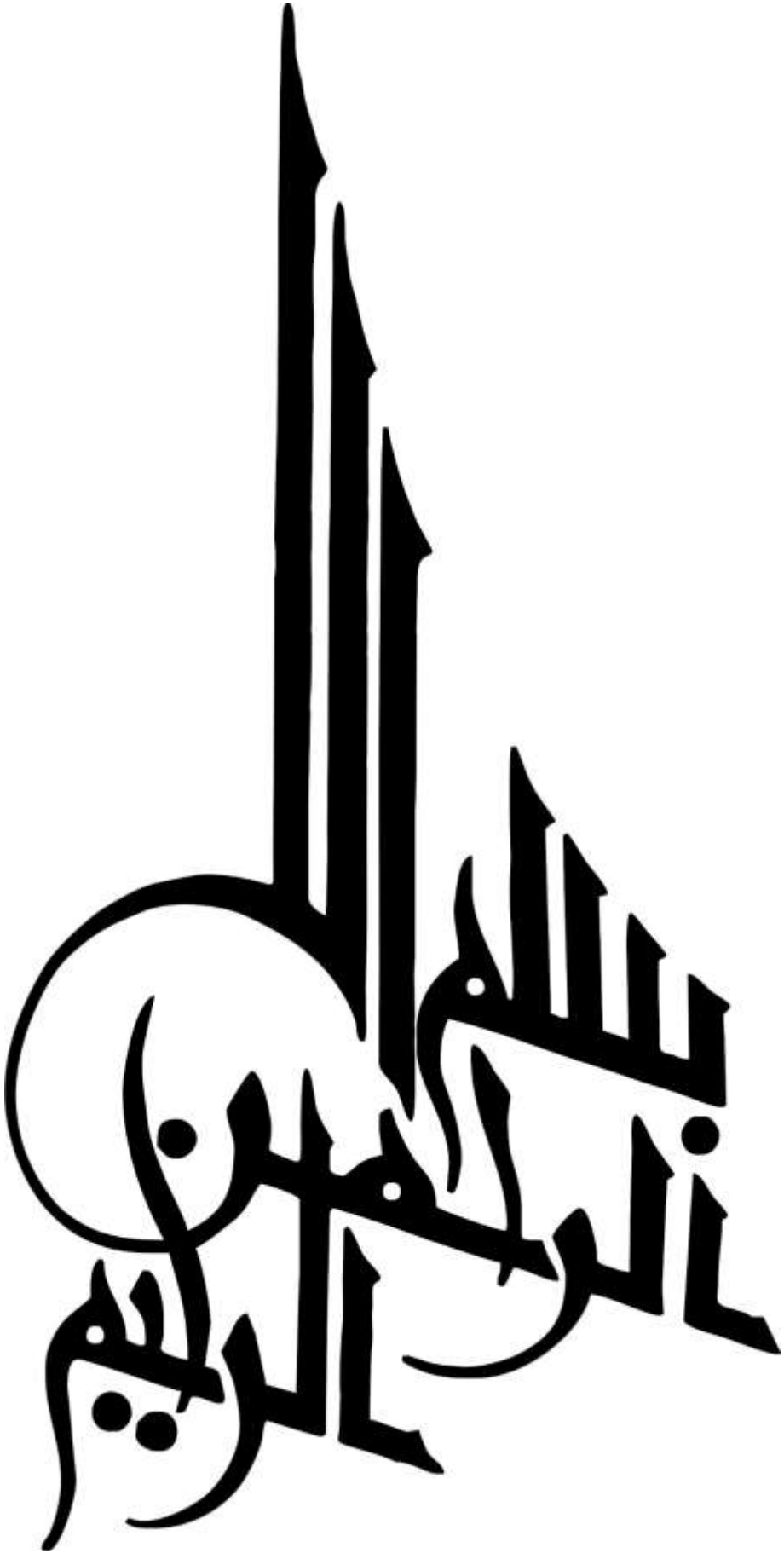

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد راه و ترابری

بررسی زمان آستانه تحمل سبقت‌گیری و شاخص زمان تا تصادف راننده در گروه صف حرکتی وسایل‌نقلیه در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری

نگارنده:

مجتبی بهرامی ترکاشوند

استاد راهنما:

دکتر ایمان آقایان

تیر ۱۴۰۰

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان‌نامه را تایید کند.

تقدیم اثر

این پایان نامه ام را تقدیم می کنم به:

قلبهای مهربان پدر و مادرم که با دستهای پر مهر خود دنیای کوچک من را ساخته اند که منیت اش را بعد از خدا ایشان به من داده اند و با تلاشهای خودشان به سرانجام رسانیده اند؛ از سختی ها گذشته اند و مشکلات را به جان خریده اند و در نبرد با زندگی چشم امید به خدای دارند که معجزاتش را به چشم دیده اند به امید دیدن سرفرازی من؛ باشد که توان آن را داشته باشم که جبران زحمات کنم...

آمین...

تشکر و قدردانی از دکتر ایمان آقایان گرانقدر که بنده را در گردآوری این اثر
کمک کردند.

تعهدنامه

اینجانب **مجتبی بهرامی ترکاشوند** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **راه و ترابری** دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **بررسی زمان آستانه تحمل سبقت گیری و شاخص زمان تا تصادف در گروه صف حرکتی وسایل نقلیه در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری**راهنمائی **دکتر ایمان آقایان** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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 می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

برای جلوگیری از تصادفات عقب در جاده‌های دو بانده ، بررسی تأثیر سبقت از ویژگی‌های رفتاری در دسته صف حرکتی زمان تا برخورد (TTC) و کاهش احتمال برخورد در مسائل ایمنی راه‌ها بسیار مهم است. بنابراین ، مطالعه حاضر ابتدا ویژگی‌های سبقت از رانندگان در جاده‌های دو بانده را مورد بررسی قرار می‌دهد و سپس تأثیرات این پارامترها را در برخورد بررسی می‌کند. سپس، یک مدل ریسک احتمالی پویا براساس معادله دیفرانسیل معمولی بالاتر و رگرسیون لجستیک دو متغیره ارائه شده است، و یک راه‌حل عددی با استفاده از روش عددی اویلر استفاده می‌شود. سپس تأثیر متغیرها بر TTC با پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی (ANN-MLP) تعیین می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که معیار ایمنی جانشین برای برخورد تحت تأثیر سبقت رانندگان و دسته صف ۲/۴ ثانیه است. همچنین، مدل پیشنهادی و راه‌حل آن به روش اویلر برای بررسی تأثیر سبقت و ویژگی‌های رفتار راننده بر روی TTC نشان داد که متغیرهای سرعت، موقعیت جانبی و زمان تصمیم‌گیری منجر به افزایش خطر TTC به میزان ۰/۹۵ ، ۰/۹۲ و ۰/۹۱ به ترتیب با این حال، متغیرهایی مانند پیشرفت زمان، زمان سبقت در هر دو جهت و فاصله سبقت برعکس احتمال معکوس TTC بحرانی است که با کاهش این متغیرها، احتمال خطر تا برخورد ۰/۹۳ و ۰/۸۷ افزایش می‌یابد. نتایج تأثیر متغیرها بر احتمال خطر TTC نشان داد که بیشترین تأثیر مربوط به پیشرفت زمانی ۱.۷ برابر بیشتر از سایر متغیرها است. کمترین تأثیر مربوط به قرارگیری جانبی است، با مقدار ۰.۷ برابر کمتر از سایر متغیرها.

لغات کلیدی: راه‌های دوخطه، شاخص زمان تا تصادف، مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک، معادله دیفرانسیل با مرتبه بالا، روش اویلر

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱-

فهرست مطالب

فهرست اشکال ج

فهرست جداول ه

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق ۴

۱-۳-نوآوری تحقیق ۷

۱-۴-اهداف تحقیق ۸

۱-۵-ساختار تحقیق ۹

فصل دوم: پیشینه پژوهش ۱۱

۲-۱-مقدمه ۱۲

۲-۲-تعاریف راه های دوخطه دوطرفه ۱۲

۲-۲-۱-سبقت ۱۳

۲-۲-۲-طول سبقت ۱۷

۲-۲-۳-زمان سبقت ۱۸

۲-۲-۴-زمان تصمیم گیری ۱۹

۲-۲-۵-فاصله جانبی راه ۲۱

۲-۲-۶-سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی ۲۳

۲-۲-۷-زمان تا برخورد(TTC) ۲۵

۲-۳-جمع بندی فصل ۳۴

فصل سوم:روش تحقیق ۴۳

۳-۱-مقدمه ۴۴

۳-۲-روش تحقیق ۴۴

۳-۳-متغیرهای رفتار سبقتی ۴۷

۳-۴-مسیرهای مورد مطالعه ۴۹

۳-۴-۱-محور فومن به سراوان ۵۰

۳-۴-۲-محور رشت به جیرده ۵۰

۳-۴-۳-محور رشت به صومعه سرا ۵۱

۳-۵-مدلسازی دینامیکی با مرتبه بالا مبتنی بر روش گرادیان و مشتق جزئی ۵۳
۳-۶-جمع بندی فصل ۵۸
فصل چهارم:نتایج ویافته های پژوهش **۵۹**
۴-۱-مقدمه ۶۰
۴-۲-بررسی مدل های شاخص زمان تا برخورد ۶۰
۴-۳-بررسی متغیرهای اثرگذار رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا برخورد جلو به عقب ۶۴
۴-۴-نتایج مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک مبتنی بر روش گرادیان و مشتق جزئی ۶۶
۴-۵-روش شبکه عصبی پرسپترون (MLP) برای اثرسنجی متغیرهای رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف ۷۴
۴-۶-مقایسه اثرگذاری ویژگی های رفتاری سبقت گیری بر احتمال ریسک شاخص زمان‌تا تصادف ۷۶
۴-۷-تحلیل حساسیت مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک ۷۸
فصل پنجم:نتیجه گیری **۸۱**
۵-۱-نتایج تحقیق ۸۲
۵-۲-پیشنهادات ۸۴
پیوست **۸۵**
مراجع **۸۷**

فهرست اشکال

شکل۱-۱ فاصله ایمن و شاخص زمان تا تصادف وسایل نقلیه ۶
شکل ۱-۲ بررسی تحلیل شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر رفتار سبقتی وسایل نقلیه در دسته صف ۷
شکل ۲-۱ اطلاعات سازمان راهداری کشور ۱۲
شکل۲- ۲ راههای دوخطه دو طرفه ۱۳
شکل۲-۳ طول سبقت ایمن ۱۷
شکل۲-۴ سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی و مقدار فاصله جلو به عقب بر حسب ثانیه ۲۳
شکل۲- ۵ برخورد جلو به عقب ۲۵
شکل۲-۶ سرفاصله زمانی، سرفاصله مکانی و زمان تا برخورد(TTC) ۲۵
شکل۲-۷ تخمین احتمال برخورد ۳۳
شکل۳- ۱ فلوچارت پیشنهادی ارائه مدل ریسک دینامیکی برخورد زمان تا تصادف در راههای دوخطه برونشهری ۴۶
شکل۳- ۲ بررسی جزئیات مانور سبقت گیری و تغییرخط و اثرگذاری بر شاخص زمان تا تصادف ۴۷
شکل۳- ۳ کیلومتر ۱۵ محور فومن به سراوان(Google Map) ۵۰
شکل۳- ۴ کیلومتر ۱۰ محور رشت به جیرده(Google Map) ۵۱
شکل۳- ۵ کیلومتر ۱۰ محور رشت به صومعه سرا(Google Map) ۵۲
شکل ۳-۶ تابع لجستیک استاندارد ۵۳
شکل۴- ۱ نمودار هیستوگرام شاخص زمان تا تصادف ۶۱
شکل۴-۲ تأثیر زمان نسبی سبقت و زمان تصمیم گیری بر شاخص زمان تا تصادف ۶۲
شکل۴- ۳ تأثیر سرعت و سرفاصله زمانی بر شاخص زمان تا تصادف ۶۳
شکل۴- ۴ نمودار تأثیرگذاری فاصله جانبی و طول سبقت گیری بر شاخص زمان تا تصادف ۶۴
شکل۴-۵ محاسبه شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر سرفاصله عبوری زمانی قابل پذیرش و غیرقابل پذیرش ۶۶
شکل۴-۶ محاسبه تابع هزینه مقادیر اولیه برای مدلهای رگرسیون به روش مشتق جزئی ۶۸
شکل۴-۷ روش حل عددی اویلر برای شبیه سازی اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقتی بر احتمال ریسک زمان بحرانی برخورد جلو به عقب ۷۰
شکل۴-۸ تأثیرگذاری زمان سبقت گیری در دو جهت بر احتمال ریسک زمان بحرانی برخورد جلو به عقب ۷۱
شکل۴-۹ تأثیر سرعت و سرفاصله زمانی بر احتمال ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف ۷۲
شکل۴- ۱۰ اثرگذاری سرعت و فاصله جانبی بر احتمال ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف ۷۳

شکل۴-۱۱ اثرگذاری زمان تصمیم گیری و طول سبقت گیری بر احتمال ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف ۷۴
شکل۴-۱۲ ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی پرسپترون ۷۶
شکل۴-۱۳ مقایسه ریسک متغیرهای رفتاری سبقتی رانندگان در برخورد زمان تا تصادف ۷۸
شکل ۴-۱۴ مقایسه دو مدل نمودار مدلسازی رگرسیون خطی بحرانی شاخص زمان تا تصادف ۷۹
شکل ۰-۱ محیط نرم افزار Adobe Premier CC ۲۰۱۸ مسیر فومن به صومعه سرا ۸۶

فهرست جداول

جدول۲-۱ مطالعات مربوط به سبقت ۳۵
جدول ۲-۲ مطالعات مربوط به طول سبقت ۳۶
جدول۲-۳ مطالعات مربوط به زمان سبقت ۳۷
جدول۲-۴ مطالعات مربوط به زمان تصمیم گیری ۳۸
جدول۲-۵ مطالعات مربوط به فاصله جانبی راه ۳۹
جدول۲-۶ مطالعات مربوط به سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی ۴۰
جدول۲-۷ مطالعات مربوط به زمان برخورد TTC (بخش ۱) ۴۱
جدول۲-۸ مطالعات مربوط به زمان برخورد TTC (بخش ۲) ۴۲
جدول۳- ۱ بررسی آماری متغیرهای رفتاری سبقتی در دسته صف و شاخص زمان تا تصادف در راههای دوخطه ۵۲
جدول۴-۱ محاسبه نقطه بحرانی شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر تغییرات متغیرهای رفتار سبقتی.. ۶۵
جدول۴- ۲ معادلات مدل رگرسیون لجستیک دومتغیره مبتنی روش گرادیان و مشتق جزئی ۶۷
جدول۴ -۳ معادلات دینامیکی احتمالاتی ریسک پیشنهادی ۶۹
جدول۴-۴ ارزیابی مدل شبکه عصبی و عوامل مؤثر بر شاخص زمان تا تصادف ۷۵

فصل اول: مقدمه

۱-۱-مقدمه

امروزه با توجه به سطح گسترده ارتباطات، راه‌های دوخطه دو طرفه نقش مهمی را در تسهیلات عمده‌ی جابجایی و دسترسی حمل و نقلی برعهده دارند. در این راستا افزایش ایمنی ترددهای برون‌شهری[۱]، یکی از مباحث مهم کاهش برخورد روبرو[۲] و یا جلو به عقب است.

در راه‌های دوخطه رفتارهای سبقتی بیشترین عامل تصادفات هستند، و زمان برخورد جلو به عقب تحت تاثیر رفتارهای سبقتی را از مهمترین عامل اثرگذار در تصادفات راه‌های دوخطه برون‌شهری دانست.

در ایـران حـدود ۲۹ درصد از راه‌ها به صورت دوخطه دوطرفه می‌باشد (ار ام تی او[۳]۲۰۰۹). بدون در نظر گرفتن راه‌های دسترسی به روستاها، ۸۰درصد از شبکه راه‌های بین‌شهری ایران را راه‌های اصلی و فرعی تشکیل می‌دهند که بیشتر آنها راه‌های دوخطه دوطرفه می باشد. (ار ام تی او۲۰۱۲) .

اهمیت راه‌های دوخطه در وقوع تصادفات جاده‌های[۴] به‌گونه‌ای است که در ایالات‌متحده آمریکا ۷۴/۹ درصد از تصادفات در راه‌های برون‌شهری دوخطه رخ می‌دهد (وانگ و همکاران[۵]، ۲۰۰۸). درحالی‌که، در اروپا نیز حدود ۶۰ درصد از تصادفات مرگبار در راه‌های دوخطه اتفاق می‌افتد (کافیسو و همکاران[۶]، ۲۰۰۹). در ایران از سال ۹۶ تاکنون متوسط تعداد تلفات ناشی از تصادفات جاده‌ای[۷] در ایران ۱۷ هزار نفر در سال بوده است که بیش از ۷۰ درصد آن در راه‌های برون‌شهری به وقوع پیوسته است (سازمان حمل‌ونقل جاده‌ای، ۲۰۱۲؛ سازمان پزشکی قانونی[۸]، ۲۰۱۲).

اکثر تصادفات در راه‌های دوخطه ناشی از عدم رعایت زمان بحرانی فاصله خودرو عقب[۹] و جلویی[۱۰] هنگام سبقت‌گیری در دسته صف وسایل‌نقلیه توسط رانندگان است که با شاخص ایمنی[۱۱] زمان تا تصادف

---

[1] Ourban
[2] Head to head
[3] RMTO
[4] Road accidents
[5] Wang et al.,
[6] Cafiso et al.,
[7] Road accidents
[8] FMOI
[9] Follower vehicle
[10] Leader vehicle
[11] Surrogate safety measure

تعریف می‌گردد. این شاخص، به عنوان مقدار بحرانی زمان تا تصادف نقش مهمی در تصادفات جلو به عقب دارد (موسیگ و همکاران[1]، ۲۰۱۶).

مطالعات نشان داده است که ۲۵ درصد تصادفات در راه‌های دوخطه در اروپا ناشی از تصادفات جلو به عقب[2] به دلیل عدم رعایت شاخص زمان تا تصادف می‌باشد (هاروود و همکاران[3]، ۲۰۰۰).

بنابراین یکی از عوامل مهم و اثرگذار بر ایمنی و تصادفات در راه‌های دوخطه، شاخص ایمنی زمان تا تصادف می‌باشد که نقش مهمی در تصادفات جلو به عقب در دسته صف تحت تأثیر رفتار سبقتی رانندگان دارد (بهبهانی و همکاران[4]، ۲۰۱۴؛ وندرهواست و هاگما[5]، ۱۹۹۸).

این شاخص زمانی براساس سرفاصله‌های طولی[6] و زمانی[7] وسایل‌نقلیه پیشرو و پیرو، نوع وسیله‌نقلیه و سرعت دو وسیله‌نقلیه بستگی دارد (ندیمی و همکاران[8] ، ۲۰۱۶؛ بهبهانی و ندیمی[9] ۲۰۱۵، ژانگ و همکاران[10]، ۲۰۰۸).

حدود ۵۰-۶۰ درصد از تصادفات در راه‌های دوخطه برون شهری رخ می‌دهد وقتی توجه به راه‌های دوخطه ضروری‌تر می‌گردد که بدانیم در سال ۱۳۸۸: ۸۴/۸ درصد از راه‌های کشور را اینگونه راه‌ها تشکیل می‌داده‌اند (طباطبایی، سیدعباس، محسن نجفی علمدارلو،۱۳۹۰).

در کشور ایران، استان گیلان[11] یکی از زیباترین مناطق توریستی[12] شمال ایران بوده و سفرهای کاری و تفریحی[13] زیادی به این استان انجام می‌شود. در نتیجه این سفرها، تصادفات جاده‌ای زیادی را نسبت به دیگر استان به وجود آورده است.

---

[1] Mwesige et al.,
[2] Rear-End collision
[3] Harwood et al.,
[4] Behbahani et al.,
[5] Van der horst and Hogema
[6] Space headway
[7] Time headway
[8] Nadimi et al.,
[9] Behbahani, and Nadimi,
[10] Zhang et al.,
[11] Gilan province
[12] Recreational areas
[13] Recreational trips

این تصادفات در راه‌های دوخطه استان رخ داده است که از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ از مجموع ۲۴۸۱ تصادف ۱۶۴۳ تصادف از نوع تصادف جلو به عقب ناشی از مقدار بحرانی زمان تا تصادف و عدم رعایت فاصله ایمن[۱] بین خودروها ناشی از سبقت‌گیری و خودروهای موجود در دسته صف‌ها است (کامبوزیا و همکاران[۲]، ۲۰۲۱).

مطالعه و ارزیابی شاخص زمان تا تصادف می‌تواند ریسک تصادفات جلو به عقب و خطای راننده[۳] و در نتیجه رفتار ناایمن[۴] راننده را کاهش دهد.

هنگام سبقت‌گیری احتمال برخورد با وسیله‌نقلیه جلویی بالاست به‌طوری‌که اگر خودروی سواری پیرو مسافت نسبت به خودروی جلویی خود را درست تشخیص ندهد احتمال ریسک تصادف برخورد جلو به عقب با کاهش مقدار شاخص زمان تا تصادف، افزایش پیدا می‌کند (وگل و همکاران[۵]۲۰۰۳).

برای کاهش احتمال ریسک برخورد جلو به عقب، راننده وسیله‌نقلیه پیرو در صف حرکتی باید فاصله ایمن خودرویی را با وسیله‌نقلیه پیشرو حفظ کند (میندرهوت و همکاران[۶]۲۰۰۱).

۱-۲-تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق

یکی از دلیل انتخاب راه‌های دوخطه دوطرفه حجم بالای تردد در این مسیرها بود است و با توجه به آمار منتشر شده از طرف سازمان راهداری کشور در حدود ۸۵ درصد جاده‌های داخل کشور از این نوع راه‌ها می‌باشد. البته طبق مطالعات انجام شده در کشورهای همچون ژاپن و افریقا این حدود ۶۰ درصد است.

بنابراین به منظور پیشگیری از تصادفات جلو به عقب در راه‌های دوخطه ناشی از مانور سبقت‌گیری راننده و کاهش احتمال برخورد این نوع تصادف، در پژوهش حاضر در ابتدا به بررسی ویژگی‌های رفتار سبقتی رانندگان در راه‌های دوخطه و تأثیر این پارامترها در شاخص زمان تا تصادف پرداخته می‌شود. سپس

[1] Safe distance
[2] Kamboozia et al.,
[3] Driver's error
[4] Unsafe behavior
[5] Vegol et al
[6] Minderhoud et al

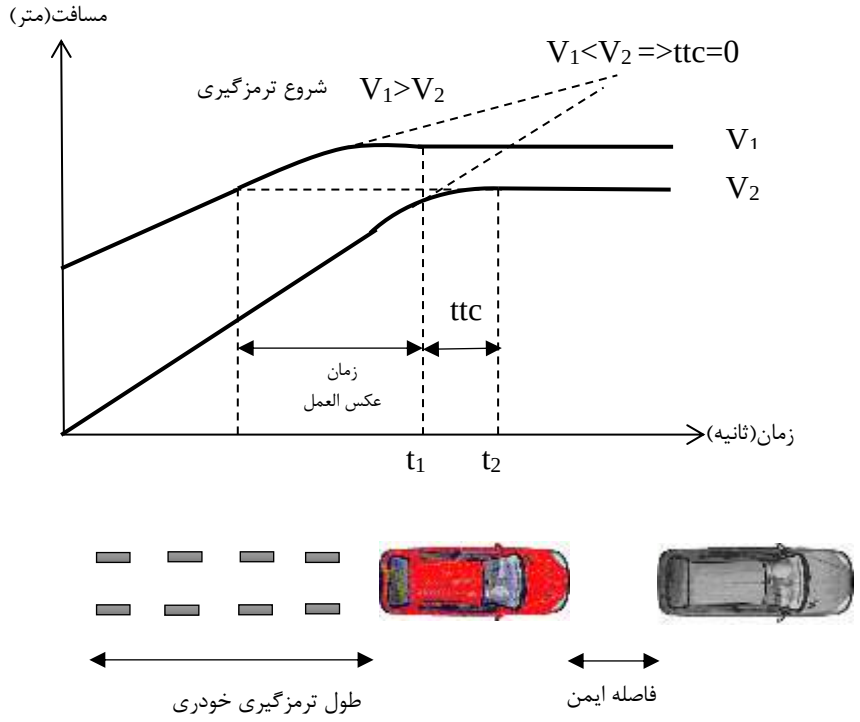
شاخص بحرانی زمان تا تصادف تحت تأثیر این ویژگی‌های رفتاری به دست می‌آید.

راه‌های دوخطه دوطرفه[1] در ایران از مهمترین شبکه راه حمل و نقلی برون‌شهری[2] است. افزایش تردد در این راه‌ها می‌تواند منجر به افزایش دسته صف و رفتار سبقت‌گیری شود که بر شاخص‌های ایمنی زمانی نظیر شاخص زمان تا تصادف جلو به عقب هنگام سبقت‌گیری و فاصله ایمن زمانی[3] وسایل نقلیه در دسته-صف[4] تاثیرگذار است.

به همین‌دلیل، با مطالعه و ارزیابی این شاخص زمانی ایمنی می‌توان ریسک تصادفات جلو به عقب ناشی از عدم رعایت زمان بحرانی را کاهش داد. به منظور مطالعه بررسی اثرگذاری شاخص زمان تا تصادف بین خودرو پیشرو و پیرو مطابق شکل ۱-۱، فاصله ایمن تعریف می‌گردد. که این فاصله ایمن به سرفاصله‌های زمانی و مکانی خودروها هنگام سبقت‌گیری وابسته است.

در شکل ۱-۱ فاصله ایمن به مقدار فاصله قبل از برخورد خودروی پیرو با خودروی پیشرو گفته می‌شود که دو خودرو با سرعت‌های مختلف تحت تأثیر عدم رعایت سرفاصله‌های ایمن زمان برخورد به بحرانی‌ترین[5] حالت خود برسند به طوری‌که مسافت بین دو خودرو کمترین حالت ممکن باشد. در نتیجه احتمال ریسک[6] برخورد یا تصادف جلو به عقب افزایش یابد.

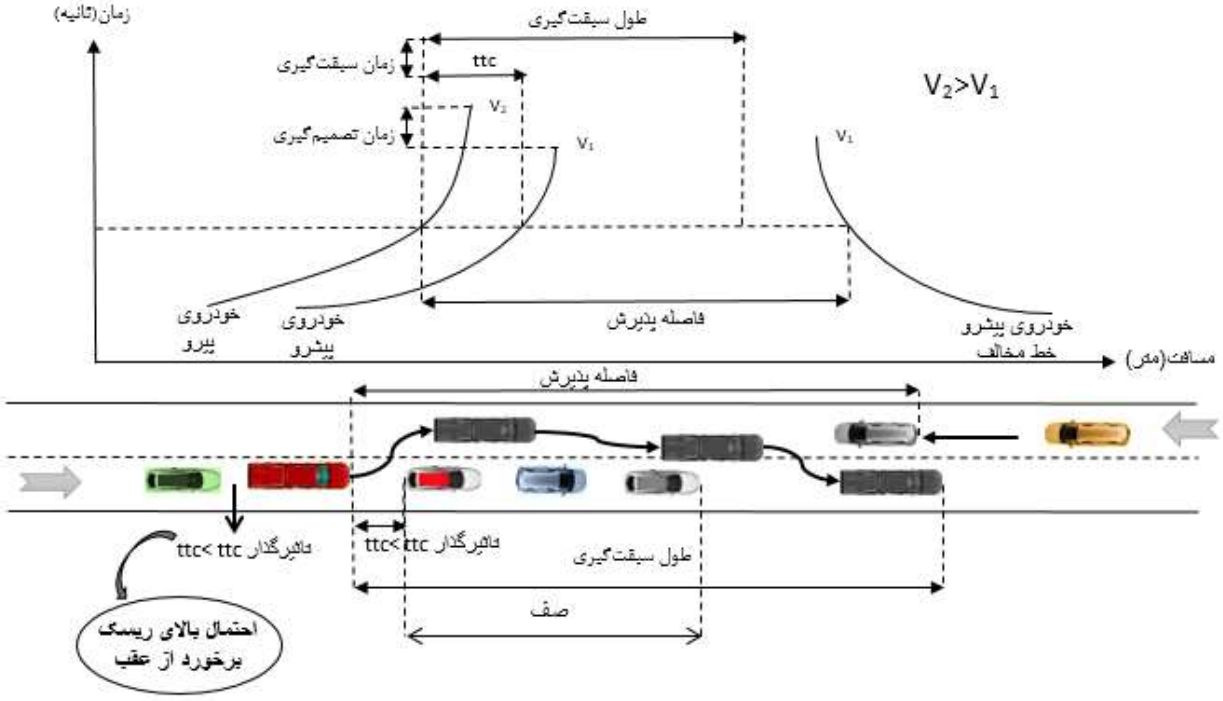
[1] Two-lane two-way
[2] Rural roads
[3] Safe time gap
[4] Platoon
[5] The most critical
[6] Risk probability



شکل۱-۱ فاصله ایمن و شاخص زمان تا تصادف وسایل نقلیه

شکل۱-۲ به منظور بررسی برخورد تصادفات جلو به عقب تحت تأثیر رفتار سبقتی در دسته صف آورده شده است. همانطور که در شکل۱-۲ مشخص است مقدار سرعت خودروی پیشرو نسبت به خودروی پیرو تأثیرگذار است و نیز طول خودروی پیرو نیز در اقدام به سبقت خودروی پیرو نیز مؤثر می‌باشد. ازطرفی میزان ترافیک[1] نیز به عنوان عامل مشخص‌کننده بر شاخص زمان تا تصادف می‌باشد که با فاصله ایمن و سرفاصله پذیرش رانندگان[2] تأثیر مستقیم دارد.

[1] Traffic flow
[2] Gap acceptance's behavior of drivers



شکل ۱-۲ بررسی تحلیل شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر رفتار سبقتی وسایل‌نقلیه در دسته صف

۱-۳-نوآوری تحقیق

با توجه به مطالعات پیشین انجام شده در زمینه‌ی راه‌های دوخطه دوطرفه عوامل زیادی در ایمنی جاده‌ها نقش دارند که در جهت شناسایی و کالیبراسیون عددی عوامل موثر بر ایمنی در جاده‌ها به بررسی متغیرهای تاثیرگذار بر زمان برخورد پرداخته شده است.

برای ایجاد ایمنی و کاهش درصد خطاهای محاسباتی جهت پیشگیری و کاهش تلفات تصادفات جاده‌ای به ویژه راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری که درصد بزرگی از تصادفات روبرو و جلو به عقب را شامل می‌شوند.

در این مطالعه با هدف بررسی متغیرهای تاثیرگذار بر زمان برخورد برای اصلاح عددی و بررسی بحرانی-ترین حالت ریسک زمان برخورد به منظور افزایش ایمنی راه‌ها به این موضوع پرداخته شده است.

در این مطالعه برای بالا بردن ایمنی جهت افزایش دقت محاسبات حالت بحرانی زمان برخورد در وسایل نقلیه در جهت مخالف به کالیبراسیون پارامتر زمان برخورد پرداخته شده است. تعیین بحرانی‌ترین سرفاصله

زمانی و زمان برخورد در رفتارهای سبقتی راه‌های دوخطه دوطرفه، تعیین مدل احتمالاتی ریسک زمان برخورد (TTC[1]) و اثرسنجی آن با شبکه عصبی مبتنی بر رفتار سبقتی خودروها در راه‌های دوخطه، با شناسایی و در نظر گرفتن عوامل موثر رفتاری سبقتی راه‌های دوخطه در زمان برخورد جلو به عقب را مورد بررسی قرار داده است.

۱-۴-اهداف تحقیق

اهداف این مطالعه عبارتند از بررسی متغیرهای رفتار سبقتی در جهت کاهش احتمال برخورد روبرو و جلو به عقب در راه‌های دوخطه در محور مورد مطالعه تعیین شده می‌باشد. هدف دوم این مطالعه نیز محاسبه بحرانی‌ترین زمان برخورد جلو به عقب به منظور اثرگذارترین متغیر در تصادفات راه‌های دوخطه تحت تاثیر رفتارهای سبقتی خودروها می‌باشد.

به منظور اثرگذاری این پارامترها بر احتمال زمان تا برخورد، به ارائه مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک شاخص زمان تا برخورد برای رفتارهای سبقتی راه‌های دوخطه مبتنی بر مدل رگرسیون لجستیک دومتغیره و سپس حل معادله دیفرانسیلی با مرتبه بالا با استفاده از روش عددی اویلر پرداخته می‌شود.

نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به بررسی و اثرگذاری پارامترهای ایمنی بر ریسک تصادفات جلو به عقب و محاسبه دقیق احتمالات ریسک کمک کند. همچنین پژوهش حاضر می‌تواند برای محاسبه بحرانی-ترین شاخص زمان تا تصادف ناشی از پارامترهای ریسک در راه‌های دوخطه دوطرفه و اثربخشی هر متغیر با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون[۲] بر شاخص زمان تا تصادف و اصلاح عددی شاخص زمان تا برخورد برای کاهش ریسک برخورد یا تصادفات جلو به عقب مؤثر باشد.

[1] time to coltion
[2] Perceptron

۱-۵-ساختار تحقیق

در فصل اول، به معرفی و ضرورت انجام تحقیق اشاره شده است. سپس به بررسی و نوآوری طرح و اهداف تحقیق پرداخته شده است.

درفصل دوم، ابتدا به تعاریف مطالعات مربوط به سبقت و سپس به متغیر زمان برخورد (TTC) پرداخته شده، و پس از آن در انتهای فصل مطالعات پیشین جداول مربوط به خلاصه مطالعات انجام شده ارائه شده است.

در فصل سوم، ابتدا مراحل انجام تحقیق و بررسی مسیرهای مورد مطالعه اشاره شده و در ادامه، با مدل‌سازی دینامیکی احتمالاتی و رگرسیون لجستیک دیفرانسیلی با مرتبه بالا مبتنی بر روش گرادیانی و مشتق جزئی پرداخته شده است. سپس با روش اویلر به حل آن پرداخته شده است.

در فصل چهارم نتایج به دست آمده از مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته شده، که در ابتدا به بررسی متغیرهای تاثیرگذار بر شاخص زمان تا برخورد اشاره شده است. سپس در ادامه فصل به نتایج استخراجی از مدل‌سازی دینامیکی و رگرسیون لجستیک دیفرانسیلی مبتنی بر روش گرادیان و مشتق جزئی به دست آمده و حل آنها با روش اویلر پرداخته شده است. همچنین در انتهای فصل نیز با مقایسه دو مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک و رگرسیون لجستیک و تعیین اهمیت متغیرهای تاثیرگذار با روش شبکه عصبی پرسپترون اشاره شده است.

فصل پنجم نیز خلاصه‌ای از پژوهش حاضر را در مراحل انجام تحقیق ارائه می‌دهد، در قالب تحلیل نتایج و پیشنهادات اصلاح عددی شاخص زمان تا برخورد جلو به عقب را در راه‌های دوخطه دوطرفه پیش‌بینی می‌کند و ارائه می‌دهد.

فصل دوم: پیشینه پژوهش

۲-۱-مقدمه

در این فصل به بررسی مطالعات پیشین در راه‌های دوخطه دوطرفه پرداخته شده است. در این پیشینه پژوهش اول به تعریف راه‌های دوخطه و سپس مطالعات مربوط به سبقت، طول سبقت، زمان سبقت، زمان تصمیم‌گیری، فاصله جانبی راه، سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی و پس از آن به متغیر زمان برخورد (TTC) پرداخته شده است.

۲-۲-تعاریف راه‌های دوخطه دوطرفه

راه‌های دوخطه دوطرفه نقش مهمی را در تسهیلات حمل‌ونقلی به عهده دارند. این راه‌ها شامل دو خط در دو جهت مخالف در کنار یکدیگر می‌باشند، که به دلیل کاهش هزینه‌های اجرایی و یا حتی به دلیل محدودیت امکان اجرایی منطقه‌های مورد نظر جهت ایجاد ارتباط بین استان‌ها ساخته شده‌اند.

ایـنگونه مسیرها دو نقش عمده‌ی جابجایی و دسترسی را بر عهده دارند. با توجه اطلاعات منتشر شده سازمان راهداری که در شکل ۲-۱ مشخص شده است، در ایـران حـدود ۲۹ درصد از راه‌ها به صورت دوخطه دوطرفه می‌باشد. بدون در نظر گرفتن راه‌های دسترسی به روستاها، ۸۰ درصد از شبکه راه‌های بین‌شهری ایران را راه‌های اصلی و فرعی تشکیل می‌دهند که بیشتر آنها راه‌های دوخطه دوطرفه می‌باشند. عبور و مرور در راه‌های دوخطه برون‌شهری با خطرات ناشی از تصادف روبرو در جهت مخالف و همچنین برخورد عقب به جلو در هنگام سبقت همراه است.

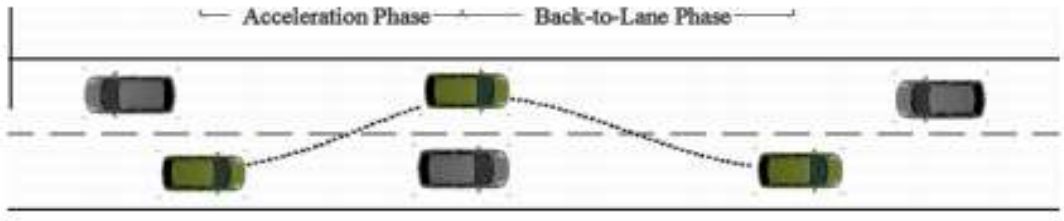
* طول راههای تحت حوزه استحفاظی وزارت درسطح کشور:		
- آزادراه	۲۲۰۳ کیلومتر	۳ درصد از کل
- بزرگراه	۱۴۱۵۵ کیلومتر	۱۷ درصد از کل
- راه اصلی	۲۱۶۲۸ کیلومتر	۲۵ درصد از کل
- راه فرعی	۴۶۴۸۵ کیلومتر	۵۴ درصد از کل
- راه درون شهری با نگهداری ادارات راه	۱۱۵۱ کیلومتر	۱ درصد از کل
جمع	۸۵۶۲۳ کیلومتر	

شکل ۲-۱ اطلاعات سازمان راهداری کشور

۲-۲-۱-سبقت

سبقت از مهمترین رفتارهای رانندگی در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه است. سبقت گرفتن بر ظرفیت بزرگراه، ایمنی و سطح خدمات تأثیر می‌گذارد. زیرا عمل سبقت به تعداد قابل توجهی از عوامل از جمله وضعیت فعلی وسیله‌نقلیه و موقعیت‌ها سبقت و سرعت وسایل‌نقلیه اطراف بستگی دارد. سبقت یک مانور پیچیده است و یک راننده براساس شرایط غالب عبور تصمیم‌گیری می‌کند.

با توجه به شکل۲-۲ به عنوان مثال، یک راننده فاصله ترافیکی قابل قبول را در ترافیک مقابل انتخاب می‌کند، مسافتی که باید از وسیله‌نقلیه مانع عبور کند، و مسافتی که در هنگام بازگشت وسیله‌نقلیه موانع از حرکت می‌آید، باید جلوی آن را بگیرد. فرهنگ رانندگی تاثیرات مستقیم بر تصمیمات راننده می‌گذارد. با توجه به تغییرات زیاد فرهنگ‌ها در بین کشورها، انتظار میرود سبک‌های رانندگی تفاوت‌هایی مختلفی وجود داشته باشد. سبقت‌ها مشروط به فاصله ایجاد شده در بین دو وسیله نقلیه متوالی در مسیر مخالف است.



شکل۲- ۲ راه‌های دوخطه دو طرفه

سبقت غیرقانونی یکی از پیچیده‌ترین و مهمترین مانور در راه‌های دوخطه دوطرفه است، که وسایل‌نقلیه در خط مخالف برای سبقت گرفتن از وسایل نقلیه کندتر پیشرو در حال حرکت از جهت مخالف با شرایط ترافیکی مختلط استفاده می‌کنند. داده‌های تجزیه و تحلیل شده شامل مشخصات شتاب، سرعت وسایل‌نقلیه سبقتی، زمان سبقت، طول سبقت، فاصله مخالف ایمن مورد نیاز برای سبقت، سرعت جریان، موقعیت‌های سبقت، انواع استراتژی سبقت و انواع وسایل‌نقلیه سبقتی و سبقت هستند. تعداد سبقت‌ها با افزایش سرعت جریان در هر جهت تاثیر گذار در کاهش جریان در جهت مخالف خواهد بود.

پولس و همکاران[1](۲۰۰۰) در مطالعه‌ای به ارزیابی روند سبقت در راه‌های دوخطه برون شهری پرداختند. هدف اول این پژوهش ایجاد مدل‌هایی برای تعیین کمیت مولفه‌های اصلی فرآیند سبقت بود. هدف دوم مقایسه نتایج با مدلهای موجود در طراحی بزرگراه و نتیجه‌گیری در مورد کاربرد مدلهای موجود بود. ارزیابی‌شان براساس تجزیه و تحلیل داده‌هایی بوده، که با فیلمبرداری از شش بخش بزرگراه دو خطه جمع‌آوری کرده بودند. بررسی چندین مورد از این نتایج تجزیه و تحلیل دارای پیامدهای ایمنی بی‌نظیری بودند، مانند تعیین زمان کوتاه واکنش راننده و تعیین زمان تصمیم‌گیری قبل از شروع مانور سبقت و تعیین فاصله مورد نیاز عبور و در نتیجه، فاصله دید مورد نیاز برای سرعت‌های مختلف طراحی و ترکیب‌های مختلف ترافیک را در رابطه با جنبه‌های مربوط ایمنی ارزیابی کردند.

وانگ و همکاران[2](۲۰۰۸) در مطالعه‌ای برای کاهش تصادفات رانندگی که باعث ایجاد خسارات جانی و مالی در راه‌های دوخطه دوطرفه می‌شود، طرح ارتقا ایمنی مقرون به صرفه را مطرح کردند. به منظور انجام اقدامات متقابل مقرون به صرفه و اولویت‌بندی برنامه‌های بهبود ایمنی راه‌ها برای جاده‌های دوخطه دوطرفه، شناخت بهتر رابطه بین خطر تصادف و ویژگی‌های مربوطه ضروری است. این مطالعه براساس داده های شش ساله (۲۰۰۴-۱۹۹۹) موقعیت، طول و مشخصات هندسی روی تجزیه و تحلیل تصادف جاده‌های دوخطه دوطرفه در ایالت واشنگتن (آمریکا) انجام شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری و مدل‌های خطر تصادف بینش ارزشمندی همچون (محدودیت سرعت، درجه انحنا، عرض شانه، گاردریل کنار جاده، عرض جاده، تغییرات مکرر محدودیت سرعت، منحنی یا شیب) را برای توسعه اقدامات متقابل در برابر تصادفات جاده‌های دوخطه دوطرفه فراهم میاورد.

طباطبایی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به ارائه روشی ساده جهت افزایش ایمنی سبقت در راه‌های دوخطه پرداختند. با بررسی‌هایشان نشان دادند که حدود ۵۰-۶۰ درصد از تصادفات در راه‌های دوخطه برون‌شهری رخ می‌دهد. در این تحقیق با بررسی فواصل دید سبقت مورد استفاده درکشورهای مختلف و

[1] Abishai Polus et al
[2] Wang, Y. et al

کشور ایران و نیز با بررسی تاثیر حاشیه ایمن در مشخص نمودن مناطق سبقت آزاد و حاشیه ایمن به ارائه راهکارهایی عملی برای بهبود ایمنی راه‌های دوخطه دوطرفه پرداختند.

کریانی و همکاران[1] (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به ارزیابی فاصله دید سبقت در بزرگراه‌های دوخطه با استفاده از داده‌های میدانی ضبط شده با تجهیزات ضبط ویدئویی دیجیتال و با اندازه‌گیری سرعت با تکنولوژی لیزری یک مدل اصلاح شده برای محاسبه PSD پرداختند. این تحقیق با هدف مشخص کردن پارامترهای مدل مطابق با مانور در عملکرد وسایل‌نقلیه و رفتار راننده‌ها برای پیشنهاد یک برنامه عملیاتی جهت تعیین فاصله دید بود. با توجه به مدل ارائه شده به طور مناسب مانورهای وسیله نقلیه را در مرحله سبقت تعریف می‌کند، و مقادیر متناسب با PSD را با مقادیر اندازه‌گیری شده در طی یک نظرسنجی تأمین می‌کند.

آتمب و همکارن[2] (۲۰۱۶) در مطالعه‌شان به بررسی عوامل انگیزشی مؤثر در تصمیم رانندگان نسبت به رفتارهای رانندگی خطرناک در کشور غنا پرداختند. این پژوهش با هدف پیش‌بینی اهداف رانندگان نسبت به سرعت و سبقت در تخلفات تحت تأثیر عوامل انگیزشی با استفاده از متغیرهای (TPB تئوری پیش بینی رفتار راننده) و (DBQ پرسشنامه رفتار راننده) انجام شده است. برای دستیابی به این هدف گردآوری اطلاعات از طریق توزیع پرسشنامه‌ها به طور تصادفی در بین تعدادی از رانندگانی که دارای گواهینامه معتبر رانندگی بودند، صورت پذیرفت. آنها در مطالعه‌شان از تکنیکهای رگرسیون استفاده کردند. نتیجه نشان می‌دهد که مؤلفه‌های متغیرهای TPB و DBQ قادر به پیش‌بینی اهداف رانندگان نسبت به سرعت و سبقت در تخلفات بودند. همچنین مؤلفه‌های TPB سهم بیشتری در پیش‌بینی رفتار رانندگان نسبت به سرعت و سبقت از DBQ دارند. نتایج پژوهش‌شان نشان می‌دهد که در بین رانندگان سبقت غیرمجاز شایع‌ترین از سبقت مجاز است.

آسایتهامبی و شروانی[3] (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی رفتار سبقتی وسایل نقلیه در راه‌های دو خطه

[1] Francis M M Cirianni
[2] Atombo et al
[3] Gowri Asaithambi & Gugulothu Shravani

دوطرفه در شرایط ترافیکی مختلط غیر خطی در کشور هند پرداخته‌اند. هدف اصلی مطالعه‌شان بررسی ویژگی‌های سبقت خودروها در راه‌های با شرایط ترافیکی مختلط است. برای این منظور، جزئیات داده‌های سبقت در یک راه دوخطه دو طرفه با استفاده از روش فیلمبرداری جمع‌آوری شده و سپس با یک مدل‌سازی ریاضی طراحی شده است. پارامترهای تجزیه و تحلیل شده، شامل مشخصات شتاب، سرعت وسایل‌نقلیه سبقتی، زمان سبقت، طول سبقت، فاصله ایمن مورد نیاز برای سبقت، سرعت جریان، موقعیت‌های سبقت، انواع استراتژی سبقت و انواع وسایل‌نقلیه سبقت و سبقت بودند. پارامترها در توسعه مدل‌های شبیه سازی ترافیک برای راه‌های دوخطه دوطرفه و تخمین ظرفیت مفید خواهند بود. از نتایج به دست آمده از این پژوهش برای درک رفتار سبقت از وسایل‌نقلیه در شرایط ترافیکی منظم و غیر خطی و تخمین زمان برخورد احتمالی در جهت بهبود ایمنی راه می‌توان استفاده کرد.

محمود و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی مدل میکرو شبیه‌سازی ، برای ایمنی ترافیک و کاربرد آن در ترافیک ناهمگن پرداخته‌اند. در مطالعه‌شان به ارزیابی ایمنی ترافیک با توجه به استفاده از ابزارهای مختلف شبیه سازی، از شاخص‌های ایمنی جایگزین محیط جاده و ملاحظات تصادف بررسی کرده‌اند. متغیرهای ورودی کلی مورد استفاده برای توسعه مدل پیش‌بینی خرابی و روش‌های کالیبراسیون و اعتبار سنجی را در مطالعه‌شان بررسی کردند، و همچنین به ارزیابی کاربرد مدل شبیه‌سازی ایمنی ترافیک در محیط‌های ناهمگن پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که داده‌های رانندگی نزدیک به واقعیت در محیط‌های ترافیکی ناهمگن غیر خطی با استفاده مدل سازی آماری با سیستم های جمع آوری داده و تجزیه و تحلیل فیلم‌های برداشت شده از تکنیک‌های برخورد ترافیکی با شاخص‌های مختلف می‌تواند مفید باشد.

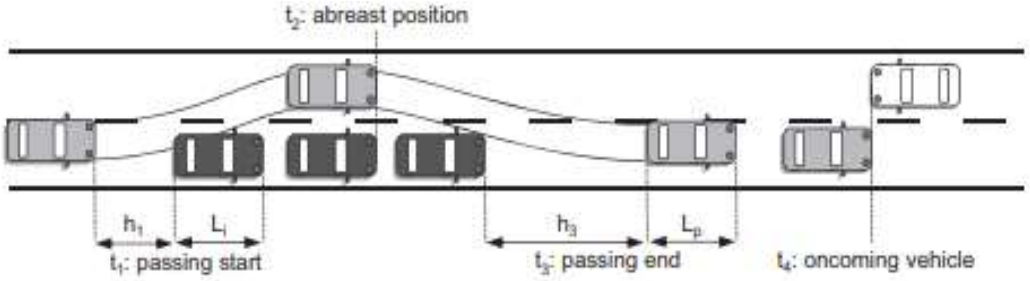
فیگورآ و همکاران[1] (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر سبقت در بزرگراه‌های دوخطه، در کشور برزیل پرداختند، و هدف‌شان از این تحقیق ارائه یک روش برای مقایسه سبقت‌های عبوری در راه‌های دوخطه دو طرفه در یک شبیه‌سازی رانندگی و بررسی اثرات سرعت یک وسیله نقلیه

[1] Figueira et al

پیرو، فاصله دید در حال عبور، فواصل ایجاد شده برای سبقت و تاثیر رفتار راننده در سبقت بوده است. این پارامترها در توسعه مدل‌های شبیه‌سازی ترافیک برای برآورد ظرفیت راه‌های دوخطه دوطرفه مفید خواهد بود. نتایج به دست آمده از مطالعه نشان می‌دهد که رفتار یک راننده ممکن است تحت تأثیر فرهنگ آن کشور متفاوت باشد، و همچنین پیامدهای تخمین مسافت دید و طراحی مناطق سبقت را نیز مشخص کردند.

۲-۲-۲-طول سبقت

به مقدار مسافت طی شده در یک سبقت موفق را طول سبقت می‌نامند که با متر اندازگیری می‌شود. با توجه به شکل ۲-۳ درصد سبقت گرفتن با افزایش سرعت نسبی و جداسازی خط مرکزی افزایش می‌یابد و با افزایش فاصله طولی کاهش می‌یابد. مسافت سبقت متاثر از رفتار رانندگان و مشخصات هندسی و ترافیکی وسیله نقلیه است. وسایل‌نقلیه در مسیر در حال حرکت خط مخالف را اشغال می‌کنند، که باعث افزایش تعاملات جانبی بین وسایل نقلیه می‌شود.



شکل۲-۳ طول سبقت ایمن

حسن و همکاران[1] (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به عوامل موثر بر رفتار سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه در جالان کلانج-کولای مالزی پرداختند. آنها در مطالعه به دنبال تعیین عوامل موثر بر سرعت وسیله نقلیه سبقت‌گرفته بودند. این مطالعه برای یک قسمت جاده مخصوص خودرو انجام شده است که صاف و مستقیم بوده به طوری که هیچ تاثیری از فاصله دید بر سبقت وجود نداشت. داده‌های رفتاری سبقت را با استفاده از دوربین فیلمبرداری ثبت کردند. که داده‌ها برای ایجاد ارتباط بین پارامترهای مختلف سبقت از نظر آماری

[1] Sitti Asmah Hassan et al

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آنها نشان دادند که پنج پارامتر با سرعت سبقت از خودرو همبستگی دارند، که شامل سرعت خودرو سبقت گرفته، زمان تصمیم گیری راننده، زمان سبقت، شتاب خودروی سبقت‌گیرنده و حاشیه ایمن که همه اینها پارامترهای مهم هنگام ایجاد مدل‌های شبیه‌سازی برای تحرکات ترافیک هستند. نتایج مطالعه نشان داد که سرعت سبقت از خودرو پیشرو تحت تأثیر سرعت ، زمان تصمیم‌گیری راننده، حاشیه ایمن، زمان سبقت و شتاب خودروی پیرو است.

جین و همکاران[1] (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی مدل تصمیم‌گیری برای سبقت چندگانه دوخطه دوطرفه براساس انواع خودرو پرداختند. با توجه به مدل سبقت، تنها محاسبه زمان و مسافت سبقت برای وسایل‌نقلیه از رفتار سبقت آنها مورد نیاز است. این مدل برای پیش‌بینی اهداف و موقعیت مکانی، برای بررسی اثربخشی الگوریتم مدل تصمیم‌گیری طراحی شده است. نتایج نشان می‌دهد که زمان و مسافت سبقت در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه ارتباط مستقیم با نوع خودرو، سرعت سبقت، سرعت وسیله سبقت و سرعت وسیله مقابل دارد. همچنین این نتایج بدست آمده به طور قابل توجهی با پدیده واقعی سبقت مطابقت دارد.

۲-۲-۳-زمان سبقت

مقدار زمان طی شده برای پیشی گرفتن از خودروی پیشرو را زمان سبقت می‌گویند. حداقل زمان برخورد، که به عنوان فرصت عبور باقیمانده بین وسیله نقلیه در حال عبور و وسیله نقلیه در حال حرکت در انتهای فرآیند زمان عبور تعریف می‌شود، که به نحوی بیانگر معیاری از ریسک در سبقت در حال انجام است. زمان و مسافت سبقت در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه ارتباط مستقیم با نوع خودرو، سرعت سبقت، وسیله سبقت، سرعت وسیله سبقت و سرعت وسیله مقابل دارد. با در نظر گرفتن توانایی خودروهای مختلف که نیاز به سبقت دارند، زمان و مسافت سبقت متفاوت است و تصمیمات متعدد در موقعیت‌های کلیدی فرآیند سبقت گرفته می‌شود.

[1] Qin, S. et al

کارلوس لورکا و همکاران[1] (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای، تاثیر سن و جنسیت بر روی دینامیک سبقت در جاده‌های اسپانیا را مطرح کردند. براساس داده‌های تجربی مانورهای سبقت جمع‌آوری شده با استفاده از یک ماشین مجهز به چهار دوربین، فاصله‌سنج‌های لیزری و یک ردیاب موقعیت‌یاب[2] بوده و تاثیر ویژگی‌های راننده و تاخیر در پذیرش فرصت، مدت‌زمان سبقت و تفاوت‌های سرعت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تفاوت‌هایی را در رفتار بین گروه‌های سنی و جنسیتی نشان داد، به طوری که رانندگان مرد جوان، رفتار پرخاشگرانه بیشتری از خود نشان داده‌اند. آنها مبنایی را برای بررسی معیارهای طراحی و توسعه سیستم‌های کمکی آینده فراهم کردند.

النی[3] (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با عنوان مدل‌سازی مدت سبقت در راه‌های دوخطه بیان کرده، که چه عواملی بر مدت‌زمان سبقت گرفتن در این راه‌ها تاثیرگذار است. در این تحقیق داده‌ها با استفاده از شبیه‌ساز رانندگی جمع‌آوری شده است و سپس با یک توزیع لجستیکی کل مدت زمان سبقت تعیین شده است. نتایج در این توزیع لجستیکی طول هر یک از مراحل سبقت را در ۷ ثانیه برای کل مدت سبقت، که ۳ ثانیه برای مرحله شتاب و ۴ ثانیه برای مرحله بازگشت به خط را نشان می‌دهد. مدل پیشنهادی‌شان با مطالعه رفتار سبقت در شرایط بحرانی راه و شرایط آب و هوایی، سطوح مختلف راه و همچنین تحت تأثیر وسایل¬نقلیه سنگین و سن و تجربه رانندگی را بهبود می‌دهد.

۲-۲-۴-زمان تصمیم‌گیری

سبقت‌ها مشروط به فاصله بین دو وسیله نقلیه متوالی در مسیر مخالف است. به مقدار زمان جهت مصاحبه بصری راننده برای تخمین مسافت جهت اقدام به سبقت را زمان تصمیم‌گیری تا اقدام به تغییر خط برای پیشی گرفتن از خودروی پیشرو می‌گویند. شروع سبقت را می‌توان با رفتار شتاب طبقه‌بندی کرد و پایان سبقت را می‌توان با رفتار کاهش تقسیم کرد. تصمیم‌گیری سبقت به شدت وابسته به رفتار فردی راننده است که می‌تواند در قالب یک عامل خطر در نظر گرفته شود. آمارها نشان می‌دهد حدود ۹۰ درصد

[1] Carlos Llorca et al
[2] GPS
[3] Eleni I. Vlahogianni

تصادفات با خصوصیات روانشناختی و رفتاری راننده‌ها ارتباط مستقیم دارد و ویژگی‌های رفتاری راننده، عوامل راه و محیطی و وسیله نقلیه را تحت الشعاع قرار میدهد. درصد سبقت گرفتن با افزایش سرعت نسبی و جداسازی خط مرکزی افزایش می‌یابد و با افزایش فاصله طولی کاهش می‌یابد. تصمیم‌گیری واقعی به شدت وابسته به رفتار فردی راننده است که می‌تواند در قالب یک عامل خطر در نظر گرفته شود.

جیکن و ریلر[1](۲۰۰۵) پیشنهاد کردند که مانورهای عبور را می‌توان براساس توصیف کمی از رفتار سبقت طبقه‌بندی کرد. آنها بیان داشتند که شروع سبقت را می‌توان با رفتار شتاب طبقه‌بندی کرد، و پایان سبقت را می‌توان با رفتار کاهش تقسیم کرد. نتاج پژوهش رفتاری آنها برای طبقه‌بندی مانورهای سبقت، بهبود در روش طبقه‌بندی است و می‌تواند برای اصلاح یا به روزرسانی معیارهای طراحی انجمن بزرگراه‌ها و مقامات حمل و نقل ایالات متحده (اشتو[2]) و دفترچه راهنمای دستگاههای کنترل ترافیک یکنواخت (ماتسد[3]) استفاده شود.

فراح و همکاران[4](۲۰۰۹) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی ریسک با مدل‌سازی رفتار سبقت در بزرگراه‌های دوخطه برون‌شهری، بیان داشتند که مانور سبقت در راه‌های دوخطه یک کار پیچیده است که تاثیر قابل‌توجهی بر ظرفیت، سطح سرویس و ایمنی دارد. این سبقت‌ها مشروط به فاصله بین دو وسیله نقلیه متوالی در مسیر مخالف است. حداقل زمان برخورد، که به عنوان فرصت عبور باقیمانده بین وسیله نقلیه در حال عبور و وسیله نقلیه در حال حرکت در انتهای فرآیند عبور تعریف می‌شود و بیانگر معیاری از ریسک در سبقت در حال انجام است. مدل براساس تحلیل تصمیمات حین عبور رانندگان در بزرگراه‌های برون-شهری دوخطه با استفاده از یک شبیه‌ساز رانندگی تعاملی بود. مجموعه داده تشکیل شده مورد تجزیه و تحلیل و پردازش قرار گرفت تا مدلی را طراحی کند که خطر مرتبط با رفتار عبور را پیش بینی می کند. نتایج نشان دادند مدل‌های رگرسیون در مقایسه با مدل‌های مربعات معمولی و مدل‌های مدت‌زمان مبتنی

[1] Jenkins and Rilett
[2] AASHTO
[3] MUTCD
[4] Haneen Farah et al

بر خطر، مناسب‌تر هستند. مشخص شد که متغیرهای مربوط به ترافیک مهم‌ترین تاثیر را بر اندازه‌گیری ریسک انتخابی دارند و عوامل مربوط به طراحی هندسی راه و ویژگی‌های رفتاری راننده نیز سهم قابل‌توجهی دارند.

کارلوس لورکا و همکاران[1] (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به توسعه یک مدل سبقتی میکروسکوپی برای تجزیه و تحلیل عملکرد ترافیک راه‌های دوخطه در اسپانیا پرداختند. نتایج ارائه شده آنها در بزرگراه‌های دوخطه بدین صورت بود، که پیچیدگی عبور و مرور و تداخل با ترافیک روبرو به مدل‌های نیاز دارد که در مطالعه‌شان بر توسعه یک مدل تصمیم در مورد سبقت و انجام سبقت پرداخته‌اند. با توجه به فاصله دید موجود بر روند پذیرش فرصت برای سبقت و امکان تشخیص رفتار راننده عبوری در مواجهه با سبقت را نشان می‌دهد، که در قسمت‌هایی که وسیله نقلیه زیادی باشد، میل کمتری برای سبقت گرفتن وجود داشته است.

بودکا و ماریا[2] (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی تصمیم‌گیری سبقت راننده در ترافیک خط ناهمگن پرداختند. براساس پارامترهایی مانند موقعیت‌های جانبی و طولی وسایل‌نقلیه پیشرو و سرعت آنها با استفاده از رگرسیون لجستیک تصمیم سبقت راننده را تخمین زدند. مدل‌های رگرسیون لجستیک برای داده‌های میدانی دو خودروی پیشرو و پیرو ساخته و تأیید شده‌اند. درصد سبقت گرفتن با افزایش سرعت نسبی و جداسازی خط مرکزی افزایش می‌یابد و با افزایش فاصله طولی کاهش می‌یابد. نتایج آنها نشان داد که برای پیش‌بینی سبقت گرفتن یا تصمیم‌گیری سبقت در شرایط ترافیکی مختلط توسعه مدل شبیه‌سازی بهتر کمک می‌کند.

۲-۲-۵-فاصله جانبی راه

به مقدار فاصله رعایت شده توسط رانندگان برای افزایش ایمنی در صف حرکتی و نیز رعایت فاصله ایمن نسبت به خط وسط تعیین کننده حریم راه‌های دوخطه دوطرفه فاصله جانبی راه گفته می‌شود، که رعایت آن منجرب به کاهش ریسک تصادفات در راه‌ها می‌شود. همچنین رعایت فاصله ایمن با وسایل نقلیه

[1] Carlos Llorca et al
[2] Anuj Budhkar & Akhilesh Kumar Maurya

در صف حرکتی در هنگام سبقت‌گرفتن خودروهای پیرو از خودروی پیشرو و نیز کاهش ترافیک راه یکی از دلایل برخورد از عقب در جاده‌های دوخطه دوطرفه می‌باشد که باید مورد توجه قرار بگیرد.

شریعت محیمنی و همکاران[1] (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به بررسی تکنیک‌های فیلمبرداری میدانی از مانورهای خطرناک سبقتی در راه‌های دوخطه دوطرفه پرداختند. برای شناسایی متغیرهای مهم و کشف نقاط تاثیرگذار متغیرها، از روش طبقه بندی و رگرسیون استفاده کردند. متغیرهای تاثیرگذار شامل مسافت عبور نکردن عرض جاده، سرعت متوسط و مدت زمان صرف شده در خودرو بعنوان مهمترین متغیرها مشخص کردند، و نیز عرض جاده کمتر از مقادیر استاندارد و افزایش سرعت متوسط باعث افزایش تعداد سبقت‌های خطرناک می شود. با نمودار طبقه بندی مهمترین متغیرهای اساسی را نیز به طور کارآمد شناسایی کردند. نتایج نشان داد که سبقت خطرناک بیشتر برای مسافت بدون سبقت بیش از ۱۶۵۰ متر اتفاق می‌افتد بنابراین باید از صف‌های طولانی جلوگیری شود و نیز برای راه‌هایی که از عرض استاندارد باریکتر هستند، تعریض خط لازمترین کار ممکن است.

کاشانی و همکاران[2] (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به شناسایی متغیرهای مهم تأثیرگذار بر مانور سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری در ایران پرداختند. داده‌ها با استفاده از روش جمع‌آوری داده‌های میدانی پر کردن پرسشنامه بود. برای شناسایی تأثیر هر متغیر بر نوع سبقت، از یک مدل رگرسیون لجستیک چند متغیره استفاده کردند. نتایج نشان داد که آموزش افراد با تحصیلات پایین هنگام دریافت گواهینامه رانندگی، باعث کاهش مانور سبقتی غیرمجاز و رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی خواهد شد، و همچنین ایجاد شانه‌های آسفالت برای مانور سبقت، می‌تواند با افزایش احتمال حرکت جانبی برای سبقت از وسایل نقلیه، خطر برخورد را کاهش دهد.

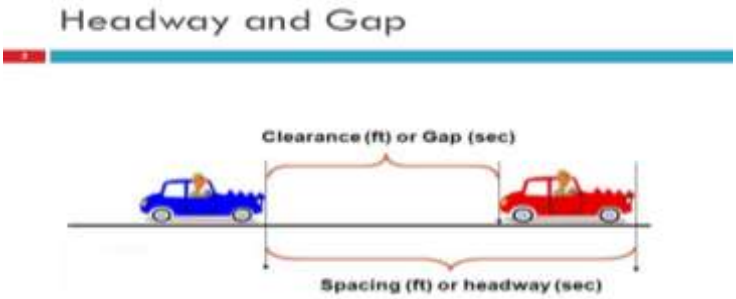
چالرتون[3] (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی یک خط اضافه در راه‌های برون‌شهری و تاثیر آن بر رفتارهای

[1] Shariat Mohaymany et al
[2] Kashani, A. T et al
[3] Samuel G.Charlton

راننده در هنگام سبقت در نیوزلند و نیز مقایسه آن با راه‌های دوخطه پرداخت. وی در تحقیقاتش نشان داد که توانایی عبور و مرور تحت تأثیر انواع پارامترهای حجم عبور و مرور محور مخالف، سرعت بین وسیله‌نقلیه پیشرو و وسیله نقلیه پیشی گرفته، هندسه بزرگراه، فاصله دید از عوامل موثر انسانی است، به ویژه فرهنگ ترافیک منطقه‌ای بر رفتار راننده تأثیر مستقیم دارد. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که وجود یک خط سوم مداوم عمدتاً بر انتخاب محور رانندگان تأثیر می‌گذارد. همچنین رانندگان را ترغیب به ادامه مسیر کرده که از عبور خطوط برای سبقت در خط مقابل جلوگیری شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای کنترل رفتارهای ناهنجار رانندگان در مانورهای سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه حضور راهنمایی و رانندگی ضروری است.

۲-۲-۶-سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی

سرفاصله زمانی بین خودروها از خصوصیات مهم رفتار رانندگی و جریان ترافیک است. که بر ایمنی ترافیک و سطح سرویس تأثیر بسزایی دارد. سرفاصله زمانی فاصله بین دو وسیله نقلیه در صف می‌گویند که از سطح مقطع یک راه عبور می کنند، و نیز سرفاصله مکانی از سپر جلو خودروی پیشرو تا سپر جلو خودروی پیرو اندازه گیری می شود. مطابق شکل ۲-۴ مشخص شده است.



شکل۲-۴ سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی و مقدار فاصله جلو به عقب بر حسب ثانیه

چاندرا و شوکلا[1] (۲۰۱۲)در مطالعه‌ای به بررسی رفتار سبقت‌ناموفق در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه تحت شرایط ترافیک مختلط در هند پرداختند. آنها دریافتند که وضعیت شانه آسفالت و غیر آسفالت بر رفتار راننده در هنگام سبقت تأثیر گذار است. بعلاوه فاصله طولی بین دو وسیله نقلیه که در یک خط حرکت

[1] Satish Chandra & Shalinee Shukla

می‌کنند، و حتی اندازه وسیله نقلیه انتهایی بر سرعت وسیله نقلیه در حال سبقت تاثیرگذار است. در واقع مطالعه‌شان برای درک رفتار سبقت از وسایل نقلیه در شرایط ترافیکی مختلط مفید است.

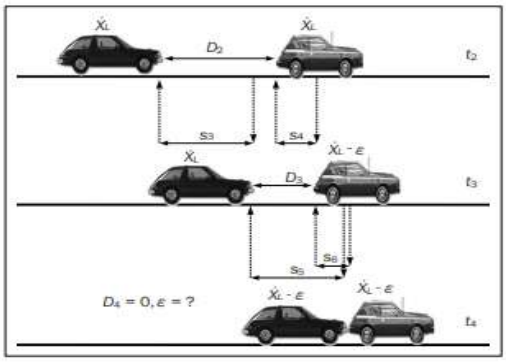
توماس ریچتر و همکاران[1] (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با عنوان پیشگیری از تصادفات سبقتی در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری در آلمان را مطرح کردند، هدف‌شان از این مطالعه، تعیین متغیرهای ترافیکی که بر وقوع سبقت‌های حادثه‌ساز تاثیر می‌گذارند بود. آنها تجزیه و تحلیل‌های میکروسکوپی مربوط به کنترل رفتار سبقت انجام دادند، که نواقص مهمی را در بخش‌های جاده با فاصله زمانی ناکافی برای سبقت گرفتن را مشخص کنند. نتایج به دست آمده از مطالعه‌شان به ارائه توصیه‌های ایمنی از طرف مراجع رسمی برای رانندگان انجامید، که تاثیرات مفیدی بر عملکرد سبقت دارد و به افزایش ایمنی در راه‌های دوخطه دوطرفه برون شهری کمک خواهد کرد.

محمود و همکاران[2] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی رفتار سبقتی خطرناک در بزرگراه‌های برون‌شهری با محیط ترافیکی ناهمگن در بنگلادش که یک کشور در حال توسعه است پرداختند. در مطالعه‌شان ماهیت سبقت و خطر ایمنی مرتبط با آن در راه‌های دو خطه دو طرفه توسط دوربین های فیلمبرداری ثابت و ناظران در یک محیط ترافیکی ناهمگن با پارامترهای مدت و فاصله سبقت گرفتن و همچنین فاصله های زمانی و مسافتی بین وسایل نقلیه موردنظر ارزیابی شده است. مشخص شد که تنها تعداد کمی از رانندگان از چراغ راهنمای خودروی خود برای تغییر خط یا گرفتن مانور سبقت استفاده می‌کنند. همچنین بسیاری از رانندگان برای برقراری ارتباط با سایر رانندگان از بوق استفاده می‌کنند. همچنین در حدود پنجاه درصد موارد، رانندگان مشکل تخمین مسافت دارند به صورتی که وسیله‌نقلیه مقابل مجبور به کاهش سرعت بود تا از برخورد جلوگیری کند. یافته‌های آنها برای تهیه یک مدل شبیه‌سازی ایمنی ترافیک برای تجزیه و تحلیل و همچنین اقدامات متقابل موثر برای بهبود ایمنی در راه‌های کشورهای در حال توسعه مفید است.

[1] Thomas Richter et al
[2] Mahmud, S. S et al

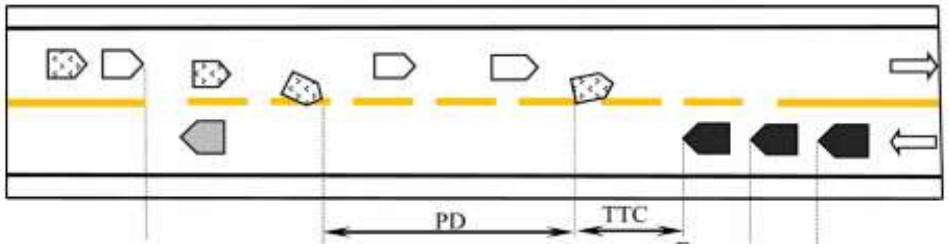
۲-۲-۷-زمان تا برخورد(TTC)

حداقل زمان برخورد، که به عنوان فرصت عبور باقیمانده بین وسیله نقلیه در حال عبور و وسیله نقلیه در حال حرکت در انتهای فرآیند عبور تعریف می‌شود. که در فرآیند سبقت احتمال برخورد جلو به عقب مطابق شکل ۲-۵ همیشه امکان دارد. اگر مسیر و سرعت خودروها به صورت ثابت حفظ شود، TTC به عنوان زمان باقیمانده قبل از برخورد تعریف می‌شود. TTC به خطر قریب الوقوع اشاره دارد.



شکل۲- ۵ برخورد جلو به عقب

تصمیم برای شروع سبقت به عنوان تابعی از درک هر راننده از زمان انتظار برای TTC با نزدیکترین وسیله مخالف در پایان مانور بیان می‌شود. با توجه به شکل ۲-۶ زمان برخورد در سطح مقطع اندازه گیری می‌شود.



شکل۲-۶ سرفاصله زمانی، سرفاصله مکانی و زمان تا برخورد(TTC)

وان و همکاران[1] (۱۹۹۳) در مطالعه‌ای به بررسی سیستم‌های پیش‌گیری از برخورد و کاهش زمان برخورد پرداخته‌اند. در مطالعه‌شان با استفاده از معیار زمان برخورد TTC برای فعال کردن سیستم پشتیبانی راننده، مانند CAS به منظور کاهش برخوردهای جلو به عقب در راه‌ها پرداختند. کاهش شرایط مناسب

[1] Van Der Horst et al

دید باعث تصادف وسایل‌نقلیه می‌شود. نتایج آزمایشات این پژوهش به اثبات زمان ۴ ثانیه‌ای TTC در شرایط نامطلوب مه و بارانی اشاره دارد. همچنین بررسی‌هایشان نشان می‌دهد معیار TTC در محدوده ۴/۵ تا ۵ ثانیه برای فعال سازی در سیستم CAS بهتر است، به خصوص در دامنه دید بین ۴۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت سرعت رانندگی که می‌بایست هنگام تهیه CAS باید به این محدوده فاصله توجه شود.

میندرهوت[1] (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای جهت ارزیابی ایمنی ترافیک راه به بررسی مقدار زمان تا برخورد پرداخته است. که در مطالعه خود شاخص ایمنی براساس مفهوم زمان تابرخورد را مناسب برای تجزیه و تحلیل مقایسه ایمنی ترافیک جاده توصیف می‌کند. استفاده از شاخص‌های ایمنی مشتق شده برای ارزیابی تأثیرات ایمنی بالقوه سیستم‌های پشتیبانی راننده نشان داد، که سیستم کنترل خودکار هوشمند سفر(AICC) در بحث ایمنی بسیار مهمتر از مورد بدون این سیستم‌ها هستند. AICC قادر است به طور فعال از راننده در فاصله گرفتن و یکسان سازی سرعت پشتیبانی کند، بنابراین راحتی راننده را افزایش می‌دهد در حالی که بر عملکرد راننده تأثیر می‌گذارد. درک نقش تعیین کننده ابزار شبیه سازی کاربردی در تجزیه و تحلیل تأثیرات ایمنی مهم است. با کمک طرح‌های AICC ایمنی در ترافیک در راستای حفظ TTC افزایش می یابد. مقادیر بدست آمده از شرایط مختلف را نمی‌توان به راحتی با توجه به ویژگی‌های مختلف رانندگی در مورد یک وسیله‌نقلیه کاملا کنترل شده با سیستم هوشمند مقایسه کرد.

صفارزاده و همکاران[2] (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با ارائه یک فرمول کلی برای شاخص ایمنی زمان برخورد جهت تشخیص تصادف‌های جلو به عقب را مطرح کردند. ضعف عمده مفهوم زمان برخورد تصور سرعت‌های ثابت در حین تصادف است. آنها در مطالعه‌شان از معادلات حرکت برای ایجاد یک فرمول کلی برای زمان برخورد با فرض سرعت ثابت، شتاب ثابت و غیره استفاده کرده‌اند. سپس زمان تصادف براساس فرض سرعت ثابت، شتاب ثابت و شتاب خطی برای وسایل نقلیه پیشرو و پیرو محاسبه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که در حالت سوم (شتاب خطی)، میانگین مدت زمان قرارگیری در معرض زمان بحرانی مقادیر برخورد بیشتر

[1] Minderhoud
[2] Saffarzadeh et al

از موارد دیگر است. بنابراین، استفاده از زمان برای تصادف براساس فرض شتاب گیری خطی در سیستم‌های جلوگیری از برخورد، خطاهای راننده را بیش از سایر موارد کاهش می‌دهد.

چن و همکاران[1] (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با طراحی سیستم هشدار برخورد جلو به عقب با در نظر گرفتن فاصله ترمز ایمن تا زمان برخورد پرداختند. الگوریتم جدید آنها با در نظر گرفتن زمان برخورد TTC و فاصله ترمز ایمن برای سیستم هشدار برخورد جلو به عقب در حفظ فاصله ترمز ایمن برای جلوگیری از تصادفات رانندگی در جاده‌ها ارائه کرده‌اند. فاصله ترمز و ایمنی TCC را براساس مهمترین پارامترها شامل: محاسبه فاصله بین خودرو راننده و وسیله‌نقلیه پیشرو، وزن خودرو، سرعت وسیله‌نقلیه، شیب جاده، وضعیت سطح جاده و سن راننده انجام داده‌اند. این سیستم فاصله وسیله‌نقلیه پیشرو و فاصله ترمز ایمن و زمان واکنش راننده و زمان جمع شدن فشار سیستم ترمزگیری همه را محاسبه می‌کند، پیام‌های هشدار می‌توانند به عنوان یک سیستم کمک ایمنی برای رانندگی ایمن در بزرگراه‌ها عمل کنند.

بهبهانی و همکاران[2] (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با توسعه یک مدل شاخص جدید ایمنی جایگزین براساس مطالعات حرکتی در سیستم CAS جهت جلوگیری از تصادف، برای کاهش خطاهای راننده و جلوگیری از برخوردهای جلو به عقب پرداختند. یکی از مهمترین شاخص‌های ایمنی برای تشخیص تصادفات جلو به عقب، زمان تا برخورد TTC است. تاکنون شاخص‌های ایمنی جایگزین متفاوتی از TTC مشتق شده که از جمله می‌توان به TET و TIT اشاره کرد. اما در مطالعه حاضر یکی شاخص ایمنی جدید بر پایه مفهوم TTC توسعه داده شده است. این شاخص TET و TIT را به یک شاخص تبدیل و یک نمره بین ۰ تا ۱۰۰، به عنوان احتمال ریسک برخورد جلو به عقب ارائه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد بکارگیری CAS به عنوان یک شاخص ایمنی بسیار مفیدتر از TET وTIT اثبات کرده اند.

جین و همکاران[3] (۲۰۱۴)در مطالعه‌ای به ارزیابی ایمنی ترافیک بزرگراه‌ها پکن با استفاده از مدل

[1] Yuan-Lin Chen et al
[2] Behbahani, H et al
[3] Sheng Jin et al

ترکیبی گوس براساس زمان برخورد در جهت بهبود ایمنی ترافیک پرداختند. آنها در مطالعه‌شان، ابتدا نمونه‌های زمان برخورد TTC از فیلم‌های ترافیکی با شرایط مختلف تحلیل کردند. با استفاده از توزیع GMM، نمونه‌های TTC را به سه دسته موقعیت‌های خطرناک، موقعیت‌های ایمن نسبی و شرایط ایمن مطلق تقسیم کرد. سپس به معرفی یک مفهوم جدید از درصد تصادف‌های شدید ترافیکی به عنوان درصد نمونه‌های TTC بر مقدار آستانه از پیش تعیین شده در شرایط خطرناک پرداخته شده است، که نتایج شامل موارد زیر است:

۱-مقدار آستانه TTC تأثیر بسزایی در ارزیابی ایمنی دارد.

۲-ایمنی ترافیک بزرگراه در بخش‌های شلوغ کمتر از خطوط اصلی است.

۳-درصد تداخلهای ترافیکی در خطوط میانی بیشتر از خطوط کناری و شانه است.

مجید دژ و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی تطبیقی مسافت دید سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه در ایران موثر است را مطرح کردند. یکی از عوامل مهم در طرح هندسی راه‌های دوخطه مسافت دید سبقت است که در تعیین ظرفیت و سطح سرویس این راه‌ها نیز موثر است. مسافت دید سبقت متاثر از رفتار رانندگان و مشخصات هندسی و ترافیکی وسیله‌نقلیه می‌باشد. در پژوهش‌شان با برداشت اطلاعات با استفاده از اتومبیل متحرک، از تعدادی از جاده‌های دوخطه دوطرفه کشور، واقع در شمال، مناطق مرکزی، غرب و جنوب کشور و در شر ایط توپوگرافی مختلف دشت و تپه ماهور به عنوان نمونه‌ای از کل؛ اقدام به تعیین فاصله دید سبقت نمودند. سپس این نتایج را با فواصل دید سبقت اعلام شده از سوی سایر کشورها مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان داد که فواصل دید سبقت در کشورمان اگرچه در سرعت‌های پایین تفاوت چندانی با سایرکشورها ندارد اما در سرعت‌های بالا این مسأله تایید نمی‌گردد. دلایل این امر می‌تواند جوان بودن رانندگان در مقایسه با سایر کشورها و عدم برخورد جدی با تخلفات رانندگان از سوی پلیس وهمچنین ترافیک سنگین جاده‌ها، که رانندگان را مجبور به انجام سبقت‌هایی با عجله و در فواصل کمتر می‌کند، دانستند.

بهبهانی و ندیمی[1] (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای قوانینی برای اعمال اقدامات ایمنی جانشین برای معارض جانبی مطرح کردند. با توجه به اینکه تاکنون، وسایل مختلف کنترل ایمنی تولید شده است، اما بیشتر آنها برای تصادفات از عقب مناسب هستند. آنان در مطالعه‌شان با بررسی تصادفات ترافیکی به کمک SSM که می‌تواند به عنوان یک روش غیر مستقیم برای ارزیابی ایمنی استفاده شود اشاره کردند. همچنین قوانین جدیدی برای محاسبه خطر برخورد با خودرو در هر لحظه براساس SSM ارائه شده است. برای این منظور، زمان برخورد(TTC) و زمان پس از تصادف (PET) به عنوان مهمترین شاخص‌های مبتنی بر زمان برای محاسبه این شاخص‌ها ارائه شده است. کاربرد چارچوب توسط داده‌های میکروسکوپی ترافیک برای یک جاده شریانی اعمال شده است. این چارچوب ارائه شده توسط داده‌های میکروسکوپی ترافیک، برای یک راه اصلی دارای سه کاربرد اصلی زیر است:

۱- سیستم هشدار دهنده CAS

۲- تعیین کننده موقعیت‌های خطرناک GPS

۳- شناسایی رانندگان متخلف

کریستفر و همکاران[2] (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با توزیع فراوانی زمان برخورد در هنگام استفاده از ترمز در خودروهای پیروی که در هنگام رانندگی ترمز را به صورت عادی اعمال می‌کنند پرداختند. به منظور شناسایی موقعیت‌های سرفاصله زمانی و TTC در هنگام استفاده از ترمز، یک سیستم ابزار دقیق خودکار برای جستجوی داده‌های بر روی خودرو بود است. با مقایسه وسیله‌نقلیه شناسایی شده توسط سیستم و بررسی دستی فیلم و داده توسط تحلیلگران الگوریتم آنها تأیید شد. نتیجه مطالعه محاسبه توزیع TTC در استفاده از ترمز در سرعت حرکت خودرو بین ۱ مایل در ساعت و ۶۰ مایل در ساعت بود. سپس مشخص شد که رانندگان جوان در مقایسه با راننده‌های مسن‌تر TTC پایین‌تری دارند. نتایج نشان می‌دهد که رانندگان در گروه سنی جوان‌تر (۱۸-۲۰ سال) در مقایسه با گروه سنی متوسط (۳۱-۵۰) و بالغ (۵۱+) به

[1] Hamid Behbahani & Navid Nadimi

[2] Kristofer D. Kusano et al

طور قابل توجهی TTC پایین‌تری دارند، و همچنین مردها TTC پایین‌تری نسبت به زنان دارند.

شفابخش و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به شناسایی عوامل موثر در رفتار رانندگان به هنگام سبقت در جاده‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری در بحث ایمنی راه‌ها پرداختند. آمارها نشان می‌دهد حدود ۹۰ درصد تصادفات با خصوصیات روانشناختی و رفتاری راننده‌ها ارتباط مستقیم دارد و ویژگی‌های رفتاری راننده، عوامل محیطی راه و وسیله‌نقلیه را تحت الشعاع قرار می‌دهد. هدف آنها از پژوهش‌شان بررسی و مدل‌سازی رفتار رانندگان به هنگام سبقت در جاده‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری بود. رفتار رانندگان در تصمیم به سبقت با عوامل متعددی از جمله جنسیت، سن، شغل، میزان تحصیلات و خصوصیات فردی و روانی آنها مرتبط است. در تحقیق‌شان از رانندگان جاده تهران- قم که اقدام به سبقت غیر مجاز نموده بودند، پرسشنامه دموگرافیک گرفتند و با رفتار رانندگی ثبتی تصادفات جاده‌ای بانک اطلاعاتی پلیس راه، مقایسه کردند. تحلیل نتایج مدل‌سازی نشان از اهمیت رفتار و خصوصیات فردی رانندگان در هنگام سبقت-گیری و میزان و نحوه تاثیرگذاری این خصوصیات رفتاری در نحوه سبقت‌گیری و تصادفات سبقت دارد. نتایج نشان می‌دهد ویژگی‌های سن، جنسیت، شغل و میزان تحصیلات راننده‌ها را می‌تواند به عنوان ابزاری برای پالایش رفتارهای پرخطر سبقت مورد استفاده قرار داد.

موسیگ و همکاران[1] (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به ارزیابی ریسک سبقت در راه‌های دوخطه برون‌شهری و کاربرد آن در مناطق عبوری اوگاندا پرداختند. عبور و مرور در راه‌های دو خطه برون‌شهری با خطرات ناشی از تصادف روبرو در هنگام سبقت در جهت مخالف همراه است. در مطالعه‌شان با استفاده از زمان‌برخورد (TTC)به عنوان یک اندازه‌گیری ایمنی جانشین خطر در ارتباط با مانورهای عبور پرداخته‌اند. داده‌ها برای طراحی مدل با استفاده از فیلمبرداری از ۱۹منطقه جمع‌آوری شده است. مدلهای رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی احتمال پایان دادن به مانور عبوری با TTC کمتر از ۲ یا ۳ ثانیه با استفاده از فاصله زمانی، از زمان شروع مانور تا رسیدن وسیله نقلیه مقابل و مدت زمان عبور به عنوان توزیع برای TTC تهیه شده

[1] Godfrey Mwesige et al

است. نتایج نشان داد که عبور مانورهای تکمیل شده با TTC کمتر از ۳ ثانیه خطرناک است و اغلب شامل کاهش ناگهانی سرعت و انحراف خودروی مقابل به شانه‌ای راه می‌شود. تحلیل مدل برای مدت زمان عبور شامل خودروهای مسافربری یا کامیونهای کوچک (۲-۳ محور) و کامیونهای بزرگ (۴-۷ محور) به عنوان وسایل نقلیه عبوری با ۳ ثانیه آستانه TTC انجام شده است. سطح خطر احتمالی براساس تکمیل مانورهای عبور با TTC کمتر از ۳ ثانیه برای طیف وسیعی از حجم ترافیک جهت مخالف ارائه شده است.

ندیمی و همکاران[1] (۲۰۱۶)در مطالعه‌ای به کالیبراسیون و اثرسنجی یک روش جدید ایمنی برای جایگزینی زمان برخورد با استفاده از سیستم استنباطی پرداختند. زمان برخورد(TTC) و زمان پس از گذر (PET) دو SSM مهم مبتنی بر زمان هستند که احتمال برخورد از عقب را تشخیص می‌دهند. TTC به خطر قریب الوقوع اشاره دارد و PET به معنی خطر بالقوه است. نتایج به دست آمده از هر شاخص متفاوت است و این مقاله مدل جدیدی را ارائه می‌دهد که ویژگی‌های هر دو شاخص را در بر دارد. از آنجا که MI پارامترهای اصلی میکروسکوپی خودرو را به طور همزمان اعمال می‌کند، می‌تواند خطر بالقوه ناشی از تغییر در حرکت خودرو را تشخیص دهد. به منظور توسعه این MI، سه پارامتر اصلی میکروسکوپی، فاصله دید، سرعت و سرعت نسبی، به طور همزمان بر روی وسیله نقلیه پیشرو اعمال می‌شود. برای کالیبراسیون MI، براساس یک سیستم استنباطی (FIS)، مقداری با ترکیبی از TTC و PET در هر لحظه تعیین می‌شود و سپس با تجزیه و تحلیل رگرسیون پارامترهای مدل تعیین می‌شود. سرانجام، مقادیر MI، TTC و PET برای خودروهای پیرو در بزرگراه‌ها تعیین و مقایسه می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که MI می‌تواند در تشخیص خطر برخورد از عقب را در زمان مناسب و با خطاهای کمتر و دقت بالاتری پیش‌بینی کند.

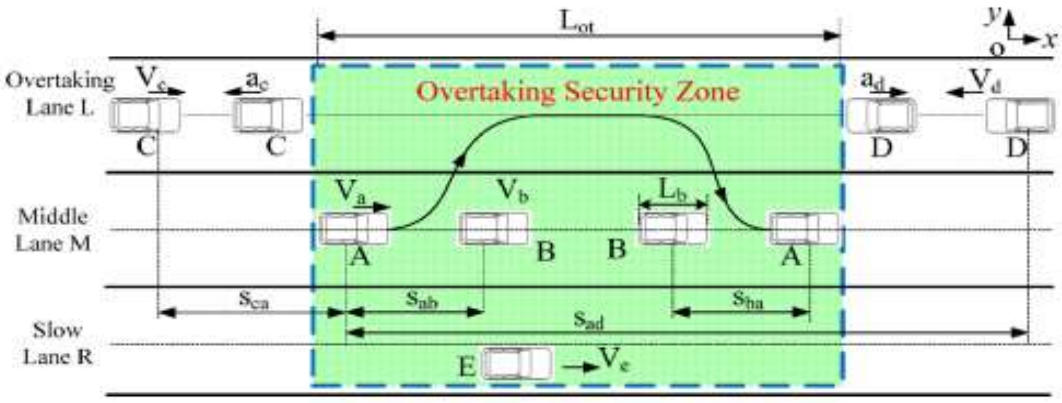
قدس و فرانک[2] (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به توسعه و ارزیابی مدل پذیرش فاصله سبقت میکروسکوپی در بزرگراه‌های دوخطه پرداختند. تصمیم برای شروع سبقت به عنوان تابعی از درک هر راننده از زمان برخورد TTC با نزدیکترین وسیله‌نقلیه محور مخالف در پایان مانور بیان می‌شود. با شبیه‌سازی رفتار سبقت در

[1] Navid Nadimi et al
[2] Ghods, A. H., & Saccomanno, F. F.

بزرگراه‌های دو خطه دریافتند که برداشت راننده از TTC آستانه تحمل تعیین شده برای بازگشت خودرو به محور خود (TTC بحرانی) عبور کند، فاصله موجود پذیرفته شده سبقت موفق می‌نامند. مدل پذیرش فاصله براساس سبقت گرفتن با تحلیل داده‌های فیلم‌ضبط شده برای یک بزرگراه دو خطه کالیبره و اثرسنجی می‌شود. سپس مدل پذیرش فاصله سبقت، برای سازگاری و قابلیت انتقال، با داده‌های میدانی مستقل و همچنین با دو مدل شبیه‌سازی دیگر و مقادیر داده شده در آیین‌نامه راهنمای ظرفیت بزرگراه برای بزرگراه‌های دوخطه مقایسه می‌شود. شبیه‌سازی پذیرش فاصله نشان داد که مدل سبقت غیرمجاز پیشنهادی قادر به ارائه اقدامات قابل اعتماد از ویژگی‌های ترافیکی برای عملکرد بزرگراه دوخطه است، که به صورت تجربی تأیید شده است.

چان و همکاران[1] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای تحت پیش‌بینی احتمال برخورد برای سبقت براساس TTC و روش تخمین احتمال برخورد را مطرح کردند. آنها در مطالعه خود به مدل احتمال و روش رفتار سبقت با استفاده از فناوری ارتباطات بین خودرویی پرداخته‌اند. نوآوری اصلی کارشان ادغام یک مدل احتمال برخورد با روش سبقت است. به طور دقیق، فرآیند سبقت به دو مرحله پی در پی تقسیم می‌شود، مرحله نزدیک شدن و مرحله پیشی گرفتن. در مرحله نزدیک شدن، فرض خطی بین احتمال برخورد و زمان برخورد TTC برای محاسبات پیشنهاد شده است. در حالی که در مرحله پیشی گرفتن، مطابق شکل ۲-۷ از روش ریسک احتمال بررخورد به عنوان شاخص ایمنی برای ریسک احتمال برخورد استفاده می‌شود. نتایج آنها نشان داد که تصمیم‌گیری رفتار صحیح راننده در جلوگیری از برخورد با وسایل نقلیه مجاور، در روش پیشنهادی برای دقت بهتر کفایت می‌کند.

[1] Chen, J et al



شکل۲-۷ تخمین احتمال برخورد

ندیمی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به ارزیابی زمان برخورد و ارائه یک روش جدید جهت اقدامات ایمنی جایگزین برای کاربرد آن در تجزیه و تحلیل‌های ایمنی در ایران، را پرداختند. داده‌های میکروسکوپی ترافیک جمع‌آوری شده در بزرگراه‌های تهران در این پژوهش اعمال شده است. نتایج نشان داده که تفاوت زیادی بین نتایج مدلهای مختلف TTC برای پیش‌بینی احتمال برخورد وجود دارد. در مطالعه‌شان به بررسی ایمنی خودروهای خودران در آینده، در جلوگیری از برخورد با اشیا یا وسایل‌نقلیه دیگر در جریان ترافیکی پرداخته‌اند. سیستم‌های هوشمند هشدار جلوگیری از برخورد (IVCAWS) می‌تواند به کاهش خطر برخورد کمک کند. این سیستم در هر زمان براساس نوع برخورد و حرکت می‌تواند TTC را محاسبه کند. آنها روش‌شان را برای بررسی خودرو و تغییر مسیر مورد ارزیابی قرار دادند و با مدلهای قبلی TTC مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش جدید برای محاسبه TTC، با استفاده از مختصات وسایل‌نقلیه با سیستم هوشمند مورد نظر می‌تواند TTC را به صورت فعال و در هر مرحله زمانی محاسبه کند.

والی و همکاران[1] (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای تحت عنوان رابطه بین رفتار رانندگی در زمان برخورد و شدت صدمه در تصادف در یک محیط رانندگی واقعی عنوان داشتند، که تغییرات در تصمیمات رانندگی به عنوان یک شاخص کلیدی در رانندگی خطرناک مشخص کننده است. در مطالعه‌شان روابط بین رفتار رانندگی در

[1] Behram Wali et al

زمان برخورد و شدت آسیب تصادف را بررسی کردند. تجزیه و تحلیل‌هایشان را با استفاده از داده‌های رانندگی براساس زمان برخورد انجام دادند. به طور کلی، از نظر آماری همبستگی مثبت مشخصی بین اقدامات رفتاری و نتایج وجود دارد. یافته‌ها حاکی از آن است که رفتار بیشتر رانندگی (هم در جهت طولی و هم در جهت جانبی) زمان برخورد احتمالی وقوع حوادث و همچنین شدت تصادفات را افزایش می‌دهد.

۲-۳-جمع‌بندی فصل

با بررسی مطالعات پیشین می‌توان نشان داد که مطالعه‌ای به صورت جامع به ارزیابی و اثرگذاری متغیرهای رفتاری سبقتی راننده نظیر پارامترهای صف[۱]، سرفاصله زمانی[۲]، سرفاصله مکانی[۳]، فاصله جانبی[۴]،زمان تصمیم‌گیری[5] سبقت، طول سبقت[۶]، زمان سبقت‌گیری در راه‌های دوخطه بر زمان بحرانی برخورد جلو به عقب در دسته صف پرداخته است. سپس در انتهای این فصل خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده را در جداول ۲-۱ تا ۲-۸ نشان داده شده است.

بر خلاف مطالعات قبلی، این پژوهش در نظر دارد تا مقدار زمان بحرانی برخورد جلو به عقب را در راه‌های دوخطه تحت تأثیر رفتار سبقتی رانندگی در دسته صف ارائه دهد. همچنین از نوآورهای دیگر این پژوهش، ارائه مدل دینامیکی دیفرانسیلی احتمالاتی ریسک مبتنی بر اثرگذاری رفتارهای سبقتی در دسته صف بر زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف با استفاده از داده‌های میدانی[۷] است تا بتوان براساس این مقدار، شاخص زمان تا تصادف جلو به عقب را در راه‌های دوخطه پیش‌بینی کرد. همچنین از نوآوری‌های دیگر پژوهش حاضر محاسبه مقدار ریسک ناشی از برخورد جلو به عقب مبتنی بر مقدارهای احتمال ریسک و اثرگذاری متغیرهای رفتاری رانندگان در دسته صف می‌باشد.

[1] Platoon
[2] Time headway
[3] Space headway
[4] Lateral placement
[5] Decision time
[6] Overtaking distance
[7] Field data

جدول۲-۱ مطالعات مربوط به سبقت

نویسندگان	سال	زمینه پژوهش	موضوع مطالعه	خلاصه نتایج
پولس و همکاران	۲۰۰۰	سبقت-ایمنی رفتاری-مدل‌سازی	ارزیابی روند سبقت در راه‌های دوخطه برون شهری	فاصله دید مورد نیاز برای سرعت‌های مختلف و ترکیب‌های مختلف ترافیک را با جنبه‌های مربوط به ایمنی ارزیابی کردند.
وانگ و همکاران	۲۰۰۸	ایمنی سبقت	ارتقا ایمنی برای راه‌های دوخطه دوطرفه	توسعه اقدامات متقابل در جهت کاهش تصادفات راه-های دوخطه دوطرفه باید انجام شود.
طباطبایی و همکاران	۱۳۹۰	ایمنی-رفتاری سبقت زمان برخورد	افزایش ایمنی سبقت در راه های دوخطه	مشخص نمودن مناطق سبقت آزاد و حاشیه ایمن از راه‌کارهایی عملی برای بهبود ایمنی راه‌های دوخطه دوطرفه می‌باشند.
آتمب و همکاران	۲۰۱۶	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی	عوامل انگیزشی مؤثر در تصمیم‌گیری رانندگی ناایمن	در بررسی شان مشخص شد، که تصمیم رانندگان غنایی برای تخلف در سبقت غیر مجاز شایع‌ترین از سبقت مجاز است.
آسیتهامبی و شروانی	۲۰۱۷	ایمنی رفتاری سبقت	بررسی رفتار سبقتی در شرایط ترافیکی مختلط غیر خطی	یافته‌های این مطالعه را می‌توان برای تخمین زمان برخورد احتمالی در جهت بهبود ایمنی راه استفاده کرد.
محمود و همکاران	۲۰۱۹	ایمنی رفتاری سبقت مدل‌سازی	بررسی کاربرد مدل شبیه‌سازی ایمنی در ترافیک ناهمگن	داده‌های رانندگی نزدیک به واقعیت در محیط‌های ترافیکی ناهمگن غیر خطی با استفاده از تکنیک‌های برخورد با شاخص‌های مختلف می‌تواند یک گزینه مفید باشد.
فیگورا و همکاران	۲۰۲۰	ایمنی رفتاری سبقت مدل‌سازی	بررسی عوامل مؤثر بر سبقت در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه	بررسی تعداد برخوردهای روبرو پارامتر مهمی در توسعه مدل‌های شبیه‌سازی ترافیک و برآورد ظرفیت است، و همچنین پیامدهای تخمین مسافت دید و طراحی مناطق سبقت را می‌توان مشخص کرد.

جدول۲-۲ مطالعات مربوط به طول سبقت

نویسندگان	سال	زمینه پژوهش	موضوع مطالعه	خلاصه نتایج
حسن و همکاران	۲۰۱۴	ایمنی رفتاری سبقت مدل‌سازی	عوامل موثر بر رفتار سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه مالزی	پنج پارامتر با سرعت سبقت از خودرو همبستگی دارند که شامل: سرعت خودرو سبقت گرفته، زمان تصمیم-گیری راننده، زمان سبقت، شتاب خودروی سبقت-گیرنده و حاشیه ایمن، که پارامترهای مهم در ایجاد مدل‌های شبیه‌سازی برای رفتار ترافیک هستند.
کریانی و همکاران	۲۰۱۶	ایمنی رفتاری سبقت مدل‌سازی	ارزیابی فاصله دید در سبقت با اندازه‌گیری سرعت به کمک تکنولوژی لیزری	مدل ارائه شده، مانورهای وسیله نقلیه را در مرحله سبقت و مقادیر متناسب با PSD را با مقادیر اندازه-گیری شده در طی یک نظرسنجی تأمین می‌کند.
جین و همکاران	۲۰۲۰	ایمنی رفتاری سبقت	مدل‌سازی رفتار سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه	زمان سبقت و مسافت در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه ارتباط مستقیم با نوع خودرو، سرعت سبقت، سرعت وسیله سبقت و سرعت وسیله مقابل دارد.

جدول۲-۳ مطالعات مربوط به زمان سبقت

نویسندگان	سال	زمینه پژوهش	موضوع مطالعه	خلاصه نتایج
کارلوس و همکاران	۲۰۱۳	ایمنی رفتاری سبقت	تاثیر سن و جنسیت بر روی دینامیک سبقت	با تحلیل‌شان مبنایی را برای بررسی معیارهای طراحی و توسعه سیستم‌های کمکی آینده فراهم کرده‌اند.
النی	۲۰۱۳	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی مدت زمان سبقت	مدل‌سازی مدت زمان سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه	مدل پیشنهادی با بررسی رفتار سبقت در شرایط بحرانی راه و شرایط آب و هوایی، سطوح مختلف راه و همچنین تحت تأثیر وسایل نقلیه سنگین و سن و تجربه رانندگی را بهبود می‌دهد.
ژاو و همکاران	۲۰۱۸	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی	مدل سازی تعیین زمان سبقت در ایمنی وسایل‌نقلیه	یک مدل شبیه‌سازی غیر خطی با اتخاذ یک روش دینامیک معکوس و حل آن با روش درجه دوم برای تعیین حداقل زمان سبقت خودرو جهت ایمنی وسایل‌نقلیه بدون سرنشین را طراحی کردند.
چودهاری‌و همکاران	۲۰۲۰	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی مدت زمان سبقت	مدل‌سازی زمان سبقت در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه ترافیک مختلط هند	تأثیر انواع خودرو بر توسعه مدل‌سازی زمان و مسافت لازم برای سبقت‌گرفتن و اختلاف سرعت بین وسایل‌نقلیه سبقت گرفته غیرمجاز مشاهده شده است.

جدول۲-۴ مطالعات مربوط به زمان تصمیم‌گیری

نویسندگان	سال	زمینه پژوهش	موضوع مطالعه	خلاصه نتایج
جانکن و ریلر	۲۰۰۵	ایمنی رفتاری سبقت	طبقه‌بندی مانورهای عبوری براساس رفتار سبقت	شروع سبقت را می‌توان با رفتار شتاب طبقه‌بندی کرد و پایان سبقت را می‌توان با رفتار کاهش تقسیم کرد.
فراح و همکاران	۲۰۰۹	ایمنی رفتاری سبقت مدل‌سازی	مدل‌سازی رفتار سبقت در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه برون شهری	متغیرهای مربوط به ترافیک مهم‌ترین تاثیر را بر اندازه‌گیری ریسک انتخابی دارند، عوامل مربوط به طراحی هندسی راه و ویژگی‌های رفتاری راننده‌ها نیز سهم قابل‌توجهی دارند.
کارلوس و همکاران	۲۰۱۴	ایمنی رفتاری سبقت مدل‌سازی	مدل‌سازی میکروسکوپی سبقت برای تحلیل عملکرد در راه‌های دوخطه دوطرفه	تأثیر فاصله دید بر روند پذیرش فرصت برای سبقت و امکان تشخیص رفتار راننده عبوری در سبقت از قسمت‌های که وسیله نقلیه زیادی وجود داشته است، میل کمتری برای سبقت گرفتن داشته‌اند.
بودکا و مادیا	۲۰۱۷	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی	مدلسازی تصمیم سبقت گرفتن در ترافیک منظم خط ناهمگن و ضعیف	پیش‌بینی سبقت گرفتن یا تصمیم‌گیری در شرایط ترافیکی مختلط، برای توسعه مدل شبیه‌سازی مفید خواهد بود.
چیو و کیتسو	۲۰۲۰	ایمنی رفتاری سبقت مدل‌سازی	بررسی الگوریتم پیشنهادی فاصله جانبی وسایل‌نقلیه	ارزیابی یک مدل شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی سبقت موفقیت‌آمیز خودرو در ترافیک شلوغ بر روی فاصله جانبی وسایل‌نقلیه در راه های دوخطه دوطرفه.

جدول۲-۵ مطالعات مربوط به فاصله جانبی راه

نویسندگان	سال	زمینه پژوهش	موضوع مطالعه	خلاصه نتایج
شریعت و همکاران	۲۰۱۵	ایمنی رفتاری سبقت	بررسی تکنیک‌های برداشت سبقت‌های خطرناک در راه‌های دوخطه دوطرفه	سبقت خطرناک بیشتر برای مسافت بدون سبقت بیش از ۱۶۵۰ متر و نیز زمانی که خودرویی به دنبال پیشرو صرف می‌کند. بنابراین برای راه‌هایی که از عرض استاندارد باریکتر هستند، تعریض لازمترین کار ممکن است.
کاشانی و همکاران	۲۰۱۶	ایمنی سبقت	شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری	استفاده از شانه‌های آسفالت شده فضای بیشتر برای مانور سبقت وسایل نقلیه ایجاد می‌کند،که باعث کاهش خطر برخورد می‌شود.
چالرتون و همکاران	۲۰۱۷	ایمنی رفتاری سبقت	بررسی رفتار رانندگان در هنگام سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه	برای کنترل رفتارهای ناهنجار رانندگان در راه‌های دوخطه دوطرفه حضور پلیس راهنمایی و رانندگی ضروری است.
کوتاجی و همکاران	۲۰۲۰	ایمنی رفتاری سبقت مدل‌سازی	مدل‌سازی حرکت جانبی وسایل‌نقلیه در جاده‌های دوخطه دوطرفه ترافیک مختلط در هند	با مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه در راه‌های دوخطه دوطرفه دریافتند که حرکت جانبی وسیله-نقلیه تحت تأثیر سرعت وسیله‌نقلیه پیشرو قرار می-گیرد.

جدول۲-۶ مطالعات مربوط به سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی

نویسندگان	سال	زمینه پژوهش	موضوع مطالعه	خلاصه نتایج
چاندرا و شوکلا	۲۰۱۲	ایمنی-رفتاری سبقت	رفتار سبقت‌ناموفق در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه	مطالعه‌شان برای درک رفتار سبقت از وسایل نقلیه در شرایط ترافیکی مختلط مفید است.
توماس و همکاران	۲۰۱۶	ایمنی رفتاری سبقت	پیشگیری از تصادفات سبقتی در راه‌های دوخطه دوطرفه برون شهری	توصیه‌های ارائه شده تاثیرات مفیدی بر عملکرد سبقت خواهند داشت و عملکرد آن‌ها منجر به افزایش ایمنی در راه‌های دوخطه دوطرفه برون شهری خواهد شد.
محمود و همکاران	۲۰۱۸	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی	بررسی رفتار سبقت در ترافیکی ناهمگن در بزرگراه-های برون‌شهری	طراحی مدل شبیه‌سازی ایمنی خرد ترافیک با هدف اقدامات متقابل موثر برای بهبود ایمنی در راه‌های کشورهای در حال توسعه مفید است.

جدول۲-۷ مطالعات مربوط به زمان برخورد TTC (بخش ۱)

نویسندگان	سال	زمینه پژوهش	موضوع مطالعه	خلاصه نتایج
وان و همکاران	۱۹۹۳	ایمنی-رفتاری سبقت زمان برخورد هوشمندسازی	بررسی سیستم‌های پیش‌گیری و یا کاهش زمان برخورد	در شرایط نامطلوب دید، نتیجه گرفته‌اند که TTC در محدوده ۴.۵ تا ۵ ثانیه برای فعال سازی CAS به خصوص در دامنه دید بین ۴۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت سرعت رانندگی بهتر است.
میندرهوت	۲۰۰۱	ایمنی سبقت	ارزیابی زمان برخورد برای ایمنی ترافیک	رانندگی در یک وسیله نقلیه کاملا کنترل شده هوشمند را با کنترل شده دستی را نمی‌توان مقایسه کرد.
صفارزاده و همکاران	۲۰۱۳	ایمنی-رفتاری سبقت زمان برخورد هوشمندسازی	طرح فرمول برای شاخص ایمنی زمان برخورد	استفاده از زمان برای محاسبه درتصادف براساس فرض شتاب‌گیری خطی در سیستم‌های جلوگیری از برخورد، خطاهای راننده را بیش از سایر موارد می‌توان کاهش دهد.
چن و همکاران	۲۰۱۳	ایمنی رفتاری سبقت زمان برخورد هوشمندسازی	طرح سیستم هشدار برخورد جلو به عقب با در نظر گرفتن فاصله ترمز ایمن تازمان برخورد	طراحی سیستم ایجاد فاصله با وسیله نقلیه پیشرو و فاصله ترمز ایمن و زمان واکنش راننده و زمان فعال شدن سیستم ترمزگیری همه را محاسبه می‌کند، که می‌توانند به عنوان یک سیستم کمک ایمنی برای رانندگی ایمن در بزرگراه‌ها عمل کند.
بهبهانی و همکاران	۲۰۱۴	ایمنی-رفتاری سبقت زمان‌برخورد هوشمندسازی	توسعه سیستم CAS جهت جلوگیری از تصادف	بکارگیری شاخص در CAS به عنوان یک شاخص ایمنی برای کاهش تعداد خطاهای راننده بسیار مفیدتر از TET وTIT را اثبات کردند.
جین و همکاران	۲۰۱۴	ایمنی رفتاری سبقت زمان برخورد مدل‌سازی	ارزیابی ایمنی ترافیک بزرگراه‌ها با استفاده از مدل ترکیبی براساس زمان برخورد	اثبات کردند: مقدار TTC تأثیر بسزایی در ارزیابی ایمنی دارد. ایمنی ترافیک بزرگراه در بخش‌های شلوغ کمتر از خطوط اصلی است. درصد تداخلهای ترافیکی در خطوط میانی بیشتر از خطوط کناری و شانه است.
مجید دژ و همکاران	۱۳۹۴	ایمنی-رفتاری سبقت-زمان‌برخورد	تطبیق مسافت دید سبقت در راه‌های دوخطه دوطرفه	جوان بودن رانندگان عدم برخورد جدی با تخلفات رانندگان و ترافیک سنگین راه‌ها، رانندگان را مجبور به انجام سبقت‌هایی در فواصل کمتر می‌کند.
بهبهانی و ندیمی	۲۰۱۵	ایمنی-رفتاری سبقت زمان برخورد	طرح قوانینی برای اعمال ایمنی معارض جانبی	تصادفات ترافیکی را با کمک SSM می‌توان به عنوان یک روش غیر مستقیم برای ارزیابی ایمنی استفاده کرد.
کریستفر و همکاران	۲۰۱۵	ایمنی رفتاری سبقت زمان برخورد	توزیع فراوانی زمان برخورد در هنگام استفاده از ترمز در خودرو	رانندگان در گروه سنی جوان‌تر (۱۸-۲۰ سال) در مقایسه با گروه سنی متوسط (۳۱-۵۰) و بالغ (۵۱+) به طور قابل توجهی TTC پایین‌تری دارند، و مردها TTCپایین‌تری نسبت به زنان دارند.
شفابخش و همکاران	۱۳۹۵	ایمنی-رفتاری سبقت-زمان‌برخورد	عوامل موثر در سبقت در جاده‌های دوخطه دوطرفه برون شهری	ویژگی‌های سن، جنس، شغل و میزان تحصیلات راننده به عنوان ابزاری پایا مورد استفاده قرار داد.

جدول۲-۸ مطالعات مربوط به زمان برخورد TTC (بخش ۲)

نویسندگان	سال	زمینه پژوهش	موضوع مطالعه	خلاصه نتایج
موسینگ و همکاران	۲۰۱۶	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی زمان‌برخورد	ارزیابی ریسک سبقت در راه‌های دوخطه برون-شهری	مقدار ریسک براساس تکمیل مانورهای عبور با TTCکمتر از ۳ ثانیه برای مقدار زیادی از حجم ترافیک جهت مخالف ارائه دادند
ندیمی و همکاران	۲۰۱۶	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی زمان‌برخورد	اعتبارسنجی ایمنی جایگزین مبتنی بر زمان در سیستم استنباطی	اثبات کردند که MIممکن است، در تشخیص خطر برخورد از عقب را در زمان مناسب و با خطاهای کمتر و دقت بالاتر پیش‌بینی کند.
قدس و فرانک	۲۰۱۶	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی زمان‌برخورد	ارزیابی میکروسکوپی مدل پذیرش شکاف سبقت در بزرگراه‌های دوخطه دوطرفه	شبیه‌سازی پذیرش سبقت نشان داد، که مدل سبقت غیرمجاز قادر به ارائه اقدامات قابل اعتماد از ویژگی‌های ترافیکی برای عملکرد بزرگراه دوخطه است.
چان و همکاران	۲۰۱۸	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی	پیش‌بینی احتمال برخورد برای سبقت براساس TTC	توانایی تصمیم‌گیری رفتار راننده در جلوگیری از برخورد، در روش پیشنهادی‌شان برای اجرا در دنیای واقعی که به دقت بهتری برسند.
ندیمی و همکاران	۲۰۱۹	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی زمان برخورد هوشمندسازی	ارزیابی زمان برخورد در روش در تجزیه و تحلیلهای ایمنی	سیستم‌های هوشمند هشدار جلوگیری از برخورد IVCAWS می‌تواند، برای محاسبه TTC با استفاده از مختصات وسایل نقلیه با سیستم هوشمند مورد نظر TTC را به صورت فعال و در هر مرحله از زمان محاسبه کرد.
والی و همکاران	۲۰۲۰	ایمنی-رفتاری سبقت-مدل‌سازی زمان برخورد	بررسی رابطه بین نوسانات رانندگی در زمان برخورد	رفتارهای بیشتر رانندگی (هم در جهت طولی و هم در جهت جانبی) در زمان برخورد احتمال وقوع حوادث یا شدیدتر شدن تصادف را افزایش می‌دهد.

فصل سوم: روش تحقیق

۳-۱-مقدمه

با توجه به مطالعات انجام شده و بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر زمان سبقت در محاسبه ریسک شاخص زمان برخورد و متغیرهای سبقتی در محورهای مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفته است.

سپس به روش بررسی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار پریمیر اشاره شده و پس از آن به مدل‌سازی پرداخته شده است.

سپس با استفاده از نتایج به دست آمده به بررسی متغیرهای رفتاری اثرگذار بر شاخص زمان در مدل دینامیکی به روش گرادیانی و شبکه عصبی پرسپترون پرداخته شده است.

از نوآوری‌های این مطالعه ارائه مدل دینامیکی دیفرانسیلی احتمالاتی با استفاده از داده‌های میدانی[۱] است تا بتوان براساس این مقدار، شاخص زمان تا تصادف جلو به عقب را در راه‌های دوخطه پیش‌بینی کند.

۳-۲-روش تحقیق

در پژوهش حاضر به منظور محاسبه مقدار ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف، ابتدا به بررسی متغیرهای رفتاری سبقت‌گیری رانندگان در دسته صف مؤثر بر شاخص زمان تا تصادف در سه راه دوخطه دوطرفه فومن ـ سراوان[۲]، رشت ـ جیرده[۳]، و رشت به صومعه‌سرا[۴] در استان گیلان[۵] پراخته می‌شود.

پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل سبقت‌گیری :

جابجایی عرضی خودروسبقت گیرنده، طول صف، سرعت خوردوها درخط مخالف و خودرو سبقت گیرنده با خودرو سبقت گیرشونده، مقدار فاصله ایمن از خط وسط، سرفاصله ایمن زمانی و مکانی خودروها در صف، فاصله عرضی خودرو سبقت‌گیرنده با خودرو در جهت مخالف، زمان سبقت‌گیری می‌باشد.

پس از تعیین زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف، مقدار آستانه به عنوان مقدار بحرانی برخورد

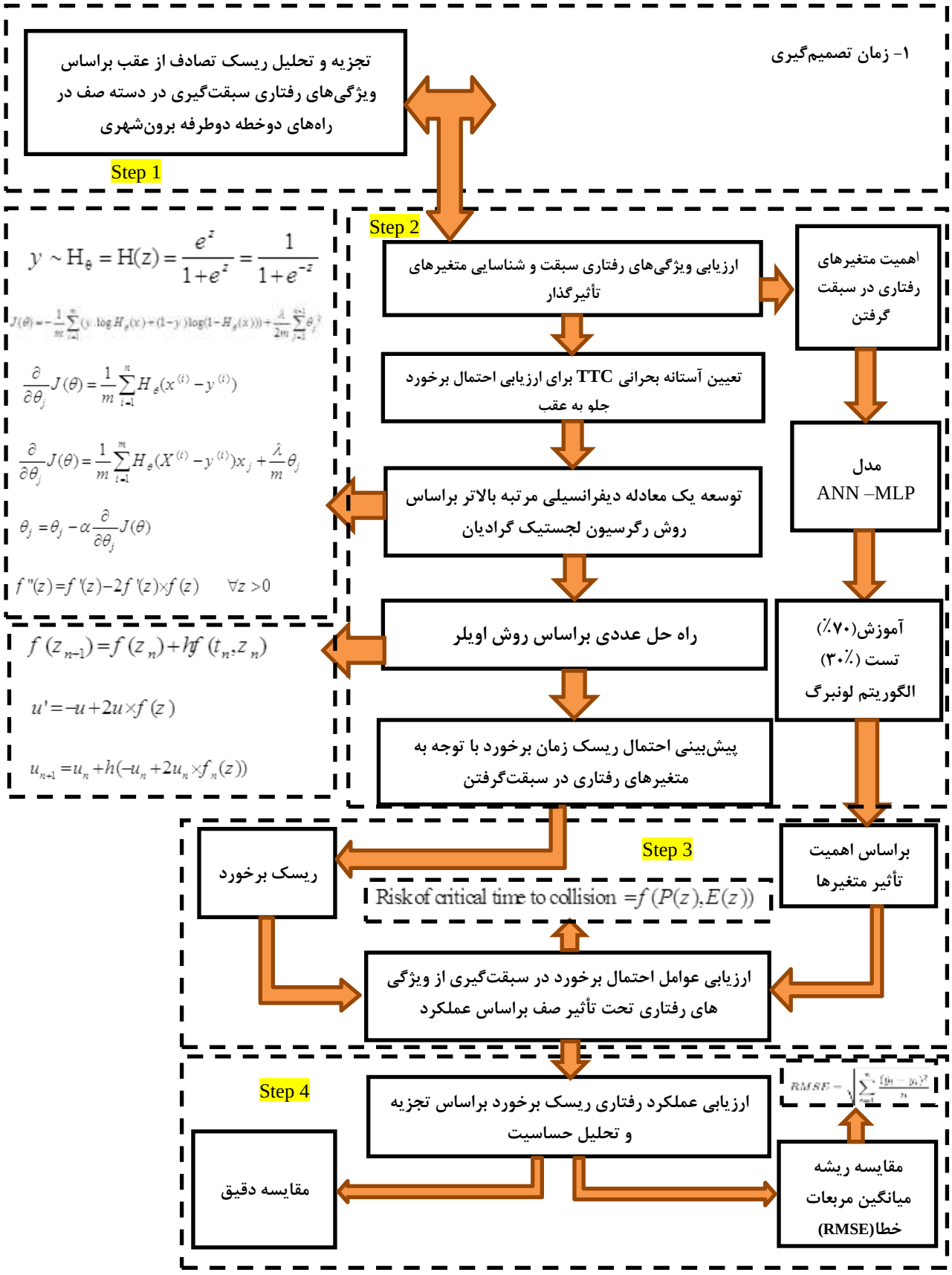
[1] Field data
[2] Fuman –Saravan
[3] Rasht-Jirdeh
[4] Rasht-Somesara
[5] Gilan

تصادفات جلو به عقب برای محاسبه مقادیر احتمالاتی ریسک[1] و مقدار ریسک[2] ارائه می‌گردد.

برای محاسبه مقادیر احتمالاتی ریسک، ابتدا مدل رگرسیون لجستیک دومتغیره، به‌منظور توسعه مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک مبتنی بر روش گرادیان[3] و مشتق جزئی[4] و سپس به حل مدل دینامیکی پیشنهادی با مرتبه بالا با روش حل عددی اویلر پرداخته می‌شود. با محاسبه مقادیر احتمال ریسک مبتنی بر مدل‌های دینامیکی احتمالاتی[5] و اثرسنجی متغیرهای اثرگذار بر شاخص زمان تا تصادف با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون؛ مقدار مشخصی از ریسک رانندگان تحت تأثیر رفتارهای سبقتی در دسته صف به‌دست می‌آید.

در نهایت به‌منظور ارزیابی عملکرد پیش‌بینی[6] مدل‌های احتمالاتی ریسک از روش تحلیل حساسیت[7] مبتنی بر دو معیار میانگین مجذور مربع خطا[8] و درستی[9] استفاده می‌شود و سپس با مدل رگرسیون لجستیک دومتغیره معمولی[10] مقایسه می‌شود که توضیحات فوق در فلوچارت شکل ۳-۱ اشاره شده است.

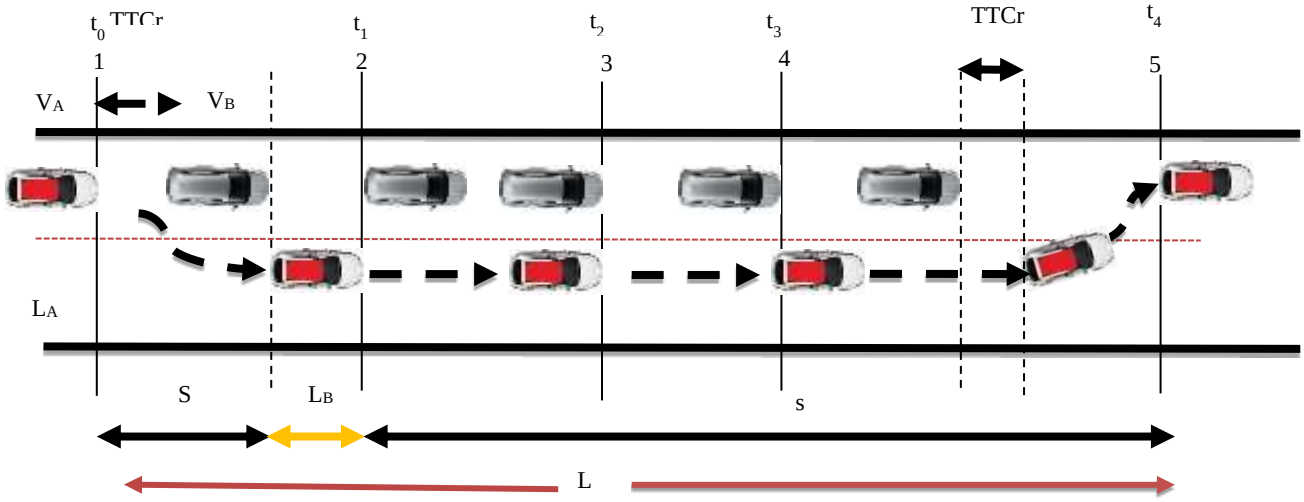
[1] Risk probability
[2] Risk value
[3] Gradient
[4] Partial derivative
[5] Dynamic risk probability models
[6] Performance
[7] Sensitivity analysis
[8] Root mean square error (RMSE)
[9] Accuracy
[10] Conventional



شکل ۳- ۱ فلوچارت پیشنهادی ارائه مدل ریسک دینامیکی برخورد زمان تا تصادف در راه‌های دوخطه برون‌شهری

با توجه به شکل ۳-۲ نشان داده می‌شود که مقدار سرعت خودروی پیشرو[1] نسبت به خودروی پیرو[2] تأثیرگذار است که رفتار خودرو پیرو پس از سبقت، به انتخاب رفتار سبقت‌گیری در دسته صف بستگی دارد.

به‌طوری‌که رفتار سبقتی باعث می‌شود خودروی پیرو در خط مجاور فاصله کافی برای سبقت‌گرفتن از وسیله نقلیه پیشرو را با بررسی فاصله پذیرش[3] و جریان ترافیک، سرعت خود را افزایش می‌دهد که رفتار سبقت‌گیری نظیر زمان سبقت‌گیری و زمان تصمیم‌گیری و فاصله خود با خودرو پیشرو را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در صورت عدم اصول رفتار سبقت‌گیری و کاهش سرفاصله‌ها بین خودروها در دسته صف، شاخص زمان تا تصادف بین دو خودرو کاهش می‌یابد و تا زمانی که به مقدار بحرانی خود می‌رسد.



شکل۳- ۲ بررسی جزئیات مانور سبقت‌گیری و تغییرخط و اثرگذاری بر شاخص زمان تا تصادف

۳-۳-متغیرهای رفتار سبقتی

برای محاسبه طول کل سبقت‌گیری که توسط یک وسیله‌نقلیه با سرعت اولیه V (کیلومتربرساعت) و شتاب[4] a (متربرمجذورثانیه) در زمان t (ثانیه) طی شده است، معادله (۳-۱) به صورت کلی نشان داده می‌شود که در پژوهش حاضر شتاب ۰/۳۵ متربرمجذور ثانیه می‌باشد (چاندرا و شوکلا۲۰۱۲).

[1] Leader vehicle
[2] Follower vehicle
[3] Gap acceptance
[4] Acceleration

$$S = Vt + \frac{1}{2}at^2 \qquad (۱-۳)$$

که برای محاسبه طول سبقت‌گیری وسیله نقلیه بین نقاط ۲ و ۳ از معادله (۳-۱) استفاده می‌شود و به صورت معادله (۳-۲) حاصل می‌شود (چاندرا و شوکلا۲۰۱۲).

$$S_{2-3} = V_F(t_2 - t_1) + L_L = V_F(t_2 - t_1) + \frac{1}{2}a(t_2 - t_1)^2 \qquad (۲-۳)$$

که در معادله (۳-۲) t_1، t_2 و t_3 زمان طی شده توسط وسیله نقلیه بر حسب ثانیه در نقاط ۱ و ۲ و ۳ با سرعت اولیه V_F (کیلومتربرساعت)، شتاب a (متربرمجذورثانیه) و t مدت زمان سبقت‌گیری بین وسایل‌نقلیه (ثانیه)، L_L طول وسیله‌نقلیه پیشرو برحسب متر، L_F طول وسیله‌نقلیه پیرو برحسب متر می‌باشد. همچنین به‌طور مشابه طول سبقت‌گیری وسیله‌نقلیه بین نقاط ۲ و ۴ از معادله (۳-۱) استفاده می‌شود و به صورت معادله (۳-۳) حاصل می‌شود (چاندرا و شوکلا۲۰۱۲).

$$S_{2-4} = V_F(t_3 - t_1) + L_L + L_F = V_F(t_3 - t_1) + \frac{1}{2}a(t_3 - t_1)^2 \qquad (۳-۳)$$

که در معادله (۳-۳)، t_1 وt_3 زمان طی شده توسط وسیله‌نقلیه در نقاط ۱ و ۳ بر حسب ثانیه، با سرعت اولیه V_F (کیلومتربرساعت) و شتاب a (متربرمجذورثانیه) می‌باشد. بنابراین کل مسافت سبقت‌گیری (متر) برای وسیله‌نقلیه نقطه (۱) تا (۴) به صورت معالات (۳-۴) و (۳-۵) نشان داده می‌شود (چاندرا و شوکلا ۲۰۱۲).

$$S = S_F + L_L + S_L + L_F \qquad (۴-۳)$$

$$S = (0.278 * V_F * t) + L_L + (0.278 * V_L * t) + L_F \qquad (۵-۳)$$

که در معادلات (۳-۴) و (۳-۵)، S_F طول سبقت وسیله‌نقلیه بر حسب متر، S_B طول سبقت وسیله‌نقلیه پیشرو بر حسب متر، L_F طول وسیله‌نقلیه پیرو بر حسب متر، L_L طول وسیله‌نقلیه پیشرو بر حسب متر، t مدت زمان طی شده توسط وسیله‌نقلیه بر حسب ثانیه، V_F سرعت وسیله‌نقلیه پیرو بر حسب کیلومتر برثانیه، V_L سرعت وسیله‌نقلیه پیشرو بر حسب کیلومتر برثانیه می‌باشد. بنابراین شاخص زمان تا تصادف

(ثانیه) مطابق معادله (۳-۶) به‌دست می‌آید (میندرهوت و بووی و همکاران۲۰۰۱، وگل و همکاران۲۰۰۳).

$$TTC\ (t) = \frac{X_L(t) - X_F(t) - L_L}{V_F - V_L} \qquad \forall\ V_F > V_L \qquad (۶-۳)$$

که در معادله (۳-۶)، TTC برابر با شاخص زمان تا تصادف، X: موقعیت وسیله‌نقلیه (L:پیشرو ؛ F: پیرو)، V: سرعت وسیله نقلیه (L :پیشرو ؛ F : پیرو)، L برابر با طول وسیله‌نقلیه پیشرو می‌باشد.

۳-۴-مسیرهای مورد مطالعه

بنابراین به منظور تعیین و ارزیابی زمان بحرانی جلو به عقب تحت تأثیر رفتارهای سبقتی در دسته صف در راه‌های دوخطه و ارائه مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک، متغیرهای رفتاری سبقتی نظیر سرعت وسایل-نقلیه، مقدار فاصله جانبی، سرفاصله‌های زمانی و مکانی، زمان سبقت‌گیری و زمان تصمیم‌گیری در محورهای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

پس از فیلمبرداری و تحلیل (ویدیو گرافی) به مدت ۶ ساعت، در۲ جهت روبرو برای تعیین زمان برخورد و زاویه عمود بر خط که برای تعیین سرفاصله زمانی استفاده شد است مورد بررسی قرار گرفتند.

محورهای مورد مطالعه به طور مستقیم[۱] ۶۰ متر، و دارای عرض[۲] ۳/۶۵ متر با شیب طولی[۳] کمتر از ۳ درصد، حداقل فاصله بیش از ۵۰۰ متر از تقاطع‌ها[۴] و قوس‌های افقی[۵] هستند و فیلم‌برداری در زمان ساعات حجم ترافیک بالا[۶] و اوج ترافیک[۷] بدون محدودیت تردد و ترافیکی در روزکاری[۸] در طول روشنایی[۹] روز در هوای آفتابی[۱۰]، با ثبت تمام وسایل‌نقلیه عبوری انجام شده است.

محورهای فومن _ سراوان، و رشت به صومعه‌سرا و رشت _ جیرده دارای عرض شانه[۱۱] ۲ متر می‌باشد که در استان گیلان در کشور ایران واقع شده‌اند. این مسیر دارای ترافیک بدون محدودیت تردد و عبور و

[1] A straight trap
[2] The width of each lane
[3] Longitudinal slope
[4] Intersections
[5] Longitudinal alignment
[6] High traffic flow
[7] Peak hour volumw
[8] Working days
[9] Daylight
[10] Sunny
[11] Road shoulder width

مرور برای کلیه وسایل‌نقلیه در آن مجاز می‌باشد. حداکثر[1] سرعت مجاز تعیین شده در این محور در روز حداکثر ۹۵ و شب حداکثر ۸۵ کیلومتربرساعت می‌باشد.

۳-۴-۱-محور فومن به سراوان

محور فومن به سروان در استان گیلان که راه ارتباطی شهرستان فومن به شهرستان سراوان است که با توجه به شکل ۳-۳ موقعیت مورد بررسی این پژوهش در کیلومتر ۲۰ این محور واقع شده است. این محور که دارای حجم تردد بالا و بدون محدودیت تردد، عبور و مرور برای کلیه وسایل نقلیه مجاز می‌باشد. حداکثر سرعت مجاز تعیین شده در این محور در روز حداکثر۹۵ و شب حداکثر۸۵ کیلومتر درساعت می‌باشد.

شکل۳- ۳ کیلومتر ۱۵ محور فومن به سراوان(Google Map)

۳-۴-۲-محور رشت به جیرده

محور رشت به جیرده در استان گیلان که راه ارتباطی شهرستان رشت به شهرستان جیرده است با توجه به شکل ۳-۴ که موقعیت مورد بررسی این پژوهش در کیلومتر ۱۰ این محور واقع شده است. این

[1] Maximum

محور که دارای حجم تردد بالا و بدون محدودیت تردد، عبور و مرور برای کلیه وسایل نقلیه مجاز می‌باشد. حداکثر سرعت مجاز تعیین شده در این محور در روز حداکثر۹۵ و شب حداکثر۸۵ کیلومتر درساعت می‌باشد.

شکل۳- ۴ کیلومتر ۱۰ محور رشت به جیرده(Google Map)

۳-۴-۳-محور رشت به صومعه سرا

محور رشت به صومعه سرا در استان گیلان است که راه ارتباطی شهرستان رشت به شهرستان صومعه‌سرا است با توجه به شکل ۳-۵ موقعیت مورد بررسی این پژوهش در کیلومتر ۱۵ این محور واقع شده است. این محور که دارای حجم تردد بالا و بدون محدودیت تردد، عبور و مرور برای کلیه وسایل نقلیه مجاز می‌باشد. حداکثر سرعت مجاز تعیین شده در این محور در روز حداکثر۹۵ و شب حداکثر۸۵ کیلومتر درساعت می‌باشد.

شکل۳- ۵ کیلومتر ۱۰ محور رشت به صومعه سرا(Google Map)

در جدول ۳-۱ به بررسی متغیرهای رفتاری سبقتی در دسته صف و شاخص زمان تا تصادف در محورهای مورد مطالعه در بازه زمانی یک دقیقه‌ای و مدت زمان ۱۲۰ دقیقه پرداخته می‌شود. با توجه به جدول ۳-۱ می‌توان نشان داد که میانگین[1] مقادیر متغیرهای سبقتی رفتاری در راه‌های دوخطه قابل ملاحظه است به گونه‌ای که سرعت، طول سبقت‌گیری و سرفاصله زمانی دارای بیشترین مقدار می‌باشند.

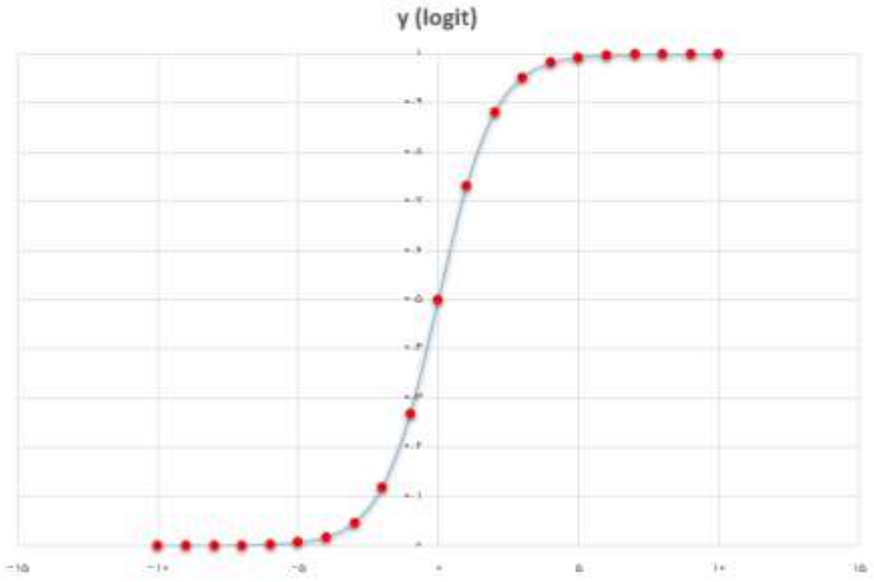
جدول۳- ۱ بررسی آماری متغیرهای رفتاری سبقتی در دسته صف و شاخص زمان تا تصادف در راه‌های دوخطه

	کوچکترین[2]	بزرگترین	میانگین	انحراف معیار استاندارد[3]
شاخص زمان تا تصادف (ثانیه)	۱/۰۰	۱۷/۸۰	۴/۰۸	۳/۱۴
زمان سبقت‌گیری (ثانیه)	۱/۰۰	۱۳/۱۰	۳/۳۷	۲/۶۹
سرفاصله‌زمانی(ثانیه)	۱/۲۰	۴۶/۱۰	۱۰/۷۰	۷/۷۵
زمان سبقت‌گیری جهت مخالف (ثانیه)	۱/۰۰	۱۴/۶۰	۳/۵۲	۲/۷۸
فاصله جانبی (متر)	۱/۵۰	۲/۶۰	۲/۱۰	۰/۲۸
سرعت (کیلومتربرساعت)	۴۵/۰۰	۸۲/۰۰	۶۴/۱۸	۸/۹۷
زمان تصمیم‌گیری (ثانیه)	۱/۰۰	۴/۴۶	۲/۱۷	۰/۸۷
طول سبقت (متر)	۱/۰۰	۷۹/۰۰	۲۵/۳۶	۱۵/۰۱

[1] Average
[2] Minimum
[3] standard deviation

۳-۵-مدل‌سازی دینامیکی با مرتبه بالا مبتنی بر روش گرادیان و مشتق جزئی

در پژوهش حاضر به منظور اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف در دسته صف، از مدل احتمالاتی رگرسیون لجستیک دومتغیره استفاده می‌شود. در روش رگرسیون لجستیک از تابعی به نام (تابع لجستیک[1]) استفاده می‌شود. به همین علت این روش رگرسیونی را رگرسیون لجستیک می‌نامند. در شکل ۳-۶ نمونه یک نمودار استاندارد تابع لجستیک مربوط به آن براساس پارامترهای .b1=1, b0=0 در تصویر نشان داده شده است.



شکل ۳-۶ تابع لجستیک استاندارد

در این مدل، اثرگذاری متغیرهای رفتاری سبقتی به صورت متغیر مستقل بر متغیر وابسته یا همان شاخص زمان تا تصادف بر اساس فرضیه مقدار آستانه[2] H_0 مبتنی بر مقدار بحرانی شاخص زمان تا تصادف برابر ۱ در نظر گرفته می‌شوند.

بنابراین، برای ارزیابی[3] اثرگذاری متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته، به صورت ناشی از جفت متغیرها

[1] Logistic Function
[2] Threshold
[3] Evaluating

در ابتدا معادله یک بعدی خطی[1] مطابق معادله (۳-۷) فرض می‌شود و سپس برای چند بعدی مطابق معادله (۳-۸) برای ارزیابی احتمالی متغیر وابسته یا همان شاخص زمان تا تصادف ناشی از چند متغیره براساس فرضیه $H_\theta(z)=1$ نشان داده می‌شود که $\theta_1,...,\theta_{n+1}$، ضرایب ثابت[2] در معادلات (۳-۷) و (۳-۸) می‌باشند.

$$z=\theta_1+\theta_2 x_1 \qquad (۳-۷)$$

مدل لجستیک ارائه شده در، معادله (۳-۷) به صورت معادله (۳-۸) نشان داده می‌شود:

$$z=\theta_1+\theta_2 x_1+\theta_3 x_2+...+\theta_{n+1}x_n \qquad (۳-۸)$$

بنابراین، معادله احتمالاتی رگرسیون لجستیک به صورت معادله (۳-۹)، نشان داده می‌شود (کلینبام و همکاران [3]۲۰۰۲، هاسمر و همکاران [4]۲۰۱۳)

$$y \sim H_\theta = H(z)=\frac{e^z}{1+e^z}=\frac{1}{1+e^{-z}} \qquad (۳-۹)$$

که تابع z به صورت تابع چند متغیره برای ارزیابی اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته است و براساس مقادیر آستانه بحرانی تعریف شده بین ۰ و ۱ تعریف می‌گردد و برای ارائه مدل رگرسیون لجستیک دومتغیره به صورت معادله (۳-۱۰) نشان داده می‌شود:

$$z=\theta_1+\theta_2 x_1+\theta_3 x_2+\theta_4 x_1^2+\theta_5 x_1 x_2+\theta_6 x_2^2+\theta_7 x_1^3+\theta_8 x_1^2 x_2+\theta_9 x_1 x_2^2+\cdots+\theta_{n+1}x_2^n \qquad (۳-۱۰)$$

که در معادله (۴)، ضرایب ثابت برای متغیرهای مستقل به صورت (θi) نشان داده می‌شوند. برای محاسبه ضرایب ثابت (θi)، از روش گرادیان بهینه‌سازی مبتنی بر مشتق جزئی مطابق معادله (۳-۱۱) استفاده می‌شود (تیلور و همکاران[5]۱۹۸۸، فریدمن و همکاران[6] ۲۰۰۱)

[1] One-dimensional Linear equation
[2] Constants
[3] Kleinbaum et al
[4] Hosmer et al
[5] Taylor et al
[6] Friedman et al

$$J(\theta) = -\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(y.\log H_\theta(x) + (1-y)\log(1-H_\theta(x))) + \frac{\lambda}{2m}\sum_{j=2}^{n+1}\theta_j{}^2 \qquad (۱۱-۳)$$

که در معادله (۵)، "m" تعداد نقاط داده و "λ" ثابت تنظیم است. $\frac{\lambda}{2m}\sum_{j=2}^{n+1}\theta_j{}^2$ اصطلاح تنظیم معادله[1] می‌باشد. در نظرگرفتن تابع هزینه برای کنترل مقادیر تعیین شده برای وزن‌های 'θ' به کار می‌رود. به گونه‌ای که اگر وزن θ بزرگ باشد، تابع هزینه افزایش می‌یابد و بالعکس مقادیر کوچکتر θ با تغییرات کمتری همراه است که هدف به حداقل رساندن تابع هدف J است. بنابراین، درصورتی که گرادیان تابع هزینه صفر یا نزدیک به صفر باشد، تابع هدف به حداقل می‌رسد که تابع گرادیان[2] به صورت معادلات (۳-۱۲) و (۳-۱۳) محاسبه می‌شود (تیلور و همکاران۱۹۸۸، فریدمن و همکاران ۲۰۰۱)

$$\frac{\partial}{\partial\theta_j}J(\theta) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{n}H_\theta(x^{(i)} - y^{(i)}) \qquad (۱۲-۳)$$

$$\frac{\partial}{\partial\theta_j}J(\theta) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}H_\theta(X^{(i)} - y^{(i)})x_j + \frac{\lambda}{m}\theta_j \qquad (۱۳-۳)$$

که در معادلات (۱۲) و (۱۳)، "i"شاخص مورد پیشنهادی (۱ تا m) و "j" یک شاخص برای هر بعد "θ" از j=1 تا n +1 می‌باشد. بنابراین ضرایب ثابت گرادیانی به صورت معادله (۳-۱۴) در مدل احتمالاتی رگرسیون لجستیک به کار گرفته می‌شوند (تیلور و همکاران۱۹۸۸، فریدمن و همکاران ۲۰۰۱).

$$\theta_j = \theta_j - \alpha\frac{\partial}{\partial\theta_j}J(\theta) \qquad (۱۴-۳)$$

بنابراین به‌منظور ارائه مدل دیفرانسیل مرتبه بالا[3]، معادله (۳-۹)، به صورت معادله (۳-۱۵) در نظر گرفته می‌شود.

$$f(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \qquad (۱۵-۳)$$

[1] Regularisation constant
[2] The Gradient function
[3] Higher Order ordinary diffrerental Euqation

سپس از معادله (۳-۱۵)، نسبت به متغیر z مشتق گرفته می‌شود که به صورت معادله (۳-۱۶) نوشته می‌شود:

$$f'(z) = +\frac{1}{1+e^{-z}} - \frac{1}{(1+e^{-z})^2} \Rightarrow f'(z) = f(z) - f^2(z) \quad \forall z > 0 \qquad (۳-۱۶)$$

در معادله (۳-۱۶)، شرط لازم برای وجود معادله z>۰ است. به گونه‌ای که می‌توان معادله دیفرانسیل را برای دو متغیر مستقل x و y بسط داد. بنابراین از طرفین معادله (۳-۱۶) نسبت به z مشتق گرفته و معادله (۳-۱۷) با شرایط موجود در معادله (۳-۱۶) و با درنظر گرفتن شرایط مرزی اولیه بدست می‌آید.

$$f''(z) = f'(z) - 2f'(z) \times f(z) \qquad \forall z > 0 \qquad (۳-۱۷)$$

پس از جایگذاری[1] معادلات (۳-۱۵) و (۳-۱۶) در معادله (۳-۱۷)، برای مدل دینامیکی دیفرانسیل با مرتبه بالاتر[2] ($n \geq 2$)، مطابق معادله (۳-۱۸) نشان داده می‌شود.

$$f''(z) = f(z) - 3f^2(z) + 2f^3(z) \qquad f(z(0)) = 0.1;\ f'(z(1)) = 0.1 \qquad (۳-۱۸)$$

باید توجه داشت که تابع $f(z)$ به صورت دومتغیره درنظرگرفته می‌شود. به‌منظور حل معادله دیفرانسیلی مرتبه دوم مطابق معادله (۳-۱۸)، از روش اویلر استفاده می‌شود. روش اویلر یک روش عددی مرتبه اول برای حل معادلات دیفرانسیل معمولی[3] با مقدار اولیه مشخص است. بنابراین معادله دیفرانسیل با مرتبه اول به صورت معادله (۳-۱۹) نشان داده می‌شود که برای معادلات با مرتبه‌های بالاتر هم بر این اساس توسعه پیدا می‌کند (آسچر و پتزولد وهمکاران[4] ۱۹۹۸، بادچر وگودین و همکاران[5] ۲۰۰۸).

$$f'(z(t)) = f(t, z(t)),\ f(z(t_0)) = f(z_0) \qquad (۳-۱۹)$$

اگر h یک مقدار مشخص در بازه زمانی tn=t0+nh باشد. بنابراین، روش اویلر از tn تا tn+1 برابر است با tn+h که به صورت معادله (۳-۲۰) نشان داده می‌شود.

---

[1] Substituting
[2] Higher ordinary differential equation
[3] Ordinay Differential Equation (OED)
[4] Ascher and Petzold et al
[5] Butcher andGoodwin et al

$$f(z_{n+1}) = f(z_n) + hf(t_n, z_n) \qquad (۲۰-۳)$$

اگر مقدار yn تقریبی از معادله ODE در زمان tn است. بنابراین، مقدارyn برابر است با $y_n \approx y(t_n)$. y_{n+1} تابع عددی از y_i تا $i \le n$ است. بنابراین، روش اویلر یک ODE مرتبه اول را ادغام می‌کند، هر ODE مرتبه N را می‌توان به عنوان یک سیستم ODE مرتبه اول نشان داد که به صورت معادله (۳-۲۱) نشان داده می‌شود:

$$f(z^{(n)}(t)) = f(t, z(t), z'(t), \ldots, z^{(N-1)}(t)) \qquad (۲۱-۳)$$

که متغیرهای فرضی $z_1(t) = y(t)$ ، $z_2(t) = y'(t)$، …، $z_N(t) = y^{(N-1)}(t)$ را می‌توان براساس نوع مرتبه مطابق معادله (۳-۲۲) بسط داد.

$$z'(t) = \begin{pmatrix} z'(t) \\ \vdots \\ z'_{N-1}(t) \\ z'_N(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z'(t) \\ \vdots \\ z^{(N-1)}(t) \\ z^{(N)}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_2(t) \\ \vdots \\ z_N(t) \\ f(t, z_1(t), \ldots, z_N(t)) \end{pmatrix} \qquad (۲۲-۳)$$

باید در نظر داشت که معادله (۳-۲۲)، یک معادله مرتبه اول در متغیر z (t) است و با روش اویلر یا هر سیستم مرتبه اول[1] قابل کنترل است. بنابراین برای حل معادله (۳-۱۸) براساس روش اویلر در ابتدا $u = f'(z)$ معادله (۳-۱۸) می‌شود و سپس مطابق معادله (۳-۱۹) تا (۳-۲۲) معادلات (۳-۲۳) و (۳-۲۴) برای $h = 0.1$ و مقادیر اولیه $f(z(0)) = 0.1;\ f'(z(1)) = 0.1$ به صورت عددی حل می‌شود.

$$u' = -u + 2u \times f(z) \qquad (۲۳-۳)$$

$$u_{n+1} = u_n + h(-u_n + 2u_n \times f_n(z)) \qquad (۲۴-۳)$$

بنابراین برای محاسبه مقدار ریسک نهایی حاصل از دو تابع اثرگذاری متغیرها بر شاخص زمان تا تصادف نهایی و احتمال ریسک تحت تأثیر این متغیرها به صورت معادله (۳-۲۵) نشان داده می‌شود (راسند و

[1]The first-order system

همکاران[1] ۲۰۱۳،پویو و همکاران[2] ۲۰۱۶،کاوازاکی و همکاران[3] ۲۰۲۱).

$$\text{ریسک بحرانی‌ترین زمان‌برخورد}^{4} = f(P(z) \times E(z)) \quad (۲۵-۳)$$

که در معادله (۳-۲۵)، $P(z)$ تابع احتمالاتی ریسک ناشی ازمتغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و $E(z)$ اهمیت و اثر متغیرها در متغیر وابسته می‌باشند که به صورت وزنی می‌توان اثر این متغیرها را بر تابع خروجی به‌دست آورد.

۳-۶-جمع‌بندی فصل

در این فصل مراحل انجام پژوهش و روند آن توضیح داده شده است. کلیات فصل بر این اساس است که مشخصات استانداردی برای محورهای مورد مطالعه در نظر گرفته است که شامل عرض خطوط جاده، عرض شانه راه، نبود شیب بیش از اندازه در محورهای مورد مطالعه تعیین زمان مناسب برای برداشت و شناسایی متغیرهای تأثیرگذار است. پس از بررسی مسیرهای مورد مطالعه، روش داده برداری توضیح داده شده است. که به بررسی متغیرهای رفتاری سبقتی در دسته صف و شاخص زمان تا تصادف، و سپس مدل‌سازی دینامیکی با مرتبه بالا مبتنی بر روش گرادیان و مشتق جزئی پرداخته شد است. در انتهای این فصل به حل عددی براساس روش اویلر و تعیین آستانه بحرانی TTC برای ارزیابی احتمال برخورد جلو به عقب پرداخته شده است. در فصل بعد به بررسی و دسته‌بندی نتایج پرداخته شده است.

[1] Rausand et al
[2] Popov et al
[3] Rausand
[4] Risk of critical time to collision

فصل چهارم: نتایج و یافته‌های پژوهش

۴-۱-مقدمه

با توجه به بررسی های انجام شده در فصل ۳ و مدل‌سازی‌های انجام شده در تابع رگرسیون خطی طراحی شده این مطالعه در این فصل به نتایج به دست آمده پرداخته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید خروجی‌های به دست آمده از این مدل‌سازی انجام شده به صورت نمودارهای برون‌یابی زمان برخورد و نیز گراف‌های توزیع احتمال برحسب میزان فراوانی برای پیش‌بینی ریسک احتمالی زمان برخورد را بررسی کرده است.

پس از بررسی متغیرهای رفتار سبقتی و شاخص زمان تا تصادف در دسته صف در محورهای مورد مطالعه، به منظور ارائه مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک دینامیکی مبتنی بر رگرسیون لجستیک دومتغیره، ابتدا متغیرهای موثر بر شاخص زمان تا تصادف بررسی شدند تا بتوان شاخص زمان تا تصادف بحرانی را تحت تأثیر این نوع متغیرهای رفتار سبقتی مطابق معادلات (۳-۱) تا (۳-۶) به‌دست آورد.

سپس با استفاده از رگرسیون لجستیک دومتغیره و توسعه معادله دیفرانسیلی مرتبه دوم[1] و حل این معادله به صورت عددی توسط روش اویلر[2]، تأثیر متغیرهای رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف به صورت احتمالاتی ریسک مطابق معادلات (۳-۷) تا (۳-۲۴) بررسی شد.

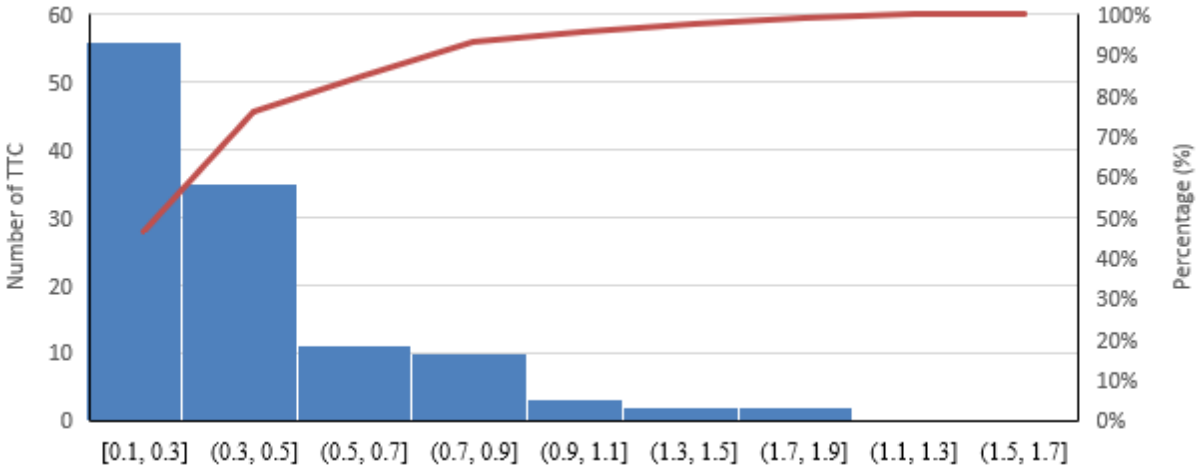
پس از محاسبه احتمال ریسک برای متغیرهای رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف، مطابق معادله (۳-۲۵)، مقدار ریسک نهایی شاخص زمان تا تصادف مبتنی بر معادلات دینامیکی احتمالاتی ریسک و متغیرهای رفتار سبقتی بدست آمد.

۴-۲-بررسی مدل‌های شاخص زمان تا برخورد

بنابراین در ابتدا نتایج مرتبط به بررسی تحلیل ترافیکی متغیرهای رفتار سبقتی و سپس نتایج مدل‌سازی پیشنهادی پژوهش حاضر در راه‌های دوخطه به‌صورت زیر شرح داده می‌شوند که عبارتند از:

[1] Second order differential equation
[2] Euler's method

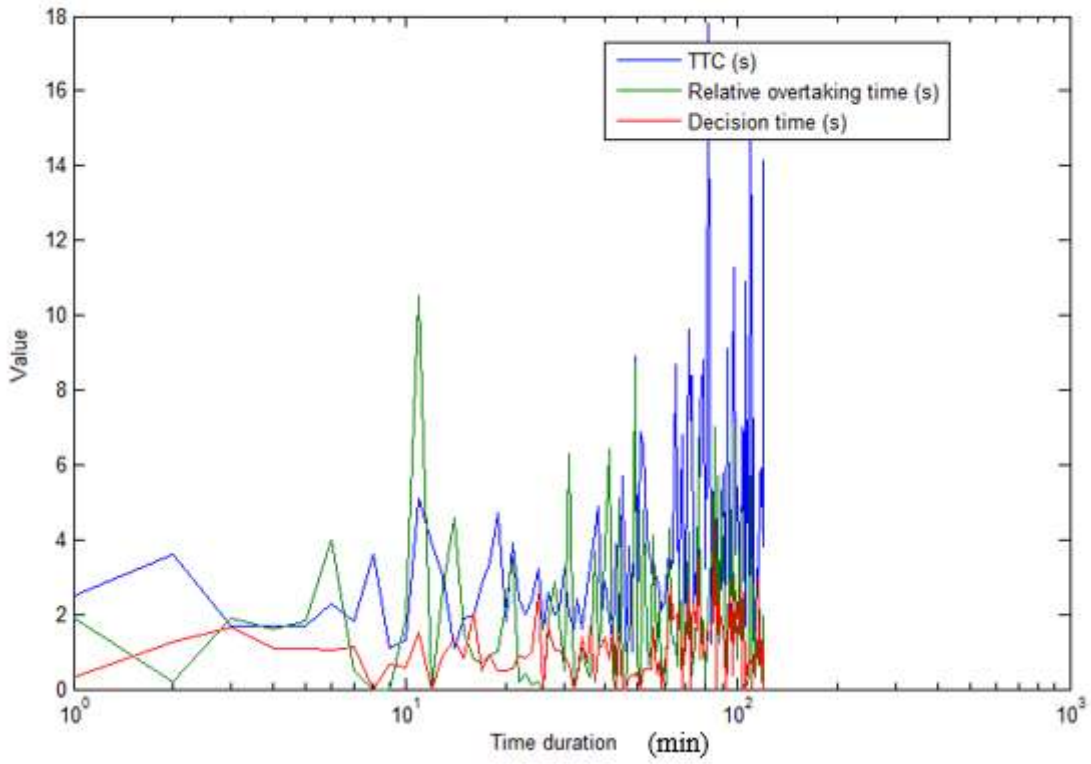
همچنین، شکل ۴-۱ نمودار هیستوگرام شاخص زمان تا تصادف برای وسایل‌نقلیه در کل محورهای مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۱، می‌توان نشان داد که رفتارهای سبقتی تأثیر به‌سزایی بر بازه زمانی برخورد ۱ تا ۳ ثانیه داشته است. به‌گونه‌ای که درصد بیشتری از وسایل‌نقلیه دارای فراوانی شاخص زمان تا تصادف بین ۱ تا ۳ ثانیه می‌باشند.



شکل۴- ۱ نمودار هیستوگرام[1] شاخص زمان تا تصادف

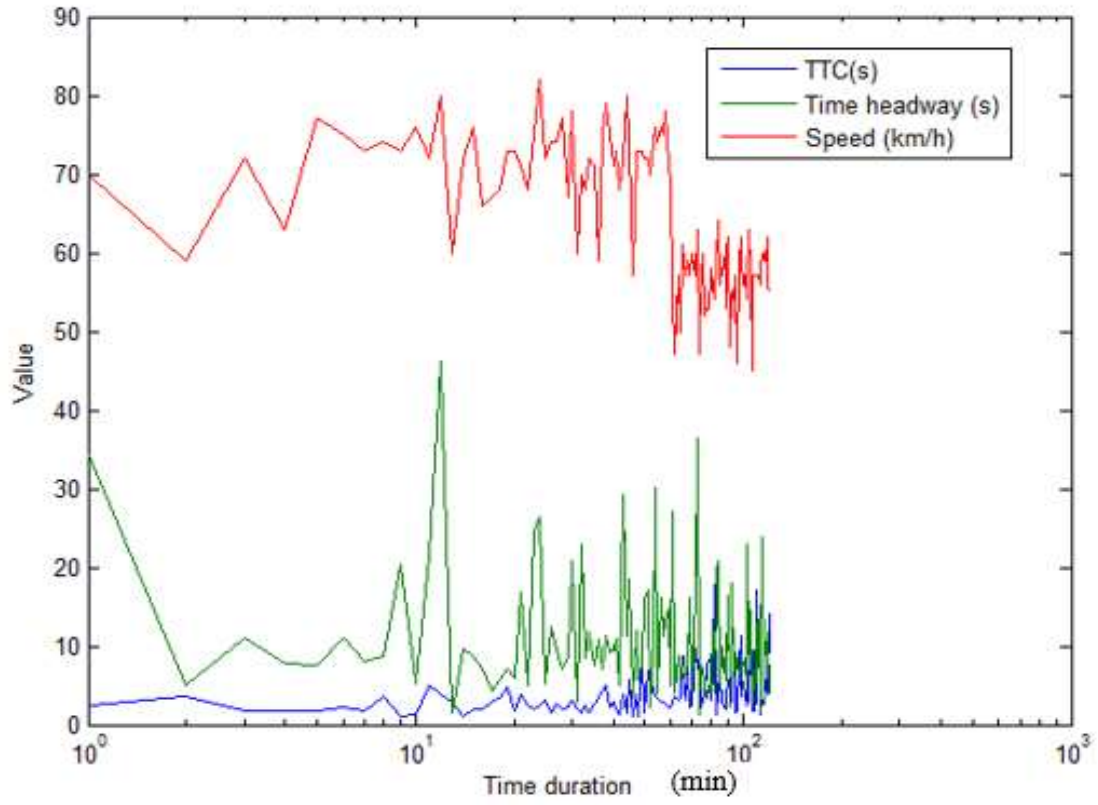
شکل ۴-۲، نمودار تأثیرگذاری زمان تصمیم‌گیری را در زمان بحرانی برخورد نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۲ می‌توان نشان داد که زمان نسبی سبقت‌گیری با شاخص زمان تا تصادف رابطه مستقیم[2] و زمان تصمیم‌گیری با شاخص زمان تا تصادف رابطه معکوس دارد. این بدان معناست که هر چقدر زمان تصمیم-گیری راننده برای سبقت افزایش می‌یابد، شاخص زمان تا تصادف نیز کاهش می‌یابد و با افزایش زمان نسبی سبقت‌گیری، شاخص زمان تا تصادف نیز افزایش می‌یابد. بنابراین شاخص زمان تا تصادف بحرانی تحت تأثیر دو متغیر زمان نسبی سبقت‌گیری و زمان تصمیم‌گیری به ۲/۳ ثانیه نیز می‌رسد.

[1] Histogram
[2] Direct



شکل۴-۲ تأثیر زمان نسبی سبقت و زمان تصمیم‌گیری بر شاخص زمان تا تصادف

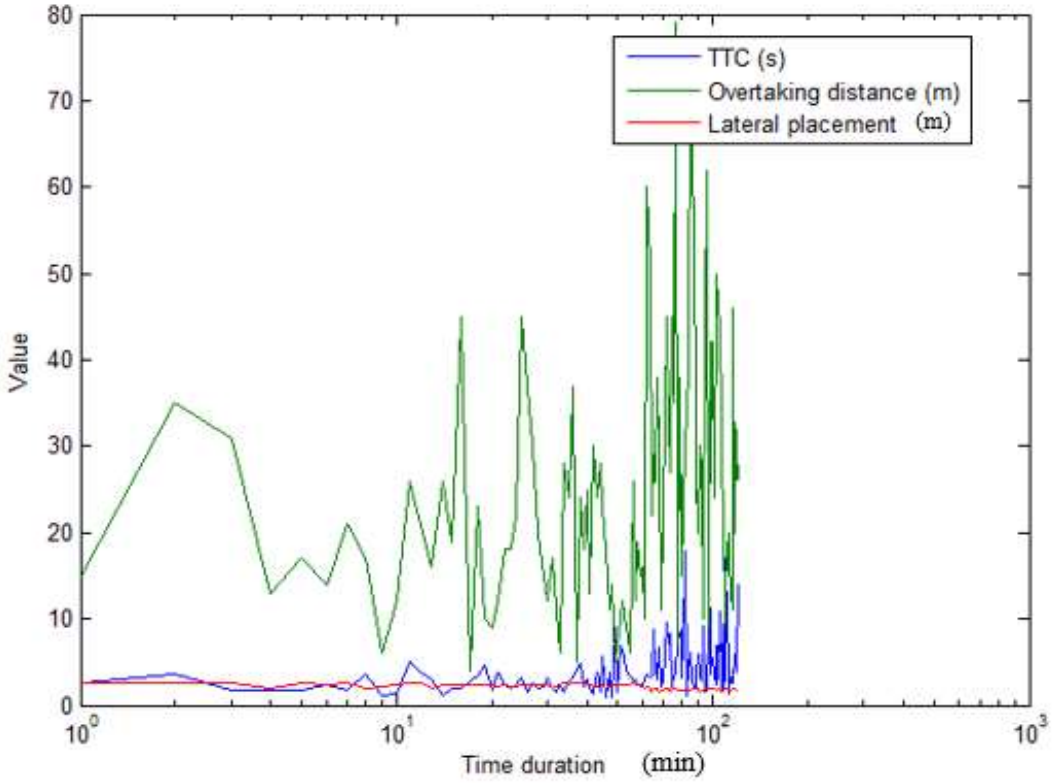
شکل ۴-۳ تأثیر سرعت و سرفاصله زمانی بر شاخص زمان تا تصادف را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۴-۳ می‌توان نشان داد که با افزایش سرعت بین ۶۰ تا ۸۰ کیلومتربرساعت در دسته صف‌ها سرفاصله زمانی در راه‌های دوخطه نیز به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و با کاهش سرفاصله زمانی، تأثیر قابل توجهی بر کاهش شاخص زمان تا تصادف رانندگان در دسته صف دارد که این متغیر زمانی به ۲ ثانیه می‌رسد.



شکل۴- ۳ تأثیر سرعت و سرفاصله زمانی بر شاخص زمان تا تصادف

شکل ۴-۴، نشان‌دهنده تأثیر فاصله جانبی وسایل‌نقلیه و مسافت سبقت‌گیری[1] را بر شاخص زمان تا تصادف در دسته صف نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۴ می‌توان نشان داد که با افزایش طول سبقت و فاصله جانبی به ترتیب تأثیر مستقیم و معکوس بر شاخص زمان تا تصادف از عقب به وسایل‌نقلیه را دارد که با افزایش فاصله جانبی، شاخص زمان تا تصادف کاهش می‌یابد و در حالی‌که با افزایش مسافت سبقت-گیری، شاخص زمان تا تصادف نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین تأثیر دو متغیر فاصله جانبی و مسافت سبقت-گیری بر شاخص زمان تا تصادف، باعث رسیدن شاخص زمان تا تصادف به ۲/۵ ثانیه می‌شود.

[1] Overtaking distance



شکل۴- ۴ نمودار تأثیرگذاری فاصله جانبی و طول سبقت گیری بر شاخص زمان تا تصادف

۴-۳-بررسی متغیرهای اثرگذار رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا برخورد جلو به عقب

بنابراین، با توجه به شکل‌های ۴-۲ تا ۴-۴، خلاصه اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف[1] جلو به عقب در جدول ۴-۱ نشان داده می‌شود.

با توجه به جدول ۴-۱ می‌توان نشان داد که متغیرهای سرفاصله زمانی، زمان نسبی سبقت‌گیری و طول سبقت‌گیری، تأثیر مثبت بر شاخص زمان تا تصادف دارد. این تأثیر بدان معناست که با افزایش یا کاهش این نوع متغیرها، شاخص زمان تا تصادف به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. در حالی که متغیرهایی نظیر زمان تصمیم‌گیری، سرعت و فاصله جانبی تأثیر معکوس بر شاخص زمان تا تصادف دارند که با افزایش

[1] Time to collision (TTC)

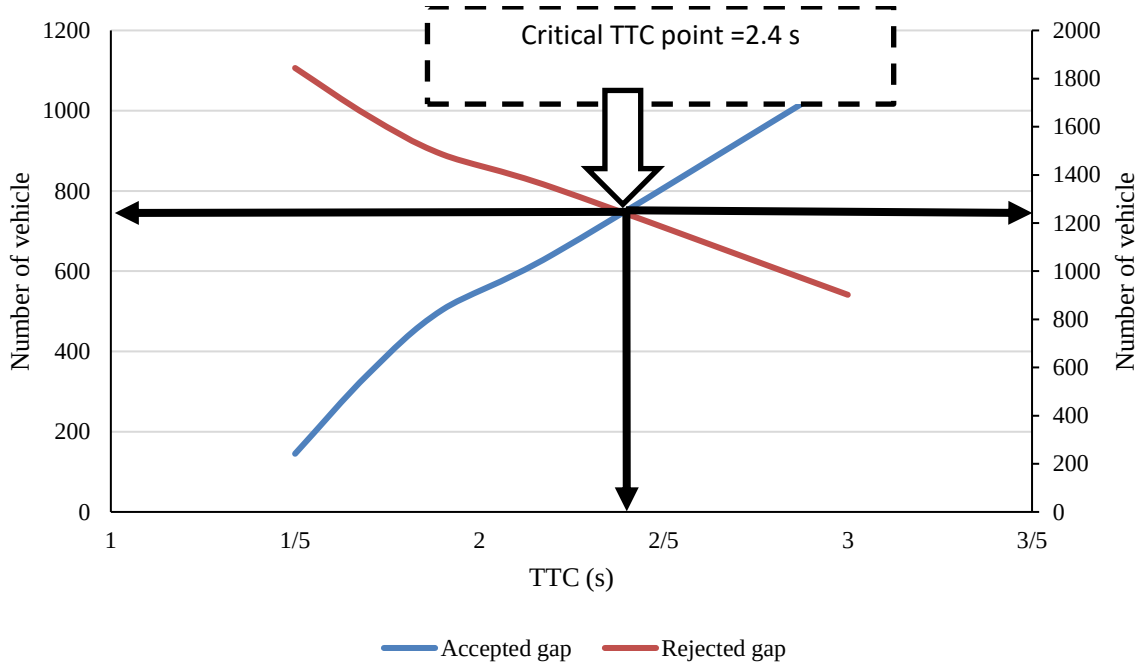
این نوع متغیرها، شاخص زمان تا تصادف نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه با بررسی اثرگذاری این نوع متغیرهای رفتار سبقتی می‌توان نشان داد که میانگین شاخص زمان تا تصادف به عنوان شاخص زمان تا تصادف بحرانی ۲/۴ ثانیه و مقدار آستانه بحرانی برخورد محاسبه می‌شود.

جدول۴-۱ محاسبه نقطه بحرانی[1] شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر تغییرات متغیرهای رفتار سبقتی

میانگین نقطه بحرانی شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر متغیرهای رفتار سبقتی (ثانیه)	نقطه بحرانی شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر دو متغیر رفتار سبقتی (ثانیه)	شاخص زمان تا تصادف (ثانیه)	تغییرات[2]	متغیرهای رفتار سبقتی
۲/۴	۲/۴	کاهش	کاهش	**زمان نسبی سبقت‌گیری(ثانیه)**
			افزایش	**زمان تصمیم‌گیری(ثانیه)**
	۲	کاهش	کاهش	**سرفاصله زمانی (ثانیه)**
			افزایش	**سرعت (کیلومتر بر ساعت)**
	۲/۵	افزایش	افزایش	**طول سبقت‌گیری (متر)**
		کاهش		**فاصله جانبی (متر)**

به منظور به دست‌آوردن زمان بحرانی برخورد جلو به عقب در راه‌های دوخطه، پس از محاسبه شاخص زمان تا تصادف در دسته صف در بازه‌های زمانی مختلف، این شاخص زمان تا تصادف برای وسایل‌نقلیه طبقه‌بندی و نتایج در شکل ۴-۵ نشان شد. همان‌طور که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، براساس سرفاصله‌های پذیرش[3] و غیر قابل پذیرش[4] در دسته صف، شاخص زمان تا تصادف بحرانی ۲/۴ ثانیه محاسبه می‌شود. از طرفی می‌توان با توجه به شکل ۴-۵ نشان داد که افزایش حجم وسایل‌نقلیه تأثیر به‌سزایی بر سبقت‌گیری خودروها داشته است که منجر به بحرانی‌ترشدن شاخص زمان تا تصادف می‌شود.

[1] Critical point
[2] Change
[3] Gap acceptance
[4] Gap rejection



شکل۴-۵ محاسبه شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر سرفاصله عبوری زمانی قابل‌پذیرش و غیرقابل‌پذیرش

۴-۴-نتایج مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک مبتنی بر روش گرادیان و مشتق جزئی

به منظور ارائه مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک، ابتدا مدل رگرسیون لجستیک دومتغیره با استفاده از گرادیان[۱] مبتنی بر مشتق جزئی[۲] و متغیرهای اولیه θ_i برابر ۰/۱، ثابت منظم‌سازی[۳] لامبدا (λ) برابر ۰/۰۰۵، و نرخ یادگیری[۴] (α) برابر با یک و مقدار آستانه[۵] سیگموییدی[۶] برابر یک درنظرگرفته می‌شود.

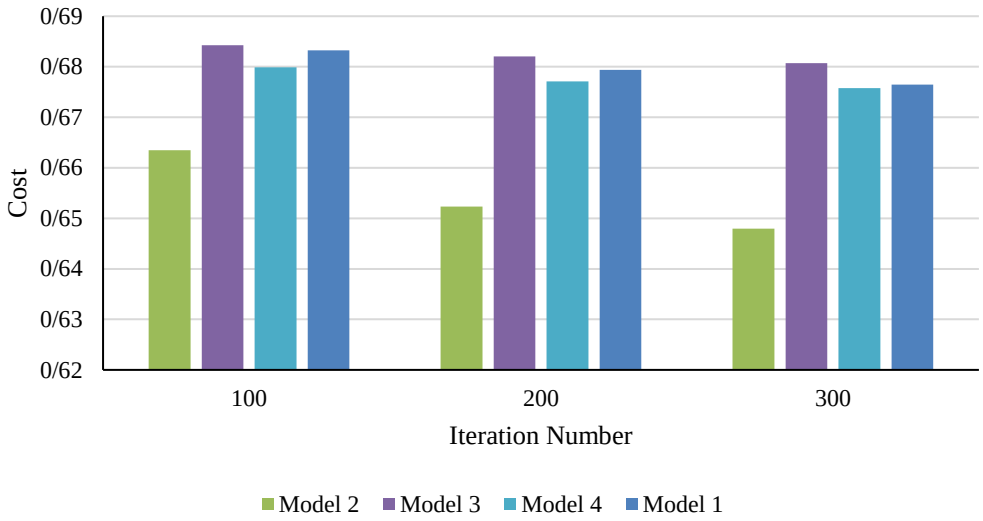
همچنین برای بهینه‌سازی تعداد تکرار با فرض اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ می‌باشد. باید به این نکته توجه داشت هرچه مقدار تکرار کمتر باشد و مدل بتواند تابع هزینه[۷] کمتری داشته باشد این مدل بهتر می‌تواند رفتار اثرگذاری جفت متغیرهای رفتاری سبقتی دسته صف رانندگان را بر شاخص زمان تا تصادف را پیش-بینی کند.

[1] Gradient function
[2] Partial derivative
[3] Regularisation constant
[4] Learning rate
[5] Threshold value
[6] Sigmoid
[7] Cost function

معادلات پیشنهادی رگرسیون دومتغیره به روش گرادیان مبتنی بر مشتق جزئی برای ارزیابی اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف مطابق جدول ۴-۲، به صورت معادلات (۴-۱) تا (۴-۴) و میانگین نتایج تابع هزینه و تکرار در شکل (۴-۶) نشان داده می‌شوند که به‌ترتیب مدل‌های ۲، ۳، ۴ و ۱ تابع هزینه کمتری با تکرارهای مختلف دارند.

جدول۴- ۲ معادلات مدل رگرسیون لجستیک دومتغیره مبتنی روش گرادیان و مشتق جزئی

مدل	متغیرهای مورد مطالعه	نوع متغیر	معادلات پیشنهادی برای استفاده در مدل دینامیکی	R^2
Model 1	**X_1**	زمان سبقت (ثانیه)	$z(x_1,x_2) = -0.37 - 0.021x_1 + 1.70x_2 - 0.67x_1^2 - 0.051x_1x_2 - 0.63x_2^2$ (۴-۱)	0.932
	X_2	زمان سبقت (ثانیه) خط مقابل		
Model 2	**X_1**	سرفاصله زمانی (ثانیه)	$z(x_1,x_2) = -1.98 - 0.64x_1 + 0.79x_2 - 0.76x_1^2 - 0.27x_1x_2 + 2.42x_2^2$ (۴-۲)	0.976
	X_2	سرعت (کیلومتر بر ساعت)		
Model 3	**X_1**	زمان تصمیم گیری (ثانیه)	$z(x_1,x_2) = +0.05 + 0.88x_1 - 0.54x_2 - 0.34x_1^2 - 0.2x_1x_2 - 1.05x_2^2$ (۴-۳)	0.920
	X_2	طول سبقت- گیری (متر)		
Model 4	**X_1**	فاصله تا خط کنار (متر)	$z(x_1,x_2) = -2.17 - 0.014x_1 - 0.2x_2 + 1.3?x_1^2 + 1.23x_1x_2 + 0.96x_2^2$ (۴-۴)	0.945
	X_2	سرعت (کیلومتر بر ساعت)		



شکل۴-۶ محاسبه تابع هزینه مقادیر اولیه برای مدل‌های رگرسیون به روش مشتق جزئی

سپس با استفاده از معادلات دیفرانسیلی مرتبه‌دو مطابق معادله (۳-۱۷) برای معادلات (۴-۵) تا (۴-۸) در جدول (۴-۳) و درنظرگرفتن شرایط اولیه[1] و مرزی[2] و حل روش عددی اویلری مطابق معادلات (۳-۱۹) و (۳-۲۴) ارزیابی اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف، به صورت احتمالاتی ریسک صورت می‌گیرد.

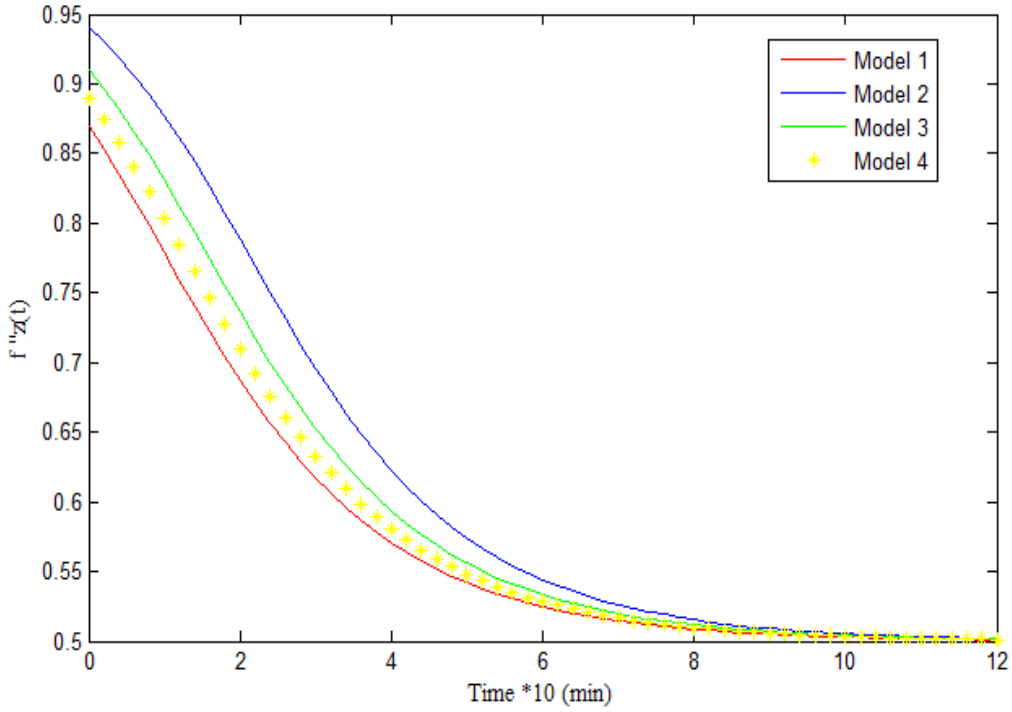
[1] Initial conditions
[2] Boundary conditions

جدول۴ -۳ معادلات دینامیکی احتمالاتی ریسک پیشنهادی

مدل	متغیرهای مورد مطالعه	نوع متغیر	معادلات دینامیکی پیشنهادی احتمالاتی ریسک
Model 1	**X_1**	زمان سبقت (ثانیه)	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}=\frac{1}{1+e^{-(-0.37-0.021x_1+1.70x_2-0.67x_1^2-0.051x_1x_2-0.62x_2^2)}}$ $-3\left(\frac{1}{1+e^{-(-0.37-0.021x_1+1.70x_2-0.67x_1^2-0.051x_1x_2-0.62x_2^2)}}\right)^2$ $+2\left(\frac{1}{1+e^{-(-0.37-0.021x_1+1.70x_2-0.67x_1^2-0.051x_1x_2-0.62x_2^2)}}\right)^3$ (۵-۴) $1\le x_1\le 13.10\ ;\ 1\le x_2\le 14.60$
	X_2	زمان سبقت (ثانیه) خط مقابل مقادیر اولیه	
Model 2	**X_1**	سرفاصله زمانی (ثانیه)	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}=\frac{1}{1+e^{-(-1.98-0.64x_1+0.79x_2-0.76x_1^2-0.27x_1x_2+2.42x_2^2)}}$ $-3\left(\frac{1}{1+e^{-(-1.98-0.64x_1+0.79x_2-0.76x_1^2-0.27x_1x_2+2.42x_2^2)}}\right)^2$ $+2\left(\frac{1}{1+e^{-(-1.98-0.64x_1+0.79x_2-0.76x_1^2-0.27x_1x_2+2.42x_2^2)}}\right)^3$ (۶-۴) $1\le x_1\le 47\ ;\ 45\le x_2\le 85$
	X_2	سرعت (کیلومتر بر ساعت) مقادیر اولیه	
Model 3	**X_1**	زمان تصمیم گیری (ثانیه)	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}=\frac{1}{1+e^{-(+0.05+0.88x_1-0.54x_2-0.34x_1^2-0.2x_1x_2-1.05x_2^2)}}$ $-3\left(\frac{1}{1+e^{-(+0.05+0.88x_1-0.54x_2-0.34x_1^2-0.2x_1x_2-1.05x_2^2)}}\right)^2$ $+2\left(\frac{1}{1+e^{-(+0.05+0.88x_1-0.54x_2-0.34x_1^2-0.2x_1x_2-1.05x_2^2)}}\right)^3$ (۷-۴) $1\le x_1\le 5\ ;\ 1\le x_2\le 79$
	X_2	طول سبقت‌گیری (متر) مقادیر اولیه	
Model 4	**X_1**	فاصله جانبی (متر)	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}=\frac{1}{1+e^{-(-2.17-0.014x_1-0.2x_2+1.3x_1^2+1.23x_1x_2+0.96x_2^2)}}$ $-3\left(\frac{1}{1+e^{-(-2.17-0.014x_1-0.2x_2+1.3x_1^2+1.23x_1x_2+0.96x_2^2)}}\right)^2$ $+2\left(\frac{1}{1+e^{-(-2.17-0.014x_1-0.2x_2+1.3x_1^2+1.23x_1x_2+0.96x_2^2)}}\right)^3$ (۸-۴) $1\le x_1\le 3\ ;\ 45\le x_2\le 85$
	X_2	سرعت (کیلومتر بر ساعت) مقادیر اولیه	

برای حل معادلات دیفرانسیل احتمالاتی ریسک پیشنهادی مطابق شکل ۴-۷ با استفاده از متغیرهای رفتار سبقتی برای چهار مدل پیشنهادی و روش اویلر در مدت ۱۲۰ دقیقه با اندازه گام[1] ۰/۱ شبیه‌سازی می‌شوند.

سپس نتایج حل معادلات (۴-۵) تا (۴-۸) برای جفت متغیرهای رفتار سبقتی رانندگان در دسته صف به صورت احتمالاتی ریسک برای هر جفت متغیر در شکل (۴-۸ تا ۴-۱۱) نشان داده شده.



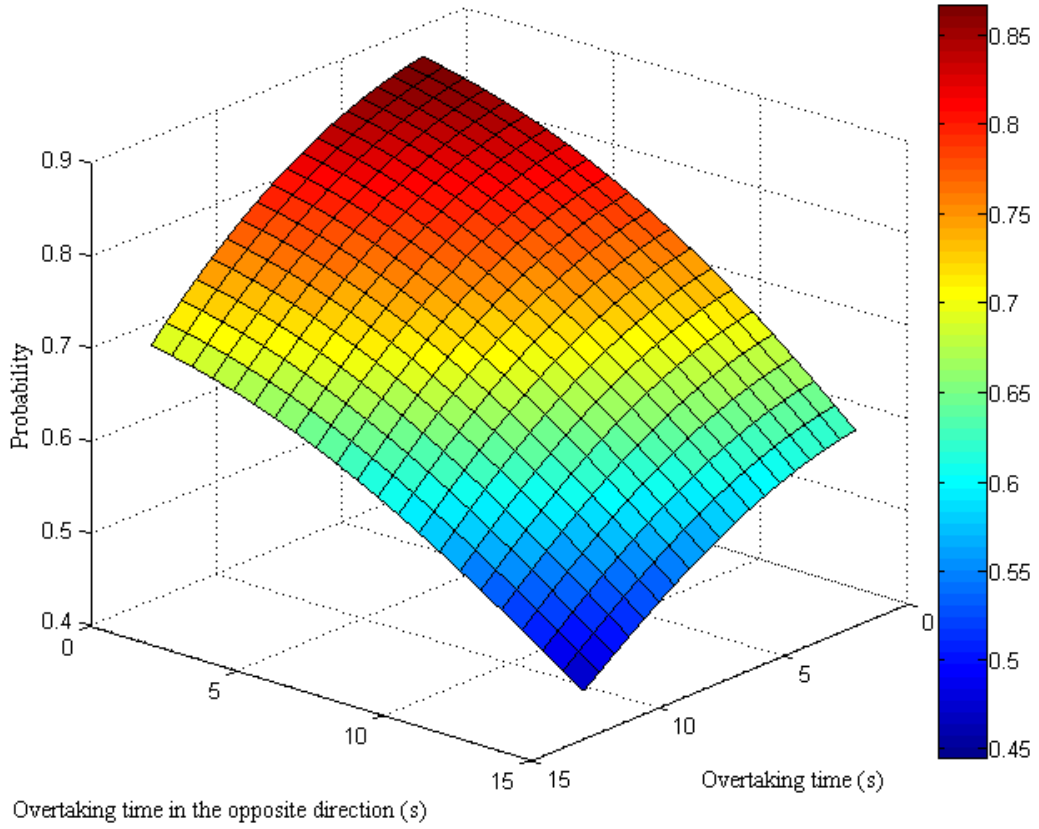
شکل۴-۷ روش حل عددی اویلر برای شبیه‌سازی اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقتی بر احتمال ریسک زمان بحرانی برخورد جلو به عقب

شکل ۴-۸ تأثیر زمان سبقت‌گیری در صف حرکتی وسایل نقلیه در جهت صف و خلاف جهت صف را بر احتمال ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۴-۸ می‌توان نشان داد که هر چقدر زمان سبقت‌گیری در دو جهت و یا زمان نسبی سبقت‌گیری کاهش یابد، احتمال بحرانی‌ترشدن شاخص زمان تا تصادف تا مقدار ۰/۸۸ افزایش می‌یابد.

[1] Step size

با افزایش احتمال ریسک برخورد جلو به عقب، میزان اثرگذاری زمان سبقت‌گیری در جهت مخالف[1] نسبت به میزان سبقت‌گیری در جهت ترافیک[2] مسیر بر میزان احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف جلو به عقب در دسته صف بیشتر است.



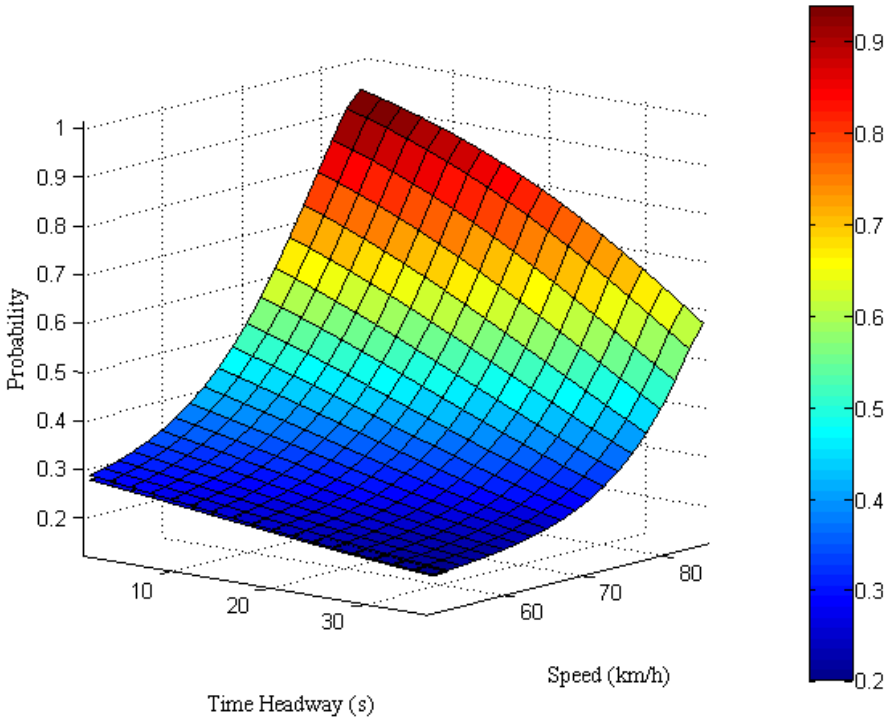
شکل۴-۸ تأثیرگذاری زمان سبقت‌گیری در دو جهت بر احتمال ریسک زمان بحرانی برخورد جلو به عقب

شکل ۴-۹ نیز، تأثیر دو متغیر سرفاصله زمانی و سرعت وسایل‌نقلیه در احتمال بحرانی‌شدن شاخص زمان تا تصادف را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۹ می‌توان نشان داد که هنگامی‌که سرفاصله زمانی بین وسایل‌نقلیه پیشرو و پیرو کاهش می‌یابد، سرعت وسایل‌نقلیه نیز افزایش می‌یابد، احتمال بحرانی‌تر شدن شاخص زمان تا تصادف تا مقدار ۰/۹۵ نیز افزایش می‌یابد که این افزایش باعث تصادفات جلو به عقب

[1] In the opposite direction of traffic flow
[2] In the direction of traffic flow

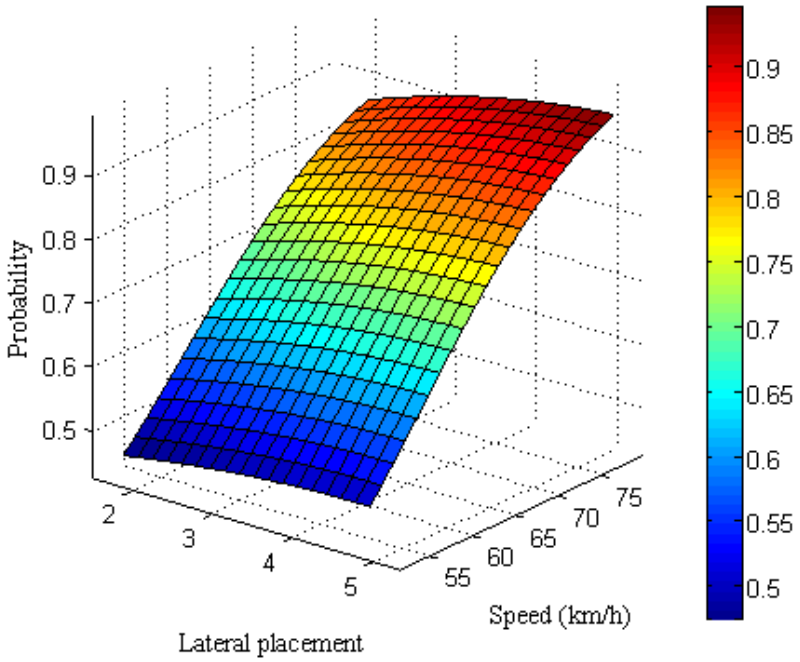
خودروها می‌شود.

همچنین اثرگذاری دو متغیر سرفاصله زمانی و سرعت وسایل‌نقلیه بر میزان احتمالاتی ریسک شاخص زمان تا تصادف می‌توان نتیجه گرفت که سرفاصله زمانی نسبت به متغیر سرعت اثرگذاری بیشتری بر میزان احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف در دسته صف دارد.



شکل۴-۹ تأثیر سرعت و سرفاصله زمانی بر احتمال ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف

شکل ۴-۱۰ ارتباط بین سرعت وسایل‌نقلیه و فاصله جانبی را بر احتمال ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف نشان می‌دهد. در شکل ۴-۱۰، افزایش سرعت وسایل‌نقلیه، و افزایش فاصله جانبی، باعث افزایش احتمال ریسک زمان تا تصادف با مقدار ۰/۹۲ می‌شود. بررسی میزان اثرگذاری متغیرهای سرعت و فاصله جانبی بر میزان شاخص زمان تا تصادف، می‌توان به این نتیجه رسید که میزان اثرگذاری سرعت نسبت به فاصله جانبی در احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف در دسته صف بیشتر است.

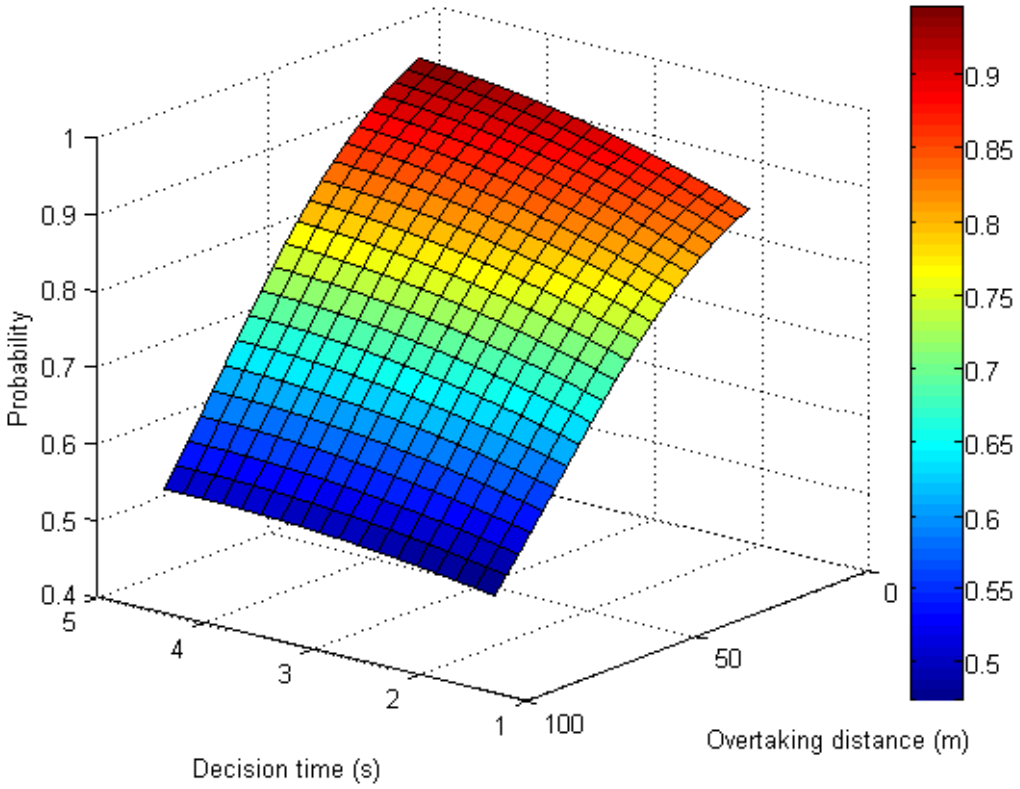


شکل۴- ۱۰ اثرگذاری سرعت و فاصله جانبی بر احتمال ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف

شکل ۴-۱۱ ارتباط زمان تصمیم‌گیری و طول مسافت سبقت را بر احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۱۱ می‌توان نشان داد که با افزایش زمان تصمیم‌گیری، احتمال ریسک برخورد جلو به عقب با مقدار ۰/۹۱ افزایش می‌یابد و در حالی که با کاهش مسافت سبقت‌گیری، احتمال برخورد جلو به عقب نیز تا مقدار ۰/۸۷ افزایشی می‌شود.

با بررسی مقایسه[1] تأثیر دو متغیر مسافت سبقت‌گیری و زمان تصمیم‌گیری بر احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف می‌توان نشان داد که اثرگذاری زمان تصمیم‌گیری نسبت به متغیر مسافت تصمیم‌گیری در افزایش احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف در دسته صف بیشتر می‌باشد.

[1] Comparison



شکل۴-۱۱ اثرگذاری زمان تصمیم‌گیری و طول سبقت‌گیری بر احتمال ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف

۴-۵-روش شبکه عصبی پرسپترون (MLP) برای اثرسنجی متغیرهای رفتار سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف

در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی و اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقتی رانندگان در دسته صف در راه‌های دوخطه بر شاخص زمان تا تصادف، ابتدا میزان اهمیت هر متغیر با ارائه مدل شبکه عصبی پرسپترون شناسایی می‌شود.

همانطور که مطابق جدول ۴-۴ و شکل ۴-۱۲ نشان داده می‌شود که ساختار مدل شبکه عصبی براساس تابع آموزشی مارکودات-لاونبرگ[1] و ۷۰ درصد آموزش و ۳۰ درصد آزمون، یک لایه پنهان و ۷ متغیر ورودی

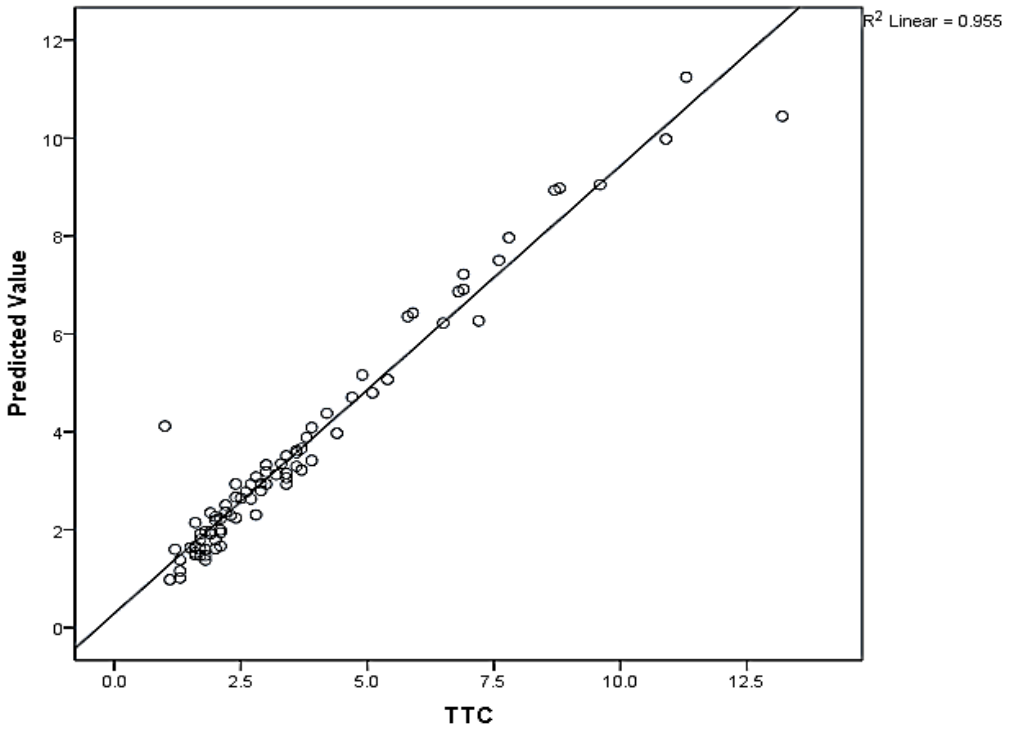
[1] Levenberg–Marquardt algorithm

و یک متغیر خروجی عملکردی پیش‌بینی بیشتر[1] و خطای کمتری[2] در پیش‌بینی عوامل مؤثر بر زمان برخوردرد جلو به عقب دارد. این مدل عصبی نشان می‌دهد که متغیرهای سرفاصله‌زمانی، مسافت سبقت-گیری، زمان سبقت‌گیری در جهت مخالف، زمان سبقت‌گیری خودرو، سرعت، زمان تصمیم‌گیری و فاصله جانبی به ترتیب از عوامل مؤثر بر شاخص زمان تا تصادف می‌باشند.

جدول۴-۴ ارزیابی مدل شبکه عصبی و عوامل مؤثر بر شاخص زمان تا تصادف

عملکرد مدلMLP				**اهمیت متغیر مستقل**	
1.904	خطای مجموع مربعات			اهمیت عادی	اهمیت
0.048	خطای مربوطه	آموزش		66.6%	0.139	زمان سبقت‌گیری(ثانیه)
				67.5%	0.141	زمان سبقت‌گیری (ثانیه) خط مقابل
				100.0%	0.208	سرفاصله زمانی (ثانیه)
5.946E-6	خطای مجموع مربعات	آزمایش کردن		47.2%	0.098	فاصله جانبی (متر)
				61.4%	0.128	سرعت (کیلومتر بر ساعت)
				61.6%	0.128	زمان تصمیم‌گیری(ثانیه)
0.00023	خطای مربوطه			75.5%	0.157	طول سبقت‌گیری (متر)

[1] High prediction performance
[2] Low error



شکل۴-۱۲ ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی پرسپترون

۴-۶-مقایسه اثرگذاری ویژگی‌های رفتاری سبقت‌گیری بر احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف

به منظور بررسی مقایسه اثرگذاری میزان متغیرهای رفتاری نظیر (زمان‌سبقت‌گیری در جهت ترافیک، زمان سبقت‌گیری در خلاف جهت ترافیک، سرعت، سرفاصله زمانی، فاصله جانبی، مسافت سبقت‌گیری و زمان تصمیم‌گیری راننده) بر احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف در دسته صف با مدل‌های دینامیکی مطابق شکل‌های ۴-۸ تا ۴-۱۱ به صورت جفت‌متغیر[1] مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج این بررسی به صورت عددی در شکل۴-۱۳ نشان داده می‌شود.

مطابق مدل‌های دینامیکی احتمالاتی ریسک، میزان احتمالاتی ریسک دو متغیر سرفاصله‌زمانی و سرعت بر شاخص زمان تا تصادف نسبت به متغیرهای دیگر بیشتر می‌باشد.

[1]Pairs of variables

همچنین با بررسی اثرگذاری هر متغیر بر شاخص زمان تا تصادف مبنی بر شبکه عصبی پرسپترون در شکل ۴-۱۳ می‌توان نتیجه گرفت که سرفاصله زمانی و زمان سبقت‌گیری راننده مؤثرترین متغیرها در مقدار شاخص زمان تا تصادف جلو به عقب هستند درحالی که براساس مقدار ریسک حاصل از دو تابع احتمال ریسک و اثرگذار هر متغیر نسبت به شاخص زمان تا تصادف جلو به عقب مطابق معادله (۳-۲۵) به ترتیب سه متغیر سرفاصله زمانی، طول سبقت‌گیری و سبقت‌گیری در هر دو جهت مخالف وسایل‌نقلیه برای سبقت اثرگذاری بیشتری نسبت به دیگر متغیرهای اثرگذار بر ریسک شاخص زمان تا تصادف دارند.

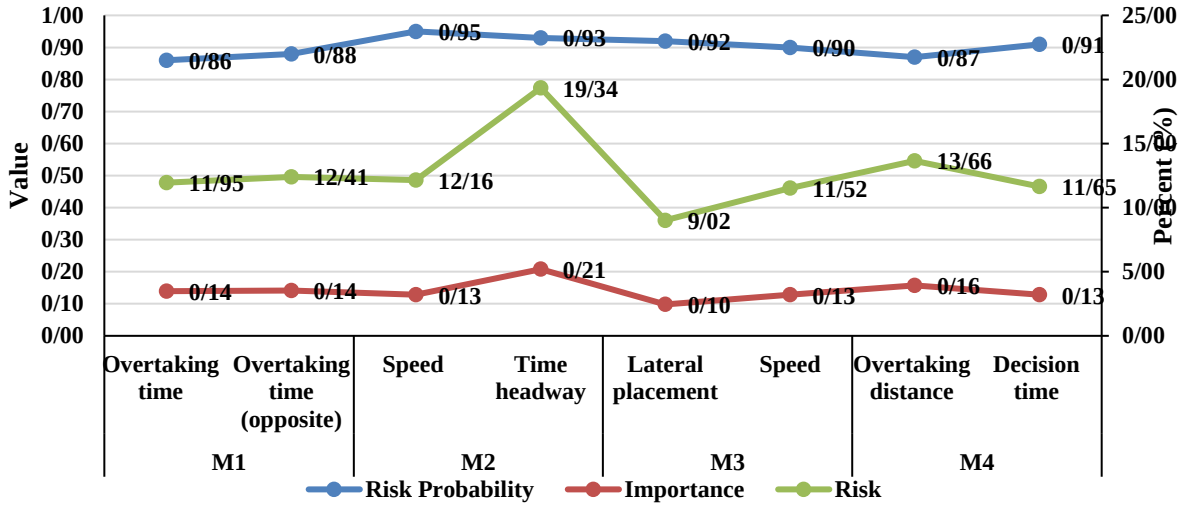
مقدار بیشترین اثر بر مقدار ریسک مرتبط به سرفاصله زمانی با مقدار ۱/۷ برابر نسبت به دیگر متغیرها و کمترین اثر مرتبط به فاصله جانبی با مقدار ۰/۷ برابر نسبت به بقیه متغیرهای اثرگذار رفتار سبقتی بر میزان ریسک زمان تا تصادف می‌باشد.

همچنین به منظور مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش دیگران می‌توان نشان داد که نتایج اثرگذاری سرفاصله زمانی در میزان ریسک شاخص زمان تا تصادف با پژوهش ندیمی و همکاران (۲۰۱۶) و ندیمی و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. آنها با معرفی سیستم فازی ایمنی برای ریسک برخورد زمان تا تصادف به این نتیجه رسیدند که سرفاصله زمانی به عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر در ریسک شاخص زمان تا تصادف می‌باشند. قدس و ساکومانو (۲۰۱۶) سرفاصله زمانی خودروهای پیشرو پیرو را به عنوان مهم‌ترین عامل اثرگذار بر ریسک شاخص زمان تا تصادف نشان دادند.

همچنین نتایج اثرگذاری سه متغیر سرعت، فاصله جانبی و سرفاصله زمانی در مقدار ریسک تصادف با نتایج مطالعه والی و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد زیرا آن‌ها نشان دادند که سرفاصله زمانی و فاصله جانبی وسایل‌نقلیه از میانه راه بر شاخص زمان تا تصادف اثرگذار است.

بنابراین با بررسی این مطالعات می‌توان نشان داد که پژوهش حاضر می‌تواند مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ریسک برخورد زمان تا تصادف رانندگان را شناسایی و سپس میزان ریسک هر متغیر را محاسبه کند.

این در حالی است که در پژوهش‌های پیشین به محاسبه مقدار آستانه بحرانی زمان تا تصادف، ارائه مدل احتمالاتی ریسک تصادف و سپس محاسبه مقدار ریسک نهایی تحت تأثیر رفتارهای سبقتی راننده در دسته صف در راه‌های دوخطه پرداخته نشده است.



شکل۴-۱۳ مقایسه ریسک متغیرهای رفتاری سبقتی رانندگان در برخورد زمان تا تصادف

۴-۷-تحلیل حساسیت[1] مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک

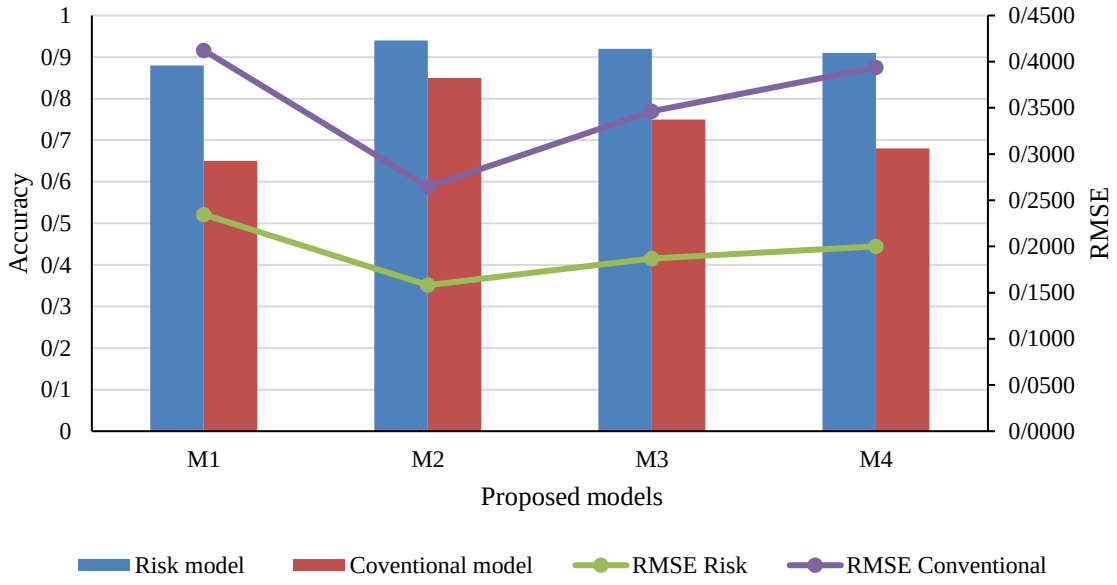
شکل ۴-۱۴ نیز رابطه بین مدل پیشنهادی دیفرانسیلی معادلات لجستیکی رگرسیونی با مرتبه بالا با حل روش عددی اویلر نسبت به معادلات رگرسیونی لجستیک معمولی را نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۴-۱۴ به منظور بررسی درستی مدل‌های پیشنهادی مقدار احتمالاتی ریسک توسط مدل-های پیشنهادی با مدل رگرسیون لجستیک دومتغیره بدون استفاده از تحلیل دینامیکی نسبت به بیشترین مقدار احتمالاتی ۱ مقایسه می‌شوند و سپس درستی و میانگین جذرمربعات خطاها برای مدل‌های پیشنهادی نشان داده می‌شود.

همانطور که از شکل ۴-۱۴ مشخص است معادله دینامیکی مبتنی بر معادلات دیفرانسیلی با مرتبه بالا نسبت به معادلات رگرسیون خطی لجستیکی احتمالاتی، پیش‌بینی بهتری در اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقت‌گیری در تأثیرگذاری بحرانی شاخص زمان تا تصادف در دسته صف را نشان می‌دهد زیرا مدل ریسک

[1] Sensitivity analysis

دینامیکی احتمالاتی دارای درستی بالایی برابر با ۰/۹۱ و کمترین خطای پیش‌بینی نزدیک به ۰/۱۹ دارد که این بدین معنا می‌باشد که مدل ریسک دینامیکی احتمالاتی نسبت به مدل رگرسیون دومتغیره معمولی قابلیت[1] بالایی در پیش‌بینی ریسک تصادفات جلو به عقب در راه‌های دوخطه را دارا می‌باشد.



شکل ۴-۱۴ مقایسه دو مدل نمودار مدل‌سازی رگرسیون خطی بحرانی شاخص زمان تا تصادف

[1] Capability

فصل پنجم: نتیجه گیری

۵-۱-نتایج تحقیق

با توجه به این‌که راه‌های دوخطه دوطرفه از مهمترین راه‌های پرتردد برون‌شهری محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر تصادفات جلو به عقب ناشی از رفتارهای سبقتی رانندگان در دسته صف به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است و این باعث شده تا پژوهشگران با بررسی عوامل موثر سبقتی و شاخص ایمنی زمان تا تصادف، آنها را به عنوان عوامل موثر در تصادفات جلو به عقب شناسایی کنند.

بنابراین به منظور پیشگیری از تصادفات جلو به عقب در راه‌های دوخطه برون‌شهری ناشی از مانور سبقت‌گیری راننده و کاهش احتمال برخورد تصادفات جلو به عقب در دسته صف، پژوهش حاضر در ابتدا به بررسی ویژگی‌های رفتار سبقتی در راه‌های دوخطه و تأثیر این پارامترها در شاخص زمان تا تصادف رانندگان می‌پردازد.

سپس شاخص بحرانی مرتبط به شاخص زمان تا تصادف تحت تأثیر این ویژگی‌های رفتار سبقتی به دست می‌آید. همچنین به منظور اثرگذاری این پارامترها بر احتمال شاخص زمان تا تصادف، ابتدا به ارائه مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک شاخص زمان تا تصادف برای رفتارهای سبقتی راه‌های دوخطه با استفاده مدل لجستیک دومتغیره مبتنی بر روش گرادیان و مشتق جزئی و سپس حل معادله دیفرانسیلی با مرتبه بالا با استفاده از روش عددی اویلر پرداخته می‌شود و اثرسنجی با شبکه عصبی پرسپترون برای تعیین اهمیت متغیرها بر شاخص زمان تا تصادف در مقدار ریسک نهایی[1] به‌دست می‌آید.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر به‌صورت زیر عبارتند از:

۱- متغیرهای سرفاصله زمانی، زمان نسبی سبقت‌گیری و طول سبقت‌گیری، تأثیر مثبت بر شاخص زمان تا تصادف دارد. با افزایش یا کاهش این نوع متغیرها، شاخص زمان تا تصادف به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. در حالی که متغیرهایی نظیر زمان تصمیم‌گیری، سرعت و فاصله جانبی تأثیر معکوس بر شاخص زمان تا تصادف دارند که با افزایش این نوع متغیرها، شاخص زمان تا تصادف نیز کاهش می‌یابد. در

[1] Final risk value

نتیجه با بررسی اثرگذاری این نوع متغیرهای رفتار سبقتی می‌توان نشان داد که میانگین شاخص زمان تا تصادف به عنوان شاخص زمان تا تصادف بحرانی ۲/۴ ثانیه محاسبه می‌شود.

۲- همچنین مدل دیفرانسیلی دینامیکی احتمالاتی ریسک پیشنهادی برای اثرگذاری ویژگی‌های رفتاری سبقتی بر شاخص زمان تا تصادف در میزان احتمال ریسک را نشان می‌دهد که متغیرهای سرعت، فاصله جانبی و زمان تصمیم‌گیری، باعث افزایش میزان ریسک زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف به‌ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۲، و ۰/۹۱ می‌شوند در حالی که متغیرهایی نظیر سرفاصله زمانی، زمان سبقت‌گیری در دو جهت راه و طول سبقت‌گیری تأثیر معکوس بر احتمال زمان بحرانی شاخص زمان تا تصادف دارند که با کاهش این نوع متغیرها، احتمال ریسک شاخص زمان تا تصادف به‌ترتیب با مقادیر ۰/۹۳، و ۰/۸۷ افزایش می‌یابد.

۳- با مقایسه مدل‌های دینامیکی جهت بررسی میزان اثرگذاری متغیرهای رفتار سبقتی رانندگان بر میزان احتمالاتی ریسک شاخص زمان تا تصادف نشان داده شد که بیشترین اثر مرتبط به سرفاصله زمانی با مقدار ۱/۷ برابر نسبت به دیگر متغیرها است. این درحالی است که کمترین اثر مرتبط به فاصله جانبی با مقدار ۰/۷ برابر نسبت به بقیه متغیرهای اثرگذار بر میزان ریسک شاخص زمان تا تصادف با توجه به دو معیار که شامل احتمال ریسک مبتنی بر مدل‌های دینامیکی و دیگری اثربخشی هر متغیر با استفاده از روش شبکه عصبی بر شاخص زمان تا تصادف می‌باشد.

۴- همچنین با مقایسه مدل دینامیکی احتمالاتی ریسک توسعه یافته نسبت به مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از تحلیل حساسیت، نشان داده شد که این مدل با قابلیت عملکرد پیش‌بینی بیشتر و خطای کمتر می‌تواند اثرگذاری ویژگی‌های رفتار سبقتی را بر احتمال شاخص زمان تا تصادف وسایل نقلیه را نسبت به مدل معمولی رگرسیون دومتغیره پیش‌بینی کند.

یکی از کاربردهای پژوهش حاضر قابلیت توسعه سیستم‌های هوشمند و وسایل نقلیه خودران[1] مبتنی بر سیستم دینامیکی احتمالاتی برای محاسبه سریع زمان[2] تا تصادف و شناسایی موقعیت‌های با خطر بالقوه

[1] Autonomous vehicles (AV)
[2] Fast estimation

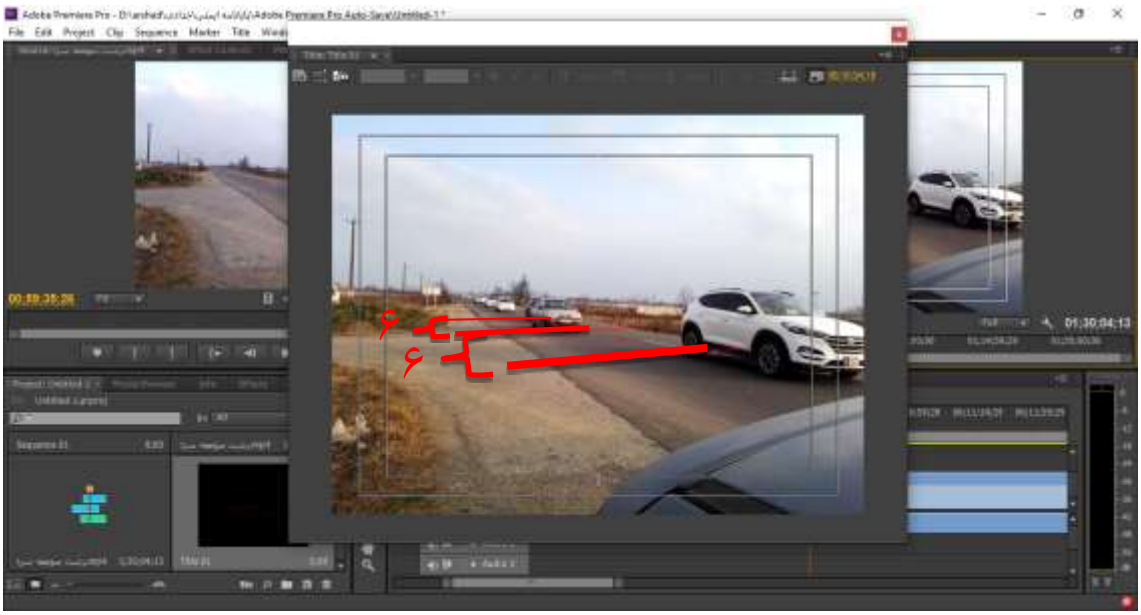
برخورد جلو به عقب می‌باشد که می‌تواند در هشدار سریع به راننده و ترمزگیری اضطراری[1] برای جلوگیری از تصادفات به‌کار برده شود.

۵-۲-پیشنهادات

پیشنهاد این پژوهش در رابطه با مطالعات مرتبط آینده می‌تواند به بررسی اثرگذاری زمان تابرخورد(ttc) بر شاخص زمان برخورد در راه‌های دوخطه دوطرفه با استفاده از داده‌های تصادفات و همچنین استفاده از پارامترهای سرعت، زمان تصمیم‌گیری، طول سبقت‌گیری، زمان سبقت‌گیری، فاصله زمانی، سرفاصله زمانی، زمان تا برخورد و تعیین مقدار مسافت تکمیل سبقت در هنگام انجام سبقت همزمان دو خودروی در جهت مخالف هم برای مطالعات آینده جهت پردازش و کمک به مهندسان ترافیک ایمنی موثر باشد.

[1] Emergency braking

پوست



شکل ۰-۱ محیط نرم افزار ۲۰۱۸ CC Premier Adobe مسیر فومن به صومعه‌سرا

مراجع

سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای (۱۳۸۷)؛ سالنامه آماری حمل و نقل جادهای سال .۱۳۸۷تهران، دفتر فناوری اطالعات سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای

کامبوزیا، ندا و عامری، محمود و حسینیان، سید محسن،۱۴۰۰،بررسی عوامل موثر در شدت تصادفات راه های روستایی گیلان جهت تعیین موثرترین عوامل و ارائه راهکارهای ایمنی،،،،https://civilica.com/doc/1153496

دژ، مجید و خسروی، حامد و باباخانی، پیمان،۱۳۹۴،بررسی تطبیقی مسافت دید سبقت در راه های دوخطه دوطرفه ایران،چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک،تهران،،،https://civilica.com/doc/419718

طباطبایی، سیدعباس و نجفی علمدارلو، محسن،۱۳۹۰،ارایه روشی ساده جهت افزایش ایمنی سبقت در راه های دوخطه،دومین کنفرانس ملی تصادفات جاده ای، سوانح ریلی و هوایی،زنجان،،،https://civilica.com/doc/132681

شفابخش، غلامعلی و ترابی، رضا و ساجد، یوسف و باقری، مرتضی،۱۳۹۵،شناسایی عوامل موثر در رفتار رانندگان به هنگام سبقت در جاده های دوخطه دوطرفه برون شهری،شانزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک،تهران،،،https://civilica.com/doc/717588

Asaithambi, G., & Shravani, G. (2017). Overtaking behaviour of vehicles on undivided roads in non-lane based mixed traffic conditions. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, *4*(3), 252-261.

Ascher, U. M., & Petzold, L. R. (1998). Computer methods for ordinary differential equations and differential-algebraic equations (Vol. 61). Siam.

Atombo, C., Wu, C., Zhong, M., & Zhang, H. (2016). Investigating the motivational factors influencing drivers intentions to unsafe driving behaviours: Speeding and overtaking violations. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *43*, 104-121.

Behbahani, H., & Nadimi, N. (2015). A framework for applying surrogate safety measures for sideswipe conflicts. *International Journal for Traffic & Transport Engineering*, *5*(4), 371-383.

Behbahani, H., Nadimi, N., Alenoori, H., & Sayadi, M. (2014). Developing a new surrogate safety indicator based on motion equations. *Promet-Traffic&Transportation*, *26*(5), 371-381.

BUDHKAR, A. K., & MAURYA, A. K. (2017). Overtaking decision modeling in heterogeneous, weak lane discipline traffic. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, *12*, 1740-1754.

Cafiso S, Di Graziano A, Di Silvestro G, La Cava G and Persaud B (2009) Development of comprehensive accident models for two-way two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. Accident Analysis & Prevention 42(4): 1072–1079.

Chandra, S., & Shukla, S. (2012). Overtaking behavior on divided highways under mixed traffic conditions. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 43, 313-322.

Chae, H., & Yi, K. (2020). Virtual Target-Based Overtaking Decision, Motion Planning, and Control of Autonomous Vehicles. IEEE Access, 8, 51363-51376.

Chen, J., Wang, K., & Xiong, Z. (2018). Collision probability prediction algorithm for cooperative overtaking based on TTC and conflict probability estimation method. *International journal of vehicle design*, *77*(4), 195-210.

Chen, Y. L., Shen, K. Y., & Wang, S. C. (2013, June). Forward collision warning system considering both time-to-collision and safety braking distance. In *2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)* (pp. 972-977). IEEE.

Choudhari, T., Budhkar, A., & Maji, A. (2020). Modeling overtaking distance and time along two-lane undivided rural highways in mixed traffic condition. Transportation Letters, 1-9.

Cirianni, F., Leonardi, G., & Palamara, R. (2016). Overtaking sight distance on two-lane highways: considerations and experimental verifications. International Journal of Applied Engineering Research, 11(18), 9320-9326.

Eguchi, K., Enomoto, S., Furuno, K., Goldman, J., Hanada, H., Ikeda, H., ... & KamLAND Collaboration. (2003). First results from KamLAND: evidence for reactor antineutrino disappearance. Physical Review Letters, 90(2), 021802.

Farah, H., Bekhor, S., & Polus, A. (2009). Risk evaluation by modeling of passing behavior on two-lane rural highways. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(4), 887-894.

Figueira, A. C., & Larocca, A. P. C. (2020). Analysis of the factors influencing overtaking in two-lane highways: A driving simulator study. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *69*, 38-48.

FMOI (Forensic Medicine Organization of Iran) (2012) Forensic Medicine Organization of Iran; Statistical Data, Accidents. FMOI, Tehran, Iran (in Farsi).

Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2001). The elements of statistical learning (Vol. 1, No. 10). New York: Springer series in statistics.

Ghods, A. H., & Saccomanno, F. F. (2016). Development and evaluation of a microscopic overtaking gap acceptance model for two-lane highways. *Canadian journal of civil engineering*, *43*(6), 573-582.

Global Status Report on Road Safety (WHO). 2018. Switzerland: Department of Violence & Injury Prevention & Diability, World Health Organization, Department of Violence Injury Prevention Disability (VIP). www.WHO.int/ violence_injury_prevention

Harwood, D. W., Council, F. M., Hauer, E., Hughes, W. E., & Vogt, A. (2000). *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways* (No. FHWA-RD-99-207,, MRI 4584-09, Technical Report). United States. Federal Highway Administration.

Hassan, S. A., Puan, O. C., Mashros, N., & Sukor, N. S. A. (2014). Factors affecting overtaking behaviour on single carriageway road: case study at Jalan Kluang-Kulai. *Jurnal Teknologi*, *71*(3).

Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). Applied logistic regression (Vol. 398). John Wiley & Sons.

Jenkins, J. M., & Rilett, L. R. (2005). Classifying passing maneuvers: a behavioral approach. Transportation research record, 1937(1), 14-21.

Jin, S., Qu, X., & Wang, D. (2011). Assessment of expressway traffic safety using Gaussian mixture model based on time to collision. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, *4*(6), 1122-1130.

Kashani, A. T., Ayazi, E. & Ravasani, M. S. 2016. Identifying Significant Variables Influencing Overtaking Maneuvers On Two-Lane, Two-Way Rural Roads In Iran. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 44,155-163.

Kowalska, A., Sokolowski, J., & Bociong, K. (2021). The Photoinitiators Used in Resin Based Dental Composite—A Review and Future Perspectives. Polymers, 13(3), 470.
Kotagi, P. B., Raj, P., & Asaithambi, G. (2020). Modeling lateral placement and movement of vehicles on urban undivided roads in mixed traffic: A case study of India. Journal of traffic and transportation engineering (English edition), 7(6), 860-873.
Khachatryan, V., Sirunyan, A. M., Tumasyan, A., Adam, W., Asilar, E., Bergauer, T., ... & Da Costa, E. M. (2016). Measurement of Long-Range Near-Side Two-Particle Angular Correlations in p p Collisions at s= 13 TeV. Physical review letters, 116(17), 172302.
Kleinbaum, D. G., Dietz, K., Gail, M., Klein, M., & Klein, M. (2002). Logistic regression. New York: Springer-Verlag
Llorca, C., García, A., Moreno, A. T., & Pérez-Zuriaga, A. M. (2013). Influence of age, gender and delay on overtaking dynamics. *IET Intelligent Transport Systems*, *7*(2), 174-181.
Llorca, C., Moreno, A. T., Lenorzer, A., Casas, J., & Garcia, A. (2015). Development of a new microscopic passing maneuver model for two-lane rural roads. *Transportation research part C: emerging technologies*, *52*, 157-172.
Mahmud, S. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., & Tavassoli, A. (2018, December). Overtaking Behaviour on Rural Highways under an Heterogeneous Traffic Environment: Evidence from a Developing Country. In *Australasian Transport Research Forum (ATRF), 40th, 2018, Darwin, Northern Territory, Australia*.
Mahmud, S. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., & Tavassoli, A. (2019). Micro-simulation modelling for traffic safety: A review and potential application to heterogeneous traffic environment. *IATSS research*, *43*(1), 27-36.
Mohaymany, A. S., Kashani, A. T., & Shahri, M. (2015, December). Evaluation of overtaking manoeuvres on two-lane rural roads. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport* (Vol. 168, No. 6, pp. 523-531). Thomas Telford Ltd.
Malhotra, N., Starkey, N. J., & Charlton, S. G. (2017). Driving under the influence of drugs: Perceptions and attitudes of New Zealand drivers. Accident Analysis & Prevention, 106, 44-52.
Mwesige, G., Farah, H., & Koutsopoulos, H. N. (2016). Risk appraisal of passing zones on two-lane rural highways and policy applications. *Accident Analysis &* Prevention, 90, 1-12.
Minderhoud, M. M., & Bovy, P. H. (2001). Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment. Accident Analysis & Prevention, 33(1), 89-97.
Nadimi, N., Behbahani, H., & Shahbazi, H. (2016). Calibration and validation of a new time-based surrogate safety measure using fuzzy inference system. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, *3*(1), 51-58.
Nadimi, N., Ragland, D. R., & Mohammadian Amiri, A. (2020). An evaluation of time-to-collision as a surrogate safety measure and a proposal of a new method for its application in safety analysis. *Transportation letters*, *12*(7), 491-500.
Qin, S., Li, X., & Wang, J. (2020, August). Two-lane multipoint overtaking decision model based on vehicle network. In *2020 15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)* (pp. 317-322). IEEE.
Rausand, M. (2013). Risk assessment: theory, methods, and applications (Vol. 115). John Wiley & Sons.
Richter, T., Ruhl, S., Ortlepp, J., & Bakaba, E. (2016). Prevention of overtaking accidents on two-lane rural roads. *Transportation research procedia*, *14*, 4140-4149.

Planek, T. W., Sinelnikov, S., Thomas, J., Kolosh, K., & Porretta, K. (2015). Letter from the Editors--Fourth international symposium on naturalistic driving research. Journal of safety research, 54, 29-29.

Polus, A., Livneh, M., & Frischer, B. (2000). Evaluation of the passing process on two-lane rural highways. Transportation Research Record, 1701(1), 53-60.

Saffarzadeh, M., Nadimi, N., Naseralavi, S., & Mamdoohi, A. R. (2013, October). A general formulation for time-to-collision safety indicator. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport* (Vol. 166, No. 5, pp. 294-304). Thomas Telford Ltd.

Van der horst R, Hogema J. Time-to-collision and Collision Avoidance Systems. Proceedings of the 6th ICTCT Workshop Safety Evaluation of Traffic Systems: Traffic Conflicts and Other Measures; 1993. p 109-121.

Vlahogianni, E. I. (2013). Modeling duration of overtaking in two lane highways. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *20*, 135-146.

Van Der Horst, R., & Hogema, J. (1993, October). Time-to-collision and collision avoidance systems. In Proceedings of the 6th ICTCT workshop: Safety evaluation of traffic systems: Traffic conflicts and other measures (pp. 109-121).

Wang, Y., Nguyen, N. H., Levy, A., & Wu, Y. J. (2008). Cost effective safety improvements for two-lane rural roads (No. TNW2008-04). Transportation Northwest (Organization).

Wali, B., Khattak, A. J., & Karnowski, T. (2020). The relationship between driving volatility in time to collision and crash-injury severity in a naturalistic driving environment. *Analytic Methods in Accident Research*, *28*, 100136.

Taylor, S. E., & Brown, J. D. (1988). Illusion and well-being: a social psychological perspective on mental health. Psychological bulletin, 103(2), 193.

You-Qun, Z., Xing-Long, Z., Wen-Xin, Z., & Lin, F. (2018). Minimum Time Overtaking Problem of Vehicle Handling Inverse Dynamics Based on Two Kinds of Safe Distances. Chinese Journal of Mechanical Engineering= Ji xie gong cheng xue bao, 31(1).

Zhang C, Ivan JN and Ravishanker N (2008) Vehicle time spent in following new exposure measure for predicting samedirection collisions on two-lane rural roads. Transportation Research Record 2083: 162-169.

Abstract

To prevent rear-end collisions in two-lane roads, investigating the effect of overtaking behavioral and platoon characteristics on time-to-collision (TTC) and reducing the probability of collisions are vital in road safety issues. Therefore, the present study first examines the characteristics of overtaking behavior of drivers in two-lane roads and then investigates the impacts of these parameters on collision. Then, a dynamic probabilistic risk model based on higher ordinary differential equation and binomial logistic regression is presented, and a numerical solution using Euler's numerical method is applied. Then the effect of variables on TTC with the artificial neural network multilayer perceptron (ANN-MLP) is determined. The results of this study showed that the surrogate safety measure for collision under the effect of overtaking behaviors of drivers, and platooning is 2.4 seconds. Also, the proposed model and its solution by the Euler's method to investigate the effect of overtaking and driver behavior characteristics on TTC showed that the variables of speed, lateral placement, and decision time lead to increasing the risk of TTC by 0.95, 0.92, and 0.91, respectively. However, variables such as time headway, overtaking time in both directions, and overtaking distance have an inverse effect on the risk probability of the critical TTC which by reducing these variables, the risk probability of TTC increases by 0.93 and 0.87. The results of the effect of the variables on risk probability of TTC showed that the highest effect is related to the time headway as 1.7 times higher than other variable. The lowest effect is related to lateral placement, with a value of 0.7 times less than other variables.

Keywords: Two-lane roads, Time to collision, Dynamic probabilistic risk model, Higher ordinary differential equation, Euler's method

Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Road and Transport Engineering

Evaluating the effect of overtaking behavior in vehicle platooning on time to collision in two-lane roads

By: **Mojtaba Bahrami Torkashvand**

Supervisor:
Dr. **Iman Aghayan**

June 2021