بررسی عوامل مؤثر بر انواع شاخص‌های ایمنی جانشین در تداخلات بین عابر پیاده و خودرو

مقاله علمی – پژوهشی

رضا واسعی زاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
حسین حق شناس*، دانشیار، گروه برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
میثم اکبرزاده، دانشیار، گروه برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ho_hagh@iut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰
صفحه ۳۲۲-۳۰۷

چکیده

شاخص‌های ایمنی جانشین، امکان بررسی میزان خطرپذیری و نیز در معرض آسیب بودن عابران را فراهم می‌آورند. به‌کارگیری این شاخص‌ها مزیت‌هایی دارد: اول، عدم وابستگی به آمار تصادفات و برخی جزییات و خطاهای آن و دوم، امکان بررسی تعاملات خطرآفرینی که منجر به تصادف نشده‌اند. سوم، ارزیابی قبل و بعد سیاست‌ها و اقدامات ایمنی. در این پژوهش شاخص‌های کاربردی مربوط به ایمنی عابران شناسایی شده و عوامل مؤثر بر این شاخص‌ها تعیین گردیده است. نوآوری‌های مقاله شامل استفاده از شاخص ایمنی خط‌مبنا برای عابر پیاده و همچنین بررسی توأم گذرگاه میان مقطعی عابر پیاده در یک خیابان و در یک تقاطع است. چهار شاخص زمان پس از تخطی، زمان پس از تخطی خط‌مبنا، فاصله زمانی و زمان تا تصادف محاسبه شد. شاخص‌ها و متغیرهای قابل برداشت از فیلم‌های ضبط شده در معابر شهر اصفهان استخراج شد و با برازش خطی، متغیرهای معنادار برای هر شاخص و نیز عوامل مؤثر در افزایش یا کاهش هر شاخص شناسایی شد. نتایج نشان داد، متغیرهای گذرگاه عابر از نوع میان مقطعی، تداخل عابر با یک خودرو، وجود خودروی شاسی‌بلند در تداخل، جنسیت عابر پیاده، روشن بودن هوا، توقف عابر حین عبور، عبور گروهی عابران، جهت حرکت عابر پیاده، سرعت عابر پیاده و خودرو مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ایمنی تداخلات عابر و خودرو هستند. برای برنامه‌ریزی و پیش‌بینی تسهیلات مناسب عبور عابران پیاده از خیابان، توجه به متغیرهای مذکور حائز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: ایمنی عابر پیاده، تداخل، شاخص جانشین ایمنی، مدل رگرسیون خطی

۱-مقدمه

عابران پیاده یکی از آسیب‌پذیرترین استفاده‌کنندگان راه هستند که به‌طور مستقیم در معرض تصادفات قرار دارند. از این رو نگرانی در ایمنی عابران رو به افزایش است. بررسی تداخلات عابر و وسیلهٔ نقلیه در تقاطع‌ها و نیز گذرگاه‌های میان مقطعی عابر و ارائه راهکارهای بهبود ایمنی عابران از اهمیت بالایی برخوردار است. تخمین تصادفات در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت با استفاده از تعداد و نرخ تصادفات مشاهده شده امکان‌پذیر است. روش‌های دیگر تحلیل تصادفات، استفاده از

شاخص‌های ایمنی غیرمستقیم برای تعیین نقاط دارای پتانسیل بالای وقوع حادثه که به‌عنوان شاخص‌های ایمنی جانشین شناخته می‌شوند. شاخص‌های ایمنی جانشین، معرف میزان ایمنی یا خطرپذیری تردد در یک مکان هستند. به‌کارگیری شاخص‌های ایمنی جانشین، از یک طرف به خاطر عدم وابستگی به اطلاعات و آمار تصادفات و برخی جزییات آن مانند محل یا وجود خطاهای ثبت تصادف و غیرقطعی بودن آن و از طرف دیگر به خاطر بررسی تعاملات خطرآفرینی که ممکن است منجر به تصادف نشود و همچنین امکان استفاده برای ارزیابی قبل و بعد سیاست‌ها و اقدامات ایمنی، مزیت دارند.

شاخص‌های ایمنی جانشین، امکان بررسی میزان خطرپذیری و نیز در معرض آسیب بودن عابران را فراهم می‌آورد.

روش تداخل ترافیکی برای به دست آوردن مقادیر شاخص‌های ایمنی جانشین استفاده می‌شود. برای این منظور باید ویدئوهای ضبط شده از عبور و مرور مورد بررسی قرار گیرد. بررسی انواع تداخل‌ها یا موارد نزدیک به تصادف را می‌توان با انتخاب و بهره‌گیری درست از شاخص‌های ایمنی جانشین، انجام داد. تداخل یک موقعیت قابل‌مشاهده است که در آن دو یا چند کاربر حاضر در راه، در صورت حفظ مسیرشان با خطر تصادف روبه‌رو شوند. در این پژوهش شاخص‌های ایمنی جانشین کاربردی در بحث ایمنی عابران شناسایی شده و عوامل مؤثر بر این شاخص‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت. با وجود نقص آمار ایمنی عابران در کشور، بررسی ایمنی عابران پیاده با استفاده از شاخص‌های جانشین امکان‌پذیر است. جمع‌آوری داده جهت استخراج شاخص‌های جانشین ایمنی از طریق فیلم‌برداری و بررسی تصویر به تصویر انجام‌شده است.

ازجمله نوآوری‌های پژوهش حاضر می‌توان به بررسی نقش متغیرهای گوناگون قابل برداشت اشاره نمود. همچنین شاخص‌های ایمنی خط‌مبنا در پژوهش‌های انجام شده در کشورمان ایران تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است و مطالعه‌ای باهدف بررسی تأثیر نوع گذرگاه‌های عابر نیز صورت نگرفته است. در این مطالعه گذرگاه میان مقطعی عابر پیاده در یک خیابان و همچنین گذرگاه عابر در تقاطع بررسی شده‌اند. همچنین شاخص‌ها و متغیرهای قابل برداشت از فیلم‌ها استخراج شده‌اند و متغیرهای معنادار در مدل رگرسیون خطی بررسی شده‌اند. ساخت مدل هر شاخص به‌صورت جداگانه انجام شده است. در ادامه مقاله، شاخص‌ها معرفی می‌شوند و مطالعات پیشین در ایران و جهان مرور می‌شوند، سپس در قسمت روش پژوهش به متغیرهای در نظر گرفته‌شده و روش برداشت و محاسبه شاخص‌ها معرفی می‌شود. پس از آن در قسمت بحث و نتایج، متغیرهای معنادار در مدل هر شاخص ارائه می‌گردد و سپس در قسمت نتیجه‌گیری، نتایج کلی استخراج‌شده از این پژوهش بیان می‌شود.

۲- پیشنیه تحقیق

نخستین بار شاخص زمان تا تصادف یا TTC[1] بصورت زمان مورد انتظار برای تصادف دو خودرو درصورت حفظ سرعت و مسیر کنونی خود تعریف شده است. زمان تا تصادف پارامتری پیوسته است. در اغلب موارد این شاخص با این فرضیه ساده که مسیر حرکت کاربران با زاویهٔ قائمه یا به‌صورت موازی به یکدیگر می‌رسند، محاسبه می‌گردد. سپس این شاخص برای تداخلات بین عابر و خودروها تعریف و کاربرد وسیع تری در بررسی تداخلات پیدا کرد. i نقطه‌ای در بازه بین زمان ورود کاربر اول به ناحیه تداخلی و کوتاه ترین زمان ترک این ناحیه توسط دو کاربر حاضر در تداخل است. با فرضی که عابر عبور کند سپس خودرو به محل برسد، شاخص زمان تا تصادف از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$\mathrm{TTC(i)} = \mathrm{MAX}\left(\frac{\mathrm{d_p}(i) + \mathrm{w}}{\mathrm{v_p}(i)}, \frac{\mathrm{d_c}(i)}{\mathrm{v_c}(i)}\right) \qquad (۱)$$

مقدار شاخص زمان تا تصادف در لحظات مختلف از یک تداخل به دست می‌آید. نهایتاً برای هر تداخل یک مقدار شاخص که مقدار کمینه آن است، طبق رابطه ۲ گزارش می‌گردد.

$$\mathrm{TTC}_{min} = \mathrm{MIN(TTC(i))} \qquad (۲)$$

در رابطه ۱، $\mathrm{v_p}$ سرعت عابر پیاده برحسب متر بر ثانیه و همچنین

v_c سرعت خودرو برحسب متر بر ثانیه است. پارامترهای d_p ، d_c و w برحسب متر می‌باشند. این پارامترها به‌صورت شماتیک در شکل۱ نشان داده شده است (Ni et al., 2016).

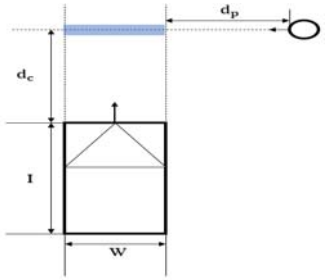
شاخص فاصله زمانی یا GT^2 اختلاف زمانی است که اولین کاربر راه، ناحیه تداخل را ترک می‌کند تا لحظه‌ای که دومین کاربر در صورت حفظ سرعت و مسیر حرکت به همان ناحیه می‌رسد. i نقطه‌ای در بازه بین زمان ورود کاربر اول به ناحیه تداخلی و کوتاه ترین زمان ترک این ناحیه توسط دو کاربر حاضر در یک تداخل است. درصورتی که ابتدا عابر عبور نماید، سپس خودرو به محل برسد، شاخص فاصله زمانی از رابطه۳ محاسبه می‌گردد.

$$GT(i) = \left| \frac{d_p(i) + w}{v_p(i)} - \frac{d_c(i)}{v_c(i)} \right| \qquad (۳)$$

مقدار شاخص فاصله زمانی در لحظات مختلف از یک تداخل به دست می‌آید. نهایتاً برای هر تداخل یک مقدار شاخص که مقدار کمینه آن است، طبق رابطه ٤ گزارش می‌گردد.

$$GT_{min} = MIN(GT(i)) \qquad (٤)$$

در رابطه ۳، v_p سرعت عابر پیاده برحسب متر بر ثانیه و همچنین v_c سرعت خودرو برحسب متر بر ثانیه است. پارامترهای d_p ، d_c و w برحسب متر می‌باشند. این پارامترها به‌طور مشابه با شاخص زمان تا تصادف، در شکل ۱ نشان داده‌شده است (Ni et al., 2016).



شکل۱. نمایش شماتیک پارامترهای طولی در فرمول‌های شاخص زمان تا تصادف و فاصله زمانی (Ni et al., 2016)

شاخص زمان پس از تخطی یا PET^3 نخستین بار برای تداخلات بین خودروها ارائه گشت. تعریف اولیه این شاخص بیان‌کننده مدت‌زمان بین پایان تخطی خودروی گردش کننده و لحظه‌ی رسیدن خودروی عبوری به نقطه‌ی احتمالی تداخل است. این شاخص، رایج‌ترین شاخص برای بررسی تداخلات ترافیکی با توجه به سهولت اندازه‌گیری، سازگاری با گذشت زمان و ارتباط با سایر شاخص‌ها است که در مقایسه با آن، زمان تا تصادف به‌عنوان شاخص ایمنی متداول دیگر، نیاز به تخمین زمان باقی‌مانده تا نقطه تداخلی با فرض حفظ سرعت و مسیر برای یک کاربر، دارد. به‌دست آوردن دقیق شاخص زمان تا تصادف دشوارتر است، بنابراین نمی‌توان به راحتی در تجزیه‌وتحلیل تداخلات از شاخص زمان تا تصادف استفاده نمود. در زمینه‌ی تداخلات وسایل نقلیه و عابر پیاده، شاخص زمان پس از تخطی به‌عنوان اختلاف‌زمانی بین لحظه ترک محل تداخل احتمالی توسط عابر پیاده یا زمان t_1 و لحظه‌ای که یک وسیلهٔ نقلیه به آن نقطه می‌رسد یا زمان t_2 تعریف می‌شود. شکل ۲ شمایی از موقعیت‌های عابر و خودرو را در زمان‌های مطرح شده نشان می‌دهد، که در این شکل جهت حرکت عابر از سمت چپ به راست بوده و عابر در زمان t_1 ناحیه تداخلی را ترک کرده و در زمان t_2 خودرو به ناحیه تداخلی رسیده و عابر نیز از ناحیه تداخلی فاصله گرفته است. برای اندازه‌گیری این شاخص، فقط زمان عبور آن‌ها از نقطه تداخلی لازم است. شاخص زمان پس از تخطی طبق رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

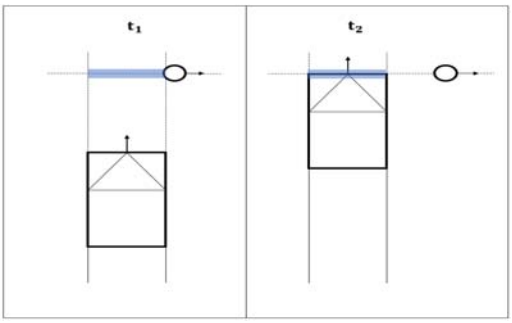
$$PET = t_2 - t_1 \qquad (۵)$$

زمان پس از تخطی کوتاه‌تر خطر بیشتری را در تداخل بین وسیلهٔ نقلیه با عابر پیاده نشان می‌دهد. این شاخص احتمال برخورد یا نزدیک بودن یک تداخل به برخورد را نشان می‌دهد (Chen,Zeng and Yu, 2019).

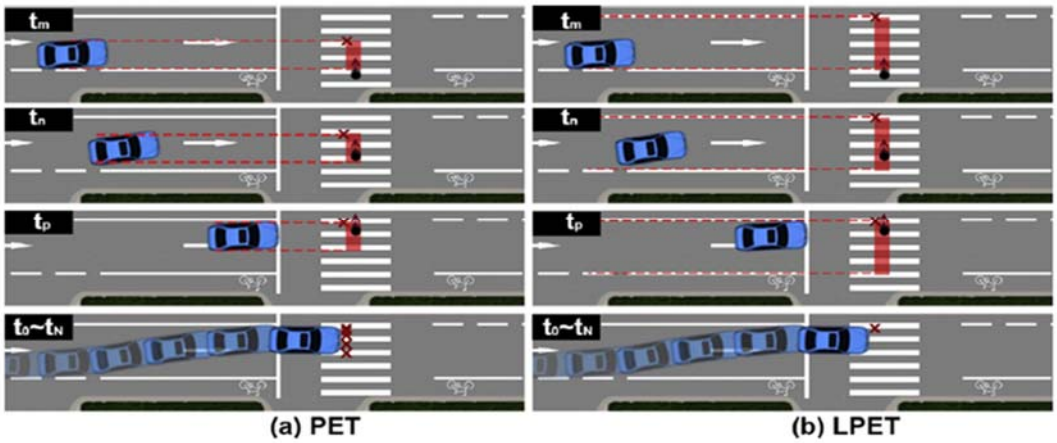
شاخص زمان پس از تخطی خط‌مبنا یا LPET[4] نخستین بار در سال ۲۰۱۶ مطرح گردید. این شاخص بیانگر اختلاف زمانی بین زمان خروج عابر پیاده از منطقه تداخلی و زمان رسیدن وسیلهٔ نقلیه به منطقه تداخلی (با در نظر گرفتن باند یا خط عبور به‌عنوان ناحیه تداخلی) است. این شاخص طبق رابطه ۶ محاسبه می‌گردد.

$$LPET = T_2 - T_1 \quad (۶)$$

T_1 زمان ترک ناحیه تداخلی که طبق تعریف عرض یک خط عبور در نظر گرفته شده است. T_2 زمان رسیدن خودرو به ناحیهٔ تداخلی است. یک نقطه تداخلی ثابت در یک تداخل برای اندازه‌گیری زمان پس از تخطی لازم است، این امر یک محدودیت در برداشت این شاخص است. در صورتی که خودرو عملیات گریز انجام دهد، نقطه تداخلی پویا خواهد بود. اگر راننده هنگام رانندگی با وسیلهٔ نقلیه عمل گریز انجام دهد، موقعیت نقطه تداخلی در هر نقطه از زمان t_O تا t_N متفاوت است، t_m و t_n و t_p سه نقطه از زمان حین انجام عملیات گریز توسط رانندهٔ وسیله نقلیه‌اند که در شکل ۳ موقعیت کاربران قابل مشاهده است. برای غلبه بر این محدودیت در برداشت شاخص زمان پس از تخطی، خط عبور به‌طور کامل به‌عنوان منطقه تداخلی در نظر گرفته می‌شود، به این معنا است که نقطه تداخلی در هر تداخل ایستا خواهد شد. حتی اگر رانندهٔ وسیلهٔ نقلیه عمل گریز انجام دهد، موقعیت منطقه تداخلی و همچنین نقطه تداخلی از زمان t_O تا t_N ایستا است (Almodfer et al., 2016). به‌طور کلی هر چه مقدار شاخص‌ها به صفر نزدیک‌تر باشد، ایمنی در آن تداخل کمتر است.



شکل۲. زمان‌های t_1 و t_2



شکل۳. مقایسه PET و LPET در حالت انجام عملیات گریز توسط راننده (Almodfer et al., 2016)

کادعلی الگوهای تغییر سرعت عبور عابر پیاده را با توجه به فاصله زمانی و خصوصیات رفتاری عابران پیاده مانند رفتار عبور، تغییر مسیر و غیره در گذرگاه های عابر پیاده میان مقطعی در هند را بررسی کرد. بررسی ویدئویی در هشت گذرگاه میان مقطعی در بمبئی به مدت دو تا سه ساعت در شرایط آب و هوای عادی انجام داد. داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای پردازش تصویری استخراج شد. این داده‌ها شامل سرعت عابر پیاده، ویژگی‌های عابر پیاده (جنسیت و سن)، رفتار عابر پیاده (رفتار عبور، تغییر مسیر و غیره)، مشخصات خودرو (نوع و سرعت خودرو) و ویژگی‌های ترافیکی است. یک مدل رگرسیون لجستیک ساخت که در آن فواصل زمانی بعنوان متغیر وابسته و سایر خصوصیات رفتاری عابر پیاده به عنوان متغیرهای مستقل است. نتایج نشان داد که با افزایش اندازه فاصله‌ی خالی در گذرگاه‌های مورد بررسی کاهش رفتار تغییر سرعت عبور عابر پیاده وجود دارد. عابران پیاده جوان در مقایسه با عابران پیاده مسن تغییر سرعت عبور بیشتری دارند. همچنین افزایش سرعت عبور عابر پیاده با افزایش سرعت خودرو همراه است. خصوصیات رفتاری عابران پیاده نیز تأثیر بسزایی در سرعت عبور دارد (Kadali and Vedagiri, 2019).

آلور فاصله‌ی زمانی و سرعت عبور عابر پیاده جهت عبور از گذرگاه‌های میان مقطعی را با روش‌های پردازش تصویری در ازمیر، ترکیه بررسی کرد. ۴۹۸ عابر پیاده در دو گذرگاه میان مقطعی ردیابی کرد. داده ها به مدت یک ساعت در هر گذرگاه میان مقطعی در ساعت اوج عصر جمع آوری شدند. برای ضبط فیلم از سه دوربین همزمان استفاده شد. سپس با استفاده از پردازش تصویر، خط سیر وسیله نقلیه و عابر پیاده در هر تداخل را بدست آورد. دو دوربین بر روی سه پایه تلسکوپی تا ۹ متر نصب شده بود و دوربین سوم برای شناسایی بهتر جنسیت عابران پیاده استفاده شد. متغیرهای استخراج شده عبارتند از جنسیت عابران پیاده، اندازه گروه عابران، حمل یا عدم حمل اشیا، و فاصله زمانی پذیرفته شده یا رد شده توسط عابران بود. مدل‌سازی فواصل زمانی با استفاده از رگرسیون خطی انجام شد. نتایج نشان داد، وجود یک مانع و نوع وسیله نقلیه در فاصله زمانی پذیرفته شده موثر است(Alver et al., 2021).

تاگلدین به ارزیابی شدت تداخلات عابر پیاده با استفاده از شاخص ایمنی جانشین زمان تا تصادف در محیط‌های مختلف ترافیکی در پنج شهر بزرگ شانگهای، دهلی نو، نیویورک، دوحه و ونکوور پرداخته است. با استفاده از روش‌های پردازش تصویر، ردیابی خودکار کاربران را انجام داد. تداخلات عابران پیاده از فیلمبرداریِ پنج تقاطع درهر یک از شهرها، ثبت کرد. از مدل لوجیت جهت ارزیابی شدت تداخلات عابران و خودروها استفاده نمود. نتایج نشان داد که اندازه گیری زمان تا تصادف در محیط های توسعه یافته‌تر مانند ونکوور مؤثر است(Tageldin and Sayed, 2019).

نی و همکاران چارچوبی برای تحلیل تداخلات بین عابران و خودروها ارائه نمودند. طبقه‌بندی شدت تداخلات با یکی از سه الگوی تداخل سخت، تداخل نرم و بدون تداخل صورت گرفت. تجزیه‌وتحلیل شاخص‌های تداخلی و نمودارهای سرعت با استفاده از یک مجموعه داده انجام شد. این مجموعه شامل داده‌های تداخلی از سه تقاطع در شانگهای چین بود. پس از آن تجزیه‌وتحلیل اهمیت متغیرها انجام شد، سپس اهمیت شاخص‌زمان تا تصادف و شاخص زمان پس از تخطی در هر سطح از شدت تداخلات به دست آمد (Ni et al., 2016) .

آلمودفر و همکاران توزیع خط‌مبنا تداخلات وسایل نقلیه و عابران پیاده را مورد تجزیه تحلیل قرار دادند. داده‌ها از طریق ضبط فیلم رفتار وسایل نقلیه و عابران در یک گذرگاه خط‌کشی شدهٔ بدون چراغ در ووهان چین استخراج شد. پژوهش وی دو بخش دارد که اولین بخش درباره کمی‌سازی تداخلات در هر خط از گذرگاه با استفاده از شاخص ایمنی جانشین زمان پس از تخطی خط‌مبنا است. بخش دوم ارزیابی تأثیر زمان انتظار عابر پیاده در تداخلات و بررسی توزیع سرعت پیاده‌روی عابر در هر خط و تحت سطوح مختلف شدت تداخل است. نتایج تجربی نشان داد که سرعت پیاده‌روی یک عامل مهم در تداخلات مبتنی بر خط نیست (Almodfer et al., 2016) .

ژانگ و همکاران ایمنی عبور عابر پیاده در گذرگاه‌های عابر پیاده‌ی چند خطه میان مقطعی را موردمطالعه و بررسی قراردادند. پنج گذرگاه میان‌مقطعی عابر در ووهانِ چین انتخاب شد. داده‌های مورد نیاز طریق فیلم‌برداری استخراج شد و توزیع مکانی تداخل در این گذرگاه‌ها با توجه به مفهوم شاخص زمان

پس از تخطی خط‌مبنا، مورد تحلیل قرار گرفت. علاوه بر این، یک مدل پروبیت برای پیدا کردن سهم مربوط عواملی مانند حجم ترافیک، سرعت خودرو، رفتار عبور عابر پیاده، رفوژعابر پیاده و ... در تداخلات ساخته شد. نتایج نشان داد که تداخلات عمدتاً در خطوط ۳ و ٦ (شروع شماره‌گذاری در جهت حرکت عابر) متمرکز است. همچنین وجود رفوژعابر پیاده دارای تأثیرات مثبتی در ایمنی عابر پیاده است. از طرف دیگر سرعت زیاد وسیله نقلیه، حجم زیاد ترافیک و گروه بزرگ‌تر از عابران تأثیرات منفی بر ایمنی عابر پیاده دارد (Zhang et al., 2017) .

فو و میراندا و سونیر ایمنی عابر پیاده در گذرگاه‌های عابر بدون چراغ ارزیابی نمودند. اطلاعات اولیه مورد نیاز طریق فیلم‌برداری با تلفن همراه و تحلیل آن استخراج شد. رفتار اعطای حق تقدم توسط راننده به عابر پیاده را بررسی نمودند. دسته‌بندی انجام‌شده شامل سه دستهٔ است. نزدیک بودن دو کاربر به هم به‌گونه‌ای که امکان توقف خودرو یا اجازه عبور به عابر وجود نداشته باشد، وجود زمان کافی برای راننده که بتواند به عابر اجازه عبور دهد و نیز راننده زمان بیشتری برای انجام عکس‌العمل لازم دارد و همچنین تمایلی به اجازه دادن به عابر جهت عبور ندارد.نتیج نشان داد، فاصله موردنیاز برای رعایت حق تقدم عابر و سرعت نزدیک شدن خودرو، به میزان زمان واکنش راننده و نرخ قابل دسترس کاهش شتاب خودرو بستگی دارد (Fu,Miranda-Moreno and Saunier, 2018) .

شفاعتی و خیری و بروجردیان متغیرهای تأثیرگذار در ایمنی عابر پیاده در تداخل با موتورسیکلت در تقاطع بدون چراغ بر اساس شاخص زمان تا تصادف را شناسایی نمودند. داده‌های مورد استفاده از فیلم‌برداری و سپس پردازش تصویر آن به دست آمد. محل مورد بررسی تقاطع بدون چراغ وصال-بزرگمهر در تهران بود. متغیرهای جهت حرکت موتورسیکلت، تعداد عابران دارای تداخل با موتورسیکلت، جهت حرکت عابر پیاده و میانگین سرعت حرکت موتورسیکلت تا لحظه اتمام تداخل به‌عنوان متغیر مستقل و همچنین شاخص زمان تا تصادف با فرض سرعت عابر پیاده ثابت به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. مدل‌سازی به روش رگرسیون خطی انجام شد و مدل را اعتبار سنجی نمود. نتایج نشان داد متغیرهای جهت حرکت عابر و جهت حرکت موتورسیکلت با ضرایب منفی و گروهی بودن حرکت عابران با ضریب مثبت در شاخص زمان تا تصادف تأثیرگذار بودند (Shefaati and khairi and Boroujerdian,2019) .

شفاعتی و بروجردیان اثر سنجی عوامل مؤثر بر تداخل عابر پیاده و وسایل نقلیه در تقاطع‌های شهری بر اساس شاخص زمان پس از تخطی را انجام دادند. داده‌ها از طریق فیلم‌برداری از تقاطع بدون چراغ وصال-بزرگمهر در تهران جمع‌آوری شد. سپس بررسی ایمنی عابر پیاده توسط شاخص زمان پس از تخطی صورت گرفت. در این بررسی شاخص زمان پس از تخطی به‌عنوان متغیر وابسته و سن، تاکسی بودن وسیله نقلیه، لگاریتم طبیعی سرعت متوسط وسیله نقلیه، نوع وسیلهٔ نقلیه شرکت‌کننده در تداخل، تعداد عابران حاضر در یک تداخل، تداخل با وسایل نقلیه چپ‌گرد و نیز تداخل داشتن وسیلهٔ نقلیه با سایر وسایل نقلیه قبل از تداخل با عابر به‌عنوان متغیر مستقل معرفی گردید. ارزیابی مورد نظر با استفاده از رگرسیون خطی انجام شد. تاکسی بودن باعث کاهش شاخص زمان پس از تخطی می‌گردد و توقف غیرمعمول عابر، باعث افزایش شاخص زمان پس از تخطی می‌گردد (Shefaati and Boroujerdian,2020) .

شفاعتی و بروجردیان ایمنی عابر پیاده در تداخل با خودروها و موتورسیکلت‌ها را مقایسه نمودند. تقاطع بدون چراغ وصال-بزرگمهر در تهران مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی‌های آماری به روش آنوای یک‌طرفه صورت گرفت. شاخص‌های زمان پس از تخطی و زمان تا تصادف در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. متغیرهای وابسته، لگاریتم دو شاخص اشاره شده و همچنین سرعت خودرو، سرعت عابر و نوع وسیله موجود در تداخل به‌عنوان متغیرهای مستقل نیز در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد میانگین لگاریتم زمان تا تصادف در موتورسیکلت‌ها کمتر از خودروها بود. همچنین میانگین لگاریتم شاخص زمان پس از تخطی در خودروها کمتر از موتورسیکلت‌ها بود (Shefaati and Boroujerdian,2019).

مرور بر منابع نشان می‌دهد، شاخص‌های ایمنی جانشین به‌صورت هم‌زمان در گذرگاه‌های میان مقطعی عابر پیاده و خط‌کشی عابر در تقاطع‌ها تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین شاخص ایمنی خط‌مبنا در پژوهش‌های داخل کشور بررسی نشده است. پژوهش حاضر به بررسی هم‌زمان شاخص‌های ایمنی در دو نوع گذرگاه مطرح شده می‌پردازد. متغیرهای قابل برداشت در هر تداخل از بررسی فیلم‌های ضبط شده توسط مرکز کنترل ترافیک اصفهان، ثبت گردید. در کنار این متغیرها، شاخص‌های ایمنی جانشین مطرح‌شده نیز ثبت شدند.

مدل‌های رگرسیون خطی شاخص‌های ایمنی با متغیرهای معنادار ساخته شده و نتایج آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳-روش تحقیق

شناسایی عوامل موثر در شاخص‌ها و نیز میزان و نوع تاثیر هر عامل، با استفاده از مدل رگرسیون خطی امکان پذیر است. همچنین در منابع مورد بررسی از این روش جهت تحلیل شاخص‌های ایمنی جانشین استفاده شده است.

محل‌های مورد بررسی با توجه به نیاز به فیلم‌های ضبط شده باید به گونه‌ای انتخاب شوند که دوربین حاضر در محل، میدان دید مناسب جهت حضور کاربران و بررسی تداخلات را داشته باشد. پس از انجام بررسی‌های لازم گذرگاه میان مقطعی عابر واقع در روبه‌روی گلستان شهدای اصفهان و خط عابر پیاده واقع در تقاطع ابتدای خیابان چهارباغ پایین (خیابان اصلی) و خیابان باب‌الرحمه (خیابان فرعی) انتخاب گردید. فیلم‌ها در بازهٔ یک ساعتی، صبح و عصر توسط مرکز کنترل ترافیک شهر اصفهان ذخیره گردید. تقاطع ابتدای چهار باغ پایین و خیابان باب الرحمه در هسته مرکزی شهر اصفهان به دلیل وجود مراکز خرید، دسترسی به ایستگاه های تاکسی، اتوبوس و مترو و نیز نزدیکی به ادارات و بافت تاریخی میدان نقش جهان، تردد بالای عابران و خودرو ها را داراست. علاوه بر آن پوشش مناسب دوربین های مرکز کنترل ترافیک از دلایل انتخاب این معبر بوده است. گذرگاه میان مقطعی روبه روی گلستان شهدای اصفهان به دلیل دسترسی به ایستگاه اتوبوس، دسترسی به گلزار شهدا و مراکز فرهنگی همچنین تردد بالای عابران و خودروها را دارا می باشد و نیز شرط دید مناسب دوربین را نیز داراست. این دو محل انتخاب و فیلم‌ها توسط دوربین‌های مرکز کنترل ترافیک اصفهان با اخذ مجوز از معاونت حمل و نقل ترافیک اصفهان ضبط و ذخیره گردید. فیلم‌ها مربوط به روز پنج شنبه چهاردهم آذر ماه سال ۱۳۹۸ است. فیلم‌های گذرگاه میان مقطعی روبه روی گلستان شهدای اصفهان در ساعات ۹:۳۰ الی ۱۰:۳۰ و ۱۷:۰۰ الی ۱۸:۰۰ ضبط شد و فیلم‌های تقاطع چهارباغ پایین-باب الرحمه در ساعات ۸:۰۰ الی ۹:۰۰ و ۱۷:۰۰ الی ۱۸:۰۰ ضبط شد.

شاخص‌های زمان پس از تخطی و زمان پس از تخطی خط‌مبنا، پس از بارگذاری فیلم‌های ضبط شده در برنامه تعقیب‌کننده[۵] و تبدیل زمان به میلی ثانیه، با بررسی تصویر به تصویر قابل برداشت هستند. در هر تداخل ابتدا زمان ترک ناحیه تداخلی توسط عابر پیاده ثبت می‌گردد، سپس زمان رسیدن خودرو به این ناحیه ثبت می‌گردد. با به دست آوردن اختلاف زمان دوم و زمان اول شاخص‌ها به دست می‌آیند. تنها تفاوت در برداشت دو شاخص تعریف ناحیه تداخلی در فرضیات هر شاخص است. در مجموع ٦٥٤ مورد تداخل ثبت و شاخص‌های زمان پس از تخطی و زمان پس از تخطی خط‌مبنا بطور جداگانه ثبت شد. شاخص‌های زمان تا تصادف و فاصله زمانی با وارد نمودن فیلم‌های ضبط شده در برنامهٔ کینووا[٦] قابل برداشت است. کالیبراسیون جهت حذف عمق در حالت سه بعدی و تبدیل آن به حالت صفحه‌ای یا دو بعدی و نیز تعریف ابعاد واقعی در فیلم‌ها انجام گرفت. سپس با انجام ردیابی کاربران، مختصات آن‌ها به همراه زمان در یک تداخل به‌عنوان خروجی ذخیره شد. با وارد کردن خروجی نرم‌افزار کینووا به برنامهٔ نوشته‌شده در متلب دو شاخص طبق روابط محاسبه شد. در انتها برای هر تداخل مقدار کمینه این دو شاخص گزارش شد. سرعت عابر پیاده با فرض حرکت یکنواخت محاسبه شد. مهم ترین محدودیت در برداشت این دو شاخص وسعت میدان دید است، به طوری که خودرو و عابر به طور همزمان در میدان دید دوربین باشند. پارامترهای موجود در رابطه (۱) و رابطه (۳) در صورت ردیابی همزمان بدست می‌آیند و هر یک از دو شاخص محاسبه می‌گردد. در واقع بازه بررسی این دو شاخص از لحظه‌ای که عابر وارد محل تداخل می شود تا لحظه‌ی ترک نقطه‌ی تداخلی توسط عابر است. به دلیل این محدودیت در مجموع ۳۲۰ مورد تداخل ثبت و شاخص‌های زمان تا تصادف و فاصله زمانی بطور جداگانه ثبت شد. شاخص میزان نزدیکی به هدفی خاص را بیان دارد. در این پژوهش هدف شناسایی عوامل موثر بر بهبود ایمنی تداخلات عابران پیاده و خودروهاست. در راستای این هدف، شاخص‌های ایمنی جانشین میزان دستیابی به این هدف را ارزیابی می‌نمایند. شاخص‌های زمان پس از تخطی، فاصله زمانی، زمان مانده به تصادف و زمان پس از تخطی خط‌مبنا (برحسب ثانیه) بعنوان متغیرهای وابسته در مدل رگرسیون خطی در نظر گرفته شده اند. متغیرهای مستقلی که به همراه شاخص‌ها از فیلم برداشت شده‌اند، در جدول ۱ ارائه‌شده‌اند.

٤-بحث و نتایج

مدل‌های رگرسیونی شاخص‌های ایمنی در این بخش ارائه می‌گردد. جدول ۲ مدل رگرسیون خطی زمان پس از تخطی، به همراه مشخصات مدل را نشان می‌دهد. در برخی از زمینه‌ها، انتظار می‌رود که مقدار ضریب تعیین[۷] پایین باشد.

یکی از این زمینه‌ها پیش‌بینی رفتار انسان‌ها است که مقدار ضریب تعیین پایین است. رفتار انسان‌ها به‌سادگی

فرآیندهای فیزیکی قابل پیش‌بینی نیست. اما اگر اعتبار مدل‌های ساخته‌شده به‌دقت بررسی گردد و مشخص شود مدل ناریب است با وجود پایین بودن ضریب تعیین، مدل بدست آمده از نمونه توانایی توصیف جامعه را دارد..شروط ناریب بودن در فرآیند اعتبار سنجی به همراه توضیحات و روابط در پیوست مقاله ارائه شده است و هر مدل مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است.

جدول۱. متغیرهای مستقل موثردر مدل‌های رگرسیونی

متغیر	توضیحات
woman	اگر عابر شرکت‌کننده در تداخل خانم باشد، مقدار متغیر ۱ خواهد بود.
Mid-block	اگر محل رخداد تداخل گذرگاه میان مقطعی باشد، مقدار متغیر ۱ خواهد بود.
One- conflict	اگر عابر پیاده تنها با یک خودرو حین عبور از خیابان تداخل داشته باشد مقدار متغیر ۱ خواهد بود.
Big-Car	اگر خودروی حاضر در تداخل از خودروهای شهری بزرگ باشد، (انواع خودروهای شاسی‌بلند) مقدار متغیر ۱ است.
Day-light	اگر هنگام رخداد تداخل هوا روشن باشد، مقدار متغیر ۱ خواهد بود.
Stop	اگر عابر حین عبور از خیابان توقف داشته باشد، مقدار متغیر ۱ خواهد بود.
Pedestrian-velocity	سرعت عابر پیاده‌ی شرکت‌کننده در یک تداخل برحسب متر بر ثانیه
Vehicle-velocity	سرعت خودروی شرکت‌کننده در یک تداخل برحسب متر بر ثانیه
group	اگر عابر به‌صورت گروهی با سایر عابران از خیابان عبور کنند، مقدار متغیر ۱ خواهد بود.
Slow line	اگر تداخل در خطوط عبور کندرو اتفاق بیفتد، مقدار متغیر ۱ خواهد بود.
Car-color	اگر خودروی شرکت‌کننده در یک تداخل دارای رنگ روشن باشد، مقدار متغیر ۱ خواهد بود.
Direct	اگر جهت حرکت عابران از سمت چپ به راست راننده باشد، مقدار متغیر ۱ خواهد بود.

جدول۲. مدل رگرسیون خطی زمان پس از تخطی

ضرایب مدل						
مدل PET	توضیح متغیر	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استانداردشده	t	سطح معناداری
		ضریب	خطای استاندارد			
(Constant)	ثابت	۱/۵٤	۰/۱۷	–	۸/۸۰	۰/۰۰
mid-block	گذرگاه میان مقطعی	۰/٦٤	۰/۱۷	۰/۱۵	۳/۸۵	۰/۰۰
one- conflict	تداخل تنها با یک خودرو	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۱۳	۳/۲۹	۰/۰۰
Big-Car	تداخل با خودروی شاسی‌بلند	۰/۵۸	۰/۳۵	۰/۰۹	۲/٤۵	۰/۰۱
woman	زن بودن	۰/٤٤	۰/۱٦	۰/۱۰	۲/۷۵	۰/۰۱
Day-light	روشن بودن هوا	۰/۳۵	۰/۱٦	۰/۰۸	۲/۲۲	۰/۰۳
مشخصات مدل						
F	سطح معناداری	R	R^2	R^2 تصحیح‌شده	خطای استاندارد	
۱۱/۹۱	۰/۰۰	۰/۲۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۲/۰۱	

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد گذرگاه عابر از نوع میان مقطعی، تداخل عابر با یک خودرو، وجود خودروی شاسی‌بلند در تداخل، زن بودن جنسیت عابر پیاده، روشن بودن هوا، باعث افزایش شاخص زمان پس از تخطی می‌شود. اعتبارسنجی مدل ساخته شده در پیوست مقاله ارائه شده است. جدول ۳ مدل رگرسیون خطی زمان پس از تخطی‌خط‌مبنا، به همراه مشخصات مدل را نشان می‌دهد.

جدول۳. مدل رگرسیون خطی زمان پس از تخطی خط‌مبنا

ضرایب مدل						
مدل LPET	توضیح متغیر	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استانداردشده	t	سطح معناداری
		ضریب	خطای استاندارد			
(Constant)	ثابت	۱/۸۰	۰/۱٤	–	۱۳/۰۲	۰/۰۰
one-conflict	تداخل تنها با یک خودرو	۰/٦۲	۰/۱٦	۰/۱۵	۳/۹۷	۰/۰۰
Day-light	روشن بودن هوا	۰/۳۸	۰/۱۵	۰/۰۹	۲/٤٦	۰/۰۱
Stop	توقف حین عبور	−۰/۹۳	۰/٤۳	−۰/۰۸	−۲/۱۹	۰/۰۳
Big-Car	تداخل با خودروهای شاسی‌بلند	۰/۷۱	۰/۳٤	۰/۰۸	۲/۰۷	۰/۰٤
مشخصات مدل						
F	سطح معناداری	R	R^2	R^2 تصحیح‌شده	خطای استاندارد	
۸/۰۸	۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۰٤	۱/۹۷	

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد تداخل عابر با یک خودرو، روشن بودن هوا، وجود خودروی شاسی‌بلند در تداخل باعث افزایش شاخص زمان پس از تخطی خط‌مبنا می‌گردد. همچنین اگر عابر حین عبور از خیابان توقف داشته باشد، شاخص زمان پس از تخطی خط‌مبنا کاهش می‌یابد. اعتبارسنجی مدل ساخته شده در پیوست مقاله ارائه شده است. جدول ٤ مدل رگرسیون خطی فاصله زمانی، به همراه مشخصات مدل را نشان می‌دهد.

جدول٤. مدل رگرسیون خطی فاصله زمانی

ضرایب مدل						
مدل GT	توضیح متغیر	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استانداردشده	t	سطح معناداری
		ضریب	خطای استاندارد			
(Constant)	ثابت	۰/۹۸	۰/۱۰	–	۹/۸۸	۰/۰۰
direct	جهت حرکت عابر پیاده	۰/٤۵	۰/۱٤	۰/۱۸	۳/۳۱	۰/۰۰
one-conflict	تداخل تنها با یک خودرو	۰/٤۳	۰/۱۳	۰/۱۸	۳/۲۹	۰/۰۰
group	عبور گروهی عابران	−۰/۳۰	۰/۱۲	−۰/۱٤	−۲/٦۱	۰/۰۱
مشخصات مدل						
F	سطح معناداری	R	R^2	R^2 تصحیح‌شده	خطای استاندارد	
۱۲/۲٦	۰/۰۰	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۰۹	۱/۰۲	

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، جهت حرکت عابر در تداخل و تداخل عابر با یک خودرو باعث افزایش شاخص زمان می‌گردد. همچنین با عبور گروهی عابران پیاده شاخص زمان کاهش می‌یابد. اعتبارسنجی مدل ساخته شده در پیوست مقاله ارائه شده است. جدول ۵ مدل رگرسیون خطی زمان تا تصادف، به همراه مشخصات مدل را نشان می‌دهد.

جدول۵. مدل رگرسیون خطی زمان تا تصادف

ضرایب مدل						
مدل TTC	توضیح متغیر	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استانداردشده	t	سطح معناداری
		ضریب	خطای استاندارد			
(Constant)	ثابت	۲/۶۲	۰/۲۹	–	۸/۹۱	۰/۰۰
Mid-block	گذرگاه میان مقطعی	۱/۰۸	۰/۲۰	۰/۳۲	۵/۲۹	۰/۰۰
Pedestrian-velocity	سرعت عابر پیاده	−۰/۴۹	۰/۱۹	−۰/۱۴	−۲/۶۰	۰/۰۱
one-conflict	تداخل تنها با یک خودرو	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۱۷	۳/۰۸	۰/۰۰
Vehicle-velocity	سرعت خودرو	−۰/۰۹	۰/۰۴	−۰/۱۳	−۲/۱۲	۰/۰۳
مشخصات مدل						
F	سطح معناداری	R	R^2	R^2 تصحیح‌شده	خطای استاندارد	
۱۲/۴۸	۰/۰۰	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۱۳	۱/۰۵	

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد گذرگاه عابر از نوع میان مقطعی و تداخل عابر با یک خودرو باعث افزایش شاخص زمان تا تصادف می‌گردد. همچنین با افزایش سرعت عابر پیاده و سرعت خودرو شاخص زمان تا تصادف کاهش می‌یابد. اعتبارسنجی مدل ساخته شده در پیوست مقاله ارائه شده است.

۵-نتیجه‌گیری

تداخلات بین عابر و خودرو به‌وسیله شاخص‌های ایمنی جانشین مورد بررسی قرار گرفت و عوامل دارای نقش مؤثر در افزایش یا کاهش هر شاخص، شناسایی گردید. در گذرگاه‌های میان مقطعی به دلیل بالاتر بودن سرعت خودروها، عابران به‌عنوان یکی از کاربران درگیر در تداخل برای عبور از خیابان دقت بیشتری انجام می‌دهند . جهت حرکت عابر اگر از سمت چپ به راست رانندهٔ خودرو حاضر در تداخل باشد، کاربران بیشتر احتیاط می‌نمایند. عابرانی که به‌صورت گروهی عبور می‌نمایند، شهامت بیشتری نسبت به قرار گرفتن در شرایط تداخل و خطر دارند. تداخل داشتن عابر پیاده، تنها با یک خودرو باعث بالا رفتن دقت کاربران و بالا رفتن ایمنی می‌گردد. بالا بودن سرعت وسیلهٔ نقلیه در یک تداخل نشان از عجله راننده دارد که باعث کاهش ایمنی در یک تداخل می‌گردد. بالا رفتن سرعت عابر پیاده در یک تداخل، نشان می‌دهد عابرانی که عجله بیشتری دارند، دقت کمتری نسبت شرایط تداخل دارند و بیشتر در معرض خطر هستند. اگر خودروی موجود در یک تداخل از نوع شاسی‌بلند باشد، احتیاط بیشتری توسط کاربران رعایت می‌گردد. عابران پیاده خانم احتیاط بیشتری قبل و حین عبور نسبت به آقایان دارند. روشن بودن هوا، باعث بالا رفتن دید متقابل کاربران می‌گردد، درنتیجه ایمنی تداخلات بالاتر می‌رود. این نتیجه، با انتظاری که در ذهن کاربران وجود دارد، مورد تایید است و همچنین صحت روش آماری استفاده شده را نشان می‌دهد. همچنین توقف عابر در مسیر به دلیل نزدیک شدن کاربران، با کاهش ایمنی تداخل همراه است. برای برنامه‌ریزی و پیش‌بینی تسهیلات مناسب عبور عابران پیاده از خیابان، توجه به متغیرهای مذکور حائز اهمیت است. باوجود بررسی متغیرهای قابل‌استخراج از فیلم‌ها، متغیرهای دیگری در بررسی تداخلات دخیل هستند که در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. متغیرهای مربوط به حواس‌پرتی عابران، استفاده از تلفن همراه، به همراه داشتن وسیله حین عبور ، گروه سنی عابران و نیز عبور عابر به همراه کودکان قابل‌استخراج و بررسی هستند. همچنین تاثیر عواملی مانند تغییر مشخصات هندسی معابر، اثرات قبل و بعد عملیات بهسازی در مقدار شاخص‌های ایمنی جانشین، قابلیت بررسی در پژوهش‌های آتی را دارا می‌باشند.

۶- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت محترم حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری اصفهان و مرکز مدیریت و کنترل ترافیک شهرداری

اصفهان برای همکاری و ارائه اطلاعات در این مقاله قدردانی می‌نمایند.

۷-پی‌نوشت‌ها

1. Time to Collision
2. Gap Time
3. Post Encroachment Time
4. Lane-based Post Encroachment Time
5. Tracker
6. Kinovea
7. R-Square
8. Tolerance
9. Variance Inflation Factor
10. Eigen-Value
11. Condition Index
12. Misspecification

۸-مراجع

-افشانی، سید علیرضا و نوریان، مرتضی و جواهرچیان، ندا (۱۳۹٤). مرجع کاربردی spss22. تهران، بیشه.

-شفاعتی، مصطفی و بروجردیان، امین میرزا (۱۳۹۹). اثر سنجی عوامل مؤثر بر تداخل عابر پیاده و وسایل نقلیه در تقاطعات شهری بر اساس شاخص زمان پس از تخطی. *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل‌ونقل*، سال هفدهم، شماره۶۲، ۱٤۲-۱۲۷.

-شفاعتی، مصطفی و خیری، رضا و بروجردیان، امین میرزا (۱۳۹۸). شناسایی متغیرهای تأثیرگذار در ایمنی عابر پیاده در تداخل با موتورسیکلت در تقاطع بدون چراغ بر اساس شاخص زمان تا تصادف. *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل‌ونقل*، سال شانزدهم، شماره ٦۰، ٤۷-۳۳.

-شفاعتی، مصطفی و بروجردیان، امین میرزا (۱۳۹۸). مقایسه ایمنی عابر پیاده در تداخل با اتومبیل‌ها و موتورسیکلت‌ها بر اساس شاخص‌های تداخلی. *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل‌ونقل*، سال شانزدهم، شماره۵۹، ۱۳۳-۱۱۹.

-Almodfer, Rolla, Xiong, Shengwu, Fang, Zhixiang, Kong, Xiangzhen, & Zheng, Senwen. (2016). Quantitative analysis of lane-based pedestrian-vehicle conflict at a non-signalized marked crosswalk. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *42*, 468-478.

-Alver, Y, Onelcin, P, Cicekli, A, & Abdel-Aty, M. (2021). Evaluation of pedestrian critical gap and crossing speed at midblock crossing using image processing. *Accident Analysis & Prevention*, *156*, 106127.

-Chen, Peng, Zeng, Weiliang, & Yu, Guizhen. (2019). Assessing right-turning vehicle-pedestrian conflicts at intersections using an integrated microscopic simulation model. *Accident Analysis & Prevention*, *129*, 211-224.

-Fu, Ting, Miranda-Moreno, Luis, & Saunier, Nicolas. (2018). A novel framework to evaluate pedestrian safety at non-signalized locations. *Accident Analysis & Prevention*, *111*, 23-33.

-Kadali, B Raghuram, & Vedagiri, P. (2019). Evaluation of pedestrian crossing speed change patterns at unprotected mid-block crosswalks in India. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English edition)*.

-Ni, Ying, Wang, Menglong, Sun, Jian, & Li, Keping. (2016). Evaluation of pedestrian safety at intersections: A theoretical framework based on pedestrian-vehicle interaction patterns. *Accident Analysis & Prevention*, *96*, 118-129.

-Ramsey, James Bernard. (1969). Tests for specification errors in classical linear least-squares regression analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, *31*(2), 350-371.

-Tageldin, Ahmed, & Sayed, Tarek. (2019). Models to evaluate the severity of pedestrian-vehicle conflicts in five cities. *Transportmetrica A: Transport Science*, *15*(2), 354-375.

-Zhang, Cunbao, Zhou, Bin, Chen, Guojun, & Chen, Feng. (2017). Quantitative analysis of pedestrian safety at uncontrolled multi-lane mid-block crosswalks in China. *Accident Analysis & Prevention*, *108*, 19-26.

پیوست

در استفاده از رگرسیون، شرایط نااریب بودن موردبررسی قرار می‌گیرد. در صورت ارضا شدن این شرایط، رگرسیون ساخته شده از نمونه توانایی توصیف جامعه را دارد. شروط نااریب بودن مدل ساخته شامل موارد زیر است.

۱. نمونه‌برداری تصادفی

۲. خطی بودن ارتباط بین متغیر مستقل و وابسته

۳. صفر بودن میانگین خطاها

٤. عدم وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل

۵. شرط بد مشخص‌سازی

شرط اول بیان می‌دارد حالات مختلف با ویژگی‌های متفاوت در نمونه‌برداری وجود داشته باشند.این شرط در پژوهش برقرار است. شرط دوم در صورت استفاده از مدل‌های خطی، برقرار خواهد بود. شرط سوم نشان می‌دهد امید ریاضی بخش خطای مدل به ازای متغیرهای مستقل، برابر صفر است. به‌عبارت دیگر، طبق رابطه ۷ بخش خطای مدل با متغیرهای مستقل رابطه نداشته باشد.

$$E(u|x_1, x_2, \dots, x_k) = 0 \quad (۷)$$

در بررسی شرط عدم وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل دو پارامتر تلورانس[۸] و عامل تورم واریانس[۹] از خروجی رگرسیون خطی موردبررسی قرار می‌گیرند. تلورانس طبق رابطه ۸ محاسبه می‌گردد. در این رابطه R_j^2 ضریب تعیین مدل رگرسیونی روی متغیر j ام به‌عنوان متغیر پاسخ با متغیرهای دیگر به‌عنوان متغیر مستقل است. مقدار آن بین صفر و یک است و نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل تا چه اندازه با یکدیگر رابطه هم‌خطی دارند. هرچه مقدار تلورانس به یک نزدیک‌تر باشد میزان هم‌خطی کمتر است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، میزان هم‌خطی بالا را نشان می‌دهد.

$$tolerance = 1 - R_j^2 \quad (۸)$$

پارامتر دیگر عامل تورم واریانس است که حاصل تقسیم یک بر مقدار تلورانس است و مطابق رابطه ۹ محاسبه می‌گردد. هر چه این پارامتر از ۲ بزرگ‌تر باشد، میزان هم‌خطی بیشتر است. نتیجه و چگونگی تفسیر عامل تورم واریانس عکس تلورانس است. هر چه این پارامتر زیادتر شود، مدل رگرسیونی را برای پیش‌بینی نامناسب‌تر است. درنتیجه هر چه مقدار عامل تورم واریانس برای یک متغیر بیشتر باشد، نتیجه می‌گیریم آن متغیر نقش زیادی در مدل، نسبت به بقیه متغیرها ندارد.

$$VIF = \frac{1}{tolerance} \quad (۹)$$

دو پارامتر مقدار ویژه[۱۰] و شاخص شرطی[۱۱] میزان هم‌خطی چندگانه را بررسی می‌کنند.وجود چند مقدار ویژه نزدیک به صفر نشان می‌دهد متغیرهای مستقل همبستگی بالایی دارند. شاخص شرطی به‌صورت جذر نسبت‌های بزرگ‌ترین مقدار ویژه به مقدار ویژه متوالی محاسبه می‌گردد. مقادیر بزرگ‌تر از ۱۵ این شاخص وجود مشکل هم‌خطی را بیان می‌دارد (افشانی و نوریان و جواهرچیان، ۱۳۹٤) .

شرط آخر که به‌شرط بد مشخص‌سازی[۱۲] معروف است. برای بررسی عدم وجود این مشکل آزمون رمزی استفاده می‌شود. این آزمون، مناسب بودن مدل تابع استفاده‌شده برای متغیر مستقل را بررسی می‌نماید. به‌طور خاص نشان می‌دهد، ترکیبات غیرخطی مقادیر برازش شده به توضیح متغیر پاسخ کمک می‌کنند یا خیر. فرض آزمون این است که اگر ترکیبات غیرخطی متغیرهای مستقل در توضیح متغیر پاسخ مناسب باشند، این مدل دارای بد مشخص‌سازی است. درواقع نشان می‌دهد رابطه بین متغیرها توسط یک‌چند جمله‌ای یا تابع غیرخطی دیگری بهتر تخمین زده می‌شود. شرط صفر آزمون رمزی نبود متغیر حذف‌شده یا عدم وجود مشکل بد مشخص‌سازی را بیان می‌کند. با در نظر گرفتن رابطه ۱۰، آزمون رمزی نشان خواهد داد طبق رابطه ۱۱، آیا $(\beta x)^2$و $(\beta x)^3$ و..... و $(\beta x)^k$ نیز می‌توانند متغیر وابسته را تخمین بزنند .

$$\hat{Y} = \beta x \quad (۱۰)$$

$$Y = ax + \gamma_1 \quad (۱۱)$$

سپس با استفاده آزمون F ، معناداری صفر بودن γ_1 تا γ_{k-1} را بررسی می‌کند. اگر این فرضیه صفر که همه ضرایب γ صفر است رد شود، می‌توان نتیجه گرفت مدل دارای مشکل بد مشخص‌سازی است. چنانچه سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر رد خواهد شد و مدل مشکل بد مشخص‌سازی خواهد داشت (Ramsey, 1969) .

انجام این آزمون در برنامه STATA امکان‌پذیر است.

جدول٦. تحلیل خطاهای رگرسیون در مدل زمان پس از تخطی

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار استاندارد
باقیمانده	-۳/۷٤	٦/٥۲	-۹/۱٦-E٦۱	۲/۰۰

جدول۷. پارامترهای هم‌خطی در مدل زمان پس از تخطی

متغیرها	Tolerance	VIF	Dimension	Eigenvalue	Condition Index
Constant			۱	۳/٥٥	۱/۰۰
mid-block	۰/۸۸	۱/۱۳	۲	۰/۹۳	۱/۹٥
one- conflict	۰/۸۹	۱/۱۲	۳	۰/٥٤	۲/٥٥
Big-Car	۰/۹۹	۱/۰۰	٤	۰/٤۹	۲/۷۰
woman	۰/۹۸	۱/۰۲	٥	۰/۳۳	۳/۲۹
Day-light	۰/۹۷	۱/۰۳	٦	۰/۱٥	٤/۸۸

جدول۸. آزمون رمزی در مدل زمان پس از تخطی

آماره F	۰/۲۱
سطح معناداری	۰/۸۹

جدول۹. تحلیل خطاهای رگرسیون در مدل زمان پس از تخطی خط‌مبنا

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار استاندارد
باقیمانده	-۳/۰۳	٦/٤٦	-٦/۱٦-E۹۰	۱/۹۷

جدول۱۰. پارامترهای هم‌خطی در مدل زمان پس از تخطی خط‌مبنا

متغیرها	Tolerance	VIF	Dimension	Eigenvalue	Condition Index
Constant			۱	۲/٤۳	۰/۰۰
one-conflict	۰/۹۹	۱/۰۱	۲	۰/۹۸	۱/٥۸
Day-light	۰/۹۹	۱/۰۱	۳	۰/۹۱	۱/٦٤
Stop	۰/۹۸	۱/۰۲	٤	۰/٤۸	۲/۲٥
Big-Car	۰/۹۹	۱/۰۰	٥	۰/۲۱	۳/٤۳

جدول۱۱. آزمون رمزی در مدل زمان پس از تخطی خط‌مبنا

آماره F	۲/۲۲
سطح معناداری	۰/۰۹

جدول۱۲. تحلیل خطاهای رگرسیون در مدل فاصله زمانی

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار استاندارد
باقیمانده	-۱/۷۳	۵/۵۲	-۳/۱۵E۱۲	۱/۰۲

جدول۱۳. پارامترهای هم‌خطی در مدل فاصله زمانی

متغیرها	Tolerance	VIF	Dimension	Eigenvalue	Condition Index
Constant			۱	۲/۳۷	۱/۰۰
direct	۰/۹۶	۱/۰۵	۲	۰/۷۸	۱/۷٤
one-conflict	۰/۹۸	۱/۰۲	۳	۰/٦۳	۱/۹٤
group	۰/۹۷	۱/۰۳	٤	۰/۲۲	۳/۳۰

جدول۱٤. آزمون رمزی در مدل فاصله زمانی

آماره F	۲/۵۸
سطح معناداری	۰/۰٦

جدول۱۵. تحلیل خطاهای رگرسیون در مدل زمان تا تصادف

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار استاندارد
باقیمانده	-۲/۰۳	۵/٦٤	-۱/۱۵E۵۱	۱/۰٤

جدول۱٦. پارامترهای هم‌خطی در مدل زمان تا تصادف

متغیرها	Tolerance	VIF	Dimension	Eigenvalue	Condition Index
Constant			۱	۳/٤۵	۱/۰۰
Mid-block	۰/٦۳	۱/۵۸	۲	۰/۸۳	۲/۰۳
Pedestrian- velocity	۰/۹٤	۱/۰٦	٤	۰/٦۳	۲/۳٤
one-conflict	۰/۹۱	۱/۱۰	۵	۰/۰٦	۷/۵٤
Vehicle-velocity	۰/۷۰	۱/٤۳	٦	۰/۰۲	۱۱/۸۳

جدول ۱۷. آزمون رمزی در مدل زمان تا تصادف

آماره F	۰/۵۵
سطح معناداری	۰/٦۹

Investigating the Effective Factors on the Types of Surrogate Safety Measures in the Conflicts between Pedestrians and Vehicles

Reza Vasei Zadeh, M.S. Grad., Department of Transportation, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Hossein Haghshenas, Associate Professor, Department of Transportation, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Meysam Akbarzadeh, Associate Professor, Department of Transportation, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

E-mail: ho_hagh@iut.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Surrogate safety measures make it possible to assess the level of risk and vulnerability of pedestrians. There are advantages to using these indicators: first, the independence of the accident statistics and some of its details and errors, and second, the possibility of examining risky interactions that did not lead to an accident, and third, in evaluating before and after safety policies and measures. In this research, practical surrogate safety measures related to pedestrian safety have been identified and the effective factors on these indicators have been determined. Innovations of the article includes the use of the Lane-based surrogate safety measure for pedestrians, as well as the combined examination of the Mid-block of pedestrian crossings in a street and at an intersection. Four Surrogate safety measures of Post Encroachment Time, Lane-based Post Encroachment Time, Gap Time and Time to Collision were calculated. Surrogate safety measures and extractable variables were extracted from the recorded videos in the streets of Isfahan and by linear fitting, significant variables for each surrogate safety measures as well as effective factors in increasing or decreasing each surrogate safety measures were identified. The results showed that the variables of Mid-block of pedestrian crossing, Conflict of a pedestrian with a car, presence of a SUV vehicle in the Conflict, gender of pedestrian, day light, Group crossing of pedestrian, direction of pedestrian movement, pedestrian velocity and car velocity are the most important Factors affecting safety of pedestrian and vehicle conflicts. It is important to pay attention to the mentioned variables in order to plan and predict appropriate facilities for pedestrians to cross the street.

Keywords: Pedestrian Safety, Conflict, Surrogate Safety Measures, Linear Regression Model