

# ارائه دسته‌بندی نوین رویکردهای مطرح در مطالعات ایمنی راه

محمود صفارزاده، نویسنده مسئول، استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس  
سینا صاحبی\*، دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس  
محسن فلاح زواره، دانشجوی دکتری راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس

sinasahebi@gmail.com

## چکیده

به رغم شمار زیاد تصادفات جاده‌ای در ایران، انتشار پژوهش‌های بسیار در زمینه ایمنی راه، نشان‌دهنده ضرورت بازنگری و تعیین جایگاه پژوهش در مطالعات ایمنی است. یکی از مهم‌ترین الزامات ارائه پژوهشی مؤثر در زمینه ایمنی راه، ارزیابی جایگاه و محدوده پژوهش است. مطالعات ایمنی راه طیف گسترده‌ای از پژوهش‌ها را شامل می‌شود. هدف تحقیق پیش رو ارائه دسته‌بندی نوینی از رویکردهای مطرح در مطالعات ایمنی راه است. در این تحقیق مطالعات ایمنی راه در قالب چهار رویکرد تحلیل آماری تصادفات، ارزیابی ایمنی راه بدون استفاده از داده تصادفات، ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی و پایش ایمنی راه دسته‌بندی شده‌اند. نتایج حاصل از دسته‌بندی ارائه شده در این تحقیق شامل فراهم سازی پویایی علمی، بازنگری در پژوهش‌های ایمنی راه، دسته‌بندی جامع این مطالعات، تسریع در تطبیق پرسش‌های مطرح شده در زمینه ایمنی راه با متدلوژی مورد استفاده و ارزیابی و تعیین جایگاه و محدوده پژوهش صورت گرفته در زمینه ایمنی راه می‌شود.

کلمات کلیدی: تصادف، اقتصادسنجی، اقدامات ایمن‌سازی، ممیزی ایمنی راه

## ۱. مقدمه

پایش ایمنی راه است که شامل بازدید، بازرسی و تحلیل صحنه تصادف و به طور کلی سناریوسازی و قضاوت کارشناسی می‌شود. در ادامه دسته‌بندی ارائه شده در مطالعات ایمنی راه در قالب هر یک از این چهار دسته تشریح می‌شود.

یکی از مهم‌ترین الزامات ارائه پژوهشی مؤثر در زمینه ایمنی راه، ارزیابی جایگاه و محدوده پژوهش است. دسته‌بندی مطالعات ایمنی راه و آشنایی با منابع مرتبط در هر یک از موضوعات مطرح در این مطالعات، علاوه بر تسریع در توسعه علمی، موجب ارائه تحقیقات منسجم‌تر و گسترش فضای تعامل بین محققان این عرصه خواهد شد. با این نگرش انواع مطالعات ایمنی راه را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم کرد که در شکل ۱ خلاصه شده است. دسته اول، مطالعات تحلیل آماری تصادفات است. در این نوع از مطالعات، عوامل مؤثر بر وقوع تصادف و عوامل مؤثر بر شدت تصادفات مورد ارزیابی و در برخی مطالعات پیش‌بینی می‌شوند. دسته دوم ارزیابی ایمنی راه بدون استفاده از داده تصادفات است که شامل مطالعات تحلیلی در زمینه ایمنی راه بدون استفاده از آمار تصادفات می‌شود. تحلیل تداخلات ترافیکی<sup>۱</sup>، مطالعات شبیه‌سازی، استفاده از خودروهای مجهز جهت مطالعات ایمنی و تحلیل پرسش‌نامه در این دسته از مطالعات ایمنی راه قرار می‌گیرند. دسته سوم مطالعات ایمنی، مطالعات ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی هستند. در نهایت دسته چهارم مطالعات ایمنی راه،



شکل ۱ - دسته‌بندی مطالعات ایمنی راه

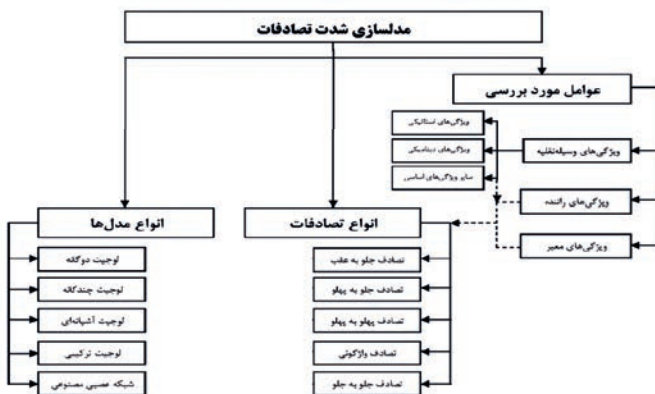
1. Traffic conflict

## ۲. تحلیل آماری تصادفات

تحلیل‌های آماری تصادفات شامل یافتن نقاط حادثه‌خیز، یافتن نقاط دارای پتانسیل بهبود، مدل‌های پیش‌بینی و ارزیابی شمار تصادفات و مدل‌های پیش‌بینی و ارزیابی شدت تصادفات می‌شوند. جهت یافتن نقاط حادثه‌خیز یا نقاط دارای پتانسیل بهبود، شاخص‌هایی نظیر شمار تصادفات، شدت تصادفات، نرخ همسنگ تصادفات و نرخ تصادفات از آمار تصادفات استخراج می‌شوند و نتایج مبنای قضاوت مهندسين ایمنی راه قرار می‌گیرند. به علت تلفات عظیم ناشی از تصادفات وسایل نقلیه موتوری در جوامع، محققان به طور مستمر به دنبال راه‌هایی برای به دست آوردن درک بهتری از عوامل مؤثر بر احتمال وقوع و شدت تصادف هستند تا با انجام اقدامات ایمن‌سازی بر اساس نقش عوامل مورد بررسی، موجبات کاهش تصادفات جاده‌ای را فراهم کنند. به دست آوردن درک بهتری از عوامل مؤثر بر احتمال وقوع تصادف وسیله نقلیه و شدت جراحات ناشی از تصادفات یکی از زمینه‌های تحقیقاتی در دهه‌های گذشته بوده است. بسیاری از محققان تلاش کرده‌اند تا با ایجاد یک رابطه بین فراوانی تصادفات (تعداد تصادفات رخ داده در یک مکان جغرافیایی مانند یک بخش جاده یا تقاطع در طی یک دوره زمانی) و عوامل اثرگذار بر تصادفات، یا ایجاد یک رابطه بین شدت جراحات و ویژگی‌های فرد، محیط و تصادف، این مسئله را بررسی کنند. درحالی‌که پیشرفت مداوم روش‌های تحلیل بدیع (مانند کاربردهای اخیر پارامتر تصادفی و مدل‌های ترکیبی محدود) درک ما را نسبت به عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات بهبود بخشیده است، امید است با ترکیب روش‌های تحلیل تکامل‌یافته با داده‌های تصادف بسیار دقیق شناخت کامل‌تری نسبت به عوامل مؤثر بر تصادفات حاصل شود. مدل‌های آماری تصادفات به طور معمول با استفاده از داده‌های ارگان‌هایی نظیر پلیس، پزشکی قانونی و بیمارستان‌ها و به کمک روابط ریاضی، ارتباط تعداد و شدت تصادفات را با متغیرهای مؤثر در بروز تصادفات تعیین می‌کند. به این ترتیب می‌توان تأثیر تقریبی تغییر یک (یا چند) متغیر را بر تعداد تصادفات و شدت جراحات ناشی از تصادفات پیش‌بینی کرد.

مدل‌های شمار و شدت تصادفات شامل مدل‌های اقتصادسنجی و مدل‌های غیر آماری می‌شوند. مدل‌های غیر آماری از الگوریتم‌های تجربی تبعیت می‌کنند. این مدل‌ها به رغم قابلیت پیش‌بینی بالایی که دارند، امکان توصیف و ارزیابی عوامل مؤثر بر شاخص ایمنی را آن‌چنان که مدل‌های اقتصادسنجی فراهم می‌کنند، ندارند. اقتصادسنجی با مطالعه نظام‌مند پدیده‌های اقتصادی با استفاده از داده‌های مشاهده شده سر و کار دارد [۱]. به عبارتی، اقتصادسنجی علم تحلیل‌های آماری از مدل‌های اقتصادی است [۲]. کاربرد مدل‌های آماری مطرح در اقتصادسنجی در مطالعات ایمنی راه عمدتاً به دو بخش از این دسته مطالعات شامل مدل‌های ارزیابی و پیش‌بینی شمار تصادفات و مدل‌های ارزیابی و پیش‌بینی شدت تصادفات تقسیم می‌شوند. در مدل‌های ارزیابی و پیش‌بینی شمار تصادفات، فراوانی

داده‌های تصادف که اعدادی صحیح نا منفی است در سطح هم‌فزون تخمین زده می‌شوند و محققان پیشنهاد می‌کنند از مدل‌های اقتصادسنجی داده‌های شمارشی یا دیگر روش‌هایی که به درستی بتواند ویژگی عددی داده‌ها را به حساب آورد، استفاده شود [۳]. مطالعاتی که در گذشته به تحلیل آماری شمار تصادفات می‌پرداختند، عموماً در سطح هم‌فزونی تقاطعات یا قطعات راه ارائه می‌شدند. در مطالعات اخیر، شمار تصادفات از مدل‌های آماری تصادفات که در سطح ناحیه هم‌فزون شده‌اند، با عنوان مدل‌های ناحیه‌ای تصادفات، استفاده می‌شود. مدل‌های ناحیه‌ای تصادفات در سطح کلان و با توجه به متغیرهای برنامه‌ریزی حمل و نقل و برای داده‌های کل شبکه ایجاد می‌شوند. هدف از ساخت مدل‌های ناحیه‌ای تصادف، برنامه‌ریزی پیشگیرانه ایمنی است. منظور از برنامه‌ریزی پیشگیرانه ایمنی در نظر گرفتن برنامه‌های مرتبط با ایمنی معابر در مراحل اولیه برنامه‌ریزی‌های کلان حمل و نقل است. به همین ترتیب با توجه به این‌که بروز شدت‌های مختلف جراحات ناشی از تصادف وابستگی زیادی به ویژگی‌های فرد آسیب‌دیده و ویژگی‌های منحصر به فرد تصادف دارد، بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات عمدتاً با استفاده از مدل‌های انتخاب گسسته<sup>۲</sup> صورت می‌گیرد. مطالعات مربوط به شدت تصادفات با هدف شناسایی عوامل مهم و اثرگذار بر افزایش شدت تصادف صورت می‌گیرند تا با حذف یا کنترل آن‌ها، از وقوع تصادف‌های شدید و به تبع آن مصدومیت‌های شدید و منجر به فوت جلوگیری شود. از دیدگاه نظری، مدل‌های آماری لوجیت یکی از پرکاربردترین مدل‌های به کار رفته در تحلیل شدت تصادفات و مصدومیت‌های ناشی از تصادفات هستند [۴]. شکل ۲ تصادفات و مصدومیت‌های ناشی از تصادفات را نشان می‌دهد [۵]. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است مدل‌های آماری به کار رفته در مدل‌سازی شدت شامل مدل‌های لوجیت دوگانه [۶]، [۷]، [۸]، لوجیت چندگانه [۹]، لوجیت آشیانه‌ای [۱۰]، لوجیت ترکیبی [۱۱] و شبکه عصبی [۱۲] می‌شوند. علاوه بر مدل‌های مذکور در نتایج مطالعه نجف [۵]، انواع مدل‌های پروبیت و انواع مدل‌های ترتیبی [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶] در پژوهش‌های اخیر مدل‌سازی شدت تصادفات مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۲ - تقسیم‌بندی انواع مدل‌های شدت تصادفات [۵]

2. Discrete choice model

### ۳. ارزیابی ایمنی راه بدون استفاده از داده‌های تصادفات

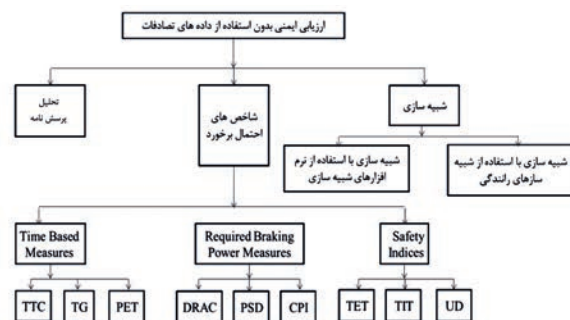
دلایل متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد استفاده از آمار تصادفات، ابزار چندان مناسبی جهت ارزیابی ایمنی نیست. تعداد تصادفات رخ داده در یک مقطع مشخص کم است. بنابراین لازم است طی چندین سال (حداقل یک دوره ۳ ساله) داده‌های مربوط به تصادفات جمع‌آوری شود. از طرفی ممکن است در طول این دوره نسبتاً طولانی، برخی فاکتورهای مؤثر بر نتیجه تغییر کرده و موجب بی‌اعتباری نتایج گردد [۱۷]. نتایج مطالعه لورد نشان می‌دهد، مدل‌های مبتنی بر تعداد تصادفات حداقل سه مشکل اساسی دارند [۳]:

۱ - مبتنی بر رویکرد واکنشی‌اند، یعنی بایستی منتظر وقوع تصادف باشیم.

۲ - هرم احتمال برخورد در این مدل‌ها دیده نمی‌شود و تنها به تصادفات اتفاق افتاده بسنده می‌کند. در حالی که تصادف پدیده نادری است که نتیجه تعداد به مراتب بیشتری رخداد ناایمن است.

۳ - تقریباً در تمامی موارد برخی تصادفات ثبت نمی‌شوند.

به این ترتیب ضرورت مطالعات ارزیابی ایمنی راه بدون استفاده از داده‌های تصادفات محرز می‌شود. مطالعات ارزیابی ایمنی راه بدون استفاده از داده‌های تصادفات را می‌توان به چهار دسته کلی تحلیل تداخلات ترافیکی، شبیه‌سازی با استفاده از شبیه‌سازهای رانندگی، شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و تحلیل پرسش‌نامه تقسیم کرد.



شکل ۳ - مطالعات ارزیابی ایمنی بدون استفاده از داده‌های تصادف

شکل ۳ خلاصه‌ای از روش‌های مطالعات ایمنی در دسته مطالعات ارزیابی ایمنی بدون استفاده از داده تصادفات را نشان می‌دهد. در ادامه هر یک از این دسته‌ها به طور مختصر تشریح می‌شوند.

### ۳.۱. تحلیل تداخلات ترافیکی

تحلیل تداخلات ترافیکی شناسایی موقعیت‌هایی است که می‌تواند منجر به حوادث بحرانی شود. حوادث بحرانی، خود وقایع خطرناکی هستند که ممکن است به تصادف منجر شوند. حوادث بحرانی با ترمزگیری ناگهانی، تغییر خط ناگهانی یا منحرف شدن از راه محرز و با شاخص‌های احتمال برخورد توصیف می‌شوند [۱۸].

شاخص‌های احتمال برخورد را می‌توان به سه دسته کلی شاخص‌های احتمال برخورد بر پایه معیار زمان<sup>۳</sup>، شاخص‌های احتمال برخورد بر اساس معیار قدرت ترمز لازم<sup>۴</sup> و شاخص‌های احتمال برخورد بر اساس معیار ایمنی<sup>۵</sup> تقسیم کرد [۱۹].

### ۳.۱.۱. شاخص‌های احتمال برخورد بر پایه زمان

این دسته از شاخص‌ها شامل شاخص‌های TTC، TG و PET می‌شوند. شاخص زمان تا تصادف<sup>۶</sup> TTC، که در سال ۱۹۷۲ مطرح شد به صورت زمان باقی‌مانده تا برخورد بین دو خودرو در صورتی که مسیر و اختلاف سرعت آن‌ها حفظ شود، تعریف می‌شود [۲۰]. شاخص<sup>۷</sup> TG بیانگر سر فاصله زمانی عقب خودروی جلویی تا جلوی خودرو عقبی است [۲۱]. شاخص<sup>۸</sup> PET به صورت زمان مابین خروج خودرو اول از ناحیه مشترک تا ورود خودرو دوم به ناحیه مشترک تعریف می‌شود [۲۱].

### ۳.۱.۲. شاخص‌های احتمال برخورد بر اساس قدرت ترمز

این دسته از شاخص‌ها شامل شاخص‌های DRAC، PSD و CPI می‌شوند [۲۰]. شاخص<sup>۹</sup> DRAC به صورت حداقل شتاب ترمز لازم خودرو برای عدم برخورد تعریف می‌شود که بایستی بر اساس معیاری مشخص (مثلاً شتاب ۵/۳ متر بر مجذور ثانیه سنجیده شود). شاخص<sup>۱۰</sup> PSD بیانگر نسبت فاصله توقف عملی برای عدم برخورد به فاصله توقف حداقل است [۲۱]. شاخص<sup>۱۱</sup> CPI به صورت نسبت مجموع مدت زمان‌های حرکت خودرو با DRAC بیشتر از معیار به مجموع زمان سفر خودرو مطرح می‌گردد [۲۱].

### ۳.۱.۳. شاخص‌های احتمال برخورد بر اساس معیار ایمنی

این دسته از شاخص‌ها شامل شاخص‌های TET، TIT و UD می‌شوند [۲۰]. شاخص ایمنی<sup>۱۲</sup> TET طول مدت زمانی است که مقادیر شاخص TTC، در طول دوره تعقیب کمتر از مقادیر آستانه بحرانی است. این شاخص در واقع مجموع تمام لحظاتی است که راننده خودرو عقبی در فرآیند تعقیب به خودرو جلویی با مقادیری زیر مقدار TTC بحرانی نزدیک می‌شود. شاخص TIT، از انتگرال پروفیل TTC، در مقادیر زیر بحرانی محاسبه می‌شود. شاخص ایمنی<sup>۱۳</sup> UD بیانگر نسبت موقعیت‌های خطرناک خودرو در مکان و زمان به طول و مدت زمانی است که خودرو در حرکت است [۱۸].

3. Time Based Measures
4. Required Braking Power Measures
5. Safety Indices
6. Time to Collision
7. Time Gap
8. Post Encroachment Time
9. Deceleration Rate to Avoid a Crash
10. Proportion of stopping distance
11. Crash Potential Index
12. Time Exposed to Time to Collision
13. Unsafety density

### ۳.۲. شبیه‌سازی با استفاده از شبیه‌سازهای رانندگی

در این روش سهم رفتارها و قابلیت‌های رانندگی افراد، مانند مخروط دید هر انسان، استفاده از آینه بغل در سنین مختلف، اثرگذاری خط کشی بر رفتار رانندگی و این قبیل موارد سنجیده می‌شود. شبیه‌سازی با استفاده از شبیه‌سازهای رانندگی می‌تواند در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده دستگاه‌های شبیه‌ساز یا رانندگی واقعی در خودروهای مجهز شده انجام شود. در روش استفاده از خودروهای مجهز<sup>۱۴</sup>، سنسورهایی را در خودروهای مخصوص ارزیابی ایمنی تعبیه می‌کنند و پارامترهایی که به نظر محقق بر ایمنی اثرگذارند را می‌سنجند.

### ۳.۳. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای

#### شبیه‌سازی خرد

روش دیگر شبیه‌سازی استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی است. تقریباً در تمامی موارد، در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی خرد، تصادف تعریف نشده است. این نرم‌افزارها خروجی‌های خود را به صورت منحنی‌های زمان و مکان<sup>۱۵</sup> در اختیار کاربر قرار می‌دهند و نرم‌افزارهای دیگر با ورود منحنی‌های زمان و مکان و استفاده از شاخص‌های نزدیک به تصادف، احتمال بروز برخورد را پیش‌بینی می‌کنند (برای نمونه [۲۲] را ببینید).

### ۳.۴. تحلیل پرسش‌نامه

بسیاری از اطلاعات مؤثر بر تصادفات به صورت مرسوم جمع‌آوری نشده و یا عملاً غیر قابل جمع‌آوری است. به‌عنوان نمونه تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که ویژگی‌های شخصیتی فردی<sup>۱۶</sup>، گرایش‌ها<sup>۱۷</sup> و فرهنگ اجتماعی<sup>۱۸</sup> ممکن است با نوع رفتار رانندگی ارتباط مستقیم دارد. به‌همین علت محققین از پرسش‌نامه‌هایی استفاده می‌کنند که در آن سطح عوامل مؤثر بر تصادفات را سنجیده و ارتباط این عوامل را با رفتارهای ناپایمن (مثلاً تصادفات یا تخلفات) را شناسایی نمایند. این پرسش‌نامه‌ها که تقریباً در تمام موارد به صورت خود اظهاری و توسط کاربران راه تکمیل می‌شوند، به مثابه ابزارهای سنجش بوده و لذا اعتبارسنجی آن‌ها پیش از استفاده ضروری است. به‌عنوان نمونه‌ای از مهم‌ترین پرسش‌نامه‌های سنجش سطح تخلفات، خطا و اشتباه در میان رانندگان می‌توان به پرسش‌نامه رفتار رانندگی ریزن اشاره نمود که در سال ۱۹۹۰ تدوین شده [۲۳] و تا کنون ده‌ها مطالعه علمی بر پایه آن انجام شده است.

### ۴. ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی از نظر کاهش تصادفات

یکی دیگر از رویکردهای مطرح در مطالعات ایمنی راه ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی است. ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی راه امکان بررسی تأثیر اقدامات پیشنهاد شده در برنامه‌های ایمن‌سازی را

فراهم می‌سازد و توجیه فنی و اقتصادی قوی‌تری در رد یا پذیرش اقدامات پیشنهادی ارائه می‌دهد. ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی به روش‌های تحلیل هزینه - منفعت، مطالعات قبل و بعد و تحلیل متا انجام می‌شود. در ادامه هر یک از روش‌های ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی تشریح می‌شوند.

### ۴.۱. مطالعات قبل و بعد

مطالعات قبل و بعد<sup>۱۹</sup> جهت بررسی اثر یک اقدام بر ایمنی نهاد<sup>۲۰</sup> یا ارزیابی میزان اثرگذاری اقدام بر شمار تصادفات انجام می‌شود. هر مطالعه قبل و بعد جهت ارزیابی میزان اثرگذاری اقدام بر شمار تصادفات بر محاسبه دو رکن اساسی استوار است [۲۴].

رکن ۱ - پیش بینی  $(\pi)$ ؛ شاخص ایمنی است که برای دوره بعد از اقدام بدون انجام اقدام، پیش بینی می‌شود.  
رکن ۲ - تخمین  $(\lambda)$ ؛ شاخص ایمنی است که بعد از اقدام رخ داده است.

پس از محاسبه پیش بینی و تخمین، شاخص میزان کاهش<sup>۲۳</sup> و شاخص اثرگذاری<sup>۲۴</sup> دو کمیت ارزیابی کننده میزان اثرگذاری اقدام بر ایمنی با استفاده از رابطه ۱ و ۲ به شرح زیر محاسبه می‌شوند [۲۴]:

$$\delta = \pi - \lambda \quad (1)$$

در این رابطه  $\delta$  بیانگر شاخص میزان کاهش است [۲۴].

$$\theta = \lambda / \pi \quad (2)$$

در این رابطه  $\delta$  بیانگر شاخص اثرگذاری است. چنانچه این شاخص کمتر از یک بود ( $\theta < 1$ )، آن گاه اقدام مؤثر بوده است و چنانچه شاخص بزرگ‌تر از یک بود ( $\theta > 1$ )، اقدام مضر بوده است. در نهایت پس از محاسبه کمیت‌های مبین میزان اثرگذاری اقدام، دقت محاسبه اندازه‌گیری می‌شود. از آن جایی که متغیرهای مورد استفاده همگی تخمینی از متغیرهای تصادفی بوده‌اند، واریانس تخمین آن‌ها به عنوان شاخص کنترل انحراف محاسبه می‌شود [۲۵].

### ۴.۲. تحلیل متا

موضوع اصلی بسیاری از مطالعات در زمینه ایمنی ترافیک به اندازه‌گیری یا تلاش برای اندازه‌گیری اثر یک یا چند اقدام ایمن‌سازی بر شمار تصادفات یا خطر جراحت معطوف می‌شود. تحلیل متا فرآیند کمی‌سازی نتایج چندین مطالعه است که هر یک اقدامات ایمن‌سازی مختلفی را بر روی یک جاده بررسی کرده‌اند و نتایج را به صورت تخمینی از میانگین وزنی اثر بیان کرده‌اند [۲۶].

هدف مطالعه در تحلیل متا یک نتیجه یا یک تخمین اثر است. در این نوع مطالعه بایستی انحراف معیار هر تخمین اثر معلوم باشد، تا حداقل وزن نتایج بر اساس دقت آماری‌شان تعیین گردد

19. Before After Study
20. Entity or element of network
21. Prediction
22. Estimation
23. Reduction
24. Ratio or index of effectiveness

14. Instrumented
15. trajectory
16. Personality Traits
17. Attitudes
18. Culture

[۲۶]. شرایط شمول مطالعات در تحلیل متا عبارتند از:

• حداقل یک تخمین عددی از تأثیر اقدام بر ایمنی جاده ارائه یا اطلاعاتی ارائه شود که بتوان به وسیله آن‌ها این چنین تخمینی را استخراج کرد [۲۷].

• وضعیت هر تخمین از شمار تصادفات بایستی بر پایه سایر اطلاعات که منجر به محاسبه عدم قطعیت آماری می‌شود. تعیین شود به طور مثال این وضعیت می‌تواند با بازه اطمینان مطرح شود [۲۷].

دو روش برای تخمین اثر در روش تحلیل متا وجود دارد: مدل ضرایب ثابت و مدل ضرایب تصادفی. مدل ضریب ثابت بر این فرض استوار است که هیچ تغییر سیستماتیک در مجموعه مطالعات اثرات وجود ندارد و تمامی تخمین‌های هر اثر مشابه یکدیگر (نمونه‌هایی از اثر واقعی) هستند. وقتی که تغییرات سیستماتیک باشند یا عدم یکنواختی وجود داشته باشد، در تخمین هر اثر، تخمین‌ها نمی‌توانند نمونه‌هایی از اثر واقعی باشند. در این شرایط یک مدل ضرایب تصادفی می‌تواند مفیدتر باشد. در یک مدل ضرایب تصادفی از یک مقدار حاصل از عدم یکنواختی در نتایج استفاده می‌شود و یک مقدار کوچک حاصل از عدم اطمینان اثرات نهایی چشم‌پوشی می‌شود [۲۷]. می‌توان تفاوت‌های دو مدل ضرایب ثابت و مدل ضرایب تصادفی را این طور خلاصه کرد که مدل ضرایب ثابت تنها در صورتی مناسب است که به هیچ وجه عدم یکنواختی در نتایج مشاهده نشود.

#### ۴.۳. تحلیل منفعت - هزینه<sup>۲۵</sup>

تحلیل منفعت - هزینه رویکردی است که به منظور ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی جهت انتخاب گزینه مناسب استفاده می‌شود. در تحلیل منفعت هزینه نخست تخمین اثر هر سیاست در ایمنی جاده‌ای محاسبه و سپس میزان عدم قطعیت در تخمین اثر مورد انتظار در سیاست ایمنی جاده‌ای محاسبه می‌شود. طبیعتاً پس از تخمین اثر هر سیاست بایستی در مرحله نهایی سیاست ارجح انتخاب شود که یک اقدام سیاست‌گزارانه است. تحقیقات نشان دادند که می‌شود این انتخاب را با تحلیل سود و زیان انجام داد.

تحلیل منفعت - هزینه سالیان متمادی به عنوان وسیله‌ای برای الویت‌بندی سیاست‌گذاری ایمنی جاده‌ای مورد استفاده بوده است. استفاده از این روش مطالعات ایمنی راه حداقل به ۲۵ سال پیش بر می‌گردد [۲۸]. مطالعات مربوط به هزینه تصادفات عمدتاً در این دسته از مطالعات مورد بحث قرار می‌گیرد. هزینه‌های تصادف هزینه‌هایی هستند که به طور معمول در تحلیل منفعت - هزینه مطالعات ایمنی راه نقش اساسی را ایفا می‌کنند. هزینه‌های تصادف شامل مجموع ۵ مورد است:

- هزینه‌های درمانی
- هزینه‌های فقدان ظرفیت تولید
- هزینه‌های خسارت اموال
- هزینه‌های اداری

• بهای مالی از بین رفتن کیفیت زندگی

در تحلیل منفعت - هزینه سود و زیان برای تمامی دوره‌های اقدام اقتصادی و فنی تخمین زده می‌شود. ارزش تمام اقدامات آینده با نرخ نزول تبدیل به مقدار فعلی می‌شود و در نهایت اقدام مورد بررسی به لحاظ منفعت - هزینه ارزیابی می‌شود [۲۸].

#### ۵. مطالعات پایش ایمنی راه

مطالعات پایش ایمنی راه از سه بخش بازرسی ایمنی راه<sup>۲۶</sup>، بازدید ایمنی راه<sup>۲۷</sup> و تحلیل صحنه تصادف تشکیل می‌شود. بازرسی ایمنی راه رویکردی پیشگیرانه است که در آن از طریق یک نظام مشخص حقوقی- فنی، نقاطی که احتمال خطر تصادف در آن‌ها متصور است، به‌همراه سطح خطر و اقدام پیشنهادی به کارفرما ارائه می‌شود. هدف اصلی ممیزی ایمنی راه، تضمین سطح بالایی از ایمنی باهدف برطرف نمودن یا بهبود عناصر حادثه برانگیز است [۲۹]. انجام بازرسی راه در مراحل مختلفی از هر پروژه راه‌سازی الزامی است. مطابق مقررات اتحادیه اروپایی از سال ۲۰۰۸ میلادی انجام بازرسی ایمنی در پروژه‌های احداث زیرساخت‌های حمل و نقلی در کشورهای عضو الزامی است. همچنین در کشور انگلستان، انجام بازرسی راه در راه‌های اصلی در مراحل فاز مقدماتی، طراحی جزئیات، پیش از بازگشایی و در مرحله پس از بازگشایی الزامی است [۳۰].

پایش ایمنی راه ممکن است از طریق انجام بازدید ایمنی راه انجام شود. در واقع بازدید ایمنی ممکن است بخشی از یک پروژه بازرسی ایمنی باشد. لیکن بازدید ایمنی فقط وقتی بخشی از فرآیند بازرسی ایمنی است که در قالب نظام فنی- حقوقی بازرسی ایمنی انجام شده باشد. بازدید ایمنی راه ممکن است مبتنی بر بررسی نقاط پر تصادف باشد و یا از کل شبکه معابر انجام گیرد. مطالعات تحلیل صحنه تصادف به سناریوسازی در شرایط پیش از تصادف و حین تصادف مربوط می‌شود. تحلیل ابعادی و فیزیکی صحنه تصادف، ارزیابی و طراحی اسناد تصادف و طراحی شبکه بایگانی داده‌های تصادفات از جمله مطالعاتی است که در مطالعات تحلیل صحنه تصادف جای می‌گیرد.

#### ۶. نتیجه‌گیری

نویسندگان در این تحقیق با تکیه بر مطالعه مقالات متنوع و بررسی مطالعات مختلف در زمینه ایمنی راه، این مطالعات را در قالب چهار رویکرد کلی تحلیل آمار تصادفات، ارزیابی ایمنی راه بدون استفاده از داده تصادفات، ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی و پایش ایمنی راه دسته‌بندی کرده‌اند. در این دسته‌بندی سعی شد تا همپوشانی مطالعات در دسته‌های ارائه شده حداقل گردد. همچنین تلاش شد تا منابع مفیدی در هر یک از دسته‌ها ارائه شود. مطالعه منابع مرتبط معرفی شده می‌تواند چارچوب علمی مدونی را در ذهن محققان ایمنی راه، برای ارائه تحقیقاتی منسجم، قالب‌ریزی کند. استفاده از این دسته‌بندی ضمن کاهش زمان

26. Road safety audit

27. Road Safety Inspection

25. Cost- benefit

ment, 14(6), 425-436.

14. Quddus, M. A., Noland, R. B., & Chin, H. C. (2002). "An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models", *Journal of Safety Research*, 33(4), 445-462.

15. Rifaat, S. M., Tay, R., & de Barros, A. (2012). "Severity of motorcycle crashes in Calgary", *Accident Analysis & Prevention*. 49, 44-49.

16. Zhu, X., Srinivasan, S., (2011), "A comprehensive analysis of factors influencing the injury-severity of large-truck crashes", *Accident Analysis and Prevention* 43 (1), 49-57.

17. Gary, D., (2004), "Possible Aggregation Biases in Road Safety Research and a Mechanism Approach to Accident Modeling", *Accident Analysis and Prevention* 36, 1119-1127.

18. ندیمی، ن. (1389)، "توسعه مفهوم شاخص ایمنی جریان خرد ترافیک با استفاده از داده‌های غیر تصادف"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

19. Fl'ávio Jos'e Craveiro Cunto, (2008), "Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation", thesis presented to the University of Waterloo.

20. Hayward, J.C., (1972), "Near miss determination through use of a scale of danger (traffic records 384)", Highway Research Board, Washington, DC.

21. Laureshyn, A., Svensson, A. Hydén, C., (2010), "Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioral data", *Accident Analysis and Prevention* 42, 1637-1646.

22. Pirdavani, A., Brijs, T., Bellemans, T. and Wets, G. (2010) Evaluation of traffic safety at un-signalized intersections using microsimulation: a utilization of proximal safety indicators," *Adv. Transp. Stud.*, vol. 22, Nov.

23. Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J., Campbell, K., (1990), "Errors and violations on the roads: a real distinction?", *Ergonomics*, vol. 33, no. 10-11, pp. 1315-1332.

24. Hauer, E., (1997). "Observational Before-After Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety", Department of Civil Engineering University of Toronto.

25. صفارزاده، م. سید ابریشمی، ا. صاحبی، س. (1391)، "روش ارزیابی اثر اقدامات ایمن سازی مبتنی بر آمار تصادفات جرحی نمونه موردی: ارزیابی اثر بستن کمربند ایمنی بر تصادفات جرحی"، *مجله راهور - شماره 18*، تهران.

26. Council, F.M., Persaud, B., Lyon, C., Eccles, K., Griffith, M., Zaloshnja, E., Miller, T., (2005), "Implementing Red Light Camera Programs. Guidance from Economic Analysis of Safety Benefits", Transportation Research Board, Washington, DC.

27. Gan, A., Shen, J., (2003), "Development of Crash Reduction Factors: Methods, Problems, and Research Needs", Transportation Research Board.

28. Elvik, R., Høye, A., Sørensen, M., (2004), "Handbook of Road Safety Measures", Emerald Group Publishing.

29. احدی، م. قربانی، م. (1383)، "راهنمای میزبانی ایمنی راه"، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری، تهران.

30. Slinn, M., Matthews, P., Guest, P., (2005), "Traffic engineering design principles and practice. Amsterdam; Boston", Elsevier Butterworth-Heinemann.

توسعه علمی در تحقیقات ایمنی راه، به محققان کمک می‌کند؛ تحقیقاتی هم‌راستا با تحقیقات پرشتاب ایمنی راه در جهان ارائه نمایند. به طور خلاصه نتایج حاصل از دسته‌بندی ارائه شده در این در این تحقیق شامل فراهم سازی پویایی علمی، بازنگری در پژوهش‌های ایمنی راه، دسته بندی جامع این مطالعات، تسریع در تطبیق پرسش‌های مطرح شده در زمینه ایمنی راه با متدولوژی مورد استفاده و ارزیابی و تعیین جایگاه و محدوده پژوهش صورت گرفته در زمینه ایمنی راه می‌شود.

## ۸. مراجع

1. Spanos, Aris, (1986), "Statistical foundations of econometric modeling" Cambridge University Press

2. درخشان، م. 1385 "اقتصادسنجی"، مجلد اول، انتشارات سمت، تهران.

3. Lord, D., Mannering, F., (2010), "The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives", *Transportation Research Part A* 44, 291-305.

4. Al-Ghamdi, A. S. (2002), "Pedestrian-vehicle crashes and analytical techniques for stratified contingency tables", *Accident Analysis and Prevention* 34, pp. 205-214.

5. نجف، پ. (1390)، "مدل سازی شدت تصادفات بر اساس ویژگی‌های وسیله نقلیه". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

6. Li, M.-D., Doong, J.-L., Huang, W.-S., Lai, C.-H., & Jeng, M.-C. (2009), "Survival hazards of road environment factors between motor-vehicles and motorcycles", *Accident Analysis & Prevention*, 41(5), 938-947.

7. Sze, N. N., & Wong, S. C. (2007), "Diagnostic analysis of the logistic model for pedestrian injury severity in traffic crashes", *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1267-1278.

8. Moudon, A. V., Lin, L., Jiao, J., Hurvitz, P., & Reeves, P. (2011), "The risk of pedestrian injury and fatality in collisions with motor vehicles, a social ecological study of state routes and city streets in King County, Washington", *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 11-24.

9. Jung, S., Xiao, Q., & Yoon, Y. (2013), "Evaluation of motorcycle safety strategies using the severity of injuries". *Accident Analysis & Prevention*, 59(0), 357-364.

10. Savolainen, P., & Mannering, F. (2007). "Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single- and multi-vehicle crashes", *Accident Analysis & Prevention*. 39(5), 955-963.

11. Eluru, N., Bhat, C. R., & Hensher, D. A. (2008), "A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes", *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1033-1054.

12. Xie, Y., Lord, D., Zhang, Y., (2007), "Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural networks: an empirical analysis", *Accident Analysis and Prevention* 39 (5), 922-933.

13. Clifton, K. J., Burnier, C. V., & Akar, G. (2009), "Severity of injury resulting from pedestrian-vehicle crashes: What can we learn from examining the built environment?", *Transportation Research Part D: Transport and Environ-*