

ارزیابی ریسک خطر حرکات ترافیکی در ناحیه فیزیکی تقاطع بدون چراغ بر اساس شاخص TTC

سعید عباسی^۱، امین میرزا بروجردیان^{۲*}، ارسطو کریمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۳- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

Boroujerdian@Modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۵/۲۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱۲/۲۰]

چکیده - ایمنی از حوزه‌هایی است که توجه و آگاهی روز افزونی را توسط مهندسان ترافیک به خود اختصاص داده است. توسعه شهرنشینی باعث افزایش وسایل نقلیه و به تبع آن تصادفات شده است. اولین گام در بهبود ایمنی ترافیک شناسایی نواحی خطر است. تشخیص نواحی خطر با استفاده از داده‌های تصادفات ترافیکی در جاده‌ها و شبکه راه‌ها امکان‌پذیر است. با این حال در مناطق کوچک مانند تقاطعات، به خصوص در مقیاس حرکت‌ها، به دلایلی چون رخداد کم تصادفات در یک منطقه خاص و عدم ثبت محل دقیق رخداد تصادف، تشخیص نواحی خطر بر اساس داده‌های تصادفات امکان‌پذیر نیست. از این رو در این مطالعه، از شاخص تداخل ترافیکی که دارای رخداد به مراتب بیشتر از تصادفات است و امکان ثبت دقیق محل رخداد آن‌ها با روش تحلیل ویدیویی امکان‌پذیر است، استفاده گردید. در این مطالعه شاخص چگالی تداخلات بحرانی مبتنی بر شاخص زمان تا تصادف و حجم حرکت‌های تداخلی ارائه گردید؛ و سپس با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS نواحی خطر به صورت فضایی در محدوده فیزیکی تقاطع مشخص شدند. با استفاده از این روش امکان شناسایی مناطق پرخطر مبتنی بر تداخلات بحرانی تقاطع به وجود می‌آید. با استفاده از اطلاعات حاصل از آن، تصمیم‌گیری برای نحوه ارتقا ایمنی تقاطع انجام می‌شود. به عنوان مطالعه موردی چهارراه بدون چراغ تقاطع وصال شیرازی- بزرگمهر در تهران انتخاب شد. داده‌های تداخلی با استفاده از تحلیل ویدیویی جمع‌آوری شد و با بکارگیری روش پیشنهادی در این مقاله نواحی خطر تعیین گردید. نتایج ارزیابی‌ها، ناحیه ورود مسیر فرعی به مسیر اصلی را پرخطرترین ناحیه، به دلیل تداخل حرکت راستگرد از مسیر فرعی با حرکت مستقیم از مسیر اصلی و حرکت چپگرد از مسیر فرعی با حرکت مستقیم از مسیر اصلی نشان می‌دهد. مقدار ریسک خطر تداخل حرکت راستگرد از مسیر فرعی با حرکت مستقیم از مسیر اصلی ۲۴۵/۱ است که حدود ۸ برابر میانگین ریسک خطر کلیه حرکات می‌باشد و مقدار ریسک خطر تداخل مشابه سمت دیگر تقاطع ۸۹ است. این دو تداخل دلیل اصلی بالا رفتن ریسک خطر تقاطع می‌باشند.

واژگان کلیدی: ایمنی ترافیکی، تداخل ترافیکی، شاخص زمان تا تصادف، ریسک خطر، نواحی حادثه‌خیز

۱- مقدمه

ایمنی راه‌ها، متغیرهای تشریح‌کننده این سطوح و تأثیرات مورد انتظار از طرح‌های ایمنی می‌باشند. استفاده از داده‌های ثبت شده تصادف برای تحلیل ایمنی روش مناسبی نیست، زیرا تعداد قابل ملاحظه‌ای داده تصادف بایستی قبل از تحلیل ثبت شود [۱]. بنابراین یافتن معیارهای ارزیابی خطر دیگر که بتواند قبل از وقوع تصادف موقعیت‌های خطرناک را شناسایی کند، در تحقیقات اخیر مورد توجه قرار گرفته است. از این میان تداخلات ترافیکی به عنوان روشی

آمار تصادف نشان می‌دهد روزانه در سراسر دنیا بیش از ۳۵۰۰ نفر جان خود را در اثر تصادف از دست می‌دهند که در نتیجه سالانه ۱/۳ میلیون نفر کشته و بیش از ۵۰ میلیون نفر زخمی یا معلول می‌شوند. ایمنی ترافیک در مورد چگونگی کاهش صدمات در ترافیک بحث می‌کند. به منظور مدیریت ایمنی راه‌ها، مدیران و سیاست‌گذاران نیازمند بینش مناسبی از سطوح

تصادفات، باعث ایجاد مشکل در ارزیابی‌های ایمنی در مکان-های خاص تنها بر پایه آمار تصادفات می‌شود.

- همه تصادفات گزارش نمی‌شوند و سطح گزارش‌دهی وابسته به عوامل مختلفی از جمله شدت تصادفات است.
- اطلاعات مربوط به جنبه‌های رفتاری به ندرت در آمار تصادفات یافت می‌شود.

در مقابل، تداخلات ترافیکی فراوانی رخداد بیشتری نسبت به تصادفات دارد، اندازه نمونه مطلوب در زمان بسیار کوتاه‌تری می‌تواند بدست آید و تحلیل تداخلات ترافیکی فهم بسیار کامل‌تری از فرآیندی که منجر به تصادف می‌شود را ارائه می‌دهد [۵]، بنابراین می‌تواند به تشریح ارتباط بین المان‌های طراحی و ریسک و درک کامل‌تری از ارتباط بین رفتار و ریسک کمک کند [۶].

تشخیص نواحی خطر با استفاده از داده‌های تصادفات ترافیکی در جاده‌ها و شبکه راه‌ها امکان‌پذیر است. با این حال در مناطق کوچک مانند تقاطعات، به خصوص در مقیاس حرکت‌ها، به دلایلی چون رخداد کم تصادفات در یک منطقه خاص و عدم ثبت محل دقیق رخداد تصادف، تشخیص نواحی خطر بر اساس داده‌های تصادفات امکان‌پذیر نیست. از این رو در این مطالعه، از شاخص تداخل ترافیکی که دارای رخداد به مراتب بیشتر از تصادفات است و امکان ثبت دقیق محل رخداد آن‌ها با روش تحلیل ویدیویی امکان‌پذیر است، استفاده گردید.

در مطالعات انجام شده برای تعیین ریسک خطر نواحی مختلف، تنها تعداد تداخلات بحرانی در نظر گرفته شده است که نمی‌تواند معیار مناسبی باشد [۷، ۸]. به عنوان مثال تعداد تداخلات بحرانی دو حرکت A و B بیشتر از حرکات C و D باشد اما این تداخل بحرانی برای حجم ترافیک تداخلی به مراتب بیشتری رخ داده باشد. بنابر حرکات C و D اگر چه دارای تعداد تداخل کمتری هستند، اما از آنجایی که برای حجم ترافیک کمتری رخ داده‌اند، می‌توانند دارای پتانسیل خطر بیشتری باشند. بنابراین در این مطالعه سعی در دستیابی به شاخصی که علاوه تعداد تداخلات بحرانی حجم ترافیک تداخلی را نیز در نظر بگیرد که این شاخص با عنوان شاخص چگالی تداخلات بحرانی نام گذاری شده است.

مکمل یا جایگزین از منظری گسترده‌تر از داده‌های تصادفات، به ارزیابی ایمنی ترافیک می‌پردازد. تداخلات برهمکنش‌هایی مشابه با فرآیندهای تصادفات و بدون وقوع تصادفات هستند [۲]. ارزیابی ایمنی با استفاده از شاخص‌های تداخل ترافیکی در سال‌های اخیر توجه بیشتری را به خود معطوف کرده است. تعریف عمومی پذیرفته شده برای تداخل ترافیکی عبارت است از "وضعیتی قابل مشاهده که دو یا چند کاربر در مکان و زمان، برای امتدادی که خطر برخورد وجود داشته باشد، به یکدیگر می‌رسند، در صورتی که حرکات آنها بدون تغییر باقی بماند" [۳]. تا کنون مطالعات زیادی با استفاده از شاخص-های تداخل ترافیکی انجام گرفته اما اغلب آنها بر پایه مشاهدات ذهنی افراد بوده و تعداد کمی از مطالعات بر پایه روش‌های کمی بر اساس نزدیکی زمانی و مکانی وسایل نقلیه انجام گرفته است [۴] که این امر می‌تواند به سبب در اختیار نبودن ابزار مناسب برای استخراج پارامترهای کینماتیکی کاربران راه باشد. امروزه سامانه‌های تحلیل ویدیویی قادرند کاربران مختلف راه را تشخیص داده و آنها را دنبال کنند که پس از کالیبراسیون دوربین می‌توان مختصات واقعی کاربران را در لحظات مختلف و با دقت بالایی بدست آورد. این امر می‌تواند در بزرگتر کردن منطقه مورد مطالعه و افزایش در دقت ارزیابی‌های انجام گرفته، کمک کند.

تقاطع بدون چراغ در مقایسه با تقاطعات چراغدار از لحاظ ایمنی دارای ریسک خطر بیشتری هستند. در تقاطع چهارراه بدون چراغ مورد نظر ۳۶ نقطه تداخل وجود دارد به همین دلیل به عنوان یکی از مناطق با ریسک بالای تصادف مطرح می‌شوند. بنابراین ارائه روشی بر پایه تداخلات ترافیکی برای تعیین نواحی خطر ضروری به نظر می‌رسد.

علت استفاده از تداخلات ترافیکی، مشکلاتی است که در استفاده از داده‌های تصادفات پیش می‌آید. به طور خلاصه، مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- در مقایسه با دیگر حوادث ترافیکی، تصادفات بسیار استثنایی هستند، از این جهت که آن‌ها نتیجه یکسری حوادث غیر قابل پیش‌بینی و با احتمال وقوع کم هستند. نادر بودن

۲- مروری بر مطالعات

مطالعه ایمنی با استفاده از تداخل ترافیک در سال ۱۹۶۸ نخستین بار توسط Perkins و Harris، محققین آزمایشگاه‌های کارخانه جنرال موتورز برای بررسی تفاوت خودروهای تولید شده توسط جنرال موتورز^۱ با سایر خودروها، معرفی شد. تکنیک تداخل ترافیک یک روش آنالیز ایمنی است که از اطلاعات غیرتصادف استفاده می‌کند [۹].

در مطالعات گذشته شاخص‌های تداخلی بسیاری برای ارزیابی ایمنی ارائه شده است که هر یک از این شاخص‌ها دارای قابلیت‌های مختلفی هستند که از این میان به شاخص‌هایی مانند، زمان تا تصادف، سر فاصله زمانی، تعداد تداخلات بحرانی، نرخ شتاب کاهنده، زمان پس از تخطی، نسبت فاصله توقف، شاخص ریسک برخورد و شاخص فاصله توقف اشاره کرد.

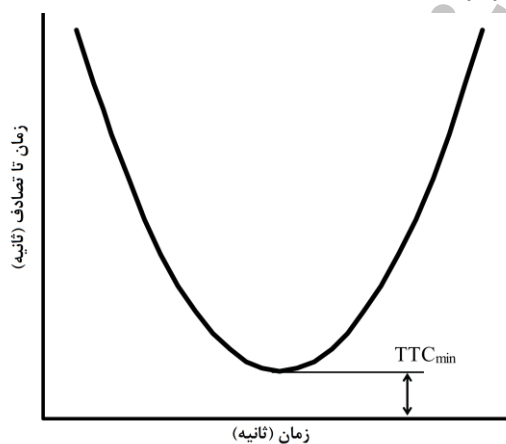
شاخص زمان تا تصادف TTC:

یکی از اولین مطالعاتی که از نزدیکی زمانی برای درجه‌بندی تداخلات با توجه به شدت آن‌ها استفاده کرد، در دهه ۱۹۷۰ در ایالات متحده آمریکا انجام شد. هاوارد [۱۰] شاخصی را با عنوان زمان اندازه‌گیری شده تا تصادف^۲ (TMTC) به صورت "زمان مورد نیاز برای برخورد دو وسیله نقلیه، در صورتی که آن‌ها با سرعت اولیه و در همان مسیر به حرکت خود ادامه دهند" تعریف کرده است. بعدها، نام این شاخص به زمان تا تصادف (TTC) تغییر پیدا کرد. این شاخص مستقیماً نمی‌تواند اندازه‌گیری شود، بلکه با پیش‌بینی حرکت کاربر راه محاسبه می‌شود [۱۰].

شاخص TTC، به دلیل در نظرگیری هم‌زمان نزدیکی و سرعت، عملکرد خوبی را ارائه می‌دهد. شاخص TTC، یکی از مهمترین و پرکاربردترین شاخص‌های مبتنی بر زمان است. اما این شاخص نیز در مواردی در ارزیابی ریسک وقوع تصادف به خصوص شدت پیامدهای ناشی از تصادف دارای ضعف است [۱۱]. در این مطالعه برای تعیین ریسک خطر نواحی تقاطع از شاخص TTC استفاده شده است.

منحنی نظری TTC که توسط هاوارد مورد بحث قرار گرفته است در شکل ۱ نشان داده شده است. منحنی از لحظه‌ای آغاز می‌شود که کاربر راه در مسیر برخورد قرار می‌گیرد و سپس به حداقل مقدار خود می‌رسد (مقدار صفر در حالت برخورد) و با خارج شدن از مسیر برخورد به مقدار بی‌نهایت پرش می‌کند. هاوارد [۱۰] تمامی منحنی‌های TTC را جمع‌آوری کرد، اما تنها از مقدار حداقل زمان تا تصادف (TTC_{min}) در تحلیل استفاده کرد. TTC_{min} یک نقطه مهم در توصیف لحظه‌ای است که کاربران راه در نزدیکترین موقعیت زمانی نسبت به یکدیگر قرار دارند. با این حال، این تنها شاخص ممکن برای توصیف منحنی TTC نیست [۱۲].

مسیر برخورد یک کاملاً ضروری برای وقوع تصادف است. با این حال، وضعیت‌های بدون مسیر برخورد اما نزدیک به آن نیز می‌تواند دارای اهمیت باشد زیرا تغییر کوچک در مسیر یا سرعت کاربران راه ممکن است آن‌ها را در مسیر برخورد و وقوع یک تصادف احتمالی قرار دهد. اشکال اصلی شاخص TTC، عدم توانایی در محاسبه شاخص است، زمانی که مسیر برخوردی وجود ندارد [۱۳].



شکل ۱: منحنی تئوری TTC [۶]

زمان تا تصادف با ریسک تصادف رابطه معکوس دارد (مقادیر کوچکتر TTC نشان دهنده ریسک بالاتر تصادف است و بالعکس). مطالعات مختلف مقادیر متفاوتی را برای آستانه بحرانی برای تشخیص وضعیت‌های بحرانی و نرمال را پیشنهاد کرده‌اند. برای مثال میندرهود و باوی از مقدار ۳ ثانیه برای بر هم‌کنش‌های تعقیب خودرو در بزرگراه، هاوارد از مقدار ۱ ثانیه

1 General Motors

2 Time-Measured-to-Collision

که در آن:

$$x'_t \text{ و } y'_t: \text{ مختصات نقطه در لحظه } t$$

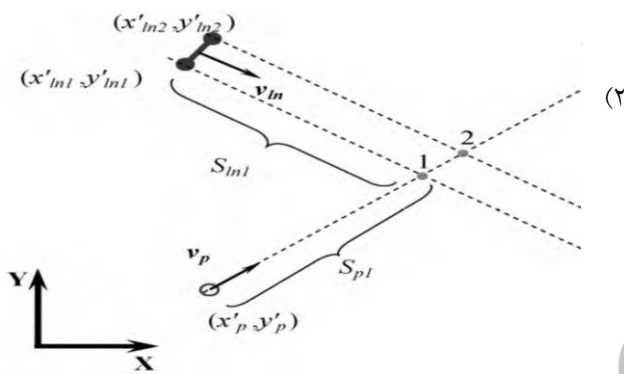
v_{px} و v_{py} : به ترتیب برابر با تصویر بردار سرعت نقطه در

جهت محورهای x و y می باشد.

مکان دو انتهای پاره خط (کناره وسیله نقلیه) در لحظه t با

استفاده از رابطه ۲ بدست می آید.

$$\begin{cases} x_{ln1,t} = x'_{ln1} + v_{lnx}t \\ y_{ln1,t} = y'_{ln1} + v_{lny}t \\ x_{ln2,t} = x'_{ln2} + v_{lnx}t \\ y_{ln2,t} = y'_{ln2} + v_{lny}t \end{cases}$$



شکل ۲- محاسبه TTC برای ترکیب گوشه با کناره های جلو و عقب وسیله نقلیه

که در آن:

$(x_{ln1,t}, y_{ln1,t})$ و $(x_{ln2,t}, y_{ln2,t})$: مکان دو انتهای پاره خط در لحظه t

$(x'_{ln1,t}, y'_{ln1,t})$ و $(x'_{ln2,t}, y'_{ln2,t})$: مکان اولیه دو انتهای پاره خط،

v_{lnx} و v_{lny} : تصویر بردار سرعت پاره خط در جهت محورهای x و y است.

معادله خط در شکل کانونی آن در لحظه t مطابق با رابطه ۳ است.

$$x - x_{ln1,t} = \frac{y - y_{ln1,t}}{k} \quad (3)$$

K پارامتری است که شیب خط را توصیف می کند. در حالتی که خط به موازات خودش حرکت کند (جهت حرکت ثابت بماند)، مقدار k ثابت خواهد ماند و می تواند با استفاده از مکان اولیه آن با رابطه ۴ بدست آید.

برای تداخلات اتومبیل با اتومبیل، هایدن از مقدار ۱/۵ ثانیه برای هر نوع تداخل ترافیکی استفاده کرده اند. در مطالعات مختلف مقادیر متفاوتی به عنوان حد ایمنی استفاده شده است. آستانه بحرانی TTC گستره ای از ۱/۵ ثانیه [۱۴] تا ۵ ثانیه [۱۵] را دارا می باشد [۱۶].

۳- روش تحقیق

نوآوری اصلی این پژوهش ارایه روشی (مدلی) برای تعیین و شناسایی ریسک خطر نواحی مختلف ناحیه فیزیکی تقاطع است، که این موضوع با در نظر گرفتن محل وقوع تداخل دو به دو حرکات در نواحی مختلف و همپوشانی چند تداخل در یک ناحیه صورت می گیرد.

روند انجام کار در این پژوهش به ترتیب زیر می باشد:

- ۱- بدست آوردن مقدار شاخص TTC هر یک از تداخلات
- ۲- تعیین تعداد تداخلات بحرانی بر اساس شاخص TTC
- ۳- تعیین نرخ جریان هر یک از حرکات
- ۴- محاسبه ریسک خطر هر یک از حرکات (I)
- ۵- محاسبه ریسک خطر تداخل دو به دو حرکات (R)
- ۶- محاسبه ریسک خطر نواحی مختلف تقاطع با توجه به همپوشانی تداخلات در هر ناحیه
- ۷- نمایش ریسک خطر نواحی مختلف تقاطع

۴- محاسبه شاخص TTC و تداخلات بحرانی

در این مطالعه شاخص زمان تا تصادف (TTC) برای وسایل نقلیه کلیه حرکات محاسبه گردیدند. لارسن و همکاران روش محاسبه TTC برای ترکیب های گوشه به کناره های جلو و عقب وسیله نقلیه (شکل ۲) را ارایه داده اند. در صورتی که (x'_p, y'_p) مختصات اولیه یکی از وسایل نقلیه و v_p بردار سرعت آنی آن فرض شود (شکل ۲). بنابراین مختصات نقطه در لحظه t می تواند با رابطه ۱ توصیف شود [۸].

$$\begin{cases} x_{p,t} = x'_p + v_{px}t \\ y_{p,t} = y'_p + v_{py}t \end{cases} \quad (1)$$

هر یک از حرکات محاسبه شد. این شاخص با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{N}{V} \quad (۷)$$

که در آن:

I: شاخص چگالی خطر،

N: تعداد تداخلات بحرانی حرکت،

V: نرخ جریان یک ساعت حرکت مورد نظر است (veh/h).

بعد از محاسبه ریسک خطر هر یک از حرکات ریسک خطر دو به دو حرکات با استفاده از رابطه ۸ بدست می‌آید.

$$R = \frac{N}{V_1 * V_2} * 10^6 \quad (۸)$$

که در آن:

R: ریسک خطر،

N: تعداد تداخلات بحرانی دو حرکت با یکدیگر،

V_1 و V_2 : به ترتیب نرخ جریان حرکت اول و حرکت دوم است (veh/h).

در مرحله بعد برای شناخت نواحی حادثه‌خیز ریسک خطر حرکات به صورت دو به دو بررسی شد تا محل وقوع این تداخلات در تقاطع شناسایی شود و بتوان ریسک خطر هر ناحیه را بدست آورد. شکل ۳ نواحی برخورد حرکتی که با هم تداخل دارند را به صورت شماتیک نشان داده است. همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود، هر ناحیه در تقاطع می‌تواند شامل چند نوع تداخل باشد، لذا یافتن نواحی پر خطر مستلزم همپوشانی و جمع مقادیر ریسک خطر تداخلات آن ناحیه است. شاخص خطر هر ناحیه (ZRI) از رابطه ۹ قابل محاسبه است که در آن n تعداد تداخلات رخ داده در آن ناحیه است.

$$ZRI = \sum_{i=1}^n R \quad (۹)$$

برای نمایش ریسک خطر هر ناحیه به صورت سه بعدی از نرم افزار Arc GIS استفاده شد. روش کار به این صورت است که مختصات ناحیه برخورد دو حرکت با هم با استفاده از شکل تقاطع (زوایای ورود وسایل نقلیه به ناحیه فیزیکی تقاطع)، عرض خطوط و رسم مسیر حرکت وسیله نقلیه در تقاطع، مشخص می‌شود (مطابق شکل ۳). در این مرحله با اختصاص مقدار ZRI هر ناحیه به عنوان مقدار Z (ارتفاع نقطه تداخل)

$$k = \frac{y'_{ln2} - y'_{ln1}}{x'_{ln2} - x'_{ln1}} \quad (۴)$$

با جایگزینی مختصات نقطه در معادله خط زمان برخورد، مطابق با رابطه ۵ بدست می‌آید.

$$t_{coll} = \frac{(y'_p - y'_{ln1}) - k(x'_p - x'_{ln1})}{k(v_{px} - v_{lnx}) - (v_{py} - v_{lny})} \quad (۵)$$

در حالتی که منخرج رابطه ۵ برابر با صفر شود ($k \rightarrow \infty$) زمان برخورد از رابطه ۶ بدست می‌آید.

$$t_{coll} = \frac{x'_{ln1} - x'_p}{v_{px}} \quad \text{if } k \rightarrow \infty \quad (۶)$$

پس از تعیین مقادیر شاخص TTC برای حرکات تداخلی مختلف، تنها تداخلات بحرانی در تعیین ریسک خطر مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطابق با یافته‌های Zein و Sayed برای تقاطعات بدون چراغ [۱۷]، مقدار آستانه ۱/۵ ثانیه است. بر اساس این مقدار آستانه، تداخلاتی که دارای TTC کمتر از این مقدار می‌باشد، به عنوان تداخل بحرانی در نظر گرفته می‌شود.

۵- تعیین ریسک خطر نواحی مختلف

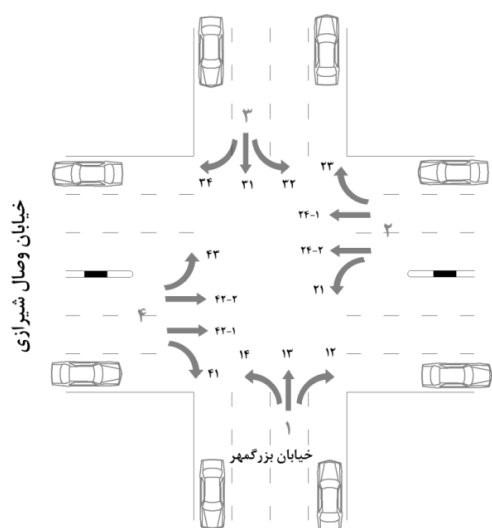
با توجه به اینکه حجم حرکات عبوری متفاوت می‌باشد، تعداد تداخلات بحرانی نمی‌تواند معیاری مناسب برای مقایسه بین حرکات باشد. به عنوان مثال تعداد تداخلات بحرانی حرکات چپگرد با سایر حرکات از حرکات مستقیم با کمتر است اما در عوض نرخ جریان حرکات مستقیم بسیار بیشتر از حرکات چپگرد است. با توجه به اینکه تعداد کل تداخلات و تداخلات بحرانی به مقدار نرخ جریان وابستگی دارد لذا در این مطالعه از شاخص چگالی تداخلات بحرانی که حاصل تقسیم تعداد تداخلات بحرانی به نرخ جریان است، استفاده شد. شاخص نسبت تعداد تداخلات بحرانی به نرخ جریان نتایج قابل قبول‌تر و مقایسه‌پذیرتری ارائه می‌دهد.

در مرحله اول تعداد تداخلات بحرانی هر یک از حرکات به صورت جداگانه با استفاده از آنالیز تصویری بدست آمد و سپس نرخ جریان هر یک از حرکات بر حسب تعداد وسیله نقلیه عبوری در ساعت بدست آمد. در این مرحله شاخص چگالی خطر، از تقسیم تعداد تداخلات بحرانی به نرخ جریان

در تقاطع در زمان‌های مختلف، از سه زمان متفاوت استفاده شده است. بازه زمانی اول که ترافیک سنگین‌تری نسبت به دو بازه زمانی دیگر دارد دارای ۳۵۳ تداخل ترافیکی، بازه دوم ۲۵۲ تداخل ترافیکی و بازه سوم ۳۰۱ تداخل ترافیکی است. برای رسیدن به نتیجه‌ای قابل قبول مقدار ریسک خطر در نواحی مختلف تقاطع در سه حالت (بازه زمانی اول، بازه زمانی دوم و بازه زمانی سوم) نمایش داده شد.

برای تفکیک حرکات مختلف در تقاطع و مشخص شدن نرخ جریان و تعداد تداخلات بحرانی هر یک از حرکات، به هر یک از حرکات یک کد اختصاص داده شد. نحوه کدبندی و کد هر یک از حرکات در شکل ۴ نشان داده شده است.

در جدول ۱ نرخ جریان هر یک از حرکات و در جدول ۲ تعداد تداخلات بحرانی دو به دو حرکات با یکدیگر نمایش داده شده است.



شکل ۴- کد بندی حرکات در تقاطع

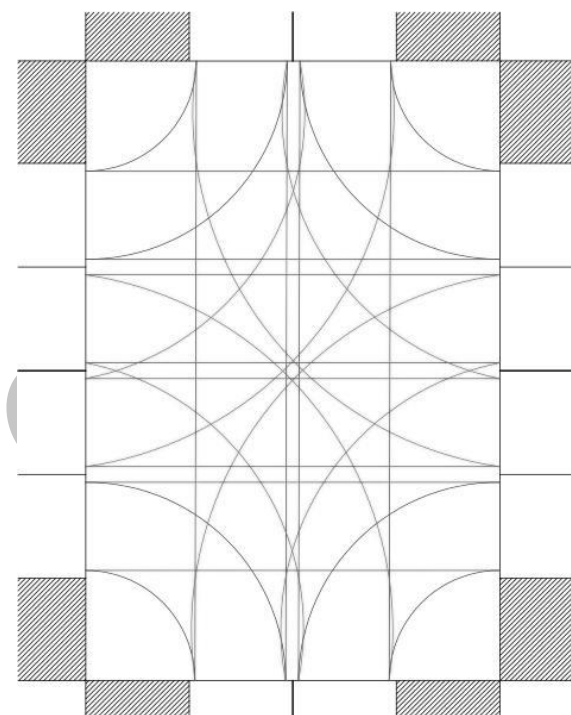
حال مقدار R برای دو به دو حرکات که با هم تداخل دارند برای هر سه حالت و با استفاده از آن ریسک خطر هر ناحیه بدست می‌آید. در جدول ۳ مقادیر ریسک خطر دو به دو حرکات (R) برای حالت مجموع سه بازه زمانی، نمایش داده شده است.

شکل ۵، ۶ و ۷ به ترتیب خطوط منحنی میزان ریسک خطر، در بازه زمانی اول، دوم و سوم را نمایش می‌دهند.

در شکل ۸ خطوط منحنی وضعیت ریسک خطر نواحی، برای مجموع سه بازه زمانی نشان داده شده است. در این شکل

می‌توان برای نقاط مختلف ناحیه فیزیکی تقاطع ارتفاع تعریف کرد.

در مرحله بعد با داشتن (X, Y, Z) کل ناحیه فیزیکی تقاطع، با استفاده از نرم افزار Arc GIS ریسک خطر مناطق مختلف ناحیه فیزیکی نمایش داده می‌شود. واضح است، نواحی با تمرکز بیشتر خطوط منحنی میزان نشان دهنده وقوع تعداد تداخل است، همچنین مقدار تراز این خطوط حاکی از میزان ریسک خطر آن ناحیه است.



شکل ۳- شماتیک نواحی برخورد حرکاتی که با هم تداخل دارند

۶- مطالعه موردی (نتایج تحقیق)

منطقه مورد مطالعه چهار راه واقع در تقاطع خیابان وصال شیرازی- بزرگمهر در تهران می‌باشد. مسیر اصلی (خیابان وصال شیرازی) دارای رفوژ میانی و سه خط عبور در هر جهت است. مسیر فرعی (خیابان بزرگمهر) به صورت جدا نشده و دارای دو خط عبور در هر جهت است. در هر جهت یکی از خطوط به عنوان پارکینگ خیابانی مورد استفاده قرار گرفته است. این تقاطع از چراغ چشمک‌زن قرمز در مسیر فرعی و چشمک‌زن زرد در مسیر فرعی بهره می‌برد. این تقاطع دارای حجم عبوری زیادی بوده و تمامی حرکات در تقاطع آزاد است. در این مطالعه در مجموع، از ۹۰۶ تداخل ترافیکی استفاده گردیده است که برای در نظر گرفتن شرایط مختلف ترافیکی

خطر در شرایط ترافیکی مورد بررسی تقریباً ثابت است، بنابراین خطر بالقوه در این نواحی به مراتب بیشتر از سایر قسمت‌های تقاطع است. بنابراین با اصلاح هندسی یا جریان‌بندی حرکت‌های عبوری از این ناحیه می‌توان به بهبود وضعیت ترافیک کمک کرد.

هرچه رنگ ناحیه به قرمز نزدیکتر می‌شود نشان دهنده ریسک خطر بالاتر آن ناحیه می‌باشد. با توجه به شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ این نتیجه حاصل می‌شود که نواحی خطر در تقاطع در شرایط ترافیکی مختلف اگر چه از نظر مقدار و اندازه متفاوت می‌باشد اما محل رخداد نواحی

جدول ۱- نرخ جریان حرکات برای مجموع سه بازه زمانی

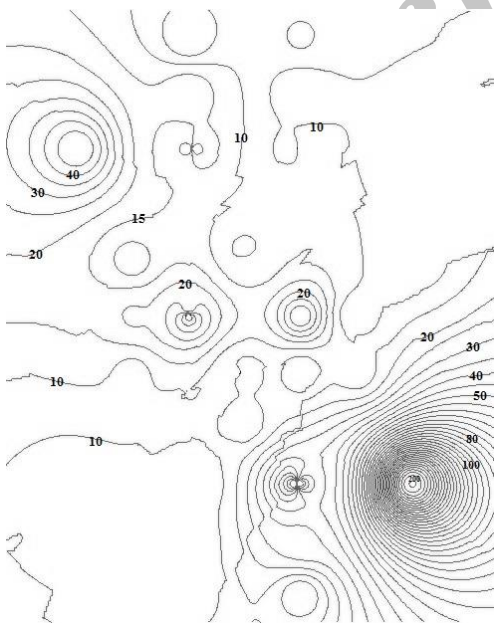
نرخ جریان (veh/h)	کد حرکت	نرخ جریان (veh/h)	کد حرکت	نرخ جریان (veh/h)	کد حرکت
۵۶	۴۱	۱۵۶	۲۴-۱	۴۰	۱۲
۲۰۴	۴۲-۱	۵۸۸	۲۴-۲	۵۳۶	۱۳
۱۱۰۴	۴۲-۲	۲۰۴	۳۱	۲۲۸	۱۴
۲۱۶	۴۳	۴۴۸	۳۲	۵۲	۲۱
۴۲۱۶	کل	۲۱۶	۳۴	۱۶۰	۲۳

جدول ۲- مقادیر تعداد تداخلات بحرانی حرکات برای مجموع سه بازه زمانی

تعداد تداخلات بحرانی	کد حرکت وسیله ۲	کد حرکت وسیله ۱	تعداد تداخلات بحرانی	کد حرکت وسیله ۲	کد حرکت وسیله ۱
۳	۳۲	۳۱	۰	۱۲	۱۳
۳	۱۴	۳۱	۶	۱۴	۱۳
۱	۴۳	۳۱	۱۶	۴۲	۱۳
۰	۴۲	۳۱	۱۳	۳۲	۱۳
۰	۲۱	۳۱	۰	۲۱	۱۳
۰	۴۱	۳۱	۶	۲۴	۱۳
۰	۴۱	۴۲-۱	۳	۴۳	۱۳
۲	۴۳	۴۲-۲	۱	۲۳	۱۳
۰	۲۱	۴۲-۱	۰	۲۳	۲۴-۱
۰	۲۱	۴۲-۲	۰	۲۱	۲۴-۲
۴	۱۴	۴۲-۱	۰	۴۳	۲۴-۱
۳	۱۴	۴۲-۲	۴	۴۳	۲۴-۲
۴	۳۲	۴۲-۲	۴	۳۲	۲۴-۱
۲	۱۲	۴۲-۱	۳	۳۲	۲۴-۲
۱	۴۳	۱۴	۱	۳۱	۲۴
۰	۲۱	۱۴	۳	۱۴	۲۴-۲
۰	۳۲	۲۱	۳	۳۴	۲۴-۱
۱	۴۳	۳۲	۰	۳۴	۳۱

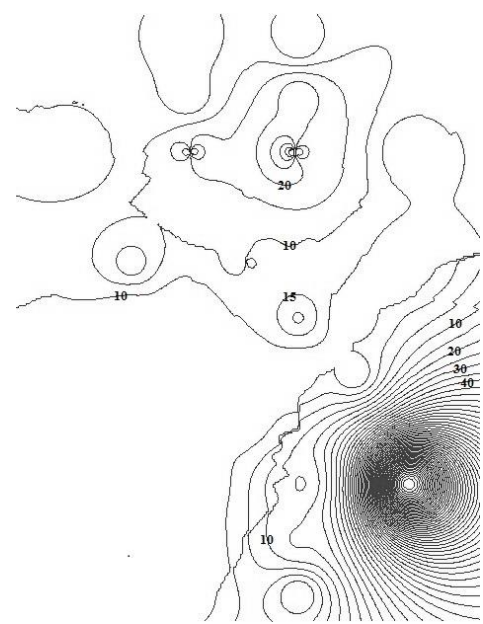
جدول ۳- مقادیر ریسک خطر دو به دو حرکات برای مجموع سه بازه زمانی

کد حرکت وسیله ۱	کد حرکت وسیله ۲	R	کد حرکت وسیله ۱	کد حرکت وسیله ۲	R
۱۳	۱۲	۰	۳۱	۳۲	۳۲/۸
۱۳	۱۴	۴۹/۱	۳۱	۱۴	۶۴/۵
۱۳	۴۲	۲۲/۸	۳۱	۴۳	۲۲/۷
۱۳	۳۲	۵۴/۱	۳۱	۴۲	۰
۱۳	۲۱	۰	۳۱	۲۱	۰
۱۳	۲۴	۱۵/۰	۳۱	۴۱	۰
۱۳	۴۳	۲۵/۹	۴۲-۱	۴۱	۰
۱۳	۲۳	۱۱/۷	۴۲-۲	۴۳	۸/۴
۲۴-۱	۲۳	۰	۴۲-۱	۲۱	۰
۲۴-۲	۲۱	۰	۴۲-۲	۲۱	۰
۲۴-۱	۴۳	۲۹/۷	۴۲-۱	۱۴	۸۶/۰
۲۴-۲	۴۳	۲۳/۶	۴۲-۲	۱۴	۱۱/۹
۲۴-۱	۳۲	۵۷/۲	۴۲-۲	۳۲	۸/۱
۲۴-۲	۳۲	۱۱/۴	۴۲-۱	۱۲	۲۴۵/۱
۲۴	۳۱	۶/۶	۱۴	۴۳	۲۰/۳
۲۴-۲	۱۴	۲۲/۴	۱۴	۲۱	۰
۲۴-۱	۳۴	۸۹/۰	۲۱	۳۲	۰
۳۱	۳۴	۰	۳۲	۴۳	۱۰/۳



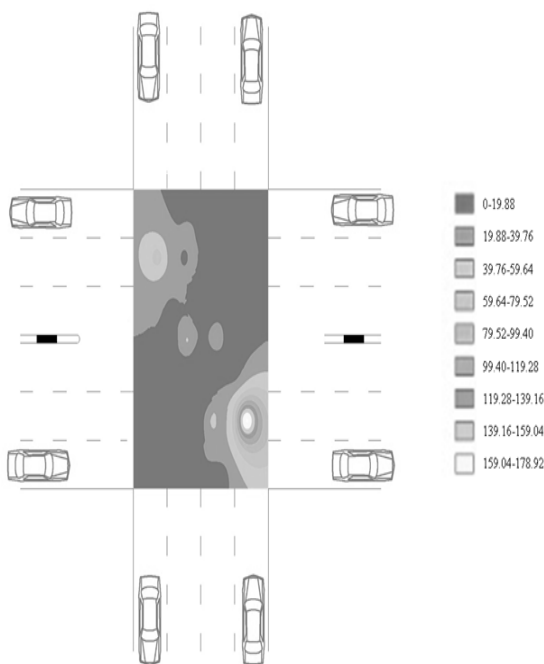
شکل ۶- نمایش منحنی میزان ریسک خطر نواحی مختلف تقاطع در بازه

زمانی دوم

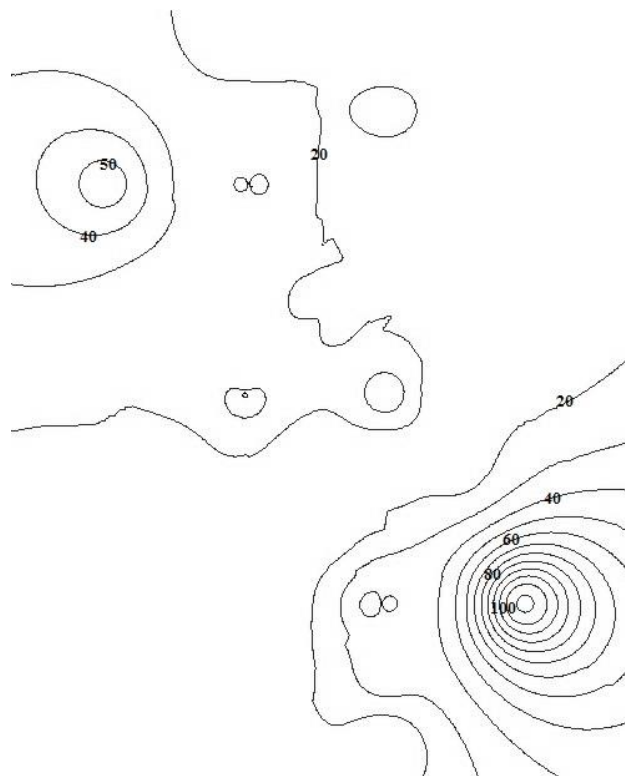


شکل ۵- نمایش منحنی میزان ریسک خطر نواحی مختلف تقاطع در بازه

زمانی اول



شکل ۸- نمایش سه بعدی ریسک خطر نواحی مختلف تقاطع برای مجموع سه بازه زمانی



شکل ۷- نمایش منحنی میزان ریسک خطر نواحی مختلف تقاطع در بازه زمانی سوم

و لذا رانندگان در این راستای حرکتی کاهش سرعت کمتری را قبول می‌کنند و لذا این موضوع باعث به وجود آمدن تداخلات بحرانی می‌شود.

- دلیل دیگر تشکیل ناحیه پر خطر در ناحیه پایین سمت راست تقاطع، تداخل حرکت چپگرد از مسیر فرعی (۳۲) با حرکت مستقیم از مسیر اصلی (۲-۴۲) است که دلیل این تداخلات بحرانی نیز زاویه دید و جهت نگاه راننده می‌باشد.

- در این تقاطع بیشترین نرخ جریان را حرکت مستقیم (۴۲) دارد که به دلیل همین نرخ جریان بالا تعداد تداخلات بحرانی با سایر حرکات هم بیشتر می‌شود که این موضوع تا حدودی با تقسیم تعداد تداخلات بر نرخ جریان حل شده است اما آنطور که از نتایج پیداست نرخ جریان با تعداد تداخلات بحرانی رابطه خطی ندارد و به طور مثال با دو برابر شدن نرخ جریان، تعداد تداخلات بحرانی بیش از دو برابر افزایش می‌یابد. که این موضوع باعث بحرانی شدن ناحیه‌هایی که حرکات با نرخ جریان بالا از آنجا عبور می‌کنند، می‌شود.

از شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ نتایج زیر نیز حاصل می‌شود:

- بیشترین ریسک خطر (۴۰۲/۹۵) در ناحیه ورود مسیر فرعی به مسیر اصلی است که دلیل آن می‌تواند همپوشانی تداخل چند حرکت مختلف در آن ناحیه باشد.
- بیشترین تاثیر در افزایش ریسک خطر در ناحیه ورود مسیر فرعی به مسیر اصلی، تداخل حرکت راستگرد (۱۲) با حرکت مستقیم (۱-۴۲) است که یکی از دلایل آن می‌تواند راستای دید راننده در حرکت راستگرد باشد، با توجه به اینکه راستای دید راننده در هنگام گردش بیشتر به جهت داخل مسیر گردش جهت تنظیم شعاع گردش است لذا دید بسیار ضعیفی به وسیله نقلیه‌ای که از چپ به آن نزدیک می‌شود، دارد و دلیل دیگر زاویه دید است که در حرکت راستگرد به دلیل حرکت مایل زاویه حدود ۴۵ درجه می‌شود.
- در تداخل حرکت مستقیم با حرکت راستگرد بنا به دلایل پیش گفته، راننده وسیله‌ای که حرکت مستقیم انجام می‌دهد باید تداخل را کنترل کند اما در اینجا به دلیل اینکه حرکت مستقیم در مسیر اصلی است، دارای حق تقدم می‌باشد

Journal of the Transportation Research Board, 2083, 96-104.

3- DAVIS, G. A., HOURDOS, J., XIONG, H. & CHATTERJEE, I. 2011. Outline for a causal model of traffic conflicts and crashes. *Accid Anal Prev*, 43, 1907-19.

4- Lu, G., Liu, M., Wang, Y., and Yu, G. (2012), "Quantifying the Severity of Traffic Conflict by Assuming Moving Elements as Rectangles at Intersection," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 255-264.

5- Hyden, C., A traffic conflicts technique for determining risk. Phd thesis, Lund Institute of technology 1977.

6- Hyden, C., The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish traffic conflicts technique Bulletin 70. Development of traffic planning and engineering Lund University, Sweden, 1987.

7- Guido, G., Saccomanno, F., Vitale, A., Astarita, V. & Festa, D. (2011). Comparing Safety Performance Measures Obtained from Video Capture Data. *Journal of Transportation Engineering*, 137, 481-491.

8- Boroujerdian, A., Karimi, A., & Seyedabrishami, S. (2013). Identification of hazardous situations using kernel density estimation method based on time to collision, Case study: left-turn on unsignalized intersection. *International Journal of Transportation Engineering (IJTE)*.

9- Ardekani, S., Hauer, E., Jamei, B., Traffic Impact Models, in N.Gartner, C.J. Messner, and Rathi, A.K. (Eds.) *Traffic Flow Theory*, Transportation Research Board Special Report, 2001.

10- Van der Horst, R., Hogema, J., Time to Collision and Collision Avoidance Systems. Tno Institute for Human Factors, 1999.

11- Allen, B., Shin, B., and Cooper, D. (1978), "Analysis of traffic conflicts and collision," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 667, 67-74.

12- Zheng, P., McDonald, M., Manual vs. adaptive cruise control-Can drivers expectation be matched, *Transportation Research Part C*, 13, 421-431, 2006.

13- Hydén, C. (1987), "The development of a method for traffic safety evaluation: the Swedish traffic conflicts technique," *Doctoral thesis*.

14- Vogel, K., A Comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident Analysis & prevention*. 35, 427-433, 2003.

15- Sayed, T. and Zein, S. (1999), "Traffic conflict standards for intersections," *Transportation Planning and Technology*, 22, 309-323.

16- Jin, S., Huang, Z.-y., Tao, P.-f., and Wang, D.-h. (2011a), "Car-following theory of steady-state traffic flow using time-to-collision," *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 12, 645-654.

17- Sayed, T. & Zein, S. (1999). Traffic conflict standards for intersections. *Transportation Planning and Technology*, 22, 309-323.

- در میانه تقاطع هم یک ناحیه پرخطر مشاهده می شود که محل برخورد حرکات چپگرد با یکدیگر است.

۷- نتیجه گیری

این مقاله روشی برای تشخیص نواحی خطر و ریسک خطر حرکات مختلف ترافیکی ارائه می کند. با توجه به اینکه اولین گام در بهبود وضعیت ایمنی، تشخیص وضعیت های بحرانی است، این روش به عنوان ابزاری ارزشمند می تواند کمک شایانی به مهندسین ایمنی ترافیک بکند. از سوی دیگر، در صورت وجود سیستم های پردازشی تصویر با سرعت پردازش زیاد، این روش می تواند به عنوان سیستم های نظارت ایمنی ترافیک نیز بکار گرفته شود. در مطالعه موردی، با توجه به نتایج حاصل با کنترل و جریان بندی حرکات راستگرد از مسیر فرعی می توان تا مقدار زیادی سطح ایمنی تقاطع را بالا برد. همچنین با کنترل حرکات چپگرد از مسیر فرعی هم می توان ایمنی تقاطع را بهبود داد.

برای بهبود ایمنی تقاطع راهکارهای زیر پیشنهاد می شود که برای فهمیدن کارا بودن این راهکارها باید این پیشنهادات اجرا شوند و بعد از اجرا دوباره تحلیل صورت گیرد و نتایج بررسی شود.

راه کارهای افزایش ایمنی تقاطع:

با توجه به اینکه بحرانی ترین ناحیه در محل برخورد حرکت راستگرد از مسیر فرعی با حرکت مستقیم از مسیر اصلی بوجود آمده است یکی از راهکارها برای افزایش ایمنی تقاطع می تواند جدا کردن دو حرکت با استفاده از جزیره یا استفاده از خط کمکی برای اضافه شدن راحت تر حرکت راستگرد باشد. یکی دیگر از راهکارها می تواند محدود کردن حرکات چپگرد از مسیر فرعی باشد.

۸- منابع

1- Sayed, T., Ismail, K., Zaki, M., and Autey, J. (2012), "Feasibility of Computer Vision- Based Safety Evaluations," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2280, 18-27.

2- Sayed, T. and Saunier, N. (2008), "Probabilistic Framework for Automated Analysis of Exposure to Road Collisions," *Transportation Research Record:*

Traffic movements risk evaluation on the physical area at unsignalized intersection using TTC indicator

A. M. Boroujerdian^{1*}, S. Abbasi², A. Karimi³

1- Assistant professor, Civil and Environmental Engineering Departments, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2,3- MSc student, Civil and Environmental Engineering Departments, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Boroujerdian@Modares.ac.ir

Abstract

Safety is an area of increased attention within transportation engineering. The development of cities caused increasing of vehicles and accidents. The accident statistics show that the intersection points are one of the most eventful that occur 50 percent of all accident and 25 percent of human casualties.

The first step in improving traffic safety is identifying hazardous situations. Based on traffic accidents' data, identifying hazardous situations in roads and network is possible. However, in small areas such as intersections, especially in maneuvers resolution, identifying hazardous situations is impossible using accident's data. Due to shortcomings of traffic accident data, using surrogate measures such as traffic safety indicators have been taken into consideration. Therefore, in this study was used the traffic conflict. According to different problems of traditional traffic safety evaluation, the using of necessary methods is needed. In recent years, using of traffic conflict indicator has increased. Time-to-Collision (TTC) is one of the first and most widely used time-based indicators. For using of these indicators the users' speed, moving direction is needed. For high attention in safety evaluations and considering the type of the vehicle, two dimensional modeling of vehicle is presented. The critical interactions density index was based on the TTC indicator and traffic volume. The hazardous situations were identified three-dimensional by using ARC GIS software in the physical area of the intersection. By using this method, there is possible to identify hazardous situations based on critical traffic conflict. By using information obtained, determined how to improve intersection safety. Four-leg unsignalized intersection located at the crossroad of Vessaleshirazi-Bozorgmehr in Tehran has been selected as study location. By video analyzing, data was recorded and hazardous situations were determined by using the method proposed in this paper. The evaluation results show that at the entrance minor path to major path the hazardous situations has been located because of conflict of the right movement minor path with the direct movement of the major path and the left movement minor path with the direct movement major path. The risk of right movement of minor path, conflict to direct movement of the major path is 245.1 that about 8 times the average risk of all movements and , the risk of similar conflict on the other side of the intersection is 89. These conflict are the main reason for the increasing of the intersection risk.

Keywords: Traffic Safety, Traffic conflict, Accident Time Index, Risk, Hazardous Situations.