ در میدان‌ها و تقاطعات چراغ‌دار به این دلیل است که ابتدای ناحیه تردید در میدان‌ها در مقایسه با تقاطعات چراغ‌دار، دورتر از خط توقف و انتهای آن نزدیک‌تر به خط توقف است. در میدان‌های چراغ‌دار، فاصله ابتدای ناحیه تردید از ۱۰۵ تا ۱۲۵ متر و فاصله انتهای آن از ۱۴ تا ۴۰ متر متغیر است (جدول ۴-۱۵ الف). در حالی که در تقاطعات چراغ‌دار، ابتدای ناحیه تردید از ۵۱ تا ۸۷ متر و انتهای آن از ۳۰ تا ۴۴ متر متغیر است (جدول ۴-۱۵ ب).

دور بودن ابتدای ناحیه تردید، از آن‌جا ناشی می‌شود که متوسط a_s برابر ۱/۲۶ (متر بر مجذور ثانیه) است و تقریباً یک‌سوم مقادیر پیشنهادی توسط ITE (پند و ولشون، ۲۰۱۶) و AASHTO (۲۰۱۱)، یعنی به ترتیب برابر ۳ و ۳/۳۶ (متر بر مجذور ثانیه) است. به دلیل، شتاب کاهشی کمتر، رانندگان، در مسافت دورتری از خط توقف ناچارند توقف خود را آغاز کنند و ناحیه تردید در مسافت دورتری از خط توقف شروع می‌شود. خودروهایی که در نزدیکی تقاطع قرار دارند نیز، علی‌رغم فاصله کم خود، احتیاط کرده و وارد میدان نشده پشت خط توقف، می‌ایستند. این عوامل باعث طولانی شدن ناحیه تردید می‌شود. در مجموع می‌توان گفت رانندگان در میدان‌های چراغ‌دار، با احتیاط و محافظه‌کاری بیشتری رانندگی می‌کنند.

جدول ۴-۱۵ ناحیه تردید نوع ۲ براساس شاخص مکانی در میدان‌ها و تقاطعات چراغ‌دار

الف) میدان چراغ‌دار مطالعه جاری

میدان	تقی‌آباد		ابوطالب		شهدای غواص	
سرعت (کیلومتر بر ساعت)	۴۵		۴۵		۵۵	
_____	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها
فاصله از خط توقف (DTS) (متر)	۱۰۵	۱۴	۱۲۵	۱۵	۱۱۳	۴۰
L_{DZ2} (متر)	۹۱		۱۱۰		۷۳	

ب) تقاطعات چراغ‌دار مطالعات پیشین

مرجع	بونسون و همکاران (۱۹۹۴)		چنگ و همکاران (۱۹۸۵)		زیگر و همکاران (۱۹۷۷)		ITE (۱۹۷۴)		وبستر و همکاران (۱۹۶۵)		هرمن و همکاران (۱۹۶۳)		اولسون و همکاران (۱۹۶۱)	
_____	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها
فاصله از خط توقف (DTS) (متر)	۷۴	۴۴	۸۷	۳۷	۷۷	۳۱	۶۴	۳۲	۵۱	۳۱	۶۶	۳۰	۶۴	۳۱
L_{DZ2} (متر)	۳۰		۵۰		۴۶		۳۲		۲۰		۳۶		۳۳	

۴-۴-۲- ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس شاخص زمانی

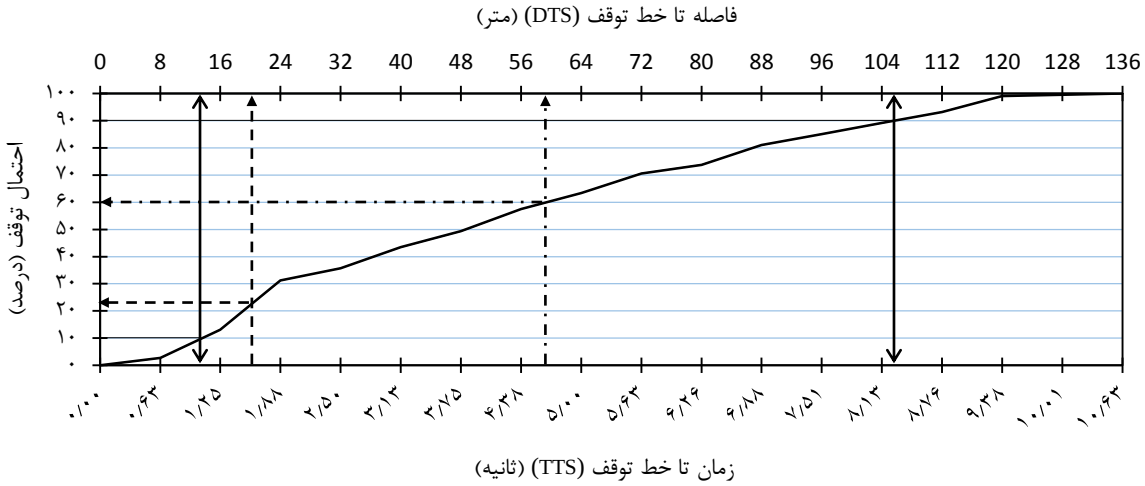
با توجه به تعریف تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس شاخص زمانی، نمودار احتمال توقف برای هر سه میدان با توجه زمان وسیله نقلیه تا خط توقف (TTS) رسم می‌گردد (مانند مرحله‌ی قبل). (شکل ۴-۱). (شایان ذکر است TTS در این قسمت متناظر با DTS و از تقسیم آن بر سرعت صدک ۸۵ام محاسبه شده است). با توجه به شکل ۴-۱، فاصله زمانی ابتدا و انتهای ناحیه تردید نوع ۲ در میدان تقی‌آباد برابر ۸/۲۷ و ۱/۱۰ ثانیه، در میدان ابوطالب برابر ۹/۷۵ و ۱/۱۰ ثانیه و برای میدان شهدای غواص برابر ۷/۵ و ۲/۶۵ ثانیه است (شکل۴-۱ و جدول۴-۱۶). با اندکی تقریب برای هماهنگ‌سازی نتایج ۳ میدان، می‌توان گفت، فاصله زمانی از خط توقف در ابتدا و انتهای ناحیه تردید نوع ۲، به ترتیب برابر است با ۸/۵ و ۱/۵ ثانیه است. ۱/۵ ثانیه برای انتهای ناحیه تردید، عدد منطقی است. اما ابتدای ناحیه تردید که در فاصله زمانی ۸/۵ ثانیه‌ای از خط توقف میدان است، عدد نسبتاً بزرگی است و با عدد ۵/۵ ثانیه تقاطعات چراغ‌دار نیز، فاصله زیادی دارد. این عدد برای کارکرد چراغ هوشمند میدان، غیرقابل‌قبول است. چرا که تمدید زمان سبز برای این مدت طولانی، سبب تأخیر زیاد در میدان خواهد شد. از این رو، پیشنهاد می‌شود برای انتها و ابتدای ناحیه تردید میدان‌های چراغ‌دار، از اعداد ۱/۵ و ۴/۵ ثانیه استفاده شود. ۱/۵ ثانیه، همان عددی است که برای انتهای ناحیه تردید سه مورد مطالعه به دست آمد. اما ابتدای ناحیه تردید که در فاصله ۴/۵ ثانیه از خط توقف قرار دارد، از افزودن ۳ ثانیه فاصله به انتهای ناحیه تردید به دست آمد. ۳ ثانیه برابر اختلاف فاصله ابتدا و انتهای ناحیه تردید در تقاطعات چراغ‌دار است (اختلاف ۵/۵ و ۲/۵ ثانیه).

حال باید تعیین شود، فاصله زمانی ۱/۵ تا ۴/۵ ثانیه از خط توقف، متناظر با چه فاصله مکانی است. فاصله مکانی متناظر با ۱/۵ تا ۴/۵ ثانیه از خط توقف، به ترتیب در میدان تقی‌آباد و ابوطالب برابر است با ۲۰ و ۵۸ متر. در میدان شهدای غواص نیز به همین ترتیب برابر است با ۲۲ و ۶۸ متر (شکل ۴-۱ و جدول ۴-۱۶).

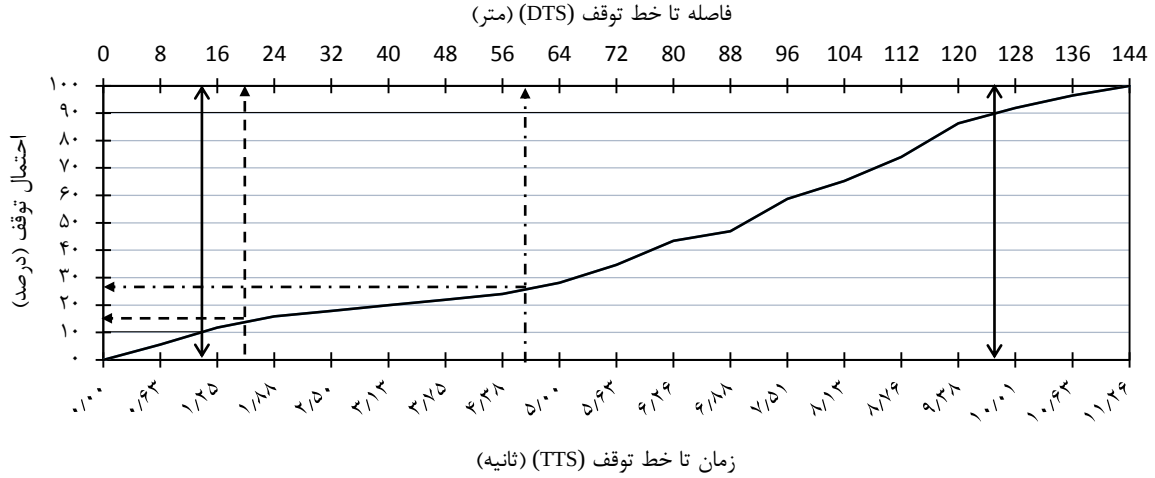
هم‌چنین باید تعیین شود، در فاصله زمانی ۱/۵ تا ۴/۵ ثانیه از خط توقف، چند درصد از خودروها توقف می‌کنند. درصد خودروهایی که در فاصله ۱/۵ تا ۴/۵ ثانیه از خط توقف می‌کنند، در میدان تقی‌آباد برابر است با ۲۲ و ۶۰ درصد و در میدان ابوطالب برابر است با ۱۴ و ۲۶ درصد. در میدان شهدای غواص نیز به همان ترتیب برابر است با ۴ و ۳۶ درصد (شکل ۴-۱ و جدول۴-۱۶).

جدول ۴-۱۶: تعیین محدوده ناحیه تردید نوع ۲ بر اساس احتمال توقف و هم‌چنین بر اساس TTS پیشنهادی ۲/۵ تا ۵/۵ ثانیه

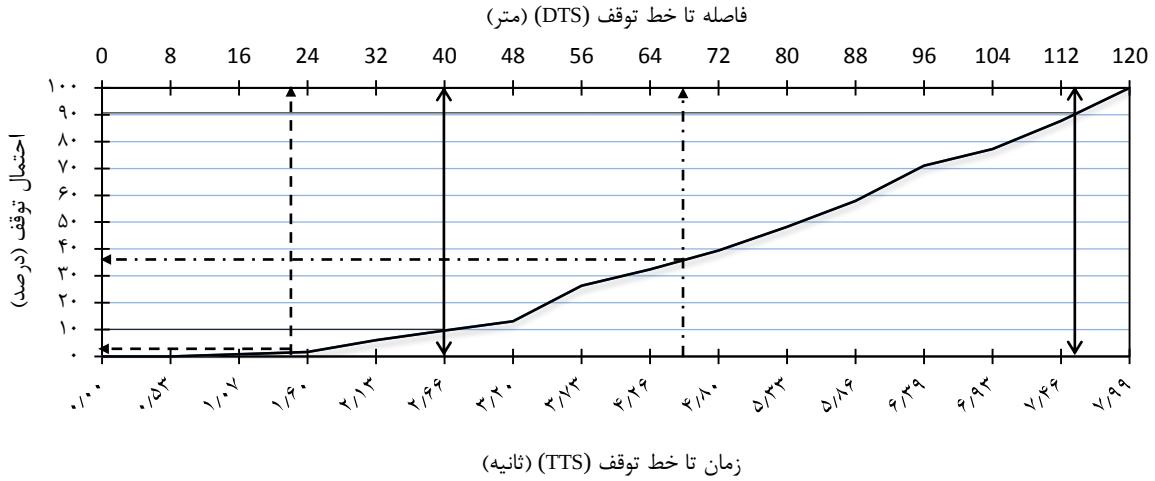
تعریف ناحیه تردید برای میدان چراغ‌دار	میدان	تقی‌آباد		ابوطالب		شهدای غواص	
	ناحیه تردید نوع ۲	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها
برگرفته از تعریف موجود برای تقاطع چراغ-دار	درصد توقف خودروها	۹۰	۱۰	۹۰	۱۰	۹۰	۱۰
	فاصله تا خط توقف (متر)	۱۰۵	۱۴	۱۲۵	۱۵	۱۱۳	۴۰
	زمان تا خط توقف (ثانیه)	۸/۲۷	۱/۱۰	۹/۷۵	۱/۱۰	۷/۵۰	۲/۶۵
پیشنهادی متناسب با میدان چراغدار	ناحیه تردید نوع ۲	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها	ابتدا	انتها
	درصد توقف خودروها	۶۰	۲۲	۲۶	۱۴	۳۶	۴
	فاصله تا خط توقف (متر)	۵۸	۲۰	۵۸	۲۰	۶۸	۲۲
	زمان تا خط توقف (ثانیه)	۴/۵۰	۱/۵۰	۴/۵۰	۱/۵۰	۴/۵۰	۱/۵۰



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴-۱: مقدار زمان و فاصله از خط توقف الف) میدان تقی‌آباد، ب) میدان ابوطالب، ج) میدان شهدای غواص.

در شکل ۴-۱، ابتدا تابع احتمال توقف برای هر ۳ میدان رسم می‌گردد، سپس ابتدا و انتهای ناحیه تردید (احتمال توقف ۹۰ و ۱۰ درصد) با توجه به DTS و TTS مشخص می‌گردد، در نهایت هم درصد و DTS متناظر با ۱/۵ و ۴/۵ ثانیه (متاسب با میدان چراغ‌دار) حاصل می‌شود.

۴-۴-۳- مقایسه دو روش تعیین ناحیه تردید نوع ۲

برای تعیین محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲، زمان تا خط توقف (TTS) شاخص بهتری در مقایسه با فاصله تا خط توقف (DTS) برای تعیین موقعیت و طول ناحیه تردید است؛ چون بر اساس فاصله تا خط توقف، ناحیه تردید بسیار طولانی می‌شود. طول ناحیه تردید، برابر ۱/۵ تا ۴/۵ ثانیه از خط توقف پیشنهاد می‌شود. نتایج مقایسه محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲ در میدان‌ها و تقاطعات چراغ‌دار نشان می‌دهد که این محدوده برای میدان‌های چراغ‌دار طول بیشتری دارد.

۴-۵- تعیین زمان تمام‌قرمز

برای محاسبه زمان تمام‌قرمز از دو روش سینماتیک حرکت و زمان تکنیک برخورد استفاده می‌شود.

۴-۵-۱- تعیین زمان تمام‌قرمز با روش سینماتیک حرکت

در روش سینماتیک حرکت، زمان مورد نیاز برای رسیدن به میانه میدان (نقطه برخورد) برای آخرین خودرویی که (در هر فاز) از خط توقف عبور می‌کند، به‌دست می‌آید (رابطه ۴-۱). سپس ۱ ثانیه از این زمان کسر و به‌عنوان زمان تمام‌قرمز در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۴-۲). ۱ ثانیه، زمان از دست‌رفته شروع حرکت[1] خودروهای جریان متقاطع[2] است. به عبارتی دیگر، چون خودروهای جریان متقاطع، ۱ ثانیه زمان را برای شروع حرکت از دست می‌دهند، ۱ ثانیه زودتر از رسیدن خودرو مستقیم رو به نقطه برخورد، زمان تمام‌قرمز اتمام می‌یابد تا در این ۱ ثانیه، خودروهای جریان متقاطع حرکت خود را آغاز کرده باشند. این ۱ ثانیه برای کاهش تأخیر در میدان با رعایت ایمنی خودروها و جلوگیری از برخورد آنها است. به عبارتی دیگر، در این روش تضمین می‌شود آخرین خودرویی که از خط توقف در هر فاز عبور می‌کند، با جریان متقاطع، برخورد نکند. زمان تمام‌قرمز، در این روش، به شرح ذیل است:

[1] start-up lost time
[2] conflicting vehicles

$$\Delta x_{m,h} = \frac{1}{2} a_{m.h} * t_{m,h}^2 + V_{st} * t_{m,h} \quad (۱-۴)$$

$$R = t_{m,h} - 1 \quad (۲-۴)$$

که در آن:

R: زمان تمام‌قرمز (ثانیه)

$\Delta X_{m,h}$: فاصله پیموده شده از خط توقف تا نقطه برخورد با خودروهای رویکرد مقابل است. که برابر یک‌چهارم محیط میدان و نصف عرض حرکتی میدان است (نصف مسیر قرمز رنگ در شکل ۳-۶). برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب و شهدای غواص، به ترتیب برابر مقادیر ۵۳، ۴۷ و ۴۴ متر است. (متر)

$a_{m,h}$: شتاب درون میدان (متر بر مجذور ثانیه)

$t_{m,h}$: زمان رسیدن خودروهای عبوری به نیمه میدان (ثانیه)

V_{st}: سرعت خودروها، هنگام عبور از خط توقف (متر بر ثانیه)

زمان تمام‌قرمز با توجه به همه خودروهای عبوری در زمان زرد (خودروهای مستقیم‌رو و چپ‌گرد) به‌دست می‌آید. (جدول ۴-۱۷). زمان تمام‌قرمز با استفاده از روش سینماتیک حرکت را برای سه میدان مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقادیر میانگین R، از ۰/۵۳ تا ۲/۶۵ ثانیه متغیر است.

۴-۵-۲- تعیین زمان تمام‌قرمز با روش تکنیک برخورد

در تکنیک برخورد، زمان تمام‌قرمز، طوری تعیین می‌شود که خودروهای عبوری، زمان کافی برای عبور از نیمه میدان داشته باشند و امکان برخورد آنها با جریان متقاطع، حذف شود. فرمول زمان تمام‌قرمز، به شرح ذیل است:

$$R = t_{m,h} - t_c \quad (۳-۴)$$

که در آن

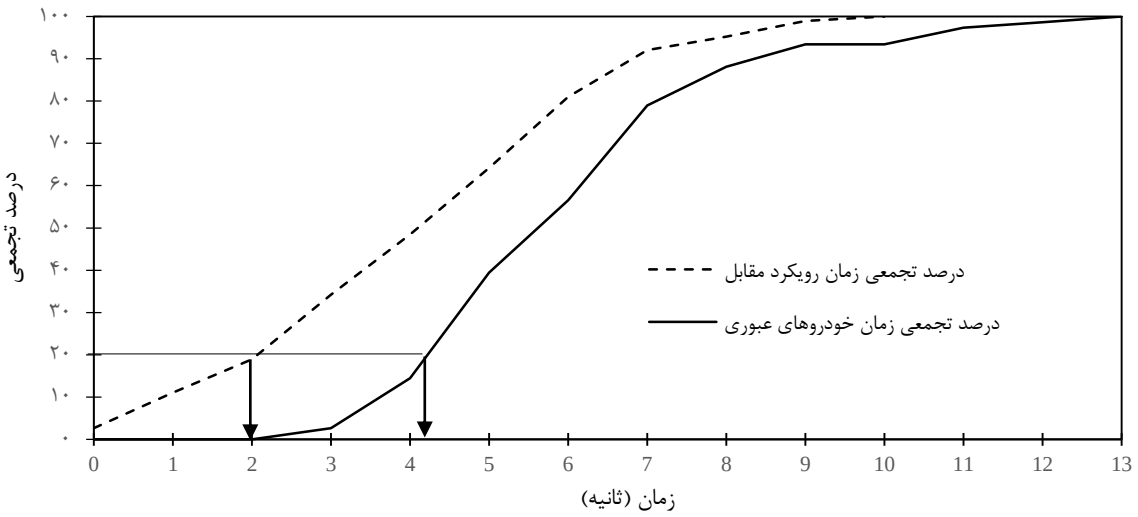
R: زمان تمام‌قرمز (ثانیه)

$t_{m,h}$: زمان رسیدن خودروهای عبوری به نیمه میدان (ثانیه)

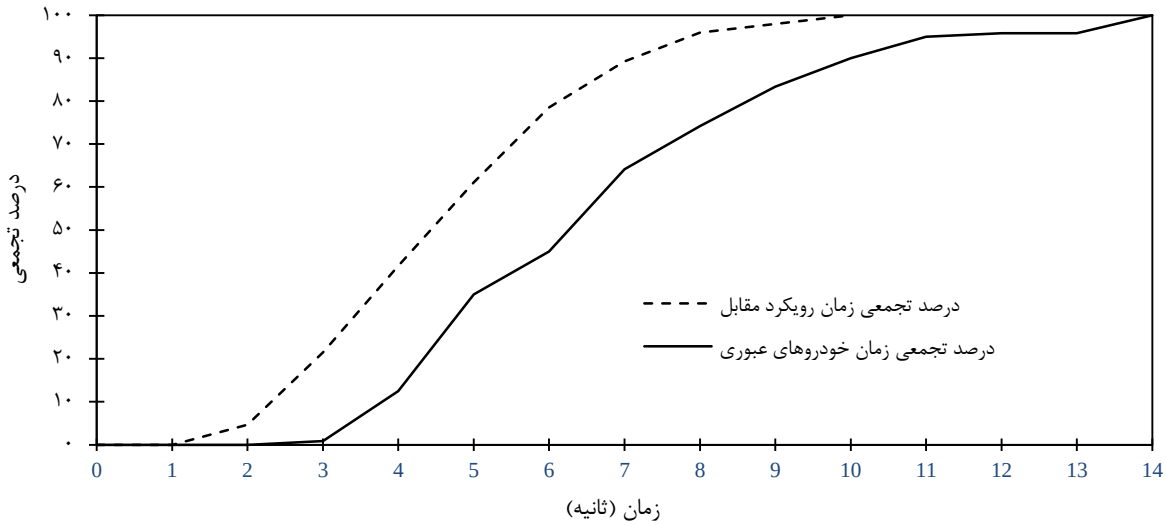
t_c: زمان رسیدن خودروهای جریان متقاطع به نقطه برخورد پس از سبز شدن چراغ (ثانیه)

از آن‌جایی‌که مقادیر $t_{m,h}$ و t_c، برای هر خودرو، متفاوت است، تابع توزیع تجمعی $t_{m,h}$ و t_c ترسیم و R برای دهک‌های مختلف برای هر میدان به‌دست‌آمد (شکل ۴-۲).

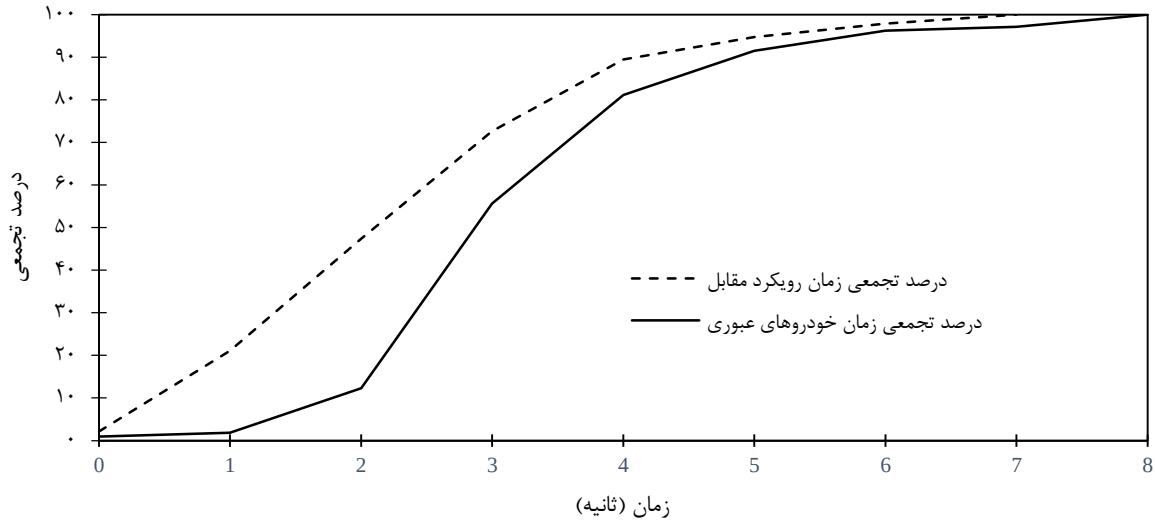
برای میدان تقی‌آباد (شکل ۴-۲ الف) در صدک ۲۰ام زمان $t_{m,h}$ و t_c به‌ترتیب برابر ۴/۱ و ۲ ثانیه است. اختلاف این دو مقدار، زمان تمام‌قرمز (R) برابر ۲ ثانیه را در صدک ۲۰ام به ما می‌دهد. در سایر صدک‌ها هم به همین‌صورت به‌دست می‌آید. با استفاده از روش برخورد، میانگین زمان تمام‌قرمز برای میدان‌های چراغ‌دار، از ۰/۸۲ تا ۱/۷۶ ثانیه متغیر است (جدول ۴-۱۶).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل۴-۲: تابع توزیع تجمعی زمان و فاصله از خط توقف الف) میدان تقی‌آباد، ب) میدان ابوطالب، ج) میدان شهدای غواص.

۴-۵-۳- مقایسه دو روش تعیین زمان تمام‌قرمز

مقایسه روش سینماتیک حرکت و برخورد نشان می‌دهد که میانگین R دو روش به‌هم نزدیک است (جدول ۴-۱۷). تفاوت آنها، در مقادیر بیشینه و انحراف معیار است. در روش سینماتیک حرکت، R برای همه خودرو هر فاز جداگانه حساب می‌شود. اما در روش برخورد، R برای دهک‌ها محاسبه شد. از این‌رو، در روش سینماتیک حرکت، پراکنش بیشتری مشاهده می‌شود و مقادیر انحراف معیار و بیشینه R در مقایسه با روش برخورد، بزرگ‌تر هستند. از این‌رو، روش برخورد که هم‌فزون‌تر است، انتخاب می‌شود. با توجه به مقادیر میانگین و انحراف معیار R در روش برخورد، برای تقی‌آباد و شهدای غواص برابر ۲ ثانیه و برای ابوطالب، برابر ۳ ثانیه پیشنهاد می‌شود.

جدول ۴-۱۷: زمان تمام‌قرمز (R) میدان‌های چراغ‌دار

روش	سینماتیک حرکت			برخورد		
میدان / آماره	تقی‌آباد	شهدای غواص	ابوطالب	تقی‌آباد	شهدای غواص	ابوطالب
میانگین	۱/۷۰	۰/۵۳	۲/۶۵	۰/۸۲	۰/۸۵	۱/۸۶
کمینه	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بیشینه	۶/۳۰	۴/۸۸	۱۱/۹۴	۲/۶۰	۱/۵۰	۴/۰۰
انحراف از معیار	۱/۴۹	۰/۸۳	۲/۱۵	۰/۷۶	۰/۴۱	۱/۰۰

۴-۵-۴- مقایسه زمان تمام‌قرمز در میدان‌ها و تقاطعات چراغ‌دار

مقدار زمان تمام‌قرمز در تقاطعات چراغ‌دار معمولاً بین ۱ تا ۲ ثانیه است. ITE (ولشون و همکاران ۲۰۱۶) و AASHTO (۲۰۱۱) این مقادیر برای میدان‌های مورد مطالعه نیز برابر ۲ تا ۳ ثانیه است، که تفاوت چندانی با تقاطعات چراغ‌دار ندارد. در ابتدا انتظار می‌رفت که به دلیل مسیر دایره‌ای و طولانی‌تر، خودروهای عبوری برای تخلیه میدان به زمان تمام‌قرمز بیشتری نیاز داشته باشند. اما برخلاف انتظار، نیاز به زمان تمام‌قرمز طولانی‌تری در میدان نمی‌باشد. چون خودروهای جریان متقاطع نیز برای رسیدن به نقطه برخورد با خودروهای عبوری، مدت زمان بیشتری صرف می‌کنند.

استفاده از رابطه (۳-۱) برای محاسبه زمان تمام‌قرمز، این واقعیت را نشان می‌دهد. اگر در این رابطه، L برابر ۵ متر و W برابر مسافت طی شده در میدان باشد (مسیر قرمز رنگ در شکل ۳-۶)، زمان تمام‌قرمز برای میدان‌های تقی‌آباد، ابوطالب، و شهدا به ترتیب با W برابر ۱۰۷، ۹۴ و ۸۸ متر و سرعت ۴۶، ۴۶ و ۵۴ (کیلومتر بر ساعت)، برابر ۹، ۸ و ۶ ثانیه می‌شود و اعداد نسبتاً بزرگی است. استفاده از روابط (۴-۱) و (۵-۱)، نیز به همین ترتیب، منجر به اعداد بزرگی برای R می‌شود. لذا استفاده از روابط (۳-۱) تا (۵-۱) جدول ۱ برای محاسبه R منطقی نیست و پیشنهاد می‌شود که از روش برخورد پیشنهاد تحقیق جاری برای آن استفاده شود که یک روش مشاهداتی است.

۴-۶- تحلیل احتمال توقف

هنگامی که رانندگان با چراغ زرد مواجه می‌شوند با دو انتخاب روبرو هستند: یا عبور کنند یا توقف کنند. با توجه به این وضعیت مدل رگرسیون باینری می‌تواند بیان‌کننده رفتار راننده در چنین حالتی باشد. این مدل به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$P_i(\text{Stop}) = \frac{1}{1 + e^{-Z_i}} \quad (۴-۴)$$

$$Z_i = a + \sum_k b_k X_{ik} \quad (۴-۵)$$

P_i= احتمال توقف i مین راننده

Z_i= تابع خطی فاکتورهای مؤثر

a = مقدار ثابت تابع خطی

X_{ik}= k مین فاکتور مؤثر بر رفتار راننده

b_k= ضریب فاکتور k

تحلیل احتمال توقف رانندگان بر اساس اطلاعات میدانی جمع‌آوری شده انجام می‌گیرد. در ابتدا، اطلاعات خودروهای سواری/ شاسی‌بلند و خودروهای باری/اتوبوس به‌صورت جداگانه وارد نرم‌افزار می-گردد.

تحلیل در دو مرحله انجام می‌گیرد: در مرحله اول زمان زرد، TTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/ افزاینده و در مرحله دوم پارامترهای نوع خودرو، زمان زرد، DTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/افزاینده به‌عنوان پارامتر مستقل وارد نرم‌افزار می‌شود.

در پایان هر مرحله، اطلاعات مربوط به طبقه‌بندی نوع خودروها به‌صورت خودروهای سواری، خودروهای شاسی‌بلند، خودروهای باری سبک و خودروهای باری سنگین/اتوبوس‌ها به‌صورت داده‌های طبقه‌بندی وارد نرم‌افزار می‌گردند.

۴-۶-۱- تحلیل احتمال توقف (مرحله اول، خودروهای سواری و شاسی‌بلند)

در این مرحله، زمان زرد، TTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/افزاینده به‌عنوان پارامتر مستقل وارد نرم‌افزار می‌گردد.

جدول ۴-۱۸: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله اول)

مرحله	آزمون -2 Log likelihood	آزمون Cox & Snell	آزمون Nagelkerke
۱	۴۶۸/۹۸۰	۰/۵۳۹	۰/۷۲۱
۲	۲۲۸/۲۶۴	۰/۶۶۲	۰/۸۸۵
۳	۲۲۰/۷۶۸	۰/۶۶۵	۰/۸۸۹

این ۳ متغیر مستقل توانسته‌اند بین ۶۶/۵ درصد تا ۸۸/۹ درصد از تغییرات احتمال توقف را تبیین کنند.

جدول ۴-۱۹: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله اول)

مراحل	مشاهداتی		پیش بینی		
			توقف ۱، عبور ۰		احتمال درستی
			۰	۱	
مرحله ۱	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۲۱	۳۳	۹۰/۷
		۱	۵۰	۳۷۳	۸۸/۲
	درصد کل		-	-	۸۹/۳
مرحله ۲	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۳۹	۱۵	۹۵/۸
		۱	۱۶	۴۰۷	۹۶/۲
	درصد کل		-	-	۹۶/۰
مرحله ۳	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۳۹	۱۵	۹۵/۸
		۱	۱۹	۴۰۴	۹۵/۵
	درصد کل		-	-	۹۵/۶

در سطح اول، با ورود یک متغیر، میزان دقت ۸۹/۳ درصد و در پایان با ورود ۳ متغیر، میزان دقت ۹۵/۶ درصد شده است.

مقدار حساسیت برای خودروهای توقفی برابر ۹۶/۴۲ درصد و مقدار ویژگی برای خودروهای عبوری برابر ۹۴/۲۰ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲۰: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله اول)

مراحل	پارامترهای ورودی	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
مرحله ۱	TTS	۰/۸۳۹	۰/۰۵۹	۲۰۵/۰۷۹	۱	۰	۲/۳۱۳
	مقدار ثابت	-۳/۰۳۷	۰/۲۲۴	۱۸۳/۸۸۳	۱	۰	۰/۰۴۸
مرحله ۲	شتاب	-۲/۷۲۷	۰/۲۷۲	۱۰۰/۳۹۸	۱	۰	۰/۰۶۵
	TTS	۱/۲۳۲	۰/۱۰۶	۱۳۵/۷۴۶	۱	۰	۳/۴۲۹
	مقدار ثابت	-۷/۲۹۵	۰/۶۳۲	۱۳۳/۲۴۷	۱	۰	۰/۰۰۱
مرحله ۳	سرعت اولیه	۰/۰۳۴	۰/۰۱۲	۷/۵۳۷	۱	۰/۰۰۶	۱/۰۳۴
	شتاب	-۲/۳۷۷	۰/۲۸۶	۶۸/۸۷۸	۱	۰	۰/۰۹۳
	TTS	۱/۲۱۱	۰/۱۰۹	۱۲۳/۵۶۷	۱	۰	۳/۳۵۸
	مقدار ثابت	-۷/۹۲۱	۰/۷۰۵	۱۲۶/۲۸۳	۱	۰	۰

با توجه به جدول بالا، پارامتر سرعت اولیه، شتاب کاهنده/ افزاینده و TTS به‌عنوان پارامتر مؤثر شناخته شده‌اند. پارامترهای سرعت اولیه و TTS بر احتمال توقف تأثیر مستقیم دارند (نسبت بخت‌ها بزرگ‌تر از یک) و شتاب کاهنده/ افزاینده تأثیر معکوس بر احتمال توقف دارد (نسبت بخت‌ها کمتر از یک). در این قسمت پارامتر زمان زرد به‌عنوان عامل مؤثر وارد نشده است و تأثیرگذار بر احتمال توقف نمی‌باشد. احتمال توقف به‌صورت تابع زیر می‌باشد.

$$Z_i = -7.921 + 1.211\ TTS - 2.377\ A + 0.034\ V \quad (۶-۴)$$

$$P_i(Stop) = \frac{1}{1 + e^{-(-7.921 + 1.211\ TTS - 2.377\ A + 0.034\ V)}} \quad (۷-۴)$$

TTS: زمان تا خط توقف (ثانیه)

A: شتاب کاهنده/افزاینده (متر بر مجذور ثانیه)

V: سرعت اولیه (کیلومتر بر ساعت)

۴-۶-۲- تحلیل احتمال توقف (مرحله اول، خودروهای باری و اتوبوس)

جدول ۴-۲۱: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف خودروهای باری و اتوبوس (مرحله اول)

مرحله	آزمون -2 Log likelihood	آزمون Cox & Snell	آزمون Nagelkerke
۱	۳۹/۸۹۵	۰/۵۳۴	۰/۷۱۹
۲	۱۸/۸۳۸	۰/۶۶۰	۰/۸۸۸

این ۲ متغیر مستقل توانسته‌اند بین ۶۶ درصد تا ۸۸/۸ درصد از تغییرات احتمال توقف را تبیین کنند.

جدول ۴-۲۲: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی خودروهای باری و اتوبوس (مرحله اول)

مراحل	مشاهداتی		پیش بینی		
			توقف ۱، عبور ۰		احتمال درستی
			۰	۱	
مرحله ۱	توقف ۱، عبور ۰	۰	۲۵	۳	۸۹/۳
		۱	۵	۳۴	۸۷/۲
	درصد کل		-	-	۸۸/۱
مرحله ۲	توقف ۱، عبور ۰	۰	۲۵	۳	۸۹/۳
		۱	۳	۳۶	۹۲/۳
	درصد کل		-	-	۹۱

در سطح اول، با ورود یک متغیر، میزان دقت ۸۸/۱ درصد و در پایان با ورود ۲ متغیر، میزان دقت ۹۱ درصد شده است.

مقدار حساسیت برای خودروهای توقفی برابر ۹۲/۳۰ درصد و مقدار ویژگی برای خودروهای عبوری برابر ۸۹/۲۸ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲۳: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف خودروهای باری و اتوبوس (مرحله اول)

مراحل	پارامترهای ورودی	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
مرحله ۱	TTS	۰/۷۸۱	۰/۱۹۰	۱۶/۸۶۱	۱	۰	۲/۱۸۴
	مقدار ثابت	-۲/۶۱۵	۰/۶۶۸	۱۵/۳۲۵	۱	۰	۰/۰۷۳
مرحله ۲	سرعت	۰/۱۴۸	۰/۰۴۹	۸/۹۴۷	۱	۰/۰۰۳	۱/۱۵۹
	TTS	۱/۰۰۹	۰/۳۱۷	۱۰/۱۵۹	۱	۰/۰۰۱	۲/۷۴۳
	مقدار ثابت	-۷/۴۸۶	۲/۳۱۴	۱۰/۴۶۹	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

با توجه به جدول بالا، پارامتر سرعت اولیه و TTS به‌عنوان پارامتر مؤثر شناخته شده‌اند. پارامترهای سرعت اولیه و زمان تا خط توقف بر احتمال توقف تأثیر مستقیم دارند (نسبت بخت‌ها بزرگ‌تر از یک).

در این قسمت پارامتر زمان زرد و شتاب کاهنده/ افزاینده به‌عنوان عامل مؤثر وارد نشده است و تأثیرگذار بر احتمال توقف نمی‌باشد. احتمال توقف به‌صورت تابع زیر می‌باشد.

$$Z_i = -7.486 + 1.009\ TTS + 0.148\ V \quad (۸-۴)$$

$$P_i(Stop) = \frac{1}{1 + e^{-(-7.486 + 1.009\ TTS + 0.148\ V)}} \quad (۹-۴)$$

TTS: زمان تا خط توقف (ثانیه)

V: سرعت اولیه (کیلومتر بر ساعت)

۴-۶-۳- تحلیل احتمال توقف (مرحله اول، همه خودروها)

در این مرحله، زمان زرد، TTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/ افزاینده به‌عنوان پارامتر مستقل و پارامتر نوع خودرو به‌صورت داده‌های طبقه‌بندی شده وارد نرم‌افزار می‌گردد.

جدول ۴-۲۴: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف همه خودروها (مرحله اول)

مرحله	آزمون -2 Log likelihood	آزمون Cox & Snell	آزمون Nagelkerke
۱	۵۰۹/۳۱۰	۰/۵۳۹	۰/۷۲۱
۲	۲۴۸/۴۱۵	۰/۶۶۱	۰/۸۸۵
۳	۲۳۸/۷۶۰	۰/۶۶۵	۰/۸۹۰
۴	۲۳۴/۰۸۷	۰/۶۶۷	۰/۸۹۲

این ۴ متغیر مستقل توانسته‌اند بین ۶۶/۷ درصد تا ۸۹/۲ درصد از تغییرات احتمال توقف را تبیین کنند.

جدول ۴-۲۵: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی همه خودروها (مرحله اول)

مراحل	مشاهداتی		پیش بینی		
			توقف ۱، عبور ۰		احتمال درستی
			۰	۱	
مرحله ۱	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۴۶	۳۶	۹۰/۶
		۱	۵۵	۴۰۷	۸۸/۱
	درصد کل		-	-	۸۹/۲
مرحله ۲	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۶۴	۱۸	۹۵/۳
		۱	۲۰	۴۴۲	۹۵/۷
	درصد کل		-	-	۹۵/۵
مرحله ۳	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۶۶	۱۶	۹۵/۸
		۱	۲۱	۴۴۱	۹۵/۵
	درصد کل		-	-	۹۵/۶
مرحله ۴	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۶۶	۱۶	۹۵/۸
		۱	۲۱	۴۴۱	۹۵/۵
	درصد کل				۹۵/۶

با توجه به جدول ۴-۲۵، در سطح اول، با ورود یک متغیر، میزان دقت ۸۹/۲ درصد و در پایان با ورود ۳ متغیر، میزان دقت جواب ۹۵/۶ درصد شده است.

مقدار حساسیت برای خودروهای توقفی برابر ۹۶/۴۹ درصد و مقدار ویژگی برای خودروهای عبوری برابر ۹۴/۵۷ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲۶: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف همه خودروها (مرحله اول)

مراحل	پارامترهای ورودی	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
مرحله ۱	TTS	۰/۸۳۳	۰/۰۵۶	۲۲۲/۴۷۱	۱	۰	۲/۲۹۹
	مقدار ثابت	-۲/۹۹۹	۰/۲۱۲	۱۹۹/۵۷۲	۱	۰	۰/۰۵۰
مرحله ۲	شتاب	-۲/۷۲۵	۰/۲۶۱	۱۰۸/۷۶۴	۱	۰	۰/۰۶۶
	TTS	۱/۲۳۵	۰/۱۰۱	۱۴۸/۱۴۷	۱	۰	۳/۴۳۹
	مقدار ثابت	-۷/۲۶۶	۰/۶۰۵	۱۴۴/۲۴۲	۱	۰	۰/۰۰۱
مرحله ۳	سرعت اولیه	۰/۰۳۷	۰/۰۱۲	۹/۶۵۳	۱	۰/۰۰۲	۱/۰۳۷
	شتاب	-۲/۳۴۱	۰/۲۷۴	۷۳/۰۱۳	۱	۰	۰/۰۹۶
	TTS	۱/۲۱۴	۰/۱۰۵	۱۳۳/۲۶۶	۱	۰	۳/۳۶۸
	مقدار ثابت	-۷/۹۳۹	۰/۶۷۹	۱۳۶/۷۸۵	۱	۰	۰
مرحله ۴	باری/ اتوبوس	۳/۲۲۶	۱/۴۲۶	۵/۱۱۸	۱	۰/۰۲۴	۲۵/۱۷۸
	سرعت اولیه	۰/۰۳۸	۰/۰۱۲	۹/۷۹۶	۱	۰/۰۰۲	۱/۰۳۹
	شتاب	-۲/۳۷۳	۰/۲۷۹	۷۲/۴۹۴	۱	۰	۰/۰۹۳
	TTS	۱/۲۳۵	۰/۱۰۸	۱۹۱/۴۳۰	۱	۰	۳/۴۳۹
	مقدار ثابت	-۸/۱۱۷	۰/۶۹۹	۱۳۴/۹۵۱	۱	۰	۰

با توجه به جدول بالا، پارامتر سرعت اولیه و TTS و شتاب کاهنده/ افزاینده و خودروها باری/ اتوبوس به‌عنوان پارامتر مؤثر شناخته شده‌اند. پارامترهای سرعت اولیه و TTS و خودروهای باری/ اتوبوس بر احتمال توقف تأثیر مستقیم دارند (نسبت بخت‌ها بزرگ‌تر از یک) و شتاب کاهنده/ افزاینده تأثیر معکوس بر احتمال توقف دارد (نسبت بخت‌ها متر از یک) در این قسمت پارامتر زمان زرد به‌عنوان عامل مؤثر وارد نشده است و تأثیرگذار بر احتمال توقف نمی‌باشد. احتمال توقف به‌صورت تابع زیر می‌باشد.

$$Z_i = -8.117 + 1.235\ TTS - 2.37\ A + 0.038\ V + 3.226\ Bar\&bus \quad (۱۰-۴)$$

$$P_i(Stop) = \frac{1}{1 + e^{-(-8.117 + 1.235\ TTS - 2.37\ A + 0.038\ V + 3.226 Bar\&bus)}} \quad (۱۱-۴)$$

TTS: زمان تا خط توقف (ثانیه)

A: شتاب کاهنده/افزاینده (متر بر مجذور ثانیه)

V: سرعت اولیه (کیلومتر بر ساعت)

Bar&bus: خودروهای باری و اتوبوس

۴-۶-۴- تحلیل احتمال توقف (مرحله دوم، خودروهای سواری و شاسی‌بلند)

در این مرحله زمان زرد، DTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/افزاینده به‌عنوان پارامتر مستقل و پارامتر نوع خودرو به‌صورت داده‌های طبقه‌بندی شده وارد نرم‌افزار می‌گردد.

جدول ۴-۲۷: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله دوم)

مرحله	آزمون -2 Log likelihood	آزمون Cox & Snell	آزمون Nagelkerke
۱	۲۷۹/۳۳۲	۰/۶۳۹	۰/۸۵۴
۲	۲۲۴/۰۹۷	۰/۶۶۴	۰/۸۸۷
۳	۱۴۶/۲۵۱	۰/۵۹۶	۰/۹۳۰

این ۳ متغیر مستقل توانسته‌اند بین ۵۹/۶ درصد تا ۹۳ درصد از تغییرات احتمال توقف را تبیین کنند.

جدول ۴-۲۸: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله دوم)

مراحل	مشاهداتی		پیش بینی		
			توقف ۱، عبور ۰		احتمال درستی
			۰	۱	
مرحله ۱	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۲۷	۲۷	۹۲/۴
		۱	۴۰	۳۸۳	۹۰/۵
	درصد کل		-	-	۹۱/۴
مرحله ۲	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۳۷	۱۷	۹۵/۲
		۱	۳۵	۳۸۸	۹۱/۷
	درصد کل		-	-	۹۳/۳
مرحله ۳	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۴۵	۹	۹۷/۵
		۱	۱۸	۴۰۵	۹۵/۷
	درصد کل		-	-	۹۶/۵

در سطح اول، با ورود یک متغیر، احتمال درستی جواب ۹۱/۴ درصد و در پایان با ورود ۳ متغیر، میزان درستی جواب ۹۵/۰۴ درصد شده است.

مقدار حساسیت برای خودروهای توقفی برابر ۹۷/۸۲ درصد و مقدار ویژگی برای خودروهای عبوری برابر ۹۴/۲۰ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲۹: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف خودروهای سواری و شاسی‌بلند (مرحله دوم)

مراحل	پارامترهای ورودی	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
مرحله ۱	DTS	۰/۱۴۰	۰/۰۱۲	۱۴۰/۲۵۹	۱	۰	۱/۱۵۰
	مقدار ثابت	-۳/۹۵۳	۰/۳۱۷	۱۵۵/۸۱۴	۱	۰	۰/۰۱۹
مرحله ۲	DTS	۰/۱۴۳	۰/۰۱۴	۱۰۸/۱۴۲	۱	۰	۱/۱۵۳
	شتاب	-۱/۲۷۷	۰/۲۰۳	۳۹/۴۰۵	۱	۰	۰/۲۷۹
	مقدار ثابت	-۵/۱۹۹	۰/۴۵۶	۱۳۰/۱۰۲	۱	۰	۰/۰۰۶
مرحله ۳	DTS	۰/۲۹۵	۰/۰۳۷	۶۵/۳۹۷	۱	۰	۱/۳۴۴
	سرعت اولیه	-۰/۱۶۷	۰/۰۲۶	۴۲/۱۶۷	۱	۰	۰/۸۴۷
	شتاب	-۲/۹۹۰	۰/۴۱۶	۵۱/۶۱۳	۱	۰	۰/۰۵۰
	مقدار ثابت	-۵/۰۰۲	۰/۶۲۵	۶۴/۱۲۱	۱	۰	۰/۰۰۷

با توجه به جدول بالا، پارامتر سرعت اولیه، شتاب کاهنده/ افزاینده و DTS به‌عنوان پارامتر مؤثر شناخته شده‌اند. پارامتر DTS بر احتمال توقف تأثیر مستقیم دارند (نسبت بخت‌ها بزرگ‌تر از یک) پارامترهای سرعت اولیه و شتاب کاهنده/افزاینده تأثیر معکوس بر احتمال توقف دارد (نسبت بخت‌ها کمتر از یک). در این قسمت پارامتر زمان زرد به‌عنوان عامل مؤثر وارد نشده است و تأثیرگذار بر احتمال توقف نمی‌باشد. احتمال توقف به‌صورت تابع زیر می‌باشد.

$$Z_i = -5.002 - 2.990\ A - 0.167\ V + 0.295\ DTS \quad (۱۲-۴)$$

$$P_i(Stop) = \frac{1}{1 + e^{-(-5.002 - 2.990\ A - 0.167\ V + 0.295\ DTS)}} \quad (۱۳-۴)$$

DTS: فاصله تا خط توقف در ابتدای زمان زرد (ثانیه)

A: شتاب کاهنده/افزاینده (متر بر مجذور ثانیه)

V: سرعت اولیه (کیلومتر بر ساعت)

۴-۶-۵- تحلیل احتمال توقف (مرحله دوم، خودروهای باری و اتوبوس)

در این مرحله پارامترهای نوع خودرو، زمان زرد، DTS، سرعت در ابتدای زرد و شتاب کاهنده/ افزاینده به‌عنوان پارامتر مستقل و پارامتر نوع خودرو به‌صورت داده‌های طبقه‌بندی شده وارد نرم‌افزار می‌گردد.

جدول ۴-۳۰: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف خودروهای باری و اتوبوس (مرحله دوم)

مرحله	آزمون -2 Log likelihood	آزمون Cox & Snell	آزمون Nagelkerke
۱	۱۲/۷۰۹	۰/۶۸۹	۰/۹۲۸

این ۱ متغیر مستقل توانسته‌اند بین ۶۸/۹ درصد تا ۹۲/۸ درصد از تغییرات احتمال توقف را تبیین کنند.

جدول ۴-۳۱: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی خودروهای باری و اتوبوس (مرحله دوم)

مراحل	مشاهداتی		پیش بینی		
			توقف ۱، عبور ۰		احتمال درستی
			۰	۱	
مرحله ۱	توقف ۱، عبور ۰	۰	۲۷	۱	۹۶/۴
		۱	۱	۳۸	۹۷/۴
	درصد کل		-	-	۹۷

در سطح اول، با ورود یک متغیر، میزان دقت۹۷ درصد شده است.
مقدار حساسیت برای خودروهای توقفی برابر ۹۷/۴۳ درصد و مقدار ویژگی برای خودروهای عبوری برابر ۹۶/۴۲ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۳۲: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف خودروهای باری و اتوبوس (مرحله دوم)

مراحل	پارامترهای ورودی	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
مرحله ۱	DTS	۰/۳۳۴	۰/۱۱۴	۸/۵۱۹	۱	۰/۰۰۴	۱/۳۹۶
	مقدار ثابت	-۵/۴۳۰	۱/۸۵۱	۸/۶۰۶	۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴

با توجه به جدول بالا، DTS به‌عنوان پارامتر مؤثر شناخته شده‌اند. پارامترهای DTS بر احتمال توقف تأثیر مستقیم دارند (نسبت بخت‌ها بزرگ‌تر از یک). در این قسمت پارامتر زمان زرد و شتاب

کاهنده/ افزاینده و سرعت اولیه به‌عنوان عامل مؤثر وارد نشده است و تأثیرگذار بر احتمال توقف نمی‌باشد.

احتمال توقف به‌صورت تابع زیر می‌باشد.

$$Z_i = -5.430 + 0.334\ DTS \quad (۱۴-۴)$$

$$P_i(Stop) = \frac{1}{1 + e^{-(-5.430 + 0.334\ DTS)}} \quad (۱۵-۴)$$

DTS: فاصله تا خط توقف در ابتدای زمان زرد (ثانیه)

۴-۶-۶- تحلیل احتمال توقف (مرحله دوم، همه خودروها)

جدول ۴-۳۳: بررسی سه آزمون آماری مختلف بر تحلیل احتمال توقف همه خودروها (مرحله دوم)

مرحله	آزمون -2 Log likelihood	آزمون Cox & Snell	آزمون Nagelkerke
۱	۳۰۴/۲۱۳	۰/۶۳۸	۰/۸۵۴
۲	۲۵۰/۹۷۹	۰/۶۶۰	۰/۸۸۳
۳	۱۶۴/۱۳۱	۰/۶۹۴	۰/۹۲۸
۴	۱۵۹/۳۳۲	۰/۶۹۵	۰/۹۳۰

این ۴ متغیر مستقل توانسته‌اند بین ۶۹/۵ درصد تا ۹۳ درصد از تغییرات احتمال توقف را تبیین کنند.

جدول ۴-۳۴: احتمال درستی جواب بر اساس متغیرهای ورودی همه خودروها (مرحله دوم)

مراحل	مشاهداتی		پیش بینی		
			توقف ۱، عبور ۰		احتمال درستی
			۰	۱	
مرحله ۱	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۵۱	۳۱	۹۱/۹
		۱	۴۷	۴۱۵	۸۹/۸
	درصد کل		-	-	۹۰/۸
مرحله ۲	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۶۱	۲۱	۹۴/۵
		۱	۴۲	۴۲۰	۹۰/۹
	درصد کل		-	-	۹۲/۵
مرحله ۳	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۷۲	۱۰	۹۷/۴
		۱	۲۰	۴۴۲	۹۵/۷
	درصد کل		-	-	۹۶/۴
مرحله ۴	توقف ۱، عبور ۰	۰	۳۷۲	۱۰	۹۷/۴
		۱	۱۹	۴۴۳	۹۵/۹
	درصد کل				۹۶/۶

با توجه به جدول ۴-۳۴ در سطح اول، با ورود یک متغیر، میزان دقت ۹۰/۸ درصد و در پایان با ورود ۴ متغیر، میزان دقت جواب ۹۵/۱۴ درصد شده است.

مقدار حساسیت برای خودروهای توقفی برابر ۹۷/۷۹ درصد و مقدار ویژگی برای خودروهای عبوری برابر ۹۴/۲۰ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۳۵: متغیرهای مؤثر در تحلیل احتمال توقف همه خودروها (مرحله دوم)

مراحل	پارامترهای ورودی	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
مرحله ۱	DTS	۰/۱۴۳	۰/۰۱۲	۱۴۹/۶۲۷	۱	۰	۱/۱۵۳
	مقدار ثابت	-۳/۸۹۶	۰/۳۰۱	۱۶۸/۰۴۹	۱	۰	۰/۰۲۰
مرحله ۲	DTS	۰/۱۴۳	۰/۰۱۳	۱۱۶/۸۶۷	۱	۰	۱/۱۵۴
	شتاب	-۱/۱۸۷	۰/۱۸۸	۳۹/۸۷۲	۱	۰	۰/۳۰۵
	مقدار ثابت	-۴/۹۹۲	۰/۴۱۸	۱۴۲/۸۹۰	۱	۰	۰/۰۰۷
مرحله ۳	DTS	۰/۳۰۰	۰/۰۳۵	۷۳/۸۲۴	۱	۰/۰۰۲	۱/۳۵۰
	سرعت اولیه	-۰/۱۶۶	۰/۰۲۴	۴۷/۷۰۰	۱	۰	۰/۸۴۷
	شتاب	-۲/۹۲۴	۰/۳۹۱	۵۵/۹۴۵	۱	۰	۰/۰۵۴
	مقدار ثابت	-۴/۹۴۷	۰/۵۹۰	۷۰/۱۹۴	۱	۰	۰/۰۰۷
مرحله ۴	باری/ اتوبوس	۲/۶۶۴	۱/۱۵۰	۵/۳۶۵	۱	۰/۰۲۱	۱۴/۳۵۹
	DTS	۰/۳۱۰	۰/۰۳۶	۷۲/۳۳۱	۱	۰	۱/۳۶۳
	سرعت اولیه	-۰/۱۷۲	۰/۰۲۵	۴۷/۵۳۸	۱	۰	۰/۸۴۲
	شتاب	-۳/۰۱۴	۰/۴۰۵	۵۵/۲۶۷	۱	۰	۰/۰۴۹
	مقدار ثابت	-۵/۱۳۲	۰/۶۱۵	۶۹/۵۳۶	۱	۰	۰/۰۰۶

با توجه به جدول ۴-۳۵، پارامتر سرعت اولیه و DTS و شتاب کاهنده/افزاینده و خودروهای باری/ اتوبوس به‌عنوان پارامتر مؤثر شناخته شده‌اند. DTS و خودروهای باری/اتوبوس بر احتمال توقف تأثیر مستقیم دارند (نسبت بخت‌ها بزرگ‌تر از یک). پارامترهای سرعت اولیه و شتاب کاهنده/افزاینده بر احتمال توقف تأثیر معکوس دارند (نسبت بخت‌ها کوچک‌تر از یک) در این قسمت پارامتر زمان زرد به‌عنوان عامل مؤثر وارد نشده است و تأثیرگذار بر احتمال توقف نمی‌باشد. احتمال توقف به‌صورت تابع زیر می‌باشد.

$$Z_i = -5.132 - 3.014\ A - 0.172\ V + 0.310\ DTS + 2.664\ Bar\&bus \quad (۱۶-۴)$$

$$P_i(Stop) = \frac{1}{1 + e^{-(-5.132 - 3.014\ A - 0.172\ V + 0.310\ DTS + 2.664\ Bar\&bus)}} \quad (۱۷-۴)$$

DTS: فاصله تا خط توقف در ابتدای زمان زرد (ثانیه)

A: شتاب کاهنده/افزاینده (متر بر مجذور ثانیه)

V: سرعت اولیه (کیلومتر بر ساعت)

Bar&bus: خودروهای باری و اتوبوس

۴-۷- نتایج مربوط به تحلیل احتمال توقف

نتایج مربوط به احتمال توقف لوجیت نشان می‌دهد، در بین خودروها، خودروهای باری سنگین/ اتوبوس بیشترین تأثیر را بر احتمال توقف دارند و در سایر پارامترها سرعت، DTS، TTS معمولا اثرگذار بر احتمال توقف و پارامتر زمان زرد تأثیری بر احتمال توقف ندارد.

فصل پنجم

بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱- خلاصه تحقیق

در این تحقیق به بررسی و شناسایی طول ناحیه تردید نوع ۲ در میدان‌های چراغدار بر اساس شاخص‌های مکانی و زمانی (فاصله تا خط توقف (DTS) و زمان تا خط توقف (TTS)) می‌پردازد که وابسته به تغییرات رفتار رانندگان است. هم‌چنین این پژوهش به دنبال تعیین تأثیر عوامل دینامیکی نظیر شتاب خودروها و زمان درک و واکنش رانندگان بر طول ناحیه تردید نوع ۲ است. تعیین زمان تمام‌قرمز با روش سینماتیک حرکت و برخورد ترافیکی و تعیین تابع احتمال توقف لوجیت بر اساس نوع خودرو، زمان زرد، شاخص‌های DTS و TTS، شتاب کاهنده/افزاینده و سرعت از دیگر اهداف است.

در این پژوهش اهداف به پنج قسمت تقسیم می‌شود: ابتدا پارامترهای مربوط به رفتار راننده به‌صورت دینامیکی با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات میدانی جمع‌آوری و با تقاطعات چراغدار مقایسه می‌گردند. سپس محدوده ناحیه تردید نوع ۲ در میدان چراغدار تعیین و با تقاطع چراغدار مقایسه می‌گردد. در مرحله‌ی بعد زمان تمام‌قرمز از دو روش سینماتیک حرکت و زمان تا برخورد (تکنیک برخورد) حاصل می‌شود و در نهایت تابع احتمال توقف با استفاده از رگرسیون لوجیت تعیین می‌شود.

۵-۲- نتایج تحقیق:

نتایج تحقیق شامل موارد زیر است،

در پارامترهای رفتار راننده، هماهنگی خوبی بین نتایج تحقیق جاری و تحقیقات پیشین در تقاطعات چراغدار در ارتباط با پراکنش و تمرکز زمان درک و واکنش (δ_s) رانندگان وجود دارد. اما این هماهنگی برای a_m و a_s برقرار نیست. در نهایت در تحقیق جاری مقدار متوسط ۱ ثانیه برای δ_s پیشنهاد می‌شود. مقدار پیشنهادی برای a_m در تحقیق جاری برابر ۰/۴- (متر بر مجذور ثانیه) است، در حالی که در مطالعات پیشین برابر صفر بود. مقدار پیشنهادی برای a_s نیز در مطالعه جاری برابر ۱/۲۶ (متر بر مجذور) ثانیه است در حالی‌که در مطالعات پیشین بین ۳ تا ۳/۳ متغیر بود (ITE، AASTHO و NCHRP 731). رانندگان میدان‌های چراغدار در مقایسه با تقاطعات چراغدار، رانندگان محافظه‌کارتری هستند.

برای تعیین محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲، زمان تا خط توقف (TTS) شاخص بهتری در مقایسه با فاصله تا خط توقف (DTS) برای تعیین موقعیت و طول ناحیه تردید است؛ چون بر اساس فاصله تا خط توقف، ناحیه تردید بسیار طولانی می‌شود. طول ناحیه تردید، برابر ۱/۵ تا ۴/۵ ثانیه از خط توقف پیشنهاد می‌شود. نتایج مقایسه محدوده‌ی ناحیه تردید نوع ۲ در میدان‌ها و تقاطعات چراغ‌دار نشان می‌دهد که این محدوده برای میدان‌های چراغ‌دار طول بیشتری دارد.

نتایج مربوط به احتمال توقف لوجیت نشان می‌دهد، در بین خودروها، خودروهای باری سنگین/ اتوبوس بیشترین تأثیر را بر احتمال توقف دارند و در سایر پارامترها سرعت، DTS، TTS معمولا اثرگذار بر احتمال توقف و پارامتر زمان زرد تأثیری بر احتمال توقف ندارد.

۵-۳- پیشنهاد جهت مطالعه آینده:

- بررسی ناحیه تردید نوع ۱ در میدان‌های چراغ‌دار و مقایسه آن با تقاطعات چراغ‌دار
- بررسی سن و جنسیت رانندگان در کنار سایر پارامترهای برداشت شده بر ناحیه تردید نوع ۱ و ۲ و احتمال توقف

پیوست

پیوست الف: داده‌های ورودی به اکسل

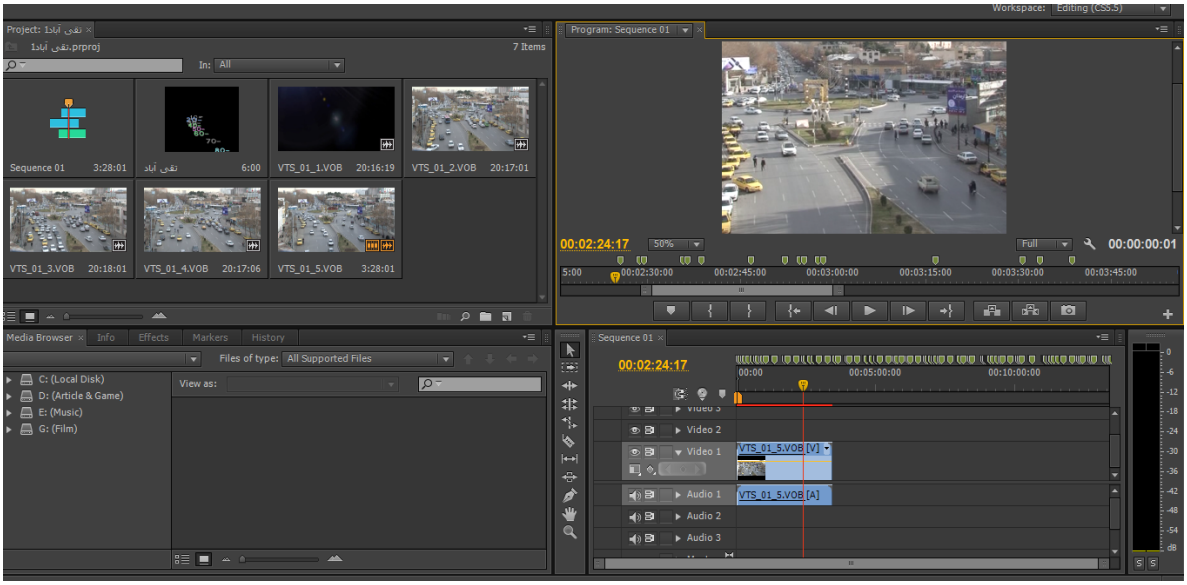
جدول ۰-۱: داده‌های ورودی به اکسل برای خودروهای عبوری در زمان زرد

Part * Cycle	Phase	t_{yellow}	t_{yellow}	t_{yellow} interval (s)	lane	car	$X_{onset\ of\ yellow}$ (m)	$V_{onset\ of\ yellow}$ (km/h)	t_{arrive}	$t_{arrive} - t_{yellow}$	$t_{arrive} - t_{yellow}$ (s)	assume $t_{arrive} - t_{yellow}$ (s)	Vyellow = D/H	$a_{yellow} = \frac{v_{yellow} - v_{onset}}{t_{arrive} - t_{yellow}}$
1*1	1	00:42.28	2.92	3.00	2	pride	1.75	12.78	00:43.72	00:01.44	1.44	0.49	4.38	-1.62
1*1	1	00:42.28	2.92	3.00	2	pride	5.50	15.48	00:44.92	00:02.64	2.64	1.28	7.50	-0.84
1*1	1	00:42.28	2.92	3.00	3	vanet	8.50	17.64	00:44.44	00:02.16	2.16	1.73	14.17	-0.45
1*1	1	00:42.28	2.92	3.00	4	samand	0.15	18.14	00:42.31	00:00.03	0.03	0.03	18.00	-1.30
1*3	3	02:55.24	3.12	3.00	3	pride	18.75	20.70	02:57.80	00:02.56	2.56	3.26	26.37	0.62
1*4	4	04:00.40	3.00	3.00	2	pride*	47.00	46.80	04:04.08	00:03.68	3.68	3.61	45.98	-0.06
1*4	4	04:00.40	3.00	3.00	3	S5	0.90	42.10	04:00.48	00:00.08	0.08	0.08	42.08	-0.08
1*5	5	05:06.40	3.16	3.00	1	samand	2.00	18.72	05:06.80	00:00.40	0.40	0.38	18.00	-0.50
1*5	5	05:06.40	3.16	3.00	3	peykan	5.50	20.52	05:08.08	00:01.68	1.68	0.96	11.79	-1.45
1*7	7	07:19.28	3.28	3.00	1	tondar	3.50	12.60	07:20.56	00:01.28	1.28	1.00	9.84	-0.60
1*7	7	07:19.28	3.28	3.00	1	pegouet	19.50	12.96	07:25.20	00:05.92	5.92	5.41	11.86	-0.05
1*7	7	07:19.28	3.28	3.00	2	samand	8.50	11.88	07:20.88	00:01.60	1.60	2.57	19.13	1.26
1*7	7	07:19.28	3.28	3.00	3	bus	2.50	6.84	07:20.20	00:00.92	0.92	1.31	9.78	0.89
1*7	7	07:19.28	3.28	3.00	4	pride	3.00	11.16	07:21.48	00:02.20	2.20	0.97	4.91	-0.79
1*10	10	10:35.40	3.04	3.00	2	pride	21.00	55.20	10:36.82	00:01.42	1.42	1.37	53.24	-0.38
1*11	11	11:43.40	3.00	3.00	2	pegouet	2.50	12.60	11:44.40	00:01.00	1.00	0.71	9.00	-1.00
1*11	11	11:43.40	3.00	3.00	4	pride*	28.00	18.00	11:47.28	00:03.88	3.88	5.60	25.98	0.57
1*13	13	13:54.48	3.28	3.00	2	pride	12.00	10.80	13:58.44	00:03.96	3.96	4.00	10.91	0.01
1*13	13	13:54.48	3.28	3.00	3	jac	6.00	14.40	13:56.64	00:02.16	2.16	1.50	10.00	-0.57

جدول ۰-۲: داده‌های ورودی به اکسل برای اولین خودروهای توقفی

Part * Cycle	Phase	Conflict interval (s)	lane	car	$X_{onset\ of\ yellow}$ (m)	$V_{onset\ of\ yellow}$ (km/h)	X_{brake} (m)	t_{brake}	$t_{brake} - t_{yellow}$	$t_{brake} - t_{yellow}$ (s)	assume $t_{brake} - t_{yellow}$ (s)	t_{stop}	$t_{stop} - t_{brake}$	$t_{stop} - t_{brake}$ (s)
1*1	1	10.76	1	samand	38.50	21.00	31.26	00:43.52	#REF!	1.24	1.24	00:49.32	00:05.80	5.80
1*1	1	12.00	2	pegouet	16.00	26.40	15.41	00:42.36	#REF!	0.08	0.08	00:47.12	00:04.76	4.76
1*1	1	9.80	3	pride	39.00	16.80	38.25	00:42.44	#REF!	0.16	0.16	00:49.52	00:07.08	7.08
1*1	1	9.16	4	mazda	17.00	28.80	8.03	00:43.40	#REF!	1.12	1.12	00:46.56	00:03.16	3.16
1*2	2	*	1	pars	11.50	35.50	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	02:03.28	#VALUE!	#VALUE!
1*2	2	7.44	2	pars	90.50	36.00	56.87	01:50.80	#REF!	3.36	3.36	01:59.00	00:08.20	8.20
1*2	2	8.12	3	pride	48.00	39.60	42.72	01:47.92	#REF!	0.48	0.48	01:53.52	00:05.60	5.60
1*3	3	6.56	1	pride	21.50	22.95	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	03:01.28	#VALUE!	#VALUE!
1*3	3	7.80	2	roa	8.75	20.02	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	02:58.40	#VALUE!	#VALUE!
1*3	3	7.84	3	jac	20.50	25.20	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	03:01.04	#VALUE!	#VALUE!
1*4	4	9.36	2	pegouet	55.00	19.80	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	04:12.80	#VALUE!	#VALUE!
1*4	4	8.20	3	pride	78.00	18.00	54.18	04:05.16	#REF!	4.76	4.76	04:12.36	00:07.20	7.20
1*4	4	4.92	4	mazda	89.00	23.40	83.54	04:01.24	#REF!	0.84	0.84	04:11.68	00:10.44	10.44
1*5	5	7.89	1	pegouet	5.50	21.15	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	05:11.68	#VALUE!	#VALUE!
1*5	5	6.44	2	pegouet	7.00	30.60	3.26	05:06.84	#REF!	0.44	0.44	05:11.08	00:04.24	4.24
1*5	5	9.40	3	pride 141	9.50	33.75	4.25	05:06.96	#REF!	0.56	0.56	05:13.96	00:07.00	7.00
1*6	6	8.56	1	peykan	8.50	40.20	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	06:17.40	#VALUE!	#VALUE!
1*6	6	11.52	2	pegouet	4.00	21.60	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	06:16.04	#VALUE!	#VALUE!
1*6	6	13.32	3	tondar	71.00	32.40	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1.00	06:25.16	#VALUE!	#VALUE!

پیوست ب: تصاویری از محیط نرم‌افزار Adobe premiere



شکل ۰-۱: تصاویری از محیط نرم‌افزار Adobe premiere

منابع

AASHTO, T. (2011). "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets." American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

Bonneson, J. and H. Son (2003). "Prediction of expected red-light-running frequency at urban intersections." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1830): 38-47.

Bonneson, J., P. McCoy and B. Moen (1994). TRAFFIC DETECTOR DESIGN AND EVALUATION GUIDELINES. FINAL REPORT.

Chang, M.-S., C. J. Messer and A. J. Santiago (1985). "Timing traffic signal change intervals based on driver behavior." Transportation Research Record 1027: 20-3.

Elmitiny, N., X. Yan, E. Radwan, C. Russo and D. Nashar (2010). "Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation." Accident Analysis & Prevention 42(1): 101-111

Gates, T., D. Noyce, L. Laracuente and E. Nordheim (2007). "Analysis of driver behavior in dilemma zones at signalized intersections." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(2030): 29-39.

Gates, T. J. and D. A. Noyce (2016). "A conceptual framework for dynamic extension of the red clearance interval as a countermeasure for red-light-running." Accident Analysis & Prevention 96: 341-350.

Gazis, D., R. Herman and A. Maradudin (1960). "The problem of the amber signal light in traffic flow." Operations Research 8(1): 112-132.

Hurwitz, D. S., H. Wang, M. A. Knodler, D. Ni and D. Moore (2012). "Fuzzy sets to describe driver behavior in the dilemma zone of high-speed signalized intersections." Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 15(2): 132-143.

Johansson, G. and K. Rumar (1971). "Drivers' brake reaction times." Human factors 13(1): 23-27.
Kraft, W. H., W. S. Homburger and J. L. Pline (2009). Traffic engineering handbook.

Kraft, W. H., W. S. Homburger and J. L. Pline (2009). Traffic engineering handbook.

Li, Z. and H. Wei (2013). "Modeling dynamics of dilemma zones by formulating dynamical contributing factors with video-observed trajectory data." Procedia-Social and Behavioral Sciences 80: 880-900.

Liu, C., R. Herman and D. C. Gazis (1996). "A review of the yellow interval dilemma." Transportation Research Part A: Policy and Practice 30(5): 333-348.

Liu, Y., G.-L. Chang, R. Tao, T. Hicks and E. Tabacek (2007). "Empirical observations of dynamic dilemma zones at signalized intersections." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(2035): 122-133.

Long, K., Y. Liu and L. D. Han (2013). "Impact of countdown timer on driving maneuvers after the yellow onset at signalized intersections: An empirical study in Changsha, China." Safety Science 54(Supplement C): 8-16.

Lu, G., Y. Wang, X. Wu and H. X. Liu (2015). "Analysis of yellow-light running at signalized intersections using high-resolution traffic data." Transportation research part A: policy and practice 73:39-52.

McGee Sr, H., K. Moriarty and T. Gates (2012). Guidelines for timing yellow and red intervals at signalized intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board: 1-8.

Moon, Y. J. and F. Coleman (2003). "Dynamic dilemma zone based on driver behavior and car-following model at highway–rail intersections." Transportation Research Part B: Methodological 37(4): 323-344.

Olson, P. L., R. Rothery and W (1961). "Driver response to the amber phase of traffic signals." Operations Research 9(5): 650-663.

Parsonson, P., R. Roseveare and J. Thomas Jr (1974). "Small-area detection at intersection approaches." Traffic engineering 44(Tech Rept).

Rakha, H., I. El-Shawarby and J. R. Setti (2007). "Characterizing driver behavior on signalized intersection approaches at the onset of a yellow-phase trigger." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 8(4): 630-640.

Savolainen, P. T., A. Sharma and T. J. Gates (2016). "Driver decision-making in the dilemma zone–Examining the influences of clearance intervals, enforcement cameras and the provision of advance warning through a panel data random parameters probit model." Accident Analysis & Prevention 96: 351-360.

Sheffi, Y. and H. Mahmassani (1981). "A model of driver behavior at high speed signalized intersections." Transportation Science 15(1): 50-61.

Urbanik, T. and P. Koonce (2007). "The dilemma with dilemma zones." Proceedings of ITE District 6.

Webster, F. and P. Ellson (1965). "Traffic signals for high-speed roads."

Wei, H., Z. Li and Q. Ai (2009). "Observation-based study of intersection dilemma zone natures." Journal of Transportation Safety & Security 1(4): 282-295.

Wolshon, B. and A. Pande (2016). Traffic Engineering Handbook, John Wiley & Sons.

Zegeer, C. V. (1977). Effectiveness of green-extension systems at high-speed intersections.

Zegeer, C. V. and R. C. Deen (1978). "Green-extension systems at high-speed intersections." ITE journal 48(11): 19-24.

Abstract

Nowadays increasing transportation, causes finding solutions for improving traffic is more vital. Among the used strategies for resolving traffic problem, using of traffic light in roundabout is more efficient and also despite high utilization of signalized roundabout in Iran, no more detailed studies on deriver behavior on signalized roundabout have been performed. The purpose of this study is to determine the length of type II dilemma zone (type II DZ) in signalized roundabouts based on indicators like distance and time to stop line (DTS and TTS) dependent on the changes occur in driver's behavior and attitudes. Investigation of a_m, a_s and δ_s that effects on type II DZ, determination of all-red interval based on kinematic moving vehicles and time to collision (TTC) and determination of stopping probability of Logit regression are other purposes of this study. The results confirmed that TTS is more appropriate in determining the length and position of dilemma zone compared to DTS in which the DZ is very long. In this study, the proposed length of dilemma zone (DZ) equals 1/5 to 4/5 second from stop line. A significant match and unity was shown among the concentration and variance indicators of the perception reaction time (δ_s) of drivers of this study and the previous ones. But such unity was not observed for acceleration (a_m) & deceleration (a_s) behaviors. The deceleration (a_s) of first to stop (FTS) cars equals 1/26 m/s^2 ,the value of which is about one-third of the one proposed by ITE and AASTHO. The drivers drive more cautiously in signalized roundabouts than signalized interactions. The results about stopping probability showed among type of vehicles in this study, heavy trucks/buses were more effective on stopping probability. On other factors speed, DTS, TTS are effective on stopping probability and yellow interval is not effective on stopping probability.

Keywords: signalized roundabout, timing of traffic lights, Type II dilemma zone, factors of driver's behavior, all-red interval, stopping probability of Logit regression.

Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Road and Transport Engineering

Studying of dilemma zone at signalized roundabout

By:

Ahmad Najmi Oterabad

Supervisors:

Dr. Iman Aghayan

Dr. Abdolahad Choopani

Advisor: Abbas Mohammadi

January 2018