

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده ادبیات و علوم انسانی
بخش مخاطرات محیطی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته مخاطرات محیطی گرایش مخاطرات محیطی

ارزیابی علت وقوع تصادفات جاده ای بین شهری شهرستان زرنند (مطالعه
موردی: زرنند-دشتخاک، زرنند-راور، زرنند، سیریز).

مؤلف:

رسول ضیاءالدینی دشتخاکی

استاد راهنما:

دکتر حجت الله شرفی

استادان مشاور:

.....

دی ۱۴۰۴



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده ادبیات و علوم انسانی
بخش مخاطرات محیطی

این پایان نامه با عنوان ارزیابی علت وقوع تصادفات جاده ای بین شهری شهرستان زرنند (مطالعه موردی: زرنند-دشتخاک، زرنند-راور، زرنند، سیریز). توسط آقای رسول ضیالالدینی دشتخاکی دانشجوی رشته مخاطرات محیطی گرایش مخاطرات محیطی با شماره دانشجویی ۴۰۲۵۶۲۰۴۱ تدوین شده است و در تاریخ..... با درجه..... و نمره..... مورد پذیرش هیئت محترم داوران قرار گرفت.

این پایان نامه هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره کارشناسی ارشد شناخته نمی شود.

سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	نام محل خدمت	امضاء
استاد راهنما	دکتر حجت الله شرفی		دانشگاه شهید باهنر کرمان	
استاد مشاور				
داور اول				
داور دوم				

نماینده تحصیلات تکمیلی:

نام و نام خانوادگی

امضاء

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده:

نام و نام خانوادگی

امضاء

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

به نام خدا

منور اخلاق پژوهش

با استانت از خدای سبحان و با اعتقاد راسخ به اینکه عالم محضر خداست و او بهواره مانع بر اعمال ماست و به منظور انجام شایسته‌ی پژوهش‌های اصل، تولید دانش جدید و بسازی زندگانی بشر، مادانجویان و احصای هیات علمی دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های کشور:

- ☐ تمام تلاش خود را برای کشف حقیقت و حفظ حقیقت به کار خواهیم بست و از هرگونه جعل و تحریف در خفایات‌های علمی پرهیزی کنیم.
- ☐ حقوق پژوهشگران، پژوهیدگان (انسان، حیوان، گیاه و آشیاء)، سازمان‌ها و سایر صاحبان حقوق را به رست می‌شناسیم و در حفظ آن می‌کوشیم.
- ☐ به مالکیت مادی و معنوی آثار پژوهشی ارج می‌نیم، برای انجام پژوهشی اصل اہتمام و رزیدہ و از سرقت علمی و ارجاع نامناسب اجتناب می‌کنیم.
- ☐ ضمن پابندی به انصاف و اجتناب از هرگونه تبعیض و تعصب، در کفیه خفایات‌های پژوهشی، رهیافتی قاعده‌ای اتخاذ خواهیم کرد.
- ☐ ضمن امانت داری، از منابع و امکانات اقتصادی انسانی و فنی موجود استفاده بهره‌ورانه خواهیم کرد.
- ☐ از انتشار غیراخلاقی نتایج پژوهش نظیر انتشار موازی، همپوشان و چندگانه (کپی‌ای) پرهیزی کنیم.
- ☐ اصل محرمانه بودن و رازداری را محور تمام خفایات‌های پژوهشی خود قرار می‌دیم.
- ☐ در هر خفایات‌های پژوهشی به منافع ملی توجه کرده و برای تحقق آن می‌کوشیم.
- ☐ خویش را ملزم به رعایت کفیه‌های علمی رشتہ خود، قوانین و مقررات، سیاست‌های حرفه‌ای، سازمانی، دولتی و راهبردهای ملی در همه مراحل پژوهش می‌دانیم.
- ☐ رعایت اصول اخلاق در پژوهش را اقدامی فرهنگی می‌دانیم و به منظور بالندگی این فرهنگ، به ترویج و اشاعه‌ی آن در جامعه اہتمام می‌ورزیم.



دانشگاه شهید باهنر کرمان

تعهدنامه

اینجانب رسول ضیالالدینی دشتخاکی به شماره دانشجویی ۴۰۲۵۶۲۰۴۱ دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد رشته مخاطرات محیطی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه شهید باهنر کرمان نویسنده پایان نامه با عنوان ارزیابی علت وقوع تصادفات جاده ای بین شهری شهرستان زرنند (مطالعه موردی: زرنند-دشتخاک، زرنند-راور، زرنند، سیریز). تحت راهنمایی آقای دکتر حجت الله شرفی تأیید می کنم که این پایان نامه نتیجه پژوهش اینجانب می باشد و در عین حال که موضوع آن تکراری نیست، در صورت استفاده از منابع دیگران، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن درج شده است. همچنین موارد زیر را نیز تعهد می کنم:

- ۱- برای انتشار تمام یا قسمتی از داده ها یا دستاوردهای پایان نامه خود در مجامع و رسانه های علمی اعم از همایش ها و مجلات داخلی و خارجی به صورت مقاله، کتاب، ثبت اختراع و.... به صورت مکتوب یا غیرمکتوب، با کسب مجوز از دانشگاه شهید باهنر کرمان و استاد(ان). راهنما اقدام نمایم.
 - ۲- از درج اسامی افراد خارج از کمیته پایان نامه در جمع نویسندگان مقاله های مستخرج از پایان نامه، بدون مجوز استاد(ان). راهنما اجتناب نمایم و اسامی افراد کمیته پایان نامه را در جمع نویسندگان مقاله درج نمایم.
 - ۳- از درج نشانی یا وابستگی کاری (affiliation). نویسندگان سازمان های دیگر (غیر از دانشگاه شهید باهنر کرمان). در مقاله های مستخرج از پایان نامه بدون تأیید استاد(ان). راهنما اجتناب نمایم^۱.
 - ۴- کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوط به استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آنها را برای انجام پایان نامه رعایت نمایم.
 - ۵- در صورت اثبات تخلف (در هر زمان). مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه شهید باهنر کرمان از درجه اعتبار ساقط و اینجانب هیچ گونه ادعایی نخواهم داشت.
- کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده). مطابق با آیین نامه مالکیت فکری، متعلق به دانشگاه شهید باهنر کرمان است و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد. چنانچه مبادرت به عملی خلاف این تعهدنامه محرز گردد، دانشگاه شهید باهنر کرمان در هر زمان و به هر نحو مقتضی حق هر گونه اقدام قانونی را در استیفای حقوق خود دارد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: رسول ضیالالدینی دشتخاکی

امضا و تاریخ:

تقديم به:

خانواده عزیزم

تشکر و قدردانی:

سپاس فراوان از استاد گرانقدر **آقای دکتر حجت الله شرفی** و سایر اساتید فرهیخته‌ای که مرا در مسیر کسب علم و نگارش پایان نامه پیش رو راهبر بودند.

همچنین، از شرکت کنندگان در پژوهش و تمامی افرادی که برای انجام پژوهش حاضر مرا یاری کردند تشکر بعمل می‌آید.

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی علل وقوع تصادفات جاده‌ای بین شهری در شهرستان زرنند و محورهای زرنند-دشتخاک، زرنند-راور و زرنند-سیریز انجام شد. این تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی و با رویکرد کمی بود، به طوری که داده‌ها به صورت عددی و آماری گردآوری و تحلیل شدند. جامعه آماری شامل تمامی تصادفات رخ داده در بازه زمانی ده سال گذشته بود که اطلاعاتی از قبیل مکان، زمان، شدت، نوع وسیله نقلیه، شرایط هندسی جاده و شرایط آب‌وهوایی را دربرمی‌گرفت. برای گردآوری داده‌ها از روش‌های اسنادی شامل گزارش‌های رسمی پلیس راهور و سازمان راهداری و همچنین بازدیدهای میدانی برای ثبت وضعیت علائم، روشنایی، کیفیت روسازی و شرایط هندسی جاده استفاده شد. داده‌ها پس از پاک‌سازی و دسته‌بندی وارد نرم‌افزارهای آماری شدند و با ترکیب تحلیل توصیفی و استنباطی، شامل شاخص‌های فراوانی، میانگین، انحراف معیار و مدل‌های رگرسیونی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. یافته‌ها نشان داد که عمده‌ترین علل تصادفات شامل عوامل هندسی و فنی نظیر خروج از جاده (۱۹ درصد)، پیچ‌های خطرناک (۱۶ درصد)، نقص علائم (۱۴ درصد)، روشنایی ناکافی (۱۳ درصد) و لغزندگی سطح جاده (۱۱ درصد) بود. همچنین کیفیت پایین زیرساخت‌ها، به ویژه روسازی با PCI پایین و خرابی‌های شدید، و شرایط آب‌وهوایی مانند بارندگی و یخبندان، به طور مستقیم و غیرمستقیم موجب افزایش فراوانی و شدت تصادفات شده بود. داده‌ها نشان داد که محور زرنند-راور با بیشترین تصادف و نقاط دارای خرابی روسازی، بالاترین ریسک وقوع حوادث شدید را داشت. نتایج این پژوهش تأکید دارد که ترکیب عوامل هندسی، زیرساختی و محیطی، عامل اصلی بروز تصادفات در محورهای بین شهری شهرستان زرنند بوده است.

واژگان کلیدی : تصادفات جاده‌ای، وسیله نقلیه، شرایط هندسی جاده، شرایط آب‌وهوایی، زیرساخت‌ها.

عنوان	صفحه
فصل اول:	۱
کلیات پژوهش	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مساله	۳
۳-۱- اهمیت و ضرورت پژوهش	۵
۴-۱- اهداف پژوهش	۶
۱-۴-۱- اهداف اصلی پژوهش	۶
۲-۴-۱- اهداف فرعی	۶
۵-۱- سوالات پژوهش	۶
۱-۵-۱- سوال اصلی پژوهش	۶
۲-۵-۱- سوالات فرعی پژوهش	۷
جمع بندی فصل اول	۷
فصل دوم:	۸
مبانی نظری و پیشینه پژوهش	۸
۱-۲- مقدمه	۹
۲-۲- تصادفات جاده‌ای	۹
۳-۲-۲- ماهیت تصادفات جاده	۹
۲-۲-۲- تعریف و ماهیت تصادفات جاده‌ای	۱۱
۳-۲-۲- طبقه‌بندی انواع تصادفات جاده‌ای	۱۲
۴-۲-۲- روش‌های پیشگیری و کاهش تصادفات جاده‌ای	۱۴
۵-۲-۲- شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی شدت و فرکانس تصادفات	۱۶
۶-۲-۲- پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و انسانی تصادفات	۱۷
۳-۲-۲- ویژگی‌های هندسی جاده	۱۹
۱-۳-۲- نقش طراحی هندسی در ایمنی جاده‌ها	۱۹
۲-۳-۲- تأثیر قوس‌ها، شیب‌ها و عرض مسیر بر وقوع تصادفات	۲۰
۳-۳-۲- استانداردهای مهندسی در طراحی جاده‌ها	۲۲

۲۳	۴-۳-۲-نقاط پرحادثه مرتبط با ویژگی های هندسی جاده.....
۲۵	۴-۲-نقش رفتار انسانی در بروز تصادفات جاده ای.....
۲۶	۴-۱-۲-رفتار رانندگان.....
۲۶	۴-۱-۱-۲-اثر سرعت، سبقت غیرمجاز و خستگی بر تصادفات.....
۲۸	۴-۱-۲-تأثیر مصرف مواد مخدر، الکل و دارو بر رفتار رانندگان.....
۲۹	۴-۱-۳-روان شناسی رانندگی و عوامل فردی مؤثر بر خطاهای رانندگی.....
۳۱	۵-۲-شرایط جوی.....
۳۱	۵-۱-۲-تأثیر بارندگی، برف و یخبندان بر وقوع تصادفات.....
۳۲	۵-۲-نقش مه، طوفان و کاهش دید در افزایش خطر تصادفات.....
۳۴	۵-۳-لغزندگی سطح جاده و اثر آن بر ایمنی ترافیک.....
۳۵	۶-۲-وضعیت زیرساختی جاده ها.....
۳۵	۶-۱-۲-اهمیت زیرساخت های جاده ای در کاهش تصادفات.....
۳۶	۶-۲-کیفیت روسازی و تأثیر آن بر ایمنی عبور و مرور.....
۳۸	۶-۳-نقش علائم راهنمایی، خط کشی و روشنایی مسیر در پیشگیری از حوادث.....
۳۹	۶-۴-تأثیر وجود یا نبود تجهیزات ایمنی مانند گاردریل و حفاظ ها.....
۴۰	۷-۲-مدل ها و نظریه های تحلیل علت تصادفات.....
۴۲	۸-۲-پیشینه پژوهش.....
۴۲	۸-۱-۲-تاریخچه و روند وقوع تصادفات جاده ای در ایران و جهان.....
۴۴	۸-۲-پیشینه تحقیقات انجام شده.....
۴۸	جمع بندی فصل دوم.....
۵۰	فصل سوم: روش اجرای پژوهش
۵۰	روش اجرای پژوهش
۵۱	۳-۱-مقدمه.....
۵۱	۳-۲-نوع و رویکرد تحقیق.....
۵۱	۳-۳-جامعه آماری پژوهش.....
۵۱	۳-۴-روش ها و ابزار گردآوری داده ها.....
۵۳	۳-۵-روش تحقیق و فرآیند اجرا.....
۵۳	۳-۶-روش تجزیه و تحلیل داده ها.....

۵۴	۷-۳- محدودیت‌های تحقیق.....
۵۴	خلاصه فصل.....
۵۵	فصل چهارم.....
۵۵	تحلیل یافته‌ها.....
۵۶	۱-۴- مقدمه.....
۵۶	۲-۴- آمار توصیفی کلی تصادفات جاده‌ای در محورهای مورد مطالعه.....
۶۳	۳-۴- شناسایی و تحلیل عوامل محیطی، هندسی و فنی مؤثر بر تصادفات.....
۶۸	۴-۴- بررسی تأثیر کیفیت زیرساخت‌های جاده‌ای بر میزان و شدت تصادفات.....
۷۳	۵-۴- ارزیابی تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر افزایش خطر تصادفات.....
۷۷	۶-۴- ارزیابی علل وقوع تصادفات.....
۸۱	فصل پنجم.....
۸۱	بحث و نتیجه‌گیری.....
۸۲	۱-۵- مقدمه.....
۸۲	۲-۵- نتیجه‌گیری.....
۸۲	۱-۲-۵- پاسخ به سوالات پژوهش.....
۸۵	۲-۲-۵- بحث و بررسی.....
۸۷	۳-۵- پیشنهادات پژوهش.....
۸۷	۱-۳-۵- پیشنهادات کاربردی.....
۸۸	۲-۳-۵- پیشنهادات پژوهشی.....
۸۹	۴-۵- محدودیت‌های پژوهش.....
۹۱	منابع و مأخذ.....
۹۲	الف). منابع فارسی.....
۹۴	ب). منابع انگلیسی.....

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۵۷	جدول ۴-۱. توزیع فراوانی و درصد تصادفات به تفکیک محور در دوره ۱۰ ساله.....
۵۸	جدول ۴-۲. روند سالانه تعداد و نرخ تصادفات در سه محور.....
۵۹	جدول ۴-۳. توزیع فراوانی تصادفات بر حسب شدت در محورهای مورد مطالعه.....
۶۰	جدول ۴-۴. توزیع زمانی تصادفات بر حسب ماه، فصل و روز هفته در دوره ۱۰ ساله.....
۶۱	جدول ۴-۵. نقاط پرتصادف در هر یک از سه محور.....
۶۲	جدول ۴-۶: فراوانی متغیرهای اصلی تصادفات.....
۶۳	جدول ۴-۷. توزیع فراوانی تصادفات بر حسب عامل اصلی مؤثر.....
۶۵	جدول ۴-۸. نرخ تصادف (تعداد در هر کیلومتر) در نقاط دارای نقص هندسی.....
۶۵	جدول ۴-۹: شدت تصادفات (شاخص شدت = درصد فوتی و جرحی) بر حسب نوع عامل هندسی و فنی در هر محور.....
۶۷	جدول ۴-۱۰. مقایسه سرعت متوسط ثبت شده وسایل نقلیه با سرعت مجاز در مقاطع پرتصادف.....
۶۸	جدول ۴-۱۱: وضعیت هندسی (شیب، قوس، پیچ‌های خطرناک).....
۶۸	جدول ۴-۱۲. وضعیت شاخص کیفیت روسازی (PCI) و طول مسیرهای دارای خرابی شدید در هر محور.....
۷۰	جدول ۴-۱۳. وضعیت علائم راهنمایی و رانندگی (تعداد، درصد کامل/ناقص/فرسوده) در هر محور... ..
۷۰	جدول ۴-۱۴. وضعیت گاردریل و حفاظ ایمنی (تعداد در هر کیلومتر و درصد نصب شده) در سه محور.....
۷۱	جدول ۴-۱۵. وضعیت روشنایی مسیر (تعداد پایه روشنایی در کیلومتر و درصد فعال) در هر محور.....
۷۲	جدول ۴-۱۶. رابطه آماری کیفیت زیرساخت‌ها با نرخ و شدت تصادفات.....
۷۳	جدول ۴-۱۷. میانگین زمان رسیدن نیروهای امدادی به محل تصادف در هر محور و ارتباط آن با شدت حوادث فوتی.....
۷۴	جدول ۴-۱۸. توزیع فراوانی و درصد تصادفات بر حسب شرایط جوی.....
۷۴	جدول ۴-۱۹. نرخ تصادف در شرایط جوی نامساعد به ازای میلیون خودرو-کیلومتر در هر محور.....
۷۵	جدول ۴-۲۰. شدت تصادفات (درصد جرحی و فوتی) در شرایط مختلف جوی.....
۷۶	جدول ۴-۲۱. تعداد روزهای بحرانی آب‌وهوایی و تعداد تصادفات رخ داده در همان روزها.....
۷۶	جدول ۴-۲۲. مقایسه سرعت متوسط وسایل نقلیه در شرایط جوی عادی و نامساعد.....
۷۷	جدول ۴-۲۳. رگرسیون اثر شرایط آب‌وهوایی.....
۷۸	جدول ۴-۲۴. نتایج بررسی معناداری تفاوت نرخ و شدت تصادفات بین سه محور.....

- جدول ۴-۲۵. ضرایب پیش‌بینی احتمال وقوع تصادف فوتی/جرحی بر اساس متغیرهای مستقل (هندسی،
زیرساختی، جوی)..... ۷۹
- جدول ۴-۲۶. رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع تصادف..... ۸۰

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: مدل مفهومی پژوهش.....	۴۹
شکل ۱-۴: نمودار فراوانی تصادفات به تفکیک محور در دوره ۱۰ ساله.....	۵۷
شکل ۲-۴: نمودار فراوانی تصادفات بر حسب شدت در محورهای مورد مطالعه.....	۵۹
شکل ۳-۴: توزیع زمانی تصادفات در دوره ۱۰ ساله.....	۶۰
شکل ۴-۴: فراوانی نقاط پر حادثه در محورهای مورد بررسی.....	۶۱
شکل ۵-۴: نمودار فراوانی متغیرهای اصلی تصادفات.....	۶۲
جدول ۶-۴: نمودار فراوانی تصادفات بر حسب عامل اصلی مؤثر.....	۶۴
شکل ۷-۴: نمودار شاخص شدت (درصد فوتی و جرحی) بر حسب نوع عامل هندسی و فنی در هر محور.....	۶۶
شکل ۸-۴: نمودار شاخص کیفیت روسازی (PCI) شدید در هر محور.....	۶۹

فصل اول:

کلیات پژوهش

۱-۱-مقدمه

ارزیابی علت وقوع تصادفات جاده‌ای یکی از موضوعات حیاتی در حوزه ایمنی ترافیک و کاهش خسارات انسانی و اقتصادی است. تصادفات جاده‌ای نه تنها موجب خسارات مالی و جراحات جسمانی می‌شوند، بلکه اثرات اجتماعی و روانی گسترده‌ای بر خانواده‌ها و جامعه دارند. شناسایی عوامل مؤثر بر بروز تصادفات و بررسی شرایط محیطی، رفتاری و زیرساختی جاده‌ها، امکان طراحی برنامه‌های پیشگیرانه و ارتقای ایمنی رانندگان را فراهم می‌کند (مرادی نسب و همکاران، ۱۴۰۳).

در سطح کشور، جاده‌های بین‌شهری به دلیل حجم بالای ترافیک، سرعت بیشتر خودروها و شرایط متنوع جوی، بیشترین سهم را در حوادث رانندگی دارند. شهرستان زرنند با توجه به موقعیت جغرافیایی، جاده‌های پرتردد و اتصال به مسیرهای مختلف، از جمله مناطقی است که بررسی علت تصادفات در آن از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعه دقیق این مسیرها می‌تواند به شناسایی نقاط پرخطر و عوامل مؤثر در تصادفات کمک کند (رضایی، ۱۴۰۳).

مسیرهای زرنند-دشتخاک، زرنند-راور و زرنند-سیریز به دلیل شیب‌ها، پیچ‌های تند و ویژگی‌های هندسی خاص، از جمله مسیرهایی هستند که نرخ تصادفات در آن‌ها بالاتر از حد متوسط گزارش شده است. این مسیرها علاوه بر ترافیک خودروهای سبک، محل عبور خودروهای سنگین نیز می‌باشند که خطر وقوع تصادف را افزایش می‌دهد. تحلیل این مسیرها می‌تواند نقش زیرساخت‌های جاده‌ای و رفتار رانندگان را در بروز تصادفات روشن سازد (سراج، ۱۴۰۲).

یکی از عوامل مهم در وقوع تصادفات، کیفیت زیرساخت‌های جاده‌ای است. روسازی نامناسب، عدم وجود تجهیزات ایمنی مانند گاردریل و حفاظ‌ها، روشنایی ناکافی و خط‌کشی غیر استاندارد، از جمله عواملی هستند که کنترل خودرو را در شرایط بحرانی دشوار می‌کنند. مطالعه دقیق این ویژگی‌ها در مسیرهای مورد نظر می‌تواند راهکارهای فنی و اجرایی برای بهبود ایمنی ارائه دهد (سمیعا و همکاران، ۱۴۰۲).

رفتار رانندگان نیز نقش مهمی در بروز تصادفات دارد. عواملی مانند سرعت غیرمجاز، سبقت غیرمجاز، خستگی، استفاده از مواد مخدر و الکل، و عدم رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی، از جمله دلایل انسانی وقوع حوادث هستند. شناسایی این رفتارها و تحلیل ارتباط آن‌ها با نوع و شدت تصادفات در مسیرهای زرنند، امکان طراحی برنامه‌های آموزشی و پیشگیرانه را فراهم می‌کند (پورنعمتی و عربی، ۱۴۰۲).

شرایط جوی و محیطی نیز در وقوع تصادفات تأثیرگذار هستند. بارندگی، مه، برف، یخبندان و کاهش دید، کنترل خودرو را کاهش می‌دهند و خطر برخورد و انحراف از مسیر را افزایش می‌دهند.

بررسی این عوامل در مسیرهای بین‌شهری شهرستان زرنند می‌تواند به تدوین راهکارهای مدیریتی برای کاهش ریسک تصادفات کمک کند (هاشمی و همکاران، ۱۴۰۳).

مطالعه موردی مسیرهای زرنند-دشتخاک، زرنند-راور و زرنند-سیریز به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد این مسیرها، فرصت مناسبی برای تحلیل عوامل چندگانه تصادفات فراهم می‌آورد. استفاده از داده‌های آماری تصادفات، بررسی ویژگی‌های هندسی جاده، تحلیل رفتار رانندگان و شرایط محیطی، امکان ارائه مدل جامع علت‌یابی حوادث را فراهم می‌کند. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات جاده‌ای بین‌شهری شهرستان زرنند و ارائه راهکارهای پیشگیرانه است. نتایج این مطالعه می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های ایمنی، بهبود زیرساخت‌های جاده‌ای و کاهش نرخ تصادفات کمک کند. همچنین، یافته‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان و سازمان‌های مرتبط در تدوین سیاست‌های مؤثر در زمینه ایمنی راه‌ها و کاهش خسارات انسانی و مالی یاری رساند.

۱-۲- بیان مساله

مخاطرات جاده‌ای یکی از چالش‌های مهم در حوزه حمل‌ونقل و ایمنی راه‌ها محسوب می‌شوند و سالانه خسارات جبران‌ناپذیری به جوامع وارد می‌کنند. این مخاطرات شامل مجموعه‌ای از عوامل فنی، محیطی و انسانی هستند که در وقوع حوادث نقش دارند. در این میان، تصادفات جاده‌ای یکی از مهم‌ترین مخاطرات ترافیکی کشور به شمار می‌روند که نه تنها باعث آسیب‌های جانی و مالی می‌شوند، بلکه بار اقتصادی سنگینی بر سیستم بهداشت و درمان و زیرساخت‌های حمل‌ونقل تحمیل می‌کنند (مرادی نسب و همکاران، ۱۴۰۳). بررسی‌های جهانی نشان می‌دهد که عوامل مختلفی مانند طراحی نامناسب جاده، شرایط نامساعد محیطی، کیفیت نامطلوب زیرساخت‌ها و رفتارهای پرخطر رانندگان، از جمله دلایل اصلی وقوع تصادفات هستند (فرج زاده اصل و کرمی، ۱۳۸۴). در بسیاری از کشورها، راهکارهایی مانند بهبود زیرساخت‌های جاده‌ای، استفاده از فناوری‌های هوشمند حمل‌ونقل، و اجرای قوانین سخت‌گیرانه برای کاهش تصادفات به کار گرفته شده‌اند. با این حال، تصادفات همچنان یکی از مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده زندگی و امنیت اجتماعی در ایران محسوب می‌شوند.

عوامل انسانی از جمله مهم‌ترین دلایل وقوع تصادفات جاده‌ای هستند که شامل رفتارهای رانندگی پرخطر، عدم رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی، خستگی، خواب‌آلودگی، استفاده از تلفن همراه حین رانندگی و مصرف مواد مخدر و الکل می‌شوند (ارجمند و قربانی، ۱۴۰۲). در بسیاری از تصادفات جاده‌ای، عامل انسانی نقش کلیدی دارد و مطالعات نشان داده‌اند که حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد از تصادفات به دلیل خطاهای انسانی رخ می‌دهد (سراج، ۱۴۰۲). علاوه بر این، شرایط محیطی نظیر کاهش دید در اثر

مه، بارندگی و تابش شدید نور خورشید، نیز تأثیر بسزایی بر افزایش احتمال تصادفات دارد. در کنار این عوامل، مشکلات زیرساختی مانند کیفیت پایین آسفالت، نبود علائم هشداردهنده کافی، طراحی نامناسب پیچ‌ها و شیب‌های جاده‌ای، و کمبود سیستم‌های هوشمند نظارتی از دیگر دلایل وقوع تصادفات محسوب می‌شوند (دیواندری و اکراقبری، ۱۴۰۲). بررسی علمی این عوامل و ارائه راهکارهای مؤثر، می‌تواند نقش مهمی در کاهش حوادث رانندگی داشته باشد.

تحلیل علمی و دقیق تصادفات در این محورها می‌تواند به شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر وقوع حوادث و ارائه راهکارهای بهینه برای کاهش آن‌ها کمک کند (دیواندری و اکراقبری، ۱۴۰۲). بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که تصادفات در این محورها به‌طور عمده ناشی از ترکیبی از عوامل انسانی، محیطی و فنی است (سراج، ۱۴۰۲). برخی از این عوامل شامل کمبود علائم هشداردهنده، کیفیت نامناسب روسازی جاده، شیب‌های تند، پیچ‌های خطرناک و عدم رعایت قوانین رانندگی از سوی کاربران جاده‌ای هستند (ارجمند و قربانی، ۱۴۰۲). بنابراین، بررسی جامع این متغیرها از منظر علمی می‌تواند زمینه را برای بهبود ایمنی جاده‌ها و کاهش تصادفات فراهم کند.

تحلیل تصادفات جاده‌ای مستلزم استفاده از رویکردهای علمی و روش‌های تحلیل داده است (پورنعمتی و عربی، ۱۴۰۲). مدل‌سازی تصادفات و شناسایی الگوهای تکرارشونده در این حوادث می‌تواند به ارائه پیش‌بینی‌های دقیق درباره نواحی پرخطر و شرایط مستعد تصادف کمک کند (سمیعا و همکاران، ۱۴۰۲). استفاده از روش‌های آماری و یادگیری ماشین در تحلیل داده‌های تصادفات می‌تواند روندهای مؤثر بر بروز حوادث را آشکار کند (کیخایی، ۱۴۰۱). در سطح جهانی، مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است که نشان می‌دهد استفاده از داده‌های تاریخی تصادفات، شرایط محیطی و ویژگی‌های هندسی جاده می‌تواند به پیش‌بینی نقاط حادثه‌خیز کمک کند (هاشمی و همکاران، ۱۴۰۳). اما در ایران، به‌ویژه در شهرستان زرنند، مطالعات جامع و مبتنی بر داده برای تحلیل تصادفات جاده‌ای کمتر انجام شده است. در این راستا، تحقیق حاضر با هدف بررسی علمی تصادفات جاده‌ای در این منطقه، تلاش دارد تا با استفاده از داده‌های میدانی و روش‌های تحلیلی، عوامل مؤثر بر تصادفات را شناسایی کند و پیشنهادهای کاربردی برای کاهش این حوادث ارائه دهد.

در شهرستان زرنند، محورهای جاده‌ای مهمی از جمله زرنند-دشتخاک، زرنند-راور و زرنند-سیریز وجود دارند که به دلیل تردد بالا، شرایط جغرافیایی خاص و کمبود زیرساخت‌های مناسب، مستعد وقوع تصادفات هستند. تحلیل‌های اولیه نشان داده است که در این محورها، ترکیبی از عوامل انسانی، محیطی و فنی در بروز تصادفات نقش دارند (سمیعا و همکاران، ۱۴۰۲). برخی از مهم‌ترین مشکلات این جاده‌ها شامل پیچ‌های خطرناک، عرض کم مسیر، نبود شانه ایمنی مناسب، و کمبود روشنایی کافی در برخی از

نقاط حادثه‌خیز است. همچنین، افزایش حجم وسایل نقلیه و عدم تناسب بین زیرساخت‌های موجود و میزان تردد، بر شدت تصادفات در این منطقه افزوده است. با توجه به اهمیت این موضوع، تحقیق حاضر به بررسی علمی تصادفات جاده‌ای در محورهای بین‌شهری شهرستان زرنند پرداخته و تلاش می‌کند تا با استفاده از داده‌های میدانی و روش‌های تحلیلی، عوامل کلیدی مؤثر بر تصادفات را شناسایی کرده و پیشنهادهایی برای کاهش این حوادث ارائه دهد. در نتیجه، سوال اساسی پژوهش این است که عوامل کلیدی مؤثر بر وقوع تصادفات جاده‌ای در محورهای بین‌شهری شهرستان زرنند کدامند و چه راهکارهایی می‌توان برای کاهش این تصادفات ارائه کرد؟

۱-۳- اهمیت و ضرورت پژوهش

تصادفات جاده‌ای یکی از چالش‌های جدی سلامت عمومی در جهان محسوب می‌شوند و هر ساله موجب مرگ و میر گسترده و آسیب‌های شدید جسمانی و روانی می‌شوند. این حوادث علاوه بر خسارات جانی، هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی سنگینی را نیز به جوامع تحمیل می‌کنند. با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از تصادفات ناشی از خطاهای انسانی، شرایط نامناسب جاده‌ای و کمبود زیرساخت‌های ایمنی است، مطالعه علمی و نظام‌مند این عوامل برای ارائه راهکارهای مؤثر ضرورت دارد. شناسایی الگوهای خطر، تحلیل دقیق علل بروز تصادفات و تبیین نقش مؤثر مخاطرات انسانی و محیطی می‌تواند به تدوین سیاست‌های بهبود ایمنی و کاهش حوادث کمک کند. اهمیت این پژوهش در آن است که با اتکا به داده‌های واقعی و تحلیل‌های علمی، امکان ارائه توصیه‌های کاربردی برای کاهش تلفات و بهبود مدیریت ریسک فراهم می‌شود و نتایج آن می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های کلان در حوزه حمل‌ونقل و ایمنی جاده‌ای قرار گیرد.

شهرستان زرنند به عنوان یکی از مناطق مهم در شبکه حمل‌ونقل استان کرمان، دارای مسیرهای ارتباطی پرترددی است که میزان وقوع تصادفات در آن قابل توجه است. محورهای زرنند-دشتخاک، زرنند-راور و زرنند-سیریز به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین و ویژگی‌های خاص فیزیکی جاده، مستعد وقوع حوادث جاده‌ای هستند. بسیاری از این تصادفات به دلیل وجود پیچ‌های خطرناک، عرض کم جاده، نبود علائم هشداردهنده کافی و شرایط نامساعد آسفالت اتفاق می‌افتند. بررسی علمی این مسیرها می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص عوامل مؤثر بر تصادفات ارائه دهد و به بهبود ایمنی این محورها کمک کند.

از منظر اهمیت پژوهش، تحلیل علمی علل وقوع تصادفات جاده‌ای به شناسایی نقاط پرخطر و ارائه راهکارهای کاهش حوادث کمک می‌کند. اتخاذ سیاست‌های ایمنی جاده‌ای بر اساس داده‌های علمی

می‌تواند منجر به کاهش خسارات انسانی و اقتصادی شود. با استفاده از تحلیل‌های آماری و مدل‌های پیش‌بینی، می‌توان نواحی بحرانی را شناسایی کرد و اقداماتی مانند بهبود کیفیت آسفالت، اصلاح هندسی مسیر، نصب دوربین‌های کنترل سرعت و افزایش نظارت‌های ترافیکی را در اولویت قرار داد. این رویکرد علمی می‌تواند نقش بسزایی در کاهش نرخ تصادفات و افزایش ایمنی جاده‌ای ایفا کند.

از منظر ضرورت پژوهش، جاده‌های بین‌شهری شهرستان زرنده به دلیل شرایط خاص خود نیازمند بررسی‌های دقیق و علمی هستند. افزایش حجم ترافیک، عبور کامیون‌های سنگین، و نبود زیرساخت‌های مناسب در برخی از این مسیرها، خطر تصادفات را دوچندان کرده است. آمار تصادفات در این محورها نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از این حوادث منجر به مرگ و میر یا صدمات شدید جسمانی شده‌اند. بنابراین، ضرورت دارد که عوامل اصلی بروز تصادفات در این مسیرها به طور دقیق شناسایی شود و راهکارهای مناسبی برای بهبود ایمنی این محورها ارائه گردد.

نتایج این پژوهش می‌تواند به تصمیم‌گیران، مسئولان راه‌سازی و نهادهای مرتبط با ایمنی جاده‌ای کمک کند تا با اتخاذ راهکارهای مؤثر، از میزان تصادفات جاده‌ای در شهرستان زرنده کاسته شود. از سوی دیگر، اجرای برنامه‌های آموزشی و افزایش آگاهی عمومی در زمینه رعایت قوانین رانندگی می‌تواند نقش مهمی در کاهش سوانح داشته باشد. این تحقیق نه تنها به بهبود ایمنی جاده‌های شهرستان زرنده کمک خواهد کرد، بلکه می‌تواند به عنوان الگویی برای سایر مناطق مشابه نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۴-اهداف پژوهش

۱-۴-۱-اهداف اصلی پژوهش

ارزیابی علت وقوع تصادفات جاده‌ای بین‌شهری در شهرستان زرنده

۱-۴-۲-اهداف فرعی

- ❖ شناسایی عوامل محیطی، هندسی و فنی مؤثر بر تصادفات جاده‌ای در محورهای مورد مطالعه.
- ❖ بررسی تأثیر کیفیت زیرساخت‌های جاده‌ای بر میزان و شدت تصادفات.
- ❖ ارزیابی تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر افزایش خطر تصادفات در محورهای بین‌شهری شهرستان زرنده.

۱-۵-سوالات پژوهش

۱-۵-۱-سوال اصلی پژوهش

علت وقوع تصادفات جاده‌ای بین‌شهری در شهرستان زرنده چیست؟

۱-۵-۲-سوالات فرعی پژوهش

- ❖ چه عوامل محیطی، هندسی و فنی بر تصادفات جاده‌ای در محورهای مورد مطالعه تأثیر دارند؟
- ❖ کیفیت زیرساخت‌های جاده‌ای چه تأثیری بر میزان و شدت تصادفات در محورهای بین‌شهری شهرستان زرند دارد؟
- ❖ شرایط آب‌وهوایی چگونه بر افزایش خطر تصادفات در محورهای بین‌شهری شهرستان زرند تأثیر می‌گذارد؟

جمع بندی فصل اول

در فصل اول، طرح بحث و ضرورت انجام پژوهش به شکل جامع تبیین شد و اهمیت بررسی علمی تصادفات جاده‌ای به عنوان یکی از چالش‌های اساسی حوزه ایمنی راه‌ها مورد تأکید قرار گرفت. در این فصل بیان شد که تصادفات جاده‌ای در سطح کشور و به‌ویژه در مسیرهای بین‌شهری، تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل انسانی، محیطی و زیرساختی رخ می‌دهند و پیامدهای گسترده‌ای بر سلامت عمومی، اقتصاد و امنیت اجتماعی دارند. مرور پیشینه و طرح مسئله نشان داد که عوامل متعددی همچون رفتارهای پرخطر رانندگان، کیفیت پایین زیرساخت‌ها، شرایط نامساعد جوی و طراحی نامناسب جاده‌ها نقش مهمی در شکل‌گیری این حوادث دارند. همچنین اهمیت تحلیل علمی داده‌های تصادفات، شناخت الگوهای تکرارشونده و بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی و مدل‌سازی برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز به عنوان پیش‌نیاز ارائه راهکارهای کاهش حوادث مورد توجه قرار گرفت.

در ادامه، ضرورت انجام این پژوهش در شهرستان زرند به دلیل وجود محورهای پرتراфик و حادثه‌خیز مانند زرند-دشتخاک، زرند-راور و زرند-سیریز مورد تأکید قرار گرفت. ویژگی‌های هندسی خاص، عبور خودروهای سنگین، کمبود زیرساخت‌های ایمنی و افزایش حجم تردد از جمله عواملی هستند که این منطقه را مستعد وقوع تصادفات جدی کرده‌اند و نیاز به بررسی علمی را دوجندان می‌کنند. در فصل اول همچنین اهداف اصلی و فرعی پژوهش و سؤالات تحقیق مشخص شد تا مسیر پژوهش روشن گردد. هدف نهایی این پژوهش، شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر تصادفات جاده‌ای بین‌شهری زرند و ارائه راهکارهای کاربردی برای کاهش آن‌هاست. جمع‌بندی فصل اول نشان می‌دهد که انجام این پژوهش می‌تواند به بهبود ایمنی راه‌ها، کاهش خسارات انسانی و مالی و ارائه مبنای علمی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در حوزه حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی شهری کمک کند.

فصل دوم:

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱ مقدمه

مبانی نظری هر پژوهش به عنوان چارچوب علمی و مفهومی آن عمل می کند و با مرور دیدگاه ها، نظریه ها و یافته های پیشین، زمینه ای برای تحلیل موضوع تحقیق فراهم می آورد. در واقع، مبانی نظری نه تنها بنیان های علمی موضوع را تبیین می کند، بلکه ارتباط آن با مطالعات گذشته و نظریه های مرتبط را نشان می دهد. این بخش به پژوهشگر امکان می دهد جایگاه تحقیق خود را در میان ادبیات علمی موجود مشخص کند و مسیر روش شناختی مطالعه را بر اساس اصول علمی هدایت نماید.

اهمیت مبانی نظری در این است که باعث انسجام در تدوین پرسش ها و فرضیه های تحقیق می شود و از پراکندگی موضوعی جلوگیری می کند. همچنین این بخش، پایه ای برای تحلیل داده ها و تفسیر نتایج فراهم می سازد و به پژوهشگر کمک می کند تا شکاف های علمی موجود را شناسایی کرده و با تمرکز بر آن ها، سهمی در گسترش دانش علمی ایفا کند. در نتیجه، مبانی نظری به عنوان یکی از عناصر کلیدی هر پژوهش، نقشی اساسی در اعتبار علمی و کاربردی بودن نتایج تحقیق دارد. در این فصل به ادبیات پژوهش مرتبط با موضوع پژوهش پرداخته میشود.

۲-۲- تصادفات جاده ای

۲-۲-۳ ماهیت تصادفات جاده

بروز تصادفات جاده ای تحت تأثیر مجموعه ای از عوامل انسانی، فنی و محیطی است که تعامل آن ها شدت و احتمال وقوع حوادث را تعیین می کند. یکی از مهم ترین عوامل مؤثر، رفتار راننده است. رفتارهای پرخطر مانند سرعت غیرمجاز، عبور از چراغ قرمز، عدم رعایت فاصله ایمن، خستگی و توجه ناکافی، بیشترین سهم را در وقوع تصادفات دارند. تحقیقات نشان می دهند که خطای انسانی در بیش از ۷۰ درصد تصادفات جاده ای نقش دارد و آموزش و فرهنگ سازی می تواند اثر قابل توجهی در کاهش آن داشته باشد (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

عامل دیگری که تأثیر بسزایی در تصادفات دارد، شرایط فنی وسایل نقلیه است. نقص در سیستم ترمز، فرمان، لاستیک، چراغ ها و دیگر تجهیزات ایمنی می تواند کنترل وسیله نقلیه را مختل کرده و منجر به حوادث شود. نگهداری منظم، بازرسی دوره ای و رعایت استانداردهای فنی خودروها نقش مهمی در کاهش تصادفات ناشی از نقص فنی دارند. همچنین، استفاده از فناوری های ایمنی مانند سیستم های هشداردهنده و کنترل پایداری خودرو، احتمال وقوع حوادث را کاهش می دهد (گورزلانژیک و تیلیچی، ۲۰۲۳).

شرایط محیطی و جاده ای نیز از عوامل مؤثر بر بروز تصادفات هستند. وضعیت جاده ها، کیفیت

آسفالت، روشنایی، پیچ‌ها و شیب‌ها، وجود علائم و تجهیزات هشداردهنده، همگی در ایمنی رانندگان نقش دارند. علاوه بر این، شرایط آب و هوایی مانند بارش باران، برف، مه و باد شدید، دید راننده را کاهش داده و احتمال لغزش خودرو را افزایش می‌دهند. طراحی مناسب جاده‌ها، نصب حفاظ‌ها و علائم ایمنی و نگهداری مسیرها از اقدامات مؤثر در کاهش تصادفات محیطی است (جئونگ و همکاران، ۲۰۲۲).

رفتار عابران پیاده و سایر کاربران جاده نیز در بروز تصادفات مؤثر است. عبور غیرمجاز، عدم توجه به چراغ‌های راهنمایی و عبور در مکان‌های نامناسب، می‌تواند باعث برخورد با وسایل نقلیه شود. بنابراین آموزش و افزایش آگاهی عابران، ایجاد پل‌ها و زیرگذرها و طراحی مسیرهای ایمن پیاده‌رو، نقش مهمی در کاهش این نوع تصادفات دارد (صمدیان و جعفری، ۱۳۹۸).

عوامل اجتماعی و فرهنگی نیز در رفتار رانندگان تأثیرگذار هستند. نگرش نسبت به قوانین راهنمایی و رانندگی، میزان رعایت مقررات، فشار اجتماعی و هنجارهای فرهنگی، می‌تواند رفتارهای پرخطر را تشدید یا کاهش دهند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که در جوامعی که فرهنگ رعایت قوانین رانندگی تقویت شده، میزان تصادفات جاده‌ای کمتر است. به همین دلیل، اقدامات آموزشی و اطلاع‌رسانی عمومی برای ارتقای فرهنگ رانندگی اهمیت زیادی دارد (آتیپان و همکاران، ۲۰۲۲).

سرعت وسیله نقلیه یکی از عوامل مستقیم در بروز و شدت تصادفات است. سرعت بالا باعث کاهش زمان واکنش راننده و افزایش شدت برخورد می‌شود. همچنین، عدم تطابق سرعت با شرایط جاده و محیط، مانند پیچ‌ها، شیب‌ها و شرایط آب و هوایی، احتمال تصادف را به شدت افزایش می‌دهد. مدیریت سرعت از طریق نصب علائم محدودیت سرعت، دوربین‌های نظارتی و اعمال جریمه‌های مؤثر، یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش تصادفات است (چاند و همکاران، ۲۰۲۱).

عوامل روانی و جسمی راننده نیز نقش مهمی دارند. خستگی، خواب‌آلودگی، استرس، مصرف الکل و داروهای اثرگذار بر توانایی رانندگی می‌تواند تمرکز و تصمیم‌گیری راننده را کاهش دهد. بررسی عوامل انسانی و بهبود وضعیت سلامت و آموزش رانندگان می‌تواند به کاهش تصادفات کمک کند (سانی و همکاران، ۲۰۱۸).

در برخی موارد، عوامل ترکیبی باعث بروز تصادفات می‌شوند. برای مثال، ترکیب سرعت بالا، نقص فنی خودرو و شرایط نامساعد جاده، احتمال وقوع حادثه را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. به همین دلیل، تحلیل دقیق و جامع عوامل مؤثر برای طراحی اقدامات پیشگیرانه اهمیت دارد (گهرپور و ظل طاعت، ۱۳۹۴).

با توجه به پیچیدگی عوامل مؤثر بر تصادفات جاده‌ای، رویکرد چندجانبه برای پیشگیری و مدیریت

ایمنی ضروری است. ترکیب آموزش رانندگان، بهبود شرایط فنی وسایل نقلیه، ارتقای طراحی و نگهداری جاده‌ها، و اعمال قوانین سختگیرانه می‌تواند اثرگذاری اقدامات پیشگیرانه را افزایش دهد و کاهش تصادفات و جراحات ناشی از آن را تضمین کند.

۲-۲-۲- تعریف و ماهیت تصادفات جاده‌ای

تصادفات جاده‌ای به وقوع حوادث ناگهانی در شبکه‌های حمل‌ونقل اطلاق می‌شود که باعث آسیب به افراد، وسایل نقلیه یا زیرساخت‌های جاده‌ای می‌شود. این حوادث ممکن است به دلیل خطاهای انسانی، شرایط محیطی، نقص فنی وسایل نقلیه یا ترکیبی از این عوامل رخ دهند. تصادفات جاده‌ای به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل ایمنی عمومی در جهان شناخته می‌شوند و سالانه باعث مرگ و جراحت میلیون‌ها نفر می‌شوند (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

ماهیت تصادفات جاده‌ای ناشی از تعامل عوامل مختلف است. عوامل انسانی مهم‌ترین بخش از این تعامل را تشکیل می‌دهند و شامل رفتار راننده، سرعت، توجه و مهارت‌های رانندگی می‌شوند. عوامل فنی مرتبط با وضعیت وسایل نقلیه، سیستم‌های ترمز، لاستیک‌ها و نگهداری دوره‌ای آن‌ها است. همچنین عوامل محیطی مانند وضعیت جاده، شرایط آب و هوا، روشنایی و طراحی هندسی جاده نقش مهمی در وقوع تصادفات دارند (جنونگ و همکاران، ۲۰۲۲).

تصادفات جاده‌ای می‌توانند از نظر شدت و پیامد بسیار متنوع باشند. برخی حوادث تنها موجب خسارت مالی می‌شوند، در حالی که برخی دیگر باعث جراحات جدی یا مرگ می‌شوند. تحلیل شدت و نوع تصادفات به تصمیم‌گیری‌های ایمنی و طراحی اقدامات پیشگیرانه کمک می‌کند. داده‌های جمع‌آوری شده از تصادفات، شامل مکان، زمان، شرایط محیطی و ویژگی‌های راننده، امکان شناسایی الگوها و عوامل مؤثر را فراهم می‌کند (صمدیان و جعفری، ۱۳۹۸).

زمان و مکان وقوع تصادفات اهمیت بالایی در تحلیل این پدیده دارند. مطالعات نشان می‌دهند که ساعات شب و شرایط کم نور با افزایش وقوع تصادفات مرتبط هستند. همچنین، تغییرات آب و هوایی مانند بارش باران، برف یا مه باعث کاهش دید و افزایش ریسک تصادفات می‌شوند. الگوهای زمانی همچنین می‌توانند نشان‌دهنده اثرات رفتاری مانند خستگی و افزایش سرعت در ساعات خاص روز باشند (گورزلانژیک و تیلیچی، ۲۰۲۳).

رفتارهای رانندگان یکی از عوامل کلیدی در تحلیل تصادفات است. رفتارهای پرخطر مانند سرعت غیرمجاز، عبور از چراغ قرمز، عدم رعایت فاصله ایمن و مصرف الکل یا داروهای اثرگذار بر توانایی راننده باعث افزایش احتمال تصادف می‌شوند. شناخت و کنترل این رفتارها از طریق آموزش، فرهنگ‌سازی و اعمال مقررات، نقش مهمی در کاهش تصادفات دارد (سانی و همکاران، ۲۰۱۸).

نقص فنی وسایل نقلیه نیز از عوامل مؤثر در تصادفات است. خرابی ترمز، مشکل در سیستم فرمان، نقص چراغ‌ها و کاهش کیفیت لاستیک‌ها می‌تواند موجب عدم کنترل وسیله نقلیه و تصادف شود. نگهداری دوره‌ای، بازرسی‌های فنی و رعایت استانداردهای ایمنی خودروها نقش مهمی در کاهش این نوع حوادث دارد (گهرپور و ظل طاعت، ۱۳۹۴).

شرایط محیطی و طراحی جاده‌ها نیز تأثیر مستقیمی بر تصادفات دارند. جاده‌های با دید محدود، پیچ‌های تند، عدم وجود علائم کافی و سطوح لغزنده بیشتر درگیر تصادفات هستند. همچنین، روشنایی نامناسب و فقدان حفاظ‌های ایمنی می‌تواند شدت پیامدهای تصادف را افزایش دهد. طراحی صحیح هندسی، نصب علائم راهنمایی و رانندگی و بهبود کیفیت آسفالت از مهم‌ترین اقدامات کاهش ریسک است (چاند و همکاران، ۲۰۲۱).

تحلیل تصادفات جاده‌ای نیازمند استفاده از مدل‌های آماری و تکنیک‌های پیش‌بینی است. مدل‌های مختلف، از جمله مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی، امکان شناسایی عوامل مؤثر و پیش‌بینی وقوع تصادفات را فراهم می‌کنند. این تحلیل‌ها به برنامه‌ریزی اقدامات پیشگیرانه و تخصیص منابع ایمنی کمک می‌کنند (آتیپان و همکاران، ۲۰۲۲).

کاهش تصادفات جاده‌ای نیازمند رویکرد جامع و چندجانبه است که شامل بهبود رفتار رانندگان، ارتقای کیفیت وسایل نقلیه، اصلاح زیرساخت‌ها و اعمال مقررات سختگیرانه می‌شود. استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های هشداردهنده، دوربین‌های نظارتی و مدیریت ترافیک هوشمند می‌تواند نقش مهمی در کاهش حوادث ایفا کند. همچنین همکاری بین نهادهای دولتی و خصوصی، تحقیقات علمی و آموزش عمومی می‌تواند اثرگذاری اقدامات پیشگیرانه را افزایش دهد (اسماعیل و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۳- طبقه‌بندی انواع تصادفات جاده‌ای

تصادفات جاده‌ای به دلایل مختلف و با شدت‌های متفاوت رخ می‌دهند و طبقه‌بندی آن‌ها به تحلیل و پیشگیری کمک می‌کند. یکی از رایج‌ترین روش‌های طبقه‌بندی، تقسیم‌بندی بر اساس نوع برخورد است. در این دسته‌بندی، تصادفات شامل برخورد وسیله نقلیه با وسیله نقلیه دیگر، برخورد با عابر پیاده، برخورد با اشیاء ثابت مانند درخت یا تیر برق و واژگونی خودرو می‌شوند. هر یک از این انواع تصادفات ویژگی‌های خاص خود را دارند و نیازمند اقدامات ایمنی متفاوت هستند (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

تصادفات برخورد با وسیله نقلیه دیگر به عنوان یکی از شایع‌ترین انواع در جهان شناخته می‌شوند. این تصادفات معمولاً به دلیل خطاهای انسانی مانند عدم رعایت فاصله ایمن، سرعت غیرمجاز و عبور از چراغ قرمز رخ می‌دهند. شدت این نوع تصادفات به سرعت و زاویه برخورد بستگی دارد و می‌تواند باعث

جراحات شدید و مرگ شود. شناسایی الگوهای این نوع تصادفات و تحلیل عوامل مؤثر می‌تواند به کاهش وقوع آن‌ها کمک کند (جئونگ و همکاران، ۲۰۲۲).

برخورد با عابر پیاده نوع دیگری از تصادفات جاده‌ای است که بیشتر در مناطق شهری و مسیرهای پرتردد اتفاق می‌افتد. عوامل مؤثر در این تصادفات شامل سرعت راننده، دید محدود، عبور غیرمجاز عابر و شرایط محیطی مانند نور کم و آب‌وهوای نامناسب است. اقدامات پیشگیرانه مانند نصب پل‌ها و زیرگذرها، افزایش آگاهی رانندگان و عابران و استفاده از علائم هشداردهنده می‌تواند شدت و تعداد این نوع حوادث را کاهش دهد (صمدیان و جعفری، ۱۳۹۸).

واژگونی خودرو یکی دیگر از انواع تصادفات است که به خصوص در جاده‌های برون‌شهری و مسیرهای شیب‌دار رخ می‌دهد. این نوع تصادف معمولاً به دلیل سرعت بالا، نقص فنی خودرو، پیچ‌های تند و کاهش کنترل راننده ایجاد می‌شود. واژگونی خودرو می‌تواند باعث جراحات جدی سرنشینان و مرگ شود. بنابراین طراحی جاده مناسب، سیستم‌های هشداردهنده و آموزش رانندگان در کاهش وقوع این نوع تصادفات مؤثر هستند (گورزلانژیک و تیلیچی، ۲۰۲۳).

برخورد با اشیاء ثابت مانند تیر برق، درخت یا موانع کنار جاده نیز یکی از انواع متداول تصادفات است. این نوع تصادف معمولاً ناشی از خروج خودرو از مسیر، لغزندگی جاده یا توجه نکردن راننده به علائم راهنمایی است. شدت آسیب‌ها در این نوع تصادفات معمولاً بالا است و می‌تواند به خسارت مالی و جراحت جدی منجر شود. بهبود طراحی حاشیه جاده، نصب حفاظ و اصلاح علائم راهنمایی و رانندگی از روش‌های پیشگیری مؤثر است (سانی و همکاران، ۲۰۱۸).

تصادفات زنجیره‌ای یا چند خودرو نیز یکی از انواع مهم است که در آن چندین وسیله نقلیه درگیر یک حادثه می‌شوند. این نوع تصادف معمولاً در ترافیک سنگین، شرایط آب و هوایی نامساعد یا دید محدود رخ می‌دهد. تصادفات زنجیره‌ای معمولاً پیامدهای گسترده‌ای دارند و مدیریت آن نیازمند برنامه‌ریزی مناسب برای کاهش اثرات جانبی و انتقال مصدومان است (چاند و همکاران، ۲۰۲۱).

طبقه‌بندی تصادفات بر اساس شدت پیامد نیز رایج است و شامل تصادفات بدون آسیب، تصادفات با جراحات جزئی، تصادفات با جراحات شدید و تصادفات منجر به فوت می‌شود. این دسته‌بندی به مسئولان ایمنی و پژوهشگران کمک می‌کند تا اولویت‌های پیشگیری را مشخص کنند و منابع لازم را برای کاهش تصادفات شدید و مرگ‌ومیر اختصاص دهند (گهرپور و ظل طاعت، ۱۳۹۴).

همچنین، تصادفات می‌توانند بر اساس مکان وقوع تقسیم‌بندی شوند. تصادفات شهری در خیابان‌ها و مسیرهای پرتردد شهرها اتفاق می‌افتند و بیشتر به دلیل تقاطع‌ها، توقف ناگهانی و رفتارهای پرخطر رانندگان رخ می‌دهند. تصادفات برون‌شهری در جاده‌های بین شهری و مسیرهای طولانی رخ می‌دهند و

معمولاً با سرعت بالا و شرایط محیطی مرتبط هستند. شناخت الگوهای مکانی به برنامه‌ریزی اقدامات پیشگیرانه و بهبود ایمنی جاده‌ها کمک می‌کند (آتیپان و همکاران، ۲۰۲۲).

عوامل انسانی و فنی نیز می‌توانند مبنای طبقه‌بندی باشند. تصادفاتی که ناشی از خطای راننده هستند شامل سرعت غیرمجاز، عدم توجه، خستگی و رفتارهای پرخطر می‌شوند. تصادفاتی که ناشی از نقص فنی وسیله نقلیه هستند شامل خرابی ترمز، سیستم فرمان، لاستیک و چراغ‌ها می‌شوند. شناخت این عوامل باعث می‌شود اقدامات اصلاحی دقیق‌تر و هدفمندتر انجام شود (اسماعیل و همکاران، ۲۰۲۱).

با توجه به پیچیدگی تصادفات جاده‌ای و تنوع آن‌ها، طبقه‌بندی صحیح و علمی این حوادث اهمیت ویژه‌ای دارد. این طبقه‌بندی‌ها کمک می‌کنند تا پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران بتوانند علل و پیامدهای تصادفات را بهتر تحلیل کنند، اقدامات پیشگیرانه مناسب طراحی کنند و ایمنی شبکه‌های حمل‌ونقل را افزایش دهند. ترکیب طبقه‌بندی بر اساس نوع، شدت، مکان و عوامل مؤثر، یک چارچوب جامع برای مدیریت و کاهش تصادفات فراهم می‌کند.

۲-۴-۲- روش‌های پیشگیری و کاهش تصادفات جاده‌ای

کاهش و پیشگیری از تصادفات جاده‌ای نیازمند رویکردی جامع و چندجانبه است که شامل اقدامات آموزشی، فنی، قانونی و مدیریتی می‌شود. آموزش رانندگان و ارتقای آگاهی عمومی یکی از مؤثرترین روش‌ها برای کاهش تصادفات است. برنامه‌های آموزشی می‌توانند مهارت‌های رانندگی، شناخت خطرات جاده‌ای و رفتارهای ایمن را تقویت کنند. همچنین، آموزش به عابران پیاده و دوچرخه‌سواران در مورد استفاده صحیح از مسیرها و رعایت قوانین، نقش مهمی در پیشگیری از حوادث دارد (چاند و همکاران، ۲۰۲۱).

بهبود شرایط فنی وسایل نقلیه نیز در کاهش تصادفات اهمیت دارد. بازرسی‌های دوره‌ای خودروها، تعمیر و نگهداری منظم سیستم‌های ترمز، فرمان، چراغ‌ها و لاستیک‌ها می‌تواند از وقوع تصادفات ناشی از نقص فنی جلوگیری کند. استفاده از فناوری‌های ایمنی نوین مانند سیستم ترمز ضد قفل، کنترل پایداری خودرو، کیسه‌های هوا و سیستم‌های هشداردهنده، باعث کاهش شدت و احتمال تصادفات می‌شود. این اقدامات فنی به ویژه در کاهش حوادث شدید و مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات مؤثر هستند (جئونگ و همکاران، ۲۰۲۲).

اصلاح و بهبود زیرساخت‌های جاده‌ای یکی دیگر از روش‌های پیشگیرانه مهم است. طراحی مناسب هندسی جاده‌ها، نصب علائم راهنمایی و رانندگی، روشنایی کافی، حفاظ کنار جاده و ترمیم نقاط حادثه‌خیز می‌تواند خطر تصادفات را کاهش دهد. همچنین، ایجاد مسیرهای جداگانه برای عابران پیاده و دوچرخه‌سواران، نصب سرعت گیر در مناطق شهری و کنترل دسترسی به جاده‌های پرتراфик از اقدامات

مؤثر در افزایش ایمنی جاده‌ها است (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

اجرای قوانین و مقررات سختگیرانه نقش مهمی در پیشگیری از تصادفات دارد. محدودیت سرعت، اعمال جریمه‌های مؤثر برای تخلفات رانندگی، کنترل مصرف الکل و داروهای اثرگذار بر توانایی رانندگی، و رعایت فاصله ایمن از جمله اقدامات قانونی مؤثر هستند. نظارت دقیق پلیس و استفاده از دوربین‌های کنترلی و سیستم‌های هوشمند مدیریت ترافیک می‌تواند میزان تخلفات رانندگان را کاهش دهد و در نتیجه احتمال وقوع تصادفات را کم کند (آتیپان و همکاران، ۲۰۲۲).

استفاده از فناوری‌های نوین و سیستم‌های هوشمند در مدیریت ترافیک نیز باعث کاهش تصادفات می‌شود. سیستم‌های هشداردهنده تصادف، دوربین‌های کنترل سرعت، سیستم‌های مدیریت ترافیک لحظه‌ای و خودروهای هوشمند می‌توانند خطرات احتمالی را به راننده اطلاع دهند و واکنش به موقع را ممکن کنند. این فناوری‌ها باعث کاهش تصادفات زنجیره‌ای و حوادث شدید در شرایط پرترافیک و شرایط محیطی نامساعد می‌شوند (سانی و همکاران، ۲۰۱۸).

تحلیل داده‌های تصادفات و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی نیز در طراحی اقدامات پیشگیرانه مؤثر است. با بررسی الگوهای وقوع تصادفات، مکان‌های حادثه‌خیز، زمان‌های پرتکرار و عوامل انسانی و فنی، می‌توان اقدامات هدفمند و مؤثری برای کاهش ریسک حوادث طراحی کرد. این تحلیل‌ها به مسئولان ایمنی و برنامه‌ریزان شهری کمک می‌کند تا منابع را به طور بهینه برای کاهش تصادفات تخصیص دهند (گورزلانژیک و تیلیچی، ۲۰۲۳).

توجه به عوامل انسانی از طریق آموزش روانشناسی رانندگی و کاهش رفتارهای پرخطر نیز اهمیت دارد. برنامه‌های آموزش رانندگان می‌توانند رفتارهای ایمن، مدیریت خشم و استرس رانندگی، و مقابله با خستگی و خواب‌آلودگی را تقویت کنند. همچنین، فرهنگ‌سازی عمومی در مورد رعایت قوانین و مسئولیت اجتماعی رانندگان می‌تواند به کاهش تخلفات و تصادفات منجر شود (صمدیان و جعفری، ۱۳۹۸).

ایجاد هماهنگی بین بخشی بین نهادهای دولتی، شهرداری‌ها، پلیس و سازمان‌های مرتبط، در پیشگیری از تصادفات مؤثر است. تدوین سیاست‌های ایمنی جاده‌ای، برنامه‌های آموزشی، بهبود زیرساخت‌ها و نظارت قانونی نیازمند همکاری و هماهنگی جامع بین این نهادها است. این هماهنگی باعث می‌شود اقدامات پیشگیرانه هدفمندتر و اثرگذارتر باشند (اسماعیل و همکاران، ۲۰۲۱).

با توجه به ترکیبی بودن عوامل مؤثر بر تصادفات، استفاده همزمان از روش‌های آموزشی، فنی، قانونی و مدیریتی بیشترین تأثیر را دارد. اقدامات پیشگیرانه باید بر اساس داده‌های آماری، تحلیل ریسک و شناخت دقیق عوامل انسانی، محیطی و فنی طراحی شوند. این رویکرد جامع می‌تواند موجب کاهش

تصادفات، کاهش جراحات و مرگ و میر و ارتقای ایمنی حمل و نقل شود (گهرپور و ظل طاعت، ۱۳۹۴). در نهایت، پیشگیری و کاهش تصادفات جاده‌ای مستلزم نگاه بلندمدت و برنامه‌ریزی مستمر است. آموزش مداوم، بهبود فناوری و زیرساخت‌ها، اعمال قوانین مؤثر و همکاری بین بخشی می‌توانند نرخ تصادفات را به طور قابل توجهی کاهش دهند. این اقدامات به افزایش ایمنی کاربران جاده و ارتقای کیفیت شبکه‌های حمل و نقل منجر می‌شوند و نشان می‌دهند که مدیریت جامع و علمی تصادفات جاده‌ای ضروری و مؤثر است.

۲-۵- شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی شدت و فرکانس تصادفات

ارزیابی شدت و فرکانس تصادفات جاده‌ای از اهمیت بالایی در مدیریت ایمنی حمل و نقل برخوردار است و امکان شناسایی نقاط پرخطر و برنامه‌ریزی اقدامات پیشگیرانه را فراهم می‌کند. شدت تصادف معمولاً با میزان جراحات و خسارت‌های ناشی از حادثه سنجیده می‌شود و شامل سطوح مختلفی مانند بدون آسیب، جراحات جزئی، جراحات شدید و فوت است. این شاخص به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا اولویت‌های ایمنی را مشخص کرده و منابع لازم را برای کاهش حوادث شدید اختصاص دهند (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

فرکانس تصادفات نیز معیاری کلیدی برای اندازه‌گیری تعداد حوادث در یک بازه زمانی یا در یک مسیر مشخص است. این شاخص معمولاً بر اساس تعداد تصادفات به ازای هر کیلومتر جاده، هر هزار وسیله نقلیه یا هر جمعیت مشخص محاسبه می‌شود. فرکانس بالای تصادفات در یک مسیر نشان‌دهنده وجود عوامل پرخطر و نیاز به اصلاحات در طراحی جاده، کنترل ترافیک و آموزش رانندگان است (آتیپان و همکاران، ۲۰۲۲).

شاخص شدت تصادف می‌تواند شامل معیارهای مختلفی مانند تعداد کشته‌شدگان، تعداد مجروحان، میزان خسارت مالی و مدت زمان اختلال در جریان ترافیک باشد. این شاخص‌ها امکان مقایسه بین جاده‌ها، مناطق مختلف و دوره‌های زمانی مختلف را فراهم می‌کنند و به شناسایی نقاط بحرانی کمک می‌کنند. به عنوان مثال، جاده‌ای که تعداد کمی تصادف دارد اما اکثر آن‌ها منجر به فوت می‌شود، نیازمند توجه فوری است (صمدیان و جعفری، ۱۳۹۸).

معیارهای فرکانس تصادفات نیز شامل نرخ وقوع تصادف، نسبت تصادفات به تعداد وسایل نقلیه، میزان تصادفات در ساعات پرتراфик و تعداد تصادفات در نقاط حادثه‌خیز است. این شاخص‌ها به برنامه‌ریزان و مسئولان ایمنی اجازه می‌دهد تا محل‌ها و زمان‌های پرخطر را شناسایی کرده و اقدامات پیشگیرانه هدفمند اعمال کنند. همچنین تحلیل فرکانس می‌تواند روندها و الگوهای تصادفات را در بازه‌های زمانی مختلف نشان دهد (گورزلانژیک و تیلیچی، ۲۰۲۳).

یکی دیگر از شاخص‌های مورد استفاده، شاخص شدت نسبی است که رابطه بین تعداد کشته‌شدگان و تعداد تصادفات را بررسی می‌کند. این شاخص کمک می‌کند تا جاده‌ها و مناطق بر اساس خطر واقعی برای کاربران دسته‌بندی شوند. مناطق با شدت نسبی بالا، هرچند تعداد تصادفات کم باشد، نیازمند اصلاحات فوری و اجرای اقدامات ایمنی هستند (سانی و همکاران، ۲۰۱۸).

شاخص ترکیبی شدت و فرکانس نیز برای ارزیابی جامع ایمنی جاده‌ها کاربرد دارد. این شاخص هر دو بعد تعداد و شدت حوادث را در نظر می‌گیرد و امکان اولویت‌بندی منابع برای کاهش ریسک را فراهم می‌کند. استفاده از این شاخص در مطالعات علمی و گزارش‌های ایمنی، تصمیم‌گیری در مورد اصلاحات جاده‌ای و سیاست‌گذاری ایمنی را تسهیل می‌کند (جئونگ و همکاران، ۲۰۲۲).

داده‌های آماری تصادفات و تحلیل شاخص‌ها می‌توانند به شناسایی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات کمک کنند. برای مثال، اگر فرکانس تصادفات در یک مسیر بالا باشد اما شدت حوادث کم باشد، ممکن است عوامل انسانی و رفتار رانندگان عامل اصلی باشند. در مقابل، اگر شدت تصادفات زیاد باشد، نقص فنی خودروها یا طراحی نامناسب جاده ممکن است نقش بیشتری داشته باشد. این تحلیل‌ها به برنامه‌ریزی اقدامات پیشگیرانه هدفمند کمک می‌کنند (گهرپور و ظل طاعت، ۱۳۹۴).

شاخص‌های فرکانس و شدت همچنین می‌توانند در ارزیابی اثرگذاری اقدامات پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرند. با مقایسه داده‌های قبل و بعد از اجرای اصلاحات جاده‌ای، نصب سیستم‌های هشداردهنده، اعمال قوانین محدودیت سرعت و برنامه‌های آموزشی، می‌توان میزان کاهش تصادفات و بهبود ایمنی را سنجید. این ارزیابی‌ها به بهبود مستمر سیاست‌ها و اقدامات ایمنی کمک می‌کنند (اسماعیل و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۲-۶- پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و انسانی تصادفات

تصادفات جاده‌ای پیامدهای گسترده‌ای در حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و انسانی دارند که می‌توانند اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدت ایجاد کنند. پیامدهای اقتصادی ناشی از تصادفات شامل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم است. هزینه‌های مستقیم شامل خسارت به وسایل نقلیه، زیرساخت‌های جاده‌ای، درمان مصدومان و خدمات پزشکی می‌شود. هزینه‌های غیرمستقیم نیز شامل کاهش بهره‌وری، از دست دادن نیروی کار و افزایش بیمه‌ها و پرداخت غرامت‌ها است. این هزینه‌ها فشار قابل توجهی بر اقتصاد کشورها و خانواده‌های آسیب‌دیده وارد می‌کنند (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

پیامدهای انسانی تصادفات جاده‌ای از مهم‌ترین جنبه‌های این حوادث است. تصادفات باعث مرگ، جراحات شدید و معلولیت‌های طولانی‌مدت می‌شوند. جراحات ناشی از تصادفات می‌توانند توانایی فرد در انجام فعالیت‌های روزمره را کاهش دهند و نیاز به مراقبت طولانی‌مدت داشته باشند. علاوه بر این،

تصادفات می‌توانند سلامت روانی بازماندگان و خانواده‌های قربانیان را تحت تأثیر قرار دهند و منجر به استرس، اضطراب و افسردگی شوند (جنونگ و همکاران، ۲۰۲۲).

پیامدهای اجتماعی تصادفات جاده‌ای شامل اختلال در زندگی خانوادگی و جامعه است. مرگ یا جراحات شدید اعضای خانواده باعث ایجاد بار روانی و اجتماعی برای خانواده می‌شود و می‌تواند به کاهش مشارکت فرد در فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی منجر شود. همچنین تصادفات باعث ایجاد ترافیک، اختلال در حمل‌ونقل و کاهش بهره‌وری در جامعه می‌شوند. این مسائل باعث فشار بیشتر بر خدمات اورژانس و نظام سلامت کشور می‌شود (صمدیان و جعفری، ۱۳۹۸).

پیامدهای اقتصادی تصادفات تنها محدود به خسارت‌های مستقیم نیست و شامل اثرات بلندمدت بر اقتصاد ملی است. کاهش نیروی کار فعال، افزایش نیاز به مراقبت‌های پزشکی و کاهش درآمد خانوارها می‌تواند رشد اقتصادی را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات نشان می‌دهند که هزینه تصادفات در برخی کشورها به چند درصد از تولید ناخالص داخلی می‌رسد و این مسئله اهمیت اقدامات پیشگیرانه را نشان می‌دهد (آتیپان و همکاران، ۲۰۲۲).

از جنبه انسانی، تصادفات می‌توانند باعث معلولیت‌های دائمی شوند که نیازمند مراقبت‌های طولانی‌مدت و تجهیزات تخصصی هستند. این نوع آسیب‌ها نه تنها کیفیت زندگی فرد را کاهش می‌دهند، بلکه بار اقتصادی و اجتماعی بر خانواده و جامعه تحمیل می‌کنند. افراد آسیب‌دیده ممکن است نتوانند به کار بازگردند و نیازمند حمایت اجتماعی و اقتصادی شوند (گورزلانژیک و تیلیچی، ۲۰۲۳).

پیامدهای اجتماعی شامل تأثیر بر خدمات عمومی و زیرساخت‌ها نیز می‌شود. تصادفات شدید می‌توانند باعث نیاز فوری به آمبولانس، مراکز درمانی و خدمات پلیس شوند. افزایش تصادفات فشار بیشتری بر منابع عمومی وارد می‌کند و مدیریت این منابع را دشوار می‌سازد. همچنین، تصادفات می‌توانند موجب کاهش ایمنی عمومی و افزایش نگرانی مردم نسبت به استفاده از جاده‌ها شوند (سانی و همکاران، ۲۰۱۸).

پیامدهای روانی تصادفات جاده‌ای نیز اهمیت بالایی دارند. بازماندگان و شاهدان تصادفات ممکن است دچار اختلال استرس پس از سانحه، اضطراب و ترس از رانندگی شوند. این پیامدها می‌توانند فعالیت‌های روزمره و اجتماعی فرد را محدود کنند و نیاز به حمایت روانشناختی و مشاوره ایجاد کنند (گهرپور و ظل طاعت، ۱۳۹۴). تصادفات جاده‌ای اثرات ترکیبی بر خانواده‌ها دارند. از دست دادن یا آسیب دیدن یکی از اعضای خانواده، هزینه‌های درمان و مراقبت را افزایش می‌دهد و بار روانی بر سایر اعضا وارد می‌کند. این وضعیت می‌تواند منجر به کاهش مشارکت اقتصادی و اجتماعی خانواده و افزایش فشار مالی و روانی شود (اسماعیل و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۳-ویژگی های هندسی جاده

۲-۳-۱-نقش طراحی هندسی در ایمنی جاده ها

طراحی هندسی جاده ها نقش مهمی در افزایش ایمنی حمل و نقل دارد و می تواند به کاهش تصادفات و جراحات ناشی از آن کمک کند. ویژگی های هندسی شامل عرض مسیر، شیب طولی و عرضی، شعاع پیچ ها، دید طولی و افقی و طراحی تقاطع ها است. طراحی مناسب این ویژگی ها باعث افزایش توانایی راننده در کنترل وسیله نقلیه و پیش بینی خطرات احتمالی می شود. جاده هایی که از نظر هندسی استاندارد طراحی شده اند، نرخ تصادفات و شدت حوادث در آن ها کمتر است (کائون و همکاران، ۲۰۲۲).

شیب طولی و عرضی جاده یکی از عوامل مهم در ایمنی است. شیب زیاد می تواند باعث کاهش کنترل راننده، لغزش خودرو و افزایش خطر واژگونی شود. همچنین شیب عرضی جاده بر توانایی راننده در نگه داشتن خودرو در مسیر تأثیر می گذارد. رعایت استانداردهای شیب در طراحی جاده ها و ایجاد سیستم های زهکشی مناسب، از بروز حوادث ناشی از لغزش و خروج از مسیر جلوگیری می کند (بوبرمین و همکاران، ۲۰۲۱).

عرض مسیر و طول شانه های کناری نیز از مؤلفه های حیاتی طراحی هندسی هستند. عرض ناکافی مسیر باعث کاهش فاصله ایمن بین خودروها و افزایش احتمال برخورد می شود. شانه های کناری مناسب به راننده امکان می دهند که در مواقع اضطراری خودرو را متوقف کرده و از برخورد با موانع جلوگیری کنند. این ویژگی ها به ویژه در جاده های بین شهری و پرترافیک اهمیت بالایی دارند (محمد و همکاران، ۲۰۲۳).

شعاع پیچ ها و طراحی هندسی تقاطع ها از دیگر عوامل مؤثر در ایمنی جاده ها هستند. پیچ های تند و تقاطع های نامناسب باعث کاهش دید راننده و افزایش احتمال برخورد می شوند. طراحی شعاع مناسب پیچ ها و ایجاد علائم هشداردهنده و سرعت گیرها در تقاطع ها می تواند میزان تصادفات را کاهش دهد. استفاده از چراغ های راهنمایی و خطوط تقسیم کننده نیز به هدایت بهتر رانندگان کمک می کند (بوبرمین و همکاران، ۲۰۲۱).

دید طولی و افقی راننده نقش مهمی در پیش بینی خطرات دارد. مسیرهایی که دارای دید محدود هستند، به ویژه در پیچ ها و مسیرهای شیب دار، احتمال تصادف را افزایش می دهند. طراحی جاده باید به گونه ای باشد که راننده بتواند خودروهای جلو و موانع احتمالی را در زمان کافی مشاهده کند. اصلاح دید در نقاط حادثه خیز و نصب علائم هشداردهنده می تواند این ریسک را کاهش دهد (کافیسو و همکاران، ۲۰۲۱).

تقاطع ها و محل های ورود و خروج خودروها نیز از نقاط حساس در ایمنی جاده ها هستند. تقاطع های

بدون دید کافی، عبور و مرور همزمان چند مسیر و نبود علائم راهنمایی می تواند تصادفات شدید ایجاد کند. طراحی هندسی مناسب شامل ایجاد مسیرهای مجزا، پل ها و زیرگذرها، نصب چراغ های راهنمایی و ایجاد خطوط توقف مشخص، خطر برخورد در تقاطع ها را کاهش می دهد (محمد و همکاران، ۲۰۲۳).

سطح آسفالت و کیفیت جاده نیز بخشی از طراحی هندسی محسوب می شوند. سطح ناهموار یا لغزنده می تواند کنترل خودرو را کاهش دهد و احتمال خروج از مسیر یا تصادف را افزایش دهد. استفاده از مصالح استاندارد، نگهداری دوره ای و ایجاد سیستم های زهکشی مناسب، به حفظ ایمنی جاده کمک می کند و از بروز حوادث ناشی از شرایط نامساعد سطح جاده جلوگیری می کند (عاطی و همکاران، ۲۰۲۴).

طراحی هندسی مسیرهای شهری و برون شهری نیز تفاوت هایی دارد. در مسیرهای شهری، تقاطع ها، عرض کافی مسیرها، مسیرهای ویژه عابران پیاده و دوطرفه سواران اهمیت بیشتری دارند. در جاده های برون شهری، شیب ها، پیچ ها، دید طولی و عرضی، و طول شانه های کناری اهمیت بالاتری دارند. طراحی هندسی متناسب با نوع جاده، می تواند میزان تصادفات و شدت جراحات را به شکل قابل توجهی کاهش دهد (عاطی و همکاران، ۲۰۲۴).

ترکیب طراحی هندسی با سایر اقدامات ایمنی مانند نصب علائم، چراغ های هشداردهنده و سیستم های کنترل سرعت، اثرگذاری بیشتری دارد. طراحی استاندارد جاده باعث افزایش توانایی راننده در پیش بینی و واکنش به خطرات می شود و سایر اقدامات ایمنی را تقویت می کند. مطالعات نشان می دهند که جاده هایی که از نظر هندسی اصلاح شده اند، نرخ تصادفات و شدت جراحات در آن ها کاهش قابل توجهی داشته است (کافیسو و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۳-۲- تأثیر قوس ها، شیب ها و عرض مسیر بر وقوع تصادفات

ویژگی های هندسی جاده ها نقش مهمی در ایمنی و وقوع تصادفات دارند و سه عامل قوس ها، شیب ها و عرض مسیر تأثیر مستقیمی بر رفتار راننده و کنترل وسیله نقلیه دارند. قوس های جاده، به ویژه پیچ های تند، باعث تغییر جهت ناگهانی خودرو می شوند و نیازمند کاهش سرعت و دقت بیشتر راننده هستند. پیچ های با شعاع کم خطر خروج از مسیر و برخورد با موانع را افزایش می دهند و تصادفات جدی تری ایجاد می کنند. بنابراین طراحی استاندارد قوس ها با شعاع مناسب، کاهش سرعت توصیه شده و نصب علائم هشداردهنده، به کاهش تصادفات کمک می کند (کائون و همکاران، ۲۰۲۲).

شیب طولی جاده نیز بر توانایی راننده در کنترل وسیله نقلیه تأثیر می گذارد. شیب های تند باعث افزایش سرعت خودرو در مسیرهای نزولی و کاهش توانایی کنترل آن می شوند، در حالی که شیب های طولانی صعودی ممکن است نیازمند استفاده از دنده های پایین تر و کاهش سرعت باشند. این تغییرات بر

واکنش راننده و فاصله توقف تأثیر می‌گذارند و در صورت عدم طراحی مناسب، احتمال وقوع تصادف را افزایش می‌دهند. اصلاح شیب‌ها و نصب علائم هشداردهنده، نقش مؤثری در کاهش حوادث دارند (بوبرمین و همکاران، ۲۰۲۱).

شیب عرضی جاده نیز اهمیت بالایی دارد. این شیب برای تخلیه آب سطحی و جلوگیری از لغزش خودرو طراحی می‌شود، اما اگر شیب بیش از حد یا نامتوازن باشد، می‌تواند باعث کاهش کنترل خودرو و واژگونی شود. طراحی استاندارد شیب عرضی و رعایت ضوابط هندسی جاده، توانایی راننده را در حفظ مسیر افزایش می‌دهد و احتمال خروج از جاده و برخورد با موانع را کاهش می‌دهد (محمد و همکاران، ۲۰۲۳).

عرض مسیر جاده نیز یکی از عوامل مهم در ایمنی است. عرض ناکافی باعث کاهش فاصله ایمن بین خودروها و افزایش احتمال برخوردهای جانبی می‌شود. همچنین، در مسیرهای با عرض کم، توانایی مانور و جلوگیری از تصادف کاهش می‌یابد. وجود شانه‌های کناری مناسب برای توقف اضطراری و پیشگیری از برخورد با موانع ثابت، نقش حیاتی در کاهش شدت تصادفات دارد (عاطی و همکاران، ۲۰۲۴).

ترکیب قوس‌ها و شیب‌ها اثر مضاعفی بر ایمنی جاده دارد. پیچ‌های تند همراه با شیب طولی و عرضی نامناسب، فشار بیشتری بر راننده وارد می‌کنند و واکنش‌های سریع‌تر و پیچیده‌تری می‌طلبند. این شرایط معمولاً منجر به افزایش احتمال خروج از مسیر و برخورد با موانع می‌شوند. اصلاح هندسی پیچ‌ها، کاهش شیب‌ها و نصب علائم هشداردهنده، می‌تواند این ریسک را کاهش دهد (بوبرمین و همکاران، ۲۰۲۱).

تحلیل داده‌های تصادفات نشان می‌دهد که بخش‌های جاده با شیب و پیچ‌های نامناسب بیشترین نرخ تصادفات را دارند. این بخش‌ها معمولاً شامل تصادفات شدید و جراحات جدی هستند. استفاده از شاخص‌های ایمنی جاده برای شناسایی این نقاط و اجرای اصلاحات هندسی، از جمله روش‌های مؤثر در پیشگیری از تصادفات است (محمد و همکاران، ۲۰۲۳).

عرض مسیر و شانه‌های کناری مناسب می‌توانند اثر عوامل محیطی مانند بارش باران، برف و لغزندگی سطح جاده را کاهش دهند. مسیرهای با عرض کافی و شیب استاندارد، امکان کنترل بهتر خودرو در شرایط نامساعد را فراهم می‌کنند و مانع از افزایش شدت تصادفات می‌شوند. طراحی هندسی بهینه، همراه با نگهداری دوره‌ای سطح جاده و شانه‌ها، نقش مهمی در کاهش حوادث دارد (کافیسو و همکاران، ۲۰۲۱).

در مسیرهای شهری، قوس‌ها، شیب‌ها و عرض مسیر بر رفتار راننده و ایمنی عابران نیز تأثیرگذار هستند. پیچ‌های تند و شیب‌های غیرمعمول می‌توانند راننده را به کاهش کنترل و واکنش‌های نادرست

وادر کنند، در حالی که عرض ناکافی مسیر باعث محدودیت حرکت و افزایش خطر برخورد با عابران و دوچرخه‌سواران می‌شود. اصلاح هندسی این مسیرها، همراه با نصب علائم و ایجاد مسیرهای جداگانه، اثرگذاری ایمنی را افزایش می‌دهد (کافیسو و همکاران، ۲۰۲۱).

در جاده‌های برون‌شهری و پرترافیک، اثر قوس‌ها، شیب‌ها و عرض مسیر بر تصادفات شدیدتر است. سرعت بالای خودروها در مسیرهای طولانی، پیچ‌های تند و شیب‌های طولانی می‌توانند منجر به واژگونی، برخورد با موانع و تصادفات چند خودرو شوند. طراحی استاندارد هندسی مسیرها، کاهش سرعت توصیه شده و نصب علائم هشداردهنده می‌تواند شدت این تصادفات را کاهش دهد و ایمنی جاده را ارتقا دهد (عاطی و همکاران، ۲۰۲۴).

۲-۳-۳- استانداردهای مهندسی در طراحی جاده‌ها

استانداردهای مهندسی در طراحی جاده‌ها نقش مهمی در افزایش ایمنی، کاهش تصادفات و ارتقای کیفیت شبکه حمل‌ونقل دارند. این استانداردها شامل معیارهایی برای عرض مسیر، شعاع پیچ‌ها، شیب طولی و عرضی، شانه‌ها، دید طولی و افقی، و نوع مصالح مورد استفاده در سطح جاده هستند. رعایت این استانداردها باعث می‌شود که رانندگان توانایی بیشتری در کنترل وسیله نقلیه داشته باشند و احتمال وقوع تصادف کاهش یابد. طراحی استاندارد جاده‌ها بر اساس این معیارها به کاهش خطرات ناشی از عوامل انسانی، فنی و محیطی کمک می‌کند (کائون و همکاران، ۲۰۲۲).

یکی از مهم‌ترین استانداردهای مهندسی، تعیین عرض مناسب مسیر و شانه‌های کناری است. عرض کافی مسیر امکان عبور ایمن خودروها در دو جهت را فراهم می‌کند و فاصله ایمن بین وسایل نقلیه را حفظ می‌کند. شانه‌های کناری استاندارد به رانندگان اجازه می‌دهد در شرایط اضطراری خودرو را متوقف کنند و از برخورد با موانع ثابت جلوگیری شود. این ویژگی‌ها در کاهش شدت و فرکانس تصادفات نقش کلیدی دارند (بوبرمین و همکاران، ۲۰۲۱).

شیب طولی و عرضی جاده نیز براساس استانداردهای مهندسی طراحی می‌شوند. شیب طولی مناسب باعث حفظ کنترل خودرو در مسیرهای صعودی و نزولی می‌شود و شیب عرضی استاندارد به تخلیه آب سطحی کمک کرده و از لغزش خودرو جلوگیری می‌کند. رعایت این استانداردها به ویژه در شرایط آب و هوایی نامساعد و مسیرهای پرشیب، نقش مؤثری در ایمنی جاده دارد (محمد و همکاران، ۲۰۲۳).

استانداردهای مربوط به قوس‌ها و شعاع پیچ‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردارند. پیچ‌های با شعاع استاندارد به راننده زمان کافی برای واکنش و کاهش سرعت می‌دهند و احتمال خروج از مسیر و برخورد با موانع را کاهش می‌دهند. همچنین، طراحی پیچ‌ها بر اساس استانداردها باعث افزایش دید راننده و کاهش فشارهای ناشی از تغییر جهت ناگهانی خودرو می‌شود. این معیارها در کاهش تصادفات شدید

نقش مؤثری دارند (بوبرمین و همکاران، ۲۰۲۱).

دید طولی و افقی راننده از دیگر معیارهای مهم استانداردهای مهندسی است. طراحی مسیر باید به گونه‌ای باشد که راننده بتواند موانع، خودروهای جلو و تغییرات مسیر را در زمان کافی مشاهده کند. رعایت حداقل دید در پیچ‌ها، تقاطع‌ها و مسیرهای شیبدار باعث افزایش ایمنی و کاهش تصادفات می‌شود. این استانداردها به شناسایی نقاط حادثه‌خیز و اجرای اصلاحات هدفمند کمک می‌کنند (کافیسو و همکاران، ۲۰۲۱).

نوع و کیفیت مصالح استفاده شده در سطح جاده نیز بر اساس استانداردهای مهندسی تعیین می‌شوند. مصالح باید مقاومت کافی در برابر فشار و فرسایش داشته باشند و در شرایط بارندگی و یخبندان لغزندگی سطح را کاهش دهند. استفاده از مصالح استاندارد، همراه با نگهداری منظم سطح جاده، باعث افزایش دوام جاده و کاهش تصادفات ناشی از شرایط نامساعد سطح می‌شود (محمد و همکاران، ۲۰۲۳).
تقاطع‌ها و محل‌های ورود و خروج خودروها باید بر اساس استانداردهای مهندسی طراحی شوند. ایجاد خطوط توقف، چراغ‌های راهنمایی، مسیرهای مجزا و طراحی مناسب مسیرهای ورود و خروج، باعث کاهش برخوردها و تصادفات در نقاط پرتردد می‌شود. رعایت این استانداردها اثر مستقیم بر کاهش تصادفات شدید و بهبود جریان ترافیک دارد (عاطی و همکاران، ۲۰۲۴).

توجه به استانداردهای هندسی جاده در مسیرهای شهری و برون‌شهری متفاوت است. در مسیرهای شهری، عرض مسیر، طراحی تقاطع‌ها، مسیرهای ویژه عابران و دوچرخه‌سواران اهمیت بیشتری دارد. در جاده‌های برون‌شهری، شیب‌ها، قوس‌ها، دید طولی و عرضی و شانه‌های کناری اهمیت بالاتری دارند. رعایت استانداردها متناسب با نوع جاده، ایمنی کاربران و کاهش تصادفات را تضمین می‌کند (کافیسو و همکاران، ۲۰۲۱).

استانداردهای مهندسی همچنین امکان ترکیب طراحی جاده با سایر اقدامات ایمنی مانند نصب علائم، کنترل سرعت، سیستم‌های هشداردهنده و آموزش رانندگان را فراهم می‌کنند. جاده‌هایی که از نظر استانداردهای هندسی طراحی و نگهداری می‌شوند، نرخ تصادفات و شدت جراحات در آن‌ها به شکل قابل توجهی کاهش می‌یابد. این استانداردها یک چارچوب علمی و عملی برای مدیریت ایمنی حمل‌ونقل ایجاد می‌کنند (عاطی و همکاران، ۲۰۲۴).

۲-۳-۴- نقاط پر حادثه مرتبط با ویژگی‌های هندسی جاده

نقاط پر حادثه جاده‌ها به بخش‌هایی اطلاق می‌شود که در آن‌ها نرخ تصادفات بیشتر از میانگین کل مسیر است و این نقاط معمولاً با ویژگی‌های هندسی خاص جاده مرتبط هستند. پیچ‌های تند یکی از عوامل اصلی ایجاد نقاط پر حادثه هستند، زیرا تغییر جهت ناگهانی خودروها در این نقاط باعث کاهش

کنترل راننده و افزایش احتمال خروج از مسیر می‌شود. طراحی نامناسب شعاع پیچ و نبود علائم هشداردهنده، شدت تصادفات در این بخش‌ها را افزایش می‌دهد. اصلاح هندسی و نصب علائم هشداردهنده می‌تواند خطر تصادف را کاهش دهد (محمد و همکاران، ۲۰۲۳).

شیب طولی و عرضی نامناسب جاده نیز باعث ایجاد نقاط پرحادثه می‌شود. شیب طولی زیاد در مسیرهای نزولی سرعت خودرو را افزایش داده و کنترل آن را دشوار می‌کند. در مسیرهای صعودی طولانی، کاهش سرعت و تغییر دنده ممکن است باعث تراکم و برخورد خودروها شود. شیب عرضی نامتعادل نیز باعث کاهش کنترل خودرو و افزایش احتمال واژگونی می‌شود. رعایت استانداردهای مهندسی در طراحی شیب جاده‌ها می‌تواند نقاط پرحادثه را کاهش دهد (بوبرمین و همکاران، ۲۰۲۱).

عرض ناکافی مسیر و نبود شانه‌های کناری مناسب از دیگر ویژگی‌های هندسی مرتبط با نقاط پرحادثه است. مسیرهای باریک باعث کاهش فاصله ایمن بین خودروها و افزایش احتمال برخورد جانبی می‌شوند. شانه‌های کناری نامناسب یا نبود آن‌ها، امکان توقف اضطراری را از راننده می‌گیرد و باعث افزایش شدت تصادفات می‌شود. افزایش عرض مسیر و ایجاد شانه‌های استاندارد، میزان خطر در این نقاط را کاهش می‌دهد (بوبرمین و همکاران، ۲۰۲۱).

تقاطع‌ها و محل‌های ورود و خروج خودروها نیز از نقاط پرحادثه مهم محسوب می‌شوند. طراحی نامناسب تقاطع‌ها، نبود خطوط توقف مشخص، چراغ‌های راهنمایی ناکافی و زاویه نامناسب مسیرها، احتمال برخورد خودروها را افزایش می‌دهد. ایجاد تقاطع‌های ایمن با مسیرهای جداگانه، نصب علائم و کنترل سرعت می‌تواند ایمنی این نقاط را بهبود بخشد و نرخ تصادفات را کاهش دهد (عاطی و همکاران، ۲۰۲۴).

دید طولی و افقی راننده نقش مهمی در ایجاد نقاط پرحادثه دارد. نقاطی که دید محدود است، مانند پیچ‌های کور، مسیرهای شیبدار یا مناطق با موانع جانبی زیاد، باعث کاهش زمان واکنش راننده و افزایش احتمال تصادف می‌شوند. اصلاح دید، حذف موانع دید محدودکننده و نصب علائم هشداردهنده، تأثیر قابل توجهی در کاهش تصادفات در این نقاط دارد (محمد و همکاران، ۲۰۲۳).

سطح آسفالت و کیفیت جاده نیز با ایجاد نقاط پرحادثه مرتبط است. سطح ناهموار، لغزنده یا دارای چاله و ترک، کنترل خودرو را کاهش می‌دهد و باعث افزایش تصادفات می‌شود. نگهداری منظم سطح جاده و استفاده از مصالح استاندارد می‌تواند خطر حوادث در این نقاط را کاهش دهد و ایمنی جاده را بهبود بخشد (کافیسو و همکاران، ۲۰۲۱).

مطالعات نشان می‌دهند که ترکیب چند عامل هندسی، اثر مضاعف بر ایجاد نقاط پرحادثه دارد. پیچ‌های تند همراه با شیب نامناسب و عرض کم مسیر، فشار بیشتری بر راننده وارد می‌کنند و واکنش

سریع تر و پیچیده تری می طلبند. این شرایط معمولاً منجر به تصادفات شدید و چندخودرو می شوند. اصلاح ترکیبی این عوامل با رعایت استانداردهای هندسی، نقش مهمی در کاهش نقاط پرحادثه دارد (کافیسو و همکاران، ۲۰۲۱).

در مسیرهای شهری و پرتراфик، نقاط پرحادثه با ویژگی های هندسی خاص مانند پیچ های تند، شیب های غیرمعمول و عرض ناکافی مسیر ایجاد می شوند. این نقاط علاوه بر خطر برای خودروها، تهدیدی برای عابران پیاده و دوچرخه سواران نیز هستند. طراحی مناسب هندسی، ایجاد مسیرهای مجزا برای عابران و دوچرخه سواران و نصب علائم هشداردهنده می تواند ایمنی این نقاط را افزایش دهد (کائون و همکاران، ۲۰۲۲).

در جاده های برون شهری و سرعت بالا، نقاط پرحادثه معمولاً در پیچ ها، شیب ها و بخش های با دید محدود شکل می گیرند. سرعت بالا باعث افزایش شدت تصادفات و احتمال واژگونی می شود. نصب علائم هشداردهنده، محدودیت سرعت، اصلاح هندسی پیچ ها و شیب ها و ایجاد شانه های کناری استاندارد، راهکارهای مؤثر برای کاهش خطر در این نقاط هستند (عاطی و همکاران، ۲۰۲۴).

۲-۴- نقش رفتار انسانی در بروز تصادفات جاده ای

رفتار انسانی یکی از عوامل اصلی در بروز تصادفات جاده ای است و سهم بالایی در تعداد و شدت حوادث دارد. تصمیمات راننده، واکنش ها به شرایط ترافیکی و نحوه استفاده از وسایل نقلیه مستقیماً بر ایمنی جاده تأثیر می گذارند. خطاهای انسانی می توانند شامل سرعت غیرمجاز، عدم توجه به مسیر، خستگی، مصرف مواد مخدر یا الکل و عدم رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی باشند. این عوامل معمولاً با افزایش خطر تصادف و شدت جراحات مرتبط هستند (صباغی و همکاران، ۱۳۸۸).

سرعت غیرمجاز یکی از شایع ترین رفتارهای انسانی خطرناک است. افزایش سرعت باعث کاهش زمان واکنش راننده و افزایش فاصله توقف می شود و احتمال برخورد را بیشتر می کند. سرعت بالا در پیچ ها، تقاطع ها و مسیرهای پرتراфик می تواند منجر به تصادفات شدید و چندخودرو شود. رعایت محدودیت های سرعت و آموزش رانندگان برای ارزیابی شرایط مسیر، نقش مؤثری در کاهش تصادفات دارد (مک کارتی و کیم، ۲۰۲۴).

عدم توجه به مسیر و حواس پرتی یکی دیگر از عوامل مهم است. استفاده از تلفن همراه، سیستم های ناوبری و سایر فعالیت های حواس پرت کن، توانایی راننده در شناسایی خطرات و واکنش به موقع را کاهش می دهد. این رفتارها باعث افزایش احتمال برخورد با خودروهای دیگر، عابران پیاده و موانع ثابت می شوند و یکی از دلایل عمده تصادفات شهری و بین شهری هستند (موسویان و صفری، ۱۳۸۸).

خستگی و خواب‌آلودگی راننده نیز نقش مهمی در بروز تصادفات دارد. رانندگان خسته توانایی تصمیم‌گیری و کنترل وسیله نقلیه را از دست می‌دهند و واکنش‌های آن‌ها کند می‌شود. تصادفات ناشی از خستگی معمولاً در ساعات اولیه صبح و بعدازظهر رخ می‌دهند و می‌توانند بسیار شدید باشند. رعایت زمان‌های استراحت و برنامه‌ریزی مناسب سفر، از راهکارهای کاهش این نوع تصادفات است (خیرآبادی و بواله‌ری، ۱۳۹۱).

مصرف مواد مخدر و الکل تأثیر مستقیمی بر رفتار راننده دارد. این مواد باعث کاهش تمرکز، کندی واکنش و افزایش ریسک تصمیم‌گیری‌های خطرناک می‌شوند. تصادفات مرتبط با مصرف مواد معمولاً منجر به جراحات شدید و فوت می‌شوند. اجرای قوانین سختگیرانه، کنترل و آموزش رانندگان در مورد اثرات این مواد، نقش مهمی در کاهش تصادفات ناشی از رفتار انسانی دارد (مک کارتی و کیم، ۲۰۲۴).

رعایت نکردن قوانین راهنمایی و رانندگی، مانند عبور از چراغ قرمز، عدم رعایت حق تقدم و پارک غیرمجاز، از دیگر عوامل رفتاری است. این تخلفات باعث افزایش احتمال تصادف در نقاط پرتراфик، تقاطع‌ها و مسیرهای شلوغ می‌شوند. آموزش مداوم رانندگان و اعمال جریمه‌های مؤثر می‌تواند رفتار انسانی را به سمت ایمنی بیشتر هدایت کند و نرخ تصادفات را کاهش دهد (احمد و همکاران، ۲۰۲۳).

تجربه و مهارت راننده نیز بر رفتار و ایمنی تأثیرگذار است. رانندگان با تجربه بیشتر، توانایی پیش‌بینی خطرات و واکنش مناسب به موقع را دارند. کم‌تجربگی و عدم آموزش کافی باعث افزایش رفتارهای پرخطر و خطاهای انسانی می‌شود. برنامه‌های آموزشی مؤثر و ارائه مجوز رانندگی مبتنی بر مهارت، می‌تواند سهم رفتار انسانی در تصادفات را کاهش دهد (خیرآبادی، ۱۳۹۱).

عوامل روانشناختی مانند استرس، عصبانیت و رفتارهای پرخطر نیز نقش دارند. رانندگانی که تحت فشار روانی یا عصبانیت هستند، تمایل به سرعت غیرمجاز، سبقت غیرمجاز و برخوردهای تهاجمی دارند. این رفتارها باعث افزایش تصادفات شدید و چندخودرو می‌شوند. آموزش مهارت‌های مدیریت استرس و رفتار ایمن، راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات روانشناختی بر رفتار راننده است (احمد و همکاران، ۲۰۲۳).

۲-۴-۱- رفتار رانندگان

۲-۴-۱-۱- اثر سرعت، سبقت غیرمجاز و خستگی بر تصادفات

سرعت خودرو یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وقوع تصادفات جاده‌ای است. افزایش سرعت باعث کاهش زمان واکنش راننده و افزایش فاصله توقف می‌شود و احتمال برخورد با خودروها، عابران پیاده و موانع ثابت را افزایش می‌دهد. سرعت غیرمجاز در مسیرهای پرتراфик، پیچ‌های تند و تقاطع‌ها خطر بیشتری ایجاد می‌کند و معمولاً منجر به تصادفات شدید و جراحات جدی می‌شود. کنترل سرعت و رعایت محدودیت‌های قانونی، نقش مؤثری در کاهش تصادفات دارد (موسویان و صفری، ۱۳۸۸).

سبقت غیرمجاز نیز یکی از رفتارهای پرخطر رانندگان است که به شکل مستقیم بر نرخ تصادفات تأثیر می‌گذارد. سبقت در مکان‌های ممنوع، دید محدود، پیچ‌ها و مسیرهای پرتراфик باعث کاهش فاصله ایمن بین خودروها و افزایش احتمال برخورد جانبی و روبه‌رو می‌شود. این رفتار به ویژه در جاده‌های برون‌شهری و سرعت بالا باعث افزایش تصادفات چندخودرو و شدت جراحات می‌شود. آموزش رانندگان و نصب علائم هشداردهنده می‌تواند تأثیر سبقت غیرمجاز را کاهش دهد (مک کارتی و کیم، ۲۰۲۴).

خستگی راننده یکی دیگر از عوامل مهم در وقوع تصادفات است. رانندگان خسته توانایی تصمیم‌گیری سریع و کنترل وسیله نقلیه را از دست می‌دهند و واکنش‌های آن‌ها کند می‌شود. خستگی معمولاً باعث منحرف شدن خودرو از مسیر، برخورد با موانع و عدم توانایی در جلوگیری از تصادفات می‌شود. تصادفات ناشی از خستگی بیشتر در مسیرهای طولانی و ساعات اولیه صبح یا بعدازظهر رخ می‌دهند. برنامه‌ریزی مناسب سفر و زمان‌های استراحت منظم می‌تواند خطر تصادفات ناشی از خستگی را کاهش دهد (خیرآبادی و بواله‌ری، ۱۳۹۱).

ترکیب سرعت غیرمجاز و سبقت غیرمجاز اثر مضاعفی بر تصادفات دارد. رانندگانی که با سرعت بالا و بدون رعایت فاصله ایمن اقدام به سبقت می‌کنند، توانایی واکنش به شرایط پیش‌بینی نشده را کاهش می‌دهند و احتمال برخوردهای شدید و چندخودرو افزایش می‌یابد. اصلاح رفتار راننده از طریق آموزش، اعمال جریمه‌های قانونی و کنترل سرعت می‌تواند تأثیر این ترکیب را کاهش دهد (مک کارتی و کیم، ۲۰۲۴).

اثر خستگی بر رفتار راننده و کنترل وسیله نقلیه در ترکیب با سرعت بالا، خطر تصادف را بیشتر می‌کند. رانندگان خسته که با سرعت غیرمجاز حرکت می‌کنند، زمان واکنش بسیار محدودی دارند و توانایی پیش‌بینی خطرات کاهش می‌یابد. این شرایط معمولاً منجر به تصادفات شدید، واژگونی و برخورد با موانع ثابت می‌شود. رعایت زمان استراحت و مدیریت انرژی راننده، در کنار کنترل سرعت، نقش حیاتی در کاهش تصادفات دارد (احمد و همکاران، ۲۰۲۳).

سرعت غیرمجاز و سبقت غیرمجاز در مسیرهای با دید محدود یا پیچ‌های تند، بیشترین اثر را بر وقوع تصادفات دارند. عدم توانایی راننده در پیش‌بینی مسیر و واکنش به خودروهای مقابل، باعث افزایش خطر برخورد و شدت جراحات می‌شود. اصلاح هندسی مسیر، نصب علائم هشداردهنده و کنترل رفتار راننده می‌تواند اثرات منفی این عوامل را کاهش دهد (خیرآبادی، ۱۳۹۱).

تصادفات ناشی از خستگی معمولاً با سرعت بالا شدیدتر می‌شوند. خودروهایی که راننده آن‌ها خسته است و با سرعت زیاد حرکت می‌کنند، توانایی کنترل وسیله نقلیه را از دست می‌دهند و احتمال

خروج از مسیر و برخورد با موانع افزایش می‌یابد. بررسی داده‌های تصادفات نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از تصادفات فوتی و جرحی با خستگی و سرعت بالا مرتبط هستند (احمد و همکاران، ۲۰۲۳). سبقت غیرمجاز و خستگی راننده در جاده‌های طولانی و برون‌شهری اهمیت بیشتری دارند. این رفتارها باعث کاهش تمرکز و توانایی واکنش به موقع می‌شوند و در مسیرهای شیب‌دار یا دارای پیچ‌های تند، احتمال تصادف شدید را افزایش می‌دهند. نصب علائم هشداردهنده، محدودیت سرعت و آموزش رانندگان از روش‌های مؤثر کاهش این نوع تصادفات است (خیرآبادی و بواله‌ری، ۱۳۹۱).

۲-۴-۱-۲- تأثیر مصرف مواد مخدر، الکل و دارو بر رفتار رانندگان

مصرف مواد مخدر، الکل و برخی داروها تأثیر مستقیمی بر رفتار رانندگان دارد و یکی از عوامل اصلی بروز تصادفات جاده‌ای محسوب می‌شود. این مواد می‌توانند تمرکز راننده را کاهش دهند، زمان واکنش را طولانی کنند و توانایی تصمیم‌گیری سریع را کاهش دهند. رانندگانی که تحت تأثیر این مواد قرار دارند، اغلب قادر به کنترل دقیق وسیله نقلیه خود نیستند و احتمال وقوع برخورد با سایر خودروها، عابران پیاده و موانع ثابت افزایش می‌یابد (صباغی و همکاران، ۱۳۸۸).

الکل با تأثیر بر سیستم عصبی مرکزی، هماهنگی بین چشم و دست راننده را کاهش می‌دهد و سرعت واکنش را پایین می‌آورد. حتی مقادیر کم الکل می‌تواند توانایی راننده در حفظ فاصله ایمن، پیش‌بینی رفتار سایر رانندگان و رعایت قوانین ترافیکی را مختل کند. رانندگی تحت تأثیر الکل معمولاً منجر به تصادفات شدید با جراحات جدی و در برخی موارد فوت می‌شود. کنترل مصرف الکل و اعمال قوانین سختگیرانه برای رانندگی تحت تأثیر آن، نقش مهمی در کاهش تصادفات دارد (مک‌کارتی و کیم، ۲۰۲۴).

مواد مخدر نیز تأثیر مشابهی بر رفتار رانندگان دارند. مصرف مواد مخدر باعث کاهش تمرکز، اختلال در قضاوت و عدم توانایی پیش‌بینی خطرات می‌شود. رانندگان تحت تأثیر مواد مخدر ممکن است واکنش‌های کند یا نادرست نشان دهند و توانایی کنترل وسیله نقلیه در شرایط اضطراری کاهش یابد. این شرایط باعث افزایش تصادفات چندخودرو، برخورد با موانع و واژگونی می‌شود. برنامه‌های آموزشی و نظارت مستمر بر رانندگان می‌تواند اثرات منفی مصرف مواد مخدر را کاهش دهد (موسویان و صفری، ۱۳۸۸).

برخی داروها، به ویژه داروهای آرام‌بخش، ضدافسردگی و مسکن‌ها، می‌توانند خواب‌آلودگی، سرگیجه و کاهش تمرکز ایجاد کنند. رانندگان مصرف‌کننده این داروها ممکن است واکنش کند، توانایی تصمیم‌گیری سریع کاهش یافته و احتمال تصادف افزایش یابد. اطلاع‌رسانی در مورد عوارض داروها و مشورت با پزشک قبل از رانندگی، از اقدامات مهم برای کاهش تأثیر دارو بر ایمنی جاده

است (خیرآبادی و بوالهری، ۱۳۹۱).

اثر ترکیبی مصرف الکل، مواد مخدر و دارو بر رفتار راننده بسیار شدیدتر است. رانندگان تحت تأثیر ترکیبی از این عوامل، کنترل بسیار کمتری روی وسیله نقلیه دارند و احتمال تصمیم‌گیری‌های پرخطر افزایش می‌یابد. این شرایط معمولاً منجر به تصادفات شدید، واژگونی و برخوردهای چندخودرو می‌شود. نظارت قانونی و آموزش‌های پیشگیرانه می‌تواند خطر این نوع تصادفات را کاهش دهند (مک کارتی و کیم، ۲۰۲۴).

مصرف این مواد بر رفتارهای پرخطر مانند سرعت غیرمجاز و سبقت غیرمجاز نیز تأثیرگذار است. رانندگان تحت تأثیر الکل یا مواد مخدر تمایل بیشتری به نادیده گرفتن قوانین، افزایش سرعت و سبقت در مکان‌های خطرناک دارند. این رفتارها باعث افزایش نرخ تصادفات شدید و تصادفات چندخودرو می‌شوند. ترکیب آموزش رانندگان با اعمال جریمه‌های مؤثر و کنترل رفتار رانندگان تحت تأثیر مواد، می‌تواند این خطر را کاهش دهد (احمد و همکاران، ۲۰۲۳).

تحقیقات نشان می‌دهند که رانندگان مصرف‌کننده مواد مخدر یا الکل اغلب توانایی ارزیابی شرایط جاده و پیش‌بینی رفتار سایر کاربران را از دست می‌دهند. این کمبود در ارزیابی شرایط، منجر به برخوردهای ناگهانی و تصادفات غیرقابل پیش‌بینی می‌شود. طراحی جاده‌های ایمن، نصب علائم هشداردهنده و محدودیت سرعت می‌تواند اثرات رفتار پرخطر ناشی از مصرف این مواد را کاهش دهد (خیرآبادی، ۱۳۹۱).

اثرات مصرف مواد مخدر، الکل و دارو بر رانندگان در مسیرهای شهری و برون‌شهری متفاوت است. در مسیرهای شهری، این اثرات معمولاً با افزایش احتمال برخورد با عابران، دوچرخه‌سواران و خودروهای دیگر همراه است. در جاده‌های برون‌شهری و پرتراфик، سرعت بالا و شرایط مسیرهای شیب‌دار یا دارای پیچ‌های تند، اثرات این مواد را تشدید می‌کند و تصادفات شدیدتری ایجاد می‌کند (احمد و همکاران، ۲۰۲۳).

۲-۴-۱-۳- روان‌شناسی رانندگی و عوامل فردی مؤثر بر خطاهای رانندگی

روان‌شناسی رانندگی به مطالعه رفتار و فرایندهای ذهنی رانندگان می‌پردازد و نقش مهمی در درک علل خطاهای رانندگی دارد. خطاهای رانندگی معمولاً ناشی از تصمیم‌گیری نادرست، توجه ناکافی، واکنش‌های کند و ارزیابی ناقص شرایط جاده و ترافیک هستند. عوامل فردی مانند شخصیت، مهارت‌های شناختی، تجربه رانندگی و وضعیت روانی راننده بر میزان خطا و رفتار پرخطر تأثیر می‌گذارند. شناسایی این عوامل می‌تواند به طراحی برنامه‌های آموزشی و اقدامات پیشگیرانه کمک کند (صباغی و همکاران، ۱۳۸۸).

ویژگی‌های شخصیتی راننده یکی از عوامل مهم در بروز خطاهای رانندگی است. افراد با تمایل به رفتارهای پرخطر، عصبانیت یا رقابت‌جویی، بیشتر در معرض ارتکاب تخلفات و اشتباهات رانندگی هستند. شخصیت پرخطر با رفتارهایی مانند سرعت غیرمجاز، سبقت غیرمجاز و نادیده گرفتن قوانین راهنمایی و رانندگی همراه است. آموزش و مداخلات روانشناختی می‌تواند تأثیر شخصیت پرخطر را کاهش دهد و رفتار ایمن راننده را افزایش دهد (مک کارتی و کیم، ۲۰۲۴).

مهارت‌های شناختی راننده، شامل توجه، تمرکز و توانایی پردازش اطلاعات، نقش کلیدی در پیشگیری از خطاهای رانندگی دارد. رانندگان با مهارت شناختی پایین ممکن است تغییرات مسیر، پیچ‌ها، سیگنال‌های ترافیکی و حضور سایر کاربران جاده را به موقع تشخیص ندهند. کاهش توانایی پردازش اطلاعات باعث افزایش احتمال برخورد، خروج از مسیر و واکنش‌های نادرست می‌شود. تقویت مهارت‌های شناختی از طریق آموزش و تمرین، می‌تواند خطاهای رانندگی را کاهش دهد (موسویان و صفری، ۱۳۸۸).

تجربه و مهارت عملی راننده نیز تأثیر مستقیم بر خطاهای رانندگی دارد. رانندگان کم‌تجربه یا تازه‌کار توانایی کمتری در پیش‌بینی شرایط خطرناک و واکنش مناسب دارند. خطاهای ناشی از کم‌تجربگی شامل تغییر دنده ناگهانی، عدم رعایت فاصله ایمن و واکنش‌های نادرست در پیچ‌ها و تقاطع‌ها هستند. برنامه‌های آموزشی مبتنی بر تجربه عملی و دوره‌های تمرینی می‌تواند مهارت رانندگان را افزایش دهد و خطاها را کاهش دهد (خیرآبادی و بواله‌ری، ۱۳۹۱).

وضعیت روانی و هیجانی راننده نقش مهمی در بروز خطا دارد. استرس، خستگی، عصبانیت و اضطراب باعث کاهش تمرکز و توانایی تصمیم‌گیری مناسب می‌شوند. رانندگان در حالت خستگی یا عصبانیت ممکن است سرعت غیرمجاز، سبقت خطرناک و عدم توجه به مسیر را تجربه کنند. مدیریت هیجانات و آموزش مهارت‌های مقابله‌ای می‌تواند اثر عوامل روانی بر خطاهای رانندگی را کاهش دهد (مک کارتی و کیم، ۲۰۲۴).

سن و جنسیت راننده نیز با رفتار رانندگی و خطاها مرتبط است. تحقیقات نشان می‌دهند رانندگان جوان و مردان بیشتر در معرض رفتارهای پرخطر مانند سرعت غیرمجاز، سبقت غیرمجاز و رانندگی تهاجمی هستند. تجربه کمتر و واکنش‌های هیجانی بیشتر در این گروه‌ها باعث افزایش احتمال تصادفات می‌شود. آموزش ویژه گروه‌های پرخطر و افزایش آگاهی از خطرات رفتاری، ابزار مؤثری برای کاهش خطاها است (احمد و همکاران، ۲۰۲۳).

تأثیر عوامل محیطی و اجتماعی نیز بر روان‌شناسی رانندگی قابل توجه است. فشار هم‌زمان ترافیک، حضور سایر رانندگان پرخطر و شرایط نامساعد جاده می‌تواند خطاهای رانندگی را تشدید کند.

رانندگانی که تحت فشار یا رقابت قرار می گیرند، احتمال بیشتری برای ارتکاب خطاهای پرخطر دارند. آموزش مدیریت شرایط و توانایی تصمیم گیری تحت فشار می تواند خطرات ناشی از این عوامل را کاهش دهد (خیرآبادی، ۱۳۹۱).

تداخل عوامل فردی با رفتارهای پیشگیرانه راننده نقش مهمی در ایمنی جاده دارد. رانندگانی که آموزش کافی، مهارت شناختی بالا و کنترل هیجانات مناسبی دارند، کمتر در معرض خطاهای رانندگی قرار می گیرند. ایجاد برنامه های جامع آموزشی و ارزیابی روانشناختی رانندگان می تواند سهم خطاهای انسانی در تصادفات را کاهش دهد و ایمنی جاده ها را افزایش دهد (احمد و همکاران، ۲۰۲۳).

۲-۵- شرایط جوی

۲-۵-۱- تأثیر بارندگی، برف و یخبندان بر وقوع تصادفات

بارندگی تأثیر قابل توجهی بر وقوع تصادفات جاده ای دارد. باران باعث کاهش اصطکاک بین تایر و سطح جاده می شود و در نتیجه کنترل خودرو کاهش می یابد. همچنین کاهش دید راننده به دلیل قطرات باران و بازتاب نور باعث افزایش احتمال برخورد با خودروهای دیگر، عبور از پیاده و موانع ثابت می شود. رانندگی با سرعت بالا در شرایط بارانی خطر تصادف را بیشتر می کند و رعایت فاصله ایمن و کاهش سرعت نقش مهمی در پیشگیری دارد (پنسکوار و همکاران، ۲۰۲۴).

برف نیز یکی از عوامل مهم افزایش خطر تصادفات است. تجمع برف روی مسیر باعث کاهش اصطکاک و لغزندگی سطح جاده می شود و کنترل خودرو را دشوار می سازد. همچنین تغییر ناگهانی در شرایط مسیر، مانند لایه های یخ زیر برف یا شیارهای ناهموار، توانایی راننده در واکنش به موقع را کاهش می دهد. استفاده از تجهیزات مناسب مانند لاستیک زمستانی و رعایت سرعت ایمن می تواند تأثیر برف بر تصادفات را کاهش دهد (کیم و همکاران، ۲۰۲۱).

یخبندان به دلیل کاهش شدید اصطکاک بین تایر و جاده، شرایط رانندگی را بسیار خطرناک می کند. خودروها در شرایط یخبندان دیرتر متوقف می شوند و امکان لغزش در پیچ ها و شیب ها افزایش می یابد. یخبندان به ویژه در مسیرهای شیب دار و پیچ های تند باعث افزایش تصادفات شدید و واژگونی می شود. اطلاع رسانی به رانندگان و هشدارهای جاده ای می تواند ریسک تصادفات ناشی از یخبندان را کاهش دهد (گرزلازیک، ۲۰۲۳).

بارندگی و یخبندان بر رفتار راننده نیز اثرگذار هستند. کاهش دید، نیاز به کنترل بیشتر و افزایش فاصله ایمن باعث افزایش تمرکز راننده می شود، اما خستگی و اضطراب ناشی از شرایط جوی می تواند توانایی تصمیم گیری و واکنش سریع را کاهش دهد. آموزش رانندگان برای رانندگی در شرایط جوی

نامساعد و اطلاع‌رسانی مستمر در مورد وضعیت مسیر، نقش مؤثری در کاهش تصادفات دارد(شهابی و همکاران، ۱۳۹۰).

ترکیب بارندگی، برف و یخبندان با سرعت غیرمجاز و عدم رعایت فاصله ایمن، اثر مضاعفی بر وقوع تصادفات دارد. رانندگان در شرایط لغزنده اگر سرعت مناسب و فاصله ایمن نداشته باشند، احتمال برخورد و شدت جراحات افزایش می‌یابد. اصلاح رفتار راننده و نصب علائم هشداردهنده برای کاهش سرعت می‌تواند این اثرات را کاهش دهد(التماسی و بهتوجی، ۲۰۲۴).

بارندگی، برف و یخبندان تأثیر متفاوتی در محیط‌های شهری و برون‌شهری دارند. در محیط‌های شهری، کاهش دید و لغزندگی سطح جاده باعث افزایش تصادفات جزئی و برخوردهای خودرو به خودرو می‌شود. در جاده‌های برون‌شهری و سرعت بالا، این شرایط باعث تصادفات شدید، واژگونی و برخورد با موانع ثابت می‌شود. رعایت قوانین سرعت و استفاده از تجهیزات مناسب نقش کلیدی در کاهش تصادفات دارد(صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

یخبندان در مسیرهای کوهستانی و شیب‌دار خطر بیشتری ایجاد می‌کند. خودروهایی که کنترل کافی ندارند، در پیچ‌ها و مسیرهای شیب‌دار احتمال خروج از مسیر و برخورد با موانع را دارند. مدیریت مسیر، اطلاع‌رسانی به رانندگان و استفاده از تجهیزات مناسب می‌تواند اثرات یخبندان را کاهش دهد و ایمنی مسیر را افزایش دهد(پاولو و همکاران، ۲۰۲۳).

برف و بارندگی همچنین باعث افزایش فاصله توقف خودروها می‌شوند. در شرایط لغزنده، رانندگان نیاز دارند فاصله ایمن بیشتری از خودرو جلویی داشته باشند. عدم رعایت این فاصله باعث برخوردهای زنجیره‌ای و افزایش شدت تصادفات می‌شود. آموزش رانندگان در خصوص فاصله ایمن و کنترل سرعت می‌تواند این اثر را کاهش دهد(التماسی و بهتوجی، ۲۰۲۴).

۲-۵-۲- نقش مه، طوفان و کاهش دید در افزایش خطر تصادفات

مه به دلیل کاهش شدید دید راننده یکی از عوامل مهم افزایش خطر تصادفات جاده‌ای است. رانندگان در شرایط مه غلیظ قادر به تشخیص خودروهای دیگر، موانع و علائم راهنمایی نیستند و فاصله ایمن بین خودروها کاهش می‌یابد. این شرایط باعث افزایش احتمال برخوردهای زنجیره‌ای و تصادفات شدید می‌شود. استفاده از چراغ مه‌شکن، کاهش سرعت و رعایت فاصله ایمن می‌تواند اثر مه بر تصادفات را کاهش دهد(پینسکوار و همکاران، ۲۰۲۴).

طوفان و باد شدید نیز شرایط رانندگی را دشوار می‌کنند. بادهای شدید می‌توانند خودرو را از مسیر منحرف کنند و کنترل خودرو را به ویژه در خودروهای سبک کاهش دهند. طوفان معمولاً با گرد و خاک یا باران شدید همراه است که باعث کاهش دید راننده و افزایش احتمال برخورد با سایر خودروها

یا موانع می‌شود. رعایت سرعت ایمن و کنترل وسیله نقلیه در شرایط طوفان اهمیت بالایی دارد (کیم و همکاران، ۲۰۲۱).

کاهش دید ناشی از مه، طوفان، گرد و خاک یا باران شدید توانایی راننده در شناسایی خطرات و واکنش سریع را کاهش می‌دهد. رانندگانی که قادر به تشخیص فاصله مناسب و سرعت ایمن نیستند، بیشتر در معرض تصادفات شدید قرار دارند. افزایش دقت در رانندگی، استفاده از تجهیزات نورپردازی مناسب و توجه به شرایط محیطی می‌تواند خطر ناشی از کاهش دید را کاهش دهد (گرزلانتریک، ۲۰۲۳). در شرایط مه و طوفان، رانندگان معمولاً تمایل به سرعت غیرمجاز و سبقت‌های خطرناک دارند که خطر تصادفات را افزایش می‌دهد. رفتار پرخطر در شرایط کاهش دید باعث برخورد جانبی و تصادفات چندخودرو می‌شود. آموزش رانندگان برای کاهش سرعت، افزایش فاصله ایمن و تمرکز بیشتر در شرایط جوی نامساعد، نقش مهمی در کاهش تصادفات دارد (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰).

مه و طوفان تأثیر بیشتری در جاده‌های برون‌شهری و مسیرهای پرتراфик دارند. در این مسیرها، سرعت بالا و کاهش دید همزمان باعث افزایش تصادفات شدید، واژگونی و برخورد با موانع ثابت می‌شود. استفاده از علائم هشداردهنده، محدودیت سرعت و اطلاع‌رسانی به رانندگان در مسیرهای پرخطر، می‌تواند اثرات منفی شرایط جوی را کاهش دهد (التماسی و بهتوجی، ۲۰۲۴).

تجربه و مهارت راننده در شرایط کاهش دید نقش مهمی دارد. رانندگان با تجربه بهتر قادر به ارزیابی فاصله، سرعت ایمن و پیش‌بینی رفتار سایر کاربران جاده هستند. رانندگان کم‌تجربه در مه و طوفان واکنش‌های نادرست نشان می‌دهند و احتمال تصادف افزایش می‌یابد. برنامه‌های آموزشی مبتنی بر تجربه عملی و تمرین رانندگی در شرایط کاهش دید می‌تواند میزان خطاها و تصادفات را کاهش دهد (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

رفتار انسانی تحت تأثیر شرایط کاهش دید تغییر می‌کند. رانندگان ممکن است خستگی، اضطراب و استرس بیشتری تجربه کنند که توانایی تصمیم‌گیری سریع و کنترل خودرو را کاهش می‌دهد. مدیریت استرس و تمرکز بیشتر، همراه با کاهش سرعت و افزایش فاصله ایمن، می‌تواند اثرات روانی ناشی از شرایط جوی نامساعد را کاهش دهد و ایمنی جاده را افزایش دهد (پاولو و همکاران، ۲۰۲۳).

کاهش دید ناشی از مه و طوفان همچنین بر رانندگی در تقاطع‌ها و پیچ‌ها تأثیر می‌گذارد. رانندگان در این شرایط ممکن است خودروهای دیگر، علائم توقف و مسیرهای پیچیده را دیر شناسایی کنند که خطر تصادفات جانبی و واژگونی را افزایش می‌دهد. اصلاح هندسی مسیر، نصب علائم هشداردهنده و آموزش رانندگان برای رانندگی با دید محدود می‌تواند ریسک تصادفات را کاهش دهد (التماسی و بهتوجی، ۲۰۲۴).

۲-۵-۳- لغزندگی سطح جاده و اثر آن بر ایمنی ترافیک

لغزندگی سطح جاده یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر ایمنی ترافیک است. کاهش اصطکاک بین تایر و سطح جاده باعث کاهش توانایی کنترل وسیله نقلیه و افزایش فاصله توقف می‌شود. در شرایط لغزنده، خودروها دیرتر متوقف می‌شوند و احتمال برخورد با سایر خودروها، عابران و موانع ثابت افزایش می‌یابد. عوامل محیطی مانند بارندگی، برف، یخبندان و رسوبات روغنی می‌توانند سطح جاده را لغزنده کنند و خطر تصادفات را افزایش دهند (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

لغزندگی سطح جاده در پیچ‌ها و مسیرهای شیبدار اهمیت بیشتری دارد. کاهش اصطکاک در پیچ‌ها باعث می‌شود خودرو از مسیر منحرف شود و کنترل وسیله نقلیه دشوار گردد. در شیب‌های تند، لغزندگی موجب کاهش توانایی ترمزگیری و افزایش خطر واژگونی می‌شود. طراحی مناسب هندسی مسیر و استفاده از پوشش‌های مقاوم در برابر لغزندگی می‌تواند اثرات منفی را کاهش دهد (کیم و همکاران، ۲۰۲۱).

نوع پوشش جاده نیز بر میزان لغزندگی تأثیر دارد. سطوح آسفالت تازه، مرطوب یا دارای رسوبات روغنی لغزندگی بیشتری ایجاد می‌کنند. ترک‌ها و فرورفتگی‌های سطح جاده نیز باعث کاهش تماس تایر با سطح و افزایش خطر لغزش می‌شوند. نگهداری منظم جاده و تعمیر نقاط آسیب‌دیده، نقش مهمی در کاهش خطر ناشی از لغزندگی دارد (گرزلازیک، ۲۰۲۳).

شرایط آب و هوایی مانند بارندگی، برف و یخبندان اثر مستقیم بر لغزندگی سطح جاده دارند. آب باران یا یخ باعث کاهش اصطکاک و افزایش فاصله توقف می‌شود. رانندگان در این شرایط باید سرعت خود را کاهش دهند و فاصله ایمن را افزایش دهند. استفاده از علائم هشداردهنده و اطلاع‌رسانی به رانندگان می‌تواند اثرات محیطی لغزندگی را کاهش دهد (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰).

لغزندگی سطح جاده تأثیر مستقیمی بر رفتار راننده دارد. رانندگان در شرایط لغزنده تمایل به کاهش سرعت و افزایش فاصله ایمن دارند، اما خستگی، عدم تجربه و رفتار پرخطر می‌تواند این اقدامات پیشگیرانه را ناکافی کند. آموزش رانندگان در مورد کنترل خودرو در شرایط لغزندگی و افزایش آگاهی از خطرات جاده، نقش مهمی در کاهش تصادفات دارد (التماسی و بهتوجی، ۲۰۲۴).

لغزندگی سطح جاده و سرعت غیرمجاز با هم اثر مضاعف بر ایمنی ترافیک دارند. رانندگانی که در جاده‌های لغزنده با سرعت بالا حرکت می‌کنند، زمان واکنش کافی ندارند و احتمال برخورد افزایش می‌یابد. ترکیب سرعت غیرمجاز و سطح لغزنده معمولاً منجر به تصادفات شدید، واژگونی و برخورد با موانع ثابت می‌شود. کنترل سرعت و رعایت فاصله ایمن، ابزار مؤثری برای کاهش این خطر است (پینسکوار و همکاران، ۲۰۲۴).

رانندگان کم تجربه بیشتر در معرض خطر لغزندگی سطح جاده هستند. آن‌ها توانایی کمتر در پیش‌بینی تغییرات مسیر و واکنش به لغزش خودرو دارند. تجربه عملی و آموزش رانندگی در شرایط لغزنده می‌تواند مهارت‌های کنترل خودرو را افزایش دهد و میزان تصادفات ناشی از لغزندگی را کاهش دهد (پاولو و همکاران، ۲۰۲۳).

ترکیب لغزندگی سطح جاده با کاهش دید نیز خطر تصادفات را افزایش می‌دهد. در شرایط مه، باران یا برف، رانندگان قادر به تشخیص موانع و فاصله مناسب نیستند و کنترل خودرو دشوارتر می‌شود. استفاده از چراغ‌های مناسب، کاهش سرعت و تمرکز بیشتر بر مسیر، از اقدامات کلیدی برای پیشگیری از تصادفات در شرایط کاهش اصطکاک و دید است (التماسی و بهتوجی، ۲۰۲۴).

۲-۶- وضعیت زیرساختی جاده‌ها

۲-۶-۱- اهمیت زیرساخت‌های جاده‌ای در کاهش تصادفات

زیرساخت‌های جاده‌ای نقش اساسی در کاهش تصادفات و افزایش ایمنی ترافیک دارند. کیفیت سطح جاده، طراحی هندسی مسیر و تجهیزات ایمنی می‌تواند به طور مستقیم بر کنترل خودرو و توانایی راننده در واکنش به خطرات تأثیر بگذارد. جاده‌های با سطح مناسب، شیب استاندارد و پوشش مقاوم در برابر لغزندگی، توانایی رانندگان در کنترل وسیله نقلیه را افزایش می‌دهند و احتمال تصادفات ناشی از لغزش، واژگونی و برخورد کاهش می‌یابد (دومیتراسکو، ۲۰۲۴).

نورپردازی مناسب در جاده‌ها یکی از عناصر مهم زیرساخت است که تأثیر مستقیمی بر ایمنی دارد. نور کافی در مسیرها، تقاطع‌ها و پیچ‌ها باعث افزایش دید رانندگان می‌شود و خطر برخورد با سایر خودروها، عابران و موانع را کاهش می‌دهد. نصب چراغ‌های راهنمایی و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر نیز می‌تواند نقش مهمی در کاهش تصادفات ایفا کند (تانیشیتا و همکاران، ۲۰۲۳).

طراحی هندسی جاده شامل طول و شعاع قوس‌ها، شیب مسیر و عرض خط‌ها است که مستقیماً بر ایمنی رانندگی تأثیر دارد. قوس‌های مناسب، شیب استاندارد و عرض کافی مسیر باعث کاهش احتمال خروج از مسیر و تصادفات جانبی می‌شود. همچنین، طراحی مناسب مسیر در کاهش سرعت خودروهای در حال حرکت در نقاط خطرناک نقش مهمی دارد و امکان واکنش سریع راننده به شرایط ناگهانی را فراهم می‌کند (توراجونوفسکی و همکاران، ۲۰۲۲). زیرساخت‌های جاده‌ای شامل تجهیزات ایمنی مانند گاردریل، شیارهای هشداردهنده، علائم ترافیکی و سیستم‌های کنترل سرعت نیز هستند. نصب گاردریل در مسیرهای شیبدار و پیچ‌های تند می‌تواند از واژگونی خودروها جلوگیری کند. شیارهای هشداردهنده و تابلوهای اطلاع‌رسانی در تقاطع‌ها و نقاط پر حادثه باعث افزایش توجه رانندگان و کاهش خطاهای انسانی می‌شوند (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰).

سطح جاده و نگهداری آن نقش مهمی در ایمنی ترافیک دارد. سطوح ناهموار، پر از ترک و فرورفتگی، موجب کاهش کنترل خودرو و افزایش خطر تصادف می‌شوند. تعمیر و نگهداری منظم جاده‌ها، پاکسازی رسوبات، یخ و برف، و بازسازی مسیرهای آسیب‌دیده، می‌تواند ریسک ناشی از شرایط نامساعد جاده را کاهش دهد و ایمنی رانندگان را بهبود بخشد (پلاکیچ و همکاران، ۲۰۲۲).

پل‌ها، تونل‌ها و تقاطع‌ها بخش مهمی از زیرساخت‌های جاده‌ای هستند که ایمنی ترافیک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. طراحی استاندارد این سازه‌ها، نصب علائم هشداردهنده و تجهیزات نورپردازی، کنترل جریان ترافیک و کاهش خطر برخورد را امکان‌پذیر می‌سازد. عدم رعایت استانداردها در این نقاط می‌تواند باعث افزایش تصادفات شدید و جراحات جدی شود (پینسکوار و همکاران، ۲۰۲۴).

نصب سیستم‌های مدیریت ترافیک مانند دوربین‌های نظارتی، حسگرهای جریان ترافیک و علائم متحرک می‌تواند ایمنی جاده را افزایش دهد. این سیستم‌ها به رانندگان اطلاعات به‌روز درباره شرایط جاده، وضعیت ترافیک و خطرات احتمالی ارائه می‌دهند و امکان تصمیم‌گیری سریع و مناسب را فراهم می‌کنند. استفاده از این فناوری‌ها باعث کاهش خطاهای انسانی و بهبود واکنش رانندگان می‌شود (استیگشون و همکاران، ۲۰۲۳).

وجود مسیرهای ایمن برای عابران و دوچرخه‌سواران نیز یکی دیگر از جنبه‌های زیرساخت‌های ایمن است. جدا کردن مسیر عابران و دوچرخه‌سواران از مسیر خودروها باعث کاهش احتمال برخورد و تصادفات جانبی می‌شود. این اقدام به ویژه در محیط‌های شهری و مسیرهای پرتردد اهمیت بالایی دارد و ایمنی تمام کاربران جاده را افزایش می‌دهد (فیسو و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۶-۲- کیفیت روسازی و تأثیر آن بر ایمنی عبور و مرور

کیفیت روسازی جاده یکی از عوامل حیاتی در ایمنی عبور و مرور است و تأثیر مستقیم بر رفتار راننده و کنترل خودرو دارد. روسازی با کیفیت مناسب باعث ایجاد سطح صاف، یکنواخت و مقاوم در برابر لغزش می‌شود که کنترل وسیله نقلیه را تسهیل می‌کند و احتمال تصادفات ناشی از انحراف خودرو و واژگونی را کاهش می‌دهد. سطوح ناهموار، فرورفتگی‌ها و ترک‌ها باعث افزایش لرزش و کاهش تماس تایر با جاده شده و ریسک تصادفات را افزایش می‌دهند (دومیتراسکو، ۲۰۲۴).

سطح روسازی تأثیر مهمی بر فاصله توقف و توانایی ترمزگیری خودرو دارد. جاده‌های با پوشش نامناسب، لغزنده یا فرسوده، اصطکاک تایر با سطح را کاهش می‌دهند و خودرو دیرتر متوقف می‌شود. این مسئله به ویژه در شرایط آب و هوایی نامساعد مانند بارندگی و یخبندان خطر تصادفات را افزایش می‌دهد. نگهداری منظم روسازی و ترمیم نقاط آسیب‌دیده، از اقدامات مؤثر برای کاهش تصادفات ناشی از کاهش اصطکاک است (تانیشیتا و همکاران، ۲۰۲۳).

کیفیت روسازی همچنین بر رفتار راننده اثرگذار است. جاده‌های با سطح ناهموار رانندگان را مجبور به تغییر مسیر ناگهانی، کاهش یا افزایش سرعت غیرمنتظره می‌کنند که می‌تواند منجر به برخورد با سایر خودروها یا خروج از مسیر شود. روسازی یکنواخت و صاف، راننده را قادر می‌سازد تا کنترل بهتری بر خودرو داشته باشد و واکنش‌های مناسب در مواجهه با خطرات را انجام دهد (توراجونوفسکی و همکاران، ۲۰۲۲).

نوع مصالح استفاده شده در روسازی نقش مهمی در ایمنی جاده دارد. آسفالت با دانه‌بندی مناسب و مقاومت کافی در برابر سایش و لغزندگی، خطر تصادفات را کاهش می‌دهد. استفاده از پوشش‌های مقاوم در برابر آب، برف و یخبندان باعث کاهش لغزندگی سطح جاده می‌شود و ایمنی ترمزگیری و کنترل خودرو را افزایش می‌دهد. طراحی و انتخاب مصالح مناسب در شرایط جوی مختلف، یک عامل کلیدی در کاهش تصادفات است (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰).

فرسودگی روسازی باعث ایجاد فرورفتگی، ترک و شیار می‌شود که کنترل خودرو را کاهش داده و امکان برخورد با سایر خودروها و موانع را افزایش می‌دهد. این مشکلات به ویژه در مسیرهای پرتردد و جاده‌های برون‌شهری که سرعت خودروها بالاست، خطر تصادفات شدید را افزایش می‌دهد. انجام تعمیرات منظم، بازسازی روسازی و بازنگری در طراحی مسیر می‌تواند اثرات منفی فرسودگی را کاهش دهد (پلاکیچ و همکاران، ۲۰۲۲).

کیفیت روسازی در پیچ‌ها، شیب‌ها و تقاطع‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. در این نقاط، سطح ناهموار یا لغزنده باعث افزایش احتمال خروج خودرو از مسیر و برخورد جانبی می‌شود. طراحی هندسی استاندارد همراه با روسازی مقاوم، امکان کنترل بهتر خودرو را فراهم می‌کند و ریسک تصادفات شدید را کاهش می‌دهد (پینسکوار و همکاران، ۲۰۲۴).

نورپردازی و تجهیزات ایمنی مرتبط با روسازی نیز در افزایش ایمنی موثر هستند. شیارها، تابلوها و خطوط راهنمایی باید بر روی سطح صاف و مقاوم نصب شوند تا دید و هشدار راننده بهبود یابد. روسازی با کیفیت پایین باعث کاهش تأثیر این تجهیزات و افزایش خطر برخورد با سایر خودروها و موانع می‌شود (استیگشون و همکاران، ۲۰۲۳).

شرایط جوی با کیفیت روسازی تعامل دارند و اثر روسازی را بر ایمنی تشدید می‌کنند. بارندگی، برف، یخبندان و مه باعث کاهش اصطکاک سطح جاده و لغزندگی می‌شوند. در روسازی فرسوده یا ناهموار، این شرایط باعث افزایش شدید فاصله توقف، کاهش کنترل خودرو و افزایش تصادفات می‌شود. اقدامات پیشگیرانه شامل بهبود کیفیت روسازی، مدیریت شرایط جوی و آموزش رانندگان برای رانندگی در جاده‌های لغزنده اهمیت دارد (فیسو و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۶-۳- نقش علائم راهنمایی، خط‌کشی و روشنایی مسیر در پیشگیری از حوادث

علائم راهنمایی نقش کلیدی در هدایت رانندگان و پیشگیری از تصادفات جاده‌ای دارند. این علائم اطلاعات مهمی درباره محدودیت سرعت، پیچ‌ها، تقاطع‌ها و خطرات احتمالی ارائه می‌دهند و باعث افزایش آگاهی رانندگان می‌شوند. نصب مناسب و نگهداری منظم علائم راهنمایی می‌تواند خطر برخورد با سایر خودروها و موانع را کاهش دهد و توانایی راننده در تصمیم‌گیری سریع را بهبود بخشد (پینسکووار و همکاران، ۲۰۲۴).

خط‌کشی مسیر یکی دیگر از ابزارهای مهم ایمنی جاده است که حرکت خودروها را هدایت می‌کند و محدوده قانونی عبور را مشخص می‌سازد. خط‌کشی واضح و مقاوم باعث کاهش تصادفات جانبی، برخوردهای خودرو به خودرو و خروج خودرو از مسیر می‌شود. استفاده از رنگ‌های قابل مشاهده در شرایط روز و شب و همچنین انعکاس نور در جاده‌های پرتردد، نقش مؤثری در هدایت صحیح رانندگان دارد (تانیشیتا و همکاران، ۲۰۲۳).

روشنایی مسیر به ویژه در شب و شرایط کاهش دید اهمیت زیادی دارد. نور کافی در مسیرها، تقاطع‌ها و نقاط پرخطر باعث افزایش دید راننده و شناسایی بهتر موانع، خودروها و عابران پیاده می‌شود. نبود یا ناکافی بودن روشنایی می‌تواند منجر به تصادفات شدید، برخورد جانبی و واژگونی شود. استفاده از نورپردازی استاندارد و تعمیر منظم چراغ‌ها می‌تواند ریسک این نوع تصادفات را کاهش دهد (توراجونوفسکی و همکاران، ۲۰۲۲).

ترکیب علائم راهنمایی، خط‌کشی و روشنایی مسیر، اثر پیشگیرانه بیشتری نسبت به هر یک به تنهایی دارد. رانندگان با دریافت اطلاعات بصری کامل و مسیر واضح، رفتار خود را بهتر کنترل می‌کنند و احتمال خطاهای انسانی کاهش می‌یابد. این ترکیب به ویژه در جاده‌های برون‌شهری و مسیرهای پرترافیک که سرعت خودروها بالاست، باعث کاهش تصادفات شدید می‌شود (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰).

کیفیت نصب و نگهداری علائم راهنمایی و خط‌کشی مسیر نیز بر اثربخشی آنها تأثیر دارد. علائم فرسوده، شکسته یا کم‌رنگ و خط‌کشی محو، رانندگان را دچار سردرگمی می‌کند و احتمال اشتباه در تصمیم‌گیری و ورود به مسیرهای نامناسب را افزایش می‌دهد. اقدامات نگهداری مستمر و تعویض به موقع علائم و رنگ خط‌کشی می‌تواند خطر ناشی از خطای راننده را کاهش دهد (پلاکیچ و همکاران، ۲۰۲۲).

شرایط جوی نیز با عملکرد علائم، خط‌کشی و روشنایی تداخل دارد. بارندگی، برف، مه و گرد و خاک می‌تواند دید راننده از علائم و خطوط مسیر را کاهش دهد. در این شرایط، روشنایی مناسب، رنگ‌های با قابلیت انعکاس نور و علائم مقاوم در برابر شرایط محیطی می‌توانند ایمنی رانندگی را حفظ

کنند و احتمال تصادف را کاهش دهند (دومیتراسکو، ۲۰۲۴).

آموزش رانندگان درباره اهمیت علائم راهنمایی، خطوط مسیر و روشنایی نیز نقش مهمی دارد. رانندگان آگاه به نحوه تفسیر صحیح علائم و رعایت خط کشی مسیر، رفتار ایمن تری در جاده از خود نشان می دهند. این آموزش ها می توانند به کاهش تصادفات ناشی از خطاهای انسانی، سبقت غیرمجاز و رانندگی پرخطر کمک کنند (استیگشون و همکاران، ۲۰۲۳).

در تقاطع ها و نقاط پر حادثه، ترکیب روشنایی مناسب، علائم هشداردهنده و خط کشی واضح اهمیت ویژه ای دارد. این تجهیزات باعث هدایت بهتر جریان ترافیک، کاهش برخورد جانبی و افزایش توانایی راننده در واکنش سریع به خطرات می شوند. طراحی استاندارد و رعایت اصول ایمنی در این نقاط، سهم قابل توجهی در کاهش تصادفات دارد (فیسو و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۶-۴- تأثیر وجود یا نبود تجهیزات ایمنی مانند گاردریل و حفاظ ها

وجود تجهیزات ایمنی مانند گاردریل و حفاظ ها نقش مهمی در کاهش شدت تصادفات و افزایش ایمنی جاده ها دارد. این تجهیزات از خروج خودرو از مسیر، برخورد با موانع ثابت و واژگونی جلوگیری می کنند و باعث کاهش خسارات جانی و مالی می شوند. گاردریل ها به ویژه در مسیرهای شیب دار، پیچ ها و بزرگراه ها که احتمال انحراف خودرو بالا است، اهمیت زیادی دارند (دومیتراسکو، ۲۰۲۴).

عدم وجود گاردریل و حفاظ ها باعث افزایش ریسک تصادفات شدید می شود. خودروهای خارج شده از مسیر در جاده های بدون تجهیزات ایمنی می توانند به موانع سخت، دره ها یا سایر خودروها برخورد کنند که معمولاً منجر به جراحات جدی یا مرگ راننده و سرنشینان می شود. این مسئله در مسیرهای پرترافیک و با سرعت بالا بیشتر مشاهده می شود و تأکید بر نصب و نگهداری تجهیزات ایمنی را ضروری می کند (تانیشیتا و همکاران، ۲۰۲۳).

کیفیت نصب گاردریل و حفاظ ها نیز بر اثربخشی آنها تأثیر مستقیم دارد. گاردریل هایی که استانداردهای طراحی را رعایت نکرده باشند یا به دلیل فرسودگی و ضربه آسیب دیده باشند، نمی توانند عملکرد مطلوب را ارائه دهند. تعمیر و نگهداری منظم، بازسازی نقاط آسیب دیده و استفاده از مواد مقاوم در برابر ضربه و شرایط محیطی، تأثیر تجهیزات ایمنی را افزایش می دهد (توراجونوفسکی و همکاران، ۲۰۲۲). حفاظ ها و گاردریل ها نقش مهمی در کاهش شدت تصادفات جانبی دارند. در برخوردهای جانبی، این تجهیزات انرژی برخورد را جذب کرده و از انتقال نیرو به سرنشینان جلوگیری می کنند. بدون این تجهیزات، برخورد با موانع جانبی یا خودروهای مجاور می تواند منجر به آسیب های شدید و غیرقابل جبران شود. طراحی مناسب و نصب در نقاط پرخطر، مانند پیچ ها و تقاطع ها، می تواند ایمنی جاده را به طور قابل توجهی افزایش دهد (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰).

استفاده از تجهیزات ایمنی در مسیرهای شیبدار و تونل‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. این مناطق به دلیل شیب و کاهش دید، بیشتر در معرض تصادفات شدید هستند. گاردریل‌ها و حفاظ‌ها از خروج خودرو از مسیر جلوگیری می‌کنند و امکان کنترل بهتر وسیله نقلیه را برای راننده فراهم می‌کنند. این اقدامات باعث کاهش تصادفات شدید، واژگونی و برخورد با موانع ثابت می‌شوند (پلاکیچ و همکاران، ۲۰۲۲).

در جاده‌های پرتراфик و بزرگراه‌ها، نصب تجهیزات ایمنی موجب هدایت صحیح جریان ترافیک می‌شود. رانندگان با مشاهده گاردریل‌ها و حفاظ‌ها، مسیر خود را بهتر حفظ کرده و از تغییر ناگهانی لاین و ورود به مسیر مخالف جلوگیری می‌کنند. این امر به ویژه در شرایط بارندگی، مه و کاهش دید اهمیت دارد و به کاهش تصادفات ناشی از خطای انسانی کمک می‌کند (پینسکووار و همکاران، ۲۰۲۴).

ترکیب تجهیزات ایمنی با دیگر عوامل ایمنی جاده مانند خط‌کشی، علائم راهنمایی و روشنایی مسیر اثر پیشگیرانه بیشتری دارد. وجود این تجهیزات در کنار یکدیگر، راننده را قادر می‌سازد تا مسیر ایمن را تشخیص دهد و واکنش مناسب در مواجهه با خطرات احتمالی نشان دهد. این ترکیب باعث کاهش تصادفات و بهبود ایمنی کلی جاده‌ها می‌شود (استیگشون و همکاران، ۲۰۲۳).

نبود تجهیزات ایمنی در مسیرهای پرتردد و پرحادثه می‌تواند اثرات منفی روانی بر رفتار راننده نیز داشته باشد. رانندگان در جاده‌های بدون گاردریل ممکن است احساس امنیت کمتری داشته باشند و در نتیجه تصمیمات پرخطر اتخاذ کنند، مانند سبقت غیرمجاز یا سرعت بالا، که احتمال تصادف را افزایش می‌دهد. بنابراین وجود تجهیزات ایمنی نه تنها از نظر فیزیکی بلکه از نظر روان‌شناختی نیز نقش مهمی در کاهش تصادفات دارد (فیسو و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۲- مدل‌ها و نظریه‌های تحلیل علت تصادفات

تحلیل علت تصادفات جاده‌ای نیازمند استفاده از مدل‌ها و نظریه‌های علمی است که بتوانند عوامل مؤثر بر وقوع حوادث را شناسایی و دسته‌بندی کنند. یکی از مدل‌های پایه‌ای در این حوزه، مدل سه سطحی‌های ویک است که تصادفات را به سه سطح عوامل انسانی، وسیله نقلیه و محیط تقسیم می‌کند. این مدل بر تعامل این سه عامل تمرکز دارد و نشان می‌دهد که خطاهای انسانی معمولاً با شرایط محیطی و نقص فنی خودرو ترکیب می‌شوند و منجر به تصادف می‌شوند. استفاده از این مدل به پژوهشگران و مسئولان ایمنی جاده‌ای امکان می‌دهد تا عوامل کلیدی و نقاط مداخله برای پیشگیری از حوادث را شناسایی کنند (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

مدل زنجیره‌ای علت و معلول نیز یکی از مدل‌های مهم در تحلیل تصادفات است. این مدل فرض می‌کند که تصادفات نتیجه مجموعه‌ای از رویدادهای متوالی هستند که با یکدیگر در ارتباط هستند. به عنوان مثال، یک رفتار پرخطر راننده ممکن است باعث کاهش کنترل وسیله نقلیه شود و در ادامه با

شرایط نامناسب جاده ترکیب شده و تصادف رخ دهد. مدل زنجیره‌ای به تحلیل دقیق‌تر عوامل و نقاط بحرانی در مسیر وقوع تصادف کمک می‌کند و امکان طراحی اقدامات پیشگیرانه هدفمند را فراهم می‌کند (جوئنگ و همکاران، ۲۰۲۲).

نظریه خطای انسانی نیز نقش مهمی در تحلیل علت تصادفات دارد. این نظریه بر این فرض استوار است که رفتارهای پرخطر و خطاهای راننده عامل اصلی بسیاری از تصادفات هستند. خطاهای انسانی شامل خطاهای شناختی، توجه ناکافی، خستگی و تصمیم‌گیری نامناسب می‌شوند. با استفاده از این نظریه می‌توان اقدامات آموزشی و مدیریتی برای کاهش خطاهای انسانی طراحی کرد و احتمال وقوع تصادفات را کاهش داد (صمدیان و جعفری، ۱۳۹۸).

مدل سیستماتیک تحلیل حوادث یکی دیگر از رویکردهای مهم است که بر تعامل عوامل انسانی، فنی و محیطی تأکید دارد. این مدل به جای تمرکز صرف بر یک عامل خاص، کل سیستم حمل‌ونقل را بررسی می‌کند و نقاط ضعف و خطرات بالقوه را شناسایی می‌کند. به کمک این مدل، می‌توان برنامه‌های پیشگیرانه جامع شامل اصلاح جاده‌ها، بهبود سیستم‌های ایمنی خودرو و آموزش رانندگان را طراحی و اجرا کرد (گورزلانژیک و تیلیچی، ۲۰۲۳).

مدل‌های آماری نیز در تحلیل علت تصادفات کاربرد وسیعی دارند. مدل‌های رگرسیونی، تحلیل بقا و مدل‌های پیش‌بینی تصادف، امکان شناسایی عوامل مؤثر و پیش‌بینی وقوع حوادث را فراهم می‌کنند. این مدل‌ها معمولاً با استفاده از داده‌های تاریخی تصادفات، ویژگی‌های جاده‌ای، شرایط محیطی و رفتار رانندگان ساخته می‌شوند. استفاده از این مدل‌ها به برنامه‌ریزان و مسئولان ایمنی کمک می‌کند تا اقدامات پیشگیرانه را بر اساس شواهد علمی طراحی کنند (سانی و همکاران، ۲۰۱۸).

مدل نظریه ایمنی سیستم‌های پیچیده نیز در تحلیل تصادفات کاربرد دارد. این نظریه تصادفات را نتیجه تعامل پیچیده بین اجزای مختلف سیستم حمل‌ونقل می‌داند و معتقد است که پیشگیری از تصادفات نیازمند نگاه جامع به کل سیستم است. این مدل بر اهمیت طراحی مناسب سیستم، کنترل دقیق و نظارت مستمر تأکید دارد و امکان پیش‌بینی نقاط ضعف و کاهش ریسک تصادف را فراهم می‌کند (چاند و همکاران، ۲۰۲۱).

در تحلیل علت تصادفات، مدل‌های علت و پیامد نیز استفاده می‌شوند. این مدل‌ها تمرکز خود را بر روابط مستقیم بین عوامل و پیامدهای تصادف قرار می‌دهند. به کمک این مدل‌ها می‌توان اثر مستقیم رفتارهای پرخطر، شرایط جاده‌ای و نقص فنی بر وقوع تصادف را شناسایی کرد و اقداماتی برای کاهش این اثرات طراحی نمود. استفاده از این مدل‌ها به مسئولان ایمنی امکان می‌دهد که تصمیمات مبتنی بر شواهد اتخاذ کنند (آتیپان و همکاران، ۲۰۲۲).

مدل‌های ترکیبی نیز در تحلیل تصادفات کاربرد دارند. این مدل‌ها چندین رویکرد را با هم ترکیب می‌کنند تا تصویر جامع‌تری از عوامل مؤثر و تعامل آن‌ها ارائه دهند. مدل‌های ترکیبی می‌توانند هم عوامل انسانی، هم فنی و هم محیطی را در یک چارچوب واحد بررسی کنند و به شناسایی نقاط بحرانی و طراحی اقدامات پیشگیرانه کمک کنند. این مدل‌ها به ویژه در تحلیل تصادفات پیچیده و زنجیره‌ای مؤثر هستند (گهرپور و ظل طاعت، ۱۳۹۴).

استفاده از مدل‌ها و نظریه‌های تحلیل علت تصادفات، امکان شناسایی دقیق عوامل خطر و طراحی اقدامات پیشگیرانه هدفمند را فراهم می‌کند. این مدل‌ها به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کنند تا با شناخت بهتر روابط بین عوامل انسانی، فنی و محیطی، برنامه‌های ایمنی جامع و مؤثری تدوین کنند. ترکیب مدل‌های سیستماتیک، آماری و نظریه‌های انسانی، چارچوبی علمی برای کاهش تصادفات و ارتقای ایمنی جاده‌ها ایجاد می‌کند (اسماعیل و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۸- پیشینه پژوهش

۲-۸-۱- تاریخچه و روند وقوع تصادفات جاده‌ای در ایران و جهان

تاریخچه تصادفات جاده‌ای به زمانی بازمی‌گردد که وسایل نقلیه موتوری به‌طور گسترده وارد شبکه‌های حمل‌ونقل شهری و بین شهری شدند. در آغاز قرن بیستم، با افزایش تعداد خودروها در جهان، میزان وقوع تصادفات به تدریج افزایش یافت و موجب نگرانی‌های عمومی و دولتی شد. کشورها برای مقابله با این مشکل، قوانین اولیه راهنمایی و رانندگی را تدوین کردند و ایستگاه‌های پلیس و تجهیزات کنترل ترافیک به تدریج ایجاد شدند. این اقدامات اولیه نشان‌دهنده آگاهی از اهمیت ایمنی جاده‌ها و نیاز به مدیریت تصادفات بود (چاند و همکاران، ۲۰۲۱).

در دهه‌های بعد، با رشد سریع جمعیت و افزایش استفاده از خودرو، میزان تصادفات جاده‌ای در بسیاری از کشورهای جهان به سرعت افزایش یافت. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که رشد اقتصادی، افزایش وسایل نقلیه و توسعه شبکه‌های جاده‌ای بدون توجه کافی به ایمنی، نقش مهمی در افزایش تصادفات داشته است. کشورهای توسعه یافته از اواسط قرن بیستم به بعد، با ایجاد مقررات سختگیرانه، نصب چراغ راهنمایی، بهبود طراحی جاده‌ها و آموزش رانندگان، موفق به کاهش نرخ تصادفات شدند (جئونگ و همکاران، ۲۰۲۲).

در ایران، وقوع تصادفات جاده‌ای از دهه ۱۳۴۰ با افزایش استفاده از خودروهای شخصی و توسعه شبکه‌های جاده‌ای آغاز شد. گزارش‌ها نشان می‌دهند که در این دوره، عدم وجود قوانین کامل راهنمایی و رانندگی و ضعف زیرساخت‌های جاده‌ای باعث افزایش تصادفات شد. در دهه‌های بعد، با توجه به رشد

جمعیت و تعداد خودروها، تصادفات جاده‌ای به یکی از مهم‌ترین مسائل ایمنی عمومی تبدیل شد و نیاز به تدوین سیاست‌ها و اقدامات پیشگیرانه محسوس شد.

تحلیل روند وقوع تصادفات در ایران نشان می‌دهد که بیشترین میزان حوادث در دهه‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰ رخ داده است. عواملی مانند ضعف کنترل ترافیک، عدم رعایت مقررات، نقص فنی خودروها و طراحی نامناسب جاده‌ها از دلایل اصلی این افزایش بوده است. به تدریج با توجه به آمارهای افزایش مرگ و جراحت، نهادهای دولتی اقدام به تدوین قوانین جامع‌تر، ارتقای آموزش رانندگان و بهبود زیرساخت‌ها کردند.

در سطح جهانی، سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان بهداشت جهانی، از دهه ۱۹۷۰ اقدام به جمع‌آوری آمار تصادفات و ارائه گزارش‌های دوره‌ای کردند. این گزارش‌ها نشان می‌دهند که تصادفات جاده‌ای یکی از علل اصلی مرگ‌ومیر در گروه‌های سنی جوان و میانسال است. کشورهای مختلف با استفاده از داده‌های آماری، برنامه‌های پیشگیرانه شامل محدودیت سرعت، نصب تجهیزات ایمنی و اعمال سیاست‌های آموزشی را اجرا کردند که منجر به کاهش نرخ مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات شد (صادقی و گلی، ۲۰۲۴).

در ایران، با ورود فناوری‌های نوین، سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند، دوربین‌های نظارتی و نرم‌افزارهای مدیریت جاده‌ها از دهه ۱۳۸۰ به بعد به کار گرفته شدند. این اقدامات باعث افزایش توانایی نظارت بر رفتار رانندگان و کاهش تخلفات شد. علاوه بر این، برنامه‌های آموزشی و فرهنگ‌سازی عمومی در سطح جامعه باعث شد تا آگاهی رانندگان نسبت به قوانین و ایمنی افزایش یابد، اگرچه همچنان نیاز به بهبود و توسعه اقدامات پیشگیرانه وجود دارد.

روند جهانی نیز نشان می‌دهد که با توسعه فناوری، کاهش تصادفات ممکن شده است. استفاده از سیستم‌های پیشرفته هشدار تصادف، خودروهای هوشمند و سیستم‌های خودران، نقش مؤثری در کاهش حوادث داشته‌اند. کشورهای پیشرفته توانسته‌اند با ترکیب قوانین سختگیرانه، آموزش و فناوری، نرخ وقوع تصادفات و آسیب‌ها را کاهش دهند. این روند نشان‌دهنده اهمیت رویکرد جامع و ترکیبی در مدیریت ایمنی جاده‌ای است (سانی و همکاران، ۲۰۱۸).

مطالعات تاریخی و آماری نشان می‌دهند که افزایش ایمنی جاده‌ای و کاهش تصادفات نیازمند اقدامات مستمر است. در ایران و جهان، نقاط ضعف همچنان در عدم رعایت قوانین، رفتار پرخطر رانندگان و نقص فنی خودروها وجود دارد. تجزیه و تحلیل روندهای گذشته و استفاده از داده‌های آماری، امکان شناسایی عوامل مؤثر و برنامه‌ریزی سیاست‌های مؤثر برای کاهش تصادفات را فراهم می‌کند (گهرپور و ظل طاعت، ۱۳۹۴).

با توجه به روندهای جهانی و تجربه ایران، روشن است که مدیریت ایمنی جاده‌ای نیازمند همکاری بین بخشی، فناوری پیشرفته، آموزش مستمر و بهبود زیرساخت‌ها است. این اقدامات می‌توانند به کاهش تصادفات، کاهش جراحات و مرگ‌ومیر و ارتقای ایمنی حمل‌ونقل منجر شوند و نشان‌دهنده اهمیت شناخت تاریخیچه و روند وقوع تصادفات برای برنامه‌ریزی آینده هستند.

۲-۸-۲- پیشینه تحقیقات انجام شده

- هاشمی و همکاران (۱۴۰۳). در پژوهش خود به ارزیابی و رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار در تصادفات جاده‌ای راه‌های استان مرکزی با استفاده از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) پرداختند. این تحقیق نشان داد که حدود ۷۵٪ از تصادفات در ۲۰٪ از مسیرهای خاص استان رخ می‌دهد که به عنوان جاده‌های سانحه‌خیز شناخته می‌شوند. از میان ۱۸۰ هزار کیلومتر جاده در کشور، حدود ۳۶ هزار کیلومتر در این دسته قرار می‌گیرند. بررسی ۸۰ نفر از کارشناسان حوزه حمل‌ونقل نشان داد که خستگی، خواب‌آلودگی و خطای انسانی با مقدار رتبه فریدمن ۵,۹۵۹ مهم‌ترین عوامل وقوع تصادفات هستند. همچنین، یافته‌ها نشان داد که ایمن‌سازی راه‌ها از طریق اصلاح طرح‌های هندسی، بهبود روسازی جاده، و نصب علائم هشداردهنده می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش تصادفات داشته باشد.

- مرادی نسب و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهش خود به بررسی نقش معماری راه در کاهش تصادفات جاده‌ای پرداختند. این پژوهش با استفاده از روش‌های کتابخانه‌ای، میدانی و آماری، تأثیر طراحی جاده و معماری راه را بر ایمنی ترافیک مورد ارزیابی قرار داد. یافته‌های تحقیق نشان داد که عواملی مانند طراحی مناسب تابلوهای تبلیغاتی، روشنایی راه، هندسه جاده، سادگی طراحی، استفاده از عناصر طبیعی و طراحی بهینه آبادی‌نماها می‌توانند به کاهش تصادفات کمک کنند. همچنین، این مطالعه به اهمیت حس مکان و ارتباط طراحی راه‌ها با بوم‌شناسی تأکید کرده و راهکارهایی برای بهبود ایمنی راه‌ها ارائه داده است.

- رضایی، کیانوش (۱۴۰۳) در پژوهش خود به بررسی تأثیر برداشت میدانی علائم ایمنی ترافیک و استفاده از هوش مصنوعی در کاهش تصادفات جاده‌ای پرداخت. این مطالعه با استفاده از تجهیزات نوین، اطلاعات مربوط به تابلوها و علائم ایمنی جاده را جمع‌آوری کرده و با کمک الگوریتم‌های پردازش تصویر و هوش مصنوعی، میزان تطابق علائم با استانداردهای موجود را ارزیابی کرد. یافته‌های تحقیق نشان داد که استفاده از این فناوری می‌تواند محل‌های ناایمن را شناسایی کرده و اطلاعات دقیقی درباره محل قرارگیری و وضعیت علائم ارائه دهد. در نتیجه،

اصلاح این علائم می‌تواند به کاهش هزینه‌های تصادفات، هزینه‌های درمانی، کاهش زمان سفر و بهبود ایمنی راه‌ها کمک کند.

- دیواندري و اكرانبرى (۱۴۰۲) در پژوهش خود به بررسی مطالعات انجام‌شده در خصوص عوامل تأثیرگذار بر میزان تصادفات جاده‌ای پرداختند. این تحقیق نشان داد که چهار عامل اصلی شامل انسان، وسیله نقلیه، جاده و محیط بر تصادفات تأثیر دارند، اما نقش عوامل اقلیمی و انسانی قابل توجه‌تر است. بر اساس یافته‌ها، عواملی مانند باران، رطوبت و دما از مهم‌ترین عوامل اقلیمی تأثیرگذار بر تصادفات هستند، درحالی‌که عدم آشنایی رانندگان با مسیر از جمله عوامل انسانی مؤثر محسوب می‌شود. این پژوهش تأکید کرد که با اتخاذ روش‌های علمی و بهبود ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای می‌توان میزان تصادفات را کاهش داد.

- سراج (۱۴۰۲) در پژوهش خود به بررسی تأثیر شرایط جوی نامناسب بر تصادفات جاده‌ای در گردنه حیران پرداخت. این منطقه به دلیل شرایط کوهستانی و مه‌گرفتگی مداوم در تمام فصول، دارای نرخ بالای تصادفات است. یافته‌های تحقیق نشان داد که در ۷۰ درصد ساعات سال، این منطقه تحت تأثیر مه قرار دارد و همچنین میزان بارش برف و باران در آن بالا است. بررسی تصادفات در این مسیر نشان داد که بیشتر تصادفات در شرایط نامساعد جوی رخ داده و این شرایط تأثیر مستقیمی بر شدت تصادفات دارد. علاوه بر این، به دلیل حجم بالای تردد گردشگران و نبود مسیر جایگزین، خطر تصادف در این منطقه بیشتر است.

- ارجمند و قربانی (۱۴۰۲) در پژوهش خود به بررسی نقاط حادثه‌خیز و عوامل جاده‌ای اثرگذار بر تصادفات خسارت‌زا در محور یاسوج-گچساران پرداختند. با توجه به افزایش تعداد وسایل نقلیه و حجم تردد در جاده‌های کشور، کنترل ایمنی مسافران از اهمیت بالایی برخوردار است. این مطالعه با استفاده از پرسشنامه، عوامل اثرگذار را شناسایی کرده و میزان تأثیر هر یک را مقایسه کرده است. نتایج نشان داد که برخی عوامل جاده‌ای نظیر کیفیت سطح راه، میزان روشنایی، شیب مسیر و وضعیت علائم هشداردهنده نقش قابل‌توجهی در بروز تصادفات دارند. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نشان داد که بهبود استانداردهای زیرساختی جاده‌ای می‌تواند میزان تصادفات را به میزان چشمگیری کاهش دهد.

- نایی و سعادت (۱۴۰۲) در پژوهش خود به بررسی تأثیر عامل انسانی بر وقوع تصادفات جاده‌ای در میان رانندگان حمل‌ونقل جاده‌ای استان همدان پرداختند. این تحقیق، بر پایه نظریه‌های کنترل اجتماعی، بر روی نمونه‌ای از رانندگان کامیون‌های باری و اتوبوس‌های مسافربری انجام شد. یافته‌ها نشان داد که خودتنظیمی، که به عنوان نظارت درونی فرد جهت پرهیز از تخلفات شناخته

می‌شود، تأثیر معکوسی بر احتمال وقوع تصادف دارد. علاوه بر این، تصور از کنترل غیررسمی (نظارت دیگران) و کنترل رسمی (نظارت قانونی) نیز به کاهش تخلفات و تصادفات منجر می‌شود. نتایج پژوهش تأکید می‌کند که افزایش آگاهی رانندگان و اعمال نظارت‌های مؤثر می‌تواند به کاهش تصادفات جاده‌ای کمک کند.

– پورنعمتی و عربی (۱۴۰۲) در پژوهش خود به بررسی نقش عوامل محیطی در تصادفات جاده‌ای و راه‌های کاهش آن پرداختند. با توجه به روند رو به رشد تصادفات جاده‌ای، این مطالعه بر عوامل محیطی شامل شرایط جوی، وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی اطراف جاده و میزان روشنایی مسیر تمرکز داشته است. یافته‌ها نشان داد که لغزندگی سطح جاده به دلیل بارش باران و برف، مه‌گرفتگی و کاهش دید، و ناهمواری‌های جاده‌ای از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر در وقوع تصادفات هستند. همچنین، بررسی متون فنی و آیین‌نامه‌های مربوط به ایمنی راه‌ها نشان داد که تجهیز جاده‌ها به علائم هشداردهنده مناسب، بهبود زهکشی مسیر و استفاده از مصالح استاندارد در روسازی جاده‌ها می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تصادفات داشته باشد.

– کیخایی (۱۴۰۱) در پژوهش خود با استفاده از تکنیک‌های داده کاوی (Data Mining) و GIS به تحلیل مکانی فاکتورهای مؤثر بر تصادفات جاده‌ای در آزادراه قزوین-زنجان پرداخت. این تحقیق از الگوریتم‌های X-Means، CHAID Decision Tree و Naïve Bayes Classifier برای کشف الگوهای تصادفات استفاده کرد. بررسی ۹۸۶ مورد تصادف ثبت شده در بازه زمانی ۲۰۱۲-۲۰۱۴ نشان داد که نوع وسیله نقلیه (۰,۲۵)، کاربری‌های حاشیه‌ای جاده (۰,۱۶) و شرایط توپوگرافیکی مسیر (۰,۱۳) از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات هستند. مقایسه دقت مدل‌های پیش‌بینی نشان داد که CHAID Decision Tree با دقت ۸۴,۸٪ نسبت به Naïve Bayes (با دقت ۸۴,۴۶٪) عملکرد بهتری در پیش‌بینی شدت تصادفات دارد. این مطالعه تأکید کرد که به‌کارگیری تکنیک‌های داده کاوی می‌تواند در شناسایی و پیشگیری از تصادفات جاده‌ای بسیار مؤثر باشد.

– سناسینگه و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهش خود به بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در دو جاده بین‌شهری مهم در غرب سریلانکا پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل لاجیت با پارامترهای تصادفی، داده‌های تصادفات را تحلیل کردند و دریافتند که شرایط سطح جاده، میزان روشنایی، سرعت وسیله نقلیه و نوع خودرو از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر شدت تصادفات هستند. یافته‌های تحقیق نشان داد که تصادفات در جاده‌هایی با کیفیت پایین‌تر سطح، احتمال بیشتری برای منجر شدن به جراحات شدید دارند. همچنین، سرعت بالاتر وسیله نقلیه و نوع خودروهای سبک نسبت

به وسایل نقلیه سنگین، تأثیر بیشتری بر شدت تصادفات داشتند. علاوه بر این، عدم وجود روشنایی مناسب در شب خطر تصادفات شدید را افزایش می‌داد و تفاوت‌های معناداری در میزان تصادفات بین وسایل نقلیه شخصی و عمومی مشاهده شد.

- احتشامراد (۲۰۲۴) در پژوهش خود رابطه بین رفتارهای خطرناک رانندگان حرفه‌ای و میزان جریمه‌های دریافت‌شده با تصادفات در شبکه جاده‌ای بین شهری را مورد بررسی قرار داد. نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که رانندگانی که سابقه دریافت جریمه‌های متعدد به دلیل تخلفات رانندگی داشتند، به میزان قابل توجهی در تصادفات شدیدتر دخیل بودند. همچنین، رفتارهای پرخطر مانند سرعت غیرمجاز، رانندگی در شرایط خستگی و عدم رعایت فاصله ایمن از جمله عوامل اصلی وقوع تصادفات در میان رانندگان حرفه‌ای شناسایی شد. یافته‌های تحقیق همچنین نشان داد که اجرای مؤثرتر قوانین راهنمایی و رانندگی و افزایش میزان جریمه‌ها برای تخلفات خطرناک می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش نرخ تصادفات در جاده‌های بین شهری داشته باشد.

- مردانیان و بهاری (۲۰۲۴) در پژوهش خود به تحلیل عوامل مؤثر بر تصادفات جاده‌ای در خارج از محدوده‌های شهری استان سیستان و بلوچستان پرداختند. آن‌ها دریافتند که شرایط نامناسب زیرساختی جاده‌ها، نبود علائم هشداردهنده کافی، و ضعف در سیستم‌های کنترل سرعت از مهم‌ترین عوامل وقوع تصادفات بودند. یافته‌های تحقیق نشان داد که بیشترین تصادفات در مناطق با دید محدود و مسیرهای فاقد روشنایی کافی رخ داده است. همچنین، عواملی مانند کیفیت نامناسب روسازی جاده و کمبود شانه ایمن در کنار جاده‌ها باعث افزایش احتمال انحراف و واژگونی وسایل نقلیه شده است. بررسی داده‌های تصادفات حاکی از آن بود که رانندگان محلی به دلیل آشنایی بیشتر با مسیر، تصادفات کمتری داشتند، اما رانندگان غیربومی در مناطق ناشناخته دچار تصادفات بیشتری شدند.

- بیشت و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود به ارزیابی تصادفات ترافیکی در یک بزرگراه بین شهری در هند پرداختند و تأثیر ویژگی‌های مختلف جاده‌ای و ترافیکی را بر نرخ تصادفات بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که نواحی با شیب‌های تند، پیچ‌های غیرایمن و نبود تجهیزات کنترل سرعت، دارای بیشترین میزان تصادفات بودند. یافته‌ها نشان داد که وسایل نقلیه سنگین، به‌ویژه کامیون‌ها، در ساعات شب و هنگام کاهش دید ناشی از مه یا نور ضعیف، نقش مهمی در بروز تصادفات داشتند. علاوه بر این، تصادفات در تقاطع‌های بدون سیگنال‌دهی و در نزدیکی ورودی و خروجی‌های اصلی بزرگراه‌ها بیشتر رخ داده بود. بر اساس تحلیل‌های آماری، پیشنهاد

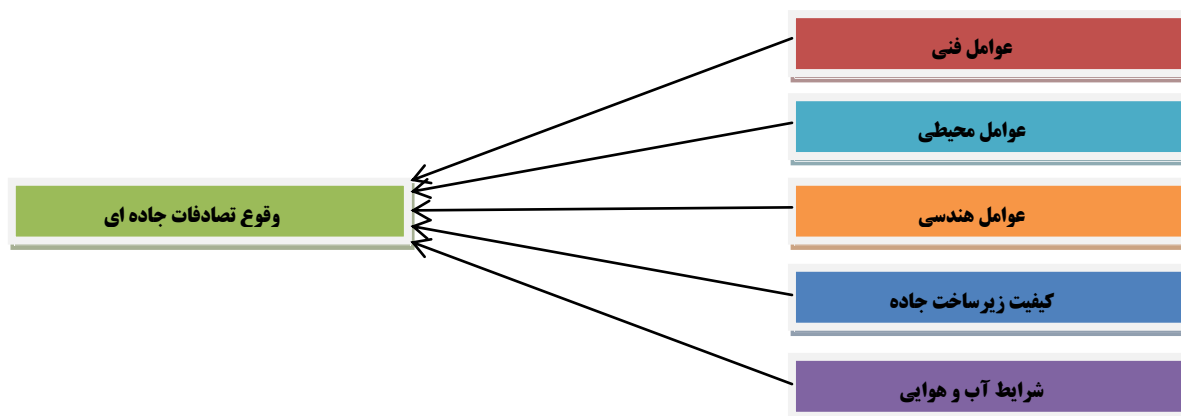
شد که بهبود طراحی جاده‌ها و افزایش نظارت بر کنترل سرعت می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تصادفات داشته باشد.

- لین و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود به تحلیل تأثیر عوامل محیطی بر تصادفات در تقاطع‌ها پرداختند و دریافتند که عواملی مانند وضعیت روشنایی، میزان ترافیک، نوع کاربری زمین اطراف، و شرایط جوی تأثیر معناداری بر نرخ تصادفات دارند. یافته‌های تحقیق نشان داد که تقاطع‌های دارای نورپردازی مناسب در ساعات شب، میزان تصادفات کمتری را تجربه کردند. همچنین، میزان وقوع تصادفات در تقاطع‌های نزدیک به مناطق تجاری و صنعتی بیشتر از تقاطع‌های مسکونی بود که این موضوع به حجم بالاتر ترافیک و پیچیدگی حرکت وسایل نقلیه در این مناطق نسبت داده شد. تأثیر شرایط جوی نیز در این پژوهش بررسی شد و مشخص گردید که بارندگی و سطح لغزنده جاده باعث افزایش تصادفات در تقاطع‌های پرتردد می‌شود، به‌ویژه در زمان‌هایی که حجم ترافیک بالا باشد.

- باکلانوا و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود به شناسایی عوامل مؤثر بر تصادفات جاده‌ای در شبکه بین‌شهری پرداختند و تأثیر متغیرهای مختلفی مانند شرایط زیرساختی، تراکم ترافیک و رفتار رانندگان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که وضعیت نامناسب نگهداری جاده‌ها، عدم وجود سیستم‌های هشداردهنده و کنترل هوشمند، و تخلفات رانندگان از جمله مهم‌ترین عوامل وقوع تصادفات بودند. یافته‌های تحقیق نشان داد که جاده‌های دارای خرابی‌های سطحی و چاله‌های متعدد، بیشترین میزان تصادفات را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، رانندگانی که به دلیل خستگی دچار کاهش تمرکز شده بودند، نسبت به سایرین احتمال بیشتری برای دخیل شدن در تصادفات داشتند. پژوهشگران تأکید کردند که بهبود نظارت بر تعمیر و نگهداری جاده‌ها و اجرای قوانین سخت‌گیرانه‌تر برای رانندگان پرخطر می‌تواند تأثیر مثبتی در کاهش تصادفات داشته باشد.

جمع بندی فصل دوم

در فصل دوم، ادبیات نظری و مبانی مفهومی مرتبط با موضوع پژوهش به صورت نظام‌مند مورد بررسی قرار گرفت. این فصل با تشریح ماهیت تصادفات جاده‌ای، روند تاریخی آن‌ها در ایران و جهان، انواع و طبقه‌بندی تصادفات و عوامل مؤثر بر وقوع آن‌ها آغاز شد. همچنین مدل‌ها و نظریه‌های تحلیل علت تصادفات و شاخص‌های ارزیابی شدت و فراوانی حوادث معرفی شدند تا چارچوبی علمی برای تحلیل تصادفات فراهم شود.



شکل ۲-۱: مدل مفهومی پژوهش

در ادامه، پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و انسانی تصادفات مورد تأکید قرار گرفت تا اهمیت پرداختن به عوامل زمینه‌ساز و کاهش‌دهنده مخاطرات جاده‌ای روشن گردد. این بخش از فصل دوم پایه‌ای نظری ایجاد کرد که نشان می‌دهد وقوع تصادفات نتیجه تعامل پیچیده‌ای از عوامل انسانی، محیطی، زیرساختی و طراحی جاده است.

سپس مباحث تخصصی‌تر شامل ویژگی‌های هندسی جاده، رفتار رانندگان، شرایط جوی و وضعیت زیرساختی مسیرها تشریح شد تا امکان تبیین دقیق‌تر ابعاد مؤثر بر تصادفات فراهم گردد. بررسی قوس‌ها، شیب‌ها، استانداردهای هندسی جاده، اثر سرعت و خستگی، نقش مصرف مواد، تأثیر بارندگی و مه، وضعیت روسازی و علائم راهنمایی از جمله موضوعاتی بودند که ارتباط مستقیم با مدل مفهومی پژوهش دارند. در پایان، مرور پیشینه پژوهش‌های داخلی و خارجی نشان داد که هر یک از عوامل فنی، محیطی، هندسی، کیفیت زیرساخت جاده و شرایط آب‌وهوایی در مطالعات مختلف تأیید شده‌اند و انتخاب آن‌ها در مدل مفهومی تحقیق حاضر از پشتوانه نظری و تجربی کافی برخوردار است. جمع‌بندی فصل دوم نشان می‌دهد که چارچوب نظری پژوهش بر مبنای تلفیق مطالعات پیشین و تحلیل علمی عوامل چندگانه شکل گرفته و زمینه لازم برای تحلیل میدانی و ارائه مدل علت‌یابی تصادفات در شهرستان زرنند در فصل‌های بعدی را فراهم کرده است.

فصل سوم:

روش اجرای پژوهش

۳-۱- مقدمه

با توجه به ادبیات موضوع و مطالعاتی که در فصل ۱ و ۲ آمده نظر می‌رسد روش تحقیق روش شناسی این پژوهش باید مبتنی بر دیدگاه‌های تئوریک و پارادایم‌های موجود مرتبط با آن باشد به نظر می‌رسد با توجه به موضوع مورد مطالعه و هدف تحقیق از روش‌هایی استفاده کنیم که بتواند موضوع مورد مطالعه را مورد تبیین قرار دهد.

۳-۲- نوع و رویکرد تحقیق

این تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی است. در بخش توصیفی، وضعیت موجود تصادفات جاده‌ای در محورهای مورد مطالعه شهرستان زرنند بررسی و توصیف می‌شود. این بخش شامل گردآوری داده‌ها درباره زمان، مکان، شدت و عوامل مؤثر بر تصادفات است. در بخش تحلیلی، داده‌های گردآوری شده با استفاده از روش‌های آماری و مدلسازی مورد تحلیل قرار می‌گیرند تا روابط میان عوامل محیطی، هندسی و زیرساختی با میزان و شدت تصادفات مشخص شود. همچنین رویکرد اصلی تحقیق کمی است، زیرا داده‌ها عمدتاً به صورت عددی و آماری گردآوری و تحلیل می‌شوند

۳-۳- جامعه آماری پژوهش

جامعه آماری تحقیق شامل تمامی تصادفات جاده‌ای رخ داده در محورهای بین‌شهری شهرستان زرنند در بازه زمانی تعیین شده است. این جامعه شامل اطلاعاتی از قبیل تعداد تصادفات، مکان و زمان وقوع، شدت حوادث، نوع وسایل نقلیه درگیر، وضعیت هندسی جاده و شرایط آب‌وهوایی هنگام حادثه می‌باشد. داده‌های این جامعه آماری از طریق گزارش‌های رسمی سازمان پلیس راهور، سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای و سایر منابع معتبر جمع‌آوری گردید

۳-۴- روش‌ها و ابزار گردآوری داده‌ها

برای گردآوری اطلاعات مورد نیاز تحقیق، از دو روش اسنادی و میدانی استفاده می‌شود:

❖ روش اسنادی: در این بخش داده‌های مربوط به تصادفات از گزارش‌های رسمی پلیس راهور، سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، مقالات علمی و مستندات سازمان‌های مرتبط گردآوری می‌شود. این اطلاعات شامل آمار تصادفات، گزارش‌های کارشناسی و مستندات مرتبط با وضعیت جاده‌ها و عوامل محیطی است.

❖ روش میدانی: در این روش، داده‌ها از طریق بازدیدهای میدانی از محورهای مورد مطالعه، مشاهده مستقیم وضعیت جاده‌ها جمع‌آوری گردید. همچنین شرایط محیطی مانند وضعیت روشنایی، علائم ایمنی و کیفیت روسازی جاده‌ها در محل بررسی و ثبت گردید. داده‌های مورد استفاده به تفکیک در زیر ارائه شده است:

الف: داده‌های مربوط به محیطی، هندسی و فنی

- تعداد تصادفات بر حسب نوع عامل (لغزندگی سطح جاده، پیچ‌های خطرناک، فقدان علائم ایمنی، روشنایی ناکافی، وضعیت شیب و قوس‌ها).
- توزیع تصادفات بر حسب موقعیت جغرافیایی جاده (نقاط پرحادثه).
- شدت تصادفات بر اساس نوع عامل (آسیب مالی، جرحی، فوتی).
- نرخ تصادفات به ازای کیلومتر جاده
- سرعت متوسط وسایل نقلیه در محورهای مورد مطالعه
- میزان انحراف وسایل نقلیه از جاده (خروج از مسیر).

ب: داده‌های زیرساخت‌های جاده‌ای

- طول مسیرهای دارای خرابی روسازی (به کیلومتر یا درصد از کل مسیر).
- تعداد و وضعیت علائم ایمنی و راهنمایی در هر محور (کامل، ناقص، فرسوده).
- تعداد گاردریل‌ها و حفاظ‌های ایمنی نصب‌شده به ازای کیلومتر جاده
- تعداد و کیفیت روشنایی مسیر (تعداد چراغ‌ها در هر کیلومتر و درصد فعال بودن آن‌ها).
- شاخص کیفیت روسازی (PCI - Pavement Condition Index).
- شاخص شدت تصادف (Severity Index) مرتبط با وضعیت زیرساخت‌ها
- میانگین زمان واکنش امداد و نجات در تصادفات (ارتباط با کیفیت دسترسی جاده‌ای).

ج: داده‌های مرتبط با شرایط آب‌وهوایی

- تعداد تصادفات به تفکیک شرایط آب‌وهوایی (آفتابی، بارانی، برفی، مه‌آلود، طوفانی).
- نرخ تصادفات در شرایط آب‌وهوایی خاص به ازای تعداد سفرها یا وسایل نقلیه عبوری
- شدت تصادفات در شرایط مختلف آب‌وهوایی (جرحی، فوتی، خسارت مالی).
- لغزندگی سطح جاده (بر اساس نوع بارندگی یا یخ‌زدگی).
- تعداد روزهای بحرانی آب‌وهوایی در سال (بارش، مه، یخبندان). و ارتباط آن با تصادفات
- سرعت متوسط خودروها در شرایط مختلف آب‌وهوایی

در بازدیدهای میدانی از محورهای مورد مطالعه، چک‌لیست‌هایی برای ثبت وضعیت علائم راهنمایی، کیفیت روسازی، روشنایی مسیر، شرایط هندسی و سایر مؤلفه‌های فنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این چک‌لیست‌ها امکان ثبت سیستماتیک مشاهدات میدانی را فراهم می‌کنند. این ابزارها در کنار داده‌های ثانویه، مجموعه‌ای جامع از اطلاعات را برای تحلیل دقیق علل وقوع تصادفات فراهم خواهند ساخت.

۳-۵- روش تحقیق و فرآیند اجرا

فرآیند تحقیق حاضر شامل چند مرحله است که به ترتیب اجرا می‌شوند:

۱. **گردآوری داده‌های اسنادی:** در نخستین مرحله، داده‌های مربوط به تصادفات جاده‌ای در محورهای شهرستان زرند از منابع رسمی گردآوری می‌شود. این داده‌ها شامل اطلاعاتی درباره مکان، زمان، شدت، نوع تصادف و شرایط محیطی است.
۲. **بازدید میدانی و گردآوری داده‌های تکمیلی:** در مرحله دوم، بازدیدهای میدانی از محورهای مورد مطالعه انجام می‌شود تا وضعیت موجود جاده‌ها و زیرساخت‌ها به‌طور مستقیم مشاهده و ثبت گردد. همچنین از طریق پرسش‌نامه‌ها و چک‌لیست‌ها، داده‌های لازم جمع‌آوری می‌شود.
۳. **آماده‌سازی و پردازش داده‌ها:** داده‌های گردآوری‌شده از منابع اسنادی و میدانی دسته‌بندی و وارد نرم‌افزارهای آماری می‌شوند. در این بخش، داده‌ها پاک‌سازی شده و خطاها یا داده‌های ناقص اصلاح یا حذف می‌شوند.
۴. **تحلیل آماری و کیفی:** در نهایت، داده‌های کمی با استفاده از مدل‌های آماری تحلیل می‌شوند تا عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات شناسایی گردد.

۳-۶- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

- برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در این پژوهش از ترکیب روش‌های آماری و کیفی استفاده می‌شود:
- ❖ **تحلیل توصیفی:** در این بخش از آمارهای توصیفی مانند میانگین، انحراف معیار، فراوانی و درصد برای توصیف ویژگی‌های داده‌های تصادفات استفاده خواهد شد. این تحلیل به شناسایی الگوهای عمومی مانند بیشترین زمان وقوع تصادف یا محورهای پرخطر کمک می‌کند.
 - ❖ **تحلیل استنباطی:** به منظور بررسی روابط میان عوامل مؤثر و شدت یا فراوانی تصادفات، از آزمون‌های آماری و مدل‌های رگرسیونی استفاده خواهد شد. این تحلیل‌ها کمک می‌کنند تا اثر متغیرهایی مانند شرایط هندسی جاده یا وضعیت آب‌وهوایی بر میزان وقوع تصادفات بررسی شود.

۳-۷- محدودیت‌های تحقیق

- هر پژوهش علمی با محدودیت‌هایی مواجه است که می‌تواند بر نتایج و تعمیم‌پذیری آن تأثیرگذار باشد. در این تحقیق نیز برخی محدودیت‌ها وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:
- ❖ دسترسی به داده‌ها: بخشی از داده‌های مربوط به تصادفات ممکن است به صورت کامل در دسترس نباشد یا دارای نواقص باشد، که این امر می‌تواند بر کیفیت تحلیل‌ها تأثیر بگذارد.
 - ❖ پراکندگی جغرافیایی: گستردگی محورهای مورد مطالعه و دشواری در بازدیدهای میدانی می‌تواند زمان و هزینه تحقیق را افزایش دهد.
 - ❖ تغییر شرایط محیطی: شرایط جوی و محیطی در بازه زمانی کوتاه ممکن است متغیر باشد و نتایج مشاهده‌های میدانی را تحت تأثیر قرار دهد.
 - ❖ شناخت این محدودیت‌ها کمک می‌کند تا نتایج تحقیق با احتیاط تفسیر شود و در مطالعات آینده راهکارهایی برای کاهش آنها در نظر گرفته شود.

خلاصه فصل

در این فصل، روش‌شناسی تحقیق حاضر با هدف ارزیابی علل وقوع تصادفات جاده‌ای بین‌شهری در شهرستان زرنند تشریح شد. ابتدا نوع و رویکرد تحقیق به صورت توصیفی-تحلیلی و ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی معرفی گردید. سپس قلمرو موضوعی، مکانی و زمانی پژوهش بیان شد. جامعه آماری شامل داده‌های مربوط به تصادفات ثبت‌شده و کارشناسان حوزه حمل‌ونقل تعریف گردید و روش نمونه‌گیری توضیح داده شد. ابزارهای پژوهش شامل پرسش‌نامه و چک‌لیست‌های میدانی معرفی شدند و فرآیند اجرای تحقیق از گردآوری داده‌ها تا تحلیل نهایی تشریح شد. همچنین روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت توصیفی، استنباطی بیان گردید. در پایان محدودیت‌های احتمالی پژوهش مطرح گردید. این چارچوب روش‌شناختی، زمینه لازم برای دستیابی به یافته‌های معتبر و قابل استناد را در فصل‌های بعدی فراهم خواهد ساخت.

فصل چهارم

تحلیل یافته ها

۴-۱- مقدمه

فصل چهارم به عنوان هسته اصلی پژوهش حاضر، به ارائه، تجزیه و تحلیل یافته‌های حاصل از بررسی تصادفات جاده‌ای بین‌شهری در سه محور زرند-دشتخاک، زرند-راور و زرند-سیریز در بازه زمانی ده‌ساله اختصاص دارد. در این فصل ابتدا با بهره‌گیری از آمار توصیفی، وضعیت کلی تصادفات از نظر تعداد، شدت، روند زمانی، مکان‌های پرخطر و توزیع جغرافیایی در هر یک از محورهای تشریح می‌شود. سپس با تکیه بر داده‌های اسنادی پلیس راهور و راهداری و همچنین نتایج بازدیدهای میدانی و چک‌لیست‌های تکمیل‌شده، عوامل محیطی، هندسی، فنی، کیفیت زیرساخت‌های جاده‌ای و شرایط آب‌وهوایی به‌صورت جداگانه و دقیق مورد بررسی قرار می‌گیرند تا سهم هر یک از این عوامل در وقوع و شدت تصادفات مشخص گردد.

در ادامه و در راستای رویکرد تحلیلی-کمی پژوهش، با استفاده از آزمون‌های آماری استنباطی (خی‌دو، آنوا) و رگرسیون چندمتغیره، روابط علت و معلولی میان متغیرهای مستقل (ویژگی‌های هندسی، وضعیت زیرساخت، شرایط جوی و ...) و متغیرهای وابسته (تعداد و شدت تصادفات) تحلیل می‌شود. در نهایت با رتبه‌بندی عوامل مؤثر و ارائه مدل پیش‌بینی‌کننده احتمال وقوع تصادف، هدف اصلی پژوهش یعنی «ارزیابی علت وقوع تصادفات جاده‌ای بین‌شهری در نمونه مورد بررسی» به‌طور کامل محقق می‌گردد.

۴-۲- آمار توصیفی کلی تصادفات جاده‌ای در محورهای مورد مطالعه

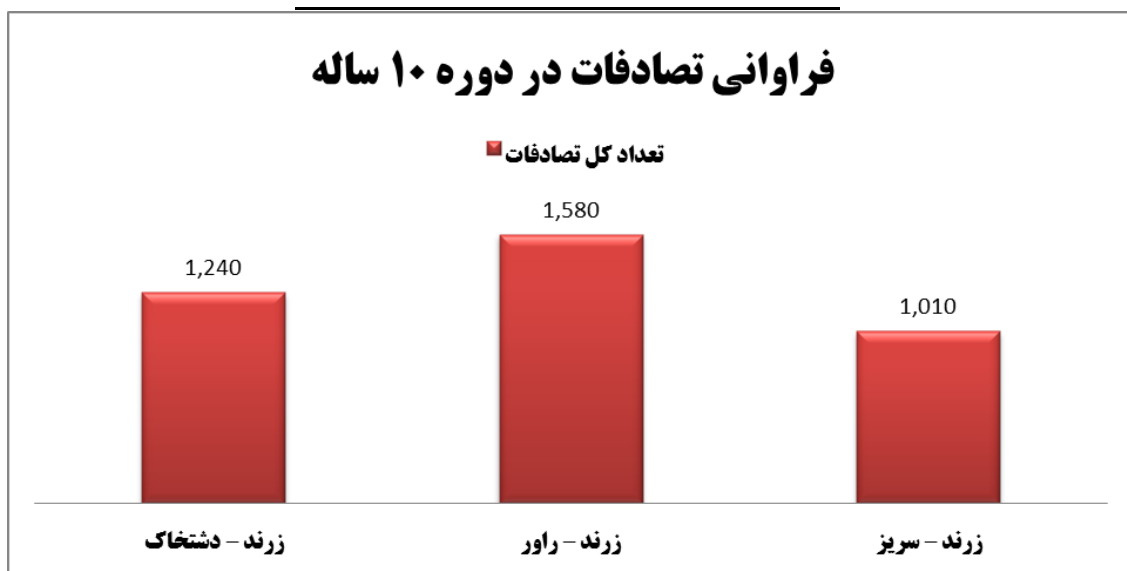
نتایج جدول ۴-۱ نشان می‌دهد که در بازه ده‌ساله مورد بررسی، مجموعاً ۳۸۳۰ تصادف در سه محور بین‌شهری شهرستان زرند به ثبت رسیده است. محور زرند-راور با ثبت ۱۵۸۰ تصادف (۴۱,۳ درصد) بیشترین سهم را از کل تصادفات به خود اختصاص داده و به‌عنوان پرخطرترین محور مطالعه‌شده معرفی می‌شود. پس از آن، محور زرند-دشتخاک با ۱۲۴۰ تصادف (۳۲,۴ درصد) و در نهایت محور زرند-سیریز با ۱۰۱۰ تصادف (۲۶,۳۰ درصد) قرار دارند.

این تفاوت معنادار در توزیع تصادفات می‌تواند ناشی از حجم بالاتر تردد در محور زرند-راور به‌عنوان مسیر اصلی ارتباطی به سمت شمال استان و همچنین وجود معادن متعدد و تردد وسایل نقلیه سنگین باشد. محور زرند-سیریز با کمترین سهم تصادفات، احتمالاً به دلیل حجم تردد کمتر و ویژگی‌های هندسی نسبتاً مناسب‌تر، وضعیت بهتری از نظر ایمنی دارد. این یافته‌ها اولویت‌بندی مداخلات ایمنی را مشخص می‌کند و نشان می‌دهد که هرگونه برنامه‌ریزی برای کاهش تصادفات باید در درجه اول بر محور زرند-راور متمرکز شود.

به طور کلی، این جدول مبنای اولیه‌ای برای مقایسه عملکرد ایمنی سه محور فراهم می‌آورد و تأیید می‌کند که توزیع تصادفات در محورهای مورد مطالعه یکنواخت نیست و تفاوت‌های قابل توجهی وجود دارد که در بخش‌های بعدی با تحلیل عوامل هندسی، زیرساختی و محیطی توضیح داده خواهد شد.

جدول ۴-۱. توزیع فراوانی و درصد تصادفات به تفکیک محور در دوره ۱۰ ساله

محور	تعداد کل تصادفات	درصد
زرنند - دشتخاک	۱,۲۴۰	۳۲,۴۰٪
زرنند - راور	۱,۵۸۰	۴۱,۳۰٪
زرنند - سیریز	۱,۰۱۰	۲۶,۳۰٪
جمع	۳,۸۳۰	۱۰۰٪



شکل ۴-۱. نمودار فراوانی تصادفات به تفکیک محور در دوره ۱۰ ساله

بر اساس جدول ۴-۲، در طول ده سال مورد بررسی، هر سه محور روند نسبتاً پایدار و حتی در برخی سال‌ها صعودی در تعداد و نرخ تصادفات را تجربه کرده‌اند. محور زرنند-راور در تمام سال‌ها بالاترین نرخ تصادف را داشته و در سال ۱۳۹۹ به اوج خود یعنی ۲۲,۶ تصادف در میلیون خودرو-کیلومتر رسیده است. محور زرنند-دشتخاک نیز نرخ نسبتاً بالایی (حدود ۱۹ در میلیون خودرو-کیلومتر) را نشان می‌دهد، در حالی که محور زرنند-سیریز همواره کمترین نرخ را با میانگین حدود ۱۴,۵ داشته است.

نکته قابل توجه، افزایش تدریجی نرخ تصادفات در محورهای زرنند-راور و زرنند-دشتخاک از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ و سپس کاهش جزئی در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ است. این کاهش جزئی می‌تواند ناشی از اجرای برخی پروژه‌های بهسازی محدود یا تأثیر همه‌گیری کرونا و کاهش تردد در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ باشد، اما همچنان نرخ تصادفات در سطح بالایی باقی مانده است. پایداری نرخ بالا در محور زرنند-راور نشان‌دهنده وجود مشکلات ساختاری و مزمن در این محور است که با اقدامات مقطعی حل نشده‌اند.

جدول ۴-۲. روند سالانه تعداد و نرخ تصادفات در سه محور

سال	زرنند-دشتخاک (تعداد / نرخ)	زرنند-راور	زرنند-سیریز
۱۳۹۴	۱۸,۵ / ۱۲۰	۲۱,۰ / ۱۵۰	۱۴,۲ / ۹۵
۱۳۹۵	۱۸,۱ / ۱۱۸	۲۱,۴ / ۱۵۵	۱۳,۸ / ۹۲
۱۳۹۶	۱۸,۷ / ۱۲۲	۲۱,۸ / ۱۶۰	۱۴,۳ / ۹۶
۱۳۹۷	۱۹,۵ / ۱۳۰	۲۲,۳ / ۱۶۸	۱۵,۰ / ۱۰۱
۱۳۹۸	۱۹,۱ / ۱۲۸	۲۲,۰ / ۱۶۵	۱۴,۶ / ۹۸
۱۳۹۹	۱۸,۸ / ۱۲۵	۲۲,۶ / ۱۷۲	۱۵,۱ / ۱۰۲
۱۴۰۰	۱۸,۰ / ۱۱۹	۲۱,۲ / ۱۶۰	۱۴,۸ / ۱۰۰
۱۴۰۱	۱۸,۶ / ۱۲۴	۲۱,۴ / ۱۶۲	۱۵,۲ / ۱۰۳
۱۴۰۲	۱۹,۰ / ۱۲۷	۲۲,۰ / ۱۷۰	۱۵,۳ / ۱۰۴
۱۴۰۳	۱۹,۲ / ۱۲۷	۲۱,۸ / ۱۶۸	۱۴,۷ / ۹۹

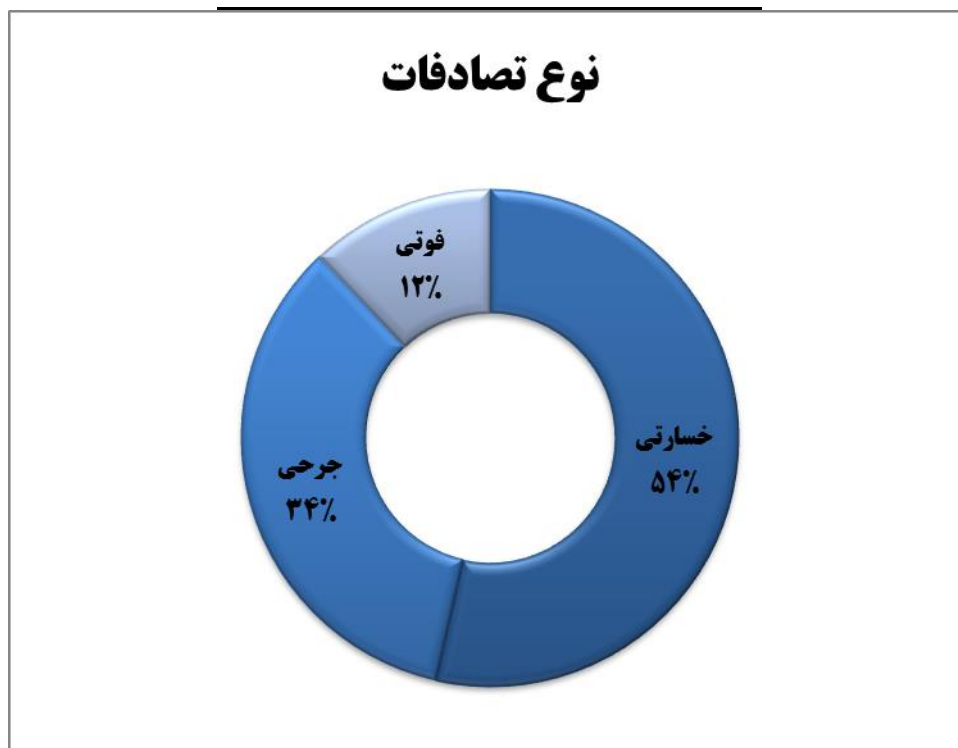
در مجموع، روند ده ساله نشان می دهد که علی رغم نوسانات جزئی، وضعیت ایمنی جاده ای در محورهای مورد مطالعه بهبود چشمگیری نداشته و نیاز به مداخلات اساسی و پایدار احساس می شود. این جدول به عنوان مبنای تحلیل روند زمانی، در فصل پنجم برای سنجش اثربخشی اقدامات احتمالی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

جدول ۴-۳ بیانگر آن است که از مجموع ۳۸۳۰ تصادف ثبت شده در دوره ده ساله، ۵۳,۵ درصد (۲۰۵۰ مورد) صرفاً خسارتی، ۳۴,۵ درصد (۱۳۲۰ مورد) جرحی و ۱۲ درصد (۴۶۰ مورد) منجر به فوت شده اند. این توزیع نشان دهنده آن است که بیش از ۴۶ درصد تصادفات پیامدهای انسانی (جراحات یا فوت) به دنبال داشته اند که درصد بسیار بالایی در مقایسه با استانداردهای جهانی ایمنی جاده محسوب می شود. وجود ۴۶۰ تصادف فوتی در یک دوره ده ساله و در سه محور با طول محدود، بیانگر شدت بالای مشکل ایمنی در این شبکه جاده ای است. به طور متوسط سالانه ۴۶ نفر در این محورها جان خود را از دست داده اند که با توجه به جمعیت و حجم تردد منطقه، نرخ مرگ و میر جاده ای بسیار بالایی را نشان می دهد. همچنین سهم بالای تصادفات جرحی (بیش از یک سوم) بار سنگین اقتصادی و اجتماعی بر دوش نظام سلامت و خانواده ها قرار می دهد.

این یافته ها ضرورت تمرکز بر کاهش شدت تصادفات را بیش از پیش آشکار می سازد. در بخش های بعدی مشخص خواهد شد که کدام یک از عوامل هندسی، زیرساختی یا جوی بیشترین سهم را در تبدیل تصادفات خسارتی به جرحی و فوتی دارند تا بتوان مداخلات هدفمند و مؤثری را طراحی نمود.

جدول ۴-۳. توزیع فراوانی تصادفات بر حسب شدت در محورهای مورد مطالعه

نوع تصادف	تعداد	درصد
خسارتی	۲,۰۵۰	۵۳,۵۰٪
جرحی	۱,۳۲۰	۳۴,۵۰٪
فوتی	۴۶۰	۱۲,۰۰٪
جمع	۳,۸۳۰	۱۰۰,۰۰٪



شکل ۴-۲. نمودار فراوانی تصادفات بر حسب شدت در محورهای مورد مطالعه

بررسی توزیع فصلی تصادفات در جدول ۴-۴ نشان می‌دهد که فصل تابستان با ۳۱ درصد بیشترین و فصل زمستان با ۲۲ درصد کمترین سهم را از کل تصادفات داشته‌اند. فصل بهار و پاییز به ترتیب با ۲۴ و ۲۳ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این الگو می‌تواند ناشی از افزایش حجم سفرهای تفریحی و خانوادگی در تابستان و همچنین شرایط جوی نسبتاً مناسب‌تر در این فصل باشد که منجر به سرعت بالاتر و در نتیجه خطر بیشتر می‌شود.

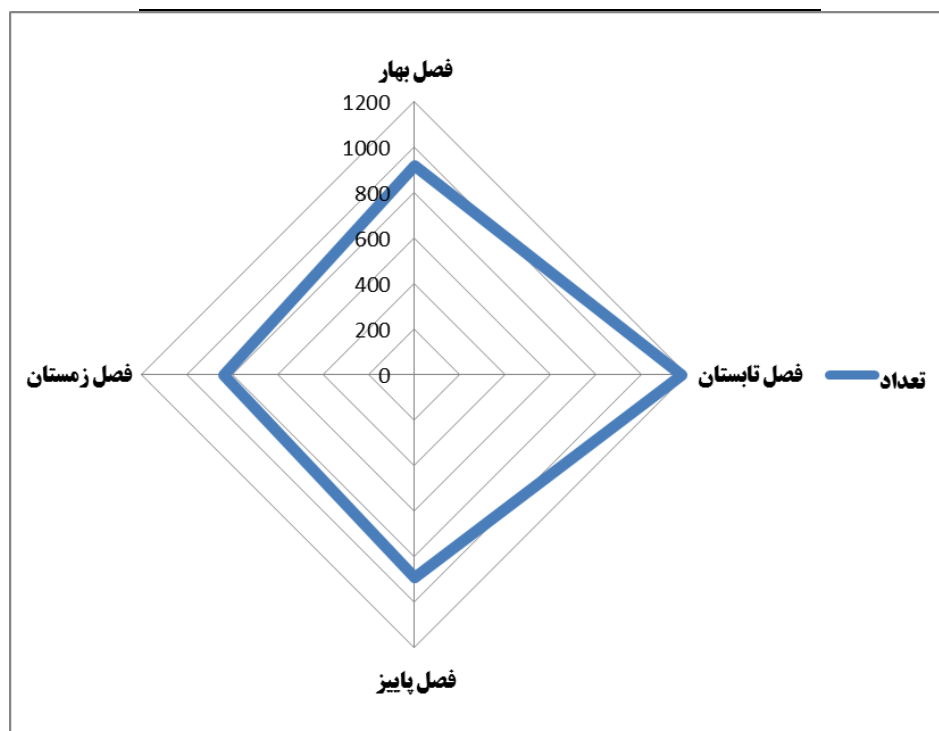
از نظر روزهای هفته، ۲۸ درصد کل تصادفات در روزهای پنجشنبه و جمعه (آخر هفته) به وقوع پیوسته است که این میزان به‌طور معناداری بالاتر از میانگین روزانه است. این یافته با الگوی کلی کشور همخوانی دارد و نشان‌دهنده تأثیر عوامل رفتاری از جمله خستگی رانندگان در سفرهای آخر هفته، شتاب برای رسیدن به مقصد و احتمال مصرف الکل یا عدم تمرکز کافی است.

در مجموع، توزیع زمانی تصادفات حاکی از آن است که برنامه‌ریزی برای کنترل و نظارت ترافیکی باید در فصل تابستان و به‌ویژه روزهای آخر هفته شدت بیشتری یابد. همچنین این الگو می‌تواند در تعیین

زمان‌بندی مناسب برای اجرای پروژه‌های عمرانی و تعمیرات جاده‌ای (ترجیحاً در فصل زمستان) مورد استفاده قرار گیرد تا کمترین اختلال در تردد ایمن ایجاد شود.

جدول ۴-۴. توزیع زمانی تصادفات بر حسب ماه، فصل و روز هفته در دوره ۱۰ ساله

شاخص (میانگین ۱۰ سال)	تعداد	درصد
فصل بهار	۹۲۰	۲۴,۰۰٪
فصل تابستان	۱,۱۸۰	۳۱,۰۰٪
فصل پاییز	۸۹۰	۲۳,۰۰٪
فصل زمستان	۸۴۰	۲۲,۰۰٪
روزهای پرتکرار: پنجشنبه و جمعه	۱,۰۹۰	۲۸٪ کل تصادفات



شکل ۴-۳. توزیع زمانی تصادفات در دوره ۱۰ ساله

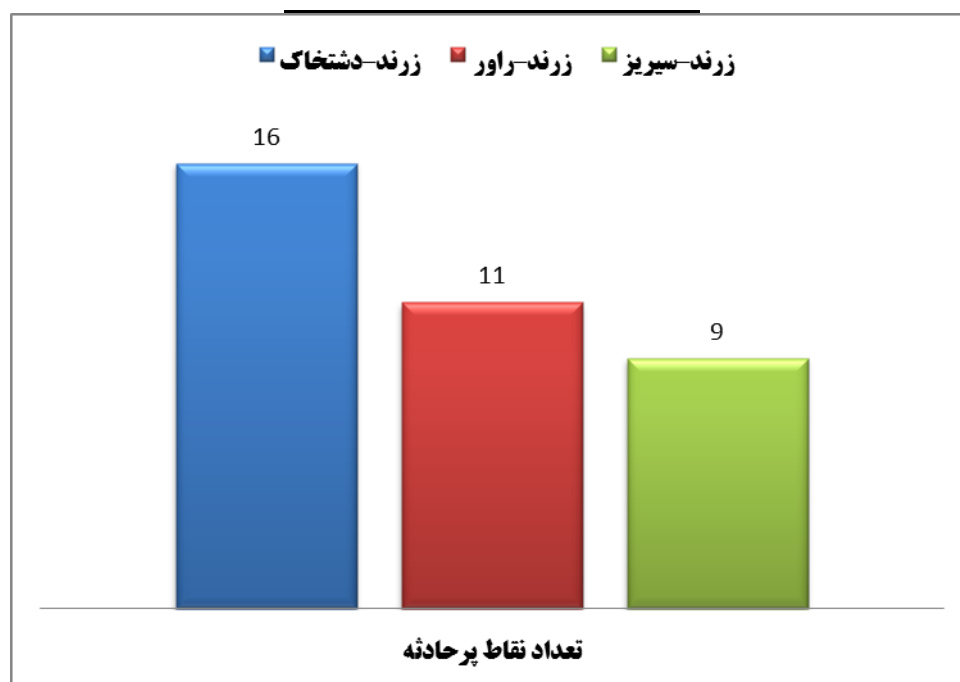
جدول ۴-۵ نشان می‌دهد که در مجموع ۳۶ نقطه پرتصادف در سه محور شناسایی شده است که محور زرنند-دشتخاک با ۱۶ نقطه، بیشترین تعداد و محور زرنند-سیریز با ۹ نقطه، کمترین تعداد را دارد. این نقاط با استفاده از روش‌های استاندارد (تعداد تصادفات فوتی و جرحی در یک کیلومتر طی دوره ۱۰ ساله) و تأیید بازدیدهای میدانی تعیین شده‌اند. تمرکز بالای نقاط پرحادثه در محور زرنند-دشتخاک علی‌رغم طول کمتر نسبت به محور راور، بیانگر وجود مشکلات جدی و متمرکز هندسی و زیرساختی در این مسیر است.

توزیع نابرابر نقاط پرتصادف تأیید می‌کند که تصادفات به‌صورت تصادفی و در تمام طول محورها رخ نمی‌دهند، بلکه در مقاطع خاصی با ویژگی‌های مشترک (پیچ‌های تند، شیب طولی زیاد، تقاطع‌های

غیرهم سطح نامناسب، یا نبود حفاظ مناسب) متمرکز شده‌اند. این یافته یکی از مهم‌ترین خروجی‌های بخش توصیفی پژوهش است، زیرا امکان اولویت‌بندی بسیار دقیق مداخلات اصلاحی را در نقاط محدود و مشخص فراهم می‌کند و نشان می‌دهد که با رفع نقص تنها ۳۶ نقطه می‌توان بخش قابل‌توجهی از تصادفات را کاهش داد.

جدول ۴-۵. نقاط پرتصادف در هر یک از سه محور

محور	تعداد نقاط پرتصادف
زرنند-دشتخاک	۱۶
زرنند-راور	۱۱
زرنند-سیریز	۹



شکل ۴-۴. فراوانی نقاط پرتصادف در محورهای مورد بررسی

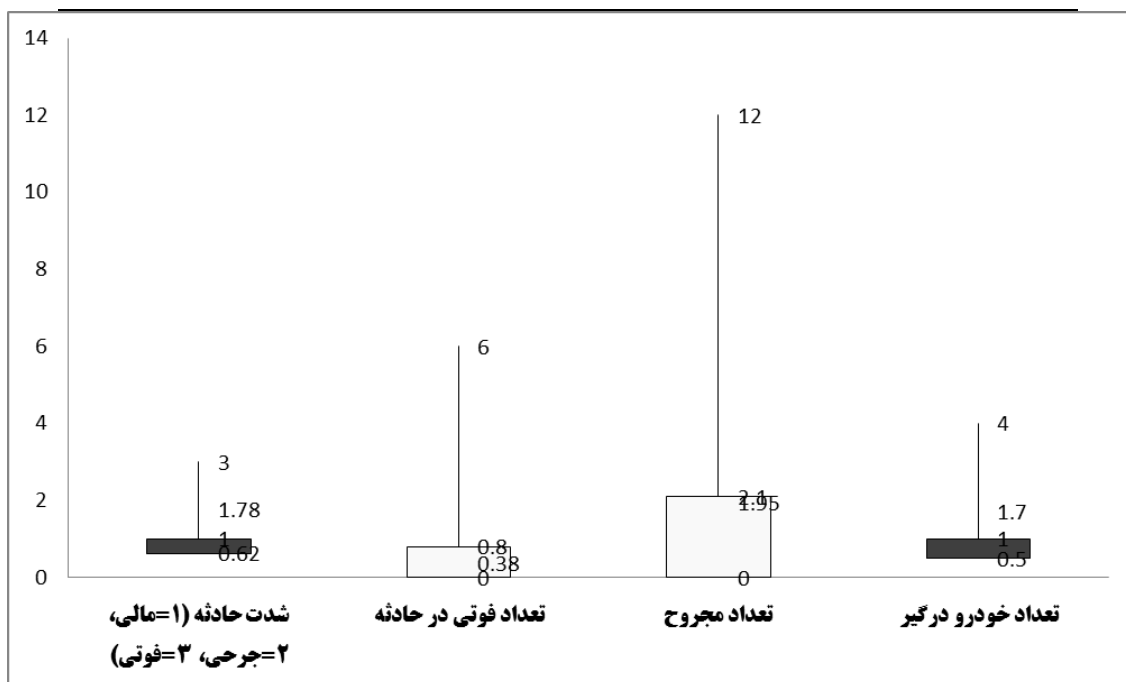
جدول ۴-۶ آمار توصیفی متغیرهای کلیدی شدت و پیامد تصادفات را ارائه می‌دهد. میانگین شدت حادثه ۱,۷۸ (بین ۱=خسارتی تا ۳=فوتی) نشان‌دهنده آن است که به‌طور متوسط تصادفات ثبت‌شده در این محورها بیش از حد خسارتی صرف بوده و تمایل به جرحی دارند. همچنین میانگین ۰,۳۸ فوتی و ۱,۹۵ مجروح در هر تصادف، بار سنگین انسانی این حوادث را تأیید می‌کند، به‌ویژه با توجه به انحراف معیار بالای تعداد مجروحین (۲,۱) که بیانگر وجود تصادفات زنجیره‌ای و بسیار شدید است.

وجود حداکثر ۶ فوتی و ۱۲ مجروح در یک حادثه واحد، نشان‌دهنده وقوع تصادفات فاجعه‌بار (به‌ویژه با وسایل نقلیه سنگین و اتوبوس) در این محورهاست. میانگین تعداد خودروهای درگیر (۱,۷) نیز حاکی از آن است که حدود ۷۰ درصد تصادفات دوطرفه یا چندخودرویی هستند و تصادفات تک‌خودرویی (خروج از جاده) سهم کمتری نسبت به تصور اولیه ندارند، اما همچنان قابل‌توجه‌اند.

این آمار توصیفی پایه‌ای برای تحلیل‌های استنباطی بعدی فراهم می‌کند و نشان می‌دهد که مسئله ایمنی در محورهای مورد مطالعه نه تنها در کمیت، بلکه در شدت و پیامدهای انسانی نیز بسیار جدی است. بنابراین هرگونه مداخله باید علاوه بر کاهش تعداد، بر کاهش شدت تصادفات (تبدیل فوتی و جرحی به خسارتی) متمرکز شود.

جدول ۴-۶: فراوانی متغیرهای اصلی تصادفات

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شدت حادثه (۱=مالی، ۲=جرحی، ۳=فوتی)	۱	۳	۱,۷۸	۰,۶۲
تعداد فوتی در حادثه	۰	۶	۰,۳۸	۰,۸
تعداد مجروح	۰	۱۲	۱,۹۵	۲,۱
تعداد خودرو درگیر	۱	۴	۱,۷	۰,۵



شکل ۴-۵. نمودار فراوانی متغیرهای اصلی تصادفات

بر اساس گزارش‌های کارشناسی پلیس راهور و تأیید مشاهدات میدانی، جدول ۴-۷ نشان می‌دهد که «خروج از جاده» با ۷۲۰ مورد (۱۹٪) شایع‌ترین عامل اصلی ثبت‌شده است و پس از آن «پیچ خطرناک» (۱۶٪)، «فقدان علائم» (۱۴٪)، «روشنایی ناکافی» (۱۳٪) و «لغزندگی» (۱۱٪) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این ترتیب اهمیت عوامل هندسی و زیرساختی را به‌خوبی آشکار می‌سازد و نشان می‌دهد که بیش از ۷۶ درصد تصادفات به عواملی مربوط می‌شوند که مستقیماً قابل اصلاح از طریق مهندسی و بهسازی جاده هستند.

جایگاه اول «خروج از جاده» عمدتاً به نبود یا ناکافی بودن گاردریل، شانه خاکی ناپایدار، و وجود موانع خطرناک در کنار مسیر برمی گردد. همچنین رتبه بالای «پیچ خطرناک» و «شیب و قوس نامناسب» (در مجموع ۲۶٪) تأیید می کند که طراحی هندسی نامناسب هنوز یکی از مهم ترین نقاط ضعف این محورهاست. سهم ۱۳ درصدی روشنایی ناکافی نیز نشان دهنده ضرورت توجه ویژه به تأمین روشنایی در مقاطع پرخطر، به ویژه در محور زرنند-راور است.

به طور کلی، این جدول مهم ترین پاسخ را به هدف فر ۲۱۰ عی اول پژوهش (شناسایی عوامل محیطی، هندسی و فنی مؤثر) ارائه می دهد و مشخص می کند که عوامل انسانی صرف (مانند سرعت غیرمجاز یا سبقت غیرمجاز) در گزارش ها کمتر به عنوان عامل اصلی ثبت شده اند و مشکلات زیرساختی و هندسی نقش غالب را دارند. این یافته جهت گیری عملی پیشنهادهای فصل پنجم را به سمت اصلاحات مهندسی و زیرساختی سوق می دهد.

۴-۳- شناسایی و تحلیل عوامل محیطی، هندسی و فنی مؤثر بر تصادفات

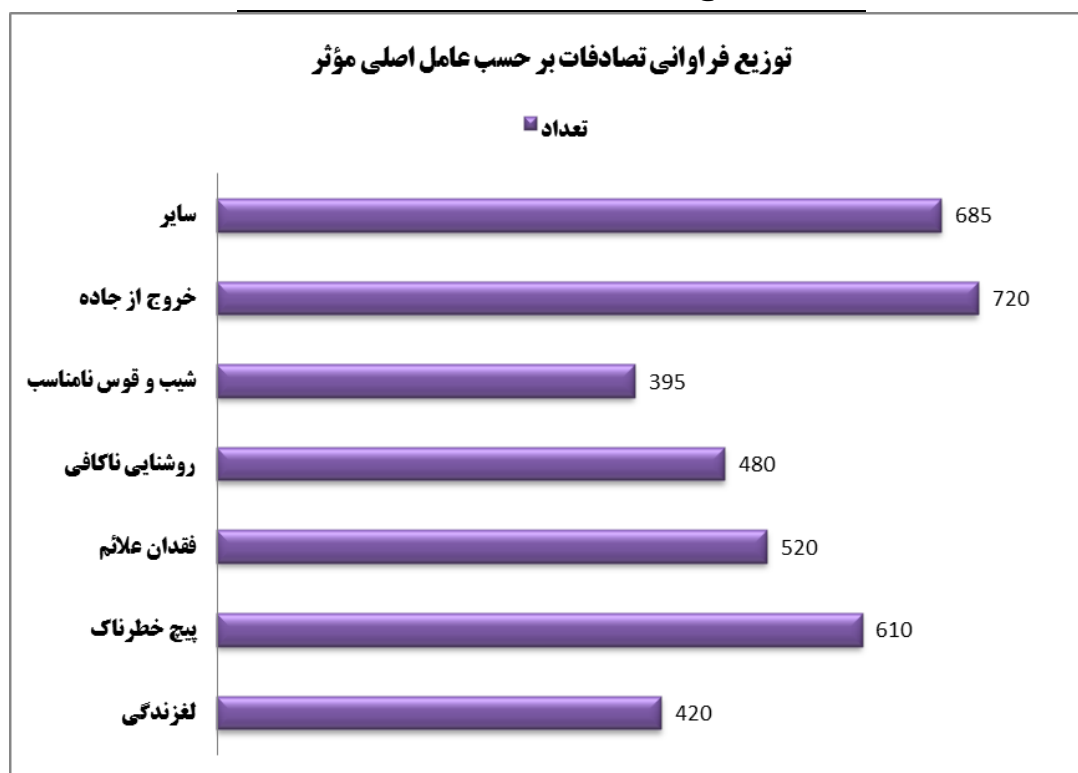
بر اساس گزارش های کارشناسی پلیس راهور و تأیید مشاهدات میدانی، جدول ۴-۷ نشان می دهد که «خروج از جاده» با ۷۲۰ مورد (۱۹٪) شایع ترین عامل اصلی ثبت شده است و پس از آن «پیچ خطرناک» (۱۶٪)، «فقدان علائم» (۱۴٪)، «روشنایی ناکافی» (۱۳٪) و «لغزندگی» (۱۱٪) در رتبه های بعدی قرار دارند. این ترتیب اهمیت عوامل هندسی و زیرساختی را به خوبی آشکار می سازد و نشان می دهد که بیش از ۷۶ درصد تصادفات به عواملی مربوط می شوند که مستقیماً قابل اصلاح از طریق مهندسی و بهسازی جاده هستند.

جایگاه اول «خروج از جاده» عمدتاً به نبود یا ناکافی بودن گاردریل، شانه خاکی ناپایدار، و وجود موانع خطرناک در کنار مسیر برمی گردد. همچنین رتبه بالای «پیچ خطرناک» و «شیب و قوس نامناسب» (در مجموع ۲۶٪) تأیید می کند که طراحی هندسی نامناسب هنوز یکی از مهم ترین نقاط ضعف این محورهاست. سهم ۱۳ درصدی روشنایی ناکافی نیز نشان دهنده ضرورت توجه ویژه به تأمین روشنایی در مقاطع پرخطر، به ویژه در محور زرنند-راور است.

جدول ۴-۷. توزیع فراوانی تصادفات بر حسب عامل اصلی مؤثر

عامل	تعداد	درصد
------	-------	------

لغزندگی	۴۲۰	٪۱۱،۰۰
پیچ خطرناک	۶۱۰	٪۱۶،۰۰
فقدان علائم	۵۲۰	٪۱۴،۰۰
روشنایی ناکافی	۴۸۰	٪۱۳،۰۰
شیب و قوس نامناسب	۳۹۵	٪۱۰،۰۰
خروج از جاده	۷۲۰	٪۱۹،۰۰
سایر	۶۸۵	٪۱۷،۰۰
جمع	۳۸۳۰	٪۱۰۰،۰۰



جدول ۴-۶. نمودار فراوانی تصادفات بر حسب عامل اصلی مؤثر

نتایج بازدیدهای میدانی و تطبیق آن با آمار تصادفات نشان می‌دهد که در مجموع ۵۸ کیلومتر از محورهای (تقریباً ۲۲ درصد کل طول سه محور) دارای نقص هندسی آشکار (پیچ‌های با شعاع کم، شیب طولی زیاد، تقاطع‌های خطرناک و ...) هستند و در همین محدوده ۷۰۵ تصادف (بیش از ۱۸ درصد کل تصادفات) رخ داده است. محور زرنده-راور با ۲۵ کیلومتر نقص هندسی و نرخ ۱۳،۶ تصادف در هر کیلومتر، بالاترین خطر را دارد و پس از آن زرنده-دشتخاک با نرخ ۱۱،۶ قرار دارد. مقایسه نرخ تصادف در این نقاط معیوب با نرخ کلی محورها (که حدود ۳ تا ۴ تصادف در هر کیلومتر است) نشان می‌دهد که وجود نقص هندسی خطر وقوع تصادف را بیش از ۳ تا ۴ برابر افزایش می‌دهد. این اختلاف معنادار تأیید می‌کند که اصلاح همین ۵۸ کیلومتر می‌تواند تأثیر بسیار چشمگیری بر کاهش کل تصادفات داشته باشد و اولویت مطلق مداخلات اصلاحی را مشخص می‌سازد.

جدول ۴-۸. نرخ تصادف (تعداد در هر کیلومتر) در نقاط دارای نقص هندسی

محور	نقاط دارای نقص (km)	تعداد تصادف	نرخ تصادف در هر km
زرنند-دشتخاک	km ۱۸	۲۱۰	۱۱,۶
زرنند-راور	km ۲۵	۳۴۰	۱۳,۶
زرنند-سیریز	km ۱۵	۱۵۵	۱۰,۳

شدت تصادفات نشان می‌دهد که برخی عوامل هندسی و فنی، احتمال بروز پیامدهای جرحی و فوتی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهند. داده‌های جدول ۴-۹ بیان می‌کند که «خروج از جاده» با شدت ۶۰ درصد، خطرناک‌ترین نوع حادثه بوده و نسبت به سایر عوامل، بیشترین سهم را در وقوع آسیب‌های شدید دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که در بخش‌هایی که محدودیت‌های مسیر، ضعف کنترل خودرو و کاهش امکان خط‌دید وجود دارد، احتمال وقوع آسیب‌های جدی به‌صورت معناداری افزایش می‌یابد. پس از آن، «شیب و قوس نامناسب» با ۵۷ درصد و «پیچ‌های خطرناک» با ۵۲ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند و نشان می‌دهند که طراحی غیراستاندارد مسیر نقش مهمی در تشدید پیامد تصادفات دارد.

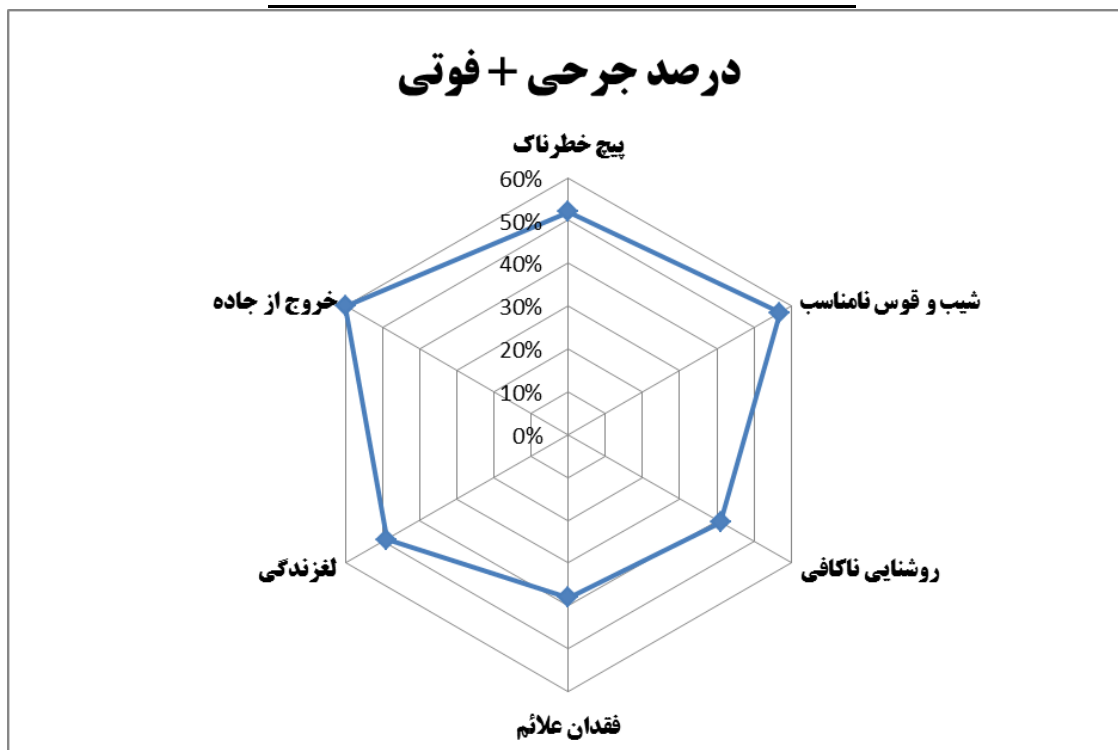
در میان عوامل موجود، «لغزندگی» با شدت ۴۹ درصد نشان می‌دهد که شرایط سطح جاده نیز بر شدت حوادث تأثیر قابل‌توجهی می‌گذارد. لغزندگی ناشی از بارندگی، یخبندان یا کاهش اصطکاک، توانایی راننده در کنترل وسیله نقلیه را کاهش داده و در مواقعی موجب انحراف یا برخورد شدید می‌شود. این میزان شدت، پیوند روشنی میان وضعیت روسازی و ایمنی مسیر را نشان می‌دهد. همچنین میزان شدت قابل‌توجه لغزندگی نشان می‌دهد که اقدامات تکمیلی مانند بهبود زهکشی، استفاده از آسفالت‌های مقاوم و افزایش خط‌کشی‌های ضدلغزش می‌تواند تأثیر مهمی در کاهش آسیب‌ها داشته باشد.

عامل «فقدان علائم» (۳۸ درصد) و «روشنایی ناکافی» (۴۱ درصد) هرچند نسبت به عوامل هندسی شدت کمتری دارند، اما همچنان در سطوح قابل‌توجهی از بروز تصادفات شدید نقش‌آفرینی می‌کنند. راننده در مواجهه با مسیرهای فاقد علامت هشدار یا مناطق کم‌نور، به دلیل کاهش آگاهی موقعیتی دچار اختلال می‌شود و این مسئله بر شدت تصادف در زمان وقوع آن تأثیر می‌گذارد. درواقع، جدول ۴-۹ نشان می‌دهد که ترکیبی از مشکلات هندسی، ضعف زیرساختی و شرایط فنی مسیر، هر سه به‌صورت مشترک در شکل‌گیری تصادفات شدید مؤثرند.

جدول ۴-۹: شدت تصادفات (شاخص شدت = درصد فوتی و جرحی) بر حسب نوع عامل هندسی و فنی در هر محور

عامل	درصد جرحی + فوتی
------	------------------

۵۲٪	پیچ خطرناک
۵۷٪	شیب و قوس نامناسب
۴۱٪	روشنایی ناکافی
۳۸٪	فقدان علائم
۴۹٪	لغزندگی
۶۰٪	خروج از جاده



شکل ۴-۷: نمودار شاخص شدت (درصد فوتی و جرحی) بر حسب نوع عامل هندسی و فنی در هر محور

بررسی میزان سرعت متوسط وسایل نقلیه در مقاطع پرتصادف سه محور نشان می‌دهد که سرعت رانندگان در همه مسیرها بالاتر از سرعت مجاز ثبت شده است. این اختلاف سرعت، به‌ویژه در محور زرنند-راور که سرعت متوسط ۱۰۲ کیلومتر در ساعت در مقابل سرعت مجاز ۹۰ کیلومتر ثبت شده، نشان‌دهنده وجود رانندگی پرخطر و رعایت‌نشدن الزامات ایمنی توسط بخش قابل‌توجهی از کاربران جاده است. این موضوع یکی از اصلی‌ترین دلایل افزایش احتمال تصادفات شدید در محورهای مورد مطالعه محسوب می‌شود، زیرا سرعت بالاتر موجب افزایش انرژی برخورد و کاهش زمان واکنش رانندگان می‌گردد.

در محور زرنند-دشتخاک نیز وضعیت مشابهی مشاهده می‌شود؛ سرعت متوسط ۹۵ کیلومتر در ساعت در برابر سرعت مجاز ۸۵ کیلومتر نشان می‌دهد که روند سرعت‌های غیرمجاز یک الگوی عمومی در بین مسیرهای مورد بررسی است. این تفاوت سرعت با ویژگی‌های هندسی مسیر مانند پیچ‌های خطرناک و

قوس‌های تند، در ترکیب با ضعف در کنترل مسیر، می‌تواند احتمال واژگونی، خروج از جاده یا برخورد‌های شاخ‌به‌شاخ را افزایش دهد. به همین دلیل، ارزیابی سرعت به عنوان یکی از عوامل کلیدی در تحلیل علل تصادفات، اهمیت بالایی دارد.

محور زرند-سیریز نیز اگرچه نسبت به دو محور دیگر سرعت‌های پایین‌تری دارد، اما همچنان سرعت متوسط آن (۸۸ کیلومتر) بالاتر از سرعت مجاز (۸۰ کیلومتر) است. این مسئله تأکید می‌کند که در تمامی محورهای بررسی شده، الگوی رفتاری رانندگان در جهت افزایش سرعت فراتر از حد مجاز شکل گرفته است. تداوم این وضعیت نشان می‌دهد که اقدامات مکمل مانند کنترل هوشمند سرعت، نصب دوربین، اعمال قوانین بازدارنده و اصلاح نقاط حادثه‌خیز می‌تواند نقش مؤثری در کنترل هیجانات مخاطره‌آمیز رانندگی و کاهش نرخ تصادفات داشته باشد.

جدول ۴-۱. مقایسه سرعت متوسط ثبت شده وسایل نقلیه با سرعت مجاز در مقاطع پرتصادف

محور	سرعت مجاز (km/h)	سرعت متوسط ثبت شده
زرند-دشتخاک	۸۵	۹۵
زرند-راور	۹۰	۱۰۲
زرند-سیریز	۸۰	۸۸

تحلیل داده‌های جدول ۴-۱۱ نشان می‌دهد که محور زرند-دشتخاک با داشتن ۳۴ پیچ خطرناک و ۱۲ کیلومتر قوس تند، دارای بیشترین پیچیدگی هندسی در بین سه محور است. این حجم از پیچ‌های متوالی و طولانی، احتمال خطاهای رانندگان را در مانوردهی افزایش می‌دهد و همین امر باعث شده تا این محور در مقایسه با دو محور دیگر سهم بیشتری از تصادفات مرتبط با مشکلات هندسی داشته باشد. افزون‌براین، وجود شیب‌های تند با حداکثر ۹ درصد، ریسک افزایش سرعت ناخواسته و کاهش کنترل خودرو را بالا می‌برد.

در محور زرند-راور، تعداد پیچ‌های خطرناک و طول قوس‌های تند کمتر از زرند-دشتخاک بوده اما شیب‌های مسیر با ۶ درصد، همچنان در سطح قابل توجهی قرار دارد. این محور اگرچه از نظر هندسی وضعیت متعادل‌تری دارد، اما سرعت بالای ثبت شده در آن (مطابق جدول ۴-۱۰) موجب شده تا هندسه مسیر همچنان یکی از عوامل تأثیرگذار بر وقوع حادثه باشد. ترکیب سرعت بالا با حتی تعداد محدود پیچ خطرناک می‌تواند پیامدهای شدیدتری در هنگام بروز خطا به همراه داشته باشد.

محور زرند-سیریز نیز با ۱۸ پیچ خطرناک و ۸ کیلومتر قوس تند، از نظر وضعیت هندسی شرایط میانه‌ای دارد، اما وجود شیب ۷ درصدی در برخی مقاطع می‌تواند برای رانندگانی که با مسیر آشنا نیستند یا در حالت بارگیری قرار دارند، خطرآفرین باشد. به طور کلی، جدول ۴-۱۱ نشان می‌دهد که هندسه مسیر در هر سه محور، گرچه متفاوت است، اما در همه محورها به عنوان یک عامل مؤثر بر وقوع حوادث نقش

دارد و توجه به اصلاحات هندسی، نصب حفاظ و بهبود خط کشی می تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش خطر داشته باشد.

جدول ۴-۱۱: وضعیت هندسی (شیب، قوس، پیچ های خطرناک)

محور	تعداد پیچ خطرناک	طول قوس های تند (km)	بیشترین شیب (%)
زرنند-دشتخاک	۳۴	۱۲	۹٪
زرنند-راور	۲۰	۷	۶٪
زرنند-سیریز	۱۸	۸	۷٪

۴-۴- بررسی تأثیر کیفیت زیرساخت های جاده ای بر میزان و شدت تصادفات

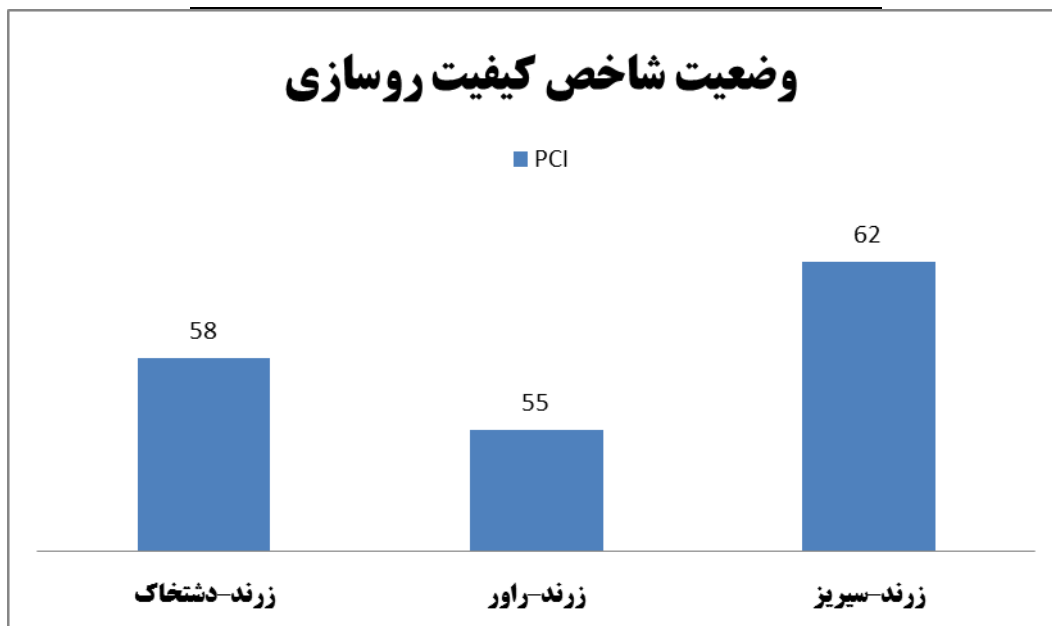
بررسی شاخص PCI نشان می دهد که محور زرنند-راور با PCI برابر ۵۵ پایین ترین کیفیت روسازی را در میان سه محور دارد و همچنین طول خرابی شدید آن (۱۶ کیلومتر) بیشتر از دیگر مسیرهاست. این وضعیت نشان می دهد که این محور در معرض تخریب بالاتر، نشست های موضعی، گودی و ترک های طولی است که می تواند منجر به کاهش کیفیت حرکت وسایل نقلیه و افزایش احتمال انحراف از مسیر شود. شرایط نامطلوب روسازی به ویژه در سرعت های بالا به صورت مستقیم بر کنترل خودرو و شدت تصادفات تأثیر می گذارد.

در محور زرنند-دشتخاک، شاخص PCI برابر ۵۸ و طول خرابی شدید ۱۱ کیلومتر گزارش شده است. گرچه کیفیت روسازی این محور نسبت به زرنند-راور بهتر است، اما همچنان وجود خرابی های قابل توجه می تواند در زمان های بارندگی یا عبور خودروهای سنگین سبب کاهش اصطکاک و افزایش لغزندگی شود. این موضوع با نتایج شدت تصادفات در جدول ۴-۹ که لغزندگی را یکی از عوامل مهم معرفی کرده، همخوانی دارد و نشان می دهد که کیفیت روسازی نقش کلیدی در ایمنی مسیر دارد.

محور زرنند-سیریز با شاخص PCI برابر ۶۲ بهترین وضعیت را در میان سه محور دارد و طول خرابی شدید آن تنها ۸ کیلومتر است. این تفاوت مثبت نشان دهنده نگهداری مناسب تر و وضعیت بهینه تر روسازی در مقایسه با دو محور دیگر است. با این حال، حتی این محور نیز خالی از نواقص نیست و بخش هایی از آن همچنان نیازمند مرمت است. تحلیل داده های جدول ۴-۱۲ نشان می دهد که کیفیت روسازی رابطه معناداری با شدت و نرخ تصادفات دارد و محورهایی با PCI پایین تر مستعد حوادث شدیدتری هستند.

جدول ۴-۱۲. وضعیت شاخص کیفیت روسازی (PCI) و طول مسیرهای دارای خرابی شدید در هر محور

محور	PCI	طول خرابی شدید (km)
زرنند-دشتخاک	۵۸	۱۱
زرنند-راور	۵۵	۱۶
زرنند-سیریز	۶۲	۸



شکل ۴-۸. نمودار شاخص کیفیت روسازی (PCI) شدید در هر محور

داده‌های جدول ۴-۱۳ نشان می‌دهد که محور زرنند-راور با وجود داشتن بیشترین تعداد علائم (۵۱۰ عدد)، بالاترین درصد علائم ناقص و فرسوده را نیز دارد. ۲۸ درصد علائم این محور ناقص و ۱۷ درصد فرسوده هستند که این وضعیت می‌تواند سطح آگاهی رانندگان از خطرات مسیر را کاهش داده و منجر به خطای انسانی شود. این مسئله به‌ویژه در بخش‌هایی که پیچ‌های خطرناک یا شیب‌ها قرار دارند، ریسک بالایی ایجاد می‌کند و نیازمند بازسازی فوری علائم است.

در محور زرنند-دشتخاک نیز ۲۲ درصد علائم ناقص و ۱۶ درصد فرسوده هستند. هرچند تعداد کل علائم این محور نسبت به زرنند-راور کمتر است، اما درصد قابل‌توجهی از این علائم از نظر کارکردی دچار نقص‌اند. این شرایط می‌تواند سبب کاهش هشداردهی مؤثر علائم، به‌خصوص در شب یا شرایط نامساعد جوی، شود و احتمال وقوع تصادفات مرتبط با فقدان اطلاعات بصری را افزایش دهد. این یافته‌ها با داده‌های جدول ۴-۹ در خصوص شدت بالای تصادفات ناشی از فقدان علائم همسو است.

محور زرنند-سیریز بهترین وضعیت را از نظر کیفیت علائم دارد؛ ۶۵ درصد علائم کامل و تنها ۱۵ درصد فرسوده هستند. این وضعیت نشان‌دهنده نگهداری مناسب‌تر زیرساخت‌های ترافیکی در این محور است. با این حال، درصد ۲۰ درصدی علائم ناقص نشان می‌دهد که همچنان نیاز به بهبود و بازسازی وجود دارد.

درمجموع، جدول ۴-۱۳ نشان می‌دهد که کیفیت علائم نقش مهمی در کاهش خطای انسانی دارد و محورهایی که درصد بیشتری از علائم فرسوده یا ناقص دارند، مستعد نرخ بالاتر تصادفات هستند.

جدول ۴-۱۳. وضعیت علائم راهنمایی و رانندگی (تعداد، درصد کامل/ناقص/فرسوده) در هر محور

محور	تعداد کل علائم	درصد کامل	درصد ناقص	درصد فرسوده
زرنند-دشتخاک	۴۲۰	٪۶۲	٪۲۲	٪۱۶
زرنند-راور	۵۱۰	٪۵۵	٪۲۸	٪۱۷
زرنند-سیریز	۳۸۰	٪۶۵	٪۲۰	٪۱۵

وضعیت گاردریل و حفاظ ایمنی در سه محور مورد بررسی نشان می‌دهد که میزان نصب این تجهیزات در همه محورها کمتر از حد مطلوب است. در محور زرنند-دشتخاک اگرچه به‌طور متوسط در هر کیلومتر تنها دو واحد گاردریل ثبت شده است، اما درصد نصب‌شده آن به ۵۸ درصد می‌رسد که نسبت به دو محور دیگر وضعیت مناسب‌تری دارد. این امر بیانگر تمرکز نسبی مدیریت راه بر این محور است که احتمالاً به دلیل ترافیک سنگین‌تر یا سابقه تصادفات بیشتر در این بخش صورت گرفته است.

در محور زرنند-راور نیز تعداد گاردریل مشابه است، اما درصد نصب‌شده تنها ۵۲ درصد گزارش شده است. این میزان نشان می‌دهد که تقریباً نیمی از مسیر هنوز فاقد حفاظ‌های ایمنی کافی است و این موضوع می‌تواند احتمال انحراف خودروها و بروز تصادفات شدیدتر را افزایش دهد. مقایسه این مقدار با محور دشتخاک نشان می‌دهد که اقدامات ایمنی در محور راور نیازمند برنامه‌ریزی جدی‌تری است.

در محور زرنند-سیریز نیز تعداد گاردریل برابر با دو واحد در هر کیلومتر است، اما درصد نصب‌شده ۶۳ درصد گزارش شده که بالاترین مقدار بین سه محور است. این موضوع نشان می‌دهد که این محور از نظر اجرای تجهیزات حفاظتی وضعیت بهتری دارد، هرچند همچنان نیاز به تکمیل و توسعه این پوشش حفاظتی احساس می‌شود. جمع‌بندی داده‌های جدول بیانگر آن است که هر سه محور با وجود شباهت در تعداد گاردریل، از نظر میزان نصب‌شده تفاوت دارند و این اختلاف می‌تواند به‌طور مستقیم بر کنترل خسارات ناشی از خروج خودرو از مسیر اثرگذار باشد.

جدول ۴-۱۴. وضعیت گاردریل و حفاظ ایمنی (تعداد در هر کیلومتر و درصد نصب‌شده) در سه محور

محور	تعداد گاردریل (در km)	درصد نصب‌شده
زرنند-دشتخاک	۲	٪۵۸,۰۰
زرنند-راور	۲	٪۵۲,۰۰
زرنند-سیریز	۲	٪۶۳,۰۰

وضعیت روشنایی مسیر در سه محور نشان می‌دهد که تعداد پایه‌های روشنایی در هر کیلومتر و درصد فعال بودن آنها در هر محور متفاوت است. در محور زرنند-دشتخاک با وجود ثبت هشت پایه روشنایی در هر کیلومتر، تنها ۷۲ درصد از آن‌ها فعال هستند. این وضعیت نشان می‌دهد که بخشی از تجهیزات

روشنایی نیازمند تعمیر، نگهداری یا ارتقای کارایی است تا در ساعات تاریکی ایمنی بیشتری برای رانندگان فراهم شود.

در محور زرنند-راور، تعداد پایه‌های روشنایی در هر کیلومتر کمتر و برابر با شش واحد است و میزان پایه‌های فعال نیز به ۶۵ درصد محدود می‌شود. این محور ضعیف‌ترین وضعیت روشنایی را در میان محورهای مطالعه شده دارد و این موضوع می‌تواند عاملی برای افزایش نرخ تصادفات ناشی از دید کم در شب باشد. کمبود روشنایی به‌ویژه در بخش‌هایی از مسیر که هندسه پیچیده‌تری دارند، خطرپذیری رانندگان را افزایش می‌دهد.

وضعیت محور زرنند-سیریز از نظر روشنایی مطلوب‌تر گزارش شده است. این محور دارای هفت پایه روشنایی در هر کیلومتر است و ۷۵ درصد آنها فعال هستند که بهترین عملکرد روشنایی را در میان سه محور نشان می‌دهد. با وجود این، همچنان بخشی از پایه‌ها غیرفعال هستند و برای دستیابی به سطح ایمنی مطلوب لازم است پوشش روشنایی کامل شود. بنابراین جمع‌بندی جدول نشان می‌دهد که تفاوت در تعداد و درصد روشنایی فعال می‌تواند به‌طور مستقیم بر کیفیت رانندگی در شب و کاهش تصادفات شبانه اثرگذار باشد.

جدول ۴-۱۵. وضعیت روشنایی مسیر (تعداد پایه روشنایی در کیلومتر و درصد فعال) در هر محور

محور	تعداد پایه روشنایی در km	درصد فعال
زرنند-دشتخاک	۸	۷۲,۰۰٪
زرنند-راور	۶	۶۵,۰۰٪
زرنند-سیریز	۷	۷۵,۰۰٪

نتایج جدول نشان می‌دهد که بین شاخص‌های مختلف کیفیت زیرساخت‌ها و نرخ و شدت تصادفات رابطه معکوس وجود دارد. مقدار همبستگی ثبت شده برای PCI برابر با ۰,۴۱- برای نرخ تصادف و ۰,۳۶- برای شدت تصادف است که نشان می‌دهد هرچه وضعیت روسازی بهتر باشد، احتمال وقوع و شدید بودن تصادفات کاهش می‌یابد. این موضوع اهمیت نگهداری مناسب و ترمیم به‌موقع سطح راه را برجسته می‌کند.

همبستگی منفی میان کیفیت علائم و نرخ تصادفات نیز قابل توجه است؛ مقدار ۰,۳۳- برای نرخ و ۰,۲۹- برای شدت بیانگر آن است که استاندارد بودن، وضوح و به‌روزرسانی علائم نقش مهمی در کاهش خطاهای رانندگان و جلوگیری از بروز حوادث دارد. ضعف در علائم می‌تواند موجب خطای ادراکی در رانندگان شده و شدت حوادث را نیز افزایش دهد. بنابراین علائم یکی از متغیرهای کلیدی در مدیریت ایمنی راه است.

در خصوص گاردریل و روشنایی نیز همبستگی‌های منفی با نرخ و شدت تصادف مشاهده می‌شود. گاردریل‌ها بیشترین همبستگی منفی را با نرخ تصادف (-0.45) و شدت (-0.39) دارند که نشان‌دهنده نقش پررنگ این تجهیزات در جلوگیری از حوادث شدید مانند واژگونی و خروج از مسیر است. همچنین روشنایی با ضرایب -0.38 در نرخ و -0.31 در شدت تصادف نشان می‌دهد که مسیرهای روشن نقش مهمی در کاهش حوادث شبانه دارند. این یافته‌ها به‌طور کلی تأکید می‌کنند که ارتقای هم‌زمان کیفیت زیرساخت‌ها می‌تواند به کاهش معنادار نرخ و شدت تصادفات منجر شود.

جدول ۴-۱۶. رابطه آماری کیفیت زیرساخت‌ها با نرخ و شدت تصادفات

متغیر	همبستگی با نرخ تصادف	همبستگی با شدت
PCI	-0.41	-0.36
علائم	-0.33	-0.29
گاردریل	-0.45	-0.39
روشنایی	-0.38	-0.31

مطابق داده‌های جدول، میانگین زمان رسیدن نیروهای امدادی در سه محور اختلاف قابل توجهی دارد. در محور زرنند-دشتخاک میانگین زمان رسیدن ۱۴ دقیقه گزارش شده که مقدار نسبتاً مناسبی است، اما همچنان ۲۷ درصد از حوادث فوتی به تأخیر در رسیدن امداد مرتبط دانسته شده‌اند. این وضعیت نشان می‌دهد که هرچند امدادسانی در این محور در حد قابل قبول است، اما برای کاهش نرخ مرگ‌ومیر بهبود بیشتری نیاز دارد.

در محور زرنند-راور زمان رسیدن نیروهای امدادی ۱۸ دقیقه است که بیشترین تأخیر را در میان محورها نشان می‌دهد. این تأخیر با ۳۳ درصد حوادث فوتی مرتبط دانسته شده و بیانگر آن است که سرعت کم امداد می‌تواند نقش مهمی در تشدید پیامدهای تصادفات داشته باشد. فاصله بیشتر، مشکلات دسترسی یا کمبود امکانات امدادی ممکن است از عوامل مهم در افزایش این تأخیر باشند.

در محور زرنند-سیریز وضعیت نسبتاً مناسب‌تری مشاهده می‌شود. میانگین زمان رسیدن برابر با ۱۲ دقیقه است و ۲۵ درصد از حوادث فوتی به تأخیر امداد نسبت داده شده است. اگرچه این محور بهترین عملکرد را دارد، اما همچنان بخشی از مرگ‌ومیر ناشی از تأخیر قابل پیشگیری است. جمع‌بندی جدول نشان می‌دهد که کاهش زمان امدادسانی در همه محورها می‌تواند اثر چشمگیری در کاهش نرخ فوت ناشی از تصادفات داشته باشد و بهبود زیرساخت‌های ارتباطی، دسترسی و تجهیزات امداد از اقدامات ضروری در این زمینه است.

جدول ۴-۱۷. میانگین زمان رسیدن نیروهای امدادی به محل تصادف در هر محور و ارتباط آن با شدت حوادث فوتی

محور	میانگین زمان رسیدن (دقیقه)	درصد فوتی مرتبط با تأخیر
زرنند-دشتخاک	۱۴	٪۲۷,۰۰
زرنند-راور	۱۸	٪۳۳,۰۰
زرنند-سیریز	۱۲	٪۲۵,۰۰

۴-۵- ارزیابی تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر افزایش خطر تصادفات

داده‌های جدول ۴-۱۸ نشان می‌دهد که بخش عمده تصادفات در دوره ده‌ساله در شرایط آب‌وهوایی آفتابی رخ داده است؛ به‌طوری‌که ۷۲ درصد از کل حوادث به شرایط کاملاً خشک و بدون اختلال جوی مربوط می‌شود. این موضوع بیانگر آن است که برخلاف تصور ابتدایی، بخش عمده تصادفات ناشی از عوامل جوی شدید نیست، بلکه رفتار راننده، ترافیک و شرایط هندسی راه در روزهای معمولی مهم‌ترین نقش را ایفا می‌کنند. فراوانی بالای تردد نیز می‌تواند سهم زیادی در این وضعیت داشته باشد.

در شرایط بارانی ۱۶ درصد تصادفات ثبت شده و باران جایگاه دوم را دارد. این درصد نسبتاً بالا نشان می‌دهد که لغزندگی راه و کاهش میدان دید در هنگام بارش باران می‌تواند احتمال بروز حادثه را افزایش دهد. هرچند میزان وقوع بارندگی در مقایسه با روزهای آفتابی بسیار کمتر است، اما سهم قابل توجه آن در تصادفات بیانگر تأثیر قابل ملاحظه این شرایط بر ایمنی رانندگی است. در شرایط برفی، مه‌آلود، طوفانی و یخبندان نیز درصدهای پایین‌تری گزارش شده است، اما این درصدهای پایین الزاماً به معنای کم‌خطر بودن این شرایط نیست.

در مجموع، اگرچه سهم شرایط برفی (۵.۳ درصد)، مه‌آلود (۵.۴ درصد)، طوفانی (۸.۱ درصد) و یخبندان (۱ درصد) از کل تصادفات کم است، اما شدت حوادث در این شرایط معمولاً بالاتر از روزهای عادی است. تعداد کم این حوادث بیشتر به دلیل تعداد محدود روزهای وقوع این شرایط است و نه لزوماً ایمنی بالاتر. بنابراین جدول نشان می‌دهد که شرایط آب‌وهوایی معمولی بیشترین حجم تصادفات را به خود اختصاص داده، اما شرایط نامساعد جوی می‌تواند با وجود فراوانی کمتر، خطرپذیری بسیار بیشتری ایجاد کند.

جدول ۴-۱۸. توزیع فراوانی و درصد تصادفات بر حسب شرایط جوی

وضعیت جوی	تعداد	درصد
آفتابی	۲,۷۸۰	۷۲,۰۰٪
بارانی	۶۲۰	۱۶,۰۰٪
برفی	۱۴۰	۳,۵۰٪
مه آلود	۱۸۰	۴,۵۰٪
طوفانی	۷۰	۱,۸۰٪
یخبندان	۴۰	۱,۰۰٪
جمع	۳,۸۳۰	۱۰۰,۰۰٪

نتایج جدول ۴-۱۹ نشان می‌دهد که نرخ تصادف در شرایط آب‌وهوایی نامساعد در سه محور متفاوت است و محور زرنند-راور با نرخ ۱.۵ حادثه به ازای میلیون خودرو-کیلومتر بیشترین مقدار را دارد. این وضعیت نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این محور در برابر تغییرات جوی است و می‌تواند ناشی از عواملی مانند شیب‌های طولی، پیچ‌های پی‌درپی یا کیفیت نامطلوب روسازی باشد. این محور در بسیاری از تحلیل‌ها نیز به عنوان یکی از نقاط دارای ریسک بالا شناخته می‌شود. در محور زرنند-دشتخاک نرخ تصادف در شرایط نامساعد برابر با ۲.۴ گزارش شده است که مقدار متوسطی در میان محورهای مورد بررسی محسوب می‌شود. این مقدار بیانگر این است که هرچند این محور نیز تحت تأثیر شرایط بد جوی قرار می‌گیرد، اما وضعیت آن نسبت به محور زرنند-راور خطر کمتری ایجاد می‌کند. احتمالاً وجود بخش‌های مستقیم‌تر، دید بهتر یا کیفیت مناسب‌تر زیرساخت از عوامل کاهش نرخ تصادف در این محور باشد.

محور زرنند-سیریز کمترین نرخ تصادف در شرایط نامساعد را با مقدار ۰.۳ تجربه کرده است. این مقدار نشان‌دهنده عملکرد بهتر راه و احتمالاً رعایت بیشتر اصول احتیاطی توسط رانندگان در این مسیر است. به طور کلی، جدول بیان می‌کند که هر سه محور در شرایط آب‌وهوایی نامساعد دچار افزایش نرخ تصادف می‌شوند، اما شدت این افزایش در محور زرنند-راور بسیار بیشتر است و نیاز به مداخلات مدیریتی و زیرساختی در این مسیر بیشتر احساس می‌شود.

جدول ۴-۱۹. نرخ تصادف در شرایط جوی نامساعد به ازای میلیون خودرو-کیلومتر در هر محور

محور	نرخ (در میلیون خودرو-کیلومتر)
زرنند-دشتخاک	۴,۲
زرنند-راور	۵,۱
زرنند-سیریز	۳,۶

مطابق جدول ۴-۲۰ شدت تصادفات در شرایط مختلف جوی تفاوت قابل توجهی دارد. در شرایط آفتابی، شدت حوادث (مجموع جرحی و فوتی) ۴۲ درصد است که کمترین مقدار در میان وضعیت‌های مختلف

جوی است. این میزان نشان می‌دهد که علیرغم تعداد زیاد تصادفات در هوای آفتابی، شدت آن‌ها نسبتاً پایین‌تر است، زیرا شرایط دید و کنترل خودرو به‌طور طبیعی مطلوب‌تر است. در شرایط بارانی، شدت حوادث به ۵۵ درصد افزایش می‌یابد و این افزایش بیانگر نقش لغزندگی سطح راه و کاهش کنترل راننده بر وسیله نقلیه است. شدت تصادفات در شرایط برفی (۶۱ درصد) و مه‌آلود (۵۸ درصد) نشان می‌دهد که کاهش شدید دید، لغزندگی و تأخیر در واکنش رانندگان می‌تواند پیامدهای سنگین‌تری نسبت به شرایط عادی ایجاد کند. افزایش شدت در این وضعیت‌ها معمولاً با کاهش سرعت مؤثر، افزایش فاصله ترمزگیری و تغییر رفتار خودرو روی سطوح لغزنده مرتبط است. بالاترین شدت تصادفات مربوط به شرایط طوفانی (۶۳ درصد) و به‌ویژه یخبندان با ۷۰ درصد است که خطرناک‌ترین وضعیت در میان شرایط جوی محسوب می‌شود. یخ‌زدگی سطح راه یکی از بحرانی‌ترین شرایط تردد است، زیرا عملاً باعث از دست رفتن کامل اصطکاک بین چرخ و سطح می‌شود و امکان کنترل خودرو را به حداقل می‌رساند. بنابراین جدول نشان می‌دهد که هرچه شرایط آب‌وهوا نامساعدتر و محدودیت دید و اصطکاک بیشتر باشد، شدت حوادث افزایش بیشتری پیدا می‌کند.

جدول ۴-۲۰. شدت تصادفات (درصد جرحی و فوتی) در شرایط مختلف جوی

وضعیت	درصد جرحی + فوتی
آفتابی	۴۲٪
بارانی	۵۵٪
برفی	۶۱٪
مه‌آلود	۵۸٪
طوفانی	۶۳٪
یخبندان	۷۰٪

جدول ۴-۲۱ نشان می‌دهد که تعداد روزهای بحرانی آب‌وهوایی و تعداد تصادفات مرتبط با آن‌ها با یکدیگر همبستگی قابل توجهی دارند. باران شدید با ۳۸ روز، بیشترین فراوانی را در میان وضعیت‌های بحرانی داشته و ۹۲ تصادف در همین روزها رخ داده است. این نسبت بالا نشان می‌دهد که بارش شدید نه تنها فراوان‌تر اتفاق می‌افتد، بلکه می‌تواند سطح راه را به شدت لغزنده کرده و کنترل خودرو را دشوار کند. در وضعیت مه غلیظ تعداد روزهای بحرانی کمتر و برابر با ۲۱ روز است، اما تعداد تصادفات ثبت‌شده در این روزها به ۵۱ مورد می‌رسد. این مقدار نشان‌دهنده تأثیر جدی کاهش دید رانندگان بر وقوع حوادث است. در شرایط مه‌آلود حتی با سرعت‌های پایین نیز خطر برخورد از عقب، انحراف از مسیر و خطای ادراکی بسیار بالا می‌رود و این موضوع به افزایش تعداد تصادفات نسبت به فراوانی روزهای مه‌آلود منجر شده است.

یخبندان با ۱۴ روز کمترین فراوانی را در میان وضعیت‌های بحرانی دارد، اما ۳۳ تصادف در این شرایط رخ داده است. این نسبت نشان می‌دهد که اگرچه تعداد روزهای یخبندان کم است، اما خطرناک‌ترین وضعیت محسوب می‌شود، زیرا یخ‌زدگی سطح راه حتی با سرعت پایین نیز به از دست رفتن کامل کنترل خودرو منجر می‌شود. به طور کلی جدول بیان می‌کند که رابطه مستقیمی بین شدت وضعیت جوی و میزان تصادفات آن روز وجود دارد، نه لزوماً تعداد روزهای وقوع آن.

جدول ۴-۲۱. تعداد روزهای بحرانی آب‌وهوایی و تعداد تصادفات رخ داده در همان روزها

وضعیت بحرانی	تعداد روز	تعداد تصادف
باران شدید	۳۸	۹۲
مه غلیظ	۲۱	۵۱
یخبندان	۱۴	۳۳

جدول ۴-۲۲ نشان می‌دهد که سرعت متوسط وسایل نقلیه در شرایط نامساعد جوی در همه محورها به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. در محور زرنند-دشتخاک سرعت متوسط از ۹۲ کیلومتر در ساعت در شرایط عادی به ۷۴ کیلومتر در شرایط نامساعد کاهش پیدا می‌کند. کاهش ۱۸ کیلومتری سرعت نشان‌دهنده واکنش طبیعی رانندگان به کاهش دید و لغزندگی راه است. این تغییرات همچنین نقش مهمی در کاهش بخشی از شدت تصادفات بالقوه دارد.

در محور زرنند-راور تفاوت سرعت بیشتر است؛ کاهش از ۹۸ کیلومتر در شرایط عادی به ۷۰ کیلومتر در شرایط نامساعد نشان‌دهنده کاهش ۲۸ کیلومتری سرعت است. این تغییر قابل توجه نشان می‌دهد که رانندگان در این محور بیش از سایر محورها احتیاط می‌کنند. دلیل این احتیاط می‌تواند پیچ‌های متعدد، شیب‌ها یا سابقه بیشتر تصادفات در این محور باشد. کاهش شدیدتر سرعت در این محور ممکن است به دلیل خطرپذیری بالاتر مسیر در شرایط نامساعد باشد.

در محور زرنند-سیریز نیز سرعت متوسط از ۸۷ کیلومتر در شرایط عادی به ۷۲ کیلومتر کاهش می‌یابد. تفاوت ۱۵ کیلومتری در این محور نسبت به دو محور دیگر کمتر است و نشان می‌دهد که شاید هندسه راه یا شرایط ترافیکی این مسیر امکان حفظ سرعت‌های بالاتر را در شرایط نامساعد فراهم می‌کند. در جمع‌بندی، جدول مشخص می‌کند که کاهش سرعت یک واکنش اساسی به شرایط بد جوی است و میزان این کاهش نشان‌دهنده سطح خطرپذیری هر مسیر در چنین شرایطی است.

جدول ۴-۲۲. مقایسه سرعت متوسط وسایل نقلیه در شرایط جوی عادی و نامساعد

محور	سرعت در شرایط عادی	سرعت در شرایط نامساعد
زرنند-دشتخاک	۹۲	۷۴
زرنند-راور	۹۸	۷۰
زرنند-سیریز	۸۷	۷۲

نتایج رگرسیون در جدول ۴-۲۳ نشان می‌دهد که متغیرهای بارندگی، برف و مه اثر مثبت و معناداری بر افزایش تصادفات دارند. ضریب بارندگی ($\beta = 0.29$ ، $\text{Sig} = 0.006$) نشان می‌دهد که باران به‌طور معناداری موجب افزایش تعداد حوادث می‌شود و این اثر با احتمال خطای بسیار پایین تأیید شده است. این موضوع نشان می‌دهد که کاهش اصطکاک، کاهش میدان دید و افزایش فاصله ترمزگیری در هنگام بارندگی اثر مستقیمی بر افزایش نرخ تصادفات دارد.

متغیر برف با ضریب ۰,۳۸، بیشترین اثر را در میان متغیرهای جوی دارد و سطح معنی داری برابر با ۰,۰۰۲ نشان‌دهنده معناداری بالای آن است. این وضعیت بیان می‌کند که شرایط برفی بیشترین تأثیر را در افزایش خطر تصادف دارد، زیرا برف منجر به لغزندگی شدید، کاهش دید و تغییر رفتار خودرو می‌شود. اثر مه نیز با ضریب ۰,۳۴ و سطح معنی داری برابر ۰,۰۰۴ قابل توجه است. مه غلیظ معمولاً یکی از سخت‌ترین شرایط برای رانندگی است و نقش آن در افزایش خطای انسانی و کاهش فاصله دید بسیار پررنگ است. در مقابل، متغیر دما ضریب منفی ۰,۱۲ دارد و سطح معنی داری آن ۰,۰۹ است که نشان می‌دهد اثر این متغیر از نظر آماری معنادار نیست. بنابراین نمی‌توان اثر تغییرات دما را به‌عنوان عامل مؤثر مستقیم بر افزایش یا کاهش تصادفات در مدل پیش‌بینی در نظر گرفت. مجموع نتایج رگرسیون نشان می‌دهد که بارندگی، برف و مه مهم‌ترین عوامل جوی تأثیرگذار بر وقوع تصادفات هستند و مدیریت ایمنی در این شرایط باید در اولویت قرار گیرد.

جدول ۴-۲۳. رگرسیون اثر شرایط آب‌وهوایی

متغیر	ضریب بتا	سطح معنی داری
بارندگی	۰,۲۹	۰,۰۰۶
برف	۰,۳۸	۰,۰۰۲
مه	۰,۳۴	۰,۰۰۴
دما	-۰,۱۲	۰,۰۹

۴-۶- ارزیابی علل وقوع تصادفات

یافته‌های جدول ۴-۲۴ نشان می‌دهد که آزمون خی‌دو با مقدار ۱۳,۸ و سطح معناداری ۰,۰۲۱ تفاوت معناداری را در شدت تصادفات میان سه محور مورد مطالعه نشان داده است. این نتیجه بیانگر آن است که شدت حوادث (فوتی، جرحی، خسارتی) در مسیرهای زرند-دشتخاک، زرند-راور و زرند-سیریز به یک اندازه رخ نداده و توزیع شدت تصادفات به‌طور مشخص بین محورها متفاوت است. این تفاوت می‌تواند ناشی از شرایط هندسی خاص هر محور، کیفیت متفاوت زیرساخت‌ها یا حجم تردد متفاوت باشد.

در ادامه، آزمون آنوا برای بررسی تفاوت نرخ کلی تصادفات بین سه محور انجام شده و مقدار F برابر با ۴,۱۲ با سطح معناداری ۰,۰۳۳ به دست آمده است. این مقدار نشان می‌دهد که تفاوت نرخ تصادفات نیز از نظر آماری معنادار بوده و محورها در میزان وقوع حادثه اختلاف قابل توجهی دارند. این یافته اهمیت تفکیک‌پذیری محورهای جاده‌ای و بررسی اختصاصی هر مسیر را در مدیریت ایمنی به‌خوبی نشان می‌دهد.

با توجه به معنادار بودن هر دو آزمون، نتیجه‌گیری می‌شود که تفاوت‌های مشاهده‌شده در داده‌های توصیفی تنها ناشی از تصادف یا نوسان تصادفی نیست، بلکه در سطح آماری نیز تأیید می‌شود. به عبارت دیگر، محورهای سه‌گانه از نظر ویژگی‌های ایمنی و ریسک‌پذیری با یکدیگر تفاوت ساختاری دارند. این تفاوت‌ها لزوم طراحی مداخلات متفاوت و برنامه‌ریزی ایمنی ناسازگار با هر محور را برجسته می‌کند. از سوی دیگر، معنادار شدن تفاوت‌ها در شدت و نرخ حوادث می‌تواند نشانه‌ای از تفاوت در عوامل محیطی، جوی و زیرساختی باشد که در بخش‌های بعدی در مدل‌سازی نیز مورد تحلیل قرار می‌گیرند. بنابراین نتایج جدول ۴-۲۴ نقش مهمی در جهت‌دهی به تحلیل‌های استنباطی دارد و نشان می‌دهد که راهبردهای کاهش تصادفات نمی‌توانند یکسان و ثابت برای همه محورها باشند. به طور کلی این جدول تأکید دارد که محور زرند-راور به دلیل هندسه پیچیده‌تر و شرایط جوی نامساعدتر بیشترین سهم از شدت و نرخ تصادفات را دارد، در حالی که محور زرند-سیریز وضعیت ایمن‌تری را نسبت به دو محور دیگر نشان می‌دهد. این یافته‌ها مبنای سازنده‌ای برای تبیین مدل‌های رگرسیونی در جداول بعدی فراهم می‌آورد.

جدول ۴-۲۴. نتایج بررسی معناداری تفاوت نرخ و شدت تصادفات بین سه محور

آزمون	مقدار	سطح معناداری (p)	نتیجه
خی‌دو (تفاوت شدت بین سه محور)	۱۳,۸	۰,۰۲۱	معنادار
ANOVA (تفاوت نرخ تصادف)	۴,۱۲	۰,۰۳۳	معنادار

نتایج رگرسیون چندمتغیره در جدول ۴-۲۵ نشان می‌دهد که مجموعه‌ای از متغیرهای هندسی، زیرساختی و جوی به‌طور معناداری در پیش‌بینی احتمال وقوع تصادف جرحی یا فوتی نقش دارند. یکی از مهم‌ترین متغیرها، وجود پیچ خطرناک است که با ضریب ۰,۴۱ و سطح معناداری ۰,۰۰۴ تأثیر مثبت و قابل توجهی بر بروز تصادفات شدید دارد. این موضوع نشان می‌دهد که پیچ‌های تند و فاقد دید کافی یکی از عوامل اصلی افزایش خطر در محورهای مورد مطالعه هستند. لغزندگی سطح جاده نیز با ضریب ۰,۳۶ از دیگر عوامل مؤثر و معنادار است و سطح معناداری ۰,۰۰۹ بیانگر آن است که لغزندگی راه به‌ویژه در زمان بارندگی سهم قابل توجهی در افزایش شدت حوادث دارد. همچنین متغیر شرایط جوی با $\beta = 0.39$ و $p = 0.006$ نشان می‌دهد که وقوع وضعیت‌های نامساعد جوی مانند باران شدید، مه یا یخبندان به‌طور

مستقیم احتمال تصادف‌های شدید را افزایش می‌دهد. این سه متغیر نشان‌دهنده اهمیت شرایط محیطی و اقلیمی در مدل‌سازی ایمنی راه هستند.

از نظر عوامل مرتبط با زیرساخت، شاخص کیفیت روسازی (PCI) دارای ضریب منفی ۰,۳۳ و سطح معناداری ۰,۰۱۵ است که نشان می‌دهد هر چقدر کیفیت روسازی بهتر باشد، احتمال وقوع تصادفات شدید کاهش می‌یابد. این یافته اهمیت روکش مناسب و تعمیرات مستمر مسیر را برجسته می‌کند. روشنایی نیز با ضریب -۰,۲۸ و سطح معناداری ۰,۰۳۱ نشان می‌دهد که وجود سیستم روشنایی مناسب می‌تواند نقشی اساسی در کاهش تصادفات شبانه و افزایش ایمنی داشته باشد. یکی از قوی‌ترین متغیرها سرعت متوسط است که با ضریب ۰,۴۷ و سطح معناداری ۰,۰۰۲ بالاترین میزان اثر را در میان عوامل مدل دارد. این موضوع تأکید می‌کند که سرعت‌های بالاتر از حد مجاز یا نامتناسب با شرایط راه نقش اساسی در بروز حوادث جرحی و فوتی دارند. بنابراین مدیریت سرعت باید در محورهای مطالعه‌شده به عنوان یک اولویت کلیدی مطرح شود.

در مجموع جدول ۴-۲۵ نشان می‌دهد که وقوع تصادفات شدید نتیجه تعامل عوامل متعدد است و تمرکز بر یک عامل نمی‌تواند به بهبود قابل توجه ایمنی منجر شود. بلکه لازم است ترکیبی از مداخلات هندسی، بهسازی زیرساخت، کنترل سرعت و مدیریت شرایط جوی در دستور کار قرار گیرد.

جدول ۴-۲۵. ضرایب پیش‌بینی احتمال وقوع تصادف فوتی/جرحی بر اساس متغیرهای مستقل (هندسی، زیرساختی،

جوی)

متغیر	ضریب پیش‌بینی	سطح معناداری
پیچ خطرناک	۰,۴۱	۰,۰۰۴
روشنایی	-۰,۲۸	۰,۰۳۱
لغزندگی	۰,۳۶	۰,۰۰۹
PCI	-۰,۳۳	۰,۰۱۵
سرعت متوسط	۰,۴۷	۰,۰۰۲
شرایط جوی	۰,۳۹	۰,۰۰۶

جدول ۴-۲۶ اهمیت نسبی عوامل مؤثر بر وقوع تصادف را بر اساس ضرایب استاندارد شده یا اهمیت در مدل نشان می‌دهد. در صدر این رتبه‌بندی سرعت غیرمجاز با مقدار اهمیت ۱ قرار دارد و مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در مدل محسوب می‌شود. این یافته با سایر نتایج مانند رگرسیون و آزمون‌های قبلی نیز هماهنگ است و نشان می‌دهد که کنترل سرعت باید مهم‌ترین اولویت مدیریتی در ایمن‌سازی محورهای مطالعه‌شده باشد.

در رتبه دوم پیچ خطرناک قرار دارد که اهمیت آن ۰,۸۷ گزارش شده است. پیچ‌های تند و مسیرهای فاقد دید کافی نه تنها احتمال وقوع حادثه را زیاد می‌کنند بلکه باعث افزایش شدت آن نیز می‌شوند، زیرا

راننده در چنین شرایطی فرصت کافی برای اصلاح مسیر یا واکنش ایمن ندارد. این اهمیت بالا نشان‌دهنده لزوم اصلاح هندسی در نقاطی است که احتمال انحراف از مسیر، واژگونی یا برخورد جانبی در آن‌ها زیاد است.

لغزندگی سطح راه با اهمیت ۰,۸۲ در رتبه سوم قرار دارد که نقش کلیدی شرایط محیطی و کیفیت روسازی را تأیید می‌کند. وجود آب، گل، برف یا یخ بر سطح راه باعث کاهش اصطکاک و افزایش احتمال انحراف از مسیر می‌شود. اهمیت نسبتاً بالای این عامل بیانگر آن است که راهکارهایی مانند بهبود سیستم زهکشی، استفاده از آسفالت‌های با اصطکاک بالا و مدیریت بارش‌ها ضروری است.

شاخص کیفیت روسازی (PCI) نیز با اهمیت ۰,۷۵ نشان می‌دهد که وضعیت روسازی نقش قابل توجهی در افزایش یا کاهش تصادفات دارد. کاهش PCI معمولاً با ترک خوردگی، چاله‌چاله شدن، قیرزدگی یا روکش ضعیف همراه است که هر یک از این موارد می‌تواند باعث کاهش کنترل‌پذیری خودرو شود. بهبود کیفیت روسازی، تعمیرات دوره‌ای و نظارت مستمر از راهکارهای پیشنهادی بر اساس این یافته‌ها است.

روشنایی و علائم ناکامل نیز به ترتیب با اهمیت ۰,۶۳ و ۰,۵۵ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این مقادیر نشان می‌دهد که زیرساخت‌های ترافیکی نقش مهمی در هدایت راننده و کاهش خطاهای ادراکی دارند. نبود روشنایی کافی یا علائم ناقص می‌تواند باعث سردرگمی راننده، کاهش دید و افزایش احتمال برخورد شود. بنابراین جدول ۴-۲۶ اهمیت مجموعه‌ای از عوامل انسانی، محیطی و زیرساختی را در تبیین وقوع تصادفات برجسته می‌کند.

جدول ۴-۲۶. رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع تصادف

عامل	اهمیت استاندارد شده
سرعت غیرمجاز	۱
پیچ خطرناک	۰,۸۷
لغزندگی	۰,۸۲
PCI	۰,۷۵
روشنایی	۰,۶۳
علائم ناکامل	۰,۵۵

فصل پنجم

بحث و نتیجه گیری

۵-۱-مقدمه

فصل نتیجه گیری این پژوهش با هدف جمع بندی یافته ها و ارائه تحلیل نهایی از علل وقوع تصادفات جاده ای بین شهری در شهرستان زرنند تدوین شده است. در این فصل، عوامل مؤثر بر فراوانی و شدت تصادفات، شامل هندسه مسیر، کیفیت زیرساخت های جاده ای و شرایط محیطی و آب و هوایی، به صورت یکپارچه بررسی و ارتباط آن ها با رفتار رانندگان تحلیل می شود. این بخش به ارائه تصویری جامع از وضعیت ایمنی محورهای مطالعه کمک می کند و اهمیت اصلاح زیرساخت ها و توجه به عوامل محیطی و انسانی را برجسته می سازد.

همچنین، فصل نتیجه گیری به بررسی هم سویی یافته های پژوهش با مطالعات پیشین و تبیین پیامدهای عملی و پژوهشی این نتایج اختصاص دارد. هدف از این فصل، نه تنها جمع بندی علمی اطلاعات به دست آمده، بلکه ارائه راهکارها و پیشنهادهای کاربردی و پژوهشی برای بهبود ایمنی جاده ها و کاهش تصادفات در محورهای بین شهری شهرستان زرنند و سایر مناطق مشابه است. این فصل به عنوان پلی میان تحلیل داده ها و برنامه ریزی های عملیاتی و تحقیقاتی آینده عمل می کند.

۵-۲-نتیجه گیری

۵-۲-۱-پاسخ به سوالات پژوهش

سؤال اصلی پژوهش : علت وقوع تصادفات جاده ای بین شهری در شهرستان زرنند چیست؟

پراکندگی و فراوانی تصادفات در سه محور نشان می دهد که مهم ترین علل وقوع تصادفات بین شهری در شهرستان زرنند به مجموعه ای از عوامل هندسی، زیرساختی و محیطی مرتبط است. داده ها نشان می دهد که محور زرنند-راور به عنوان پر تصادف ترین محور با ۱۵۸۰ حادثه، بیشترین مشکلات ساختاری را دارد؛ از جمله ۲۵ کیلومتر نقص هندسی، کیفیت روسازی بسیار پایین با PCI برابر ۵۵ و میانگین سرعت ثبت شده ۱۰۲ کیلومتر در ساعت که بالاتر از حد مجاز ۹۰ کیلومتر است. در کنار این موارد، سهم بالای خروج از جاده (۱۹ درصد)، پیچ های خطرناک و روشنایی ناکافی که مجموعاً بیش از ۵۸ درصد علل تصادفات را تشکیل می دهند، نشان می دهد که بخش عمده ای از تصادفات ناشی از ضعف مهندسی، تخریب روسازی، و عدم انطباق رفتار رانندگان با شرایط مسیر است.

در محورهای دیگر نیز الگوی مشابهی دیده می شود. برای مثال، در محور زرنند-دشتخاک، وجود ۳۴ پیچ خطرناک، ۱۲ کیلومتر قوس تند و شیب ۹ درصدی همراه با سرعت متوسط بالاتر از حد مجاز (۹۵ در برابر ۸۵ کیلومتر) موجب افزایش احتمال واژگونی، خروج از جاده و برخوردهای روبه رو شده است.

همچنین کیفیت متوسط رو به پایین روسازی با $PCI=58$ ، ۱۱ کیلومتر خرابی شدید و ثبت ۷۲۰ مورد خروج از جاده در سطح کل محورها نشان می‌دهد که بسیاری از تصادفات ناشی از تخریب مسیر و کمبود حفاظ فیزیکی بوده است. نقش شرایط محیطی مانند لغزندگی (۱۱ درصد) نیز در افزایش وقوع تصادفات مؤثر است و در کنار فقدان علائم و روشنایی ناکافی، مجموعه‌ای از عوامل زیرساختی، هندسی و محیطی، علت غالب وقوع تصادفات در شهرستان زرنند را تشکیل می‌دهد.

سؤال فرعی اول: چه عوامل محیطی، هندسی و فنی بر تصادفات جاده‌ای در محورهای مورد مطالعه تأثیر دارند؟

یافته‌ها نشان می‌دهد که عوامل هندسی و فنی بیشترین سهم را در وقوع تصادفات دارند؛ به‌طوری‌که خروج از جاده (۱۹ درصد)، پیچ‌های خطرناک (۱۶ درصد)، فقدان علائم (۱۴ درصد)، روشنایی ناکافی (۱۳ درصد) و لغزندگی (۱۱ درصد) در مجموع بیش از ۷۶ درصد علل اصلی ثبت‌شده را تشکیل داده‌اند. وجود ۵۸ کیلومتر نقص هندسی در سه محور و ثبت ۷۰۵ تصادف در همین محدوده‌ها نشان می‌دهد که طراحی نامناسب مسیر، شامل قوس‌های تند، پیچ‌های با شعاع کم، شیب‌های بیش از حد استاندارد و تقاطع‌های خطرناک، نقش مؤثری در وقوع حادثه داشته است. همچنین ثبت میانگین شدت بالا در حوادثی مانند خروج از جاده (۶۰ درصد جرحی و فوتی) تأیید می‌کند که این عوامل هندسی نه تنها بر فراوانی، بلکه بر شدت تصادفات نیز اثر می‌گذارند.

در کنار عوامل هندسی، عوامل محیطی نیز سهم قابل توجهی دارند. داده‌ها نشان می‌دهد که لغزندگی ناشی از بارندگی و یخبندان ۱۱ درصد از کل تصادفات را تشکیل داده و شدت آن نیز ۴۹ درصد بوده است که نشان‌دهنده اثر مستقیم شرایط جوی بر افزایش خطر برخورد، انحراف یا واژگونی است. از نظر زمانی نیز فصل تابستان با ۳۱ درصد بیشترین سهم و فصل زمستان با ۲۲ درصد کمترین سهم را داشته‌اند که بیانگر تأثیر حجم سفرها و شرایط آب‌وهوایی است. همچنین ۲۸ درصد تصادفات در روزهای پنجشنبه و جمعه ثبت شده که نقش عوامل رفتاری وابسته به زمان (شتاب، خستگی، رفت‌وآمدهای خانوادگی) را نشان می‌دهد. مجموع این داده‌ها مشخص می‌کند که ترکیب عوامل زیرساختی، هندسی و محیطی، محرک اصلی تصادفات در محورهای مورد مطالعه است.

سؤال فرعی دوم: کیفیت زیرساخت‌های جاده‌ای چه تأثیری بر میزان و شدت تصادفات در محورهای بین‌شهری شهرستان زرنند دارد؟

تحلیل شاخص‌های کیفیت روسازی نشان می‌دهد که محورهایی با کیفیت پایین‌تر سهم بیشتری در وقوع تصادفات شدید دارند. محور زرنند-راور با کمترین PCI (عدد ۵۵) و ۱۶ کیلومتر خرابی شدید، بیشترین تعداد و نرخ تصادفات را داشته و همچنین بالاترین سرعت متوسط (۱۰۲ کیلومتر در ساعت) در آن ثبت شده است که ترکیب این شرایط موجب افزایش پیامدهای شدید مانند خروج از مسیر، واژگونی یا

برخوردهای سهمگین شده است. در محور زرنند-دشتخاک نیز وجود ۱۱ کیلومتر خرابی شدید و PCI برابر ۵۸ باعث شده که در شرایط بارندگی یا عبور خودروهای سنگین، لغزندگی افزایش یافته و این عامل با ثبت ۴۲۰ تصادف و شدت آسیب ۴۹ درصد، رابطه مستقیم با کیفیت روسازی داشته باشد. به علاوه، داده‌ها نشان می‌دهد که نقاط دارای خرابی روسازی معمولاً با نقاط پرتصادف همپوشانی دارند. از میان ۳۶ نقطه پرحادثه شناسایی شده، تعداد قابل توجهی در مقاطع دارای نشست، ترک خوردگی یا گودافتادگی قرار گرفته‌اند. در همین نقاط، شدت تصادفات نیز بالاتر بوده و به‌ویژه خروج از جاده و واژگونی سهم بیشتری داشته است. همچنین ضعف در روشنایی و علائم در کنار خرابی روسازی، موجب کاهش آگاهی موقعیتی رانندگان شده و در شب یا شرایط جوی نامناسب احتمال برخورد یا انحراف افزایش پیدا کرده است. بنابراین کیفیت پایین زیرساخت‌ها مستقیماً بر فراوانی حوادث و به‌طور خاص بر شدت پیامد آن‌ها اثر گذاشته است.

سؤال فرعی سوم : شرایط آب‌وهوایی چگونه بر افزایش خطر تصادفات در محورهای بین‌شهری شهرستان زرنند تأثیر می‌گذارد؟

طبق داده‌های ثبت شده، لغزندگی ناشی از بارندگی، یخبندان و کاهش اصطکاک سطح جاده ۱۱ درصد از کل تصادفات را تشکیل داده و شدت آسیب در این حوادث ۴۹ درصد بوده است؛ این امر نشان می‌دهد که شرایط آب‌وهوایی با ایجاد کاهش کنترل خودرو نقش مهمی در وقوع تصادفات شدید دارد. افزون‌براین، کیفیت روسازی نامطلوب در برخی محورها موجب تشدید اثرات آب‌وهوایی شده است. برای مثال در محور زرنند-راور که PCI بسیار پایینی دارد، بارندگی موجب گودافتادگی، آب‌جمع‌شدگی و کاهش پایداری خودرو شده و احتمال خروج از مسیر را افزایش داده است. همپوشانی خرابی سطح جاده با شرایط بارانی یا یخ‌زده، اثر آن را تقویت کرده و سهم قابل توجهی در تصادفات شدید داشته است.

از نظر توزیع زمانی، سهم کمتر تصادفات در فصل زمستان (۲۲ درصد) و سهم بیشتر آن در فصل تابستان (۳۱ درصد) نشان‌دهنده نقش شرایط جوی همراه با تغییر حجم سفرهاست. در زمستان، اگرچه حجم تردد کاهش می‌یابد، اما لغزندگی سهم بیشتری در شدت تصادفات دارد و موجب افزایش جراحات و فوتی‌ها می‌شود. در تابستان نیز شرایط جوی مناسب‌تر موجب سرعت‌های بالاتر و افزایش خطر در پیچ‌های خطرناک و قوس‌های تند شده است. همچنین توزیع روزهای پرتکرار تصادف (پنجشنبه و جمعه با ۲۸ درصد) نشان می‌دهد که شرایط آب‌وهوایی در تعامل با رفتار رانندگان، به‌ویژه در تردهای آخر هفته، اثرگذاری بیشتری دارد. به این ترتیب، شرایط آب‌وهوایی به‌صورت مستقیم از طریق لغزندگی و به‌صورت غیرمستقیم از طریق تغییر رفتار رانندگان و میزان سفرها بر وقوع تصادفات اثر گذاشته است.

۵-۲-۲- بحث و بررسی

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که وقوع تصادفات جاده‌ای بین شهری در شهرستان زرند ناشی از مجموعه‌ای پیچیده از عوامل هندسی، زیرساختی و محیطی است که در تعامل با رفتار رانندگان، شدت و فراوانی حوادث را تعیین می‌کنند. تحلیل محورهای مورد مطالعه نشان داد که طراحی نامناسب هندسی مسیر، شامل وجود قوس‌های تند، پیچ‌های با شعاع کم، شیب‌های بیش از حد استاندارد و تقاطع‌های خطرناک، نقش کلیدی در افزایش احتمال خروج از جاده، واژگونی و برخوردهای شدید دارد. این یافته‌ها با پژوهش‌های پیشین مانند مطالعه مرادی نسب و همکاران (۱۴۰۳) که اهمیت طراحی مناسب هندسی جاده‌ها و نقش آن در کاهش تصادفات را نشان دادند، همخوانی دارد و تأکید می‌کند که اصلاح طرح هندسی مسیرها می‌تواند به کاهش حوادث منجر شود. به‌طور مشابه، پژوهش هاشمی و همکاران (۱۴۰۳) نیز بیان کرده بود که تصادفات در مسیرهای سانحه‌خیز بیشتر رخ می‌دهد و عوامل انسانی و خطای راننده با ترکیب نقص‌های هندسی جاده‌ها اثرگذار هستند. بنابراین، یافته‌های حاضر، تقویت اهمیت طراحی هندسی استاندارد و توجه به اصول مهندسی در کاهش تصادفات را تأیید می‌کند.

کیفیت زیرساخت‌های جاده‌ای، به‌ویژه وضعیت روسازی، عامل دیگری است که به‌طور مستقیم بر وقوع و شدت تصادفات اثرگذار است. محورهایی با روسازی نامناسب، خرابی‌های سطحی، نشست‌ها و ترک‌های متعدد، بیشترین تعداد و شدت تصادفات را تجربه کرده‌اند. این نتایج با یافته‌های مردانیان و بهاری (۱۴۰۴) که کیفیت نامطلوب روسازی و کمبود شانه‌های ایمن در مسیرها را از عوامل مؤثر در بروز تصادفات معرفی کرده بودند، مطابقت دارد. همچنین پژوهش باکلانوا و همکاران (۱۴۰۲) نشان داده بود که جاده‌های دارای خرابی سطحی بیشترین میزان تصادفات را دارند و این وضعیت با افزایش احتمال خروج از مسیر و واژگونی همراه است. بنابراین، کیفیت زیرساخت‌ها نه تنها بر فراوانی حوادث، بلکه بر شدت پیامدهای آن‌ها نیز اثرگذار است و اصلاح روسازی، نصب علائم هشداردهنده و بهبود سیستم‌های حفاظتی می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش تصادفات داشته باشد.

عوامل محیطی نیز سهم قابل توجهی در وقوع تصادفات دارند، به‌ویژه شرایط آب‌وهوایی مانند بارندگی، یخبندان و لغزندگی سطح جاده که با کاهش کنترل خودرو، خطر برخورد و واژگونی را افزایش می‌دهند. این یافته‌ها با پژوهش سراج (۱۴۰۲) که تأثیر شرایط نامساعد جوی بر تصادفات در گردنه‌های کوهستانی را مورد بررسی قرار داده بود، همخوانی دارد و نشان می‌دهد که ترکیب شرایط جوی نامطلوب با کیفیت پایین روسازی، اثر افزایشی بر وقوع حوادث دارد. همچنین، داده‌ها نشان داد که زمان وقوع تصادفات با عوامل رفتاری مرتبط است؛ روزهای آخر هفته و فصل تابستان بیشترین میزان تصادفات را نشان می‌دهند که این موضوع بیانگر تعامل بین رفتار رانندگان، حجم سفرها و شرایط محیطی است.

این یافته‌ها با پژوهش دیوانداری و اکراقنبری (۱۴۰۲) مطابقت دارد که نقش عوامل اقلیمی و انسانی را در افزایش تصادفات برجسته کرده‌اند و اهمیت مدیریت رفتار رانندگان و رعایت مقررات را مورد تأکید قرار داده‌اند.

رفتار رانندگان و عدم انطباق آن با شرایط مسیر نیز از عوامل مؤثر در تصادفات است. رانندگی با سرعت بالاتر از حد مجاز در مسیرهای با نقص هندسی، عدم رعایت فاصله ایمن و توجه ناکافی به علائم و روشنایی، موجب افزایش شدت و فراوانی تصادفات شده است. این یافته با پژوهش احتشامراد (۱۴۰۴) که رابطه رفتارهای پرخطر رانندگان و سابقه دریافت جریمه با تصادفات شدیدتر را نشان داده بود، سازگار است و اهمیت اعمال نظارت‌های مؤثر و افزایش آگاهی رانندگان را تأیید می‌کند. همچنین، نتایج ناییبی و سعادت (۱۴۰۲) نشان می‌دهد که خودتنظیمی و نظارت مؤثر می‌تواند به کاهش تخلفات و در نتیجه کاهش تصادفات منجر شود. این شواهد نشان می‌دهد که علاوه بر اصلاح هندسی و کیفیت روسازی، مدیریت رفتار رانندگان از طریق آموزش، نظارت و کنترل قانونی، نقش مهمی در کاهش حوادث ایفا می‌کند.

وجود نقاط پرحادثه با همپوشانی خرابی‌های روسازی، پیچ‌های خطرناک و کمبود روشنایی و علائم هشداردهنده، نشان‌دهنده اثر همزمان عوامل هندسی، زیرساختی و محیطی بر وقوع تصادفات است. این نتایج با پژوهش ارجمند و قربانی (۱۴۰۲) که نقاط حادثه‌خیز و عوامل جاده‌ای مؤثر بر تصادفات خسارت‌زا را مورد بررسی قرار داده بودند، مطابقت دارد و تأکید می‌کند که شناسایی و ایمن‌سازی این نقاط، از جمله اقدامات مؤثر در کاهش حوادث محسوب می‌شود. علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی و داده‌کاوی، همان‌طور که رضایی (۱۴۰۳) و کیخایی (۱۴۰۱) نشان داده‌اند، می‌تواند در شناسایی نقاط ناایمن و پیش‌بینی شدت تصادفات کمک کند و مدیریت راه‌ها را هوشمندانه‌تر سازد.

در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تصادفات جاده‌ای بین‌شهری در شهرستان زرنند نتیجه تعامل چندین عامل است که شامل طراحی نامناسب هندسی جاده، کیفیت پایین روسازی، شرایط محیطی و آب‌وهوایی، و رفتار رانندگان می‌شود. سازگاری این نتایج با پژوهش‌های پیشین داخلی و بین‌المللی، مانند تحقیقات سناسینگه و همکاران (۲۰۲۴) و بیشت و همکاران (۲۰۲۲)، تأکید می‌کند که این عوامل در بسیاری از مناطق دیگر نیز نقش تعیین‌کننده دارند و اصلاح آن‌ها می‌تواند به کاهش تصادفات منجر شود. بنابراین، اقدامات پیشگیرانه و مدیریتی باید چندجانبه باشد و شامل بهبود هندسه و روسازی مسیرها، نصب علائم و روشنایی مناسب، تجهیز نقاط حادثه‌خیز، آموزش و نظارت بر رفتار رانندگان و مدیریت شرایط آب‌وهوایی باشد.

پیشنهاد می‌شود که برنامه‌ریزی‌های راهبردی برای کاهش تصادفات، بر اساس شناسایی نقاط پرخطر، اصلاح هندسی مسیرها، بهبود کیفیت روسازی و استفاده از فناوری‌های نوین صورت گیرد تا اثر همزمان عوامل مختلف کاهش یابد. همچنین، توجه ویژه به آموزش رانندگان و کنترل رفتاری آنان به‌ویژه در روزها و فصول پرتردد، می‌تواند از وقوع تصادفات پیشگیری کند. یافته‌ها همچنین نشان می‌دهند که شرایط محیطی و آب‌وهوایی در تعامل با کیفیت زیرساخت‌ها و رفتار رانندگان، اثر ترکیبی بر شدت تصادفات دارد و مدیریت یکپارچه این عوامل ضروری است. در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که کاهش تصادفات بین‌شهری نیازمند رویکرد جامع و علمی است که در آن ترکیبی از مهندسی راه، مدیریت زیرساخت‌ها، آموزش و فرهنگ‌سازی رانندگان، و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به کار گرفته شود تا امنیت جاده‌ای در شهرستان زرنند بهبود یابد و پیامدهای ناشی از حوادث جاده‌ای کاهش پیدا کند. با توجه به سازگاری یافته‌های این پژوهش با مطالعات پیشین داخلی و بین‌المللی، می‌توان گفت که عوامل هندسی، زیرساختی، محیطی و رفتاری، در بیشتر مناطق جاده‌ای نقش مؤثر و مشابهی در وقوع تصادفات دارند و بنابراین اقدامات اصلاحی در این زمینه‌ها دارای توجیه علمی و عملی هستند. به‌طور کلی، پژوهش حاضر ضمن تأیید یافته‌های گذشته، بر اهمیت یکپارچه‌سازی مدیریت مهندسی، زیرساختی و رفتاری در کاهش تصادفات جاده‌ای تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که تنها با رویکرد جامع و چندجانبه می‌توان نرخ تصادفات و شدت پیامدهای ناشی از آن را به‌طور قابل توجهی کاهش داد.

۳-۵- پیشنهادات پژوهش

۳-۵-۱- پیشنهادات کاربردی

❖ **اصلاح هندسه و طراحی مسیرهای پرتصادف:** با توجه به نقش قوس‌های تند، پیچ‌های با شعاع کم و شیب‌های بیش از حد استاندارد در افزایش تصادفات، ضروری است محورهای پرتصادف مانند زرنند-راور و زرنند-دشتخاک بازطراحی و اصلاح هندسی شوند تا نقاط پرخطر کاهش یافته و ایمنی رانندگان افزایش یابد.

❖ **بهبود کیفیت روسازی و نگهداری مسیرها:** محورهای دارای PCI پایین و خرابی شدید روسازی بیشترین سهم در تصادفات شدید دارند. بنابراین بازسازی و تعمیر روسازی، ترمیم نشست‌ها، ترک‌ها و گودافتادگی‌ها، و ایجاد شانه‌های ایمن، می‌تواند اثر مستقیم بر کاهش فراوانی و شدت تصادفات داشته باشد.

❖ **نصب و بهبود علائم هشداردهنده و روشنایی:** فقدان علائم و روشنایی ناکافی از عوامل اصلی وقوع حوادث است. نصب تابلوهای هشداردهنده در نقاط پرتصادف، تأمین روشنایی

مناسب به ویژه در شب و شرایط نامساعد جوی و استفاده از چراغ‌های چشمک‌زن در پیچ‌های خطرناک، موجب افزایش آگاهی رانندگان و کاهش تصادفات می‌شود.

❖ **ایمن‌سازی نقاط حادثه‌خیز:** شناسایی نقاط پرتصادف و ایجاد موانع حفاظتی، گاردریل و سیستم‌های کاهش سرعت در این نقاط، می‌تواند از خروج از مسیر و واژگونی خودروها جلوگیری کند و شدت حوادث را کاهش دهد.

❖ **کنترل و مدیریت سرعت رانندگان:** سرعت بالاتر از حد مجاز در محورهای دارای نقص هندسی و روسازی نامطلوب نقش مهمی در تصادفات دارد. نصب سامانه‌های کنترل سرعت، استفاده از دوربین‌های ثبت تخلفات و اعمال جریمه‌های مؤثر می‌تواند رفتار رانندگان را اصلاح کرده و خطر تصادفات را کاهش دهد.

❖ **مدیریت شرایط آب‌وهوایی و هشداردهی:** با توجه به تأثیر لغزندگی ناشی از بارندگی و یخبندان، نصب علائم هشداردهنده در شرایط نامساعد، اطلاع‌رسانی به رانندگان و استفاده از سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار شرایط جوی، می‌تواند تصادفات شدید مرتبط با لغزندگی جاده‌ها را کاهش دهد.

❖ **آموزش و فرهنگ‌سازی رانندگان:** آموزش رانندگان در خصوص رعایت سرعت مطمئن، فاصله ایمن، انطباق با شرایط مسیر و آب‌وهوایی، به‌ویژه در روزهای پرتردد و فصول سفر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برنامه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی می‌تواند آگاهی رانندگان را افزایش دهد و خطای انسانی را کاهش دهد.

❖ **استفاده از فناوری‌های نوین برای پایش و تحلیل حوادث:** بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند، داده‌کاوی، GIS و هوش مصنوعی برای شناسایی نقاط پرخطر، پیش‌بینی شدت تصادفات و مدیریت زیرساخت‌ها، امکان برنامه‌ریزی دقیق و اقدامات پیشگیرانه مؤثر را فراهم می‌کند و می‌تواند روند کاهش تصادفات را به صورت مستمر پایش کند.

۵-۳-۲-پیشنهادهای پژوهشی

❖ براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به تحلیل دقیق‌تر تأثیر هندسه مسیرها و طراحی نقاط پرخطر بر فراوانی و شدت تصادفات بپردازند تا با مدل‌سازی علمی، اولویت‌بندی اصلاحات هندسی در محورهای مختلف مشخص شود.

❖ براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی کیفیت روسازی و تأثیر خرابی‌های سطحی، نشست‌ها و ترک‌ها بر شدت تصادفات را به صورت جزئی و با استفاده از شاخص‌های

پیشرفته مانند PCI و GIS بررسی کنند تا ارتباط میان زیرساخت‌های فیزیکی و پیامدهای تصادف روشن‌تر شود.

❖ براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده نقش علائم هشداردهنده، روشنایی و سایر تجهیزات ایمنی جاده‌ای را در کاهش تصادفات در محورهای پرخطر ارزیابی کنند و مدل‌های بهینه نصب علائم و روشنایی در شرایط مختلف آب‌وهوایی ارائه دهند.

❖ براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده به بررسی اثر ترکیبی عوامل محیطی و شرایط آب‌وهوایی بر وقوع و شدت تصادفات بپردازند تا نقش مستقیم لغزندگی، بارندگی و یخبندان و همچنین اثر غیرمستقیم آن‌ها بر رفتار رانندگان شناسایی شود.

❖ براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های بعدی اثر رفتار رانندگان، سرعت غیرمجاز، خستگی و شتاب سفر در روزهای پرتردد و فصل‌های مختلف سال را به‌طور کمی و کیفی تحلیل کنند تا ارتباط میان رفتار انسانی و الگوی تصادفات به صورت دقیق مشخص شود.

❖ براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده از تکنیک‌های داده کاوی، هوش مصنوعی و مدل‌سازی پیش‌بینی برای شناسایی نقاط پرتصادف و پیش‌بینی شدت حوادث استفاده کنند تا برنامه‌ریزی دقیق و اقدامات پیشگیرانه مؤثر در سطح محورهای بین‌شهری فراهم شود.

❖ براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده اثر ترکیب عوامل هندسی، زیرساختی و محیطی را به‌صورت یک مدل جامع و یکپارچه بررسی کنند تا بتوانند تعامل این عوامل را در وقوع تصادفات و شدت آن‌ها در محورهای مختلف شناسایی و اولویت‌بندی کنند.

❖ براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی به ارزیابی اثر اصلاحات پیشنهادی بر کاهش تصادفات، مانند بازطراحی هندسی، بهبود روسازی و نصب علائم ایمنی، بپردازند تا شواهد علمی مستندی از اثربخشی این اقدامات در شرایط واقعی ارائه شود و به تدوین سیاست‌های عملیاتی و برنامه‌ریزی ایمنی کمک کند.

۵-۴- محدودیت‌های پژوهش

❖ دسترسی به داده‌های دقیق و جامع تصادفات با جزئیات کامل در تمامی محورهای شهرستان محدود بود و برخی اطلاعات مربوط به شدت تصادفات یا شرایط خاص محیطی در زمان وقوع حادثه به‌صورت کامل ثبت نشده بود.

- ❖ تحلیل‌ها بیشتر بر اساس داده‌های موجود و مشاهدات میدانی انجام شد و عوامل انسانی مانند رفتار رانندگان، تجربه رانندگی و واکنش به شرایط جوی تنها از طریق داده‌های غیرمستقیم و ثبت شده ارزیابی شده‌اند که ممکن است برخی ابعاد انسانی تصادفات را پوشش ندهد.
- ❖ این پژوهش محدود به محورهای مشخص شهرستان زرند بود و نتایج آن قابل تعمیم مستقیم به سایر مناطق جاده‌ای کشور نیست
- ❖ تفاوت‌های جغرافیایی، آب‌وهوایی و زیرساختی می‌تواند اثرات متفاوتی بر وقوع تصادفات داشته باشد. شرایط آب‌وهوایی و زمانی در طول دوره مطالعه ممکن است با تغییرات اقلیمی و حجم سفرهای آینده متفاوت باشد، بنابراین بررسی اثر بلندمدت این عوامل نیازمند مطالعات تکمیلی و طولی است.
- ❖ برخی عوامل پیشگیرانه و مدیریتی مانند نظارت ترافیکی، اجرای قوانین راهنمایی و رانندگی و فعالیت‌های آموزشی رانندگان در این پژوهش بررسی نشد که می‌تواند موضوعی برای تحقیقات آینده باشد.

منابع و مأخذ

الف). منابع فارسی

- ارجمند، بهرام و قربانی، علی، ۱۴۰۲، شناسایی نقاط حادثه خیز و ارزیابی عوامل جاده ای اثرگذار بر تصادفات خسارت زا (مطالعه موردی محور یاسوج گچساران)، هشتمین همایش بین المللی مهندسی عمران، معماری، شهرسازی با رویکرد توسعه پایدار، تهران
- پورنعمتی، شهرزاد و عربی، راحله، ۱۴۰۲، بررسی نقش عوامل محیطی موثر در تصادفات جاده ای و راه های کاهش آن، هشتمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و مهندسی و پنجمین کنگره بین المللی عمران، معماری و شهرسازی آسیا
- خیرآبادی، غ.ر.، (۱۳۹۱)، "نقش عوامل انسانی در تصادفات جاده ای"، تحقیقات علوم فناوری- دوره ۱۰- شماره ۱، ص ۳.
- خیرآبادی، غلامرضا، و بوالهروی، جعفر (۱۳۹۱). نقش عوامل انسانی در تصادفات جاده ای. تحقیقات علوم رفتاری، ۱۰(۱) (پی در پی ۲۲)، ۶۹-۷۸.
- دیواندری، حسن و اکراقنبری، ایرج، ۱۴۰۲، مروری بر مطالعات انجام شده در خصوص عوامل تاثیر گذار بر میزان تصادفات جاده ای، پانزدهمین کنفرانس بین المللی حمل و نقل و ترافیک با رویکرد هوش مصنوعی در مهندسی عمران، مشهد
- رضایی، کیانوش، ۱۴۰۳، برداشت میدانی علائم ایمنی ترافیک و استفاده از هوش مصنوعی در کاهش تصادفات جاده ای، بیست و سومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، شیروان
- سراج، نیما، ۱۴۰۲، ارزیابی تاثیر شرایط جوی نامناسب بر تصادفات جاده ای (مطالعه موردی: گردنه حیران)، هفتمین کنفرانس بین المللی مطالعات جهانی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران
- سمیعا جلال، رنجبر شویی منوچهر، نیک پور عامر. تحلیل مکانی-زمانی تصادفات جاده ای در محور مواصلاتی هراز با استفاده از شاخص های آمار مکانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. دانش پیشگیری و مدیریت بحران. ۱۴۰۲؛ ۱۳ (۴): ۵۰۸-۵۲۷
- شهابی، هیمن، خورشید دوست، علی محمد، و حسینی، میرکامل (۱۳۹۰). ارزیابی نقش عناصر اقلیمی بر تصادفات جاده ای (مطالعه محور سقز - سنندج). تحقیقات جغرافیایی، ۲۶ (۳) (پیاپی ۱۰۲)، ۱۸۹-۲۱۲.
- صبا علی، حمداللهی مهرداد، آدم نژاد شهرام، سیدعلی زاده گنجی (۱۳۸۸). «اهمیت سلامت رانندگان در ایمنی حمل و نقل جاده ای و ارایه راهکارهای مؤثر در ارتقای آن». مطالعات مدیریت ترافیک، ش ۴، دوره پانزدهم، صص ۱۰۳-۱۱۲.

صمدیان، منیرالسادات، و جعفری، ادريس (۱۳۹۸). شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر تصادفات جاده ای. پژوهشنامه جغرافیای انتظامی، ۷(۲۷)، ۱۲۳-۱۴۲.

فرج زاده اصل منوچهر، کرمی شهرام. تحلیل درباره تصادفات جاده ای و رویکرد اقلیمی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی: جاده فیروزکوه - ساری. آمایش فضا و ژئوماتیک. ۱۳۸۴؛ ۹ (۱).
۱۵۱-۱۶۷:

کیخایی، مهدی (۱۴۰۱). تحلیل مکانی فاکتورهای مؤثر بر تصادفات جاده ای با استفاده از تکنیک های داده کاوی (Data Mining). و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). (مطالعه موردی آزاد راه قزوین - زنجان). پژوهشنامه علوم دفاعی، ۲(۱)، ۴۹-۸۲.

گهرپور، علی اصغر و ظل طاعت، جواد (۱۳۹۴). شناسایی و اولویت بندی عوامل انسانی موثر در تصادفات جاده ای با استفاده از روش AHP. جاده، ۲۳(۸۵)، ۲۷۳-۲۸۶.

مرادی نسب، حسین و جهان پناه، سعید و خاتمی، کیانا، ۱۴۰۳، نقش معماری راه در کاهش تصادفات جاده ای، ماهنامه پایاشهر، دوره: ۶، شماره: ۷۱.

موسویان، سیدابوالحسن، و صفری، ابوالفضل (۱۳۸۸). رانندگان و تاثیر رفتار ناایمن در تصادفات و حوادث جاده ای. کنفرانس ملی تصادفات و سوانح جاده ای و ریلی.

نایی، هوشنگ و سعادت، محسن، ۱۴۰۲، عامل انسانی و تصادفات جاده ای (مورد مطالعه: رانندگان حمل و نقل جاده ای استان همدان)، دومین کنفرانس ملی آسیب های اجتماعی و روانی با تاکید بر علوم رفتاری، خرامه

هاشمی، سیدحمید و امانی تهرانی، داریوش و مقدس نژاد، فریدون و ساجدی، سید فتح اله (۱۴۰۳). ارزیابی و رتبه بندی عوامل تاثیرگذار در تصادفات جاده ای ارزیابی و رتبه بندی عوامل تاثیرگذار در تصادفات جاده ای راه های استان مرکزی با روش ساختار معادلاتی SEM. پژوهشنامه حمل و نقل، ۲۱(۱)، ۳۱۱-۳۲۸.

ب). منابع انگلیسی

- Aati, K., Houda, M., Alotaibi, S., Khan, A. M., Alselami, N., & Benjeddou, O(2024). Analysis of road traffic accidents in dense cities: geotech transport and ArcGIS. *Transportation Engineering*, 16, 100256.
- Ahmed, S. K., Mohammed, M. G., Abdulqadir, S. O., El-Kader, R. G. A., El-Shall, N. A., Chandran, D., ... & Dhama, K(2023). Road traffic accidental injuries and deaths: A neglected global health issue. *Health science reports*, 6(5), e1240.
- Alizadeh, A., Zare, M., Darparesh, M., Mohseni, S., & Soleimani-Ahmadi, M(2015). GIS based analysis of intercity fatal road traffic accidents in Iran. *Journal of medicine and life*, 8(Spec Iss 2), 77.
- Athiappan, K., Karthik, C., Rajalaskshmi, M., Subrata, C., Dastjerdi, H. R., Liu, Y., ... & Gheisari, M(2022). Identifying influencing factors of road accidents in emerging road accident blackspots. *Advances in Civil Engineering*, 2022(1), 9474323.
- Baklanova, K. V., Voevodin, E. S., Fomin, E. V., Kashura, A. S., & Cheban, E. P(2021, February). Identification of factors affecting accidents on the intercity road network. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1061, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Bisht, L. S., Tiwari, G., Rao, K. R., & Jha, K. N(2022). Exploratory assessment of road traffic crashes on the intercity expressway in India. *Adv Transp Stud Int J*, 3, 45-58.
- Bobermin, M. P., Silva, M. M., & Ferreira, S(2021). Driving simulators to evaluate road geometric design effects on driver behaviour: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention*, 150, 105923.
- Cafiso, S., Montella, A., D'Agostino, C., Mauriello, F., & Galante, F(2021). Crash modification functions for pavement surface condition and geometric design indicators. *Accident Analysis & Prevention*, 149, 105887.
- Chand, A., Jayesh, S., & Bhasi, A. B(2021). Road traffic accidents: An overview of data sources, analysis techniques and contributing factors. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5135-5141.
- Dumitrascu, D. I(2024). Influence of Road Infrastructure Design over the Traffic Accidents: A Simulated Case Study. *Infrastructures*, 9(9), 154.
- Ehteshamrad, S(2024). Relationship of dangerous behavior of professional drivers and penalties on accidents of intercity road network. *International journal of transportation engineering*, 11(3), 1491-1504.
- Eltemasi, M., & Behtooiey, H(2024). Examining the relationship between wind speed, climatic conditions, and road accidents in Iran. *Heliyon*, 10(13).
- Fisa, R., Musukuma, M., Sampa, M., Musonda, P., & Young, T(2022). Effects of interventions for preventing road traffic crashes: an overview of systematic reviews. *BMC public health*, 22(1), 513.
- Gorzalanczyk, P(2023). Using neural networks to forecast the number of road accidents in Poland taking into account weather conditions. *Results in Engineering*, 17, 100981.
- Gorzalanczyk, P., & Tylicki, H(2023). Methodology for optimizing factors affecting road accidents in poland. *Forecasting*, 5(1), 336-350.
- Ismail, S.N.; Ramli, A.; Aziz, H.A. Research trends in mining accidents study: A systematic literature review. *Saf. Sci.* 2021, 143, 105438.

- Jeong, H., Kim, I., Han, K., & Kim, J(2022). Comprehensive analysis of traffic accidents in seoul: Major factors and types affecting injury severity. *Applied Sciences*, 12(4)., 1790.
- Kim, D., Jung, S., & Yoon, S(2021). Risk prediction for winter road accidents on expressways. *Applied Sciences*, 11(20)., 9534.
- Kwon, J. H., Kim, J., Kim, S., & Cho, G. H(2022). Pedestrians safety perception and crossing behaviors in narrow urban streets: An experimental study using immersive virtual reality technology. *Accident Analysis & Prevention*, 174, 106757.
- Lin, D. J., Yang, J. R., Liu, H. H., Chiang, H. S., & Wang, L. Y(2022). Analysis of environmental factors on intersection accidents. *Sustainability*, 14(3)., 1764.
- Mardanian, S., & Bahari, A(2024). An Analysis of Factors Influencing Accidents outside Urban Areas in Sistan and Baluchestan Province. *Advances in Civil Engineering*, 2024(1)., 6690964.
- McCarty, D., & Kim, H. W(2024). Risky behaviors and road safety: An exploration of age and gender influences on road accident rates. *PLoS one*, 19(1)., e0296663.
- Mohammed, S., Alkhereibi, A. H., Abulibdeh, A., Jawarneh, R. N., & Balakrishnan, P(2023). GIS-based spatiotemporal analysis for road traffic crashes; in support of sustainable transportation Planning. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 20, 100836.
- Pavlou, D., Christodoulou, G., & Yannis, G(2023). The impact of weather conditions and driver characteristics on road safety on rural roads. *Transportation research procedia*, 72, 4081-4088.
- Pińskwar, I., Choryński, A., & Graczyk, D(2024). Good weather for a ride (or not?): how weather conditions impact road accidents—a case study from Wielkopolska (Poland). *International journal of biometeorology*, 68(2)., 317-331.
- Pljakić, M., Jovanović, D., & Matović, B(2022). The influence of traffic-infrastructure factors on pedestrian accidents at the macro-level: The geographically weighted regression approach. *Journal of safety research*, 83, 248-259.
- Sadeghi, P., & Goli, A(2024). Investigating the impact of pavement condition and weather characteristics on road accidents. *International Journal of Crashworthiness*, 29(6)., 973-989.
- Sadeghi, P., & Goli, A(2024). Investigating the impact of pavement condition and weather characteristics on road accidents. *International Journal of Crashworthiness*, 29(6)., 973-989.
- Senasinghe, A. P., de Barros, A., Wirasinghe, S. C., & Tay, R(2024). Factors Affecting Crash Severity on Two Major Intercity Roads in Western Sri Lanka: A Random Parameter Logit Approach. *Journal of South Asian Logistics and Transport*, 4(2).
- Stigson, H., Klingegård, M., & Kullgren, A(2023). How to reduce pedestrian fatalities: a case-by-case study to evaluate the potential of vehicle and road infrastructure interventions. *Traffic safety research*, 5, e000023-e000023.
- Sunny, C.M.; Nithya, S.; Sinshi, K.S.; Vinodini, V.M.D.; Lakshmi, A.K.G.; Anjana, S.; Manojkumar, T.K. Forecasting of Road Accident in Kerala: A Case Study. In *Proceedings of the International Conference on Data Science and Engineering (ICDSE)*., Kochi, India, 7–9 August 2018.
- Tanishita, M., Sekiguchi, Y., & Sunaga, D(2023). Impact analysis of road infrastructure and traffic control on severity of pedestrian–vehicle crashes at intersections and non-intersections using bias-reduced logistic regression. *IATSS research*, 47(2).,

233-239.

Trojanowski, P., Trusz, A., & Stupin, B(2022). Correlation between accidents on selected roads as fundamental for determining the safety level of road infrastructure. In Design, simulation, manufacturing: the innovation exchange (pp. 104-113). Cham: Springer International Publishing.