

## اثرسنجی ایمنی اصلاح قوس‌های افقی تیز در راه‌های برون‌شهری کوهستانی و تپه‌ماهوری

مقاله علمی - پژوهشی

حمیدرضا بهنود<sup>\*</sup>، دانشیار، گروه مهندسی عمران- حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران  
سهیل سعادت‌فرید، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران- حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی،

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

<sup>\*</sup>پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hr.behnood@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

صفحه ۵۰۸-۴۹۷

### چکیده

قوس‌های افقی یکی از پرمخاطره‌ترین اجزای راه هستند. هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر شعاع قوس به عنوان مهم‌ترین عامل موثر بر فراوانی تصادفات است. در این راستا ضریب تعدیل تصادف به عنوان معیاری اساسی در تحلیل مدل‌های پیش‌بینی تصادف برای قوس‌های افقی به عنوان تابعی از شعاع آن به دست خواهد آمد. بهبود مشخصات قوس‌های افقی مانند افزایش شعاع قوس می‌تواند بر روی کاهش تعداد تصادفات تأثیرگذار باشد. در این پژوهش تصادفات در محل قوس‌های تیز برای راه‌های کوهستانی و تپه‌ماهوری چهارخطه و دوخطه برون‌شهری استان قزوین در سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ بررسی گردیده است. از رگرسیون دو جمله‌ای منفی برای توسعه توابع عملکرد ایمنی برای قوس‌های ایمن‌سازی شده و ایمن‌سازی نشده استفاده شده است. سپس با وزن‌دهی تصادفات مشاهده شده و پیش‌بینی شده با توجه به پارامتر بیش پراکندگی، تصادفات مورد انتظار برای قوس‌های ایمن‌سازی شده و ایمن‌سازی نشده به دست آمده و از تقسیم آن‌ها بر هم مقدار ضریب تعدیل تصادف به دست آمده است. در راه‌های دوخطه، برای مقادیر شعاع کمتر از ۱۵۰ متر، مقدار تابع تعدیل تصادف افزایشی می‌شود و این بدان معنا است که کاهش شعاع باعث ایمن‌تر شدن قوس شده است. این نتیجه را به طور ملموس می‌توان در راه‌های دوخطه دوطرفه مناطق کوهستانی، به شرط رعایت اصول یکدستی طرح هندسی راه، مشاهده نمود که قوس‌های تیزتر پشت سر هم به طور قابل توجهی بر کاهش سرعت و افزایش بیشتر دقت راننده تأثیر می‌گذارد. رابطه خطی نزولی در محورهای چهارخطه نشان دهنده کاهش ضریب تعدیل تصادف و پتانسیل تصادف با افزایش شعاع قوس افقی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: قوس افقی، ضریب تعدیل تصادف، مدل پیش‌بینی تصادف، دو جمله‌ای منفی

### ۱- مقدمه

به عنوان معیاری اساسی در تحلیل مدل‌های پیش‌بینی تصادف برای قوس‌های افقی به عنوان تابعی از شعاع آن به دست خواهد آمد (National Research Council (US), 2010)، Gross et al., 2010، Hauer et al., 2012 و (Al-Marafi & Somasundaraswaran, 2023). بهبود مشخصات قوس‌های افقی مانند افزایش شعاع قوس می‌تواند بر روی کاهش تعداد تصادفات تأثیرگذار باشد. در این پژوهش تصادفات در محل قوس‌های تیز برای راه‌های کوهستانی و تپه‌ماهوری چهارخطه و دوخطه برون‌شهری استان قزوین

قوس‌های افقی یکی از پرمخاطره‌ترین اجزای راه هستند. عوامل متعددی بر روی ایمنی یک قوس افقی تأثیرگذار است مانند طول قوس، شعاع قوس، بودن یا نبودن اتصال کلوتیید، دور (بربلندی)، اصطکاک روسازی و فاصله دید (Bonneson, 2000)، National Research Council (US), 2010، Findley et al., 2012، Harwood et al., 2000 و (Anna & Chunchu, 2023). هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر شعاع قوس به عنوان مهم‌ترین عامل موثر بر فراوانی تصادفات است. در این راستا ضریب تعدیل تصادف (CMF)<sup>۱</sup>

شده به پیش‌بینی شده و تعیین انحراف از این نسبت، تاثیر قوس بر فراوانی تصادف مورد بررسی قرار گرفت. روش استفاده شده در این مطالعه مشابه با روش بکار رفته توسط کارتر و همکاران (Wu et al., 2012) بوده است. وو و همکاران (Wu et al., 2017) با استفاده از مطالعه مقطعی ضریب تعدیل تصادفی را برای قوس‌های افقی در راه‌های دوخطه جدانشده برون‌شهری به دست آوردند. نتایج این مطالعه نشان داد قوس‌های افقی نقش معناداری در افزایش ریسک تصادف دارند. برای این منظور یک تابع تعدیل تصادف برای راه‌های ایالت تگزاس به دست آمد که نشان داده شد در مقایسه با مدل ارائه شده در راهنمای ایمنی راه (HSM) (National Research Council (US), Choi et al., 2010) عملکرد بهتری دارد. چوی و همکاران (Choi et al., 2018) سه مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی را برای توابع عملکرد ایمنی برای سه نوع رمپ در تبادل‌ها شامل انواع تمام‌جهتی، نیمه‌جهتی و لوپ‌ها و ضرایب تعدیل تصادف جوانب هندسی آن از جمله قوس‌های افقی در محل رمپ‌ها ارائه دادند. گیدپالی و همکاران (Geedipally et al., 2019) تاثیر هندسه و اصطکاک سطح روسازی را بر فراوانی تصادف در قوس‌های افقی بررسی کردند. مشخص شد که متغیر عدد لغزش<sup>v</sup> همراه متغیرهای همیشگی مانند حجم تردد، شعاع قوس و عرض مقطع اثر معناداری در فراوانی تصادف دارند. ما و همکاران (Ma et al., 2020) به مدلسازی ریسک تصادف در محل قوس‌های افقی با استخراج خودکار کلان‌داده‌های هندسه راه پرداختند. برای این منظور این مطالعه بر دو موضوع تمرکز داشته است: ابزاری برای استخراج خودکار داده‌های کلان قوس افقی از طریق تحلیل داده‌های متن‌باز<sup>h</sup> و آرایه یک چارچوب مدلسازی تصادف به منظور کمی‌سازی ریسک تصادف در محل قوس‌ها. کافیسو و همکاران (Cafiso et al., 2021) توابع تعدیل تصادف را برای شرایط روسازی راه و شاخص‌های طرح هندسی آرایه دادند.

در سال‌های ۹۳ تا ۹۵ بررسی گردیده است. در این مطالعه به دلیل این که داده‌های تصادف و حجم ترافیک برای دوره قبل از اقدام اصلاحی در دسترس نیست و تعداد زیادی از نقاط و محورهای مشابه بدون اعمال اقدامات اصلاحی برای مقایسه موجود است، روش مطالعات مشاهده‌ای مقطعی<sup>۲</sup> استفاده شده است. تعیین عوامل موثر بر کاهش تصادف با استفاده از مطالعات مقطعی و مدل‌های دوجمله‌ای منفی (NB)<sup>۳</sup> برای برآورد ضرایب CMF در اثرسنجی اقدامات ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرند و نقش مهمی در فرایند مدیریت ایمنی ایفا می‌کنند. در مواردی که زمان بکارگیری اصلاح معلوم نباشد و یا این که داده‌های تصادف و حجم ترافیک برای دوره قبل از اقدام اصلاحی در دسترس نباشد، از روش مطالعات مشاهده مقطعی استفاده می‌شود. بهترین رویکرد در این زمینه استفاده از روش بیزین تجربی (EB)<sup>۴</sup> با استفاده از تابع عملکرد ایمنی (SPF)<sup>۵</sup> است که منجر به حذف اثر خطای رگرسیون به میانگین می‌شود. عامل اصلی شامل شعاع قوس است که تاثیر این عامل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲- پیشینه تحقیق

شعاع قوس به عنوان یک عامل اصلی در تحلیل فراوانی تصادفات در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. فیتزپاتریک و همکاران (Fitzpatrick et al., 2010) یک ضریب تعدیل تصادف مربوط به قوس‌های افقی را برای راه‌های چهارخطه جداشده و جدانشده برون‌شهری و بررسی هم‌زمان اثر تراکم دسترسی‌ها در محل این قوس‌ها را ارائه دادند. بنی‌هاشمی (Banihashemi, 2016) مطالعه اثر قوس افقی در راه‌های چندخطه برون‌شهری و ضرایب تعدیل تصادفات پیشنهادی را با هدف پیش‌بینی تصادفات برای هر دو بخش قوسی و مستقیم راه آرایه داد. در این مطالعه با استفاده از نسبت داده‌های مشاهده

## ۳- روش تحقیق

مقدار ضریب تعدیل تصادف به دست آمده است. داده‌های مرتبط با تصادفات برای سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ از پایگاه داده‌های پلیس راه اخذ شده و داده‌های مرتبط با ویژگی‌های محور و قوس افقی به صورت میدانی برداشت شده است. داده‌های مربوط به ویژگی‌های راه به منظور ایجاد مدل تابع عملکرد ایمنی برای داده‌های دو خطه و چهار خطه برون‌شهری استفاده می‌شود. این ویژگی‌ها با توجه به معیارهای ضروری برای ایجاد تابع عملکرد ایمنی که توسط راهنمای ایمنی راه تعریف شده است، برداشت می‌شود. این ویژگی‌ها عبارتند از تعداد خطوط عبور، میانگین

این پژوهش برای تخمین ضریب تعدیل تصادف برای شعاع قوس‌های افقی با استفاده از یک مطالعه مقطعی<sup>۶</sup> انجام شده و به طور خاص تاثیر افزایش یا کاهش شعاع قوس‌ها بر برآورد این ضریب بررسی قرار گرفته است. از رگرسیون دو جمله‌ای منفی برای توسعه توابع عملکرد ایمنی برای قوس‌های ایمن‌سازی شده و ایمن‌سازی نشده استفاده شده است. سپس با وزن‌دهی تصادفات مشاهده شده و پیش‌بینی شده با توجه به پارامتر بیش پراکندگی ( $k$ )، تصادفات مورد انتظار برای قوس‌های ایمن‌سازی شده و ایمن‌سازی نشده به دست آمده و از تقسیم آن‌ها بر هم

در این مطالعه ۲۰ محور راه که شامل ۱۵ محور دوخطه جدانشده برون‌شهری (جدول ۱) و ۵ محور چهارخطه جدا شده برون‌شهری (جدول ۲) بودند، انتخاب شدند. محدوده مطالعات مشاهداتی در ارزیابی میزان تاثیر اقدامات افزایش ایمنی، ثابت ماندن سایر شرایط راه است. به صورتی که تنها تغییر در سایت، خود اقدام اصلاحی مد نظر باشد. برای مثال، اجرای روکش مجدد راه شامل تغییرات در هندسه راه و یا شرایط دیگر نخواهد بود. همچنین قانون استفاده اجباری از کمربند ایمنی، بافت جمعیتی رانندگان، الگوی سفر، کارکرد وسیله نقلیه یا شبکه راه را تغییر نمی‌دهد. برای انجام مطالعه مقطعی، داده‌ها از مجموعه ای از محورها و یا نقاط مشابه و یا مقایسه که در همه آنها اقدام مورد نظر اجرا شده است، برداشت می‌شود. داده‌ها در محدوده زمانی مشخصی برداشت می‌شوند. در ابتدا بر اساس داده‌های به دست آمده ترافیکی از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور برای محورهای دوخطه استان قزوین و در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ و همچنین بازدید از محورهای مورد اشاره و برداشت‌های میدانی اقدام به تنظیم آمار مورد نیاز شد.

ترافیک روزانه، وجود یا عدم وجود میانه، عرض شانه، عرض خط، وجود یا عدم وجود سیستم روشنایی مناسب، شیب، بریلندی و وجود یا عدم وجود تجهیزات کنترل سرعت. باید یادآور شد که برای انجام مدل‌سازی صرفاً به فراوانی پرداخته و نوع یا شدت تصادف لحاظ نمی‌شود. منظور از ایمن‌سازی در این مطالعه، افزایش شعاع قوس می‌باشد. بر اساس رویکردی که ذکر شد، قطعات مورد بررسی در این مطالعه به دو دسته قطعات با شعاع قوس کمتر از ۱۵۰ متر (ایمن‌سازی نشده) و بیشتر از ۱۵۰ متر (ایمن‌سازی شده) دسته بندی شدند. متغیر تعداد تصادف به عنوان متغیر وابسته و متغیرهایی که در قبل ذکر شد به عنوان متغیرهای مستقل برای ایجاد مدل استفاده شده‌اند. متغیرهایی مانند وجود میانه، وجود روشنایی و وجود دوربین به عنوان متغیرهای دوتایی تعریف می‌شوند. مدل دوجمله‌ای منفی در تحلیل‌ها و مدل‌سازی‌هایی که متغیر وابسته آن تصادفات هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل با متغیرهای مستقلی که ذکر کردیم، پردازش می‌شود.

#### ۴- یافته‌های تحقیق

است. در راه‌های دوخطه ملاحظه می‌شود که با توجه به معیار  $p\text{-val ue}$  به دست آمده، مقادیر برآورد شده برای مقدار ثابت و حجم تردد معنادار نبوده و فقط متغیر شعاع قوس در مدل وارد شده است. لذا تابع نهایی عملکرد ایمنی برای محورهای دوخطه به صورت رابطه (۱) استخراج شده است.

$$SPF = e^{-0.004 \times Radius}$$

مدل وارد شده است. بدین ترتیب، مدل  $SPF$  نهایی برای قطعات راه در محورهای چهارخطه به شکل رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$SPF = 2.117 \times e^{-0.007 \times Radius}$$

همانطور که در بخش (۳) توضیح داده شد، داده‌های مربوط به قوس افقی به منظور ایجاد مدل تابع عملکرد ایمنی برای راه‌های دوخطه و چهارخطه برون‌شهری استفاده شده است. توابع عملکرد ایمنی به دست آمده با استفاده از متغیرهای حجم تردد و شعاع قوس افقی در مدل دوجمله‌ای منفی برای راه‌های دوخطه و چهارخطه به ترتیب در جدول‌های (۳) و (۴) نشان داده شده (۱)

در راه‌های چهارخطه نیز مشاهده می‌شود که متغیر حجم تردد معنادار نبوده و ضرایب مربوط به مقدار ثابت و شعاع قوس در

(۲)

جدول ۱. اطلاعات محورهای دوخطه و تعداد تصادفات و شعاع قوس‌های افقی

| نوع قوس        | شعاع قوس (متر) | تعداد تصادف | شماره قطعه | محور  |
|----------------|----------------|-------------|------------|---|
| ایمن‌سازی نشده | ۷۵             | ۳           | ۱          | رازمیان<br>حجم تردد روزانه=۳۱۰۰<br>(عرض خط=۳/۲ متر؛ عرض شانه=۱/۵ متر)               |
| ایمن‌سازی نشده | ۱۱۰            | ۲           | ۲          |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۱۲۵            | ۱           | ۳          |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۱۱۰            | ۲           | ۴          |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۱۵۰            | ۱           | ۵          |   |
| ایمن‌سازی شده  | ۱۸۰            | ۱           | ۶          |   |
| ایمن‌سازی شده  | ۲۵۰            | ۱           | ۷          | معلم کلایه<br>حجم تردد روزانه=۲۹۰۰<br>(عرض خط=۳/۲ متر؛ عرض شانه=۱ متر)              |
| ایمن‌سازی نشده | ۷۵             | ۳           | ۸          |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۳۰             | ۱۲          | ۹          |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۱۵۰            | ۱           | ۱۰         | فرعی بهرام آباد<br>حجم تردد روزانه=۲۴۰۰<br>(عرض خط=۳ متر؛ عرض شانه=۱ متر)           |
| ایمن‌سازی نشده | ۷۵             | ۲           | ۱۱         |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۱۱۰            | ۲           | ۱۲         |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۷۵             | ۲           | ۱۳         |   |
| ایمن‌سازی شده  | ۲۵۰            | ۲           | ۱۴         | کمال آباد<br>حجم تردد روزانه=۳۷۰۰<br>(عرض خط=۳ متر؛ عرض شانه=۱ متر)                 |
| ایمن‌سازی شده  | ۲۰۰            | ۳           | ۱۵         |   |
| ایمن‌سازی شده  | ۲۶۵            | ۲           | ۱۶         |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۱۵۰            | ۱۰          | ۱۷         | محور بویین زهرا به ساوه<br>حجم تردد روزانه=۳۲۰۰<br>(عرض خط=۳/۲ متر؛ عرض شانه=۲ متر) |
| ایمن‌سازی شده  | ۳۲۰            | ۲           | ۱۸         |   |
| ایمن‌سازی شده  | ۱۶۰            | ۱۰          | ۱۹         |   |
| ایمن‌سازی شده  | ۲۱۰            | ۷           | ۲۰         |   |
| ایمن‌سازی شده  | ۳۵۰            | ۲           | ۲۲         | تاکستان - ضیاآباد<br>حجم تردد روزانه=۳۰۰۰<br>(عرض خط=۳/۵ متر؛ عرض شانه=۲ متر)       |
| ایمن‌سازی شده  | ۲۵۰            | ۱           | ۲۳         | حصار ولیعصر<br>حجم تردد روزانه=۲۲۰۰<br>(عرض خط=۳ متر؛ عرض شانه=۱ متر)               |
| ایمن‌سازی شده  | ۲۰۰            | ۳           | ۲۴         | ضیاآباد - خرم‌دشت<br>حجم تردد روزانه=۲۶۵۰<br>(عرض خط=۳/۲ متر؛ عرض شانه=۲ متر)       |
| ایمن‌سازی شده  | ۱۶۵            | ۱           | ۲۵         | طالقان<br>حجم تردد روزانه=۴۲۰۰<br>(عرض خط=۳/۵ متر؛ عرض شانه=۲/۲ متر)                |
| ایمن‌سازی نشده | ۵۰             | ۵           | ۲۶         |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۴۰             | ۸           | ۲۷         |   |
| ایمن‌سازی نشده | ۳۰             | ۱۴          | ۲۸         |   |

جدول ۲. اطلاعات محورهای چهارخطه و تعداد تصادفات و شعاع قوس‌های افقی

| محور   | شماره قطعه  | تعداد تصادفات | شعاع قوس (متر) | نوع قوس        |
|--|---|---------------|----------------|----------------|
| قزوین - لوشان<br>حجم تردد روزانه=۷۷۰۰<br>(عرض خط=۳/۶ متر؛ عرض شانه=۲ متر)            | ۱   | ۶             | ۲۰۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۲   | ۸             | ۱۵۰            | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۳   | ۵             | ۲۳۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۴   | ۱۱            | ۱۲۰            | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۵   | ۴             | ۲۵۰            | ایمن‌سازی شده  |
| الموت<br>حجم تردد روزانه=۵۵۰۰<br>(عرض خط=۳/۲ متر؛ عرض شانه=۲ متر)                    | ۶   | ۱۲            | ۶۵             | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۷   | ۳             | ۱۵۰            | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۸   | ۳             | ۱۵۰            | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۹   | ۸             | ۷۵             | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۱۰  | ۸             | ۶۰             | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۱۱  | ۱             | ۲۰۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۱۲  | ۳             | ۱۱۰            | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۱۳  | ۸             | ۷۵             | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۱۴  | ۲             | ۱۸۵            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۱۵  | ۱             | ۲۰۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۱۶  | ۲             | ۱۲۰            | ایمن‌سازی نشده |
|  | ۱۷  | ۲             | ۱۷۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | قزوین - تاکستان<br>حجم تردد روزانه=۳۴۰۰<br>(عرض خط=۳/۵ متر؛ عرض شانه=۲ متر) | ۱۸            | ۳              | ۳۰۰            |
| ۱۹   |   | ۲             | ۳۵۰            | ایمن‌سازی شده  |
| ۲۰   |   | ۴             | ۲۵۰            | ایمن‌سازی شده  |
| ۲۱   |   | ۵             | ۲۰۰            | ایمن‌سازی شده  |
| ۲۲   |   | ۲             | ۲۹۰            | ایمن‌سازی شده  |
| ۲۳   |   | ۱۶            | ۱۱۰            | ایمن‌سازی نشده |
| محور بویین‌زهرا به قزوین<br>حجم تردد روزانه=۳۴۰۰<br>(عرض خط=۳/۴ متر؛ عرض شانه=۲ متر) | ۲۴  | ۳             | ۳۵۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۲۵  | ۷             | ۱۷۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۲۶  | ۱۶            | ۱۱۰            | ایمن‌سازی نشده |
| تاکستان - آوج<br>حجم تردد روزانه=۳۴۰۰<br>(عرض خط=۳/۵ متر؛ عرض شانه=۲ متر)            | ۲۷  | ۱             | ۲۵۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۲۸  | ۲             | ۲۰۰            | ایمن‌سازی شده  |
|  | ۲۹  | ۱             | ۲۸۵            | ایمن‌سازی شده  |

جدول ۳. تعیین ضرایب مدل دوجمله‌ای منفی برای تابع SPF در راه‌های دوخطه مورد مطالعه

| آزمون فرض |               | فاصله اطمینان ۹۵٪       |                         | خطای استاندارد | $\beta$ | متغیر      |
|-----------|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------|---------|------------|
| Sig.      | Wald $\chi^2$ | بالا                    | پایین                   |                |         |            |
| ۰/۷۷۵     | ۰/۰۸۲         | ۱/۹۹۸                   | -۱/۴۸۹                  | ۰/۸۸۹۵         | ۰/۲۵۵   | مقدار ثابت |
| ۰/۰۴۶     | ۳/۹۸۳         | $-۷/۱۱۶ \times ۱۰^{-۵}$ | -۰/۰۰۸                  | ۰/۰۰۲۰         | -۰/۰۰۴  | شعاع قوس   |
| ۰/۰۹۱     | ۲/۸۴۹         | ۰/۰۰۱                   | $-۸/۰۲۷ \times ۱۰^{-۵}$ | ۰/۰۰۰۳         | ۰/۰۰۰   | حجم تردد   |

جدول ۴. تعیین ضرایب مدل دوجمله‌ای منفی برای تابع SPF در راه‌های چهارخطه مورد مطالعه

| آزمون فرض |               | فاصله اطمینان ۹۵٪ |                         | خطای استاندارد | $\beta$                 | متغیر      |
|-----------|---------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|------------|
| Sig.      | Wald $\chi^2$ | بالا              | پایین                   |                |                         |            |
| ۰/۰۰۴     | ۸/۴۳۸         | ۳/۵۴۶             | ۰/۶۸۹                   | ۰/۷۲۸۹         | ۲/۱۱۷                   | مقدار ثابت |
| ۰/۰۰۹     | ۶/۸۶۵         | -۰/۰۰۲            | -۰/۰۱۲                  | ۰/۰۰۲۶         | -۰/۰۰۷                  | شعاع قوس   |
| ۰/۳۲۵     | ۰/۹۶۸         | ۰/۰۰۰             | $-۹/۸۸۳ \times ۱۰^{-۵}$ | ۰/۰۰۰۱         | $-۹/۹۶۴ \times ۱۰^{-۵}$ | حجم تردد   |

#### ۴-۱- محورهای دوخطه دوطرفه

در این جدول، بهترین مدل رگرسیون تک‌متغیره‌ای که می‌توان برازش نمود، مدل درجه دو با مقدار ضریب تعیین  $R=۰/۲۲$  به شرح زیر است.

$$CMF = -1E-6Radius^2 + 0.0004Radius + 0.8567$$

با توجه به پایین بودن مقدار  $R^2$  به عنوان شاخص عملکرد مدل و همچنین استفاده از مطالعه مقطعی با در نظر گرفتن مقدار شعاع ۱۵۰ متر به عنوان مرز بین شعاع قوس ایمن و غیرایمن، می‌توان نسبت میانگین CMF قوس‌های ایمن (۱۵۰ متر  $\geq$ ) به غیرایمن (۱۵۰) را به عنوان ضریب CMF ایمن‌سازی قوس افقی در راه‌های دوخطه به شرح زیر در نظر گرفت.

به عبارت دیگر، تغییر شعاع قوس افقی در راه‌های دوخطه دوطرفه از زیر ۱۵۰ متر به بیشتر از ۱۵۰ متر فقط ۱/۵ درصد توانسته است به کاهش تصادف کمک کند.

$$CMFH_C = 0.872/0.885 = 0.985$$

به تنظیم آمار مورد نیاز شده است. مشابه با آنچه برای راه‌های دوخطه دوطرفه انجام شد، محاسبات مربوط به محورهای چهارخطه نیز بر اساس توضیحات داده شده انجام و نتایج در جدول (۶) نمایش داده شده است.

محاسبات مربوط به برآورد مقدار CMF در محورهای دوخطه دوطرفه بر اساس توضیحات داده شده در جدول (۵) نمایش داده شده است. بر اساس مشاهدات میانگین خطای به دست آمده از نتایج برابر با ۳/۷٪ بوده است. برای مقادیر CMF به دست آمده (۳)

لازم به توجه است که در این رابطه، مقدار ضریب CMF در مقدار شعاع ۱۵۰ متر به حداکثر خود می‌رسد. به عبارت دیگر برای مقادیر شعاع کمتر از ۱۵۰ متر، مقدار تابع CMF افزایشی می‌شود و این بدان معنا است که کاهش شعاع باعث ایمن‌تر شدن قوس شده است. این نتیجه را به طور ملموس می‌توان در راه‌های دوخطه دوطرفه مناطق کوهستانی، به شرط رعایت اصول یکدستی طرح هندسی راه، مشاهده نمود که قوس‌های تیزتر پشت سر هم به طور قابل توجهی بر کاهش سرعت و افزایش بیشتر دقت راننده تاثیر می‌گذارد.

#### ۴-۲- محورهای چهارخطه

در ابتدا بر اساس داده‌های ترافیکی به دست آمده از سازمان راه‌داری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور برای محورهای چهارخطه استان قزوین و در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ و همچنین بازدید از محورهای مورد اشاره و برداشت‌های میدانی اقدام

جدول ۵. برآورد مقادیر CMF در محورهای دوخطه

|    | R (m) | NSPF     | $\prod$ CMF(i) | Npred    | Nexp-1 | Nexp-2   | CMF      |
|----|-------|----------|----------------|----------|--------|----------|----------|
| ۱  | ۷۵    | ۰.۷۴۱۴۹۷ | ۱.۴۸           | ۱.۰۹۷۴۱۵ | ۳.۱۸   | ۲.۷۹۸۳۲۶ | ۰.۸۷۹۹۷۷ |
| ۲  | ۱۱۰   | ۰.۶۴۴۹۰۲ | ۱.۴۸           | ۰.۹۵۴۴۵۵ | ۲.۱۲   | ۱.۸۸۹۱۷۲ | ۰.۸۹۱۱۱۹ |
| ۳  | ۱۲۵   | ۰.۶۰۷۴۵۷ | ۱.۴۸           | ۰.۸۹۹۰۳۶ | ۱.۰۶   | ۰.۹۸۹۲۹۸ | ۰.۹۳۳۳   |
| ۴  | ۱۱۰   | ۰.۶۴۴۹۰۲ | ۱.۴۸           | ۰.۹۵۴۴۵۵ | ۲.۱۲   | ۱.۸۸۹۱۷۲ | ۰.۸۹۱۱۱۹ |
| ۵  | ۱۵۰   | ۰.۵۴۹۸۱۷ | ۱.۴۸           | ۰.۸۱۳۷۳  | ۱.۰۶   | ۰.۹۸۰۲۵۵ | ۰.۹۲۴۷۶۹ |
| ۶  | ۱۸۰   | ۰.۴۸۷۸۲۳ | ۱.۴۸           | ۰.۷۲۱۹۷۸ | ۱.۰۶   | ۰.۹۷۰۵۳  | ۰.۹۱۵۵۹۴ |
| ۷  | ۲۵۰   | ۰.۳۶۹۰۰۴ | ۱.۶۷           | ۰.۶۱۶۲۳۶ | ۱.۰۶   | ۰.۹۵۹۳۲۱ | ۰.۹۰۵۰۲  |
| ۸  | ۷۵    | ۰.۷۴۱۴۹۷ | ۱.۶۷           | ۱.۲۳۸۳   | ۳.۱۸   | ۲.۸۱۳۲۶  | ۰.۸۸۴۶۷۳ |
| ۹  | ۳۰    | ۰.۸۸۷۲۴۵ | ۱.۶۷           | ۱.۴۸۱۷   | ۱۲.۷۲  | ۱۰.۸۸۵۰۶ | ۰.۸۵۵۷۴۴ |
| ۱۰ | ۱۵۰   | ۰.۵۴۹۸۱۷ | ۱.۷۷           | ۰.۹۷۳۱۷۷ | ۱.۰۶   | ۰.۹۹۷۱۵۷ | ۰.۹۴۰۷۱۴ |
| ۱۱ | ۷۵    | ۰.۷۴۱۴۹۷ | ۱.۷۷           | ۱.۳۱۲۴۴۹ | ۲.۱۲   | ۱.۹۲۷۱۲  | ۰.۹۰۹۰۱۹ |
| ۱۲ | ۱۱۰   | ۰.۶۴۴۹۰۲ | ۱.۷۷           | ۱.۱۴۱۴۷۶ | ۲.۱۲   | ۱.۹۰۸۹۹۷ | ۰.۹۰۰۴۷  |
| ۱۳ | ۷۵    | ۰.۷۴۱۴۹۷ | ۱.۷۷           | ۱.۳۱۲۴۴۹ | ۲.۱۲   | ۱.۹۲۷۱۲  | ۰.۹۰۹۰۱۹ |
| ۱۴ | ۲۵۰   | ۰.۳۶۹۰۰۴ | ۱.۸۱           | ۰.۶۶۷۸۹۷ | ۲.۱۲   | ۱.۸۵۸۷۹۷ | ۰.۸۷۶۷۹۱ |
| ۱۵ | ۲۰۰   | ۰.۴۵۰۴۲۷ | ۱.۸۱           | ۰.۸۱۵۲۷۳ | ۳.۱۸   | ۲.۷۶۸۴۱۹ | ۰.۸۷۰۵۷۲ |
| ۱۶ | ۲۶۵   | ۰.۰۵۴۶۸۸ | ۱.۸۱           | ۰.۰۹۸۹۸۶ | ۲.۱۲   | ۱.۷۹۸۴۹۳ | ۰.۸۴۸۳۴۶ |
| ۱۷ | ۱۵۰   | ۰.۱۹۳۰۱۹ | ۱.۳۸۶          | ۰.۲۶۷۵۲۵ | ۱.۰۶   | ۸.۹۶۸۳۵۸ | ۰.۸۴۶۰۷۲ |
| ۱۸ | ۳۲۰   | ۰.۰۲۹۹۱۹ | ۱.۳۸۶          | ۰.۰۴۱۴۶۸ | ۲.۱۲   | ۱.۷۹۲۳۹۶ | ۰.۸۴۵۵۴۷ |
| ۱۹ | ۱۶۰   | ۰.۱۷۲۹۷۱ | ۱.۳۸۶          | ۰.۲۳۹۷۳۸ | ۱.۰۶   | ۸.۹۶۵۴۱۲ | ۰.۸۴۵۷۹۴ |
| ۲۰ | ۲۱۰   | ۰.۰۹۹۹۶۳ | ۱.۳۸۶          | ۰.۱۳۸۵۴۹ | ۷.۴۲   | ۶.۲۷۲۶۸۶ | ۰.۸۴۵۳۷۶ |
| ۲۲ | ۳۵۰   | ۰.۰۲۱۵۳۱ | ۱.۱۸           | ۰.۰۲۵۴۰۷ | ۲.۱۲   | ۱.۷۹۰۶۹۳ | ۰.۸۴۴۶۶۷ |
| ۲۳ | ۲۵۰   | ۰.۰۶۴۴۶۷ | ۱.۶۵           | ۰.۱۰۶۳۷  | ۱.۰۶   | ۰.۹۰۵۲۷۵ | ۰.۸۵۴۰۳۳ |
| ۲۴ | ۲۰۰   | ۰.۱۱۱۵۵  | ۱.۴            | ۰.۱۵۶۱۶۹ | ۳.۱۸   | ۲.۶۹۸۵۵۴ | ۰.۸۴۸۶۰۲ |
| ۲۵ | ۱۶۵   | ۰.۱۶۳۷۴۲ | ۱.۱۹           | ۰.۱۹۴۸۵۳ | ۱.۰۶   | ۰.۹۱۴۶۵۴ | ۰.۸۶۲۸۸۲ |
| ۲۶ | ۵۰    | ۰.۵۷۷۹۱۹ | ۱.۱۹           | ۰.۶۸۷۷۲۴ | ۵.۳    | ۴.۵۴۲۸۹۹ | ۰.۸۵۷۱۵۱ |
| ۲۷ | ۴۰    | ۰.۶۴۴۹۰۲ | ۱.۱۹           | ۰.۷۶۷۴۳۳ | ۸.۴۸   | ۷.۲۳۳۳۴۸ | ۰.۸۵۲۹۸۹ |
| ۲۸ | ۳۰    | ۰.۷۱۹۶۴۸ | ۱.۱۹           | ۰.۸۵۶۳۸۱ | ۱۴.۸۴  | ۱۲.۶۰۶۷۸ | ۰.۸۴۹۵۱۳ |

جدول ۶. محاسبات تعیین CMF مربوط به محورهای چهارخطه

|    | R   | NSPF     | $\prod$ CMF(i) | Npred    | N exp-1 | Nexp- 2 | CMF      |
|----|-----|----------|----------------|----------|---------|---------|----------|
| ۱  | ۲۵۰ | ۰.۳۶۹۸۴۹ | ۰.۹            | ۰.۳۳۲۸۶۴ | ۱.۰۵    | ۰.۹۴    | ۰.۸۹۳۹۲۷ |
| ۲  | ۲۰۰ | ۰.۱۸۴۰۵۴ | ۱.۰۳۷          | ۰.۱۹۰۸۶۴ | ۳.۱۵    | ۲.۷۴    | ۰.۸۷۰۳۳۶ |
| ۳  | ۲۸۵ | ۰.۲۶۰۹۰۷ | ۰.۹            | ۰.۲۳۴۸۱۶ | ۳.۱۵    | ۲.۷۵    | ۰.۸۷۱۶۲  |
| ۴  | ۳۵۰ | ۱.۳۴۴۹۹۲ | ۱.۲۵           | ۱.۶۸۱۲۴۱ | ۱۲.۶    | ۱۱.۰۵   | ۰.۸۷۷۰۳۸ |
| ۵  | ۱۷۰ | ۰.۵۲۴۲۸۱ | ۰.۹۴           | ۰.۴۹۲۸۲۴ | ۶.۳     | ۵.۴۹    | ۰.۸۷۱۹۵۹ |
| ۶  | ۱۱۰ | ۰.۵۲۴۲۸۱ | ۱.۰۱۷          | ۰.۵۳۳۱۹۳ | ۲.۱     | ۱.۸۷    | ۰.۸۸۱۱۲۱ |
| ۷  | ۳۰۰ | ۰.۲۸۹۶۹۹ | ۱.۰۱۷          | ۰.۲۹۴۶۶۴ | ۱.۰۵    | ۰.۹۴    | ۰.۸۹۰۵۷۷ |
| ۸  | ۳۵۰ | ۰.۶۴۶۳۷۹ | ۱.۰۳۷          | ۰.۶۷۰۲۹۵ | ۷.۳۵    | ۶.۴۲    | ۰.۸۷۳۱۵۲ |
| ۹  | ۲۵۰ | ۰.۹۸۲۵۰۴ | ۱.۰۳۷          | ۱.۰۱۸۸۵۷ | ۱۶.۸    | ۱۴.۶۲   | ۰.۸۷۰۳۴۱ |
| ۱۰ | ۲۰۰ | ۰.۱۸۴۰۵۴ | ۰.۹            | ۰.۱۶۵۶۴۹ | ۲.۱     | ۱.۸۳    | ۰.۸۷۲۰۱۹ |
| ۱۱ | ۲۹۰ | ۰.۳۶۹۸۴۹ | ۰.۹            | ۰.۳۳۲۸۶۴ | ۴.۲     | ۳.۶۶    | ۰.۸۷۲۰۵۳ |
| ۱۲ | ۱۱۰ | ۰.۵۲۴۲۸۱ | ۰.۹            | ۰.۴۷۱۸۵۳ | ۵.۲۵    | ۴.۵۸    | ۰.۸۷۳۰۳۱ |
| ۱۳ | ۶۵  | ۰.۲۷۹۷۶۵ | ۰.۹            | ۰.۲۵۱۷۸۸ | ۲.۱     | ۱.۸۴    | ۰.۸۷۵۷۹۳ |
| ۱۴ | ۱۵۰ | ۰.۹۸۲۵۰۴ | ۰.۹            | ۰.۸۸۴۲۵۴ | ۱۶.۸    | ۱۴.۶۱   | ۰.۸۶۹۶۰۴ |
| ۱۵ | ۱۵۰ | ۰.۷۴۳۱۹۶ | ۱.۲۵           | ۰.۹۲۸۹۹۴ | ۳.۱۵    | ۲.۸۱    | ۰.۸۹۱۸۹۴ |
| ۱۶ | ۷۵  | ۰.۷۴۳۱۹۶ | ۱.۲۵           | ۰.۹۲۸۹۹۴ | ۳.۱۵    | ۲.۸۱    | ۰.۸۹۱۸۹۴ |
| ۱۷ | ۶۰  | ۱.۲۵۴۳۳۱ | ۱.۲۵           | ۱.۵۶۷۹۱۳ | ۸.۴     | ۷.۴۱    | ۰.۸۸۱۹۳۴ |
| ۱۸ | ۲۰۰ | ۱.۳۹۲۷۵۲ | ۱.۲۵           | ۱.۷۴۰۹۴  | ۸.۴     | ۷.۴۲    | ۰.۸۸۳۸۲۹ |
| ۱۹ | ۱۱۰ | ۰.۵۲۴۲۸۱ | ۱.۲۵           | ۰.۶۵۵۳۵۱ | ۱.۰۵    | ۰.۹۷    | ۰.۹۲۲۱۸۳ |
| ۲۰ | ۷۵  | ۰.۹۸۲۵۰۴ | ۱.۲۵           | ۱.۲۲۸۱۳۱ | ۳.۱۵    | ۲.۸۴    | ۰.۹۰۰۶۳۱ |
| ۲۱ | ۱۸۵ | ۱.۲۵۴۳۳۱ | ۱.۲۵           | ۱.۵۶۷۹۱۳ | ۸.۴     | ۷.۴۱    | ۰.۸۸۱۹۳۴ |
| ۲۲ | ۲۰۰ | ۰.۵۸۲۱۳۸ | ۱.۲۵           | ۰.۷۲۷۶۷۲ | ۲.۱     | ۱.۸۸    | ۰.۸۹۶۶۴۱ |
| ۲۳ | ۱۲۰ | ۰.۵۲۴۲۸۱ | ۱.۲۵           | ۰.۶۵۵۳۵۱ | ۱.۰۵    | ۰.۹۷    | ۰.۹۲۲۱۸۳ |
| ۲۴ | ۱۷۰ | ۰.۹۱۶۲۷۷ | ۱.۲۵           | ۱.۱۴۵۳۴۶ | ۲.۱     | ۱.۹۲    | ۰.۹۱۴۹۳۹ |
| ۲۵ | ۲۰۰ | ۰.۶۴۶۳۷۹ | ۱.۲۵           | ۰.۸۰۷۹۷۴ | ۲.۱     | ۱.۸۹    | ۰.۹۰۰۱۵۹ |
| ۲۶ | ۱۵۰ | ۰.۷۴۳۱۹۶ | ۰.۹۴           | ۰.۶۹۸۶۰۴ | ۸.۴     | ۷.۳۳    | ۰.۸۷۲۴۱۳ |
| ۲۷ | ۲۳۰ | ۰.۴۲۵۲۴۶ | ۰.۹۴           | ۰.۳۹۹۷۳۱ | ۵.۲۵    | ۴.۵۸    | ۰.۸۷۱۷۶۷ |
| ۲۸ | ۱۲۰ | ۰.۹۱۶۲۷۷ | ۰.۹۴           | ۰.۸۶۱۳   | ۱۱.۵۵   | ۱۰.۰۷   | ۰.۸۷۱۶۲۳ |
| ۲۹ | ۲۵۰ | ۰.۳۶۹۸۴۹ | ۰.۹۴           | ۰.۳۴۷۶۵۸ | ۴.۲     | ۳.۶۶    | ۰.۸۷۲۳۷۷ |

نمود، مدل خطی با مقدار ضریب تعیین  $R=0.1$  به شرح زیر است.

$$CMF = -0.00032 \text{Radius} + 0.9344$$

قوس‌های ایمن (۱۵۰ متر  $\geq$ ) به غیرایمن (۱۵۰ <) را به عنوان ضریب  $CMF$  ایمن‌سازی قوس افقی در راه‌های چهارخطه به شرح زیر در نظر گرفت. ملاحظه می‌شود تغییر شعاع قوس افقی در راه‌های چهارخطه نیز از زیر ۱۵۰ متر به بیشتر از ۱۵۰ متر فقط ۱/۲ درصد توانسته است به کاهش تصادف کمک کند.

$$CMF_{HC} = 0.881/0.892 = 0.988$$

بر اساس مشاهدات میانگین خطای به دست آمده از نتایج برابر با ۲/۷٪ بوده است. برای مقادیر  $CMF$  به دست آمده در این جدول، بهترین مدل رگرسیون تک‌متغیره‌ای که می‌توان برازش (۳)

این رابطه خطی نزولی به خوبی نشان دهنده کاهش ضریب  $CMF$  و پتانسیل تصادف با افزایش شعاع قوس افقی در محورهای چهارخطه می‌باشد. با توجه به پایین بودن مقدار  $R^2$  به عنوان شاخص عملکرد مدل و همچنین استفاده از مطالعه مقطعی با در نظر گرفتن مقدار شعاع ۱۵۰ متر به عنوان مرز بین شعاع قوس ایمن و غیرایمن، می‌توان نسبت میانگین  $CMF$

## ۵- نتیجه‌گیری

شعاع قوس افقی می‌باشد. پیشنهاد می‌شود بررسی موضوع تحقیق در سایر استان‌های کشور و مقایسه با نتایج به دست آمده در این پژوهش انجام شود.

برای هر نوع اقدام ایمن‌سازی و یا مجموعه‌ای از آنها لازم است که ضرایب تعدیل تصادف به صورت منفرد و یا ترکیبی به عنوان اصلی‌ترین معیار انتخاب راهکارهای ایمن‌سازی مورد استفاده قرار گرفته و در کنار آن از نرخ فایده به هزینه به عنوان یک معیار تکمیلی استفاده شود. با توجه به محدودیت مدل مورد استفاده در این تحقیق موکداً توصیه می‌شود که توان تحلیل مدل با اضافه کردن جوانب هندسی، محیطی، و عملیاتی دیگر (مانند سیستم‌های هوشمند و تجهیزات ایمنی) گسترش یابد. برای این منظور لازم است طیف وسیعی از مطالعات در مورد مدل‌های پیش‌بینی تصادفات مورد استفاده قرار گرفته و ضرایب تعدیل تصادف برای آنها ارائه شود. لازم به ذکر است گسترش مدل و تحقیق در زمینه مطالعات انجام شده در این مقاله، بدون شک به توسعه کیفی پایگاه‌های اطلاعات تصادف نیاز دارد تا براساس آن بتوان فرآیند اصولی غربالگری شبکه راه و معرفی شاخص‌های عملکردی را پیاده کرد.

بهبود مشخصات قوس‌های افقی مانند افزایش شعاع قوس می‌تواند بر روی کاهش تعداد تصادفات تأثیرگذار باشد. در این پژوهش تصادفات در محل قوس‌های تیز برای راه‌های کوهستانی و تپه‌ماهوری چهارخطه و دوخطه برون‌شهری استان قزوین در سال‌های ۹۳ تا ۹۵ بررسی گردیده است. از رگرسیون دو جمله‌ای منفی برای توسعه توابع عملکرد ایمنی استفاده شده است. سپس با وزن‌دهی تصادفات مشاهده شده و پیش‌بینی شده با توجه به پارامتر بیش پراکندگی ( $K$ )، تصادفات مورد انتظار برای قوس‌های ایمن‌سازی شده و ایمن‌سازی نشده به دست آمده و از تقسیم آن‌ها بر هم مقدار ضریب تعدیل تصادف به دست آمده است. در راه‌های دوخطه، برای مقادیر شعاع کمتر از ۱۵۰ متر، مقدار تابع ضریب تعدیل تصادف افزایشی می‌شود و این بدان معنا است که کاهش شعاع باعث ایمن‌تر شدن قوس شده است. این نتیجه را به طور ملموس می‌توان در راه‌های دوخطه دوطرفه مناطق کوهستانی، به شرط رعایت اصول یکدستی طرح هندسی راه، مشاهده نمود که قوس‌های تیزتر پشت سر هم به طور قابل توجهی بر کاهش سرعت و افزایش بیشتر دقت راننده تأثیر می‌گذارد. رابطه خطی نزولی در محورهای چهارخطه نشان دهنده کاهش ضریب تعدیل تصادف و پتانسیل تصادف با افزایش

1. Crash Modification Factor
2. Observational Cross-Section Study
3. Negative Binomial
4. Empirical Bayesian
5. Safety Performance Function
6. Highway Safety Manual
7. Skid Number
8. Open-Source
9. Cross-Sectional Study

- four-lane highways in Texas. *Journal of Transportation Engineering*, 136(9), 827-835.
- Geedipally, S.R., Pratt, M.P. and Lord, D., (2019). Effects of geometry and pavement friction on horizontal curve crash frequency. *Journal of Transportation Safety & Security*, 11(2), 167-188.
- Gross, F., Persaud, B. N., & Lyon, C. (2010). A guide to developing quality crash modification factors (No. FHWA-SA-10-032). United States. Federal Highway Administration. *Office of Safety*.
- Harwood, D. W., Council, F. M., Hauer, E., Hughes, W. E., & Vogt, A. J. B. T. (2000). Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways (No. FHWA-RD-99-207, MRI 4584-09, Technical Report). United States. *Federal Highway Administration*.
- Hauer, E., Bonneson, J.A., Council, F., Srinivasan, R. and Zegeer, C., 2012. Crash modification factors: foundational issues. *Transportation Research Record*, 2279(1), 67-74.
- Ma, Q., Yang, H., Wang, Z., Xie, K. and Yang, D., 2020. Modeling crash risk of horizontal curves using large-scale auto-extracted roadway geometry data. *Accident Analysis & Prevention*, 144, 105669.
- National Research Council (US). Transportation Research Board. Task Force on Development of the Highway Safety Manual, & Transportation Officials. Joint Task Force on the Highway Safety Manual. (2010). *Highway Safety Manual* (Vol. 1). AASHTO.
- Wu, L., Lord, D., & Geedipally, S. R. (2017). Developing crash modification factors for horizontal curves on rural two-lane undivided highways using a cross-sectional study. *Transportation Research Record*, 2636(1), 53-61.
- Al-Marafi, M. N., & Somasundaraswaran, K. (2023). A review of the state-of-the-art methods in estimating crash modification factor (CMF). *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 20, 100839.
- Anna, V. B. K., & Chunchu, M. (2023). Determinants of speed variability on the horizontal curves of two-lane undivided rural highways passing through mountainous terrain. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 30(4), 652-665.
- Banihashemi, M. (2016). Effect of horizontal curves on urban arterial crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 20-26.
- Bonneson, J. A. (2000). Kinematic approach to horizontal curve transition design. *Transportation Research Record*, 1737(1), 1-8.
- Cafiso, S., Montella, A., D'Agostino, C., Mauriello, F. and Galante, F., 2021. Crash modification functions for pavement surface condition and geometric design indicators. *Accident Analysis & Prevention*, 149, p.105887.
- Carter, D., Srinivasan, R., Gross, F., & Council, F. (2012). Recommended protocols for developing crash modification factors. *Final Report NCHRP*, 2027(314).
- Choi, Y. H., Park, S. H., Ko, H., Kim, K. H., & Yun, I. (2018). Development of safety performance functions and crash modification factors for expressway ramps. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 804-812.
- Findley, D. J., Hummer, J. E., Rasdorf, W., Zegeer, C. V., & Fowler, T. J. (2012). Modeling the impact of spatial relationships on horizontal curve safety. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 296-304.
- Fitzpatrick, K., Lord, D., & Park, B. J. (2010). Horizontal curve accident modification factor with consideration of driveway density on rural

# Effectiveness Evaluation of the Safety Improvement of Sharp Horizontal Curves in Mountainous and Rolling Rural Roads

*Hamid Reza Behnood, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Soheil Saadatifard, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*E-mail: hr.behnood@gmail.com*

Received: January 2025- Accepted: April 2025

## **ABSTRACT**

Horizontal curves are one of the most dangerous parts of the road. The main goal of this research is to investigate the effect of curve radius as the most important factor affecting the frequency of crashes. In this regard, the crash modification factor (CMF) will be obtained as a basic criterion in the analysis of crash prediction models for horizontal curves as a function of its radius. Improving the characteristics of horizontal curves, such as increasing the radius of the curve, can have an effect on reducing the number of crashes. In this research, the crashes at sharp curves for four-lane and two-lane suburban mountain and rolling roads in Qazvin province in the years 2014 to 2016 have been investigated. Negative binomial regression has been used to develop safety performance functions for improved and non-improved curves. Then, by weighting the observed and predicted crashes according to the over dispersion parameter, the expected crashes for improved and non-improved curves were obtained and by dividing them by the same value, the CMF coefficient was obtained. In two-lane roads, for radius values less than 150 meters, the value of the CMF function increases, and this means that reducing the radius has made the curve safer. This result can be concretely observed in two-lane roads in mountainous areas, provided that the principles of uniformity of the geometric design of the road are observed, that sharper curves in a row significantly reduce the speed and increase the accuracy of the driver. The downward linear relationship in the four-line roadways shows the decrease of the CMF coefficient and the crash potential with the increase of the horizontal curve radius.

**Keywords:** Horizontal Curve, Crash Modification Factor, Crash Predictive Model, Negative Binomial