

ارزیابی ریسک برخورد خودرو- خودرو در حرکت‌های گردش به چپ تقاطعات

مقاله علمی-پژوهشی

اکرم عزیززاده، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران

فرشیدرضا حقیقی*، دانشیار، گروه راه و ترابری، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Haghghi@nit.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

صفحه ۲۷۷-۲۹۸

چکیده

تعداد میان ایمنی و بهره‌وری عملیاتی حرکات گردش به چپ در تقاطع‌ها نیاز به توجه ویژه دارد. در میان انواع تقاطعات، تقاطعات چراغ‌دار این نیاز را بیشتر نمایان می‌سازد، زیرا در عین حال که گردش به چپ محافظت شده ایمنی را افزایش می‌دهد، محافظت غیر ضروری از گردش به چپ می‌تواند تاخیر عملیاتی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. روش‌های ارزیابی سنتی ایمنی عمدتاً بر پایه آمار تصادفات ترافیکی است، که به دلایلی چون، نادر بودن تصادفات، سطح گزارش‌دهی نامناسب، عدم در نظرگیری جنبه‌های رفتاری کاربران راه و همچنین صرف زمان و هزینه زیاد برای برداشت اطلاعات کاربری مطلوب برای بکارگیری استراتژی‌های کوتاه مدت و مطالعات قبل و بعد ندارد. بنابراین در این پژوهش با بهره‌گیری از تکنیک تداخل ترافیکی خود براساس رویدادهای با فرکانس وقوع بیشتر از تصادفات است، راهکاری جهت ارزیابی ایمنی تداخلات مربوط به گردش به چپ ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تکنیک تداخل ترافیکی، ایمنی ترافیک، گردش به چپ، ریسک، تقاطع چراغ‌دار

۱-مقدمه

از جمله نقش عمده تقاطع‌ها در ایمنی و ظرفیت شبکه دارد. تقاطع‌های یک شبکه ترافیک، بخش عمده‌ای از تصادفات آن شبکه را که بیشترشان منجر به جرح و یا مرگ می‌شوند به خود اختصاص می‌دهند. تحلیل دقیق آمار تصادفات در سطح انجام پذیرفته، نشان می‌دهد که میزان مرگ و میر در ازای هر خودرو شمارش شده در کشورهای در حال توسعه، در مقایسه با کشورهای صنعتی بسیار می‌باشد. همچنین در حالی که به نظر می‌رسد از لحاظ تعداد افراد کشته شده، اوضاع در بسیاری از کشورهای صنعتی رو به بهبود باشد، اغلب کشورهای در حال توسعه در سال‌های اخیر با وخامت روبه‌رو بوده‌اند (ایمنی، دانشگر، ۱۳۹۰). در تقاطع‌های چراغ‌دار حرکت گردش به چپ مشکل‌ترین، زمان‌برترین و پیچیده‌ترین حرکتی است که صورت

امروزه استفاده از وسیله‌نقلیه شخصی مورد توجه عموم مردم است. هر روزه بر تعداد و میزان استفاده از وسیله‌نقلیه افزوده می‌شود. این امر در عین حال که تحولی اساسی در حمل و نقل بوجود آورده است، منجر به بروز مشکلاتی نیز گردیده است. استفاده روزافزون از وسایل نقلیه با ساختار فیزیکی و بافت شهرها هماهنگ نیست. در نتیجه با گذشت زمان، مشکلات و معضلات استفاده از آن‌ها بر همگان آشکار گردید. یکی از مشکلات قابل توجه، عدم وجود ایمنی کافی در معابر شهری و تقاطعات به واسطه تصادفات ناشی از برخورد وسایل نقلیه با عابرین پیاده و یا با وسایل نقلیه دیگر می‌باشد، که باعث از بین رفتن سرمایه‌های انسانی و مالی در جوامع می‌شود. تقاطع‌ها در شبکه ترافیک شهری نقش و اهمیت ویژه‌ای دارند. این اهمیت دلایل گوناگونی

ترافیک حرکات گردش به چپ بر روی ترافیک مستقیم پشت سر خود و ترافیک جهت رو به روی خود بر جای می‌گذارد. به این ترتیب با انجام حرکات گردش به چپ در تقاطع‌ها، نقاط برخورد بیشتری اتفاق می‌افتد که موجب افزایش میزان تصادفات و کاهش ایمنی می‌گردد. انجام مانور گردش موفقیت‌آمیز در یک محیط نیاز به تصمیم‌گیری‌های متعدد دارد که به طور پویا تغییر می‌کند. به عنوان مثال، جستجوی فاصله زمانی در تقابل با ترافیک، دنبال کردن وسایل نقلیه گردش پیش‌رو، حفظ سرعت کافی و کنترل وسیله نقلیه و پاسخ سریع و صحیح به قوانین چراغ و اولویت و تقدم‌ها. در مقایسه با حرکات گردش به راست، حرکات گردش به چپ به دلیل ادغام در خطوط ترافیک پرسرعت، می‌تواند خطرات مشخصی ایجاد کند. خطر بارز دیگر این است که وسایل نقلیه چپ‌گرد در جهات مخالف می‌توانند دید یکدیگر را مسدود کنند، که این چالش اغلب با استفاده از خطوط گردش به چپ مرتفع می‌شود (امینی و دانشگر، ۱۳۹۰). فازبندی ترافیک یکی از اقدامات قدرتمند برای کاهش برخورد و تداخلات گردش به چپ با دیگر جریان‌های ترافیک است و در جهت بهبود ایمنی و کارایی این حرکات استفاده می‌شود؛ اما محافظت غیرضروری از گردش به چپ می‌تواند تاخیر عملیاتی کل تقاطع را به میزان قابل توجهی افزایش دهد؛ لذا تعادل میان ایمنی و بهره‌وری عملیاتی در تقاطع‌ها برای حرکات گردش به چپ نیاز به توجه ویژه دارد (Zhang & Prevedouros, 2002). در این پژوهش با ارزیابی ریسک برخورد در حرکات گردش به چپ سعی بر آن است تا در مطالعات قبل و بعد به تصمیم‌گیری مهندسی ترافیک و مدیران در برخورد با استراتژی‌های مختلف کمک کوچکی شود؛ لذا به طور خاص می‌توان از موارد مورد مهم‌ترین هدف مورد بررسی در این پژوهش را جمع آوری داده‌های آماری مناسب و سپس تحلیل میزان ریسک برخورد خودرو-خودرو در حرکات گردش به چپ در یک تقاطع چراغ‌دار، به منظور ارائه پیشنهاداتی در جهت بهبود ایمنی و کاهش تصادفات رانندگی است. با توجه به مشکلات کمی و کیفی به خوبی شناخته شده، مرتبط با داده‌های تصادف بناست، جهت رسیدن به هدف این پژوهش از مفاهیم و قوانین حاکم در زمینه تکنیک تداخل ترافیک استفاده شود.

می‌گیرد و بیشترین تصادفات هنگامی رخ می‌دهد که حرکات گردش به چپ به صورت محافظت‌نشده صورت می‌گیرد (Zhang & Prevedouros, 2002). با توجه به ارزش زندگی هر انسان و اینکه از دست رفتن هر شخص و یا حتی صدمه دیدن وی، می‌تواند ضربات جبران‌ناپذیری به لایه‌های اجتماع وارد کند، پرداختن به موضوع ایمنی و کشف مکانیسم درگیری ترافیکی خودروهای چپ‌گرد دارای اهمیت است.

۲- پیشینه تحقیق

مطالعه ایمنی با استفاده از تکنیک تداخل ترافیک در سال ۱۹۸۶ نخستین بار توسط پرکینگز و هریس محققین آزمایشگاه‌های کارخانه جنرال موتورز برای بررسی تفاوت خودروهای تولید شده توسط جنرال موتورز با سایر خودروها، معرفی شد. نکته مهم در مطالعات ایمنی براساس تداخلات ترافیکی، این است که، این رخدادها بیشتر از تصادفات رخ می‌دهند، در ادامه‌ی تحقیقات پرکینگز و هریس مطالعات مختلفی در نقاط مختلف دنیا انجام شده و در نهایت، نتیجه مطالعات تحت عنوان تکنیک تداخل ترافیک در آمده است. تکنیک تداخل ترافیک، یک روش ارزیابی ایمنی است که از اطلاعات غیر تصادف استفاده می‌کند (نوید ندیمی، ۱۳۸۹).

در صده اخیر با توجه به ضعف‌های موجود در استفاده از داده‌های تصادف در راستای تحلیل ایمنی پژوهش‌های مختلفی در زمینه تکنیک تداخل ترافیکی صورت گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد نامبرده در جدول ذیل اشاره نمود. همانطور که از جدول (۱) پیداست، مطالعات متعددی چه در داخل و چه در خارج ایران در زمینه تکنیک تداخل ترافیکی انجام گرفته است اما کمتر پژوهشی علی‌الخصوص در ایران به بررسی تداخلات حرکات گردش به چپ خودرو-خودرو در تقاطعات چراغ‌دار پرداخته است، لذا بناست در این پژوهش به این مهم پرداخته شود.

۲-۱- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

یکی از مباحث تاثیرگذار در ایمنی تقاطعات چراغ‌دار، بحث گردش به چپ و تاثیرات آن بر روی افزایش نقاط برخورد، ایمنی عابرین و وسایل نقلیه می‌باشد و دلیل آن مزاحمت‌هایی است که

جدول ۱. پیشینه تحقیق

ردیف	نام محقق	زمان	هدف تحقیق
۱	تنکانی	۱۳۹۶	مدل‌سازی ریسک برخورد بین وسایل نقلیه و عابر پیاده در تقاطع مبتنی بر تکنیک تداخل ترافیکی
۲	شجاعی	۱۳۹۳	بررسی تعامل عابرین با وسایل نقلیه و جریان ترافیک در راستای بهبود ایمنی
۳	کریمی مسکونی	۱۳۹۲	تعیین نواحی خطر حرکات مختلف با بررسی تداخلات متقاطع در تقاطع
۴	ندیمی	۱۳۸۹	توسعه مفهوم شاخص ایمنی جریان خرد ترافیک با استفاده از داده‌های غیر تصادف
۵	Kusumastutie, Rusmandani	2019	شناسایی چالش‌های اجرای TCT در بهبود ایمنی جاده‌ها در اندونزی
۶	Astarita et al	2019	بررسی تداخلاتی که کاربران راه بدون تلاقی مسیر
۷	Zheng et al	2019	ارائه مدل ارزیابی ایمنی قبل و بعد مبتنی بر تداخل
۸	Essa & Sayed	2018	اراده توابع عملکرد ایمنی مبتنی بر تداخل را برای تقاطع‌های چراغ‌دار در سطح چرخه چراغ
۹	Uzundu et al	2018	ارزیابی رفتار کاربران مختلف جاده و بررسی نقش عوامل مختلف در تعیین شدت درگیری
۱۰	Zheng et al	2018	تعریف آستانه خاصی برای شاخص‌های مختلف تداخل و پاسخگویی به شدت درگیری در ارزیابی
۱۱	Muley et al	2018	استفاده از محیط شبیه‌سازی جزءنگر برای پیش‌بینی تداخل وسایل نقلیه و عابر پیاده در تقاطع‌های چراغ‌دار
۱۲	Lihong et al	2018	ارائه راهکار جهت دستیابی به داده‌های با کیفیت از تداخل ترافیکی
۱۳	Tageldin et al	2018	بررسی مزایای ایمنی و عملیاتی بهبود خطوط گردش به چپ با افزایش طول در بالادست تقاطع چراغ‌دار
۱۴	Yang et al	2018	ارائه مدل صف گردش به چپ جهت ارزیابی تحلیلی عملکرد گردش به چپ در فازهای مختلف
۱۵	Ibitoye et al	2017	ارزیابی پتانسیل برخورد در تقاطع بدون چراغ
۱۶	Mahmud et al	2017	ارائه آستانه برای شاخص‌های جایگزین
۱۷	Meng et al	2017	توزیع مکانی تداخل‌های جدی و غیرجدی با سطوح مختلف رنگ در تقاطع
۱۸	Gu et al	2016	بهره‌گیری از تکنیک تداخل ترافیک برای ارائه راهکارهایی جهت ارتقاء ایمنی ترافیکی خطوط خزش آزادراه
۱۹	Kocourek, Padělek	2016	نوع تصادف ترافیکی و نوع تداخل ترافیکی
۲۰	Cao et al	2016	تعیین کمیت ریسک ناوبری و ارزیابی ایمنی ترافیک دریایی
۲۱	Jiang et al	2016	ارزیابی ایمنی تقاطع‌های چراغ‌دار با فضای انتظار گردش به چپ در چین
۲۲	Guo et al	2016	تأثیرات ایمنی خط خروجی گردش به چپ در تقاطع‌های چراغ‌دار
۲۳	Stamatiadis et al	2016	توسعه یک مدل ارزیابی ایمنی برای حرکات چرخش چپ در تقاطع‌های چراغ‌دار
۲۴	Huang & Zhou	2013	ارزیابی عملکرد ایمنی تقاطعات چراغ‌دار با استفاده از تداخل
۲۴	SHEN	2011	ارائه مدل کارآیی تقاطعات

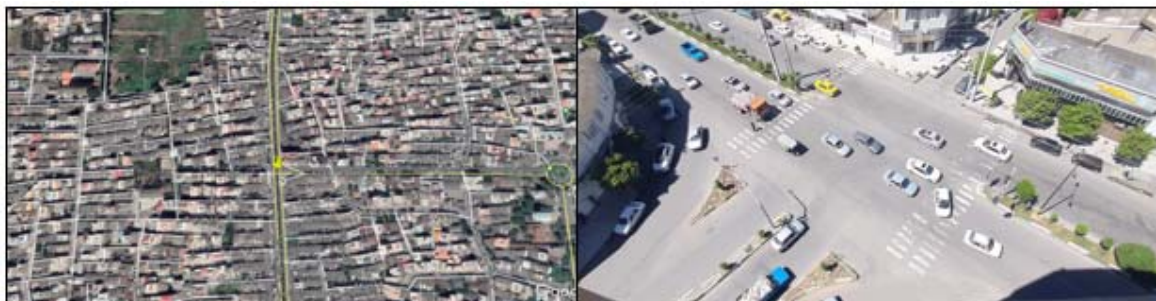
۳- روش تحقیق

برخورد دارد به عنوان رویداد تداخلی ثبت می‌شوند. شاخص-های احتمال برخورد و شدت برخورد احتمالی برای هر یک از رویدادهای تداخلی محاسبه شده و درگام آخر این رویدادها مورد ارزیابی و تحلیل قرار خواهند گرفت.

۳-۱- محل مطالعه موردی و جمع آوری داده

داده‌های ویدیویی مورد استفاده در این مطالعه از چهارراه تندست در کمربندی غربی شهر بابل جمع‌آوری شده است. این چهارراه به موازات میدان باغ فردوس بوده و به‌وسیله خیابان اسدآبادی به این میدان وصل می‌شود. در این تقاطع به دلیل آن‌که کوچه توحید ۲۰ یک‌طرفه می‌باشد و جریانی از آن به تقاطع وارد نمی‌شود، تعداد نقاط برخورد کمتری دارد. این تقاطع نیز با چراغ راهنمایی کنترل می‌شود.

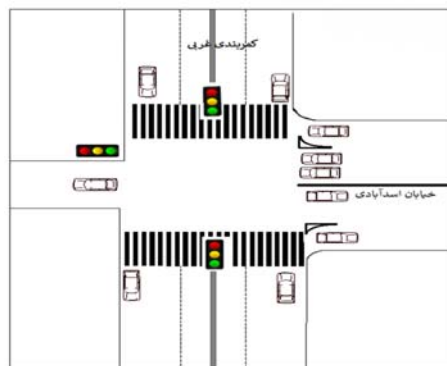
در این پژوهش ابتدا یک تقاطع چراغ‌دار که شرایط لازم جهت تصویربرداری را دارد، بعنوان مطالعه موردی انتخاب می‌شود. در راستای روانی جریان ترافیک و بررسی آزادانه حرکات گردش به چپ و نیز محدودیت‌های موجود در زمینه تشخیص کامپیوتری کاربران راه، آمارگیری (تصویربرداری) در ساعات غیرواچ ترافیک و در یک روز غیرتعطیل هفته انجام خواهد شد. به طور کلی بعد از تصویربرداری از مکان مطالعه موردی، پنج مرحله اصلی برای رسیدن به هدف پژوهش وجود خواهد داشت. با شروع از داده‌های خام ویدیویی، اولین مرحله کالیبراسیون دوربین، جهت انتقال موقعیت کاربران از فضای سه بعدی دنیای واقعی به فضای دوبعدی تصویراست. در گام دوم کاربران مد نظر کارشناس ردیابی می‌شوند. بعد از ردیابی کاربران، مواردی از گردش به چپ‌هایی که مسیر کاربران نشان از پتانسیل



شکل ۱. حوزه مطالعاتی پژوهش

کوچه توحید ۲۰ یک‌طرفه می‌باشد، بنابراین تعداد نقاط برخورد در تقاطع کاهش یافته و به نسبت تقاطع‌های دیگر از مشکل ترافیکی کمتری برخوردار است. زمان‌بندی چراغ در مسیر اصلی به‌صورت سبز ۴۰ ثانیه و قرمز ۲۰ ثانیه می‌باشد.

یکی از شاخه‌های اصلی به چهارراه تندست (کوچه توحید ۲۰) یک‌طرفه بوده و فقط جریان‌های خروجی را هدایت می‌کند که با طراحی چراغ راهنمایی دوفازه حرکات تداخلی کنترل می‌شوند و این موضوع تاخیرات حرکتی ناشی از چراغ را در کمربندی غربی افزایش می‌یابد. در این تقاطع با توجه به اینکه



شکل ۲. طرح شماتیک تقاطع مورد مطالعه

۳-۲- تصویربرداری و جمع آوری داده

و روسازی نیز خشک بود. دوربین مورد استفاده در این تصویربرداری دارای قابلیت ضبط تصاویر ویدیویی با دقت ۳۰ فریم در ثانیه می‌باشد.

فیلمبرداری طی دو روز کاری و به مدت جمعا ۴ ساعت در اردیبهشت ۱۳۹۹ و از بالای ساختمان ۸ طبقه از ارتفاع حدود ۲۷ متر مشرف به تقاطع انجام شد. فیلمبرداری در ساعات مختلف روز و قبل از غروب آفتاب انجام شد. هوا آفتابی بوده



شکل ۳. محل فیلمبرداری از تقاطع و موقعیت دوربین نسبت به تقاطع



شکل ۴. فرآیند کالیبراسیون

۳-۳- کالیبراسیون

است که از آن جمله می‌توان کینوویا، کوئستیک و کوالیسیس را نام برد. در این نرم‌افزارها برای یافتن مختصات مارکرها، بایست به صورت دستی روی مارکرها کلیک کرد، که معمولا برای تحلیل حرکات به صورت دوبعدی به کار می‌رود، یعنی مختصات با فرض اینکه سطح جاده در یک صفحه قرار دارد، حاصل می‌شود (پارامتر ارتفاع در نظر گرفته نمی‌شود). در این پژوهش از بین نرم‌افزارهای پشتیبانی تصویر نام برده شده، نرم افزار کینوویا که یک پخش‌کننده ویدیویی برای علاقه‌مندان به ورزش است، انتخاب شد. در این نرم افزار با تعریف یک شبکه فرآیند

قبل از دستیابی به مختصات خط سیر وسایل نقلیه از داده‌های ویدیویی، نیاز است فرآیند کالیبراسیون انجام گیرد، به این معنا که مشخصات نقاط از صفحه‌ی تصویر به فضای دنیای واقعی تبدیل شود، که کاری بسیار چالش برانگیزی است و می‌بایست برای انجام آن از نرم‌افزارهای تحلیل حرکت بهره گرفت. نرم‌افزارهای تحلیل حرکت، ابزاری سودمند و کاربرد در بررسی بیومکانیکی حرکت‌ها هستند، اما به دلیل بالا بودن قیمت این ابزار، محققان اندکی امکان استفاده از آنها را دارند. در سال‌های اخیر نرم‌افزارهایی برای پشتیبانی از تصاویر ویدیویی ساخته شده

رویدادها مواردی بودند که در آن‌ها همپوشانی امتداد مسیر کاربران وجود داشته و کاربران مانورهای فراری مانند ترمز شدید و توقف، کاهش سرعت (کاربردهای ترمز در مطالعات مختلف به عنوان نشانه وقوع درگیری بیان شده است) و یا تغییر مسیر ناگهانی، از برخورد جلوگیری می‌کنند.

۴-۱- حرکات گردش به چپ مورد بررسی

با توجه به چراغ‌دار بودن مکان مطالعه موردی، همه انواع درگیری و تداخلاتی که در مطالعات پیشین تعیین شده و از آن‌ها نام برده شده، برای مانورهای هدف در این مطالعه مورد بحث نیستند. با توجه به تمرکز پژوهش بر تقاطعات چراغ‌دار، تداخلات را به دو شکل زیر می‌توان دسته بندی نمود.

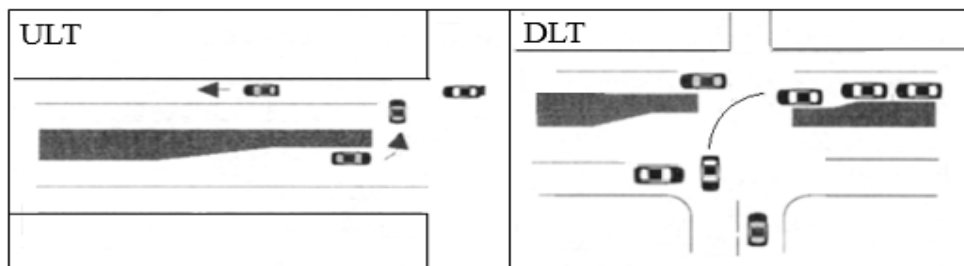
الف) تداخلات گردش به چپ و اگراد (دور زدن) با حرکات مستقیم

ب) تداخلات گردش به چپ یک رویکرد با حرکات مستقیم رویکرد مقابل

کالیبراسیون انجام می‌شود. براساس تحقیقات صورت گرفته و بحث با پژوهشگرانی که در کار خود از این نرم‌افزار بهره بردند، دستیابی به کمترین خطای کالیبراسیون زمانی خواهد بود که شبکه تعریف شده، بیشترین پوشش را در سطح ناحیه تداخلی داشته باشد و هر چه فاصله کاربران از شبکه بیشتر باشد خطا افزایش خواهد یافت. با توجه به اینکه در این پژوهش تداخلاتی بررسی می‌شوند که در آن‌ها کاربران با حرکت گردش به چپ حضور دارند، ناحیه تداخلی مستطیل وسط تقاطع بوده و به عنوان شبکه تعریف می‌شوند. با اندازگیری طول و عرض و وارد کردن آن به عنوان ابعاد شبکه نرم‌افزار فرایند کالیبراسیون را به صورت خودکار انجام خواهد داد. برای اطمینان از صحت فرآیند کالیبراسیون، المان‌هایی مشخص در تصویر اندازگیری شدند که با اندازه واقعیشان منطبق بود.

۴- نتایج

فیلم‌ها به دقت بررسی شدند و لحظاتی که در آن‌ها وسایل نقلیه گردش‌کننده به چپ دچار تداخل شدند، ثبت شدند. این



شکل ۵. تداخلات گردش به چپ

بنابراین جزئیات این دو نوع حرکت، در ثبت رویدادهای تداخلی لحاظ شده‌اند تا در تحلیل‌ها تفاوتشان مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۶. نمونه رویداد تداخلی حرکات گردش به چپ در تقاطع مطالعه موردی

۴-۲- استخراج خط سیر

پس از انجام فرایند کالیبراسیون موقعیت دو بعدی مارکرها و در نهایت کینماتیک حرکت را در زمان بسیار اندکی به عنوان خروجی در دو صورت **mat** و **xlm** ارائه دهد، تا خروجی آن به راحتی نرم افزار متلب و اکسل تحلیل شود.

در این مرحله مختصات مسیرهای وسایل نقلیه در دنیای واقعی برآورد می شود. مسیر دنباله ای از نقاط (t, YI, XI) است که موقعیت های خودرو را به مرور زمان نشان می دهد. کینویا به کمک پنل های تعیین قلمرو و رنگ مارکر قادر است مختصات مارکرهای را به صورت خودکار، فریم به فریم، جستجو کند و



شکل ۷. ردیابی کاربران مد نظر جهت تحلیل و استخراج اطلاعات مسیر

مکانی در پژوهش ها مورد استفاده قرار می گیرد. این شاخص بسیار شهودی است و با فاصله بین وسایل نقلیه متضاد و شدت برخورد همبستگی مثبت دارد. نکته اصلی در تعیین فاصله بحرانی نهفته است. فاصله بحرانی معمولاً با استفاده از کل فاصله در هنگام ترمز وسیله نقلیه قابل محاسبه است (Lihong, Tongshuai & Wei, 2018). با توجه به مطالب عنوان شده در این پژوهش برای تعیین معیار دقیق تصمیم گیری در مورد تداخل برای رانندگان وسایل نقلیه، در بحث شدت تداخل ترافیکی از شاخص نسبت فاصله توقف استفاده شده است. با استفاده از شاخص فاصله مکانی، می توان شدت تداخل را به سه سطح تقسیم نمود.

۴-۳- معرفی شاخص های مستقل و وابسته مورد

استفاده در این پژوهش

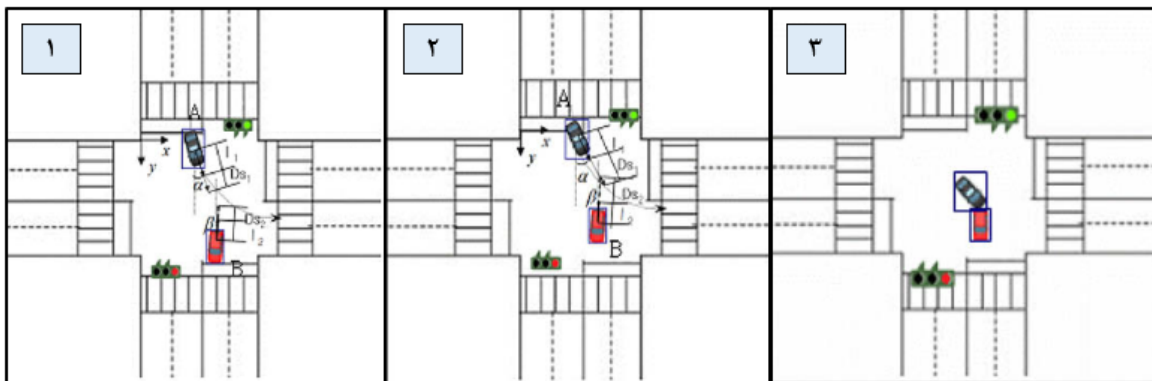
برای تحلیل و مدل سازی ریسک برخورد وسایل نقلیه در تقاطع، با توجه به اینکه ریسک ترکیبی از احتمال و شدت می باشد، در ابتدا نیاز به انتخاب یک شاخص به عنوان نماینده، برای هر کدام از بخش های احتمال و شدت می باشد.

۴-۳-۱- شاخص بخش شدت / نسبت فاصله توقف

فاصله بین وسایل نقلیه در هر دو طرف درگیری یک شاخص مهم برای بحث شدت تداخل است و با عنوان شاخص فاصله

جدول ۲. طبقه بندی تداخلات ترافیکی

سطح تداخل	مشخصه
سطح ۱	تداخل خفیف
سطح ۲	تداخل خطرناک
سطح ۳	تداخل جدی (تصادف)



شکل ۸ تداخل گردش به چپ

* درگیری‌های خفیف اندک (سطح ۱)

برای سناریوهای LT / OD می‌توان با تخمین فاصله توقف بین دو وسیله‌نقلیه، در مورد نوع تداخل (از منظر شدت) تصمیم گرفت. شیوه کار به این صورت است که با استفاده از مختصات که از طریق ردیابی تصاویر ویدیویی وسایل نقلیه بدست آمده است، فاصله توقف بین دو وسیله‌نقلیه تخمین زده می‌شود. پس از آن، نقاط توقف دو وسیله‌نقلیه روی مختصات مشخص می‌شود. همانطور که در (۸) نشان داده شده است، در واقع می‌توان گفت اگر با امتداد خط سیر و حاصل شدن لحظه به لحظه نقاط توقف، اگر دو نقطه در هیچ یک از لحظات ردیابی بر هم منطبق نشوند، می‌توان اینگونه ارزیابی نمود که تداخل خفیف است.

* درگیری‌های خطرناک (سطح ۲)

سطح ۲ یک وضعیت است که مسافت توقف دو وسیله‌نقلیه متقاطع و منطبق نیست اما همانطور که در (۸) نشان داده شده است، سطح ۲ شرایطی است که به هنگام برآورد نقاط توقف دو وسیله‌نقلیه، مسیر لازم جهت طی فاصله توقف دو وسیله نقلیه، از یکدیگر عبور کند. هنگامی که دو نقطه بر هم منطبق می‌شوند، یک درگیری خطرناک رخ می‌دهد.

* درگیری‌های جدی (سطح ۳: تصادفات)

بر اساس مختصات دو وسیله‌نقلیه که از طریق ردیابی تصویر بدست آمده است، هنگامی که قسمت‌هایی که نمایانگر دامنه هر وسیله‌نقلیه است با هم همپوشانی داشته باشد مانند شکل (۸)، تداخل از نوع برخورد و تصادف است.

روش بدست آوردن فاصله توقف برای سناریوهای LT / OD به شرح زیر است.

مرحله ۱: فاصله حرکتی وسیله‌نقلیه A با استفاده از مختصات بین فریم (t-1) و فریم (t)، به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$l_1^a = \sqrt{(x_t^a - x_{t-1}^a)^2 + (y_t^a - y_{t-1}^a)^2} \quad (1)$$

که در آن :

l_1^a : فاصله حرکتی خودرو A

x_{t-1}^a و y_{t-1}^a : مختصات وسیله‌نقلیه (A) در فریم زمانی t-1 می‌باشد.

x_t^a و y_t^a : مختصات وسیله‌نقلیه (A) در فریم زمانی t می‌باشد.

مرحله ۲: سرعت وسیله‌نقلیه A با استفاده از مسافت حرکت و زمان حرکت بین فریم t-1 و فریم t به شرح زیر قابل محاسبه است.

$$v^a = \frac{l_1^a}{T_t^a - T_{t-1}^a} \quad (2)$$

که در آن v^a سرعت خودرو A، T_t^a زمان در فریم t و T_{t-1}^a زمان در فریم t-1 می‌باشد.

مرحله ۳: فاصله توقف خودرو A با استفاده از سرعت (v^a) و ضریب اصطکاک طولی (f)، به شرح زیر محاسبه خواهد شد.

$$D_S^a = \frac{v^{a^2}}{254f} \quad (۳)$$

که در آن، D_S^a فاصله توقف وسیله نقلیه پیشرو است و f ضریب اصطکاک طولی جاده به هنگام خشک بودن آن است. در محاسبه فاصله توقف فرض می شود که وسایل نقلیه در طول فریم t تا $t-1$ حرکت می کنند. بنابراین α به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{x_t^a - x_{t-1}^a}{y_t^a - y_{t-1}^a} \right) \quad (۴)$$

بعد از محاسبه α ، مختصات نقطه برخورد به شرح زیر حاصل خواهد شد:

(۵ و ۶)

$$x_{t+1}^a = x_t^a + D_S^a \times \sin \alpha$$

$$y_{t+1}^a = y_t^a + D_S^a \times \cos \alpha$$

x_{t+1}^a و y_{t+1}^a مختصات نقطه توقف وسیله نقلیه (A) در قاب t است.

مرحله ۴: خودروی B به شیوه فوق ردیابی خواهد شد و تمامی مراحل فوق جهت یافتن مختصات نقطه توقف وسیله نقلیه (B) تکرار می شود.

مرحله ۸: اگر نقاط توقف دو وسیله نقلیه در کنار یکدیگر نباشند، این یک تداخل تلقی می شود و در صورت انطباق، یک تداخل خطرناک رخ داده است (Oh, Kim & Choo, 2010). مراحل فوق را می توان با دستیابی به شاخص نسبت فاصله توقف که اولین بار توسط الن و همکاران به عنوان نسبت بین فاصله باقی مانده تا نقطه برخورد و حداقل فاصله توقف قابل پذیرش آن تعریف شد نیز مورد بررسی قرار داد. این تعریف مطابق با رابطه (۷) است.

$$PSD = \frac{RD}{MSD} \quad (۷)$$

RD = فاصله باقی مانده تا نقطه دارای پتانسیل برخورد،

MSD = حداقل فاصله توقف مجاز، که مطابق با رابطه (۸) تعریف می شود.

$$MSD = \frac{v^2}{2d} \quad (۸)$$

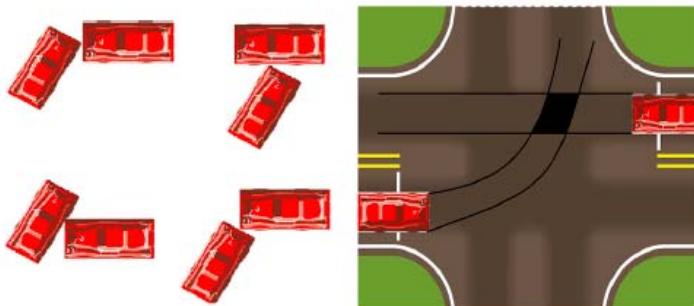
V: سرعت وسیله نقلیه

d: حداکثر نرخ قابل پذیرش شتاب کاهنده است (Allen, Shin & Cooper, 1978)

۴-۳-۲- شاخص بخش شدت / زمان تا تصادف

تصادف رابطه معکوس دارد (مقادیر کوچکتر TTC) نشان دهنده ریسک بالاتر تصادفات است. TTC پارامتری پیوسته است و مادامی که کاربران راه در مسیر برخورد قرار داشته باشند، قابل محاسبه است.

زمان تا تصادف به عنوان زمان مانده تا برخورد بین دو خودرو در صورتی که سرعت و مسیر کنونی آن ها حفظ شود، توسط هایوارد (Hayward, 1972) تعریف شده و به طور مفصل توسط هایدن (Hydén, 1987) مورد بحث قرار گرفته است. مطابق با یافته اسونسون (Svensson, 1998) با ریسک

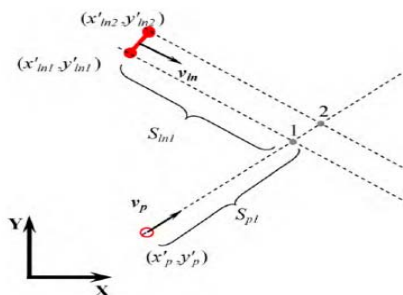


شکل ۹. ترکیب ممکن گوشه به کناره در حرکت گردش به چپ و عبوری از روبه‌رو

ترکیب گوشه به کناره وجود دارد که برای حالت‌های مختلف تعداد آن‌ها ممکن است کاهش یابد. برای مثال ترکیب‌های ممکن برای دو حرکت گردش به چپ و عبوری از رو به‌رو در تقاطع چهارراهی، در شکل (۹) نشان داده شده است، که تنها شامل چهار ترکیب است. لارسن و همکاران (Laureshyn et al, 2010) روش محاسبه TTC برای ترکیب‌های گوشه به کناره‌های جلو و عقب وسیله‌نقلیه (شکل ۱۰) را ارائه داده‌اند. در صورتی که (x'_p, y'_p) مختصات اولیه یکی از وسایل نقلیه و v_p بردار سرعت آنی فرض شود، بنابراین مختصات نقطه در لحظه t می‌تواند با رابطه (۹) توصیف شود.

$$\begin{cases} x_{p,t} = x'_p + v_{px}t \\ y_{p,t} = y'_p + v_{py}t \end{cases} \quad (9)$$

در حالت کلی، دو وسیله‌نقلیه می‌توانند با هر زاویه‌ای به یکدیگر برسند، که این مورد در چهارراه‌ها به دلیل امکان حرکات تقاطعی مختلف نمود بیشتری دارد. علاوه بر این، نوع‌های مختلف برخورد در زاویه برخورد یکسان امکان‌پذیر است. در صورتی که وسایل نقلیه به صورت مستطیلی در نظر گرفته شوند، بعد از تحلیل همه انواع برخوردهای ممکن، می‌توان نتیجه گرفت که همیشه گوشه یکی از وسایل نقلیه با کناره وسیله‌نقلیه دیر مواجه می‌شود. از آنجایی که در حالت کلی، مشخص نیست کدام گوشه با کدام کناره برخورد می‌کند، همه ترکیب‌های ممکن بایستی تحلیل شود، به طور کلی ۳۲



شکل ۱۰. محاسبه TTC برای ترکیب گوشه با کناره‌های جلو و عقب وسیله‌نقلیه

مختصات نقطه در لحظه t .

به ترتیب برابر با تصویر بردار سرعت نقطه در جهت محورهای X و Y می‌باشد.

مکان دو انتهای پاره‌خط (کناره وسیله‌نقلیه) در لحظه t ، با استفاده از رابطه (۱۰) بدست می‌آید.

$$\begin{cases} x_{in1,t} = x'_{in1} + v_{inx}t \\ y_{in1,t} = y'_{in1} + v_{iny}t \end{cases} \quad \text{and} \quad \begin{cases} x_{in2,t} = x'_{in2} + v_{inx}t \\ y_{in2,t} = y'_{in2} + v_{iny}t \end{cases} \quad (10)$$

$(x_{in1,t}, y_{in1,t})$ و $(x_{in2,t}, y_{in2,t})$: مکان دو انتهای پاره‌خط در لحظه t ،

$(x_{in1,t}, y_{in1,t})$ و $(x_{in2,t}, y_{in2,t})$: مکان اولیه دو انتهای پاره‌خط،

v_{lnx} و v_{lny} تصویربردار سرعت پاره‌خط در جهت محورهای X و Y است.

معادله خط در شکل کانونی آن در لحظه t مطابق با رابطه (۱۱) است.

$$x - x_{ln1,t} = \frac{y - y_{ln1,t}}{k} \quad (11)$$

K پارامتری است که شیب خط را توصیف می‌کند. در حالتی که خط به موازات خودش حرکت کند (جهت حرکت ثابت بماند)، مقدار k ثابت خواهد ماند، می‌تواند با استفاده از مکان اولیه آن با رابطه (۱۲) بدست آید.

$$k = \frac{y'_{ln2} - y'_{ln1}}{x'_{ln2} - x'_{ln1}} \quad (12)$$

با جایگزینی مختصات نقطه در معادله خط زمان برخورد، مطابق با رابطه (۱۳) بدست می‌آید.

$$t_{coll} = \frac{(y'_p - y'_{ln1}) - k(x'_p - x'_{ln1})}{k(v_{px} - v_{lnx}) - (v_{py} - v_{lny})} \quad (13)$$

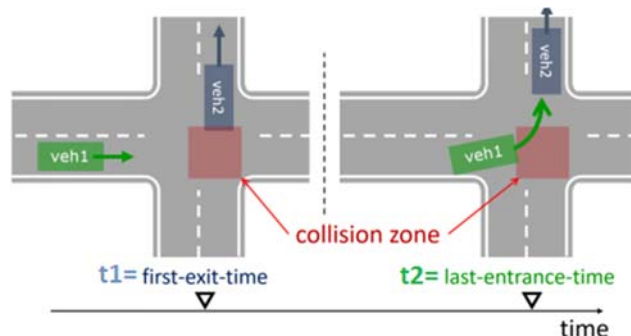
در حالتی که مخرج رابطه (۱۳) برابر با صفر شود ($k \rightarrow \infty$) زمان برخورد از رابطه (۱۴) بدست می‌آید.

$$t_{coll} = \frac{-(x'_p - x'_{ln1})}{(v_{px} - v_{lnx})} \quad (14)$$

۴-۳-۳- شاخص بخش احتمال/شاخص زمان پس از تخطی

شاخص‌های تداخل متداول برای سناریوهای LT / OD در بخش احتمال همگی ریشه زمانی دارند. در پژوهش حاضر از شاخص PET جهت تحلیل بخش احتمال استفاده شده است. در میان موارد نامبرده در بند قبل، PET به عنوان مدت زمان سپری شده از لحظه عبور کاربر اول از نقطه تداخل تا لحظه

رسیدن کاربر دوم به آن نقطه می‌باشد [۱۱] تعریف می‌شود. بنابراین، PET یک اندازه‌گیری واقعی از گپ موجود در زمانی که وسایل نقلیه در نقاط درگیری هستند، منحصرأً برای هر رویداد تعریف می‌شود.



شکل ۱۱. محاسبه شاخص PET

$$PET = t_2 - t_1 \quad (15)$$

t_2 = زمان آخرین ورود

t_1 = زمان اولین خروج

۴-۴- شاخص‌های تداخلی استخراج شده

وسایل نقلیه، شاخص‌های تداخلی با توجه به دقت برنامه کینویا در هر ۰/۰۳۳ ثانیه، برای هر جفت وسیله نقلیه مادامی که وسایل نقلیه در مسیر برخورد هستند محاسبه می‌گردد و مقدار

مسیرهای وسایل نقلیه بدست آمده در مرحله قبل برای ارزیابی معیارهای انتخاب نزدیکی به تصادف پردازش می‌شوند. پس از استخراج مختصات وسایل نقلیه و مدل‌سازی دو بعدی

حداقلی شاخص در این بازه انتخاب می‌گردد. هر یک از شاخص‌های تداخلی با توجه به مطالب مطرح شده در فصل سوم از مقدار آستانه سطح ریسکی برخوردارند؛ بنابراین با توجه به مقدار حداقلی شاخص مورد نظر و حدود سطح ریسک،

برهم‌کنش بین دو وسیله‌نقلیه براساس هر شاخص طبقه‌بندی می‌شود. جدول (۳) بخشی از پایگاه اطلاعات شاخص‌های رویدادهای بررسی شده و جدول (۴) حجم عبوری وسایل نقلیه در مدت یک ساعت را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نمونه اطلاعات رویدادهای تداخلی

شماره رویداد	PET	PSD	TTC	SI	نوع گردش	شماره رویکرد گردش به چپ
1	1.9	5.384	1.679	0.798	UT	3
2	4.465	2.156	1.684	0.797	DT	3
3	0.966	5.607	1.365	0.861	DT	3
4	4.998	2.714	3.913	0.294	UT	2
...

جدول ۴. مقادیر حجم عبوری وسایل نقلیه در مدت یک ساعت

نام معبر	گردش به راست	مستقیم	گردش به چپ
کوچه توحید ۲۰	۰	۰	۰
خیابان اسدآبادی	۲۱۰	۹۲	۳۱۸
یلوار جانبازان (شمال به جنوب)	۲۷۴	۱۳۷۱	۱۳۵
بلوار جانبازان (جنوب به شمال)	۳۳	۱۳۲۹	۳۸۰

۴-۵- بررسی کفایت نمونه

اندازه نمونه برای یک مطالعه تداخل ترافیکی به انواع تداخل‌های مورد مطالعه، حجم ترافیک و سطح اهمیت مورد نیاز برای مطالعه بستگی دارد. در کتابچه راهنمای مطالعات مهندسی حمل و نقل، فصل ۱۲ در راستای استفاده از تکنیک تداخل ترافیک برای ارزیابی ایمنی و عملکرد، تعداد وسایل نقلیه درگیر در تداخل را

براساس یک سطح خاص از اهمیت و خطا تخمین می‌زند؛ سپس، تعداد وسایل نقلیه محاسبه شده با مطالعه میدانی مقایسه می‌شود، بنابراین می‌توان تایید کرد که نرخ تداخل تخمینی بین خطاهای مورد نظر است. معادله‌ای که برای محاسبه اندازه نمونه با این روش استفاده شده است به شکل زیر می‌باشد.

$$n = p \times (1 - p) \times \left(\frac{z}{D}\right)^2 \quad (16)$$

n = تعداد وسایل نقلیه برای شمارش،

P = نسبت مورد انتظار وسایل نقلیه مشاهده شده که درگیر هستند،

Z = آماری که بر اساس میزان اهمیت مورد نظر است،

D = سطح مجاز خطای مطلق اندازه نمونه.

در راستای تعیین حداقلی اندازه نمونه، درصد وسایل نقلیه مرتبط با هر نوع تداخل به منظور ارزیابی نسبت وسایل نقلیه درگیر در تداخل محاسبه شدند. همانطور که در جدول (۵) قابل مشاهده است، تعداد رویدادهای تداخلی در بازه یک ساعته، الزامات

اندازه نمونه برای مکان مطالعه موردی که تقاطع با معابری چهار خطه است در سطح اطمینان ۹۰ درصد را ($z=1.6445$) برآورده نموده است؛ بنابراین در ادامه تجزیه و تحلیل داده‌های تداخلی ارائه خواهند شد.

در راستای تعیین حداقلی اندازه نمونه، درصد وسایل نقلیه مرتبط با هر نوع تداخل به منظور ارزیابی نسبت وسایل نقلیه درگیر در تداخل محاسبه شدند. همانطور که در جدول (۵) قابل مشاهده است، تعداد رویدادهای تداخلی در بازه یک ساعته، الزامات

جدول ۵. تایید اندازه نمونه

نوع تداخل	تعداد تداخل	تعداد وسایل گردش کننده به چپ	PLT*	n**	بررسی کفایت
DLT	۲۹۹	۵۹۱	۰/۵۱	۶۷	کفایت می کند
UTLT	۱۴۵	۲۴۲	۰/۶	۶۴	کفایت می کند
*درصد وسایل نقلیه درگیر در تداخل					
** حداقل تعداد نمونه جهت انجام تحلیل					

۴-۶- طبقه بندی شدت درگیری

مطابق با مطالب ارائه شده، شدت درگیری‌ها با در نظر گرفتن یک نمره عینی براساس مفهوم نسبت فاصله توقف (PSD) و زمان تا برخورد (TTC) هر درگیری نمرات TTC و PSD را مطابق با مطالب ارائه شده، شدت درگیری‌ها با در نظر گرفتن یک نمره عینی براساس مفهوم نسبت فاصله توقف (PSD) و زمان تا برخورد (TTC) هر درگیری نمرات TTC و PSD را

جدول ۶. نمرات زمان برای برخورد (TTC)، نسبت قاصبه توقف (PSD)

نمره .TTC .PSD	PSD	TTC
1	$1.51(s) < PSD$	$1.51(s) < TTC$
2	$1(s) < PSD < 1.5(s)$	$1(s) < TTC < 1.5(s)$
3	$0(s) < PSD < 0.99(s)$	$0(s) < TTC < 0.99(s)$

همچنین شاخص زمان تا برخورد (TTC) که به عنوان زمان مورد نیاز برای دو وسیله نقلیه تا لحظه برخوردشان در صورت حفظ سرعت و جهت فعلی خود در همان مسیرها تعریف شد، به سه دسته طبقه بندی شد.

- اگر TTC از ۱,۵۱ ثانیه بیشتر باشد، نمره ۱ را به عنوان درگیری کم خطر دریافت می کند.

- مقادیر TTC از ۱,۰۰ تا ۱,۵۰ ثانیه با نمره ۲ به عنوان شدت برخورد متوسط ثبت می شود.

- TTC از ۰ تا ۰,۹۹ ثانیه، با نمره ۳، به عنوان رویداد با بالاترین شدت ثبت می شوند.

همچنین شاخص نسبت فاصله توقف (PSD) که به عنوان نسبت فاصله باقی مانده بین دو وسیله نقلیه تا لحظه برخوردشان به حداقل فاصله مورد نیاز جهت توقف ایمن، به سه دسته طبقه بندی می شود.

- اگر PSD از ۱,۵۱ ثانیه بیشتر باشد، نمره ۱ را به عنوان درگیری کم خطر دریافت می کند.

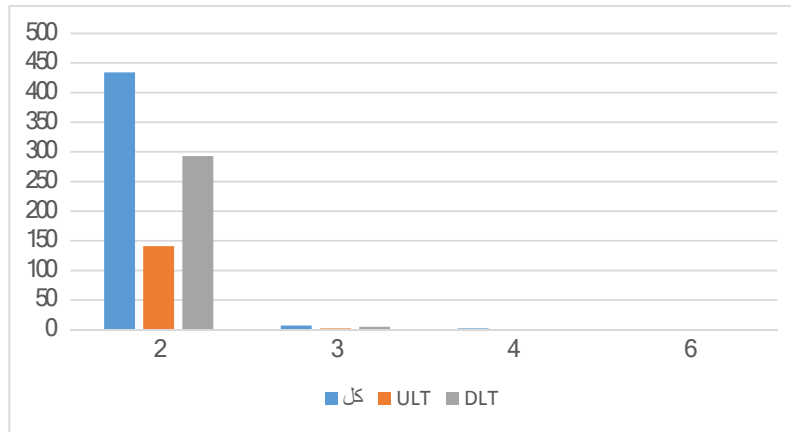
- مقادیر PSD از ۱,۰۰ تا ۱,۵۰ ثانیه با نمره ۲ به عنوان شدت برخورد متوسط ثبت می شود.

- PSD از ۰ تا ۰,۹۹ ثانیه، با نمره ۳، به عنوان رویداد با بالاترین شدت ثبت می شوند.

شدت درگیری DLT و ULT بر اساس دو نمره برای زمان مانده تا برخورد (TTC) و نسبت فاصله توقف (PSD) تجزیه و تحلیل شد. با توجه به نوع نمره‌های در نظر گرفته شده برای هر نوع شاخص شدت، مجموع نمرات TTC و PSD، از ۲ تا ۶ متغیر می باشد.

جدول ۷. توزیع شدت تداخلات حرکات گردش به چپ

شدت	تعداد در حالت کل تداخلات	DLT تعداد در حالت	ULT تعداد در حالت
۲	434	293	141
۳	7	5	2
۴	2	1	1
۶	1	0	1
مجموع	444	299	145



شکل ۱۲. نمودار توزیع شدت تداخلات

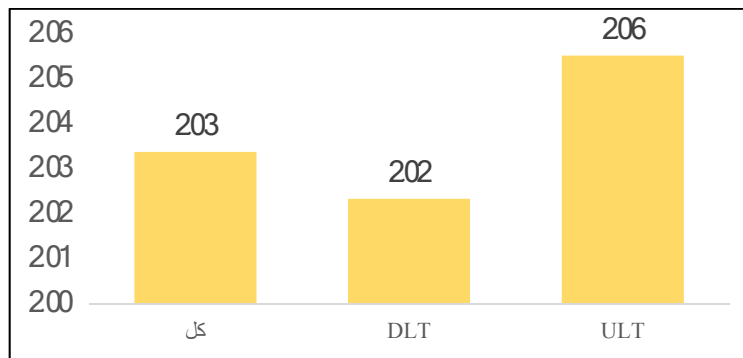
بر اساس این ارقام، مقادیر صدک ۱۵، ۵۰، ۸۵ و ۹۵ برای همه درگیری‌ها با نمرات TTC و PSD محاسبه شد. این مقادیر در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸. درصد شدت بر اساس نوع حرکت و نوع تداخل

شدت				نوع تداخل
۹۵	۸۵	۵۰	۱۵	
۲	۲	۲	۲	DLT
۲	۲	۲	۲	ULT
۲	۲	۲	۲	کل

تجزیه و تحلیل می‌شوند، نشان می‌دهد. در مقایسه نمودارهای نمرات متوسط شدت حرکات ULT و DLT، به نظر می‌رسد که درگیری‌های ULT متوسط شدت بالاتری دارند که این ممکن است به دلیل عدم دید رانندگان برای پیدا کردن گپ مناسب باشد و ممکن است با "آزمایش و خطا" به جاده اصلی بروند.

جدول (۸) نشان می‌دهد که صدک ۸۵ نوع تداخل DLT که ممکن است به عنوان شدت متوسط تفسیر شود دارای نمره شدت ۲ است. بررسی شدت درگیری‌های مرتبط با حرکات ULT نیز نشان می‌دهد که صدک ۸۵ این نوع تداخل هم دارای نمره شدت ۲ می‌باشد. شکل (۱۳) متوسط شدت درگیری‌ها را در حالتی که با هر دو امتیاز TTC و PSD



شکل ۱۳. نمودار مقایسه شدت کلی درگیری‌ها با توجه به نمرات PSD و TTC

به نظر می‌رسد که بیشترین شدت مربوط با توجه به بالاتر بودن میانگین و مقدار حداکثر متعلق به گروه گردش به چپ واگرد (گروه ۱) می‌باشد. ولی با توجه به نمونه تصادفی گرفته شده باید برای اثبات این نظریه، دست به انجام آزمون آماری یا همان تحلیل ANOVA زد.

یکی از روش‌های سنجش و انجام آزمون برابری واریانس‌ها، استفاده از آماره لون و آزمون مربوط به آن است. در جدول (۱۰) دیده می‌شود، آزمون مربوط به برابری واریانس‌ها صورت گرفته که براساس هر شاخصی مرکزی (مثل میانگین mean، یا میانه Median) واریانس یا پراکندگی حول نقاط مرکزی، در بین گروه‌ها، یکسان تلقی شده است. مشخص است که مقدار Sig. یا همان مقدار احتمال (p-value)، بزرگ‌تر از مقدار احتمال خطای نوع اول ($\alpha=0.05$) است. در نتیجه فرض برابری واریانس‌ها (با به شکل دقیق، پراکندگی‌ها) رد نمی‌شود.

بخش و قسمت مهم در تحلیل واریانس، جدول آنالیز واریانس یا ANOVA است. در ستون آخر و همچنین ستون F که در جدول (۱۱) دیده می‌شود، مشخص است که فرض صفر یعنی برابری میانگین در بین دو گروه رد نمی‌شود. مقدار Sig. بیشتر از ۰.۰۰۵ بوده در نتیجه دو گروه از لحاظ آماری به طور معنی‌دار اختلاف ندارد.

برای تعیین اینکه شدت درگیری DLT از نظر شدت حرکات ULT به میزان قابل توجهی متفاوت است، آزمون‌های آنالیز واریانس انجام شد. فرضیه صفر و جایگزین عبارت است از: H0: شدت حرکات ULT شبیه به حرکات DLT است.

H1: شدت حرکات ULT با حرکات DLT متفاوت است. سطح ۰/۰۵ از اهمیت (ct) برای آزمون‌های ANOVA انتخاب شد و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل انجام شده با استفاده از نرم‌ت در ادامه گزارش شده است. با توجه به تنظیمات و درخواست‌هایی که از دستور ANOVA در SPSS انجام شد، خروجی‌ها به ترتیب زیر ظاهر می‌شوند. بخش اول که در جدول (۹) قابل مشاهده است، آمار توصیفی است که شامل جدولی با ستون‌هایی مربوط به «تعداد» (N)، «میانگین» (Mean)، «انحراف استاندارد» (Std. Deviation)، «خطای استاندارد» (Std. Error) و «فاصله اطمینان ۹۵٪» (Confident Interval for Mean) همچنین مقدار «حداقل» (Minimum) و «حداکثر» (Maximum) است. شایان ذکر است در این جدول گروه ۱ مربوط به گردش به چپ واگرد (ULT) و گروه دو مربوط به گردش به چپ مستقیم (DLT) می‌باشد. براساس فاصله اطمینان و مقادیر حاصل نیز می‌توان نتیجه حدس‌هایی در مورد شدت تداخل در دو گروه مطرح کرد.

جدول ۹. خروجی مربوط به آمار توصیفی به تفکیک مانورهای ULT و DLT (با توجه به امتیازات TTC و PSD)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
					Lower Bound	Upper Bound			
1	145	2.0552	.38693	.03213	1.9917	2.1187	2.00	6.00	
2	299	2.0234	.17220	.00996	2.0038	2.0430	2.00	4.00	
Total	444	2.0338	.26236	.01245	2.0093	2.0583	2.00	6.00	
Model			.26223	.01245	2.0093	2.0582			
Fixed Effects									
Random Effects				.01550	1.8369	2.2307			.00015

جدول ۱۰. آزمون برابری واریانس‌ها (با توجه به امتیازات TTC و PSD)

SCORE			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.795	1	442	.016

جدول ۱۱. جدول تحلیل واریانس (با توجه به امتیازات PSD و TTC)

SCORE					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.099	1	.099	1.432	.232
Within Groups	30.395	442	.069		
Total	30.493	443			

جدول ۱۲. آماره پایدار یا مقاوم (Robust) در برابر فرض نرمال بودن مربوط به آنالیز واریانس (با توجه به امتیازات PSD و TTC)

SCORE				
	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Weilch	.891	1	172.222	.346
Brown-Forsythe	.891	1	172.222	.346

a. Asymptotically F distributed.

(PET) تحلیل می‌شود. هر دو مانور ULT و DLT نمرات را بر اساس مقدار عددی شاخص مربوطه به منظور ارزیابی احتمال برخورد دریافت کردند. این نمرات در جدول (۱۳) آورده شده است. همچنین شاخص زمان پس از تخطی (PET) که به عنوان مدت زمان سپری شده از لحظه عبور خودروی اول از نقطه تداخل تا لحظه رسیدن خودروی دوم به آن نقطه می‌باشد، تعریف شد، به سه دسته طبقه‌بندی شد.

- اگر PET از ۲,۵۱ ثانیه بیشتر باشد، نمره ۱ را به عنوان احتمال برخورد کم دریافت می‌کند.

- مقادیر PET از ۱,۰۰ تا ۲,۵۰ ثانیه با نمره ۲ به عنوان احتمال برخورد متوسط ثبت می‌شود.

- PET از ۰ تا ۰,۹۹ ثانیه، با نمره ۳، به عنوان رویداد با بالاترین احتمال برخورد ثبت می‌شوند.

با توجه به نوع نمره‌های در نظر گرفته شده برای شاخص PET نمرات از ۱ تا ۳ متغیر می‌باشد.

از آنجایی که فرض برابری واریانس‌ها رد نشده و آزمون‌های نرمالیتی نشانگر نرمال بودن داده‌ها است، جهت بررسی‌های بیشتر و حصول اطمینان، با توجه به گزینه‌های انتخابی در آزمون، خروجی طبق جدول (۱۲) ظاهر خواهد شد. واضح است که در این حالت نیز با توجه به مقدار sig. که بیشتر از ۰,۰۰۵ بوده، فرض صفر آنالیز واریانس رد نشده و این آزمون هم رای به برابری میانگین دو گروه می‌دهد.

نتیجه آزمون ANOVA بر شدت حرکات ULT و DLT بر اساس نمرات TTC و PSD نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، میزان تفاوت در شدت درگیری در حرکات ULT در مقایسه با حرکات DLT قابل ملاحظه و معنی‌دار نمی‌باشد.

۴-۷- طبقه بندی احتمال درگیری

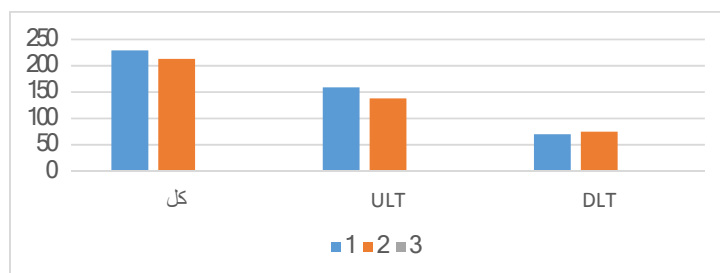
مطابق با مطالب ارائه شده، احتمال وقوع درگیری با در نظر گرفتن یک نمره عینی براساس مفهوم زمان پس از تخطی

جدول ۱۳. نمرات زمان پس از تخطی (PET)

PET نمره	PET
1	$2.51(s) < PET$
2	$1(s) < PET < 2.5(s)$
3	$0(s) < PET < 0.99(s)$

جدول ۱۴. توزیع احتمال تداخلات حرکات گردش به چپ

احتمال	تعداد در حالت کل تداخلات	تعداد در حالت DLT	تعداد در حالت ULT
1	220	150	70
2	215	150	65
3	2	2	0
مجموع تعداد	444	299	145



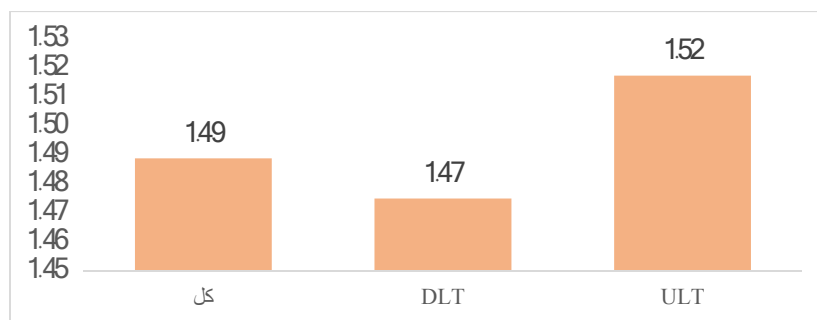
شکل ۱۴. نمودار توزیع شدت کل تداخلات

در مقایسه نمودارهای نمرات احتمال برخورد حرکات ULT و DLT، به نظر می‌رسد که درگیری‌های ULT احتمال برخورد بالاتری دارند که این ممکن است به دلیل عدم دید رانندگان برای پیدا کردن گپ مناسب باشد و ممکن است با "آزمایش و خطا" به جاده اصلی بروند. شکل (۱۵) متوسط احتمال برخوردها را بر اساس امتیاز شاخص PET نشان می‌دهد.

بر اساس این ارقام، مقادیر صدک ۱۵، ۵۰، ۸۵ و ۹۵ برای همه درگیری‌ها با نمرات PET محاسبه شد. این مقادیر در جدول (۱۵) ارائه شده است. جدول (۱۵) نشان می‌دهد که صدک ۸۵ نوع تداخل DLT که ممکن است به عنوان احتمال متوسط تفسیر شود دارای نمره شدت ۲ است. بررسی احتمال برخوردهای مرتبط با حرکات ULT نیز نشان می‌دهد که صدک ۸۵ این نوع تداخل هم دارای نمره احتمال ۲ می‌باشد.

جدول ۱۵. درصد احتمال برخورد بر اساس نوع حرکت و نوع تداخل

احتمال				نوع تداخل
۹۵	۸۵	۵۰	۱۵	
۲	۲	۱	۱	DLT
۲	۲	۲	۱	ULT
۲	۲	۱	۱	کل



شکل ۱۵. نمودار مقایسه احتمال برخورد با توجه به نمره شاخص PET

احتمال برخورد DLT و ULT به میزان قابل توجهی متفاوت است، آزمون‌های آنالیز واریانس (ANOVA) انجام شد. فرضیه صفر و جایگزین مطابق ادامه است.

شکل (۱۵) نشان می‌دهد که درگیری‌های ایجاد شده توسط حرکات DLT احتمال برخورد کمتری نسبت به درگیری‌های ایجاد شده توسط حرکات ULT دارند. برای تعیین اینکه

H0: احتمال برخورد حرکات ULT شبیه به حرکات DLT است.

H1: احتمال برخورد حرکات ULT با حرکات DLT متفاوت است.

جدول ۱۶. خروجی مربوط به آمار توصیفی به تفکیک مانورهای ULT و DLT با توجه به امتیاز PET

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
					Lower Bound	Upper Bound			
1	145	1.5172	.50143	.04164	1.4349	1.5995	1.00	2.00	
2	299	1.4749	.51345	.02969	1.4165	1.5334	1.00	3.00	
Total	444	1.4887	.50938	.02417	1.4412	1.5362	1.00	3.00	
Model			.50957	.02418	1.4412	1.5363			
Fixed Effects									
Random Effects				.02418*	1.1815*	1.7960*			-0.0043

جدول ۱۷. آزمون برابری واریانس‌ها با توجه به امتیاز PET

PET			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.601	1	442	.439

جدول ۱۸. جدول تحلیل واریانس با توجه به امتیاز PET

PET					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.175	1	.175	.674	.412
Within Groups	114.769	442	.260		
Total	114.944	443			

جدول ۱۹. آماره پایدار یا مقاوم (Robust) در برابر فرض نرمال بودن مربوط به آنالیز واریانس با توجه به امتیاز PET

PET				
	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	.685	1	291.278	.409
Brown-Forsythe	.685	1	291.278	.409

a. Asymptotically F distributed.

نتیجه آزمون ANOVA بر احتمال برخورد حرکات ULT و DLT بر اساس نمره PET نیز نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد احتمال برخورد در درگیری حرکات ULT در مقایسه با درگیری حرکات DLT به طور قابل توجه بالاتر نمی‌باشد.

۵- نتیجه گیری

و آمار تصادف و بکارگیری مدل‌های آماری در راستای تعیین نقاط حادثه خیز و ناامن انجام می‌شود. ضعف‌هایی که در استفاده از آمار تصادف دیده شد، نشان داد که این شیوه ابزار چندان مناسبی جهت ارزیابی ایمنی نیست. بنابراین استفاده از روش‌های جایگزین یا مکمل مبتنی بر داده‌های غیر تصادف برای بهبود ایمنی ترافیک ضروری به نظر می‌رسد. از مهمترین روش‌های مبتنی بر داده‌های غیر تصادف، استفاده از شاخص‌های تداخل ترافیکی است که در این پژوهش از آن‌ها بهره برده شده است. بررسی ریسک حرکات گردش به چپ در تقاطع چراغ‌دار تنها هسته اصلی این پژوهش نمی‌باشد، بلکه اساس مقایسه ایمنی دو نوع حرکت گردش به چپ مستقیم و

مهندسان و برنامه‌ریزان حمل و نقل به طور معمول، از مدیریت دسترسی برای بهبود شرایط عملکردی و ایمنی سیستم حمل و نقل جاده‌ای استفاده می‌کنند. یکی از اهداف مدیریت دسترسی کاهش خطر تصادفات است. به طور خاص، اقدامات مدیریت دسترسی به دنبال به حداقل رساندن حرکات گردش به چپ از مسیرهای رانندگی هستند، زیرا این حرکات نقاط درگیری بسیاری را ایجاد می‌کنند و پتانسیل تصادفات رانندگی را افزایش می‌دهند. این پژوهش به بررسی و مقایسه اثرات عملیاتی ایمنی و ترافیکی گردش به چپ‌های مستقیم (DLT) در مقابل گردش به چپ‌های واگرد (ULT) پرداخته شده است. تجزیه و تحلیل ایمنی جاده به طور سنتی، اغلب با سوابق

با هر دو امتیاز TTC و PSD تجزیه و تحلیل می‌شوند، نشان می‌دهد که درگیری‌های ULT متوسط شدت بالاتری دارند. جهت بررسی معنی‌داری این تفاوت آزمون ANOVA صورت گرفت. نتیجه آزمون ANOVA نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، فرضیه تهی رد نمی‌شود و این بدین معناست که میزان شدت درگیری ULT در مقایسه با درگیری DLT به طور قابل توجه بالاتر نمی‌باشد.

-احتمال وقوع درگیری با در نظر گرفتن یک نمره عینی براساس مفهوم زمان پس از تخطی (PET) تحلیل گردید. هر دو مانور ULT و DLT نمرات را بر اساس مقدار عددی شاخص مربوطه به منظور ارزیابی احتمال برخورد دریافت کردند. توزیع نمرات شاخص برای هر دو حرکت نشان می‌دهد که صدک ۸۵ نمره تداخلات که ممکن است به عنوان احتمال متوسط تفسیر شود دارای نمره شدت ۲ است.

-مقایسه نمودارهای نمرات احتمال برخورد حرکات ULT و DLT، نشان داد که درگیری‌های ULT احتمال برخورد بالاتری دارند، که این امر ممکن است به دلیل عدم دید رانندگان برای پیدا کردن گپ مناسب باشد و ممکن است با "آزمایش و خطا" به جاده اصلی بروند. جهت بررسی معنی‌داری این تفاوت آزمون ANOVA صورت گرفت. نتیجه آزمون ANOVA بر احتمال برخورد حرکات ULT و DLT بر اساس نمره PET نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد فرضیه تهی رد نمی‌شود و این بدین معناست احتمال برخورد درگیری ULT از درگیری مانور DLT به طور قابل توجه بالاتر نمی‌باشد.

واگرد در تقاطع چراغ‌دار، با تکیه بر مفاهیم تکنیک تداخل ترافیکی است. در این راستا داده‌های شاخص‌های مورد نیاز مربوط به تداخل گردش به چپ با وسایل نقلیه عبور مستقیم با روش تحلیل ویدئویی جمع‌آوری شدند. کمی‌سازی تداخل و استخراج شاخص‌های تداخلی به کمک نرم‌افزار کینویا و اکسل صورت پذیرفت. در نهایت با طبقه‌بندی شاخص‌های زمان مبنا و سرعت مبنا، احتمال برخورد، شدت برخورد و در نهایت ریسک برخورد در دو نوع حرکت گردش به چپ در تقاطع چراغ‌دار مقایسه گردید.

خلاصه نتایج بدست آمده در این پژوهش به شرح زیر می‌باشد. -توزیع رویدادهای تداخلی بر اساس شاخص سرعت مبنای TTC نشان می‌دهد، بخش اعظم رویدادهای استخراج شده دارای TTC بیشتر از ۴ ثانیه‌اند، که بر اساس مطالعات پیشین این بازه زمانی جزء عبور ایمن محسوب می‌شود.

-توزیع رویدادهای تداخلی براساس شاخص زمان مبنای PET نشان می‌دهد، در بخش اعظم رویدادهای استخراج شده درصد بالایی از درگیری‌ها دارای مقادیر PET بیشتر از ۲/۵ ثانیه بودند، که این مقدار مرزی به عنوان احتمال برخورد کم در نظر گرفته شده است.

-شدت درگیری‌ها با در نظر گرفتن یک نمره عینی براساس مفهوم نسبت فاصله توقف (PSD) و زمان تا برخورد (TTC) مورد ارزیابی قرار گرفت. هر درگیری نمرات TTC و PSD را به منظور ارزیابی شدت درگیری‌ها برای هر دو مانور ULT و DLT دریافت کردند. متوسط شدت درگیری‌ها را در حالتی که

۶-مراجع

-شجاعی، محمدحسین (۱۳۹۳). بررسی ریسک عبور عابرین از عرض خیابان ترافیک مختلط، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

-کریمی مسکونی، ارسطو (۱۳۹۲). تحلیل ریسک وقوع تصادفات در تقاطع بدون چراغ با استفاده از شاخص‌های تداخل ترافیکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

-امینی، بهنام و دانشگر، محمدمهدی (۱۳۹۰). ارتقا ایمنی تقاطعات چراغ‌دار معابر شریانی با استفاده از طرح گردش به چپ غیرمستقیم مربعی، اولین همایش ملی ترافیک، ایمنی و راهکارهای اجرایی ارتقاء آن. کرمان.

-تنکابنی، شکوفه (۱۳۹۶). مدل‌سازی ریسک برخورد عابر و خودرو در تقاطع مبتنی بر تکنیک تداخل ترافیکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

- Institute of Transportation Engineers. (1999). *Traditional Neighborhood Development: Street Design Guidelines*, Vol. 27. *Inst of Transportation Engrs*.
- Jiang, X., Zhang, G., Bai, W., & Fan, W. (2016). Safety evaluation of signalized intersections with left-turn waiting area in China. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 461-469.
- Kocourek, J., & Padělek, T. (2016, May). Application of the traffic conflict technique in the Czech Republic. In *2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, IEEE. 1-4.
- Kusumastutie, N. S., & Rusmandani, P. (2019). A brief review: traffic conflict techniques and the challenges of the studies in Indonesia. In *MATEC Web of Conferences, EDP Sciences*. Vol. 270, 03004.
- Laureshyn, A., Svensson, Å. & Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1637-1646.
- Lihong, L., Tongshuai, Y., & Wei, Z. (2018, December). Methods of Traffic Conflict and Definition. In *Proceedings of the Asia-Pacific Conference on Intelligent Medical 2018 & International Conference on Transportation and Traffic Engineering 2018*, 67-71.
- Mahmud, S. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., & Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 41(4), 153-163.
- Meng, L. I., Han, W. X., & Ke, S. H. I. (2017). Traffic conflict identification technology of vehicle intersection based on vehicle video trajectory extraction. *Procedia Computer Science*, 109, 963-968.
- Muley, D., Ghanim, M., & Kharbeche, M. (2018). Prediction of traffic conflicts at signalized intersections using SSAM. *Procedia Computer Science*, 130, 255-262.
- Oh, J., Kim, E., Kim, M., & Choo, S. (2010). Development of conflict techniques for left-turn and cross-traffic at protected left-turn
- نیدیمی، نوید، ۱۳۸۹، توسعه مفهوم شاخص ایمنی جریان خرد ترافیکی با استفاده از داده های غیرتصادف، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.
- Allen, B. L., Shin, B. T., & Cooper, P. J. (1978). Analysis of traffic conflicts and collisions (No. HS-025 846).
- Astarita, V., & Giofré, V. P. (2019). From traffic conflict simulation to traffic crash simulation: Introducing traffic safety indicators based on the explicit simulation of potential driver errors. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 94, 215-236.
- Cao, W., Jiang, F., & Tan, J. (2016, August). A method of waterway traffic safety evaluation based on conflict threshold. In *2016 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, IEEE. 64-67.
- Essa, M., & Sayed, T. (2018). Traffic conflict models to evaluate the safety of signalized intersections at the cycle level. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 289-302.
- Guo, Y., Sayed, T., Zaki, M. H., & Liu, P. (2016). Safety evaluation of unconventional outside left-turn lane using automated traffic conflict techniques. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 43(7), 631-642.
- Gu, X., Xiang, Q. J., & Li, S. (2016). Traffic Conflict Technique-Based Setting Method of Freeway Climbing Lane. In *MATEC Web of Conferences. EDP Sciences*, Vol. 81, 03003.
- Hayward, J. C. (1972). Near miss determination through use of a scale of danger.
- Hydén, C. (1987). The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. *Bulletin Lund Institute of Technology*, Department, (70).
- Ibitoye, B. A., AbdulWahab, R., & Bamidele, A. (2017). Evaluation of Collision Potential at Four-Legged Unsignalized Intersection Using Traffic Conflict Technique. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 2(3), 1-4.

- Zheng, L., & Sayed, T. (2019). A full Bayes approach for traffic conflict-based before–after safety evaluation using extreme value theory. *Accident Analysis & Prevention*, 131, 308-315.
- Zhou, H., & Huang, F. (2013). Development of traffic safety evaluation method based on simulated conflicts at signalized intersections. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 881-885.
- Shen, J., Wang, W., & Chen, X. (2011). Efficiency Model of Intersections Based on Traffic Conflict. In ICCTP 2011, *Towards Sustainable Transportation Systems*, 953-959.
- Stamatiadis, N., Tate, S., & Kirk, A. (2016). Left-turn phasing decisions based on conflict analysis. *Transportation Research Procedia*, 14, 3390-3398.
- Svensson, Å. (1998). A method for analysing the traffic process in a safety perspective (Doctoral dissertation, Lund University).
- signalized intersections. *Safety Science*, 48(4), 460-468.
- Tageldin, A., Sayed, T., & Ismail, K. (2018). Evaluating the safety and operational impacts of left-turn bay extension at signalized intersections using automated video analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 13-27.
- Uzundu, C., Jamson, S., & Lai, F. (2018). Exploratory study involving observation of traffic behaviour and conflicts in Nigeria using the Traffic Conflict Technique. *Safety Science*, 110, 273-284.
- Yang, Q., Shi, Z., Yu, S., & Zhou, J. (2018). Analytical evaluation of the use of left-turn phasing for single left-turn lane only. *Transportation Research Part B: Methodological*, 111, 266-303.
- Zhang, L., & Prevedouros, P. D. (2002). Signalized intersection LOS that accounts for safety risk. *Transportation Research Record*, 3288.
- Zheng, L., Sayed, T., & Tageldin, A. (2018). Before-after safety analysis using extreme value theory: A case of left-turn bay extension. *Accident Analysis & Prevention*, 121, 258-267.

Assessing the Risk of Car to Car Collision in Left Turn Movements at Intersection

Akram Azizzadeh, M.Sc., Student, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

*Farshidreza Haghighi, Associate Professor, Babol Noshirvani University of Technology,
Babol, Iran.*

E-mail: Haghighi@nit.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

The balance between safety and operational efficiency of left turn movements at intersections needs special attention. Among the types of intersections, lighted intersections highlight this need more, because at the same time that protected left turn increases safety, unnecessary left turn protection can cause operational delays increase significantly. Traditional safety evaluation methods are mainly based on traffic accident statistics, due to reasons such as the rarity of accidents, inappropriate reporting level, failure to consider the behavioral aspects of road users, as well as spending a lot of time and money to collect information about optimal performance. It does not have before and after studies to use short-term strategies. Therefore, in this research, using its own traffic conflict technique, based on events with a higher frequency of occurrence than accidents, a solution is presented to evaluate the safety of conflict related to left turns.

Keyword: Traffic Conflict Technique, Traffic Safety, Left Turn, Risk, Signalized Intersection