

اثر سنجی استفاده از علائم هشدار شنیرداری در افزایش ایمنی عابر پیاده در معابر شهری بر اساس شاخص‌های تداخل ترافیک

سید شفیق‌الله قدسی^۱، امین میرزا بروجردیان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، راه و ترابری دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار گروه راه و ترابری دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

boroujerdian@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۱۲/۲۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۴/۰۴]

چکیده

افزایش سرعت و روانی حرکت از جمله اهداف مدیریت ترافیک شهری محسوب می‌شود از طرف دیگر این افزایش سرعت باعث افزایش شاخص خطر در نقاط تلاقی وسایل نقلیه و عابر پیاده می‌شود. استفاده از علائم ترافیکی یکی از راهکارهای افزایش احتیاط رانندگان در این نقاط است که کارآئی آنها به عوامل متعدد بستگی دارد.

در این پژوهش سعی شده تا با نصب تابلوی گویا و فرستادن پیام‌های هشدار شنیرداری مبنی بر نزدیک شدن به محل عبور عابر روی امواج رادیویی اف ام خودروها توجه رانندگان بیش از پیش به چنین موقعیت‌هایی جلب شود تا میزان تداخلات بحرانی بین وسیله نقلیه و عابر پیاده کاهش یافته و در نهایت باعث افزایش ایمنی عابر پیاده شود. از آنجاییکه نتایج این تحقیق بر اساس شاخص‌های تداخل ترافیکی زمان مانده تا برخورد مدلسازی شده است، برای این کار داده‌های تداخلی بر اساس سیستم خودکار مبتنی بر داده‌های ویدیویی، از سه منطقه مختلف شهرستان قم جمع آوری شد. در این پژوهش پس از تصویربرداری از مناطق مطالعه شده در دو حالت با ارسال پیام هشدار صوتی و بدون آن به رانندگان، وضعیت تداخل وسایل نقلیه و عابران پیاده بر اساس شاخص زمان مانده تا برخورد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از مدل‌های این پژوهش بیانگر آنست که تابلوی گویا تداخلات کلی بین وسیله و عابر را ۱۰٪، تداخلات بحرانی بین این دو کاربر را ۲۶٪ کاهش داده است و به میزان ۰/۱۲۴ ثانیه در افزایش زمان مانده تا برخورد وسیله با عابر اثر مثبت دارد.

واژگان کلیدی: تابلوی گویا، تداخلات ترافیکی^۱، زمان تا برخورد، عابر پیاده، پیاده‌گذر^۲

۱- مقدمه

راه‌ها برای عابر پیاده، علاوه بر بکارگیری علائم و هشدارهای بصری، استفاده از قوای شنیرداری رانندگان برای دریافت اطلاعات و هشدارهای جاده‌ایی در رابطه با محل تردد عابران پیاده، می‌تواند جز کارآمدترین روش‌ها محسوب شود. طبق

امروزه ایمنی تردد در سطح شبکه‌های درون شهری و برون شهری یکی از اصول اساسی حاکم بر مهندسی راه، ترافیک و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است. عابران پیاده از جمله آسیب‌پذیرترین کاربران سیستم حمل و نقل هستند. برای ارتقا ایمنی

1. Traffic conflicts
2. crosswalk

خط‌کشی عرضی خیابان برای آشکار سازی محل برای عبور عابر از عرض خیابان، جز اولین اقدامات ایمن سازی راههای شهری برای عابر پیاده بود که پژوهشگران با انجام بررسی مقایسه‌ای بین مکان‌هایی که دارای خط‌کشی عابر پیاده است و مکان‌های که فاقد این اقدامات بودند نتایج قابل توجهی بدست آوردند. نتایج این پژوهش نشان دهنده کاهش دوبرابری سرعت وسایل نقلیه در موقعیت نزدیک شدن به محل عبور عابر و کاهش سه برابری تداخل بین عابر و وسیله در محل‌های دارای خط‌کشی نسبت به معابر بدون خط‌کشی است [4].

مطالعه ای توسط Várhelyi در سال ۱۹۹۶ در مورد استفاده همزمان خط‌کشی محل عبور عابر و تابلوی هشدار دهنده قائم آن، در سوئد انجام شد که نشان داد ۲۷٪ رانندگان هنگام نزدیک شدن به اینگونه علائم و تجهیزات برای جلوگیری از برخورد با عابر سرعت خود را کاهش می‌دهند و ۵۷٪ رانندگان کاهش سرعت ناچیز از خود نشان میدهند و ۱۶٪ رانندگان بدون توجه به علائم قائم با همان سرعت ادامه مسیر می‌دهند [5].

در سال ۱۹۹۳، Friedman و همکاران سعی کردند با روشن کردن سطح روسازی محل عبور عابر با نصب چراغ در دو رأس هر خط، میزان تأثیر آن نسبت به سایر مکان‌هایی که فاقد اینگونه تجهیزات هستند را بدست بیاورند. این روش دید راننده را در شب نسبت به عابر و محل پیاده‌گذر بالا برده و او را وادار به جستجوی بصری بیشتری نسبت به عابر و اطراف مسیر می‌کند. نتایج پژوهش بیانگر آن بود که حدود ۶۰٪ تصادفات عابر در شب در موقعیت‌هایی رخ می‌دهد که فاقد اینگونه تجهیزات است و نصب این تجهیزات این آمار را ۱۷٪ کاهش داده است [6].

با پیشرفت فناوری و استفاده از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند ۳ در زمینه‌های مختلف، مهندسان ترافیک و ایمنی نیز سعی دارند تا از فناوری‌های جدید برای افزایش ایمنی هرچه بیشتر سیستم حمل و نقل استفاده کنند. در یکی از پژوهش‌های انجام شده در فنلاند پژوهشگران قبل از خط ایست برای عابر

آخرین آمار سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۱ ۵۰ درصد کل تلفات حوادث رانندگی در جهان را عابران پیاده، دوچرخه و موتوسواران تشکیل می‌دهند که سهم تلفات عابران پیاده یک چهارم کل تلفات جاده‌ای است [1].

مطالعات نشان داده است که رانندگان به علائم شنیداری خیلی سریعتر نسبت به علائم دیداری عکس‌العمل نشان می‌دهند، به گونه‌ای که زمان عکس‌المعمل در برابر علائم شنیداری ۱۵۰ میلی ثانیه و در برابر علائم دیداری ۲۰۰ میلی ثانیه است [2]. از آنجا که تقریباً ۹۰ درصد اطلاعاتی که رانندگان در فرآیند رانندگی استفاده می‌کنند بصری است [3]، استفاده از روش مکمل که اطلاعات تابلوها را به صورت شنیداری به کاربران ارسال کند باعث کاهش خطای رانندگان در دریافت پیام‌ها شده و اطلاعات با احتمال بیشتری منتقل خواهد شد. پس ارسال پیام‌های هشدار دهنده شنیداری با استفاده از تابلوی گویا به رانندگان در موقعیت‌های نزدیک به محل خط‌کشی‌های عابر پیاده که احتمال تصادف به علت عدم توجه راننده به جلو و تابلوی‌های عمودی و افقی دیداری زیاد است، روشی مهم برای کاهش تصادفات بین وسیله و عابر پیاده خواهد بود. با توجه به اینکه جمع‌آوری داده‌های تداخلی با استفاده از روش تحلیل ویدیویی یک روش آسان و نوین است در این پژوهش سعی شد میزان ارتقا سطح ایمنی راه برای عابران پیاده، با استفاده از سیستم تابلوهای گویا به عنوان یکی از سامانه‌های ITS^۲ برای کاهش تداخلات بحرانی براساس شاخص تداخل ترافیک ارزیابی شود.

۲- مروری بر مطالعات گذشته

همزمان با موضوع افزایش روز افزون تعداد وسایل نقلیه، ایمنی تردد در شبکه راه‌های شهری و برون‌شهری نیز جز موضوعات مهم مورد مطالعه پژوهشگران قرار گرفته است. ارائه راهکارها و ابداع روش‌های جدید بمنظور ارتقاء ایمنی راه‌های شهری و برون‌شهری برای کاربران غیرموتوری و عابران پیاده از جمله اهداف این مطالعات است.

1 World health organization

2 Intelligent traffic system

۳- روش تحقیق

برای انجام مطالعه میدانی در این پژوهش سه موقعیت مختلف از شبکه خیابان‌های شهرستان قم انتخاب شد. موقعیت‌های اول و دوم در امتداد بلوار جمهوری اسلامی و موقعیت سوم در امتداد بلوار شهید نواب صفوی قرار داشت. از آنجا که این موقعیت‌ها بدون چراغ راهنمایی بود و دارای حجم ترافیک وسیله و عابر زیادی بود، نرخ تداخل بین وسایل نقلیه و عابر پیاده زیاد بود و فقدان سرعت‌گیر قبل از رسیدن به خط کشی در این موقعیت‌ها، آن‌ها را به محلی‌های مناسبی برای انجام این پژوهش تبدیل کرده بود. موقعیت اول خیابان اصلی داخلی شهری است که دارای سه خط در هر جهت است که یک خط آن به عنوان پارکینگ وسایل نقلیه استفاده می‌شود. موقعیت دوم و سوم نیز جزئی از خیابان‌های اصلی داخل شهری بود که هر کدام دارای سه خط سواره رو در جهت مورد مطالعه است.

جمع‌آوری داده‌های ویدیویی در موقعیت اول از روی ساختمان پنج طبقه با فاصله حدود ۴۰ متر از محل پیاده‌گذر در شش روز کاری، از ۱۵ الی ۲۰ شهریور ماه ۱۳۹۵ و بین ساعات ۱۲:۰۰ تا ۱۷:۰۰ بعد از ظهر، در موقعیت دوم در سه روز کاری، از ۲۶ الی ۲۸ مهر ماه ۱۳۹۵ آخر هفته در همان ساعتها و از روی ساختمان شش طبقه با فاصله ۴۵ متر از محل پیاده‌گذر و در موقعیت سوم داده‌های ویدیویی از روی پل عابر با فاصله ۴۳ متر از محل پیاده‌گذر و در چهار روز کاری، ۶ الی ۱۰ آذر ماه ۱۳۹۵ و بین ساعت ۸:۰۰ الی ۱۶:۰۰ بعد از ظهر انجام شد.

شکل ۱. محل استقرار دوربین و فرستنده ارسال پیام گویا

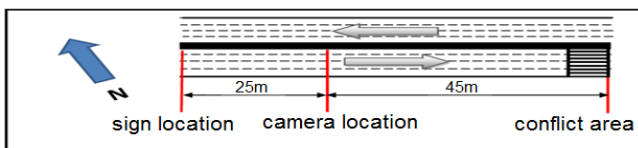


Fig. 1. Conflict area, sign & camera location

همان گونه که در شکل ۱ (الف تا ج) نیز دیده می‌شود تمام ناحیه تداخلی در هر سه موقعیت به صورت کامل تحت

پیاده پایه‌هایی که قادر به نمایش تصاویر سه بعدی است نصب کردند که این پایه‌ها در زمانی که چراغ برای وسایل نقلیه قرمز می‌شود به طور اتوماتیک تصاویر سه بعدی را به نمایش می‌گذارد که نشان دهنده عبور کودکان در حال عبور از عرض خیابان است. نتایج پژوهش قبل از نصب تابلو نشان دهنده این بود که ۳۰٪ رانندگان بدون توجه به علائم از محل عبور عابر رد می‌شدند که آمار بعد از نصب تابلوی سه بعدی با ۱۹٪ کاهش همراه شد [7]. پژوهش‌های دیگری با استفاده از دوربین نمایش دهنده پیاده‌گذر که دارای یک عده حس‌گر بود انجام شد. این حس‌گرها هرگونه حرکت عابر در سطح پیاده‌گذر را سریعاً نمایش داده و رایانه متصل به آن بلافاصله بعد از تشخیص عابر چراغ ترافیکی را برای وسایل نقلیه قرمز کرده و حق تقدم را به عابران پیاده داد. نتایج مطالعه نشان داد که آگاهی رانندگان از حضور عابر ۸۱٪ بیشتر از زمان قبل از نصب این سیستم شد و تداخلات بین عابر و وسیله نقلیه را به اندازه ۱۹٪ کاهش داد [8].

در سال ۲۰۱۶ بروجردیان و همکاران در پژوهشی با ارسال پیام‌های شنیداری صوتی رعایت بیشینه سرعت مجاز روی گیرنده‌های رادیویی وسایل نقلیه سعی کردند تا عکس‌العمل کاهش سرعت رانندگان را دریابند که نتایج این پژوهش نشان داد که پیام‌های هشدار صوتی، سرعت میانگین، سرعت میانه و سرعت عملکردی را به ترتیب ۱۸٪، ۱۹٪ و ۲۲٪ کاهش داده و بطور متوسط باعث کاهش ۱۸ درصدی سرعت وسایل نقلیه شد [9].

با مرور کلی بر پیشینه مطالعات انجام شده در زمینه روش‌های سنتی و نوین، ایمن‌سازی محل پیاده‌گذرها به راحتی می‌توان دریافت که بیشتر مطلق این روش‌ها مبتنی بر استفاده از قوای دیداری رانندگان بوده و نتایج حاصله از پژوهش‌ها نیز بیشتر برپایه داده‌آماري یا تصادفات است. در این پژوهش سعی شد تا میزان تاثیر پیام‌های شنیداری ارسال شده به رانندگان در ایمنی محل عبور عابر براساس شاخص‌های تداخل ترافیک بررسی شود.

۳-۱ تحلیل ویدیویی

همان‌گونه که گفته شد در این پژوهش از روش تجزیه و تحلیل ویدیویی برای جمع‌آوری داده‌های حرکت تداخلی کاربران و محاسبه شاخص ایمنی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. بعد فیلمبرداری از روش پردازش تصویر، اطلاعات مورد نیاز برای مدلسازی آماده شد. از جمله پیچیدگی‌هایی که در فرآیند پیاده‌سازی داده‌های پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفت، تغییرات زاویه خودرو و عابر نسبت به دوربین، کاهش ابعاد خودرو و عابر به دلیل دورنما بودن تصاویر، تغییرات در نور منعکس شده از خودروها و عابر، در برخی از موارد مخفی شدن وسایل نقلیه و عابر به دلیل سرعت زیاد و همپوشانی خودروهایی که در تداخل شرکت نداشتند با وسایل نقلیه اشتراک‌کننده در تداخل است. برای خنثی کردن چالش‌های ذکر شده از سیستم پردازش انتخابی تصاویر استفاده شد که بعد از پیدا کردن تداخلات بین وسیله نقلیه و عابر از فیلم‌ها، مسیر تداخل آنها با سرعت ۰/۱ ثانیه بر اساس تغییرات تصاویر تعقیب و ردیابی شد. مختصات لحظه‌ای وسیله نقلیه و عابر اشتراک‌کننده در تداخل توسط نرم‌افزار تعقیب‌کننده مسیر ۱ بعد از هر ۳ فریم یا ۰/۱ ثانیه به صورت اعداد حقیقی و به صورت خودکار در فایل جداگانه‌ای ثبت شد.

۳-۲ تحلیل شاخص تداخل ترافیکی

پس از کالیبره کردن دوربین با استفاده از تحلیل ویدیویی مسیر حرکت کاربران بدست آمد. با توجه به عدم رخداد تصادف در فیلم‌های برداشت شده، فرض می‌شود که یکی از کاربران اشتراک‌کننده در تداخل در سرعت و مسیر حرکت خود مانور اصلاحی انجام می‌دهد. در این مرحله بعد از آن زمان تا برخورد هر تداخل تعیین می‌شود. زمان تا برخورد مساوی با زمان باقی مانده برای برخورد دو کاربر راه است در صورتی که در سرعت و مسیر فعلی آنها تغییر رخ ندهد. مختصات کاربران راه و سرعت آنها از پارامترهای مهم تعیین

پوشش دوربین‌های داده‌برداری قرار گرفته است. در تمام ساعات داده‌برداری، تابلوی هشدار دهنده گویا که در فاصله ۷۰ متری قبل از محل عبور عابر نصب شده بود هر ۵ دقیقه به صورت نوسانی فعال و غیر فعال بود.

فرستنده تابلوی صوتی مورد استفاده قادر است تایم‌های مختلف هشدار را تا شعاع ۲۰۰ متری خود روی رادیوهای وسایل نقلیه ارسال کند که در این مطالعه خاص از پیام هشدار "محل عبور عابر پیاده" استفاده شد. با استفاده از تابلوی گویا پیام مذکور را به چهار فرکانس رادیویی جوان، پیام، قم و تهران که بیشترین مخاطب را در شهرستان قم دارد ارسال شد. فرستنده مورد استفاده در این پژوهش، قادر به ارسال پیام به چهار فرکانس رادیویی به صورت همزمان است. در این پژوهش برای تعیین درصد رانندگان شنونده چهار فرکانس پیش گفته، پرسشنامه‌ای تهیه شد و با انجام مصاحبه از ۳۰۰ راننده مختلف به صورت تصادفی همزمان با ساعات داده‌برداری، درصد شنندگان این چهار فرکانس تعیین شد تا آثار مستقیم و غیر مستقیم تابلو بر رفتار و عکس‌العمل رانندگان مشخص شود. زیرا درصدی از رانندگان ممکن است با شنیدن پیام گویا عکس‌العمل نشان داده و برای جلوگیری از برخورد سرعت و مسیر خود را تغییر دهند که این گروه از رانندگان تحت تأثیر مستقیم پیام قرار گرفته‌اند و تعدادی از رانندگان نیز ممکن است تحت تأثیر رانندگان گروه اول واکنش نشان داده و جهت حرکت و مسیر خود را تغییر دهند که این گروه از رانندگان به طور غیر مستقیم تحت تأثیر تابلوی گویا قرار گرفته‌اند.

هدف از این پژوهش تعیین میزان تأثیر پیام‌های شنیداری بر کاهش تداخل بین وسیله نقلیه و عابر پیاده براساس شاخص-های تداخل ترافیک با استفاده ابزارهای متداول تحلیل‌کننده داده‌های ویدیویی است. برای جمع‌آوری داده‌های تداخلی از روش تحلیل ویدیویی، تعقیب مسیر همزمان وسیله نقلیه و عابر پیاده از یک تصویر به تصویر بعدی استفاده شد. در این روش مختصات دقیق وسیله نقلیه و عابر در هر تصویر پس از کالیبره کردن دوربین بدست آمد. در نهایت زمان مانده تا برخورد وسیله نقلیه با عابر در هر مانور محاسبه شد [11].

در یک زمان مشخص از فرآیند نزدیک شدن، حالت کنونی وسیله نقلیه و عابر پیاده می‌تواند با سرعت آنها VS^1 و PS^2 ، فاصله طولی وسیله نقلیه تا نقطه تداخل ($LODV^3$) و فاصله جانبی عابر پیاده تا نقطه تداخل ($LADP^4$) تعریف شود.

به عنوان زمان رسیدن عابر تا نقطه تداخل و زمان رسیدن وسیله نقلیه تا نقطه تداخل تعریف می‌شود. اگر حرکت کنونی بدون تغییر فرض شود و W_0 به عنوان عرض وسیله نقلیه تعریف شود، بنابراین برای اثبات حالت های تداخل از رابطه ۳ استفاده می‌شود.

$$\left| TTCP_{PED} - TTCP_{VEH} \right| \leq \Delta t_1 \quad (3)$$

$$TTCP_{VEH} \geq TTCP_{PED}$$

زمانیکه مقدار Δt_1 از رابطه ۴ بدست آید تداخل به شکل (الف) رخ خواهد داد و زمانیکه مقدار Δt_2 از رابطه ۵ بدست آید تداخل به شکل (ب) خواهد بود.

$$TTCP_{PED} = \frac{LODV}{PS} \quad (4)$$

$$TTCP_{VEH} = \frac{LODV}{VS}$$

$$\Delta t_1 = \frac{W_0 / 2}{PS}$$

$$\left| TTCP_{PED} - TTCP_{VEH} \right| \leq \Delta t_2 \quad (5)$$

$$TTCP_{VEH} < TTCP_{PED}$$

$$\Delta t_2 = \frac{W_0 / 2}{VS}$$

و مقدار TTC^0 نیز از رابطه ۶ تعیین می‌شود

$$TTC = \begin{cases} TTCP_{VEH} \rightarrow TTCP_{VEH} \geq TTCP_{PED} \\ TTCP_{VEH} \rightarrow TTCP_{VEH} < TTCP_{PED} \end{cases} \quad (6)$$

بنابراین در هر فریم مقدار تداخل ترافیکی وسیله نقلیه و عابر تعیین و تمامی منحنی‌های زمان تا برخورد جمع‌آوری

و محاسبه زمان تا برخورد محسوب می‌شود. همان‌گونه که قبلاً گفته شد و در شکل (۲) نیز دیده می‌شود این پارامترها از تعقیب کردن مسیر کاربران اشتراک کننده در تداخل از تصاویر با سرعت ۱۸ فرم در ثانیه بدست می‌آید. برای تبدیل کردن مختصات بدست آمده از تصاویر به مختصات واقعی از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده می‌شود [12].

$$x = p(X, Y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \quad (1)$$

$$y = q(X, Y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \quad (2)$$

که در آن: (x, y) نشان دهنده مختصات واقعی، (X, Y) مختصات تصویر و n دقت چند جمله‌ای را در توان n نشان می‌دهد. استفاده از مقادیر بدست آمده از رابطه‌های (۱) و (۲) می‌تواند با حل‌های ماتریسی پیچیده منجر به جواب نهایی زمان تا برخورد بین دو کاربر راه شود. در حالی که روش‌های تجربی به راحتی می‌تواند تمام داده‌های تداخلی بین وسیله و عابر را ارائه کند. با وجود اینکه تمام پارامترهای کینماتیکی وسیله نقلیه را می‌توان به عنوان یک نقطه در نظر گرفت ولی برای واقعی شدن تجزیه و تحلیل شرایط برخورد شکل هندسی با ابعاد مشخص وسیله نقلیه باید در نظر گرفته شود که اینکار برای عابر پیاده لزومی نداشته و می‌توان پارامترهای حرکتی آنرا به عنوان یک نقطه فرض کرد [13].

شکل ۲. مدل ابعاد و شناسایی حالت‌های برخورد عابر و وسیله

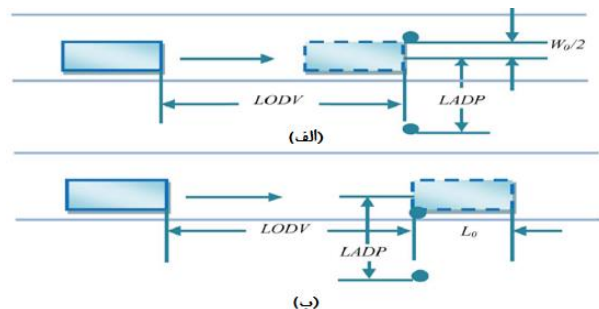


Fig. 2. Vehicle and pedestrian collision model

- 1 Vehicle Speed
- 2 Pedestrian Speed
- 3 vehicle longitudinal distance to the conflict point
- 4 pedestrian lateral distance to the conflict point
- 5 Time to collision

۱۵ ساعت آن بدون حضور تابلوی گویا و ۱۵ ساعت آن با حضور تابلوی گویا صورت گرفته در مجموع ۱۴۴ تداخل وسیله با عابر شناسائی و مختصات برداری شد که ۵۳/۵٪ تداخلات آن در زمان‌های عدم حضور تابلوی گویا و ۴۶/۵٪ (۲۴/۱۸٪ از اثر مستقیم و ۲۲/۳۲٪ از اثر غیر مستقیم تابلو) تداخلات در زمان‌های حضور تابلوی گویا اتفاق افتاده است.

از میان تداخلات ثبت شده ۷۰ تداخل بحرانی بدست آمده که ۵۰٪ تداخلات بحرانی (۲۶٪ از اثر مستقیم و ۲۴٪ از اثر غیرمستقیم تابلو) در زمان حضور تابلوی گویا و ۵۰٪ تداخلات در زمان‌های بدون حضور تابلوی گویا رخ داده است. متوسط کمینه زمان تا برخورد در ۳۵ تداخل بحرانی بدون حضور تابلوی گویا ۰/۶۵ ثانیه و متوسط کمینه زمان تا برخورد در ۳۵ تداخل بحرانی با حضور تابلوی گویا حدود ۱/۱۴ ثانیه بوده که علاوه بر نتایج بدست آمده از مدل نیز نشان می‌دهد که تابلو زمان بیشتری را برای انجام مانور اصلاحی در زمان تداخلات بحرانی در اختیار عابر و راننده قرار می‌دهد. برای مقایسه و تحلیل جزئیات بیشتر نتایج مدل بر اساس توزیع مقادیر کمینه زمان تا برخورد بر روی متغیر-های مستقلی مانند حضور یا عدم حضور تابلوی گویا، برای حرکت عابر پیاده از پیاده رو به سمت بلوار و برعکس و خط عبوری که تداخل در آن اتفاق می‌افتد می‌توان به مقادیر آمارهای ارائه شده در جدول (۱) توجه کرد.

می‌شود. اما همان‌گونه که در شکل (۳) نیز دیده می‌شود، از تمام تداخلات بدست آمده از مقدار کمینه زمان مانده تا تصادف به عنوان شاخص مورد نظر در تحلیل و مدلسازی استفاده می‌شود.

شکل ۳. منحنی تئوری TTC (Laureshyn, 2010)

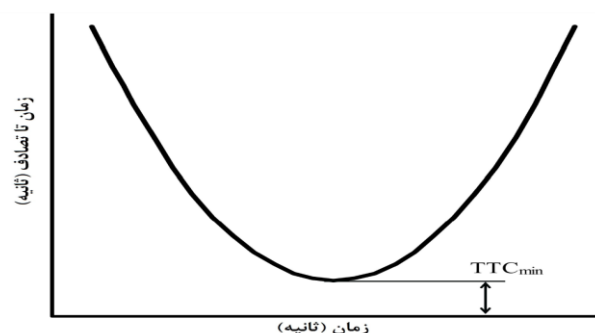


Fig. 3. theory of TTC

۴- مقایسه و تحلیل نتایج

نتایج پرسشنامه نشان داد که ۴۳٪ رانندگان رادیو گوش نمی‌کردند و ۵۷٪ رانندگان شنونده رادیو بود که از این بین ۵۲٪ آن‌ها شنونده یکی از چهار فرکانس رادیویی مورد نظر بوده‌اند که می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر تابلو بر نتایج تداخلات بین وسیله و عابر ۵۲٪ به صورت مستقیم و ۴۸٪ به صورت غیر مستقیم است. در موقعیت اول از جمع‌آوری ۳۰ ساعته داده که

جدول ۱. مدل رگرسیون ANOVA مقادیر کمترین زمان مانده تا برخورد

Source	SS	df	MS	Number of obs =	110
Model	5.11086804	3	1.70362268	F(3, 106) =	6.42
Residual	28.1372596	106	.265445845	Prob > F =	0.0005
Total	33.2481276	109	.305028694	R-squared =	0.1537
				Adj R-squared =	0.1298
				Root MSE =	.51521

TTCmin	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
sign	.4558065	.1059543	4.30	0.000	.2457418 .6658713
pedm	-.2725036	.1575295	-1.73	0.087	-.5848212 .0398141
lane	.1183776	.1075333	1.10	0.273	-.0948176 .3315728
_cons	1.03879	.1633557	6.36	0.000	.7149216 1.362659

Table 1. Model of TTC regression on variables

جدول ۲. مدل رگرسیون ANOVA مقادیر کمترین زمان مانده تا برخورد

Source	SS	df	MS	Number of obs = 218		
Model	2.72822993	4	.682057483	F(4, 213) =	3.80	
Residual	38.2108494	213	.179393659	Prob > F =	0.0052	
				R-squared =	0.0666	
				Adj R-squared =	0.0491	
				Root MSE =	.42355	
Total	40.9390793	217	.188659352			

ttc	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
sign	.1445052	.0608785	2.37	0.019	.0245037	.2645068
pedm	-.293863	.1107183	-2.65	0.009	-.512107	-.075619
D1	.1080776	.0771422	1.40	0.163	-.0439824	.2601376
D2	.1698321	.0713843	2.38	0.018	.029122	.3105422
_cons	1.062995	.121101	8.78	0.000	.8242851	1.301705

Table 2. Model of TTC regression on variables

از جمله ۵۸۰ تداخل بدست آمده ۴۶/۲٪ تداخلات در زمان حضور تابلوی گویا (۲۴/۱٪) از اثر مستقیم و ۲۲/۱٪ از اثر غیر مستقیم تابلوی گویا و ۵۳/۸٪ تداخلات در زمان بدون حضور تابلوی گویا اتفاق افتاده است. از میان تداخلات ثبت شده ۲۱۸ تداخل بحرانی بدست آمده که ۳۷٪ تداخلات بحرانی در زمان حضور تابلوی گویا (۱۹/۲۴٪) از اثر مستقیم و ۱۷/۷۶٪ (از اثر غیر مستقیم تابلوی) و ۶۳٪ تداخلات در زمان-های بدون حضور تابلوی گویا صورت گرفته است. قابل گفتن است که در تمام دوره زمانی داده برداری زمان‌های حضور و عدم حضور تابلوی گویا مساوی بوده که این خود بیانگر آنست که تابلوی گویا نقش مؤثر در کاهش تداخلات بین وسیله نقلیه و عابر را ایفا کرده می‌کند. از تمامی تداخلات ثبت شده ۲۱۸ تداخل بحرانی بدست آمده که مدل بر اساس این تعداد مشاهدات استوار است که برای توصیف شرایط اثر-گذاری پارامترهای مستقل به روی زمان مانده تا برخورد نتایج با سطح اطمینان بهتری نسبت به مدل‌های قبلی ارائه می‌کند. با توجه به اینکه تمامی متغیرهای مستقل از نوع Dummy است، رگرسیون ساخته شده یک رگرسیون ANOVA است. مدل اولیه ساخته شده مطابق جدول (۳) است. برای بدست آوردن مقدار متغیر وابسته از چهار متغیر مستقل از رابطه ۷ استفاده می‌شود.

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 \quad (7)$$

$$TTC \min = 1.17 + 0.12 \text{ sign} - 0.28 \text{ pedm} + 0.1D1 + 0.16D2$$

همان‌گونه که در جدول (۱) دیده می‌شود p -value ضریب مربوط به خط عبور در سطح معنی داری ۵٪ قرار ندارد بنابراین تأثیری در سطح معنی داری ۵٪ بر مقدار شاخص زمان تا تصادف ندارد. مقادیر p -value هر دو ضریب مربوط به تابلو و جهت حرکت عابر پیاده در سطح معنی داری ۵ درصد تأثیر گذار می‌باشند و مقدار شاخص کمینه زمان تا تداخل برای حالت با تابلو به میزان ۰/۴۳۳ بیشتر از حالت بدون تابلو است، این بدین معنی است که وجود تابلوی گویا در ارتقاء ایمنی تأثیر گذار بوده است. نتیجه دیگر مدل این است که برای حرکت عابر از سمت بیمارستان به سمت بلوار خطرناک‌تر از حالت معکوس آنست زیرا میدان دید راننده نسبت به عابر پیاده در خط نزدیک بیمارستان به سبب حضور خودروهای متوقف در کنار سواره رو کاهش پیدا می‌کند. با وجود اینکه مدل مورد نظر از دیدگاه کیفیت ارائه نتایج بر اساس اهداف تعیین شده پاسخگوی سوالات طرح شده است ولی از دیدگاه کمیت آماری داده‌های تداخلی دارای اعتبار با سطح بالا نیست. پس مدل ارائه شده در جدول ۲ از یکجا کردن داده‌های موجود و جمع‌آوری داده‌های تداخلی جدید از موقعیت‌های دوم و سوم ساخته شد. جمع‌آوری داده‌ها برای ساخت مدل بعدی از فیلمبرداری ۶۹ ساعته در ۱۳ روز از سه موقعیت متفاوت صورت گرفته است که حدود ۵۸۰ تداخل در کل این ساعت بین وسیله و عابر ثبت و شناسایی شده است.

برای بدست آوردن مقدار متغیر وابسته از سه متغیر مستقل از رابطه ۸ استفاده می‌شود.

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 \quad (۸)$$

$$TTC \min = 1.17 + 0.12 \text{sign} - 0.28 \text{pedm}$$

همان‌گونه که در مدل ارائه شده در جدول (۲) دیده می‌شود، مقدار *p-value* متغیرهای خط عبوری (*D1* و *D2*) در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده و با حذف آن‌ها و ساخت مجدد آن مدل نهایی ارائه شده در جدول (۳) بدست می‌آید.

جدول ۳. مدل رگرسیون ANOVA مقادیر کمترین زمان مانده تا برخورد با حذف متغیر خط عبوری ۱ و ۲

Source	SS	df	MS	Number of obs =	218
Model	1.71031531	2	.855157655	F(2, 215) =	4.69
Residual	39.228764	215	.182459367	Prob > F =	0.0102
				R-squared =	0.0418
				Adj R-squared =	0.0329
				Root MSE =	.42715
Total	40.9390793	217	.188659352		

ttc	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
sign	.124186	.0602694	2.06	0.041	.0053915	.2429805
pedm	-.2874286	.1078131	-2.67	0.008	-.4999347	-.0749226
_cons	1.170441	.1015678	11.52	0.000	.970245	1.370637

Table 3. Model of TTC regression by eliminating the variable D1&D2

ج- در حالتی که تابلوی گویا فعال و جهت حرکت از بلوار به سمت پیاده‌رو باشد: این حالت نشان می‌دهد که متغیر مستقل تابلوی گویا با ضریب ۰/۱۲۴ زمان مانده تا برخورد بحرانی را افزایش می‌دهد و نشان دهنده تأثیر تابلوی گویا در کاهش تداخلات بحرانی و افزایش ایمنی محل عبور عابر پیاده است.

د- در حالتی که تابلوی گویا فعال و جهت حرکت از پیاده‌رو به سمت بلوار باشد: این حالت نشان می‌دهد که تابلو و جهت حرکت عابر هردو در کاهش و افزایش زمان مانده تا برخورد بحرانی تأثیر داشته که اثر تابلوی گویا با ضریب ۰/۱۲۴ مثبت و اثر جهت حرکت عابر با ضریب ۰/۲۹ در یکی از جهات حرکت منفی است. چون مقدار ضریب جهت حرکت بیشتر از ضریب تابلو است بنابراین زمانی که تابلو فعال بوده و جهت حرکت نیز از سمت پیاده‌رو به سمت بلوار است زمان مانده تا برخورد بحرانی با ضریب ۰/۱۶۶ کاهش پیدا می‌کند. در این مدل هر دو ضریب مربوط به تابلو و جهت حرکت عابر پیاده در سطح معنی داری ۵ درصد تأثیر گذار است و مقدار شاخص کمینه زمان تا تداخل برای حالت با تابلو به میزان

همان‌گونه که در مدل ارائه شده در جدول (۳) دیده می‌شود، مقادیر *p-value* متغیر *sign* و *pedm* در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است و با توجه به رابطه ۷ و اینکه متغیرهای مستقل از نوع *Dummy* است و مقدار آن فقط می‌تواند صفر و یک باشد به راحتی می‌توان فهمید که فقط در چهار حالت ممکن است متغیرهای مستقل روی *TTC min* تأثیرگذار باشد که هریک از این حالت‌ها را بررسی کرد.

الف- زمانی که تابلوی گویا خاموش باشد و جهت حرکت از بلوار به سمت پیاده‌رو باشد: این حالت ضمن حفظ معنی داری تأثیر تابلوی گویا نشان می‌دهد جهت حرکت تأثیری در کاهش و افزایش کمینه زمان مانده تا برخورد ندارد.

ب- در حالتی که تابلوی گویا خاموش باشد و جهت حرکت از پیاده‌رو به سمت بلوار باشد: این حالت نشان می‌دهد که متغیر مستقل جهت حرکت در این مدل تأثیر منفی داشته و زمان مانده تا برخورد را به اندازه ۰/۲۹ کاهش می‌دهد و چون در ساخت مدل، حرکت از سمت پیاده‌رو به سمت بلوار قبول شده بود پس این جهت به اندازه ذکر شده ناامن‌تر از جهت مخالف آن برای عبور عابر پیاده است.

۳. از میان متغیرهای مستقل داده‌برداری شده که در مدل استفاده شد متغیر مستقل خط عبور در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نشده ولی با توجه به تحلیلی بودن مدل در سطح اطمینان ۹۰٪ می‌تواند معنی‌دار باشد که نشان دهنده این است که تداخل‌هایی که در خط‌های عبوری نزدیک پیاده‌رو انجام می‌شود زمان مانده تا برخورد کمتری نسبت به خطوط وسطی و کنار بلوار در اختیار کاربران قرار می‌دهد. پس ایجاد تداخل در این خط عابران را با خطر بیشتری مواجه می‌کند.

۴. حدود ۵۵٪ تداخلات در زمان‌های عدم حضور تابلوی گویا و ۴۵٪ تداخلات در زمان حضور تابلوی گویا ثبت و شناسایی شده است که نشان دهنده آنست که پیام‌های شنیداری حدود ۱۰٪ در کاهش تداخلات بین وسیله و عابر نقش داشته و می‌تواند سبب افزایش ایمنی محل عبور عابر پیاده شود.

۵. از کل تداخلات ثبت شده در داده برداری ۲۱۳ تداخل بحرانی توسط مدل مورد شناسایی قرار گرفت که از جمله این تداخلات بحرانی ۶۳٪ آن در زمان‌های بدون حضور تابلوی گویا و ۳۷٪ آن در زمان‌های حضور تابلوی گویا در زمان‌های مساوی داده برداری اتفاق افتاده است که نشان دهنده کاهش ۲۶٪ میزان تداخلات بحرانی در زمان‌های حضور تابلوی گویا است.

۶- منابع:

1. Violence, W.H.O., I. Prevention, and W.H. Organization, *Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action*. 2013: World Health Organization.
2. *Permanent International Association of Road Congress Anal Report(PIARC)*. World Road Association, 2003.
3. *Manual Highway Safety, American association of state highway and transportation officials (AASHTO)*. Washington, DC, 2010. 10.
4. Ekman, L., "On the Treatment of Flow in Traffic Safety Analysis, -a non-parametric approach applied on vulnerable road users". 1996, Lund University.
5. Várhelyi, A., *DRIVERS'SPEED BEHAVIOUR AT A ZEBRA CROSSING*. 1996 (No. LUTVDG/1-55-1996.).
6. Chacham, Chaim, Roni Friedman, and Uri Amir., "Light flasher apparatus." U.S. Patent No. 5,252,893. 12 Oct. 1993.

۰/۱۲۴ بیشتر از حالت بدون تابلو است، این بدین معنی است که وجود تابلو در ارتقای ایمنی تاثیر گذار بوده است. از طرفی متغیر جهت حرکت که جهت حرکت عابر را نشان می‌دهد نیز معنی‌دار است. بنابراین عابرانی که از پیاده‌رو به سمت بلوار می‌روند زمان تا تصادف کمتری به میزان ۰/۲۸۷ نسبت به عابران جهت مخالف دارند. بنابراین این جهت برای عابران خطرناک‌تر است. ناامن‌تر بودن جهت حرکت از پیاده‌رو به سمت بلوار دلایل متعددی می‌تواند داشته باشد. از این جمله می‌توان به کاهش میدان دید راننده نسبت به عابر به سبب حضور خودروهای متوقف در عرض خیابان و کنار سواره‌رو و عدم دید کافی عابران نسبت به تغییرات مکانی وسایل نقلیه در حال حرکت و درک نادرست عابر از آنها به واسطه حضور همین خودروهای پارک شده در کنار خیابان که باعث میشود عابر از این جهت با سرعت بیشتری وارد پیاده‌رو شود، اشاره کرد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش آثار تابلوی گویا در کاهش تداخل وسیله و عابر بر اساس شاخص‌های تداخل ترافیک در سه موقعیت مختلف شهرستان قم مورد بررسی قرار گرفت با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده نتایج زیر حاصل شد.

۱. مدل‌های ساخته شده نشان داد که حضور تابلوی گویا با سطح معنی اطمینان ۹۵٪ زمان مانده تا تداخلات بحرانی وسیله و عابر را به میزان ۰/۱۲۴ بیشتر از حالت بدون تابلوی گویا افزایش داده است که با اطمینان می‌توان گفت که تابلوی گویا در ایمن سازی محل عبور عابر نقش مؤثر داشته است.

۲. نتایج استخراج شده از مدل با سطح اطمینان ۹۵٪ بیانگر آن است که جهت حرکت عابر در کاهش و افزایش زمان مانده تا برخورد تأثیر گذار بوده و عابرانی که از پیاده‌رو به سمت بلوار حرکت می‌کنند زمان تا برخورد کمتری به میزان ۰/۲۸۷ نسبت به عابران جهت مخالف دارند که نشان دهنده این است که مسیر حرکت از پیاده‌رو به سمت بلوار ناامن‌تر از جهت مخالف آن است.

11. Boroujerdian, A., A. Karimi, and S. Seyedabrishami, *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, Vol.1, No.4, Spring 2014.
12. Ismail, K., et al., *Automated analysis of pedestrian-vehicle conflicts using video data*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2009(2140): p. 44-54.
13. Jiang, X., W. Wang, and K. Bengler, *Intercultural analyses of time-to-collision in vehicle-pedestrian conflict on an urban midblock crosswalk*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015. **16**(2): p. 1048-1053.
7. Leden, L., et al., *A sustainable city environment through child safety and mobility—a challenge based on ITS? Accident Analysis & Prevention*, 2014. **62**: p. ۴۱۴-۴۰۶.
8. Sisiopiku, V. *Engineering methods for designing safe pedestrian facilities*. in *ICTC Extra-Workshop Paper*. 2003.
9. Boroujerdian, A.M. and S. Sheikhy, *A Method for Traffic Calming Using Radio Transmitter*. Journal of Advanced Transportation ,2017.
10. S. sheikh "approach to improving road safety by using ITS Traffic control device (voice signs) Master's Thesis, 1392. (In Persian).

Effect of Using Aural Warning Signs on Increasing Pedestrian Safety in Urban Passages Based on Traffic Conflict Index

Aminmirza Boroujerdian

1. Assistant Prof., Transportation Department, Faculty of Civil and environmental, Tarbiat Modarres University
Sayed Shafiqullah Qodsi
2. M.Sc. Student, Transportation Department, Faculty of civil and environmental, Tarbiat Modarres University

boroujerdian@modares.ac.ir

Abstract

Road accident is one of the most important factors which are threatening Iran's general safety, becoming a real national disaster. Statistics show that unlike different indicators, traffic accident risk's and its casualties are in high level. In driving accidents, pedestrians have less immunity, therefore it is the cause of most of the damages, and has allocated the highest percentage of damage and injury to itself. One of the most important factors in traffic engineering is pedestrian crossing safety. Investigating the parameters affecting the pedestrian's safety margins, and their relationship with identifying the main causes of accidents related to pedestrians on the streets without traffic signs are of important role. Although increasing rate of vehicles use in Iran has become an unavoidable issue, as pedestrians are accounted as one of most necessary parts of modern life, numerous challenges in regard with decreased speed and mobility of urban traffic flow in connection with pedestrian are readily imaginable. Speed and mobility increase are counted as urban traffic management goals. On the other hand, this speed increase causes an increase in hazard index at vehicle and pedestrian conflict points. Using traffic signs is a solution to enhance the drivers' caution, the performance of which depends upon a variety of factors such as cultural factors, road infrastructure and behavior of drivers and pedestrians. For this purpose, 69 hours of videos, recorded in 13 days, were evaluated. This study was cross-sectional and was conducted on the basis of observational data. Data analysis was performed using STATA 12 software and linear regression method.

In this research, using voice message signs before the pedestrian crossing place marked by ladder road horizontal signs as the crossing place, and sending the voice message alarm of approaching the pedestrian crossing place on 4 different frequency channels on FM waves, the attempt was to draw incoming drivers' attention to this situations causing a decrease in the number of conflicts and an increase in safety using a voice sign, so that the vehicles receiver play the message for the driver. This research is based on the use of traffic conflicts indices, more precisely the Time to Collision index (TTC). To do this, the conflicts data was gathered using an automatic video data mining system, analyzing videos from three different points in the city of Qom, Iran, before and after using the voice message sign. The first point was near the Valieasr Hospital along with Jomhuri Eslami BLVD. The second point was also along with Jomhuri Eslami BLVD near Basij square and the third point was along with the Shahid Navab Safavi BLVD near the Abal-Basir high school. In this research, after capturing videos from study points in both situations of usual traffic flow and traffic flow sending the warning voice message, condition of vehicle-pedestrian conflict TTC index was evaluated. The models results showed that the use of voice sign decreases the overall conflicts by 10%, the critical conflicts by 26% and increases the time to collision by 0.124 seconds.

Keywords: Voice signs, Traffic conflict, Time to collision, crosswalk