فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۱، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۸۹-۷۹

تخمین تعداد تصادفات در تقاطع‌های بدون چراغ شهری با استفاده از شاخص‌های تداخل ترافیک و نظریه مقدار حدی

محمدامین شکوهی‌کیا (مسئول مکاتبات)، کارشناس ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

E-mail: amin.shokouhikia21@sharif.edu

حبیب‌الله نصیری، دانشیار گروه حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

حامد میرزا اردستانی، کارشناس ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

چکیده

نگرانی‌های جدی در حوزه ایمنی راه با بیش از ۱٫۳۵ میلیون فوتی و ۵۰ میلیون جرحی به‌طور سالانه در جهان که ۹۰ درصد آمار مرگ‌ومیر به کشورهای درحال‌توسعه ازجمله ایران اختصاص می‌یابد، مطالعات در این حوزه را حائز اهمیت می‌سازد. محدودیت داده‌های تصادف نظیر حجم نمونه محدود، ناهمگونی پیش‌بینی‌نشده، نامشخص بودن مکانیسم دقیق تصادف و نادر بودن وقوع تصادفات، باعث افزایش مطالعه در حوزه روش‌های پیشگیرانه نظیر تداخل‌های ترافیکی در سال‌های اخیر شده است. همچنین کاربرد شاخص‌های تداخل ترافیک در ارزیابی ایمنی در تقاطع‌های بدون چراغ به علت ماهیت تداخل‌ها و تعداد نقاط تداخلی حائز اهمیت است. از سوی دیگر، کاربرد نظریه مقدار حدی و رویکرد فراتر از آستانه جهت تخمین تعداد تصادفات با استفاده از شاخص‌های تداخل ترافیک از حوزه‌های مستعد مطالعات عمیق‌تر بخصوص در کشور ایران است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی ایمنی و تخمین تعداد تصادفات در تقاطع‌های بدون چراغ درون‌شهری با بهره‌گیری از شاخص‌های تداخل ترافیک است. در این مطالعه فیلم‌برداری از محل تقاطع شناسایی‌شده در شهر تبریز انجام شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار T-Analyst ویدئو تقاطع پردازش شده و متغیرهای گوناگون نظیر شاخص‌های تداخل ترافیکی مرتبط با نزدیکی زمانی به برخورد و خصوصیات حرکتی برای ٤٠٤ تداخل شناسایی شدند. جهت تخمین تعداد تصادفات از رویکرد فراتر از آستانه نظریه مقدار حدی استفاده شد. نتایج بیانگر دقت مناسب رویکرد فراتر از آستانه در تخمین تعداد تصادفات تقاطع‌های بدون چراغ شهری است. همچنین به ترتیب شاخص‌های PET، T_2 و نهایتاً TTC بیش‌ترین دقت پیش‌بینی را نشان دادند. درنهایت، راهکارهای ایمنی موردنظر جهت کاهش احتمال وقوع تصادفات ارائه شدند.

واژه‌های کلیدی: ایمنی در ترافیک، تقاطع‌های بدون چراغ، تداخل ترافیک، نظریه مقدار حدی، رویکرد فراتر از آستانه

۱. مقدمه و ادبیات پژوهش

با وجود پیشرفت‌های به‌دست‌آمده در حوزه ایمنی راه همچنان سالانه بیش از ۱٫۳۵ میلیون فوتی و ۵۰ میلیون جرحی در جهان اتفاق می‌افتد که ۹۰ درصد آمار مرگ‌ومیر به کشورهای درحال‌توسعه ازجمله ایران اختصاص می‌یابد. باوجوداینکه بیشتر تحقیقات در حال انجام در حوزه ایمنی راه با تحلیل آماری داده تصادفات انجام می‌شود، این داده‌ها با محدودیت‌هایی مواجه‌اند. ازجمله این محدودیت‌ها می‌توان به حجم نمونه محدود، ناهمگونی پیش‌بینی‌نشده، نامشخص بودن مکانیسم وقوع تصادف، نادر بودن وقوع تصادفات و نیاز به وقوع و انباشت تلفات جهت بررسی ایمنی اشاره کرد. این محدودیت‌ها باعث رواج استفاده از روش‌های پیشگیرانه نظیر تداخل ترافیک شده است. از سوی دیگر با عنایت به تغییر محیط ترافیک و حضور خودروهای خودران، با مطالعه در حوزه تداخل ترافیک می‌توان بسیاری از محدودیت‌ها را برطرف نمود و قبل از وقوع حوادث مسیرها را از منظر ایمنی ارزیابی نموده و راهکارهای متناسب جهت کاهش تلفات را اعمال نمود. بر اساس تعریف هایدن در سال ۱۹۸۷، تداخل به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن دو یا چند کاربر جاده، به‌گونه‌ای ازنظر زمانی و مکانی به یکدیگر نزدیک می‌شوند که اگر مسیر حرکت خود را تغییر ندهند، احتمال وقوع برخورد وجود دارد. همچنین مطالعات تداخل در حوزه تقاطع‌های بدون چراغ شهری بااینکه شاهد مانورهای خطرناکی است ولی نسبت به تقاطع‌های چراغ‌دار کمتر انجام شده است و شایان توجه بیش‌تر است.

تعدادی از شاخص‌های تداخل که در مطالعه حاضر استفاده شده‌اند شامل TTC[۱]، PET[۲]، T_2 و Δv هستند. TTC شاخصی است که زمان باقی‌مانده تا برخورد را درصورتی‌که کاربران جاده‌ای درگیر با سرعت و مسیرهای خود ادامه دهند نشان می‌دهد. همچنین PET اختلاف‌زمانی بین عبور کاربر اول از محل برخورد احتمالی و رسیدن کاربر دوم به آن نقطه است و T_2 نیز زمان رسیدن کاربر دوم به محل برخورد را نشان می‌دهد. شاخص Δv اندازه‌گیری شدت یک برخورد ترافیکی است که به‌عنوان تغییر در سرعت بین مسیرهای قبل از برخورد و پس از برخورد یک وسیله نقلیه تعریف می‌شود. مقدار Δv_0 با فرض اینکه وسایل نقلیه با سرعت ثابت به سمت برخورد حرکت می‌کنند، محاسبه می‌شود و درواقع شانس انجام عکس‌العمل و ترمز را قبل از برخورد در نظر نمی‌گیرد که می تواند باعث کاهش شدت تصادف احتمالی شود. جهت رفع این محدودیت شاخص‌های Δv_4، Δv_6 و Δv_8 که به ترتیب ترمز با شتاب‌های $4\ m/s^2$ و $6\ m/s^2$ و $8\ m/s^2$ را در نظر می‌گیرند نیز به تحلیل اضافه شدند.

بررسی وجود ارتباط قوی بین تداخل‌ها و تصادفات شایان توجه بیش‌تر خصوصاً در ایران است. بدین مفهوم که آیا می‌توان با استفاده از شاخص‌های تداخل تعداد تصادفات رخ‌داده را با دقت مناسبی تخمین زد؟ یکی از مدل‌هایی که برای تخمین تصادفات موردتوجه است، مدل‌های بر اساس نظریه مقدار حدی[۳] است که مقادیر بیشینه و کمینه متغیرهای تصادفی را می‌توان از آن استخراج نمود. در حقیقت این نظریه دم‌های تابع توزیع یعنی حوادث با شدت بالا و رخداد پایین را تحلیل می‌کند. در مطالعه تارک و همکاران در سال ۲۰۲۱ فراوانی تداخل‌ها برای سطوح شدت مختلف با استفاده از مدل‌های دومتغیره مقدار حدی تخمین زده شد که نتایج دقت بالای رویکرد فراتر از آستانه[۴] در تخمین تعداد تصادفات را نشان دادند. در مطالعه فرح و همکاران در سال ۲۰۱۶، برای مانورهای سبقت و تداخل رخ‌به‌رخ مدل‌های مقدار حدی از هر دو رویکرد بیشینه بلوک‌ها[۵] و فراتر از آستانه استفاده شد که رویکرد فراتر از آستانه جهت تخمین تعداد تصادفات حساسیت بیش‌تری به متغیرهای کمکی موردنظر نشان داد. همچنین در پژوهش آرون و همکاران در سال ۲۰۲۱، شاخص‌های مختلف تداخل جهت دست یافتن به بهترین دقت در پیش‌بینی در قالب مدل‌های تک متغیره و چندمتغیره مقدار حدی استفاده شدند.

نتایج نشان دادند که بهبود عملکرد پیش‌بینی لزوماً متناسب با تعداد شاخص‌های تداخل استفاده‌شده در مدل‌های مقادیر حدی نیست. همچنین در مطالعه گویانی و همکاران در سال ۲۰۲۰، از شاخص PET برای تخمین تعداد تصادفات با استفاده از تئوری مقدار حدی در ۴ تقاطع بدون چراغ کشور هند استفاده شد. نتایج پس از مقایسه با آمار پلیس، دقت مناسب این شاخص در تخمین تعداد تصادفات را نشان دادند.

هدف از این تحقیق، (۱) ارزیابی ایمنی و تخمین تعداد تصادفات در تقاطع‌های بدون چراغ درون‌شهری با بهره‌گیری از شاخص‌های تداخل ترافیک و نظریه مقدار حدی، (۲) مقایسه دقت شاخص‌های تداخل ترافیک مختلف و متعاقباً (۳) ارائه راهکارهای ایمنی است.

۲. روش پژوهش

در این پژوهش، ابتدا پس از تحقیقات میدانی تقاطع بدون چراغ خیابان فتح–خیابان نور در شهرک شهید یاغچیان شهر تبریز شناسایی شد و عملیات فیلم‌برداری از آن شروع گردید. پس از کالیبره کردن فیلم‌های این تقاطع با تصویر نقشه‌های هوایی در نرم‌افزار T-Calibration، فیلم‌ها جهت شناسایی انواع تداخل‌ها و شاخص‌های ایمنی وارد نرم‌افزار T-Analyst شدند. در مرحله بعد برخی تحلیل‌های کیفی از شاخص‌ها ارائه شدند. درنهایت با استفاده از مدل‌های مقدار حدی، تعداد تصادفات رخ‌داده در تقاطع موردنظر تخمین زده شد تا با مقایسه با آمار سازمان پلیس راهور، بهترین شاخص‌ها جهت پیش‌بینی تعداد تصادفات معرفی شوند. بدین منظور این بخش به ۳ زیر بخش شامل (۱) داده‌برداری، (۲) کار با نرم‌افزار (شامل نحوه کالیبره کردن و شناسایی تداخل‌ها) و (۳) تئوری مقدار حدی تقسیم می‌شود.

۲-۱ جمع‌آوری داده

جهت انجام مطالعه حاضر نیاز به فیلم‌برداری تقاطع بدون چراغ نیازمند انجام اقدامات ایمنی بود. فیلم‌برداری در روز وسط هفته، عادی از منظر ترافیکی و شامل ساعات اوج و غیر اوج انجام گرفت. مشخصه دیگر فیلم‌برداری انجام آن در هوای معتدل بدون وزش باد بود. داده‌برداری از ارتفاع و زاویه مناسب انجام شد تا علاوه بر تقاطع، مبادی ورودی و خروجی را نیز در بر بگیرد. همچنین وجود حجم ترافیک کافی در تقاطع موردمطالعه لحاظ گردید. بدین ترتیب فیلم‌برداری تقاطع خیابان نور–خیابان فتح در شهرک شهید یاغچیان تبریز انجام شد. این تقاطع یک چهارراه با طرح هندسی نامتقارن است. تعداد باند در جهت شمال به جنوب و بالعکس ۳ باند برای قسمت شمالی تقاطع و۲ باند برای قسمت جنوبی است. همچنین تعداد باند در جهت غرب به شرق و بالعکس ۳ باند در هر جهت است. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به فیلم‌برداری قابل‌مشاهده است.

جدول ۱. مشخصات و جزییات شرایط داده‌برداری

نام تقاطع	نوع تقاطع	روز داده‌برداری	ساعت داده‌برداری	ارتفاع فیلم‌برداری
بلوارفتح–بلوار نور	چهارراه	۱۴۰۳/۰۲/۲۶	۱۴:۴۵–۱۲:۴۵	۱۷ متر

در مرحله بعد، پس از استقرار پایه دوربین به ارتفاع ۱۰۵ سانتی‌متر در پشت‌بام مشرف به تقاطع، زاویه دوربین طوری تنظیم و ثابت شد تا بیش‌ترین سطح از محدوده تقاطع را پوشش دهد. سپس فیلم‌برداری با کیفیت Ultra HD انجام گرفت. لازم به ذکر است، با توجه به استعلام انجام‌گرفته از گزارشات سازمان کنترل ترافیک کلان‌شهر تبریز و پرسش‌های محلی فیلم‌برداری در ساعات اوج و غیر اوج انجام شد. در شکل ۱ تصاویر دوربین و نقشه هوایی قابل مشاهده است. ناحیه زردرنگ در سمت چپ شکل محل نصب دوربین فیلم‌برداری را نشان می‌دهد.

شکل ۱. تصاویر دوربین و نقشه هوایی تقاطع نور- فتح شهرک شهید یاغچیان

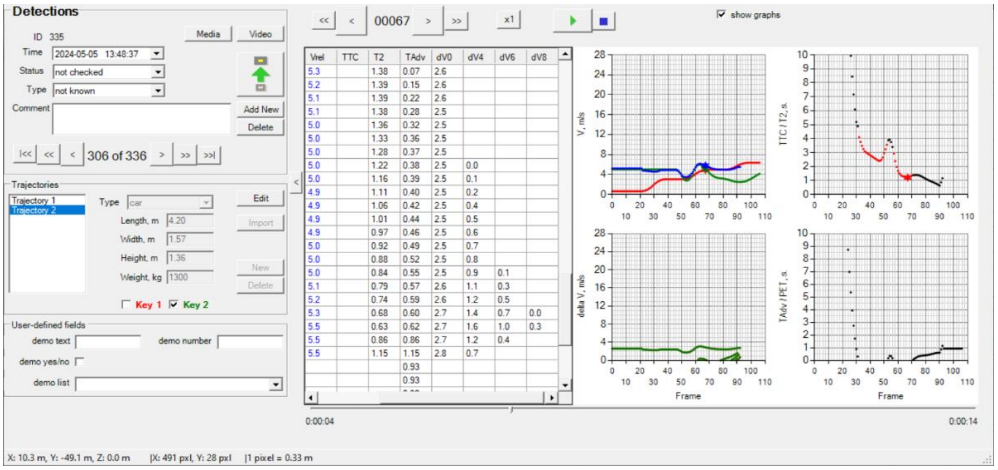
۲-۲ نحوه کالیبره کردن تصاویر

پس از فیلم‌برداری در این مرحله جهت انجام کالیبراسیون نیاز به تعیین نقاطی روی تصاویر دوربین و انطباق آن‌ها با نقاط متناظرشان روی نقشه هوایی بود. مراحل کالیبراسیون را می‌توان به ۳ بخش شامل، ۱) اضافه کردن تصویر دوربین و نقشه هوایی، ۲) تعیین مقیاس و محور مختصات ۳) تطبیق نقاط نقشه هوایی با تصاویر دوربین و گرفتن خروجی، تقسیم‌بندی کرد. در بخش اول تصویر تقاطع موردنظر در نرم‌افزار Google Earth شناسایی‌شده و به همراه تصویر دوربین در نرم‌افزار T-Calibration بارگذاری شد. در مرحله دوم محور مختصات و مقیاس مشخص شدند و نهایتاً تصویر تعدادی از نقاط مانند جداول و خط‌کشی‌ها در دوربین با نقاط متناظر نقشه هوایی مطابقت داده شد. سپس از فایل‌های کالیبره شده خروجی گرفته شد.

۲-۳ نحوه شناسایی تداخل‌ها و گرفتن خروجی

در این مرحله پس از واردکردن داده‌های کالیبره شده، فیلم به نمایش گذاشته شد و در موقعیت‌هایی که مطابق تعاریف تداخل به‌عنوان تداخل شناخته می‌شوند، فیلم نگه‌داشته شده، المان‌های دو وسیله نقلیه درگیر تعریف شدند (شکل ۲). در این قسمت می‌توان برحسب نوع وسایل نقلیه طول، عرض، ارتفاع ونیز جرم آن‌ها را تعیین کرد. نهایتاً مطابق شکل ۳ از تداخل شناسایی‌شده خروجی شاخص‌ها به‌صورت ۱۵ فریم در هر ثانیه گرفته شد.

شکل ۲. المان‌های تعریف‌شده وسایل نقلیه درگیر در تداخل



شکل ۳. جزییات خروجی شاخص‌ها به‌صورت فریم به فریم و نمودارهای مربوطه

۲-۴ تئوری مدل‌سازی مقدار حدی (EVT)

نظریه مقدار حدی برای مدل‌سازی خطر و فراوانی تصادف پیشنهاد شده است. ویژگی متمایز تحلیل مقدار حدی، توانایی آن در مدل‌سازی رفتار تصادفی یک پدیده‌ای که در طبیعت به‌طور غیرمعمولی بزرگ یا کوچک است، است. این رفتار حدی در یک دوره معقول جمع‌آوری داده، غالباً بسیار نادر و غیرقابل مشاهده است. مدل مقدار حدی اغلب شامل چالش برآورد احتمال رویدادهای شدید در یک دوره زمانی طولانی با داده‌های تاریخی بسیار کوتاه و محدود است. توزیع مقادیر بیشینه یا کمینه یک متغیر تصادفی با استفاده از دو رویکرد ۱- بیشینه بلوک‌ها و ۲- فراتر از آستانه مشخص می‌شود که در مطالعه حاضر به دلیل دقت بالاتر از روش فراتر از آستانه بهره‌گرفته شده است.

۲-۴-۱ روش فراتر از آستانه (POT)

در روش فراتر از آستانه از توزیع پرتو تعمیم‌یافته[۶] برای داده‌هایی که از یک آستانه u فراتر رفته‌اند، استفاده می‌شود. اگر x متغیر تصادفی موردنظر باشد، با جاگذاری y=x-u توزیع مقادیر فراتر از آستانه به‌صورت فرمول ۱ و ۲ انجام می‌شود:

$$H(y) = 1 - \left[1 + \xi \frac{y}{\sigma}\right]^{\frac{-1}{\xi}} \quad (۱)$$

$$\xi \neq 0$$

$$H(y) = 1 - exp(-\frac{y}{\sigma}) \quad (۲)$$

$$\xi = 0$$

که در آن:

ξ: پارامتر شکل که رفتار دم تابع توزیع را مشخص می‌کند.

σ: پارامتر مقیاس که میزان پراکندگی داده‌های حدی را نشان می‌دهد.

u : مقدار آستانه که داده‌های فراتر از آن در مدل قرار می‌گیرند.

۲-۴-۲ بهره‌گیری از نظریه مقدار حدی و روش فراتر از آستانه در تخمین تعداد تصادفات

در مطالعات ایمنی ترافیک از نظریه مقدار حدی برای تخمین تعداد تصادفات که نسبت به تداخلات در یک دوره زمانی کوتاه بسیار کم‌تر قابل‌مشاهده هستند، استفاده می‌شود. بدین‌صورت که منفی شدن شاخص‌های تداخلی مانند TTC به معنی بروز تصادف است. پس احتمال بروز تصادف را می‌توان از ناحیه دمی توزیع مقدار حدی به دست آورد. چون در این مدل‌سازی از شاخص‌های منفی‌سازی شده استفاده شده است، احتمال وقوع تصادف طبق فرمول ۳ محاسبه می‌شود.

$$CR = Pr(K \geq 0) = 1 - H(0) \quad (۳)$$

در اینجا منظور از CR[۷] احتمال وقوع تصادف، K حداکثر مقادیر Negated TTC یا دیگر شاخص‌های تداخل ترافیک و H(0) توزیع مقدار حدی است. پس تعداد تصادفات برای بازه زمانی طولانیT بر پایه زمان مشاهده t است. تعداد تصادفات تخمینی را برای بازه زمانی یک‌ساله تعریف می‌کنیم

پس اگر t را برحسب ساعت جایگذاری کنیم، فرمول۴ به دست می‌آید.

$$N(T) = CR \times \frac{365 \times 24}{t} \quad (۴)$$

۳. تحلیل داده‌ها

پس از تحلیل ۹۰ دقیقه از تصاویر ضبط‌شده تقاطع، اطلاعات مربوط به ۴۰۴ تداخل از انواع مختلف آن شناسایی شدند. این اطلاعات شامل شاخص‌های TTC، PET، T_{2min} برحسب ثانیه و ΔV_0، ΔV_4، سرعت نسبی و سرعت خودرو سریع‌تر در تداخل برحسب متر بر ثانیه است. در جدول ۲ اطلاعات مربوط به آمار توصیفی شاخص‌ها نمایش داده‌شده است.

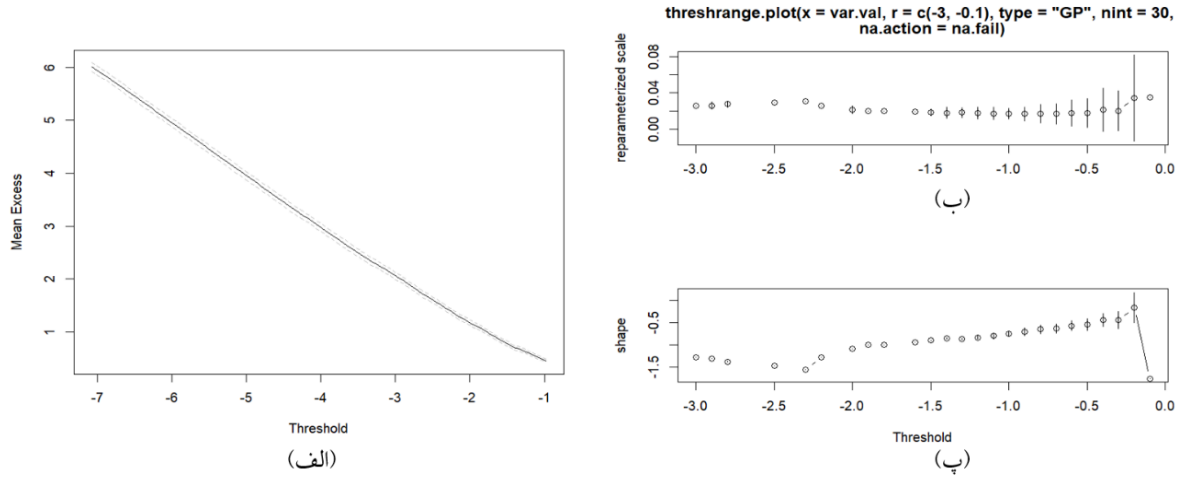
جدول ۲. آمار توصیفی شاخص‌ها

داده	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه	انحراف معیار
TTC	۰,۱	۱,۳۴	۱,۷۵	۲,۰۳	۲,۴۲	۱۳,۷۸	۱,۲۱
PET	۰	۰,۴۵	۰,۷۸	۰,۹۶	۱,۱۸	۶,۲۵	۰,۸۳
T_{2min}	۰	۰,۴۶	۰,۸۲	۱,۰۷	۱,۳۷	۷,۰۷	۰,۹
V_{max}	۱,۱	۳,۳	۴,۸۵	۵,۱۱	۶,۳	۱۲,۷	۲,۲۹
V_{rel}	۱,۴	۴,۱	۵,۸	۶,۲۴	۷,۸۳	۱۶	۲,۹۴
ΔV_0	۰,۷	۲,۱	۳	۳,۴۲	۴,۴	۱۰,۸	۱,۷۷
ΔV_4	۰	۰,۸	۱,۸	۱,۹۹	۲,۸	۸,۹	۱,۴۲
ΔV_6	۰	۰,۸	۱,۶	۱,۷۱	۲,۳	۸,۳	۱,۲۵
ΔV_8	۰	۰,۶	۱,۲	۱,۴۵	۲,۱	۷,۷	۱,۱۶

در ادامه نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی مقدار حدی جهت تعیین آستانه هر یک از شاخص‌ها ارائه می‌شود. جهت این کار از نرم‌افزار R و پکیج In2extRemes استفاده شده است.

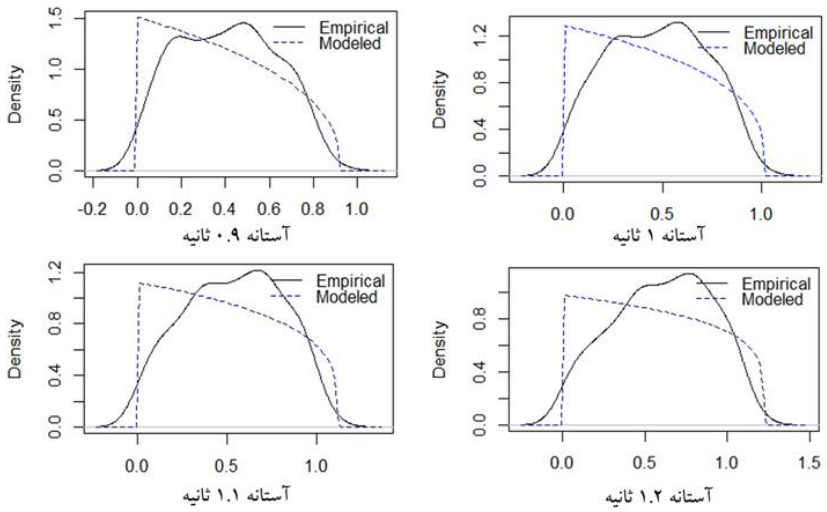
جهت شناسایی آستانه هرکدام از ۳ شاخص TTC، PET و T_{2min} باید در گام نخست، توابع میانگین عمر باقی‌مانده[۸]، شکل و پارامتر مقیاس اصلاح‌شده[۹] بررسی شوند تا بازه موردنظر آستانه مشخص شود. بدین منظور باید دید که نمودار میانگین عمر باقی‌مانده تا کدام بازه خطی است و برای مقادیر کم‌تر از آن آستانه‌ها را بررسی نمود. همچنین از نمودار پارامتر شکل نیز نقاطی که از آن‌ها با احتساب حاشیه خطاها بتوان تا کمترین مقادیر آستانه خط مستقیم کشید را می‌توان به‌عنوان آستانه مطرح کرد. پس از تعیین حدود بازه آستانه توزیع پرتو تعمیم‌یافته (GPD) برازش داده می‌شود. پس از ساخت توابع توزیع پرتو برای آستانه‌های مختلف، هر یک از آستانه‌ها که شاخص معیار اطلاعات آکایک[۱۰] ونیز شاخص معیار اطلاعات بیزین آن مقدار کمتری داشته باشد به‌عنوان آستانه برگزیده انتخاب می‌شود. در ادامه نیز با استفاده از پارامترهای شکل و مقیاس، احتمال تصادف در بازه مشاهده تداخلات محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب پس از تخمین تعداد تصادفات سالانه در تقاطع موردنظر، آمار تخمین زده‌شده با آمار تصادف ۵ ساله استعلام‌شده از سازمان پلیس راهور استان آذربایجان شرقی مقایسه شد.

به‌عنوان نمونه برای شاخص T_2 منحنی میانگین عمر باقی‌مانده از مقادیر منفی‌تر تا حدود ۱,۵- خطی دیده می‌شود و همچنین پایداری نمودارهای پارامتر شکل و مقیاس در بازه ۰,۹ تا ۱,۲ ثانیه مشاهده می‌شود (شکل ۴).



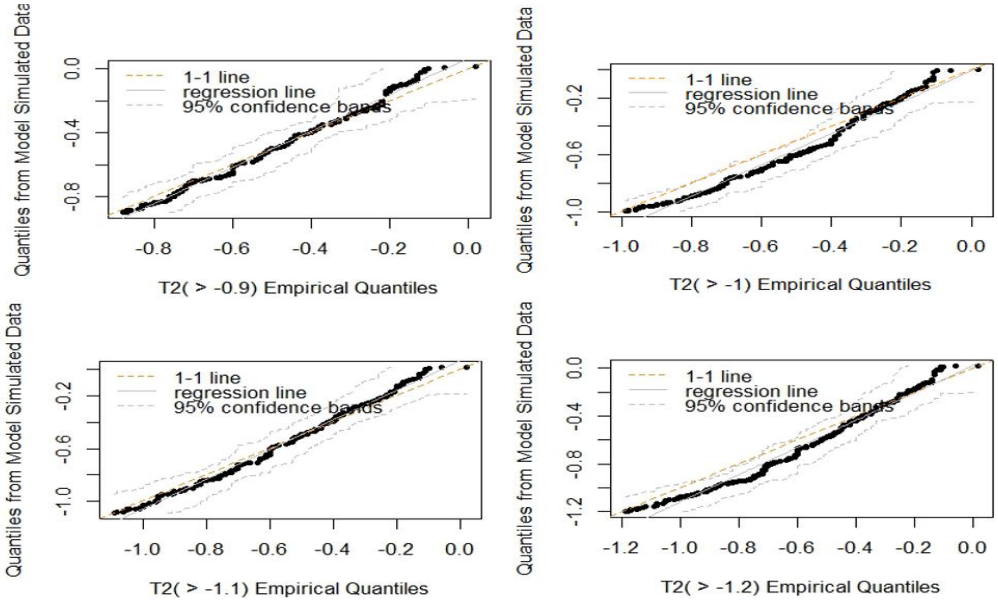
شکل ۴. (الف) منحنی میانگین عمر باقی‌مانده، (ب) نمودار مقیاس اصلاح‌شده و (پ) نمودار پارامتر شکل شاخص T2

درشکل ۵ تابع چگالی احتمال برای مدل توزیع پرتو ساخته‌شده و توزیع نمونه‌های واقعی در آستانه‌های مختلف برای شاخص T_2 قابل‌مشاهده و مقایسه است. خطوط نقطه‌چین توزیع GPD ساخته‌شده را نشان می‌دهند و تابع با خط ممتد توزیع نمونه‌های واقعی است.



شکل ۵. نمودار تابع چگالی احتمال شاخص T2 با آستانه‌های مختلف

درشکل ۶ هم نمودار شبیه‌سازی‌شده QQ[11] برای آستانه‌های مختلف شاخصT_2 رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمودار دارای روند خطی پایداری است که این نشانگر شبیه‌سازی مناسب داده‌های واقعی توسط توزیع GPD است.



شکل ۶. نمودار شبیه‌سازی‌شده QQ برای آستانه‌های مختلف شاخص T2

در جدول ۳ نتایج پارامترهای تخمین زده‌شده در هرکدام از آستانه‌ها ارائه‌شده است. همان‌طور که قابل‌مشاهده است، برای شاخص‌های PET و T_2 در آستانه ۱ ثانیه معیارهای AIC و BIC کمترین مقدار را دارند و بهترین آستانه را ارائه می‌دهند. این مقدار مناسب آستانه برای شاخص TTC حدود ۱٫۵ ثانیه است.

جدول ۳. نتایج پارامترهای مدل برای شاخص‌های مختلف

آستانه	پارامتر شکل (خطای استاندارد)	پارامتر مقیاس (خطای استاندارد)	معیار اطلاعات آکایک	معیار اطلاعات بیزین
شاخص PET				
۱٫۱	-۰٫۷۹(۰٫۰۳)	۰٫۸۹(۰٫۰۳)	۵۴٫۷۹	۶۲٫۰۷
۱	-۰٫۷۴(۰٫۰۳۸)	۰٫۷۶(۰٫۰۳۹)	-۵٫۲۵	۱٫۹۰
۰٫۹	-۰٫۷۵(۰٫۰۱۷)	۰٫۶۹(۰٫۰۱)	-۴۹٫۶۲	-۴۲٫۷۶
۰٫۸	-۰٫۶۷(۰٫۰۵۱)	۰٫۵۶(۰٫۰۳۹)	-۱۰۶٫۰۴	-۹۹٫۳۲
شاخص T_2				
۱٫۲	-۰٫۸۳(۰٫۰۱۶)	۱٫۰۲(۰٫۰۲)	۹۹٫۸۷	۱۰۶٫۹۸
۱٫۱	-۰٫۷۹(۰٫۰۳)	۰٫۸۹(۰٫۰۳)	۴۸٫۴۵	۵۵٫۴۶
۱	-۰٫۷۵(۰٫۰۰۶)	۰٫۷۷(۰٫۰۰۷)	-۲٫۱۶	۴٫۶۹
۰٫۹	-۰٫۷۱(۰٫۰۴۴)	۰٫۶۵(۰٫۰۴)	-۵۰٫۶۴	-۴۳٫۹۵
شاخص TTC				
۱٫۵	-۰٫۱۶(۰٫۰۸)	۰٫۴۲(۰٫۰۵)	-۴٫۰۷	۱٫۵۱
۱٫۴	-۰٫۰۸(۰٫۱۰)	۰٫۳۵(۰٫۰۵)	-۲۰٫۲۱	-۱۵٫۰۳
۱٫۳	-۰٫۰۳(۰٫۱۳)	۰٫۳۲(۰٫۰۵)	-۲۳٫۰۰	-۱۸٫۳۴
۱٫۲	-۰٫۰۶(۰٫۱۶)	۰٫۳۳(۰٫۰۷)	-۱۴٫۰۵	-۱۰٫۰۸

۳-۱ نتایج مدل‌سازی تخمین تعداد تصادفات سالانه

پس از ساخت مدل‌های فراتر از آستانه مقدار حدی، تعداد تصادفات سالانه تخمین زده شد.

جزییات فرمول‌بندی در بخش۲-۴-۲ ارائه گردید. همچنین آمار تصادفات سالانه پیش‌بینی‌شده با آمار گزارش‌شده پلیس راهور مقایسه شد تا دقت شاخص‌های مختلف در تخمین تعداد تصادفات ارزیابی شود. طبق گزارشات آمار به‌دست‌آمده از پلیس راهور استان آذربایجان شرقی از بین تصادف‌های ثبت‌شده مجموع خسارتی، جرحی و فوتی در طی بازه ۵ ساله از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲، ۱۷۰ مورد مرتبط به محدوده تقاطع شهید یاغچیان می‌شوند که با میانگین‌گیری به عدد ۳۴ تصادف در سال منجر می‌شود. لازم به ذکر است بسیاری از تصادفات رخ‌داده خصوصاً تصادفات خسارتی در اطلاعات سازمان پلیس راهور ثبت و گزارش نمی‌شوند که می‌تواند در بررسی دقت پیش‌بینی‌ها مؤثر باشد.

بررسی عملکرد شاخص‌ها نشان می‌دهد که با لحاظ محدودیت‌ها، مدل‌ها دقت مناسبی در تخمین تعداد تصادفات سالانه نشان داده‌اند. همچنین به ترتیب شاخص‌های PET سپس T_2 و نهایتاً TTC دقت تخمین بالایی داشته‌اند. جزییات نتایج تخمین تعداد تصادفات در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج مدل‌سازی فراتر از آستانه مقدار حدی برای تخمین تعداد تصادفات سالانه

شاخص	آستانه	احتمال تصادف CR	تعداد تصادف سالانه تخمین زده‌شده	تعداد تصادف سالانه گزارش‌شده	خطای نسبی
TTC	۱,۵	۰,۰۰۴۹	۲۸,۶۴	۳۴	$\frac{\lvert ۳۴ - ۲۸.۶۴ \rvert}{۳۴} = ۰.۱۶$
	۱,۴	۰,۰۰۷۸	۴۶,۰۷		
	۱,۳	۰,۰۱۲۲	۷۱,۲۶		
	۱,۲	۰,۰۱۶۳	۹۵,۵۶		
PET	۱,۱	۰,۰۰۷	۴۱,۳۹	۳۴	$\frac{\lvert ۳۴ - ۳۵.۴۹ \rvert}{۳۴} = ۰.۰۴۳$
	۱	۰,۰۰۶۰۷	۳۵,۴۹		
	۰,۹	۰,۰۰۷۲۸	۴۲,۵۵		
	۰,۸	۰,۰۰۵۹	۳۴,۶۳		
T_2	۱,۲	۰,۰۰۷۹	۴۶,۴۴	۳۴	$\frac{\lvert ۳۴ - ۳۷.۸۷ \rvert}{۳۴} = ۰.۱۱$
	۱,۱	۰,۰۰۷۱	۴۱,۵۵		
	۱	۰,۰۰۶۵	۳۷,۸۷		
	۰,۹	۰,۰۰۵۹	۳۴,۴۰		

۳-۲ ارائه پیشنهادات در راستای ارتقای ایمنی تقاطع

با توجه به شدت تداخل‌های رخ‌داده در تقاطع‌های بدون چراغ ارائه راهکارهای ایمنی جهت کاهش تعداد و شدت تداخل‌ها و نتیجتاً کاهش تعداد و شدت تصادفات لازم است. تقاطع شهید یاغچیان با توجه به تعداد و شدت بالای انواع تداخل‌های رخ‌داده و طبعاً بروز تصادفات زیاد نیازمند اقدامات مدیریت ایمنی فوری است. از ویژگی‌های این تقاطع این است که ورودی جنوبی آن وسایل نقلیه خارج‌شده از رمپ کنارگذر جنوبی تبریز را به تقاطع می‌رساند که این امر سبب می‌شود حجم قابل‌توجهی از وسایل نقلیه با سرعت نسبتاً بالای کنارگذر به‌یک‌باره با تقاطع بدون چراغ روبرو شوند. همچنین از دیگر نکات قابل‌توجه این تقاطع طرح هندسی نامتقارن آن است

بدین‌صورت که ضلع ورودی جنوبی تقاطع که حجم بالایی نیز دارد با زاویه غیر از ۹۰ درجه نسبت به اضلاع دیگر به تقاطع می‌رسد که مکانیسم زاویه دید را در تقاطع با چالش روبرو می‌کند. در راستای کاهش شدت تداخل‌ها در این تقاطع که غالباً از نوع قطع کننده هستند، علاوه بر سیاست‌گذاری‌های بازدارنده نظیر ثبت مکانیزه تخلفات رانندگی و اعمال جریمه و نیز فرهنگ‌سازی، چندین راهکار دیگر پیشنهاد می‌شود.

۱- استفاده از تابلوهای خطر و ایست و نیز چراغ‌های چشمک‌زن

۲- خط‌کشی‌های تفکیک لاین‌ها و خطوط عابر پیاده واضح بر روی روسازی

۳- اصلاح طرح هندسی تقاطع

۴- کنترل دسترسی با اجرای جداکننده در وسط تقاطع و متعاقباً اجرای دو عدد دوربرگردان در بالادست و پایین‌دست تقاطع

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه با هدف ارزیابی ایمنی و تخمین تعداد تصادفات در تقاطع‌های بدون چراغ شهری با استفاده از شاخص‌های تداخل ترافیک از نظریه مقدار حدی بهره گرفته شد. در ادامه به ارائه نتایج حاصل از مدل مقدار حدی پرداخته می‌شود.

-آستانه مناسب برای شاخص‌های PET و T_2 حدود ۱ ثانیه و برای شاخص TTC، ۱٫۵ ثانیه به دست آمد.

-تعداد تصادفات سالانه تخمینی در تقاطع شهید یاغچیان با استفاده از شاخص‌های مختلف به شرح زیر است:

۱- با استفاده از شاخص PET، عدد ۳۵٫۴۹ به دست آمد.

۲- با استفاده از شاخص T_2، عدد ۳۷٫۸۷ به دست آمد.

۳- با استفاده از شاخص TTC، عدد ۲۸٫۶۴ به دست آمد.

در این مطالعه با توجه به نتایج پژوهش‌های پیشین که دقت بالاتری از رویکرد فراتر از آستانه را نسبت به بیشینه بلوک‌ها گواه می‌دهند، از این رویکرد برای تخمین تعداد تصادفات سالانه استفاده گردید. علیرغم محدودیت‌های موجود در حوزه داده‌های تصادفات (عدم ثبت بسیاری از تصادفات خصوصاً خسارتی در محدوده دقیق تقاطع‌ها)، این رویکرد دقت قابل قبولی در پیش‌بینی تعداد تصادفات در مقایسه با مطالعات مشابه با ابزارهای سنجش پیشرفته‌تر، از خود نشان داد. طبق نتایج مدل‌ها به ترتیب شاخص‌های PET سپس T_2 و نهایتاً TTC دقت بالایی در تخمین تعداد تصادفات داشتند. همچنین پیشنهادات جهت انجام اصلاحات ایمنی در تقاطع موردمطالعه نظیر تعبیه تابلو ایست و چراغ چشمک‌زن، اصلاح طرح هندسی، خط‌کشی خطوط و کنترل دسترسی جهت کاهش تعداد و شدت تصادفات ارائه گردید.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Time to collision
2. Post encroachment time
3. Extreme value theory
4. Peak over threshold
5. Block maxima
6. Generalized pareto distribution
7. Crash rate
8. Mean Residual Life
9. Shape and reparametrized scale
10. Akaike information criterion
11. Quantile-quantile

۶. مراجع

– “Global status report on road safety 2018. World Health Organization.” WHO, 2018.

– L. Zheng, T. Sayed, and F. Mannering, “Modeling traffic conflicts for use in road safety analysis: A review of analytic methods and future directions,” Analytic Methods in Accident Research, vol. 29, p. 100142, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.amar.2020.100142.

– A. Arun, M. M. Haque, A. Bhaskar, S. Washington, and T. Sayed, “A systematic mapping review of surrogate safety assessment using traffic conflict techniques,” Accident

– H. Farah and C. L. Azevedo, “Safety analysis of passing maneuvers using extreme value theory,” IATSS Research, vol. 41, no. 1, pp. 12–21, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.iatssr.2016.07.001.

– A. Arun, Md. M. Haque, S. Washington, T. Sayed, and F. Mannering, “How many are enough?: Investigating the effectiveness of multiple conflict indicators for crash frequency-by-severity estimation by automated traffic conflict analysis,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 138, p. 103653, May 2022, doi: 10.1016/j.trc.2022.103653.

– J. Goyani, A. B. Paul, N. Gore, S. Arkatkar, and G. Joshi, “Investigation of Crossing Conflicts by Vehicle Type at Unsignalized T-Intersections under Varying Roadway and Traffic Conditions in India,” J. Transp. Eng., Part A: Systems, vol. 147, no. 2, p. 05020011, Feb. 2021, doi: 10.1061/JTEPBS.0000479.

– P. Songchitruksa, Innovative non-crash-based safety estimation: An extreme value theory approach. 2004.

– L. Zheng and T. Sayed, “Application of Extreme Value Theory for Before-After Road Safety Analysis,” Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2673, no. 4, pp. 1001–1010, Apr. 2019, doi: 10.1177/0361198119841555.

Analysis & Prevention, vol. 153, p. 106016, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.aap.2021.106016.

– A. Laureshyn, “The Swedish traffic conflict technique. Observer’s manual, Lund.,” 2018.

– A. Arun, Md. M. Haque, S. Washington, T. Sayed, and F. Mannering, “A systematic review of traffic conflict-based safety measures with a focus on application context,” Analytic Methods in Accident Research, vol. 32, p. 100185, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.amar.2021.100185.

– C. Johnsson, A. Laureshyn, and T. De Ceunynck, “In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators,” Transport Reviews, vol. 38, no. 6, pp. 765–785, Nov. 2018, doi: 10.1080/01441647.2018.1442888.

– S. G. Shelby, “Shelby, S. G. (2011, September). Delta-V as a measure of traffic conflict severity. In 3rd International Conference on Road Safety and Simulati. September (pp. 14-16).,” In 3rd International Conference on Road Safety and Simulati, 2011.

– A. Laureshyn, T. De Ceunynck, C. Karlsson, Å. Svensson, and S. Daniels, “In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator,” Accident Analysis & Prevention, vol. 98, pp. 46–56, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.aap.2016.09.026.

– A. Arun, Md. M. Haque, A. Bhaskar, S. Washington, and T. Sayed, “A bivariate extreme value model for estimating crash frequency by severity using traffic conflicts,” Analytic Methods in Accident Research, vol. 32, p. 100180, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.amar.2021.100180.