

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی راه و ترابری

تعریف شاخص ایمنی برای قوس‌های افقی (مطالعه موردی راه‌های استان سمنان)

نگارنده:

رضا قربانزاده

استاد راهنما:

دکتر حسین قاسم‌زاده طهرانی

استاد مشاور:

دکتر مهدی گلی

بهمن ۱۳۹۵



دانشکده : مهندسی عمران

گروه : راه و ترابری

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای رضا قربانزاده به شماره دانشجویی: ۹۳۱۳۵۲۴
تحت عنوان: تعریف شاخص ایمنی برای قوس‌های افقی (مطالعه موردی راه‌های استان سمنان)

در تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۱۹ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی عمران-راه و ترابری مورد ارزیابی و با درجه --- مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	دکتر مهدی گلی		دکتر حسین قاسم‌زاده طهرانی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	مهندس عباس محمدی		دکتر ایمان آقاپان
			دکتر عبدالاحد چوپانی

تعهد نامه

اینجانب رضا قربانزاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران-راه و ترابری دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه تعریف شاخص ایمنی برای قوس‌های افقی (مطالعه موردی راه‌های استان سمنان) تحت راهنمایی دکتر حسین قاسم‌زاده طهرانی متعهد می‌شوم:

تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد. در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (با بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم نامه

تقدیم به:

محضر مولانا آقا امام زمان "عجل الله"

و روح پاک شهدای مدافع حرم...

و تقدیم به:

پدر بزرگوار و مادر مهربانم:

که از نگاهشان صلابت

از رفقاشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و

ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

سپاس‌گزاری

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب

آقای دکتر حسین قاسم‌زاده طهرانی

که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و

دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

(و یزکیهم و یعلمهم الكتاب و الحکمه)

معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

به نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند صحیفه‌های سخن از تو علم پرور باد

از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد آرشی بسیار سپاس‌گذارم چرا که بدون راهنمایی‌های ایشان

تامین این پایان نامه بسیار مشکل می نمود.

از پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم، سپاسگزاری می نمایم.

همچنین از دوستان عزیزم که با یاری خود تحمل سختی و مشقت های مسیر را آسان نمودند کمال تشکر را دارم

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا بر منتهای همت خود کامران شدم

چکیده

امروزه با افزایش روزافزون وسایل نقلیه موتوری آمار تصادفات افزایش چشم گیری داشته است. آمار بالای تلفات و هزینه های سنگینی که تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی بر جامعه تحمیل می کند سبب شده است که بهبود ایمنی راه ها یکی از مسائل مهم در زمینه حمل و نقل و ترافیک به شمار آید. شناسایی عوامل مؤثر در تصادفات و همچنین یافتن راهکارهای مناسب برای مقابله با این عوامل از جمله مهم ترین اقدامات در زمینه بهبود ایمنی راه ها است.

میزان تصادف های جاده ای در قوس ها ۳ برابر تعداد تصادفات در مسیرهای مستقیم است، این موضوع نشان می دهد قوس های افقی جزء نقاط حادثه خیز مسیر راه محسوب می شود. با توجه به میزان تصادفات رخ داده در قوس های افقی ارائه شاخصی جهت ارزیابی ایمنی قوس ضروری به نظر می رسد، شاخصی که

به وسیله آن بتوان قوس‌های غیرایمن را شناسایی کرد و اقدامات لازم جهت بهبود ایمنی آن را انجام داد. در این تحقیق سعی شده است با جمع‌آوری مشخصات هندسی و ترافیکی مسیر شاهرود-آزادشهر که یک مسیر پرتردد در استان سمنان است، شاخص ایمنی جهت ارزیابی ایمنی قوس‌های افقی ارائه شود. در همین راستا شتاب جانبی در قوس‌های این مسیر در سرعت‌های مختلف با استفاده از شتاب‌سنج جمع‌آوری شده است. شعاع قوس، شتاب جانبی ماکسیمم، اختلاف سرعت حرکت در قوس با سرعت مجاز، نسبت شتاب جانبی ماکسیمم به شتاب جانبی تئوری، انحراف از معیار شتاب جانبی و انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی پارامترهای در نظر گرفته شده جهت مدل‌سازی است. برای رسیدن به شاخص ایمنی با استفاده از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته مدل‌های مختلفی ارائه شده است. پس از آن با توجه به محدوده شتاب جانبی که سرنشینان در وسیله‌نقلیه احساس راحتی می‌کنند و محدوده شتاب جانبی که باعث واژگونی وسیله‌نقلیه می‌شود، ۴ محدوده کاملاً ایمن، ایمن، ایمنی کم و غیرایمن جهت تعریف شاخص ایمنی ارائه شده است. براساس این شاخص قوسی که شتاب جانبی در آن کم‌تر از $0/35g$ باشد در محدوده کاملاً ایمن، قوس با شتاب جانبی بین $0/35g$ تا $0/55g$ در محدوده ایمن، قوس با شتاب جانبی بین $0/55g$ تا $0/7g$ در محدوده ایمنی کم و قوس‌هایی که شتاب جانبی در آن‌ها بیش‌تر از $0/7g$ است در محدوده غیرایمن قرار می‌گیرند. بررسی قوس‌های مسیر شاهرود به آزادشهر با شاخص فوق‌نشان می‌دهد ۶۰ درصد قوس‌های مورد بررسی ایمنی پایینی دارند که نیاز به اقدامات مناسب جهت افزایش ایمنی این قوس‌ها دارد.

واژگان کلیدی: شاخص ایمنی، قوس افقی، شتاب جانبی، سرعت وسیله‌نقلیه، مدل‌های خطی تعمیم‌یافته.

فرم شماره ۱۲: فرم امتیاز دهی و مشخصات مقاله

(این فرم بایستی با نظر اعضاء هیات داوران توسط نماینده تحصیلات تکمیلی تکمیل شود.)

نام و نام خانوادگی دانشجو: رضا قربانزاده رشته و گرایش تحصیلی: مهندسی عمران – گرایش راه و ترابری

شماره دانشجویی: ۹۳۱۳۵۲۴

تاریخ دفاع: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹

عنوان پایان نامه: تعریف شاخص ایمنی برای قوس‌های افقی (مطالعه موردی راه‌های استان سمنان)

عنوان مقالات چاپ شده کنفرانسی حداکثر تا روز دفاع از پایان نامه دانشجو:	نام کنفرانس	تاریخ کنفرانس	تاریخ چاپ	امتیاز
تأثیر پارامترهای هندسی و ترافیکی بر ایمنی قوس‌های افقی	چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی	۷ و ۸ بهمن ۱۳۹۵	۷ بهمن ۱۳۹۵	
عنوان مقالات علمی-پژوهشی چاپ یا پذیرش شده حداکثر تا روز دفاع :	نام مجله	تاریخ ارائه یا پذیرش	تاریخ چاپ	امتیاز
عنوان مقالات علمی-ترویجی چاپ یا پذیرش شده حداکثر تا روز دفاع :	نام مجله	تاریخ ارائه یا پذیرش	تاریخ چاپ	امتیاز

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع:

تاریخ و امضاء

فهرست مطالب

۱- کلیات ۲

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ ایمنی ۵

- ۳-۱ تعریف مسئله..... ۶
- ۴-۱ ضرورت و اهداف تحقیق ۷
- ۵-۱ نوآوری در تحقیق..... ۹
- ۶-۱ ساختار پایان نامه ۱۰
- ۲- ادبیات فنی و کارهای انجام شده..... ۱۲
- ۱-۲ تعریف تصادفات رانندگی ۱۳
- ۲-۲ انواع تصادفات رانندگی ۱۴
- ۱-۲-۲ انواع تصادفات از نظر خسارت ۱۴
- ۲-۲-۲ انواع تصادف از نظر نوع برخورد ۱۵
- ۳-۲ عوامل مؤثر بر بروز سوانح رانندگی ۱۵
- ۱-۳-۲ عامل انسانی..... ۱۶
- ۲-۳-۲ عامل شرایط محیطی و راه ۱۷
- ۳-۳-۲ عامل وسیله نقلیه ۱۸
- ۴-۲ راهکارهایی جهت کاهش تصادفات و مرگ و میر جاده‌ای..... ۱۸
- ۱-۴-۲ راهکارهایی در رابطه با عامل انسان..... ۱۸
- ۲-۴-۲ راهکارهایی در رابطه با عامل شرایط محیطی و راه ۱۸
- ۳-۴-۲ راهکارهایی در رابطه با عامل وسیله نقلیه ۱۹

۱۹	۵-۲ ایمنی
۲۴	۶-۲ نقطه حادثه‌خیز
۲۵	۷-۲ قوس افقی
۳۳	۸-۲ مدل‌های پیش‌بینی تصادفات
۵۱	۹-۲ مطالعات پیش‌بینی تصادفات در ایران
۵۶	۱۰-۲ مقاومت لغزشی
۶۵	۳- روش تحقیق و جمع‌آوری داده
۶۶	۱-۳ معرفی کلی محور شاهرود به آزادشهر
۶۷	۲-۳ مشخصات هندسی قوس‌ها
۶۷	۱-۲-۳ شعاع قوس
۶۸	۲-۲-۳ طول قوس
۶۸	۳-۲-۳ دور یا بر بلندی
۶۸	۳-۳ میانگین ترافیک سالانه (AADT)
۶۹	۴-۳ شتاب جانبی
۷۰	۱-۴-۳ شتاب جانبی ماکسیمم
۷۰	۲-۴-۳ تغییرات شتاب
۷۰	۳-۴-۳ واریانس شتاب

- ۷۱ ۴-۴-۳ انحراف از معیار شتاب
- ۷۲ ۵-۳ سرعت
- ۷۲ ۱-۵-۳ سرعت وسیله نقلیه در قوس
- ۷۲ ۲-۵-۳ سرعت طراحی
- ۷۲ ۳-۵-۳ اختلاف سرعت
- ۷۳ ۶-۳ نسبت شتاب واقعی ثبت شده به شتاب جانبی تئوری
- ۷۳ ۷-۳ شیب طولی
- ۷۳ ۸-۳ عرض سواره‌رو، شانه آسفالتی و شانه خاکی
- ۷۴ ۹-۳ آمار تصادفات
- ۷۵ ۱-۹-۳ مدل پیش‌بینی تصادفات (IHSDM)
- ۸۴ ۱۰-۳ معرفی نرم افزار spss
- ۸۵ ۱۱-۳ مدل‌های آماری
- ۸۵ ۱-۱۱-۳ مدل‌های خطی تعمیم‌یافته
- ۹۶ ۱۲-۳ انتخاب مدل برتر از میان چند مدل منتخب
- ۹۶ ۱-۱۲-۳ معیار اطلاعات آکائیک (AIC)
- ۹۷ ۲-۱۲-۳ معیار اطلاعات بیزی (BIC)
- ۹۷ ۳-۱۲-۳ معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)

۹۹	۴- نتایج و بحث در آن‌ها
۱۰۰	۱-۴ مدل‌های پیش‌بینی ایمنی
۱۰۲	۲-۴ صحت سنجی مدل‌های پیش‌بینی ایمنی:
۱۰۳	۳-۴ مقایسه مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل:
۱۰۴	۴-۴ تأثیر پارامترهای در نظر گرفته شده بر ایمنی:
۱۰۴	۱-۴-۴ شعاع قوس:
۱۰۵	۲-۴-۴ شتاب جانبی ماکسیمم (A):
۱۰۷	۳-۴-۴ نسبت شتاب جانبی واقعی به شتاب جانبی تئوری (B):
۱۰۸	۴-۴-۴ اختلاف سرعت (DiffV):
	۵-۴-۴ انحراف از معیار شتاب جانبی (Std a) و انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی (Std
۱۱۰	(da):
۱۱۲	۵-۴ تعریف شاخص ایمنی برای قوس‌های افقی
۱۱۳	۶-۴ شناسایی قوس‌های غیرایمن مسیر مطالعاتی شاهرود به آزادشهر:
۱۱۵	۱-۶-۴ قوس شماره ۱۹
۱۱۵	۲-۶-۴ قوس شماره ۲۱
۱۱۶	۳-۶-۴ قوس شماره ۲۵
۱۲۱	۵- نتیجه‌گیری

۱-۵ نتیجه‌گیری: ۱۲۲

۲-۵ پیشنهادات: ۱۲۴

مراجع ۱۲۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: ۲۵ کشور با بیشترین و ۲۵ کشور با کمترین تلفات سوانح رانندگی در سال ۲۰۱۳ ۷

شکل ۱-۲: سهم عوامل مؤثر در بروز تصادفات رانندگی ۱۴

شکل ۲-۲: انواع خطاهای انسانی منجر به سوانح رانندگی و سهم هر یک ۱۵

- شکل ۳-۲: دیاگرام جسم آزاد خودرو در حال حرکت در قوس افقی دارای برابندی ۲۴
- شکل ۴-۲: رابطه بین نرخ تصادفات و درجه قوس در چهار نوع راه مختلف (مدل راف) ۳۲
- شکل ۵-۲: رابطه بین نرخ تصادفات و درجه قوس (لیسچ) ۳۳
- شکل ۶-۲: رابطه بین نرخ تصادفات و شعاع قوس (لیسچ) ۳۳
- شکل ۷-۲: رابطه بین نرخ تصادفات و شعاع قوس (مدل ماتیوس) ۳۴
- شکل ۸-۲: رابطه بین نرخ تصادفات و درجه قوس (مدل ماتیوس) ۳۴
- شکل ۹-۲: رابطه بین نرخ تصادفات، شعاع قوس و درجه قوس (مدل ویجت) ۳۸
- شکل ۱۰-۲: رابطه بین نرخ تصادفات و شعاع قوس در مطالعات مختلف (لام) ۳۸
- شکل ۱۱-۲: نمونه فاصله قوس از یکدیگر ۴۵
- شکل ۱۲-۲: دیاگرام جسم آزاد خودرو در قوس افقی دارای برابندی واقع در شیب طولی ۵۳
- شکل ۱۳-۲: روند تغییرات مقاومت لغزشی روسازی آسفالتی در طول زمان بر اثر عبور ترافیک ۵۶
- شکل ۱-۳: جاده شاهرود به آزادشهر (تهیه شده از Google Map) ۶۴
- شکل ۲-۳: تابع احتمال توزیع نرمال ۸۹
- شکل ۱-۴: مقایسه مدل‌های پیش‌بینی ایمنی ۱۰۱
- شکل ۲-۴: رابطه شعاع قوس با ایمنی ۱۰۲
- شکل ۳-۴: رابطه شتاب جانبی ماکسیمم با ایمنی ۱۰۴
- شکل ۴-۴: رابطه نسبت شتاب جانبی واقعی به شتاب جانبی تئوری با ایمنی ۱۰۵
- شکل ۵-۴: رابطه اختلاف سرعت حرکت در قوس و سرعت مجاز در قوس با ایمنی ۱۰۷
- شکل ۶-۴: رابطه انحراف از معیار داده‌های شتاب جانبی در قوس با ایمنی ۱۰۸
- شکل ۷-۴: رابطه انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی در قوس با ایمنی ۱۰۹

- شکل ۴-۸: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر ۱۱۲
- شکل ۴-۹: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس‌های ۳۱، ۳۴ و ۳۷) ۱۱۳
- شکل ۴-۱۰: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس ۴۴) ۱۱۴
- شکل ۴-۱۱: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس ۴۹) ۱۱۴
- شکل ۴-۱۲: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس ۷۶) ۱۱۵
- شکل ۴-۱۳: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس‌های ۸۶ و ۸۷) ۱۱۵
- شکل ۴-۱۴: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس‌های ۹۴ و ۹۵) ۱۱۶

فهرست جداول

- جدول ۲-۱: معیارهای ارزیابی مشخصه‌های افقی هندسه راه ۲۶
- جدول ۲-۲: تأثیر متغیرهای عملکردی و غیرعملکردی بر تصادفات قوس‌ها ۲۹
- جدول ۲-۳: نمونه داده‌های مورد بررسی توسط دیکن ۳۶

- جدول ۲-۴: محاسبه پارامتر اختلاف سرعت ۵۱
- جدول ۲-۵: خلاصه مطالعات پیشین در زمینه ایمنی قوس‌های افقی ۵۷
- جدول ۳-۱: آمار تردد محور شاهرود-آزادشهر در سال ۱۳۹۴ ۶۶
- جدول ۳-۲: نمونه پارامترهای جمع‌آوری شده ۷۱
- جدول ۳-۳: نمونه پارامترهای جمع‌آوری شده ۷۱
- جدول ۳-۴: مقدار فاکتور AMF برای عرض راه (AMF_{Fra}) ۷۴
- جدول ۳-۵: مقدار فاکتور AMF برای عرض شانه راه (AMF_{Fwra}) ۷۵
- جدول ۳-۶: مقدار فاکتور AMF برای نوع شانه راه (AMF_{Ftra}) ۷۵
- جدول ۴-۱: مدل‌های ارائه شده جهت پیش‌بینی ایمنی هر قوس ۹۸
- جدول ۴-۲: مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای هر مدل‌های ایمنی ۱۰۰
- جدول ۴-۳: شتاب جانبی قابل تحمل چند خودرو مختلف ۱۰۳
- جدول ۴-۴: حداکثر شتاب جانبی قابل تحمل برخی خودروهای داخلی ۱۰۳
- جدول ۴-۵: شاخص ایمنی قوس‌های افقی ۱۱۰
- جدول ۴-۶: تعداد قوس‌هایی که با افزایش اختلاف سرعت ایمنی آنها کاهش یافته است ۱۱۱

فصل اول

کلمات

۱-۱ مقدمه

افزایش روز افزون وسایل نقلیه سبب افزایش حجم ترافیک در شهرها و جاده‌ها شده است. از این رو افزایش تعداد و شدت تصادفات رو به افزایش است. این تصادفات خسارت‌های مالی و جانی سنگینی را بر جوامع و اقتصاد آن‌ها تحمیل می‌کند، به همین دلیل بهبود ایمنی راه‌ها یکی از مسائل مهم در زمینه حمل‌ونقل است. کشورهای پیشرفته تحقیقات و پژوهش‌های گسترده‌ای به منظور شناسایی عوامل مؤثر در تصادفات و همچنین یافتن راه‌حل‌های مناسب برای مقابله با این عوامل انجام داده و همچنان در حال ادامه دادن به این تحقیقات با سرعت بیشتر هستند.

تصادفات جاده‌ای یکی از عوامل شاخص در میزان مرگ‌ومیر در ایران است. براساس آمار پزشکی قانونی کشور آمار تلفات ناشی از سوانح رانندگی در سال ۱۳۹۲ برابر ۱۸ هزار نفر (۲۷ هزار نفر براساس اعلام سازمان بهداشت جهانی) است. که این آمار در سال ۱۳۹۳ به حدود ۱۷ هزار و در سال ۱۳۹۴ به حدود ۱۶/۵ هزار نفر کاهش یافته است. اما با وجود این، ایران همچنان جزو کشورهای دارای بیشترین آمار تلفات جاده‌ای است. طبق آمار مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی که در مورد تصادف‌های جاده‌ای ارائه شده است، هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی تصادفات رانندگی حدود ۸ درصد تولید ناخالص داخلی است. هزینه مورد نظر در سال ۱۳۹۰ در حدود ۵۱ هزار و ۹۱۰ میلیارد تومان است. البته هزینه درمانی سالانه ۱۱ هزار میلیارد ریالی افرادی که بر اثر تصادف مصدوم شده‌اند و هزینه ۱۸۰ میلیون تومانی هر فرد کشته شده در تصادفات و هزینه ۲۸۰ میلیون تومانی هر معلول بر اثر تصادف‌های جاده‌ای هم باید در این آمارها محاسبه کرد.

راه، وسیله نقلیه و عامل انسانی از مهمترین عوامل مؤثر بر وقوع تصادف هستند. طرح هندسی یکی از

موارد مهم در تأثیرگذاری عامل راه بر وقوع تصادفات است. طراحی راه باید به گونه‌ای باشد که تعداد تصمیم‌های راننده را به حداقل رسانده و موقعیت‌های غیرمنتظره را کاهش دهد. انتخاب مبانی و معیارهای صحیح طراحی، سازگاری عناصر راه با یکدیگر، شیب‌های ملایم، خط‌های تغییر سرعت، تقاطع غیرهمسطح، توجه به نیاز استفاده‌کنندگان به ویژه رانندگان، توجه به کاربری‌های اطراف، مقطع عرضی مناسب با فضای بدون مانع کافی، فواصل دید مناسب، کاهش نقاط برخورد، حرکات گردشی ایمن و انتخاب و نصب صحیح علائم و تجهیزات ایمنی راه از عوامل تأثیرگذار بر ایمنی راه است.

در ۹۳ درصد از تصادفات عامل انسانی جزء عوامل بروز تصادف است. عامل راه و شرایط محیطی در ۳۴ درصد تصادفات و عامل وسیله نقلیه در ۱۳ درصد تصادفات جزء عوامل سوانح رانندگی هستند [۳].

شواهد، آمار و ارقام به وضوح بیانگر این مسئله است که نیاز مبرم به تحقیقات و پژوهش‌های گسترده علمی و عملی جهت بهبود ایمنی راه‌ها وجود دارد که نیازمند توجه و اختصاص منابع مالی کافی است.

قوس‌های افقی جزء نقاط حادثه خیز مسیر راه است. مطالعات انجام شده در مورد قوس‌های افقی نشان می‌دهد میزان تصادف‌های جاده‌ای در قوس‌ها ۳ برابر تعداد تصادفات در مسیرهای مستقیم است. تقریباً ۶۰ درصد تصادفات در قوس‌های افقی از نوع خروج وسیله نقلیه از مسیر است [۱۷].

با توجه به میزان تصادفات رخ داده در قوس‌های افقی ارائه شاخصی جهت ارزیابی ایمنی قوس ضروری به نظر می‌رسد. شاخصی که به وسیله آن بتوان قوس‌های غیرایمن را شناسایی کرد و اقدامات لازم جهت بهبود ایمنی آن را انجام داد.

در این پایان نامه سعی شده است با بررسی قوس‌های با شرایط مختلف شاخصی مناسب جهت ارزیابی ایمنی قوس ارائه شود. شاخصی که در آن شتاب جانبی وارد بر وسیله نقلیه و سرعت وسیله نقلیه به عنوان دو پارامتر مهم و تأثیرگذار در ایمنی قوس‌های افقی در نظر گرفته شده است.

بر اساس این شاخص می‌توان میزان ایمنی قوس را ارزیابی کرد و با شناسایی عامل کاهش ایمنی اقدامات

پیشگیرانه و اصلاحی جهت بهبود ایمنی قوس‌ها انجام داد.

۱-۲ ایمنی

با افزایش وسایل نقلیه موتوری تعداد تصادفات به وقوع پیوسته هم در حال افزایش است. تلاش مستمر مهندسان راه و ترافیک برای اطمینان از این است که سیستم‌های راه‌ها و خیابان‌ها طوری طراحی شود که نرخ تصادفاتی که در جاده‌ها رخ می‌دهد، کاهش یابد. تلاش گروه‌های متشکل از صاحب نظران مهندسی راه و ترافیک برای عملی شدن اجرای قوانین ترافیکی مانند محدودیت سرعت و ممنوعیت رانندگی در حال مستی و ... بوده است. این گروه‌ها تلاش می‌کنند مسئولیت‌های رانندگان وسایل نقلیه برای هدایت درست وسیله نقلیه و درک قوانین پیروی از آن‌ها آموزش داده شود.

سیستم‌هایی برای مدیریت ایمنی راه توسعه، تدوین و اجرا شده‌اند که شامل این ۵ برنامه اصلی در جهت افزایش سطح مدیریت ایمنی راه هستند:

- ۱- هماهنگی و یکپارچه‌سازی برنامه‌های ایمنی در سطوح وسیع مانند فعالیت‌های ایمنی بر اساس ویژگی‌های راننده، راه و جامعه با یک رویکرد مدیریتی کلی در ایمنی راه‌ها
- ۲- شناسایی و بررسی موقعیت، ویژگی‌ها و مشکلات ایمنی راه‌های پرخطر و تدوین شاخص‌ها و اولویت‌های اصلاح خطرات موجود یا خطرات شناسایی شده
- ۳- تضمین ملاحظات اولیه در خصوص ایمنی راه‌ها در همه برنامه‌ها و پروژه‌های راهسازی
- ۴- شناسایی نیازهای ایمنی گروه‌های خاص استفاده‌کنندگان (مانند رانندگان مسن، عابرین پیاده، دوچرخه سواران، موتورسواران و حاملان مواد سوختی و خطرناک) در برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و اجرای سیستم‌های راه‌ها
- ۵- حفظ و ارتقای منظم سخت افزارهای ایمنی (مانند وسایل هشداردهنده‌ی تقاطع‌ها و...)، اجزای راه

و ویژگی‌های عملکردی آن

ایمنی با مفهوم عکس خود (حادثه) قابل اندازه‌گیری و سنجش است، یعنی هر چه تعداد حوادث و تصادفات بیشتر باشند، ایمنی کاهش خواهد یافت، و هر چه تعداد حوادث کاهش یابد ایمنی افزایش خواهد یافت پس به عنوان معیار کمی سنجش ایمنی می‌توان از نرخ و شدت تصادفات بهره گرفت. تصادف، کلمه‌ای است که به صورت متداول و رایج برای برخورد یک یا چند وسیله نقلیه که خسارت، جراحت یا مرگ و میر در پی دارد، به کار برده می‌شود. کلمه تصادف به یک رخداد اتفاقی اشاره دارد که ممکن است به صورت غیرعمدی و بدون هیچ دلیل روشنی رخ دهد. جهت ایمن‌سازی راه‌ها ابتدا باید دلایل اصلی سوانح رانندگی مشخص شود. به عنوان مثال در یک منطقه باید مشخص گردد علت تصادف مربوط به محیط جاده، عدم رعایت قوانین رانندگی، عدم مهارت کافی راننده، خطای رانندگی یا سایر موارد است.

۳-۱ تعریف مسئله

جهت تعریف شاخص ایمنی برای قوس‌های افقی در این پایان‌نامه محور شاهرود به آزادشهر که یک محور ترانزیتی محسوب می‌شود، به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. از میان حدود ۳۰۰ قوس موجود در این مسیر ۱۱۰ قوس با شعاع‌های متنوع مورد بررسی قرار گرفته است. شتاب جانبی و سرعت وسیله نقلیه به عنوان دو پارامتر که به‌ندرت در مطالعات ایمنی به آن توجه شده است جهت تعریف شاخص ایمنی مورد توجه قرار گرفته است. برای ثبت شتاب جانبی از دستگاه شتاب ساخته شده استفاده شد و اقدام به ثبت شتاب جانبی در سرعت‌های مختلف در قوس‌ها گردیده است. پس از جمع‌آوری داده‌های هندسی، شتاب جانبی و سرعت وسیله نقلیه در قوس افقی و محاسبه انحراف از معیار شتاب و تغییرات آن در قوس و همچنین محاسبه نسبت شتاب واقعی به شتاب تئوری، به وسیله نرم افزار SPSS اقدام به ساخت

مدل‌های مختلف جهت تعریف شاخص ایمنی برای قوس افقی شده است.

۱-۴ ضرورت و اهداف تحقیق

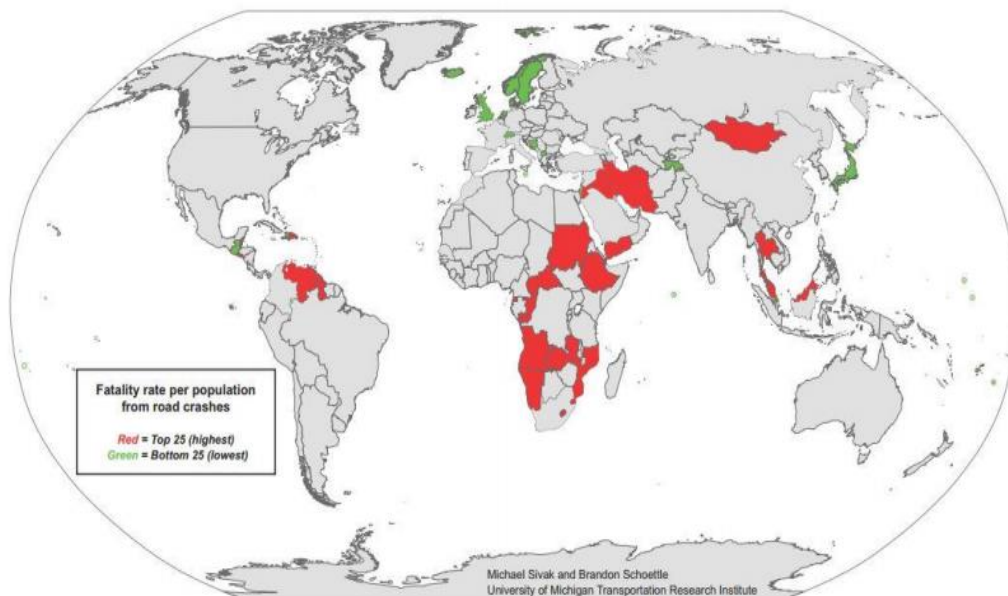
بر اساس داده‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO^۱) و تحقیقی که توسط انستیتو تحقیقات حمل‌ونقل دانشگاه میشیگان آمریکا (UMTRI^۲) در سال ۲۰۱۴ انجام شده است. کشور ایران در بین ۱۹۳ کشور مورد بررسی با نرخ ۳۸ فوت به ازای صد هزار نفر جمعیت مقام سوم خطرناک‌ترین کشورها برای رانندگی را دارد. بدین معنی که ۲۷ هزار نفر در ایران در سال ۲۰۱۴ بر اثر سوانح رانندگی جان خود را از دست داده‌اند. البته آماری که پزشکی قانونی در مورد تلفات رانندگی در این سال ارائه داده است برابر ۱۸ هزار نفر است که دلیل این اختلاف در نحوه آمارگیری است. پزشکی قانونی از معیارهای نسبت تلفات جانی به تعداد تصادفات و نسبت تصادفات به وسیله نقلیه استفاده می‌کند، در حالیکه سازمان بهداشت جهانی از شاخص تعداد کشته‌شدگان تصادفات و تعداد کشته‌شدگان جاده‌ای نسبت به هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت استفاده می‌کند. بر اساس آماری که توسط کمیسیون ایمنی راه و شهرسازی در اسفند سال ۹۴ ارائه شده است تعداد کل تصادفات جرحی و فوتی در ۹ ماه از سال ۱۳۹۴ برابر ۴۲۱۵۶ فقره گزارش شده است.

برای درک بهتر میزان تلفات جاده‌ای در ایران می‌توان میزان این تلفات را با میزان کشته‌شدگان ۸ سال جنگ تحمیلی مقایسه کرد. میزان جان‌باختگان ایران در جنگ تحمیلی حدود ۱۹۰۰۰۰ بوده است. یعنی ۲۳۷۵۰ نفر در هر سال از جنگ تحمیلی جان خود را از دست داده‌اند، که مقایسه آن با آمار تصادفات سالانه نشان می‌دهد ایران همچنان درگیر جنگی ناخواسته اما این بار با خود است. این آمار بالای تلفات ناشی از تصادفات ضرورت انجام تحقیقات گسترده و اختصاص منابع مالی مورد نیاز در زمینه ایمنی حمل‌ونقل و

1 World Health Organization

2 University of Michigan Transportation Research Institute's

ترافیک را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۵: کشور با بیشترین (قرمز) و ۲۵ کشور با کمترین (سبز) تلفات سوانح رانندگی در سال ۲۰۱۳ [۱]

بررسی محل تصادفات رخ داده در جاده‌های برون شهری نشان می‌دهد تقریباً از هر سه تصادف یک تصادف در قوس‌های افقی رخ می‌دهد. از طرفی وجود قوس‌های غیر استاندارد باعث بالا رفتن هر چه بیشتر این آمار می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد احتمال تصادف در یک قوس غیر استاندارد ۶ برابر بیشتر از یک قوس استاندارد است [۱۷].

محور شاهرود به آزادشهر در شمال استان سمنان به عنوان بخشی از جاده ترانزیتی شاهرود-آزادشهر-گنبد کاووس- اینچه برون که مورد مطالعاتی این پایان‌نامه است یکی از محورهای پرتردد استان محسوب می‌شود. و به دلیل عبور از مناطق کوهستانی دارای قوس‌های متعدد با شعاع‌های متنوع است. وقوع تعداد ۲۱۸ تصادف اعم از جرحی، فوتی و خسارتی که توسط پلیس‌راه این محور در سال ۱۳۹۱ ثبت شده است نشان از حادثه خیز بودن این مسیر و عدم وجود ایمنی کافی در این محور و همچنین نداشتن استانداردهای

لازم است. از طرفی تاکنون مطالعه‌ای جهت بهبود ایمنی قوس‌های متعدد این محور صورت نگرفته است.

۱-۵ نوآوری در تحقیق

نبود شاخص ایمنی برای ارزیابی ایمنی قوس افقی که جزء نقاط حادثه‌خیز مسیر راه محسوب می‌شود یک ضعف اساسی است. حرکت با سرعت بیشتر از سرعت مجاز در قوس یکی از عوامل اصلی حوادث اتفاق افتاده در قوس‌های افقی است. شتاب جانبی وارده بر وسیله نقلیه می‌تواند نقش به‌سزایی در میزان ایمنی یک قوس داشته باشد، و اگر مقدار آن از میزان مجاز بیشتر باشد باعث واژگونی وسیله نقلیه می‌شود. در مدل‌های موجود جهت پیش‌بینی تصادفات اغلب به دو پارامتر شتاب جانبی و سرعت وسیله نقلیه در قوس توجه نشده است زیرا فرض می‌شود که خودروها با سرعت طرح حرکت می‌کنند و شتاب جانبی در سرعت طرح ثابت و شعاع قوس ثابت پارامتری فرض می‌شود. از این رو انجام مطالعه‌ای که تأثیر این دو پارامتر را در ایمنی قوس در نظر بگیرد و بر پایه روش‌های مؤثرتر بر روی ایمنی قوس‌های این محور پرتردد و پرحادثه تمرکز کند ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی دیگر در مدل‌های موجود دسترسی به اطلاعات هندسی مسیر ضروری است. از آنجا که یک بانک اطلاعاتی دقیق و جامع از اطلاعات راه‌های ایران وجود ندارد و دسترسی به این اطلاعات دشوار یا غیر ممکن است وجود مدلی که تأثیر پارامترهای هندسی را به صورت غیرمستقیم در نظر بگیرد تا حد زیادی می‌تواند در ارزیابی ایمنی قوس‌ها کمک‌کننده باشد.

در این پایان‌نامه سعی شده است مدل‌هایی بر پایه دو پارامتر اختلاف سرعت در قوس افقی با سرعت مجاز قوس و شتاب جانبی وارد بر وسیله نقلیه در قوس ارائه شود. همچنین ارائه مدلی که در آن تأثیر پارامترهای هندسی قوس به صورت غیرمستقیم در نظر گرفته شود و بتوان ایمنی قوس را بدون در اختیار بودن اطلاعات هندسی ارزیابی کرد، دیگر نوآوری این تحقیق است.

۱-۶ ساختار پایان نامه

فصل اول شامل مقدمه، تعریف مختصری از ایمنی، ضرورت انجام تحقیق، معرفی موضوع و نوآوری در این تحقیق است. در این فصل سعی شده کلیاتی از موضوع تحقیق ارائه شود.

فصل دوم فصل پیشینه تحقیق و مروری بر کارهای و تحقیقات انجام شده در مورد موضوع پایان نامه است. در این فصل پژوهش‌های انجام شده در زمینه ایمنی قوس‌ها جمع‌آوری شده و خلاصه‌ای از هر پژوهش ارائه شده است. در انتها در این فصل خلاصه‌ای کوتاه از تمامی پژوهش‌های جمع‌آوری شده ارائه شده است. فصل سوم با عنوان کلی مواد و روش‌ها شناخته می‌شود. در فصل سوم ابتدا مسیر مطالعاتی معرفی شده است. پس از آن داده‌های جمع‌آوری شده معرفی شده و شیوه جمع‌آوری هر پارامتر بیان شده است. دستگاه‌ها و ابزار ساخته شده جهت جمع‌آوری داده‌ها و نرم‌افزار مورد استفاده جهت تحلیل داده معرفی شده است. در نهایت در این فصل مدل‌های آماری مورد استفاده در نرم‌افزار جهت تحلیل داده‌ها بیان شده است.

فصل چهارم به نتایج اختصاص دارد. در این فصل مدل‌های مختلف بیان شده است و بهترین مدل بر اساس معیارهای موجود انتخاب شده است. براساس مدل منتخب ایمنی قوس‌های مسیر مطالعاتی ارزیابی گردیده و قوس‌های غیرایمن مسیر مشخص شده است. در نهایت در این فصل اقداماتی جهت بهبود ایمنی قوس‌های غیرایمن ارائه شده است.

فصل پنجم، فصل ارائه نتیجه‌گیری‌های کلی پایان نامه و ارائه پیشنهاداتی جهت مطالعات آینده است.

فصل دوم

ادبیات فنی و کارهای

انجام شده:

۱-۲ تعریف تصادفات رانندگی

مجمع ملی ایمنی راه‌ها تصادفات رانندگی را این‌گونه تعریف می‌کند: تصادف، واقعه‌ای است که مرگ،

جراحت یا خسارت‌های ماشینی را به طور غیر عمدی به دنبال دارد [۲].

۲-۲ انواع تصادفات رانندگی

تصادفات رانندگی از دو منظر نوع خسارت و نوع برخورد طبقه‌بندی می‌شوند [۳] و [۴]:

۱-۲-۲ انواع تصادفات از نظر خسارت

۱-۱-۲-۲ فوتی

تصادفی که در آن حداقل یک نفر در محل حادثه جان خود را از دست بدهد. اما این تعریف در کشورهای مختلف متفاوت است. در کشورهایی مانند ایران، ایتالیا و بلژیک فقط نفراتی که در صحنه تصادف جان باخته‌اند جزء آمار کشته‌شدگان آن تصادف محسوب می‌شود (این آمار توسط پلیس ثبت می‌شود). در کانادا مجروحینی که تا یک سال پس از وقوع تصادف فوت کنند جزء آمار کشته‌شدگان آن تصادف ثبت می‌شوند. در کشورهای اسپانیا و فرانسه این زمان به ترتیب به ۲۴ ساعت و ۳ روز تقلیل می‌یابد. پزشکی قانونی کشور آسیب دیدگان سوانح رانندگی که تا یک ماه پس از وقوع تصادف فوت کنند، جزء کشته شدگان ناشی از تصادفات ثبت می‌کند.

۲-۱-۲-۲ جرحی

تصادفی است که در آن حداقل یک نفر در محل حادثه مجروح شود، به طوری که نیاز به بستری شدن در بیمارستان و یا معالجه سرپایی داشته باشد ولی فردی فوت نکرده باشد.

۳-۱-۲-۲ خسارتی

تصادفی است که در آن فقط به وسایل نقلیه و اجسام خسارت وارد شود. خسارت وارده توسط شخصی، مستقل از طرف‌های درگیر برآورد می‌گردد.

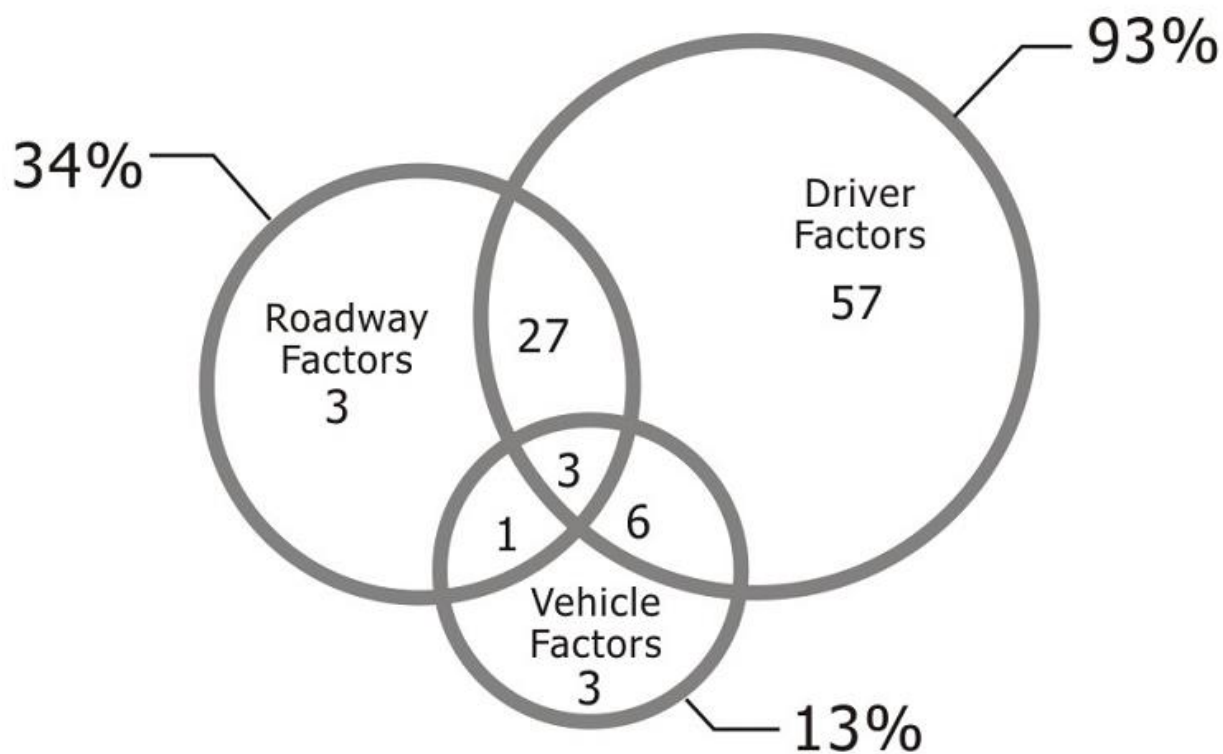
۲-۲-۲ انواع تصادف از نظر نوع برخورد

- واژگونی
- خروج از مسیر
- برخورد با عابر پیاده
- برخورد با اشیاء ثابت اطراف جاده
- برخورد جلو به جلو (شاخ به شاخ)
- برخورد جلو به عقب
- برخورد جلو به پهلو
- برخورد پهلو به پهلو

۲-۳ عوامل مؤثر بر بروز سوانح رانندگی

سه عامل اصلی بروز تصادفات رانندگی عامل انسانی، عامل شرایط محیطی و راه و عامل وسیله نقلیه

هستند [۳] و [۴].

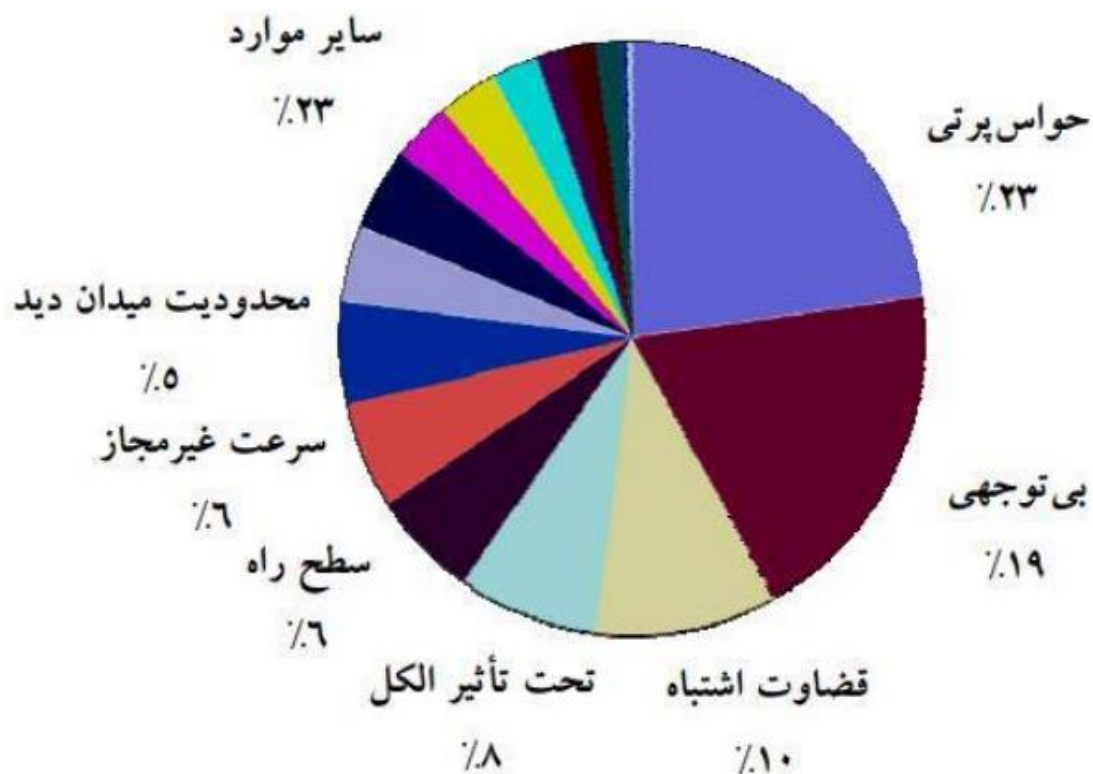


شکل ۱-۲: سهم عوامل مؤثر در بروز تصادفات رانندگی [۳]

۱-۳-۲ عامل انسانی

در ۵۷ درصد از تصادفات عامل انسانی به تنهایی عامل اصلی تصادفات است. از طرفی در ۹۳ درصد از تصادفات عامل انسانی جزء عوامل مؤثر در تصادف است. دلیل این موضوع برخی محدودیت فیزیولوژیکی از قبیل خستگی، خواب آلودگی، عدم مهارت کافی و ... در انسان است.

در سال ۱۹۹۵ اداره ایمنی راه‌های ملی آمریکا مطالعه‌ای در مورد انواع خطاهای انسانی منجر به تصادف و سهم هریک انجام داد. که نتایج آن در شکل (۲-۲) مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۲: انواع خطاهای انسانی منجر به سوانح رانندگی و سهم هر یک [۱]

همانطور که ملاحظه می‌شود بی‌توجهی و حواس‌پرتی دو خطای اصلی انسانی هستند که سبب بروز تصادفات می‌شوند.

۲-۳-۲ عامل شرایط محیطی و راه

عامل شرایط محیطی و راه در ۳۴ درصد از تصادفات جزء عوامل تأثیرگذار در وقوع تصادف است. عامل جاده را از سه دیدگاه متفاوت به عنوان یکی از عوامل به وجود آورنده‌ی تصادف مورد توجه قرار می‌دهند. این سه دیدگاه شامل: عرض جاده، موقعیت خاص جاده (مانند: قوس، میدان، پل و نظایر آن) و اشکالات، نقایص و کمبودهای موجود در جاده هستند. مهمترین اشکالات و کمبودهای جاده، کمبود و اشکالات علائم هشدار و اخباری و خط‌کشی‌ها، ناصافی سطح جاده، اشکالات یا نبود شانه‌ها، لغزنده بودن جاده، نبود یا اشکالات در موانع حفاظتی و جداکننده مانند گاردریل‌ها و عدم دید کافی در شب یا روز تشخیص داده

شده‌اند.

۲-۳-۳ عامل وسیله نقلیه

با وجود پیشرفت روزافزون وسایل نقلیه و تجهیز وسایل نقلیه به تجهیزات ایمن‌تر همچنان عامل وسیله نقلیه جزء عوامل مؤثر در بروز سوانح رانندگی محسوب می‌شود. در ۱۳ درصد از تصادفات عامل وسایل نقلیه جزء عوامل بروز تصادف است. وضعیت لاستیک خودرو و سیستم ترمزگیری دو عامل مهم در نقش داشتن وسیله نقلیه در بروز تصادفات هستند و حدود ۷۵ درصد از تصادفاتی که به علت وسیله نقلیه رخ داده‌اند را شامل می‌شوند.

۲-۴-۲ راهکارهایی جهت کاهش تصادفات و مرگ و میر جاده ای [۵]

۲-۴-۲-۱ راهکارهایی در رابطه با عامل انسان

- آموزش فرهنگ صحیح رانندگی از سنین پایین
- آموزش قوانین به صورت کارآتر
- افزایش قدرت پلیس و قانون در جهت کنترل اجرای صحیح قانون
- آموزش همگانی به وسیله رسانه‌ها به صورت مداوم و پیگیر در همه رده‌ها

۲-۴-۲-۲ راهکارهایی در رابطه با عامل شرایط محیطی و راه

- استفاده از مصالح مرغوب و مطابق با وضیت آب‌وهوایی منطقه جهت احداث راه‌ها
- ایمن نمودن راه‌های موجود کشور طبق استانداردهای جهانی در همه سطوح راه‌ها
- احداث و گسترش راه‌های ایمن برابر نیاز روزافزون کشور به صورت استاندارد
- ملزم کردن راهسازان به تضمین کیفیت راه در یک دوره طولانی مدت

- محاسبه شاخص‌های کیفی راه و انجام تعمیرات و بازسازی در زمان مناسب جهت حفظ کیفیت راه

۲-۴-۳ راهکارهایی در رابطه با عامل وسیله نقلیه

- ملزم کردن خودروسازان به ساخت خودروهای با کیفیت و مطابق با استانداردهای جهانی و نظارت دقیق بر آن

- جریمه و مجازات خودروسازان در تصادفات که خودرو در آن نقش دارد
- بهبود ایمنی خودروهای موجود و جایگزینی خودروهای فرسوده با خودروهای نو
- فراهم نمودن زمینه توسعه و رقابت با خودروسازان جهانی در کشور در جهت ارتقاء و بهبود ایمنی خودروها

۲-۵ ایمنی

روش‌هایی جهت طبقه‌بندی و اولویت‌بندی نیازهای ایمنی توسط محققین در گذشته ارائه شده است. که تعدادی از آن‌ها به شرح ذیل است.

گرتبم در پژوهش خود در این زمینه از روش‌های مختلف آنالیز استفاده کرده است، و نتیجه‌گیری کرده است که روش فراوانی تصادفات به تنهایی باعث قضاوت نادرست می‌شود. از این رو باید روش‌های بیشتری را با هم ترکیب کرد تا بتوان اولویت‌بندی مناسبی انجام داد [۶].

تارکو و همکاران در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که زمانی که پارامتر جمعیت و فراوانی تصادفات با همدیگر در مدل‌های ایمن‌سازی استفاده شود، نتایج بهتری حاصل می‌شود. به عنوان مثال در پیش‌بینی تصادفات ناشی از مصرف الکل این مسئله به اثبات رسیده است [۷].

هائر و همکاران با استفاده از آمار و اطلاعات تصادف شهر واشنگتن مدلی جهت پیش‌بینی ایمنی در بزرگراه‌ها ارائه کرده‌اند. در این مدل تناسب قابل ملاحظه‌ای بین پارامترهای AADT، تعداد مسیرهای

عبور وسایل نقلیه سنگین تجاری و محدودیت سرعت با ایمنی راه وجود دارد، اما بین پارامترهای عرض خطوط عبور، عرض شانه راه و ایمنی راه همبستگی مناسبی وجود ندارد. که بعضی از نتایج این تحقیق با باورهای رایج در یک راستا است اما برخی دیگر خلاف انتظار است [۸].

کار و دات در تحقیقی با استفاده از آمار و اطلاعات مربوط به فراوانی انواع مختلف تصادفات (فوتی، جرحی، خسارتی و تصادفات با الگوی خاص) شاخص ایمنی عملکرد (SPI¹) را تعریف کرده‌اند و با استفاده از این شاخص وضعیت ایمنی راه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند [۹].

$$SPI = WF + PRC + FRC + IRC + SRC \quad (1-2)$$

$$WF = (PCF + W1 + FCF + W2 + ICF + W3 + SCF) / 1000 \quad (2-2)$$

SPI: شاخص ایمنی

WF: فراوانی وزن داده شده

PCF: فراوانی تصادفات خسارتی

FCF: فراوانی تصادفات فوتی

ICF: فراوانی تصادفات جرحی

SCF: فراوانی تصادفات با الگوی خاص

W1: فاکتور وزنی برای فراوانی تصادفات فوتی

W2: فاکتور وزنی برای فراوانی تصادفات جرحی

W3: فاکتور وزنی برای فراوانی تصادفات با الگوی خاص

¹ safety performance index

$$PRC = \left(\frac{PCF}{100000 \text{ population}} + \frac{PCF}{1000 \text{ vehicle}} + \frac{PCF}{10000 \text{ VKMT}} \right) / 3 \quad (3-2)$$

$$FRC = \left(\frac{FCF}{100000 \text{ population}} + \frac{FCF}{1000 \text{ vehicle}} + \frac{FCF}{10000 \text{ VKMT}} \right) / 3 \quad (4-2)$$

$$IRC = \left(\frac{ICF}{100000 \text{ population}} + \frac{ICF}{1000 \text{ vehicle}} + \frac{ICF}{10000 \text{ VKMT}} \right) / 3 \quad (5-2)$$

$$SRC = \left(\frac{SCF}{100000 \text{ population}} + \frac{SCF}{1000 \text{ vehicle}} + \frac{SCF}{10000 \text{ VKMT}} \right) / 3 \quad (6-2)$$

PRC: نرخ ترکیبی تصادفات خسارتی

FRC: نرخ ترکیبی تصادفات فوتی

IRC: نرخ ترکیبی تصادفات جرحی

SRC: نرخ ترکیبی تصادفات با الگوی خاص

VKMT: تعداد وسیله نقلیه بر کیلومتر

زین و ناوین سیستم C3-R3 را در جهت بهبود ایمنی ترافیک معرفی کردند. آنها عنوان کردند چنانچه تنها به آمار تصادفات گزارش شده از سوی پلیس راه بسنده شود، علت اکثر تصادفات رانندگی خطای انسانی خواهد بود. این در حالی است که عوامل دیگر (شرایط محیط، جاده، وسایل نقلیه و ...) در وقوع و شدت تصادفات تأثیر دارد. در این سیستم استفاده کنندگان از راه، شرایط محیطی و وسیله نقلیه قسمت‌های اصلی سیستم را تشکیل می‌دهند و از ترکیب این قسمت‌ها با فازهای زمانی یک المان حاصل می‌شود. منظور از فازهای زمانی بازه‌های زمانی است که در هر تصادف وجود دارد. در این تحقیق هر المان در ایمن‌سازی نقشی کلیدی ایفا می‌کند، در نتیجه تنها با در نظر گرفتن ارتباط میان المان‌ها، می‌توان انتظار داشت همبستگی مؤثرتری در جهت رسیدن به اهداف ایمنی بین ارگان‌های مختلف به وقوع بپیوندد، و از تلاش‌های

تکراری ارگان‌های مختلف جلوگیری شود [۱۰].

در سال ۲۰۰۷ شاخص ایمنی برای ارزیابی راه‌های فرعی دو خطه توسط آفونسو و همکارانش تعریف شد. این شاخص ترکیب سه فاکتور شامل خطرهای جاده برای کاربران، فاکتور تکرار تصادفات و فاکتور شدت تصادفات است [۱۱].

$$SI = Exposure\ Factor \times Accident\ Frequency\ Factor \times Accident\ Severity\ Factor \quad (7-2)$$

فاکتور EF به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Exposure\ Factor = L \times AADT \quad (8-2)$$

AADT: متوسط ترافیک روزانه

L: طول قطعه مورد بررسی برحسب کیلومتر

فاکتور AFF به صورت رابطه (۹-۲) است.

$$Accident\ Frequency\ Factor = RSI\ AF \times GD\ AF \quad (9-2)$$

RSI AF: فاکتور تکرار تصادفات ناشی از ضعف ایمنی راه

GD AF: فاکتور تکرار تصادفات ناشی از ضعف طرح هندسی راه

مشکلات ایمنی که برای فاکتور RSI در نظر گرفته شده است شامل دسترسی‌ها، مقطع عرضی، طرح و اجزای تعیین جهت مسیر، خط‌کشی‌های مسیر، شرایط رویه، موانع کنار جاده، فاصله دید و علائم است.

- دسترسی: دسترسی‌های به راه به طور مستقیم میزان تصادفات را بالا می‌برد. جایگاه و محل دسترسی بسیار حائز اهمیت است و می‌تواند با جایگزینی نامناسب بسیار خطرناک باشد (مانند قرار گرفتن دسترسی در قوس افقی).

- مقطع عرضی: عرض مقطع راه در تصادفات تک وسیله‌ای^۱ (تصادفاتی که فقط یک وسیله نقلیه در آن وجود دارد)، خروج از مسیر، تصادفات شاخ به شاخ، تصادفات پهلو به پهلو دو خودرو با یک جهت حرکت و تصادفات پهلو به پهلو دو خودرو با جهت‌های حرکت مختلف تأثیر دارد. افزایش عرض راه و شانه راه میزان تصادفات را کاهش می‌دهد.
- طرح و اجزای تعیین جهت مسیر: استفاده از علائم هشداردهنده تغییر جهت مسیر و علائم مسیریابی می‌تواند کمک به سزایی در بهبود ایمنی راه کند. تابلوهای کنار جاده و نشانه‌گذاری‌های روی سطح راه از جمله این اجزاء هستند، که در قوس‌های افقی (به ویژه قوس‌های با شعاع کم) از اهمیت زیادی برخوردار است و از مهم‌ترین اجزای هدایت جریان ترافیک است.
- خط‌کشی: خط‌کشی میانه و کنار راه تأثیر به سزایی در کاهش تصادفات دارد، وجود خط‌کشی در قوس‌ها خطر انحراف از مسیر و برخورد با وسیله نقلیه جهت مخالف را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.
- شرایط رویه: مهم‌ترین فاکتور شرایط رویه که بیشترین تأثیر را در ایمنی راه دارد اصطکاک است. مقاومت لغزشی سطح راه یکی از مهم‌ترین فاکتورهای ایمنی است به خصوص زمانی که سطح رویه خیس باشد. ناهمواری دیگر فاکتور رویه است که بر ایمنی تأثیرگذار است.
- کناره مسیر: تأثیر اصلی کناره مسیر در احتمال تصادفات نیست بلکه در شدت تصادفات است.
- فاصله دید: فاصله دید محدود در قوس‌های افقی و قائم از متداول‌ترین فاکتورها در افزایش تصادفات است.
- علائم: استفاده از علائم، به خصوص علائم هشداردهنده در قسمت‌هایی که رانندگان انتظار رویارویی با آن شرایط را ندارند، می‌تواند به بهبود ایمنی راه کمک کند.

¹ Single vehicle

فاکتور ASF به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Accident\ Severity\ Factor = \frac{V_{85}}{V_{base}} \times RSI\ AS_{road\ side} \quad (10-2)$$

V_{85} : سرعتی که ۸۵ درصد رانندگان با آن سرعت حرکت می‌کنند.

V_{base} : سرعت پایه در راه‌های دوخطه برون شهری (۹۰ کیلومتر بر ساعت)

$RSI\ AS_{road\ side}$: فاکتور خطرات اطراف مسیر

فاکتور شدت تصادفات قصد دارد نسبت بین تصادفات جرحی و فوتی را نسبت به کل تصادفات اندازه‌گیری کند. که برای این منظور دو عامل مهم سرعت عملکردی و خطر اطراف مسیر در نظر گرفته شده است.

خطراتی که برای اطراف مسیر وجود دارد شامل خاکریزهای اطراف راه، پل‌ها، پایانه‌های خطرناک، درختان و موانع موجود در اطراف راه و گودال‌های موجود در اطراف مسیر است.

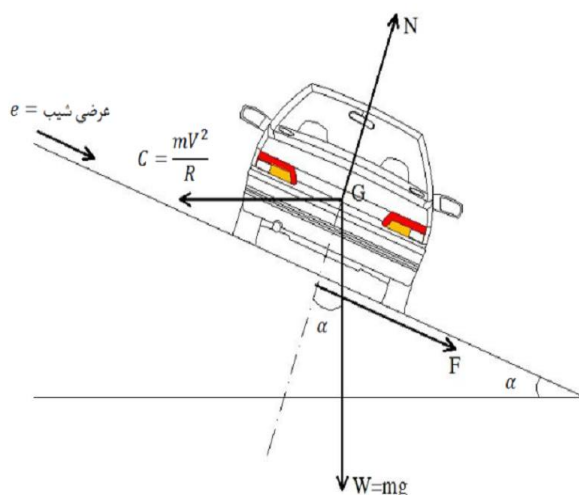
۲-۶ نقطه حادثه‌خیز

برای تعریف نقطه حادثه‌خیز معیارهای مختلفی ارائه شده است، طبق یکی از تعاریف، نقطه حادثه‌خیز نقطه‌ای است که در یک دوره زمانی سه ساله، حداقل ۱۰ تصادف یا در طول یکسال حداقل چهار تصادف در آن رخ داده باشد. کشور هلند وقوع حداقل ۱۰ تصادف یا وقوع حداقل ۵ تصادف مشابه در یک دوره تحلیل ۳ تا ۵ سال را معیار تعریف نقطه حادثه‌خیز می‌داند. این در حالی است که در بسیاری از کشورهای دیگر علاوه بر معیارهایی از قبیل تعداد تصادف یا تعداد کشته‌شدگان، طول مقاطع نیز مدنظر قرار گرفته است. به عنوان مثال در آلمان، قطعات راه با طول ۳۰۰ متر که دارای وقوع بیش از ۳ تصادف یکسان در طول یکسال یا وقوع بیش از ۵ تصادف در طول سه سال هستند، نقطه حادثه‌خیز محسوب می‌شود. در انگلستان قطعه راهی به طول ۳۰۰ متر که مجموع تصادفات جاده‌ای در آن بیش از ۱۲

تصادف در سه سال است، به عنوان نقاط حادثه‌خیز تعریف شده‌اند. در اسپانیا قطعات راه با طول ۱ کیلومتر که تعداد تصادفات رخ داده در آن بیش از ۵ تصادف جرحی یا ۲ تصادف فوتی در یکسال و یا بیش از ۱۰ تصادف جرحی یا ۵ تصادف فوتی در طول ۳ سال باشد، جزء نقاط حادثه‌خیز به‌شمار می‌روند. کشور چک نیز قطعات ۲۵۰ متری که وقوع تصادف در آن حداقل ۳ تصادف جرحی در طول یکسال، یا ۳ تصادف جرحی مشابه در طول ۳ سال و یا ۵ تصادف مشابه در طول یکسال باشد را نقطه حادثه‌خیز به‌شمار می‌آورد [۱۲].

۲-۷ قوس افقی

برای ارتباط دو خط مستقیم متوالی در پلان از پیچ یا قوس افقی استفاده می‌شود که معمولاً کمانی از یک دایره است. هر خودرو در حال عبور از قوس افقی، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرد. برای تأمین ایمنی و راحتی حرکت خودرو، بهتر است شیب عرضی راه با توجه به سرعت طرح و شعاع قوس افقی مانند شکل (۲-۳) تغییر یابد. با استفاده از شیب عرضی یکسره (بربلندی) در مقطع راه، می‌توان بین نیروی اصطکاک جانبی چرخ و رویه، مؤلفه وزن خودرو در امتداد بربلندی و نیروی گریز از مرکز، تعادل ایجاد کرد [۱۳].



شکل ۲-۳: دیاگرام جسم آزاد خودرو در حال حرکت در قوس افقی دارای بریلندی [۴۸]

در طرح قوس افقی راه، رابطه بین سرعت طرح، حداقل شعاع قوس افقی، حداکثر بریلندی و حداکثر ضریب اصطکاک جانبی بین لاستیک چرخ و سطح راه، به صورت رابطه (۲-۱۱) است.

$$R = \frac{V^2}{127(f+e)} \quad (2-11)$$

R: حداقل شعاع قوس افقی بر حسب متر

V: سرعت طرح بر حسب کیلومتر بر ساعت

e: میزان بریلندی بر حسب درصد

f: ضریب اصطکاک جانبی

بررسی‌های به عمل آمده در مورد تصادفات جاده‌ای نشان می‌دهد که ۵۰ تا ۶۰ درصد کل تصادفات شبکه راه‌ها در راه‌های دو خطه برون شهری اتفاق می‌افتد. نیمی از این تصادفات در قوس‌های راه به وقوع می‌پیوندد و حدود ۷۰ درصد از تصادفات قوس‌ها متعلق به قوس‌های افقی هستند. تقریباً ۶۰ درصد تصادفات قوس‌های افقی از نوع خروج وسیله نقلیه از مسیر است [۱۴].

در مطالعه توزیع مرگومیر ناشی از تصادفات که در مورد طبقه‌بندی‌های مختلف راه در کشورهای آلمان، یونان، ایتالیا و ایالات متحده آمریکا صورت گرفته است، برآورد می‌گردد حدود ۵۰ درصد تصادفات فوتی در قوس‌های افقی و در راه‌های دو خطه خارج از محدوده شهری اتفاق می‌افتد [۱۵].

به منظور ارزیابی کمی مشخصه‌های افقی هندسه راه، سه معیار ایمنی شامل پیوستگی در طراحی، پیوستگی در سرعت عملکردی و پیوستگی در دینامیک حرکت توصیه می‌گردد. این معیارها در جدول (۱-۲) ارائه شده است. اساس طرح‌ریزی دو معیار اول به این صورت است که در مورد معیار اول می‌توان گفت که در بررسی قطعه‌ای از راه با لحاظ اجزای طراحی مختلف (قوس‌ها یا خطوط مستقیم)، مشاهده می‌شود که تفاوت‌های آشکاری بین سرعت طرح و سرعت انتخابی از سوی ۸۵ درصد رانندگان وجود دارد، که باید به بازه‌های مشخصی محدود شود. در خصوص معیار دوم می‌توان چنین بیان کرد که برای ارزیابی تفاوت بین انواع طرح‌های خوب، متوسط و ضعیف باید رفتار رانندگان به وسیله اختلاف در سرعت ۸۵ درصد نشان داده شود، که باید به بازه مشخصی محدود گردد. در مورد معیار سوم به منظور پیوستگی در دینامیک حرکت اختلاف بین اصطکاک جانبی فرض شده در طراحی راه و اصطکاک مورد نیاز با توجه به سرعت عملکردی باید به بازه مشخصی محدود شود [۱۵].

جدول ۱-۲: معیارهای ارزیابی مشخصه‌های افقی هندسه راه [۱۵]

معیار ایمنی	سطوح طراحی		
	خوب (خطای مجاز)	متوسط (خطای قابل قبول)	ضعیف (خطای غیرمجاز)
I	$ V_{85i}-V_d \leq 10 \frac{km}{h}$	$10 \frac{km}{h} < V_{85i}-V_d \leq 20 \frac{km}{h}$	$ V_{85i}-V_d > 20 \frac{km}{h}$
II	$ V_{85i}-V_{85i+1} \leq 10 \frac{km}{h}$	$10 \frac{km}{h} < V_{85i}-V_{85i+1} \leq 20 \frac{km}{h}$	$ V_{85i}-V_{85i+1} > 20 \frac{km}{h}$
II	$f_R - f_{RA} \geq +0.01$	$-0.04 \leq f_R - f_{RA} < +0.01$	$f_R - f_{RA} < -0.04$

توضیحات جدول:

روابط این جدول برای هر یک از قسمت‌های راه (قوس‌ها و قسمت‌های مستقیم) بکار می‌رود.
 روابط معیار II به دو جزء متوالی طرح مربوط می‌شود.
 روابط معیار III به قوس‌های راه اختصاص دارد.
 V_d : سرعت طرح V_{85i} ، (km/h)، سرعت ۸۵ درصد در جزء i ، V_{85i+1} ، (km/h): سرعت ۸۵ درصد در جزء $i+1$ ، (km/h)، f_R : اصطکاک جانبی فرض شده (بدون واحد)، f_{RA} : اصطکاک مورد نیاز (بدون واحد).

سرعت ۸۵ درصد از روابط زیر بدست می‌آید.

$$V_{85} = 82.76 - 0.45CD \quad \text{محیط کوهستانی} \quad (12-2)$$

$$V_{85} = 99.31 - 0.51CD \quad \text{محیط مسطح} \quad (13-2)$$

$$CD = \frac{360 \times 100}{2\pi R} \quad (14-2)$$

R: شعاع قوس برحسب متر

لام و اسمیت از جمله محققانی بودند که تحقیقاتی در زمینه تصادفات قوس انجام دادند. آن‌ها بیان

کردند که قوس‌های افقی و تقاطع‌ها محتمل‌ترین مکان‌ها برای وقوع تصادفات در راه‌های دو خطه به حساب می‌آیند. بنابراین می‌توان قوس‌های افقی را به عنوان یکی از بحرانی‌ترین مکان‌های حادثه‌خیز در نظر گرفت و لازم است معیارهایی برای کاهش تعداد و شدت تصادفات در قوس‌های افقی منظور گردد [۱۶].

تاکنون تحقیقات مختلفی برای طراحی قوس‌ها و بررسی ایمنی و تعداد تصادفات در قوس‌ها ارائه شده است. در این تحقیقات پارامترهای مختلف مؤثر بر نرخ تصادفات در قوس‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از آن جمله می‌توان به مواردی مانند تأثیر قوس‌های متوالی و قوس‌های منفرد، تأثیر انحناء، وجود اتصال کلوتوئیدی، فاصله دید، عرض سواره رو، عرض شانه، موانع جانبی، حجم ترافیک، شیب خاکریزها، شعاع قوس و همچنین ترکیب این عوامل اشاره کرد.

گلنن و همکاران در سال ۱۹۸۵ مطالعاتی را بر روی تصادفات تعدادی قوس و مسیر مستقیم کنار آن‌ها انجام دادند. آمار نشان داد که تصادفات رخ داده در قوس‌ها ۳ برابر تصادفات رخ داده در مسیر مستقیم است [۱۷].

در تکمیل مطالعات قبلی در سال ۱۹۸۷ گلنن و همکاران ۴ طبقه بندی مختلف از المان‌هایی را که در ایمنی قوس تأثیر داشته‌اند عنوان کردند که شامل تراز افقی، تراز عمودی، سطح مقطع و سایر موارد می‌شود. تراز افقی شامل خصوصیات طولی قوس‌ها از جمله طول، شعاع و فاصله دید می‌شود. تراز عمودی ارتباط بین قوس افقی و المان‌های عمودی را مانند قوس قائم و درجه قوس را مشخص می‌کند و سطح مقطع هم خصوصیات مربوط به قسمت عمود بر مسیر حرکت وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. با توجه به مطالعات فاصله تا قوس مجاور، تقاطع‌ها و بزرگراه‌ها مرتبط‌ترین فواصل هستند. ولی در مطالعات آن‌ها تأثیر فواصل در ریسک تصادفات عنوان نشده است [۱۸].

بر طبق تحقیقاتی که میاو و همکارانش در سال ۱۹۹۳ در کشور فرانسه و با بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون و پواسون انجام دادند، نشان دادند که وقتی شعاع قوس کاهش می‌یابد و طول بخش مستقیم قبل

از قوس افزایش می‌یابد، نرخ تصادف در قوس نیز افزایش می‌یابد. نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد که هرگاه بعد از یک مماس طولانی یک قوس تند وجود داشته باشد، تصادفات افزایش می‌یابد [۱۹].

میلتون و مانرینگ در سال ۱۹۹۸ مطالعاتی را بر روی تأثیر فواصل بین قوس‌ها انجام دادند. آنها پارامترهای مربوط به فواصل بین قوس‌ها را به دو بخش تقسیم کردند. یکی طول تانژانت و دیگری معرفی شاخص تانژانت-قوس که اگر شعاع قوس کمتر از ۲۸۸۲ فوت و طول تانژانت بین دو قوس کمتر از نیم مایل باشد آن را برابر ۱ در نظر می‌گیرد، در غیر این صورت برابر ۲ در نظر گرفته می‌شود. این مطالعات نشان داد که هرچه طول تانژانت افزایش می‌یابد تعداد تصادفات نیز افزایش خواهد یافت و دلیل آن این است که در مسیر طولانی‌تر سرعت افزایش می‌یابد. شاخص تانژانت-قوس نیز نشان داد به طور مشخص در طول تانژانت کمتر از نیم مایل و شعاع کمتر از ۲۸۸۲ فوت با افزایش طول تانژانت بین دو قوس تعداد تصادفات افزایش می‌یابد [۲۰].

پژوهشگران کانادایی با تقسیم‌بندی متغیرهای مؤثر در ایجاد تصادف در قوس‌های افقی واقع در راه‌های دو خطه برون شهری به دو گروه عملکردی و غیر عملکردی جدول (۲-۲) نشان دادند که توزیع سرعت در قوس‌های افقی، به جهت و میزان انحناء قوس مربوط است. زمانی که قوس‌های کوچک بر خلاف جهت عقربه‌های ساعت پیموده می‌شوند، سرعت بیشتر است و زمانی که در جهت عقربه‌های ساعت پیموده می‌شوند سرعت کمتر است. از نظر رفتاری نیز مطالعات نشان داده‌اند که در قوس‌های با شعاع بزرگتر، اغلب رانندگان در هر جهت، خط مرکزی را دنبال می‌کنند، اما در قوس‌های با شعاع کوچکتر، رانندگان قوس را در هر دو جهت قطع می‌کنند [۲۱].

جدول ۲-۲: تأثیر متغیرهای عملکردی و غیرعملکردی بر تصادفات قوس‌ها [۲۱]

متغیر	پارامترها	قوس‌های منفرد	قوس‌های متوالی	قسمت مماس
غیر عملکردی	شعاع قوس	+	-	-
	شیب طولی	+	-	-
	شیب عرضی	+	-	-
	عرض روسازی	+	-	+
	علائم راه	+	-	-
	مقاومت لغزشی	+	-	+
	تراکم قوس	-	+	-
	فاصله دید	-	-	+
	عرض شانه	-	+	+
	عرض خط عبور	-	+	-
	موانع جانبی	+	-	+
عملکردی	سرعت لحظه‌ای	+	-	-
	کاهش سرعت	+	-	-
	AADT	+	+	+
	واریانس سرعت	-	+	-

تصادفات در قوس‌های افقی به علل مختلفی رخ می‌دهد، از جمله مهمترین این علل: سرعت زیاد و برخورد با سایر اشیاء و از دست دادن کنترل وسیله‌نقلیه و واژگون شدن آن است. تعداد قابل توجهی از تصادفات در اثر برخورد پهلو به پهلو و وسایل نقلیه بروی قوس افقی رخ می‌دهد. اما آنچه در تصادفات واضح

و مشخص است این است که رانندگان با سرعت بالایی وارد خمیدگی قوس می‌شوند که عمدتاً به علت میل رانندگان به حرکت با سرعت بالا و توجه ناکافی یا قضاوت نادرست از میزان خمیدگی قوس است. این قضاوت اشتباه می‌تواند به دلیل شکل بصری قوس، انحنای ناگهانی پس از تعدادی قوس ملایم و مقاطع مماسی طویل رخ دهد. عمده مشکلات زمانی پیش می‌آید که رانندگان در سبقت حقوق یکدیگر را رعایت نمی‌کنند. از طرف دیگر در هنگام حرکت وسیله‌نقلیه بر روی قوس چون همه چرخ‌ها نیروی یکسانی بر قوس وارد نمی‌کنند، بنابراین چرخ‌هایی که بار بیشتری وارد می‌کنند منجر به ناهمواری و صیقلی شدن روسازی به مرور زمان می‌گردد، که مشکلاتی برای ایمنی جاده‌ها ایجاد می‌کند. مشکلات اساسی در طرح هندسی قوس‌ها وجود دارد چرا که مفروضات پایه برای طراحی راه قابل اجرا نیستند. به عنوان مثال تعداد زیادی از رانندگان با سرعتی بیشتر از سرعت طرح راه حرکت می‌کنند، به خصوص در راه‌های شنی فقدان برابندی در پروفیل مقطع عرضی به خاطر عدم نگهداری از راه‌ها ممکن است منجر به سخت‌گیری بیش‌تر قوس افقی نسبت به طراحی شود [۲۲].

برخی از راهکارهایی که برای جلوگیری از حوادث در قوس‌ها می‌توان به کار گرفت به شرح ذیل است

[۲۲]:

- زیرسازی تمامی قوس‌ها تا حد امکان به صورت استاندارد و مطلوب اجرا شود و با نصب علائم هشداردهنده رانندگان را از شدت قوس آگاه کنند، که این امر باید از استانداردی که قوس‌های افقی خطرناک را با علائم جاده‌ای مشخص می‌کند تبعیت کند.
- مسیر راه باید به گونه‌ای طراحی شود که مسیری یکنواخت، قابل عبور و با دید کافی و مناسب برای رانندگان فراهم کند. به منظور حل مشکل تصادفات رو در رو باید خطوط ممتد را به میخ‌های انعکاسی برجسته مجهز کرد تا هنگامی که وسایل نقلیه بروی آن قرار گیرند، به لرزش در آمده و بدین ترتیب رانندگان از انحراف مسیر خود آگاه شوند.

- استفاده از مواد پایدار در قوس‌ها برای جلوگیری از لغزش‌ها و سرخوردن‌های شدید به‌خصوص برای قوس‌های تند در محیط‌های مرطوب
- اتصال قوس‌ها به شبکه راه‌ها همانند قوس ساده باید بدون شکل مارپیچی صورت پذیرد.
- تعریض در قوس‌ها باید به صورت کاربردی و قابل اجرا در لبه داخلی قوس انجام گیرد.

۲-۸ مدل‌های پیش‌بینی تصادفات

راف در سال ۱۹۵۳ با استفاده از داده‌هایی که از ۵۰۰۰ مایل راه برون شهری در ۱۵ ایالت آمریکا بدست آمده بود، رابطه بین نرخ تصادفات و مشخصه‌های طراحی راه‌های برون شهری را بررسی کرد. راف رابطه خطی (۲-۱۵) را بین نرخ تصادفات و درجه قوس ارائه کرد [۲۳].

$$accidents / MVM = 1.3 + 0.25D \text{ or } accidents / MVkm = 0.8 + 0.16D \quad (۲-۱۵)$$

MVM: میلیون وسیله‌نقلیه بر مایل

MVkm: میلیون وسیله‌نقلیه بر کیلومتر

D: درجه قوس

او همچنین رابطه بین نرخ تصادفات و درجه قوس در چهار نوع راه مختلف به صورت شکل (۲-۴) ارائه داد. (راه‌های دوخطه، U راه‌های ۴ خطه جدا نشده، D راه‌های ۴ خطه جدا شده، CA راه‌ها ۴ خطه با دسترسی‌های کنترل شده).

در سال ۱۹۷۱ لیسج با بررسی پنج تحقیق قدیمی‌تر نمودارهایی را که رابطه بین نرخ تصادفات با درجه قوس و شعاع قوس است استخراج کرد (شکل (۲-۵) و شکل (۲-۶)). در نمودار به‌وضوح مشخص است که رابطه نرخ تصادفات و شعاع قوس خطی نیست، و در شعاع‌های کوچک یک افزایش تقریباً ۱۰۰ متری در

شعاع قوس می‌تواند ایمنی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد [۲۴].

یکی از اولین نظریه‌های جامع پیرامون مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس‌ها، یافته‌های تجربی لیسچ و

آسوشیت در سال ۱۹۷۱ بود که به صورت زیر ارائه شده است [۲۴].

$$accident/MVM=1.8+0.34D \quad (۱۶-۲)$$

MVM: میلیون وسیله‌نقلیه بر مایل

D: درجه قوس

در سال ۱۹۸۲ ماتیوس و بارنس در زلاندنو ارتباط نرخ تصادفات و شعاع قوس را به صورت رابطه (۱۷-۲)

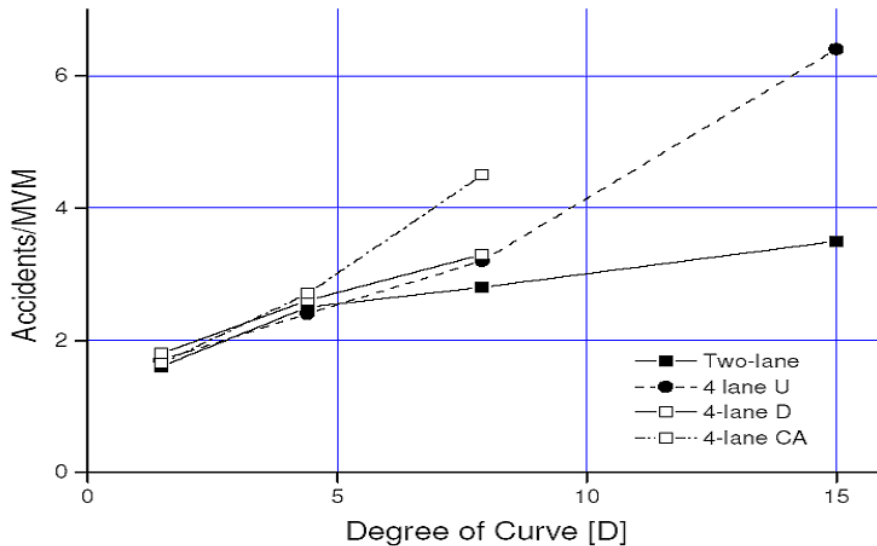
بیان کردند. نمودار این رابطه در شکل (۷-۲) و شکل (۸-۲) نشان داده شده است [۲۵].

$$accidents / MVM = 0.071 \times D^{0.64} = 0.85/R^{0.64} \quad (۱۷-۲)$$

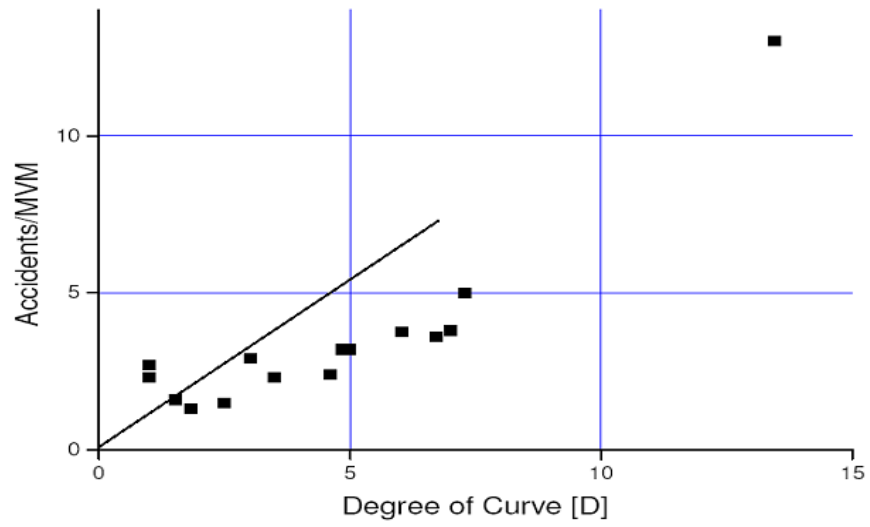
D: درجه قوس

R: شعاع قوس

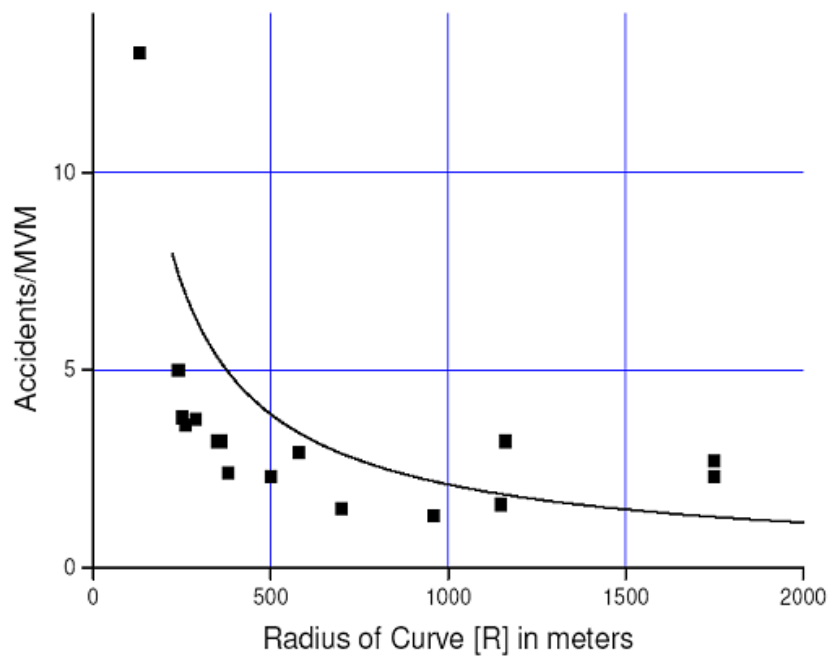
MVM: میلیون وسیله‌نقلیه بر مایل



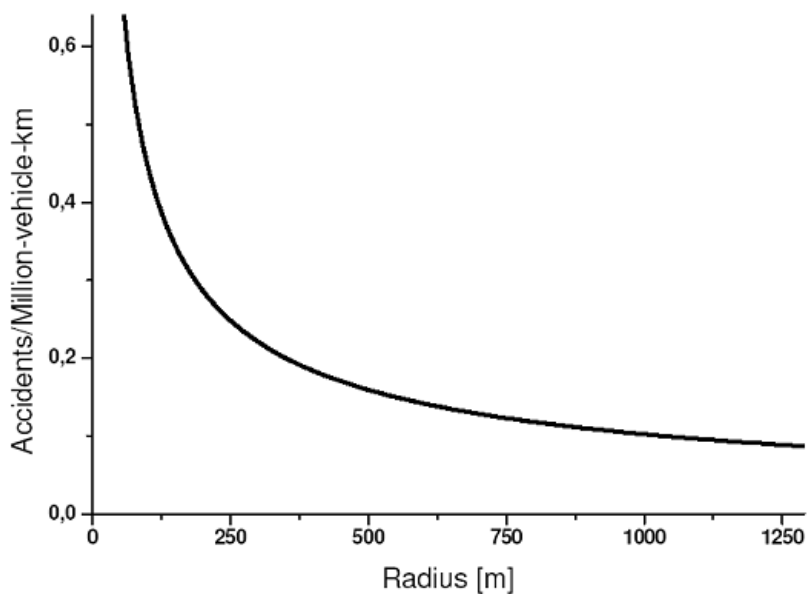
شکل ۴-۲: رابطه بین نرخ تصادفات و درجه قوس در چهار نوع راه مختلف (مدل راف) [۲۳]



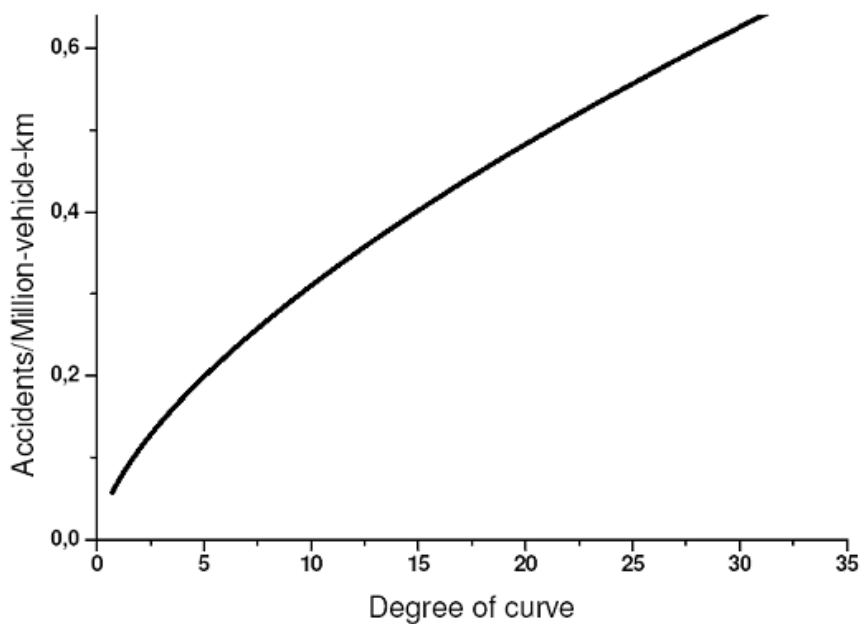
شکل ۲-۵: رابطه بین نرخ تصادفات و درجه قوس (لیسچ) [۲۴]



شکل ۲-۶: رابطه بین نرخ تصادفات و شعاع قوس (لیسچ) [۲۴]



شکل ۲-۷: رابطه بین نرخ تصادفات و شعاع قوس (مدل ماتیوس) [۲۵]



شکل ۲-۸: رابطه بین نرخ تصادفات و درجه قوس (مدل ماتیوس) [۲۵]

دیکن در سال ۱۹۸۶ داده‌های تصادفات را برای یک مجموعه داده‌ای شامل ۳۵۱ قسمت مستقیم و

۳۲۹۷ قوس آنالیز کرد. طول قسمت‌های مستقیم ۱ کیلومتر و قوس‌ها شامل خود قوس و حداقل ۲۰۰ متر

از قسمت مستقیم متصل به آن انتخاب شده است. برخی از این داده‌ها در جدول (۳-۲) خلاصه شده است. او با توجه به داده‌ها نتیجه گرفت در قوس‌های تیزتر معمولاً عرض خط و شانه باریک‌تر است، که نشان می‌دهد علاوه بر درجه قوس پارامترهای دیگری نیز در نرخ تصادفات دخیل است. دیکن با تفسیر اطلاعات تصادفات پس از بررسی بر روی برخی از آمار، مدل (۱۸-۲) را پیشنهاد کرد [۲۶].

$$A=(R \times L+0.0336 \times D) \times V \quad (18-2)$$

A: تعداد تصادفات در قوس‌ها

D: درجه قوس

L: طول قوس بر حسب مایل

V: تعداد وسایل نقلیه بر حسب میلیون

R: نرخ تصادفات به ازای میلیون وسیله نقلیه-مایل در بخش مستقیم راه

لام و همکاران در سال ۱۹۸۸ با استفاده از داده‌های ۲۶۱ قطعه راه از راه‌های دوخطه برون‌شهری و

داده‌های تصادفات ۳ سال (در مجموع ۸۱۵ تصادف) مدل رگرسیونی (۱۹-۲) را پیشنهاد کردند [۲۷].

$$accident/MVM=-0.88+1.41D \text{ for } 1^{\circ} < D < 6.9^{\circ} \quad (19-2)$$

MVM: میلیون وسیله نقلیه بر مایل

D: درجه قوس

جدول ۳-۲: نمونه داده‌های مورد بررسی توسط دیکن [۲۶]

Degree of curve	accidents / MVM.	ADT	Average Lane width(ft)	Shoulder width (ft)
0	0,90	3400	11,5	7,2
0,01-0,74	1,38	3100	11,7	7,7
0,75-1,49	1,06	3300	11,9	7,5
1,50-2,49	1,24	3200	11,8	7,4
2,50-3,49	1,61	3400	11,7	7,3
3,50-4,49	2,41	3000	11,3	6,3
4,50-6,49	2,79	3200	10,9	5,9
6,50-8,49	2,89	3300	10,4	4,8
8,50-10,5	3,59	3000	10,2	4,8
10,5-12,5	4,03	3200	10,3	4,8
>12,5	4,19	2900	10,0	4,8

زگیر در سال ۱۹۹۱ مدلی برای ارزیابی ایمنی در قوس‌ها با استفاده از یک پایگاه داده خیلی گسترده شامل اطلاعات ترافیکی، تصادفات و مشخصات هندسی ۱۰۹۰۰ قوس افقی در ایالت واشنگتن، به صورت رابطه (۲۰-۲) ارائه کردند [۲۸].

$$A = [(1.552)(L)(V) + 0.014(D)(V) - 0.012(S)(V)](0.098)^{w-30} \quad (20-2)$$

A: تعداد کل تصادفات

V: حجم وسایل نقلیه در دو جهت در سال بر حسب میلیون

L: طول قوس بر حسب مایل

W: عرض راه بر حسب فوت (شامل عرض سواره‌روها و شانه‌ها)

D: درجه قوس

S: متغیر دو گانه وضعیت مسیر، اگر قوس بدون اسپیرال (منحنی اتصال مسیر مستقیم به قوس) باشد مساوی صفر و در غیر این صورت مساوی یک است

زگیر در سال ۱۹۹۲ مدل پیش بینی تصادفات در قوس (۲-۲۰) را به شکل رابطه (۲-۲۱) کالیبره کرد [۲۸].

$$A=(ADT) \times (L) \times (1.94+0.024D-0.026W-0.25S) \quad (21-2)$$

A: تعداد کل تصادفات

ADT: ترافیک متوسط روزانه

L: طول قطعه دارای قوس بر حسب مایل

W: عرض راه بر حسب فوت (شامل عرض سواره‌روها و شانه‌ها)

D: درجه قوس

S: متغیر دو گانه وضعیت مسیر، اگر قوس بدون اسپیرال (منحنی اتصال مسیر مستقیم به قوس) باشد مساوی صفر و در غیر این صورت مساوی یک است

او نشان داد احتمال تصادف در یک قوس با شعاع حدود ۱۵۰ متر ۲۰۰ درصد، و یک قوس با شعاع حدود ۳۰۰ متر ۵۰ درصد بیشتر از قسمت‌های مستقیم مسیر است.

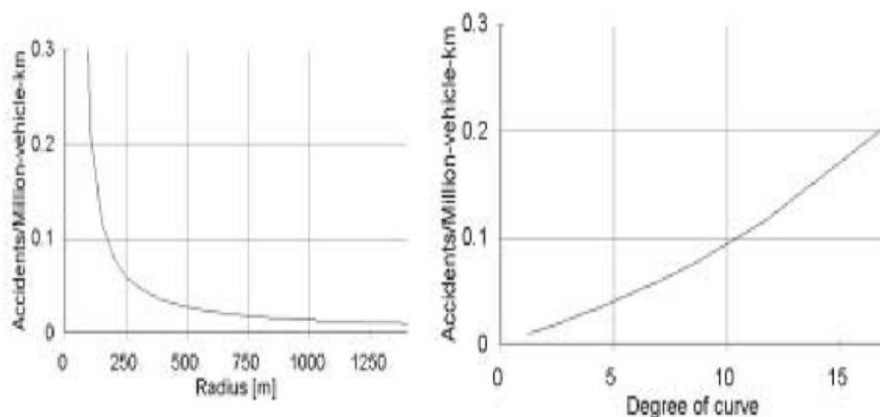
ویجت در سال ۱۹۹۵ با استفاده از داده‌های ۲۴۷ قوس راه‌های دوخطه برون‌شهری در تگزاس و داده‌های تصادف ۷ سال رابطه (۲-۲۲) را برای تخمین نرخ تصادفات پیشنهاد کرد [۲۹].

$$accident/MVM=0.102e^{0.0064D}-0.1 \quad (22-2)$$

MVM: میلیون وسیله نقلیه بر مایل

D: درجه قوس

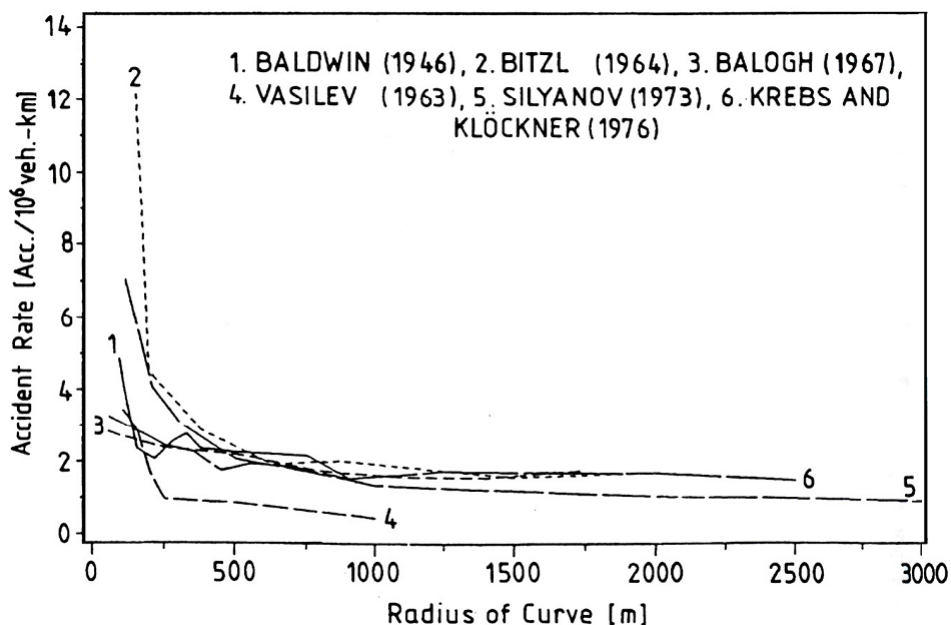
نمودار این رابطه به وضوح در شکل (۲-۹) مشخص است.



شکل ۲-۹: رابطه بین نرخ تصادفات، شعاع قوس و درجه قوس (مدل ویجت) [۲۹]

لام در سال ۱۹۹۹ رابطه بین نرخ تصادفات و شعاع قوس افقی را که در مطالعات مختلف ارائه شده بود

جمع‌آوری کرد و به صورت نمودار شکل (۲-۱۰) ارائه کرد [۳۰].



شکل ۲-۱۰: رابطه بین نرخ تصادفات و شعاع قوس در مطالعات مختلف (لام) [۳۰]

هایر در سال ۱۹۹۹ با فرض رابطه خطی بین نرخ تصادفات و درجه قوس این‌گونه بیان کرد که وقتی

درجه قوس D_1 با قوس ملایم‌تر D_2 جایگزین شود، کاهش سالانه تصادفات برابر با رابطه (۲-۲۳) خواهد

بود [۳۱].

$$r_0 = \left[\left(\frac{1}{D_1} - \frac{1}{D_2} \right) \left(2 \tan \frac{I}{2} - I \right) + 0.014(D_2 - D_1) \right] \quad (23-2)$$

I: زاویه انحنای قوس

r₀: نرخ تصادفات در بخش مستقیم قوس

پرساد در سال ۲۰۰۰ مدل (۲۴-۲) را برای پیش‌بینی تصادفات در قطعات قوسی راه‌های دو خطه

برون‌شهری ارائه کرد. پارامترهای مدل پس از کالیبراسون توسط پرساد بدست آمده است [۳۲].

$$= (AADT)^b (L)^g R^p e^{\left(a + \frac{hL}{R} \right)} \quad (24-2)$$

تصادفات به ازای میلیون وسیله نقلیه-کیلومتر

AADT: متوسط ترافیک روزانه

L: طول قوس بر حسب کیلومتر

R: شعاع قوس بر حسب متر

a: پارامتر مدل برابر با ۶/۹۱۲۷-

b: پارامتر مدل برابر با ۰/۷۶۰۹

g: پارامتر مدل برابر با ۰/۶۴۷۷

p: پارامتر مدل، نزدیک به صفر

h: پارامتر مدل برابر با ۷۸۹

فیتز پاتریک در سال ۲۰۰۰ اقدام به بررسی ۵۲۸۷ قوس افقی به منظور بررسی رابطه اختلاف سرعت

۸۵ درصد در قوس با نرخ تصادفات در قوس کرد. او دو مدل که تعداد تصادفات در یک دوره سه ساله

پیش‌بینی می‌کند ارائه داد. مدل (۲۵-۲) که بر پایه حجم ترافیک، طول قوس و کاهش سرعت است، و مدل

(۲۶-۲) را که بر پایه کاهش سرعت و ترکیب AADT و طول قوس است [۳۳].

$$Y = \exp(-7.1977) AADT^{0.9224} CL^{0.8419} \exp(0.0662\Delta V_{85}) \quad (25-2)$$

$$Y = \exp(-0.8571) MVKT \exp(0.0780\Delta V_{85}) \quad (26-2)$$

AADT: متوسط ترافیک روزانه

CL: طول قوس

MVKT: میلیون وسیله نقلیه بر کیلومتر در یک دوره سه ساله

وزارت راه آمریکا (FHWA) پس از مطالعات گسترده مدلی جامع جهت پیش‌بینی تصادفات ارائه داد. مدل پایه پیش‌بینی تصادفات ارائه شده که با توجه به ترافیک و شرایط ایده‌آل طرح هندسی است به صورت رابطه (27-2) است [34].

$$N_{br} = ADT_n \times L \times 365 \times 10^{-6} \times \exp(-0.4865) \quad (27-2)$$

N_{br} : تعداد تصادفات برای حالت ایده‌آل

ADT_n : ترافیک متوسط روزانه سال n ام

L : طول قطعه همگن مورد بررسی

برای محاسبه تعداد تصادفات در شرایط موجود باید فاکتورهای مؤثر تعدیل تصادفات (AMF) که با اعمال آنها تأثیر پارامترهای هندسی بر تعداد تصادفات لحاظ می‌شود در مقدار پایه ضرب شود. هر فاکتور برای شرایط پایه و اسمی فرموله شده است و مقدار آن برابر یک است. اگر شرایط به گونه‌ای باشد که تصادفات از مقادیر اسمی بیشتر باشد آنگاه فاکتور بزرگ‌تر از یک و اگر شرایط به گونه‌ای باشد که تصادفات کمتر از مقادیر اسمی باشد آنگاه فاکتور کوچک‌تر از یک است. با استفاده از رابطه زیر تأثیر این فاکتورها در تعداد تصادفات مشخص می‌شود.

$$N_r = N_{br} \cdot C_r \cdot AMF_1 \cdot AMF_2 \cdot AMF_3 \cdot AMF_4 \cdot AMF_5 \cdot AMF_6 \cdot AMF_7 \cdot AMF_8 \cdot AMF_9 \quad (28-2)$$

AMF_1 : فاکتور عرض راه

C_r : فاکتور کالیبره کردن

AMF₂: فاکتور عرض و نوع شانه

AMF₃: فاکتور شعاع و طول قوس

AMF₄: فاکتور دور (بربلندی)

AMF₅: فاکتور شیب طولی

AMF₆: فاکتور چگالی راه‌های دسترسی

AMF₇: فاکتور خط سبقت جداگانه

AMF₈: فاکتور خط گردش به چپ جداگانه

AMF₉: فاکتور ریسک خطرپذیری کناره راه

نحوه کامل محاسبه هر یک فاکتورهای بالا در فصل سوم بیان می‌شود.

در سال ۲۰۰۴ سایید و ان‌جی با بررسی ۳۱۹ قوس و ۵۱۱ قسمت مستقیم راه از مسیرهای دوخطه

برون‌شهری ۸ مدل پیش‌بینی تصادف مختلف ارائه دادند. که سه مدل آن به صورت زیر است [۳۵].

$$\text{accident per 5 years} = \exp(-3.796) V^{0.5847} CL^{0.8874} \exp(0.04828 \Delta V_{85}) \quad (29-2)$$

$$\text{accident per 5 years} = \exp(-3.369) V^{0.5841} CL^{0.8858} \exp[0.0049(V_{85} - V_d) + 0.0253 \Delta V_{85} - 1.177 \Delta f_R] \quad (30-2)$$

$$\text{accident per 5 years} = \exp(-2.338) V^{0.4629} L^{1.092} \exp[IC(0.022 \Delta V_{85} - 1.189 \Delta f_R)] \quad (31-2)$$

CL: طول قوس بر حسب کیلومتر

L: طول قطعه بر حسب کیلومتر

V: متوسط ترافیک روزانه

Δf_R : اختلاف اصطکاک جانبی فرض شده با اصطکاک جانبی مورد نیاز

$V_{85} - V_d$: اختلاف سرعت ۸۵ درصد و سرعت طراحی بر حسب کیلومتر بر ساعت

CI: متغیر مجازی (صفر در مسیر مستقیم، یک در قوس)

دو مطالعه توسط کاردوسو در سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۵ جهت بررسی رابطه بین مشخصات قوس افقی و

تصادفات رخ داده در قوس‌های افقی مسیرهای دوخطه برون‌شهری در پرتغال صورت گرفت. این مطالعات

در سه گام انجام شد. در گام اول مدلی جهت محاسبه سرعت آزاد وسیله نقلیه در مسیر مستقیم ارائه شد. پس از آن در گام دوم مدلی جهت ارزیابی تغییرات سرعت در قوس افقی با توجه به شعاع و طول قوس ارائه شد. در نهایت در گام سوم نسبت تصادفات در قوس به مسیر مستقیم به صورت رابطه (۲-۲۳) برآورد شد [۳۶] و [۳۷].

$$\frac{AR_{curve}}{AR_{tangent}} = e^{-4.656} \frac{\Delta V_M^{0.129} V_{MR}^{1.923}}{L_C^{0.303} AADT^{0.181} L_F^{0.129}} \quad (۳۲-۲)$$

AR: تعداد تصادفات بر میلیون وسیله نقلیه بر کیلومتر

ΔV_M : کاهش سرعت در قوس افقی

V_{MR} : میانگین سرعت آزاد در مسیر مستقیم

L_C : طول قوس بر حسب متر

AADT: متوسط ترافیک روزانه

L_F : عرض راه بر حسب متر

در استفاده از رابطه (۳۲-۲) مقدار ΔV_M از رابطه زیر بدست می آید.

$$Speed\ Reduction\ \Delta V_M = 16.44 - \frac{158.05}{\sqrt{R_C}} + 2.12 L_F + 0.705 V_{MR} \quad (۳۳-۲)$$

ΔV_M : کاهش سرعت در قوس افقی

R_C : شعاع قوس بر حسب متر

V_{MR} : میانگین سرعت آزاد در مسیر مستقیم

L_F : عرض راه بر حسب متر

و بر و ماتنا در سال ۲۰۰۸ مدلی را ارائه دادند که تعداد تصادفات در قطعات همگن راه برای یک دوره ده

ساله پیش‌بینی می‌کند. این مدل به صورت رابطه (۳۴-۲) است [۳۸].

$$Y_{i,10} = e^{-4.9462} \cdot L^{0.8645} \cdot AADT^{0.7683} \cdot e^{-0.7285 \cdot \left(\frac{R_{min}}{AR}\right)} \quad (34-2)$$

L : طول قطعه راه مورد بررسی بر حسب کیلومتر

$AADT$: متوسط ترافیک روزانه

R_{min} : کوچکترین شعاع قوس موجود در قطعه

AR : میانگین شعاع قوس‌های موجود در قطعه مورد بررسی

جورویچ و پتا در سال ۲۰۱۰ در استرالیا مطالعه‌ای جهت ارزیابی تعداد تصادفات خروج مسیر وسایل نقلیه

انجام دادند و مدل (۳۵-۲) را جهت پیش‌بینی این تصادفات ارائه دادند [۳۹].

$$number\ of\ accident = e^{\beta_0 + \beta_1 AADT_{one} + \beta_2 radius + \beta_3 grade + \beta_4 TLSS + \beta_5 CZ + \varepsilon} \quad (35-2)$$

$AADT_{one}$: متوسط ترافیک روزانه در یک جهت

$Radius$: شعاع قوس افقی بر حسب متر

$Grade$: شیب مسیر

$TLSS$: عرض راه بر حسب متر (شامل عرض سواره‌روها و شانه‌ها)

ε : ضریب خطا

CZ : عرض ناحیه بدون مانع بر حسب متر

β_s : ضرایب ثابت براساس مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی

دایتز و ولر در سال ۲۰۱۱ مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس افقی برای مسیرهای دوخطه برون‌شهری

در آلمان به صورت زیر ارائه دادند [۴۰].

$$\text{number of accident per curve} = AADT^\alpha L^\beta e^{(\gamma + \delta R)} \quad (36-2)$$

AAADT: متوسط ترافیک روزانه

L: طول قوس بر حسب متر

R: شعاع قوس بر حسب متر

α ، β ، γ و δ : پارامترهای مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی

ماتسوکیش در سال ۲۰۱۱ با بررسی ۲۷۶ قوس افقی مسیرهای برون‌شهری در یونان، مدلی بر پایه مشخصات هندسی قوس و حجم ترافیک ارائه داد. او در ابتدا برای بدست آوردن نرخ تصادفات از رابطه

(۳۷-۲) استفاده کرد [۴۱].

$$R_S = \frac{A \cdot 10^6}{T \cdot V \cdot L} \quad (37-2)$$

R_S : نرخ تصادف بر میلیون وسیله نقلیه بر کیلومتر

A: تعداد تصادفات ثبت شده در T روز

T: دوره زمانی ثبت تصادفات (در این تحقیق ۳۶۵ روز)

V: میانگین ترافیک روزانه برای قطعه مورد مطالعه

L: طول قطعه مورد مطالعه به کیلومتر

ماتسوکیش برای آنالیز داده‌ها از توزیع نمایی منفی استفاده کرد و مدل‌های (۳۸-۲) و (۳۹-۲) را به

صورت زیر ارائه داد.

$$R_S = 0.3 + 3.25 \cdot e^{\frac{R-350}{30}} \quad (38-2)$$

$$R_S = 0.3 + 0.0002 \cdot e^{2.388 \cdot D} \quad (39-2)$$

R_S : نرخ تصادف بر میلیون وسیله‌نقلیه بر کیلومتر

R: شعاع قوس

D: درجه قوس

دنیل فیندلی و همکاران در سال ۲۰۱۲ با بررسی ۴۲۰ قوس افقی در ایالت فلوریدای آمریکا مدلی را برای بررسی تأثیر فواصل قوس‌های افقی از یکدیگر ارائه دادند. که این مدل به شکل زیر است [۴۲].

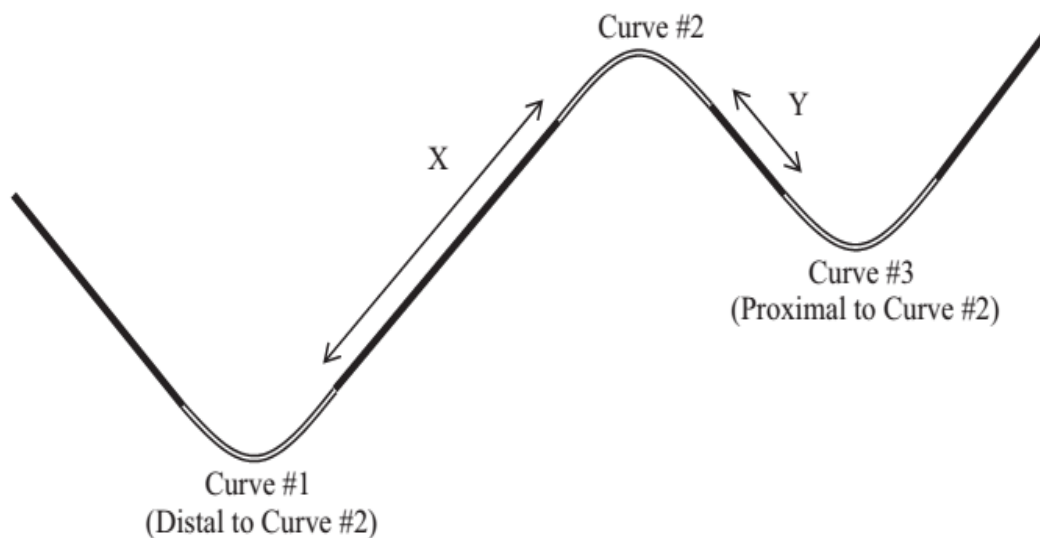
$$Col = HSM[0.116 + (0.367 \times D) + (0.122 \times P) + (-0.255 \times D \times P)] \quad (۴۰-۲)$$

Col: تصادفات مشاهده شده (تصادف بر سال)

HSM: تصادفات پیش بینی شده از آیین نامه آمریکا

D: فاصله از قوس بعدی بر حسب مایل

P: فاصله از قوس قبلی بر حسب مایل



شکل ۱۱-۲: نمونه فاصله قوس از یکدیگر [۴۲]

در این تحقیق مشخص شد هر چه فاصله از قوس قبلی (Y) بیشتر و فاصله از قوس بعدی (X) کمتر شود شکل (۱۱-۲)، میزان ایمنی افزایش می‌یابد. که این نکته‌ای بسیار مهم است و توجه طراحان راه به

این نکته در طراحی راه باعث کاهش آمار تصادفات در قوس‌های افقی خواهد شد.

در سال ۲۰۱۳ خان و همکارانش اقدام به ارزیابی ایمنی قوس‌های افقی کردند. در این تحقیق مدل‌های پیش‌بینی تصادفات برای قوس‌های افقی راه‌های دوخطه برون شهری ارائه شده است. مدل‌های پیش‌بینی تصادفات با استفاده از داده‌های ۱۱۴۲۷ قوس افقی در ایالت ویسکانسن آمریکا با بیش از ۱۳ پارامتر و ۴ نوع تصادف مختلف ساخته شده است. در این تحقیق از سه روش رگرسیونی به منظور آنالیز داده‌ها استفاده شده است و ۸ مدل برای دسته داده‌های مختلف ارائه شده است [۴۳].

دسته اول: مدل پیش‌بینی تصادفات براساس داده‌های تصادفاتی که در قوس افقی رخ داده است و از گزارشات تصادفات بدست آمده است (HORC). این مدل به صورت رابطه (۴۱-۲) است.

$$\mu_i = \exp[-4.67 - 0.0008R + 0.0007L + 0.707 \ln(AADT) - 0.023LSW - 0.35RST_R + 0.16RST_U - 0.082IRI + 0.011DiffPSAS - 0.41UT_1 - 0.34UT_2 - 0.15UT_3] \quad (41-2)$$

دسته دوم: مدل پیش‌بینی تصادفات براساس داده‌های تصادفات جرحی و فوتی که در قوس افقی رخ داده است و از گزارشات تصادفات بدست آمده است (KABHORC). این مدل به صورت رابطه (۴۲-۲) است.

$$\mu_i = \exp[-5.21 - 0.0007R + 0.0006L + 0.587 \ln(AADT) - 15.52RST_R + 0.23RST_U - 0.115IRI + 0.014DiffPSAS - 0.56UT_1 - 0.428UT_2 - 0.205UT_3] \quad (42-2)$$

دسته سوم: مدل پیش‌بینی تصادفات براساس داده‌های تصادفاتی که در قوس افقی رخ داده است و از گزارشات تصادفات بدست آمده است و فاصله قوس از تقاطع یا خروجی مجاور بیشتر از ۱۵۰ فوت است (HORC_N). این مدل به صورت رابطه (۴۳-۲) است.

$$\mu_i = \exp[-4.71 - 0.0006R + 0.0007L + 0.646 \ln(AADT) - 0.0308LSW - 0.301RST_R + 0.15RST_U - 0.068IRI + 0.014DiffPSAS - 0.251UT_1 - 0.194UT_2 - 0.052UT_3] \quad (43-2)$$

دسته چهارم: مدل پیش‌بینی تصادفات براساس داده‌های تصادفات جرحی و فوتی که در قوس افقی رخ

داده است و از گزارشات تصادفات بدست آمده است و فاصله قوس از تقاطع یا خروجی مجاور بیشتر از ۱۵۰ فوت است (KABHORC_N). این مدل به صورت رابطه (۴۴-۲) است.

$$\mu_i = \exp[-5.117 - 0.0005R + 0.0006L + 0.554 \ln(AADT) - 0.032LSW - 15.5RST_R + 0.194RST_U - 0.124IRI - 0.448UT_1 - 0.322UT_2 - 0.114UT_3] \quad (44-2)$$

دسته پنجم: مدل پیش‌بینی تصادفات براساس داده‌های تصادفاتی که در قوس افقی رخ داده است و محل تصادف از تطابق با تابلوهای نشان دهنده فاصله بدست آمده است (ALL). این مدل به صورت رابطه (۴۵-۲) است.

$$\mu_i = \exp[-4.873 - 0.0007R + 0.0004L + 0.750 \ln(AADT) + 0.0169PS - 0.041IRI - 0.014DiffPSAS - 0.483UT_1 - 0.391UT_2 - 0.0120UT_3] \quad (45-2)$$

دسته ششم: مدل پیش‌بینی تصادفات براساس داده‌های تصادفات جرحی و فوتی که در قوس افقی رخ داده است و محل تصادف از تطابق با تابلوهای نشان دهنده فاصله بدست آمده است (KABALL). این مدل به صورت رابطه (۴۶-۲) است.

$$\mu_i = \exp[-5.724 - 0.0006R + 0.0004L + 0.678 \ln(AADT) + 0.013PS - 14.68RST_R + 0.164RST_U - 0.09IRI - 0.314PVT_C - 0.222PVT_{RM} - 0.561UT_1 - 0.450UT_2 - 0.180UT_3] \quad (46-2)$$

دسته هفتم: مدل پیش‌بینی تصادفات براساس داده‌های تصادفاتی که در قوس افقی رخ داده است و محل تصادف از تطابق با تابلوهای نشان دهنده فاصله بدست آمده است و فاصله قوس از تقاطع یا خروجی مجاور بیشتر از ۱۵۰ فوت است (ALL_N). این مدل به صورت رابطه (۴۷-۲) است.

$$\mu_i = \exp[-4.73 - 0.0005R + 0.0005L + 0.650 \ln(AADT) + 0.007PS - 0.022LSW - 0.070IRI - 0.005PSage - 0.281UT_1 - 0.167UT_2 - 0.003UT_3] \quad (47-2)$$

دسته هشتم: مدل پیش‌بینی تصادفات براساس داده‌های تصادفات جرحی و فوتی که در قوس افقی رخ

داده است و محل تصادف از تطابق با تابلوهای نشان دهنده فاصله بدست آمده است و فاصله قوس از تقاطع یا خروجی مجاور بیشتر از ۱۵۰ فوت است (KABALL_N). این مدل به صورت رابطه (۴۸-۲) است.

$$\mu_i = \exp[-5.32 - 0.0004R + 0.0005L + 0.601 \ln(AADT) - 0.032LSW - 15.73RST_R + 0.196RST_U - 0.129IRI - 0.436UT_1 - 0.296UT_2 - 0.064UT_3] \quad (48-2)$$

در روابط بالا :

R: شعاع قوس بر حسب فوت

L: طول قوس بر حسب فوت

AADT: متوسط ترافیک روزانه

LSW: عرض شانه چپ بر حسب فوت

RST_R: عرض شانه سمت راست شنی بر حسب فوت

RST_U: عرض شانه سمت راست فاقد رویه بر حسب فوت

IRI: شاخص ناهمواری بر حسب میلی متر بر متر

PSage: عمر روسازی بر حسب سال

PVT_{RM}: روسازی آسفالتی

PVT_C: روسازی بتنی

PS: سرعت مجاز در قوس بر حسب مایل بر ساعت

DiffPSAS: اختلاف سرعت مجاز با سرعت ایمن در قوس بر حسب مایل بر ساعت

UT₁: طول قسمت مستقیم بعد از قوس بر حسب فوت، محدوده ۰ تا ۶۰۰ فوت

UT₂: طول قسمت مستقیم بعد از قوس بر حسب فوت، محدوده ۶۰۱ تا ۱۲۰۰ فوت

UT₃: طول قسمت مستقیم بعد از قوس بر حسب فوت، محدوده ۱۲۰۱ تا ۲۶۰۰ فوت

۲-۹ مطالعات پیش‌بینی تصادفات در ایران

در سال ۱۳۸۶ تحقیقی توسط صفارزاده و همکارانش به منظور ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس-های افقی مسیرهای برون‌شهری صورت گرفت. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات هندسی و ترافیکی برخی از محورهای استان خراسان رضوی که شامل درجه قوس، طول قوس، عرض سواره‌رو در محل قوس و حجم ترافیک است، اقدام به ارائه مدل مناسب شده است. جهت تحلیل داده‌ها در این تحقیق از نرم افزار SPSS استفاده شده است و مدل‌های مختلف نمایی، توانی، خطی، نیومن، درجه ۲ و درجه ۳ بر داده‌ها برازش داده شده است. مدل‌های چند جمله‌ای درجه ۳، درجه ۲، مدل نیومن و مدل خطی دارای بهترین ضرایب همبستگی هستند، که مدل نیومن و خطی به دلیل اینکه از تعداد متغیرهای مستقل بیشتری بهره می‌برند نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارند [۴۴].

۳ مدل برتر ارائه شده در این تحقیق به صورت زیر است.

$$N_{acc} = 3.494D^2 - 3.122D + 2.001 \quad (۴۹-۲)$$

$$N_{acc} = 1.646 + 3.904D - 0.246W \quad (۵۰-۲)$$

$$N_{acc} = e^{0.706 + 1.07D - 0.117W} \quad (۵۱-۲)$$

N_{acc} : تعداد تصادفات

D: درجه قوس

W: عرض سواره‌رو در محل قوس برحسب متر

با بررسی مدل‌های به دست آمده در این تحقیق معلوم شد که متغیرهایی نظیر درجه قوس (یا شعاع قوس، که با درجه قوس نسبت عکس دارد)، عرض سواره‌رو در محل قوس و حجم ترافیک، اثرگذاری بیشتری در وقوع تصادفات در قوس‌ها نسبت به سایر متغیرها دارند. به طوری که با افزایش شعاع قوس تا ۱۰۰۰ متر، تعداد تصادفات کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد، بنابراین، نوع ارتباط این متغیر با تصادفات، بیش از

اینکه خطی باشد از یک شکل غیرخطی تبعیت می‌کند. از طرفی عرض سواره رو با تعداد تصادفات بیشتر دارای یک ارتباط خطی است و با افزایش عرض خط تصادفات کاهش می‌یابد. با توجه به نتیجه مهم این تحقیق و با در نظر گرفتن تأثیر قابل توجه کاهش درجه قوس در بهبود ایمنی، تا حد ممکن باید در رفع قوس‌های تند و افزایش شعاع قوس اقدام کرد [۴۴].

نصیری و شهرام‌نیا در سال ۱۳۸۷ با استفاده از بانک اطلاعاتی مختلف موجود در پایگاه داده موسسه حمل‌ونقل ایالت اورگان آمریکا تحقیقی در جهت شناسایی عوامل هندسی و ترافیکی مؤثر در وقوع تصادفات جاده‌های دو خطه برون‌شهری انجام دادند. متغیرهای انتخابی شامل تعداد تصادفات، طول مقطع، عرض باند و شانه، درجه قوس، شیب طولی مطلق و ADT است. در این تحقیق از مدل‌های آماری پواسون، دو جمله‌ای منفی و شبکه عصبی جهت تحلیل داده‌ها استفاده شده است. در میان مدل‌های آماری مدل دو جمله‌ای منفی عملکرد بهتری از سایر مدل‌ها داشته که این مدل به صورت رابطه (۲-۵۲) است [۴۵].

$$\mu_i = (ADT \times SEL) \times \exp(0.1303LAW - 0.0556RSW + 0.0079MDC + 0.0554AVG - 9.641) \quad (2-52)$$

μ_i : تعداد تصادفات در سال

ADT: میانگین ترافیک روزانه

SEL: طول قطعه

LAW: عرض باند

RSW: عرض شانه سمت راست

MDC: حداکثر درجه قوس

AVG: متوسط شیب طولی

در این تحقیق مشخص شد افزایش عرض باند، درجه قوس افقی، شیب طولی موجب افزایش آمار

تصادفات و افزایش عرض شانه باعث کاهش تصادفات می‌شود [۴۵].

خاکی و محسنی در تحقیقی که در سال ۱۳۸۷ ارائه دادند اثر طرح هندسی بر تعداد تصادفات راه‌های دوخطه را با استفاده از اطلاعات طرح هندسی و متوسط تردد روزانه (ADT) محور کرج به چالوس، مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ابتدا با استفاده از مدل پیش‌بینی تصادفات وزارت راه آمریکا تصادفات محور مورد مطالعه پیش‌بینی شده است. پس از آن جهت بهبود نتایج و اعمال شرایط راه قبل از قوس پارامتر جدیدی تحت عنوان اختلاف سرعت در مسیر مستقیم و قوس افقی به مدل اضافه شده است. مقدار این پارامتر به‌ازای حالات مختلف در جدول (۴-۲) مشخص است [۴۶].

با اضافه کردن این پارامتر به مدل و تطابق مدل و واقعیت، قبل و بعد از اصلاح، مشخص شده است که اضافه کردن این پارامتر به مدل سبب بهبود نتایج پیش‌بینی شده می‌شود. این تحقیق نشان داد پارامترهای هندسی مانند شعاع قوس، شیب طولی، اختلاف سرعت و ... تأثیر مستقیمی بر تعداد تصادفات دارند. تطابق بالای نتایج پیش‌بینی با مدل وزارت راه آمریکا و واقعیت نشان‌دهنده این است که این مدل یکی از کامل‌ترین مدل‌های پیش‌بینی تصادفات است به همین دلیل استفاده از آن در راه‌های ایران توصیه می‌شود [۴۶].

جدول ۴-۲: محاسبه پارامتر اختلاف سرعت [۴۶]

AMF ₁₀	اختلاف سرعت ۸۵ درصد	کیفیت طراحی
۰/۸۵	<۱۰	خوب
۱	۲۰-۱۰	قابل قبول
۱/۱۵	۲۰<	ضعیف

در سال ۱۳۹۲ رحیم و طاهرزاده با استفاده از اطلاعات و داده‌های قوس‌های افقی محور کرج به چالوس و آمار تصادفات سال‌های ۸۰ تا ۸۲ مدلی برای بررسی تأثیر فواصل قوس‌های افقی در تصادفات راه‌های دوخطه برون شهری انجام دادند. پارامترهای در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل شعاع قوس، طول قوس، فاصله از قوس مجاور قبلی و فاصله از قوس مجاور بعدی است. جهت تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS

استفاده شده است و ۴ معادله رگرسیون خطی با متغیرهای مختلف و غیرخطی لگاریتمی معکوس، درجه ۲ و درجه ۳ با متغیر فاصله از قوس قبلی انجام شده است. در نهایت مدل (۲-۵۳) به عنوان مدل برتر انتخاب شده است [۴۷].

$$A=18.72P-9.51D+50.64L+6.84R-0.992 \quad (۲-۵۳)$$

D: فاصله از قوس بعدی بر حسب مایل

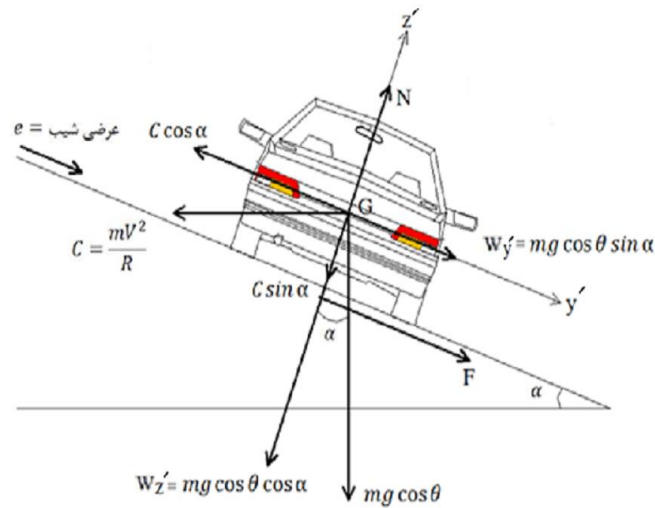
P: فاصله از قوس قبلی بر حسب مایل

R: شعاع قوس بر حسب مایل

L: طول قوس بر حسب مایل

با افزایش طول قوس و فاصله از قوس قبلی تعداد تصادفات پیش‌بینی شده افزایش می‌یابد. اما نرخ افزایش تصادفات با افزایش طول قوس بیشتر است. هنگامی که راننده یک مسیر مستقیم طولانی را طی می‌کند انتظار مواجه شدن با یک قوس ناگهانی را ندارد، در نتیجه احتمال تصادف در آن افزایش می‌یابد و همه این‌ها در واقع به درک راننده از مسیری که در آن حرکت می‌کند بستگی دارد. بررسی انجام شده نشان می‌دهد که هرچه طول مسیر قبل از قوس افزایش یابد تعداد تصادف رخ داده افزایش می‌یابد. در نتیجه برای طراحی راه‌های جدید باید به درک راننده از مسیر و فواصل قوس‌ها از یکدیگر توجه کرد. به همین دلیل باید از طراحی قوس تکی بعد از یک مسیر مستقیم طولانی پرهیز کرد و حتی المقدور قوس‌هایی با فواصل مناسب پشت هم طراحی شوند [۴۷].

زمانی که یک قوس افقی در شیب طولی واقع است، با توجه به شکل (۲-۱۲) مؤلفه‌ای از زاویه طولی مسیر نسبت به سطح افق، باعث کاهش نیروی عمودی سطح و به موجب آن کاهش نیروی اصطکاک عرضی می‌گردد. در نظر نگرفتن شیب طولی در تعیین حداقل شعاع قوس افقی، سبب می‌گردد در شرایط عملکردی هنگامی که قوس افقی در شیب طولی است، حداقل ایمنی مورد نیاز تأمین نشود [۴۸].



شکل ۲-۱۲: دیاگرام جسم آزاد خودرو در حال حرکت در قوس افقی دارای برابندی واقع در شیب طولی [۴۸]

در مطالعه‌ای اثر شیب طولی بر حداقل شعاع ایمن در طراحی قوس افقی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور تغییر در نیروی عمودی سطح به دلیل حرکت خودرو در قوس افقی دارای برابندی و واقع در شیب طولی در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق ابتدا به منظور تعیین نیروی عمودی سطح وارده بر خودرو به عنوان جرم نقطه‌ای در حال حرکت در قوس افقی واقع در شیب طولی از تحلیل دینامیکی در فضای سه بعدی نرم افزار Auto CAD استفاده شده است. در مرحله بعد جهت بررسی صحت مؤلفه‌های محاسبه شده، از هندسه برداری در فضای سه بعدی و ماتریس‌های دورانی در این فضا استفاده شده است. در پایان با اعمال شرط تعادل حرکتی، حداقل شعاع ایمن جهت طراحی قوس افقی واقع در شیب طولی تعیین گردیده است [۴۸].

همانطور که در شکل (۲-۱۲) مشخص است زمانی که قوس افقی در شیب طولی واقع می‌شود، نیروهای وارد بر خودرو در جهت مرکز قوس افزایش می‌یابد که باعث افزایش خطر واژگونی خودرو می‌شود. به همین دلیل نیاز است رابطه حداقل شعاع قوس برای استفاده در شیب طولی اصلاح شود. بدین منظور با استفاده از هندسه برداری سه بعدی (به منظور بررسی صحت مؤلفه‌های نیروی وزن) و محاسبات معکوس، در نهایت حداقل مقدار قابل قبول و ایمن شعاع قوس افقی جهت طراحی در شیب طولی به صورت زیر ارائه شده است

[۴۸].

$$R = \frac{V^2}{127.2 \cos \theta (f+e)} \quad (۵۴-۲)$$

R: حداقل شعاع قوس افقی بر حسب متر

V: سرعت طرح بر حسب کیلومتر بر ساعت

e: میزان برابندی بر حسب درصد

f: ضریب اصطکاک جانبی

θ : زاویه شیب طولی

در محاسبه شعاع قوس افقی واقع در شیب طولی، عبارت $\cos \theta$ که مرتبط با شیب طولی است، در مخرج کسر ظاهر می‌گردد، این در حالی است که در رابطه ارائه شده در آیین‌نامه آشتو، جهت محاسبه حداقل شعاع قوس افقی، این موضوع لحاظ نشده است. با توجه به اینکه $\cos \theta$ همواره کوچکتر از ۱ است و در اکثر مواقع سرعت عملکردی رانندگان ضمن حرکت در شیب طولی از سرعت طرح بیشتر است، در صورتی که در این شرایط خاص، از داده‌های آشتو در طراحی استفاده شود، ممکن است به ازای برخی از مجموعه داده‌های مرتبط با یکدیگر (R, v, e) ضریب اصطکاک مورد نیاز جهت حفظ تعادل خودرو، بیش از آن چیزی شود که در سطح تماسی لاستیک و روسازی قابل تأمین است. بنابراین، طراحی قوس افقی بر اساس حداقل شعاع ارائه شده در آشتو، پاسخگوی تأمین حداقل ایمنی مورد نیاز نخواهد بود و لذا به نظر می‌رسد که نیاز است حداقل شعاع قوس افقی بیش از آنچه که آشتو بدان اشاره کرده است، در طراحی قوس افقی در این شرایط به کار گرفته شود [۴۸].

۱۰-۲ مقاومت لغزشی

برای جلوگیری از لغزش وسیله‌نقلیه در قوس افقی، سطح راه باید دارای زبری کافی باشد تا نیروی

اصطكاكى مناسبى بين چرخ و سطح راه ايجاد شود. بنا بر اين مصالح مورد استفاده در روبه بايد داراى دانه بندى مناسب باشد تا مقاومت لغزشى مناسبى را ايجاد كند. بنا به تعريف استاندارد ASTM، مقاومت لغزشى نيروى مقاوم پديد آمده بين لاستيك و سطح روسازى در هنگام ترمزگيرى و حالت قفل شدن چرخ خودرو است، كه از لغزش لاستيك جلوگيرى مى كند و با عنوان عدد لغزندگى (SN) نيز معرفى مى شود و از رابطه (۵۵-۲) بدست مى آيد [۴۹].

$$SN=100\mu=100\left(\frac{F}{N}\right) \quad (55-2)$$

μ : ضريب اصطكاك

N: نيروى عمودى وارد بر سطح

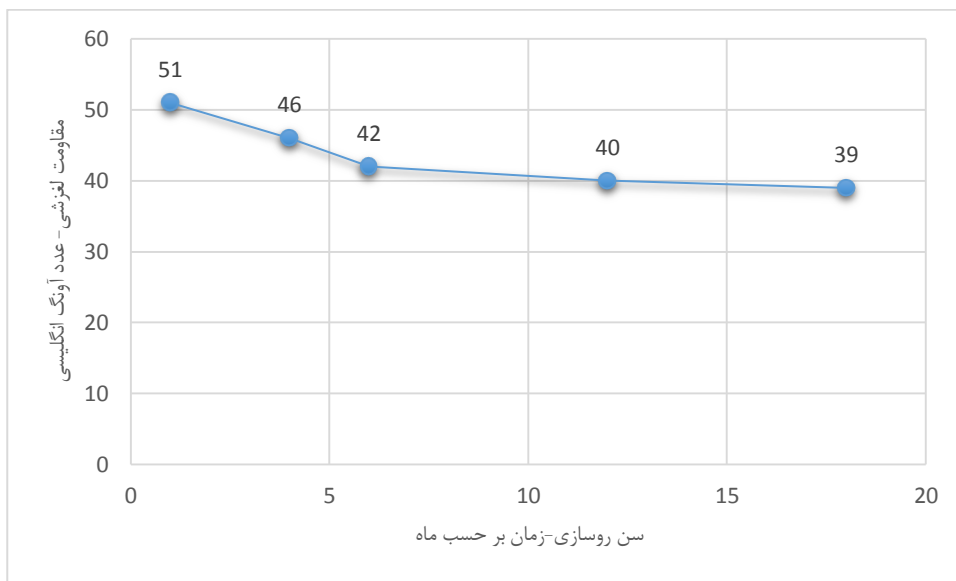
F: نيروى اصطكاك (نيروى افقى وارد بر چرخ در محل تماس لاستيك و روسازى)

يكى از عواملى كه موجب تصادف در راهها مى شود کاهش اصطكاك در فصل مشترك لاستيك و سطح جاده است، بخصوص در شرايط مرطوب كه به دليل ايجاد پديده هيدروپلنينگ باعث تصادفات تشديد مى شوند [۴۹].

در مطالعه اى كه در سال ۲۰۱۲ توسط پراساد و امبريش بر روى قوسهاى افقى مسيرهاى دوخطه تگراس انجام شد مشخص شد تعداد قابل توجهى از محلهاى تصادفى داراى شاخص اصطكاكى پايين و متوسط هستند. در ميان متغيرهاى مربوط به شرايط روبه اصطكاك و IRI (شاخص ناهموارى راه) بيشترين تأثير را در شدت تصادفات دارند. در راههاى با سطح صاف رانندگان تمايل بيشترى به تجاوز از سرعت مجاز دارند كه خود عامل بالا رفتن شدت تصادفات است [۵۰].

در سال ۱۳۹۲ فخرى و همكارانش با بررسى مقاومت لغزشى سطح آسفالتى خيابان شهيد رجائى تهران كه در فاصله هاى معين از كارخانه جات مورد استفاده شهردارى تهران تهيه و پخش گردیده بود، اقدام به بررسى اثر تغييرات مقاومت لغزشى بر تصادفات كردند. در اين تحقيق آزمايشات دانه بندى و ساير مشخصات

مسیر مورد مطالعه اندازه گیری شده است. مطالعات ترافیکی و بررسی تصادفات معبر مذکور طی بیش از یکسال صورت گرفته و تغییرات حاصله با انجام آزمایش‌های پخش ماسه و آونگ انگلیسی در محل، ثبت شده است. نمودار روند کاهشی مقاومت لغزشی روسازی بر حسب عمر روسازی در اثر عبور حجم ترافیک رسم گردیده است شکل (۲-۱۳) [۵۱].



شکل ۲-۱۳: روند تغییرات مقاومت لغزشی روسازی آسفالتی در طول زمان بر اثر عبور ترافیک [۵۱]

گزارشات آماری ارائه شده از سوی پلیس راهور در محدوده خیابان مورد مطالعه (معبر شهید رجایی) نشان می‌دهد حدود ۵۰ درصد از تصادفات رخ داده مربوط به عملکرد ترمز وسایل نقلیه و مقاومت اصطکاکی است که در علل تامه عدم رعایت فاصله طول و عدم رعایت حق تقدم و عدم توانایی در کنترل وسایل نقلیه مستتر است. مقایسه آمار نشان می‌دهد آمار تصادفات رانندگی در بزرگراه شهید رجایی پس از اصلاح سطح روسازی با روکش اسفالت حدود ۲۵ درصد کاهش داشته است که با توجه به کاهش آمار تصادفات در کل محدوده منطقه که حدود ۱۵ درصد است معلوم می‌شود تأثیر بهسازی معبر خیابان رجایی مجزا از سایر راهکارها حدود ۱۰ درصد در کاهش تصادفات نقش داشته است [۵۱].

جدول ۲-۵: خلاصه مطالعات پیشین در زمینه ایمنی قوس‌های افقی

ردیف	نویسنده	سال	توضیحات
۱	گرتیم	۱۹۹۱	<ul style="list-style-type: none"> • طبقه‌بندی و اولویت‌بندی نیازهای ایمنی با روش با روش - های مختلف • روش فراوانی تصادفات به تنهایی در اولویت‌بندی نیازهای ایمنی باعث قضاوت نادرست می‌شود
۲	تارکو و همکاران	۱۹۹۶	<ul style="list-style-type: none"> • طبقه‌بندی و اولویت‌بندی نیازهای ایمنی • نتایج بهتر مدل‌سازی ایمنی با استفاده همزمان پارامتر جمعیت و فراوانی تصادفات
۳	هائر و همکاران	۲۰۰۴	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه مدل جهت پیش‌بینی ایمنی بزرگراه • تناسب پارامترهای AADT، تعداد مسیرهای عبور وسایل نقلیه تجاری سنگین و محدودیت سرعت با ایمنی • عدم تناسب عرض خط عبور و عرض شانه راه با ایمنی راه
۴	کار و دات	۲۰۰۴	<ul style="list-style-type: none"> • تعریف شاخص ایمنی برای راه‌ها بر اساس فراوانی تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی
۵	زین و ناوین	۱۹۹۱	<ul style="list-style-type: none"> • معرفی سیستم C3-R3 که همه عوامل مؤثر در تصادفات در نظر می‌گیرد
۶	آفونسو و همکاران	۲۰۰۷	<ul style="list-style-type: none"> • معرفی شاخص ایمنی برای ارزیابی ایمنی راه‌های فرعی دو خطه • ترکیب سه فاکتور خطرهای جاده‌ای برای کاربران، تکرار تصادفات و شدت تصادفات جهت تعریف شاخص ایمنی
۷	افندی‌زاده و همکاران	۱۳۸۷	<ul style="list-style-type: none"> • تعریف نقطه حادثه‌خیز در ایران و کشورهای مختلف
۸	لام و همکاران	۱۹۹۵	<ul style="list-style-type: none"> • مطالعه توزیع مرگ و میر ناشی از تصادفات • ۵۰ درصد تصادفات فوتی در قوس‌های افقی راه‌های دوخطه خارج از محدوده شهری اتفاق می‌افتد • ارزیابی کمی مشخصه‌های افقی هندسی راه • ارائه سه معیار ایمنی بر اساس پیوستگی در طراحی، پیوستگی در سرعت عملکردی، پیوستگی در دینامیک

			حرکت
۹	لام و همکاران	۲۰۰۲	<ul style="list-style-type: none"> • ۵۰ تا ۶۰ درصد تصادفات در راه‌های دوخطه برون شهری اتفاق می‌افتد • نیمی از این تصادفات در قوس‌ها رخ می‌دهد و ۷۰ درصد تصادفات قوس‌ها متعلق به قوس‌های افقی است • ۶۰ درصد تصادفات در قوس‌های افقی از نوع خروج از مسیر است
۱۰	لام و اسمیت	۱۹۹۴	<ul style="list-style-type: none"> • قوس‌های افقی و تقاطع‌ها محتمل‌ترین مکان برای وقوع تصادفات در راه‌های دو خطه
۱۱	گلنن و همکاران	۱۹۸۵	<ul style="list-style-type: none"> • تعداد تصادفات در قوس‌ها ۳ برابر تصادفات رخ داده در مسیر مستقیم است
۱۲	گلنن و همکاران	۱۹۸۷	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه ۴ طبقه‌بندی مختلف از المان‌هایی که در ایمنی قوس تأثیر دارند که شامل تراز افقی، تراز عمودی، سطح مقطع و سایر موارد است
۱۳	میاو و همکاران	۱۹۹۳	<ul style="list-style-type: none"> • با کاهش شعاع قوس و افزایش طول مستقیم قبل از قوس نرخ تصادفات در قوس افزایش می‌یابد
۱۴	میلتون و مانرینگ	۱۹۹۸	<ul style="list-style-type: none"> • با افزایش قسمت مستقیم قبل از قوس تعداد تصادفات در قوس افزایش می‌یابد.
۱۵	پژوهشگران کانادایی	۱۹۹۸	<ul style="list-style-type: none"> • تقسیم بندی پارامترهای مؤثر بر تصادفات قوس به دو دسته عملکردی و غیرعملکردی • توزیع سرعت در قوس‌های افقی به جهت و انحنای قوس وابسته است • در قوس با شعاع کوچک رانندگان در دو جهت خط مرکزی را قطع می‌کند
۱۶	ذوقی و همکاران	۲۰۱۳	<ul style="list-style-type: none"> • مهم‌ترین علل تصادفات قوس افقی سرعت زیاد، برخورد با سایر اشیاء، از دست دادن کنترل وسیله نقلیه است • کاهش اصطکاک سطح روسازی در مسیر چرخ بیرونی بیشتر است • ارائه راهکارهایی جهت جلوگیری حوادث در قوس‌ها

۱۷	راف	۱۹۵۳	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه رابطه بین نرخ تصادفات و درجه قوس در چهار نوع راه دوخطه، جدا شده چهار خطه، جدا نشده چهار خطه و چهار خطه با دسترسی کنترل شده
۱۸	لیسج و آسوشیت	۱۹۷۱	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس افقی بر اساس شعاع و درجه قوس
۱۹	ماتیوس و بارنس	۱۹۸۲	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه رابطه نرخ تصادفات و شعاع قوس
۲۰	دیکن	۱۹۸۶	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس بر اساس شعاع قوس، درجه قوس و حجم ترافیک • در قوس‌های تیزتر معمولاً عرض خط و شانه باریک‌تر است • علاوه بر درجه قوس پارامترهای دیگری در نرخ تصادفات دخیل هستند
۲۱	لام و همکاران	۱۹۸۸	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه مدل رگرسیونی پیش‌بینی تصادفات در قوس بر اساس درجه قوس
۲۲	زگیر	۱۹۹۲	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات بر اساس حجم ترافیک، طول قوس، درجه قوس، عرض راه و وجود یا عدم وجود قوس اتصال • کالیبره کردن مدل • در یک قوس با شعاع حدود ۱۵۰ متر احتمال تصادف ۲۰۰ درصد و در یک قوس با شعاع حدود ۳۰۰ متر احتمال تصادف ۵۰ درصد بیش‌تر از مسیر مستقیم است
۲۳	ویجت	۱۹۹۵	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه رابطه نمایی جهت پیش‌بینی تصادفات در راه‌های دوخطه برون شهری
۲۴	لام	۱۹۹۹	<ul style="list-style-type: none"> • جمع آوری رابطه بین نرخ تصادفات و شعاع قوس افقی در مطالعات گذشته
۲۵	هائر	۱۹۹۹	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه رابطه کاهش نرخ سالانه تصادفات در صورت جایگزینی یک قوس تند با یک قوس ملایم‌تر
۲۶	پرساد	۲۰۰۰	<ul style="list-style-type: none"> • ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس بر اساس ترافیک روزانه، شعاع قوس و طول قوس

۲۷	فیتز پاتریک	۲۰۰۰	• ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات بر پایه حجم ترافیک، طول قوس و کاهش سرعت
۲۸	محققان وزارت راه آمریکا	۲۰۰۴	• ارائه مدل جامع پیش‌بینی تصادفات بر اساس عرض خط، عرض شانه، نوع شانه، شعاع قوس، طول قوس، دور، شیب طولی، تعداد دسترسی‌ها، خط سبقت جداگانه، خط گردش به چپ، خطرپذیری اطراف راه و حجم ترافیک
۲۹	ساید و ان جی	۲۰۰۴	• ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات بر اساس متوسط ترافیک روزانه، طول قوس، اصطکاک جانبی، سرعت ۸۵ درصد و سرعت طراحی
۳۰	کاردوسو	۲۰۰۵	• ارائه مدل پیش‌بینی نسبت تصادفات در قوس به تصادفات در مسیر مستقیم
۳۱	وبر و ماتنا	۲۰۰۸	• ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قطعات همگن برای دوره ده ساله
۳۲	جورویچ و پتا	۲۰۱۰	• ارائه مدل ارزیابی تصادفات خروج از مسیر
۳۳	دایتز و ولر	۲۰۱۱	• ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس بر اساس ترافیک روزانه، شعاع قوس و طول قوس
۳۴	ماتسوکیش	۲۰۱۱	• ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس بر اساس مشخصات هندسی و حجم ترافیک
۳۵	دنیل فیندلی	۲۰۱۲	• ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس با در نظر گرفتن فواصل قوس‌ها
۳۶	خان و همکاران		• ارائه ۸ مدل مختلف بر پایه نوع تصادف، نحوه جمع‌آوری و محل تصادف • ارائه مدل با پارامترهای شعاع قوس، طول قوس، متوسط ترافیک روزانه، عرض شانه‌ها، نوع شانه‌ها، شاخص ناهمواری، عمر روسازی، نوع روسازی، سرعت و طول قسمت مستقیم بعد از قوس
۳۷	صفارزاده و همکاران	۱۳۸۶	• ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس‌های افقی مسیرهای برون شهری بر اساس پارامترهای درجه قوس، طول قوس، عرض سواره‌رو و حجم ترافیک

<ul style="list-style-type: none"> • درجه قوس، عرض سواره‌رو و حجم ترافیک اثرگذاری بیش‌تری در وقوع تصادفات دارد 			
<ul style="list-style-type: none"> • ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس‌های افقی با متغیرهای طول قطعه، عرض باند و شانه، درجه قوس، شیب طولی مطلق و ADT • افزایش عرض باند، درجه قوس و شیب طولی آمار تصادفات را افزایش می‌دهد • افزایش عرض شانه تعداد تصادفات را کاهش می‌دهد 	۱۳۸۷	نصیری و شهرام‌نیا	۳۸
<ul style="list-style-type: none"> • اضافه کردن پارامتر اختلاف سرعت در مسیر مستقیم و قوس افقی به مدل پیش‌بینی تصادفات وزارت راه آمریکا • پیش‌بینی دقیق‌تر مدل وزارت راه آمریکا با اضافه کردن پارامتر اختلاف سرعت مسیر مستقیم و قوس 	۱۳۸۷	خاکی و محسنی	۳۹
<ul style="list-style-type: none"> • ارائه مدل براساس فواصل قوس از یکدیگر • با افزایش طول قوس و فاصله از قوس قبلی تعداد تصادفات افزایش می‌یابد 	۱۳۹۲	رحیم و طاهرزاده	۴۰
<ul style="list-style-type: none"> • اصلاح رابطه حداقل شعاع مجاز در قوس در صورتیکه قوس افقی در شیب طولی قرار داشته باشد. 	۱۳۹۱	خدابخشی و افتخارزاده	۴۱
<ul style="list-style-type: none"> • اصطکاک و شاخص ناهمواری بیش‌ترین تأثیر را در شدت تصادفات دارند 	۲۰۱۳	پرساد و امبریش	۴۲
<ul style="list-style-type: none"> • با افزایش عمر روسازی مقاومت لغزشی کاهش می‌یابد • کاهش مقاومت لغزشی باعث افزایش تعداد تصادفات می‌شود 	۱۳۹۲	فخری و همکاران	۴۳

فصل سوم

روش تحقیق و

جمع آوری داده

۱-۳ معرفی کلی محور شاهرود به آزادشهر

محور مورد مطالعه در این پایان نامه با توجه به ترافیک، شرایط محیطی، شرایط جاده و میزان تصادفات محور شاهرود به آزادشهر انتخاب شده است. محور شاهرود به آزادشهر جاده به عنوان بخشی از جاده ترانزیتی شاهرود-آزادشهر-گنبد کاووس-اینچه برون یکی از جاده‌های ترانزیتی کشور است که حجم ترافیک قابل توجهی از این محور عبور می‌کند. این محور به طول ۱۲۰ کیلومتر در شمال استان سمنان قرار دارد و

یکی از محورهای مواصلاتی به استان گلستان است. ترافیک روزانه حدود ۲۵۰۰ وسیله نقلیه، وقوع بیش از ۲۸۱ تصادف در یک سال و وجود بیش از ۳۰۰ قوس افقی با شعاع و مشخصات متفاوت بررسی ایمنی این مسیر را ضروری نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱: جاده شاهرود به آزادشهر (تهیه شده از Google Map)

در این پایان‌نامه اطلاعات ۲۰۰ قوس این مسیر استخراج شده است. از اطلاعات ۱۱۰ قوس جهت تحلیل و مدل‌سازی و از اطلاعات ۵۰ قوس دیگر به منظور صحت‌سنجی مدل استفاده شده است. اطلاعات ۴۰ قوس دیگر به دلیل مخدوش بودن استفاده نشده است.

۳-۲ مشخصات هندسی قوس‌ها

۳-۲-۱ شعاع قوس

برای دستیابی به شعاع قوس‌های محور شاهرود به آزادشهر از نقشه‌های این مسیر که از اداره کل راه و ترابری استان سمنان دریافت شد، استفاده شده است. شعاع قوس‌های انتخاب شده جهت مدل‌سازی

شعاعی بین ۲۵ تا ۱۳۰۰ متر دارند.

۲-۲-۳ طول قوس

با توجه به زاویه انحراف بدست آمده برای هر قوس از نقشه‌ها و استفاده از رابطه (۱-۳) طول هر قوس محاسبه شده است.

$$L = \frac{\pi R \Delta}{180} \quad (۱-۳)$$

R: شعاع قوس بر حسب متر

L: طول قوس بر حسب متر

Δ : زاویه انحراف قوس بر حسب درجه

۳-۲-۳ دور یا بر بلندی

دور هر قوس با توجه به وجود نداشتن اطلاعات در نقشه‌ها به صورت میدانی برداشت شده است. برای این منظور با استفاده از سنسور اندازه‌گیری شیب موجود در گوشی موبایل و یک شاخص به طول ۲ متر اقدام به اندازه‌گیری دور شد. برای محاسبه دور هر قوس شیب عرضی در چهار نقطه در مرکز قوس اندازه‌گیری شده و میانگین این ۴ عدد به عنوان دور قوس ارائه شده است.

۳-۳ میانگین ترافیک سالانه (AADT)

برای محاسبه میانگین ترافیک سالانه (AADT) محور شاهرود به آزادشهر از اطلاعات و آمار موجود در سایت سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور استفاده شده است. برای این منظور ترافیک سال ۹۴ این محور محاسبه شده است.

جدول ۳-۱: آمار تردد محور شاهرود-آزادشهر در سال ۱۳۹۴

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فرودین
۹۴۵۱۹	۸۷۲۳۰	۸۱۸۳۶	۷۳۸۷۷	۸۶۳۰۲	۹۰۹۰۵
اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
۶۴۰۶۳	۱۳۵۱۷۵	۶۹۴۰۱	۵۷۶۱۶	۵۲۳۸۸	۷۷۰۸۹

تعداد کل تردد در محور شاهرود به آزادشهر برابر ۹۷۰۴۰۰ وسیله در سال است که میانگین ترافیک سالانه آن برابر ۲۶۵۸ وسیله نقلیه در روز است.

۳-۴ شتاب جانبی

برای اندازه‌گیری شتاب جانبی در هر قوس، دستگاه شتابسنج با مشخصات زیر ساخته شده است. این دستگاه دارای ماژول شتابسنج ADXL345 است. این سنسور یک شتابسنج ۳ محور با ابعاد کوچک و مصرف انرژی پایین بوده و قادر است رنج $\pm 16g$ را با رزولوشن بالای ۱۳ بیت اندازه‌گیری نماید. سنسور ADXL345 برای استفاده در سیستم‌های قابل حمل بسیار مناسب است. این سنسور هر دو حالت شتاب دینامیک و شتاب استاتیک را اندازه‌گیری می‌نماید. بدین معنی که شتاب استاتیک گرانش در کاربردهایی مثل اندازه‌گیری زاویه کجی (tilt) و همچنین شتاب دینامیک حاصل از حرکت یا تکان‌های ناگهانی، در این سنسور قابل اندازه‌گیری است.

برای اندازه‌گیری شتاب، چندین حالت عملکرد خاص برای این سنسور تعریف شده است. سنسور در حالت عملکرد فعال^۱ و غیرفعال^۲ وجود یا عدم وجود حرکت را تشخیص می‌دهد و اگر شتاب حرکتی در هر یک از ۳ محور از میزانی که کاربر برای آن تعریف کرده بالاتر رود در خروجی مشخص می‌نماید.

¹ Activity

² Inactivity

این سنسور مجهز به ساختار هوشمند مدیریت مصرف توان است که متناسب با اعمال شتاب به سنسور عمل می‌کند و نهایتاً باعث اتلاف کمترین توان روی چیپ خواهد شد.

این سنسور بر روی برد الکترونیکی قرار گرفته و برای تأمین ولتاژ مورد نیاز آن از برق خودرو استفاده شده است. این دستگاه شتاب جانبی را در هر قوس در هر ۰/۱ ثانیه با دقت 0.001 m/sec^2 اندازه‌گیری می‌کند. برای ثبت داده‌های شتاب برنامه اندرویدی نوشته شده است که از طریق بلوتوث به موبایل متصل شده و داده‌های اندازه‌گیری شده را ثبت می‌کند. دستگاه شتاب سنج درون خودرو نصب شده و با حرکت در قوس‌های مورد نظر در سرعت‌های مختلف شتاب جانبی در آن‌ها اندازه‌گیری شده است. در این پایان‌نامه بالغ بر ۳۰۰۰۰ داده شتاب جانبی برای قوس‌های مسیر مورد نظر ثبت شد. در قوس‌های راست‌گرد داده‌ها با علامت مثبت و در قوس‌های چپ‌گرد با علامت منفی ثبت شده است.

۳-۴-۱ شتاب جانبی ماکسیمم

پس از اندازه‌گیری شتاب جانبی در قوس ماکسیمم شتاب جانبی ثبت شده به وسیله شتاب‌سنج در هر قوس برای سرعتی که وسیله‌نقلیه در قوس داشته است استخراج شده است.

۳-۴-۲ تغییرات شتاب

با استفاده از رابطه (۲-۳) تغییرات شتاب در هر قوس در بازه‌های یک ثانیه‌ای اندازه‌گیری شده است.

$$\Delta a = \frac{a_2 - a_1}{t_2 - t_1} \quad (2-3)$$

a_2 : شتاب جانبی ثانویه در زمان t_2

a_1 : شتاب جانبی اولیه در زمان t_1

۳-۴-۳ واریانس شتاب

یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری پراکندگی داده‌ها نسبت به میانگین، واریانس است. این شاخص به بررسی

انحراف داده‌ها نسبت به میانگین‌شان می‌پردازد. به دلیل اینکه مجموع انحرافات نسبت به میانگین برابر صفر است، در محاسبه واریانس مجموع مجذور انحرافات داده‌ها نسبت به میانگین‌شان در نظر گرفته می‌شود. واریانس از رابطه ریاضی (۳-۳) محاسبه می‌شود.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3-3)$$

σ^2 : واریانس

x_i : داده i ام

\bar{x} : میانگین داده‌ها

n : تعداد داده‌ها

این شاخص برای شتاب‌های جانبی اندازه‌گیری شده و همچنین تغییرات آن در هر قوس محاسبه شده است.

۳-۴-۴ انحراف از معیار شتاب

واحد اندازه‌گیری واریانس، مجذور واحد اصلی متغیر است و به همین دلیل تفسیر آن به سادگی صورت نمی‌گیرد. این مسئله با جذر گرفتن از واریانس حل می‌شود. شاخص حاصل از جذر واریانس را انحراف معیار می‌نامند. بدین ترتیب معیاری از پراکندگی به دست می‌آید که با همان واحد داده‌های اصلی بیان می‌شود.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (4-3)$$

σ : انحراف از معیار

σ^2 : واریانس

انحراف معیار شتاب جانبی در هر قوس و همچنین انحراف معیار تغییرات شتاب برای هر قوس محاسبه شده است.

۳-۵-۵ سرعت

۳-۵-۱-۱ سرعت وسیله نقلیه در قوس

سرعت حرکت در هر قوس با استفاده از سرعت سنج خودرو ثبت شده است. طی این تحقیق با سرعت‌های مختلف در قوس‌های مورد نظر حرکت کرده و سرعت و شتاب جانبی در هر قوس ثبت شده است.

۳-۵-۲-۲ سرعت طراحی

سرعت طراحی V_d به عنوان شاخصی که عملکرد راه و جریان ترافیکی و نوع منطقه را به هم مرتبط می‌کند، و همچنین بیشینه سرعت ایمن در قسمت‌هایی از راه که شرایط از نظر جنبه‌های طراحی مطلوب است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرعت طراحی در حالت ایده‌آل حدود ۸۵ درصد سرعت ترافیک در نظر گرفته می‌شود و به عنوان حداقل استاندارد برای راه به کار می‌رود. علاوه بر این می‌توان از رابطه (۳-۵) برای محاسبه سرعت طراحی استفاده کرد.

$$V_{design} = \sqrt{127.2R(e+f)} \quad (۳-۵)$$

V : سرعت طراحی بر حسب km/h

R : شعاع قوس بر حسب متر

e : شیب عرضی

f : حداکثر ضریب اصطکاک نظیر سرعت

پس از محاسبه سرعت طراحی از رابطه (۳-۵) با توجه به نوع راه سرعت طراحی برای هر قوس اصلاح شده است.

۳-۵-۳-۳ اختلاف سرعت

پس از ثبت سرعت در هر قوس و همچنین محاسبه سرعت طراحی در آن اختلاف این دو فاکتور به

عنوان پارامتری مهم در ایمنی قوس محاسبه شده است.

$$Diff V = V_T - V_{design} \quad (6-3)$$

۳-۶ نسبت شتاب واقعی ثبت شده به شتاب جانبی تئوری

شتاب جانبی تئوری در هر قوس را می‌توان با استفاده از رابطه (۳-۷) محاسبه کرد. این شتاب با شتاب ثبت شده بوسیله شتاب‌سنج به‌ویژه در قوس‌های با شتاب کوچک‌تر اختلاف دارد. نسبت شتاب واقعی ثبت شده به شتاب تئوری به عنوان پارامتری تأثیر گذار در ایمنی قوس افقی تعریف شده است.

$$a_t = \frac{V^2}{R} \quad (7-3)$$

a_t : شتاب تئوری بر حسب متر بر مجذور ثانیه

V : سرعت طراحی بر حسب متر بر ثانیه

R : شعاع قوس بر حسب متر

۳-۷ شیب طولی

برای محاسبه شیب طولی مسیر راه با توجه شیب‌های اندازه‌گیری شده و نوع منطقه به قسمت‌های مختلف با شیب طولی یکسان تقسیم شده است.

۳-۸ عرض سواره‌رو، شانه آسفالتی و شانه خاکی

عرض سواره‌رو، شانه آسفالتی و شانه خاکی با مترآژ مقطع عرضی در هر قوس و به صورت میدانی برداشت شده است. عرض سواره‌رو در اکثر مقاطع قوس‌ها برابر ۳/۷ متر بود و عرض شانه‌ها در قسمت‌های مختلف با اندازه‌های متفاوت اجرا شده بود.

در جدول (۲-۳) و جدول (۳-۳) نمونه‌هایی از داده‌های جمع‌آوری شده نشان داده شده است.

جدول ۲-۳: نمونه پارامترهای شعاع قوس، سرعت اندازه‌گیری، شتاب جانبی ماکسیمم، واریانس شتاب جانبی، انحراف معیار شتاب جانبی، واریانس تغییرات شتاب جانبی، انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی

ردیف	N-C	R	V	A	Var a	Std a	Var da	Std da
۶	۲	۵۰۰	۱۱۰	-۲/۷۷	۰/۸۰	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۸۶
۲۳	۸	۳۰۰	۹۰	۴/۱۳	۱/۲۱	۱/۱۰	۱/۲۱	۱/۱۰
۴۶	۱۷	۱۰۰	۵۰	۴/۵۸	۲/۳۸	۱/۵۴	۲/۳۸	۱/۵۴
۸۹	۳۴	۴۰	۵۰	۶/۲۷	۱/۴۷	۱/۲۱	۱/۴۷	۱/۲۱
۱۰۶	۴۱	۴۰	۶۰	-۵/۳۷	۰/۸۱	۰/۹۰	۱/۶۷	۱/۲۹

جدول ۳-۳: نمونه پارامترهای سرعت طراحی، اختلاف سرعت، نسبت شتاب‌های جانبی، طول قوس، دور واقعی، عرض شانه آسفالتی، عرض شانه خاکی، شیب طولی

ردیف	V _{de}	Diff V	B	L	e _{act}	W _{sa}	W _{sr}	G
۶	۱۰۰	۱۰	۱/۷۹	۱۱۳	۰/۰۶۳	۰	۳	۰
۲۳	۹۰	۰	۱/۹۸	۱۰۵	۰/۰۷۳	۱/۶	۱/۴	۰
۴۶	۵۰	۰	۲/۳۷	۷۷	۰/۰۸۷	۲/۵	۰	۶/۲
۸۹	۳۰	۲۰	۳/۶۱	۹۴	۰/۰۳۵	۲/۵	.	۵/۵
۱۰۶	۳۰	۳۰	۳/۰۹	۴۷	۰/۱۰۵	۲/۵	۰	۵

۹-۳ آمار تصادفات

برای تعیین تعداد دقیق تصادفات در هر قوس نیاز به بانک اطلاعات بسیار دقیق است. به گونه‌ای

که محل دقیق تصادف در این آمار مشخص باشد. اما در آمارهای موجود در مورد تصادفات محور شاهرود اولاً به دلیل کمبود آمار تصادفات و عدم همکاری سازمان‌های ذیربط در خصوص در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات لازم در این زمینه تصمیم بر آن شد که به جای آمار تصادفات از رابطه ارائه شده توسط وزارت راه آمریکا در آیین نامه ایمنی راه‌ها (HSM) استفاده شود.

۳-۹-۱ مدل پیش‌بینی تصادفات (IHSDM)

وزارت راه آمریکا مدلی جهت ارزیابی تأثیر پارامترهای طرح هندسی بر میزان تصادفات ارائه کرده است. در این مدل تصادفات در قوس‌های افقی با توجه به پارامترهایی مانند عرض راه، عرض شانه، شعاع و طول قوس‌ها، شیب طولی، شیب عرضی، خط سبقت جداگانه، خط گردش به چپ، ریسک خطرپذیری راه (RHR) و تراکم راه‌های دسترسی پیش‌بینی می‌شود.

۳-۹-۱-۱ مدل پایه پیش‌بینی تصادفات

مدل پایه پیش‌بینی تصادفات رابطه ارائه شده توسط HSM است، که با توجه به ترافیک و شرایط ایده‌آل طرح هندسی است.

$$N_{br} = AADT \times L \times 365 \times 10^{-6} \times \exp(-0.312) \quad (۸-۳)$$

Nbr: تعداد تصادفات برای حالت ایده‌آل

AA DT: متوسط ترافیک روزانه

L: طول قطعه همگن مورد بررسی

مقدار AADT برای مسیر مورد نظر برابر ۲۶۵۹ وسیله‌نقلیه بر روز محاسبه شده است. در این تحقیق برای به دست آوردن تعداد تصادفات در هر قوس، طول هر قطعه یک مایل فرض شده است که قوس مورد نظر در آن قرار دارد.

$$N_{br} = 2659 \times 1 \times 365 \times 10^{-6} \times \exp(-0.312) = 0.71 \text{ accident/year}$$

۳-۹-۱-۲ ضرایب تعدیل مدل پیش‌بینی تصادفات:

برای محاسبه تعداد تصادفات در شرایط موجود باید فاکتورهای مؤثر تعدیل تصادفات (AMF) که با اعمال آن‌ها تأثیر پارامترهای هندسی بر تعداد تصادفات لحاظ می‌شود اعمال گردد. هر فاکتور برای شرایط پایه و اسمی فرموله شده است و مقدار آن برابر یک است. اگر شرایط به گونه‌ای باشد که تصادفات از مقادیر اسمی بیش‌تر باشد آنگاه فاکتور بزرگ‌تر از یک و اگر شرایط به گونه‌ای باشد که تصادفات کمتر از مقادیر اسمی باشد آنگاه فاکتور کوچک‌تر از یک است. با استفاده از رابطه زیر تأثیر این فاکتورها در تعداد تصادفات مشخص می‌شود.

$$N_r = N_{br} \cdot C_r \cdot AMF_1 \cdot AMF_2 \cdot AMF_3 \cdot AMF_4 \cdot AMF_5 \cdot AMF_6 \cdot AMF_7 \cdot AMF_8 \cdot AMF_9 \quad (۹-۳)$$

C_r : فاکتور کالیبره کردن

AMF_1 : فاکتور عرض راه

AMF_2 : فاکتور عرض و نوع شانه

AMF_3 : فاکتور شعاع و طول قوس

AMF_4 : فاکتور دور (بربلندی)

AMF_5 : فاکتور شیب طولی

AMF_6 : فاکتور چگالی راه‌های دسترسی

AMF_7 : فاکتور خط سبقت جداگانه

AMF_8 : فاکتور خط گردش به چپ جداگانه

AMF₉: فاکتور ریسک خطرپذیری کناره راه

۳-۹-۱-۲-۱ فاکتور عرض راه (AMF₁):

برای محاسبه مقدار فاکتور عرض راه ابتدا باید مقدار AMF_{ra} را از جدول (۳-۴) بدست آورد. اگر عرض

راه بین مقادیر داده شده در جدول باشد برای محاسبه AMF_{ra} از درون یابی استفاده می‌شود.

جدول ۳-۴: مقدار فاکتور AMF برای عرض راه (AMF_{ra}) [۳۴]

عرض خط (فوت)	ADT ≤ 400	401 ≤ ADT ≤ 1999	ADT ≥ 2000
9	1.05	1.50 - 0.000281 * (2000 - ADT)	1.50
10	1.02	1.30 - 0.000175 * (2000 - ADT)	1.30
11	1.01	1.05 - 0.000025 * (2000 - ADT)	1.05
12	1.00	1.00	1.00

با قرار دادن مقدار به دست آمده از جدول (۳-۴) در رابطه (۳-۱۰) مقدار این فاکتور محاسبه می‌شود.

$$AMF_1 = (AMF_{ra} - 1.0)P_{ra} + 1.0 \quad (۳-۱۰)$$

P_{ra}: سهم تصادف خاص از مجموع تصادفات

P_{ra} از مجموع ۴ مقدار مختلف بدست می‌آید. این مقادیر شامل:

- درصد تصادفات خروج از مسیر (single vehicle).
- درصد تصادفات جلو به جلو (Multiple vehicle).
- درصد تصادفات پهلو به پهلو (Multiple vehicle) که هر دو خودرو در یک جهت حرکت می‌کنند.
- درصد تصادفات پهلو به پهلو (Multiple vehicle) که دو خودرو در جهت‌های مخالف هم حرکت می‌کنند.

برای محاسبه درصد هریک از این تصادفات از جدول شماره ۱۶ در IHSDM می‌توان استفاده کرد که

مقدار P_{ra} برابر ۰/۵۷۴ بدست می‌آید.

عرض راه در تمامی مقاطع اندازه‌گیری شده برابر یا بیشتر از $3/7$ متر (۱۲ فوت) است بنابراین مقدار AMF_{ra} با توجه به جدول (۳-۴) برابر ۱ است. با قرار دادن مقدار آن در رابطه (۳-۱۰) مقدار AMF_1 برای تمامی مقاطع برابر با ۱ می‌شود.

۳-۹-۱-۲-۲ فاکتور عرض و نوع شانه (AMF_2):

برای محاسبه این فاکتور ابتدا باید با استفاده از جدول (۳-۵) مقدار AMF_{wra} که با توجه به عرض شانه است را تعیین کرد. پس از آن باید با استفاده از جدول (۳-۶) مقدار AMF_{tra} که مربوط به نوع شانه است را مشخص کرد.

جدول ۳-۵: مقدار فاکتور AMF برای عرض شانه راه (AMF_{wra}) [۳۴]

عرض شانه (فوت)	$ADT \leq 400$	$401 \leq ADT \leq 1999$	$ADT \geq 2000$
0	1.10	$1.50 - 0.000250 * (2000 - ADT)$	1.50
2	1.07	$1.30 - 0.000144 * (2000 - ADT)$	1.30
4	1.02	$1.15 - 0.0000813 * (2000 - ADT)$	1.15
6	1.00	1.00	1.00
8	0.98	$0.87 + 0.0000688 * (2000 - ADT)$	0.87

جدول ۳-۶: مقدار فاکتور AMF برای نوع شانه راه (AMF_{tra}) [۳۴]

نوع شانه	Sw=0 ft	Sw=1 ft	Sw=2 ft	Sw=3 ft	Sw=4 ft	Sw=6 ft	Sw=8 ft	Sw=10 ft
رویه دار	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
شنی	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03
ترکیبی	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07

خاکی	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.08	1.11	1.14
------	------	------	------	------	------	------	------	------

با قراردادن مقادیر AMF_{wra} و AMF_{tra} در رابطه (۱۱-۳) می توان مقدار فاکتور AMF_2 را محاسبه کرد.

$$AMF_2 = (AMF_{wra} \cdot AMF_{tra} - 1.0) P_{ra} + 1 \quad (11-3)$$

AMF_2 : فاکتور عرض و نوع شانه راه

AMF_{tra} : فاکتور نوع شانه راه

AMF_{wra} : فاکتور عرض شانه راه

P_{ra} : سهم تصادف خاص از مجموع تصادفات

مقدار P_{ra} همانند رابطه (۱۰-۳) برابر ۰/۵۷۴ است.

۳-۹-۱-۲-۳ فاکتور شعاع و طول قوس (AMF_3):

برای محاسبه این فاکتور از رابطه (۱۲-۳) استفاده می شود.

$$AMF_3 = (1.55L_c + \frac{80.2}{R} - 0.012S) / 1.55L_c \quad (12-3)$$

AMF_3 : فاکتور شعاع و طول قوس

R: شعاع قوس (ft)

L_c : طول قوس افقی (mile)

S: در صورت وجود قوس اتصال برابر ۱، در صورت نبود قوس اتصال برابر ۰ و در صورتی که فقط در خروجی قوس وجود داشته باشد برابر ۰/۵ است.

در رابطه (۱۲-۳) اگر شعاع و طول قوس کمتر از ۱۰۰ft باشد در رابطه باید مقدار آنها را برابر ۱۰۰ft

وارد کرد.

اگر مقدار AMF_3 کمتر یک بدست آید در رابطه مقدار آن برابر ۱ وارد می شود.

۳-۹-۱-۲-۴ فاکتور برابندی (AMF_4):

فاکتور برابندی قوس‌های افقی بر پایه اختلاف بین برابندی واقعی قوس (e_{act}) و برابندی طراحی (e_{design}) که در AASHTO1994 تعیین شده است، محاسبه می‌شود. این اختلاف (Superelevation Deficiency) به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$SD=0.00 \text{ if } e_{act} > e_{design} \quad (13-3)$$

$$SD=e_{design} - e_{act} \text{ if } e_{act} < e_{design} \quad (14-3)$$

مقدار e_{act} توسط کاربر به عنوان داده‌های هندسی راه مشخص می‌شود. مقدار e_{design} با درون‌یابی از جداول ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ در IHSDM بدست می‌آید.

اگر e_{design} بیشتر از ۰/۱۲ باشد مقدار آن را باید برابر ۰/۱۲ در نظر گرفت.

مقدار فاکتور AMF_4 از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$AMF_4=1.00 \text{ for } SD < 0.01 \quad (15-3)$$

$$AMF_4=1.00+6(SD-0.01) \text{ for } 0.01 < SD < 0.02 \quad (16-3)$$

$$AMF_4=1.06+3(SD-0.03) \text{ for } SD > 0.02 \quad (17-3)$$

۳-۹-۱-۲-۵ فاکتور شیب طولی (AMF_5):

برای محاسبه فاکتور شیب طولی از رابطه (۱۸-۳) استفاده می‌شود.

$$AMF_5=1.00+0.016|PG| \quad (18-3)$$

PG: درصد شیب مسیر

اگر شیب بیشتر از ۱۲ درصد باشد باید در رابطه بالا مقدار آن را برابر ۱۲ درصد قرار داد.

۳-۹-۱-۲-۶ فاکتور چگالی راه‌های دسترسی (AMF_6):

مقدار فاکتور چگالی راه‌های دسترسی از رابطه (۳-۱۹) به دست می‌آید.

$$AMF_6 = (0.2 + [0.05 - 0.005 \ln ADT_y] DD) / (0.2 + [0.05 - 0.005 \ln ADT_y] 5) \quad (۳-۱۹)$$

ADT_y : حجم ترافیک روزانه میانگین سالانه (veh/day)

DD : چگالی دسترسی‌ها برای دو طرف مسیر (driveway/mile)

با توجه به رابطه (۳-۱۹) اگر تعداد دسترسی‌ها در هر مایل بیش‌تر از ۵ دسترسی باشد باعث افزایش تعداد تصادفات می‌شود. در هیچ یک از قوس‌های مورد بررسی این اتفاق رخ نداده است بنابراین مقدار این فاکتور برای تمامی قوس‌ها برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۹-۱-۲-۷ فاکتور خط سبقت جداگانه (AMF_7):

اگر راه فاقد خط سبقت جداگانه باشد مقدار فاکتور AMF_7 برابر ۱/۰۰ است. اگر فقط در یک جهت خط سبقت جداگانه وجود داشته باشد مقدار این فاکتور برابر ۰/۷۵ و اگر در دو جهت جریان ترافیک خط سبقت جداگانه وجود داشته باشد مقدار این فاکتور تا ۰/۶۵ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه در هیچ قسمت مسیر خط سبقت جداگانه وجود ندارد مقدار این فاکتور برای تمامی قوس‌ها برابر ۱ است.

۳-۹-۱-۲-۸ فاکتور خط گردش به چپ جداگانه (AMF_8):

اگر خط گردش به چپ جداگانه برای مسیر مورد نظر وجود نداشته باشید AMF_8 برابر ۱ خواهد بود. اما اگر مسیر دارای خط گردش به چپ جداگانه باشد مقدار فاکتور AMF_8 از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$AMF_8 = 1.00 - 0.35 P_{AP} \quad (۳-۲۰)$$

P_{AP} : سهم تصادفات مربوط به دسترسی از مجموع

تصادفات

برای محاسبه P_{AP} از رابطه (۲۱-۳) استفاده می‌شود.

$$P_{AP} = (0.0047DD + 0.0024DD^2) / (1.199 + 0.0047DD + 0.0024DD^2) \quad (21-3)$$

DD : چگالی دسترسی‌ها برای دو طرف مسیر (driveway/mile)

اگر تراکم دسترسی‌ها (DD) کمتر از ۵ دسترسی در هر مایل باشد مقدار فاکتور AMF_8 برابر ۱ در

نظر گرفته می‌شود.

با توجه به نبود خط گردش به چپ جداگانه در این مسیر مقدار این فاکتور برای تمامی قوس‌ها برابر ۱

است.

۹-۲-۱-۹-۳ فاکتور خطرپذیری کناره راه (AMF_9):

فاکتور AMF_9 برای خطرپذیری کناره راه مطابق رابطه زیر اندازه‌گیری می‌شود. این فاکتور وابسته به

فاصله مانع از لبه سواره‌رو است.

$$AMF_9 = \exp(-0.6869 + 0.0668RHR) / \exp(-0.4865) \quad (22-3)$$

RHR : خطرپذیری کناره راه برای دو طرف مسیر

محدوده RHR بین ۱ تا ۷ است. که برای مسیرهای دارای بهترین کناره ۱ (بهترین حالت) و برای

مسیرهای با کناره‌های بسیار خطرناک ۷ (بدترین حالت) در نظر گرفته می‌شود.

$$RHR = 1$$

• عرض ناحیه بدون مانع برابر یا بیشتر از ۹ متر از لبه سواره‌رو.

• شیب شیروانی کمتر از ۱:۴.

$$RHR = 2$$

- عرض ناحیه بدون مانع بین ۶ تا ۷/۵ متر از لبه سواره‌رو.
- شیب شیروانی حدود ۱:۴.

RHR=۳

- عرض ناحیه بدون مانع حدود ۳ متر از لبه سواره‌رو.
- شیب شیروانی بین ۱:۴ تا ۱:۳.
- سطح اطراف راه ناهموار.

RHR=۴

- عرض ناحیه بدون مانع بین ۱/۵ تا ۳ متر از لبه سواره‌رو.
- شیب شیروانی بین ۱:۴ تا ۱:۳.
- فاصله گاردریل از لبه سواره‌رو ۱/۵ تا ۲ متر.

RHR=۵

- عرض ناحیه بدون مانع بین ۱/۵ تا ۳ متر از لبه سواره‌رو.
- شیب شیروانی حدود ۱:۳.
- فاصله گاردریل از لبه سواره‌رو کمتر از ۱/۵ متر.

RHR=۶

- عرض ناحیه بدون مانع کمتر از ۱/۵ متر از لبه سواره‌رو.
- شیب شیروانی حدود ۱:۲.
- فاقد گاردریل.

RHR=۷

- عرض ناحیه بدون مانع کمتر از ۱/۵ متر از لبه سواره‌رو.

- شیب شیروانی کمتر از ۱:۲.
- وجود صخره یا خاکریز.
- فاقد گاردریل.

با محاسبه ضرایب تعدیل AMF می‌توان تعداد تصادفات با استفاده از رابطه (۳-۹) پیش‌بینی کرد. تعداد تصادفات در هر قوس براساس رابطه IHSDM بدست می‌آید.

۳-۱۰ معرفی نرم افزار spss

با گسترش تفکر علمی (دارای ساختار و عاری از نظرات شخصی) و نیز تولید حجم بالای اطلاعات خام در تمامی شاخه های علمی و کاربردی، استفاده از ابزاری که قادر به توصیف، خلاصه سازی، استنباط و نهایتاً نتیجه‌گیری در مورد موضوع مورد بررسی باشد، ضروری می‌نماید. این ابزار در قالب علم آمار در بیشتر حوزه های علوم از پزشکی و روانشناسی تا علوم انسانی و مهندسی و ... با سرعت چشم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته است. پیچیدگی محاسبات آماری از یک سو و حجم بالای داده‌ها از سوی دیگر، نیاز به استفاده از قدرت محاسباتی کامپیوترها را در تجزیه و تحلیل داده ها به‌وجود آورد. از این رو توسط متخصصین کامپیوتر با همکاری متخصصین آمار و سایر رشته‌های مرتبط، نرم افزارهایی طراحی شدند که انجام عملیات طولانی و محاسبات پیچیده آماری را در مدت زمانی کوتاه میسر ساختند. در این بین برخی از نرم افزارها از اقبال عمومی بیشتری در میان محققین و حتی متخصصین آمار برخوردار شدند. یکی از این نرم‌افزارها که به دلیل سادگی کار کردن با آن و نیز پوشش نسبتاً مطلوب روش های آماری در کشور ما به پراستفاده‌ترین نرم افزار آماری بدل شده است، SPSS نام دارد.

SPSS نام یک نرم‌افزار رایانه‌ای است که برای تحلیل‌های آماری به کار می‌رود. Spss مخفف کلمه (statistical package for social science)، یک تجزیه‌کننده جامع و انعطاف‌پذیر آماری و یک

سیستم مدیریت داده است. Spss می‌تواند داده‌ها را تقریباً از همه انواع فایل‌ها بگیرد و از آن‌ها در تولید گزارش‌های جدول‌بندی شده، نقشه‌ها، آمارهای توصیفی و تجزیه و تحلیل آماری جریان پیچیده و رفتار مرکب داده‌ها استفاده کند.

این نرم‌افزار در ویرایش‌های مختلفی ارائه شده است که در این پایان‌نامه از ویرایش ۱۶ آن استفاده شده است.

۳-۱۱ مدل‌های آماری

روش‌های گوناگونی در طی سال‌های اخیر جهت تحلیل داده‌های فراوانی تصادفات به کار گرفته شده است. در این پایان‌نامه جهت تحلیل داده‌ها از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته استفاده شده است.

۳-۱۱-۱ مدل‌های خطی تعمیم‌یافته [۵۲]

در سال‌های اخیر، مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (GLM) به‌طور چشم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته‌اند و متون آماری متعددی در این زمینه به رشته تحریر درآمده‌اند. قسمتی از روند رشد این دسته از مدل‌ها را می‌توان بدین شرح نوشت: مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، به عنوان تعمیم مدل‌های خطی، توسط نلدر و ودربرن (۱۹۷۲) معرفی شد. بررسی نظری دقیق این دسته از مدل‌ها در مک‌کالا و نلدر (۱۹۸۹) آمده است. میر و همکاران (۲۰۰۲) نیز منبع خوبی برای دیدگاه شهودی این مدل‌ها است. لازم به ذکر است که بیشترین استفاده از این مدل‌ها به عنوان رقیبی قوی در برابر مدل‌های لگاریتمی خطی در تحلیل داده‌های گسسته گسترش یافته است.

همان‌طور که از نام مدل‌های خطی تعمیم‌یافته بر می‌آید، تعمیمی از مدل‌های خطی مبتنی بر توزیع نرمال هستند. این تعمیم شامل دو قسمت است:

¹ Generalized Linear Models

۱- در GLM توزیع‌هایی به‌جز نرمال نیز می‌توانند به‌عنوان توزیع متغیر پاسخ در نظر گرفته شوند. البته توزیع در نظر گرفته شده باید متعلق به خانواده نمایی یا شبیه به این خانواده (مک کالا و نلدر، ۱۹۸۹) باشد.

۲- میانگین پاسخ به‌طور مستقیم مدل‌بندی نمی‌شود، بلکه تبدیلی از آن با استفاده از تابع پیوند مدل-بندی می‌گردد.

در واقع، شناخت ویژگی‌های خوب خانواده توزیع‌های نمایی و گسترش روش‌های عددی برای برآورد پارامترها، این امکان را می‌دهد تا در حالت‌هایی که متغیرهای پاسخ دارای توزیع‌هایی به‌جز نرمال هستند و حالت‌هایی که رابطه بین متغیر پاسخ و متغیرهای تبیینی به شکل خطی ساده نیستند، از روش‌های مشابه با آنچه برای مدل‌های خطی داده شده‌اند، استفاده شود. قبل از بیان مدل خطی تعمیم‌یافته، معرفی خانواده توزیع‌های نمایی لازم است.

۳-۱۱-۱-۱ خانواده توزیع‌های نمایی

خانواده‌ای از توزیع‌ها، عضو خانواده توزیع‌های نمایی است، اگر بتوان تابع چگالی احتمال آن را به‌صورت زیر نوشت.

$$f_{Y_i}(y_i) = \exp\left\{ \frac{[y_i \gamma_i - b(\gamma_i)]}{\tau^2} - c(y_i, \tau) \right\} \quad (۲۳-۳)$$

که در آن γ_i و τ پارامترهای خانواده توزیع و $b(\gamma_i)$ و $c(y_i, \tau)$ توابع معلوم هستند. برای بسیاری از اعضای این خانواده τ برابر با ۱ است.

اگر Y_i دارای توزیعی از خانواده نمایی باشد، امید ریاضی و واریانس آن به‌صورت زیر خواهند بود.

$$E(Y_i) = \mu = b'(\gamma_i) \quad (۲۴-۳)$$

$$Var(Y_i) = \sigma_i^2 = b''(\gamma_i) \tau^2 \quad (۲۵-۳)$$

از جمله توزیع‌های نمایی معروف می‌توان به توزیع نرمال، دوجمله‌ای، پواسون، نمایی، گاما، بتا و توزیع گاوسی معکوس اشاره کرد.

۳-۱۱-۲ مؤلفه‌های مدل‌های خطی تعمیم‌یافته

قبل از معرفی مؤلفه‌های یک مدل خطی تعمیم‌یافته، چند سوال مطرح می‌شود.

- داده‌ها دارای چه توزیعی هستند؟
- پیشگوی خطی چه باشد؟
- چه تابعی از میانگین برای پیشگوی خطی در نظر گرفته شود؟

با طرح این سوال‌ها، مؤلفه‌های مدل‌های خطی تعمیم‌یافته به صورت زیر معرفی می‌شود:

۱- مؤلفه تصادفی: مشاهدات y_i که در آن $i=1, \dots, n$ از هم مستقل هستند و توزیع متغیر پاسخ، عضوی از خانواده نمایی است.

۲- مؤلفه سیستماتیک: این مؤلفه شامل متغیرهای تبیینی X_1, \dots, X_n و بردار پارامترهای β است که پیشگویی خطی را به صورت $\eta = \sum_{j=1}^p X_j \beta_j$ تشکیل می‌دهند.

۳- تابع پیوند: تابع پیوند به منظور ارتباط دادن مؤلفه سیستماتیک به مؤلفه تصادفی استفاده می‌شود. تابع پیوند $g(\cdot)$ یک تابع یکنوا و مشتق‌پذیر است، به طوری که

$$g(\mu_i) = \eta_i = x_i' \beta \quad (۲۶-۳)$$

در مدل‌های خطی، پیشگوی خطی و میانگین یکی هستند؛ یعنی $\eta = \mu$. به عبارتی، تابع پیوند یک تابع همانی است. دومین تعمیم GLM مربوط به انتخاب تابع پیوند است که هر تابع مشتق‌پذیر یکنوا را شامل می‌شود. به عنوان مثال، در توزیع پواسن که معمولاً برای مدل‌بندی داده‌های شمارشی به کار می‌رود، میانگین توزیع، μ ، نامنفی است، در حالی که ممکن است پیشگوی خطی، η ، مثبت نباشد. پس تابع پیوند همانی نمی‌تواند انتخاب مناسبی باشد. در این حالت، می‌توان تابع پیوند را به صورت لگاریتمی در نظر گرفت.

$$\eta_i = g(\mu) = \ln(\mu) \quad (27-3)$$

در این صورت

$$\mu = e^\eta > 0 \quad (28-3)$$

به این ترتیب اثرات جمعی مؤثر در η به اثرات ضربی مؤثر در μ تبدیل می‌شوند.

هر توزیع خانواده نمایی یک تابع پیوند ویژه دارد که برای آن آماره بسنده وجود دارد. چنین تابع پیوندی، زمانی ایجاد می‌شود که $\gamma = \eta$ باشد و آن را تابع پیوند متعارف می‌نامند. برای توزیع پواسون، تابع پیوند لگاریتمی، تابع پیوند متعارف است. پیوند متعارف برای توزیع نرمال، همانی و برای توزیع برنولی، لوجیت است.

از آن جایی که تابع پیوند، یکنوا و در نتیجه معکوس پذیر است، می‌توان رابطه زیر را نتیجه گرفت.

$$\mu_i = g^{-1}(\eta_i) = g^{-1}(x_i' \beta) \quad (29-3)$$

۳-۱۱-۱-۳ برازش مدل‌های خطی تعمیم یافته

اگر y دارای تابع چگالی به صورت رابطه (۲۳-۳) باشد، آن گاه تابع لگاریتم درست‌نمایی آن به صورت زیر خواهد بود.

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{[y_i \gamma_i - b(\gamma_i)]}{\tau^2} - \sum_{i=1}^n c(y_i, \tau) \quad (30-3)$$

برخی از مشخصه‌های مفید تابع درست‌نمایی که شامل امید ریاضی و واریانس است به صورت زیر است.

$$E \left[\frac{\partial L}{\partial \gamma_i} \right] = 0 \quad (31-3)$$

$$\text{Var} \left(\frac{\partial L}{\partial \gamma_i} \right) = -E \left[\frac{\partial^2 L}{\partial \gamma_i^2} \right] \quad (32-3)$$

با توجه به رابطه (۲۳-۳) و (۳۱-۳):

$$E \left[\frac{\{Y_i - \frac{\partial b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i}\}}{\tau^2} \right] = 0 \quad (33-3)$$

به عبارت دیگر:

$$E[Y_i] = \mu_i = \frac{\partial b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i} \quad (34-3)$$

همچنین با استفاده از دو رابطه (۲۳-۳) و (۳۲-۳) می توان نتیجه گرفت:

$$\text{Var} \left(\frac{Y_i - \frac{\partial b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i}}{\tau^2} \right) = -E \left[-\frac{1}{\tau^2} \frac{\partial^2 b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i^2} \right] \quad (35-3)$$

که با توجه به رابطه (۳۴-۳):

$$\text{Var} \left(\frac{Y_i - \mu_i}{\tau^2} \right) = \frac{1}{\tau^2} \frac{\partial^2 b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i^2} \quad (36-3)$$

در نهایت می توان نتیجه گرفت:

$$\text{Var}(Y_i) = \tau^2 \vartheta(\mu_i) \quad (37-3)$$

که $\vartheta(\mu_i) = \frac{\partial^2 b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i^2}$ به عنوان تابع واریانس برای متغیر پاسخ y_i شناخته می شود. در همین راستا،

می توان به دو ویژگی دیگر اشاره کرد:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \gamma_i}{\partial \mu_i} &= \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial \gamma_i} \right)^{-1} = \left(\frac{\partial^2 b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i^2} \right)^{-1} & (38-3) \\ &= \frac{1}{\vartheta(\mu_i)} \end{aligned}$$

و با توجه به رابطه $g(\mu_i) = x_i' \beta$ و قاعده زنجیره ای، می توان نوشت:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mu_i}{\partial \beta} &= \frac{\partial \mu_i}{\partial g(\mu_i)} \frac{\partial g(\mu_i)}{\partial \beta} = \left(\frac{\partial g(\mu_i)}{\partial \mu_i} \right)^{-1} \frac{\partial x_i' \beta}{\partial \beta} = \left(\frac{\partial g(\mu_i)}{\partial \mu_i} \right)^{-1} x_i' \\ &= \frac{1}{g_\mu(\mu_i)} x_i \end{aligned} \quad (39-3)$$

که در آن $g_\mu(\mu_i) = \frac{\partial g(\mu_i)}{\partial \mu_i}$ است. جهت دستیابی به معادله درست‌نمایی برای β ، با توجه به رابطه (30-3):

$$\frac{\partial l}{\partial \beta} = \frac{1}{\tau^2} \sum_i \left[y_i \frac{\partial \gamma_i}{\partial \beta} - \frac{\partial b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i} \frac{\partial \gamma_i}{\partial \beta} \right] \quad (40-3)$$

لذا بنابر رابطه (33-3) می‌توان نوشت:

$$\frac{1}{\tau^2} \sum_i \left[y_i \frac{\partial \gamma_i}{\partial \beta} - \frac{\partial b(\gamma_i)}{\partial \gamma_i} \frac{\partial \gamma_i}{\partial \beta} \right] = \frac{1}{\tau^2} \sum_i (y_i - \mu_i) \frac{\partial \gamma_i}{\partial \mu_i} \frac{\partial \mu_i}{\partial \beta} \quad (41-3)$$

که با استفاده از قاعده زنجیره‌ای، نتیجه می‌شود:

$$\frac{1}{\tau^2} \sum_i (y_i - \mu_i) \frac{\partial \gamma_i}{\partial \beta} = \frac{1}{\tau^2} \sum_i (y_i - \mu_i) \frac{\partial \gamma_i}{\partial \mu_i} \frac{\partial \mu_i}{\partial \beta} \quad (42-3)$$

در نهایت با توجه به روابط (33-3) و (34-3) و (35-3):

$$\begin{aligned} \frac{\partial l}{\partial \beta} &= \frac{1}{\tau^2} \sum_i \frac{(y_i - \mu_i)}{\vartheta(\mu_i) g_\mu(\mu_i)} x_i' \\ &= \frac{1}{\tau^2} \sum_i (y_i - \mu_i) \omega_i g_\mu(\mu_i) x_i' \end{aligned} \quad (43-3)$$

که در آن $\omega_i = [\vartheta(\mu_i) g_\mu^2(\mu_i)]^{-1}$ است. شکل ماتریسی رابطه (43-3) را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\frac{\partial l}{\partial \beta} = \frac{1}{\tau^2} X' W \Delta (y - \mu) \quad (44-3)$$

که در آن $W = \text{diag}(\omega_i)$ و $\Delta = \text{diag}(g_\mu(\mu_i))$ و $\text{diag}(\omega_i)$ یک ماتریس قطری n بعدی

با مؤلفه های ω_i است. بنابراین معادله درست‌نمایی را می‌توان به صورت زیر نوشت به طوری که Δ ، W و μ شامل پارامترهای نامعلوم β هستند.

$$X'W\Delta y = X'W\Delta\mu \quad (3-45)$$

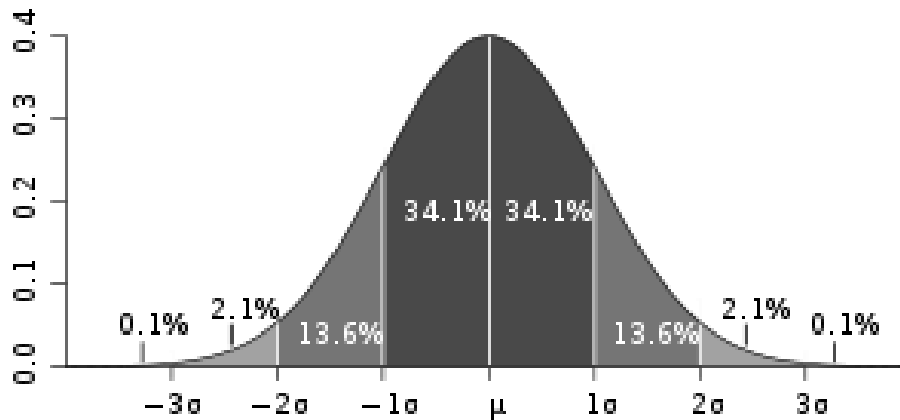
از بین توزیع‌های مختلف خانواده نمایی در مدل‌های خطی تعمیم یافته در این پایان‌نامه جهت تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از ۴ توزیع نرمال، گاما، پواسون و دوجمله‌ای منفی استفاده شده است.

۳-۱۱-۴ توزیع نرمال

توزیع نرمال، یکی از مهم‌ترین توزیع‌های احتمالی پیوسته در نظریه احتمالات است. علت نام‌گذاری و همچنین اهمیت این توزیع، هم‌خوانی بسیاری از مقادیر حاصل شده، هنگام نوسان‌های طبیعی و فیزیکی پیرامون یک مقدار ثابت با مقادیر حاصل از این توزیع است. دلیل اصلی این پدیده، نقش توزیع نرمال در قضیه حد مرکزی است. به زبان ساده، در قضیه‌ی حد مرکزی نشان داده می‌شود که تحت شرایطی، مجموع مقادیر حاصل از متغیرهای مختلف که هر کدام میانگین و پراکندگی متناهی دارند، با افزایش تعداد متغیرها، دارای توزیعی بسیار نزدیک به توزیع نرمال است. این قانون که تحت شرایط و مفروضات طبیعی نیز برقرار است، سبب شده که برآیند نوسان‌های مختلف تعداد زیادی از متغیرهای ناشناخته، در طبیعت به صورت توزیع نرمال آشکار شود. به عنوان مثال، با اینکه متغیرهای زیادی بر میزان خطای اندازه‌گیری یک کمیت اثر می‌گذارند، (مانند خطای دید، خطای وسیله اندازه‌گیری، شرایط محیطی و ...) اما با اندازه‌گیری‌های متعدد، برآیند این خطاها همواره دارای توزیع نرمال است که حول مقدار ثابتی پراکنده شده است. مثال‌های دیگری از این نوسان‌های طبیعی، طول قد، وزن یا بهره هوشی افراد است.

این توزیع گاهی به دلیل استفاده کارل فردریک گاوس از آن در کارهای خود با نام توزیع یا تابع گاوسی (گاوسی) نامیده می‌شود؛ همچنین به دلیل شکل تابع احتمال این توزیع، با نام انحنای زنگوله‌ای (زنگدیس) نیز معروف است.

تابع احتمال این توزیع دارای دو پارامتر است که یکی تعیین کننده مکان (μ) و دیگری تعیین کننده مقیاس (σ) توزیع هستند. همچنین میانگین توزیع با پارامتر مکان و پراکندگی آن با پارامتر مقیاس برابر است. منحنی تابع احتمال حول میانگین توزیع متقارن است. در حالت خاص اگر $\mu=0$ و $\sigma=1$ باشد توزیع نرمال استاندارد نامیده می‌شود. شکل (۴-۱) شکل تابع احتمال توزیع نرمال را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲: تابع احتمال توزیع نرمال

- توزیع نرمال نسبت به میانگین متقارن است.
 - سطح زیر منحنی توزیع نرمال برابر با ۱ یا ۱۰۰ درصد است.
 - قسمت تیره در فاصله یک برابر انحراف معیار از میانگین توزیع قرار دارد.
 - قسمت روشن و تیره به طور توأم، در فاصله دو برابر انحراف معیار از میانگین توزیع قرار دارند.
 - در توزیع نرمال، اولی برابر با ۶۸٪ سطح زیر نمودار و دومی برابر با ۹۵٪ سطح زیر نمودار است.
- توزیع نرمال به صورت زیر ارائه می‌شود.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad \text{for } -\infty < x < \infty \quad (۴۶-۳)$$

σ : انحراف استاندارد واقعی

μ : میانگین واقعی جامعه

σ^2 : واریانس واقعی

۳-۱۱-۱-۵ توزیع گاما

اگر متغیرهای تصادفی X_1, X_2, \dots, X_n دارای توزیع نمایی با پارامتر λ باشند در این صورت متغیر تصادفی Y را که برابر است با مجموع متغیرهای تصادفی X_1 تا X_n یک متغیر تصادفی گاما است.

$$Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (۴۷-۳)$$

تابع توزیع گاما به صورت زیر است:

$$f_x(x) = \frac{(\lambda x)^{n-1}}{\Gamma(n)} \lambda e^{-\lambda x} \quad x \geq 0 \quad (۴۸-۳)$$

که در آن تابع $\Gamma(n)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx \quad (۴۹-۳)$$

$\Gamma(n)$ به ازای هر $n > 0$ موجود است و روابط زیر برای آن برقرار است.

$$\Gamma(n+1) = n\Gamma(n) \quad (۵۰-۳)$$

$$\Gamma(n) = (n-1)! \quad \text{اگر } n \text{ طبیعی باشد} \quad (۵۱-۳)$$

$$\Gamma(1/2) = \sqrt{\pi} \quad (۵۲-۳)$$

۳-۱۱-۱-۶ توزیع پواسون

مدل پواسون به خوبی می‌تواند وقوع پیشامدهای گسسته و کمیاب را مدل کند. رابطه بین فراوانی متغیر وابسته مورد انتظار و پارامترهای $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iq}$ در این مدل به شکل زیر است.

که در آن P برابر با احتمال اینکه مشاهده i دارای y تعداد باشد. همچنین μ برابر با تعداد مقادیر مورد انتظار در مشاهده i است. در این مدل پارامتر X به عنوان یک متغیر توضیحی معرفی می‌شود. معمول‌ترین رابطه برای بیان رابطه μ و متغیرهای توصیفی به صورت زیر است.

$$\ln(\mu_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j x_{ij} \quad (53-3)$$

در عین حال، در این مدل فرض می‌شود که فراوانی در مدل، از توزیع پواسون با میانگین μ_i پیروی می‌کند. در این حال احتمال این که تعداد مشخصی رویداد رخ دهد، به صورت زیر بیان می‌شود.

$$P(Y_i = y_i | \mu_i) = \frac{\mu_i^{y_i} e^{-\mu_i}}{y_i!} \quad (54-3)$$

بررسی مدل ریاضی توزیع پواسون نشان می‌دهد که این مدل تنها یک پارامتر دارد که همان میانگین μ_i است. دیگر ویژگی این مدل برابری میانگین و واریانس داده‌ها است که هر دو آنها مقدار μ_i را اختیار می‌کنند.

این ویژگی یکی از محدودیت‌های مدل پواسون است، زیرا که لزوماً میانگین و واریانس مشاهده شده با یکدیگر برابر نیستند. به عبارت دیگر در بسیاری از داده‌های متغیر وابسته، واریانس متغیر وابسته از میانگین متغیر وابسته بیشتر است که این مسئله را به اصطلاح بیش پراکنش می‌نامند.

برای برآورد ضرایب متغیرها در مدل رگرسیون پواسون از تخمین‌گرهای درست‌نمایی بیشینه، شبه درست‌نمایی یا روش کمترین مربعات تعمیم یافته استفاده می‌شود.

۳-۱۱-۱-۷ توزیع رگرسیون دو جمله‌ای منفی

متداول‌ترین مدل برای برازش داده‌های شمارشی با ویژگی بیش پراکنش، دو جمله‌ای منفی است که به دو صورت نوع اول (NB-1) و نوع دوم (NB-2) بیان می‌شوند. و به ترتیب برای تحلیل داده‌ها با مسئله‌ی بیش پراکنش ثابت و متغیر به کار می‌روند.

۳-۱۱-۱-۷-۱ بیش پراکنش ثابت

فرض کنید که برای $i=1, \dots, n$ متغیرهای پاسخ Y_i به شرط λ_i ها دارای توزیع پواسون با میانگین λ_i

باشند که در آن λ_i ها متغیرهای تصادفی با توزیع $\Gamma(\mu_i, \delta)$ هستند که در این $\mu_i = \exp(x\beta + \text{offset})$ صورت مدل آمیخته‌ی پواسون-گاما برای چگالی حاشیه‌ای y_i به‌ازای $y_i = 0, 1, 2, \dots$ به صورت $\text{NB}(\mu_i, \delta/1+\delta)$ است که در آن $\frac{\text{var}(Y_i)}{E(Y_i)} = \frac{1+\delta}{\delta}$ ساده‌ترین معیار برای بیان بیش‌پراکنش در مدل است. به دلیل یکسان بودن این نسبت برای همه‌ی مشاهدات به آن بیش‌پراکنش ثابت می‌گویند.

اگر $\alpha = 1/\delta$ آنگاه $\text{var}(Y_i) = (1 + \alpha)E(Y_i)$ که نشان‌دهنده وجود رابطه خطی بین واریانس و میانگین است. اگر $\alpha=0$ آنگاه مدل به پواسون تبدیل می‌شود.

مدل پواسون با وجود تمام ویژگی‌های مثبتی که در مقایسه با مدل‌های پیشین خود است دارای این محدودیت است که در آن میانگین و واریانس متغیر وابسته باید با یکدیگر برابر باشد. در هنگامی که میانگین متغیر وابسته با واریانس مشاهده شده با یکدیگر برابر نباشند از توزیع دو جمله‌ای منفی استفاده می‌شود. توزیع دو جمله‌ای منفی، توزیع گسسته‌ای است که مدل دیگری برای داده‌های با پراکندگی زیاد نظیر داده‌های شمارشی را فراهم می‌کند. برخلاف توزیع پواسون، توزیع دو جمله‌ای منفی دو پارامتر دارد. رابطه بین فراوانی پارامترهای مسیر مربوطه به صورت زیر است.

$$\text{Function}(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_q x_{iq} \quad (55-3)$$

در عین حال، در اینجا فرض بر این است که فراوانی y_i از توزیع دو جمله‌ای منفی با پارامترهای α, k پیروی می‌کند. احتمال این که قطعه تعریف شده با مجموعه معینی از متغیرهای پیش‌بینی کننده متغیر وابسته را تجربه کنند، می‌تواند به صورت زیر بیان شود.

$$\text{Pr}(Y_i = y_i, \alpha, k) = \frac{(y_i + k - 1)!}{y_i! (k - 1)!} \times \frac{\alpha^{y_i}}{(1 + \alpha)^{y_i + k}} \quad (56-3)$$

میانگین و واریانس توزیع دو جمله‌ای منفی بر اساس پارامترهای α, k به صورت ذیل بیان می‌شود.

$$E(Y) = \mu_i = k\alpha \quad (57-3)$$

$$\text{var}(Y) = k\alpha + k\alpha^2 = \mu_i + \frac{\mu_i^2}{k} \quad (58-3)$$

در رابطه میانگین جزء μ_i به تابع واریانس پواسون بر می‌گردد و $\frac{\mu_i^2}{k}$ جزء اضافی برآمده از ترکیب توزیع پواسون با توزیع گاما است که توزیع دو جمله‌ای منفی را ایجاد می‌کند. در این وضعیت اگر توزیع داده‌ها از توزیع گاما پیروی نکند، روابط پیش‌بینی شده توسط مدل دو جمله‌ای منفی ممکن است اشتباه باشد. مانند مدل پواسون ضرایب مدل رگرسیون از طریق روش بیشینه درست‌نمایی محاسبه می‌شوند. علاوه بر این روش‌های دیگری از قبیل شبه درست‌نمایی، کمترین مربعات وزنی، تکنیک‌های تخمینی لحظه‌ای و تخمین براساس رگرسیون نیز قابل استفاده است.

۱۲-۳ انتخاب مدل برتر از میان چند مدل منتخب

برای انتخاب مدل برتر از میان چند مدل منتخب، ملاک‌های ارزیابی متفاوتی وجود دارند. برای مقایسه مدل‌های استفاده شده در این تحقیق از ملاک اطلاع آکائیک (AIC^1) و ملاک اطلاع بیزی (BIC^2) استفاده خواهد شد که در ادامه به اختصار توضیح داده می‌شود.

۱-۱۲-۳ معیار اطلاعات آکائیک (AIC)

معیار اطلاعات آکائیک (AIC) یک میزان از کیفیت نسبی مدل آماری از یک مجموعه از داده‌ها است. در واقع AIC ابزاری برای انتخاب مدل است. (AIC) اندازه‌ای از میزان نکویی برازش نسبی یک مدل آماری است. این آماره بر اساس پراکنش اطلاعات بنا شده است. به صورت کلی AIC را به صورت رابطه (۵۹-۳) تعریف می‌شود.

$$AIC = 2K - 2 \ln L \quad (59-3)$$

¹ Akaike Information Criterion

² Bayesian Information Criterion

K: تعداد پارامترها در مدل آماری

L: ماکزیمم تابع در درستنمایی

در بین چند مدل انتخابی برای داده‌ها، مدلی که کمترین مقدار AIC را داشته باشد، بهترین مدل است.

۳-۱۲-۲ معیار اطلاعات بیزی (BIC)

معیار اطلاعات بیزی (BIC) همانند معیار اطلاعات آکائیک (AIC) نکویی برازش نسبی یک مدل آماری

را نشان می‌دهد. اما در این معیار حجم نمونه نیز در نظر گرفته شده است.

به صورت کلی BIC را به صورت رابطه (۳-۶۰) تعریف می‌شود.

$$BIC = K \log(n) - 2 \ln L \quad (۳-۶۰)$$

n: حجم نمونه

K: تعداد پارامترها در مدل آماری

هر چه مقدار (BIC) برای یک مدل نسبت به مدل دیگر کم‌تر باشد نشان‌دهنده مدل مناسب‌تر است.

۳-۱۲-۳ معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE^۱)

در این پژوهش جهت تعیین مدل با بهترین پیش‌بینی از معیار جذر میانگین مربعات خطا استفاده شده

است. جذر میانگین مربعات خطا معیاری است که تفاوت بین مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار

واقعی را نشان می‌دهد.

این معیار مطابق رابطه (۳-۶۱) محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{obsi} - x_{model.i})^2}{n}} \quad (۳-۶۱)$$

¹ Root Mean Square Error

RMSE: معیار جذر میانگین مربعات خطا

$X_{obs,i}$: مقادیر مشاهده شده در قطعه i

$X_{model,i}$: مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل در قطعه i

n : تعداد قطعات

به طور کلی در فصل سوم داده‌های جمع‌آوری شده، نحوه جمع‌آوری داده‌ها، وسایل و ابزار ساخته شده جهت اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها و مقدار آن‌ها بیان شده است. این داده‌ها شامل: شعاع قوس، طول قوس، شتاب، سرعت، دور، عرض سواره‌رو، عرض شانه راه، شیب طولی و متوسط ترافیک روزانه است. علاوه بر این در این فصل با استفاده از فرمول وزارت راه آمریکا تعداد تصادفات در هر قوس مشخص شده است. در ادامه مدل‌های آماری مورد استفاده جهت تحلیل داده‌ها معرفی شده است و در نهایت معیارهای انتخاب بهترین مدل بیان شده است.

فصل چهارم

نتایج و بحث در

آن

۱-۴ مدل‌های پیش‌بینی ایمنی

جهت ارزیابی ایمنی هر قوس با استفاده از پارامترهای شعاع قوس افقی (R)، اختلاف سرعت در حین

ثبت شتاب جانبی و سرعت طرح (Diff V)، شتاب جانبی ماکسیمم (A)، انحراف از معیار شتاب جانبی (Std a)، انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی (Std da) و نسبت شتاب جانبی ماکسیمم به شتاب جانبی تئوری (B) مدل‌های متعددی با استفاده از نرم‌افزار Spss بررسی شده است. از بین مدل‌های متعدد مدل‌های که مقدار معناداری آن‌ها با در نظر گرفتن سطح معناداری ۵ درصد، در محدوده مناسب قرار گرفته است انتخاب شده است.

مدل‌های ارائه شده در جدول (۱-۴) نشان داده شده است.

جدول ۱-۴: مدل‌های ارائه شده جهت پیش‌بینی ایمنی هر قوس

شماره مدل	توزیع آماری متغیرها	نوع تابع پیوند	AIC	BIC	R ²	متغیرهای مورد استفاده
۱	نرمال	خطی	۲۷۷۸	۲۸۰۲	۰/۷۲	A-DiffV-B-R-Std a-Std da
	$N_r = -3.594 - 0.006R - 0.035DiffV + 1.597A + 0.653B + 1.241Std da - 0.586Std a$					
۲	دوجمله‌ای منفی	توانی	۱۱۵۲	۱۱۷۷	۰/۷۳۵	A-DiffV-B-R-Std da
	$N_r = (1.002 - 0.001R - 0.002DiffV + 0.065A + 0.059B + 0.076Std da)^{4.54}$					
۳	نرمال	خطی	۲۹۱۵	۲۹۳۶	۰/۶۰۸	A-DiffV-B-Std a-Std da
	$N_r = -5.944 - 0.014DiffV + 2.334A - 0.339B + 1.408Std da - 0.638Std a$					

ادامه جدول ۱-۴: مدل‌های ارائه شده جهت پیش‌بینی ایمنی هر قوس

شماره	توزیع آماری متغیرها	نوع تابع پیوند	AIC	BIC	R ²	متغیرهای مورد
-------	---------------------	----------------	-----	-----	----------------	---------------

مدل						استفاده
۴	نرمال	خطی	۲۷۹۵	۲۸۱۶	۰/۶۳۱	A-DiffV-R- Stda-Stdda
	$N_r = -3.596 - 0.023DiffV + 1.861A - 0.005R + 1.281Stdda - 0.624Stda$					
۵	نرمال	خطی	۲۹۲۰	۲۹۳۸	۰/۶۰۸	A-DiffV- Stda-Stdda
	$N_r = -6.32 - 0.019DiffV + 2.251A + 1.281Stdda - 0.624Stda$					
۶	نرمال	توانی	۱۰۲۹	۱۰۴۷	۰/۷۳۳	A-DiffV-B-R
	$N_r = (0.321 - 0.001DiffV + 0.012A + 0.004R + 0.009B)^{-4}$					
۷	نرمال	لگاریتمی	۱۰۸۵	۱۰۹۹	۰/۷۲۱	A-DiffV-R
	$N_r = EXP(3.82 + 0.005DiffV - 0.088A - 0.029R)$					
۸	نرمال	خطی	۲۹۴۹	۲۹۶۳	۰/۶۹۱	A-DiffV-B
	$N_r = -5.165 - 0.014DiffV + 2.403A - 0.333B$					
۹	نرمال	توانی	۲۹۵۱	۲۹۶۲	۰/۶۸	A-DiffV
	$N_r = (0.751 - 0.002DiffV + 0.16A)^4$					

۲-۴ صحت سنجی مدل‌های پیش‌بینی ایمنی

جهت صحت سنجی مدل‌های پیش‌بینی ایمنی اطلاعات ۵۰ قوس استخراج شده است. پس از آن مقدار

RMSE برای هر مدل با استفاده از رابطه (۳-۶۱) محاسبه شده است. مدلی که کم‌ترین مقدار RMSE

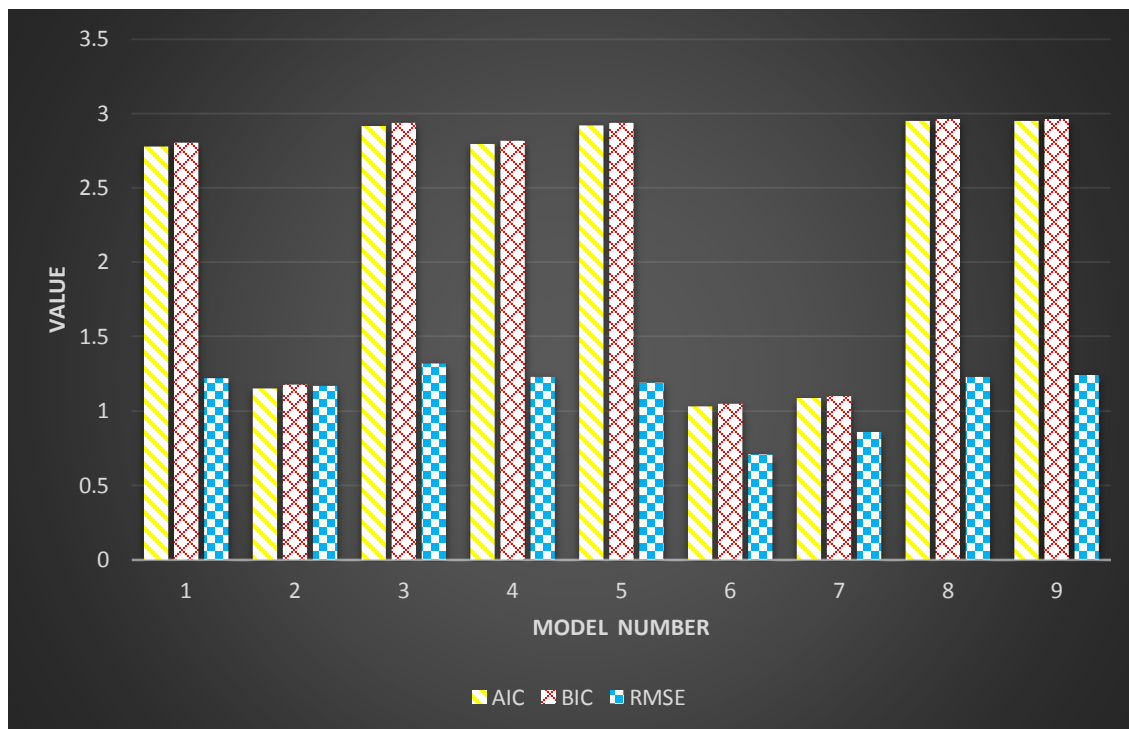
را دارد بهترین پیش‌بینی را دارد.

جدول ۲-۴: مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای هر مدل‌های ایمنی

N-M	۱	۲	۴	۵	۶	۱۱	۱۸	۲۱	۲۴
RMSE	۱/۲۲	۱/۱۷	۱/۳۲	۱/۲۳	۱/۱۹	۰/۷۱	۰/۸۶	۱/۲۳	۱/۲۴

۳-۴ مقایسه مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل

با توجه به شکل (۱-۴) مدل‌های ۲، ۶ و ۷ بهترین پیش‌بینی را دارند. مدل شماره ۲ به دلیل شامل شدن تعداد پارامترهای بیش‌تر و همچنین مقدار RMSE مناسب نسبت به سایر مدل‌ها جهت بررسی ایمنی مسیر بکار برده می‌شود. در سایر مسیرها با توجه به پارامترهای در دسترس می‌توان از مدل‌های مختلف استفاده کرد.



شکل ۴-۱: مقایسه مدل‌های پیش‌بینی ایمنی

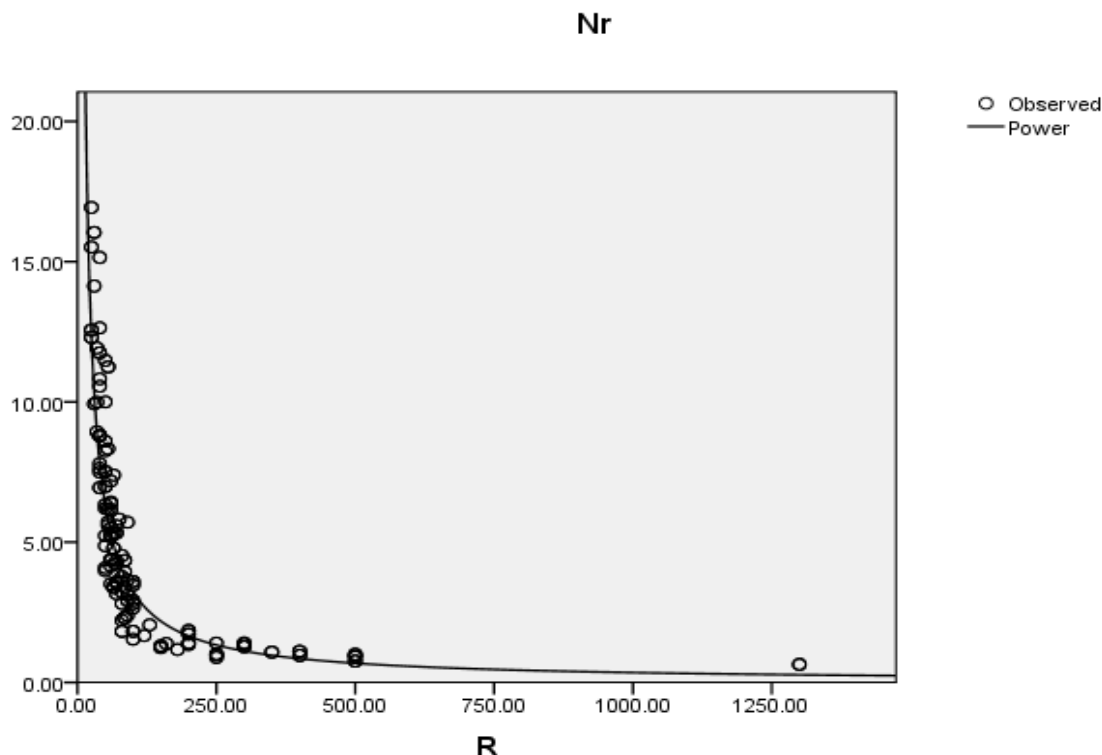
۴-۴ تأثیر پارامترهای در نظر گرفته شده بر ایمنی

۴-۴-۱ شعاع قوس

شعاع قوس یکی از پارامترهای بسیار مهم و شاید مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر ایمنی قوس است. همان‌طور که در فصل ۲ اشاره شد، افزایش شعاع قوس باعث بهبود ایمنی قوس می‌شود. در این پژوهش نیز با توجه به ماتریس همبستگی بدست آمده به وضوح مشخص است که افزایش شعاع قوس به‌ویژه در قوس‌های با شعاع کم ایمنی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد (شکل ۴-۲).

هر چه میزان شعاع قوس افزایش یابد اختلاف سرعت حرکت در قوس با سرعت طرح قوس کم‌تر می‌شود. با افزایش شعاع قوس به دلیل کاهش انحنای مسیر شتاب ماکسیمم جانبی کاهش می‌یابد. همچنین افزایش شعاع قوس بر نسبت شتاب جانبی ماکسیمم اندازه‌گیری شده به شتاب تئوری تأثیرگذار است و با افزایش شعاع قوس این نسبت کاهش می‌یابد. در قوس‌های با شعاع کوچک‌تر به دلیل وارد شدن وسیله‌نقلیه به یک

انحنای شدید و همچنین تمایل رانندگان به حرکت با سرعت برابر با سرعت مسیر مستقیم تغییرات بیشتری در شتاب رخ می‌دهد که باعث می‌شود انحراف از معیار شتاب جانبی و تغییرات آن افزایش یابد. هر چه شعاع افزایش یابد این انحراف کم‌تر می‌شود.



شکل ۴-۲: رابطه شعاع قوس با ایمنی

۴-۴-۲ شتاب جانبی ماکسیمم (A)

افزایش شتاب جانبی در هر قوس باعث کاهش ایمنی و عدم احساس راحتی سرنشینان وسیله‌نقلیه در حین حرکت در قوس می‌شود. عامل اصلی خروج از مسیر و واژگونی وسیله‌نقلیه در قوس وارد شدن شتاب جانبی بیش‌تر از میزان قابل تحمل وسیله‌نقلیه در قوس است. میزان این شتاب برای خودروهای مختلف متفاوت است. مقدار این شتاب برای برخی خودروها که توسط مجله معتبر Car And Driver چاپ شده است در جدول (۴-۳) نشان داده شده است.

جدول ۴-۳: شتاب جانبی قابل تحمل چند خودرو مختلف

وسیله نقلیه	BMW M3	Ferrari F40	Ford Mustang	Lexus SC300	Toyota Supra T
شتاب جانبی	۰/۸۶g	۱/۰۱g	۰/۸۲g	۰/۸۲g	۰/۹۵g

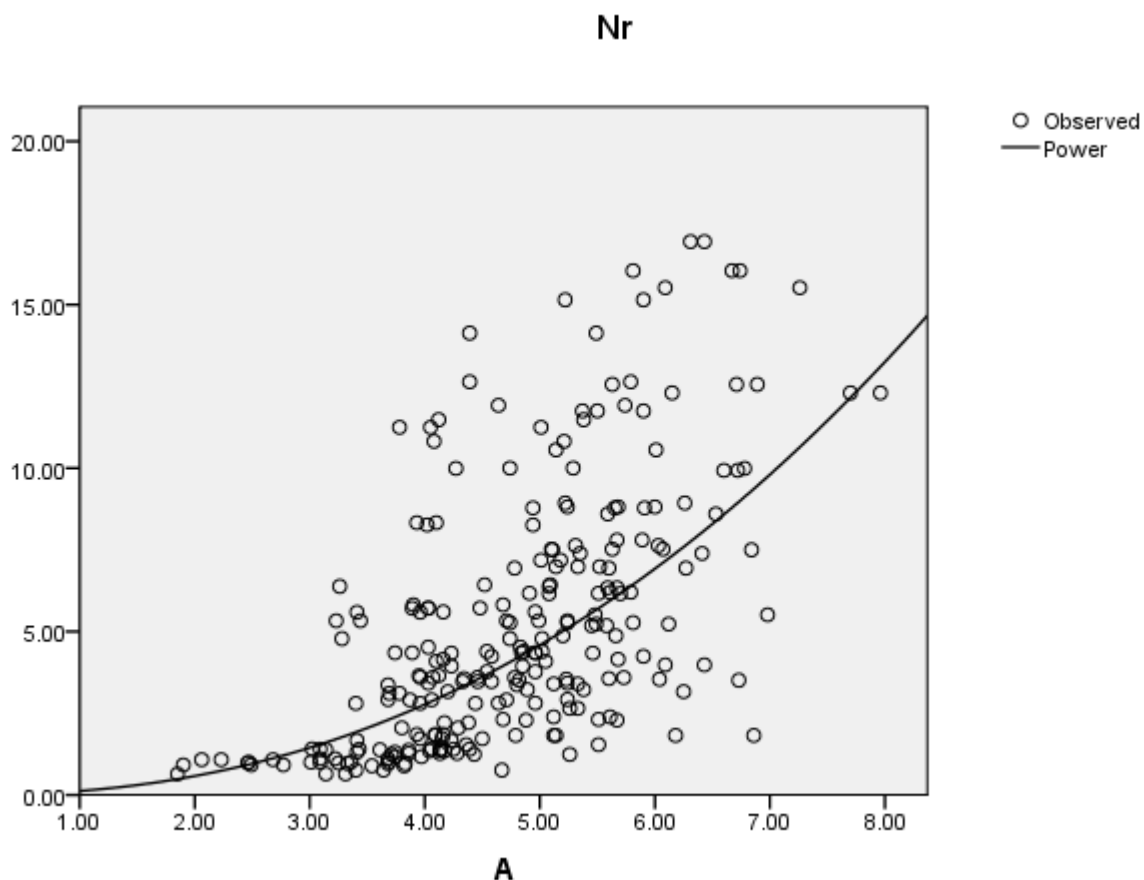
برای خودروهای تولید داخل بالاترین میزان تحمل شتاب جانبی متعلق به خودرو زانتیا به دلیل دارا بودن سیستم تعلیق نیمه فعال است. مقدار این شتاب برای خودرو زانتیا برابر ۰/۹۲g است. مقدار شتاب جانبی حداکثر قابل تحمل تعدادی دیگر از خودروهای داخلی در جدول (۴-۴) نشان داده شده است.

جدول ۴-۴: حداکثر شتاب جانبی قابل تحمل برخی خودروهای داخلی

وسیله نقلیه	پژو ۲۰۶ تیپ ۳	پژو ۲۰۶ تیپ ۵	پژو ۴۰۵	سمند
شتاب جانبی	۰/۸۱g	۰/۸۵g	۰/۸۳g	۰/۸۳۷g

نکته مهم در مورد شتاب جانبی ماکسیمم در قوس این است که در طراحی قوس باید به این نکته توجه کرد که قوس به گونه‌ای طراحی شود که شتاب جانبی وارد شده به وسیله‌نقلیه در محدوده احساس راحتی سرنشینان درون وسیله‌نقلیه باشد. محدوده این شتاب ۰/۳g تا ۰/۴g است. بنابراین قوس‌هایی که در آن شتاب جانبی وارد شده در آن‌ها بر وسیله‌نقلیه بیش‌تر از این محدوده است اگرچه ممکن است از لحاظ ایمنی در محدوده ایمن باشند اما باز هم قوس‌های مناسبی از لحاظ طراحی محسوب نمی‌شوند.

شتاب جانبی در قوس با افزایش شعاع قوس، افزایش دور، کاهش سرعت کاهش می‌یابد. اما افزایش شعاع قوس و دور از لحاظ اجرایی و شرایط محیطی با محدودیت‌هایی روبه‌رو است.



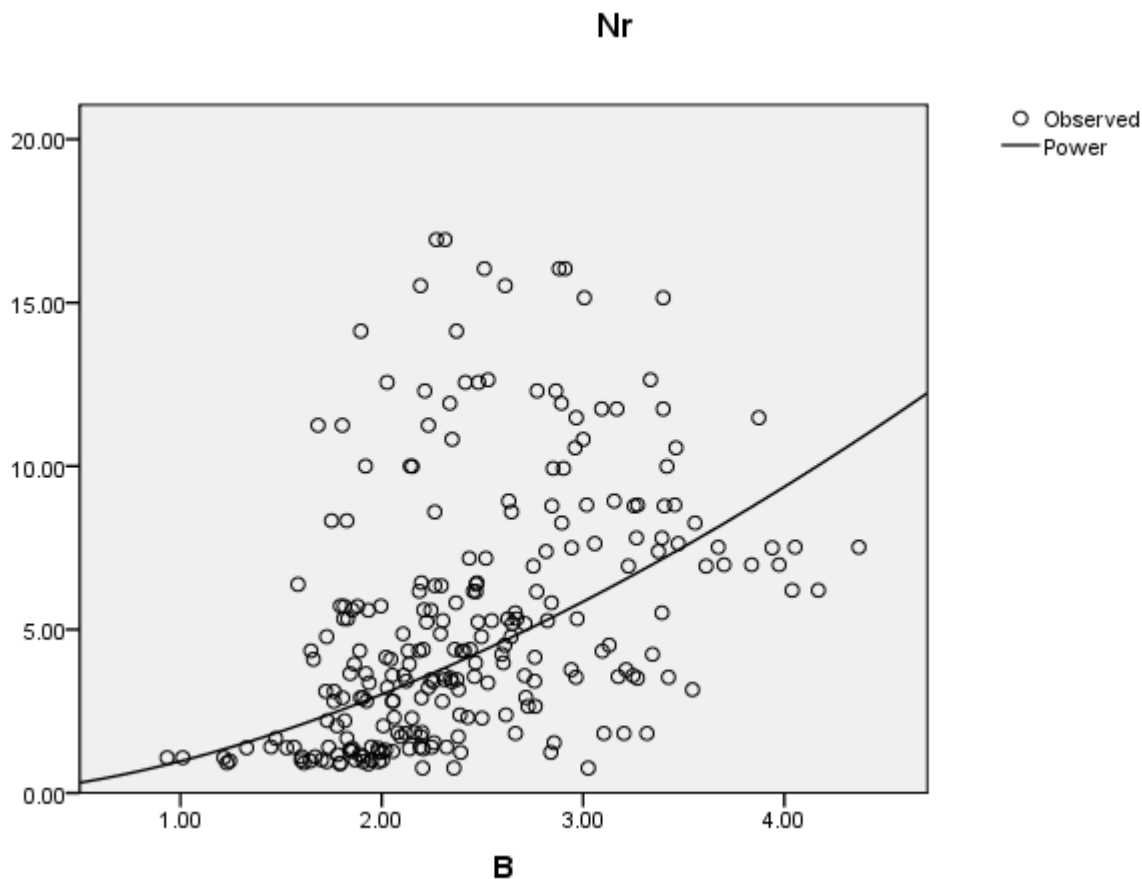
شکل ۳-۴: رابطه شتاب جانبی ماکسیمم با ایمنی

همان‌طور که در شکل (۳-۴) مشخص است با افزایش شتاب جانبی ایمنی مسیر کاهش می‌یابد. شدت کاهش ایمنی در شتاب‌های جانبی بالاتر که در قوس‌های با شعاع کم‌تر بر وسیله نقلیه وارد می‌شود بیشتر است.

۳-۴-۴ نسبت شتاب جانبی واقعی به شتاب جانبی تئوری (B)

واقعیت و پیش‌بینی همیشه نشان‌دهنده یک نتیجه واحد نیست. شتاب جانبی تئوری بر پایه رابطه V^2/R به دست می‌آید. این شتاب در حالت ایده‌آل است، اما در واقعیت شرایط متفاوت است. شرایط اجرایی، رفتار رانندگان، شناخت مسیر، آگاهی از میزان انحنای قوس، میزان دور و ... از عواملی هستند که سبب

می‌شود شتاب جانبی واقعی ثبت شده با شتاب تئوری محاسبه شده تفاوت داشته باشد. این اختلاف در قوس با شعاع‌های کوچک بیش‌تر است و هر چه شعاع قوس کاهش یابد این نسبت افزایش پیدا می‌کند. دلیل اصلی این موضوع تمایل رانندگان به عدم کاهش سرعت در قوس نسبت به مسیر مستقیم قبل از آن است.



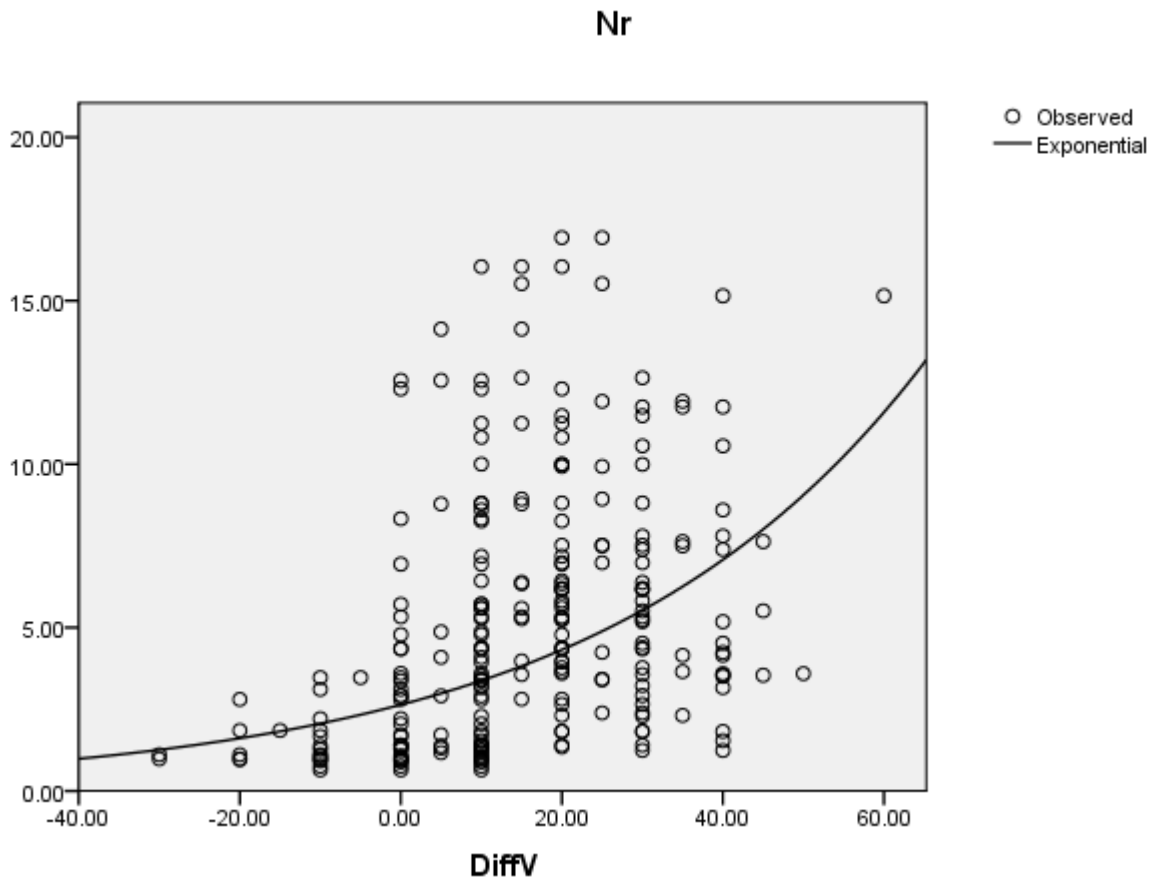
شکل ۴-۴: رابطه نسبت شتاب جانبی واقعی به شتاب جانبی تئوری با ایمنی

همان‌طور که در شکل (۴-۴) مشخص است با افزایش نسبت شتاب جانبی واقعی به شتاب جانبی تئوری ایمنی مسیر کاهش خواهد یافت.

۴-۴-۴ اختلاف سرعت (DiffV)

سرعت یکی از مهم‌ترین عوامل بروز تصادفات در قوس و کاهش ایمنی است و بر شدت تصادفات بسیار

تأثیرگذار است. محققانی که در زمینه ایمنی فعالیت می کنند از مسئله سرعت ناآگاهانه یعنی مناطقی که راننده به صورت غیرعمدی با سرعتی بیش از سرعت مجاز اقدام به رانندگی می کنند به عنوان یک موضوع قابل بحث و بررسی نام می برند. وارد شدن به قوس با یک سرعت غیرمطمئن و بیش تر از سرعت مجاز سبب بروز خطر می شود. رانندگان تمایل دارند قوس را با حداقل اختلاف سرعت ممکن با سرعت در قسمت مستقیم بپیمایند. داده های آماری نشان می دهد ۹۰ درصد رانندگان از سرعت مجاز در قوس ها تخطی می کنند. بیش از نیمی از این رانندگان بین ۱۰ تا ۳۰ کیلومتر بر ساعت بیش از میزان مجاز مشخص شده در تابلوها اقدام به رانندگی می کنند. قرار گرفتن یک قوس با شعاع کم بعد از یک مسیر مستقیم طولانی و عدم آشنایی راننده با مسیر و اطلاع از میزان انحنای قوس سبب می شود راننده با سرعتی بیش تر از سرعت مجاز وارد قوس شود. اختلاف سرعت وسیله نقلیه در حین پیمودن قوس با سرعت مجاز حرکت قوس یکی از عواملی است که افزایش آن ایمنی یک قوس را کاهش می دهد. در شکل (۴-۵) این مسئله به وضوح مشخص است.

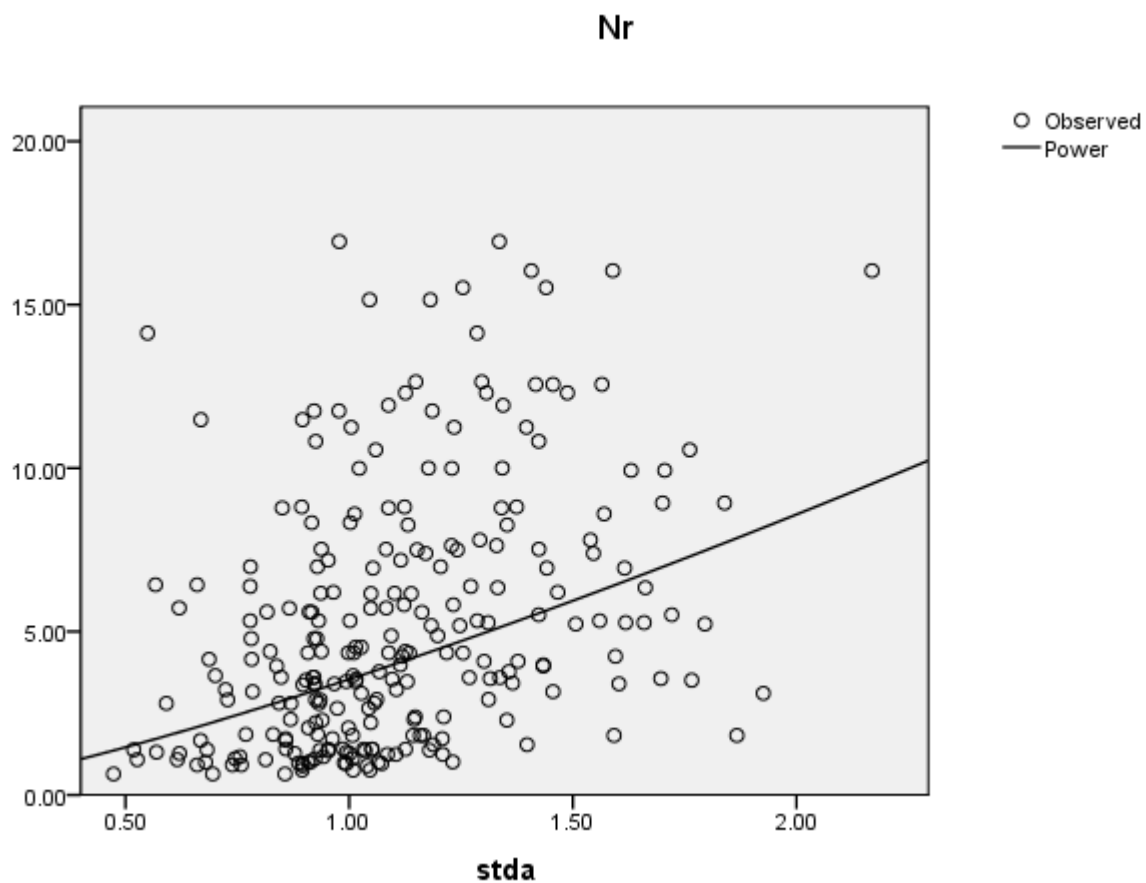


شکل ۴-۵: رابطه اختلاف سرعت حرکت در قوس و سرعت مجاز در قوس با ایمنی

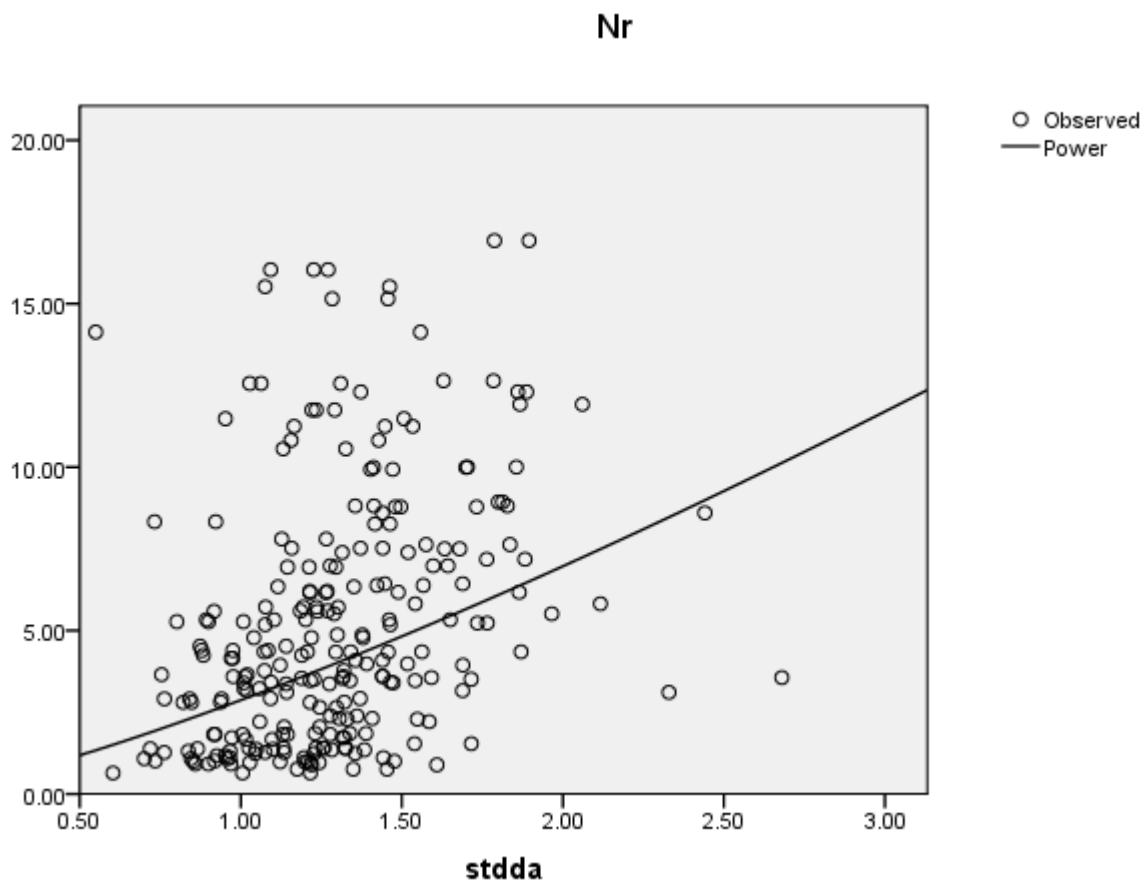
۴-۵-۴ انحراف از معیار شتاب جانبی (Std a) و انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی (Std da)

انحراف از معیار یک شاخص پراکندگی حول میانگین است. زمانیکه انحراف معیار داده‌های شتاب جانبی زیاد است نشان‌دهنده این است که شتاب‌هایی با اندازه بزرگ در طول قوس بر وسیله نقلیه وارد شده است. انحراف از معیار بالای تغییرات شتاب جانبی نشان‌دهنده وارد شدن تغییرات زیاد شتاب جانبی وارد شده بر وسیله نقلیه است. این تغییرات باعث می‌شود سرنشینان وسیله نقلیه در حین حرکت در قوس احساس راحتی نکنند. افزایش این شاخص باعث می‌شود کنترل وسیله نقلیه در قوس دشوار شود و در مواردی باعث خروج از مسیر و واژگونی وسیله نقلیه گردد. افزایش دو شاخص انحراف از معیار شتاب جانبی (Std a) و انحراف از

معیار تغییرات شتاب جانبی (Std da) باعث کاهش ایمنی مسیر می‌شود که این کاهش در شکل (۴-۶) و شکل (۴-۷) مشخص است که با افزایش این دو شاخص تعداد تصادفات افزایش یافته و ایمنی کاهش یافته است.



شکل ۴-۶: رابطه انحراف از معیار داده‌های شتاب جانبی در قوس با ایمنی



شکل ۴-۷: رابطه انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی در قوس با ایمنی

۴-۵ تعریف شاخص ایمنی برای قوس‌های افقی

از آنجایی که آمار تصادفات دقیق جهت کالیبراسیون مدل پیش‌بینی تصادفات اداره راه آمریکا وجود ندارد، ضریب کالیبراسیون این رابطه ۱ در نظر گرفته شده است. از این رو مقدار بدست آمده را باید به جای تعداد تصادفات شاخص ایمنی در نظر گرفت. بدین صورت که هر چه میزان تصادفات پیش‌بینی شده بیشتر باشد ایمنی کمتر است. جهت تعیین محدوده‌های ایمنی قوس از مقدار شاخص شتاب جانبی ماکسیمم استفاده شده است. افزایش شتاب جانبی در هر قوس باعث کاهش ایمنی و عدم احساس راحتی سرنشینان

وسیله‌نقلیه در حین حرکت در قوس می‌شود. عامل اصلی خروج از مسیر و واژگونی وسیله‌نقلیه در قوس وارد شدن شتاب جانبی بیش‌تر از میزان قابل تحمل وسیله‌نقلیه در قوس است. حد شتاب جانبی که سرنشینان وسیله‌نقلیه در قوس به راحتی آن را تحمل می‌کنند و درون وسیله‌نقلیه احساس راحتی می‌کنند حدود $0/35g$ تا $0/4g$ است. حد شتاب قابل تحمل وسیله‌نقلیه نیز حدود $0/85g$ تا $0/95g$ است. بر این اساس حد پایین شتاب $0/35g$ و حد بالای آن با در نظر گرفتن $1/2$ ضریب اطمینان $0/7g$ در نظر گرفته شده است. این فاصله با توجه به شرایط وسیله‌نقلیه که در شتاب‌های بیشتر از $0/55g$ تمایل دارند خط وسط را قطع کنند، تقسیم‌بندی شده است. با استفاده از رابطه تعداد تصادفات و شتاب ماکسیمم ۴ محدوددهی کاملاً ایمن، ایمن، ایمنی کم و غیرایمن تعریف می‌شود که در جدول (۴-۵) نشان داده شده است.

جدول ۴-۵: شاخص ایمنی قوس‌های افقی

شاخص ایمنی	شتاب جانبی ماکسیمم	N_r (accident/year)
کاملاً ایمن	$< 0/35 g$	< 2
ایمن	$0/35 g - 0/55 g$	۲-۵
ایمنی کم	$0/55 g - 0/7 g$	۵-۹
غیرایمن	$> 0/7 g$	> 9

۴-۶ شناسایی قوس‌های غیرایمن مسیر مطالعاتی شاهرود به آزادشهر

براساس N_r به‌دست آمده برای هر قوس در سرعت‌های مختلف و با توجه به معیار فوق از مجموع ۱۱۰ قوس مورد بررسی تعداد ۱۰ قوس در محدوده کاملاً ایمن قرار دارند که شعاع این قوس‌ها بزرگ‌تر از ۳۰۰ متر است. ۲۰ قوس در محدوده ایمن، ۳۳ قوس در محدوده ایمنی کم و ۱ قوس در تمام سرعت‌ها در

محدوده غیر ایمن قرار دارند. (قوس‌های فوق در تمام اختلاف سرعت‌های تست شده در یک محدوده قرار دارند). سایر قوس‌ها با توجه به میزان اختلاف سرعت حرکت در قوس با سرعت مجاز بین دو محدوده جابه‌جا می‌شوند. که در جدول (۴-۶) تعداد این قوس‌ها نشان داده شده است.

جدول ۴-۶: تعداد قوس‌هایی که با افزایش اختلاف سرعت ایمنی آن‌ها کاهش یافته است

اختلاف سرعت در قوس با سرعت مجاز	تعداد قوس	شاخص ایمنی
۲۰	۶	ایمنی کم
۳۰	۴	ایمنی کم
۱۰	۵	ایمنی کم
۴۰	۴	ایمنی کم
۱۰	۳	غیر ایمن
۲۰	۳	غیر ایمن
۳۰	۴	غیر ایمن
۴۰	۲	غیر ایمن

به عنوان مثال ۶ قوس در مسیر وجود دارد که اگر اختلاف سرعت در آن‌ها به ۲۰ کیلومتر بر ساعت برسد ایمنی این قوس‌ها از محدوده ایمن به محدوده ایمنی کم تنزل می‌یابد.

قوس‌ها کاملاً ایمن دارای شعاع بزرگتر از ۳۰۰ متر هستند حال آنکه قوس‌هایی که در محدوده‌ی غیرایمن هستند دارای شعاع‌های زیر ۱۰۰ متر هستند. در شکل (۴-۸) تعدادی از قوس‌های غیرایمن مسیر مشخص شده است.

اختلاف سرعت حرکت در قوس با سرعت مجاز یک عامل بسیار مهم در ایمنی یک قوس است به طوری

که ممکن است یک قوس در سرعت مجاز ایمن باشد، اما اگر سرعت وسیله نقلیه مجاز نباشد جزو قوس‌های غیرایمن باشد.



شکل ۴-۸: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر

۴-۶-۱ قوس شماره ۱۹

شعاع این قوس ۲۵ متر و طول قوس ۵۷ متر است. این قوس از تندترین قوس‌های مسیر است. قرار گرفتن این قوس در سرانشیبی باعث کاهش بیشتر ایمنی این قوس شده است. شتاب جانبی ماکسیمم ثبت شده در این قوس ۶/۸۹ متر بر مجذور ثانیه است. که یک شتاب با مقدار بالا محسوب می‌شود و اگر اختلاف سرعت حرکت در قوس با سرعت مجاز آن افزایش یابد باعث واژگونی یا خروج از مسیر وسیله نقلیه می‌شود که با توجه وضعیت اطراف مسیر و وجود دره با شیب زیاد بسیار خطرناک است.

۴-۶-۲ قوس شماره ۲۱

این قوس با شعاع ۳۰ متر و طول قوس ۴۶ متر جزو قوس‌های غیرایمن مسیر محسوب می‌شود. حداکثر شتاب جانبی وارد شده به وسیله نقلیه در این قوس ۶/۷۴ متر بر مجذور ثانیه است. این شتاب باعث تکان‌های

شدید در وسیله نقلیه می شود و باعث می شود سرنشینان درون خودرو احساس راحتی نکنند.

۴-۶-۳ قوس شماره ۲۵

خطرناک ترین قوس مسیر شاهرود به آزادشهر قوس شماره ۲۵ است. این قوس با شعاع ۲۵ متر و طول قوس ۵۸ شتاب جانبی $7/96$ متر بر مجذور ثانیه را در اختلاف سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت بر وسیله نقلیه تحمیل می کند. این شتاب بسیار به شتاب واژگونی وسیله نقلیه نزدیک و افزایش ناچیز اختلاف سرعت از ۲۰ کیلومتر بر ساعت باعث واژگونی وسیله نقلیه می شود.

سایر قوس های غیرایمن مسیر در شکل های زیر مشخص است.



شکل ۴-۹: قوس های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس های ۳۱، ۳۴ و ۳۷)

قوس ۳۱ دارای شعاع ۵۰ متر است و قوس های ۳۴ و ۳۷ شعاع ۴۰ متری دارند. شعاع که این قوس ها سبب قرار گرفتن این قوس ها در محدوده غیرایمن شده است اما علاوه بر شعاع کم، دور کمتر از دور طراحی در این قوس ها سبب افزایش شتاب جانبی وارد بر وسیله نقلیه و در نتیجه کاهش ایمنی شده است.



شکل ۴-۱۰: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس ۴۴)



شکل ۴-۱۱: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس ۴۹)

قوس‌های ۴۴ و ۴۹ با شعاع‌های ۴۰ و ۸۰ متری در محدوده غیرایمن قرار گرفته‌اند. در قوس ۴۹ بدلیل مسیر مستقیم طولانی‌تر نسبت به قوس‌های قبل و وجود شیب طولی در مسیر مستقیم قبل از قوس سرعت وسیله‌نقلیه نسبت به سرعت مجاز افزایش می‌یابد که سبب کاهش ایمنی این قوس شده است.



شکل ۴-۱۲: قوس‌های غیرایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس ۷۶)

در قوس ۷۶ یک قوس تکی در یک مسیر مستقیم است. از طرف دیگر شعاع ۶۰ متری این قوس و طول قوس کم باعث کاهش هر چه بیشتر ایمنی این قوس شده است.



شکل ۴-۱۳: قوس‌های غیر ایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس‌های ۸۶ و ۸۷)



شکل ۴-۱۴: قوس‌های غیر ایمن مسیر شاهرود به آزادشهر (قوس‌های ۹۴ و ۹۵)

قوس‌های ۸۶، ۸۷، ۹۴ و ۹۵ نیز شعاع‌های زیر ۳۵ متر دارند. در این قوس‌ها شتاب‌های جانبی شدیدی در سرعت‌های بیشتر از سرعت مجاز بر وسیله‌نقلیه وارد می‌شود و ایمنی مسیر را کاهش می‌دهد. به‌طور کلی در فصل چهارم مدل‌های بدست آمده از تحلیل داده‌ها ارائه شده است. پس از آن با استفاده از معیارهای موجود جهت ارزیابی مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل، مناسب‌ترین مدل انتخاب شده است. در ادامه تأثیر پارامترهای در نظر گرفته شده جهت مدل‌سازی بر ایمنی قوس‌های افقی بررسی شده است. با توجه به محدوده‌های شتاب جانبی شاخص ایمنی برای قوس‌های افقی تعریف شده است تا با استفاده از آن ایمنی قوس‌های مسیر مطالعاتی بررسی شود. در انتها قوس‌های غیرایمن مسیر مطالعاتی مشخص شده است.

فصل پنجم

پیچ گیری

۵-۱ نتیجه‌گیری

- قوس‌های افقی جزء نقاطی هستند که با توجه به میزان تصادفات رخ داده در آن‌ها نیاز به توجه دارند و بررسی وضعیت ایمنی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.
- پارامترهای مختلفی بر ایمنی قوس افقی تأثیرگذارند. این پارامترها شامل شعاع قوس، طول قوس، عرض سواره‌رو، عرض شانه راه، نوع شانه راه، میزان دور، سرعت حرکت قوس، شیب طولی مسیر، دسترسی‌های موجود به مسیر در محل قوس یا نزدیکی آن، اختلاف سرعت مسیر مستقیم با قوس، شتاب جانبی وارد بر وسیله نقلیه در قوس، تغییرات شتاب جانبی در قوس، نسبت شتاب جانبی واقعی به شتاب جانبی تئوری، فاصله قوس‌ها از یکدیگر، متوسط ترافیک روزانه، مقاومت لغزشی سطح روبه‌روسازی، خطرپذیری اطراف قوس است.
- بر اساس پارامترهای شعاع قوس، اختلاف سرعت حرکت در قوس و سرعت مجاز، شتاب جانبی ماکسیمم، انحراف از معیار داده‌های شتاب جانبی، انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی و نسبت شتاب جانبی واقعی به شتاب جانبی تئوری مدل‌هایی جهت پیش‌بینی ایمنی قوس‌ها ارائه شده است.
- با توجه به داده‌های در دسترس از قوس‌های مسیر مورد نظر می‌توان از هر یک از مدل‌های ارائه شده جهت ارزیابی ایمنی قوس مورد نظر استفاده کرد.
- با توجه به معیارهای انتخاب بهترین مدل، مدل بر حسب پارامترهای شعاع قوس، اختلاف سرعت

حرکت در قوس و سرعت مجاز، شتاب جانبی ماکسیمم، نسبت شتاب جانبی واقعی به شتاب جانبی تئوری و انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی بهترین مدل جهت ارزیابی ایمنی قوس است.

- در مدل‌های ارائه شده با استفاده از مدل برحسب، اختلاف سرعت حرکت در قوس و سرعت مجاز، شتاب جانبی ماکسیمم، انحراف از معیار شتاب جانبی و انحراف از معیار تغییرات شتاب جانبی می‌توان ایمنی قوس را در صورت نبود پارامترهای هندسی مسیر محاسبه کرد.

- با افزایش شعاع قوس، ایمنی قوس افزایش می‌یابد. این افزایش ایمنی در قوس‌های با شعاع کم (قوس‌های با شعاع کمتر از ۲۵۰ متر) بیش‌تر است. و اگر یک قوس با شعاع کوچک اصلاح شود افزایش ایمنی بیش‌تری نسبت قوس‌های با شعاع بزرگ دارد.

- اگر شتاب جانبی که بر وسیله‌نقلیه وارد می‌شود کمتر از $0.35g$ باشد، این شتاب توسط سرنشینان وسیله‌نقلیه به راحتی تحمل می‌شود و سرنشینان در حین پیمایش قوس تفاوت قابل توجهی با مسیر مستقیم حس نمی‌کنند.

- محدوده واژگونی خودروها بر اثر وارد شدن شتاب جانبی بین $0.08g$ تا $0.09g$ است که برای خودروهای مختلف متفاوت است.

- با توجه به اینکه ۹۰ درصد رانندگان با سرعت مجاز در قوس حرکت نمی‌کنند، پارامتر اختلاف سرعت وسیله‌نقلیه در قوس با سرعت مجاز از اهمیت زیادی برخوردار است و اقدامات صورت گرفته در جهت بهبود ایمنی قوس باید در جهت کاهش این اختلاف باشد.

- شتاب جانبی اندازه‌گیری شده به وسیله شتاب‌سنج ساخته شده با شتاب جانبی تئوری به دست آمده متفاوت است که دلیل این اختلاف تفاوت در شرایط ایده‌آل و شرایط موجود در مسیر است. این اختلاف در قوس‌های با شعاع کم بیش‌تر است. نسبت این دو شتاب به عنوان پارامتری تأثیرگذار در ایمنی در مدل‌سازی‌ها در نظر گرفته شده است.

- افزایش انحراف از معیار داده‌های شتاب جانبی در یک قوس نشان‌دهنده وارد شدن شتاب‌های با اندازه بزرگ به وسیله‌نقلیه در قوس است و افزایش این انحراف نشان‌دهنده ایمنی کم‌تر قوس است.
- مقدار انحراف از معیار بزرگ برای تغییرات شتاب جانبی در قوس نشان‌دهنده وارد شدن شتاب‌های جانبی ناگهانی بر وسیله‌نقلیه و عدم راحتی سرنشینان وسیله‌نقلیه است که این امر باعث کاهش ایمنی قوس افقی می‌شود.
- بر اساس شتاب جانبی وارده بر وسیله‌نقلیه ۴ محدوده مختلف برای ایمنی تعریف شده است. این محدوده‌ها شامل محدوده کاملاً ایمن، ایمن، ایمنی کم و غیرایمن است.
- در مسیر شاهرود به آزادشهر از تعداد ۱۱۰ قوس مورد بررسی ۱۰ قوس کاملاً ایمن وجود دارد. شعاع این قوس‌ها بزرگ‌تر از ۳۰۰ متر است.
- ۲۰ قوس مسیر مطالعاتی در محدوده‌ی ایمن، ۳۳ قوس در محدوده ایمن و ۱ قوس در تمام اختلاف سرعت‌های بررسی شده غیرایمن است.
- ۱۲ قوس در مسیر شاهرود به آزادشهر قرار دارد که اگر اختلاف سرعت وسیله‌نقلیه در قوس با سرعت مجاز از ۱۰ تا ۴۰ کیلومتر بر ساعت برسد این قوس‌ها غیرایمن هستند.
- قوس‌های با شعاع زیر ۱۰۰ متر اغلب غیرایمن هستند.
- اختلاف سرعت وسیله‌نقلیه در قوس با سرعت مجاز یک پارامتر بسیار مهم است که افزایش آن می‌تواند یک قوس را از محدوده ایمن به ایمنی‌های کم‌تر تنزل دهد.

۲-۵ پیشنهادات

- تدوین یک نظام جامع و کارآمد برای ثبت و طبقه‌بندی دقیق آمار تصادفات
- کالیبره کردن فرمول اداره راه آمریکا برای شرایط کشور ایران و استفاده از آن به‌عنوان راهنمایی

- برای ساخت هرچه ایمن تر جاده‌های آینده کشور
- ارائه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات برای سایر نقاط حادثه‌خیز راه‌های کشور
- استفاده از پارامترهای بیشتر جهت مدل‌سازی روابط پیش‌بینی ایمنی
- محاسبه شاخص ارائه شده برای سایر جاده‌های کشور و مقایسه نتایج با این پایان‌نامه

مراجع

[۱] آقاپور، م.، پایان‌نامه کارشناسی ارشد راه و ترابری، "ارزیابی میزان اثربخشی و بهره‌وری اقتصادی شناسایی و اصلاح نقاط پرحادثه محور ایواوغلی-بازرگان با استفاده از ماژول پیش‌بینی تصادفات IHSDM" دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اورمی، ۱۳۹۳

[2] Garber, J. N., Hole, A. L, Traffic and Highway Engineering, Cengage Learning, 2014.

[3] Bonneson, J.A, "Highway safety manual," American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2010.

[۴] آیتی، الف.، "تصادفات جاده‌ای ایران (تجزیه و تحلیل، مقایسه و محاسبه هزینه" جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، آبان‌ماه ۱۳۷۱.

[۵] صدری اصفهانی، ع. رضائی آهن، م.، "تحقیق و بررسی در مورد ترافیک و اجرای مقررات و علل تصادفات رانندگی از دیدگاه‌های مختلف در شهر یزد" کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت، تهران، ایران، خردادماه ۱۳۹۵.

- [6] Gharatbem, F., "Identification of Accident-Prone Locations in Greater Amman," *Transportation Research Record*, vol. 1318, pp. 70-74, 1991.
- [7] Tarko, A., Sinha, K., & Farooq, O, "Methodology for Identifying Highway Safety Problem Areas," *Transportation Research Record*, vol. 1542, pp. 49-53, 1996.
- [8] Hauer, E., Council, F., & Mohammaedshah, Y, "Safety Models for Urban Four-Lane Undivided Road Segments," *Transportation Research Record*, vol. 1897, pp. 96-105, 2004.
- [9] Kar, K., & Datta, T, "Development of a Safety Resource-Allocation Model in Michigan," *Transportation Research Record* , vol. 1865, pp. 54-71, 2004.
- [10] Zein, S., & Navin, F, "Improving Traffic Safety," *Transportation Research Record*, vol. 1830, pp. 70-74, 1991.
- [11] Cafiso, S., La Cava, G., & Montella, A, "Safety Index for Evaluation of Two-Lane Rural Highways," *Transportation Research Record* , vol. 2019, pp. 136-145, 2007.

[۱۲] افندی زاده، ش. خدادادیان، م. کلانتری، ن.، "اولویت‌بندی رفع نقاط حادثه‌خیز در شبکه راه‌ها"

چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران، اردیبهشت ماه ۱۳۸۷.

[۱۳] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. "آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران" نشر

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ویرایش اول، چاپ اول، ۱۳۹۱

- [14] Lamm, R., Psarianos, B., & Califiso. S, "Safety evaluation process for

- two-lane rural road," Transportation Research Board, vol. 1796, pp. 51-59, 2002.
- [15] Lamm, R., Psarianos, B., Choueiri, E., Soilemezoglou, G, "A Practical Safety Approach to Highway Geometric Design International Case Studies:Germany, Greece, Lebanon, and The United States," International Symposium on Highway Geometric Design Practices, pp. 1-14, 1995.
- [16] Lamm, R., & Smith, B. L, "Curvilinear Alignment: An Important Issue for a More Consistent and Safer Road Characteristic," Transportation Research Record, no. 1445, pp. 12-21, 1994.
- [17] Glennon, J.C., Neuman, T.R., Leisch, J.E, "Safety and operational considerations for design of rural," Report FHWA/RD-86/035. Federal Highway Administration. United States Department of, Washington D.C, 1986.
- [18] Glennon, J.C., "Effect of alignment on highway safety," Transportation Research Board, no. 6, pp. 48-63, 1987.
- [19] Miaou, p., & Lum, H, "Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships," Accident Analysis & Prevention, vol. 25, no. 6, pp. 689-709, 1993.
- [20] Milton, J., & Mannering, F, "The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies," Transportation, vol. 25, no. 4, pp. 395-413, 1998.
- [21] "Canadian Researchers Test Driver Response to Horizontal Curves," Road Management & Engineering Journal, 1998.

[۲۲] ذوقی، ح. رحمانی، الف. سیامردی، ک. جلال، م.، "راهکارهای ایمنی طراحی هندسی قوس‌های افقی در راه‌های ایران در راستای توسعه پایدار" کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران معماری و توسعه پایدار شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران، دسامبر ۲۰۱۳.

- [23] Raff, M.S, "Interstate highway-accident study," Highway Research Board, vol. 74, pp. 18-45, 1953.
- [24] Leisch, J.E. & Associates, Traffic control and roadway elements - their relationship to highway safety/ revised, Highway Users federation for Safety and Mobility, 1971.
- [25] Matthews, L.R., & Barnes, J.W, "Relation between road environment and curve accidents," in Road Traffic Safety Seminar, Wellington, New Zealand, 1988.
- [26] Deacon, J, "Relationship between accidents and horizontal curvature," Transportation Research Board, Washington, 1986.
- [27] Lamm, R., Choueiri, E.M., Mailaender, T, "Accident rates on curves as influenced by highway design elements - an international review and an indepth study," Road safety in Europe. VTI Rapport 344A. VTI, Linkoping, Sweden, 1988.
- [28] Zegeer, C.V., Stewart, R.J., Council, F.M., Reinfurt, D.W., and Hamilton, E, "Safety effects of geometric improvements on horizontal curves," Transportation Research Record, no. 1356, pp. 11-19, 1992.
- [29] Voigt, A, "An evaluation of alternative horizontal curve design approaches for rural two-lane highways," Report No. TTI-04690-3 Texas

Transport, 1995.

- [30] Lamm, R., Psarianos, B., & Mailaender, T, Highway design and traffic safety engineering handbook, New York: McGraw – Hill Handbooks, 1999.
- [31] Potts, I., Harwood, D., & Bauer, K, Effect of preceding tangent length on safety for horizontal curve, Germany : Road and Transportation Research Association, 2000.
- [32] Persaud, B., Retting, R., Lyon, C, "Guidelines for Identification of Hazardous Highway Curves," Transportation Research Board, vol. 1717, 2000.
- [33] Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D.W., Collins, J.M., McFadden, J., Anderson, I. B., Krammes. R.A., Irizarry, N., Parma, K.D., Bauer, K.M. and Passetti, K, "Speed prediction for two-lane rural highways," FHWA-RD-99-171, McLean, 2000.
- [34] "Crash Prediction Module Engineer`s Manual," Federal Highway Administration [FHWA], 2004.
- [35] Ng, J. C. W., & Sayed, T, "Effect of geometric design consistency on road safety," Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 31, no. 2, pp. 218-227, 2004.
- [36] Cardoso, J.L, "Accident Rates and Speed Consistency, Horizontal Curves in Single Carriageway Rural Roads," in Traffic Safety on Two Continents, London, 1997.
- [37] Cardoso, J.L, "Safety assessment for design and redesign of horizontal curves," in 3rd International Symposium on Highway Geometric Design,

Washington, DC, 2005.

- [38] Camacho-Torregrosa, F.J., Campoy-Ungria, J.M., Perez-Zuriaga, A.M., & Garcia-Garcia, A, "New geometric design consistency model based on operating speed profiles for road safety evaluation," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 61, pp. 33-42, 2013.
- [39] Jurewicz, C., Pyta, V, "Effect of clear zone widths on run-off-road crash outcomes," in *Proceedings of Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference*, Canberra, Australia, 2010.
- [40] Dietze, M., Weller, G, "Applying speed prediction models to define road sections and to develop accident prediction models: A German case study and a Portuguese exploratory study. Road Infrastructure Safety Management Evaluation Tools (RISMET)," Brussels, ERA-NET ROAD / Leidschendam, SWOV Institute for Road Safety Research, 2011.
- [41] Matsoukis. E, "A parsimonious model for the safety assessment of horizontal curves using data from rural roads," *WIT Transactions on the Built Environment, Safety and Security Engineering IV*, vol. 117, pp. 35-48, 2011.
- [42] Findley, D.J., Hummer, J.E., Rasdorf, W., Zegeer, C.V., & Fowler, T.J, "Modeling the impact of spatial relationships on horizontal curve safety," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 45, pp. 296-304, 2012.
- [43] Khan, G., Bill, A.R., Chitturi, M.V., & Noyce, D.A, "Safety Evaluation of Horizontal Curves on Rural Undivided Roads," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2386, pp. 147-157, 2013.

[۴۴] صفارزاده، م. شعبانی، ش. آذرمی، الف.، "مدل پیش‌بینی تصادفات در قوس‌های واقع در راه‌های دو

خطه برون شهری" پژوهشنامه حمل و نقل، سال چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۶

[۴۵] نصیری، ح. شهرام‌نیا، ن.، "شناسایی عوامل هندسی و ترافیکی مؤثر بر وقوع تصادفات جاده‌های

دوخطه برون شهری" هشتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، سازمان حمل و

نقل و ترافیک تهران، معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، تهران، ایران، اردیبهشت ماه

۱۳۸۷

[۴۶] منصور خاکی، ع. محسنی، ح.، "بررسی اثر طرح هندسی بر تعداد تصادفات در جاده‌های دو خطه"

هشتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران،

معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، تهران، ایران، اردیبهشت ماه ۱۳۸۷

[۴۷] رحیم اف، ک. طاهرزاده، م.، "مدلی برای بررسی تأثیر فواصل قوس‌های افقی در تصادفات راه‌های دو

خطه برون شهری (مطالعه موردی محور کرج-چالوس)" کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران

معماری و توسعه پایدار شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران، دسامبر ۲۰۱۳.

[۴۸] خدابخشی، الف. افتخارزاده، ف.، "اثر شیب طولی بر حداقل شعاع ایمن در طراحی قوس افقی"

سومین کنفرانس بین‌المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران،

تهران، ایران، اردیبهشت ماه ۱۳۹۱.

[۴۹] عامری، م. شفیع‌پور، الف. احدی، م.، "بررسی میدانی و آزمایشگاهی تأثیر دانه‌بندی بر مقاومت

اصطکاکی رویه‌های آسفالتی" فصلنامه جاده، شماره ۷۱، تابستان ۱۳۹۱.

[50] Buddhavarapu, P., Banerjee, A., & Prozzi, J, "Influence of pavement condition on horizontal curve safety," Accident Analysis and Prevntion, vol. 52, no. 1, pp. 9-18, 2013.

[۵۱] فخری، م. حسنی، الف. کاری، م.، "بررسی تغییرات مقاومت لغزشی روسازی آسفالتی بر تصادفات، مطالعه موردی خیابان شهید رجایی تهران" سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل ترافیک، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران، معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، تهران، ایران، اسفند ماه ۱۳۹۲

[۵۲] ولیپورپاشاکلایی، م.، پایان نامه کارشناسی ارشد راه و ترابری، "مدل بندی داده های نرخ و نسبت با رگرسیون بتا" دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۲

Abstract

Nowdays with increase the number of motor vehicle in world, number of accident significantly consideration also increase. High cost of fatal accident (F), personal injury (PI) and property damage only (PDO) that burden to society caused improving road safety an important issues to be considered in transportation and traffic. Identification of factor involved in transportation accident and countermeasure against these factors are amonge the most important measures to improve the safety of road.

Number of road accident in curve three times the number of accident in direct routes. This subject indicated horizontal curves are from accident prone in the road. Due to the number of accident in horizontal curve, its seems necessary to provide an index to evaluate the safety of curve. An index that can be used for identification the unsafe curves and performance countermeasure in order to improving safety.

In this study, intend with collecting the geometric and traffic characteristics road of the Shahrood to Azadshahr, provide an index to evaluate the safety of horizontal curves. In this regard, measured the lateral acceleration in the horizontal curves in this road with different speed by an accelerometer. For modeling used the factor contains curve radius, maximum lateral acceleration, difference between used and posted speed in curve, ratio of maximum lateral acceleration to theory lateral acceleration, standard deviation of lateral acceleration and standard deviation of lateral acceleration change, to achive the safety index using generalized linear models and have been proposed several modeles. Afterward according to their comfortable lateral acceleration tolerance and lateral acceleration of vehicle caused reversal, provide four level

of safety contain absolutely safe, safe, low safety and unsafe, for identification safety index. According to this index that its lateral acceleration is less than 0.35g is in absolutely safe area, between 0.35g-0.55g is in safe area, between 0.55g-0.7g is in low safety area and more than 0.7g is in unsafe area. Study on curve of Shahrood to Azadshahr roads, indicate that 60% of examined curve have low safety, that needs appropriate countermeasure for improving safety of these curves.

Keywords: Safety Index, Horizontal Curves, lateral acceleration, speed, Generalized Linear Models



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Road and Transport Engineering

**Development A Safety Index for Horizontal Curve (Case Study Semnan
State Roads)**

By:

Reza Ghorbanzadeh

Supervisor

Dr. Hosien Ghasemzadeh Tehrani

Advisor

Dr. Mahdi Goli

February 2017

