

## مقایسه ایمنی عابر پیاده در تداخل با اتومبیل ها و موتورسیکلت ها

### بر اساس شاخص های تداخلی

#### مقاله پژوهشی

مصطفی شفاعتی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
امین میرزا بروجردیان\*، استادیار، دانشکده عمران، گروه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Boroujerdian@modares.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۱/۱۷ - پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۹

صفحه ۱۱۹-۱۳۳

#### چکیده

عابران پیاده در بخش هایی مانند تقاطع های بدون چراغ بعضاً در ریسک بالایی قرار می گیرند. عابران در این تقاطع ها با وسایل نقلیه مختلفی از جمله اتومبیل ها و موتورسیکلت ها تداخل دارند. در این تحقیق با استفاده از شاخص های تداخلی زمان تا تصادف و زمان پس از تخطی، ایمنی عابران پیاده در تداخل با این دو نوع وسیله مقایسه می شود. تقاطع بدون چراغ وصال-بزرگمهر در تهران برای مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی های آماری، از تحلیل آنوای یک طرفه استفاده شد. تعداد مشاهدات برای هر کدام از متغیرهای وابسته زمان تا تصادف و زمان پس از تخطی به ترتیب ۷۵۸ و ۷۹۱ مشاهده هستند. میانگین لگاریتم شاخص زمان تا تصادف در موتورسیکلت ها ۰/۰۳ - کمتر از اتومبیل ها بود. همچنین میانگین لگاریتم شاخص زمان پس از تخطی در وسایل نقلیه نیز ۰/۰۹ - کمتر از موتورسیکلت ها است. از شاخص زمان تا تصادف، برای شناسایی وضعیت های دارای پتانسیل خطر و از شاخص زمان پس از تخطی برای شناسایی وضعیت های بحرانی برای عابران پیاده استفاده شده است. چون شاخص زمان تا تصادف، در تداخل موتورسیکلت با عابر، کمتر است، بنابراین موتورسیکلت ها، پتانسیل خطر بالاتری را برای عابران به وجود می آورند. اما چون شاخص زمان پس از تخطی در تداخل عابر و اتومبیل بدتر است، اتومبیل ها، احتمال ایجاد شرایط بحرانی را برای عابران پیاده افزایش می دهند.

واژه های کلیدی: ایمنی عابر پیاده، تقاطع بدون چراغ، شاخص زمان پس از تخطی، شاخص زمان تا تصادف، شاخص فاصله زمانی

#### ۱-مقدمه

موضوع نشان می دهد، بیش از پیش باید به تأمین ایمنی عابران پیاده اهتمام ورزید. در بین بخش های مختلف یک شهر، تقاطع ها سهم عمده ای از تصادفات دارند. مثلاً در ایالات متحده و اروپا بین ۲۵ تا ۳۰ درصد از تصادفات منجر به فوت در تقاطع ها رخ می دهد (Sander et al., 2017). با وجود آن که به منظور تأمین ایمنی عابران، شناسایی نقاط تصادف خیر روشی رایج بود (Chen et al., 2017)، اما اشکالات عمده داده های تصادفات مانند عدم وجود جزئیات تصادف ها (Muller & Haustein., 2016)، نیاز به مدت زمان طولانی برای جمع آوری داده های تصادف، وجود خطا

هرچه اقتصاد کشورها رشد می کند و به توسعه یافتگی نزدیک می شود، مردم آن کشورها، ارزش بیشتری برای ایمنی حمل و نقل قائل می شوند (Small et al., 2007). در این بین در بین مباحث ایمنی، تأمین ایمنی عابران پیاده که از کاربران آسیب پذیر راه محسوب می شوند بسیار مهم است. در میان فعالیت های روزمره زندگی، قدم زدن یک حالت رایج از حمل و نقل محسوب می شود (Lin & Huang., 2017). در برخی از کشورهای بزرگ و مهم دنیا مانند ایالات متحده، آمار تصادفات عابران پیاده در سال های اخیر رشد داشته است (Combs et al., 2018). این

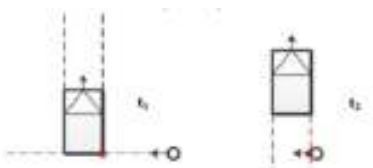
فرکانس تداخل ها به طور خطی با حجم ساعتی وسایل چپ گرد و حجم ساعتی عابران پیاده مرتبط است (Akin et al., 2007). چنگ و همکاران، با بررسی تعداد تداخل های عابر و وسیله در حرکت های چپ گرد در تقاطع های چراغدار، نتیجه گرفتند که حجم عابران و تعداد وسایل نقلیه چپ گرد و نسبت جمعیت عابران پیاده با شرایط خاص (مسن بودن و غیره)، بیشترین تغییرات را در تعداد تداخل های وسیله نقلیه و عابر پیاده در تقاطع های چراغ دار به وجود می آورد (Cheng et al., 2014). سالیانو و همکاران، حجم ترافیک و سرعت وسیله نقلیه را اثرگذارترین متغیرها در تعداد تداخل های عابر و وسیله می دانند (Saulino et al., 2015). وونهو و همکاران دریافتند تعداد تداخل در تقاطع های چراغدار در حرکت های راست گرد با چگالی عابران پیاده در هنگام سبز بودن چراغ عابر و حجم وسایل نقلیه راستگرد ارتباط مستقیم دارد (Kim et al., 2016). السیوسکی و همکاران مدل های رگرسیون خطی ساختند که در آن ها، شدت تداخل به طور غیر خطی با سرعت وسیله نقلیه رابطه مستقیم و با کمینه فاصله عابر و وسیله در حین تداخل، رابطه معکوس داشت (Olszewski et al., 2016). تاج الدین و همکاران، در تحقیقاتی با استفاده از پروفایل سرعت عابران پیاده و تغییرات آن، لحظه عکس العمل ناگهانی عابر را در لحظات تداخل با وسیله نقلیه، به صورت خودکار تشخیص دادند (Tageldin et al., 2017). کی و گاگو با استفاده از دستگاه شبیه سازی رانندگی دریافتند که در حرکت های چپ گرد در تقاطع های چراغدار، درصد کامیون هایی که حرکت چپ گرد دارند و حجم عابران پیاده، اثری معنادار بر ایمنی عابر پیاده دارند (Qi & Guoguo., 2017). فو و همکاران در تحقیقات خود، رفتار تسلیم راننده را در مواجهه با عابر پیاده به سه دسته تقسیم کردند: وسیله نقلیه بسیار به عابر پیاده نزدیک است به طوری که نمی تواند توقف کند و اجازه عبور به عابر بدهد، راننده زمان کافی دارد تا اجازه عبور به عابر پیاده بدهد و در حالت سوم نیز، راننده هم نیاز به زمان بیشتری برای عکس العمل دارد و هم تمایلی برای اجازه دادن به عابر برای عبور ندارد (Fu et al., 2018). در تحقیقی که بوجردیان و خیری در ایران انجام دادند، تداخل عابر پیاده و موتورسیکلت با استفاده از شاخص TTC مورد بررسی قرار گرفت،

در پایگاه داده های تصادف و امکان عدم گزارش برخی از تصادفات (Stipanovic et al., 2018) بسیاری از مشکلات دیگر، محققان را بر آن داشت تا به دنبال توسعه روش های دیگر باشند. یکی از این روش ها، استفاده از مفهوم تداخل است. این ایده، نخستین بار در سال ۱۹۶۸ ارائه و به عنوان روشی جدید برای ارزیابی ایمنی ترافیک مطرح شد. (Chin & Quek, 1997). شاخص های موجود در این روش به صورت غیر مستقیم وضعیت ایمنی را بررسی می کنند (Laurshyn et al., 2017). تداخل شرایطی را نشان می دهد که در آن اگر دو کاربر راه به سمت یکدیگر حرکت کنند و نوع جابه جایی آن ها تغییر نکند، در این صورت تصادف محتمل است (Laurshyn et al., 2010). به منظور کمی کردن مفهوم تداخل، از شاخص هایی مانند TTC<sup>۲</sup> و PET<sup>۲</sup> و غیره استفاده می شود. این شاخص عددی بر حسب ثانیه به دست می دهند. هرچه این عدد کمتر باشد، ایمنی عابر پیاده ای که با وسیله نقلیه تداخل دارد، کمتر خواهد بود. در بیشتر مطالعات مربوط به ایمنی عابران پیاده بر اساس روش های تداخلی، بر این دو شاخص تکیه شده است (Laurshyn et al., 2015). عابران پیاده در تقاطع های بدون چراغ با دو نوع عمده از وسایل نقلیه تداخل دارد: موتورسیکلت و اتومبیل. با آنکه موتورسیکلت ها به نسبت اتومبیل ها، پتانسیل بیشتری در ارتقای حمل و نقل پایدار دارند (Jittrapirom et al., 2017)، اما هم در تداخل با اتومبیل ها و هم عابران می توانند ایمنی خود و بقیه کاربران را به خطر اندازند زیرا آن ها به دلیل داشتن آزادی عمل بیشتر و رفتار غیر قابل پیش بینی، منجر به وجود آمدن خطرات و تداخل های بحرانی می شوند. در این تحقیق تلاش می شود تا با تکیه بر دو شاخص تداخلی زمان تا تصادف (TTC) و زمان پس از تخطی (PET) و تحلیل داده ها با روش های آماری مانند تحلیل آنوای یک طرفه و هم بستگی پیرسون، ایمنی عابران پیاده در مواجهه با موتورسیکلت و اتومبیل مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد.

## ۲- پیشینه تحقیق

بر اساس تحقیقات لورد و همکاران، تعداد تداخل ها و تصادف ها به صورت مثبت و موثری با یکدیگر همبستگی داشتند (Lord et al., 1996). آکین و همکاران دریافتند

مقصر بودند نشان داد که راکبان این موتورسیکلت‌ها همگی از موتورسیکلت به عنوان وسیله‌ای برای کسب درآمد استفاده می‌کردند (Shin et al., 2018). همان طور که در مطالعات گذشته مشاهده می‌شود، مقایسه ایمنی عابران پیاده در مواجهه با موتورسیکلت و اتومبیل کمتر مورد توجه محققان بوده است. بنابراین در این تحقیق با استفاده از تحلیل آنوای یک طرفه و کرلیشن پیرسون، این موضوع بر اساس شاخص-های TTC و PET بررسی خواهد شد. در ادامه نحوه به دست آوردن این شاخص‌ها ارایه می‌شوند. در صورتی که  $Tc1$  و  $Tc2$  زمان‌هایی باشند که در آن‌ها، یک وسیله نقلیه به ناحیه تداخل وارد یا از آن خارج می‌شود و  $Tp1$  و  $Tp2$  هم زمان‌هایی باشند که عابر پیاده به ناحیه تداخل وارد و از آن خارج می‌شود و  $t_0$  هم زمانی باشد که عکس العمل ناگهانی اتفاق می‌افتد و نقطه  $i$  نقطه‌ای باشد در بازه  $[t_0, \min(Tc, Tp)]$  و همچنین  $dc(i)$  هم فاصله جلوی وسیله نقلیه تا نقطه برون یابی شده برخورد وسیله نقلیه و عابر در زمان  $i$  باشد و همچنین  $vc(i)$  و  $vp(i)$  به ترتیب سرعت وسیله نقلیه و عابر پیاده در زمان  $i$  باشند،  $l$  طول وسیله نقلیه و  $w$  عرض آن باشد، روش محاسبه TTC و PET به صورت زیر است:



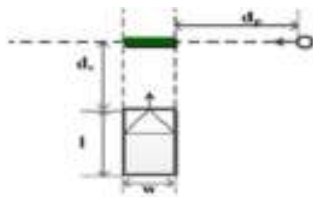
شکل ۱. شمایی از وسیله نقلیه و عابر به منظور محاسبه شاخص زمان پس از تخطی

PET: در صورتی که ابتدا عابر پیاده از محل تداخل عبور کند، PET از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. (Ni et al., 2016)

$$PET = Tc1 - Tp2 \quad (1)$$

و اگر ابتدا وسیله نقلیه از محل تداخل عبور کند، PET از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$PET = Tp1 - Tc2 \quad (2)$$



شکل ۲. شمایی کلی از وسیله نقلیه و عابر پیاده به منظور محاسبه شاخص‌های زمان تا تصادف

TTC: اگر ابتدا عابر پیاده عبور کند در این صورت TTC از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Ni et al., 2016)

مدلسازی رگرسیون خطی نشان داد، سرعت متوسط موتورسیکلت و جهت حرکت عابران در صورتی که از چپ به راست باشند، هر دو منجر به کاهش TTC می‌شوند (Broujerdian & Kheiri., 2018). موتورسیکلت و دوچرخه از جنبه‌های بسیاری به هم شباهت دارند (Haworth et al., 2013). بنابراین با توجه به این که مطالعات نسبتاً زیادی درباره تداخل موتورسیکلت و عابر پیاده در سال‌های اخیر وجود ندارد، در این قسمت درباره تداخل دوچرخه و عابر هم می‌توان صحبت کرد. از مهمترین عوامل افزایش احتمال تداخل عابر پیاده و دوچرخه می‌توان از مرد بودن دوچرخه سوار، بالا بودن چگالی عابر و دو طرفه بودن راه و غیره نام برد (Haworth et al., 2014). بوفوس و همکاران دریافتند دوچرخه سواران سرعت خود را بر اساس وجود عابران پیاده در مسیر مشترک و همچنین شرایط مسیر تنظیم می‌کنند (Bouffous et al., 2018). بایتل و همکاران دریافتند چگالی عابران پیاده و نرخ تداخل عابر و دوچرخه دارای ضریب همبستگی مثبت هستند و دوچرخه سواران در هنگام تداخل با عابران، رفتار خود را مطابق شرایط تغییر می‌دهند (Beitel et al., 2018). در چین بررسی تصادفاتی که در آن‌ها موتورسیکلت سواران

$$TTC(i) = \max\left(\frac{dp(i)+w}{vp(i)}, \frac{dc(i)}{vc(i)}\right) \quad (۳)$$

اگر ابتدا وسیله نقلیه عبور کند، آن گاه TTC از رابطه (۴) محاسبه خواهد شد.

$$TTC(i) = \max\left(\frac{dp(i)}{vp(i)}, \frac{dc(i)}{vc(i)}\right) \quad (۴)$$

در نهایت TTCmin از رابطه (۵) به دست می آید.

$$TTCmin = \min(TTC(i)) \quad (۵)$$

### ۳- روش تحقیق

گرفتند و سپس با بررسی مختصات حرکت وسایل نقلیه و عابر پیاده در واحد زمان و انجام برنامه‌نویسی متلب، شاخص‌های TTC و PET، سرعت عابران پیاده و وسایل نقلیه تا لحظه انتهای فرآیند تداخل و غیره به دست آورده شد. در نهایت در مطالعات مربوط به PET و TTC به ترتیب ۷۵۸ و ۷۹۱ مشاهده به دست آمد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. با توجه به نوع و جنس داده‌ها و هدف انجام کار، از تحلیل‌های آنوای یکطرفه و همبستگی پیرسون در این تحقیق استفاده شده است.

### ۴- نتایج و تحلیل داده‌ها

در این قسمت نتایج حاصل از تحلیل‌ها آورده می‌شود.

#### ۴-۱- معرفی متغیرها

در جدول ۱، متغیرهای به کار رفته در مقاله معرفی شده‌اند.

برای انجام مطالعات میدانی، یک تقاطع بدون چراغ در شهر تهران، که همان تقاطع خیابان‌های وصال شیرازی و بزرگمهر بود، انتخاب شد. در این تقاطع، شیب مسیرهای منتهی به تقاطع صفر و زاویه تقاطع ۹۰ درجه است. خیابان اصلی، وصال شیرازی است که دارای سه خط عبوری و چراغ چشمک زن زرد است و خیابان فرعی، بزرگمهر است که دارای دو خط عبوری و چراغ چشمک زن قرمز است. فیلمبرداری طی دو روز و به مدت جمعا ۸ ساعت در ابتدای تابستان ۹۶ و از بالای ساختمانی ۶ طبقه به ارتفاع ۱۷ متر مشرف به تقاطع انجام شد. فیلمبرداری در ساعات مختلف روز و قبل از غروب آفتاب انجام شد. هوا آفتابی بود و روسازی نیز خشک بود. همه فیلم‌ها به دقت بررسی شدند و لحظاتی که در آن‌ها عابر و وسیله با هم تداخل داشتند، ثبت شد. تداخل وقتی اتفاق می‌افتاد که یا عابر یا وسیله یا هر دو به منظور پرهیز از برخورد، تغییر سرعت یا جهت می‌دادند. با استفاده از نرم افزارهای مخصوص پردازش تصویر (نرم افزارهایی مانند Boilsoft Video Splitter و Kinovea)، فیلم‌های برداشت شده مورد بررسی قرار

جدول ۱. معرفی متغیرها

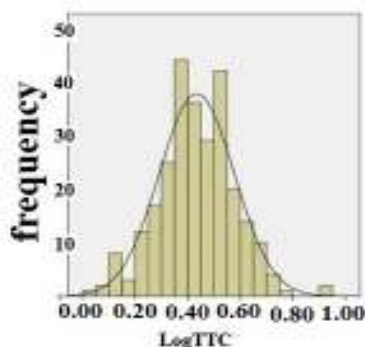
شاخص زمان تا تصادف	LogTTC	متغیرهای وابسته
لگاریتم شاخص زمان پس از تخطی	LogPET	
سرعت وسیله نقلیه	VV	
سرعت عابر پیاده	VP	
موتورسیکلت‌ها	۱	متغیرهای مستقل
اتومبیل‌ها	۲	

#### ۴-۲ کنترل شروط تحلیل آنوای یکطرفه

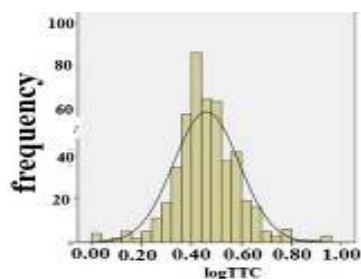
به منظور انجام تحلیل آنوای یک طرفه وجود شش شرط الزامی است:

- ۱- متغیر وابسته باید به صورت پیوسته باشد. در این تحقیق، متغیرهای وابسته، شاخص‌های تداخلی هستند که همگی پیوسته اند.
- ۲- متغیر مستقل باید شامل حداقل دو گروه مستقل و دسته بندی شده باشند. در این تحقیق متغیر مستقل، دو دسته از وسایل نقلیه یکی موتور سیکلت و دیگری اتومبیل است.
- ۳- مشاهدات باید مستقل از هم باشند. در این جا با توجه به این که دو وسیله نقلیه مختلف وجود دارند، بنابراین، استقلال مشاهدات کاملاً برقرار است.
- ۴- نباید مشاهداتی وجود داشته باشند که دارای داده های خارج از محدوده هستند. این قبیل از مشاهدات از مطالعه کنار گذاشته شدند.
- ۵- داده‌ها در هر گروه باید به طور تقریبی توزیع نرمال داشته باشند. در این داده‌ها، این شرط کاملاً برقرار است. دلیل لگاریتمی کردن هر دو متغیر، نرمال کردن توزیع آن‌هاست.
- ۶- واریانس باید در تمام گروه‌ها هموزنیزه باشد. یعنی به عبارتی واریانس داده ها در تمام گروه‌ها باید با هم برابر باشند. این

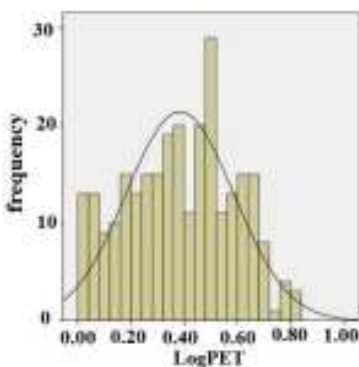
کار با استفاده از تست لون انجام می شود (laerd, 2018). در صورت نقض شرط ششم، تحلیل واریانس کلاسیک بی اعتبار خواهد بود. در این حالت باید از آنالیز واریانس اصلاح شده یا تحلیل آنوای ولش استفاده شود. در این تحقیق نیز به دلیل محقق نشدن شرط ۶، از تحلیل آنوای ولش استفاده می‌شود. درباره شرط نرمال بودن توزیع نیز باید گفته شود که نرمال بودن باید تقریبی باشد. آنالیز آنووا به نرمال نبودن توزیع داده‌ها حساسیت کمی دارد. بنابراین در صورتی که داده ها اندکی از حالت نرمال خارج شوند، باز هم می‌توان از این تحلیل استفاده کرد (laerd., 2018). در داده های پیش رو در ابتدا داده‌ها نرمال نبودند، اما با لگاریتمی کردن آن‌ها، داده‌ها به نرمال بودن نزدیک شدند و می‌توان گفت تقریباً نرمال هستند. البته اندکی از نرمال بودن فاصله دارند اما همان طور که گفته شد، تحلیل آنووا حساسیت کمی به نرمال نبودن دارد بنابراین مشکلی در استفاده از این تحلیل در این سری از داده‌ها وجود ندارد. در شکل های ۳ تا ۶، توزیع نرمال داده‌ها برای TTC و logPET نشان داده شده است.



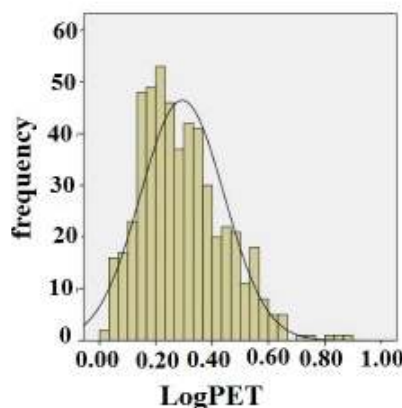
شکل ۳. توزیع نرمال شاخص TTC برای موتورسیکلت



شکل ۴. توزیع نرمال شاخص TTC برای اتومبیل‌ها



شکل ۵. توزیع نرمال شاخص LogPET برای موتورسیکلت‌ها



شکل ۶. توزیع نرمال logPET برای اتومبیل‌ها

خیر. در نرم افزار SPSS، در مواقعی که آزمون هموژنیزه بودن واریانس گروه‌ها رد می‌شود، هم تحلیل آنوای کلاسیک و هم تحلیل آنوای ولش محاسبه می‌شود. بنابراین در این بخش هر دو تحلیل که نتیجه‌ای مشابه دارند و تفاوت معنا دار بین گروه‌ها را نشان می‌دهند، ارائه می‌شود. ابتدا خلاصه‌ای از وضعیت گروه‌ها در دو شاخص TTC و PET ارائه می‌شود. در جدول ۳، می‌توان مشخصات داده‌ها را مشاهده کرد.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با توجه به این که مقدار sig در ستون آخر جدول مربوط به آزمون لون صفر است، بایستی از آنوای ولش استفاده شود.

#### ۳-۴ نتایج محاسبات

در تحلیل آنوای می‌توان اختلاف چند دسته از مشاهدات را از نظر آماری بررسی کرد. این تحلیل نشان می‌دهد که آیا تفاوت بین دسته‌های مختلف از نظر آماری معنادار است یا

جدول ۲. نتیجه آزمون لون برای TTC و logPET

	Levene Statistic	df1	df2	sig.
LogTTC	5.56	1	756	0.02
LogPET	48.24	1	789	0.00

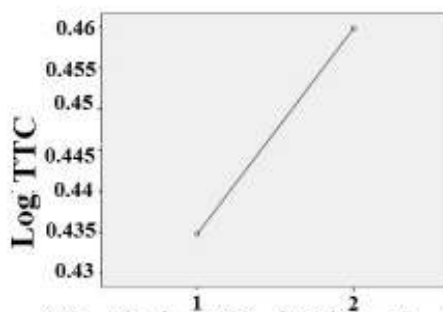
جدول ۳. مشخصات و مقادیر متغیرهای وابسته در گروه‌ها

TTC	The information of the groups					95% confidence interval for mean		Min & Max	
	groups	N	Mean	Std. Dev	Std. Err	Lower Bound	Upper Bound	Min	Max
TTC	1	270	0.43	0.14	0.01	0.42	0.45	0.05	0.95
	2	488	0.46	0.13	0.01	0.45	0.47	0.00	0.96
	total	758	0.45	0.14	0.01	0.44	0.46	0.00	0.96
PET	1	272	0.38	0.20	0.01	0.36	0.41	0.00	0.83
	2	519	0.29	0.15	0.01	0.28	0.31	0.02	0.90
	total	791	0.32	0.17	0.01	0.31	0.34	0.00	0.90

همان طور که مشاهده می‌شود تعداد کل مشاهدات در تحلیل با متغیر وابسته  $\logTTC$ ، ۷۵۸ و در تحلیل با متغیر وابسته  $\logPET$  برابر با ۷۹۱ مشاهده هستند. در جدول ۴ و ۵، نتایج تحلیل‌های آنووا دیده می‌شود.

جدول ۴. نتایج تحلیل آنوای یک طرفه برای  $\logTTC$

ANOVA					
TTC being the dependent variable	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	0.11	1	0.11	5.91	0.02
Within Groups	13.91	756	0.02		
Total	14.02	757			
Robust Tests of Equality of Means					
	Statistic	df1	df2	Sig	
Welch	5.63	1	517.334	0.02	

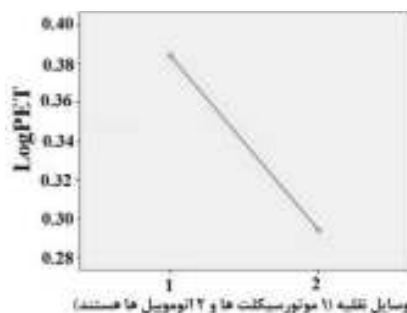


شکل ۷. نمودارهای مقایسه میانگین شاخص  $TTC$  در دو گروه وسایل نقلیه (۱، موتورسیکلت‌ها و ۲، اتوموبیل‌ها هستند)

شکل ۷. نمودارهای مقایسه میانگین شاخص  $TTC$  در دو گروه

جدول ۵. نتایج تحلیل آنوای یک طرفه برای  $\logPET$

ANOVA					
LogPET being the dependent variable	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	1.45	1	1.45	50.72	0.00
Within Groups	22.58	789	0.03		
Total	24.034	790			
Robust Tests of Equality of Means					
	Statistic	df1	df2	Sig	
Welch	41.99	1	427.42	0.00	



شکل ۸. نمودارهای مقایسه میانگین شاخص PET در دو گروه تداخل

از آوردن شکل توزیع نرمال پرهیز می شود. در جدول ۶، ملاحظه می شود ضریب همبستگی زمان تا تصادف با سرعت وسیله نقلیه درگیر در تداخل منفی است و این ضریب منفی از نظر آماری معنی دار شده است. این ضریب ها هم در حالت کرلیشن دو طرفه و هم در حالت کرلیشن یک طرفه از نظر آماری معنادار شده اند. از طرف دیگر سرعت وسایل نقلیه در گروه اتومبیل ها به طور معناداری بیشتر از سرعت موتورسیکلت ها است. این موضوع در رابطه با سرعت های وسایل نقلیه با استفاده تحلیل آنوای یکطرفه اثبات می شود. در تحلیل آنوای یک طرفه برای سرعت وسایل نقلیه، شرط برابری واریانس ها در گروه های مختلف برقرار است. بنابراین استفاده از آنوای ولج ضرورتی ندارد. اما برخی منابع توصیه می کنند در مواردی که اندازه نمونه ها با هم برابر نیست هم از این نوع تحلیل استفاده شود. در این مقاله نیز اندازه نمونه ها در دو گروه برابر نیستند، بنابراین حاصل آنوای ولج هم در ادامه ارائه می شود که البته تفاوتی با نتیجه آنوای کلاسیک ندارد. همچنین برخی از مشاهدات outlier در سرعت ها از مطالعه کنار گذاشته شدند. در ادامه مراحل مختلف تحلیل آنوای برای سرعت ها آورده می شود.

نتایج تحلیل آنوای نشان می دهد که تفاوت معنا دار بین دو گروه وجود دارد. به دلیل آن ها که عدد sig برابر صفر و کمتر از ۰/۰۵ شده است. TTC در گروه اول و PET در گروه دوم به طور معناداری کمتر از گروه دیگر است.

#### ۴-۴- بحث درباره نتایج

محاسبات آماری نشان دادند که در مقایسه ایمنی عابر پیاده در تداخل با موتورسیکلت و اتومبیل ها بر اساس شاخص PET و TTC، نتایج متفاوتی به دست می آید. در یکی از شاخص ها، موتورسیکلت ها و در دیگری اتومبیل ها خطر بیشتری برای عابر پیاده ایجاد می کنند. علاوه بر آن که تفسیر چنین نتیجه ای مشکل است، اما یک بار دیگر این مسأله روشن می شود که هر کدام از این دو شاخص تداخلی همان طور که تعریف متفاوتی نیز دارند، بعد متفاوتی از ایمنی را مورد موشکافی قرار می دهند. در ادامه تفسیر نتایج با تکیه بر سرعت های عابران و وسایل نقلیه ارائه می شود. در این قسمت با استفاده از همبستگی پیرسون، این موضوع اثبات می شود. از مهم ترین شرایط استفاده از همبستگی پیرسون وجود توزیع نرمال در هر دو متغیر، نداشتن مشاهده outlier و پیوسته بودن هر دو متغیر است. در این داده ها همه این شرایط برقرار شده است. به دلیل خلاصه کردن مقاله

جدول ۶. حاصل برقراری همبستگی پیرسون بین LogTTC و VV

		TTC	V
TTC	Pearson Correlation	1	-0.19
	Sig		0.00
	N	758	758
V	Pearson Correlation	-0.19	1
	Sig	0.00	
	N	758	758

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level

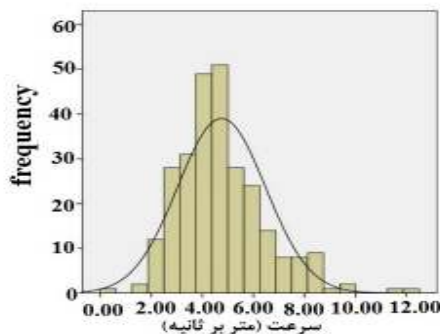
\*حاصل کرلیشن پیرسون در درصد قابلیت اعتماد ۹۹ درصد معنادار است.



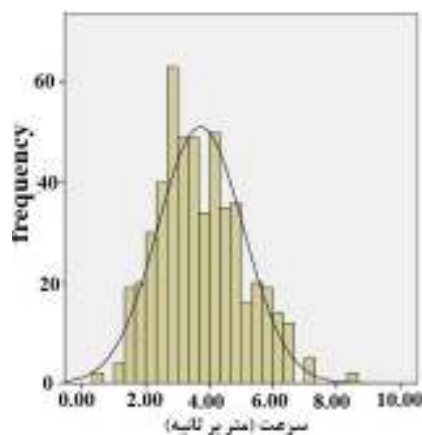
جدول ۷. مشخصات داده‌های سرعت وسیله نقلیه در گروه‌ها

The information of the groups					95% confidence interval for mean		Min & Max	
groups	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Min	Max
1	266	4.75	1.57	0.10	4.56	4.94	2.00	9.82
2	487	3.77	1.37	0.06	3.65	3.90	0.39	8.65
total	753	4.12	1.52	0.06	4.01	4.22	0.39	9.82

در شکل ۹ ملاحظه می‌شود سرعت در هر دو نوع حرکت دارای توزیع نرمال است.



شکل ۹. توزیع نرمال سرعت موتورسیکلت‌ها



شکل ۱۰. توزیع نرمال سرعت اتومبیل‌ها

جدول ۸. نتیجه آزمون لون برای سرعت وسیله نقلیه

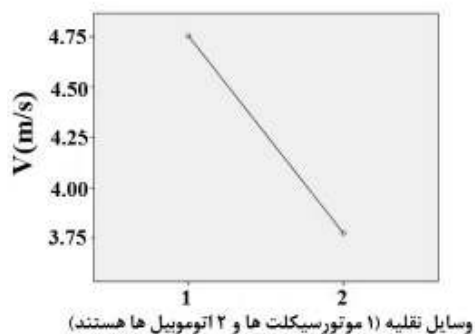
	Levene Statistic	df1	df2	sig.
V	2.35	1	751	0.12

تحلیل آنوای ولج در بخش دوم و قسمت پایین جدول مشابه هستند. هر دو تفاوت معنادار بین دو گروه را نشان می‌دهند. شکل ۱۱ تفاوت بین میانگین‌ها را به صورت نموداری نشان می‌دهد.

در ادامه مانند محاسبات مربوط به TTC و PET، هم محاسبه مربوط به تحلیل آنوای کلاسیک و هم ولش ارایه می‌شوند. در این مورد هم، نتایج حاصل از هر دو تحلیل، مشابه هستند. در جدول ۹ ملاحظه می‌شود نتایج تحلیل آنوای کلاسیک که در بخش اول جدول آمده است با

جدول ۹. نتیجه تحلیل آنوای یک طرفه برای سرعت وسیله نقلیه

ANOVA					
V being the dependent variable	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	165.01	1	165.01	79.284	0.00
Within Groups	1563.00	751	2.08		
Total	1728.01	752			
Robust Tests of Equality of Means					
	Statistic	df1	df2	Sig	
Welch	73.31	1	486.38	0.00	



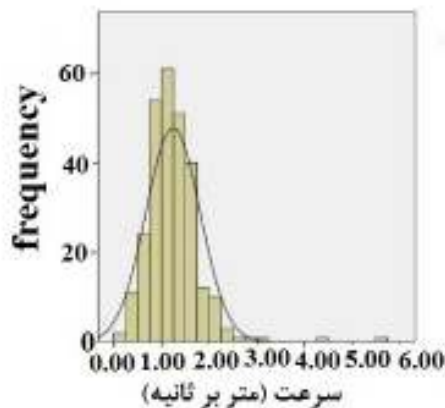
شکل ۱۱. نمودارهای مقایسه میانگین سرعت وسایل نقلیه در دو گروه

شاخص با سرعت عابران به طور مستقیم ارتباط معنادار دارد. در ادامه حاصل تحلیل آنوا به منظور مقایسه سرعت عابر پیاده در دو گروه ارائه می‌شود. در این قسمت هم تمام شرایط تحلیل آنوا برقرار شده است و حاصل تحلیل آنوای ولش هم ارائه می‌شود.

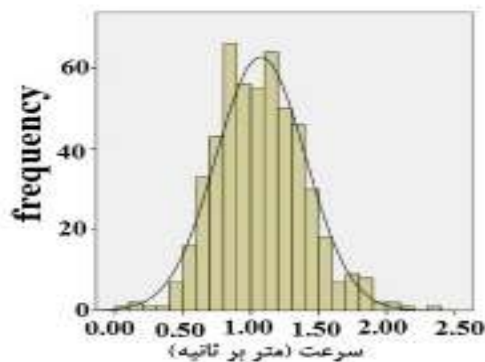
بنابراین با توجه به این که سرعت وسیله نقلیه با شاخص TTC ارتباط عکس دارد و همچنین سرعت موتورسیکلت‌ها هم به طور معناداری بیشتر از اتومبیل‌ها هستند، بنابراین، بر اساس شاخص TTC، عابران پیاده در تداخل با موتورسیکلت‌ها ایمنی کمتری خواهند داشت. اما در مورد شاخص PET، حاصل کرلیشن پیرسون این

جدول ۱۰. حاصل کرلیشن پیرسون PET و سرعت عابران پیاده

		PET	VP
PET	Pearson Correlation	1	0.14
	Sig		0.00
	N	792	792
VP	Pearson Correlation	0.14	1
	Sig	0.00	
	N	792	792



شکل ۱۲. توزیع نرمال سرعت عابران پیاده تداخل کننده با موتورسیکلت‌ها



شکل ۱۳. توزیع نرمال عابران تداخل کننده با اتومبیل‌ها

جدول ۱۱. مشخصات گروه‌ها و داده‌ها برای سرعت عابران پیاده

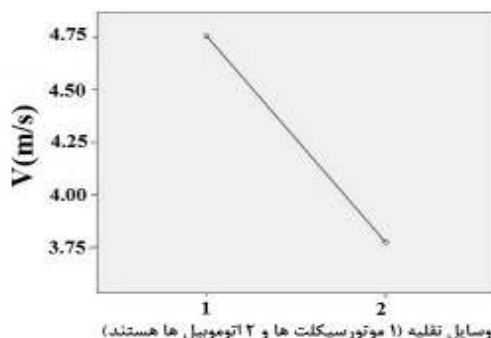
The information of the groups					95% confidence interval for mean		Min & Max	
groups	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Min	Max
1	273	1.24	0.57	0.03	1.17	1.31	0.20	5.52
2	519	1.07	0.33	0.01	1.05	1.10	0.09	2.36
total	792	1.13	0.44	0.02	1.10	1.16	0.09	5.52

جدول ۱۲. نتیجه آزمون لون برای سرعت عابران پیاده

	Levene Statistic	df1	df2	sig.
V	35.12	1	790	0.00

جدول ۱۳. نتیجه تحلیل آنوای یک طرفه برای سرعت عابران پیاده

ANOVA					
V being the dependent variable	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	5.01	1	5.01	27.27	0.00
Within Groups	145.00	790	0.18		
Total	150.00	791			
Robust Tests of Equality of Means					
	Statistic	df1	df2	Sig	
Welch	19.97	1	370.58	0.00	



شکل ۱۴. نمودارهای مقایسه میانگین سرعت وسایل عابرپیاده در دو گروه

وسيله از هر دو شاخص TTC و PET استفاده می‌کند. در این روش، از شاخص TTC، به منظور شناسایی وضعیت‌های دارای پتانسیل خطر و از شاخص PET به منظور شناسایی وضعیت‌های بحرانی برای عابران پیاده استفاده شده است (Kraay et al., 2013). در وضعیت بحرانی احتمال وقوع تصادف جرحی بالا می‌رود و در وضعیت با پتانسیل خطر، رفتار ترافیکی می‌تواند منجر به ایجاد یک وضعیت غیرقابل کنترل شود که در آن دو طرف درگیر در تداخل، از کنار هم با فاصله بسیار کمی گذر می‌کنند (Kraay et al., 2013). به دلیل گستردگی این تفاوت‌ها، برخی از محققان، بر روش و چگونگی استفاده از هر کدام از این شاخص‌ها تمرکز کردند (Ni et al., 2016). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر کدام از این شاخص‌ها می‌توانند بعدی از ابعاد پیچیده بر هم کنش عابر پیاده و وسیله نقلیه را نشان دهند. از بعضی جهات موتورسیکلت برای عابران پیاده خطرناک‌تر است و از بعضی جهات اتومبیل. موتورسیکلت سواران به عنوان یکی از کاربران آسیب‌پذیر راه، نسبت به رانندگان وسایل نقلیه، هم آزادی عمل بیشتری دارند و هم رفتار غیر قابل پیش‌بینی تری (Salmon et al., 2014). همین دو عامل می‌تواند در بسیاری از موارد برای عابران خطرناک‌تر از اتومبیل‌ها باشد که دو ویژگی آزادی عمل بیشتر و رفتار غیر قابل پیش‌بینی، در آن‌ها محدودتر است. در نهایت با توجه به بحث بالا می‌توان گفت، موتورسیکلت‌ها، به دلیل کم‌تر بودن شاخص TTC در آن‌ها، احتمال وجود پتانسیل بالای خطر را برای عابران در مقایسه با اتومبیل‌ها افزایش می‌دهند. اتومبیل‌ها نیز به دلیل کمتر بودن PET در آن‌ها، احتمال ایجاد شرایط بحرانی را برای عابران افزایش می‌دهند.

حاصل همبستگی شاخص PET با سرعت متوسط عابران پیاده، در درصد قابلیت اعتماد ۹۹ درصد، عددی مثبت و معنادار است. از طرفی با استفاده از تحلیل آنوای یکطرفه اثبات شد که سرعت عابران پیاده دارای تداخل با موتورسیکلت‌ها بیشتر از سرعت عابران پیاده دارای تداخل با اتومبیل‌هاست. بنابراین با این محاسبات آماری اثبات می‌شود که بر اساس شاخص PET، در تقاطع‌های بدون چراغ، اتومبیل‌ها بیشتر ایمنی عابران پیاده را به خطر می‌اندازند. با توجه به این که با دو شاخص مختلف، دو نتیجه مختلف به دست آمد، تصمیم‌گیری در این باره که نهایتاً در تقاطع‌های بدون چراغ، اتومبیل‌ها برای عابران خطرناک هستند یا وسایل نقلیه، نیاز به توضیح بیشتری دارد. برخی محققان از جمله اسماعیل و همکاران، معتقدند که شاخص PET، بهترین شاخص به منظور بررسی تداخل‌های بین عابران پیاده و وسایل نقلیه است (Ismael et al., 2010). در صورتی که این نظر پذیرفته شود، با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که اتومبیل‌ها بیشتر از موتورسیکلت‌ها می‌توانند ایمنی عابران پیاده را به خطر بیندازند. اما در مطالعات پیشین به منظور بررسی ایمنی کاربران آسیب‌پذیر هر دو شاخص TTC و PET بیشترین استفاده را در میان محققان به خود اختصاص داده‌اند. حتی میزان استفاده از شاخص TTC در مطالعات اخیر بیشتر از PET بوده است (Laurshyn et al., 2015). این بدین معنی است که در نظر بسیاری از محققان، شاخص PET به TTC تقدم و برتری ندارد. عده‌ای معتقدند TTC، خطر قریب‌الوقوع را مورد بررسی قرار می‌دهد و PET، پتانسیل خطر را در نظر می‌گیرد (Nadimi et al., 2016). روش هلندی بررسی تداخل‌ها نیز، به منظور بررسی تداخل عابر و

-مقایسه تداخل‌های بحرانی در تداخل عابر با اتومبیل و عابر با موتورسیکلت

## ۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Time to Collision
- 2- Post Encroachment Time

## ۷- مراجع

-خیری، ر.، (۱۳۹۶)، "مدل تداخل موتورسیکلت و عابر پیاده در تقاطع بدون چراغ"، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: امین میرزا بروجردیان، تهران: دانشکده فنی-مهندسی، گروه عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

-Akin, D., & Sisiopiku, V. P., (2007), "Modeling Interactions Between Pedestrians and Turning Vehicles at Signalized Crosswalks Operating Under Combined Pedestrian-Vehicle Interval". In 86<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

-Beitel, D., Stipanovic, J., Manaugh, K., & Miranda-Moreno, L., (2018), "Assessing safety of shared space using cyclist-pedestrian interactions and automated video conflict analysis. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 65, pp.710-724.

-Boufous, S., Hatfield, J., & Grzebieta, R. (2018), "The impact of environmental factors on cycling speed on shared paths". Accident Analysis & Prevention, 110, pp.171-176.

-Chen, P., Zeng, W., Yu, G., & Wang, Y., (2017), "Surrogate safety analysis of pedestrian-vehicle conflict at intersections using unmanned aerial vehicle videos. Journal of advanced transportation.

-Cheng, W., Zhang, N., Li, W., & Xi, J., (2014), Modeling and application of pedestrian safety conflict index at signalized intersections. Discrete Dynamics in Nature and Society.

## ۵- نتیجه‌گیری

- براساس شاخص TTC، در تداخل با عابران پیاده، موتورسیکلت‌ها بیشتر ایمنی عابران را به خطر می‌اندازند (میانگین لگاریتم این شاخص در تداخل موتورسیکلت‌ها و عابران، ۰/۰۳ کمتر از اتومبیل‌هاست).

- بر اساس شاخص PET، در تداخل با عابران پیاده، اتومبیل‌ها بیشتر ایمنی عابران را به خطر می‌اندازند (میانگین لگاریتم این شاخص در تداخل اتومبیل‌ها و عابران، ۰/۰۹ بیشتر است).

- برخی از محققان معتقدند PET، در مطالعه تداخل عابر و وسیله شاخص مهم‌تری است، طبق نظر آن‌ها، بایستی اتومبیل‌ها را خطرناک‌تر از موتورسیکلت‌ها دانست.

- نظر نویسندگان این تحقیق آن است که با توجه به این که دو شاخص TTC و PET، هر کدام ماهیت متفاوتی دارند و به دلیل این ماهیت متفاوت، بهتر است گفته شود هر کدام از این دو وسیله نقلیه موتور و اتومبیل، از جنبه خاصی بر ایمنی عابران تأثیر دارند و هیچکدام بر دیگری برتری ندارد.

- موتورسیکلت‌ها بر اساس شاخص TTC احتمال وجود پتانسیل بالای خطر را برای عابران افزایش می‌دهند.

- اتومبیل‌ها بر اساس شاخص PET، احتمال ایجاد شرایط بحرانی را برای عابران پیاده افزایش می‌دهند.

- سرعت متوسط موتورسیکلت‌های دارای تداخل با عابران پیاده، بیش از سرعت متوسط اتومبیل‌های دارای تداخل با عابران پیاده است (میانگین سرعت موتورسیکلت‌ها، تقریباً ۱ متر بر ثانیه بیشتر از اتومبیل‌ها است).

- سرعت متوسط عابران پیاده در تداخل با موتورسیکلت‌ها نیز بیشتر از سرعت متوسط عابران پیاده در تداخل با اتومبیل‌ها است (میانگین سرعت عابران پیاده دارای تداخل با موتورسیکلت‌ها، ۰/۱۷ متر بر ثانیه بیشتر از اتومبیل‌ها است).

در زمینه بررسی مقایسه‌ای ایمنی با روش‌های تداخلی می‌توان تحقیقات بسیاری را انجام داد. کارهای بعدی در این زمینه در ادامه ارائه می‌شود:

-مقایسه تداخل عابر پیاده با موتورسیکلت و عابر پیاده با اتومبیل با استفاده از شاخص‌های تداخلی در تقاطع چراغدار -مقایسه تداخل عابر با وسیله در تقاطع چراغ‌دار و بدون چراغ با استفاده از شاخص‌های تداخلی

- Laureshyn, A., de Goede, M., Saunier, N., & Fyhri, A., (2017), "Cross-comparison of three surrogate safety methods to diagnose cyclist safety problems at intersections in Norway". *Accident Analysis & Prevention*, 105, pp.11-20.
- Laureshyn, A., Svensson, Å., & Hydén, C., (2010), "Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioral data: Theoretical framework and first implementation". *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), pp.1637-1646.
- Laureshyn, A., Varhelyi, A., & Svensson, Å., (2015), InDeV: In-Depth understanding of accident causation for Vulnerable road users, Project Plan. Lund University, Lund, Sverige.
- Lin, M. I. B., & Huang, Y. P., (2017), "The impact of walking while using a smartphone on pedestrians' awareness of roadside events". *Accident Analysis & Prevention*, 101, 87-96.
- Lord, D., (1996), "Analysis of pedestrian conflicts with left-turning traffic". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1538), pp.61-67.
- Møller, M., & Haustein, S., (2016), "Factors contributing to young moped rider accidents in Denmark". *Accident Analysis & Prevention*, 87, pp.1-7.
- Nadimi, N., Behbahani, H., & Shahbazi, H., (2016), "Calibration and validation of a new time-based surrogate safety measure using fuzzy inference system". *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 3(1), pp.51-58.
- Ni, Y., Wang, M., Sun, J., & Li, K., (2016), "Evaluation of pedestrian safety at intersections: A theoretical framework based on pedestrian-vehicle interaction patterns". *Accident Analysis & Prevention*, 96, pp.118-129.
- Olszewski, P., Buttler, I., Czajewski, W., Dąbkowski, P., Kraśkiewicz, C., Szagała, P., & Zielińska, A., (2016), "Pedestrian safety assessment with video
- Chin, H. C., & Quek, S. T., (1997), "Measurement of traffic conflicts. *Safety Science*, 26(3), pp.169-185.
- Combs, T. S., Sandt, L. S., Clamann, M. P., & McDonald, N. C., (2018), "Automated vehicles and pedestrian safety: exploring the promise and limits of pedestrian detection". *American journal of preventive medicine*.
- Fu, T., Miranda-Moreno, L., & Saunier, N., (2018), "A novel framework to evaluate pedestrian safety at non-signalized locations". *Accident Analysis & Prevention*, 111, pp.23-33.
- Haworth, N., & Debnath, A. K. (2013), "How similar are two-unit bicycle and motorcycle crashes?". *Accident Analysis & Prevention*, 58, pp.15-25.
- Haworth, N., Schramm, A., & Debnath, A. K., (2014), "An observational study of conflicts between cyclists and pedestrians in the city Centre". *Journal of the Australasian College of Road Safety*, 25(4), pp.31.
- Ismail, K., Sayed, T., & Saunier, N., (2010), "Automated analysis of pedestrian-vehicle: conflicts context for before-and-after studies". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2198), pp.52-64.
- Jittrapirom, P., Knoflacher, H., & Mailer, M., (2017), The conundrum of the motorcycle in the mix of sustainable urban transport. *Transportation research procedia*, 25, pp.4873-4894.
- Kim, W., Kim, G. J., & Lee, D., (2016), "Estimating potential conflicts between right-turn-on-red vehicles and pedestrians at crosswalks". *International Journal of Urban Sciences*, 20(2), pp.226-240.
- Kraay, J. H., van der Horst, A. R. A., & Oppe, S., (2013), "Manual conflict observation technique Doctor". Swov, Izf-Tno and Foundation Road safety for all, The Netherlands, Foundation Road safety for all Report, 1.

- Small, K. A., Verhoef, E. T., & Lindsey, R., (2007), "The economics of urban transportation. Routledge".
- Stipancic, J., Miranda-Moreno, L., & Saunier, N., (2018), "Vehicle manoeuvres as surrogate safety measures: Extracting data from the gps-enabled smartphones of regular drivers". *Accident Analysis & Prevention*, 115, pp.160-169.
- Tageldin, A., Zaki, M. H., & Sayed, T., (2017), "Examining pedestrian evasive actions as a potential indicator for traffic conflicts". *IET Intelligent Transport Systems*, 11(5), pp.282-289.
- Ultich Sander, (2017), "Opportunities and limitations for intersection collision intervention- A study of real world left turn across path accidents" *Accident Analysis and Prevention*, 99, pp.342-355.
- analysis". *Transportation Research Procedia*, 14, pp.2044-2053.
- "One Way ANOVA in SPSS Statistics"://statistics.laerd.com/spss-tutorials/one-way-anova-using-spss-statistics.
- Qi, Y., & Guoguo, A., (2017), "Pedestrian safety under permissive left-turn signal control". *International journal of transportation science and technology*, 6(1), pp.53-62.
- Saulino, G., Persaud, B., & Bassani, M., (2015), "Calibration and application of crash prediction models for safety assessment of roundabouts based on simulated conflicts". In *Proceedings of the 94th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting*, Washington, DC, USA, pp.11-15.
- Shin, D. S., Byun, J. H., & Jeong, B. Y., (2018), "Crashes and traffic signal violations caused by commercial motorcycle couriers". *Safety and Health at Work*.