

مقاله پژوهشی

بررسی و مدل‌سازی تصادفات جرحی و حرکت‌های نامناسب

موتورسیکلت‌سواران در میدان‌های شهری

سید محمد جواد کربلایی اکرمی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی اقبال لاهوری، مشهد، ایران

اسماعیل آیتی، استاد، دانشکده مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی اقبال لاهوری، مشهد، ایران

علی اصغر صادقی (مسئول مکاتبات) استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

E-mail: a.sadeghi@hsu.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۷

چکیده

با توجه به استفاده روزافزون از میدان‌ها در طراحی تقاطع‌ها، بررسی رفتارها و تصمیمات کاربران در عبور از میدان از اهمیت بسزایی برخوردار است. بررسی تصادفات جرحی در ۲۲ میدان پر تصادف شهر مشهد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ نشان داده است که ۴۱ درصد از این حوادث به موتورسیکلت‌سواران مربوط است. از این رو شناخت و بررسی علل یا چگونگی وقوع حوادث مربوط به آن‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. برای این منظور در این پژوهش اطلاعات تصادفات جرحی بر اساس علت تصادف و نحوه برخورد مورد ارزیابی قرار گرفت تا شایع‌ترین علل و نیز برخوردهای این گروه از کاربران میدان مشخص شود. سپس برای بررسی عوامل مؤثر بر تصادفات و حرکات نامناسب موتورسیکلت‌سواران در میدان‌ها، سه مدل خطی تعمیم یافته دوجمله‌ای منفی شامل مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات جرحی، مدل پیش‌بینی درصد نرخ حرکت‌های نامناسب موتورسواران بر اساس مشخصات حجمی و هندسی میدان‌ها و مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات جرحی بر اساس حرکت‌های نامناسب آن‌ها در میدان ایجاد شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد افزایش سه متغیر حجم ترافیک ورودی به میدان، عرض ورودی و زاویه انحراف باعث افزایش تصادفات جرحی و افزایش عرض ناحیه تداخلی میدان باعث کاهش تصادفات می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد با افزایش عرض خروجی و حجم ترافیک موتورسوار در حال گردش به دور میدان، میزان حرکات نادرست موتورسواران در میدان افزایش می‌یابد. افزایش زاویه انحراف میدان و حجم ترافیک گردشی نیز سبب کاهش حرکات نادرست موتورسواران در آن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تصادفات جرحی، حرکات نامناسب، موتورسیکلت‌سواران، میدان.

۱. مقدمه

بر اساس آمار تصادفات منتشر شده توسط سازمان حمل و نقل و ترافیک مشهد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، از کل تصادفات جرحی رخ داده در شهر مشهد، ۴۴/۶ درصد مربوط به راکبین موتورسیکلت می‌باشد. همچنین طبق آمار این سازمان در بازه زمانی مذکور، از کل تصادفات فوتی رخ داده در میدان‌ها موتورسواران با ۲۷ درصد دومین گروه از کاربران آسیب‌پذیر راه پس از عابران پیاده هستند. در میدان‌ها طبق آمار تصادفات جرحی اخذ شده از سازمان مذکور در بازه سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، حدود ۴۱ درصد از این نوع تصادفات مربوط به موتورسیکلت‌سواران است. در سال ۲۰۱۴، با اینکه موتورسیکلت‌سواران در کشور فرانسه تنها ۲ درصد از کل ترافیک را شامل می‌شدند اما ۲۴ درصد از حوادث را به خود اختصاص داده بودند که نشان‌دهنده سهم قابل توجه آنان در حوادث است [ONISR, 2014]. موضوع مهم دیگر اینکه احتمال کشته شدن با یک موتورسیکلت، ۲۴ برابر بیشتر از کشته شدن با یک خودرو است [Subirats et al. 2016].

این آمار بیانگر این موضوع است که هرچند میدان‌ها به دلیل ویژگی‌های سودمندی که دارند باعث کاهش تصادفات می‌شوند، اما با این وجود تصادفات موتورسیکلت‌سواران که جزء کاربران آسیب‌پذیر میدان هستند هنوز سهم قابل توجهی در تصادفات رخ داده در میدان‌ها دارند. حال اگر بتوان از طریق تدابیری حرکات نامناسب موتورسیکلت‌سواران در عبور از میدان‌ها را شناسایی کرد و بررسی نمود که این حرکات چگونه می‌توانند بر تصادفات تأثیر بگذارند، می‌توان با در نظر گرفتن تمهیداتی سعی در کاهش این حرکات و به دنبال آن کاهش تصادفات داشت تا علاوه بر کاهش صدمات انسانی و مالی و ارتقاء ایمنی، از طریق کاهش جریان‌های

تداخلی بتوان به بهبود روانی و یا پیوستگی جریان‌های ترافیکی در محدوده میدان‌ها کمک نمود.

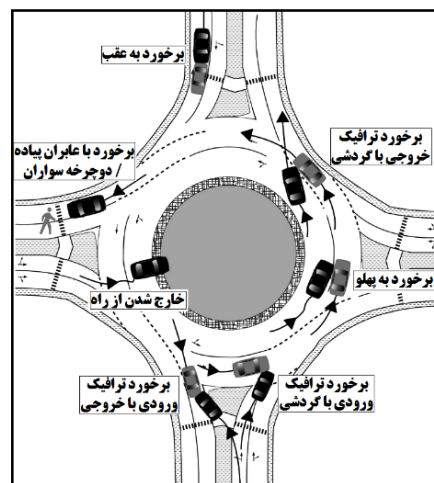
در این پژوهش هدف آن است که با بررسی آمار و داده‌های تصادفات موتورسیکلت سواران در میدان‌ها، دلایل اصلی تصادفات و نیز بیشترین نحوه برخورد این کاربران در میدان‌ها مشخص گردد. همچنین سعی بر آن است تا با استفاده از روش‌های رگرسیونی عوامل موثر بر تصادفات و مانورهای نامناسب موتورسیکلت سواران شناسایی گردد. راهکارهای کاهش تصادفات و ارتقاء ایمنی با نتایج این تحقیق می‌تواند با بازدهی بالاتری بکار گرفته شود.

در بخش دوم این تحقیق، مروری بر مطالعات گذشته در این موضوع انجام می‌شود و در بخش سوم نحوه جمع‌آوری داده‌ها و روش تحقیق آورده شده است. در بخش چهارم مدل‌سازی تصادفات موتورسیکلت سواران انجام شده و در بخش‌های بعد تجزیه و تحلیل نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مروری بر مطالعات گذشته

اگرچه میدان‌ها با هدف رفع حوادث و ارتقاء ایمنی تقاطع‌های ترافیکی ایجاد گردیده‌اند اما برخی حوادث وجود دارند که در میدان‌ها نیز ملموس هستند. بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط منداویلی و همکاران او [Mandavilli, McCartt and Retting, 2009] بر روی تصادفات رخ داده در میدان‌های ایالات متحده می‌توان به‌طور کلی هشت نوع تصادف میدان مطابق جدول ۱ و شکل ۱ را مطرح نمود. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد حدود یک سوم از تصادفات در میدان‌ها در ورودی میدان رخ می‌دهد.

مربوط به کاربر میدان است. یافته های مطالعه او نشان داد از این میان، عامل مؤثر اصلی بر تصادفات کاربران راه، عدم دادن راه به یکدیگر می باشد که سبب وقوع تصادفات زاویه ای در ورودی میدان می شود. مطالعات اداره راه های فدرالی سازمان حمل و نقل ایالات متحده [FHWA, 2010] با بررسی آمار سه نوع تصادف اصلی در چندین کشور مختلف نشان داد بیشتر تصادفات گزارش شده از میدان ها، نتیجه عدم رعایت حق تقدم رانندگان در حال ورود به میدان ها است که در نهایت سبب وقوع تصادفات ترافیک ورودی با ترافیک گردش می شوند. دانیلز و همکارانش [Daniels et al. 2011] نیز با بررسی تصادفات میدان ها نشان دادند تعداد کل تصادفات میدان ها با تعداد وسایل نقلیه (متوسط ترافیک روزانه) مرتبط است. به گونه ای که تعداد تصادفات تک وسیله نقلیه ای به ازای عبور وسیله نقلیه در میدان های شلوغ تر، پایین تر است.



شکل ۱. انواع تصادفات در میدان های ایالات متحده

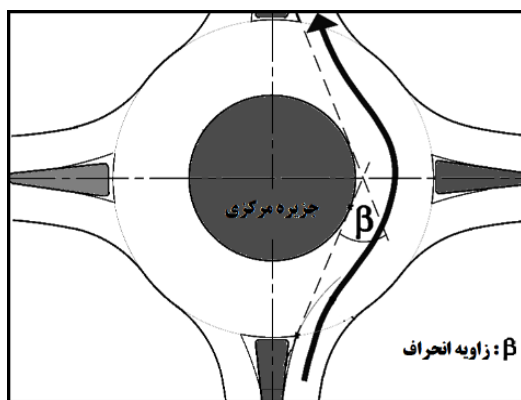
[Mandavilli, McCartt and Retting, 2009]

نحوه تعامل کاربران میدان می تواند عامل بروز تصادفات و تداخل های میدان ها باشد. در یک مطالعه صورت گرفته توسط مونتلا [Montella, 2011] بر روی تعدادی از میدان های ایتالیا مشخص شد تقریباً در یک سوم از تصادفات میدان، یک عامل مؤثر

جدول ۱. تشریح انواع تصادفات میدان های ایالات متحده [Mandavilli, McCartt and Retting, 2009]

نوع تصادف	توضیح
۱- خارج شدن از راه	تصادف توسط یک وسیله نقلیه که در آن وسیله نقلیه مسیر عبوری را ترک کرده و ممکن است با اشیاء بیرون راه برخورد کند و یا واژگون شود.
۲- برخورد به پهلوی	وسيله نقلیه داخل یک جهت در مسیر عبوری با کناره یا پهلوی وسیله نقلیه دیگر برخورد می کند.
۳- برخورد به عقب	قسمت عقب وسیله نقلیه جلویی توسط وسیله نقلیه عقبی آن ضربه می خورد.
۴- برخورد ترافیک ورودی با گردش	وسيله نقلیه وارد شونده به میدان قبل از ورود به آن توقف نکرده و با یک وسیله نقلیه در حال گردش به دور میدان برخورد می کند.
۵- برخورد ترافیک گردش با خروجی	وسيله نقلیه در حال گردش به دور میدان با وسیله نقلیه در حال خروج از آن به دلیل تغییر مسیر نادرست یکی از وسایل نقلیه برخورد می کند.
۶- برخورد ترافیک ورودی با خروجی	وسيله نقلیه وارد شونده به میدان با وسیله نقلیه در حال خروج از آن برخورد می کند.
۷- برخورد با عابر پیاده / دوچرخه سوار	وسيله نقلیه با یک عابر پیاده و یا دوچرخه سوار برخورد می کند.

صحیح و غیر منفی می باشند. داده‌های عددی با تعدادی از روش‌ها مدل‌سازی می‌شوند که متداول‌ترین آن‌ها در بحث تصادفات مدل‌های رگرسیون پواسون و دوجمله‌ای منفی هستند که برای فرایند مدل‌سازی وقایع پراکنده و غیر وابسته مانند پیش‌بینی وقوع تصادفات استفاده می‌شود [Washington, Karlaftis and Mannering, 2010].



شکل ۲. زاویه انحراف اعمال شده توسط جزیره مرکزی میدان

[Spacek, 2004]

استفاده از مدل‌های پواسون و دوجمله‌ای منفی برای مدل‌سازی فراوانی تصادفات در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است [Song, Aguero-Valverde and Jovanis, 2006]. همچنین عبدلمنان و همکارانش [Abdul Quddus, 2008]. Manan, Jousson and Varhelyi, 2013 یک تابع عملکرد ایمنی برای تصادفات فوتی موتورسیکلت سواران برای راه‌های اصلی مالزی با استفاده از مدل رگرسیونی دوجمله‌ای منفی ایجاد کردند.

از مدل بیزین تجربی در ترکیب با استفاده از مدل‌های پواسون و دوجمله‌ای منفی نیز برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات موتورسیکلت سواران در شماری از مطالعات نظیر فلاسک و شنایدر [Flask and Schenider, 2013] و میترا [Mitra,

هندسه میدان نقش مهمی در بازده عملکردی یک میدان بازی می‌کند. یک میدان دارای مؤلفه‌های هندسی خاصی است که آن را از سایر تقاطع‌ها متمایز می‌سازد. با اینکه هدف از ساخت یک میدان کاهش تداخل‌ها و تصادفات ترافیکی است اما در صورتی که عناصر خاص آن به‌طور صحیح و مناسب طراحی نشوند، می‌توانند موجب وقوع حوادث نامطلوب در میدان شوند. گزارش شماره ۶۷۲ برنامه تحقیقات اداره ملی راه ایالات متحده [NCHRP, 2010] ذکر کرده است که اندازه جزیره مرکزی نقش کلیدی در تعیین میزان انحراف اعمال شده بر کل مسیرهای وسیله نقلیه در میدان دارد. برای مثال تصادفات ترافیک خروجی با ترافیک گردشی با افزایش بزرگی میدان افزایش می‌یابند. نقش قطر دایره محاطی (بزرگی میدان) را می‌توان این گونه توضیح داد که اگر قطر این دایره بیشتر باشد در نواحی آزاد سبب ارتقای ظرفیت بخشندگی راه می‌شود بصورتی که برای تصادف یکسان با تأثیر مشابه در میدان کوچک‌تر، زمان و فضای بیشتری برای وسایل نقلیه به‌منظور کم کردن سرعت فراهم می‌کند [Daniels et al. 2010]. نتایج یک تحقیق بر روی میدان‌های شهری ایتالیا نشان داد زاویه انحراف، مهم‌ترین عامل هندسی مؤثر بر وقوع حوادث میدان‌ها است [Montella, 2011]. در این رابطه، تحقیق اسپاسیک در کشور سوئیس [Spacek, 2004] نشان داد با یک زاویه انحراف کمتر از ۴۰ درجه، به‌وضوح تعداد تصادفات بیشتری نسبت به زاویه انحراف بزرگ‌تر وجود دارد (زاویه انحراف در شکل ۲ نشان داده شده است).

برای شناخت عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات معمولاً از مدل‌سازی تصادفات برحسب ضرایب هندسی و ترافیکی و محیطی استفاده می‌شود. در این مدل‌ها، داده‌های عددی بطور معمول شامل مقادیر

2009] استفاده شده است. کاربرد این مدل ها در مدلسازی تصادفات مربوط به میدان ها نیز مورد توجه قرار گرفته است [Daniels et al, 2011].

۳. روش تحقیق

۳-۱ جمع آوری داده ها

در این تحقیق اطلاعات تصادفات جرحی موتورسیکلت سواران در میدان های طی سال های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ از سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد دریافت شده است. لازم به ذکر است دلیل در نظر گرفتن اطلاعات دو سال فوق، محدود بودن اطلاعات تصادفات سازمان مذکور به این دو سال بوده است.

در بحث تصادفات و حرکات نادرست در میدان ها متغیرهای بسیاری وجود دارند که می توانند روی آن ها اثرگذار باشند اما در این پژوهش به دلیل وجود مشکلات و محدودیت ها از قبیل عدم امکان برداشت داده های مربوط به سرعت، صرفاً داده های حجمی و برخی داده های هندسی میدان ها به عنوان متغیرهای مستقل برداشت شدند. در نتیجه اصل مورداستفاده در انتخاب متغیرهای مستقل در نظر گرفتن مجموعه ای از متغیرهای کاربردی مستقل بر اساس داده های موجود و قضاوت مهندسی است. در جدول ۲ شاخص های آماری متغیرهای مستقل نشان داده شده اند. اطلاعات هندسی لازم از قبیل عرض ناحیه ورودی، زاویه انحراف و ... با استفاده از بازدید های میدانی و نیز عکس های ماهواره ای برداشت شده است.

حجم جریان های ورودی و خروجی از میدان از سازمان ترافیک مشهد دریافت شده است. همچنین حجم جریان های گردشی و تعداد حرکت های نادرست موتورسیکلت سواران در میدان های دارای دوربین نظارت تصویری با همکاری سازمان ترافیک مشهد

با استفاده از دوربین ها و در میدان های فاقد آن بصورت میدانی برداشت شده است. لازم به ذکر است به دلیل وجود بعضی مشکلات و محدودیت ها در این تحقیق صرفاً یک ربع تداخلی میدان مورد بررسی قرار گرفت. در راستای انتخاب محدوده تداخلی موردنظر در میدان ها، اولویت برداشت با ناحیه ای بود که دارای تعداد تصادفات بیشتر و حجم بالای تردد موتورسواران باشد و نیز امکان عمل برداشت از آن ناحیه میسر باشد.

در تحقیق حاضر ابتدا اطلاعات تصادفات جرحی موتورسیکلت سواران در میدان ها مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس مدل هایی برای بررسی عوامل مؤثر بر این تصادفات و نیز حرکات نادرست این گروه از کاربران میدان ساخته شد. حرکات های نادرست موتورسیکلت سواران شامل حرکات های تعریف شده شامل حرکت- های نادرست به سبب عدم رعایت حق تقدم و تغییر مسیر ناگهانی می باشند که به صورت زیر بیان شده اند. شایان ذکر است که در تعاریف زیر، خط ورود و خروج نادرست موتورسوار از ناحیه تداخلی موردنظر به عنوان مانور تغییر مسیر و مانورهای عدم رعایت حق تقدم عبور در کلیه خطوط ناحیه موردنظر به عنوان حرکات های نادرست به سبب عدم رعایت حق تقدم تعریف شده اند. با توجه به سه خطه بودن میدان های مورد مطالعه، ۲۵ مانور تغییر مسیر عبارتند از:

- ۱- خط ورودی شماره ۱ ← خط گردشی شماره ۲
- ۲- خط ورودی شماره ۱ ← خط گردشی شماره ۳
- ۳- خط ورودی شماره ۱ ← خط خروجی شماره ۲
- ۴- خط ورودی شماره ۱ ← خط خروجی شماره ۳
- ۵- خط ورودی شماره ۲ ← خط گردشی شماره ۱
- ۶- خط ورودی شماره ۲ ← خط گردشی شماره ۳
- ۷- خط ورودی شماره ۲ ← خط خروجی شماره ۱
- ۸- خط ورودی شماره ۲ ← خط خروجی شماره ۳
- ۹- خط ورودی شماره ۳ ← خط گردشی شماره ۱
- ۱۰- خط ورودی شماره ۳ ← خط گردشی شماره ۲
- ۱۱- خط ورودی شماره ۳ ← خط خروجی شماره ۱

۱- عدم رعایت حق تقدم در ورودی میدان
۲- به اشتباه واگذاری حق تقدم در محدوده گردش میدان
[Ayati, Sadeghi and Karbalayee, 2018]

در این پژوهش یک مدل برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات، یک مدل برای پیش‌بینی فراوانی تداخل‌های (حرکت‌های نادرست) موتورسواران در میدان‌ها و نیز یک مدل برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات بر اساس تداخل‌های برداشتی ایجاد می‌شود. مقادیر عددی متغیر وابسته می‌باید صحیح و غیر منفی باشند. بنابراین به‌منظور رعایت این امر، مقادیر عددی متغیر وابسته تصادفات بر مبنای روش این تحقیق، "تصادفات جرحی دوسالانه موتورسواران" که در اثر عدم رعایت حق تقدم و تغییر مسیر ناگهانی به وقوع پیوسته و مقادیر عددی متغیر وابسته حرکت‌های نامناسب به‌صورت مقادیر صحیح "درصدهای نسبت حرکات نامناسب در ناحیه تداخلی به کل حجم عبوری" این گروه از کاربران میدان از آن ناحیه تعریف گردید. آمار توصیفی متغیرهای وابسته در جدول ۳ آورده شده‌اند.

- ۱۲- خط ورودی شماره ۳ ← خط خروجی شماره ۲
- ۱۳- خط گردش شماره ۱ ← خط گردش شماره ۲
- ۱۴- خط گردش شماره ۱ ← خط گردش شماره ۳
- ۱۵- خط گردش شماره ۱ ← خط خروجی شماره ۲
- ۱۶- خط گردش شماره ۱ ← خط خروجی شماره ۳
- ۱۷- خط گردش شماره ۲ ← خط گردش شماره ۱
- ۱۸- خط گردش شماره ۲ ← خط گردش شماره ۳
- ۱۹- خط گردش شماره ۲ ← خط خروجی شماره ۱
- ۲۰- خط گردش شماره ۲ ← خط خروجی شماره ۳
- ۲۱- خط گردش شماره ۳ ← خط گردش شماره ۱
- ۲۲- خط گردش شماره ۳ ← خط گردش شماره ۲
- ۲۳- خط گردش شماره ۳ ← خط گردش شماره ۳
- ۲۴- خط گردش شماره ۳ ← خط خروجی شماره ۱
- ۲۵- خط گردش شماره ۳ ← خط خروجی شماره ۲

همچنین مانورهای عدم رعایت حق تقدم عبارتند از:

الف) در میدان‌های دارای چراغ راهنمایی:

- ۱- عبور از چراغ قرمز در مسیر ورودی میدان
- ۲- عبور از چراغ قرمز در مسیر گردش میدان

ب) در میدان‌های فاقد چراغ راهنمایی:

جدول ۲. شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل وارد شده در مدل‌ها

ردیف	نام متغیر مستقل	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۱	حجم ترافیک ورودی (برحسب لگاریتم طبیعی)	۶/۸۲	۸/۲	۷/۴۸	۰/۳۷
۲	حجم ترافیک گردش (برحسب لگاریتم طبیعی)	۶/۵۶	۸/۲۳	۷/۵۴	۰/۵۰
۳	حجم موتور ورودی (برحسب لگاریتم طبیعی)	۴/۶۳	۶/۱۲	۵/۲۲	۰/۴۶
۴	حجم موتور گردش (برحسب لگاریتم طبیعی)	۳/۴۷	۶/۳۵	۵/۱۷	۰/۷۳
۵	عرض ورودی (برحسب متر)	۸	۲۲	۱۲/۸۲	۳/۱۳
۶	عرض گردش (برحسب متر)	۱۰	۳۶	۱۷/۸۸	۵/۶۵
۷	عرض خروجی (برحسب متر)	۵	۲۰	۱۱/۹۳	۳/۵۴
۸	شعاع ورودی (برحسب متر)	۱۷	۶۹	۳۸	۱۴/۷۴
۹	شعاع خروجی (برحسب متر)	۱۵	۱۰۶	۳۹/۸۶	۲۱/۴۷
۱۰	زاویه انحراف (برحسب درجه)	۱۹	۱۰۲	۵۳/۱۴	۲۴/۷۲
۱۱	زاویه ورود (برحسب درجه)	۲۳	۸۲	۵۴/۶۸	۱۶/۹۰
۱۲	طول ناحیه تداخلی (برحسب متر)	۲۹	۱۰۰	۵۷/۹۸	۲۱/۴۵

۱۳	عرض ناحیه تداخلی (برحسب متر)	۱۴	۳۱	۱۹/۲۵	۳/۸۲
۱۴	چراغ راهنمایی (اگر میدان دارای چراغ راهنمایی باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/۷۷	۰/۴۳

جدول ۳. آمار توصیفی متغیرهای وابسته مدل ها

نام متغیر وابسته	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس
تصادفات ناشی از عدم رعایت حق تقدم و تغییر مسیر ناگهانی	۰	۱۰	۴/۷۳	۲/۴۵	۶/۰۲
درصد تقریبی نرخ حرکات نامناسب	۲۷/۰۰	۵۷/۰۰	۴۱/۸۲	۷/۰۱	۴۹/۲۰

۲-۳ مدل های پیش بینی تصادفات و حرکات نادرست

۱-۲-۳ مدل رگرسیون پواسون

این مدل نوعی از تحلیل رگرسیونی و زیرمجموعه ای از مدل های خطی تعمیم یافته است. توزیع پواسون داده های عددی که به ندرت رخ می دهند مانند وقوع تصادف، عدم موفقیت در ساخت یا پردازش، و تعداد وسایل نقلیه ای که در صف منتظر هستند را تقریب می زند. یکی از الزامات توزیع پواسون آن است که میانگین فرایند عددی باید برابر با واریانس آن باشد. هنگامی که واریانس به میزان قابل توجهی بزرگ تر از میانگین باشد گفته می شود داده ها بیش از حد پراکنده شده اند.

در یک مدل پواسون، احتمال وقوع تعداد y_i تصادف (y_i یک عدد غیر صفر و صحیح می باشد) در میدان i در دوره زمانی مشخص برابر است با:

$$P(y_i) = \frac{\exp(-\lambda_i) \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (۱)$$

که در آن $P(y_i)$: احتمال آن است که میدان i دارای y_i تصادف در دوره زمانی مفروض و λ_i : پارامتر پواسون برای میدان i است که برابر با تعداد تصادفات مورد انتظار در دوره زمانی مفروض برای میدان i (یعنی $E[y_i]$) است. مدل های رگرسیون پواسون با مشخص کردن پارامتر پواسون (تعداد مورد انتظار رخدادها در دوره زمانی مشخص) به تابعی از متغیرهای مستقل تخمین زده می شود.

متغیرهای مستقل در این پژوهش شامل مشخصات هندسی میدان، سیستم کنترل ترافیک میدان و مشخصات حجمی آن می باشد. رایج ترین رابطه بین متغیرهای مستقل و پارامتر پواسون، مدل لگاریتم خطی است:

$$\lambda_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \dots + \beta_k x_{ik})} = \exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i) \quad (۲)$$

که در معادله مذکور، $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ و X_k : مقادیر متغیرهای مستقل و $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$: ضرایب تخمینی هستند. در این معادله، تعداد رخدادهای مورد انتظار در یک بازه زمانی توسط معادله ۳ معین می شود:

$$E[y_i] = \lambda_i = \exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i) \quad (۳)$$

ضرایب تخمینی در مدل پواسونی با استفاده از روش های احتمال بیشینه استاندارد^۱ تخمین زده می شود. تابع احتمال برای مدل رگرسیون پواسون از طریق معادله ۴ به دست می آید:

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\lambda_i] [\lambda_i]^{y_i}}{y_i!} \quad (۴)$$

لگاریتم تابع احتمال برای تخمین مناسب تر بوده و توسط معادله ۵ به دست می آید:

$$LL(\beta) = \sum_{i=1}^n [y_i \log(\lambda_i) - \lambda_i - \log(y_i!)] \quad (۵)$$

$$Var[y_i] = E[y_i][1 + \alpha E[y_i]] = E[y_i] + \alpha E[y_i]^2 \quad (8)$$

مدل رگرسیون پواسون به عنوان یک مدل محدودکننده مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی در نظر گرفته می‌شود زیرا α به سمت صفر میل کرده است این بدان معنی است که انتخاب بین این دو مدل بستگی به مقدار α دارد. پارامتر α اغلب به عنوان پارامتر بیش پراکنده شناخته می‌شود. توزیع دوجمله‌ای منفی دارای فرمی به صورت معادله ۹ است:

$$P(y_i) = \frac{\Gamma((1/\alpha) + y_i)}{\Gamma(1/\alpha) y_i!} \left(\frac{1/\alpha}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right)^{1/\alpha} \left(\frac{\lambda_i}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right)^{y_i} \quad (9)$$

که در آن $\Gamma(\cdot)$ یک تابع گاما است. این معادله منجر به تابع احتمال می‌شود (معادله ۱۰):

$$L(\lambda_i) = \prod_i \frac{\Gamma((1/\alpha) + y_i)}{\Gamma(1/\alpha) y_i!} \left(\frac{1/\alpha}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right)^{1/\alpha} \left(\frac{\lambda_i}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right)^{y_i} \quad (10)$$

در بسیاری از موارد، داده‌های عددی بیش از حد پراکنده با استفاده از مدل دوجمله‌ای منفی با موفقیت مدل می‌شوند. در این مدل محدودیت موجود در مدل پواسون پوشش داده شده و به بیان دیگر اطلاعات بیش پراکنده را می‌توان با این مدل در نظر گرفت و لزوماً احتیاجی نیست تا میانگین با واریانس داده‌ها برابر باشد [Washington, Karlaftis and Mannering, 2010].

در نتیجه می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که انتخاب میان مدل پواسون و دوگانه منفی بستگی به α دارد. به این صورت که اگر این پارامتر به سمت صفر میل کند مدل پواسون مناسب خواهد بود و اگر متفاوت از صفر باشد مدل دوجمله‌ای منفی مناسب خواهد بود.

۳-۳ ضابطه نیکویی برازش

معیارهای اصلی را که می‌توان برای ارزیابی برازش مدل مناسب بکار برد دو معیار انحراف^۱ و کی‌دو پیرسون^۲ هستند. مقدار ۱ برای این دو معیار نشان‌دهنده پراکندگی یک‌نواخت بوده درحالی‌که مقادیر

به ازای هر مقدار β که معادله ۵ حداکثر شود بردار ضرایب تخمینی (β) به دست می‌آید.

همان‌طور که گفته شد در این مدل باید میانگین توزیع با واریانس مساوی باشد [Washington, Karlaftis and Mannering, 2010]:

$$E[y_i] = Var[y_i] \quad (6)$$

اما در اغلب موارد، تصادفات به نحو قابل‌توجهی از این الزام پیروی نمی‌کنند و میانگین و واریانس داده‌های آن‌ها با هم برابر نیستند. هنگامی که میانگین و واریانس داده‌ها برابر نباشد ضرایب تخمینی دارای خطا خواهد بود که در نتیجه می‌تواند خطای مهمی در پیش بینی نتایج مدل ایجاد کند. این محدودیت را می‌توان با استفاده از توزیع دوجمله‌ای منفی برطرف نمود [Washington, Karlaftis and Mannering, 2010].

۳-۲-۲ مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی

خاصیت توزیع پواسون آن است که میانگین و واریانس را مقید به برابری می‌کند. اگر این برابری برقرار نباشد گفته می‌شود که داده‌ها دارای پراکندگی کم یا دارای پراکندگی بیش از حد هستند. بسته به نمونه‌های موردبررسی، بیش پراکندگی می‌تواند به دلایل مختلف به وجود آید. دلیل اصلی این موضوع در بسیاری از مطالعات آن است که متغیرهای تأثیرگذار بر نرخ پواسون در مشاهدات از رگرسیون حذف شده‌اند. مدل دوجمله‌ای منفی با بازنویسی معادله ۲ به دست می‌آید به طوری که برای هر مشاهده i :

$$\lambda_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon)} = \exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \varepsilon) \quad (7)$$

که در آن $\exp(\varepsilon)$: یک ترم اختلال توزیع گاما با میانگین ۱ و واریانس α است. اضافه کردن این ترم اجازه می‌دهد تا واریانس از میانگین همان‌طور که در معادله ۸ نشان داده شده متفاوت باشد.

بیش از ۱ نشان دهنده پراکندگی بیش از حد و مقادیر کمتر از ۱ نشان دهنده پراکندگی کم داده ها است. بنابراین برای انتخاب مدل رگرسیونی مناسب، در هر مدلی که یکی از این دو معیار به یک نزدیک تر باشد آن مدل رگرسیونی انتخاب می شود [Habibpour Gatabi and Safari Shali, 2016].

۴. مدل سازی

۴-۱ ایجاد مدل ها

در این پژوهش به منظور تحلیل اطلاعات دریافتی و ارائه مدل هایی برای پیش بینی فراوانی تصادفات و حرکات نامناسب موتورسواران در میدان ها از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ استفاده شده است. نرم افزار آماری مذکور از جمله نرم افزارهای پر کاربرد است که در همه علوم از جمله علوم مهندسی استفاده می شود. برای ساخت مدل پواسون و دوجمله ای منفی تصادفات و حرکات های نامناسب راکبین موتورسیکلت با این نرم افزار، یک بار متغیر تعداد تصادفات جرحی ناشی از تغییر مسیر ناگهانی و عدم رعایت حق تقدم و بار دیگر متغیر درصد نرخ حرکات نادرست (حرکات نادرست تغییر مسیر ناگهانی و عدم رعایت حق تقدم در یک خط تقسیم بر کل حجم موتورسیکلت عبوری از آن خط برحسب درصد) این دسته از کاربران میدان به عنوان متغیر وابسته و نیز مشخصات حجمی و هندسی به عنوان متغیرهای مستقل در مدل وارد شدند.

علاوه بر این دو مدل، مدل دیگری بر اساس تصادفات و نرخ حرکات نامناسب مذکور ایجاد شد؛ به این صورت که متغیر تعداد تصادفات ناشی از تغییر مسیر ناگهانی و عدم رعایت حق تقدم موتورسواران به عنوان متغیر وابسته و متغیر درصد نرخ حرکات نامناسب این دسته از کاربران میدان به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. در دو مدل ابتدایی مذکور برای ورود متغیرهای مستقل رگرسیونی به مدل پنج روش وجود دارد که محقق بسته به هدف تحلیل خود می تواند از یکی از این پنج روش استفاده کند. در این

پژوهش از روش رگرسیون پس رونده^۱ استفاده شد. در این روش ابتدا کلیه متغیرهای مستقل وارد معادله شده و اثر کلیه متغیرها بر روی متغیر وابسته سنجیده می شود. سپس به مرور متغیرهای ضعیف تر و کم اثرتر یکی پس از دیگری از معادله خارج شده و در نهایت این مراحل تا زمانی ادامه می یابد که خطای آزمون معنی داری به ۱۰ درصد برسد [Habibpour Gatabi and

Safari Shali, 2016]

برای انتخاب مدل رگرسیونی مناسب طبق جدول ۳ مقادیر میانگین و واریانس مدل ها با یکدیگر برابر نیستند که نشان می دهد ضرایب تخمینی دارای خطا هستند که می توانند خطای مهمی در پیش بینی نتایج مدل ایجاد کنند. بنابراین همان گونه که گفته شد این محدودیت را می توان با استفاده از توزیع دوجمله ای منفی برطرف نمود. علاوه بر این، می توان از جدول ۴ تحت عنوان برازش مدل ها استفاده نمود. این جدول نشان می دهد مقادیر انحراف و کی دو پیرسون برای مدل اول و سوم بیش از یک و برای مدل دوم کمتر از یک هستند که نشان دهنده پراکندگی بیش از حد و پراکندگی کم داده ها است. در نتیجه مدل دوجمله ای منفی انتخاب می شود.

۴-۱-۱ مدل پیش بینی فراوانی تصادفات جرحی

نتایج مدل دوجمله ای منفی برای فراوانی تصادفات جرحی ناشی از عدم رعایت حق تقدم و تغییر مسیر موتورسواران در میدان ها در جدول ۵ نشان شده است. با توجه به مقادیر پارامترهای تخمینی، مدل مذکور به صورت زیر است:

حجم ترافیک $\exp(-7/809 + 1/243)$ = تصادفات جرحی + (عرض ورودی) $- 0/108$ + (ورودی برحسب لگاریتم طبیعی (11) (عرض ناحیه تداخلی) $- 0/093$ - (زاویه انحراف) $0/008$ مطابق مدل فوق از بین کلیه متغیرهای مستقل تعریف شده چهار متغیر حجم ترافیک ورودی به میدان، عرض ورودی، زاویه انحراف، و عرض ناحیه تداخلی بر تصادفات جرحی ناشی از تغییر مسیر فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

ناگهانی و عدم رعایت حق تقدم راکبین موتورسیکلت در میدان‌ها اثرگذار هستند. به‌گونه‌ای که با افزایش حجم ترافیک ورودی، عرض ورودی، و زاویه انحراف میدان تعداد تصادفات مذکور افزایش یافته و از آن طرف، افزایش عرض ناحیه تداخلی میدان باعث کاهش این تصادفات می‌شود.

۴-۱-۲ مدل پیش‌بینی فراوانی حرکات نامناسب

نتایج مدل دوجمله‌ای منفی برای فراوانی حرکات نادرست به سبب عدم رعایت حق تقدم و تغییر مسیر موتورسواران در میدان‌ها در جدول ۶ نشان شده است. با توجه به مقادیر پارامترهای تخمینی مدل مذکور به صورت زیر است:

$$\text{عرض} = \exp\left(\frac{4}{692} + 0.028\right) = \text{درصد نرخ حرکات نادرست}$$

$$\text{حجم موتور} = 0.090 + (\text{زاویه انحراف}) - 0.002 - (\text{خروجی حجم ترافیک گردش}) - 0.218 - (\text{گردشی برحسب لگاریتم طبیعی})$$

$$\text{((برحسب لگاریتم طبیعی))} \quad (12)$$

طبق مدل فوق از میان کلیه متغیرهای مستقل تعریف شده چهار متغیر عرض ورودی، زاویه انحراف، حجم موتور گردش در میدان، و حجم ترافیک گردش در میدان بر درصد نرخ حرکات نامناسب ناشی از تغییر مسیر ناگهانی و عدم رعایت حق تقدم عبور راکبین موتورسیکلت در میدان‌ها تأثیرگذار هستند. مطابق معادله ۱۲ با افزایش عرض خروجی و احجام ترافیک و موتورسوار در حال گردش، درصدهای نرخ حرکات نامناسب و به تعبیری میزان حرکات تداخلی موتورسواران در میدان افزایش یافته و برعکس، افزایش زاویه انحراف سبب کاهش این مانورها می‌شود. توجه شود طبق تحقیقات اسپاسیک در کشور سوئیس [Spacek, 2004] که با کاهش زاویه انحراف، تعداد تصادفات بیشتر می‌شود باید گفت این نتیجه برای کل تصادفات بوده اما در معادله ۱۲ که ضریب متغیر مستقل زاویه انحراف منفی به دست آمده است باید یادآوری شود این مدل صرفاً مربوط به راکبین موتورسیکلت بوده و نیز بر اساس تصادفات جرحی این دسته از کاربران میدان حاصل شده است.

جدول ۴. برازش مدل دوجمله‌ای منفی برای مدل‌های پیش‌بینی تصادفات و حرکات نادرست

مدل سوم	مدل دوم	مدل اول	
۱۹	۱۶	۱۶	درجه آزادی
۲۶/۶۲۴	۱۵/۰۹۷	۱۷/۹۲۲	انحراف
۱/۴۰۱	۰/۹۴۴	۱/۰۵۸	نسبت انحراف به درجه آزادی
۲۳/۷۳۲	۱۵/۱۰۲	۱۳/۷۹۹	کی دو پیرسون
۱/۲۴۹	۰/۹۴۴	۰/۸۶۲	نسبت کی دو پیرسون به درجه آزادی

جدول ۵. پارامترهای تخمینی مدل دوجمله‌ای منفی پیش‌بینی فراوانی تصادفات جرحی

نام متغیر مستقل	ضریب تخمین	انحراف استاندارد	سطح معناداری
مقدار ثابت	-۷/۸۰۹	۲/۸۴۴۳	۰/۰۰۶

حجم ترافیک ورودی به میدان (برحسب لگاریتم طبیعی)	۱/۲۴۳	۰/۳۹۰۹	۰/۰۰۱
عرض ورودی (برحسب متر)	۰/۱۰۸	۰/۴۶۵	۰/۰۲۰
زاویه انحراف (برحسب درجه)	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴۰	۰/۰۶۰
عرض ناحیه تداخلی (برحسب متر)	-۰/۰۹۳	۰/۰۴۱۲	۰/۰۲۴
پارامتر پراکندگی بیش از حد	$10^{-8} \times 1/417$	$< 0/0001$	-

نتایج مدل دوجمله ای منفی برای فراوانی تصادفات جرحی موتورسواران برحسب حرکات نامناسب به سبب عدم رعایت حق تقدم و تغییر مسیر آن ها در میدان ها در جدول ۷ نشان شده است. با توجه به مقادیر پارامترهای تخمینی مدل مذکور به صورت زیر است:

نادرست اثرگذار نیستند بلکه تعداد کم میدان های دارای آن ها سبب شد در مدل ها وارد نشوند.

۴-۲. اعتبارسنجی مدل ها

اعتبارسنجی مدل ها یکی از مهم ترین گام های مدل سازی است. درواقع هدف از انجام آن مشخص نمودن قابل استفاده بودن مدل ساخته شده می باشد. در این پژوهش برای بررسی صحت مدل های ساخته شده از آزمون t با دو نمونه جفتی یا هم بسته^۳ استفاده شد. از این آزمون برای محاسبه فاصله اطمینان و آزمون فرضیه تفاوت میانگین های دو جمعیت در زمانی به کار می رود که مشاهدات این دو جمعیت با یکدیگر جفت (وابسته) باشند. بنابراین در این آزمون میانگین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل ها با یکدیگر مقایسه می شوند. فرضیه صفر در چنین مدل هایی آن است که اختلافی بین مقادیر میانگین در دو نمونه وابسته وجود ندارد و فرضیه خلاف آن نیز این است که بین دو مقدار میانگین دو نمونه

اختلاف وجود داشته باشد [Habibpour Gatabi and Safari Shali, 2016]

برای اعتبارسنجی مدل های ایجاد شده، یک جامعه آماری از ۴ میدان که وارد مدل نشده اند در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از مدل های برازش داده شده تعداد تصادفات جرحی و درصدهای نرخ فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

۵-۳-۱ مدل پیش بینی فراوانی تصادفات جرحی برحسب حرکات نامناسب

درصدهای نرخ $\exp(2/728 - 0/028) =$ تصادفات جرحی ((حرکات نامناسب (۱۳)

همان طور که در معادله ۱۳ مشاهده می شود متغیر مستقل درصدهای نرخ حرکات نامناسب دارای ضریب منفی است به این معنا که با افزایش درصدهای نرخ حرکات نادرست موتورسواران در میدان ها، تعداد تصادفات جرحی این دسته از کاربران میدان کاهش می یابد. بنابراین می توان این طور استنتاج نمود که افزایش میزان حرکات نامناسب موتورسواران در میدان ها (به تعبیری افزایش تعداد موتورسواران) باعث ازدحام و شلوغی ناحیه تداخلی میدان می شود بنابراین سرعت ها کاهش یافته و نیز موتورسواران به منظور پرهیز از وقوع برخورد بیشتر احتیاط می نمایند در نتیجه تعداد تصادفات جرحی کاهش می یابد (این نتیجه با مشاهدات میدانی در ساعات شلوغی هماهنگ است).

لازم به ذکر است وارد نشدن متغیرهایی همچون وجود چراغ راهنمایی در میدان و یا وجود جزیره جداکننده به این معنا نیست این عوامل بر تعداد تصادفات جرحی یا درصد نرخ حرکات

پیش‌بینی‌شده تفاوتی ندارند و در نتیجه مدل معتبر است [Habibpour Gatabi and Safari Shali, 2016]. همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود سطح معناداری هر سه مدل فوق از ۰/۰۵ بیشتر است بنابراین فرضیه صفر را نمی‌توان رد کرد و در نتیجه مدل‌ها معتبر هستند.

حرکات نادرست موتورسواران در میدان‌ها پیش‌بینی گردید. در نرم‌افزار SPSS پس از اجرای دستور آزمون t با دو نمونه جفتی یا هم‌بسته، نتایج حاصله در جدول ۸ نشان داده شده است. در این جدول چنانچه سطح معناداری بیشتر از ۰/۰۵ باشد فرضیه صفر را نمی‌توان رد کرد و بنابراین می‌توان گفت به‌طور متوسط میانگین تصادفات و درصدهای نرخ حرکات نامناسب مشاهده‌شده و

جدول ۶. پارامترهای تخمینی مدل دوجمله‌ای منفی پیش‌بینی فراوانی حرکات نامناسب

نام متغیر مستقل	ضریب تخمین	انحراف استاندارد	سطح معناداری
مقدار ثابت	۴/۶۹۲	۰/۵۶۸۳	<۰/۰۰۰۱
عرض خروجی (برحسب متر)	۰/۰۲۸	۰/۰۱۱۶	۰/۰۱۵
زاویه انحراف (برحسب درجه)	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۲۸
حجم موتورسوار گردشی (برحسب لگاریتم طبیعی)	۰/۰۹۰	۰/۰۶۴۴	۰/۰۶۳
حجم ترافیک گردشی (برحسب لگاریتم طبیعی)	-۰/۲۱۸	۰/۱۰۷۶	۰/۰۴۳
پارامتر پراکندگی بیش‌ازحد	$10^{-9} \times 1/0.59$	<۰/۰۰۰۱	-

جدول ۷. پارامترهای تخمینی مدل دوجمله‌ای منفی پیش‌بینی فراوانی تصادفات جرحی برحسب حرکات نامناسب

نام متغیر مستقل	ضریب تخمین	انحراف استاندارد	سطح معناداری
مقدار ثابت	۲/۷۲۷	۰/۶۲۶۰	<۰/۰۰۰۱
نرخ حرکات نامناسب (برحسب درصد)	-۰/۰۲۸	۰/۰۱۵۱	۰/۰۶۱
پارامتر پراکندگی بیش‌ازحد	۰/۰۱۰	۰/۰۷۳۱	-

جدول ۸. نتایج آزمون t برای معتبر سازی مدل‌های برازش داده شده

نام مدل	میانگین	انحراف معیار استاندارد	انحراف معیار استاندارد	آماره t	درجه آزادی (df)	سطح معناداری
مدل تصادفات جرحی	-۱/۹۱۳۲۱۰	۱/۴۳۴۴۳۹	۰/۷۱۷۲۲۰	-۲/۶۶۸	۳	۰/۰۷۶
مدل حرکت‌های تداخلی	۴/۰۲۰۵۲۱	۳/۳۵۱۹۶۳	۱/۶۷۵۹۸۲	۲/۳۹۹	۳	۰/۰۹۶
مدل تصادفات جرحی برحسب حرکت‌های تداخلی	-۱/۸۲۶۹۵۷	۱/۳۱۵۶۰۰	۰/۶۵۷۸۰۰	-۲/۷۷۷	۳	۰/۰۶۹

۵. تجزیه و تحلیل نتایج

۵-۱ تجزیه و تحلیل اطلاعات تصادفات جرحی دریافتی

از سازمان حمل و نقل

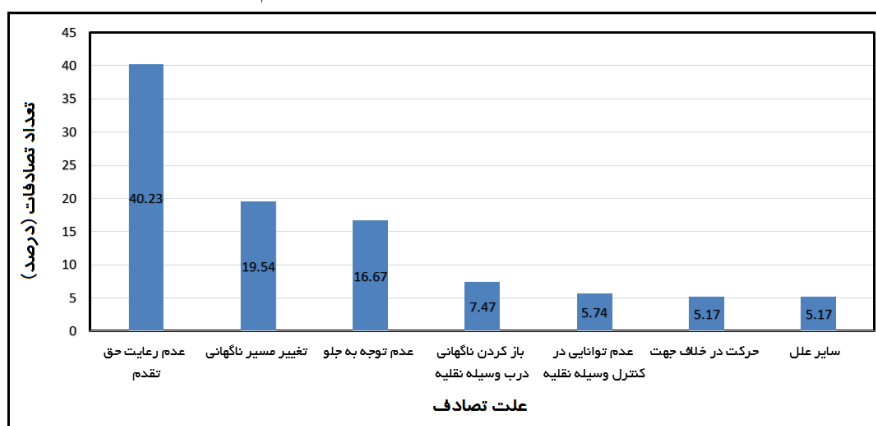
نقض قوانین کنترل ترافیک از علل مهم در وقوع تداخل یا تصادف است. طبق ماده ۱۳۷ آئین‌نامه راهنمایی و رانندگی ایران، هنگام ورود به میدان حق تقدم با وسیله‌ای است که داخل میدان در حرکت است. به عبارت ساده‌تر به هنگام ورود به میدان باید توقف کامل

تقدم و بعد از آن ناشی از تغییر مسیر ناگهانی در میدان می باشد. رعایت حق تقدم عبور و عدم تغییر مسیر در داخل میدان دو قانون مهم یک میدان بوده و مطابق شواهد مذکور، عدم پیروی از این دو قانون پیامدهایی از قبیل وقوع تصادف و ایجاد تداخل در جریان ترافیک و به سبب آن ازدحام و تراکم در میدان را به دنبال خواهد داشت. متأسفانه هنوز قوانین فوق به ویژه قانون جدید رعایت حق تقدم عبور در میدان ها به اندازه کافی فراگیر نشده است. در مورد دلیل نقض قانون دوم، بررسی های در محل از میدان های مذکور نشان داد غیر از رفتار ناسازگاری کاربران با شرایط ترافیک در حال عبور از میدان متأسفانه همگی فاقد خط کشی روسازی در سواره رو گردشی بودند و فقط یک میدان دارای آن بود که آن هم از کیفیت بسیار پائینی (کم رنگ) در داخل میدان برخوردار بود.

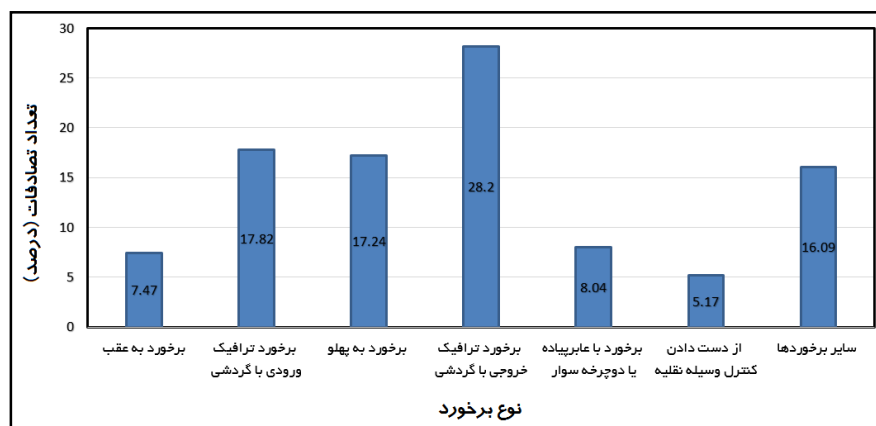
نمود تا وسیله نقلیه داخل میدان عبور نموده و سپس وارد میدان شد. در میدان ها، «توقف در هنگام ورود به مسیر گردشی میدان» الزامی است ضمن آن که تغییر مسیر در سواره رو گردشی منع شده است به عبارت دیگر دو قانون اصلی در عبور از میدان، «رعایت حق تقدم» و «عدم تغییر مسیر در داخل میدان» است.

۵-۱-۱ طبقه بندی تصادفات جرحی بر اساس علت تصادف

طبقه بندی آمار تصادفات موتورسواران دریافتی از سازمان حمل و نقل و ترافیک مشهد بر اساس علت تصادف در نمودار ۱ نشان داده شده است. مطابق نمودار، بیشترین علل تصادفات موتورسواران در میدان ها در درجه اول ناشی از عدم رعایت حق



نمودار ۱. فراوانی تصادفات جرحی بر حسب علت تصادف



نمودار ۲. فراوانی تصادفات جرحی بر حسب نوع برخورد

۵-۱-۲ طبقه‌بندی تصادفات جرحی بر اساس نوع برخورد

به‌طور کلی طبقه‌بندی تصادفات راهنمایی و رانندگی و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک ایران بر اساس علت تصادف است درحالی‌که طبق تحقیقات مختلف بیان‌شده، طبقه‌بندی تصادفات میدان‌ها بر اساس نوع برخورد بیان می‌شوند. بنابراین برای بررسی تصادفات موتورسواران علاوه بر بررسی آمار داده‌های دریافتی، از طبقه‌بندی انواع تصادفات ذکرشده که مربوط به کلیه وسایل نقلیه موتوری هستند برای آن‌ها استفاده شد. به عبارت دیگر تصادفات موتورسیکلت‌سواران بر اساس هفت نوع عمده از تصادفات وسایل نقلیه در میدان‌ها به شرح زیر طبقه‌بندی شد.

۱- برخورد به عقب وسیله نقلیه

۲- برخورد ترافیک ورودی با ترافیک گردشی

۳- برخورد به پهلوی وسیله نقلیه

۴- برخورد ترافیک خروجی با ترافیک گردشی

۵- برخورد با عابر پیاده یا دوچرخه‌سوار

۶- از دست دادن کنترل وسیله (مانند برخورد با اشیاء کناره راه)

۷- سایر برخوردها

مزایای این نوع طبقه‌بندی آن است که به کمک آن می‌توان تصادفات را بر اساس انواع جریان‌های ترافیکی میدان بیان نمود و مهم‌تر از آن می‌توان خطرناک‌ترین محل‌های یک میدان برای یک گروه از خاص از کاربران آن را به دست آورد. با بازنویسی تصادفات جرحی برحسب نوع برخورد می‌توان انواع برخوردهای جرحی راکبین موتورسیکلت در میدان‌ها را در نمودار ۲ نشان داد. طبق اطلاعات این نمودار مشاهده می‌شود شایع‌ترین نوع تصادف موتورسواران در میدان‌ها از نوع برخورد جریان ترافیک در حال خروج با جریان ترافیک در حال گردش است. بنابراین می‌توان

نتیجه گرفت که خطرناک‌ترین محل میدان برای راکبین موتورسیکلت، محدوده خروجی میدان‌ها است.

درنتیجه برخلاف نتایج مطالعات مختلف [Mandavilli, McCartt and Retting, 2009, Montellan, 2011, FHWA, 2010] که بیان داشتند شایع‌ترین نوع تصادف وسایل نقلیه در میدان‌ها برخورد جریان ترافیک ورودی با جریان ترافیک گردشی بوده و نیز خطرناک‌ترین محل برای این دسته از کاربران محدوده ورودی میدان است، شایع‌ترین نوع تصادف جرحی برای موتورسواران از نوع برخورد جریان ترافیک خروجی با جریان ترافیک گردشی بوده و درنتیجه خطرناک‌ترین محل برای این دسته از کاربران محدوده خروجی میدان است.

مهم‌ترین دلیل این موضوع به نظر می‌رسد به نحوه عبور موتورسیکلت‌سواران در میدان مربوط باشد. طبق تحقیقات سابیراتس و همکاران او [Subirats et al. 2016] برخلاف وسایل نقلیه سواری که به محض ورود به میدان شروع به افزایش شتاب می‌کنند مانور شتاب‌گیری موتورسواران تنها در هنگام خروج از میدان اتفاق می‌افتد. لذا با افزایش سرعت این کاربران در صورت وقوع یک تداخل احتمالی (به عنوان مثال وسیله نقلیه‌ای حق تقدم در ورود به میدان را رعایت نکرده و از خط سوم به سرعت وارد میدان می‌شود) امکان و شدت یک برخورد، بسیار زیاد می‌گردد. به علاوه با افزایش سرعت و شتاب‌گیری موتورسوار قدرت کنترل موتورسیکلت بسیار کاهش می‌یابد [Department of Transport and Main Roads Queensland, 2012]. همچنین شاید اندازه کوچک‌تر این دسته از کاربران آسیب‌پذیر میدان نسبت به سایر وسایل نقلیه موتوری که سبب می‌شود رانندگان دید مناسبی از آن‌ها نداشته باشند (برای مثال در نقطه کور

محدوده دید راننده) و به اشتباه تصور کنند موتورسواران در محدوده پیمایش آنان حضور ندارند باعث افزایش تصادفات با آنها شود. حال بر اساس نمودار مذکور و کروکی تصادفات اخذ شده از سازمان حمل و ترافیک می توان خطرناک ترین محل های یک میدان برای راکبین موتورسیکلت را به ترتیب محدوده خروجی، محدوده ورودی، و محدوده گردشی یک میدان دانست.

همچنین طبق گزارش شماره ۶۷۲ برنامه تحقیقات اداره ملی راه ایالات متحده [NCHRP, 2010] افزایش بیش از حد اندازه میدان و طول نواحی تداخلی آن ممکن است به جای کاهش تصادفات باعث جابجایی نقطه بروز حادثه شود. طبق این گزارش رایج ترین برخورد در میدان ها برخورد جریان ورودی با گردشی است و به عبارتی خطرناک ترین محل میدان محدوده ورودی آن است. حال اگر اندازه میدان بیش از حد زیاد شود سبب جابه جایی برخوردها از این محدوده به محدوده خروجی خواهد شد.

بنابراین اگر نتیجه حاصل از این پژوهش با نتیجه گزارش مذکور ادغام شود این موضوع استنتاج می شود که به طور کلی افزایش اندازه میدان شاید سبب ارتقاء ظرفیت و ایمنی میدان شود اما بایست این موضوع را هم در نظر داشت که اگر این عمل به درستی صورت نگیرد می تواند صرفاً سبب جابه جایی نقطه حادثه خیز شود نه کاهش حوادث میدان. به بیان دیگر، افزایش اندازه و طول نواحی تداخلی میدان باعث ارتقاء ایمنی و ظرفیت خواهد شد اما اگر از حدی بیشتر شود بر ظرفیت تأثیر چندانی نداشته و از آن طرف باعث برگشت دوباره شمار زیاد تصادفات آن میدان به حالت قبل از افزایش اندازه خواهد شد و در نتیجه از میزان ایمنی میدان کاسته خواهد شد.

از آنجایی که طبق تحقیقات صورت گرفته خط کشی صحیح روسازی جزء مهم ترین ابزار کنترل ترافیک برای به حداقل رساندن مانورهای غیرقابل پیش بینی و در نتیجه تداخل ها و تصادفات می باشد، بنابراین

این کاستی به نظر می رسد بی تأثیر در وقوع تخلفات در این میدان ها نباشد. بررسی میدانی وضعیت میدان ها نشان داد یکی از مشکلات عمده میدان های مورد بررسی عدم خط کشی مناسب است. به گونه ای که کلیه میدان های مورد بررسی فاقد خط کشی بوده و یک مورد هم که خط کشی روسازی داشت متأسفانه از کیفیت خوبی برخوردار نبود. زیرا طبیعی است که وسایل نقلیه در عبور از میدان (اعم از موتورسیکلت و خودروهای سواری) در تشخیص خطی که باید در آن قرار بگیرند دچار مشکل شوند و به صورت غیر عمد منجر به ایجاد تداخل در جریان های ترافیکی در حال عبور از میدان شوند. با ایجاد خط کشی های مناسب که بیان کننده پیام های مربوط به قوانین میدان هستند (مانند هشدار درباره توقف یا رعایت حق تقدم به هنگام ورود) امکان دارد بتوان از میزان تخلفات در میدان ها کاست.

۵-۲ تجزیه و تحلیل مدل های پیش بینی

غیر از عواملی که در اشاره شد نتایج حاصل از مدل سازی ها نشان داد متغیرهای اثرگذار بر تصادفات جرحی و نیز حرکات نادرست تغییر مسیر ناگهانی و عدم رعایت حق تقدم راکبین موتورسیکلت در میدان ها به شرح زیر است:

۱- افزایش سه متغیر: حجم ترافیک ورودی به میدان، عرض ورودی میدان و زاویه انحراف باعث افزایش تصادفات جرحی می شود.

۲- با افزایش عرض ناحیه تداخلی میدان، تعداد تصادفات جرحی کاهش می یابد.

۳- با افزایش عرض خروجی و احجام ترافیک و موتورسوار در حال گردش به دور میدان، میزان حرکات نادرست موتورسواران در میدان افزایش می یابد.

باشد. این کار به جلوگیری از برخورد وسایل نقلیه منحرف شده به جزیره مرکزی کمک کرده و نیز رانندگان را از ایجاد یک مانور گردش به چپ در مسیر اشتباه، منع می کند [NCHRP, 2010].

بیر و همکاران [Beer et al. 2014] و نیز سابیراتس و همکارانش [Subirats et al. 2016] در رابطه با ایمنی موتورسیکلت سواران در میدان ها دو نکته زیر را توصیه می کنند:

۱- در نظر گرفتن و نظارت کامل جهت اجرای صحیح جانمایی تابلوها

۲- استفاده از تابلوهای راهنما و المان های انعطاف پذیر که به محض برخورد، به جای زخمی کردن موتورسوار خم خواهد شد.

سازمان حمل و نقل و راه های اصلی کوئینزلند استرالیا [Department of Transport and Main Roads Queensland, 2012] در رابطه با پیمایش موتورسواران در میدان ها به این موضوع اشاره می کند که میدان ها برای کمک به کنترل ترافیک و اطمینان از جریان روان ترافیک طراحی شده اند اما بسیاری از موتورسواران هنوز هم دقیقاً نمی دانند که چگونه در عبور از یک میدان عمل کنند. زمانی که موتورسوار به یک میدان چند خطه نزدیک می شود مهم است تا اطمینان حاصل شود که او در خط صحیح برای پیمایش مسیر حرکت مورد نظر خود قرار دارد. بنابراین اگر موتورسوار قصد دارد به سمت راست گردش کند باید از خط راست به میدان نزدیک شده (مگر اینکه به طریق دیگر در راه مشخص شده باشد) راهنمای سمت راست را بزند و به ترافیکی که از قبل داخل میدان شده است حق تقدم را بدهد سپس هنگامی که موتورسوار یک شکاف ایمن را در میدان مشاهده نمود وارد آن شده و در خط سمت راستی که تمایل به گردش به راست دارد بماند. اگر موتورسوار تمایل دارد به سمت چپ بپیچد باید از خط چپ به میدان نزدیک شده، راهنمای چپ را زده و هنگامی که سرفاصله زمانی ایمن را مشاهده نمود وارد میدان شود. سپس در خط چپ

۴- افزایش زاویه انحراف میدان سبب کاهش حرکات نادرست موتورسواران در آن می شود.

۵- افزایش میزان حرکت های نادرست موتورسواران در میدان ها سبب کاهش تعداد تصادفات جرحی این دسته از کاربران می شود. این نتیجه اگر چه برخلاف استنباط عقلی است و اصولاً انجام حرکات نادرست باعث افزایش احتمال آسیب دیدگی می گردد. با این حال با توجه به اینکه در این تحقیق سرعت وسایل مورد بررسی قرار نگرفته است افزایش میزان حرکات نامناسب و عدم رعایت حق تقدم و تغییر مسیر موتورسواران در میدان ها می تواند باعث ازدحام و شلوغی و کاهش سرعت ها در ناحیه تداخلی میدان شود و نیز کاربران به منظور جلوگیری از وقوع یک برخورد خطرناک احتیاط بیشتری نموده و در نتیجه تعداد تصادفات جرحی کاهش می یابد.

لازم به ذکر است موارد استثنای فوق صرفاً بر مبنای تصادفات جرحی و نیز حرکت های نامناسب تغییر مسیر ناگهانی و عدم رعایت حق تقدم موتورسیکلت سواران در میدان ها صادق است و ممکن است درباره دیگر انواع تصادفات (فوتی و خسارتی) و حرکات نادرست موتورسواران برقرار نباشد.

۶. راهکارهای پیشنهادی در تحقیقات مختلف

افزایش عرض جزیره جداکننده در محدوده میدان منجر به جدایی بیشتر بین جریان های ترافیکی ورودی و خروجی در آن شاخه میدان شده و نیز سبب افزایش زمان عکس العمل برای رانندگان در حال نزدیک شدن به میدان به منظور تمایز بین وسایل نقلیه خروجی و گردشی می شود. در اغلب موارد بهتر است جزیره جداکننده دارای انحنای کافی به منظور جلوگیری از یک مسیر مستقیم به جزیره مرکزی میدان برای وسایل نقلیه در حال نزدیک شدن به آن

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

بماند و در جایی که ممکن شد راهنمای راست را روشن کند تا نشان دهد که مایل به خروج از میدان است.

خط کشی ها و تابلوها برای ارائه پیامی مشخص به کاربران میدان باید سازگار با یکدیگر باشند. همچنین باید برای وسایل نقلیه در حال رسیدن به میدان به منظور انتخاب خط مناسب، زمان و فاصله کافی را فراهم کنند [NCHRP, 2010]. در هنگام عبور از میدان ها در طول ساعات روز و شرایط آب و هوایی روشن احتمال دارد رانندگان وسایل نقلیه بیشتر به خط کشی ها نسبت به تابلوها نگاه کنند. به عبارت دیگر زمانی که وسیله نقلیه ای در حال نزدیک شدن به میدان است راننده به خط کشی های روسازی در مسیر، چهار برابر میزانی که به تابلوهای کنترل خط نگاه می کند توجه دارد. این موضوع بیانگر آن است که رانندگان وسایل نقلیه برای عبور از میدان ها متکی به خط کشی های روسازی نسبت به تابلوها هستند [FHWA-SA-15-072, 2015]. متأسفانه در ۲۲ میدان انتخابی مشاهده شد کلیه آنها فاقد خط کشی سواره رو گردشی بوده و یک مورد هم که خط کشی روسازی داشت از کیفیت خوبی برخوردار نبود.

۷. نتیجه گیری

تمرکز بیشتر بر کاهش تعداد تصادفات شدید کاربران آسیب پذیر راهکاری سریع بر افزایش ایمنی و کاستن از تعداد مجروحان و کشته های ترافیکی است. بر حسب آمار تصادفات اخذ شده از سوی سازمان حمل و نقل و ترافیک مشهد در سال های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، موتورسواران در تصادفات جرحی در رتبه اول و در تصادفات منجر به فوت در رتبه دوم قرار دارند. از سوی دیگر میدان ها به عنوان یک نقطه مهم برخوردهای ترافیکی و یکی از امکانات قدیمی راه نیازمند بررسی و بازنگری در شیوه طراحی و استفاده است. در این تحقیق حرکت های نادرست موتورسیکلت

سواران و میزان تصادفات جرحی آنها در میدان های شهری مورد بررسی قرار گرفت. بررسی آمار تصادفات جرحی موتورسیکلت سواران و علل تصادف آنها نشان داد عدم رعایت حق تقدم و حرکت های ناگهانی دلایل اصلی در تصادفات جرحی است. همچنین از لحاظ نوع برخورد در تصادفات جرحی، برخورد ترافیک خروجی با ترافیک گردشی بیشترین سهم را در بین انواع تصادفات جرحی موتور سیکلت سواران داشته است.

نتایج مدل پیش بینی تصادفات جرحی موتورسیکلت سواران با استفاده از برازش دو جمله ای منفی نشان می دهد میزان تصادفات جرحی این کاربران با افزایش حجم ترافیک ورودی به میدان، عرض ورودی و زاویه انحراف میدان، افزایش و با زیاد شدن عرض بخش تداخلی کاهش می یابد. همچنین مدل دو جمله ای منفی پیش بینی میزان حرکات نادرست موتورسواران نشان می دهد با افزایش عرض خروجی و حجم موتورسواران در حال گردش میزان حرکات نادرست افزایش و بالعکس با افزایش زاویه انحراف میدان و حجم کل ترافیک گردشی کاهش می یابد. همچنین مدل پیش بینی تعداد تصادفات جرحی بر اساس نرخ حرکات نادرست موتورسواران نشان می دهد با افزایش میزان حرکات های نادرست موتورسواران تعداد تصادفات جرحی این دسته از کاربران کاهش می یابد. اگرچه اصولاً انجام حرکات نادرست باعث افزایش احتمال آسیب دیدگی می گردد، با این حال افزایش میزان حرکات نادرست و عدم رعایت حق تقدم و تغییر مسیر موتورسواران در میدان ها میتواند باعث ازدحام و شلوغی و کاهش سرعت ها در ناحیه تداخلی میدان شود.

وارد کردن یافته های بررسی داده های تصادف و نتایج مدل سازی انجام شده در مراحل طراحی میدان ها و کنترل ترافیک میدان می تواند به کاهش تعداد تصادفات جرحی منجر شود.

- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. and Wets, G. (2010) "Externality of risk and crash severity at roundabouts", Accident Analysis and Prevention, Vol. 42, No. 6, pp. 1966-1973.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. and Wets, G. (2011) "Extended prediction models for crashes at roundabouts", Safety Science, Vol. 49, No. 2, pp. 198-207.
- Department of Transport and Main Roads Queensland (2012) "Queensland Motorcycle Riders' Guide", Queensland.
- FHWA (2010) "Roundabouts: Report No. FHWA-SA-10-006 Technical summary", Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation,
- FHWA (2015) "Accelerating Roundabouts in the United States: Volume IV of VII – A Review of Fatal and Severe Injury Crashes at Roundabouts", Report No. FHWA-SA-15-072, Washington DC: U. S. Department of Transportation.
- Flask T., Schneider IV W. (2013) "A Bayesian analysis of multi-level spatial correlation in single vehicle motorcycle crashes in Ohio", Safety Science, Vol. 53, pp. 1-10.
- Haque, M.M., Chin, H.C. and Huang, H. (2010), "Applying Bayesian hierarchical models to examine motorcycle crashes at signalized intersections", Accident Analysis and Prevention, Vol. 42, No. 1, pp. 203-212.
- Mandavilli, S., McCartt, A. T. and Retting, R. A. (2009) "Crash patterns and potential engineering countermeasures at Maryland roundabouts", Traffic Injury Prevention, Vol. 10, No. 1, pp. 44-50.

پیشنهاد می‌شود تحقیقات جداگانه‌ای در مورد تصادفات خسارتی و فوتی موتورسیکلت سواران در میدان‌ها و اثر سرعت حرکت بر تعداد انواع مختلف تصادفات انجام شود.

۸. پی‌نوشت‌ها

1. Deviance
2. Pearson Chi-Square
3. Backward Method
4. Paired-Samples T Test

۹. مراجع

- آیتی، اسماعیل، صادقی، علی‌اصغر و کربلایی اکرمی، سید محمدجواد (۱۳۹۷) "مقایسه وضعیت حرکت موتورسیکلت سواران در میدان‌های ایران و سایر کشورها و اثرات آن بر تصادفات"، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۷.
- حبیب پور گنابی، کرم و صفری شالی، رضا (۱۳۹۵) "راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی"، چاپ هفتم، تهران: انتشارات متفکران.
- Abdul Manan, M. M., Jonsson, T. and Várhelyi, A. (2013) "Development of a safety performance function for motorcycle accident fatalities on Malaysian primary roads", Safety Science, Vol. 60, pp. 13-20.
- Aguerro-Valverde, J. and Jovanis, J. P., (2006), "Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania", Accident Analysis and Prevention, Vol. 38, No. 3, pp. 618-625.
- Beer, K., Aninipoc, E., Andrea, D. and Beer, T. (2014) "Making roundabouts a safe system solution for motorcyclists", Australasian Road Safety Research Policing Education Conference'', Melbourne, Australia, 12-14 November 2014.

- heterogeneity: an analysis of London crash data”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 40, No.4, pp. 1486-1497.
- Song, J.J., Ghosh, M., Miaou, S. and Mallick, B. (2006) “Bayesian multivariate spatial models for roadway crash mapping”, Multivariate Analysis, Vol. 97, No.1, pp. 246-273.
 - Spacek, P. (2004) “Basis of the Swiss design standard for roundabouts”, Transportation Research Record, No. 1881, pp. 27-35.
 - Subirats, P., Violette, E., Moisan, O. and Hublart, A. (2016) “A new instrumented tool for motorcyclist behavior understanding: application to roundabouts”, Transportation Research Procedia, No. 14, pp. 3791-3800.
 - Washington, S. P., Karlaftis, M. G. and Mannering, F. L. (2010) “Statistical and economic methods for transportation data analysis”, New York Chapman and Hall/CRC.
 - Mitra, S. (2009) “Spatial autocorrelation and Bayesian spatial statistical method for analyzing intersections prone to injury crashes”, Transportation Research Record , No. 2136, pp. 92-100.
 - Montella, A. (2011) “Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 43, No. 4, pp. 1451-1463.
 - NCHRP (2010) “Roundabouts in the United States: NCHRP Report 672”, 2nd edition, Washington, D.C. National Cooperative Highway Research Program.
 - ONISR (2015) “Road Safety In 2014”, French Road Safety Observatory.
 - Quddus, M. A. (2008) “Modelling area-wide count outcomes with spatial correlation and

سید محمد جواد کربلایی اکرمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۴ از مؤسسه آموزش عالی اقبال لاهوری و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری را در سال ۱۳۹۷ از مؤسسه آموزش عالی اقبال لاهوری اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی ترافیک و مدلسازی در حمل و نقل است.



اسماعیل آیتی، درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی راه و ساختمان را در سال ۱۳۴۷ از دانشگاه تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۶۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی حمل و نقل و ترافیک از دانشگاه آستون بیرمنگام انگلستان گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی حمل و نقل و اقتصاد حمل و نقل است. ایشان عضو هیات علمی بازنشسته دانشگاه فردوسی مشهد و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در مؤسسه آموزش عالی اقبال لاهوری است.



علی اصغر صادقی، درجه کارشناسی در مهندسی خط و ابنیه راه آهن را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه فردوسی مشهد اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری از دانشگاه فردوسی مشهد گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی ترافیک جاده ای و ریلی، برنامه ریزی و قابلیت اعتماد در حمل و نقل بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه حکیم سبزواری است.

