فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و یکم، شماره ۸۵، تابستان ۱۴۰۰، ص. ۸۷-۷۹

رویکردی نوین در مدلسازی داده‌های کشوری تصادفات موتورسیکلت

علی توکلی کاشانی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز تحقیقات ایمنی کاربردی حمل‌ونقل جاده‌ای، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

مهسا جعفری، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز تحقیقات ایمنی کاربردی حمل‌ونقل جاده‌ای، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: alitavakoli@iust.ac.ir

چکیده

یکی از مباحث موردتوجه در مطالعات ایمنی حمل‌ونقل، متغیرهای مؤثر در شدت تصادفات است که به‌طورمعمول محققان از طریق میزان شدت جراحات واردشده به کاربران به بررسی شدت تصادف می‌پردازند و تنها یک وجه از شدت تصادف در نظر گرفته می‌شود. مفهوم دیگری که برآورد جامع‌تری از شدت تصادف را با توجه به جنبه‌های مختلف آن ارائه می‌دهد، متغیر اندازه تصادف است که با توجه به تعداد کشته و زخمی و تعداد وسایل نقلیه آسیب‌دیده و تعداد وسایل نقلیه درگیر در تصادف تعریف می‌شود. در این مطالعه به بررسی متغیرهای تأثیرگذار بر اندازه تصادفات موتورسیکلت ایران پرداخته شده است که ۲۰۴۲۹۹ داده تصادفات موتورسیکلت که در سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۷ در کشور ایران رخ داده است، استفاده شد. نتایج نشان داد که عامل‌های راه، راننده و محیط تأثیر معناداری بر اندازه تصادف دارند و وسیله نقلیه سنگین، راننده مسن، راننده زن، روز، سطح جاده خشک، راه دوطرفه، عدم وجود شانه و نوع راه تأثیر مثبتی بر اندازه تصادف دارد. نتایج این مطالعه بیانگر اهمیت توجه به مشخصات راننده و اقدامات ایمن‌سازی در راه‌های دوطرفه برای کنترل شدت تصادفات است.

واژه‌های کلیدی: تصادفات موتورسیکلت، اندازه تصادف، مدلسازی معادلات ساختاری

۱. مقدمه

بر اساس گزارش پزشکی قانونی، تعداد تلفات و مصدومین تصادفات ترافیکی در سال ۱۳۹۷ به ترتیب حدوداً ۱۷ هزار و ۳٦۷ هزار نفر بوده است که این تعداد نسبت به سال ۱۳۹٦ به ترتیب ۱,۲٪ و ۹,٤٪ رشد داشته است که چنین رشدی، وضعیت نگران‌کننده‌ای را برای سال‌های آتی به تصویر می‌کشد. در میان کاربران جاده‌ای، موتورسیکلت‌سواران از آسیب‌پذیرترین گروه‌ها محسوب می‌شوند. تصادف وسایل نقلیه با موتورسیکلت‌سواران تقریباً به‌طور اجتناب‌ناپذیری منجر به جرح یا مرگ آن‌ها می‌گردد، به‌گونه‌ای که نتایج آمارها نشان می‌دهد حدود ۲۵ درصد از افراد فوت‌شده در تصادفات مربوط به موتورسیکلت است. بررسی فاکتورهای مؤثر بر تصادفات مهندسان و محققان را قادر می‌سازد تا محاسبات و اقداماتی را جهت کاهش شدت تصادفات انجام دهند که ازجمله پروسه‌های ضروری در تصادفات موتورسیکلت است.

یکی از موارد موردتوجه محققان در زمینه ایمنی حمل‌ونقل، پارامترهای تأثیرگذار بر شدت تصادفات است که از آن جمله می‌توان به عوامل مرتبط با انسان، راه، محیط و وسیله نقلیه اشاره نمود. بیشتر محققان در مطالعات موجود در زمینه شدت تصادفات موتورسیکلت از متغیر شدت واردشده به افراد درگیر در تصادف در بررسی شدت تصادفات استفاده کرده‌اند که این متغیر تنها یک وجه از شدت تصادف را نشان می‌دهد. ازجمله شاخص‌هایی که نشان‌دهنده شدت یک تصادف است، می‌توان به اندازه تصادف اشاره نمود. اندازه تصادف به‌وسیله تعداد کشته و زخمی صحنه تصادف و تعداد وسایل نقلیه آسیب‌دیده و تعداد وسایل نقلیه درگیر در تصادف تعریف می‌شود. درنتیجه، اگرچه مطالعه‌ی هر جنبه از تصادف اطلاعات مفیدی را در اختیار قرار می‌دهد، بهتر است که در یک مطالعه اطلاعات جامع و کامل‌تری ارائه گردد. بدین منظور، از مفهوم "اندازه تصادف" می‌توان برای بررسی جنبه‌های مختلف هر تصادف استفاده کرد.

بنابراین، به‌منظور مطالعه‌ی شدت تصادف به‌صورت جامع‌تر و به دلیل آسیب‌پذیری کاربران موتورسیکلت در تصادفات ترافیکی، هدف از این تحقیق تعیین فاکتورهای مؤثر بر اندازه تصادفات موتورسیکلت با در نظر گرفتن عوامل مربوط به راه، محیط، راننده و وسیله نقلیه است.

۲. ادبیات پژوهش

در مطالعات گذشته، فاکتورهای مختلفی به‌منظور مطالعه شدت تصادف در نظر گرفته شده‌اند که می‌توان به عوامل مربوط به راننده و وسیله نقلیه، عوامل مربوط به محیط و راه اشاره نمود. متغیرهای سن راننده، شرایط روشنایی راه، شرایط سطح راه و شرایط جوی از مهم‌ترین و مرسوم‌ترین مشخصات بررسی‌شده می‌باشند. بررسی این عوامل در مطالعات تصادفات با بهره‌گیری از انواع روش‌ها مانند مدل لوجیت، مدلسازی معادلات ساختاری، رگرسیون لجستیک و مدل‌های پروبیت صورت گرفته است.

روش‌های آماری مرسوم مورداستفاده در تعیین روابط بین عوامل مذکور دارای محدودیت‌های قابل‌توجهی است. در این روش‌ها تنها متغیری که استفاده می‌شود از نوع متغیر آشکار است و تنها روابط مستقیم بین متغیرهای مستقل با شدت تصادفات در نظر گرفته می‌شوند. از جهت دیگر، در استفاده از این روش‌ها تنها یک جنبه از تصادف در هر مدل موردمطالعه قرار می‌گیرد. برای مثال، فاکتور وسیله نقلیه مانند تعداد وسایل نقلیه موجود در یک تصادف و یا تعداد وسایل آسیب‌دیده جنبه‌ای از یک تصادف را بیان می‌کنند، اما جهات دیگری از تصادف (مثلاً تعداد کشته و تعداد زخمی) نیز وجود دارند که در نظر گرفته نمی‌شوند. درنتیجه، جهت حل محدودیت موجود، اندازه تصادف برای اولین بار در استفاده شد که در این مطالعه با استفاده از داده‌های تصادفات رخداده در بزرگراه‌های کشور کره جنوبی، رابطه بین متغیر اندازه تصادف و متغیرهای مربوط به راه، محیط و راننده بررسی شد. بعدازآن از این مفهوم در مطالعات دیگری استفاده گردید که از آن جمله می‌توان به مطالعه اندازه تصادفاتی که در

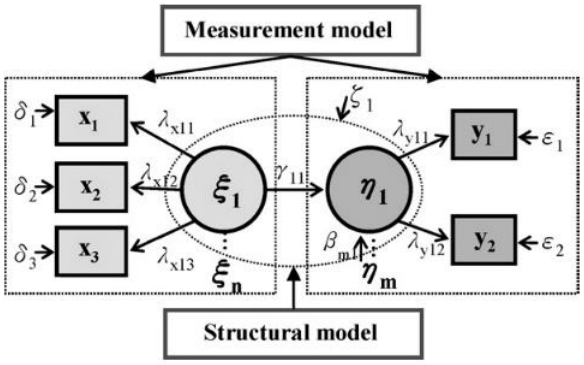
شهر ریاض رخ داده است و مطالعه اندازه تصادفات فوتی کامیون‌ها اشاره نمود.

اگرچه در زمینه شدت تصادفات مطالعات فراوانی در سال‌های اخیر انجام شده است، اما در اکثر آنها شدت وارده به کاربران راه در مطالعه شدت تصادف دخیل بوده است و در موارد اندکی انواع وجهه‌های تصادف در مطالعات مربوط به تصادفات موتورسیکلت به‌طور هم‌زمان بررسی شده است. درنتیجه در مطالعه حاضر، برای مطالعه شدت تصادف به‌صورت کامل‌تر و جامع‌تر، روابط بین عوامل مربوط به راننده و وسیله نقلیه، راه، محیط و اندازه تصادف موردمطالعه قرار می‌گیرد.

۳. روش پژوهش

مفهوم اندازه تصادف درواقع یک متغیر پنهان است که شامل چهار شاخص است، بنابراین مناسب‌ترین روش جهت بررسی، مدلسازی معادلات ساختاری (SEM)[1] است. این روش مجموعه‌ای از روش‌های آماری است که امکان بررسی روابط بین یک یا چند متغیر وابسته، پیوسته یا گسسته و یک یا چند متغیر مستقل، پیوسته یا گسسته را فراهم می‌آورد. این متغیرهای مستقل و وابسته می‌توانند به‌صورت آشکار یا پنهان در مدل در نظر گرفته شوند. در مقایسه با روش‌های آماری مرسوم مانند رگرسیون چندگانه، ANOVAو تحلیل مسیر ازجمله مزیت-های اصلی SEM این است که قادر به در نظر گرفتن خطای اندازه‌گیری است، می‌تواند چندین متغیر وابسته را به‌طور هم‌زمان مدلسازی کند، برازش کلی مدل را بررسی کند، اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کلی را برآورد کند، فرضیه‌های پیچیده را تست کند و داده‌های دشوار (غیر نرمال، دسته‌ای و ...) را بررسی نماید.

به‌طورکلی، یک مدل SEM دارای دو جزء اصلی است که در شکل ۱ نشان داده شده است: ۱) مدل اندازه‌گیری[2]، ۲) مدل ساختاری[3] که مدل ساختاری رابطه بین متغیرهای پنهان و مدل اندازه‌گیری رابطه بین متغیرهای پنهان و شاخص‌های آنها را بیان می‌کند.



شکل 1. اجزای مدل معادلات ساختاری

٤. تحلیل داده‌ها

در این مطالعه، داده‌های مربوط به راننده، شرایط محیطی و مشخصات جاده برای تصادفات شامل موتورسیکلت استفاده شد که در طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۰ در کشور ایران رخ داده‌اند. پس از حذف داده‌های مفقود و ناقص، ۲۰٤۲۹۹ داده برای مدلسازی باقی ماند.

برای بررسی هدف این مطالعه، مجموعه مختلفی از متغیرها از داده‌های موجود انتخاب شد. برای متغیرهای مربوط به شرایط محیطی، زمان، شرایط سطح جاده و شرایط جوی، برای مشخصات جاده، محل وقوع، وضعیت شانه راه، نوع راه، نوع روسازی و شرایط مربوط به قوس افقی و عمودی و برای مشخصات راننده و وسیله نقلیه سن، جنسیت و نوع وسیله در نظر گرفته شدند. مشخصات متغیرهای در نظر گرفته‌شده مطابق

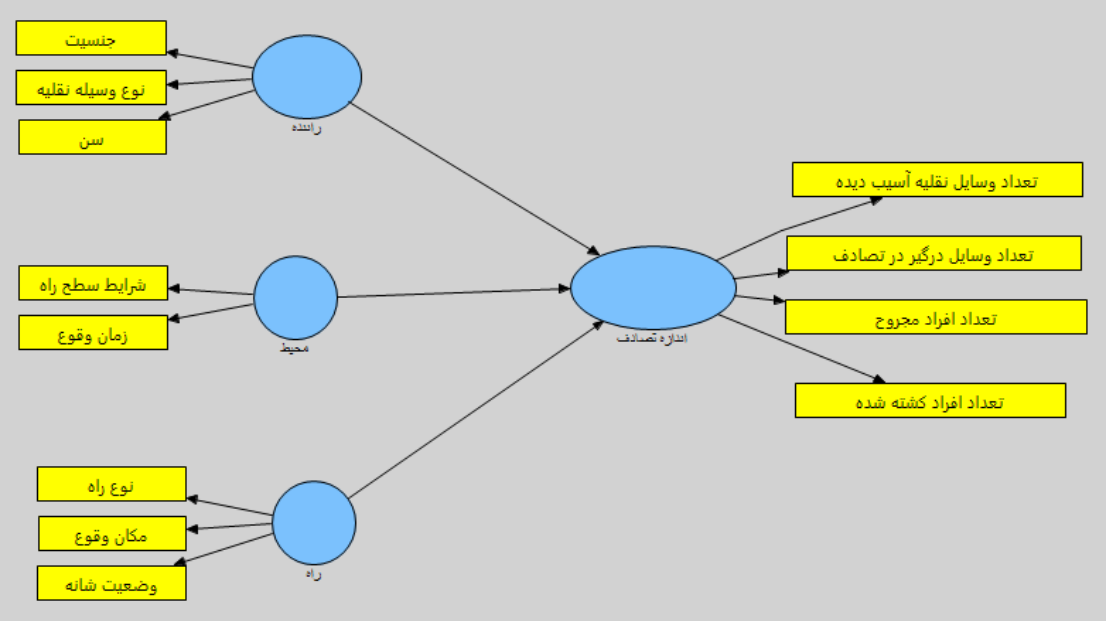
جدول ۱ است. متغیرهای مربوط به قوس افقی و عمودی، نوع روسازی و شرایط جوی به دلیل فراوانی کمتر از ۱۰٪ از مدل حذف شدند.

جدول1 . مشخصات آماری متغیرها

متغیر	کدبندی	فراوانی	درصد (٪)
مشخصات راه			
مکان وقوع (location)	راه برون‌شهری:۱	٤١٩٥٢	٢٠,٥
	راه درون‌شهری:۲	١٦٢٣٤٧□٢٠,٥	٧٩,٥
وضعیت شانه راه (Shoulder)	وجود شانه:۱	٣١٧٦٠	٨٩,٣
	عدم وجود شانه:۲	١٧٢٥٣٩	٨٤,٥
نوع راه (Road type)	راه دوطرفه جدا نشده:۱	٨٣٠٨٩	١٦
	راه دوطرفه جداشده:۲	٨٨٥٤٤٩	٤٣,٣
	راه یک‌طرفه:۳	٣٢٦٦١	٤٠,٧□؟مشخصات محیطی
مشخصات محیطی			
شرایط سطح راه (Surface condition)	خشک:۱	١٨٠٨٠٤	٨٨,٥
	مرطوب:۲	٢٣٤٩٥	١١,٥
زمان وقوع تصادف (time)	روز:۱	١٣٧٧٩٩	٦٧,٤
	شب:۲	٦٦٥٠٠	٣٢,٦
مشخصات راننده			
نوع وسیله نقلیه (Vehicle type)	موتورسیکلت:۱	٦٩١٤٤	٣٣,٨
	اتومبیل:۲	١٢٨٣٢٣	٦٢,٨
	وسیله نقلیه سنگین:۳	٦٨٣٢	٣٣,٨
جنسیت (gender)	زن:۱	١٩٥٣٦	٩,٦
	مرد:۲	١٨٧٧٦٣	٩٠,٤
سن (age)	جوان (<۲۵):۱	٤٢٤٢٩	٢٠,٨
	میانسال (۲۵-٤٤):۲	١١٦٨٤١	٥٧,٢
	پیر (>٤٤):۳	٤٥٠٢٩	٢٢

۵. نتایج

برای بررسی هدف این مطالعه، مدل اولیه بر مبنای فرضیه "فاکتورهای پنهان راننده و وسیله نقلیه، راه و محیط بر متغیر اندازه تصادف تأثیر معنادار دارند" و با توجه به مطالعات قبلی انجام شد که به‌صورت شکل ۲ است:



شکل 2. *صورت اولیه مدل در نظر گرفته‌شده*

با توجه به متغیرهای موجود در مدل که به‌صورت شمارشی و ترتیبی هستند، برای مدلسازی از روش برآورد حداقل مربعات وزن‌دار[4] (WLS) استفاده گردید. از این رویکرد برآورد زمانی استفاده می‌شود که در داده‌ها پیش‌فرض نرمال بودن صدق ننماید و در مدل داده‌های غیر پیوسته وجود داشته باشد. در این تحلیل چهار متغیر پنهان راننده، راه، محیط و اندازه تصادف در نظر گرفته شد که در شکل ۲ با بیضی نشان داده شده‌اند. متغیر راننده شامل متغیرهای سن، جنسیت و نوع وسیله نقلیه، متغیر راه شامل متغیرهای نوع راه، محل وقوع و وضعیت شانه و متغیر محیط شامل زمان و شرایط سطح جاده است که شاخص‌های هر عامل در شکل نمایش داده شده مدل با مستطیل نمایش داده می‌شوند.

مطابق با جدول۲، همه تأثیرات در نظر گرفته‌شده ازنظر آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار هستند؛ بنابراین، فرضیه مدل تأیید می‌شود. ضرایب مسیر استانداردشده نشان می‌دهند که در مدل‌های اندازه‌گیری راننده، محیط و راه به ترتیب مهم‌ترین شاخص‌ها عبارت‌اند از: نوع وسیله، زمان وقوع و محل رخداد حادثه. به‌علاوه، این ضرایب نشان می‌دهند که متغیر راننده تأثیر مثبت و زیاد (ضریب مسیر= ۰,۱٦٤، آماره t=۳۹,۲۱۳) و متغیرهای محیط (ضریب مسیر= ۰,۰۳۵-، آماره t= 14.757-) و راه (ضریب مسیر= ۰,۰۲٦-، آماره t=۱۱,۷۸۹-) تأثیر منفی و خیلی کم بر اندازه تصادف دارند. این بدین معنا است که با توجه به شاخص‌ها و دسته‌بندی‌های انجام‌شده، عامل راننده موجب افزایش و عامل‌های راه و محیط موجب کاهش اندازه تصادف می‌شوند.

جدول ۲. ضرایب مسیر استانداردشده در مدل

متغیر	متغیر پیش‌بینی کننده	مقدار برآورد شده	خطای استاندارد	p-value
جنسیت	عامل راننده	-۰,۱۱۵	۰,۰۰۲٦	<0.0001
نوع وسیله نقلیه	عامل راننده	۱,۲۱	۰,۰۲٦	<0.0001
سن	عامل راننده	۰,۲۰	۰,۰۰٤	<0.0001
زمان وقوع	عامل محیط	۱,۰۵۷	۰,۰۳۵	<0.0001
وضعیت سطح راه	عامل محیط	۰,۰۳٦	۰,۰۰۱۱٦	<0.0001
مکان وقوع	عامل راه	-۱,۰۰۹	۰,۰۰۸	<0.0001
وضعیت شانه	عامل راه	-۰,٦۱۱	۰,۰۰۵	<0.0001
نوع راه	عامل راه	۰,۱۵	۰,۰۰۲	<0.0001
اندازه تصادف	عامل راننده	۰,۱٦	۰,۰۰٤	<0.0001
اندازه تصادف	عامل محیط	-۰,۰۳	۰,۰۰۲	<0.0001
اندازه تصادف	عامل راه	-۰,۰۲	۰,۰۰۲	<0.0001

سپس، برای تأیید کلی مدل باید شاخص‌های نیکویی برازش مدل که توسط نرم‌افزار ارائه می‌شوند، بررسی گردند. معمولاً برای تأیید باید شاخص RMSEA و SRMRکمتر از ۰,۰۸ و شاخص AGFI و GFI بیشتر از ۰,۹۰ حاصل شوند. شاخص‌های مدل موردنظر در جدول 3 آورده شده است که مقادیر آنها نشان می‌دهد مدل دارای برازش مناسبی است و مدل تأیید می‌گردد.

جدول 3. شاخص‌های برازش مدل

شاخص	مقدار
RMSEA	0.03
SRMR	0.06
NFI	0.92
AGFI	0.98
GFI	0.99

با در نظر گرفتن مشخصات راننده، ضریب مسیر مدل نشان می‌دهد که این عامل تأثیرگذارترین متغیر بر اندازه تصادف است که از بین شاخص‌های آن، نوع وسیله نقلیه (ضریب مسیر= ۱,۲۱، آماره t=٤٦,۲۳٤) تأثیرگذارترین متغیر بر این عامل است و تأثیر مثبتی بر آن دارد. این بدین مفهوم است که اگر در یک صحنه تصادف وسیله نقلیه مقصر از نوع سنگین باشد، به‌احتمال‌زیاد تصادف شدیدتری اتفاق می‌افتد. این خروجی در راستای یافته مطالعات دیگر است که نشان داده‌اند وجود وسایل نقلیه سنگین مرتبط با تصادفاتی با شدت بالاتر هستند. به‌علاوه، مدل بیانگر این است که رانندگان مرد بر عامل راننده تأثیر منفی می‌گذارد (ضریب مسیر= -۰,۱۱۵، آماره t=-٤٤,۲۷) که می‌توان دریافت کرد رانندگان مرد مرتبط با تصادفاتی با شدت کمتر هستند و این نتیجه مطابق با نتیجه مطالعه نمی‌باشد. دلیل این عدم هماهنگی بین نتایج می‌تواند تفاوت بین نحوه رانندگی در دو کشور باشد. درنهایت، متغیر سن بر عامل راه تأثیر مثبتی دارد (ضریب مسیر= ۰,۲۰۱، آماره t=٤۱,۹٤) و بیانگر این است که هر چه سن راننده بالاتر باشد، احتمال وقوع تصادفات شدیدتر بیشتر است که می‌تواند به دلیل ضعف بینایی و سلامت جسمانی آنها باشد و این موضوع نیز در مطالعات متعددی نشان داده شده است.

در عامل محیط، مدل نشان می‌دهد که متغیر زمان بر عامل محیط تأثیر مثبت دارد (ضریب مسیر= ۱,۰۵، آماره t=۳۰,۱۹۹) و بر اندازه تصادف تأثیر منفی می‌گذارد، بدین گونه که در روز احتمال وقوع تصادفاتی با اندازه بزرگ‌تر بیشتر است. به‌علاوه، شرایط سطح راه (ضریب مسیر= ۰,۰۳، آماره t=۳۱,۲۰) نیز با اندازه تصادف رابطه منفی دارد، به این صورت که جاده‌هایی با سطح

خشک بیشتر با تصادفات شدیدتر مرتبط هستند. در مطالعه [۳] نیز نشان داده شد که در جاده‌هایی با سطح خشک به دلیل سرعت عملکردی بالاتر، تصادفات شدیدتری رخ می‌دهد.

درنهایت، در عامل راه نشان داده شد که محل وقوع تصادف (ضریب مسیر= ۱,۰۰۹-، آماره t=۱۱۵,۹-) بر اندازه تصادف تأثیرگذار است که راه‌های برون‌شهری متناسب با تصادفاتی با اندازه بیشتر هستند و دلیل آن می‌تواند به سرعت بالای عملکردی رانندگان برگردد. این خروجی در تطابق با [۳۲] است که در آن بیان شده است با افزایش ۱٪ سرعت در قطعات راه، نرخ تصادفات جرحی ۲٪ و نرخ تصادفات فوتی ٤٪ افزایش می‌یابد. از جهت دیگر، عدم وجود شانه در راه تأثیر مثبتی بر اندازه تصادف دارد (ضریب مسیر= ۰,٦۱۱-، آماره t=۱۰۸,٤-) که در [۳۳] نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تصادفات اشاره شده است. درنهایت، راه‌های دوطرفه (یک خط رفت و یک خط برگشت، بدون وجود جداکننده) مرتبط با تصادفات شدیدتری هستند (ضریب مسیر= ۰,۱۵، آماره t=٥٦,۰٦) که می‌تواند مربوط به مانورها و سبقت غیرمجاز باشد. طبق مطالعه [۳٤]، در راه‌های دوطرفه احتمال تصادفاتی با شدت بالاتر بیشتر است که نسبت به راه‌های یک‌طرفه، در راه‌های دوطرفه ۸۲,۵٪-٥٤,۵٪ احتمال جراحات خفیف و ۲۲,٦٪-۲۱,٤٪ احتمال جراحات شدیدتر ناشی از تصادفات بیشتر است.

٦. نتیجه‌گیری

رانندگان موتورسیکلت در هنگام وقوع تصادف ازجمله آسیب-پذیرترین کاربران راه هستند، زیرا سطح پایین حفاظت منجر به جراحت‌های شدید برای کاربران موتورسیکلت نسبت به کاربران اتومبیل می‌شود؛ بنابراین، هدف اصلی این مطالعه تعیین روابط مستقیم بین عامل‌های راننده، محیط و راه در تصادفات موتورسیکلت با اندازه تصادف است. متغیرهای آشکار یا شاخص‌های عوامل ذکرشده عبارت‌اند از: زمان، شرایط سطح جاده، محل وقوع، وضعیت شانه راه، نوع راه، سن راننده، جنسیت راننده و نوع وسیله. اندازه تصادف به‌عنوان شاخصی از شدت تصادف انتخاب شد، چون می‌توان انواع جنبه‌های تصادف را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفت. بدین منظور، یک مجموعه داده از تصادفات موتورسیکلت که در طی هشت سال در کشور ایران رخ داده‌اند جهت مدلسازی استفاده شد. در این مطالعه روش مدلسازی معادلات ساختاری استفاده گردید زیرا اندازه تصادف یک عامل پنهان است و عوامل مؤثر بر شدت تصادفات بسیار مختلف هستند که با یکدیگر روابط متقابل پیچیده‌ای دارند.

نتایج مدلسازی نشان داد که سه عامل راننده، راه و محیط بر اندازه تصادف تأثیر معنادار دارند که عامل راننده بیشترین تأثیر را دارد. مدل نشان می‌دهد که وجود وسیله نقلیه سنگین به‌عنوان مقصر، راننده زن و راننده مسن موجب افزایش اندازه تصادف می‌شود. از جهت دیگر، در هنگام روز و سطح جاده خیس، عدم وجود شانه، در راه دوطرفه و راه برون‌شهری تصادفاتی با اندازه بزرگ‌تر اتفاق می‌افتد. درمجموع، ازجمله مؤثرترین شاخص‌ها می‌توان به نوع وسیله و محل وقوع تصادف اشاره نمود؛ بنابراین، جهت کنترل شدت تصادفات، بهبود سیاست‌های مدیریت و کنترل ترافیک باید در مطابقت با نوع وسیله باشد، به این صورت که آموزش رانندگان وسایل نقلیه سنگین ازجمله مهم‌ترین اقدامات می‌تواند تلقی گردد. به‌علاوه، انجام اقدامات ایمن‌سازی در راه‌های دوطرفه می‌تواند در کنترل شدت تصادفات مؤثر واقع شود. به‌طورکلی، در این مطالعه مجموعه‌ای از اطلاعات موجود در جهت شناسایی عوامل مؤثر بر اندازه تصادف به کار گرفته شد که ازجمله محدودیت‌های آن می‌توان به نبود برخی از اطلاعات مربوط به راننده موتورسیکلت مانند وضعیت استفاده از کلاه ایمنی و وضعیت رفتاری راننده در هنگام تصادف اشاره نمود.

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Structural equation modeling
2. Measurement model
3. Structural model
4. Weighted least squares

۸. مراجع

- Moghaddam, F.R., S. Afandizadeh, and M. Ziyadi, Prediction of accident severity using artificial neural networks. International Journal of Civil Engineering, 2011. 9(1): p. 41.
- Wang, K. and X. Qin, Use of structural equation modeling to measure severity of single-vehicle crashes. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2014(2432): p. 17-25.
- Lee, J.-Y., J.-H. Chung, and B. Son, Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models. Accident Analysis & Prevention, 2008. 40(6): p. 1955-1963.

- Geedipally, S.R., P.A. Turner, and S. Patil, Analysis of motorcycle crashes in Texas with multinomial logit model. Transportation research record, 2011. 2265(1): p. 62-69.
- Quddus, M.A ,.R.B. Noland, and H.C. Chin, An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models. Journal of Safety research, 2002. 33(4): p. 445-462.
- Hefny, A.F., et al., Motorcycle-related injuries in the United Arab Emirates. Accident Analysis & Prevention, 2012. 49: p. 245-248.
- Cunto, F.J. and S. Ferreira, An analysis of the injury severity of motorcycle crashes in Brazil using mixed ordered response models. Journal of Transportation Safety & Security, 2017. 9(sup1): p. 33-46.
- Salum, J.H., et al., Severity of motorcycle crashes in Dar es Salaam, Tanzania. Traffic injury prevention, 2019: p. 1-7.
- Angel, A. and M. Hickman, Analysis of the factors affecting the severity of two-vehicle crashes. Ingeniería y Desarrollo, 2008 :(٢٤)p. 176-194.
- Kockelman, K.M. and Y.-J. Kweon, Driver injury severity: an application of ordered probit models. Accident Analysis & Prevention, 2002. 34(3): p. 313-321.

- Yau, K.K., Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong. Accident Analysis & Prevention, 2004. 36(3): p. 333-340.
- Hao, W., C. Kamga, and J. Daniel, The effect of age and gender on motor vehicle driver injury severity at highway-rail grade crossings in the United States. Journal of safety research, 2015. 55: p. 105-113.
- Fan Fan, Y.-b.Q., Analysis of factors affecting the severity of car accidents at intersections based on cumulative Logistic model. International Conference on Computer Systems, Electronics and Control (ICCSEC), 2017.
- Kai Wang, T.B., Shamsunnahar Yasmin, Shanshan Zhao, Naveen Eluru, and E. Jackson, Multivariate copula temporal modeling of intersection crash consequence metrics: A joint estimation of injury severity, crash type, vehicle damage and driver error. Accident Analysis and Prevention, 2019. 125: p. 197-188.
- Holdridge, J.M., V.N. Shankar, and G.F. Ulfarsson, The crash severity impacts of fixed roadside objects. Journal of Safety Research, 2005. 36(2): p. 139-147.
- Duddu, V.R., P. Penmetsa, and S.S . Pulugurtha, Modeling and comparing injury severity of at-fault and not at-fault drivers in crashes. Accident Analysis & Prevention, 2018. 120: p. 55-63.
- Zhang, G., K.K. Yau, and G. Chen, Risk factors associated with traffic violations and accident severity in China. Accident Analysis & Prevention, 2013. 59: p. 18-25.
- Zhiyuan Sun, J.W., Yanyan Chen and Huapu Lu Influence Factors on Injury Severity of Traffic Accidents and Differences in Urban Functional Zones: The Empirical Analysis of Beijing .international journal of environmental researchand public health, 2018.
- Hassan, H.M. and H. Al-Faleh, Exploring the risk factors associated with the size and severity of roadway crashes in Riyadh. Journal of safety research, 2013. 47: p. 67-74.

- Alkhlaifi, A. and A. Galadari. Identifying the risk factors affecting crash severity at intersections with considering crash characteristics and signal configuration using an ordered logistic model. in 2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET). 2018. IEEE.
- Rezapour, M., M. Moomen, and K. Ksaibati, Ordered logistic models of influencing factors on crash injury severity of single and multiple-vehicle downgrade crashes: a case study in Wyoming. Journal of safety research, 2019. 68: p. 107-118.
- Rovšek, V., M. Batista, and B. Bogunović, Identifying the key risk factors of traffic accident injury severity on Slovenian roads using a non-parametric classification tree. Transport, 2017. 32(3): p. 272-281.
- Khaled Shaaban, I.G., Emanuele Sacchi & Inhi Kim, Severity analysis of red-light-running-related crashes using structural equation modeling. Journal of Transportation Safety & Security, 2019.
- Cho, S.-H., D.-K. Kim, and S.-Y. Kho, Latent Factors of Severity in Truck-Involved and Non-Truck-Involved Crashes on Freeways. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, 2017. 11(7): p. 920-927.
- Kim, K ,.P. Pant, and E. Yamashita, Measuring influence of accessibility on accident severity with structural equation modeling. Transportation research record, 2011. 2236(1): p. 1-10.
- Elyasi, S.a.B., Assessing the interrelations of traffic collisions' risk factors. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 2017.
- Zhou, M. and H.C. Chin, Factors affecting the injury severity of out-of-control single-vehicle crashes in Singapore. Accident Analysis & Prevention, 2019. 124: p. 104-112.
- Yalong Yuan, M.Y., Zuoxian Gan, JingxianWu, Chengcheng Xu, and Da Lei, Analysis of the Risk Factors Affecting the Size of Fatal Accidents Involving Trucks Based on the Structural Equation Model. transportation research record, 2019.
- Ullman, J.B., Structural equation modeling: Reviewing the basics and moving forward. Journal of personality assessment, 2006. 87(1): p. 35-50.
- Wang, J.W.-X., Structural Equation Modeling Applications Using Mplus. 2012.
- Civelek, M.E., Essentials of Structural Equation Modeling. 2018: the University of Nebraska–Lincoln Libraries.
- Nilsson, G., Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety. 2004, Univ.
- Mahdieh Rad, A.L., et al., The pattern of road traffic crashes in South East Iran. Global journal of health science, 2016. 8(9): p. 149.
- Kaplan, S. and C.G. Prato, Risk factors associated with bus accident severity in the United States: A generalized ordered logit model. Journal of safety research, 2012. 43(3): p. 171-180.