مدل‌سازی به منظور شناسایی و اولویت‌دهی قوس‌های قائم خطرناک از منظر ایمنی و تصادفات

مقاله علمی – پژوهشی

علیرضا ماهپور*، استادیار، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a_mahpour@sbu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵
صفحه ۳۰-۲۱

چکیده

مدیریت سرعت در راه‌ها یکی از مهمترین و اثربخش‌ترین اقدامات در پیش‌گیری از وقوع و کاهش شدت تصادفات و صدمات وارده به استفاده کنندگان از راه می‌باشد. زیراکه بخش قابل توجهی از تلفات و جراحات حاصل از تصادفات جاده‌ای به دلیل عدم رعایت سرعت مجاز است. از این رو به عنوان مطالعه موردی محور ارومیه-اشنویه در استان آذربایجان غربی با استفاده از دستگاه RSP مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات ترافیکی از سامانه‌های تردد برخطی مرتبط با سال ۱۳۹۶ استخراج گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که در این مسیر می‌توان قوس‌ها را به سه دسته تقسیم‌بندی کرد بخش‌های ۱ تا ۵ که سرعت خودروها دارای میانگین ۳۵ کیلومتر بر ساعت است و در بخش ۶-۱۰ که سرعت خودروها دارای میانگین ۴۵ کیلومتر بر ساعت است و در بخش ۱۱-۱۴ که سرعت خودروها دارای میانگین ۵۰ کیلومتر بر ساعت است. تمام این سرعت‌ها در حالی برداشت شده که سرعت مسیر ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت است و نشان می‌دهد که قوس‌ها دارای شیب تندی بوده و در بخش ۱-۵ که بیشترین کاهش سرعت وجود داشت قوس خطرناک‌تری از نظر ایمنی و امکان تصادفات وجود دارد که رانندگان سرعت خود به نسبت زیادی کاهش داده‌اند. در نهایت پیشنهاد می‌گردد به منظور تعیین سرعت در قوس‌ها از میانگین سرعت ۸۵ درصد خودروها در آن قوس‌ها استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، قوس قائم، سرعت، ایمنی

۱-مقدمه

ایمنی راه عبارت از شرایط و عواملی است که بر ایمنی و سلامت استفاده‌کنندگان از راه تأثیر گذاشته یا می‌تواند بگذارد. براساس آمارهای رسمی در سال ۲۰۱۸، هر ساله در تصادفات جاده‌ای، حدود ۱٫۳۵ میلیون نفر جان خود را از دست می‌دهند و نرخ ۱۸٫۲ بر حسب ۱۰۰ هزار جمعیت بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶، علاوه بر آن بین ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر دچار آسیب و معلولیت (جرح) می‌شوند [WHO, 2018]. در ایران نیز تعداد فوت‌شدگان ناشی از تصادفات رانندگی در سال ۱۳۹۷ به ۱۷۱۸۳ نفر و تعداد مجروحین به ۳۶۷۴۴۰ نفر رسیده است. مدیریت سرعت در راه‌ها یکی از مهمترین و اثربخش‌ترین اقدامات در پیش‌گیری از وقوع و کاهش شدت تصادفات و صدمات وارده به استفاده کنندگان از راه می‌باشد. زیرا که بخش قابل توجهی از تلفات و جراحات حاصل از تصادفات جاده‌ای به دلیل عدم رعایت سرعت مجاز است. میانگین نرخ تصادفات در قوس‌ها حدود ۳ برابر نرخ میانگین تصادفات در مسیرهای مستقیم است. لذا، تأمین ایمنی در قوس افقی می‌تواند یکی از چالش‌های مهم برای مسئولین ذیربط می‌باشد. ایمنی در قوس متأثر از شرایط خود مسیر و شرایط محیطی در اطراف آن می‌باشد [Aghabeig, 2015]. با درنظر گرفتن این واقعیت که بخش قابل‌توجهی از تصادفات کشور در قوس‌ها اتفاق می‌افتد، شناسایی قوس‌هایی که

پتانسیل وقوع تصادف در آن‌ها زیاد است امری ضروری به نظر می‌رسد. مقصود از قوس‌های حادثه‌خیز قوس‌های است که با توجه به ساختار هندسی آن تمایل دارند تا در صورت عبور وسایل نقلیه با سرعتی بالاتر از سرعت ایمن، وسیله نقلیه را از جاده خارج کنند. در انجام این فرایند، میزان حادثه‌خیزی بر اساس تفاضل سرعت ورودی به قوس و سرعت ایمن عبور از قوس مشخص می‌شود. به این معنی که وسیله نقلیه هر چقدر که مجبور شود تا سرعت خود را برای عبور ایمن از قوس کاهش دهد، ریسک تصادف و یا خروج از جاده در آن بیشتر است. لذا در این مطالعه مدل‌سازی و اولویت‌دهی قوس‌های قائم خطرناک از منظر ایمنی و تصادفات پرداخته می‌شود که تمرکز بر روی سیستم‌های کنترل و اعمال محدودیت سرعت می‌باشد. در این تحقیق هدف اصلی مدل‌سازی و اولویت‌دهی قوس‌های قائم خطرناک از منظر ایمنی و تصادفات جهت ایمن‌سازی قوس‌ها می‌باشد. برای این منظور با استفاده از تغییرات سرعت خودرو در قوس‌ها و شناسایی خطرپذیری قوس‌ها جهت اولویت‌بندی قوس‌های قائم پرداخته می‌شود.

۲-پیشینه تحقیق

واحدی و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان اولویت بندی عوامل موثر در تصادفات محل قوس‌های افقی واقع در راه‌های دو خطه دو طرفه بر اساس روش تصمیم‌گیری گروهی به بررسی اولویت بندی عوامل موثر در تصادفات محل قوس‌ها پرداختند در این تحقیق عوامل جاده‌ای موثر در تصادفات، در محل و در اطراف قوس‌های افقی واقع در راه‌های دو خطه دو طرفه شناسایی شده، سپس با استفاده از روش دلفی که از مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری گروهی است و با بکارگیری یک مدل رگرسیون، این عوامل اولویت بندی گردید. نتیجه حاصل بیانگر آنست که اگرچه افزایش شعاع قوس‌ها یکی از راه حل‌های موثر بر بهبود ایمنی آن می‌باشد اما با استفاده از راه‌حل‌های کم هزینه‌تر از جمله تامین بربلندی کافی، بهبود مقاومت لغزشی روسازی و بهبود فاصله دید می‌توان ایمنی ترافیکی محل قوس‌های افقی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد[Vahedi, 2012]. عثمان و همکاران، در مطالعه‌ای با عنوان رانندگی و تصادفات در قوس‌های راست‌گرد خطرناک‌تر از قوس‌های چپ‌گرد به بررسی تصادفات در قوس‌ها پرداختند برای این منظور در این تحقیق دو قوس با شرایط متفاوت ویژگی‌های قوس شامل شعاع، اصطکاک زاویه و سرعت خودروها در قوس مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت در ادامه با استفاده از برنامه PC-Crash مانورهای خودروها در قوس موردبررسی قرار گرفت یافته‌ها نشان می‌دهد که ویژگی‌های جاده‌ها به‌طور متفاوتی بر عملکرد اجرایی قوس‌های راست و چپ‌گرد اثر می‌گذارد آزمایش میدانی نیز نشان داد که رانندگان رفتار متفاوت با توجه به جهت قوس سرعت و شتاب در سمت راست بالاتر از قوس‌های چپ‌گرد بود [Othman, 2010]. دونالد و همکاران در مطالعه‌ای موردی به ارزیابی قوس‌های قائم از دیدگاه ایمنی برای یک آزادراه چهار خطه به وسیله بررسی فاصله دید توقف مورد نیاز در سرعت‌های مختلف پرداختند. ویژگی‌های راه به عنوان نیازهای اولیه ایمنی مثل شیب و مقادیر K که بیانگر فاصله دید توقف است، شناسایی شدند. نتایج نشان داد که فاصله دید توقف موجود (۱۷۰ متر) در طول قوس، در حالی که مقدار K، ۱۵۰ میلیمتر است خیلی کمتر از فاصله دید توقف مورد نیاز در برای دستیابی به توقف ایمن در قوس است که ۳۲۰ متر می‌باشد. اطلاعات تصادفات با اطلاعات یک محل دیگر که کلیه ویژگی‌های هندسی راه برای قوس قائم در آن رعایت شده بود مقایسه گردید. تعداد تصادفات به میزان معناداری در جاده با عدم رعایت استاندارد بالاتر بود، تعداد تصادفات در محدوده راه استاندارد در طول ۱۷ ماه چهار مورد گزارش شده بود در حالی که این آمار برای جاده‌ای که استانداردها در آن رعایت نشده بود ٤٢ مورد بود. به همین منظور محدودیت سرعت ۱۰۰ کیلومتر به جای محدودیت سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت پیشنهاد شده است [Donald, 2012]. الویک در مطالعه‌ای با عنوان بررسی عملکرد تغییرات تصادف در منحنی افقی پرداخت این مطالعه با هدف شناسایی رابطه بین قوس افقی و تعداد تصادفات در چندین کشور مختلف می‌باشد. این مقاله انتقال از توابع ریاضی (توابع اصلاح تصادفی) را بررسی می‌کند که برای تشخیص شعاع منحنی افقی به تعداد تصادف در آن منطقه را به عنوان متغیر استفاده گردیده است. مشکل اصلی تحقیق این است که آیا این توابع مشابه هستند، و به منظور کاهش تصادفات در آن ناحیه

دارای کارایی می‌باشد. توابع اصلاح تصادف برای شعاع منحنی افقی که در کشورهای ذکر شده در بالا ایجاد شده، برای هر یک به صورت مجزا تولید می‌شوند. حساسیت توابع به ویژگی‌های دیگر منحنی نسبت به شعاع مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد توابع اصلاح تصادف در کشورهای مختلف دارای شباهت های مهمی هستند. این توابع با توجه به میزان تصادف در شدیدترین منحنی ها متفاوت است [Elvik, 2013].

منصوریان و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی تأثیر ارتفاع دید راننده در تعیین طول قوس قائم و ارایه رابطه مناسب برای طراحی قوس قائم در ایران به ارزیابی ارتفاع دید در قوس‌های قائم پرداختند آن‌ها بیان داشتند.

ارتفاع دید راننده یکی از پارامترهای مؤثر در تعیین طول قوس قائم محدب و فاصله دید توقف در جاده‌ها می‌باشد این پارامتر به مشخصات وسیله نقلیه و قد افراد بستگی داشته و کشورهای مختلف اعداد گوناگونی را برای طراحی هندسی جاده‌های خود به کارگرفته‌اند در این مقاله به انجام مطالعات میدانی سعی شده است ارقام مذکور بومی‌سازی شده و رابطه مناسبی برای محاسبه طول قوس قائم محدب جهت استفاده در طرح هندسی جاده‌های کشور ارایه شد[Mansurian, 2013].

خاوندی و همکاران در مطالعه‌ای باعنوان بررسی تاثیر پارامترهای طرح هندسی بر ایمنی در قوس‌ها به بررسی ایمنی قوس‌ها پرداختند. یافته‌ها نشان داد آمار تصادفات و تلفات در قوس‌ها نشان از پرتصادف بودن این نقاط است. به همین دلیل در این مطالعه پارامترهای مختلف قوس مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر هر یک از این پارامترها بر ایمنی مشخص شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در قوس افقی به ترتیب، شعاع قوس و عرض راه و در قوس عمودی، شیب طولی و میزان انحنای قائم، بیشترین تأثیر را بر تعداد تصادفات دارد[Khavandi, 2014].

هیروفومی و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی تصادفات با استفاده از سرعت رانندگان در قوس مسیر که تحلیل سرعت خودروها در قوس‌ها به منظور شناسایی تصادفات پرداختند. برای دستیابی به هدف مورد نظر از شبیه‌سازی رانندگی استفاده گردید پارامترهای مورد نظر شامل حداکثر سرعت ایمن در مسیر و قوس، میزان کاهش سرعت در قوس، سرعت خودرو در قوس، اختلاف سرعت خودرو و سرعت ایمن می‌باشد. نتایج نشان داد زمانی که خودرو به سمت چپ گردش دارد سرعت خود را در قوس کاهش می‌دهد و زمانی که قوس به سمت راست باشد راننده قبل رسیدن به قوس سرعت خود را کم می‌کند و اقدامات کاهش سرعت بر اساس تیز بود یا زاویه منحنی باید اتخاذ گردد [Hirofumi, 2014]. شمسی در مطالعه‌ای با عنوان مدل‌سازی تعیین حداکثر سرعت طرح وسیله نقلیه در قوس‌های افقی به بررسی رابطه سرعت در قوس‌ها پرداخت. سرعت طرح، برای تعیین حداقل مشخصات مربوط به طرح هندسی (قوس افقی، قوس قائم، شیب و ...) قطعه مورد نظر راه انتخاب می‌شود. سرعت بصورت میزان طول حرکت وسیلهٔ نقلیه درمدت زمان معین تعریف می‌شود. یکی ازمهمتر ین عوامل تصادفات درسراسر جهان سرعت بیش از حد مجاز وسایل نقلیه می‌باشد. با توجه به مدل‌های به دست آمده و شعاع قوس ثابت، افزایش بربلندی موجب افزایش ۳,۵ درصدی سرعت طرح در حد ایمن می‌شود، که این افزایش باعث کمتر شده تغییر درکاهش سرعت یکنواخت وسیله نقلیه در مسیر جاده‌ها خواهد شد، لذا این امر کاهش تصادفات را به همراه خواهد [Shamsi, 2015].

بلا در مطالعه‌ای به هماهنگی قوس‌های قائم با قوس‌های افقی در راه‌های دو خطه روستایی با استفاده از شبیه‌ساز رانندگی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب قوس‌های افقی با قوس‌های قائم بحرانی موجب کاهش شدید سرعت شده و راننده تصور غلطی از راه داشته باشد و واکنش نادرستی را انجام دهد. در نتیجه این تحقیق، اثربخشی آیین‌نامه‌های طراحی راه برای هماهنگی بین قوس‌های افقی و قائم تایید شده است [Belle, 2015]. هیروفومی و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان شاخص نرخ تصادفات رانندگی در تصادفات: مبتنی بر انتخاب سرعت به بررسی انتخاب سرعت مناسب در قوس‌ها پرداختند. برای ایمن منظور یک بزرگراه که دارای قوس در مسیر است به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید و با استفاده از دوربین مقادیر سرعت خودروها در قوس را اندازه‌گیری کرده و یافته‌ها نشان می‌دهد که سرعت خودروها در قوس بیش از سرعت مجاز بوده و این موضوع خطر تصادفات را افزایش می‌دهد نتایج نشان می‌دهد با کاهش سرعت ایمن در آن منطقه می‌توان کاهش تصادفات را در پی داشت [Hirofumi, 2017]. عبدالهی و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان مدل سازی همزمان تاثیر عوامل هندسی، توپوگرافی و دسترسی راه در تصادفات راه‌های برون شهری با عامل سازی و رگرسیون خطی تعمیم یافته (مطالعه موردی: راه‌های استان کرمان) به بررسی تاثیر عوامل هندسی بر تصادفات

پرداختند هدف از این پژوهش مدل‌سازی تاثیر عوامل مختلف هندسی و دسترسی کاربری‌های اطراف راه در وقوع تصادفات است. در این پژوهش متغیرهای مختلف طرح هندسی محورها مانند ویژگی‌های قوس افقی، ویژگی‌های قوس قائم، شیب طولی راه و شرایط محیطی راه مانند کاربری های اطراف راه به تفکیک نوع منطقه (منطقه مسکونی، مزارع) نوع توپوگرافی (دشت، تپه ماهور و کوهستان)، نوع دسترسی (محافظت شده یا نشده بودن) و تعداد دسترسی (دوربرگردان و دسترسی راه فرعی) همزمان بررسی شدند که بدین منظور از تحلیل عاملی متغیرها استفاده گردید که امکان بررسی همزمان تعداد زیاد متغیر را فراهم می‌سازد. در بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد که در مدل خطی تعمیم یافته پوآسون، عامل ویژگی‌های قوس قائم با متغیرهای (تعداد قوس قائم، متوسط اختلاف شیب قوس قائم و متوسط اختلاف شیب کل و عامل نوع منطقه با متغیرهای وجود کوهستان و متوسط شیب طولی زمین و تپه ماهوری منطقه (با توجه به متوسط شیب طولی) به‌عنوان مؤثرترین متغیرها در افزایش تعداد تصادفات ایفای نقش نموده‌اند[Abdollahi, 2018].

۳-روش تحقیق

به عنوان مطالعه موردی محور ارومیه-اشنویه در استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱).

شکل۱. نقشه محور ارومیه-اشنویه در استان آذربایجان غربی

محور ارومیه به اشنویه به طول حدود ۷۰ کیلومتر در زمره محورهای مهم و استراتژیک این استان قرار دارد و چند شهرستان را به مرکز استان متصل می‌کند. این محور از نظر کاربری راه اصلی محسوب می‌شود، اما مشخصات فیزیکی راه فرعی را دارد. مشخصات ترافیکی روزانه راه مذکور برای چند روز متفاوت از فروردین ماه سال ۱۳۹۶ در جدول ۱ آمده است. این اطلاعات از سامانه‌های تردد برخطی که در ۲۴ ساعت روز فعال بودند استخراج شده است.

جدول ۱. مشخصات ترافیکی محور ارومیه-اشنویه استخراج شده از سامانه‌های برخط

زمان شروع	مدت زمان کارکرد (دقیقه)	تعداد کل وسیله نقلیه	تعداد وسیله نقلیه کلاس ۱	تعداد وسیله نقلیه کلاس ۲	سرعت متوسط	تعداد تخلف سرعت غیرمجاز	تعداد تخلف فاصله غیرمجاز	تعداد تخلف سبقت غیرمجاز
۱۳۹۶/۰۲/۰۱	۱۴۴۰	۷۹۷۶	۷۰۷۳	۶۸۰	۵۹/۶۲	۳۵۵	۳۴۶۳	۶۱۹
۱۳۹۶/۰۲/۰۵	۱۴۴۰	۶۶۴۵	۵۹۵۲	۴۷۹	۶۰/۹۱	۱۷۶	۲۳۳۱	۳۱۷
۱۳۹۶/۰۲/۰۷	۱۴۴۰	۵۱۵۷	۴۶۵۰	۲۹۶	۶۳/۹۴	۱۲۴	۱۳۱۰	۲۰۲
۱۳۹۶/۰۲/۰۸	۱۴۴۰	۷۵۵۹	۶۷۸۱	۵۸۶	۶۰/۳۷	۲۶۹	۳۰۶۶	۴۸۰
۱۳۹۶/۰۲/۰۹	۱۴۴۰	۵۱۶۹	۴۶۰۶	۳۱۷	۶۳/۸	۱۱۰	۱۱۶۳	۱۹۴
۱۳۹۶/۰۲/۱۰	۱۴۴۰	۴۹۶۶	۴۴۳۶	۳۰۹	۶۴/۲۴	۹۴	۱۱۱۶	۱۶۳
۱۳۹۶/۰۲/۱۳	۱۴۴۰	۴۹۹۰	۴۵۲۱	۲۹۴	۶۴/۶۹	۱۱۴	۱۱۰۴	۱۸۹
۱۳۹۶/۰۲/۱۴	۱۴۴۰	۵۱۲۹	۴۶۴۱	۲۷۰	۶۴/۲۱	۹۹	۱۱۹۹	۱۷۵
۱۳۹۶/۰۲/۱۵	۱۴۴۰	۷۶۳۰	۶۹۰۶	۵۲۱	۶۰/۵۹	۲۶۸	۳۰۹۶	۴۷۲
۱۳۹۶/۰۲/۲۳	۱۴۴۰	۴۹۸۱	۴۴۹۶	۲۵۵	۶۳/۵۸	۸۰	۱۰۵۱	۱۶۹

همانطورکه ملاحظه می‌شود، این محور حجم بالایی از ترافیک روزانه را از خود عبور می‌دهد و کنترل سرعت این مقدار وسائل نقلیه در این محور با مشخصات فیزیکی مذکور از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق نیز از (GPS) در جهت تعیین سرعت مجاز در قوس‌ها استفاده می‌شود. برداشت داده‌های موردنیاز در این تحقیق توسط دستگاه RSP انجام می‌گیرد.

این دستگاه با استفاده از دو لیزر و دو شتاب‌سنج در امتداد چرخ چپ و راست وسیله نقلیه، پروفیل این دو مسیر در امتداد محور راه اندازه‌گیری می‌کند. پروفیل عرضی روسازی نیز با استفاده از دو لیزر مذکور و همچنین ۵ لیزر اضافی اندازه‌گیری می‌شود. خصوصیات هندسی مسیر شامل شیب عرضی، شیب طولی و شعاع قوس با استفاده از سنسور IMS دستگاه تعیین می‌گردد. خروجی‌های سیستم هنگام حرکت دستگاه RSP بر روی راه "در لحظه" محاسبه و در کامپیوتر نمایش داده می‌شود. در این پروژه سرعت خودرو RSP هنگام برداشت پروفیل مسیر ۶۰ کیلومتر بر ساعت (دستگاه قادر است تا سرعت ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت داده برداشت نماید) بوده است. شکل ۲ نمایی از دستگاه RSP را نشان می‌دهد.

شکل ۲. نمایی از دستگاه RSP

قبل از شروع برداشت، تنظیمات اولیه باید بر روی نرم افزار برداشت میدانی دستگاه RSP یعنی RSPWIN انجام گیرد. البته بیشتر این تنظیمات در برداشت‌های مختلف یکسان بوده و تنها باید در هر برداشت کنترل گردد. تنظیمات نرم‌افزار در پنجره‌ای به نام Test setup انجام می‌شود.

٤-یافته‌ها

قبل از شروع فرآیند باید یکسری مشخصات را برداشت شود. سرعت تنظیمی در مسیر از طریق برداشت مستقیم امکان پذیر است که این برداشت می‌تواند توسط رادار سرعت و یا با استفاده از شمارشگرهای ترافیک انجام گیرد. زیرا که سرعت تنظیمی، بر اساس آیین‌نامه‌های داخلی و خارجی، برابر با سرعت ۸۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. این برداشت باید در زمان جریان ترافیک آزاد در نقطه از مسیر انجام شود که معرف کل مسیر حرکت باشد. در مورد راه‌های موجود کشور، در اکثر این راه‌ها شناسگرهایی نصب شده است که اطلاعات ترافیکی مانند ADT، سرعت متوسط و سرعت ۸۵ درصد از آن قابل استخراج است. سایر اطلاعاتی که در این مرحله قابل استخراج است. نمونه‌ای از داده‌های برداشت شده از محور ارومیه-اشنویه در جدول ۲ نشان داده شده است. داده‌های جمع‌آوری شده در داخل نرم‌افزار قرار می‌گیرد و تمام مراحل بعدی تعیین سرعت مجاز توسط خود نرم‌افزار صورت می‌گیرد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

در این مرحله، ابتدا داده‌های برداشت شده به یک پایگاه اطلاعاتی منتقل می‌گردند. در مرحله اول بر اساس سرعت زاویه‌ای و شیب، موقعیت دقیق قوس‌ها مشخص می‌شود. در مرحله بعدی برای تمامی قوس‌ها فرآیند محاسبه سرعت مجاز انجام می‌گیرد. ممکن است چند قوس با مشخصات متفاوت مجاور هم قرار بگیرند که در این حالت تندترین قوس با بیشترین شیب به عنوان قوس مبنا در فرایند تعیین سرعت مجاز برای مجموعه قوس‌ها در نظرگرفته می‌شود.

جدول ۲. نمونه‌ای از اطلاعات جمع‌آوری شده از سطح راه

شیب عرضی	سرعت	نرخ چرخش	سرفاصله	شیب	نقطه پایان	نقطه شروع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ID
۱/۴۶	۲۹/۶۰	۲/۵۰	۱۴۸/۶۶	۰/۰۴	۰.۰۰۵	۰.۰۰۰	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۱
۱/۳۷	۳۲/۱۰	۳/۹۰	۱۵۰/۰۹	۰/۶۱	۰.۰۱۰	۰.۰۰۵	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۲
۰/۰۹	۳۴/۷۰	۴/۱۰	۱۵۱/۹۶	۰/۳۹	۰.۰۱۵	۰.۰۱۰	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۳
۰/۴۰	۳۷/۰۰	۵/۲۰	۱۵۳/۶۹	۰/۸۶	۰.۰۲۰	۰.۰۱۵	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۴
۰/۵۴	۳۹/۳۰	۶/۱۰	۱۵۶/۱۳	-۰/۰۷	۰.۰۲۵	۰.۰۲۰	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۵
-۰/۲۱	۴۱/۴۰	۵/۲۰	۱۵۸/۰۴	۰/۱۳	۰.۰۳۰	۰.۰۲۵	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۶
-۰/۴۹	۴۳/۴۰	۵/۵۰	۱۵۹/۹۲	۰/۱۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳۰	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۷
-۰/۸۱	۴۵/۲۰	۵/۲۰	۱۶۱/۸۱	۰/۴۸	۰.۰۴۰	۰.۰۳۵	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۸
-۱/۰۲	۴۷/۱۰	۴/۷۰	۱۶۳/۵۶	۰/۸۳	۰.۰۴۵	۰.۰۴۰	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۹
-۱/۱۳	۴۸/۸۰	۲/۶۰	۱۶۴/۷۲	۰/۳۳	۰.۰۵۰	۰.۰۴۵	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۱۰
-۰/۷۵	۵۰/۲۰	۱/۲۰	۱۶۵/۲۲	-۰/۵۷	۰.۰۵۵	۰.۰۵۰	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۱۱
-۰/۳۵	۵۱/۲۰	۱/۹۰	۱۶۵/۶۷	-۱/۳۹	۰.۰۶۰	۰.۰۵۵	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۱۲
-۰/۵۲	۵۱/۸۰	۱/۱۰	۱۶۶/۱۰	-۲/۰۷	۰.۰۶۵	۰.۰۶۰	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۱۳
-۱/۰۵	۵۲/۲۰	۱/۱۰	۱۶۶/۳۳	-۱/۴۳	۰.۰۷۰	۰.۰۶۵	۴۵/۱۲	۳۷/۵۲	۱۴

جدول ۳. قوس‌های پرخطر محور ارومیه-اشنویه

تفاوت با سرعت نظارتی	زاویه انحراف	درصد برلندی	شیب عرضی	سرعت	شعاع قوس	نرخ چرخش	سرفاصله	شیب	نقطه پایان	نقطه شروع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ID
۴۲	۷/۷۹	-۰/۸۵	۳/۰۷	۴۸/۵	۰/۰۳۶۸	-۲۰/۱	۱۶۲/۹	۲/۴۸	۴۰/۴	۴۰/۴۸۵	۴۵/۱۱	۳۷/۲۲	۸۰۹۸
۴۲	۷/۷۹	-۰/۹۱	۳/۲۶	۴۸/۲	۰/۰۳۶۸	-۲۰	۱۵۵/۲	۳/۱۸	۴۰/۴	۴۰/۴۹	۴۵/۱۱	۳۷/۲۲	۸۰۹۹
۴۳	۸/۰۵	-۰/۹۴	۳/۳۹	۴۷/۹	۰/۰۳۵۶	-۲۰/۵	۱۴۷/۲	۴/۰۴	۴۰/۵	۴۰/۴۹۵	۴۵/۱۱	۳۷/۲۲	۸۱۰۰
۴۲	۷/۸۵	-۱/۰۶	۳۱/۸۱	۴۷/۶	۰/۰۳۵۶	-۱۹/۹	۱۳۹	۴/۷	۴۰/۵	۴۰/۵	۴۵/۱۱	۳۷/۲۲	۸۱۰۱
۴۲	۷/۷۴	-۱/۰۸	۳/۹	۴۷/۲	۰/۰۳۷۰	-۱۹/۵	۱۳۱/۵	۴/۶۱	۴۰/۵	۴۰/۵۰۵	۴۵/۱۱	۳۷/۲۲	۸۱۰۲
۴۱	۷/۴۶	-۱/۱۹	-۴/۲۷	۳۸/۶	-۰/۰۳۸۴	۱۵/۶	۱۴۰/۶	۱/۷۸	۴۰/۶	۴۰/۶۱	۴۵/۱۱	۳۷/۲۲	۸۱۲۳
۴۴	۸/۳۸	-۰/۸۶	-۳/۰۹	۴۰/۵	-۰/۰۳۴۲	۱۸/۲	۲۳۷/۲	-۱/۹۱	۵۳/۷	۵۳/۷۳	۴۵/۱۵	۳۷/۱۱	۱۰۷۴۷
۴۳	۸/۰۸	-۰/۸۹	-۳/۲۱	۳۸/۸	-۰/۰۳۵۵	۱۶/۹	۲۴۵/۸	-۲/۳۵	۵۳/۷	۵۳/۷۳	۴۵/۱۵	۳۷/۱۱	۱۰۷۴۸
۴۵	۸/۵۵	-۱/۰۲	-۳/۶۶	۳۷/۸	-۰/۰۳۳۵	۱۷/۴	۲۵۴/۳	-۲/۱۵	۵۳/۷	۵۳/۷۴	۴۵/۱۵	۳۷/۱۱	۱۰۷۴۹
۴۵	۸/۵۵	-۱/۰۹	-۳/۹۴	۳۷/۶	-۰/۰۳۳۵	۱۷/۳	۲۶۲/۴	-۱/۷۴	۵۳/۷	۵۳/۷۴	۴۵/۱۵	۳۷/۱۱	۱۰۷۵۰
۴۲	۷/۷۱	-۱/۱۱	-۳/۹۹	۳۸/۱	-۰/۰۳۷۲	۱۵/۹	۲۷۰/۱	-۱/۳۴	۵۳/۷	۵۳/۷۵	۴۵/۱۵	۳۷/۱۱	۱۰۷۵۱
۴۱	۷/۵۶	-۱/۰۳	-۳/۶۹	۴۳/۸	-۰/۰۳۷۹	۱۷/۸	۱۱۶/۵	-۶/۳۵	۵۵/۷	۵۵/۷۸	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۱۵۷
۴۱	۷/۳۸	-۱/۳۷	-۴/۹۲	۴۳	-۰/۰۳۸۸	۱۷/۱	۱۲۴/۳	-۵/۸	۵۵/۷	۵۵/۷۸	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۱۵۸
۴۲	۷/۶۸	-۱/۸۳	-۶/۵۹	۳۵/۵	-۰/۰۳۷۳	۱۴/۸	۸۰/۹۸	-۸/۴۴	۵۶/۱	۵۶/۱۸	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۲۳۸
۴۴	۰/۰۸	-۱/۹۲	-۶/۹۱	۳۴	-۰/۰۳۵۵	۱۴/۹	۸۹	-۷/۸۵	۵۶/۱	۵۶/۱۹	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۲۳۹
۴۶	۸/۵۲	-۲/۲۹	-۸/۲۴	۳۲/۹	-۰/۰۳۳۶	۱۵/۲	۹۷/۰۷	-۷/۵۶	۵۶/۲	۵۶/۱۹	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۲۴۰
۴۹	۹/۲۵	-۲/۴۹	-۸/۹۵	۳۲	-۰/۰۳۱۰	۱۶	۱۰۵/۸	-۷/۳	۵۶/۲	۵۶/۲	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۲۴۱
۵۱	۹/۸۰	-۲/۳۱	-۸/۳	۳۱/۴	-۰/۰۲۹۳	۱۶/۶	۱۱۵/۰	-۶/۶۸	۵۶/۲	۵۶/۲	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۲۴۲
۵۵	۱۱/۲۲	-۱/۹۰	-۶/۸۴	۳۱/۳	-۰/۰۲۵۵	۱۸/۸	۱۲۴/۸	-۵/۳۸	۵۶/۲	۵۶/۲۱	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۲۴۳
۵۶	۱۱/۴۱	-۱/۵۲	-۵/۴۶	۳۱/۵	-۰/۰۲۵۱	۱۹/۲	۱۳۵/۳	-۵/۱۲	۵۶/۲	۵۶/۲۱	۴۵/۱۴	۳۷/۱۰	۱۱۲۴۴

٤-١- شناسایی قوس‌های با رسیک تصادف بالا

در این بخش، تمام مقاطع ۵ متری که در آن‌ها نیاز است تا سرعت نسبت به سرعت تنظیمی کل مسیر، بیشتر از ٤٠ کیلومتر بر ساعت کاهش پیدا کنند شناسایی می‌شوند تا از طریق اقدامات اصلاحی احتمالی مشکل برطرف شود. مقدار٤٠ کیلومتر بر ساعت براساس دستورالعمل MUTCD و همچنین آیین‌نامه‌های داخلی پیشنهاد شد و طبیعتاً می‌تواند بر اساس نظر کارفرما تغییر پیدا کند. اقدامات اصلاحی در یک قوس تند می‌تواند شامل اصلاح قوس (بسیار پرهزینه‌تر است)، اصلاح دور و یا اصلاح ضریب اصحکاک سطح روسازی باشد تا از وقوع تصادف جلوگیری شود. همچنین چون بخش بزرگی از تصادفات فوتی و جرحی به دلیل خروج وسیله نقلیه از قوس است، می‌توان با اقداماتی مانند نصب گاردریل و غیره شدت برخورد را در صورت وقوع کاهش داد. در این فرآیند، تاثیر دور معکوس نیز در نظر گرفته شده است. زیرا که بخش بزرگی از قوس‌های موجود در راه‌های کشور همراه با دور برعکس بهره‌برداری می‌شوند. جدول ۳ تمامی قوس‌های پرخطر محور اشنویه- ارومیه را بر اساس تنظیمات اولیه نشان می‌دهد. بر اساس خروجی جدول ٤-۳ نشان می‌دهد که در این مسیر می‌توان قوس‌ها را به سه دسته تقسیم‌بندی کرد بخش‌های ۱ تا ۵ که سرعت خودروها دارای میانگین ۳۵ کیلومتر بر ساعت است و در بخش ٦-۱۰ که سرعت خودروها دارای میانگین ٤۵ کیلومتر بر ساعت است و در بخش ۱۱-۱٤ که سرعت خودروها دارای میانگین ۵۰ کیلومتر بر ساعت است.

۵-نتیجه‌گیری

در این تحقیق هدف اصلی اولویت‌دهی قوس‌های قائم خطرناک از منظر ایمنی و تصادفات جهت ایمن‌سازی قوس‌ها می‌باشد. برای این منظور با استفاده از تاریخچه تغییرات سرعت خودرو در قوس‌ها و شناسایی خطرپذیری قوس‌ها جهت اولویت‌بندی قوس‌های قائم پرداخته شد. که نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد برداشت داده‌های تغییرات سرعت در قوس‌ها می‌توان میزان خطرپذیری رانندگان را در قوس نشان دهد که نشان دهنده خطرناک بودن قوس از منظر ایمنی می‌باشد. علاوه بر آن پارامتر سرعت ۸۵ درصد خودروها، سرعت مناسب جهت تعیین سرعت در قوس می‌باشد. در ارتباط با موقعیت تابلوها نیز بر اساس خروجی نتایج می‌توان دریافت موقعیت تابلو شروع محدودیت سرعت در بخش اول قوس ۱۳۵ متر قبل تر و در بخش دوم ۱۲۵ متر و در بخش سوم ۱۲۰ متر قبل تر از ورود به قوس قرار گیرد این اطلاعات بر اساس آیین‌نامه MUTCD که دستورالعملی را برای مکانیابی تابلوهای هشدار دهنده سرعت پیشنهاد داده است تعیین گردید. این دستورالعمل بگونه‌ای است که به راننده فرصت عکس‌العمل را بر کاهش سرعت از سرعت مجاز مسیر به سرعت کمتر می‌دهد.

با استفاده از نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌گردد:

-به منظور تعیین سرعت در قوس‌ها از میانگین سرعت ۸۵ درصد خودرها در آن قوس‌ها استفاده گردد. زیرا ایمن‌ترین سرعت در قوس را رانندگان در قوس براساس شرایط قوس انتخاب می‌کنند.

-شروع محدودیت سرعت (نصب تابلو) از زمان که سرعت خودراها کاهش می‌یابد انتخاب گردد که حدود ۱۰۰ متر قبل از ورود به قوس می‌باشد.

در ارتباط با تحقیقات آتی نیز پیشنهاد می‌گردد:

-از این رابطه به منظور تعیین سرعت و اولویت‌بندی قوس‌های افقی استفاده گردد.

-از روش‌های ریاضی جهت فواصل نصب تابلو بر اساس تغییرات سرعت و یا شرایط قوس مانند شیب و... استفاده گردد.

٦-سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دارند از شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک که داده‌های مورد نیاز برای انجام تحقیق را در اختیار گذاشتند، تشکر و قدردانی بعمل آورند.

۷-مراجع

-آقابیک، ک. و احمدپور، ط.، (۱۳۹٤)، "مروری بر اقدامات ایمنی جهت کاهش تصادفات در قوس‌های افقی"، مجله جاده، دوره ۲۳، شماره ۸۵، زمستان، ص. ۲٤٦-۲۱۳.

-منصوریان، ا. رحیمی، ا.م. و وجدانی، م.ر.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی تاثیر ارتفاع دید راننده در تعیین طول قوس قائم و ارایه رابطه مناسب برای طراحی قوس قائم در ایران"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

-عبدالهی، ر. و حق‌شناس، ح.، (۱۳۹۷)، "مدل سازی همزمان تاثیر عوامل هندسی"، توپوگرافی و دسترسی راه در تصادفات راه‌های برون شهری با عامل سازی و رگرسیون خطی تعمیم یافته (مطالعه موردی: راه‌های استان کرمان)، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل.

-خاوندی خیاوی، ع.ر. و کریمی، ا.، (۱۳۹۳)، "بررسی تاثیر پارامترهای طرح هندسی بر ایمنی در قوس‌ها"، همایش ملی معماری، عمران و توسعه نوین شهری، تبریز، کانون ملی انجمن‌های صنفی مهندسان معمار ایران.

-واحدی، ج.ر. و ذاکر، ن.، (۱۳۹۱)، "اولویت بندی عوامل موثر در تصادفات محل قوس‌های افقی واقع درراه‌های دو خطه دو طرفه بر اساس روش تصمیم‌گیری گروهی"، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

-شمسی، ح.، (۲۰۱۵)، "مدل سازی تعیین حداکثر سرعت طرح وسیله نقلیه درقوس‌های افقی"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران و معماری و زیرساخت‌های شهری، تبریز.

-Bella, F., (2015), "Coordination of horizontal and sag vertical curves on two-lane rural roads: Driving simulator study", IATSS research, 39(1), pp.51-57.

-Donald I., Sinclair, M., & Roodt, L. D. V., (2012), "Assessing vertical curve design for safety: case study on the N1/R300 Stellenberg Interchange", Western Cape, SATC.

-Elvik, R., (2013), "International transferability of accident modification functions for horizontal curves", Accident Analysis & Prevention, Vol. 59, October, pp. 487-496.

-Hirofumi, y, Hideyuki, K., (2017), "A car-accident rate index for curved roads: A speed choice–based approach", World Conference on Transport Research, Vol. 25.

-Hirofumi, y, Hideyuki, K., (2014), "Accident-preventive Measure Selection Method Based on the Speed Cognition of Lead-vehicle Driver in Curved Roadway", (2014), "The 9th International Conference on Traffic & Transportation Studies (ICTTS'2014)", Social and Behavioral Sciences 138, pp.592 – 601.

-Othman S, Thomson R, Lannér G., (2010), "Are driving and overtaking on right curves more dangerous than on left curves?" Ann Adv Automot Med. 54, pp.253-64.
PubMed PMID: 21050608; PubMed Central PMCID: PMC3242547.

-World Health Organization, (2018), "World Report on Road Traffic Injury Prevention".

Modeling to Identify and Prioritize Dangerous Vertical Curve from the Perspective of Safety and Accidents

Alireza Mahpour, Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

E-mail: a_mahpour@sbu.ac.ir

Received: September 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

Road speed management is one of the most important and effective measures to prevent and reduce the severity of traffic accidents and injuries to road users. Because a significant proportion of the fatalities and injuries resulting from road accidents are permitted due to speeding. Therefore, as a case study of Urmia-Ashnoye axis in West Azarbaijan province was investigated using RSP. Traffic information was extracted from online traffic systems related to in 2017. The results show that the arcs can be divided into three categories: Sections 1 to 5, with car speeds averaging 35 km / h, and Sections 10-6 with car speeds averaging 45 km / h 14 that cars have an average speed of 50 km / h. All of these speeds were taken while the track speed was 110 km / h, indicating that the arches had steep slopes, and in sections 1-5 that had the most deceleration there was a more dangerous arc in terms of safety and the likelihood of accidents involving speed drivers. Have reduced themselves to a great extent. Finally, it is recommended to use an average speed of 85% of the cars in those arches to determine the speed in the arches.

Keywords: Prioritization, Vertical Arc, Speed, Safety