

## مدل سازی سرعت عملکردی و ارائه راهکار اقتصادی به منظور افزایش

### ایمنی در قوس های افقی

(مطالعه موردی: محور مشهد - تربت حیدریه)

حسین ساعدی<sup>۱</sup>، حسن دیوانداری<sup>۲</sup>

از صفحه ۶۷ تا ۹۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۳

#### چکیده

**زمینه و هدف:** تصادفات جاده‌ای همواره یکی از عوامل مهم خسارات جانی و مالی بوده است. با توجه به اینکه تصادفات در جاده‌های برون شهری صدمات شدیدتری نسبت به جاده‌های درون شهری دارند، ارائه روشی مناسب به منظور افزایش ایمنی در قوس‌ها، کمک بزرگی برای کاهش این خسارات می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی و شناسایی قوس‌های افقی با ایمنی کم و ارائه روشی مناسب به منظور افزایش ایمنی با استفاده از معادله پیش‌بینی سرعت عملکردی می‌باشد. استفاده از معادله سرعت عملکردی به منظور افزایش ایمنی در عناصر مختلف جاده از جمله قوس‌های افقی می‌تواند روشی مطمئن برای بهبود ایمنی در جاده‌ها باشد.

**روش:** مؤلفه‌های هندسی قوس‌های افقی که توسط دوربین نقشه‌برداری در محل برداشت شده است، به عنوان متغیرهای مستقل و سرعت عملکردی وسایل نقلیه که توسط دوربین سرعت‌سنج اندازه‌گیری شده است، به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند.

**یافته‌ها:** در این پژوهش، تعداد ۲۲ قوس افقی در محور مشهد - تربت حیدریه مورد بررسی قرار گرفت که در هر قوس تعداد ۱۰۰ سرعت از وسایل نقلیه برداشت شده است. از بین این قوس‌ها، ۱۴ قوس دارای سازگاری خوب، ۸ قوس دارای سازگاری متوسط بودند و هیچ‌یک از قوس‌ها سازگاری ضعیفی نداشتند. پس از تحلیل داده‌ها، مدل نهایی سرعت عملکردی ارائه و ایمن سازی قوس‌ها به وسیله آن انجام شد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج و مدل خروجی حاصل از تحلیل داده‌ها، تغییر در مؤلفه شعاع قوس افقی برای قوس‌ها با ایمنی کم می‌تواند روشی مناسب برای افزایش ایمنی در این نقاط باشد. در نهایت، بررسی اقتصادی ایمن سازی بر اساس فهرست‌بهای راه و باند ۱۳۹۴ محاسبه شده است.

**کلیدواژه‌ها:** سازگاری طرح هندسی، ایمنی، سرعت عملکردی، قوس افقی، مؤلفه‌های هندسی.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد راه‌وتراپری، دانشگاه علاءالدوله سمنانی، گرمسار، ایران

۲. گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نوشهر، ایران، (نویسنده مسئول)، Divandari@iauns.ac.ir

## مقدمه

تصادفات جاده‌ای، یکی از مهم‌ترین عوامل مهم مرگ‌ومیر در کشور بوده است که صدمات شدید جانی و مالی و آثار سوء و سنگین اجتماعی و اقتصادی آن، جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین تصادفات جاده‌ای، مهم‌ترین عامل ایجاد مصدومیت در جهان بوده و یافته‌های سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که ۲۵ درصد تلفات ناشی از مصدومیت‌ها در سطح جهان، ناشی از مصدومیت‌های جاده‌ای می‌باشد (احدی و اعتمادزاده، ۱۳۹۲). بر اساس آمارهای رسمی، سالیانه ۸۰۰ هزار نفر در راه‌های سراسر جهان کشته می‌شوند. پیش‌بینی شده است که تصادفات جاده‌ای تا سال ۲۰۲۰ میلادی در میان عوامل مختلف مرگ‌ومیر و معلولیت، به ترتیب رده دوم و سوم را از نظر شاخص تعداد سال‌های ازدست‌رفته زندگی و تعداد سال‌های زندگی به‌همراه معلولیت، به خود اختصاص می‌دهد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۱). این آمارها در حالی است که سالانه بین ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر در جاده‌ها دچار مصدومیت و جراحت می‌شوند (تورگروسا و همکاران، ۲۰۱۳).

در این بین، راه‌های برون‌شهری<sup>۱</sup> سهم زیادی از تصادفات فوتی و جرحی را به خود اختصاص می‌دهند. مطالعات نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد از تصادفات منجر به فوت و یا جراحت، در قوس‌ها اتفاق می‌افتد (لام و همکاران، ۱۹۹۲). تصادفات جاده‌ای به‌طور عمده از سه عنصر ترکیبی سیستم حمل‌ونقل حاصل می‌شوند؛ جاده، راننده و وسیله نقلیه. خطای رانندگان معمولاً اولین عامل وقوع حوادث است (الکساندر و همکاران، ۱۹۸۶). تغییرات ناگهانی در مؤلفه‌های هندسی جاده، سبب نگرانی راننده در حین رانندگی می‌شود. این مشکلات در نهایت سبب تغییر در سرعت راننده و برخورد و وقوع تصادف منجر می‌گردد (کرمس، ۱۹۹۷). در واقع این برخوردها زمانی به وقوع می‌پیوندد که راننده با تغییر مسیر ناگهانی در یک جاده

---

1. Rural Highway

مواجهه شود. بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده، تأکید فراوانی به رابطه بین سرعت و هندسه قوس دارند. از این رو یک طراحی خوب از هندسه قوس‌ها مستلزم هماهنگی میان سرعت رانندگان و مؤلفه‌های هندسی قوس می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین دلایل بروز خطاهای انسانی، وجود ناسازگاری بین شرایط مسیر و انتظارات راننده است. طرح سازگار، طرحی است که با انتظارات راننده مغایرت نداشته باشد. به عبارت دیگر، طراح در خلال طراحی مسیر، علاوه بر در نظر گرفتن کلیه معیارهای طراحی، انتظارات و تمایلات راننده را نیز برآورده سازد.

یکی از مهم‌ترین روش‌های به‌کاررفته برای بهبود ایمنی راه‌ها در سایر کشورها تاکنون، بررسی سازگاری طرح هندسی بوده است. در مسیرهایی که به‌طور سازگار با انتظارات رانندگان طراحی شده‌اند، بروز خطا در رفتار رانندگان کمتر به چشم می‌خورد. سطح سازگاری نیز در ارزیابی ایمنی بسیار مهم است، چراکه همواره بین سازگاری و ایمنی رابطه مستقیم برقرار است. تغییر ناگهانی در یکی از مشخصه‌های مسیر ممکن است موردانتظار راننده نبوده و در نهایت به حادثه منجر گردد. سطح سازگاری مورداطمینان، سطحی است که راننده در آن با خیال آسوده و سرعت موردنظر، به مسیر خود ادامه دهد (فیتزپاتریک، ۲۰۰۰). در بسیاری از کشورها استفاده از سرعت عملکردی ۲ به‌جای سرعت طرح و یا همراه با آن پیشنهاد شده است. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که برای رسیدن به سازگاری، سرعت طرح و سرعت عملکردی باید باهم مشابه باشند. طبق تعریف آیین‌نامه طرح هندسی بزرگراه‌ها (اشتو، ۲۰۰۱) سرعت عملکردی، سرعتی است که رانندگان در شرایط آزاد ترافیک، وسایل نقلیه خود را می‌رانند. با توجه به اجزای طرح و محل قرارگیری مسیر، غالباً هشتادوپنجمین درصد سرعت در منحنی توزیع سرعت، بیانگر سرعت عملکردی

1. Geometric Design Consistency

2. Operating Speed

می‌باشد. سازگاری طرح هندسی برای قوس‌های افقی به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شود؛ یکی برای قوس افقی تک و دیگری برای ترکیب اجزای پی‌درپی. نتایج ارزیابی به سه دسته خوب، متوسط و بد تقسیم‌بندی شده‌اند. جدول ۱ دسته‌بندی ارزیابی سازگاری طرح هندسی را نمایش می‌دهد.

**جدول ۱. ارزیابی سازگاری طرح هندسی (ژیانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ ژاکوب و همکاران، ۲۰۱۳)**

سازگاری	قوس افقی تک	ترکیب مماس و قوس
خوب	$ V_{85} - V_D  \leq 10 \frac{km}{h}$	$\Delta V_{85} \leq 10 \frac{km}{h}$
متوسط	$10 <  V_{85} - V_D  \leq 20 \frac{km}{h}$	$10 < \Delta V_{85} \leq 20 \frac{km}{h}$
بد	$ V_{85} - V_D  > 20 \frac{km}{h}$	$\Delta V_{85} > 20 \frac{km}{h}$

که در این جدول:

$V_{85}$ : سرعت عملکردی برحسب کیلومتر بر ساعت؛

$V_D$ : سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت؛

$\Delta V_{85}$ : اختلاف سرعت عملکردی بین دو عنصر متوالی از مسیر برحسب کیلومتر بر ساعت است.

با توجه به اینکه طراحی اجزای طرح هندسی بر اساس سرعت طرح می‌باشد، پژوهشگران چندین مشکل را بر این روش وارد کرده‌اند که عبارتند از:

۱. طراحی سرعتی را به عنوان سرعت طرح انتخاب و مشخصات هندسی راه را بر اساس آن تعیین می‌کند. پس از ساخت راه و در هنگام استفاده از آن، این رانندگان هستند که بر اساس انتظاری که مشخصات هندسی جاده برای آن‌ها تعیین می‌کنند، سرعت وسایل نقلیه خود را برمی‌گزینند.

۲. سرعت طرح برای محاسبه حداقل مقادیر اجزای طرح به کار رفته و حداقل شعاع قوس و حداقل فاصله دید را محاسبه می‌کند. اگرچه آیین‌نامه اشتو پیشنهاد می‌کند که مقادیر بیشتری از مقادیر حداقل به دست آمده به کار روند؛ اما لازم است این مسئله با

توجه کافی به محدودیت‌های طراحی و اجرایی موردنظر قرار گیرد.

۳. سرعت طرح برای طراحی قوس‌های افقی و قائم به کار می‌رود و مسیرهای منتهی به این قوس‌ها را در نظر نمی‌گیرند. اگر مسیر مستقیم به‌اندازه کافی طولانی باشد، این احتمال که راننده در انتهای مسیر به سرعتی بیش از سرعت طرح قوس و سرعت لازم برای عبور از قوس برسد، افزایش می‌یابد.

۴. در طرح جاده بر اساس سرعت طرح، مسیرهای افقی و قائم به طور جداگانه طراحی می‌شوند.

۵. همان‌طور که در موارد فوق بیان شد، طرح یک جاده بر اساس مقوله سرعت طرح، غیرواقع‌بینانه بوده و مطابق انتظارات راننده نیست.

مجموعه موارد ذکرشده باعث خواهد شد که تمایل زیادی درمورد مطالعه در خصوص نحوه انتخاب سرعت، توسط رانندگان با توجه به شرایط مسیر وجود داشته باشد (صفارزاده و زواره، ۱۳۸۴).

امروزه در کشورهای پیشرفته، از روش سازگاری طرح هندسی استفاده می‌شود. در کشور سوئیس، هر عنصر از مسیر باید دو شرط زیر را ارضا کند تا به‌عنوان طرح سازگار قلمداد شود (حسن‌پور و زهتابچی، ۱۳۹۵).

۱. حداکثر اختلاف سرعت در قوس افقی و بخش مستقیم ماقبل آن کمتر از ۵ کیلومتر بر ساعت باشد؛

۲. حداکثر اختلاف سرعت در دو قوس افقی متوالی بدون بخش مستقیم ۱۰ کیلومتر بر ساعت باشد.

این موارد باعث می‌شود تا تمامی قوس‌های افقی از لحاظ ایمنی ارزیابی شوند.

موارد ذکرشده نشان می‌دهد که امروزه سازگاری طرح هندسی می‌تواند به‌عنوان درجه‌ای از ایمنی مسیرها استفاده گردد. امروزه ارزیابی ایمنی در قوس‌های افقی به روش سازگاری طرح هندسی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود،

مهم‌ترین نکته‌ای که به آن پرداخته نشده است، چگونگی افزایش ایمنی با استفاده از معادله سرعت عملکردی می‌باشد. در پژوهش پیش‌رو، روش افزایش ایمنی با استفاده از معادله سرعت عملکردی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت ایمن‌سازی قوس‌ها با استفاده از این روش انجام شده است.

### پیشینه پژوهش

در کشور ایتالیا، دانشمندان با آزمون شبیه‌سازی رانندگی در دانشگاه رم به بررسی مدل پیش‌بینی سرعت عملکردی پرداختند. در این آزمون، رانندگان باید شرایط خاصی از جمله تجربه رانندگی را دارا می‌بودند. ۱۰ کیلومتر از جاده‌های با ایمنی کم به عنوان مسیر انتخابی، شبیه‌سازی شده بود؛ این مسیر دارای ۳۹ قوس افقی بود که نتایج حاصل از پیش‌بینی سرعت عملکردی بر روی این قوس‌ها به صورت زیر ارائه شده است (ابوطالبی و صدرانی، ۱۳۹۴).

$$V_{85} = 76.389 - \frac{540.370}{R} - 0.149DF \quad ; \quad (R^2=0.75) \quad (\text{معادله ۱})$$

که در این معادله:

R، شعاع قوس افقی بر حسب متر و DF، زاویه انحراف قوس بر حسب درجه است. نصیری و همکارانش در سال ۱۳۹۱، پژوهشی تحت عنوان «سازگاری طرح هندسی در جاده‌های دوخطه برون‌شهری» را انجام دادند. در این پژوهش، ۱۴۷ نقطه از مسیرهای دوخطه استان مازندران مورد مطالعه قرار گرفت. در این میان، تعداد ۴۰ نقطه دارای سازگاری مناسب، ۷۶ نقطه دارای سازگاری متوسط و ۵۸ نقطه دارای سازگاری ضعیف بودند. پس از تحلیل داده‌ها در این پژوهش، متغیرهای شیب طولی در بخش مستقیم مسیر و متغیرهای طول قوس افقی و شعاع در بخش قوس‌های افقی، به عنوان عوامل مؤثر بر سرعت عملکردی مشخص شدند. مدل نهایی سرعت

عملکردی در قوس‌های افقی به صورت زیر ارائه شده است.

$$V_{85} = 102.609 + 2.36G + 0.363L - 463.858 \frac{1}{\sqrt{R}} \quad ; \quad (R^2=0.919) \quad (2)$$

که در این معادله:

$V_{85}$ : سرعت عملکردی وسایل نقلیه در قوس افقی برحسب کیلومتر بر ساعت؛

G: شیب طولی مسیر برحسب درصد؛

R: شعاع قوس افقی برحسب متر و

L: طول قوس افقی برحسب متر است.

منجم و هدایت (۱۳۸۷) پژوهشی را تحت عنوان «پیش‌بینی سرعت عملکردی در قوس‌های ترکیبی قائم و افقی در جاده‌های دوخطه برون‌شهری جهت بهینه‌سازی طرح هندسی مسیر» انجام دادند. در این پژوهش بیش از ۳۰۰۰ برداشت سرعت از ۱۲ مکان انجام گرفته است. متغیر مؤثر بر سرعت عملکردی، شعاع قوس افقی بوده است. مدل پیش‌بینی سرعت عملکردی در میانه قوس افقی به صورت زیر ارائه شده است.

$$V_{85} = 90.86 - \frac{4098}{R} \quad ; \quad (R^2 = 0.836) \quad (3)$$

که در این معادله:

$V_{85}$ : سرعت عملکردی ۸۵ درصدی برحسب کیلومتر بر ساعت و R، شعاع قوس افقی برحسب متر است.

شالام و احمد (۲۰۱۶) در پژوهشی تحت عنوان «مدل‌سازی سرعت عملکردی قوس‌های افقی در راه‌های دوخطه» که بر روی ۱۰ قوس افقی انجام شد، به ارائه مدل پیش‌بینی سرعت عملکردی پرداختند. در این قوس‌ها، شعاع در بازه ۴۰ تا ۲۴۰ متر می‌باشد. کلیه مؤلفه‌های هندسی پس از برداشت به وسیله نرم‌افزار اتوکد ترسیم گردیدند. مدل‌های خروجی برای شروع قوس، میانه قوس و انتهای قوس به صورت

زیر استخراج گردیده‌اند.

$$V_{85} = 15.657 - \frac{163.697}{\sqrt{R}} + 0.245\Delta + 0.571SD \quad ; \quad (R^2=0.894) \quad \text{معادله (۴)، شروع قوس:}$$

$$V_{85} = 64.426 - \frac{250.765}{\sqrt{R}} + 0.040\Delta + 0.224SD \quad ; \quad (R^2=0.947) \quad \text{معادله (۵)، میانه قوس:}$$

$$V_{85} = 66.121 - \frac{200.428}{\sqrt{R}} + 0.023\Delta + 0.159SD \quad ; \quad (R^2=0.858) \quad \text{معادله (۶)، انتهای قوس:}$$

که در این معادلات:

R: شعاع قوس افقی برحسب متر؛

$\Delta$ : زاویه انحراف برحسب درجه؛

SD: فاصله دید برحسب متر است.

ابراهیم و همکارانش (۲۰۱۵) در پژوهشی دیگر تحت عنوان «ارائه یک مدل پروفیل سرعت در راه های دوخطه برون شهری» برای کشور مصر، ۳۲ قوس افقی را مطالعه کردند و در نهایت مدل های پیش بینی سرعت عملکردی را به صورت زیر ارائه نمودند.

$$V_{85} = 101.564 - \frac{3480.88}{R} \quad ; \quad (R^2=0.736) \quad \text{معادله (۷)، شروع قوس:}$$

$$V_{85} = 99.885 - \frac{3880.21}{R} \quad ; \quad (R^2=0.704) \quad \text{معادله (۸)، میانه قوس:}$$

$$V_{85} = 101.18 - \frac{3969.90}{R} \quad ; \quad (R^2=0.728) \quad \text{معادله (۹)، انتهای قوس:}$$

که در این معادلات، R شعاع قوس افقی برحسب متر است.

ژاکوب و همکارانش (۲۰۱۳) پژوهشی تحت عنوان سازگاری طرح هندسی در قوس های افقی متعدد برای راه های دوخطه برون شهری با هدف توسعه مدل های پیش بینی سرعت عملکردی برای کلاس های مختلف وسایل نقلیه انجام دادند. در این مقاله، ۳۰ مکان برای انجام پژوهش های انتخاب شدند که در نهایت با تحلیل آماری به روش رگرسیون خطی چندگانه به مدل سازی سرعت عملکردی پرداختند. معادله زیر، مدل خروجی پیش بینی سرعت عملکردی را نمایش می دهد.

$$V_{85} = 69.00 - \left(\frac{1005.39}{R}\right) - 0.065 \times CL \quad ; \quad (R^2 = 0.80) \quad \text{معادله (۱۰)}$$



که در این معادلات:

$V_{85}$ : سرعت عملکردی برحسب کیلومتر بر ساعت؛

R: شعاع قوس افقی برحسب متر؛

CL: طول قوس افقی برحسب متر است.

تورگروسا و همکارانش (۲۰۱۳) در مقاله‌ای تحت عنوان «مدل جدید سازگاری طرح هندسی بر اساس پروفیل سرعت عملکردی برای ارزیابی ایمنی راه» سرعت عملکردی را مدل‌سازی نمودند. این مطالعه بر روی ۶۵ قسمت از راه‌های دوخطه برون‌شهری در کشور اسپانیا انجام گرفت. در این پژوهش، دو نوع مدل‌سازی از سرعت عملکردی انجام پذیرفت؛ یکی در قوس‌های افقی و دیگری در طول مماس. پژوهشگران در این پژوهش، قوس‌های افقی را به سه دسته تقسیم‌بندی نمودند. معادلات پیش‌بینی سرعت عملکردی برای هر دسته به‌صورت جداگانه ارائه شده است. معیار تقسیم‌بندی قوس‌های افقی، شعاع بوده است. قوس‌های افقی به سه دسته با شعاع‌های ۹۵۰-۴۰۰، ۴۰۰-۷۰ و کمتر از ۷۰ متر تقسیم شدند. مدل‌سازی سرعت عملکردی در طول قوس‌های افقی به‌صورت معادلات زیر ارائه شده است.

$$V_{85} = 97/4254 - \frac{3310/94}{R} \quad ; \quad 400m < R \leq 950m \quad (\text{معادله ۱۱})$$

$$V_{85} = 102/048 - \frac{3990/26}{R} \quad ; \quad 70m < R \leq 400m \quad (\text{معادله ۱۲})$$

$$V_{85}^2 = 127R(f_t + \frac{e}{100}) \quad ; \quad R \leq 70m \quad (\text{معادله ۱۳})$$

که در این معادلات:

$V_{85}$ : سرعت عملکردی ۸۵ درصدی برحسب کیلومتر بر ساعت؛

R: شعاع قوس افقی برحسب متر؛

$f_t$ : ضریب اصطکاک جانبی لاستیک‌ها؛

e: دور برحسب درصد است.

پراتیکو و گیونتا (۲۰۱۲) در مقاله ای تحت عنوان «مدل سازی سرعت عملکردی در راه های دوخطه برون شهری با هدف بررسی تأثیر پارامترهای مسیر بر روی سرعت عملکردی وسایل نقلیه» انواع معادلات برای مدل سازی سرعت عملکردی را ارائه داده اند. داده های جمع آوری شده مربوط به ۷۴ مکان بودند که ۳۷ مکان آن، قوس افقی و ۳۷ مکان مماس مستقیم بودند. طول کل مسیر ۶۲۰۰ متر و شعاع قوس برای قوس های افقی بین ۱۸ تا ۱۴۸ متر بوده است. در این پژوهش، ۱۰ نوع معادله با ساختار متفاوت برای پیش بینی سرعت عملکردی و رابطه متغیرهای مسیر با سرعت ارائه شد. ساختار هریک از این معادلات به صورت زیر می باشد.

$$V_{85} = \frac{a}{R_i^d} \quad \text{(معادله ۱۴)}$$

$$V_{85} = b + c \times g \quad \text{(معادله ۱۵)}$$

$$\beta_i = 1 - \frac{1}{1 + (\frac{L_i}{f})^n} \quad \text{(معادله ۱۶)}$$

$$\varepsilon_i = \frac{1}{1 + \exp(\frac{R^* - R_i}{G})} \times \beta_i \quad \text{(معادله ۱۷)}$$

$$V_{85} = [b] + \left[ 1 + \frac{1}{1 + (\frac{L_i}{f})^n} \right] \cdot \left[ \frac{1}{1 + \exp(\frac{R^* - R_i}{G})} \right] \cdot e \quad \text{(معادله ۱۸)}$$

$$V_{85} = \frac{a'}{R_{i-1}^d} + b \quad \text{(معادله ۱۹)}$$

$$V_{85} = \left[ \frac{1}{R_{i+1}} - \frac{1}{R_i} \right] \cdot h \cdot \left[ \frac{1}{1 + (\frac{R_i + 1}{R_i})^{n_1}} \right] + b \quad \text{(معادله ۲۰)}$$

$$\lim_{R_i \rightarrow \infty} (V_{85} - b) = \left[ \frac{1}{R_{i+1}} \right] \cdot h \quad \text{(معادله ۲۱)}$$

$$V_{85} = \left[ \frac{a}{R_i} + b \right] + \left[ 1 - \frac{1}{1 + (\frac{L_i}{f})^n} \right] \cdot \left[ \frac{1}{1 + \exp(\frac{R^* - R_i}{G})} \right] \cdot e + c.g. \frac{a'}{R_{i-1}} \quad \text{(معادله ۲۲)}$$

$$V_{85} = \left[ \frac{a}{R_i} + b \right] + \left[ 1 - \frac{1}{1 + (\frac{L_i}{f})^n} \right] \cdot \left[ \frac{1}{1 + \exp(\frac{R^* - R_i}{G})} \right] \cdot e + c.g. \frac{a'}{R_{i-1}} + F_2(AD) \quad \text{(معادله ۲۳)}$$

که در این معادلات:

$R_i$ : شعاع عنصر نام بر حسب متر؛

$g$ : شیب طولی عنصر بر حسب درصد؛

$L_i$ : طول عنصر بر حسب متر؛

AD: تراکم دسترسی بر حسب تعداد کیلومتر

$a, b, c, a', d, e, f, G, n, h, R^*$ : تابعی از متغیرهای هندسی مسیر؛ و

$F_2$ : تابعی از مؤلفه تراکم دسترسی است.

سیدعباس و اکرم‌اندان (۲۰۱۱) پژوهشی تحت عنوان «شناسایی مدل‌های سرعت عملکردی ۸۵ درصدی برای راه‌های دوخطه» انجام دادند که در آن به مدل‌سازی سرعت عملکردی پرداختند. هدف از انجام این پژوهش، توسعه مدل‌های سرعت عملکردی ۸۵ درصدی در میانه قوس‌های افقی که تأثیر مهمی در عناصر افقی راه دارد، بود. مطالعه موردی در این پژوهش، راه‌های دوخطه کشور مالزی انتخاب شده است. در این مقاله، ۶ قوس افقی انتخاب شدند. روش مورداستفاده برای تحلیل آماری در این مقاله، روش رگرسیون چندگانه می‌باشد. معادله به دست آمده از این پژوهش برای پیش‌بینی سرعت عملکردی به صورت زیر می‌باشد.

$$V_{85MC} = 75.344 - \frac{368.14}{\sqrt{RC}} + 0.307V_{85AT} \quad ; \quad (R^2 = 0.532) \quad \text{(معادله ۲۴)}$$

که در این معادله:

$V_{85MC}$ : سرعت عملکردی در میانه منحنی برحسب کیلومتر بر ساعت؛

RC: شعاع قوس افقی برحسب متر؛ و

$V_{85AT}$ : سرعت عملکردی در طول مماس قبل قوس برحسب کیلومتر بر ساعت

است.

### جمع‌بندی پیشینه پژوهش

در این پژوهش، سعی بر آن بوده است که بر اساس مطالعات معتبر پژوهشگران و همچنین استانداردهای بین‌المللی، اولاً کلیه متغیرهای مؤثر بر سرعت عملکردی در قوس‌های افقی در نظر گرفته شوند؛ دوماً روش جمع‌آوری اطلاعات، صحیح و اصولی باشد. بدین منظور پس از شناخت نقاطی که ایمنی کافی ندارند، میزان تغییرات موردنیاز در مؤلفه‌های مستقل معادله سرعت عملکردی بررسی می‌شود و به‌منظور ایمن‌سازی، متغیرها به اندازه موردنیاز تغییر می‌کنند.

مدل سازی سرعت عملکردی و ارائه راهکار اقتصادی به منظور افزایش ایمنی در قوس های افقی...

با توجه به پژوهش های انجام شده در مورد سازگاری طرح هندسی و مدل سازی سرعت عملکردی ملاحظه می گردد که تمامی پژوهشگران، روش پژوهش یکسانی را انتخاب کرده اند؛ با این تفاوت که برخی از مدل ها فاقد هرگونه روش اعتبارسنجی می باشند. هرچند ارائه مدل سرعت عملکردی، یکی از گام های بسیار مهم در جهت ایمن سازی قوس ها می باشد؛ اما استفاده از این مدل، مهم ترین مرحله در ایمن سازی به روش مذکور است. اصلی ترین کاستی در پژوهش های پیشین، عدم استفاده کاربردی از معادله سرعت عملکردی می باشد که در پژوهش پیش رو، این کمبود برطرف شده است. در واقع، کاربرد اصلی مدل سرعت عملکردی در جهت بهبود ایمنی ارائه شده است.

**جدول ۲. جمع بندی و گزارش پیشینه ها**

ردیف	نام نویسنده	عنوان مطلب	سال	مدل ارائه شده
۱	ابوطالبی و صدرانی	تفاوت سرعت طراحی و سرعت عملکردی در جهت افزایش ایمنی	۱۳۹۴	$V_{85} = 76.389 - \frac{540.370}{R} - 0.149DF$
۲	نصیری و همکاران	سازگاری طرح هندسی در جاده های دوخطه برون شهری	۱۳۹۱	$V_{85} = 102.609 + 2.36G + 0.363L - 463.858 \frac{1}{\sqrt{R}}$
۳	منجم و هدایت	پیش بینی سرعت عملکردی در قوس های ترکیبی قائم و افقی در جاده های دوخطه برون شهری به منظور بهینه سازی طرح هندسی مسیر	۱۳۸۷	$V_{85} = 90.86 - \frac{4098}{R}$
۴	شالام و احمد	مدل سازی سرعت عملکردی قوس های افقی در راه های دوخطه	۲۰۱۶	$V_{85} = 15.657 - \frac{163.697}{\sqrt{R}} + 0.245\Delta + 0.571SD$ $V_{85} = 64.426 - \frac{250.765}{\sqrt{R}} + 0.040\Delta + 0.224SD$ $V_{85} = 66.121 - \frac{200.428}{\sqrt{R}} + 0.023\Delta + 0.159SD$
۵	ابراهیم و همکاران	ارائه یک مدل پروفیل سرعت برای راه های دوخطه برون شهری	۲۰۱۵	$V_{85} = 101.564 - \frac{3480.88}{R}$ $V_{85} = 99.885 - \frac{3880.21}{R}$ $V_{85} = 101.18 - \frac{3969.90}{R}$
۳	زاکوب و همکاران	سازگاری طرح هندسی در قوس های افقی متعدد برای راه های دوخطه برون شهری	۲۰۱۳	$V_{85} = 69.00 - \left( \frac{1005.39}{R \times CL} \right) - 0.065$

$V_{85} = 97.4254 - \frac{3310.94}{R} ; 400m$ $V_{85} = 102.048 - \frac{3990.26}{R} ; 70m$ $V_{85}^2 = 127R \left( f_t + \frac{e}{100} \right) ; R \leq 70m$	۲۰۱۳	مدل جدید سازگاری طرح هندسی بر اساس پروفیل سرعت عملکردی برای ارزیابی ایمنی راه	تورگروسا و همکاران	۴
$V_{85} = \left[ \frac{a}{R_1} + b \right] + \left[ 1 - \frac{1}{1 + \left( \frac{L}{R} \right)^n} \right] \cdot \left[ \frac{1}{1 + \exp\left( \frac{R^* - R_1}{G} \right)} \right] \cdot e^+$ <p style="text-align: center;">c.g. <math>\frac{a}{R_{1-1}} + F_2(AD)</math></p>	۲۰۱۲	مدل سازی سرعت عملکردی در راه های دوخطه برون شهری	پراتیکو و گیوتنا	۵
$V_{85MC} = 75.344 - \frac{368.14}{\sqrt{RC}} + 0.307V_{85AT}$	۲۰۱۱	شناسایی مدل های سرعت عملکردی ۸۵ درصدی در قوس های افقی	عباس و ادنان	۶

## مبانی نظری پژوهش

### سرعت طرح

نخستین بار به علت افزایش نرخ تصادفات در قوس های افقی، شخصی به نام بارت در سال ۱۹۳۶ میلادی، مفهوم سرعت طرح را پایه گذاری کرد تا با ورود خودروهای پرسرعت، رانندگان به خصوص هنگام عبور از قوس های افقی دچار تصادف نشوند. در سال ۱۹۵۴ میلادی، اشتو به تعریفی از سرعت دست یافت که تا ۴۰ سال بعد یعنی سال ۱۹۹۴ میلادی تقریباً پابرجا باقی ماند (اشتو، ۲۰۰۱). بر اساس این تعریف:

• سرعت طرح پیشنهادی برای طراحی اجزای طرح، مقادیری بیشتر از مقدار سرعت طرح واقعی انتخاب گردد؛

• سرعت طرح انتخابی باید با سرعتی که رانندگان، وسایل نقلیه خود را با آن سرعت می رانند، سازگاری خوبی داشته باشد. این تعاریف بدان معناست که سرعت طرح انتخابی باید بیشتر نیازها و همچنین عادات تقریباً تمامی رانندگان را تحت پوشش قرار دهد؛ پس درصد زیادی از رانندگان را شامل می شود.

مطابق تعریف نشریه ۴۱۵ راه های ایران، سرعت طرح، سرعتی است که برای تعیین

مدل سازی سرعت عملکردی و ارائه راهکار اقتصادی به منظور افزایش ایمنی در قوس های افقی...

حداقل مشخصات مربوط به طرح هندسی قطعۀ مورد نظر راه انتخاب می شود. در واقع این تعریف، اشاره مستقیم به رابطه محاسبه شعاع حداقل در قوس افقی دارد که در معادله ۲۵ مشخص شده است.

$$R_{min} = \frac{v^2}{127(e_{max} + f_{max})} \quad \text{(معادله ۲۵)}$$

که در این معادله:

$R_{min}$ : شعاع حداقل در قوس افقی بر حسب متر؛

$v$ : سرعت طرح بر حسب کیلومتر بر ساعت؛

$e_{max}$ : بر بلندی بر حسب درصد؛ و

$f_{max}$ : ضریب اصطکاک جانبی است.

## سرعت عملکردی

طبق تعریف آیین نامه طرح هندسی بزرگراه ها (اشتو، ۲۰۰۱)، سرعت عملکردی، سرعتی است که مشاهده می شود رانندگان در آن سرعت و در شرایط آزاد ترافیک، وسایل نقلیه خود را می رانند. غالباً هشتاد و پنج درصد سرعت در منحنی توزیع سرعت های رسم شده، با توجه به اجزای طرح و محل قرارگیری مسیر، بیانگر سرعت عملکردی می باشد.

## سازگاری طرح هندسی

با توجه به توسعه روش سازگاری طرح هندسی، همچنان تعریف خاصی از این موضوع ارائه نشده است. در یک نظرسنجی از پژوهشگران ادارات حمل و نقل آمریکا، این سؤال مطرح شد که کدام تعریف از سازگاری طرح، به تعاریف مورد نظر شما نزدیک تر است. در این نظرسنجی، ۵ تعریف ارائه گردید. از ۹۹ پرسش نامه، تعداد ۵۳ مورد یعنی ۵۴ درصد برگردانده شد. این نظرسنجی از ۳۲ اداره حمل و نقل انجام

گرفت. در نهایت بیشترین رأی به تعریفی داده شد که در آن، سازگاری طرح عبارت است از متابعت ویژگی‌های هندسی و عملکردی مسیر با انتظارات رانندگان (شارپ، ۲۰۰۳).

### نظریه‌ها و چهارچوب نظری پژوهش

یکی از نظریه‌های امیدوارکننده برای بهبود ایمنی ترافیک در جاده‌های برون‌شهری، ایجاد مفهوم سازگاری در طراحی می‌باشد. سازگاری به‌عنوان درجه‌ای از ایمنی در سیستم راه برای پیش‌بینی و جلوگیری از مانورهای خطرناک منجر به برخورد می‌باشد. در یک طراحی سازگار، همواره عملکرد راننده و کاهش تغییرات سرعت و سرعت طرح هماهنگ هستند. در میان روش‌های موجود برای ارزیابی سازگاری، استفاده از سرعت عملکردی به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از سرعت به این دلیل اهمیت دارد که سرعت، یک شاخص سازگاری است و همچنین سرعت عملکردی و تغییرات سرعت به راحتی قابل اندازه‌گیری می‌باشند. اکثر روش‌هایی که امروزه برای بهبود ایمنی در قوس‌ها استفاده می‌شود، از دیدگاه اقتصادی بسیار پرهزینه هستند. استفاده از روش مدل‌سازی سرعت عملکردی، این اختیار را به طراحان و مهندسان می‌دهد تا تمامی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر ایمنی قوس را شناسایی کنند. واضح است که برای افزایش ایمنی، تغییر در هر مؤلفه دلخواه، از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد. لذا باید بررسی شود که تغییر کدام مؤلفه از قوس، در عین مقرون‌به‌صرفه بودن، ایمنی قوس را تأمین می‌کند.

### روش‌شناسی پژوهش

هدف اصلی از انجام این پژوهش، ارائه روش کاربردی به منظور ایمن‌سازی قوس‌های افقی با استفاده از مدل سرعت عملکردی می‌باشد. بدین منظور ابتدا باید مدل سرعت

عملکردی مشخص شود. هرچند طراحی اجزای هندسی مسیر بر اساس سرعت طرح می‌باشد؛ اما بااین‌وجود، استفاده از سرعت عملکردی به‌منظور طراحی و ارزیابی ایمنی قوس‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از سرعت به این دلیل اهمیت دارد که سرعت، یک شاخص سازگاری است و همچنین سرعت عملکردی و تغییرات آن به راحتی قابل اندازه‌گیری است. کاربرد روش سازگاری طرح هندسی به‌عنوان یک روش مناسب به‌منظور بهبود ایمنی می‌تواند کمک بسیاری به کاهش خسارات مالی و تلفات جانی نماید.

جامعه آماری در این پژوهش شامل کلیه قوس‌های موجود در مسیر مشهد - تربت‌حیدریه می‌باشد. جامعه نمونه نیز شامل ۲۲ قوس افقی است که در هر قوس، ۱۳ متغیر موجود می‌باشد. این متغیرها از طریق مطالعات میدانی و نقشه‌برداری حاصل شده‌اند.

عملیات سرعت‌سنجی در هریک از قوس‌ها توسط دوربین سرعت‌سنج پلیس انجام گرفته است. مطابق پیشنهاد دپارتمان حمل‌ونقل تگزاس، تعداد ۱۰۰ برداشت از سرعت وسایل نقلیه در هر قوس انجام گرفته است. گزارش ۵۰۴ شارپ نیز تعداد قوس‌های مورد مطالعه اکثر پژوهش‌های معتبر دنیا را ارائه داده است که در این پژوهش، تعداد ۲۲ قوس افقی، متوسطی از آن تعداد می‌باشد. پس از برداشت سرعت در هریک از قوس‌ها، درنهایت صدک هشتادوپنجم سرعت به‌عنوان سرعت عملکردی هر قوس در نظر گرفته شد. عملیات سرعت‌سنجی در شرایط خاص زیر انجام گرفته است:

۱- سرعت‌سنجی در روزهای هفته و روزهای کاری و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت سال ۱۳۹۵ انجام گرفت.

۲- سرعت‌سنجی در ساعات روز و در شرایطی که سطح روسازی خشک و هوا مطلوب بود، انجام پذیرفت.



۳- عملیات سرعت سنجی به صورت نامحسوس انجام گرفت، به گونه‌ای که تأثیری بر سرعت رانندگان نداشته باشد.

۴- از میان سرعت‌های وسایل نقلیه، هیچ سرعتی مربوط به وسیله نقلیه‌ای که در حالت سبقت باشد، نبود.

۵- در این پژوهش، با توجه به تفاوت زیاد سرعت وسایل نقلیه سبک و سنگین، فقط سرعت‌های وسایل نقلیه سبک مورد بررسی قرار گرفت.

۶- در هر قوس، تعداد ۱۰۰ برداشت سرعت از وسایل نقلیه سبک انجام پذیرفت که در ادامه، برای تحلیل‌های آماری از سرعت ۸۵ درصدی استفاده شده است.

۷- سرفاصله زمانی با خودرو جلویی، ۵ ثانیه و حداقل ۳ ثانیه با خودروی عقب بوده است.

در این پژوهش، داده‌ها از طریق برداشت میدانی جمع‌آوری شده‌اند. کلیه متغیرهای هندسی در قوس‌های افقی توسط دوربین نقشه‌برداری برداشت شده و پس از آن متغیرهای مسئله با نرم‌افزار اتوکد استخراج شده‌اند. سرعت وسایل نقلیه نیز با دوربین سرعت‌سنج برداشت شده است.

داده‌های مسئله با نرم‌افزار SPSS تحلیل شدند. ابتدا همه داده‌ها به وسیله رگرسیون خطی آنالیز شدند که خروجی مناسبی حاصل نشد. سپس با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) در رگرسیون غیرخطی، تمامی داده‌ها مورد تحلیل قرار گرفتند که چندین معادله با ضرایب همبستگی قابل قبول حاصل شد. پس از انجام آنالیز واریانس، به منظور افزایش سطح اطمینان از مدل نهایی، آزمون t انجام شد که در نهایت مناسب‌ترین معادله ارائه گردید. پس از ارائه مدل، محاسبات اقتصادی روش ایمن‌سازی به وسیله نرم‌افزار تکسا انجام گرفت.

## یافته های پژوهش

پس از بررسی و آنالیز تمامی داده ها، سازگاری طرح هندسی هر یک از قوس ها مورد بررسی قرار گرفت. با محاسبه سرعت طرح در هر یک از قوس های افقی و مقایسه آن با سرعت عملکردی در نهایت، از بین ۲۲ قوس افقی مورد مطالعه، ۱۴ قوس دارای سازگاری خوب و ۸ قوس دارای سازگاری متوسط بودند. در بین این ۲۲ قوس افقی، هیچ یک از قوس ها از لحاظ سازگاری در وضعیت بد نبودند. جدول ۳ سازگاری طرح هندسی قوس های افقی را نمایش می دهد.

جدول ۳. بررسی سازگاری قوس های مورد مطالعه

شماره قوس	سرعت عملکردی ( $V_{85}$ )	سرعت طرح ( $V_d$ )	سطح سازگاری
۱	۷۷	۸۹	متوسط
۲	۹۰	۱۰۲	متوسط
۳	۸۰	۸۶	خوب
۴	۹۲	۱۰۱	خوب
۵	۹۰	۹۵	خوب
۶	۹۰	۱۰۱	متوسط
۷	۱۰۲	۱۱۳	متوسط
۸	۹۴	۱۰۶	متوسط
۹	۸۳	۹۱	خوب
۱۰	۷۴	۷۸	خوب
۱۱	۷۴	۸۲	خوب
۱۲	۷۲	۸۱	خوب
۱۳	۷۶	۸۸	متوسط
۱۴	۹۷	۱۰۸	متوسط
۱۵	۹۳	۹۸	خوب
۱۶	۸۶	۹۱	خوب
۱۷	۹۳	۹۴	خوب
۱۸	۹۶	۱۰۵	خوب
۱۹	۱۱۰	۱۱۰	خوب
۲۰	۱۱۳	۱۱۰	خوب
۲۱	۱۱۰	۱۱۰	خوب
۲۲	۹۰	۱۰۱	متوسط

پس از تحلیل تمامی داده‌ها و اعتبارسنجی معادلات، خروجی نرم‌افزار به‌منظور پیش‌بینی معادله نهایی به‌صورت زیر می‌باشد.

```
* NonLinear Regression.
MODEL PROGRAM b1=1 b2=1.
COMPUTE PRED_=b1+(b2/R**0.5).
NLR V85
```

که در این خروجی،  $b1$  و  $b2$  که مقادیر اولیه خود را با ۱ آغاز کرده‌اند، ضرایب قابل‌پیش‌بینی معادله،  $R$  شعاع قوس افقی و  $V85$  سرعت عملکردی می‌باشد. فرم ساده‌تر این رابطه با توجه به مقادیر پیش‌بینی شده  $b1$  و  $b2$ ، به‌صورت زیر می‌باشد.

$$V_{85} = 150 - \frac{1299}{\sqrt{R}}; \quad R^2 = 0.917 \quad (\text{معادله ۲۶})$$

که در این معادله:

$V_{85}$ ، سرعت عملکردی ۸۵ درصدی برحسب کیلومتر بر ساعت و  $R$ ، شعاع قوس افقی برحسب متر است.

به‌منظور اعتبارسنجی معادله، ابتدا آنالیز واریانس انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۴. خروجی ANOVA نرم‌افزار برای معادله سرعت عملکردی

Source	Sum of Squares	df	Mean Square
Regression	156629.000	1	78314.000
Residual	158.000	18	8.000
Uncorrected Total	156787.000	20	
Corrected Total	1908.000	19	

Dependent variable: V85.  
 R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = 0.917.

به‌منظور افزایش سطح اطمینان مدل، پس از انجام ANOVA، آزمون  $t$  نیز بر روی مدل نهایی موردبررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول ۵ نمایش داده شده است.

مدل سازی سرعت عملکردی و ارائه راهکار اقتصادی به منظور افزایش ایمنی در قوس های افقی...

جدول ۵. جدول مقادیر ضرایب پیش بینی، خطای استاندارد، t و p-value معادله خروجی

فرم معادله	ضریب پیش بینی شده	خطای استاندارد	t	p-value
۰.۹۱۷	۱۱۵	۴	۲۸.۷۵	۰.۰۱۷
	۱۲۹۹	۹۲	۱۴.۱۱	۰.۰۴۵

مقادیر p-value به وسیله ضریب پیش بینی شده، خطای استاندارد و تعداد مؤلفه مستقل معادله محاسبه می شود. چنانچه این مقادیر، کمتر از ۰/۰۵ باشند، معنی داری ضرایب پیش بینی شده را نشان می دهد.

به منظور افزایش ایمنی در هریک از قوس هایی که در شرایط سازگاری و ایمنی خوب نمی باشند، از معادله سرعت عملکردی استفاده می گردد. در ابتدا باید میزان تغییرات شعاع هریک از قوس ها به منظور تغییر سرعت عملکردی به مقدار مورد نیاز، محاسبه گردد. بدین منظور با استفاده از معادله ۲۶، رابطه مقدار مورد نیاز تغییر شعاع با توجه به مقدار افزایش سرعت عملکردی به صورت زیر حاصل می گردد.

$$R_{V+n} - R_V = 1299^2 \frac{2n(150 - \frac{n}{2})}{[(150 - V - \frac{n}{2})^2 - (\frac{n}{2})^2]} \quad (\text{معادله } 27)$$

که در این روابط:

$R_{V+n}$ : شعاع مورد نیاز به ازای افزایش سرعت  $n$  واحد سرعت بر حسب متر؛

$R_V$ : شعاع اولیه به ازای سرعت  $V$  بر حسب متر؛

$V$ : سرعت عملکردی اولیه بر حسب کیلومتر بر ساعت؛ و

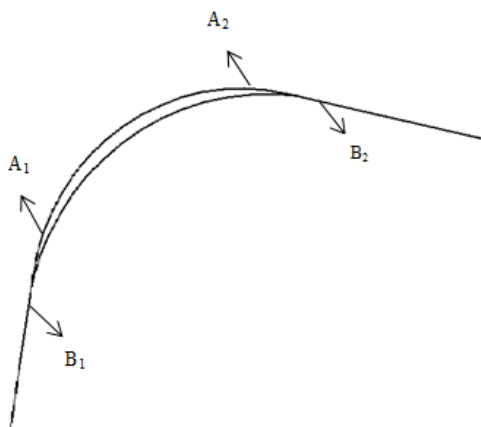
$n$ : مقدار افزایش سرعت برای رسیدن به ایمنی مورد نظر است.

به منظور ایمن سازی قوس های افقی، چنانچه در معادله نهایی سرعت عملکردی، سرعت به مقدار  $n$  واحد تغییر یابد، شعاع باید مطابق معادله ۲۷ تغییر کند. با توجه به این رابطه، میزان تغییرات مورد نیاز شعاع کلیه قوس ها پس از محاسبه، در جدول ۶ خلاصه شده است.

جدول ۶. جدول تغییرات شعاع قوس‌ها به‌منظور ایمن‌سازی

شماره قوس	مقدار افزایش سرعت	شعاع اولیه	سرعت اولیه	شعاع تغییر یافته	مقدار تغییر شعاع
۱	۲	۰۴/۳۶۴	۷۷	۱۳/۴۸۲	۰۹/۱۸
۲	۲	۰۵/۵۰۵	۹۰	۹۳/۵۳۷	۸۸/۳۲
۶	۱	۵۳۳	۹۰	۰۲/۵۳۹	۰۲/۱۶
۷	۱	۸۵/۶۹۰	۱۰۲	۳۴/۸۲۲	۴۹/۳۱
۸	۲	۸۶/۵۵۶	۹۴	۴۵/۵۹۷	۵۹/۴۰
۱۳	۲	۲۹/۳۲۱	۷۷	۳۸/۴۳۹	۰۹/۱۸
۱۴	۱	۹۲/۶۲۳	۹۷	۲۴/۶۴۷	۳۲/۲۳
۲۲	۱	۳۰/۴۷۰	۹۰	۳۲/۴۸۶	۰۲/۱۶

با توجه به مقادیر افزایش شعاع، ملاحظه می‌گردد که تغییرات شعاع در بازه ۱۶/۰۲ تا ۴۰/۵۹ می‌باشد. این مقدار تغییر با توجه به دامنه شعاع‌ها امکان‌پذیر بوده و می‌تواند روشی مطمئن برای افزایش ایمنی باشد. با افزایش شعاع در قوس افقی، نقاط ابتدا و انتهای قوس به صورت شکل ۱ تغییر می‌کنند.



شکل ۱. تصویر شماتیک تغییر شعاع

که در این شکل نقاط  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب ابتدا و انتهای قوس اولیه و نقاط  $B_1$  و  $B_2$  ابتدا و انتهای قوس تغییر یافته می‌باشند. با توجه به اینکه مقادیر افزایش شعاع در قوس‌های مسیر مورد مطالعه زیاد نبوده، این افزایش شعاع، مسیر قوس افقی را به کلی

مدل سازی سرعت عملکردی و ارائه راهکار اقتصادی به منظور افزایش ایمنی در قوس های افقی...

تغییر نداده و فقط مساحتی برای تعریض (از شروع قوس جدید تا انتهای قوس جدید) در قسمت داخلی قوس افقی ایجاد می نماید. اضافه سطح هریک از قوس ها در جدول ۷ خلاصه شده است.

**جدول ۷. افزایش سطح قوس های افقی برای ایمن سازی**

شماره قوس	افزایش سطح (مترمربع)
۱	۷۹/۹۸۲
۲	۶۱/۱۳۳۷
۶	۴۶/۳۳۹
۷	۰۹/۷۴
۸	۴۰/۶
۱۳	۷۵/۹۱۵
۱۴	۳۴/۱۲۷
۲۲	۲۴/۱۵۷

به منظور برآورد اقتصادی بهبود ایمنی در سطح هریک از قوس های افقی، فرضیاتی در نظر گرفته شده است. این فرضیات با توجه به بازدید میدانی از منطقه و میانگینی از شرایط موجود در مسیر می باشد.

۱- متوسط ارتفاع خاک برداری در سطوح افزایش یافته ۱/۵ متر و ارتفاع متوسط خاک ریزی نیز ۲/۵ متر می باشد.

۲- نوع زمین از طبقه بندی فهرست بهای راه و باند، خاکی بوده و لایه های روسازی شامل زیراساس، اساس و آسفالت می باشد.

۳- روکش آسفالتی، شامل دو لایه بیندر ۵ سانتی متر و یک لایه توپکای ۴ سانتی متری می باشد.

۴- از کلیه ضرایب موجود در فهرست بها، تنها ضریب بالاسری ۱/۳ در نظر گرفته شده است.

۵- اندود سطحی و نفوذی به ترتیب ۵۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع می باشند.

۶- فواصل حمل نیز با توجه به منطقه در نظر گرفته شدند.

با توجه به فرضیات بالا و برآورد اقتصادی به منظور بهبود ایمنی بر اساس فهرست‌بهای راه و باند سال ۱۳۹۴، هزینه اجرای تعریض هریک از قوس‌ها با نرم‌افزار تکسا محاسبه شده است. براین اساس، مقادیر ریالی تعریض‌ها در بازه ۹۶۷ تا ۸۳'۸۰۹ ریال تا ۸۱۴'۵۴۴'۱۵۹ ریال، با توجه به سطح تعریض محاسبه شد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، کلیه قوس‌ها را می‌توان با صرف هزینه نسبی بسیار پایین در مقابل خسارات مالی و جانی ناشی از حوادث مذکور ایمن نمود.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادهای پژوهش

اهمیت ایمنی در جاده‌ها با توجه به خسارات جانی و مالی و عواقب اجتماعی آن در جوامع، بر هیچ‌کس پوشیده نیست. در نتیجه با توجه به پژوهش انجام‌شده، مقتضی است که بهبود ایمنی نقاط حادثه‌خیز و همچنین بهبود ایمنی در طراحی، بیشتر مورد توجه قرار گیرد. پس از مشخص شدن مدل سرعت عملکردی بر اساس کلیه متغیرهای موجود در قوس‌ها و ارائه روش بهبود ایمنی و همچنین ارزیابی اقتصادی آن، گامی مهم در ارتقای ایمنی در قوس‌های افقی برداشته شد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

۱. آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران نشریه ۴۱۵ در مورد سازگاری طرح هندسی، تنها به این نکته اشاره نموده است که سرعت طرح و سرعت عملکردی نباید اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته باشند. باین وجود، هیچ معیاری برای ارزیابی سازگاری که نتیجه آن، ارزیابی ایمنی در قوس‌های افقی می‌باشد، ارائه نکرده است. لذا به این نشریه پیشنهاد می‌گردد که جدولی تحت عنوان معیار ارزیابی سازگاری (ایمنی) مطابق ستون دوم جدول شماره ۱ (قوس افقی تک) که سازگاری قوس‌های افقی را بر اساس اختلاف سرعت طرح و سرعت عملکردی طبقه‌بندی نموده است، در تبصره ۲

قسمت ۳-۴-۱، مربوط به بخش انتخاب سرعت طرح، صفحه ۳۷ ارائه کند و توضیحات موجود را با توجه به این جدول کامل‌تر بیان نماید.

۲. با توجه به پیشنهاد قبل که معیار سازگاری بر اساس اختلاف سرعت طرح و سرعت عملکردی می‌باشد، به نشریه ۴۱۵ پیشنهاد می‌گردد که در قسمت ۳-۴-۱ مربوط به بخش انتخاب سرعت طرح صفحه ۳۷، جدول دیگری مطابق ستون سوم جدول (ترکیب مماس و قوس)، در چهارچوب تبصره‌ای جدید ارائه شود. در این جدول، معیار ارزیابی سازگاری طرح هندسی برای عناصر متوالی مسیر بیان می‌شود. طبق این جدول، اختلاف سرعت در دو عنصر متوالی از مسیر به سه دسته طبقه‌بندی می‌گردد که چنانچه مسیری بخواهد از لحاظ سازگاری در بازه خوب قرار گیرد، نباید بین عناصر متوالی آن، اختلافی بیشتر از ۱۰ کیلومتر بر ساعت باشد. چنانچه فرض شود در طول مسیر، ایمنی در سطح قابل قبولی می‌باشد و سرعت طرح با سرعت عملکردی برابر است، این معیار می‌تواند برای سرعت طرح نیز نقش مهمی در طراحی ایمن‌تر مسیرها داشته باشد.

۳. برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز در قوس‌های افقی می‌توان به روش سازگاری طرح هندسی پژوهش پیش‌رو عمل کرد. پس از مشخص نمودن نقاط حادثه‌خیز می‌توان با استفاده از برداشت‌های میدانی و محاسبه معادله سرعت عملکردی، و با اعمال تغییر در متغیر مستقل معادله، برای ایمن‌سازی اقدام نمود.

۴. به پژوهشگران آینده پیشنهاد می‌گردد که این مدل‌سازی در مسیرهایی که از لحاظ کیفیت روسازی متفاوت می‌باشند، انجام گردد و شاخص کیفیت روسازی نیز در مؤلفه‌های مستقل لحاظ گردد. این مدل می‌تواند تأثیر کیفیت روسازی بر سرعت عملکردی را نیز مشخص کند.

۵. به نظر می‌رسد علاوه بر اینکه سرعت عملکردی در انواع وسایل نقلیه متفاوت است، سرعت عملکردی در بین وسایل نقلیه سواری نیز متفاوت می‌باشد. لذا پیشنهاد



می‌گردد که تأثیر خصوصیات وسایل نقلیه از جمله قدرت موتور، سیستم ترمز و حتی برندهای مختلف وسایل نقلیه سواری بر سرعت عملکردی بررسی گردد.

## منابع

- ابوطالبی اصفهانی، محسن؛ صدرانی، محمد. (۱۳۹۴). تطابق سرعت طراحی با سرعت عملکردی در جهت افزایش ایمنی. *چهارمین کنفرانس ملی نقش تکنولوژی و فناوری‌های پایدار در مهندسی عمران و معماری، شیراز، مؤسسه پندار همایش پارس.*
- احدی، محمدرضا؛ اعتمادزاده، سید رامین. (۱۳۹۲). تأثیر پارامترهای هندسی بر افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده‌ای (مطالعه موردی محور کیاسر - ساری). *مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، ۱ (۳)، ۱۰۲-۱۰۵.*
- حسن پور، شهاب؛ زهتابچی، علی. (۱۳۹۵). بررسی سرعت عملکردی در راه‌ها. *سومین کنگره علمی پژوهشی افق‌های نوین در حوزه مهندسی عمران، معماری، فرهنگ و مدیریت شهری ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.*
- فلاح زواره، محسن؛ صفارزاده، محمود. (۱۳۸۵). پیش‌بینی سرعت عملکردی در بخش‌های مستقیم راه‌های کوهستانی دوخطه بین شهری. *هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران.*
- منجم، محمد سعید؛ هدایت، شرمین. (۱۳۸۷). پیش‌بینی سرعت عملکردی قوس‌های قائم و افقی در جاده‌های دوخطه برون‌شهری جهت بهینه‌سازی مسیر. *چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.*
- نصیری، حبیب‌الله؛ محمدی، روح‌الله؛ نظری، حامد. (۱۳۹۱). سازگاری طرح هندسی در جاده‌های دوخطه برون‌شهری (مطالعه موردی در جاده‌های دوخطه استان مازندران). *دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران، معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.*

- Abbas, S.K.S., Adnan, M.A., Endut, I.R. (2011). Exploration of 85th Percentile Operating Speed Model on Horizontal Curve: A Case Study for Two-Lane Rural Highways. *6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service Stockholm*, Sweden June 28 – July 1, 2011, (16), 352-363.
- Alexander, G. J., and Lunenfeld, H. (1986). Driver expectancy in highway design and traffic operations. *FHWa-TO-86-1, Federal Highway Administration*, U.S. Dept of Transportation, Washington DC.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (2001). A Policy on Geometric Design of Highway And Street. *AASHTO*.
- Fitzpatrick, K., Wooldridge, M. D., Tsimhoni, O., Collins, J. M., Green, P., Bauer et al. (2000). Alternative design consistency rating methods for two-lane rural highways. Federal Highway of Administration, FHWA-RD-99-172, *U.S. Department of Transportation*, Washington D.C.
- Hashim, Ibrahim H., Abdel-Wahed, Talaat A., Moustafa, Yasser. (2015). *Journal of traffic and transportation engineering*. (3), 82-88.
- Jacob, A., R, D., A., M.V.L.R. (2013). Geometric Design Consistency Of Multiple Horizontal Curves on Two-Lane Rural Highways. *2nd Conference of Transportation Research Group of India*, (104): 1068-1077.
- Jiang, Zhoutong., Jadaan, Khair., Ouyang, Yanfeng. (2016). *Illinoise Center For Ttansportation*, (16-021).
- Krammes, R. A. (1997), Interactive Highway Safety Design Model: Design Consistency Module. *Public Rd*, 61,47-52.
- Lamm, R., Choueiri, E. M., and Mailaender, T. (1992). Traffic Safety On Two Continents A Ten Year Analysis Of Human And Vehicular Involvements. *Proc, Strategic Hwy. Res. Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents*, 18-20.
- Pratico,F.G., Giunta, M. (2012). Modeling Operating Speed of Two Lane Rural Roads. *SIIV - 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures*, (53), 667-671.
- Shalla, R.D.K., Ahmed, M.Ali. (2016). Operating Speed Models on Horizontal Curves for Two-Lane Highways. *11th Transportation Planning and Implementation Methodologies for Developing Countries*, (17), 445-451.
- Torregrosa, F.J.C., Zuriaga, A.M.P.,Garcia, A.G. (2013). New Geometric Design Consistency Model Based On Operating Speed Profiles For Road Safety Evaluation. *Accident Analysis & Prevention*, (61), 33-42.
- Transportation Research Board of The National Academies. (2003). Geometric Design Consistency on High-Speed Rural Two-Lane Roadways, *NCHRP Report 502*, Library of Congress Control.